

ИНСТИТУТ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ МАТЕМАТИКИ
И МАТЕМАТИЧЕСКОЙ ГЕОФИЗИКИ
СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

МАРЧУКОВСКИЕ НАУЧНЫЕ ЧТЕНИЯ – 2022

Тезисы Международной конференции

3–7 октября 2022 г.
Академгородок, Новосибирск, Россия



Новосибирск
2022

УДК 519.6

ББК 22.19

М30

М 30 Марчуковские научные чтения-2022 : Тезисы Междунар. конф., 3–7 октября 2022 г. / Ин-т вычислит. математики и матем. геофизики СО РАН. 154 с.

ISBN 978-5-901548-47-9

Целью Международной конференции "Марчуковские научные чтения 2022" является привлечение специалистов по численному анализу, прикладной математике и вычислительным технологиям к обсуждению актуальных вопросов математики и математического моделирования, а также вопросов практического применения современных численных методов. Секции конференции: методы вычислительной алгебры и решения уравнений математической физики; численное статистическое моделирование и методы Монте-Карло; математическая геофизика; математические модели физики атмосферы, океана и окружающей среды; суперкомпьютерные вычисления и программирование; обратные задачи; информационные и вычислительные системы; компьютерная биология, биотехнология, агробиотехнология и медицина; методы искусственного интеллекта и машинного обучения.

УДК 519.6

ББК 22.19

Соорганизаторы:

Новосибирский государственный университет
Институт вычислительной математики им. Г. И. Марчука РАН

Информационная поддержка

Пресс-служба СО РАН

Сайт конференции: <https://conf.icmmg.nsc.ru/e/msr2022>

© Институт вычислительной математики
и математической геофизики СО РАН, 2022

ПРОГРАММНЫЙ КОМИТЕТ

Сопредседатели программного комитета

чл.-корр. РАН Г. А. Михайлов (ИВМиМГ СО РАН), акад. РАН Е. Е. Тыртышников (ИВМ РАН, Москва), акад. М. П. Федорук (НГУ)

Заместители председателя программного комитета

чл.-корр. РАН С. И. Кабанихин (ИВМиМГ СО РАН), чл.-корр. РАН Ю. В. Василевский (ИВМ РАН, Москва), д-р физ.-мат. наук А. В. Пененко (ИВМиМГ СО РАН)

Секретарь программного комитета канд. физ.-мат. наук Г. З. Лотова (ИВМиМГ СО РАН)

Члены программного комитета

В. И. Агошков	Москва, Россия	А. Г. Марчук	Новосибирск, Россия
А. Е. Алоян	Москва, Россия	М. А. Ольшанский	Houston, Россия
А. А. Бакланов	Женева, Швейцария	В. В. Пененко	Новосибирск, Россия
В. Б. Бериков	Новосибирск, Россия	И. Б. Петров	Москва, Россия
И. В. Бычков	Иркутск, Россия	Г. А. Платов	Новосибирск, Россия
В. В. Васин	Екатеринбург, Россия	Н. Л. Подколотный	Новосибирск, Россия
В. В. Воеводин	Москва, Россия	И. В. Прохоров	Владивосток, Россия
Ю. С. Волков	Новосибирск, Россия	А. С. Родионов	Новосибирск, Россия
А. В. Гасников	Москва, Россия	В. Г. Романов	Новосибирск, Россия
Б. М. Глинский	Новосибирск, Россия	А. А. Романюха	Москва, Россия
В. П. Дымников	Москва, Россия	К. К. Сабельфельд	Новосибирск, Россия
С. М. Ермаков	Санкт-Петербург, Россия	А. Л. Собисевич	Москва, Россия
Ю. А. Загоруйко	Новосибирск, Россия	М. А. Толстых	Москва, Россия
В. П. Ильин	Новосибирск, Россия	А. Г. Фатьянов	Новосибирск, Россия
В. В. Ковалевский	Новосибирск, Россия	М. П. Федорук	Новосибирск, Россия
Н. А. Колчанов	Новосибирск, Россия	В. М. Фомин	Новосибирск, Россия
Ю. А. Кузнецов	Houston, USA	А. Хасанов	Turkey
В. Н. Крупчатников	Новосибирск, Россия	В. А. Чеверда	Новосибирск, Россия
И. М. Куликов	Новосибирск, Россия	Б. Н. Четверушкин	Москва, Россия
Ю. М. Лаевский	Новосибирск, Россия	И. Г. Черных	Новосибирск, Россия
Б. Ю. Лемешко	Новосибирск, Россия	В. В. Шайдуров	Красноярск, Россия
В. Э. Малышкин	Новосибирск, Россия	М. А. Шишленин	Новосибирск, Россия
Р. Н. Макаров	Waterloo, Canada	В. П. Шутяев	Москва, Россия
М. А. Марченко	Новосибирск, Россия	Я. Эфендиев	Texas, USA
И. В. Марчук	Новосибирск, Россия	А. Г. Ягола	Москва, Россия
		М. В. Якобовский	Москва, Россия

ОРГАНИЗАЦИОННЫЙ КОМИТЕТ

Председатель организационного комитета д-р физ.-мат. наук, проф. РАН М. А. Марченко (ИВМиМГ СО РАН)

Заместители председателя организационного комитета (ИВМиМГСО РАН):

д-р техн. наук В. В. Ковалевский, канд. физ.-мат. наук В. Л. Лукинов

Секретарь организационного комитета А. В. Петухов (ИВМиМГ СО РАН)

Члены организационного комитета (ИВМиМГ СО РАН): канд. физ.-мат. наук М. А. Боронина, канд. физ.-мат. наук Н. И. Горбенко, О. Г. Заварзина, М. В. Крайнева, канд. физ.-мат. наук О. И. Криворотько, канд. физ.-мат. наук И. Н. Медведев, канд. физ.-мат. наук Э. А. Пьянова, Е. Л. Сёмочкина, Д. Д. Смирнов, канд. физ.-мат. наук И. В. Суродина, К. В. Ткачёв, канд. физ.-мат. наук А. Н. Юргенсон, Д. Ф. Якшина

Почта оргкомитета: msr2022@sscc.ru.

СОДЕРЖАНИЕ

Пленарная секция.....	9
В. Б. Бериков.....	9
Э. А. Бибердорф, Л. Ван.....	9
Yanfei Wang, I. I. Kolotov, D. V. Lukyanenko, I. E. Stepanova, A. G. Yagola	10
В. В. Васин.....	11
Е. Н. Голубева, М. В. Крайнева.....	12
М. И. Иванов, И. А. Кремер, Ю. М. Лаевский.....	12
В. П. Ильин.....	13
V. G. Korneev	13
S. A. Lashin, N. A. Kolchanov.....	14
Г. А. Михайлов, С. В. Рогазинский, А. С. Корда	14
К. В. Павский, В. А. Павский	15
В. Г. Романов	15
К. К. Sabelfeld, A. E. Kireeva	16
Т. А. Сушкевич	16
Г. Ы. Токтошов	18
В. В. Учайкин.....	18
А. Г. Фатьянов	19
Г. Ш. Цициашвили	19
V. Shutyaev, V. Agoshkov, V. Zalesny, E. Parmuzin, N. Zakharova	20
Секция 1	21
Методы вычислительной алгебры и решения уравнений математической физики.....	21
А. С. Аникина, М. Е. Коржова, Б. А. Марков.....	21
М. А. Баталов, В. П. Ильин, А. В. Петухов, Я. Л. Гурьева	21
А. В. Березин, А. В. Иванов, А. Ю. Перепёлкина.....	22
И. В. Бойков, А. А. Пивкина	22
А. А. Бусалов, А. В. Калинин, А. А. Тюхтина.....	23
В. А. Вшивков, М. А. Боронина, К. В. Вшивков, Г. И. Дудникова, А. А. Ефимова, А. М. Судаков	24
К. В. Вшивков, А. А. Ефимова, Е. А. Воропаева, Л. В. Вшивкова.....	24
А. В. Вяткин, Е. В. Кучунова.....	25
А. В. Вяткин, А. Д. Мальцев.....	26
В. А. Галкин, А. О. Дубовик.....	26

Р. А. Голубев	27
N. I. Gorbenko.....	27
В. С. Горшунов, В. К. Гусяков, В. П. Ильин, А. В. Петухов, Е. И. Роменский	28
А. М. Гриф, Ю. Г. Соловейчик	28
В. А. Дедок	29
В. В. Денисенко, С. А. Нестеров	29
П. А. Домников, Ю. И. Кошкина	30
Е. О. Евстифеева	30
А. И. Задорин.....	31
М. И. Иванов, И. А. Кремер, Ю. М. Лаевский.....	32
В. П. Ильин, Д. И. Козлов, А. В. Петухов	32
Е. D. Karepova, Yu. V. Shan'ko, I. R. Adaev	33
О. А. Kovyrkina, V. V. Ostapenko, V. F. Tishkin.....	33
А. А. Кожемяченко, Е. А. Песня, А. В. Фаворская.....	34
А. Н. Козырев, В. М. Свешников.....	34
А. И. Левыкин, А. Е. Новиков, Е. А. Новиков	35
В. Н. Лутай.....	36
А. В. Мойса.....	36
А. С. Овчинникова, М. Г. Персова, Ю. Г. Соловейчик.....	37
Г. А. Омарова, Д. В. Перевозкин	37
И. И. Патрушев, М. Г. Персова.....	38
I. V. Petrov, V. I. Golubev, E. K. Guseva	38
В. Б. Погосян, М. А. Токарева, А. А. Папин	39
С. Г. Пудов, Д. М. Берлизов	39
А. О. Савченко	40
С. В. Свирина	41
В. А. Титарев, А. А. Морозов.....	41
В. А. Трофимов, М. М. Логинова, В. А. Егоренков	42
О. В. Ушакова.....	43
А. В. Фаворская, И. Б. Петров	43
Д. Т. Чекмарев, Абу Даввас Яссер	44
О. М. Чередниченко, В. В. Шайдуров.....	45
S. Chu, O. A. Kovyrkina, A. Kurganov, V. V. Ostapenko	45
S. Chu, V. A. Kolotilov, A. Kurganov, V. V. Ostapenko, N. A. Khandeeva.....	46
Н. Б. Явич, В. И. Голубев, М. С. Маловичко, Н. И. Хохлов	46
О. С. Язовцева, И. М. Губайдуллин, Е. Е. Пескова	47

Секция 248**Численное статистическое моделирование****и методы Монте-Карло48**

Т. А. Аверина48

М. С. Акентьева, Н. А. Каргаполова48

М. С. Акентьева, В. А. Огородников,
Н. А. Каргаполова49

В. С. Антюфеев49

A. V. Burmistrov, M. A. Korotchenko49

Д. И. Вотинцева, И. Н. Медведев50

М. А. Гурко50

Б. С. Добронез, О. А. Попова51

Е. Г. Каблукова, В. Г. Ошлаков, С. М. Пригарин ..51

Е. Г. Каблукова, К. К. Сабельфельд,

Д. Ю. Протасов, К. С. Журавлев52

И. П. Колинко, М. А. Гурко, Н. В. Денисова53

Б. Ю. Лемешко53

Цз. Ли, С. М. Пригарин54

Ю. Ю. Линке54

К. К. Логинов, Н. В. Перцев55

В. Л. Лукинов, Д. А. Юзов56

И. Н. Медведев56

Г. А. Михайлов, Г. З. Лотова57

С. А. Роженко58

С. А. Рудин, М. Н. Погребникова,

К. В. Павский58

К. А. Рыбаков59

К. А. Рыбаков59

К. К. Sabelfeld, O. V. Buchashev60

К. К. Sabelfeld, A. E. Kireeva60

S. N. Svitashva61

Н. В. Трачева, С. А. Ухинов62

О. С. Ухинова62

В. В. Учайкин63

П. Чжэн, Б. А. Каргин, Е. Г. Каблукова63

И. А. Шалимова, К. К. Сабельфельд64

Е. В. Шкарупа, М. Ю. Плотников64

Секция 366**Математическая геофизика66**

Т. А. Voronina66

А. А. Галактионова, Г. В. Решетова66

V. I. Golubev, Yu. S. Ankipovich, I. B. Petrov67

О. А. Копылова, М. С. Хайретдинов67

В. А. Миронов, С. А. Перетокин, К. В. Симонов ..68

В. Нестерова, И. В. Суродина, Н. М. Черняк68

Е. В. Рабинович69

С. А. Рябова69

А. М. Санчаа, Н. Н. Неvedрова, А. В. Мариненко,

А. Е. Шалагинов70

И. В. Суродина, Е. В. Балков70

Н. О. Фокеева, Р. А. Башмаков71

М. С. Хайретдинов, А. А. Михайлов71

Е. Р. Shurina, N. B. Itkina, D. A. Arhipov,

D. V. Dobrolubova, A. Yu. Kutishcheva,

S. I. Markov, N. V. Shtabel, E. I. Shtanko72

Секция 4 74**Математические модели физики атмосферы,
океана и окружающей среды 74**

И. В. Боровко74

Е. М. Вербицкая, С. О. Романский74

Р. А. Вирц, А. А. Папин75

В. С. Градов, Г. А. Платов, Е. М. Володин75

М. А. Градова, Е. Н. Голубева76

О. И. Гусев, Г. С. Хакимзянов, Л. Б. Чубаров76

А. В. Калинин, А. А. Тюхтина, Н. В. Капкаев77

Е. Г. Климова77

М. В. Крайнева, Г. А. Платов78

V. N. Krupchatnikov, A. V. Gochakov78

А. И. Крылова, Н. А. Лаптева79

Л. И. Курбацкая80

О. Н. Лапина, А. С. Жук, В. С. Харин80

А. А. Леженин, П. Г. Коваadlo, О. А. Коробов,

А. Ю. Шиховцев81

А. А. Леженин, В. Ф. Рапута81

В. В. Малахова82

В. В. Малахова, Е. Н. Голубева83

Ан. Г. Марчук, Е. Д. Москаленский83

А. В. Пененко84

В. В. Пененко84

Г. А. Платов85

М. В. Платонова, Е. Г. Климова85

Э. А. Пьянова, А. В. Гочаков86

В. Ф. Рапута, В. И. Гребенщикова86

S. E. Rubtsov, A. V. Pavlova, A. V. Shiroglazov	87	A. С. Леонов, Н. Н. Нефедов, А. Н. Шаров,	
А. Н. Сибин	87	А. Г. Ягола	105
В. С. Скиба	88	S. Liu	105
А. В. Старченко, Е. А. Данилкин, Л. И. Кижнер,		S. I. Markov, E. P. Shurina, N. B. Itkina	106
Е. А. Шельмина, С. Л. Одинцов, С. А. Проханов,		В. Г. Назаров	106
А. И. Сваровский, Д. В. Лещинский,		А. В. Нестерова, М. А. Гурков, Н. В. Денисова ..	107
Е. А. Стребкова	89	И. П. Оксогоева, Г. Г. Лазарева	108
А. В. Стручков, Р. Н. Жучков, А. С. Козелков	89	А. Orazbayev, M. Malovichko, N. Khokhlov	108
I. S. Telyatnikov, A. V. Pavlova, M. N. Kolesnikov ...	90	А. П. Полякова, И. Е. Светов	109
Е. А. Цветова	91	А. Н. Роголёв	109
М. С. Юдин	91	И. Е. Светов, А. П. Полякова	110
Секция 5	93	Г. Г. Скорик, В. В. Васин	110
Суперкомпьютерные вычисления		С. Б. Сорокин	111
и программирование	93	А. С. Стрекаловский	112
А. В. Еделев, М. А. Марченко	93	П. С. Сурнин, М. А. Шишленин	112
М. М. Лаврентьев, Ан. Г. Марчук,		В. П. Танана, Б. А. Марков	113
К. К. Облаухов	94	В. П. Танана, Б. А. Марков	113
А. В. Пененко, Е. В. Русин	94	Д. А. Терешко	114
П. С. Рузанкин	94	Ч. А. Цгоев, О. Ф. Воропаева	114
Е. А. Сизов, А. М. Ерофеев, И. Ю. Турутина,		М. И. Шимелевич	115
И. Н. Чистякова	95	Y. S. Shishmareva, O. I. Krivorotko	115
И. Н. Скопин	96	Секция 7	117
Т. В. Снытникова	97	Информационные и вычислительные	
А. В. Стручков, Р. Н. Жучков, А. С. Козелков	97	системы	117
М. Cherepanov, V. Kostin, A. Semenov,		М. П. Бакулина	117
S. Solovyev	99	А. Р. Герб, Г. А. Омарова	117
I. S. Chernoshtanov, A. A. Efimova, A. A. Soloviev,		В. А. Дебелов	118
V. A. Vshivkov	99	Д. Б. Короленко, Л. А. Короленко,	
Г. А. Щукин	100	А. П. Кузьменко, В. С. Сабуров	118
Секция 6	101	Н. А. Лаврентьев, А. З. Фазлиев	119
Обратные задачи	101	А. С. Лоренс, Г. А. Петухов	120
G. V. Alekseev, J. E. Spivak	101	О. А. Ляхов	120
А. А. Афанасьева, А. В. Старченко	101	А. И. Привезенцев, С. А. Проханов,	
М. А. Братенков	102	А. З. Фазлиев, А. В. Старченко, Е. А. Стребкова	121
Р. В. Бризицкий, Ж. Ю. Сарицкая	102	С. В. Рудометов, С. С. Журавлев,	
Ю. В. Гласко	103	В. В. Окольнішников	121
Т. А. Zvonareva, O. I. Krivorotko	103	Секция 8	123
I. G. Kazantsev, R. Z. Turebekov, M. A. Sultanov ..	104	Компьютерная биология, медицина	
O. I. Krivorotko, M. I. Sosnovskaya	104	и биотехнология	123
		Н. С. Андреев, В. М. Ефимов	123

К. А. Беклемишева, А. В. Васюков	123	Х. Ли, С. Н. Яковенко	138
В. А. Долгих, Д. С. Вибе, В. Г. Левицкий, Е. В. Землянская	124	Ю. Ю. Линке, И. С. Борисов, П. С. Рузанкин	139
Р. Ю. Епифанов, Я. В. Федотова, К. А. Борисова, Р. И. Мулладжанов, А. А. Карпенко	124	Л. А. Мирошниченко, И. В. Бахмутова, В. Д. Гусев	139
V. A. Ivanisenko, P. S. Demenkov, T. V. Ivanisenko, E. A. Antropova, A. V. Adamovskaya, P. M. Revva	125	Н. В. Саломатина, И. С. Пименов, Е. А. Сидорова	140
Ю. О. Куянова, Д. В. Паршин	126	И. А. Селезнёв, Г. А. Коссов	140
М. Е. Lachynova, I. I. Turnaev, D. A. Afonnikov	126	А. В. Firsov, I. I. Titov	141
А. В. Медиевский, А. Г. Зотин, К. В. Симонов, А. С. Кругляков	127	С. Е. Хрущев, Ю. Н. Исмайылова	142
Л. Р. Мержоева, А. А. Карпенко, Д. В. Паршин, А. П. Чупахин	127	М. И. Шимелевич, Е. А. Оборнев, Е. А. Родионов, И. Е. Оборнев	142
Т. С. Михаханова, О. Ф. Воропаева	128	Мини-симпозиум	143
А. А. Молякко, М. Г. Садовский, Е. Д. Карепова, И. А. Боровиков	128	Применение информационных систем к решению задач комплексного мониторинга опасных геологических процессов	143
N. L. Podkolodny, N. N. Tverdokhleb, O. A. Podkolodnaya	129	С. В. Алексеев, Л. П. Алексеева, П. А. Шолохов	143
С. Д. Сенотрусова, О. Ф. Воропаева	129	С. В. Алексеев, Л. П. Алексеева, П. А. Шолохов, А. М. Кононов	143
Юй Сяотун, В. М. Ефимов	130	Л. П. Брагинская, А. П. Григорюк, Г. Б. Загорулько, В. В. Ковалевский, И. К. Семинский	144
А. А. Тетерлева, М. Г. Садовский, А. В. Моргун, И. А. Ларионова, В. Г. Абрамов	130	А. П. Григорюк, Л. П. Брагинская, В. В. Ковалевский, И. К. Семинский	144
Д. В. Тихвинский, А. А. Карпенко, А. П. Чупахин, Д. В. Паршин	131	А. А. Добрынина, Н. П. Перевалова, В. А. Саньков, Н. А. Радзиминович, И. К. Эдемский, А. В. Лухнев	145
Houchun Zhou, V. M. Efimov	131	А. В. Кадетова, А. А. Рыбченко	145
Секция 9	133	В. В. Ковалевский, Л. П. Брагинская, А. П. Григорюк, Ц. А. Тубанов	146
Методы искусственного интеллекта и машинного обучения	133	В. А. Пеллинен, Т. Ю. Черкашина	147
A. Bernard, S. S. Garmayev, R. I. Mullyadzhanov, S. N. Yakovenko	133	Н. П. Перевалова, А. А. Добрынина, В. А. Саньков, С. В. Воейков, Н. В. Шестаков	147
А. А. Викентьев	133	С. В. Рассказов, Е. П. Чебыкин, А. М. Ильясова, С. В. Снопков, И. С. Чувашова	148
О. С. Володько, Е. Д. Карепова	134	А. А. Рыбченко, А. В. Кадетова, А. А. Светлаков	148
G. E. Gusev, V. A. Travnikov, I. A. Plokhikh, R. I. Mullyadzhanov	134	В. А. Саньков, А. В. Лухнев, А. И. Мирошниченко, А. В. Саньков, Л. М. Бызов	149
А. В. Добшик, А. А. Тулупов, К. М. Шерман, В. Б. Бериков	135	А. А. Светлаков	150
С. В. Зуев	136	К. Ж. Семинский, А. А. Бобров, А. А. Михайлов	150
Р. М. Козинец, В. Б. Бериков	136		
О. А. Кутненко	137		
О. А. Кутненко, В. Б. Бериков	137		
О. А. Кутненко, А. В. Плясунов	138		

И. К. Семинский, А. В. Поспеев, А. П. Григорюк,
Л. П. Брагинская151
П. А. Шолохов151

Мини-симпозиум..... 153

**Методы математического моделирования
для оценки и прогнозирования экологической
обстановки Байкальской природной
территории..... 153**

М. С. Акентьева, В. А. Огородников,
Н. А. Каргаполова153
А. В. Пененко, В. В. Пененко, Е. А. Цветова,
А. В. Гочаков, Е. В. Русин, Э. А. Пьянова,
В. С. Скорик.....153
В. Ф. Рапуга, А. А. Леженин154

ПЛЕНАРНАЯ СЕКЦИЯ

Ансамблевые метрики сходства в задачах машинного обучения

В. Б. Бериков

Институт математики им. С. Л. Соболева СО РАН

Новосибирский государственный университет

Email: berikov@math.nsc.ru

DOI: 10.24412/cl-35065-2022-1-01-90

Понятие сходства объектов имеет фундаментальное значение в машинном обучении. Существует достаточно большое число способов введения метрик сходства. В задачах машинного обучения, особенно в случае большого объема данных, возникают проблемы, связанные с высокими затратами на хранение матриц попарного сходства и проведение операций с ними. Кроме того, при наличии сложных нелинейных структур данных (кластеров, многообразий), для определения степени сходства требуется учитывать принадлежность точек к этим структурам. Часть признаков, описывающих объекты, может быть малоинформативной или связано межпризнаковыми зависимостями. В этом случае, для улучшения обобщающей способности моделей, необходим отбор признаков или снижение размерности признакового пространства.

Для решения задач машинного обучения, при наличии указанных особенностей, был предложен подход, основанный на сочетании ансамблевого кластерного анализа, ядерного и глубокого обучения, мало-ранговых матричных декомпозиций [1–3]. На основе развиваемого подхода разработаны методы частично- и слабо-контролируемого обучения (semi-supervised, weakly supervised learning) в задачах классификации и прогнозирования. Разработанные методы применены в практических приложениях, в частности, при анализе томографических медицинских изображений, мониторинге техногенных выбросов. В докладе сообщается об основных результатах, полученных в данном направлении.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 19-29- 01175) и государственного контракта ИМ СО РАН (код проекта FWNF-2022-0015).

Список литературы

1. Berikov V., Pestunov I. Ensemble clustering based on weighted co-association matrices: Error bound and convergence properties // Pattern Recognition. 2017. V. 63. P. 427–436.
2. Berikov V. Autoencoder-based Low-Rank Spectral Ensemble Clustering of Biological Data // 2020 Cognitive Sciences, Genomics and Bioinformatics (CSGB) – IEEE. 2020. P. 43–46.
3. Berikov V., Litvinenko A. Weakly supervised regression using manifold regularization and low-rank matrix representation // Lecture Notes in Computer Science. 2021. V. 12755. P. 447–461.

О проблеме разделения матричного спектра относительно заданной кривой

Э. А. Бибердорф^{1,2}, Л. Ван²

¹*Институт математики СО РАН*

²*Новосибирский государственный университет*

Email: biberdorf@ngs.ru

DOI: 10.24412/cl-35065-2022-1-00-04

Решение многих прикладных задач сводится к спектральной проблеме линейной алгебры. При этом, как правило, требуется информация о локализации групп собственных значений относительно заданной кривой (например, нейтральной кривой в задачах устойчивости) и их чувствительности к возмущениям

матрицы. Эти требования приводят к формулировке задачи дихотомии матричного спектра, являющейся альтернативой спектральной задаче в классической постановке [1].

На базе итерационного алгоритма дихотомии относительно единичной окружности были созданы алгоритмы разделения спектра относительно прямых и кривых второго порядка. В последнее время разработаны алгоритмы определения отсутствия собственных значений на лучах и отрезках, алгоритмы дихотомии относительно угла, усеченного сектора, многоугольников и т. д. [2]. Идеи дихотомии матричного спектра используются в задачах о разделении многочленов на множители. Алгоритмы дихотомии адаптируются к задачам о спектрах дифференциальных операторов [3], например, описывающих течения вязкой и вязко-упругой несжимаемых жидкостей. Разложение пространства на инвариантные подпространства с помощью алгоритмов дихотомии спектра используется в задачах, возникающих в атомной энергетике [4].

Работа выполнена в рамках гос. задания ИМ СО РАН (проект № FWNF-2022-0008), при финансовой поддержке Российского научного фонда (код проекта 20-11-20036, в части приложений к задаче о течении полимерной жидкости).

Список литературы

1. Годунов С. К. Задача о дихотомии спектра матрицы // Сиб. матем. журн. 1986, т. 27, № 5. с. 24–3715.
2. Бибердорф Э. А. Алгоритм разделения матричного спектра относительно угла // ЖВМиМФ. 62:5 (2022). P. 742–756.
3. Бибердорф Э. А., Блинова М. А., Попова Н. И. Модификации метода дихотомии матричного спектра и их применение к задачам устойчивости. // СибЖВМ. 2018. Т. 21, № 2. С. 139–153.
4. Бибердорф Э. А., Митенкова Е. Ф., Семенова Т. В. Спектральный анализ в задачах распределения нейтронов в слабосвязных системах // Атомная энергия. 2021. Т. 131, № 4. С. 213–219.

Methods of recovering of the magnetic fields using experimental data

Yanfei Wang¹, I. I. Kolotov², D. V. Lukyanenko², I. E Stepanova³, A. G. Yagola²

¹*Key Laboratory of Petroleum Resources Research Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences*

²*Lomonosov Moscow State University*

³*Schmidt Institute of Physics of Earth, RAS*

Email: yagola@physics.msu.ru

DOI: 10.24412/cl-35065-2022-1-01-41

We constructed regularizing algorithms for magnetic fields restoration and applied them to reconstruction of magnetic underground parameters using full tensor gradient data and recovering magnetic images of Mars and Mercury.

References

1. Wang Y., Lukyanenko D., Yagola A. Magnetic parameters inversion method with full tensor gradient data // Inverse Problems and Imaging. 2019. V. 13, N. 4. P. 745–754.
2. Wang Y., Kolotov I. I., Lukyanenko D. V., Yagola A. G. Reconstruction of magnetic susceptibility using full magnetic gradient data // Computational Mathematics and Mathematical Physics. 2020. V. 60, N. 6. P. 1000–1007.
3. Kolotov I., Lukyanenko D., Stepanova I., Wang Y., Yagola A. Recovering the magnetic image of Mars from satellite observations // J. of Imaging. 2021. V. 7, N. 11. P. 234.

Методы решения обратных задач в условиях неединственности и (или) сильной неустойчивости решения

В. В. Васин

*Институт математики и механики УрО РАН**Уральский государственный университет*

Email: vasin@imm.uran.ru

DOI: 10.24412/cl-35065-2022-1-01-42

При решении обратных некорректно поставленных задач, рассматриваемых в форме линейного или нелинейного операторного уравнения первого рода, при нарушении условия единственности решения возникает проблема построения достоверного приближенного решения, поскольку используемый регуляризирующий алгоритм может сгенерировать приближенное решение, которое вместо искомого решения, соответствующего физической реальности, будет аппроксимировать постороннее решение. Другими словами, в этом случае в рамках заданной математической модели не существует никакого метода, который бы гарантировал получение искомого решения, т. е. решения, описывающего исследуемый реальный объект. Аналогичная проблема имеет место при сильной неустойчивости решения относительно погрешностей входных данных, когда даже при малых ошибках данных происходят катастрофические изменения в приближенном решении, что затрудняет интерпретацию численного результата. По-видимому, единственный способ улучшить точность приближенного решения и повысить достоверность окончательного результата – привлечение всей имеющейся информации о решении с целью ее локализации и учета этой информации в базовом регуляризирующем алгоритме с помощью подходящей его модификации. В докладе обсуждаются различные способы учета априорных ограничений, в том числе наиболее общий, гибкий и экономичный метод на основе фейеровских отображений при использовании базовых итерационных процессов [1]. Необходимость учета априорных сведений о решении в алгоритме возникает также при восстановлении искомого решения, содержащего одновременно несколько типов особенностей, например, разрывы, изломы и участки с гладким поведением решения. В этой ситуации целесообразно использовать модифицированный вариант метода регуляризации Тихонова [2]. В двухэтапных методах решения обратных задач зондирования по определению вертикальных профилей парниковых газов (тяжелой воды, углекислого газа) оператор шага итерационных процессов обладает свойством фейеровости, поэтому эти методы допускают использование в алгоритме различной априорной информации о решении, вытекающей из физического смысла задачи (см. работу [3] и библиографию в ней).

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (код проекта 18-11-00024-П).

Список литературы

1. Васин В. В. Основы теории некорректных задач. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2020.
2. Vasin V. V., Belyaev V. V. The modified Tikhonov regularization method with the smoothed total variation for solving the linear ill-posed problems // Eurasian J. Comput Appl. 2021. V. 6, iss. 2. P. 88–100.
3. Vasin V. V. Solving nonlinear inverse problems based on the regularized modified Gauss — Newton method // Doklady RAN. Matematika, Informatika, Protsessy Upravleniya. 2022. V. 504. P. 47–50.

Численное моделирование состояния вод и морского льда сибирских арктических морей в 21 столетии

Е. Н. Голубева, М. В. Крайнева

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН

Email: elen@ommfao.sccc.ru

DOI: 10.24412/cl-35065-2022-1-0098-

Второе десятилетие 21 столетия характеризуется экстремальным состоянием ледяного покрова и поверхностной температуры морской поверхности Северного Ледовитого океана с наибольшими изменениями на акватории сибирских арктических морей. Исследование основывается на региональной трехмерной численной модели океана и морского льда SibCIOM (Siberian coupled ice – ocean model), с использованием данных реанализа атмосферы. Численная модель показывает, что с интенсивным сокращением площади ледяного покрова связано повышение температуры поверхностных вод арктических шельфовых морей сибирского сектора повышение скорости течений в поверхностных слоях моря, вызванное непосредственным воздействием ветра. В осенне-зимний период интенсивное конвективное перемешивание способствует поступлению тепла в глубокие слои моря. Положительные значения температуры, возникшие в придонных водах как результат предшествующего аномально теплого лета, могут сохраняться в течение нескольких месяцев. На основе проведенного численного моделирования проанализировано изменение температуры вод Сибирского шельфа с начала 21 в., выделены области, в которых получено повышение температуры придонного слоя моря.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (грант № 20-11-20112).

Новый подход в проблеме неоднозначности давления в задачах фильтрации

М. И. Иванов, И. А. Кремер, Ю. М. Лаевский

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН

Email: laev@labchem.sccc.ru

DOI: 10.24412/cl-35065-2022-1-00-23

В докладе предлагается новый подход к решению задач фильтрации несжимаемой жидкости в случае неоднозначного определения давления. Рассмотрены задачи для однопористой и двухпористой модели. В основе излагаемого подхода лежит включение условий однозначной разрешимости задачи в одно из уравнений системы с использованием множителя Лагранжа с последующим понижением ее порядка. В случае двухпористой модели указан вид одномерного ядра оператора задачи, который в отличие от однопористой модели априори не очевиден. Фактически, речь идет о замене главных интегральных условий, задающих подпространства однозначной разрешимости для смешанных формулировок, естественными условиями, позволяющими рассматривать задачи в пространствах без каких-либо ограничений. Приводится ряд теорем об однозначной разрешимости сформулированных задач. Аппроксимация осуществляется на основе смешанного метода конечных элементов с использованием элементов Ра-вьяра – Тома [1] наименьшего порядка. Исследован вопрос об однозначной разрешимости полученных систем линейных алгебраических уравнений седлового типа. Теоретические результаты проиллюстрированы численными расчетами.

Список литературы

1. D. Boffi, F. Brezzi, and M. Fortin. Mixed Finite Element Methods and Applications // Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 2013.

О концепции и архитектуре базы знаний в математическом моделировании

В. П. Ильин

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН

Email: ilin@sscc.ru

DOI: 10.24412/cl-35065-2022-1-00-18

Рассматривается концепция базы знаний как форма интеллектуализации интегрированных вычислительно-информационных технологий (экосистемы), для математического моделирования процессов и явлений, представляемых междисциплинарными прямыми и/или обратными задачами для многомерных дифференциальных и интегральных уравнений со сложными реальными данными. База данных моделирования (БЗМ) включает высокопроизводительные средства поддержки полного жизненного цикла математического и программного обеспечения для организации и проведения крупномасштабных суперкомпьютерных экспериментов. Функциональное наполнение БЗМ содержит библиотеки алгоритмов и программ для реализации всех стадий моделирования, в том числе подготовки исходных данных, дискретизации и аппроксимации функциональных уравнений, решения алгебраических прямых и обратных задач, постобработки и анализа результатов расчета, а также системы управления вычислительным процессом и принятия решений по итогам моделирования. Системное и информационное наполнение включает генераторы и коллекции типовых решаемых задач, архивы результатов проведенных расчетов, системы верификации и тестирования алгоритмов, средства конфигурационного управления и работы с большими данными, инструменты формирования пользовательских входных/выходных и внутренних программных интерфейсов, библиографические и справочные материалы, проектную документацию и методы доступа к внешним программным продуктам. БЗМ представляет собой интегрированное математическое и программное окружение нового поколения, предназначенное для активного развития наукоемких разработок и эффективных инноваций в широких сферах человеческой деятельности.

Sharp a posteriori error bounds for FEM solutions of plate in bending problems on Winkler base

V. G. Korneev

Sankt Petersburg State University

Email: vad.korneev2011@yandex.ru

DOI: 10.24412/cl-35065-2022-1-00-26

The paper is devoted to the finite element methods for the equation $\Delta\Delta u + \bar{b}u = f(x)$, $x \in \Omega$, with boundary conditions $u = \partial u/\partial v = 0$ on $\partial\Omega$, where v is the normal to the boundary and $\bar{b} \geq 0$ is an arbitrary constant on each finite element. Seemingly simplest sharp a posteriori error bounds for the mixed Ciarlet-Raviart FEM, applied to this problem at $\bar{b} \equiv 0$, were derived by the residual technique by Gudi [1]. There are other papers deriving residual optimal and suboptimal a posteriori bounds of different error norms in case $\bar{b} \equiv 0$, see, for instance, Charbonneau et al. [2] and Verfürth [3]. An attempt by Korneev [4] to expand the results to the case of $\bar{b} \neq 0$ with the use of the technique, sometimes termed technique of functional majorants, resulted in the bounds accurate for mildly changing \bar{b} , but not robust, if large jumps are allowed. In this lecture, we present a posteriori error bounds, which are sharp and robust for \bar{b} with large jumps, and support their sharpness by the lower bounds of local efficiency of the estimator.

References

1. T. Gudi, Residual-based a posteriori error estimator for the mixed finite element approximation of biharmonic equation // Numer. Meth. Part. Different. Eq. 2011. v. 27. 315-32.

2. A. Charbonneau, K. Dossou, and R. Pierre. A Residual-Based a posteriori Error Estimator for the Ciarlet-Raviart Formulation of the First Biharmonic Problem // Numer. Meth. Part. Different. Eq. 1997. 13, 93–111.
3. R. Verfürth. A Posteriori Error Estimation Techniques for Finite Element Methods. Oxford: University Press, 2013.
4. V. Korneev. A posteriori error bounds for classical and mixed FEM's for 4th-order elliptic equations with piecewise constant reaction coefficient having large jumps // J. Phys.: Conf. Ser. 2021.1715 012030.

Systems computational biology: From molecular genetic systems to populations and ecosystems

S. A. Lashin^{1,2}, N. A. Kolchanov^{1,2}

¹*Kurchatov Genomics Center, Institute of Cytology and Genetics, SB RAS*

²*Novosibirsk State University*

Email: lashin@bionet.nsc.ru

DOI: 10.24412/cl-35065-2022-1-02-36

In the study, we formulate and solve new problems of mathematical and computer modeling of complex, hierarchically organized biological systems. The developed models take into account such levels of biological organization as metabolic, genetic, cellular, organismal, population and ecological. We present the modeling methods of the so-called "next-generations modeling", the principles of which were formulated in the last decade. Among the main principles are structural realism, emergent and predictive, model construction "from first principles", heterogeneity and dynamism of habitats, microevolution, interconnection of hierarchical levels and use of standardized submodels. The models presented in our work not only satisfy the properties described above, but also expand the range of their applications in biology, taking into account additional levels of systemic organization not mentioned by Grimm and Berger, in particular the molecular-genetic and social levels.

The developed modeling methods were implemented in the form of software packages "Haploid Evolutionary Constructor" (HEC), "Microcosm", "Diploid Evolutionary Constructor" (DEC), "Population Genetics of Deafness-Simulator" (PGD-S), and others. The methods of construction and numerical analysis of hierarchical multi-layer models of biological systems developed in our study, as well as the software packages implemented on their basis are effective tools for solving meaningful biological problems of both fundamental and applied orientation.

This research was funded by the Russian state budget (project No FWNR-2022-0020) and the Kurchatov Genomic Centre of the Institute of Cytology and Genetics, SB RAS (project No 075-15-2019-1662).

Оптимизация численно-статистических проекционных оценок одномерных характеристик решений интегральных уравнений.

Г. А. Михайлов¹, С. В. Рогазинский^{1,2}, А. С. Корда¹

¹*Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН*

²*Новосибирский государственный университет*

Email: svr@osmf.sccc.ru

DOI: 10.24412/cl-35065-2022-1-00-63

Строятся и оптимизируются численно-статистические проекционные оценки решений интегральных уравнений с использованием полиномов Лежандра в связи с вычислительной сложностью ортогональных разложений с адаптированным весом. С помощью специальных теоретических и численных оценок определяется параметр практически реализуемой степенной зависимости детерминированного слагаемого среднего квадрата погрешности, что позволяет минимизировать ее в целом. Предлагаемая методика успешно апробирована в тестовой задаче, близкой к проблеме Милна, причем она оказалась весьма эффективной сравнительно с использованием регуляризованного разложения по полиномам Лагерра.

Большой объем проведенных расчетов показал, что при малой величине среднеквадратического отклонения практически всегда малым является и равномерное отклонение рассматриваемой статистической проекционной оценки от искомого решения. По-видимому, это связано с достаточной среднеквадратической точностью одновременной оценки производной от решения, что требует дополнительно довольно сложного исследования.

Исследование выполнено в рамках государственного задания ИВМиМГ СО РАН № 0251-2021-0002.

Математические модели и расчет показателей надежности масштабируемых вычислительных систем при групповом восстановлении

К. В. Павский^{1,2}, В. А. Павский³

¹*Институт физики полупроводников им. А. В. Ржанова СО РАН*

²*Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики*

³*Кемеровский государственный университет*

Email: pkv@isp.nsc.ru

DOI: 10.24412/cl-35065-2022-1-01-73

Масштабируемость вычислительных систем (ВС) является одной из архитектурных особенностей для повышения производительности. Например, 93 % суперкомпьютеров их списка Top500 составляют кластерные системы. Количество узлов в масштабируемых ВС может измеряться несколькими тысячами и более. Например, вычислительная система Fugaku (1 место в 58-й ред Top 500) состоит из 158 976 вычислительных узлов. Рост числа элементарных машин (ЭМ, например, вычислительный узел) повышает число отказов в системе [1]. Поэтому анализ надежности масштабируемых ВС является актуальной проблемой.

В работе предлагаются математические модели функционирования масштабируемых ВС с отказами и групповым восстановлением для расчета показателей надежности. Модели построены в рамках теории массового обслуживания с использованием развитого аппарата производящих функций. Получены решения для оценки потенциальных возможностей систем по повышению производительности, а также функция распределения нахождения ВС в состоянии низкой производительности при отказах и групповом восстановлении.

Работа выполнена в рамках ГЗ 0242-2021-0011 и при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант № 20-07-00039).

Список литературы

1. Gupta S., Patel T., Engelman C., Tiwari D. Failures in large scale systems: long-term measurement, analysis, and implications // SC '17: Proceedings of the International Conference for High Performance Computing, Networking, Storage and Analysis, Denver (USA), Nov. 12–17, 2017. Art. N 44.

Обратная задача для полулинейного волнового уравнения

В. Г. Романов

Институт математики им. С. Л. Соболева СО РАН

Email: romanov@math.nsc.ru

DOI: 10.24412/cl-35065-2022-1-01-56

Для квазилинейного волнового уравнения изучается задача об определении входящей в это уравнение функции $f(x, u)$ по некоторой информации о решениях задач Коши для дифференциального уравнения. Искомая функция предполагается гладкой по всем переменным и финитной по x . Рассматриваются

плоские волны с резким фронтом, распространяющиеся в однородной среде в направлении единичного вектора v и падающие на неоднородность локализованную внутри некоторого шара. Предполагается, что решения задач могут быть измерены в точках границы этого шара в моменты времени близкие к приходу фронта волны для всевозможных значений вектора v . Проводится исследование прямой задачи, устанавливается существование ограниченного решения в окрестности характеристического клина, выводится амплитудная формула на фронте волны для производной по времени от решения задачи. Показывается, что решение обратной задачи редуцируется к серии задач рентгеновской томографии.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИМ СО РАН (проект FWNF 2022-0009).

Vector randomized Monte Carlo algorithm for solving large systems of linear equations

K. K. Sabelfeld^{1,2}, A. E. Kireeva¹

¹*Institute of Computational Mathematics and Mathematical Geophysics SB RAS*

²*Novosibirsk State University*

Email: karl@osmf.sccc.ru, kireeva@ssd.sccc.ru

DOI: 10.24412/cl-35065-2022-1-00-70

Efficient solvers of large systems of linear algebraic equations are of high demand in scientific and engineering problems. In the case when the spectral radius of the matrix is less than unity, the solution of the system can be represented by the Neumann series over matrix iterations. In [1], a new vector randomized algorithm for calculating matrix iterations is proposed. This algorithm is based on a special matrix representation through a stochastic matrix. In [1], an extension of the stochastic vector algorithm to systems with arbitrary matrix is constructed by transforming the original matrix into an extended positive matrix. In the present work, we have implemented a parallel version of these algorithms to large systems of linear equations. We consider problems in which the matrix can be calculated, i. e., in these problems, there is no need to store the matrix entries. The variance and the cost of the developed algorithms are analyzed.

This work is supported by the Russian Science Foundation, grant 19-11-00019.

References

1. Sabelfeld K. A new randomized vector algorithm for iterative solution of large linear systems // Applied Mathematics Letters, 2022. V. 126 (107830). P. 1–9.

М. В. Келдыш и Г. И. Марчук: становление прикладной математики и цифровизации на фоне истории Академии наук. 100-летию СССР посвящается

Т. А. Сушкевич

Институт прикладной математики им. М. В. Келдыша РАН

Email: tamaras@keldysh.ru

DOI: 10.24412/cl-35065-2022-1-02-29

В год 100-летия образования Союза Советских Социалистических Республик (СССР) в 1922 году цивилизованное человечество отмечает 65-летие запуска в космос 4 октября 1957 года первого в истории мира искусственного спутника Земли. Этот день Международная федерация астронавтики провозгласила Днем начала космической эры человечества. Ошеломляющему успеху Советского Союза рукоплескал весь мир. Прорыв в космос был обеспечен отечественными достижениями в прикладной математике и внедрением цифровизации в фундаментальные и научно-технические проекты. Баллистические расчеты проводились в Институте Келдыша на первой отечественной электронно-вычислительной машине "Стрела" (ЭВМ), созданной в 1953 году. К этому торжеству ученые разных специальностей шли с первых

дней основания Академии наук, когда в 18-м веке академиками стали пять членов "швейцарской семьи" математики и механики Бернулли и "швейцарец с русской душой" Л. Эйлер (1707–1783) – математик, механик, физик, астроном, физиолог. С приходом в 1742 году в Академию наук М. В. Ломоносова произошли радикальные перемены – русский язык внедрился в научную среду и публикации и появились известные в мире русские ученые. В XIX веке П. Л. Чебышев существенно развивает прикладную математику и создает первую математическую школу в Петербурге. До войны в XX веке Н. Н. Лузин организовал московскую математическую школу. С середины XX века лидером прикладной математики становится М.В.Келдыш, который руководил математической секцией в НТС по "атомному проекту" и был главой Комиссии по осуществлению научного руководства при создании объекта "Д" (Постановление Совета Министров СССР № 149-88с от 30 января 1956 г.). Ключевым организационным решением по консолидации научных организаций и специалистов в области космических исследований послужило постановление ЦК КПСС и Совета Министров СССР от 10 декабря 1959 г. № 1388-618 о создании Междуведомственного научно-технического совета по космическим исследованиям (МНТС по КИ) при АН СССР, председателем которого был назначен академик М. В. Келдыш в статусе Министра СССР. 50 лет назад 26 мая 1972 года Л. И. Брежнев и Р. Никсон подписали Договор об ограничении систем противоракетной обороны и Временное соглашение о некоторых мерах в области ограничения стратегических наступательных вооружений (ПРО и ОСВ). 50 лет назад с 16 октября по 5 ноября 1972 года состоялся единственный в истории Академии наук официальный визит в США делегации ученых во главе с президентом АН СССР М. В. Келдышем, а членом делегации был Г. И. Марчук. Это был знак особых отношений между М. В. Келдышем и Г. И. Марчуком – участниками "Атомного" и "Космического" проектов, сыгравшими ключевую роль в развитии прикладной математики и масштабном внедрении цифровизации в разных областях науки, техники и народного хозяйства. После возвращения из США в СССР академик Г. И. Марчук и представитель ЦК КПСС И. М. Макаров оперативно подготовили аналитический доклад "Вычислительная техника в США и ее применение". На академика Г. И. Марчука произвело большое впечатление посещение Центра космонавтики США в Хьюстоне, где началась реализация проекта "Союз – Apollo". В специальном комплексе с помощью мощных ЭВМ можно было смоделировать полет на ракете "Сатурн" со спутником на Луну и возвращение спутника на Землю. Большое впечатление на членов советской делегации произвело начало реализации в США предвестника современного Интернета – системы "Сайбернет", мощной сети вычислительных центров. В докладе была затронута важная тема использования ЭВМ в образовательном процессе. Уже во второй половине XX века человечество стала волновать проблема искусственного интеллекта и робототехники. Завершал доклад аналитический раздел о подготовке кадров в сфере IT-технологий. Марчук – Макаров отметили, что в американском обществе всячески поощряется овладение компьютерной грамотностью, в СМИ подчеркивается важность ЭВМ для всех сфер жизни. М. В. Келдыш и Г. И. Марчук не только успешные Президенты АН СССР, но и государственные деятели и организаторы науки с высоким уровнем ответственности за научно-технический прогресс и объективными оценками трендов его развития в мировых масштабах. В последние годы прикладная математика и IT-сфера стали приоритетными для абитуриентов, а с 2022 года во многих вузах организуются "цифровые кафедры" для обеспечения кадрами "цифровой экономики".

Многокритериальные задачи оптимизации сетей инженерных коммуникаций

Г. Ы. Токтошов

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН

Email: tgi_tok@rambler.ru

DOI: 10.24412/cl-35065-2022-1-01-76

В настоящей работе впервые представлены задачи оптимизации сетей инженерных коммуникаций с несколькими конфликтующими критериями, такими как минимальность стоимость строительства сетей, повышение их надежности, учет совместимости различных типов сетей и другие. Так как одновременный учет вышеотмеченных показателей в целевой функции невозможно, то возникает задача оптимизации сетей по критерию приведенных затрат с учетом другие показатели в качестве ограничений оптимизационной задачи. В частности, была исследована задача оптимизации сетей по критерию минимальность затрат на их строительство при условии, что они должны удовлетворять заданный порог надежности. Доказано NP-трудность поставленной задачи, и было предложено эвристический алгоритм ее решения, основанный на модели гиперсетей [1] и известного метода k-кратчайших путей [2]. Предложенный метод позволяет находить наилучшее решение в отличие от известных методов оптимизации.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИВМиМГ СО РАН (0251-2021-0005).

Список литературы

1. Токтошов Г. Ы. Гиперсетевая модель и методы оптимизации проектных решений для прокладки нефтепроводов в сложных условиях / Б. Т. Жумагулов, М. Н. Калимолдаев, В. К. Попков, Г. Ы. Токтошов // Т-COMM Телекоммуникация и транспорт. 2013, № 2. С. 36–40.

2. Gulzhigit Toktoshov, Denis Migov The Application of the k-shortest Paths Method for Constructing an Optimal Hypernet// 15th International Asian School-Seminar "Optimization Problems of complex systems", 26–30 August 2019, Novosibirsk, Russia. DOI: 10.1109/OPCS.2019.8880221. P. 162–166.

Стохастическая модель развития последовательности афтершоков

В. В. Учайкин

Ульяновский госуниверситет

vuchaikin@gmail.com.

DOI: 10.24412/cl-35065-2022-1-00-75

Излагается стохастическая модель землетрясения, описывающая пространственно-временные характеристики серии повторных толчков (афтершоков), запущенной основным (триггерным) событием. Модель основана на эмпирических законах Гутенберга – Рихтера, Омори – Утсу и Кагана – Кнопова, используемых в качестве вероятностей перехода марковской цепи, моделирующей развитие процесса. Три проблемы обсуждаются в докладе: 1) механическое обоснование динамики процесса, 2) особенности алгоритмов моделирования процесса методом Монте-Карло и 3) перспективы дальнейшего развития технологии предсказания сейсмических событий. Основные положения модели вытекают из доказанной автором теоремы о том, что уравнение Лиувилля для наблюдаемой части гамильтоновой системы имеет вид уравнения с производной дробного порядка распределенного типа. Это обстоятельство и объясняет степенной характер указанных законов, поскольку большая часть сейсмического процесса оказывается скрытой от наблюдателя. Простейшей моделью, отвечающей одноточечному спектру порядка производной, является дробно-пуассоновский процесс, проявляющий главные особенности временного развития последовательности: степенной тип корреляций и, как следствие, эффекты кластеризации, разделяемой периодами отсутствия толчков.

На основе теории устойчивых Леви-распределений разработан набор монте-карловских алгоритмов, обеспечивающих построение пространственно-временных траекторий процесса образования афтершоков. В демонстрационных целях приводятся решения нескольких задач (задачи о возвращении траектории афтершока, о распределении момента времени n -го толчка, о пространственном распределении толчков в серии. Интерпретация процесса в терминах производных дробных порядков позволяет надеяться на успешное продвижение в направлении прогнозирования, поскольку предыстория дробного процесса, влияющая на его будущее, гораздо более информативна, чем начальные условия в случае процесса целочисленного порядка.

Построение аналитического решения и устойчивого метода его вычисления для шара планетарных размеров с жидким ядром

А. Г. Фатьянов

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН

Email: fat@nmsf.sccc.ru

DOI: 10.24412/cl-35065-2022-1-00-91

В работе построено аналитическое решение для сейсмических волн возникающих в трехслойном шаре планетарных размеров с жидким ядром. Эта модель дает усредненное описание Земли, включающее мантию, жидкое и твердое ядра. Решение на первом этапе строится на основе преобразования Фурье – Лежандра [1]. Далее используются потенциалы продольных и поперечных волн. Причем они берутся в виде, позволяющем сразу свести исходную постановку к уравнениям Бесселя [2]. С учетом краевых условий получена СЛАУ. Из-за быстрого возрастания (убывания) функций Бесселя [1] в полученной СЛАУ возникают особенности и вычисление на компьютере становится неустойчивым. Для устойчивого вычисления аналитического решения используется новая асимптотика цилиндрических функций [2]. Исследована погрешность при переходе на асимптотику в аналитическом решении. Доказано, что она по степенному закону стремится к нулю при увеличении индексов бесселевых функций. Это позволило создать метод устойчивого вычисления полученного аналитического решения. Созданная на этой основе параллельная программа дала возможность проводить исследования волновых полей с высокой детальностью. Приведены примеры расчета для усредненной модели Земли с реальными параметрами и показано, что предвестники для такой упрощенной модели Земли не возникают.

Работа выполнена в рамках гос. задания ИВМиМГ СО РАН № 0251-2021-0004.

Список литературы

1. Тихонов А. Н., Самарский А. А. Уравнения математической физики. М.: Наука. 1977. 736 с.
2. Фатьянов А. Г., Бурмин В. Ю. Кинематика волновых полей в шаре. Геофизические процессы и биосфера. 2021, с. 61–67. DOI: 10.21455/GPB2021.1–6.

Оценка коэффициентов системы обыкновенных дифференциальных уравнений по неточным наблюдениям

Г. Ш. Цициашвили

Институт прикладной математики ДВО РАН

Email: guram@iam.dvo.ru

DOI: 10.24412/cl-35065-2022-1-00-76

В работах [1, 2] была сформулирована задача оценки параметров системы обыкновенных дифференциальных уравнений и предложен алгоритм ее решения. В настоящей работе в этой задаче изменен план

эксперимента путем включения большого числа наблюдений на коротком интервале значений аргумента. По аналогии с линейным регрессионным анализом оцениваются значения функций в правой части системы и значения производных по неточным наблюдениям. Используя систему дифференциальных уравнений, по полученным оценкам методом моментов определяются неизвестные параметры. Доказывается сходимость полученных оценок по вероятности к точным значениям при устремлении к бесконечности числа наблюдений.

Список литературы

1. Penenko A.V. Consistent numerical schemes for solving nonlinear inverse source problems with the gradient-type algorithms and the Newton–Kantorovich methods // *Num. Anal. Appl.* 2018. V. 11. P. 73–88.
2. Penenko A.V.; Khassenova Z.T.; Penenko V.V.; Pyanova E.A. Numerical study of a direct variational data assimilation algorithm in Almaty city conditions // *Eurasian J. Math. Comput. Appl.* 2019. V. 7. P. 53–64.

Variational data assimilation applied for sea dynamics problems

V. Shutyaev^{1,2}, V. Agoshkov^{1,3}, V. Zalesny¹, E. Parmuzin^{1,2}, N. Zakharova¹

¹*Marchuk Institute of Numerical Mathematics, RAS*

²*Moscow Institute of Physics and Technology*

³*Lomonosov Moscow State University*

Email: victor.shutyaev@mail.ru

DOI: 10.24412/cl-35065-2022-1-01-25

The 4D variational data assimilation technique is presented for modeling the sea dynamics problems, developed at the Marchuk Institute of Numerical Mathematics of the Russian Academy of Sciences (INM RAS). The approach is based on the splitting method for the mathematical model of sea dynamics and the minimization of cost functionals related to the observation data by solving an optimality system that involves the adjoint equations and observation and background error covariances. Efficient algorithms for solving the variational data assimilation problems based on iterative processes with a special choice of iterative parameters are presented. The technique is illustrated for sea dynamics problems with variational data assimilation to restore the initial states and the heat fluxes on the sea surface

This work was supported by the Russian Science Foundation (project 20-11-20057).

References

1. Marchuk G. I. Adjoint equations and analysis of complex systems. Dordrecht: Kluwer, 1995.
2. Zalesny V. B., Agoshkov V. I., Shutyaev V. P., Le Dimet F.-X., Ivchenko B. O. Numerical modeling of ocean hydrodynamics with variational assimilation of observational data // *Izv. Atmos. Ocean. Phys.* 2016. V. 52. P. 431–442.
3. Shutyaev V. P. Methods for observation data assimilation in problems of physics of atmosphere and ocean // *Izv. Atmos. Ocean. Phys.* 2019. V. 55. P. 17–31.
4. Zalesny V., Agoshkov V., Shutyaev V., Parmuzin E., Zakharova N. Numerical modeling of marine circulation with 4D variational data assimilation // *J. Mar. Sci. Eng.* 2020. V. 8 (503). P. 1–19.
5. Shutyaev V. P., Parmuzin E. I. Numerical solution of the problem of variational data assimilation to restore heat fluxes and initial state for the ocean thermodynamics model // *RJNAMM*. 2021. V. 36, N. 1. P. 43–53.

СЕКЦИЯ 1

Методы вычислительной алгебры и решения уравнений математической физики

Краевая задача об одномерном пучке электронов на отрезке

А. С. Аникина, М. Е. Коржова, Б. А. Марков

Южно-Уральский государственный университет

Email: smpx1969@mail.ru

DOI: 10.24412/cl-35065-2022-1-00-01

Рассмотрена задача динамики пучка электронов, вытягиваемого из катода на отрезке. Сложность задачи состоит в необходимости решения краевой задачи, что создает дополнительные трудности [1].

Задача из системы двух уравнений была сведена с помощью преобразования к одному квазилинейному уравнению первого порядка и построено формальное решение в виде неявно заданной функции [2]. Обращение неявно заданной функции в силу наличия двух краевых условий на разных концах отрезка потребовало решения задачи с запаздыванием.

Для иллюстрации метода построено в явном виде решение задачи в несложном частном случае, доказаны теоремы единственности и существования.

Список литературы

1. Гринберг Г. А. Избранные вопросы математической теории электрических магнитных явлений // М.–Л., 1946. 732 с.

2. Рождественский Б. Л., Яненко Н. Н. Системы квазилинейных уравнений и их приложения к газовой динамике // М.: Наука, 1968. 592 с.

Вариант многосеточного метода для решения двумерных и трехмерных краевых задач

М. А. Баталов¹, В. П. Ильин², А. В. Петухов², Я. Л. Гурьева²

¹*Новосибирский государственный университет*

²*Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН*

Email: ilin@sscc.ru

DOI: 10.24412/cl-35065-2022-1-00-02

Исследуются многосеточные методы решения систем линейных алгебраических уравнений (СЛАУ), получаемых из пятиточечной аппроксимации задачи Дирихле для эллиптического дифференциального уравнения второго порядка в прямоугольной и параллелепипедальной расчетной области на регулярной сетке. Предлагаемые алгоритмы для двумерных и трехмерных задач формулируются как специальные варианты итерационных процессов неполной факторизации в подпространствах Крылова с иерархической рекурсивной структурой векторов, соответствующей последовательности вложенных сеток и образующей блочно-трехдиагональное рекурсивное представление матрицы исходной алгебраической системы. Рассматриваются различные варианты операторов редукции и продолжения решения, в том числе с применением чебышевского ускорения. Оптимизация скорости сходимости итерации осуществляется на принципе компенсации, или согласования строчных сумм, а также путем конструирования симметричной последовательной блочной верхней релаксации. Произвольный m -сеточный метод определяется как рекурсивное применение двухсеточного. Рассмотрение алгоритмов производится для простоты для СЛАУ с матрицами стилъесовского типа. Обсуждаются вопросы обобщения алгоритмов на задачи более

широкого класса, в том числе с несимметричными матрицами. Приводятся результаты численных экспериментов, иллюстрирующих эффективность исследуемых алгоритмов.

Безынтеполяционный LBM на неравномерных сетках

А. В. Березин^{1,2}, А. В. Иванов¹, А. Ю. Перепёлкина¹

¹Институт прикладной математики им. М. В. Келдыша РАН

²Национальный исследовательский ядерный университет "МИФИ"

Email: arsenbrs@mail.ru

DOI: 10.24412/cl-35065-2022-1-00-03

Метод решеточных уравнений Больцмана (LBM) [1] – схема численного решения кинетического уравнения Больцмана, в основе которой лежит применение квадратурных формул для вычисления моментов функции распределения, и, как следствие, ее дискретизация в пространстве скоростей. Измельчение исходной пространственной решетки для LBM в некоторой области на данный момент влечет за собой необходимость интерполяции данных на границе сеток разного масштаба [2, 3], что может снизить порядок аппроксимации LBM и привести к нарушению законов сохранения. Нами разработан безынтеполяционный метод построения LBM на неравномерных сетках с единым шагом по времени для сеток разного масштаба, основанный на двухступенчатой процедуре перекалибровки популяций (дискретных значений функции распределения), включающей в себя масштабирование неравновесной части функции распределения [4] и перекалибровку моментами [5].

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (код проекта 18-71-10004).

Список литературы

1. Timm K. et al. The lattice Boltzmann method: principles and practice // Springer International Publishing AG Switzerland, ISSN. 2016. С. 1868–4521.
2. Rohde M. et al. A generic, mass conservative local grid refinement technique for lattice-Boltzmann schemes // International J. For Numerical Methods In Fluids. 2006. Т. 51. № 4. С. 439–468.
3. Fakhari A., Geier M., Lee T. A mass-conserving lattice Boltzmann method with dynamic grid refinement for immiscible two-phase flows // J. of Computational Physics. 2016. Т. 315. С. 434–457.
4. Filippova O., Hänel D. Grid refinement for lattice-BGK models // J. of Computational Physics. 1998. Т. 147. № 1. С. 219–228.
5. Dorschner B., Bösch F., Karlin I. V. Particles on demand for kinetic theory // Physical Review Letters. 2018. Т. 121. № 13. С. 130602.

Применение непрерывного метода решения операторных уравнений к приближенному решению амплитудно-фазовой проблемы

И. В. Бойков¹, А. А. Пивкина²

Пензенский государственный университет

Email: ¹i.v.boikov@gmail.com, ²nastyashaldaeva@mail.ru

DOI: 10.24412/cl-35065-2022-1-00-05

Работа посвящена приближенным методам восстановления сигналов по неполной информации. Рассматриваются задачи восстановления сигналов (в одномерном и многомерном случаях) по амплитуде их спектров, восстановления фазы сигнала по амплитуде спектра и ряд других задач. Общим при исследовании этих задач является характер математических моделей – они описываются нелинейными интегральными уравнениями Фредгольма первого рода. Вычислительные схемы строятся по технологии методов сплайн-коллокации и механических квадратур. Так как полученные системы нелинейных алгебраических

уравнений относятся к классу некорректных задач, то в качестве метода регуляризации используется непрерывный метод решения операторных уравнений [1]. Приводится метод и его обобщения. Выбор этого метода при решении задачи восстановления сигналов по неполной информации обусловлен тем, что при своей реализации он не требует обратимости производной Фреше (Гато) от нелинейного оператора, устойчив относительно возмущений параметр уравнения, сходится при достаточно общих условиях выбора начального приближения. Приведены модельные примеры, иллюстрирующие эффективность метода.

Работа выполнена при финансовой поддержке Ректорского гранта Пензенского государственного университета (договор № ХП-221/22 от 31.03.2021).

Список литературы

1. Бойков, И. В. Об одном непрерывном методе решения нелинейных операторных уравнений // Дифференциальные уравнения. 2012. Т. 48, № 9. С. 1308–1314.
2. I. V. Boikov, Ya. V. Zelina Approximate Methods of Solving Amplitude-Phase Problems for Continuous Signals Measurement Techniques. Oct 2021. 64. P. 386–397 (2021) DOI: 10.1007/s11018-021-01944-y.
3. I V Boikov, Ya V Zelina and D I Vasyunin Approximate methods for solving amplitude-phase problem for discrete signals // I V Boikov et al 2021 J. Phys.: Conf. Ser. 2099 012002 J. of Physics: Conference Series 2099 (2021) 012002 IOP Publishing DOI:10.1088/1742-6596/2099/1/012002.
4. Бойков И. В., Шалдаева А. А. Итерационные методы решения уравнений Амбарцумяна. Часть 1 // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Физико-математические науки. 2021. № 2. С. 14–34. DOI:10.21685/2072-3040-2021-2-2.
5. Бойков И. В., Пивкина А. А. Итерационные методы решения уравнений Амбарцумяна. Часть 2 // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Физико-математические науки. 2021. № 4. С. 71–87. DOI:10.21685/2072-3040-2021-4-6.

Нелинейные системы интегро-дифференциальных уравнений переноса излучения и статистического равновесия

А. А. Бусалов¹, А. В. Калинин^{1,2}, А. А. Тюхтина^{1,2}

¹Нижегородский университет им. Н. И. Лобачевского

²Институт прикладной физики РАН

Email: avk@mm.unn.ru

DOI: 10.24412/cl-35065-2022-1-00-06

В работе приводятся нелинейные системы интегро-дифференциальных уравнений переноса излучения и статистического равновесия [1]. Предлагается и обосновывается итерационный линеаризующий алгоритм решения рассматриваемых задач. Анализируется соответствующая система дифференциальных уравнений в диффузионном приближении [2]. Теоретические результаты иллюстрируются численными исследованиями. Полученные результаты на методах и подходах, развитых в работах [3–5].

Список литературы

1. Иванов В. В. Перенос лучистой энергии в атмосферах звезд и планет. М.: Гостехтеоритздат, 1956.
2. Бусалов А. А. Нелинейная стационарная задача теории переноса в диффузионном приближении // Проблемы информатики. 2021, № 2.
3. Марчук Г. И., Лебедев В. И. Численные методы теории переноса нейтронов. М.: Атомиздат, 1971.
4. Владимиров В. С. Математические задачи односкоростной теории переноса частиц // Труды Матем. ин-та им. В. А. Стеклова АН СССР. 1961, вып 61. С. 2–158.

5. Калинин А. В., Морозов С. Ф. Об одной нелинейной краевой задаче теории переноса излучения // ЖВМиМФ. 1990. Т. 30. С. 1071–1080.

Работа выполнена при финансовой поддержке научно-образовательного математического центра "Математика технологий будущего" (соглашение № 075-02-2022-883).

Численные схемы для моделирования течений плазмы в открытых магнитных системах

В. А. Вшивков, М. А. Боронина, К. В. Вшивков, Г. И. Дудникова, А. А. Ефимова, А. М. Судаков

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН

Email: vsh@ssd.sccc.ru

DOI: 10.24412/cl-35065-2022-1-00-07

Одно из направлений в решении проблемы управляемого термоядерного синтеза базируется на использовании в лабораторных экспериментах открытых магнитных систем. Примером такой системы является установка КОТ (ИЯФ СО РАН), где планируется исследование диамагнитного режима ее работы [1]. Среди возможных режимов работы открытых магнитных ловушек, исследование режима диамагнитного удержания плазмы представляет значительный интерес применительно к проблеме создания компактной энергетической установки-реактора. Это связано с высокими значениями параметра бета (отношения газокинетического давления плазмы к магнитному давлению), достижимыми в установке, по сравнению с замкнутыми системами магнитного удержания плазмы, такими как стеллараторы и токамаки.

В данной работе представлены 2D численные модели диамагнитного режима открытой ловушки, основанные на применении метода частиц-в-ячейке для решения кинетических уравнений Власова для ионов. Динамика электронов моделировалась как в гидродинамическом приближении (PIC-MHD) [2], так и в кинетическом. В созданных моделях использован новый алгоритм решения уравнений движения заряженных частиц в электромагнитных полях, который позволяет точно вычислять траекторию и скорость модельных частиц [3]. Рассмотренные модели сравниваются между собой по результатам и времени работы. На основе созданных численных моделей проведена проверка основных принципов диамагнитного удержания плазмы.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (грант № 19-71-20026).

Список литературы

1. P. A. Bagryansky et al. Status of the experiment on magnetic field reversal at BINP // AIP Conference Proceedings. 1771, p. 030015, 2016.

2. Ю. А. Березин, Г. И. Дудникова, Т. В. Лисейкина, М. П. Федорук. Моделирование нестационарных плазменных процессов. Новосибирск: ИПЦ НГУ, 2017. 359 с.

3. Е. С. Воропаева, К. В. Вшивков, Л. В. Вшивкова, Г. И. Дудникова, А. А. Ефимова. Алгоритмы движения в методе частиц-в-ячейках // Вычислительные методы и программирование. 2021. Т. 22. № 4. С. 281–293.

Алгоритмы интерполяции в методе частиц-в-ячейках

К. В. Вшивков, А. А. Ефимова, Е. А. Воропаева, Л. В. Вшивкова

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН

Email: vkv76@gmail.com

DOI: 10.24412/cl-35065-2022-1-00-08

Как известно, полностью ионизованная плазма является многокомпонентной средой, состоящей из электронной компоненты и ионной компоненты. Для описания плазмы часто используются гибридные модели, в которых для описания ионной компоненты используются кинетические уравнения Власова, а

для электронной компоненты применяются уравнения гидродинамического типа. К этим уравнениям добавляется система уравнений Максвелла для нахождения самосогласованных электрических и магнитных полей. Для решения кинетических уравнений Власова лучше всего подходит метод частиц-в-ячейках. Недостатком данного метода является необходимость большого количества модельных частиц в каждой ячейке для хорошего описания свойств плазмы.

Во всех численных моделях на основе метода частиц-в-ячейках, как полностью кинетических, так и гибридных, большое время счета (до 90 %) тратится на интерполяцию электрических и магнитных полей в местоположение частицы, а также на раздачу скоростей и зарядов частиц в узлы сетки. Решение этой проблемы позволит ускорить алгоритм движения частиц в несколько раз.

В связи с этим, нами разработаны новые более быстрые алгоритмы интерполяции электромагнитных полей в местоположение частиц, а также раздачи заряда и скоростей частиц в узлы сетки. Ускорение основано на том, что вычисления производятся для частиц, находящихся в одной ячейке, что позволяет не дублировать некоторые вычисления. Для выделения частиц, находящихся в одной ячейке, разработан алгоритм сортировки по трем направлениям.

Работа выполнена при финансовой поддержке бюджетного проекта ИВМиМГ СО РАН (№ 0251-2021-0005).

Комбинация метода конечных элементов и полулагранжевого алгоритма для решения уравнения конвекции-диффузии

А. В. Вяткин^{1,2}, Е. В. Кучунова²

¹*Институт вычислительного моделирования СО РАН*

²*Сибирский федеральный университет*

Email: hkuchunova@sfu-kras.ru

DOI: 10.24412/cl-35065-2022-1-00-09

Предложена комбинация метода конечных элементов и полулагранжевого алгоритма для численного решения начально-краевой задачи для одномерного уравнения конвекции-диффузии. При аппроксимации диффузионного слагаемого используются линейные конечные элементы. Конвективные слагаемые аппроксимируются с помощью консервативного полулагранжевого алгоритма. Он основан на интегральном балансовом соотношении для решения задачи между соседними слоями по времени. Преимуществом такого подхода является выполнение условия Куранта – Фридрихса – Леви без ограничения на шаг по времени, а также выполнение закона сохранения в консервативных версиях метода. Для сравнения использовались разностные схемы с различными способами аппроксимации конвективного члена уравнения: противоточковая схема, схема Хартена, MLU, MUSCL и схема ENO. Предлагаемый численный метод обеспечивает сходимость численного решения задачи в норме пространства L_1 со вторым порядком точности. Проведенные вычислительные эксперименты на ряде модельных задач подтверждают теоретические выкладки.

Работа проводилась при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований в рамках научного проекта № 20-01-00090 А.

Список литературы

1. Shaydurov, V.V., Vyatkin, A.V., Kuchunova, E.V. Semi-Lagrangian difference approximation with different stability requirements // RJNAMM. 2018. V. 33. P. 123–135.

2. Vyatkin, A.V., Kuchunova, E.V., Yakubovich, M.V., Efimov, E.A. Combination of Semi-Lagrangian approach and finite element method for Navie-Stokes equations // International conference of numerical analysis and applied mathematics 2019. 2020.

Решение одномерного уравнения неразрывности консервативным полулагранжевым методом на неравномерной пространственно-временной сеткеА. В. Вяткин¹, А. Д. Мальцев²¹Институт вычислительного моделирования СО РАН²Сибирский федеральный университет

Email: vyatkin@icm.krasn.ru

DOI: 10.24412/cl-35065-2022-1-00-10

Консервативные полулагранжевы методы, не использующие поправочных коэффициентов, основаны на вычислении интеграла на нижнем слое во времени по некоторой области от известной функции. Для трехмерных уравнений такой подход требует большого количества вычислений. Как правило, сложность, связанную с длительностью расчетов, решают с помощью параллельных вычислений. Другой подход состоит в том, чтобы уменьшить вычислительную сложность.

Разработан консервативный алгоритм из семейства полулагранжевых методов, позволяющий проводить вычисления на неравномерной пространственно-временной сетке. Неравномерность сетки заключается в следующем: пространственная стека делится, например, на две области. При вычислении значений искомой функции в узлах сетки одной области используется некоторый шаг по времени. А при вычислении значений искомой функции в узлах сетки другой области используется шаг по времени, например, в два раза больший. Задача состояла в том, чтобы правильно с точки зрения аппроксимации и выполнения закона сохранения выполнить расчеты на границах этих двух областей. В результате удалось построить алгоритм, который имеет первый порядок сходимости на всей неравномерной пространственно-временной сетке и для которого выполняется закон сохранения, что подтверждается вычислительными экспериментами.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, проект номер 20-01-00090 А.

Моделирование течения несжимаемой жидкости в изменяющейся во времени областиВ. А. Галкин^{1,2}, А. О. Дубовик^{1,2}¹Сургутский государственный университет²Сургутский филиал ФГУ ФНЦ НИИСИ РАН

Email: alldubovik@gmail.com

DOI: 10.24412/cl-35065-2022-1-00-11

Рассматриваются классы точных решений для задач, описывающих течение несжимаемой жидкости в областях, изменяющихся во времени. Получены классы точных решений уравнений магнитной гидродинамики в рамках модели слоистого течения жидкости [1] и уравнений гидродинамики в рамках модели потенциального течения жидкости [2]. Найденные точные решения используются для верификации результатов расчетов численного моделирования, полученные на основе метода контрольных объемов. Решение данного класса задач актуально в связи с исследованием задач управления параметрами несжимаемой жидкости за счет изменения области течения [3].

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 20-07-00236).

Список литературы

1. Галкин В. А., Дубовик А. О. О моделировании слоистого течения вязкой проводящей жидкости в области, изменяющейся во времени // Математическое моделирование. 2020. Т. 32. № 4. С. 31–42

2. Бетелин В. Б., Галкин В. А., Дубовик А. О. Точные решения системы Навье – Стокса для несжимаемой жидкости в случае задач, связанных с нефтегазовой отраслью // Докл. академии наук. Математика, информатика, процессы управления. 2020. Т. 495. № 1. С. 13–16.

3. Бетелин В. Б., Галкин В. А. Управление параметрами несжимаемой жидкости при изменении во времени геометрии течения // Докл. Академии Наук. 2015. Т. 463. № 2. С. 149–151.

Метод Нюстрёма: повышение порядка точности разностными выражениями правой части

Р. А. Голубев

Сибирский федеральный университет

Институт вычислительного моделирования СО РАН

Email: roma_golubev1999@bk.ru

DOI: 10.24412/cl-35065-2022-1-02-21

В данной работе предлагаются новые методы высоких порядков точности, построенные на основе метода Нюстрёма [1]. Представленные методы имеют следующую алгоритмическую реализацию: для нахождения решения второго порядка используется метод Нюстрёма, а для получения решения произвольного четного порядка точности в схему Нюстрёма вносится поправка, выражающаяся через приближенное решение на два порядка ниже. Это решение получаем методом Рунге – Кутты соответствующего порядка. Для начала расчетов уточненной схемой необходимо также дополнительно задать начальное условие, которое мы численно получаем методом Рунге – Кутты необходимой точности.

В результате работы были получены численные методы произвольного четного порядка точности на основе метода Нюстрёма [1], выполнены вычислительные эксперименты, а также проведено теоретическое обоснование порядка сходимости представленных методов.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (код проекта 20-61-46017).

Список литературы

1. Хайпер Э., Нёрсетт С., Ваннер Г. Решение обыкновенных дифференциальных уравнений. Нежесткие задачи. М.: Мир, 1990.

Highly accurate algorithms for solving inverse scattering problems for the Manakov equations

N. I. Gorbenko¹

Institute of Computational Mathematics and Mathematical Geophysics SB RAS

Email: nikolay.gorbenko@sscc.ru

DOI: 10.24412/cl-35065-2022-1-00-13

We proposed a new numerical method for solving the inverse scattering problem for the Manakov equations based on solving the Gel'fand – Levitan – Marchenko system of equations. The existence and uniqueness of the solution of the GLM equations is proved. To approximate the integrals, quadrature formulas are used up to the fourth order of accuracy. The resulting system of equations is reduced to a system of equations only with unknowns necessary to determine the required potential. The algorithm allows to determine the potential independently for any point x from a given interval $0 \leq x \leq L$, which allows parallelization.

О моделировании цунами с помощью разрывных методов Галёркина на неструктурированной сеткеВ. С. Горшунов¹, В. К. Гусяков¹, В. П. Ильин^{1,2}, А. В. Петухов¹, Е. И. Роменский³¹Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН²Новосибирский государственный университет³Институт математики им. С. Л. Соболева СО РАН

Email:

DOI: 10.24412/cl-35065-2022-1-00-12

В работе рассматриваются разрывные методы Галёркина [1] решения двумерной начально-краевой задачи для системы нелинейных дифференциальных уравнений Сан-Венана теории мелкой воды [2], описывающей распространение волн цунами с учетом неравномерности рельефа дна, криволинейной конфигурации береговой линии и возможного наличия островов. На жесткой границе ставится условие непротекания, а на водной открытой границе расчетной области – условие безотражения. Пространственные аппроксимации строятся на треугольной неструктурированной сетке с помощью барицентрических функций тейлоровского типа [3] первого или второго порядков, а также приближенного решения задачи Римана [4] на сеточных ребрах. Численное интегрирование по времени осуществляется явно-неявными алгоритмами с применением схемы предиктор-корректор. Эффективность предложенных методов демонстрируется результатами численных расчетов на серии характерных методических задач.

Список литературы

1. Du H., Liu Yi., Liu Yu., Xu Z. Well-Balanced Discontinuous Galerkin Method for Shallow Water Equations with Constant Subtraction Techniques on Unstructured Meshes // J. of Scientific Computing. 2019, 81:2115–2131.
2. Марчук Ан. Г., Чубаров Л. Б., Шокин Ю. И. Численное моделирование волн цунами. Новосибирск: Наука, 1983.
3. Luo H., Baum J. D., Lohner R. A discontinuous Galerkin method using Taylor basis for computing shock waves on arbitrary grids // J. of Computational Physics 2008 v. 227, 8875–8893.
4. Dumbser M., Peshkov I., Romenski E., Zanotti O. High order ADER schemes for unified first order hyperbolic formulation of Newtonian continuum mechanics coupled with electro-dynamics // J. of Comput. Phys. 2017. V. 348. P. 298–342.

Исследование точности методов постобработки численных потоков при решении задач фильтрации

А. М. Гриф, Ю. Г. Соловейчик

Новосибирский государственный технический университет

Email: alexgrif@inbox.ru

DOI: 10.24412/cl-35065-2022-1-00-14

Рассмотрены два метода постобработки численных потоков, основанных на методе балансировки [1, 2] и методе проецирования [3]. Моделирование проводилось с использованием вычислительной схемы [4] на тестовых задачах, рассмотренных в работах [2, 3]. При решении задачи из работы [3] было получено, что оба метода постобработки дают схожие решения, что подтверждает корректность реализации обоих методов. Для анализа точности обоих методов было проведено моделирование месторождения простой структуры, включающего четыре скважины [2]. Для этой задачи при выполнении постобработки на скважинах не был фиксирован известный поток. Таким образом, фактически, эмулировалась ситуация, в которой на скважинах задано давление, и проверялось, с какой точностью рассматриваемые методы коррекции дают потоки на скважинах (поскольку в данном случае можно сравнить их с истинными). В результате погрешность для скважин при использовании метода балансировки составила менее 0,1 %, в то время как погрешность для метода проецирования составила около 10 %.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ (НИЛ "Моделирование и обработка данных наукоемких технологий", проект FSUN-2020-0012).

Список литературы

1. Персова М. Г., Соловейчик Ю. Г., Гриф А. М. Балансировка потоков на неконформных конечноэлементных сетках при моделировании многофазной фильтрации // Программная инженерия. 2021. Т. 12, № 9. С. 450–458.
2. Flow balancing in FEM modelling of multi-phase flow in porous media / M. G. Persova, Y. G. Soloveichik, A. M. Grif, I. I. Patrushev // Актуальные проблемы электронного приборостроения (АПЭП–2018): тр. 14 междунар. науч.-техн. конф., Новосибирск, 2–6 окт. 2018 г. : в 8 т. Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2018. Т. 1, ч. 4. С. 205–211.
3. Odsæter L.H., Wheeler M.F., Kvamsdal T., et al. Postprocessing of non-conservative flux for compatibility with transport in heterogeneous media // Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering. Elsevier B.V., 2017. V. 315. P. 799–830.
4. Soloveichik Y.G., Persova M.G., Grif A.M., et al. A method of FE modeling multiphase compressible flow in hydrocarbon reservoirs // Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering. Elsevier B.V., 2022. V. 390. P. 114468.

Рекурсивный поиск оптимизированного алгоритма умножения на постоянные матрицы

В. А. Дедок

Институт математики им. С. Л. Соболева Сибирского отделения Российской академии наук

Email: dedok@math.nsc.ru

DOI: 10.24412/cl-35065-2022-1-00-15

Во многих приложениях, в частности в задачах цифровой обработки сигналов (DSP) вычисления включают в себя умножения на постоянные коэффициенты. В оптимизационных целях такое тяжелое с вычислительной точки зрения умножение можно заменить на более легкие суммирование и побитовые сдвиги [1–2].

В работе предлагается алгоритм поиска оптимизированной последовательности действий для ускорения умножения на постоянную матрицу (СММ), проводится сравнение разработанного метода с классическим умножением и другими алгоритмами СММ.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИМ СО РАН (проект FWNF-2022-0009).

Список литературы

1. M. Kumm, M. Hardieck and P. Zipf, "Optimization of Constant Matrix Multiplication with Low Power and High Throughput," in IEEE Transactions on Computers. V. 66, no. 12. P. 2072–2080, 1 Dec. 2017.
2. Sarband, N.M., Gustafsson, O. & Garrido, M. Using Transposition to Efficiently Solve Constant Matrix-Vector Multiplication and Sum of Product Problems. J Sign Process Syst 92, 1075–1089 (2020).

Многосеточный метод решения трехмерных эллиптических краевых задач электропроводности в гиротропных средах

В. В. Денисенко, С. А. Нестеров

Институт вычислительного моделирования СО РАН

Email: denisen@icm.krasn.ru

DOI: 10.24412/cl-35065-2022-1-00-16

Для гиротропной среды оператор эллиптической краевой задачи электропроводности, традиционно формулируемой для электрического потенциала, несимметричен [1]. Для пары специальных потенциалов, скалярного и векторного, сформулирована краевая задача с симметричным положительно определенным оператором. Соответствующая энергетическая норма эквивалентна сумме энергетических норм, используемых для основных краевых задач для уравнения Пуассона. Доказана положительная определенность

симметричной матрицы, возникающей в рамках метода конечных элементов. Этими же свойствами обладают и матрицы, получающиеся при переходе на укрупненные сетки в многосеточном методе.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского научного фонда (грант № 22-27-00006).

Список литературы

1. Denisenko V.V. Statements of the boundary value problems in mathematical simulation of a quasistationary electric field in the atmosphere and ionosphere // J. of Physics: Conference Series 1715. 2021. Paper 012016.

Сравнение прямых и итерационных методов решения конечноэлементных СЛАУ в магнитотеллурических задачах с непроводящей подобластью

П. А. Домников, Ю. И. Кошкина

Новосибирский государственный технический университет

Email: p_domnikov@mail.ru

DOI: 10.24412/cl-35065-2022-1-00-22

Для моделирования трехмерных магнитотеллурических полей применялся векторный метод конечных элементов с ячейками из параллелепипедов и шестигранников [1]. Для исключения нуля-ядра rot-оператора в непроводящих областях применена технология деревьев-кодеревьев с исключением градиентных функций, соответствующих ядру rot-оператора [2]. Проведено исследование сходимости прямых и итерационных методов для систем конечноэлементных уравнений с матрицами низкого ранга, возникающих при конечноэлементной аппроксимации данных задач.

Была выполнена верификация разработанных программных модулей путем сравнения с результатами, приведенными в международном проекте COMMEMI [3].

Проведенные вычислительные эксперименты показали, что исключение градиентных функций в непроводящей области позволяет до 30 % уменьшить время решения конечноэлементной системы при использовании прямого метода решения СЛАУ.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (код проекта 21-71-00090).

Список литературы

1. Ю. Г. Соловейчик, М. Э. Рояк, М. Г. Персова. Метод конечных элементов для решения скалярных и векторных задач // Учеб. пособ. Сер.: Учебники НГТУ. Новосибирск: НГТУ, 2007. 899 с.

2. Dular P., Nicolet A., Genon A., Legros W. A discrete sequence associated with mixed finite elements and its gauge condition for vector potentials // IEEE Transactions on Magnetics. V. 31, no. 3, May 1995. P. 1356–1359.

3. Zhdanov M.S., Varentsov I.M., Weaver J.T., Golubev N.G., Krylov V.A. Methods for modelling electromagnetic fields. Results from COMMEMI – the international project on the comparison of modelling methods for electromagnetic induction // J. of Applied Geophysics. V. 37. 1997. p. 133–271.

Перестроение поверхностных треугольных сеток высокой детализации на основе алгоритма упрощения в Логос Аэро-Гидро

Е. О. Евстифеева

Российский федеральный ядерный центр — Всероссийский научно-исследовательский институт экспериментальной физики

Email: moskina_elen@mail.ru

DOI: 10.24412/cl-35065-2022-1-02-22

В настоящее время в ФГУП "РФЯЦ-ВНИИЭФ" ведется активная разработка пакета программ Логос Аэро-Гидро [1], предназначенного для подготовки, проведения и анализа результатов моделирования физических процессов для задач аэрогидродинамики. Подготовка дискретного представления

исходной модели для проведения инженерного анализа заключается в последовательном построении поверхностной и объемной сеток в препроцессоре Логос Аэро-Гидро.

Стандартный подход построения поверхностной треугольной сетки по модели в фасеточном представлении заключается в генерации сетки в пространстве \mathbb{R}^2 методом подвижного фронта для предварительно выделенных областей из треугольников - границ. Затем полученная сетка переносится в пространство \mathbb{R}^3 с помощью заданной функции отображения. Для моделей высокой детализации (более 1 млн ячеек) с достаточно нетривиальным описанием поверхности (с наличием скруглений, подгибов, небольших выступов, кромок) построение сетки стандартным подходом может занимать длительное время ввиду вычислительных особенностей низкоуровневых алгоритмов.

В докладе описан новый альтернативный подход к перестроению фасеточных моделей высокой детализации, для которых задан более крупный целевой размер ячеек. В основе разработанного подхода лежит алгоритм упрощения исходной поверхностной сетки, который выполняется до тех пор, пока длины ребер текущей сетки не будут соответствовать метрикам, предварительно вычисленным на исходной сетке с учетом кривизны поверхности и заданных пользователем размеров. После выполнения алгоритма упрощения производится поиск треугольников низкого качества и треугольников, не соответствующих заданным размерам, из них формируются отдельные области, которые затем перестраиваются с помощью стандартного подхода.

Как отмечено в докладе, разработанный подход к перестроению сеток высокой детализации эффективен по скорости. Представленные в заключении результаты демонстрируют, что итоговая сетка, построенная с помощью предложенного подхода, соответствует заданным пользователем размерам, а также сохраняет кривизну поверхности исходной модели и ее характерные особенности.

Список литературы

1. Козелков А. С., Лашкин С. В., Куркин А. А., Корнев А. В., Вялых А. М. Параллельная реализация метода SIMPLE на основе многосеточного метода // СибЖВМ. 2020. Т. 23, № 1. С. 1–22.

Численное дифференцирование функций с большими градиентами

А. И. Задорин

Институт математики имени С. Л. Соболева СО РАН

Email: zadorin@ofim.oscsbras.ru

DOI: 10.24412/cl-35065-2022-1-00-17

Рассматривается вопрос численного дифференцирования функций с большими градиентами. Предполагается, что для функции справедливо представление в виде суммы регулярной и погранслойной составляющих. Такое представление справедливо в силу декомпозиции Шишкина для решения сингулярно возмущенной задачи. Задача актуальна, так как применение классических формул численного дифференцирования на равномерной сетке может приводить к существенным погрешностям. Рассматривается два подхода: применение классических формул численного дифференцирования на сетках, сгущающихся в пограничном слое (сетках Бахвалова и Шишкина) и применение формул подгонки к погранслойной составляющей в случае равномерной сетки. Получены новые оценки погрешности, равномерные по погранслойной составляющей. При наличии экспоненциального пограничного слоя эти оценки равномерны по малому параметру. Работа продолжает исследования, результаты которых опубликованы в [1–2].

Работа выполнена в рамках государственного задания ИМ СО РАН, проект FWNF-2022-0016, и при частичной финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, проект № 20-01-00650.

Список литературы

1. Il'in V. P., Zadorin A. I. Adaptive formulas of numerical differentiation of functions with large gradients // J. of Physics: Conference Series. 2019. V. 1260, 042003.
2. Задорин А. И. Анализ формул численного дифференцирования на сетке Шишкина при наличии пограничного слоя // СибЖВМ. 2018. Т. 21, № 3. С. 243–254.

Однотемпературная неизотермическая фильтрация двухфазной жидкости в трещиновато-пористых средах

М. И. Иванов, И. А. Кремер, Ю. М. Лаевский

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН

Email: kremer@sscc.ru

DOI: 10.24412/cl-35065-2022-1-00-24

В работе представлена однотемпературная модель неизотермической фильтрации двухфазной жидкости в трещиновато-пористых средах. Такая модель включает двойной набор уравнений в порах и трещинах для суммарных скоростей и давлений в смешанном виде, а также переноса фаз жидкостей [1]. По аналогии с [2], в систему уравнений добавлен закон сохранения энергии, который записывается в терминах температуры и теплового потока, а зависимость динамической вязкости фаз жидкости от температуры задается формулой Вальтера. Для численного решения поставленной начально-краевой задачи используется расширение IMPES-схемы, суть которой заключается в комбинировании явно-неявных методов. На каждом шаге времени явным образом пересчитываются нелинейные зависимости и конвективные переносы масс и энергии, а для описания диффузионных изменений давлений и температуры используются неявные методы решений. Отметим, что задача для скоростей и давлений содержит одномерное ядро, которое следует учитывать в алгоритме ее решения [3]. Описанная схема реализована в 3D варианте, на примерах численных решений модельных задач обсуждаются свойства алгоритмов.

Список литературы

1. Ivanov M.I., Kremer I.A., Laevsky Yu.M. A Computational Model of Fluid Filtration in Fractured Porous Media // Num. Analysis and Appl. 2021. V. 14. № 2. P. 126–144. DOI: 10.1134/S1995423921020038.
2. M. I. Ivanov, I. A. Kremer, Yu. M. Laevsky, Schemes for solving filtration problem of a heat-conducting two-phase liquid in a porous medium // International conference Marchuk scientific readings 2021: Abstracts of the Intern. conf., October 4–8, 2021, Novosibirsk, DOI 10.24412/CL-35064-2021-022.
3. M. I. Ivanov, I. A. Kremer, Yu. M. Laevsky, Algorithm for the numerical solution of the pure Neumann problem in fractured porous media // International conference Marchuk scientific readings 2021: Abstracts of the Intern. conf., October 4–8, 2021, Novosibirsk, DOI: 10.24412/CL-35064-2021-020.

О методах bidiagonalization для решения несимметричных СЛАУ

В. П. Ильин¹, Д. И. Козлов^{1,2}, А. В. Петухов¹

¹*Институт вычислительной математики и математической геофизики*

²*Новосибирский государственный университет*

Email: ilin@sscc.ru

DOI: 10.24412/cl-35065-2022-1-02-24

Рассматриваются итерационные алгоритмы в подпространствах Крылова для решения несимметричных систем линейных алгебраических уравнений (СЛАУ) с большими разреженными матрицами, возникающими при аппроксимациях многомерных краевых задач с помощью конечных разностей, конечных объемов, конечных элементов и разрывных методов Галёркина различных порядков точности на неструктурированных сетках.

Конструируются методы сопряжённых невязок и минимальных ошибок на основе соответствующих процессов ортогонализации направляющих векторов с применением весовой bidiagonalization

Голуба – Кахана. Описываются алгоритмы с односторонним и двусторонним предобусловливанием СЛАУ. Исследуются обобщения метода bidiagonalization Голуба – Кахана – Ариоли для решения алгебраических систем с матрицами седлового типа, возникающими в актуальных задачах электромагнетизма, фильтрации и других приложениях. Обсуждаются вопросы масштабируемого распараллеливания средствами гибридного программирования на многопроцессорных вычислительных системах с распределенной и иерархической общей памятью.

The stability properties of symmetric multi-step methods in the predictor-corrector mode

E. D. Karepova, Yu. V. Shan'ko, I. R. Adaev

Institute of Computational Modeling SB RAS

Email: e.d.karepova@icm.krasn.ru

DOI: 10.24412/cl-35065-2022-1-00-19

The orbital motion is described by the system of second-order ordinary differential equations. J. Lambert and I. Watson proposed the symmetric methods [1], that possess a periodicity property when the product of the step-size and the angular frequency lies within a certain interval called the interval of periodicity. The numerical integration of orbit by the symmetric methods with the step-size from the interval of periodicity gives the longitude error which increases linearly, whereas the energy error remains roughly constant, which distinguishes symmetric methods from other one for the better.

The symmetric methods are not uniquely determined even if their order and explicitness are specified. We construct and investigate the high-order symmetric explicit and implicit methods in the "Predict-Evaluate-Correct-Evaluate" (PECE) mode. We propose a technology for testing the stability of predictor-corrector pairs and obtaining their intervals of periodicity or stability. Note that the symmetry is preserved only in the case when the order of the corrector is one greater than the order of the predictor, otherwise the pair should be examined for stability.

This work is supported by the Krasnoyarsk Mathematical Center and financed by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation in the framework of the establishment and development of regional Centers for Mathematics Research and Education (Agreement No. 075-02-2022-873).

References

1. J. D. Lambert, I. A. Watson. Symmetric Multistep Methods for Periodic Initial Value Problems // J. Inst. Maths Applics. 1976. V. 18. P. 189–202.

On convergence of shock-capturing schemes inside the shocks influence area

O. A. Kovyrkina^{1,2}, V. V. Ostapenko^{1,2}, V. F. Tishkin³

¹*Lavrentyev Institute of Hydrodynamics SB RAS*

²*Novosibirsk State University*

³*Keldysh Institute of Applied Mathematics RAS*

Email: olyana@ngs.ru

DOI: 10.24412/cl-35065-2022-1-00-20

We show that in the Nonlinear Flux Correction (NFC) schemes CABARETM [1] and WENO5 [2] (in contrast to the Rusanov scheme [3]), there is no local convergence of the difference solution inside the shock influence area when calculating the shallow water dam break problem. This is due to the fact that the numerical solutions obtained by these schemes have persistent oscillations inside the domain of a constant flow between a shock and a centered rarefaction wave. In this case, taking into account the Lax – Wendroff theorem [4], the numerical solutions obtained by the NFC schemes converge to the exact solution inside the shock influence area in the weak sense only.

The reported study was funded by RFBR and NSFC, project number 21-51-53012.

References

1. Kovyrkina O.A., Ostapenko V.V. Monotonicity of the CABARET scheme approximating a hyperbolic system of conservation laws // *Comput. Math. Math. Phys.* 2018. V. 58 (9). P. 1435–1450.
2. Jiang G.S., Shu C.W. Efficient implementation of weighted ENO schemes // *J. Comput. Phys.* 1996. V. 126. P. 202–228.
3. Rusanov V.V. Difference schemes of the third order of accuracy for the forward calculation of discontinuous solutions // *Dokl. Akad. Nauk SSSR.* 1968. V. 180. P.1303–1305.
4. Lax P.D., Wendroff B. Systems of conservation laws // *Commun. Pure Appl. Math.* 1960. V. 13 (2). P. 217–237.

Использование сеточно-характеристических методов в задачах железнодорожной безопасности транспорта

А. А. Кожемяченко, Е. А. Песня, А. В. Фаворская

Московский физико-технический институт

Email: anton-kozhemyachenko@yandex.ru

DOI: 10.24412/cl-35065-2022-1-00-21

Целью работы является исследование задач, связанных с железнодорожной безопасностью транспорта [1, 2] в условиях тяжеловесного и высокоскоростного движения на различных участках пути и применения в них сеточно-характеристического метода на структурированных сетках. Используя явные сеточно-характеристические методы, рассмотрено движение поезда по балластному и безбалластному мостовому полотну. В результате исследований были получены различные волновые картины и картины динамического распределения компонент тензора напряжений Коши при движении состава по железнодорожному пути, представленного в виде комбинации линейно-упругих сред [3]. Рассматривается конструирование неявного сеточно-характеристического метода первого и второго порядка [4] и возможность его применения для моделирования динамических процессов в акустической и изотропной линейно-упругой средах. В модельных постановках наблюдались как акустические волны с большой скоростью распространения, так и макроволны с малой скоростью распространения.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект № 20-71-10028).

Список литературы

1. В. Ю. Поляков, Д. Н. Тхань. Безопасность движения и динамические свойства мостового полотна на ВСМ. Вестник научно-исследовательского института железнодорожного транспорта. 2018. Т. 77, № 6. С. 357–363
2. В. Ю. Поляков, Д. Н. Тхань. Ударное взаимодействие колеса и рельса на мостах высокоскоростных магистралей. Интернет-журнал "Транспортные сооружения". 2019. № 1.
3. Новацкий В. Теория упругости. М.: Мир, 1975.
4. Kozhemyachenko A.A., Pesnya E., Favorskaya A.V. Application of Implicit Grid-Characteristic Methods for Modeling Wave Processes in Linear Elastic Media. In: Czarnowski I., Howlett R.J., Jain L.C. (eds) *Intelligent Decision Technologies. Smart Innovation, Systems and Technologies.* Springer, Singapore. 2021. V. 238.

Математическое моделирование протяженных электронно-оптических систем

А. Н. Козырев, В. М. Свешников

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН

Email: victor@lapasrv.sgcc.ru

DOI: 10.24412/cl-35065-2022-1-00-25

Математическое моделирование протяженных электронно-оптических систем с интенсивными пучками приводит к решению самосогласованной нелинейной задачи, включающей в себя расчет электрических и магнитных полей, траекторий заряженных частиц и объемного заряда. Под протяженной

понимается система, размер которой в направлении движения пучка намного больше поперечного размера. Применение традиционных вычислительных подходов к моделированию таких систем не дает удовлетворительных результатов. В настоящей работе предлагаются новые алгоритмы и технологии, направленные на повышение точности и снижение времени расчетов. Они основаны на методе декомпозиции области, который применяется в трех предназначениях. Во-первых, протяженная расчетная область разбивается на две подобласти: в первой из них формируется интенсивный пучок, а во второй – происходит его доускорение и транспортировка, "Сшивка" решений проводится альтернирующим методом Шварца. Во-вторых, в каждой из данных подобластей строится адаптивная квазиструктурированная локально-модифицированная сетка, состоящая из структурированных подсеток в подобластях, образованных в результате декомпозиции расчетной области. В-третьих, самосогласованная задача решается с выделением особенности путем введения приэмиттерной подобласти. В данной подобласти строится приближенное аналитическое решение, которое "сшивается" с численным решением в основной подобласти в итерационном процессе Бройдена. На примере модельной задачи о плоском диоде показана быстрая сходимость метода Бройдена. С помощью предлагаемых алгоритмов и технологий получены результаты моделирования сложной практической системы, которые дают хорошее совпадение с результатами натурных экспериментов.

Алгоритм третьего порядка точности решения неявных систем ОДУ

А. И. Левыкин^{1,2}, А. Е. Новиков³, Е. А. Новиков⁴

¹Новосибирский государственный университет

²Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН

Email: lai@osmf.sccc.ru

³Сибирский федеральный университет

Email: aenovikov@bk.ru

⁴Институт вычислительного моделирования СО РАН

Email: novikov@icm.krasn.ru

DOI: 10.24412/cl-35065-2022-1-02-43

В химической кинетике и в других важных приложениях возникает задача Коши для жесткой системы ОДУ неразрешенных относительно производной [1–3]. Построен пятистадийный L-устойчивый (m,k)-метод, предназначенный для решения неявных жестких систем ОДУ. На основе этого метода сформулирован алгоритм интегрирования переменного шага, допускающий замораживание матриц производных. Приведены результаты расчетов, подтверждающие эффективность нового алгоритма.

Список литературы

1. Hairer, E. Solving Ordinary Differential Equations II: Stiff and Differential-Algebraic Problems / E. Hairer, G. Wanner. Berlin : Springer-Verlag, 1996. 614 p.
2. Gear, C. W. Differential-algebraic equations index transformations // SIAM J. Sci. Stat. Comput. 1988. Vol. 9, № 1. P. 39–47.
3. Левыкин А. И. A Study of (m,k)-Methods for Solving Differential-Algebraic Systems of Index 1 / Е. А. Новиков // Communication on Computer and Information Science, Springer Int. Publishing, 2015. V. 549. P. 94–107.

Использование треугольного разложения для решения вырожденных СЛАУ

В. Н. Лутай

Южный федеральный университет

Email: vlutay@mail.ru

DOI: 10.24412/cl-35065-2022-1-00-27

Рассматривается алгоритм получения нормального псевдорешения СЛАУ с сингулярной матрицей. Матрица системы представляется как произведение трех матриц, две из которых являются прямоугольными и формируются на основе треугольных матриц, полученных при разложении. В качестве последнего применяется LU или разложение Холецкого с увеличением отдельных диагональных элементов треугольных матриц в процессе вычисления [1]. Вектор решения, получаемый при обратном ходе треугольного разложения, корректируется псевдообратными матрицами, полученными при инверсии прямоугольных методом Гревилля [2]. Если матрица СЛАУ симметричная, то достаточно псевдоинверсии только одной прямоугольной матрицы.

Список литературы

1. Лутай В. Н. Повышение устойчивости треугольного разложения плохо обусловленных матриц // СибЖВМ. № 4. 2019. Т. 22.
2. Альберт А. Регрессия, псевдоинверсия и рекуррентное оценивание: пер. с англ. М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1977.

Переменный шаг в стабилизированных явных методах типа Адамса

А. В. Мойса

Белорусский государственный университет

Email: andrey.moysa@gmail.com

DOI: 10.24412/cl-35065-2022-1-00-28

В работе [1] представлены явные многошаговые методы типа Адамса с расширенным интервалом устойчивости для численного решения жестких начальных задач. Эти методы, как и явные стабилизированные чебышевские методы типа Рунге – Кутты, имеют вытянутую вдоль вещественной оси область устойчивости, и заметно больший (в сравнении с классическими явными методами Адамса) интервал устойчивости. Также в статье показана необходимость демпфирования таких методов для решения более широкого класса задач, однако процедура демпфирования проведена только для методов первого порядка.

В докладе представлены демпфированные методы высоких порядков, а также предложен вариант реализации переменного шага в явных многошаговых методах типа Адамса с расширенным интервалом устойчивости. Приводятся результаты вычислительных экспериментов и сравнение с известными методами, применяемыми для рассматриваемого класса задач.

Список литературы

1. Репников В. И., Фалейчик Б. В., Мойса А. В. Стабилизированные явные методы типа Адамса // Журнал Белорусского государственного университета. Математика. Информатика. 2021. 2 : 82–98.

Краевые условия на зонах перфорации скважин при моделировании нефтедобычи с использованием технологии закачки газа

А. С. Овчинникова, М. Г. Персова, Ю. Г. Соловейчик

Новосибирский государственный технический университет

Email: ovchinnikova.2014@stud.nstu.ru

DOI: 10.24412/cl-35065-2022-1-00-29

Рассматривается подход к моделированию многофазных потоков в нефтяном коллекторе со скважинами, закачивающими заданную массу сжимаемых фаз, например газа. Подход основан на неявном расчете давления с использованием метода конечных элементов и явном расчете насыщенностей фаз. При закачке сжимаемых фаз закачиваемый объем неизвестен, так как он зависит от давления. Для учета соответствующего краевого условия необходим итерационный процесс. Для ускорения сходимости данного процесса предлагается использовать линеаризацию зависимости изменения объема закачиваемой фазы от давления в правой части краевых условий на зоне перфорации скважины.

Для обеспечения корректного распределения давления вдоль скважин предлагается использовать процедуру выравнивания давления, в основе которой лежат специальные краевые условия, обеспечивающее как выполнение заданной закачки массы, так и равномерное распределение давления вдоль скважин с учетом гидростатического давления.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ (проект № FSUN-2020-0012).

Методы предобусловливания, основанные на остовных деревьях

Г. А. Омарова, Д. В. Первозкин

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН

Email: foxillys@gmail.com

DOI: 10.24412/cl-35065-2022-1-00-30

В данной работе продолжено исследование метода предобусловливания для СЛАУ с симметричными положительно определенными матрицами, предложенного в [1] и более подробно исследованного в [2]. Основной идеей метода является построение остовного дерева графа матрицы с последующей его модификацией и построением на его основе предобусловливающей матрицы. Авторами рассмотрены варианты, позволяющие предобусловливание СЛАУ с произвольными матрицами, в том числе с несимметричным портретом. Проведено исследование применимости таких предобусловливателей к широкому классу СЛАУ на основе коллекции SuiteSparse [3].

Список литературы

1. Pravin M. Vaidya. Solving linear equations with symmetric diagonally dominant matrices by constructing good preconditioners. Unpublished manuscript. A talk based on the manuscript was presented at the IMA Workshop on Graph Theory and Sparse Matrix Computation, October 1991, Minneapolis.
2. Chen D, Toledo S. Implementation and evaluation of Vaidya's preconditioners. Preconditioning 2001. 2001.
3. SuiteSparse Matrix Collection. URL: <https://sparse.tamu.edu/> (дата обращения: 30.05.2022).

Исследование метода оптимизации нефтедобычи на модельной задаче разработки месторождения высоковязкой нефти разными способами заводнения

И. И. Патрушев, М. Г. Персова

Новосибирский государственный технический университет

Email: patrushev@ami.nstu.ru

DOI: 10.24412/cl-35065-2022-1-00-31

Рассматривается задача оптимизации процессов разработки нефтяных месторождений при различных способах заводнения, в том числе с закачкой ПАВ-полимеров. В основе метода оптимизации лежит математическая модель управления разработкой, базирующаяся на специальной параметризации плана работы скважин, использовании цифровых моделей месторождений [1] и численного моделирования многофазной фильтрации [2]. На модельной задаче проведено ретроспективное моделирование разработки месторождения высоковязкой нефти. По генерируемым синтетическим данным, полученным в условном "прошлом", построена цифровая модель. Прогнозы нефтедобычи по оптимизированным планам разработки для полученной модели отличаются от соответствующих расчетов для истинной модели не более 1 %.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ в рамках проекта FSUN-2020-0012.

Список литературы

1. Persova M.G., Soloveichik Y.G., Vagin D. V., et al. The design of high-viscosity oil reservoir model based on the inverse problem solution // *J. of Petroleum Science and Engineering*. 2021. V. 199. Art. 108245.
2. Soloveichik Y.G., Persova M.G., Grif A.M., et al. A method of FE modeling multiphase compressible flow in hydrocarbon reservoirs // *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*. 2022. V. 390. Art. 114468.

Linear, quasi-monotonous and hybrid grid-characteristic schemes for one-dimensional acoustic equations

I. B. Petrov, V. I. Golubev, E. K. Guseva

Moscow Institute of Physics and Technology

Email: guseva.ek@phystech.edu

DOI: 10.24412/cl-35065-2022-1-00-32

For the correct simulation of wave processes in heterogeneous media numerical schemes must provide two main features: relatively high approximation order and monotonicity. In [1] Kholodov expound the grid-characteristic monotonicity criteria and applied it to several spatial stencils, including five-point stencil. In [1, 2] linear and quasi-monotonous schemes on two stencils, containing five and six points, were built. In [3] hybrid schemes on these stencils were considered and applied to the direct seismic problem. We continue the research by investigating a wider seven-point stencil. Fifth approximation order linear scheme, quasi-monotonous and hybrid schemes were constructed. Their behavior was checked on the system of one-dimensional acoustic equations and the contact between two media. The system of equations was solved using grid-characteristic method.

This work was carried out with the financial support of the Russian Science Foundation, project no. 21-71-10015.

References

1. Kholodov A. S., Kholodov Ya. A. Monotonicity criteria for difference schemes designed for hyperbolic equations // *Comput. Math. Math. Phys.* 2006. V. 46. P. 1560–1588.
2. Kholodov A. S. The construction of difference schemes of increased order of accuracy for equations of hyperbolic type // *Comput. Math. Math. Phys.* 1980. V. 20 (6). P. 234–253.

3. Petrov I.B., Golubev V.I., Guseva E.K. Hybrid Grid-Characteristic Schemes for Arctic Seismic Problems. Dokl. Math. 2021. V. 104. P. 374–379.

Математическая модель роста опухоли с учетом деформации внеклеточного матрикса

В. Б. Погосян, М. А. Токарева, А. А. Папин

Алтайский государственный университет

Email: vardan.pogosyn@yandex.ru

DOI: 10.24412/cl-35065-2022-1-00-33

На основе теории смесей рассматривается математическая модель биологической ткани, которая состоит из экстрацеллюлярного матрикса, клеток и жидкости [1–4]. Предполагается, что внеклеточный матрикс представляет собой пористую среду, внутри которой происходит фильтрация клеток и внеклеточной жидкости. В общем случае учитываются фазовые переходы, а также учтено потребление кислорода тканью. Исходная математическая модель сводится к двум уравнениям: уравнению первого порядка для пористости и нелинейному параболическому вырождающемуся на решении уравнению второго порядка для насыщенности клеток. Проведено численное и аналитическое исследование начально-краевой задачи для полученных уравнений.

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования РФ по теме "Современные методы гидродинамики для задач природопользования, промышленных систем и полярной механики" (код проекта FZMW-2020-0008).

Список литературы

1. Нигматулин, Р. И. Динамика многофазных сред. Ч. 1. М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1987. 464 с.
2. Astanin S., Tosin. A. Mathematical model of tumor cord growth along the source of nutrient // Math. Model. Nat. Phenom., 2007 V. 2, N 3. P. 153–177.
3. Папин А. А., Токарева М. А. Математические модели механики неоднородных сред. Часть 2: пороупругие среды, вопросы разрешимости. Барнаул: Изд-во Алтайского государственного университета, Барнаул. 2021. 190 с.
4. Graziano, L., Preziosi, Luigi, Mollica, Francesco, Rajagopal, K.R. Modeling of Biological Materials. Mechanics in tumor growth., 2007. P. 263–321.

Сравнительный анализ алгоритмов переупорядочивания матрицы для прямого разреженного решателя NovoMath

С. Г. Пудов¹, Д. М. Берлизов²

¹*Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН*

²*Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики*

Email: pudov@ngs.ru¹, sillyhat34@gmail.com²

DOI: 10.24412/cl-35065-2022-1-00-34

Многие популярные прямые разреженные решатели СЛАУ, такие как PARDISO и MUMPS, имеют более чем 20-летнюю историю развития и теперь вынуждены подстраиваться под современные вычислительные системы, что не всегда является возможным, учитывая устаревшую архитектуру приложений. Основываясь на идеях, используемых в PARDISO, разрабатывается прямой разреженный решатель нового поколения NovoMath DSS, в архитектуру которого изначально закладывается использование возможностей современных вычислительных систем с большим числом потоков и потенциальное применение на гетерогенных архитектурах. Особое внимание необходимо уделить подбору современного параллельного алгоритма переупорядочивания матриц.

Алгоритмы переупорядочивания не только обеспечивают разумное количество ненулевых элементов в разложении разреженных матриц, но и формируют структуры для эффективного блокирования элементов и распараллеливания процессов факторизации и решения. В работе экспериментально исследуются несколько наиболее популярных алгоритмов переупорядочивания разреженных матриц: Metis, MORSy и SymAMD на задаче разложения Холецкого для симметричных разреженных матриц и известной коллекции матриц SparseSuite. Приводятся сравнительные результаты по времени работы алгоритмов и по качеству переупорядочивания матриц с точки зрения как числа ненулевых элементов в LL^t разложении, так и по эффективности распараллеливания и блокирования.

Решение интегральных уравнений Фредгольма 1-го рода с негладкими ядрами методом Галёркина

А. О. Савченко

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН

Email: savch@ommfao1.sccc.ru

DOI: 10.24412/cl-35065-2022-1-02-28

При решении интегральных уравнений Фредгольма 1-го рода с негладкими ядрами методом Галёркина существенное значение приобретает точность аппроксимации используемых в методе интегралов квадратурными формулами. Применение квадратурных формул Ньютона – Котеса и Гаусса не позволяет получить хорошего приближения численного решения задач с особенностью в ядре интегрального уравнения к точному решению.

В докладе рассмотрены решения интегральных уравнений для сингулярных ядер и для ядер, имеющих разрыв производной. В качестве базисных функций выбраны многочлены Чебышева 1-го рода.

Для решения задач с сингулярными ядрами использованы квадратуры для интегралов от произведения функций, при условии возможности нахождения интеграла и первого момента от сингулярной функции аналитически.

При решении задачи с ядром, имеющим разрыв производной в точке внутри отрезка интегрирования, производится декомпозиция этого отрезка на два отрезка, имеющих общую точку в точке разрыва производной. Для приближенного вычисления интеграла по внутренней переменной, определяющего элементы матрицы метода Галёркина, используется составная квадратурная формула Симпсона, а для интегрирования по другой переменной применяется формула Гаусса.

Численные эксперименты иллюстрируют хорошее приближение численного решения к точному при решении данного класса задач с использованием предложенных квадратур. Решены задачи определения плотности заряда эллипсоидального проводника во внешнем осесимметричном электрическом поле, и нахождения плотности тока шарового сверхпроводника во внешнем осесимметричном магнитном поле. Применение предложенных численных алгоритмов улучшает точность приближенного решения этих задач, полученных в других работах.

Исследования выполнены в рамках государственного задания ИВМиМГ СО РАН (0251-2021-0001).

О численном решении линейных дифференциально-алгебраических систем аддитивными разностными схемами

С. В. Свинина

Институт динамики систем и теории управления им. В. М. Матросова СО РАН

Email: svinina@icc.ru

DOI: 10.24412/cl-35065-2022-1-00-35

В докладе рассматриваются линейные многомерные дифференциально-алгебраические системы. Такие системы объединяют в себе уравнения в частных производных, обыкновенные дифференциальные уравнения и алгебраические соотношения. Дифференциально-алгебраическую систему, как и в классическом случае, записывают в расщепленном виде, для которого строится цепочка одномерных разностных схем [1, 2]. В одном случае используется трехслойная четырехточечная разностная схема, а в другом сплайн-коллокационный метод. В обоих случаях разностные схемы имеют первый порядок точности по временной переменной и более высокий порядок точности по пространственным переменным. В докладе приводятся результаты проведенного исследования.

Работа выполнена в рамках базового проекта № 121041300060-4 "Теория и методы исследования эволюционных уравнений и управляемых систем с их приложениями".

Список литературы

1. Самарский А. А. Введение в теорию разностных схем. М.: Наука, 1971.
2. Вабищевич П. Н. Аддитивные операторно-разностные схемы (схемы расщепления). М.: КРАСАНД, 2013.

Применение метода дискретных скоростей для расчета разлета разреженного газа в задачах импульсного испарения в вакуум

В. А. Титарев¹, А. А. Морозов²

¹*Федеральный исследовательский центр "Информатика и управление" РАН*

²*Институт теплофизики им. С. С. Кутателадзе СО РАН*

Email: vladimir.titarev@frccsc.ru¹, morozov@itp.nsc.ru²

DOI: 10.24412/cl-35065-2022-1-00-36

Процесс импульсного испарения с твердой поверхности, вызванный наносекундным лазерным облучением, в фоновый газ низкого давления находит свое применение во многих современных технологиях [1]. В приложениях требуется построить картину течения на временах, равных сотням или тысячам времен испарения. Аккуратное моделирование данного течения требует учета эффектов разреженности, что делает численный расчет процесса разлета газового облака в окружающее пространство вследствие испарения трудной задачей вычислительной механики жидкости и газа.

В настоящей работе представлена модификация метода дискретных скоростей решения кинетического уравнения БГК [2] в приложении к задаче моделирования процесса импульсного испарения в вакуум. Основные отличия от стандартного метода [3] состоят в использовании подвижной сетки в физическом пространстве [4] и адаптивной неструктурированной скоростной сетки для расчета средних энергий молекул и времяпролетных распределений [5]. Последнее включает в использование неструктурированных скоростных сеток с выделением тонких конусов с углами раствора менее 1 градуса.

Расчеты проводятся для кинетической модели с помощью параллельного кода "Несветай" [3, 4, 6], разрабатываемого первым автором. В докладе будет представлено сравнение результатов решения кинетического уравнения с результатами метода прямого статистического моделирования [7]. Расчеты

методом ПСМ проводились вторым автором с помощью собственного кода LasInEx, который много лет используется для решения задач наносекундной абляции и многократно верифицирован [3, 4, 8, 9].

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект 22-11-00078). Вычисления проводились на собственном кластере ЦКП "Информатика" ФИЦ ИУ РАН и суперкомпьютерах РСК Торнадо, установленных в МСЦ РАН.

Список литературы

1. Eason R. (Ed.). Pulsed laser deposition of thin films: applications-led growth of functional materials. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, 2007.
2. Bhatnagar P. L., Gross E.P., Krook M. A model for collision processes in gases. I. Small amplitude processes in charged and neutral one-component systems // Physical Review. 1954. V. 94. № 3. P. 511–525.
3. Титарев В. А. Применение кода Несветай к решению трехмерных задач высотной аэродинамики // ЖВМиМФ. Спецвыпуск по случаю 90-летия академика С. К. Годунова. 2020. V. 60. № 4. С. 752–764.
4. V. A. Titarev, A. A. Morozov. Arbitrary Lagrangian-Eulerian discrete velocity method with application to laser-induced plume expansion // Applied Mathematics and Computation, 2022. V. 429. P. 127241.
5. A. A. Morozov, A. A. Frolova, V. A. Titarev. On different kinetic approaches for computing planar gas expansion under pulsed evaporation into vacuum // Phys. Fluids. 2020. V. 32. 112005.
6. Титарев В. А. Программный комплекс моделирования трехмерных течений одноатомного разреженного газа Несветай-3Д. Св-во о гос. регистрации программы для ЭВМ 20176616295 от 06.06.2017.
7. Берд Г. Молекулярная газовая динамика. М.: Мир, 1981.
8. Morozov A. A. Interpretation of time-of-flight distributions for neutral particles under pulsed laser evaporation using direct Monte Carlo simulation // J. Chem. Phys. 2013. V. 139. P. 234706.
9. Morozov A. A., Starinskiy S. V., Bulgakov A. V. Pulsed laser ablation of binary compounds: effect of time delay in component evaporation on ablation plume expansion // J. Phys. D: Appl. Phys. 2021. V. 54. P. 175203.

Сравнение эффективности численных методов для решения системы трехмерных нестационарных нелинейных уравнений, описывающих лазеро-индуцированную полупроводниковую плазму

В. А. Трофимов¹, М. М. Логинова², В. А. Егоренков²

¹Южно-китайский технологический университет, Гуанчжоу (Китай)

²Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова

Email: mloginova@cs.msu.ru

DOI: 10.24412/cl-35065-2022-1-00-37

Исследование посвящено сравнению эффективности численных методов для решения задачи прохождения оптического импульса через полупроводник в трехмерной постановке. Процесс описывается системой дифференциальных уравнений в частных производных, включающей в себя нестационарные уравнения относительно концентраций заряженных частиц, уравнение Пуассона относительно светоиндуцированного электрического поля полупроводника и уравнения, описывающего изменения интенсивности оптического импульса. Нелинейная обратная связь между функциями системы обуславливает возможность реализации явления оптической бистабильности. В настоящее время одним из основных подходов для решения трехмерных нелинейных задач является метод стабилизирующей поправки, предложенный в [1, 2]. Нами предложен альтернативный вариант – оригинальный трехэтапный итерационный процесс для реализации консервативной разностной схемы, построенный на основе неявной конечно-разностной схемы типа Кранка – Николсона [3]. Преимуществами предложенного итерационного процесса является его экономичность, а также консервативность на итерациях и обеспечение

асимптотической устойчивости численного метода. Сравнение методов проводится на основе результатов компьютерного моделирования.

Список литературы

1. Douglas J., Rachford H. H. On the numerical solution of heat conduction problems in two and three space variables // Transactions of the American mathematical Society. 1956. V. 82 (2). P. 421–439.
2. Douglas J. Alternating direction methods for three space variables // Numerische Mathem. 1962. V. 4 (1). P. 41–63.
3. Trofimov V. A., Loginova M. M., Egorenkov V. A. Conservative finite-difference scheme for computer simulation of contrast 3D spatial-temporal structures induced by a laser pulse in a semiconductor // Mathematical Methods in the Applied Sciences. 2020. V.43 (7). P. 4895–4917.

Реализация критерия адаптации в технологии построения сеток для конструкций, ограниченных поверхностями вращения с параллельными осями вращения

О. В. Ушакова

Институт математики и механики им. Н. Н. Красовского УрО РАН

Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б. Н. Ельцина

Email: uov@imm.uran.ru

DOI: 10.24412/cl-35065-2022-1-00-38

Описывается реализация критерия адаптации в технологии [1] построения трехмерных структурированных сеток, предназначенной для численного решения дифференциальных уравнений, моделирующих вихревые процессы многокомпонентной гидродинамики [2]. Ранее критерий был реализован для адаптации под заданную функцию в объемах вращения [3] и в объемах вращения, деформированных другими объемами вращения [4]. Критерий реализован в рамках вариационного подхода построения оптимальных сеток [5], удовлетворяющих критериям близости сетки к равномерной, ортогональной и адаптирующейся под заданную функцию. Приводятся примеры расчетов сеток.

Список литературы

1. Anuchina A. I., Artyomova N. A., Gordeychuk V. A., and Ushakova O. V. A Technology for Grid Generation in Volumes Bounded by the Surfaces of Revolutions // Numerical Geometry, Grid Generation and Scientific Computing, V. A. Garanzha et al. (eds.), Lecture Notes in Computational Science and Engineering. 2019. V. 131. P. 281–292.
2. Anuchina N. N., Volkov V. I., Gordeychuk V. A., Es'kov N. S., Ilyutina O. S., Kozyrev O. M. Numerical simulation of 3D multi-component vortex flows by MAH-3 code // Advances in Grid Generation. ed by Ushakova O. V. Novascience Publishers. 2007.
3. Anuchina A. I., Artyomova N. A., Gordeychuk V. A., Ushakova O. V. On the development of the grid generation technology for constructions bounded by the surfaces of revolutions // AIP Conference Proceedings. 2020. Vol. 2312.
4. Artyomova N. A., Ushakova O. V. About grid generation in constructions bounded by the surfaces of revolution // J. of Physics: Conference Series 2099 (2021).
5. Khairullina O. B., Sidorov A. F., and Ushakova O. V. Variational methods of construction of optimal grids // Handbook of Grid Generation. Thompson J. F., Soni B. K., and Weatherill N. P., eds. Boca Raton, London, New York, Washington, D. C.: CRC Press, 1999. P.36-1–36-25.

Численное решение задач сейсмической разведки совместно сеточно-характеристическим методом и разрывным методом Галеркина

А. В. Фаворская, И. Б. Петров

Московский физико-технический институт

Email: aleanera@yandex.ru

DOI: 10.24412/cl-35065-2022-1-02-23

Доклад посвящен разработке комбинированного численного метода для решения задач о распространении сейсмических волн в гетерогенных геологических средах с криволинейными контактными

границами и с учетом сложной формы дневной поверхности. При этом вблизи криволинейных контактных границ и верхней границы области интегрирования используется разрывный метод Галеркина на неструктурированных треугольных (тетраэдральных) сетках [1], а в остальных частях области интегрирования применяется сеточно-характеристический метод на структурированных расчетных сетках [2] с целью минимизации затрат вычислительных ресурсов. Приведены результаты решения предложенным комбинированным методом начально краевой задачи упругого волнового уравнения [3] как в двумерных, так и в трехмерных постановках. Рассматриваются различные варианты комбинирования рассматриваемых численных методов и особенности выбора самого оптимального из них также как для двумерного, так и для трехмерного случаев. Верификация предложенного численного метода проводилась путем сравнения с использованием сеточно-характеристического метода на криволинейных расчетных сетках [4].

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект № 20-71-10028).

Список литературы

1. Dumbser M., Kaser M. An arbitrary high-order discontinuous Galerkin method for elastic waves on unstructured meshes – II. The three-dimensional isotropic case // *Geophys. J. Intern.* 2006. V. 167, № 1. P. 319–336.
2. Favorskaya A. V., Zhdanov M. S., Khokhlov N. I., Petrov I. B. Modelling the wave phenomena in acoustic and elastic media with sharp variations of physical properties using the grid-characteristic method // *Geophys. Prospecting.* 2018. V. 66, № 8. P. 1485–1502.
3. Новацкий В. Теория упругости. М.: Мир, 1975.
4. Favorskaya A. V., Khokhlov N. I., Petrov I. B. Grid-characteristic method on joint structured regular and curved grids for modeling coupled elastic and acoustic wave phenomena in objects of complex shape // *Lobachevskii J. of Math.* 2020. V. 41, № 4. P. 512–525.

О реализации ажурных схем МКЭ

Д. Т. Чекмарев, Абу Даввас Яссер

*Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет
им. Н. И. Лобачевского*

Email: 4ekm@mm.unn.ru

DOI: 10.24412/cl-35065-2022-1-00-39

Рассматриваются способы решения ряда алгоритмических проблем при реализации ажурных схем МКЭ (схем на базе 4-узлового гексаэдрического конечного элемента) [1]. Данные схемы имеют на одинаковых сетках по сравнению с традиционными схемами, построенными на базе линейных конечных элементов, в 5 раз меньше расчетных элементов и в 2 раза меньше расчетных (основных) узлов. Узлы в ажурных схемах делятся на 2 класса – основные, относительно которых решается система уравнений, и вспомогательные, имеющие более ограниченное применение, в частности, для графического вывода решений и задания поверхностных нагрузок. Сетка конечных элементов ажурной схемы представляет из себя двудольный граф. Рассматриваются алгоритмы выделения долей данного двудольного графа и восстановления значений неизвестных во вспомогательных узлах сетки.

Список литературы

1. Spirin S. V., Chekmarev D. T. and Zhidkov A. V. Solving the 3D Elasticity Problems by Rare Mesh FEM Scheme Finite Difference Methods, Theory and Applications // *Lect. Notes in Comput. Sci.* 2015. Vol. 9045. P. 379–384.

Лагранжево-эйлеров подход к построению численного метода решения уравнения неразрывностиО. М. Чередниченко¹, В. В. Шайдуров^{1,2}¹*Сибирский федеральный университет*²*Институт вычислительного моделирования СО РАН*

Email: ocherednichenko@sfu-kras.ru

DOI: 10.24412/cl-35065-2022-1-00-40

В работе рассматривается уравнение неразрывности, выражающее закон сохранения квадрата некоторой исследуемой величины. Используется неравномерная по пространству сетка. Для аппроксимации дифференциального оператора используется интегро-интерполяционный метод, применяемый на области, ограниченной характеристическими траекториями уравнения и прямыми линиями по времени. Полученная численная схема обладает свойством консервативности. Приведены результаты вычислительных экспериментов, подтверждающих второй по пространству и первый по времени порядок сходимости. Полученная аппроксимация дифференциального оператора может быть адаптирована для численного решения дифференциального уравнения в частных производных параболического типа.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 20-01-00090).

Список литературы

1. Калиткин Н. Н. Численные методы. СПб.: БХВ-Петербург, 2011.

2. Shaidurov V. V., Vyatkin A. V., Kuchunova E. V. Semi-Lagrangian difference approximations with different stability requirements // RJNAMM. 2018. V. 33, № 2. P. 123–135.

Experimental convergence rate study for shock-capturing schemesS. Chu¹, O. A. Kovyrkina^{2,3}, A. Kurganov¹, V. V. Ostapenko^{2,3}.¹*Southern University of Science and Technology, Shenzhen, China*²*Lavrentyev Institute of Hydrodynamics SB RAS*³*Novosibirsk State University*

Email: olyana@ngs.ru

DOI: 10.24412/cl-35065-2022-1-00-42

We use the method proposed in [1] to study the experimental convergence rates of three shock-capturing schemes for hyperbolic systems of conservation laws: the second-order finite volume central-upwind (CU) scheme [2], the third-order finite-difference Rusanov scheme [3] and the fifth-order finite-difference alternative weighted essentially non-oscillatory (A-WENO) scheme [4]. We show that in the shock influence domain, the scheme orders of the integral and local convergence reduce to the first one for the CU and A-WENO schemes, and to the second one for the Rusanov scheme. We demonstrate this on two numerical examples.

The reported study was funded by RFBR and NSFC, project number 21-51-53012 (RFBR) and 1201101343 (NSFC).

References

1. Kovyrkina O.A., Ostapenko V. V. On the convergence of shock capturing difference schemes // Dokl. Math. 2010. V. 82 (1). P. 599–603.

2. Kurganov A., Lin C.-T. On the reduction of numerical dissipation in central-upwind schemes // Commun. Comput. Phys. 2007. V. 2 (1). P. 141–163.

3. Rusanov V. V. Difference schemes of the third order of accuracy for the forward calculation of discontinuous solutions // Dokl. Akad. Nauk SSSR. 1968. V. 180. P.1303–1305.

4. Wang B.-S., Don W. S., Garg N. K., Kurganov A. Fifth-order A-WENO finite-difference schemes based on a new adaptive diffusion central numerical flux // *SIAM J. Sci. Comput.* 2020. V. 42. P. A3932–A3956.

Different convergence types of shock-capturing schemes

S. Chu¹, V. A. Kolotilov^{2,3}, A. Kurganov¹, V. V. Ostapenko^{2,4}, N. A. Khandeeva^{2,4}

¹*Southern University of Science and Technology, Shenzhen (China)*

²*Novosibirsk State University*

³*Khristianovich Institute of Theoretical and Applied Mechanics SB RAS*

⁴*Lavrentyev Institute of Hydrodynamics SB RAS*

Email: kolotilov1992@gmail.com

DOI: 10.24412/cl-35065-2022-1-00-43

We experimentally study different convergence types of four shock-capturing schemes for Euler equations of gas dynamics: the second-order finite-volume central-upwind (CU) scheme [1], the second-order balance-characteristic CABARETM scheme [2], the third-order finite-difference Rusanov scheme [3], and the fifth-order finite-difference alternative weighted essentially non-oscillatory (A-WENO) scheme [4]. We show that unlike the Rusanov scheme, the studied nonlinear flux correction based schemes (CU, CABARETM and A-WENO schemes), may converge inside the shock influence area in the weak sense only.

The reported study was funded by RFBR and NSFC, project number 21-51-53012 (RFBR) and 1201101343 (NSFC).

References

1. Kurganov A., Lin C.-T. On the reduction of numerical dissipation in central-upwind schemes // *Commun. Comput. Phys.* 2007. V. 2 (1). P. 141–163.
2. Ostapenko V. V., Kolotilov V. A. Application of the CABARET Scheme for Calculating Discontinuous Solutions of a Hyperbolic System of Conservation Laws // *Dokl. Math.* 2021. V. 504 (9). P. 369–373.
3. Rusanov V. V. Difference schemes of the third order of accuracy for the forward calculation of discontinuous solutions // *Dokl. Akad. Nauk SSSR.* 1968. V. 180. P.1303–1305.
4. Wang B.-S., Don W. S., Garg N. K., Kurganov A. Fifth-order A-WENO finite-difference schemes based on a new adaptive diffusion central numerical flux // *SIAM J. Sci. Comput.* 2020. V. 42. P. A3932–A3956.

Быстрое решение трехмерного уравнения Гельмгольца на адаптированных сетках

Н. Б. Явич^{1,2}, В. И. Голубев², М. С. Маловичко², Н. И. Хохлов²

¹*Сколковский институт науки и технологий*

²*Московский физико-технический институт*

Email: n.yavich@skoltech.ru

DOI: 10.24412/cl-35065-2022-1-00-44

В данной работе предлагается эффективный метод решение трехмерного уравнения Гельмгольца на сетках, адаптированных к заданной поверхности. Подобная задача встречается во многих приложениях, однако, наш первичный интерес связан с поисковой геофизикой. В этом случае поверхностью является морское дно.

Для дискретизации уравнения используются гексаэдральная сетка, адаптированная к поверхности. Далее применяется конечно-элементная аппроксимация. Для возникающей большой разреженной матрицы системы алгебраических уравнений строится специальный предобусловливатель, использующий, в частности, быстрое синус-преобразование. Это обобщение ранее опубликованных методик [1–2]. Численные примеры показывают высокую эффективность построенного предобусловливателя: небольшое

число итераций в сочетании с низкой арифметической сложностью и применимость к реальному геофизическому моделированию. В качестве примера был взят рельеф участка дна Черного моря, а распределение скорости звука – из стандартных сейсмических моделей [3].

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (код проекта 21-1100139).

Список литературы

1. Yavich N., Khokhlov N., Malovichko M., Zhdanov M. Contraction operator transformation for the complex heterogeneous Helmholtz equation // Computers & Mathematics with Applications. 2021. V. 86. P. 63–72.
2. Yavich N., Zhdanov M. Finite-element EM modelling on hexahedral grids with an FD solver as a preconditioner // Geophysical J. International. 2020. V. 223 (2). P. 840–850.
3. Aminzadeh F., Jean B., Kunz T. 3-D Salt and Overthrust Models. SEG, 1997.

Численное моделирование регенерации неподвижного слоя катализатора

О. С. Язовцева¹, И. М. Губайдуллин², Е. Е. Пескова¹

¹Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарёва

²Институт нефтехимии и катализа УФИЦ РАН

Email: kurinaos@gmail.com

DOI: 10.24412/cl-35065-2022-1-00-45

Регенерация катализатора – неотъемлемая часть производственного цикла переработки сырья. При регенерации слоя катализатора происходит выжиг коксовых отложений с поверхности и пор зерна воздухом. Регенерация проводится при достаточно высокой температуре, сопровождающие ее химические реакции экзотермичны, все это приводит к значительному разогреву слоя катализатора, что может стать причиной его необратимой порчи.

В работе предлагается численный алгоритм для исследования регенерации неподвижного слоя катализатора. Модель неподвижного слоя катализатора содержит уравнения материального баланса газовой фазы реакции, теплового баланса слоя катализатора и учитывает физико-химические особенности выжигания коксовых отложений [1–3]. В настоящей работе исследование в предположении неизотермичности зерна, что повышает вычислительную сложность задачи, но при этом позволяет получить более детальную картину процесса. Высокий уровень жесткости полученной системы приводит к большим временным затратам при расчетах. Для снижения вычислительной сложности алгоритма выполнено расщепление по физическим процессам [4].

В результате моделирования получены картины распределения температуры и реагирующих веществ по неподвижному слою катализатора.

Работа выполнена в рамках государственного задания Института нефтехимии и катализа УФИЦ РАН (тема № FMRS-2022-0078).

Список литературы

1. Масагутов Р. М., Морозов Б. Ф., Кутепов Б. И. Регенерация катализаторов в нефтепереработке и нефтехимии. М.: Химия, 1987. 144 с.
2. Губайдуллин И. М. Математическое моделирование динамических режимов окислительной регенерации катализаторов в аппаратах с неподвижным слоем: дис. ... канд. физ.-мат. наук / Институт Нефтехимии и катализа АН РБ. Уфа, 1996. 109 с
3. Губайдуллин И. М., Язовцева О. С. Исследование усредненной модели окислительной регенерации закоксованного катализатора // Компьютерные исследования и моделирование, 2021, т. 13 (1), с. 149–161.
4. Марчук Г. И. Методы расщепления. М., 1988.

СЕКЦИЯ 2**Численное статистическое моделирование и методы Монте-Карло****Статистическое моделирование динамических систем со случайной структурой**

Т. А. Аверина

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН

Новосибирский государственный университет

Email: ata@osmf.sccc.ru

DOI: 10.24412/cl-35065-2022-1-00-46

Рассмотрены математические модели, заданные системами со случайной структурой [1, 2]. Разработанные вычислительные алгоритмы [3] позволили провести высокоточный анализ систем со случайной структурой, исследовать и оптимизировать параметры моделей при решении задач автоматического управления динамическими объектами.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИВМиМГ СО РАН (проект 0251-2021-0002).

Список литературы

1. И. Е. Казаков, В. М. Артемьев, В. А. Бухалев. Анализ систем случайной структуры. М.: ФИЗМАТЛИТ, 1993.
2. И. М. Косачев, О. Г. Бойцов, В. В. Меликаев/ Новые высокоэффективные методы наведения телеуправляемых ЗУР // Сб. докл. Междунар. воен.-науч. конф., Минск, 10–16 марта 2000 г. Минск: ВА РБ, 2000. С. 176–191.
3. Аверина Т. А. Численные методы. Алгоритмы моделирования систем со случайной структурой. М.: Юрайт, 2018.

Численное исследование итерационного алгоритма моделирования негауссовских случайных процессов

М. С. Акентьева, Н. А. Каргаполова

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН

Email: nkargapolova@gmail.com

DOI: 10.24412/cl-35065-2022-1-00-47

В статье [1] предложен итерационный алгоритм моделирования случайных векторов с произвольными одномерными распределениями вероятностей и корреляционными матрицами. В докладе будут представлены результаты численного исследования скорости сходимости этого алгоритма как функции от числа моделируемых реализаций случайного вектора, вида распределения компонент вектора, начального приближения и вида корреляционной матрицы. Для проведения численных экспериментов использовались функции распределения и корреляционные матрицы, описывающие структуру временных рядов биоклиматических индексов на различных метеостанциях, расположенных в Арктической зоне России.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (грант 21-71-00007).

Список литературы

1. Zheng Z., Dai H., Wang Y., Wang W. A sample-based iterative scheme for simulating non-stationary non-Gaussian stochastic processes // Mechanical Systems and Signal Processing. 2021. V. 151, 107420.

Исследование зависимости расхода р. Слюдянка от различных сценариев выпадения осадков в водосборе на основе стохастической модели

М. С. Акентьева, В. А. Огородников, Н. А. Каргаполова

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН

Email: nkargapolova@gmail.com

DOI: 10.24412/cl-35065-2022-1-00-48

В докладе будут представлены результаты стохастического моделирования условных временных рядов суточного расхода р. Слюдянка при различных сценариях выпадения осадков в водосборе. Будут рассмотрены модели негауссовских условных пространственно-временных полей осадков в водосборе и совместного с ними временного ряда расхода реки. При моделировании полей осадков используется предположение об однородности по пространству. Временные авто- и взаимные корреляционные связи между осадками и расходом реки полагаются независимыми от времени. В качестве условий рассматриваются различные режимы выпадения осадков в водосборе на интервалах заданной длительности.

Работа выполнена в рамках гранта № 075-15-2020-787 Министерства науки и высшего образования РФ на выполнение крупного научного проекта по приоритетным направлениям научно-технологического развития (проект "Фундаментальные основы, методы и технологии цифрового мониторинга и прогнозирования экологической обстановки Байкальской природной территории").

Ускорение алгоритма конкуренции

В. С. Антюфеев

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН

Новосибирский государственный университет

Email: ant@osmf.sccc.ru

DOI: 10.24412/cl-35065-2022-1-00-49

Задача распознавания может быть решена с помощью алгоритма конкуренции, который был разработан в [1]. Предложен такой метод моделирования точек в режиме обучения, который позволяет существенно ускорить процесс обучения. Приведен численный пример, показывающий увеличение эффективности модифицированного алгоритма.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 13-01-00441) и Междисциплинарного интеграционного проекта СО РАН № 47.

Список литературы

1. Antyufeev V. S. Solution of recognition problems by the Monte Carlo method // RJNAMM. 2012. V. 27, No 2. P. 113–130.
2. Antyufeev V. S. Theorem of Learning for a Competition Algorithm // Num. Analysis and Appl. 2013. V. 6, N 1. P. 1–8.

Numerical estimation of functionals from the solution to Smoluchowski equation by double randomization method

A. V. Burmistrov^{1,2}, M. A. Korotchenko¹

¹*Institute of Computational Mathematics and Mathematical Geophysics SB RAS*

²*Novosibirsk State University*

Email: burm@osmf.sccc.ru, kmaria@osmf.sccc.ru

DOI: 10.24412/cl-35065-2022-1-00-50

In the framework of the previously elaborated approach [1, 2], and in continuation of work [3], we develop numerical algorithms to estimate the probability moments of linear functionals from the solution to the

coagulation equation with random coefficients. For this purpose, we use a double randomization method as well as a splitting method in order to reduce the computational costs of the algorithms.

This work was supported by the state contract with ICMMG SB RAS (0315-2019-0002).

References

1. Burmistrov A., Korotchenko M. Double Randomization Method for Estimating the Moments of Solution to Vehicular Traffic Problems with Random Parameters // RJNAMM. 2020. V. 35, N 3. P. 143–152.

2. Burmistrov A. V., Korotchenko M. A. Weight Monte Carlo algorithms for estimation and parametric analysis of the solution to the kinetic coagulation equation // Num. Analysis and Appl. 2014. V. 7, N 2. P. 104–116.

3. Burmistrov A., Korotchenko M. Double randomization method for estimating the moments of solution to the coagulation equation // Marchuk Scientific Readings-2021: Abstracts of the Intern. conf., October 4–8, 2021. Novosibirsk: Institute of comput. mathematics and mat. geophysics SB RAS, 2021. P.68–69.

Об использовании приближенного алгоритма моделирования распределения Пуассона (с использованием стандартной нормальной случайной величины)

Д. И. Вотинцева², И. Н. Медведев^{1,2}

¹Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН

²Новосибирский государственный университет

Email: min@osmf.sccc.ru

DOI: 10.24412/cl-35065-2022-1-00-51

В докладе представлено численное исследование статистической погрешности и эффективности использования приближенного алгоритма моделирования распределения Пуассона (с использованием стандартной нормальной случайной величины) по сравнению со стандартными точными алгоритмами для больших значений параметра Пуассона.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИВМиМГ СО РАН № 0251-2021-0002.

Список литературы

1. Medvedev, I. N., Mikhailov, G. A. New correlative randomized algorithms for statistical modelling of radiation transfer in stochastic medium // RJNAMM. 2021. V. 36, No 4. P. 219–225.

Сравнительный анализ быстродействия различных комбинаций алгоритмов моделирования траектории фотонов методом Монте-Карло в задачах ядерной медицины

М. А. Гурко

Институт теоретической и прикладной механики СО РАН

Новосибирский государственный университет

Email: m.gurko@g.nsu.ru

DOI: 10.24412/cl-35065-2022-1-00-52

Задача переноса излучения является неотъемлемой частью имитационных исследований таких методов ядерной медицины как Позитронная Эмиссионная Томография (ПЭТ) и Однофотонная Эмиссионная Компьютерная Томография (ОФЭКТ). Метод Монте-Карло зарекомендовал себя как метод, позволяющий получать результаты, приближенные к клиническим. Основным недостатком метода Монте-Карло является его относительно низкое быстродействие по сравнению с другими численными методами, поэтому вопрос подбора наиболее эффективных алгоритмов под конкретные задачи является актуальным.

В данном исследовании был проведен сравнительный анализ быстродействия различных комбинации алгоритмов моделирования траектории фотонов в имитационных исследованиях методов ядерной

медицины. За основу был взят метод определения расстояния до пересечения с геометрическими фигурами (Ray Tracing) и в качестве альтернативы использовался метод построения поля кратчайших расстояний до объектов (Sphere Tracing) [1]. Данные методы комбинировались с методом максимального сечения (Woodcock Tracking) и его модификациями [2, 3].

Список литературы

1. Hart, J. C. 1996. Sphere tracing: a geometric method for the antialiased ray tracing of implicit surfaces. *The Visual Computer* 12, 527–545. <https://doi.org/10.1007/s003710050084>.
2. Antyufeev, V. S. 2015. Mathematical verification of the Monte Carlo maximum cross-section technique // *Monte Carlo Methods and Applications* 21. URL: <https://doi.org/10.1515/mcma-2015-0106>.
3. Rehak, J. S., Kerby, L. M., DeHart, M. D., Slaybaugh, R. N. 2019. Weighted delta-tracking in scattering media. *Nuclear Engineering and Design* 342, 231–239. URL: <https://doi.org/10.1016/j.nucengdes.2018.12.006>.

Использование метода Монте-Карло и вычислительного вероятностного анализа в задачах численного моделирования с неопределенностями в данных

Б. С. Добронетц, О. А. Попова

Сибирский федеральный университет

Email: bdobronets@yandex.ru

DOI: 10.24412/cl-35065-2022-1-00-53

В работе рассмотрено совместное использование вычислительного вероятностного анализа (ВВА) и метода Монте-Карло в задачах численного стохастического моделирования с неопределенностями во входных данных. Подход основан на использовании вероятностных расширений. В результате процесс моделирования представляется гибридной схемой, где часть вычислений осуществляется на основе ВВА, а часть методом Монте-Карло. Показывается, что применение ВВА для ряда задач позволяет значительно сократить время вычислений [1]. Приводится численный пример решения систем линейных алгебраических уравнений со случайными коэффициентами.

Список литературы

1. Добронетц Б. С., Попова О. А. Вычислительный вероятностный анализ: модели и методы Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2020.

Статистические оценки потоков излучения на фотоприемной матрице навигационной системы посадки самолетов

Е. Г. Каблукова¹, В. Г. Ошлаков², С. М. Пригарин^{1,3}

¹*Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН*

²*Институт оптики атмосферы им. В. Е. Зуева СО РАН*

³*Новосибирский государственный университет*

Email: kablukovaE@sscc.ru

DOI: 10.24412/cl-35065-2022-1-00-54

Методом Монте-Карло построены оценки потока излучения, приходящего на фотоприемную матрицу летательного аппарата (ЛА) навигационной системы. При работе навигационной системы посадки самолетов лазерный луч системы навигации совпадает по направлению с глиссадой. Два фотоприемных блока, размещенных на ЛА на базовом расстоянии от изображений луча, определяют положение глиссады в системе координат самолета, что позволяет скорректировать положение точки касания взлетно-посадочной полосы в условиях плохой видимости. В этом случае актуальной является задача оценки

мощности излучения и определения вкладов различной кратности рассеяния в изображении луча лазера на фотоприемной матрице. Решение задачи проведено для граничных положений плоскостей обзора фотоприемной матрицы, имеющих углы наклона 35° и 75° относительно луча. Для вычисления потоков излучения используется прямое статистическое моделирование с учетом симметрии положения фотоприемной матрицы относительно сигнального луча навигационной системы, а также локальные оценки метода Монте-Карло. Кроме этого, вычислены угловые распределения направлений фотонов с различной кратностью рассеяния.

Работа выполнена в рамках проекта госзадания ИВМиМГ СО РАН 0251-2021-0002.

Список литературы

1. Ошлаков В. Г., Цвык Р. Ш., Солдатов А. Н., Илюшин Я. А. Принципы построения лазерных лучевых инструментальных систем ориентирования Ч. 1. Изв. вузов. Физика. 2013.
2. Марчук Г. И., Михайлов Г. А., Назаралиев М. А. и др. Метод Монте-Карло в атмосферной оптике. Новосибирск: Наука, 1976.

Расчет подвижности электронов в гетероструктуре AlGaAs-GaAs-InGaAs-GaAs-AlGaAs

Е. Г. Каблукова¹, К. К. Сабельфельд¹, Д. Ю. Протасов², К. С. Журавлев²

¹Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН

²Институт физики полупроводников им. Ржанова

Email: kablukovaE@sscc.ru

DOI: 10.24412/cl-35065-2022-1-00-55

Проведено сравнение подвижности электронов в симметричной гетероструктуре AlGaAs-GaAs-InGaAs-GaAs-AlGaAs [1], для двух вариантов легирования примесей. В первом варианте, доноры находятся в слоях GaAs в плоскостях, параллельных границам слоев, симметричных относительно центра гетероструктуры; во втором варианте, к имеющимся донорам добавлены акцепторы, расположенные в плоскостях, в слоях AlGaAs. Во втором варианте гетероструктуры барьеры квантовой ямы увеличиваются примерно в два раза, положение электронов локализуется в центральной зоне гетероструктуры, что увеличивает подвижность электронов.

Для решения задачи совместно решаются уравнения Пуассона и Шредингера для определения электростатического потенциала, значений энергии E_i на уровнях квантования и волновых функций ψ_i [2]. С использованием рассчитанных данных оцениваются вероятности и индикатрисы рассеяния электронов [3, 4] и решается уравнение Больцмана переноса зарядов для функции распределения электронов.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (код проекта 19-11-00019).

Список литературы

1. Protasov D. Yu., Zhuravlev K. S. The influence of impurity profiles on mobility of two-dimensional electron gas in AlGaAs/InGaAs/GaAs heterostructures modulation-doped by donors and acceptors, Solid-State Electronics 129 (2017). P. 66–72.
2. Абгарян К. К., Ревизников Д. Л. Численные методы в моделировании электронных свойств наноразмерных гетероструктур: учеб. пособ. М.: МАКС Пресс, 2017. 108 с.
3. Harrison P., Valavanis A., Quantum Wells, Wires and Dots. Theoretical and Computational Physics of Semiconductor Nanostructures. Wiley, UK, 2016.
4. Tanimoto H., Yasuda N., Taniguchi K., and Hamaguchi C., Monte Carlo study of hot transport in Quantum wells, Jpn. J. Appl. Phys. 1988. V. 27, N 4. P. 563–571.

Исследование статистического байесовского подхода к решению обратной некорректной задачи реконструкции изображений в приложении к ядерной кардиологии

И. П. Колинко, М. А. Гурко, Н. В. Денисова

Новосибирский государственный университет

Email: i.kolinko@g.nsu.ru

DOI: 10.24412/cl-35065-2022-1-00-56

Однофотонная эмиссионная компьютерная томография (ОФЭКТ) является современным методом ядерной кардиологии, направленным на визуализацию и диагностику различных заболеваний сердечно-сосудистой системы. При обследовании пациентов методом ОФЭКТ оценивается распределение радиофармацевтического препарата (РФП) в миокарде левого желудочка (ЛЖ) сердца. При ишемических поражениях сердца концентрация РФП в клетках миокарда ЛЖ будет существенно ниже нормы. Для получения изображений на коммерческих ОФЭКТ системах используется метод Ordered Subsets-Expectation Maximization (OSEM). Алгоритм OSEM является нерегуляризованным и может приводить к "зашумленным" изображениям. Чтобы преодолеть эти проблемы, в данной работе исследуется регуляризованный байесовский подход Maximum a Posteriori (MAP) с заданием априорной информации с помощью функционала Гиббса (MAP-Gibbs) [1]. При использовании алгоритма MAP-Gibbs решение зависит от вида функционала Гиббса и от значения параметра регуляризации. В данной работе с помощью метода математического моделирования выполнена компьютерная имитация процедуры обследования с помощью антропоморфного математического фантома. Сырые проекционные данные генерировались с использованием статистического метода Монте-Карло, имитируя сбор данных с помощью вращающейся вокруг корпуса пациента гамма-камеры. Реконструкция 3D изображений осуществлялась с использованием алгоритмов OSEM и MAP-Gibbs с разными заданиями функционала Гиббса и значений параметра регуляризации. Для сравнительного анализа была использована программа по переводу 3D миокарда ЛЖ в двумерную полярную карту, как это делается в клинической практике.

Список литературы

1. Geman S., Geman D. Stochastic Relaxation, Gibbs Distributions, and the Bayesian Restoration of Images // IEEE Transactions On Pattern Analysis And Machine Intelligence. 1984. No 6.

О руководстве по критериям проверки отклонения распределения от нормального закона

Б. Ю. Лемешко

Новосибирский государственный технический университет

Email: lemeshko@ami.nstu.ru

DOI: 10.24412/cl-35065-2022-1-00-57

На основании результатов исследований подготовлено новое издание руководства, в котором по сравнению с первым [1] расширено множество рассмотренных специальных критериев нормальности. Все множество критериев, используемых для проверки нормальности, проранжировано по мощности относительно ряда близких конкурирующих гипотез. Выбор наиболее предпочтительных критериев для применения в приложениях облегчает предложенный рейтинг. Показано, что свойства критериев могут существенно изменяться вследствие наличия ошибок округления, и это необходимо учитывать при формировании статистических выводов. Разработанная программная поддержка вместе с подготовленными ранее руководствами [1–6] обеспечивают корректность статистических выводов по совокупности критериев, в том числе в условиях применения в нестандартных условиях.

Список литературы

1. Лемешко Б. Ю. Критерии проверки отклонения распределения от нормального закона. Руководство по применению. М.: ИНФРА-М, 2015.
2. Лемешко Б. Ю., Блинов П. Ю. Критерии проверки отклонения распределения от равномерного закона. Руководство по применению. М.: ИНФРА-М, 2015.
3. Лемешко Б. Ю., Блинов П. Ю. Критерии проверки отклонения от экспоненциального закона. Руководство по применению. М.: ИНФРА-М, 2021.
4. Лемешко Б. Ю. Критерии проверки гипотез об однородности. Руководство по применению. 2-е изд., перераб. и доп. М.: ИНФРА-М, 2021.
5. Лемешко Б. Ю., Веретельникова И. В. Критерии проверки гипотез о случайности и отсутствии тренда. Руководство по применению. М.: ИНФРА-М, 2021.
6. Лемешко Б. Ю. Непараметрические критерии согласия: Руководство по применению. М.: ИНФРА-М, 2014.

Реконструкция изображений с пуассоновским шумом методом МетрополисаЦз. Ли¹, С. М. Пригарин^{1,2}¹Новосибирский государственный университет²Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН

Email: killianlee1@gmail.com

DOI: 10.24412/cl-35065-2022-1-00-58

Для решения сложных задач глобальной оптимизации в последнее время разрабатываются новые эффективные алгоритмы на основе методов Монте-Карло на марковских цепях [1]. В частности, такие стохастические методы используются для байесовской реконструкции изображений и построения МАР-оценок в ядерной медицине [2]. Работа посвящена применению методов Метрополиса и имитации отжига для реконструкции изображений с пуассоновским шумом. На тестовых примерах изучаются особенности применения методов с различными правилами модификации, схемами охлаждения и априорными распределениями. В качестве априорных рассматривались модели Изинга, Поттса, Гемана, Хубера, Боумана и другие.

Работа выполнена при финансовой поддержке CSC (China Scholarship Council).

Список литературы

1. Winkler G. Image analysis, random fields and Markov chain Monte Carlo Methods: A Mathematical Introduction, second edition. Berlin: Springer, 2016.
2. Денисова Н. В., Сравнительный анализ статистических алгоритмов реконструкции изображений, перспективных для ПЭТ и ОФЭКТ диагностики // Медицинская физика. 2011. Т. 51, № 3. С. 57–64.

Одношаговые оценки в нелинейной регрессии

Ю. Ю. Линке

Институт математики им. С. Л. Соболева СО РАН

Email: linke@math.nsc.ru

DOI: 10.24412/cl-35065-2022-1-00-59

В задачах нелинейной регрессии асимптотически оптимальные оценки как правило задаются неявно в виде решений тех или иных уравнений, при этом нередко имеется несколько корней того или иного уравнения, определяющего оценку. Последний факт является главной проблемой, затрудняющей использование численных методов для приближения состоятельного корня. Преодолеть эти трудности можно с помощью популярных в современной западной статистической литературе одношаговых

процедур оценивания, восходящих к работам Р. Фишера. Одношаговая оценка, по сути, представляют собой один шаг метода Ньютона, стартующего из некоторой предварительной состоятельной с некоторой скоростью оценки и асимптотически имеют точность искомой состоятельной статистики, являющейся корнем упомянутого уравнения.

Результаты, изложенные в докладе, опубликованы в [1–5]. Выделим основные из них:

1. Разработан метод построения явных состоятельных с некоторой скоростью оценок параметров для широкого класса моделей нелинейной регрессии, что открывает возможность использования одношаговых процедур поиска в известном смысле оптимальных оценок в задачах нелинейной регрессии.

2. Проведен асимптотический анализ одношаговых М-оценок, построенных по не обязательно одинаково распределенным наблюдениям, что позволяет строить одношаговые приближения в известном смысле оптимальных оценок (квазиправдоподобия, наименьших квадратов и др.) в нелинейной регрессии.

Результаты исследования мы проиллюстрируем компьютерным моделированием.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (код проекта 22-21-00414).

Список литературы

1. Linke Yu.Yu. Asymptotic properties of one-step M-estimators // Communications in Statistics – Theory and Methods. 2019. V.48, № 16. P. 4096–4118.

2. Линке Ю. Ю. Асимптотические свойства одношаговых взвешенных М-оценок с приложениями к задачам регрессии // Теория вероятностей и ее применения. 2017. Т.62, № 3. С. 468–498.

3. Linke Yu.Yu. Asymptotic normality of one-step M-estimators based on non-identically distributed observations // Statist. Probab. Lett. 2017. V.129. P. 216–221.

4. Linke Yu.Yu., Borisov I. S. Constructing initial estimators in one-step estimation procedures of nonlinear regression // Statist. Probab. Lett. 2017. V.120. P. 87–94.

5. Линке Ю. Ю., Борисов И. С. Построение явных оценок в задачах нелинейной регрессии // Теория вероятностей и ее применения. 2018. Т.63, № 1. С. 29–56.

Численное моделирование динамики распространения эпидемии на основе непрерывно-дискретного случайного процесса с немарковскими ограничениями

К. К. Логинов¹, Н. В. Перцев²

Институт математики им. С. Л. Соболева СО РАН

Email: kloginov85@mail.ru¹, homlab@ya.ru²

DOI: 10.24412/cl-35065-2022-1-00-60

Работа посвящена численному стохастическому моделированию динамики распространения эпидемии среди населения некоторого региона. Модель записана в форме непрерывно-дискретного случайного процесса, учитывающего нестационарный приток в регион латентно-инфицированных индивидуумов и прохождение индивидуумами различных стадий инфекционного заболевания. Длительности пребывания индивидуумов в различных стадиях инфекционного заболевания задаются с помощью распределений, отличных от экспоненциального. Разработан алгоритм прямого статистического моделирования динамики распространения эпидемии среди населения региона на основе метода Монте-Карло. Стохастическая модель дополнена детерминированным аналогом в форме нелинейной системы дифференциальных уравнений с несколькими запаздываниями. Для калибровки моделей использованы данные, описывающие уровень серопревалентности населения Новосибирской области в первую волну эпидемии Ковид-19 (2020 год). Для подбора значений параметров стохастической и детерминированной моделей использовались экспертные оценки ряда параметров на основе доступных публикаций и прямые вычисления по приближению уровня серопревалентности населения за три периода наблюдения (в рамках детерминированной и стохастической моделей). Значения некоторых параметров моделей и схема

калибровки моделей на основе уровня серопревалентности населения предложены совместно с сотрудниками Сеченовского медицинского университета Ю. А. Вакуленко и А. Н. Лукашевым.

Работа выполнена в рамках государственного задания Института математики им. С. Л. Соболева СО РАН (проект FWNF-2022-0003) и при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект 20-04-60157).

Численное исследование прогностических свойств двухгрупповой марковской SEIR модели

В. Л. Лукинов^{1,2}, Д. А. Юзов¹

¹Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН

²Новосибирский государственный университет

Email: vitaliy.lukinov@gmail.com

DOI: 10.24412/cl-35065-2022-1-02-39

Представлено развитие SEIR модели распространения эпидемии с пуассоновскими потоками, детально определенной в работе [1], вдохновленной некоторыми идеями из [2, 3]. Расширение исходной модели произведено посредством разделения общей группы населения на две группы с отличающимися коэффициентами распространения эпидемии, согласованными в среднем с коэффициентами общей группы. Численно проведено исследование влияния на развитие эпидемии экстремальных вариаций таких как высокая заразность, высокая бессимптомность, высокая смертность и др. одной группы относительно другой. Для вычислений в одно-групповой модели использовались параметры дифференциальной SEIR-D модели для анализа заболеваемости COVID-19 в Новосибирске (численность $n \approx 3 \cdot 10^6$) в период с 23 марта по 15 июня 2020 г., представленные в работе [4].

Работа выполнена в рамках государственного задания ИВМиМГ СО РАН (проект 0251-2021-0002).

Список литературы

1. Lotova, Galiya Z., Lukinov, Vitaliy L., Marchenko, Mikhail A., Mikhailov, Guennady A. and Smirnov, Dmitrii D. Numerical-statistical study of the prognostic efficiency of the SEIR model // RJNAMM. 2021. Vol. 36, No 6. P. 337–345. <https://doi.org/10.1515/rnam-2021-0027>.

2. I. Sazonov, D. Grebennikov, M. Kelbert, G. Bocharov, Modelling Stochastic and Deterministic Behaviours in Virus Infection Dynamics // Math. Model. Nat. Phenom. 2017. Vol. 12, No 5. P. 63–77.

3. Перцев Н. В., Логинов К. К., Топчий В. А. Анализ стадия-зависимой модели эпидемии, построенной на основе немарковского случайного процесса // СибЖИМ. 2020. Т. 23, № 3(83). С. 105–122.

4. Криворотько О. И., Кабанихин С. И., Зятков Н. Ю., Приходько А. Ю., Прохошин Н. М., Шишленин М. А. Математическое моделирование и прогнозирование COVID-19 в Москве и Новосибирской области // СибЖВМ. 2020. № 4. С. 395–414.

Об эффективности использования корреляционно-рандомизированных алгоритмов для решения задач переноса гамма-излучения в стохастических средах

И. Н. Медведев

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН

Новосибирский государственный университет

Email: min@osmf.sccc.ru

DOI: 10.24412/cl-35065-2022-1-00-61

Для решения задач радиационного баланса, оптического зондирования и томографии бывает необходимо учитывать многократное рассеяние излучения в стохастически неоднородной среде. В реальных радиационных моделях с этой целью используется численно-статистический "метод максимального сечения" (ММС) на основе выравнивания поля оптической плотности путем добавления искусственного

"дельта-рассеивателя". Однако трудоемкость соответствующей несмещенной оценки осредненного решения задачи неограниченно возрастает при уменьшении корреляционного масштаба (корреляционного радиуса L) стандартных мозаичных моделей случайной плотности среды.

Ранее мы построили [1], дающую асимптотически (при $L \rightarrow 0$) несмещенные оценки требуемых функционалов, рандомизацию ММС, в которой значение физического коэффициента ослабления случайно выбирается в конце свободного пробега l кванта при условии $l > L$, а иначе сохраняется из начальной точки пробега (КР алгоритм).

В более точном функциональном корреляционно-рандомизированном алгоритме (ФКРА) коэффициент сохраняется с вероятностью, определяемой корреляционной функцией. Эти корреляционно-рандомизированные алгоритмы были реализованы для смеси однородного вещества и пуассоновского ансамбля "пустых" шаров [1]. В данной работе построены корреляционно-рандомизированные алгоритмы для задач, связанных с переносом сквозь "толстый" слой, в котором содержатся однородное вещество (вода) и пуассоновский ансамбль "пустых" слоев. Представлен детальный сравнительный анализ результатов, полученных с использованием точного прямого моделирования (ММС) и приближенных алгоритмов (КРА, ФКРА) для задач переноса гамма-излучения сквозь "толстый" слой воды, содержащий пуассоновский ансамбль "пустых" слоев или шаров.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИВМиМГ СО РАН № 0251-2021-0002.

Список литературы

1. Medvedev, I. N., Mikhailov, G. A. New correlative randomized algorithms for statistical modelling of radiation transfer in stochastic medium // RJNAMM, vol.36, N 4. P. 219–225, 2021.

Исследование среднего потока частиц в стохастически однородной размножающей среде

Г. А. Михайлов^{1,2}, Г. З. Лотова^{1,2}

¹Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН

²Новосибирский государственный университет

Email: lot@osmf.sccc.ru

DOI: 10.24412/cl-35065-2022-1-00-62

В работе авторов доклада [1] для сферически симметричной размножающей среды выявлена суперэкспоненциальная зависимость среднего потока частиц от времени. В настоящем докладе рассматривается более реальная стохастически однородная модель случайно возмущенной среды типа мозаик Вороного. С целью сопоставления получаемых при этом оценок зависимости с результатами из [1] для произвольной случайной (не обязательно однородной) среды вводится понятие осредненной корреляционной длины. Проведенные ранее исследования позволяют предполагать, что ее значение и одномерное распределение плотности среды в значительной мере определяют осредненные радиационные характеристики; в настоящей работе это проверяется для параметров зависимости среднего потока частиц от времени.

Практически важным является исследование в данной задаче стохастического предела, состоящего в том, что при малых значениях корреляционного радиуса среды реализуется средний поток частиц, близкий к потоку для средней плотности. Поскольку трудоемкость двойной рандомизации не ограничена при уменьшении корреляционного масштаба, то при этом целесообразно использовать корреляционно-рандомизированный алгоритм, предложенный в [2]. Он состоит в том, что в "алгоритме максимального

сечения" для свободного пробега кванта, превышающего корреляционный радиус, плотность в точке нового столкновения выбирается случайно для заданного одномерного распределения, иначе сохраняется из предыдущей точки. Ранее приведенные исследования (см., например, [2]) показывают, что такой алгоритм дает достаточно точные оценки, если длина пробега "алгоритма максимального сечения" на порядок превышает корреляционный радиус. При наличии достаточных вычислительных ресурсов такие оценки можно уточнить [2], решая задачу параллельно КР-алгоритмом и двойной рандомизацией для уменьшающегося значения корреляционного радиуса до достаточно точного совпадения результатов. Затем можно строить оценки КР алгоритмом, трудоемкость которого ограничена.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИВМиМГ СО РАН (проект 0251-2021-0002).

Список литературы

1. Г. З. Лотова, Г. А. Михайлов. Численно-статистическое и аналитическое исследование асимптотики среднего потока частиц с размножением в случайной среде // ЖВМиМФ, 2021. V. 61, N 8. P. 1353–1362.
2. G. A. Mikhailov, I. N. Medvedev, New correlative randomized algorithms for statistical modelling of radiation transfer in stochastic medium // Russ. J. Numer. Anal. Math. Modelling. 2021. vol.36, N 4. P. 219–225.

Моделирование и оценка корреляционной функции поля Вороного

С. А. Роженко

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН

Email: sergroj@mail.ru

DOI: 10.24412/cl-35065-2022-1-00-64

Поле Вороного строится как диаграмма Вороного, сайтами для которой служат точки точечного потока Пуассона. Сложность моделирования поля Вороного заключается в том, что его плотность в выбранной точке может определяться сколь угодно далеким от нее сайтом, поэтому невозможно заранее ограничить область моделирования пуассоновского потока. Представленный в работе алгоритм позволяет осуществлять точное моделирование поля Вороного, расширяя по мере необходимости область моделирования соответствующего потока Пуассона.

Для корреляционной функции поля Вороного была получена аналитическая формула, а на основе представленного алгоритма был проведен ее проверочный расчет.

Дополнительно изучалась возможность аппроксимации полученной корреляционной функции экспонентой.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИВМиМГ СО РАН № 0251-2021-0002.

Физическая модель Монте-Карло для моделирования гетероэпитаксии

С. А. Рудин¹, М. Н. Погребникова^{1,2}, К. В. Павский^{1,3}

¹*Институт физики полупроводников СО РАН*

²*Новосибирский государственный университет*

³*Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики*

Email: rudin@isp.nsc.ru

DOI: 10.24412/cl-35065-2022-1-00-65

Разработана физическая модель Монте-Карло для моделирования гетероэпитаксиального роста [1]. В основе модели лежит алмазоподобная кристаллическая решетка. Процесс моделирования роста состоит из последовательности элементарных событий, выбираемых случайным образом в соответствии с их вероятностями. Возможны события двух типов: осаждение и диффузионный прыжок атома по поверхности. Для учета изменения деформации в пространстве с течением времени добавлен третий тип

событий – тепловые колебания атомов вокруг их равновесных положений. Моделирование процессов гетероэпитаксиального роста является вычислительно сложной задачей. Возникновение неоднородностей в распределении деформации или в морфологии поверхности является проблемой при разработке параллельных алгоритмов для систем с распределенной памятью. Около 98 % вычислений модели занимают блоки "Прыжок/Осаждение атома" и "Термический отжиг", конструкции которых были распараллелены для систем с общей памятью.

Тестовые расчеты [2] показали, что разработанные параллельные алгоритмы позволяют сократить машинное время для моделирования роста Ge на Si на 20–60 % в зависимости от условий эксперимента.

Работа выполнена в рамках государственного задания 0242-2021-0011.

Список литературы

1. Новиков П. Л., Ненашев А. В., Рудин С. А., Поляков А. С., Двуреченский А. В. Зарождение и рост квантовых точек Ge на Si – моделирование с использованием высокоэффективных алгоритмов. *Российские нанотехнологии*, 2015. Т. 10, № 3–4. С. 26–34.
2. Информационно-вычислительный центр Новосибирского государственного университета. URL: <http://nusc.nsu.ru/wiki/doku.php> (дата обращения: 25.05.2022).

Вычисление погрешностей аппроксимации кратных стохастических интегралов Ито и Стратоновича

К. А. Рыбаков

Московский авиационный институт (Национальный исследовательский университет)

Email: rkoffice@mail.ru

DOI: 10.24412/cl-35065-2022-1-00-66

В работах [1, 2] получены ортогональные разложения кратных стохастических интегралов Ито и Стратоновича. Из них найдены точные формулы для вычисления погрешности аппроксимации этих интегралов при условии, что ядра представляются в виде частичных сумм ортогональных рядов. Их вывод и вид отличается от формул, приведенных в монографии [3]. Вычислены погрешности аппроксимации типовых повторных стохастических интегралов при использовании пяти базисных систем.

Список литературы

1. Рыбаков К. А. Ортогональное разложение кратных стохастических интегралов Ито // *Дифференциальные уравнения и процессы управления*. 2021. № 3. С. 109–140.
2. Рыбаков К. А. Ортогональное разложение кратных стохастических интегралов Стратоновича // *Дифференциальные уравнения и процессы управления*. 2021. № 4. С. 81–115.
3. Kuznetsov D. F. Mean-square approximation of iterated Ito and Stratonovich stochastic integrals: Method of generalized multiple Fourier series. Application to numerical integration of Ito SDEs and semilinear SPDEs // *Дифференциальные уравнения и процессы управления*. 2021. № 4. С. А. 1–А.788.

Расчет коэффициентов разложения типовых ядер кратных стохастических интегралов

К. А. Рыбаков

Московский авиационный институт (Национальный исследовательский университет)

Email: rkoffice@mail.ru

DOI: 10.24412/cl-35065-2022-1-00-67

При применении численных методов решения стохастических дифференциальных уравнений на основе разложений Тейлора – Ито и Тейлора – Стратоновича возникает необходимость моделирования повторных стохастических интегралов. Один из подходов основан на переходе от повторных стохастических интегралов к кратным с последующим представлением их ядер в виде частичных сумм ортогональных

рядов [1], другой – на спектральном методе [2]. В этой работе построены алгоритмы точного и приближенного расчета коэффициентов разложения типовых ядер относительно пяти базисных систем: полиномов Лежандра, косинусоид, функций Уолша, функций Хаара, тригонометрических функций.

Список литературы

1. Kuznetsov D. F. Mean-square approximation of iterated Ito and Stratonovich stochastic integrals: Method of generalized multiple Fourier series. Application to numerical integration of Ito SDEs and semilinear SPDEs // Дифференциальные уравнения и процессы управления. 2021. № 4. P. А. 1–А.788.
2. Рыбаков К. А. Моделирование линейных нестационарных стохастических систем спектральным методом // Дифференциальные уравнения и процессы управления. 2020. № 3. С. 98–128.

Solution of the Burgers and Navier – Stokes equation in the vortex formulation by the random walk on grid method

К. К. Sabelfeld^{1,2}, О. В. Buchashev^{1,2}

¹*Institute of Computational Mathematics and Mathematical Geophysics SB RAS*

²*Novosibirsk State University*

Email: karl@osmf.ssc.ru, o.bukhashev@g.nsu.ru

DOI: 10.24412/cl-35065-2022-1-00-68

In [1, 2], a global random walk on grid has been developed for solving linear and nonlinear drift-diffusion equations. Application of this algorithm to solve nonlinear transport equations in semiconductors was published in [1, 3]. In this talk we further develop the global random walk on grid method for solving two classes of nonlinear equations, the Burgers equation, and a 2D Navier – Stokes equation in a vortex formulation where the boundary condition is defined by a white noise boundary function.

This study is supported by the Russian Science Foundation, grant 19-11-00019.

References

1. K. Sabelfeld, A. Kireeva. Stochastic simulation algorithms for solving a nonlinear system of drift-diffusion-Poisson equations of semiconductors, *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 556 (2020). Article ID 124800.
2. K. Sabelfeld, D. Smirnov, A global random walk on grid algorithm for second order elliptic equations // *Monte Carlo Methods and Applications*, v. 27 (2021), iss. 3, 211–225.
3. A. Kireeva, K. K. Sabelfeld, and S. Kireev. Parallel Simulation of Drift-Diffusion-Recombination by Cellular Automata and Global Random Walk Algorithm // *The J. of Supercomputing*, 77 (2021). P. 6889–6903.

Impact of the dislocation density and recombination velocity on the transient cathodoluminescence intensity in GaN semiconductors analysis by the random walk on spheres algorithm

К. К. Sabelfeld^{1,2}, А. Е. Kireeva¹

¹*Institute of Computational Mathematics and Mathematical Geophysics SB RAS*

²*Novosibirsk State University*

Email: karl@osmf.ssc.ru, kireeva@ssd.ssc.ru

DOI: 10.24412/cl-35065-2022-1-00-69

In [1], a three-dimensional Monte Carlo model of drift, diffusion, and recombination of excitons in the strain field of an edge threading dislocation in a GaN semiconductor is suggested. In the present study the non-stationary drift-diffusion-recombination problem is solved in an infinite domain, which is a half-space $z \geq 0$ with an embedded array of dislocations, using the Random Walk on Spheres algorithm [2]. In our previous study [1], we investigated the impact of dislocations on the cathodoluminescence intensity. In the present work, we analyze

the influence of recombination velocity S at the plane $z = 0$ on the transient cathodoluminescence intensity in a half-space with and without dislocations. The aim of the study is to find a correlation between the transient intensity and the dislocation densities N at different recombination velocities S .

This study is supported by the Russian Science Foundation, grant 19-11-00019.

References

1. Kaganer V. M., Lähnemann J., Pfüller C., Sabelfeld K. K., Kireeva A. E., and Brandt O. Determination of the Carrier Diffusion Length in GaN from Cathodoluminescence Maps Around Threading Dislocations: Fallacies and Opportunities // *Physical Review Applied*. 2019. V. 12, 054038.
2. Sabelfeld K. K. Random walk on spheres algorithm for solving transient drift-diffusion-reaction problems // *Monte Carlo Methods Appl.* 2017. V. 23 (3). P. 189–212.

Interpretation of ellipsometric measurements: Modeling and simulating

S. N. Svasheva

Rzhanov Institute of Semiconductor Physics SB RAS

Email: Svashtva@isp.nsc.ru

DOI: 10.24412/cl-35065-2022-1-00-71

Among optical methods, spectroscopic ellipsometry (SE) is powerful and reliable method of analysis of properties of thin films and solid materials. They are not direct because give us information about changing of polarization state of reflected beam light. There are many publications devoted to items of modeling and interpretations ellipsometric data, as well known, for example [1–3]. Independently from type of ellipsometric measurements, their interpretation is essential part of method and as a rule consists of the following procedures: Physical Modeling of Sample Structure and Numerical Simulation. 1. Creation of physical model of sample based on *a priori* of technological information; that verification of generated model, probably, model is not valid if a set of solution contains null solution only. 2. Optimization of quantity of steps of measurements when registration of reflection spectra is required for adequate representation of specifics of spectra, such as critical points. The amount of fitting parameters should be sufficient for achievement of reliable result. Choice of type of description of dielectric permittivity of all films of sample under study is very important stage. According to M. Cardona's theory [2], they could be represented as sum of oscillators whose frequencies correspond to frequencies of critical points in reflected spectra. If researchers use commercial program products for explanation of own measurements, they must be taking into account assumptions built into the used program.

References

1. Azzam R. M.A. and Bashara N. M. *Ellipsometry and Polarized Light*. North-Holland, 1977.
2. Cardona M. *Modulation Spectroscopy*. Academic Press, New York, 1969.
3. Svasheva Svetlana. *Modeling Methods of Optical Inhomogeneous Structures. Application of Ellipsometry*. Lambert Academic Publishing, 2013, P. 1–104.

Сопряженная проекционная статистическая оценка угловых характеристик рассеянного поляризованного излученияН. В. Трачева^{1,2}, С. А. Ухинов^{1,2}¹Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН²Новосибирский государственный университет

Email: tnv@osmf.sccc.ru

DOI: 10.24412/cl-35065-2022-1-00-72

В этой работе рассматривается задача оценки двунаправленных угловых характеристик рассеянного поляризованного излучения. Алгоритм оценки основывается на проективном разложении векторной плотности углового распределения потока излучения на некоторой поверхности по ортонормированному базису полусферических гармоник, построенных на основе присоединенных полиномов Якоби [1]. Для получения данной оценки мы предлагаем использовать новый подход, основанный на применении метода сопряженных блужданий [2] с последовательным уточнением искомой плотности распределения.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИВМиМГ СО РАН (проект 0251-2021-0002).

Список литературы

1. Tracheva N. V., Ukhinov S. A. Two-dimensional projection Monte Carlo estimators for the study of angular characteristics of polarized radiation // RJNAMM. 2018. V. 33, № 3. P. 187–199.

2. Marchuk G. I., Mikhailov G. A., Nazaraliev, M. A. et al. The Monte Carlo Methods in Atmospheric Optics. Springer-Verlag, Berlin. 1980.

Использование метода Монте-Карло при решении задач аэрокосмического лазерного зондирования

О. С. Ухинова

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН

Новосибирский государственный университет

Email: olsu@osmf.sccc.ru

DOI: 10.24412/cl-35065-2022-1-00-73

Работа посвящена алгоритмам методов Монте-Карло для решения нестационарных задач лазерного зондирования природных сред имеющих случайную границу раздела. В данном случае таковой является поверхность морского волнения при зондировании системы сред "океан – атмосфера". Рассматривается задача по оценке функции распределения по времени интенсивности распределения лазерного излучения, поступающего в приемник после прохождения через систему сред "океан – атмосфера" из заданного источника с учетом взволнованной поверхности. Используются локальные оценки методов Монте-Карло [1, 3]. Таким образом, учитывается нестационарность источника. Для построения взволнованной поверхности океана используется фацетная модель [2]. Расчеты проводились для различных параметров приемника. Также были проведены исследования полученных результатов, проведены численные эксперименты при различных значениях параметров системы, таких как высота атмосферного слоя, глубина водного слоя, скорости ветра, которая влияет на случайную поверхность границы раздела системы океан-атмосфера.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИВМиМГ СО РАН (проект 0251-2021-0002).

Список литературы

1. Марчук Г. И., Михайлов Г. А., Назаралиев М. А. и др. Метод Монте-Карло в атмосферной оптике // Новосибирск: Наука, 1976. С. 280.

2. Cox C., Munk W. H. The measurement of the roughness of the sea surface from photographs of the sun's glitter // J. Opt. Soc. America, 1954, 44, N 11. P. 838–850.

3. K. B. Rakimgulov, S. A. Ukhinov. Local estimates in Monte Carlo method for the ocean-atmosphere system with random interface // Russ. J. Numer. Anal. Math. Modelling. 1994. V. 9, N 6. P. 547–564.

Статистическая космография: Марковский подход к хранению и обработке глобальной информации

В. В. Учайкин

Ульяновский госуниверситет

vuchaikin@gmail.com.

DOI: 10.24412/cl-35065-2022-1-00-74

Обзорный доклад излагает новый подход к статистическому описанию пространственного распределения наблюдаемой материи в космическом пространстве, включая пылевые и молекулярные облака и магнитные неоднородности межзвездной среды нашей Галактики, источники космических лучей и останки сверхновых, в которых ускоряются космические лучи, а также внегалактические объекты – галактики, скопления галактик, скопления скоплений галактик, рентгеновские и радиоисточники, положения источников гамма-всплесков, пульсаров и квазаров. Общими для всей этой материи является ее смешанный локально-континуальный характер, далекие корреляции обратно-степенного типа, проявляющиеся в наличии кластеров и войдов (областей с пониженной плотностью) и подобие свойств (автомодельность) в разно-масштабных ракурсах. Такого сорта свойства среды описываются в рамках фрактальной методологии (монофракталы, бифракталы, мультифракталы), естественным образом приводящей к дробно-дифференциальным (fractional) операторам, собственными функциями которых являются устойчивые распределения Леви с бесконечными моментами. Последнее обстоятельство выводит нас за рамки Центральной предельной теоремы и требует развития нового статистического аппарата. Аппарат этот строится на базе обобщенной предельной теоремы Леви – Хинчина, заменяющей теперь ее Гауссо – Лапласов аналог.

Обзор содержит ряд оригинальных результатов, полученных автором с коллегами и относящихся к дальнейшему развитию этого аппарата. Речь, в частности, идет о представлении свойств среды с помощью множества узлов марковских цепей с переходной устойчивой Леви-плотностью, выводе для этой модели обобщенного уравнения Орнштейна – Цернике и применении аппроксимации Золотарева – Учайкина фурье-спектра мощности турбулентных пульсаций для определения числовых параметров модели по наблюдаемым данным.

Исследование эффективности весового алгоритма и метода максимального сечения для моделирования длины свободного пробега фотона в стохастических средах

П. Чжэн¹, Б. А. Каргин^{1,2}, Е. Г. Каблукова²

¹*Новосибирский государственный университет*

²*Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН*

Email: bkargin.osmf@mail.ru

DOI: 10.24412/cl-35065-2022-1-00-77

В работе оценивается трудоемкость алгоритмов вычисления пропускания и отражения солнечного излучения для облачного слоя с неоднородной структурой для двух способов моделирования длины свободного пробега: методом максимального сечения и весовым алгоритмом [1]. Для описания неоднородной структуры коэффициента ослабления среды используются спектральная однородная гауссовская модель [2] и модель на основе потоков Пуассона [3]. Сравнение трудоемкости проведено для различных

значений длины корреляции случайного поля, а также математических ожиданий и дисперсии одномерного распределения коэффициента ослабления.

Работа выполнена в рамках проекта гос. задания ИВМиМГ СО РАН 0251-2021-0002.

Список литературы

1. Каргин Б. А. Новый подход к стохастическому моделированию задач атмосферной оптики // Оптика атмосферы и океана. 2005. Т. 18, № 12.
2. Пригарин С. М. Методы численного моделирования случайных процессов и полей. Новосибирск: ИВМиМГ СО РАН, 2005.
3. Михайлов Г. А., Войтишек А. В. Численное статистическое моделирование. Методы Монте-Карло. М.: Академия, 2006.

Анизотропный алгоритм блуждания по сферам для решения системы уравнений Ламе

И. А. Шалимова, К. К. Сабельфельд

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН

Email: ias@osmf.sccc.ru

DOI: 10.24412/cl-35065-2022-1-00-78

В докладе мы развиваем ветвящийся анизотропный алгоритм "блуждания по сферам" для решения первой краевой задачи теории упругости. Известно, что применение стандартного алгоритма "блуждания по сферам" к решению уравнения Ламе сталкивается с проблемой экспоненциального роста дисперсии. Поэтому для уменьшения роста дисперсии в данной работе применяется ветвление траекторий, при этом распределение на сфере очередной случайной точки моделируется не изотропно, а в соответствии со структурой ядра интегрального оператора [1]. Исследуются свойства предложенного алгоритма, его дисперсия, погрешность и трудоемкость. Численные эксперименты приведены для бесконечной полосы.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 20-51-18009).

Список литературы

1. Sabelfeld K. K., Shalimova I. A. Spherical and Plane Integral Operators for PDEs. Construction, analysis and applications. Berlin: De Gruyter, 2013.

Оценка погрешности и оптимизация метода ПСМ с учетом регуляризации

Е. В. Шкарупа¹, М. Ю. Плотников²

¹*Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН*

Email: sev@osmf.sccc.ru

²*Институт теплофизики СО РАН*

Email: plotnikov@itp.nsc.ru

DOI: 10.24412/cl-35065-2022-1-00-79

Метод прямого статистического моделирования (ПСМ) в настоящее время является основным численным инструментом для решения задач динамики разреженного газа. В силу сложности конструкции метода задача оценки погрешности и выбора параметров алгоритма, обеспечивающих заданную погрешность расчетов, далека от завершения. В работе [1] предложен подход к оценке погрешности, вносимой регуляризацией взаимодействия двух частиц по пространственным переменным. Там же проведена приближенная оценка погрешности метода ПСМ в L_2 метрике.

Представленная работа направлена на анализ погрешности и оптимизацию метода ПСМ в метрике S . Для анализа погрешность удобно разделить на внутреннюю (погрешность самого алгоритма) и внешнюю (погрешность сбора информации). Подходы к оценке внешней погрешности и выбору оптимальных параметров представлены в работе [2]. Погрешность, вносимая регуляризацией, относится к внутренней погрешности. Проведен численный анализ погрешности двух способов регуляризации из [1] на примере задачи о теплопередаче между двумя пластинами. Предложен подход к построению верхней грани погрешности и оптимизации алгоритма с учетом внешней погрешности и погрешности регуляризации.

Работа выполнена при финансовой поддержке бюджетных грантов (10251-2021-0002 и 2121031800218-5).

Список литературы

1. Rogasinsky S. V. // Russ. J. Numer. Analys. Math. Modelling. 2009. V. 24. N 5. P. 495–513.
2. Plotnikov M. Yu., Shkarupa E. V. // Computers & Fluids. 2012. V. 58. P. 102–111.

СЕКЦИЯ 3**Математическая геофизика****Selection of the most informative set of monitoring stations for the tsunami waveforms inversions: the case study of the Solomon Islands Tsunami on February 6, 2013**

T. A. Voronina

Institute of Computational Mathematics and Mathematical Geophysics SB RAS

Email: tanor@bk.ru

DOI: 10.24412/cl-35065-2022-1-00-80

Based on the truncated singular value decomposition method (referred to as the r -solution method) the methodology is presented to select the most informative set of the tsunami sensors for the inversions of the tsunami waveforms recorded by the DART buoys. As an example, the observational system for the case of the Solomon Islands Tsunami of February 6, 2013 was assumed. The data of the most informative sensors make it possible to more accurately restore the original tsunami waveform and simultaneously, without new calculations of the wave propagation from the reconstructed source, to obtain the sea surface heights at the points where there were no observations, but which, as a "fictitious" stations have been involved in the prior calculations of the matrix. Estimating the shares of the specific energy of the wave at the location of each buoy is a key idea of the approach proposed. Moreover, the value of r , as one of the main inversion parameters, can be quickly and confidently determined by estimating the share of the specific energy generated by each mode. The method can be used in designing a Tsunami Warning System.

The study was supported by Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation at ICM&MG SB RAS (state assignment 0315-2021-0005).

Метод зеркального обращения времени в применении к задаче реконструкции рассеивающих объектов

А. А. Галактионова, Г. В. Решетова

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН

Email: a.galaktionova@g.nsu.ru, kgv@nmsf.sccc.ru

DOI: 10.24412/cl-35065-2022-1-00-81

Реконструкция неоднородных включений внутри геологической среды имеет фундаментальное значение для повышения разрешающей способности и надежности методов интерпретации геофизических данных. В данной работе предложен метод локализации случайных неоднородностей субсейсмического масштаба в однородной упругой среде с помощью метода зеркального обращения времени (Time Reversal Mirror, TRM) [1]. Метод основан на возможности обратить волновое поле в средах без поглощения, при этом рассеивающие объекты выступают в качестве "вторичных источников". Индикаторами наличия в среде геологической неоднородности как раз и выступают возникающие вторичные источники. Они локализуются методом зеркального обращения времени по записям системы возбуждения и регистрации на свободной поверхности. Проведены численные эксперименты с использованием синтетических данных для верификация предложенного метода. Тестовые модели рассчитывались конечно-разностным методом на сдвинутых сетках для системы динамической теории упругости.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (код проекта 22-21-00759).

Список литературы

1. Fink M., Wu F., Cassereau D. and Mallart R., Imaging through inhomogeneous media using time reversal mirrors // Ultrasonic Imaging. 1991. V. 13. P. 179–199.

The seismic wave propagation in gradient media

V. I. Golubev, Yu. S. Ankipovich, I. B. Petrov

Moscow Institute of Physics and Technology

Email: w.golubev@mail.ru

DOI: 10.24412/cl-35065-2022-1-00-82

The seismic survey is the commonly used method to estimate the internal structure of oil and gas deposits. Two techniques are used for the numerical model construction: isotropic layers with different elastic properties and an averaged anisotropic medium. Recently, the grid-characteristic method has been successfully adopted for these problems [1, 2].

The current research is devoted to the extension of this approach for the simulation of seismic waves in gradient media. The case of linear dependency of the density and the P-wave velocity on a spatial coordinate is considered. The explicit second-order grid-characteristic scheme was constructed. The direct comparison with the piece-wise constant medium description was carried out.

The reported study was funded by RFBR, project number 20-01-00261.

References

1. Golubev V., Shevchenko A., Khokhlov N., Petrov I., Malovichko M. Compact Grid-Characteristic Scheme for the Acoustic System with the Piece-Wise Constant Coefficients // International J. of Applied Mechanics. 2022. V. 14 (2). Art. no. 2250002.

2. Petrov I. B., Golubev V. I., Petrukhin V. Y., Nikitin I. S. Simulation of Seismic Waves in Anisotropic Media // Doklady Mathematics. 2021. V. 103 (3). P. 146–150.

Статистические алгоритмы анализа, измерения и распознавания транспортных шумов в задачах геоэкологии

О. А. Копылова, М. С. Хайретдинов

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН

Email: marat@opg.sccc.ru

DOI: 10.24412/cl-35065-2022-1-00-83

В работе рассматривается задача обнаружения и распознавания типов транспортных средств по записям сейсмических колебаний, регистрируемых на поверхности земли, и акустических – в атмосфере. В качестве объектов рассматриваются железнодорожный, автомобильный, тяжелый колесный и гусеничный транспорт. Обнаружение источников колебаний происходит на основе адаптивного порогового алгоритма с применением критерия максимального правдоподобия. На выделенных участках записей с использованием спектрального и спектрально-временного анализа определяются информативные признаки для рассматриваемых видов транспорта. Основываясь на данных полученной статистики записей, решается задача построения эталонов на этапе обучения и распознавания транспортных объектов по шумам в условиях априорной неопределенности об их количестве. Получены численные оценки точности решения задачи в условиях натурального эксперимента.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 20-07-00861а).

Анализ затухания сейсмических воздействий для Байкальской рифтовой зоныВ. А. Миронов^{1,2}, С. А. Перетокин^{2,3}, К. В. Симонов¹¹Институт вычислительного моделирования СО РАН²Красноярский филиал Федерального исследовательского центра информационных и вычислительных технологий³Институт физики Земли им О. Ю. Шмидта РАН

Email: vasya-kun@mail.ru

DOI: 10.24412/cl-35065-2022-1-00-84

Работа посвящена обработке землетрясений Байкальской рифтовой зоны и анализу полученных данных. Для обработки была адаптирована методология Тихоокеанского центра инженерных исследований землетрясений при реализации научного проекта NGA-West2 [1, 2]. Цель обработки – определение пиковых ускорений и скоростей грунта, спектров реакции ускорений. В работе представлены распределения полученных значений относительно расстояния до источника, а также сопоставление с современными зарубежными моделями затухания.

Работа выполнена по теме госзадания № 0144-2019-0010 с использованием данных, полученных на установке "Сейсмоинфразвуковой комплекс мониторинга арктической криолитозоны и комплекс непрерывного сейсмического мониторинга Российской Федерации, сопредельных территорий и мира".

Список литературы

1. Bozorgnia Y., et al. NGA-West2 Research Project // Earthquake Spectra. 2014. V. 30. № 3. P. 973–987.
2. Ancheta T. D., et al. NGA-West2 Database // Earthquake Spectra. 2014. V. 30. № 3. P. 989–1005.

Синтетические диаграммы электрического и электромагнитного каротажа при интерпретации данных в системе АТЛАС МФМВ. Нестерова², И. В. Суродина^{1,2}, Н. М. Черняк²¹Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН²Институт нефтегазовой геологии и геофизики СО РАН

Email: NesterovaGV@ipgg.sbras.ru

DOI: 10.24412/cl-35065-2022-1-00-85

Реляционная база данных АТЛАС МФМ представляет собой коллекцию цифровых многофизичных моделей нефтегазонасыщенных коллекторов [1, 2]. Система АТЛАС МФМ предназначена для построения сценариев бурения и разработки скважин, анализа и интерпретации результатов комплекса геофизических, технологических, инженерных исследований скважин. Для построения многофизичной модели пласта-коллектора по практическим каротажным данным в системе АТЛАС МФМ разработаны новые версии программ моделирования сигналов ВИКИЗ и БКЗ. Скорости расчета профиля сигналов позволяют автоматизировать построения цифровой многофизичной модели пласта в АТЛАСе МФМ.

Работа выполнена при финансовой поддержке проекта ФНИ № FWZZ-2022-0025, программы моделирования усовершенствованы в рамках государственного задания ИВМиМГ СО РАН 0251-2021-0004.

Список литературы

1. Нестерова Г. В., Ельцов И. Н., Назарова Л. А., Назаров Л. А., Соболев А. Ю., Суродина И. В., Черняк Н. М. // ATLAS MPhMR: Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2021621410, дата регистрации 29.06.2021.
2. Суродина, И.В., Нестерова, Г. В. Моделирование показаний зондов ВИКИЗ и БКЗ на графических процессорах // Петрофизика сложных коллекторов: проблемы и перспективы 2015. Сборник статей EAGE. С. 85–94.

Локационное обнаружение и оценка параметров отраженных сейсмических импульсов

Е. В. Рабинович

Новосибирский государственный технический университет

Email: erabinovich1952@gmail.com

DOI: 10.24412/cl-35065-2022-1-00-87

В работе используются идеи метода отраженных волн, в котором при взрывном возбуждении колебаний схематизируется процесс распространения нелинейных волн движением энергии отраженного сейсмического импульса. Если импульс обнаружен то, в рамках априорных предположений о свойствах среды, можно осуществить локацию его фаз.

Методы оптимального приема отраженных импульсов, на фоне регулярных и нерегулярных помех, при различных условиях возбуждения и регистрации сигналов, хорошо изучены в радиолокации.

Идея предлагаемой локационной технологии основана на применении методов радиолокации для решения задач обнаружения и оценки параметров сейсмических импульсов, отраженных от глубинных границ исследуемой среды.

Список литературы

1. Тихонов В. И. Оптимальный прием сигналов. М.: Радио и связь, 1983. 320 с.
2. Rabinovich E. V., Shefel G. S., Jukov A. V. Location Technology for Construction of Seismic Images // Proc. of 14th International Scientific-Technical Conf. on Actual Problems of Electronic Instrument Engineering Proceedings APEIE-2018. V. 1. Part 4. P. 519 523.
3. Rabinovich E. V., Filipenko N. Y., Shefel G. S. Generalized model of seismic pulse // Proc. of International Conf. Information Technologies in Business and Industry 2018 IOP Conf. Series: J. of Physics: Conf. Series 1015 (2018).

Применение вейвлет-анализа для определения квази-двухдневной вариации f0F2 по данным ионозонда Варшава

С. А. Рябова

Институт физики Земли им. О. Ю. Шмидта Российской академии наук

Институт динамики геосфер им. акад. М. А. Садовского Российской академии наук

Email: riabovasa@mail.ru

DOI: 10.24412/cl-35065-2022-1-00-88

Целью настоящего исследования является изучение применимости вейвлет-анализа для выявления возможных квази-двухдневных осцилляций ионосферного параметра f0F2. Использование вейвлет-анализа позволяет получить частотно-временную информацию о временном ряде и определить более точно, по сравнению с классическим спектральным анализом, момент возникновения определенного типа колебаний [1]. В ходе применения вейвлет-анализа использовались результаты определения критической частоты F₂-слоя на основе анализа ионограмм, полученных при высотно-частотном зондировании в г. Варшава с помощью ионозонда VISRC2.

Исследования выполнены в рамках государственного задания ИДГ РАН № 1220329000185-5 "Проявление процессов природного и техногенного происхождения в геофизических полях и государственного задания ИФЗ РАН.

Список литературы

1. Riabova S. Application of wavelet analysis to the analysis of geomagnetic field variations // J. of Physics Conference Series. 2018. V. 1141. N 1. DOI:10.1088/1742-6596/1141/1/012146.

Возможности программных средств метода электротомографии для изучения объектов небольшого размера

А. М. Санчаа, Н. Н. Неведрова, А. В. Мариненко, А. Е. Шалагинов

Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН

Email: SanchaaAM@ipgg.sbras.ru

DOI: 10.24412/cl-35065-2022-1-00-89

Электротомография – многоэлектродный малоглубинный метод постоянного тока с высокой разрешающей способностью в горизонтальном направлении, которая связана с расстоянием между электродами (2–10 м в зависимости от размеров поискового объекта). Метод электротомографии с каждым годом все более широко применяется для решения самых разных задач. Например, в наших работах [1, 2] метод используется для изучения разломных структур, мониторинговых исследований в сейсмоактивных районах. Также электротомография востребована в археологических раскопках [3], в задачах контроля хвостохранилищ [4], инженерных изысканиях. В настоящее время существует несколько программных продуктов для интерпретации данных. Как показывают наши результаты, следует учитывать возможности применения того или иного программного комплекса для решения конкретной задачи. В работе представлены результаты сопоставления программных средств для изучения объектов небольших размеров, расположенных в приповерхностных горизонтах геологического разреза. В частности, такие объекты часто присутствуют в инженерных задачах (идентификация трубопроводов малого диаметра, поиск мест протечек из трубопроводов и хвостохранилищ, археологические артефакты и пр.) .

Работа выполнена при финансовой поддержке базового проекта ИНГГ СО РАН (код проекта FWZZ-2022-0025).

Список литературы

1. Sanchaa A. M., Nevedrova N. N., Surodina I. V. Numerical modeling of fault structures in the Kurai basin of Gorny Altai based on data from direct current methods // Марчукские научные чтения-2021: Тезисы Международной конференции, Новосибирск, 4–8 октября 2021 г. С. 92–93.

2. Шапаренко, И. О. Мониторинг разломных зон методом электротомографии (на примере горного Алтая) / И. О. Шапаренко, Н. Н. Неведрова // Проблемы геодинамики и геоэкологии внутриконтинентальных орогенов : Тезисы докладов VII Международного симпозиума, посвящ. 80-летию Ю. А. Трапезникова, Бишкек, 19–24 июня 2017 г. Бишкек: Науч. станция РАН в Бишкеке, 2017. С. 433–437.

3. Балков Е. В., Карин Ю. Г., Позднякова О. А., Дядьков П. Г., Гоглев Д. А. Результаты комплексных исследований курганного могильника Аул-Кошкуль-1 в Барабинской лесостепи // Археология, этнография и антропология Евразии. 2022. Т. 50, № 1. С. 138–146.

4. Бортникова С. Б., Юркевич Н. В., Еделев А. В., Саева О. П., Грахова С. П., Волынкин С. С., Карин Ю. Г. Гидрохимические и газовые аномалии на сульфидном хвостохранилище (Салаир, Кемеровская область) // Изв. Том. политехн. ун-та. Инжиниринг георесурсов. 2021. Т. 332. № 2. С. 26–35.

Численное моделирование показаний зондов для малоглубинной электроразведкиИ. В. Суродина^{1,2}, Е. В. Балков²¹*Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН*²*Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН*

Email: sur@ommfao1.sccc.ru

DOI: 10.24412/cl-35065-2022-1-00-90

Для зондов малоглубинного частотного зондирования ЭМС [1] и для зондов малоглубинного радиально-частотного зондирования Геовизер [2] созданы программы, позволяющие моделировать показания зондов в реальных средах. При моделировании используется конечно-разностный подход к аппроксимации уравнений Максвелла. Для получения быстрых расчетов программы написаны для графических

процессоров. Проведено тестирование и верификация программ в большом по сопротивлению диапазоне моделей реальных сред.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИВМиМГ СО РАН 0251-2021-0004.

Список литературы

1. Манштейн, А. К., Панин Г. Л., Тикунов С. Ю. Аппаратура частотного электромагнитного зондирования "ЭМС" // Геология и геофизика. 2008. № 6. С. 571–579.
2. Балков Е. В., Манштейн А. К. Макетирование аппаратуры малоуглубинного электромагнитного профилирования и радиально-частотного зондирования // X Международная выставка и научный конгресс "ГЕО-Сибирь-2014", Новосибирск, 8–18 апреля 2014 г. : сб. материалов. Новосибирск, 2014. Т. 2. С. 3–7.

Моделирование работы скважины с ГРП при переходном режиме работы

Н. О. Фокеева¹, Р. А. Башмаков^{1,2}

¹Институт механики им. Р. Р. Мавлютова Уфимского федерального исследовательского центра РАН

²Башкирский государственный университет

Email: ffoxnina@gmail.com, Bashmakov_Rustem@mail.ru

DOI: 10.24412/cl-35065-2022-1-00-92

Метод гидравлического разрыва пласта (ГРП) является одним из важнейших методов увеличения нефтеотдачи и воздействия на пласт. За более чем полувековую историю, теория ГРП накопила множество результатов. Так, например, в статье [1] рассматривались задачи об эволюции давления в окрестности трещины ГРП при поддержании постоянного дебита. Данный же доклад посвящен переходному режиму работы скважины в случаях: изменения давления на скважине и изменения дебита скважины.

Таким образом, в работе выведены точные аналитические решения, позволяющие описать связь между дебитом и давлением, как на скважине, так и в трещине. Эти решения применимы для моделирования дебита на основе известной динамики изменения давления и наоборот, а также для определения эволюции давления в трещине ГРП. Теоретические кривые, построенные на основе полученных результатов и промысловых данных замеров дебита, показывают хорошее совпадение с соответствующими промысловыми замерами давления.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (код проекта 21-11-00207).

Список литературы

1. Шагапов В. Ш., Нагаева З. М. К теории фильтрационных волн давления в трещине, находящейся в пористой проницаемой среде // ПМТФ. 2017. Т. 58, № 5. С. 121–130.

Численное моделирование распространения упругих волн в смежных средах Байкальской рифтовой зоны

М. С. Хайретдинов, А. А. Михайлов

¹Институт вычислительной математики математической геофизики СО РАН

²Новосибирский государственный технический университет

Email: marat@opg.sccc.ru

DOI: 10.24412/cl-35065-2022-1-00-93

Разработана программно-аналитическая система численного моделирования распространения сейсмических волн в сопряженных средах в районе Байкальской рифтовой зоны (БРЗ). Моделирование основано на численном решении прямой динамической задачи теории упругости. Для моделирования волнового поля использовалась постановка начально-краевой задачи в Декартовой системе координат (x_1, x_2, x_3) . Связь между компонентами напряжений и скоростями смещений для распространения

сейсмоакустических колебаний в упругой изотропной среде записывается в виде волнового уравнения с правой частью в виде временного сигнала с заданной силой импульса Пузырева с несущей частотой 8 Гц и длительностью 0.125 сек.

Алгоритм решения поставленной задачи описывается в работе [1]. Для моделирования в случае с тонким льдом использовалась постановка 2.5D задачи и алгоритм ее решения, приведенный в работах [2, 3].

Для моделирования по Байкальскому профилю использовался двухмерный случай постановки задачи в плоскости (x, z) . Моделировалось волновое поле от локального источника типа вертикальная сила. При расчетах задавалась ограниченная по пространству область размерностью $(x, z)=(90 \text{ км}, 45 \text{ км})$. Для подавления отражения волн на границах ограничивающих заданную область был использован способ ограничения расчетной области идеально поглощающими PML слоями (PML аббревиатура английского Perfectly Matched Layers) [4].

Результатами численного моделирования являются мгновенные снимки волновых полей, а также синтетические сейсмограммы, охватывающие профиль протяженностью 86 км.

Полученные результаты направлены на интерпретацию результатов вибрационного просвечивания смежных сред- земля-вода-лед-атмосфера в экспериментах, выполненных на профиле "пос. Бабушкин – пос. Бугульдейка" [5].

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 20-07-00861), госзадания № 0251_22_0004.

Список литературы

1. Михайленко Б. Г., Михайлов А. А. Численное моделирование распространения сейсмических и акусто-гравитационных волн для модели "земля – атмосфера" при наличии ветра в атмосфере // СибЖВМ. 2014. Т. 17, № 2. С. 149–162.
2. Михайлов А. А., Мартынов В. Н. Математическое моделирование распространения акустико-гравитационных и сейсмических волн в неоднородной модели "земля – атмосфера при наличии стратификации ветра в атмосфере // Математические заметки СВФУ. 2015. Т. 22, N. 2. С. 92–105.
3. Collino F. 1996. Perfectly matched absorbing layers for the paraxial equations. J. Comput. Phys. 131(1), 164–180.
4. Collino F., Tsogka C. 2001. Application of PML absorbing layer model to the linear elastodynamic problem in anisotropic heterogeneous media // Geophysics. 66(1). P. 294–307.
5. Хайретдинов М. С., Брагинская Л. П., Жигмытов Б. А., Жостков Р. А., Ковалевский В. В., Машников Д. Я., Преснов Д. А., Предеин П. А., Толочко В. В. Эксперименты по вибророндированию смежных сред "земля – море – лед – атмосфера" в районе Байкальской рифтовой зоны" // Доклад на конференции ИНТЕРЭКСПО ГЕО-СИБИРЬ-2021.

Mathematical simulation of multiphysics phenomena using digital rock cores

E. P. Shurina^{1,2}, N. B. Itkina^{1,3}, D. A. Arhipov², D. V. Dobrolubova^{1,2}, A. Yu. Kutishcheva^{1,2}, S. I. Markov^{1,2}, N. V. Shtabel^{1,2}, E. I. Shtanko¹

¹*Novosibirsk State Technical University*

²*Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics, SB RAS*

³*Institute of Computational Technologies, SB RAS*

Email: www.sim91@list.ru

DOI: 10.24412/cl-35065-2022-1-00-94

Numerical simulation and interpretation of the obtained data may provide valuable insights into various aspects of the physical phenomena occurring in geological media. When performing mathematical modelling, it is important not only to increase the accuracy of the numerical methods employed but also to adequately

capture the complex internal structure typical of the native materials. In recent years, nondestructive imaging methods have been widely used to describe the internal geometry of the rock samples (cores). Consequently, the techniques for constructing digital analogues of the rock cores suitable for mathematical modelling are rapidly advancing. In our work, we focus on a technique for obtaining a hierarchical mesh model of the heterogeneous medium based on the set of its digital images. The resulting mesh accurately captures the microscale features of the complex object and can be used in numerical simulations. The choice of the particular numerical method and the type of the mesh model structure depends on the physical process under study. The novelty of the research is the usage of a hierarchical mesh model for the core internal structure reconstruction and further implementation of conforming and non-conforming finite element methods for modelling the fluid transport, thermal and electromagnetic processes.

This work was supported by the project № FWZZ-2022-0030.

СЕКЦИЯ 4**Математические модели физики атмосферы, океана и окружающей среды****Моделирование переноса примесей с помощью модели Planet Simulator**

И. В. Боровко

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН

Email: irina@ommfao1.sccc.ru

DOI: 10.24412/cl-35065-2022-1-00-95

Модель общей циркуляции Planet Simulator (PlaSim) относится к классу моделей промежуточной сложности и предназначена для чувствительности климатической системы к различным факторам. Одним из таких факторов являются фотохимически активные примеси в атмосфере. Для описания изменений химического состава атмосферы необходим адекватный блок переноса примесей. В данной работе представлена модификация блока переноса примесей на основе массовых потоков.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИВМиМГ СО РАН (проект НИР № 0251-2021-0003).

Определение типа и формы рельефа в методологии прогноза горных волн по негидростатической региональной модели численного прогноза погоды высокого пространственного разрешения

Е. М. Вербицкая, С. О. Романский

Дальневосточный региональный научно-исследовательский гидрометеорологический институт

Email: werbaem@gmail.com

DOI: 10.24412/cl-35065-2022-1-00-96

Горные волны (ГВ) представляют опасность для авиации. Наблюдения таких явлений практически не выполняются. Диагноз наличия и оценка интенсивности ГВ стали возможны благодаря развитию численных моделей прогноза погоды высокого пространственного разрешения, но такие исследования часто выполняются постфактум при анализе причин авиационного происшествия [1]. Теория ГВ разработана достаточно хорошо [2, 3], но технологии прогнозирования практически отсутствуют.

Одной из основных задач прогноза ГВ по большой территории на основе численного моделирования является определение форм рельефа местности, способных к образованию ГВ, и соответствующих интервалов направления ветра для каждой точки модельной сетки. В докладе будет представлен способ определения форм рельефа местности и интервалов направления ветра, при которых возможно возникновение ГВ для каждого из типов рельефа по выходной продукции модели Weather research and forecasting [4], на основе которой разрабатывается технология прогноза наличия и интенсивности ГВ для Дальневосточного региона России.

Работа выполнена в рамках НИТР 1.4.2.2 Плана НИТР Росгидромета на 2020–2024 гг. (рег. номер АААА-А20-120012890067-4).

Список литературы

1. Maruhashi J., Serrão P., Belo-Pereira M. Analysis of mountain wave effects on a hard landing incident in Pico aerodrome using the AROME model and airborne observations // Atmosphere. 2019. V. 10, № 7: 350.
2. Smith R. 100 years of progress on mountain meteorology // Meteorological monographs. V. 59:20.
3. Винниченко Н. К., Пинус Н. З., Шметер С. М., Шур Г. Н. Турбулентность в свободной атмосфере. Л.: Гидрометеиздат, 1976.
4. Skamarock W. C., Klemp J. B., Dudhia J., Gill D. O., Barker D., Duda M. G., et al. A description of the Advanced Research WRF Version 3 (N NCAR/TN-475+STR). University Corporation for Atmospheric Research, 2008.

Математическая модель захоронения углекислого газа в пороупругой среде

Р. А. Вирц, А. А. Папин

Алтайский государственный университет

Email: virtsrudolf@gmail.com

DOI: 10.24412/cl-35065-2022-1-00-97

В работе рассматривается модель захоронения углекислого газа в среде с переменной пористостью. В основу модели положены законы сохранения масс для газовой и твердой фаз, закон Дарси, реологическое соотношение и уравнение баланса сил [1–2]. В частном случае система определяющих уравнений сводится к уравнениям для нахождения эффективного давления и пористости [2]. Проведено численное и аналитическое исследование полученной начально-краевой задачи.

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования РФ по теме "Современные методы гидродинамики для задач природопользования, промышленных систем и полярной механики" (код темы FZMW-2020-0008).

Список литературы

1. Вирц, Р. А. Проблемы математического моделирования хранения углекислого газа в геологических формациях: учебное пособие / Р. А. Вирц, А. А. Папин. Барнаул: Алтайский государственный университет, 2021. 70 с
2. Connolly J. A. D., Podladchikov Y. Y. Compaction-driven fluid flow in viscoelastic rock // *Geodinamica Acta*. 1998. V. 11. № 2–3. P. 55–84.

Моделирование климата Арктики с помощью новой климатической модели INMCM-SibCIOM

В. С. Градов¹, Г. А. Платов¹, Е. М. Володин²

¹*Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН*

²*Институт вычислительной математики им. Марчука РАН*

Email: gradov.v.s@gmail.com

DOI: 10.24412/cl-35065-2022-1-00-99

В данной работе проводится описание построения и предварительное тестирование новой климатической модели INMCM-SibCIOM. Она строится на основе совместной модели океана и морского льда SibCIOM [1–3], разработанной в ИВМиМГ СО РАН, и климатической модели INMCM48[4], разработанной в ИВМ РАН им. Марчука. Обе модели представляют собой взаимосвязанные независимые блоки, описывающие состояние отдельных климатических компонент (атмосфера, океан, морской лед, суша), что позволяет произвести декомпозицию каждой модели и собрать блоки в другой конфигурации. Атмосферный блок модели INMCM48 способен детально воспроизводить состояние атмосферы, в то время как океанический и ледовый блок модели SibCIOM настроены на детальное воспроизведение климата Арктики. Поэтому совместная работа данных блоков позволит получать более качественные результаты не только при моделировании климата Арктики, но и при моделировании глобального климата.

Работа выполнена в рамках программы "Горизонт 2020" по проекту CRiceS при финансовой поддержке Российской Федерации в лице Минобрнауки России, Соглашение № 075-15-2021-947.

Список литературы

1. Golubeva E. N., Platov G. A. (2007) On improving the simulation of Atlantic Water circulation in the Arctic Ocean // *J. Geophys. Res.*, 112, C04S05. DOI:10.1029/2006JC003734.
2. Голубева Е. Н. Численное моделирование динамики атлантических вод в Арктическом бассейне с использованием схемы QUICKEST. 2008. Вычислительные технологии, 13(5), 11–24.

3. Hunke E. C., W. H. Lipscomb. 2004. CICE: the Los Alamos Sea Ice Model, Documentation and Software User's Manual. T-3 Fluid Dynamics Group, Los Alamos National Laboratory. Tech. Rep. LA-CC-98-16. V. 3.1.
4. Volodin, E., Mortikov, E., Kostykin, S., Galin, V., Lykossov, V., Gritsun, A., Diansky, N., Gusev, A., Iakovlev, N., Shestakova, A. and Emelina, S. (2018) Simulation of the modern climate using the INM-CM48 climate model. RJNAMM. V. 33, iss. 6. P. 367–374. URL: <https://doi.org/10.1515/rnam-2018-0032>.

Новая версия численной модели динамики полярного океана с учетом погруженного морского льда

М. А. Градова, Е. Н. Голубева

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН

Email: tarkhanova@sscc.ru

DOI: 10.24412/cl-35065-2022-1-01-00

Представлена новая версия численной модели океанической циркуляции, являющейся одним из основных блоков совместной модели океана и морского льда SibCIOM (Siberian coupled ice – ocean model) и модели климатической системы Земли, разрабатываемых в ИВМиМГ СО РАН. Математическая постановка задачи основана на физических законах динамики жидкости на вращающейся Земле. Используются приближения Буссинеска и гидростатики. Особенностью новой численной модели океана является учет изменения уровня поверхности океана при моделировании процессов замерзания и таяния льда. В отличие от постановки, где предполагается, что морской лед дрейфует по океанической поверхности, в новой версии рассматривается возможность погружения льда в поверхностный слой океана. Новая версия численной модели предусматривает возможность формирования ледяного покрова, толщина которого превышает первый расчетный уровень океанической модели. Решение проблемы осуществляется за счет введения меняющейся по времени вертикальной системы координат в верхнем слое океана. Преимущества новой модели обсуждаются на основе анализа результатов численных расчетов.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИВМиМГ СО РАН (проект 0251-2021-0003).

Численное исследование наката длинных волн на криволинейный склон в рамках нелинейно-дисперсионной модели мелкой воды

О. И. Гусев, Г. С. Хакимзянов, Л. Б. Чубаров

Федеральный исследовательский центр информационных и вычислительных технологий

Email: gusev_oleg_igor@mail.ru

DOI: 10.24412/cl-35065-2022-1-01-01

Задача о накате длинных поверхностных волн на криволинейный склон исследуется в рамках иерархии одномерных моделей мелкой воды. Разработаны разностные краевые условия в подвижной точке уреза ("вода – суша") для нелинейно-дисперсионной версии модели (Серре – Грина – Нагди), а также численный алгоритм на основе явной схемы предиктор–корректор [1] на адаптивных сетках, отслеживающих положение подвижной точки уреза. Приведено сравнение полученных результатов с известными экспериментальными данными, а также с аналитическими и численными решениями [2] уравнений теории мелкой воды первого длинноволнового приближения. Исследовано влияние формы склона и взаимодействующей с ним волны на величины максимальных высоты и дальности заплеска на берег.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (код проекта 21-71-00127).

Список литературы

1. Федотова З. И., Хакимзянов Г. С., Гусев О. И., Шокина Н. Ю. Нелинейно-дисперсионные модели волновой гидродинамики: уравнения и численные алгоритмы. Новосибирск: Наука, 2017.

2. Бейзель С. А., Шокина Н. Ю., Хакимзянов Г. С., Чубаров Л. Б., Ковыркина О. А., Остапенко В. В. О некоторых численных алгоритмах расчета наката волн цунами в рамках модели мелкой воды. I // Вычислительные технологии. 2014. Т. 19, № 1. С. 40–62.

Обратные задачи об источнике для уравнения глобальной электрической цепи в атмосфере

А. В. Калинин^{1,2}, А. А. Тюхтина¹, Н. В. Капкаев¹

¹Нижегородский государственный университет им. Н. И. Лобачевского

²Институт прикладной физики РАН

Email: avk@mm.unn.ru

DOI: 10.24412/cl-35065-2022-1-01-02

Уравнение глобальной электрической цепи [1] можно рассматривать как нерелятивистское электрическое приближение для системы уравнений Максвелла. Прямые задачи для этого приближения приводят к изучению неклассических уравнений математической физики. Физическое обсуждение и математическая теория прямых задач содержатся в [2, 3]. В настоящей работе изучаются различные постановки задач об определении генераторов глобальной электрической цепи. Обсуждаются алгоритмы решения, приводятся численные иллюстрации.

Работа выполнена при финансовой поддержке научно-образовательного математического центра "Математика технологий будущего" (Соглашение № 075-02-2022-883).

Список литературы

1. Мареев Е. А. Достижения и перспективы исследований глобальной электрической цепи // Успехи физ. наук. 2010. Т. 180. № 5. С. 527–534.
2. Калинин А. В., Слюняев Н. Н., Мареев Е. А., Жидков А. А. Стационарные и нестационарные модели глобальной электрической цепи: корректность, аналитические соотношения, численная реализация // Известия РАН. Физика атмосферы и океана. 2014. Т. 50. № 3. С. 314–322.
3. Kalinin A. V., Slyunyaev N. N. Initial-boundary value problems for the equations of the global atmospheric electric circuit // J. Math. Anal. Appl. 2017. V. 450. № 1. P. 112–136.

Применение алгоритма ансамблевого сглаживания Калмана в задаче оценки потоков парниковых газов с поверхности Земли

Е. Г. Климова

Федеральный исследовательский центр информационных и вычислительных технологий

Новосибирский государственный университет

Email: klimova@ict.nsc.ru

DOI: 10.24412/cl-35065-2022-1-01-03

Изучение распространения в пространстве и времени парниковых газов, а также оценка потоков с поверхности Земли этих газов с помощью системы усвоения данных представляет собой актуальную задачу мониторинга состояния окружающей среды. Одним из подходов к оценке потоков парниковых газов является подход, основанный на предположении, что потоки постоянны в заданной подобласти и на заданном временном интервале (порядка недели). Это обусловлено как необходимостью эффективной реализации алгоритма, так и свойствами используемых в таких задачах данных наблюдений.

Современные задачи оценки потоков парниковых газов с поверхности Земли имеют большую размерность, поэтому обычно рассматривается вариант, в котором оцениваемой переменной является потоки, а модель переноса и диффузии входит в оператор наблюдения. При этом возникает проблема использования больших окон усвоения, в пределах которых оцениваемая эмиссия меняет значение.

В докладе рассматривается алгоритм оценки потоков по данным наблюдений из заданного временного интервала. Алгоритм является вариантом алгоритма ансамблевого сглаживания, широко применяемого в таких задачах. Показано, что при использовании окна усвоения, в котором происходит изменение значений потоков, алгоритм может становиться неустойчивым, при этом нарушается свойство наблюдаемости алгоритма.

Оценка влияния океанических процессов на формирование тенденций арктического льда

М. В. Крайнева, Г. А. Платов

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН

Email: krayneva-m@yandex.ru

DOI: 10.24412/cl-35065-2022-1-01-04

Наблюдаемые изменения климата приводят к потеплению и опреснению Северного Ледовитого океана, изменению его циркуляции, уменьшению площади морского льда. Разложение по эмпирическим ортогональным функциям (EOF) [1], используются в качестве инструмента анализа для выявления и классификации пространственных закономерностей. Однако, это не позволяет выявить связь между компонентами системы. В этом исследовании акцент сделан на сингулярном разложении (SVD) [1]. С его помощью проводится оценка влияния океанических процессов на формирование тенденций арктического льда при использовании результатов численных экспериментов, полученных с помощью региональной численной модели SibCIOM [2].

Работа выполнена при финансовой поддержке РФ в лице МНВО, Согл. № 075-15-2021-947.

Список литературы

1. Björnsson H., Venegas S. A., 1997: A manual of EOF and SVD analyses of climate data. // Dep. Atmosph. and Oceanic Sci. and Centre for Climate and Global Change Res., McGill University. 53 pp.
2. Golubeva E. N., Platov G. A. Numerical modeling of the Arctic Ocean ice system response to variations in the atmospheric circulation from 1948 to 2007 // Izv. Atmosph. Oceanic Phys. 2009. 45(1). P. 137–151.

Investigation of features eddy momentum and heat fluxes in the region of jet streams

V. N. Krupchatnikov^{1,2}, A. V. Gochakov²

¹*Institute of Computational Mathematics and Mathematical Geophysics SB RAS*

²*Siberian Regional Research Hydrometeorological Institute*

Email: vkrupchatnikov@yandex.ru

DOI: 10.24412/cl-35065-2022-1-01-05

The eddy fluxes in the general circulation are often treating as turbulence, where eddies act to diffuse certain quasi conservative quantities, such as potential vorticity (PV), along isentropic surfaces in the free atmosphere.

The eddy fluxes are determined primarily by the eddy diffusivities and are down-gradient of the basic state PV field. Support for the turbulence approach stems from the fact that the eddy fluxes of PV in the free atmosphere are generally downgradient in the long-term mean. In this report we will discuss some results of the study of Rossby wave breaking processes in the region of a subtropical jet stream [1]. Many large-scale dynamic phenomena in the Earth's atmosphere are associated with the processes of propagation and breaking of Rossby waves [2–6]. Here we call attention to region of upgradient eddy PV fluxes in region of the jet in North Hemisphere associated with the overturning of Rossby waves. In some cases, the PV flow to the north turns out to be counter-gradient, and such flows result from non-linear wave breaking [7]. The eddy momentum flux

convergence and divergence near the tropopause correspond to northward and southward fluxes of PV. The northward PV flux is upgradient, and such fluxes have been arising from nonlinear wave breaking.

This work was (partially) supported by the Russian Science Foundation (grant 19-17-00248) and under state contract with ICMMG SB RAS (0251-2021-0003).

References

1. A. V. Gochakov, O. Yu. Antokhina, V. N. Krupchatnikov, Yu. V. Martynova Long-term Variability of Rossby Wave Breaking in the Sub tropical Jet Stream Area // Russian Meteorology and Hydrology, 2022. V. 47, N 2. P. 79–88.
2. Barnes E. A., Hartmann D. L. Detection of Rossby wave breaking and its response to shifts of the midlatitude jet with climate change // J. of Geophysical Research: Atmospheres. 2012. V. 117. D09117.
3. Krupchatnikov V. N., Borovko I. V. Rossby wave breaking and blocking events associated with some atmospheric circulation regimes in the Northern Hemisphere based on a climate system model (PlaSim-ICMMG-1.0) // J. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2020. V. 611, p. 012015
4. Lupo A., Jensen A., Mokhov I., Timazhev A., Eichler T., Efe, B. Changes in Global Blocking Character in Recent Decades // J. Atmosphere, 2019. V. 10, No 2, p. 92.
5. Maher P. et al. Is the subtropical jet shifting poleward? // J. Climate Dynamics, 2019. V. 54, No 3–4. P. 1741–1759
6. McIntyre M. E., Palmer T. N. Breaking planetary waves in the stratosphere // J. Nature, 1983. V. 305. P. 593–600.
7. T. Birner, D. W. Thompson, T. G. Shepherd. Up-gradient eddy fluxes of potential vorticity near the subtropical jet - Geophysical Research Letters. V. 40, 5988–5993, 2013.

Континентальная модель маршрутизации с переменной скоростью речного стока

А. И. Крылова¹, Н. А. Лаптева²

¹Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН

²ФБУН ГНЦ ВБ "Вектор" Роспотребнадзора

Email: alla@climate.sccc.ru

DOI: 10.24412/cl-35065-2022-1-01-06

В данной работе представлено моделирование суточных колебаний речного стока в континентальном масштабе на основе алгоритма переменной скорости потока [1–2]. Климатическая модель формирования стока обеспечивает маршрутизацию и расчет речного стока для сравнения с данными наблюдаемых гидрографов [3]. Проведены численные эксперименты с постоянной и переменной скоростью потока [4]. Вариант с переменной скоростью демонстрирует преимущества перед вариантом с постоянной скоростью потока, что дает в будущем возможность моделирования паводковых событий на водосборе.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИВМиМГ СО РАН (проект № 0215-2021-003) и при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант 20-05-00241а).

Список литературы

1. Arora V. K. and Boer, G. J.: Effects of simulated climate change on the hydrology of major river basins // J. Geophys. Res., 2001, 106(D4). P. 3335–3348.
2. Schulze K., Hunger M. and Döll P. Simulating river flow velocity on global scale. Adv. Geosci., 2005, 5. P. 133–136.
3. Крылова А. И., Лаптева Н. А. Моделирование речного стока в бассейне реки Лена на основе гидрологически-корректной цифровой модели рельефа // Проблемы информатики. 2020. № 4. С. 71–88.
4. Dingman S. L. and Sharma K. P. Statistical development and validation of discharge equations for natural channels // J. Hydrol. 1997. 1(199). P. 13–35.

Численное исследование воздействия поверхностного теплового пятна и шероховатости на структуру устойчиво стратифицированного пограничного слоя атмосферы

Л. И. Курбацкая

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН

Email: L.Kurbatskaya@ommgp.sccc.ru

DOI: 10.24412/cl-35065-2022-1-01-07

В докладе приводятся результаты мезомасштабного моделирования структурных особенностей устойчиво стратифицированного пограничного слоя атмосферы (ПСА) над урбанизированной поверхностью с помощью нелокальной модели турбулентности, аккуратно учитывающей воздействие эффектов плавучести на турбулентный перенос импульса и тепла. Для анализа структуры течения и статистики турбулентности устойчиво стратифицированного пограничного слоя атмосферы применена RANS схема турбулентности [1, 2], включающая эффект внутренних волн. Рассматривается влияние поверхностного теплового пятна и крупномасштабной шероховатости. Структурные элементы крупномасштабной шероховатости явно не разрешаются, а эффект их влияния на трансформацию полей скорости, температуры и турбулентность учитывается параметрически, в определяющие уравнения пограничного слоя (и уравнения переноса трехпараметрической модели турбулентности) в аддитивной форме включаются дополнительные источниковые члены [3]. Результаты вычислений показывают, что развитая модель способна воспроизвести наиболее важные структурные особенности турбулентности в городском слое препятствий вблизи урбанизированной поверхности городского ПСА, а также воздействие городской шероховатости и теплового пятна на глобальную структуру полей ветра и температуры над урбанизированной поверхностью.

Работа была выполнена в рамках госзадания ИВМиМГ СО РАН № 0251-2021-0003 и при частичной финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект 20-01-00560 А).

Список литературы

1. Kurbatskii A. F., Kurbatskaya L. I. Investigation of a stable boundary layer using an explicit algebraic model of turbulence // Thermophysics and Aeromechanics, 2019. V. 26, N 3. P. 335–350.
2. Курбацкий А. Ф., Курбацкая Л. И. Явная алгебраическая модель турбулентности планетарного пограничного слоя: тестовый расчет нейтрально стратифицированного атмосферного пограничного слоя // Теплофизика и аэромеханика. 2017. Т. 24. № 5. С. 725–738.
3. Курбацкий А. Ф., Курбацкая Л. И. Трехпараметрическая модель турбулентности для атмосферного пограничного слоя над урбанизированной поверхностью // Изв. АН. Физика атмосферы и океана. 2006. Т. 42, № 4. С. 476–494.

К решению задачи идентификации источника выброса в атмосферном слое

О. Н. Лапина, А. С. Жук, В. С. Харин

Кубанский государственный университет

Email: olga_ln@mail.ru

DOI: 10.24412/cl-35065-2022-1-01-08

Рассматривается плоская задача идентификации постоянного по времени источника загрязняющей примеси для однородного слоя атмосферы. Используются данные концентраций вещества, полученные в результате решения прямой задачи с заданными "точными" характеристиками функции источника. Прямая задача рассеяния примеси в однородном слое решается путем применения интегрального преобразования Фурье – Лапласа [1] Обратная задача сводится к оптимизационной постановке, для ее решения использованы квазиньютоновский метод с учетом фиксированных верхних и нижних границ переменных,

а также стохастический метод оптимизации с использованием роя частиц [2]. Последний по результатам серии расчетов с разным количеством точек наблюдений и различной погрешностью замеров концентрации ЗВ продемонстрировал устойчивые результаты даже в условиях сильной зашумленности имитируемых измерений.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 19-41-230011 p_a).

Список литературы

1. Сыромятников П. В., Кривошеева М. А., Лапина О. Н., Нестеренко А. Г., Никитин Ю. Г. Моделирование нестационарных процессов диффузии–конвекции–реакции в многослойном полупространстве и сцепленных полупространствах // Экологический вестник ЧЭС. 2020. Т. 17, № 1, ч. 1 С. 30–41.

2. Poli R. Analysis of the publications on the applications of particle swarm optimisation // J. of Artificial Evolution and Applications. 2008. P. 1–10.

Применение модели WRF для уточнения структуры оптической турбулентности

А. А. Леженин¹, П. Г. Коваadlo², О. А. Коробов³, А. Ю. Шиховцев²

¹Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН

²Институт солнечно-земной физики СО РАН

³Новосибирский государственный университет

Email: lezhenin@ommfao.sccc.ru

DOI: 10.24412/cl-35065-2022-1-01-09

Метеорологические процессы различных пространственно-временных масштабов, развивающиеся в условиях термически и орфографически неоднородной местности, оказывают существенное влияние на оптическую турбулентность и распространение излучения в атмосфере от естественных и искусственных источников света. С целью получения физически обоснованных метеорологических полей с высоким пространственным разрешением над территорией Саянской солнечной обсерватории, где эксплуатируются солнечные и звездные телескопы, была адаптирована гидродинамическая модель WRF-ARW [1] с размером внутренней области 100×100 км. Представлены результаты расчетов метеорологического режима и характеристик оптической турбулентности для указанной территории.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (код проекта 22-29-01137).

Список литературы

1. Skamarock, W. C., J. B. Klemp, J. Dudhia, D. O. Gill, Z. Liu, J. Berner, W. Wang, J. G. Powers, M. G. Duda, D. M. Barker, and X.-Y. Huang, 2019: A Description of the Advanced Research WRF Version 4. NCAR Tech. Note NCAR/TN-556+STR, 145 pp. DOI:10.5065/1dfh-6p97.

Оценка траекторий подъема дымовых шлейфов от высотных труб ТЭЦ

А. А. Леженин¹, В. Ф. Рапуга^{1,2}

¹Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН

²Новосибирский НИИ гигиены Роспотребнадзора

Email: lezhenin@ommfao.sccc.ru

DOI: 10.24412/cl-35065-2022-1-01-10

Рассматривается проблема оценивания параметров подъема дымовых выбросов от высотных труб. Для описания процессов распространения газоздушных смесей в атмосфере используются методы теории подобия и решения уравнений гидротермодинамики [1, 2]. В качестве входной информации в

моделях оценивания привлекаются спутниковые, наземные наблюдения, данные о динамических и тепловых характеристиках источников эмиссии.

Приводятся результаты численного анализа распространения дымовых шлейфов от высотных труб Ново-Иркутской ТЭЦ, Гусиноозерской ГРЭС. Выполнены оценки траекторий и дополнительных высот подъема дымовых смесей [3].

Работа выполнена в рамках гранта № 075-15-2020-787 Министерства науки и высшего образования РФ и госзадания ИВМиМГ СО РАН (проект № 0251-2021-0003).

Список литературы

1. Берлянд М. Е. Современные проблемы атмосферной диффузии и загрязнения атмосферы. Л.: Гидрометеоздат, 1975.
2. Csanady G. T. Some observation on smoke plumes // *Int. J. Air and Water Poll.* 1961. V. 4, No 1/2. P. 47–51.
3. Рапута В. Ф., Леженин А. А. Оценка динамических и тепловых характеристик подъема дымового факела по спутниковой информации // *Оптика атмосферы и океана.* 2021. Т. 34, № 7. С. 530–534.

Оценка площади распространения подводной мерзлоты и зоны стабильности гидратов метана на Арктическом шельфе

В. В. Малахова

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН

Email: malax@sscc.ru

DOI: 10.24412/cl-35065-2022-1-01-11

Подводная мерзлота в донных отложениях шельфа Северного Ледовитого океана сформировалась на суше в период понижения уровня океана и осушения шельфа [1].

Для изучения динамики и современного состояния подводной мерзлоты в донных отложениях шельфа морей Арктики разработана динамическая модель процессов теплопереноса, позволяющая рассчитывать динамику термического состояния донных отложений в случаях чередования границ талых и мерзлых слоев [2]. Динамика многолетнемерзлых пород определяется верхними и нижними граничными условиями в области моделирования, которая представляет собой геологический разрез толщиной 1500 м. Модель дополнена палеогеографическим сценарием изменения атмосферного воздействия и уровня океана [3]. Расчеты термического состояния донных отложений сопровождаются оценками термодинамических границ зоны стабильности газогидратов метана.

Получены оценки площади распространения и современного состояния многолетнемерзлых пород и зоны стабильности метангидратов Арктического шельфа с учетом данных интенсивности теплового потока, солености поровых вод и температуры придонной воды.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (код проекта 20-11-20112).

Список литературы

1. Romanovskii N. N., Hubberten H. W., Gavrillov A. V., Eliseeva A. A., Tipenko G. S. Offshore permafrost and gas hydrate stability zone on the shelf of East Siberian Seas // *Geo-Mar. Lett.* 2005. V. 25. P. 167–182.
2. Malakhova V. V. Estimation of the subsea permafrost thickness in the Arctic Shelf // *Proc. SPIE. 24th International Symposium on Atmospheric and Ocean Optics: Atmospheric Physics.* 2018. V. 10833. P. 108337T.
3. Gavrillov A., Malakhova V., Pizhankova E., Popova A. Permafrost and Gas Hydrate Stability Zone of the Glacial Part of the East-Siberian Shelf // *Geosciences.* 2020. V. 10 (12). P. 484.

Влияние изменений климата на эмиссию метана на акватории Арктических морей

В. В. Малахова, Е. Н. Голубева

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН

Email: malax@sscc.ru

DOI: 10.24412/cl-35065-2022-1-01-12

На основе модели океан – лед SibCIOM [1] выполнены расчеты по моделированию состояния водных масс Северного Ледовитого океана и переноса растворенного метана для периода с 1970 по 2019 гг. Проведено исследование связи пространственно-временных эмиссий метана на акватории Арктических морей с происходящими изменениями океана и льда.

Показано, что моря Восточно-Сибирского шельфа вносят наибольший вклад в общую эмиссию метана в регионе. Пространственная изменчивость потока метана в атмосферу обусловлена, прежде всего, особенностями циркуляции морей и ледовыми условиями в регионе. В среднем только 7 % растворенного метана, поступившего из донных отложений, переносится в атмосферу. Большая часть его накапливается в водном слое, переносится течениями и окисляется под действием микробов. Более длительные периоды открытой воды и уменьшение компактности ледового покрова способствуют устойчивому росту эмиссии метана, начиная с 2004 г. [2]. Рассчитанный годовой поток метана из шельфовых морей Арктики составил менее 2 Тг в год.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (коды проектов 20-05-00241, 20-05-00536).

Список литературы

1. Golubeva E. N., Platov G. A. Numerical modeling of the Arctic Ocean Ice System Response To Variations In The Atmospheric Circulation from 1948 to 2007 // *Izv Atmos Oceanic Phys.* 2009. V. 45. P. 137–151.
2. Malakhova V., Golubeva, E. Model Study of the Effects of Climate Change on the Methane Emissions on the Arctic Shelves // *Atmosphere.* 2022. V. 13. P. 274. URL: <https://doi.org/10.3390/atmos13020274>.

Фокусирование волновой энергии вдоль побережья круглого острова

Ан. Г. Марчук, Е. Д. Москаленский

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН

Email: mag@omzg.sccc.ru

DOI: 10.24412/cl-35065-2022-1-01-13

Ввиду независимости скорости движения фронта волны цунами от ее параметров (длины и амплитуды) особенности кинематики волнового фронта цунами можно исследовать с помощью, например, двумерного уравнения эйконала. В частности, конфигурация фронта волны цунами, распространяющейся над неровным дном, может привести к концентрации волновой энергии в некоторых точках области из-за эффекта фокусировки. Фокусировку можно определить как одновременный приход разных сегментов волнового фронта в какую-либо точку. В работе представлена пространственная форма начального источника волн, которая вызывает концентрацию волновой энергии вдоль береговой линии круглого острова. Теоретические результаты подтверждены численным моделированием динамики волны цунами в рамках модели мелкой воды. В некоторых местах островной прибрежной зоны высота волны превышает в 4 раза соответствующие значения в случае прихода к острову плоской волны цунами.

Иерархия алгоритмов обратного моделирования в системе Inverse Modeling Data Assimilation**Framework**

А. В. Пененко

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН

E-mail: aleks@ommgp.sccc.ru

DOI: 10.24412/cl-35065-2022-1-02-41

Задачи совместного использования математических моделей и данных наблюдений часто возникают в приложениях, связанных с моделированием качества воздуха. В зависимости от прикладных задачи, используемая математическая модель процессов может иметь различную сложность и уровень детализации. Решение задач обратного моделирования (в том числе обратных задач и задач усвоения данных) с использованием таких моделей может требовать существенных трудозатрат как в программистском, так и в вычислительном планах. В докладе обсуждаются алгоритмы обработки данных измерений различной точности и трудоемкости, реализованные в системе обратного моделирования IMDAF [1, 2].

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 20-01-00560) и темы Госзадания 0251-2021-0003 ИВМиМГ СО РАН.

Список литературы

1. Penenko, A., Penenko, V., Tsvetova, E., Gochakov, A., Pyanova, E., Konopleva, V. Sensitivity Operator Framework for Analyzing Heterogeneous Air Quality Monitoring Systems // Atmosphere. Vol. 12, No 12. MDPI AG. P. 1697. DOI: 10.3390/atmos12121697.

2. Penenko, A., Penenko, V., Tsvetova, E., Gochakov, A., Pyanova, E., Konopleva, V. Sensitivity Operator-Based Approach to the Interpretation of Heterogeneous Air Quality Monitoring Data // Large-Scale Scientific Computing, Springer International Publishing. 2022. P. 164–171. DOI: 10.1007/978-3-030-97549-4_19.

Природоохранное прогнозирование: современный этап

В. В. Пененко

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН

Email: penenko@sccc.ru

DOI: 10.24412/cl-35065-2022-1-02-25

На основе сорокалетнего опыта участия в развитии теории и методов природоохранного прогнозирования и проектирования, обсуждаются вопросы истории, современного состояния и перспектив социально значимой области науки. Фактически в 70-е годы прошлого столетия мы находились у истоков создания методов математического моделирования природных процессов. Что касается вопросов текущего состояния, стоит заметить, что сегодняшний лозунг о технологическом суверенитете и устойчивом развитии страны не сходит с повестки дня на протяжении всего существования направления в ИВМиМГ СО РАН (ВЦ СО АН СССР), поскольку ведутся разработки собственных моделей для решения различных природоохранных задач [1–4]. Среди значимых разработок отметим концепцию природоохранного прогнозирования и проектирования, основанную на вариационном принципе, включающую решение прямых, сопряженных и обратных задач, и методы вариационного усвоения данных, которые широко применяются в различных учреждениях мира. В современных разработках особое внимание уделяется исследованию неопределенности и чувствительности в моделях и данных при решении прикладных задач [3–4]. Включение функций неопределенности дает возможность организации прямых, безытерационных методов для решения задач усвоения данных наблюдений по мере их поступления в систему прогнозирования.

Это эффективно при использовании методов расщепления и декомпозиции практически для всех процессов и объектов при решении задач в системе Земли.

Работа выполнена в рамках бюджетного проекта ИВМиМГ СО РАН (0251-2021-0003) при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 20-01-00560).

Список литературы

1. Пененко В. В. Методы численного моделирования атмосферных процессов Л: Гидрометеиздат, 1981.
2. Пененко В. В., Алоян А. Е. Модели и методы для задач охраны окружающей среды. Новосибирск: Наука, 1985.
3. Penenko V. V., Penenko A. V., Tsvetova E. A., Gochakov A. V. Methods for studying the sensitivity of air quality models and inverse problems of geophysical hydrothermodynamics // J. Applied Mechanics and Technical Physics. 2019. 60(2). P. 392–399.
4. Penenko A., Penenko V., Tsvetova E., Gochakov A., Ryanova E., Konopleva, V. Sensitivity operator framework for analyzing heterogeneous air quality monitoring systems // Atmosphere. 2021. N 12. 1697.

Использование мезомасштабного моделирования для построения параметризации вихревого переноса в арктических морях

Г. А. Платов

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН

Email: platov.g@gmail.com

DOI: 10.24412/cl-35065-2022-1-01-14

Результаты численного моделирования с помощью модели SibPOM серии окраинных морей России, включающей моря Баренцево, Карское, Восточносибирское, Чукотское и море Лаптевых используются для построения параметризации вихревого переноса в направлении перпендикулярном линии изобат. С помощью метода оценки чувствительности [1] анализируется зависимость вихревого переноса от ряда крупномасштабных параметров, включающего градиент плотности, скорость потока, глубину и наклон дна океана, стратификацию и географическую широту. Оценивается зависимость коэффициента горизонтальной диффузии и величины противогradientного переноса плотности. Полученные зависимости используются в ходе крупномасштабного моделирования с помощью модели SibCIOM. Результаты анализируются с точки зрения эффективности полученной параметризации.

Работа выполнена в рамках программы "Горизонт 2020" по проекту CRiceS при финансовой поддержке Российской Федерации в лице Минобрнауки России, соглашение № 075-15-2021-947.

Список литературы

1. Sobol I. M. Sensitivity Estimates for Nonlinear Mathematical Models. Math. Modeling and Comput. Exp., 1993. V. 1, N 4. P. 407–414.

Применение методов усвоения данных для получения оценки потоков парниковых газов по спутниковым данным

М. В. Платонова^{1,2}, Е. Г. Климова^{1,2}

¹Федеральный исследовательский центр информационных и вычислительных технологий

²Новосибирский государственный университет

Email: gymoznaya@gmail.com

DOI: 10.24412/cl-35065-2022-1-01-15

Поиск источников парниковых газов является актуальной задачей; для решения подобных задач принято использовать системы усвоения данных [1–2]. Для проведения численных экспериментов с реальными данными были взяты результаты расчетов по математической модели MOZART-4 и данные

спутниковых наблюдений AIRS. В численных экспериментах был использован вариант локального ансамблевого фильтра Калмана (LETKF), который обладает свойствами, позволяющими применять его локально, т. е. проводить усвоение данных по подобластям. В докладе представлена реализация алгоритма для модельных и реальных данных. Приводятся результаты численных экспериментов по оценке средних потоков метана в подобластях на заданных временных интервалах.

Список литературы

1. Feng L., Palmer P. I., Bosch H. and Dance S. Estimating surface CO₂ fluxes from space-borne CO₂ dry air mole fraction observations using an ensemble Kalman filter // *Atmospheric chemistry and physics* 2009. V. 9 P. 2619–2633.
2. Feng L. et al. Consistent regional fluxes of CH₄ and CO₂ inferred from GOSAT proxy XCH₄: XCO₂ retrievals 2010–2014 // *Atmospheric chemistry and physics* 2017. V. 17. P. 4781–4797.

Сценарное моделирование загрязнения атмосферы Байкальского региона во время летних лесных пожаров

Э. А. Пьянова¹, А. В. Гочаков²

¹*Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН*

²*Сибирский региональный научно-исследовательский гидрометеорологический институт*

Email: pyanova@ommgp.sccc.ru

DOI: 10.24412/cl-35065-2022-1-01-16

Представлены сценарии моделирования распространения пассивных примесей в Байкальском регионе в июле – августе 2019 г. Имитировался перенос дымовых шлейфов от лесных пожаров, получены сценарные оценки распределения загрязняющих веществ от выбросов котельных и тепловых электростанций в регионе. Расчеты проводились с помощью мезомасштабной модели динамики атмосферы и переноса примесей, которая разрабатывается в ИВМиМГ СО РАН. Подготовка начальных полей метеорологических элементов, а также данных о фоновых крупномасштабных составляющих метеополей выполнена с помощью прогнозной модели COSMO-RuSib.

Результаты сценарного моделирования показывают, что смог от лесных пожаров и промышленных источников оказывает значительную нагрузку на атмосферу региона.

Работа в части развития базовых математических моделей выполняется в рамках темы государственного задания ИВМиМГ СО РАН № 0251-2021-0003. Подготовка метеорологических полей COSMO для численных экспериментов проводилась в рамках НИР 1.1.3 Плана НИР Росгидромета на 2020–2024 гг., № AAAA-A20-120020590012-2.

Оценка атмосферных выносов тяжелых металлов на оз. Байкал в зимний период времени

В. Ф. Рапута¹, В. И. Гребенщикова²

¹*Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН*

²*Институт геохимии им. А. П. Виноградова СО РАН*

Email: raputa@sccc.ru

DOI: 10.24412/cl-35065-2022-1-01-17

Обсуждаются результаты экспериментальных и численных исследований данных многолетнего мониторинга загрязнения снежного покрова тяжелыми металлами в районе озера Байкал. В качестве базовых соотношений для проведения численного анализа полей аэрозольных выпадений примесей регионального масштаба используются соответствующие асимптотики решений полуэмпирического уравнения турбулентной диффузии от точечных и площадных источников [1–3]. Проведена реконструкция полей

концентраций бериллия, свинца, меди в направлениях Иркутск – Баяндай, Иркутск – Листвянка. Выполнены оценки выносов тяжелых металлов от городов Иркутск, Шелехов в район п. Листвянка.

Работа выполнена в рамках гранта № 075-15-2020-787 Министерства науки и высшего образования РФ, и при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант офи м № 17–29–05022).

Список литературы

1. Бызова Н. Л., Гаргер Е. К., Иванов В. Н. Экспериментальные исследования атмосферной диффузии и расчеты рассеяния примеси. Л.: Гидрометеиздат, 1991.
2. Берлянд М. Е. Прогноз и регулирование загрязнения атмосферы. Л.: Гидрометеиздат, 1985.
3. Рапута В. Ф., Королёва Г. П., Горшков А. Г., Ходжер Т. В. Исследование процессов длительного загрязнения окрестностей Иркутска тяжелыми металлами // Оптика атмосферы и океана. 2001. Т. 14, № 6–7. С. 623–626.

Cellular automata simulation of heat transfer on a heterogeneous surface area caused by local flash ignition

S. E. Rubtsov, A. V. Pavlova, A. V. Shiroglazov

Kuban State University

Email: pavlova@math.kubsu.ru

DOI: 10.24412/cl-35065-2022-1-01-18

Cellular automata (CA) models can serve as an alternative to continuum models for solving nonlinear problems. Using the approach of work [1] we analyzed a non-linear two-dimensional heat conduction problem for an inhomogeneous plate. The plate is presented as an array of cells. It is assumed that the temperature (state) of all cells of the plate is null, some cell is set on fire by an instantaneous impulse. We consider the deterministic CA. The given boundary conditions determine the transition functions for the boundary cells. Taking into account the effect of temperature on the thermophysical properties of the plate we performed numerical experiments for various plate materials, boundary and initial conditions. The implemented CA model can serve as a stage for building more complex cellular automaton models of dynamic processes.

This work was partially supported by the FRBR and Administration of Krasnodar region (grant 19-41-230005).

References

1. Bobkov S. P., Chernyavskaya A. S. Modeling of nonlinear thermal conductivity by discrete methods // Vestnik ISEU. 2018. Iss. 3. P. 64–70.

Моделирование процесса фильтрации в суффозионно неустойчивых грунтах

А. Н. Сибин

Алтайский государственный университет

Email: sibir_anton@mail.ru

DOI: 10.24412/cl-35065-2022-1-01-19

Доклад посвящен численному исследованию одномерной и двумерной задач фильтрации смеси воды и твердых подвижных частиц [1, 2] в недеформируемом грунте при постоянной температуре в потоке и с учетом процессов внутренней суффозии [3]. Проведено исследование экспериментальной сходимости численных методов и сравнение изменения эродированной массы с экспериментальными данными из литературных источников для трех грунтов с различной суффозионной устойчивостью (постановка одномерной задачи подробно изложена в работе [4]).

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования РФ по теме "Современные методы гидродинамики для задач природопользования, промышленных систем и полярной механики" (код темы FZMW-2020-0008).

Список литературы

1. Vardoulakis I. Sand production // Geomechanics in energy production. 2006. V. 10, N 6. P. 817–828.
2. Протоdjяконов И. О., Чесноков Ю. Г. Гидромеханика псевдооживленного слоя. Л.: Химия, 1982.
3. Сибин А. Н., Сибин Н. Н. Численное решение одномерной задачи фильтрации с учетом суффозионных процессов // Изв. Алтайского государственного университета. 2017. № 1 (93). С. 123–126.
4. Папин А. А., Сибин А. Н. Моделирование движения смеси твердых частиц и жидкости в пористых средах с учетом внутренней суффозии // Изв. РАН. Механика жидкости и газа. 2019. № 4. С. 82–94.

Зависимость силового воздействия волн на прибрежные конструкции от рельефа дна акватории и формы набегающей волны

В. С. Скиба

Федеральный исследовательский центр информационных и вычислительных технологий

Новосибирский государственный университет

Email: v.skiba@g.nsu.ru

DOI: 10.24412/cl-35065-2022-1-01-20

Работа посвящена проблеме численного моделирования [1] различных сценариев взаимодействия длинных поверхностных волн типа цунами с большими неподвижными частично погруженными в воду сооружениями. Исследовано влияние формы набегающих волн на значения максимальных заплесков и силовых нагрузок. Сравнения проводились на примере набегающих на тело уединенной волны, одиночной волны положительной полярности и N -волны с лидирующей волной повышения или понижения. Показано, что при одинаковой амплитуде и одинаковой крутизне переднего склона набегающих волн наибольшее силовое воздействие на полупогруженное тело прямоугольного сечения оказывает N -волна с лидирующей волной понижения. Изучено влияние гладкой неровности дна акватории на характеристики взаимодействия. Показано, что с увеличением глубины донной траншеи уменьшаются как амплитуда отраженной волны, так и горизонтальная компонента вектора силы, действующей на конструкцию.

Численное моделирование выполнено в рамках математической модели двумерных потенциальных течений идеальной жидкости с помощью конечно-разностного метода на криволинейных сетках, адаптирующихся к подвижной свободной границе, дну и поверхности неподвижного тела [2]. Тестирование численного алгоритма осуществлялось на задаче о накате волн на вертикальную стенку.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (код проекта 21-71-00127).

Список литературы

1. Gusev O. I., Khakimzyanov G. S., Chubarov L. B. Numerical investigation of the wave force on a partially immersed rectangular structure: Long waves over a flat bottom // Ocean Engineering. 2021. V. 221. Article 108540.
2. Khakimzyanov G. S., Dutykh D. Long wave interaction with a partially immersed body. Part I: Mathematical models // Communications in Computational Physics. 2020. V. 27, N 2. P. 321–378.

Применение вычислительного комплекса моделей для прогноза погодных явлений в черте крупного города

А. В. Старченко^{1,2}, Е. А. Данилкин^{1,2}, Л. И. Кижнер¹, Е. А. Шельмина^{1,3}, С. Л. Одинцов^{2,1}, С. А. Проханов¹,
А. И. Сваровский¹, Д. В. Лещинский^{1,2}, Е. А. Стребкова^{2,1}

¹Томский государственный университет

²Институт оптики атмосферы СО РАН

³Томский университет систем управления и радиоэлектроники

Email: starch@math.tsu.ru

DOI: 10.24412/cl-35065-2022-1-01-21

Целью работы является краткое описание развиваемой мезомасштабной модели и параллельного численного метода [1–3] для краткосрочного прогнозирования погодных явлений и качества атмосферного воздуха над крупным населенным пунктом и некоторые результаты ее применения для предсказания некоторых опасных погодных явлений (туман, порывы ветра, интенсивные осадки, ухудшение качества воздуха при слабом ветре и т. д.) для условий города Томск. Рассматриваются условия применения модели как с ассимиляцией данных наблюдений ЦКП "Атмосфера" ИОА СО РАН, так и без усвоения наблюдений, только используя для задания начальных и граничных условий результаты численного прогноза оперативной модели Гидрометцентра РФ ПЛАВ [4]. Для проверки качества численного предсказания мезомасштабной модели привлекаются не только данные наблюдений ЦКП "Атмосфера" и аэродромной метеостанции АМИС-РФ (аэропорт Томска), но и результаты численного прогноза известной модели Weather Research & Forecasting (NCAR).

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (код проекта 19-71-20042).

Список литературы

1. Starchenko, A. V., Bart, A. A., Kizhner L. I., Danilkin, E. A. Mesoscale meteorological model TSUNM3 for the study and forecast of meteorological parameters of the atmospheric surface layer over a major population center // Tomsk State University J. of Mathematics and Mechanics. 2020. 66, P. 35–55.
2. Starchenko A., Shelmina E., Kizhner L. Numerical Simulation of Meteorological Conditions and Air Quality above Tomsk, West Siberia // Atmosphere. 2020. V. 11, N. 11. P. 1–15.
3. Starchenko, A. V., Danilkin, E. A., Prokhanov, S., Kizhner, L., Shelmina, E. A Supercomputer-Based Modeling System for Short-Term Prediction of Urban Surface Air Quality // Supercomputing Frontiers and Innovations. 2022. 9(1). P.17–31.
4. Толстых М. А., Фадеев Р. Ю., Шашкин В. В., Гойман Г. С., Зарипов Р. Б., Киктев Д. Б., Махнорылова С. В., Мизяк В. Г., Рогутов В. С. Многомасштабная глобальная модель атмосферы ПЛАВ: результаты среднесрочных прогнозов погоды // Метеорология и гидрология. 2018, № 11. С. 90–99.

Моделирование аэродинамики произвольного тела при движении в высоких слоях атмосферы на гиперзвуковых скоростях с учетом процесса ионизации воздуха

А. В. Стручков, Р. Н. Жучков, А. С. Козелков

Российский федеральный ядерный центр – Всероссийский научно-исследовательский институт экспериментальной физики

Нижегородский государственный технический университет им. Р. Е. Алексеева

DOI: 10.24412/cl-35065-2022-1-01-22

В работе рассматривается задача физико-химической гиперзвуковой газовой динамики – движение тела конусовидной формы в высоких слоях атмосферы с гиперзвуковыми скоростями. В сильной ударной волне, возникающей в этом случае, часть кинетической энергии набегающего потока тратится на

возбуждение внутренних степеней свободы молекул воздуха (вращательные, колебательные), что приводит к заметному снижению температуры в сжатом слое и уменьшению отхода фронта ударной волны от поверхности.

Для описания этих процессов в работе используется многотемпературная модель физической кинетики, в которой разделяются температура поступательного движения частиц и температура колебательного движения молекул. Суть модели диссоционно-колебательного взаимодействия состоит в том, что процессы колебательного возбуждения молекул учитываются при определении скоростей их диссоциации. На практике это означает, что константы скоростей диссоциации определяются с использованием поступательной и колебательной температуры.

Для описания химической кинетики авторами используется метод, основанный на расчете изменения компонент смеси за счет химических реакций, в результате которых одни компоненты взаимодействуют с другими с образованием новых компонент. Эти взаимодействия количественно регламентируются стехиометрическими соотношениями. Для описания химических превращений, происходящих в воздухе при температуре выше 9000°K с составом компонент O_2 , N_2 , O , N , NO , NO^+ , e^- , используется модель Данна – Кэнга [1].

Представленная в работе физико-математическая модель применяется при расчете гиперзвукового ($M=27.18$) обтекания конусовидного тела на высоте 83.82 км и 70.104 км [2]. В подобных задачах практическое значение имеет точность расчета нагрева поверхности обтекаемого объекта. Учет физической кинетики позволяет получать наиболее приближенное к эксперименту распределение температур, которое оценивается по выходу электронов в пограничном слое в результате процесса ионизации.

Результаты получены при финансовой поддержке национального проекта "Наука и университеты" в рамках программы Минобрнауки РФ по созданию молодежных лабораторий № FSWE-2021-0009 (научная тема "Разработка численных методов, моделей и алгоритмов для описания гидродинамических характеристик жидкостей и газов в естественных природных условиях, и условиях функционирования промышленных объектов в штатных и критических условиях на суперкомпьютерах петафлопсного класса"), а также при финансовой поддержке гранта Президента Российской Федерации по государственной поддержке ведущих научных школ НШ-70.2022.1.5

Список литературы

1. Dunn M. G., Kang S. W. Theoretical and Experimental Studies of Reentry Plasmas. NASA CR-2232. 1973.
2. Lewis, C. H., Swaminathan, S., Kim M. D. Nonequilibrium Viscous Shock-Layer Flows over Blunt Sphere-Cones at Angle of Attack // American Institute of Aeronautics and Astronautics, 1983. V. 20, iss. 4. P. 331–338

On the study of vibration of a coating–substrate system in the presence of a horizontal flat inclusion

I. S. Telyatnikov, A. V. Pavlova, M. N. Kolesnikov

Kuban State University

Email: ilux_t@list.ru

DOI: 10.24412/cl-35065-2022-1-01-23

We consider the vibration of an elastic layer on a half-space and a two-layer package with a pinched bottom face in the presence of an interface flat inclusion. Homogeneous coating, lying on the substrate without separation, is modeled by a Kirchhoff plate [1]. Using the differential factorization method and algorithms for constructing Green's matrices of multilayer media with defects [2] we obtained relations between Fourier images of the surface displacements and given load and displacement in the defect region for both substrate models. For the plane case we analyzed the dispersion properties of the system and calculated the surface displacement field.

The problems of vibrations of thin-walled elements in contact with an elastic medium arise in various engineering applications, as well as in modeling the interaction of lithospheric structures. The results obtained can also find applications in modeling horizontal geotechnical barriers (screens).

This work was supported by the RSF and KSF (project No. 22-21-20032, <https://rscf.ru/en/project/22-21-20032/>).

References

Volmir A. S. Nonlinear dynamics of plates and shells / A. S. Volmir. Moscow: Nauka, 1972. 432 p.

Pavlova A. V., Rubtsov S. E. Differential factorization method for layered-block media with defects // Vestnik of Lobachevsky University of Nizhni Novgorod. 2011. № 4(5). P. 2410–2412.

Численное моделирование распространения микропластика в оз. Байкал

Е. А. Цветова

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН

Email: E.Tsvetova@ommgp.sccc.ru

DOI: 10.24412/cl-35065-2022-1-01-24

Численная модель гидротермодинамики вод в негидростатическом приближении и новая версия модели распространения примесей [1], учитывающая цели исследований, используются для воспроизведения поведения микропластика в озере. Эта тематика широко изучается в мире, но для Байкала ее исследование только начинается. Первые немногочисленные публикации по результатам экспедиционных работ указывают на довольно высокий уровень загрязнения, сравнимый с загрязнением других озер мира. В условиях высокой степени неопределенности при моделировании природных объектов, одной из основных проблем является задание источников примесей для уравнения конвекции-диффузии-реакции. С этой целью мы используем сценарный подход, формируя несколько возможных вариантов, результаты которых сравниваются между собой.

Работа выполнена в рамках госзадания ИВМиМГ СО РАН, проект 0251-2021-0003, при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 20-01-00560).

Список литературы

1. Tsvetova, E. A. Transporting Spirogyra algae in waters of Lake Baikal: Results of mathematical modeling// Proc. SPIE, 11560, 115607, (2020).

Метеорологические эффекты высокого растительного покрова в областях с крутой орографией

М. С. Юдин

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН

Email: m.yudin@ommgp.sccc.ru

DOI: 10.24412/cl-35065-2022-1-01-26

Численная математическая модель, основанная на конечных элементах, используется для расчета метеорологических полей в высоком лесном массиве. Модель спроектирована специально для областей с крутой орографией [1]. Настоящее исследование является продолжением работы [2].

Для описания воздействия высокого лесного массива на структуру атмосферного пограничного слоя применяется экономичная схема параметризации растительного покрова [3]. При этой параметризации распределения атмосферных полей с высотой в лесном массиве в уравнениях возникают преобладающие нелинейные члены. В работе обсуждаются бифуркационные эффекты при инициализации модели, когда изучается поведение решения при стремлении к стационарному состоянию и возникает бифуркационный

каскад, который можно устранить существенно уменьшив величину шага по времени. Соответствующие нелинейные разностные уравнения исследовались методами теории бифуркаций [4, 5].

Приводятся результаты численных экспериментов по оценке влияния широкомасштабной вырубки леса на метеорологический режим в высоком лесном массиве.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИВМиМГ СО РАН 0251-2021-0003.

Список литературы

1. Yudin, M. S., Comparison of FDM and FEM models for a 2D gravity current in the atmosphere over a valley//Bull. Novos. Comput. Center, 13, 95–101 (2012).
2. Yudin, M. S., Some meteorological effects of forest canopy in an atmospheric finite element model //Proc. SPIE 11916, International Symposium on Atmospheric and Ocean Optics, Atmospheric Physics, 119166T; URL: <https://doi.org/10.1117/12.2603454> (2021).
3. Schilling, V. K. A parameterization for modelling the meteorological effects of tall forests — A case study of a large clearing // Boundary-Layer Meteorol 55, 283–304 (1991). URL: <https://doi.org/10.1007/BF00122581>.
4. Gross, G., Optimum time step and remerging Feigenbaum trees in a one-dimensional boundary-layer model. Beitr. Phys. Atmos., 68, 271–273. (1995).
5. Schuster, H. G., Just, W. Deterministic Chaos WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim, (2005).

СЕКЦИЯ 5

Суперкомпьютерные вычисления и программирование

Реализация методики глобального анализа уязвимости энергетической инфраструктуры

А. В. Еделев¹, М. А. Марченко²

¹Институт систем энергетики СО РАН

²Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН

Email: flower@isem.irk.ru

DOI: 10.24412/cl-35065-2022-1-01-27

Одной из современных задач исследования живучести энергетической инфраструктуры является глобальный анализ ее уязвимости [1]. В данном случае уязвимость рассматривается как составляющая живучести, которая отражает "пассивную" реакцию энергетической инфраструктуры на крупные возмущения, характеризует размер и масштаб негативных последствий для инфраструктуры в результате воздействия конкретного возмущения [2].

Глобальный анализ уязвимости проводится путем моделирования воздействия на систему крупных возмущений с возрастающей амплитудой. Результатом данного вида анализа уязвимости является построенная в табличном или графическом виде зависимость падения производительности энергетической инфраструктуры от величины амплитуды.

В докладе описывается реализация на основе библиотеки PARMONC [3] методики глобального анализа уязвимости энергетической инфраструктуры, основанной на подходе [4].

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки России в рамках государственного задания № FWEU-2021-0003 с использованием ресурсов ЦКП "Высокотемпературный контур" (Минобрнауки России, проект № 13.ЦКП.21.0038) и ЦКП Сибирский Суперкомпьютерный Центр ИВМИГ СО РАН, а также Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта № 15-07-07412а).

Авторы выражают благодарность Иркутскому суперкомпьютерному центру СО РАН за предоставление доступа к высокопроизводительному кластеру "Академик В. М. Матросов" (Иркутский суперкомпьютерный центр СО РАН, Иркутск: ИДСТУ СО РАН; <http://hpc.icc.ru>, дата обращения 18.05.2022).

Список литературы

1. Su H., Zio E., Zhang J., Li, X. A systematic framework of vulnerability analysis of a natural gas pipeline network. *Reliability Engineering & System Safety*, 2018, 175. P. 79–91.
2. Воропай Н. И. Надежность систем энергетики (Сборник рекомендуемых терминов) / Н. И. Воропай. М.: ИАЦ "Энергия," 2007. 194 с.
3. Marchenko M. PARMONC – A Software Library for Massively Parallel Stochastic Simulation // *Lecture Notes in Computer Science Volume 6873*, 2011. P. 302–316.
4. Mugume S. N., Gomez D. E., Fu G., Farmani R., Butler, D. A global analysis approach for investigating structural resilience in urban drainage systems. *Water research*, 2015, 81. P. 15–26.

Экономичные численные расчеты распространения цунами с применением FPGAМ. М. Лаврентьев¹, Ан. Г. Марчук², К. К. Облаухов¹¹*Институт автоматизации и электрометрии СО РАН*²*Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН*

Email: mmlavrentiev@gmail.com

DOI: 10.24412/cl-35065-2022-1-01-28

В исследованиях проблемы цунами имеются, как минимум, две задачи, требующие значительного количества численных расчетов распространения волны цунами от модельных источников. Первая задача – это определение цунамиопасности побережий методом сценарных расчетов, требующих сотен (а может быть и тысяч) вычислительных экспериментов по генерации и распространению цунами от модельных или реалистичных очагов с различным начальным смещением и местоположением. Вторая задача – это формирование базы синтетических мареограмм в точках расположения глубоководных регистраторов цунами от так называемых базисных источников, линейной комбинацией из которых впоследствии представляется реальный очаг. Обычно один расчет требует 2–3 час. процессорного времени на ПК или кластере, что требует энергетических затрат порядка 1–2 Квтч. Применение современных компьютерных архитектур, таких как программируемые пользователем матрицы FPGA (Field Programmable Gates Array) или графические процессоры GPU (Graphic Processing Unit), позволяет сократить время каждого расчета в 100–200 раз. В работе реализован вычислительный конвейер на FPGA плате, использующий разностную схему Мак-Кормака для решения нелинейной системы дифференциальных уравнений мелкой воды. Достигнутая производительность позволяет за 1 мин. получать распределение максимумов волны вдоль побережья, что позволяет существенно экономить время и потребление электроэнергии.

Производительность вычислений в системе IMDAF

А. В. Пененко, Е. В. Русин

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН

Email: rev@ooi.sccc.ru

DOI: 10.24412/cl-35065-2022-1-01-29

Рассматриваются вопросы производительности системы обратного моделирования IMDAF (Inverse Modeling and Data Assimilation Framework) [1] на различных уровнях: оптимизация логики вычислений, векторизация, оптимизация использования памяти, многопоточное и распределенное исполнение, исполнение на спецпроцессорах.

Работа выполнена в рамках гранта № 075-15-2020-787 Министерства науки и высшего образования РФ на выполнение крупного научного проекта по приоритетным направлениям научно-технологического развития (проект "Фундаментальные основы, методы и технологии цифрового мониторинга и прогнозирования экологической обстановки Байкальской природной территории").

Список литературы

1. Penenko A., Penenko V., Tsvetova E., Gochakov A., Pyanova E., Konopleva V. Sensitivity Operator Framework for Analyzing Heterogeneous Air Quality Monitoring Systems // Atmosphere. 2021. 12(12):1697.

Алгоритмы с двоичными деревьями поиска

П. С. Рузанкин

Институт математики им. С. Л. Соболева СО РАН

Email: ruzankin@math.nsc.ru

DOI: 10.24412/cl-35065-2022-1-01-30

1. Мы рассмотрим новый быстрый алгоритм построения двоичного дерева поиска для заданного набора чисел. Алгоритм имеет линейную временную сложность, если этот набор чисел упорядочен.

Алгоритм строит двоичное дерево поиска минимально возможной высоты, причем это дерево является полным в том смысле, что все уровни, кроме, возможно, самого нижнего, полностью заполнены. Алгоритм не использует рекурсивных вызовов функций и допускает простую эффективную параллелизацию. При сравнении производительности реализаций на языке R, в рассмотренных примерах новый алгоритм оказался более чем в 10 раз быстрее классического алгоритма Вирта (рекурсивно строящего левое и правое поддеревья).

2. Мы рассмотрим алгоритм случайного выбора m объектов из n без возвращения. Алгоритм использует двоичное дерево поиска и имеет среднюю временную сложность $O(m \log m)$.

ЭГИДА-ТЕСТ-GPU. Адаптация прикладной методической программы ЭГИДА-ТЕСТ к счету на GPU

Е. А. Сизов, А. М. Ерофеев, И. Ю. Турутина, И. Н. Чистякова

Российский федеральный ядерный центр – Всероссийский научно-исследовательский институт экспериментальной физики

DOI: 10.24412/ci-35065-2022-1-02-40

В докладе представлены результаты работ по адаптации к счету на графических ускорителях (GPU) прикладной методической программы ЭГИДА-ТЕСТ, включенной в систему тестов РФЯЦ-ВНИИЭФ для исследования параметров высокопроизводительных систем [1].

При помощи кода ЭГИДА-ТЕСТ моделируются процессы газовой динамики, используя ALE-подход, при котором аппроксимация уравнений происходит в два шага. На первом решаются уравнения газодинамики в лагранжевых переменных, а на втором производится аппроксимация конвективных членов уравнений. При этом активно используется программа "типовой схемы", определяющая и организующая порядок расчета ячеек и обмен данными между ячейками разных MPI-процессов [2]. В ЭГИДА-ТЕСТ введена возможность ведения счета на адаптивно-встраиваемой дробной сетке, что вносит элемент нерегулярности как в расчетную сетку, так и в структуры данных.

В докладе представлены описание и решение проблем, встреченных в процессе создания адаптированных к счету на GPU программ расчета лагранжева и эйлера этапов газовой динамики, этапа создания и удаления дробных ячеек. Приведены пути решения проблемы использования нескольких GPU и проблемы задействования для расчета простаивающих ядер центрального процессора (схема счета MPIxCUDA + MPIxOMP). Продемонстрирована единая "типовая схема" для CPU и GPU, а также пример ее использования для прямых пересылок данных между устройствами GPU. В результате выполненной адаптации программ на тестовых задачах получено ускорение от использования GPU до 6 раз при эффективности не ниже 80 %.

Список литературы

1. Алексеев А. В., Беляев С. П., Бочков А. И., Быков А. Н., Ветчинников М. В., Залялов А. Н., Нуждин А. А., Огнев С. П., Самсонова Н. С., Чистякова И. Н., Янилкин Ю. В. Методические прикладные тесты РФЯЦ-ВНИИЭФ для численного исследования параметров высокопроизводительных систем // Вопросы атомной науки и техники. Сер.: Методики и программы численного решения задач математической физики. 2020. № 2. С. 86–100.

2. Колобянин В. Ю., Фёдоров А. А., Антипина Н. Р. Двухуровневое распараллеливание явных разностных схем методики ЭГАК // Вопросы атомной науки и техники. Сер.: Методики и программы численного решения задач математической физики. 2017. № 3. С. 62–69.

Концепция модельного времени развивающихся систем

И. Н. Скопин

*Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН,**Новосибирский государственный университет*

Email: iskopin@gmail.com

DOI: 10.24412/cl-35065-2022-1-01-31

Исследования, связанные с моделированием, сегодня являются одними из наиболее существенных потребителей вычислительных ресурсов. Качество таких исследований непосредственно зависит от того, в какой мере обеспечивается их ресурсная потребность. А среди всех видов моделирования наиболее чувствительным к обеспеченности ресурсами является моделирование развивающихся систем, которое предусматривает отражение изменений реальной системы во время ее существования. Процессы, обеспечивающие развитие, начинаются, выполняются и завершаются в определенных временных рамках, что само по себе указывает не только на необходимость моделирования времени, но и на зависимость качества решений от ресурсной обеспеченности. Здесь важны не столько минуты, часы, и др., сколько такие свойства, как взаимовлияние и синхронизация поведения элементов системы, развитие под воздействием событий, внешних по отношению к моделируемой системе или продуцируемых ее элементами. Иными словами, на модельном уровне более существенны взаимодействия элементов, чем моменты абсолютного времени, когда эти взаимодействия происходят. Качество моделирования зависит от согласованности взаимодействий со схемой отражения времени в модели, т.е. от адекватности модельного времени.

Адекватность модельного времени важна для любого подхода к изучению процессов и явлений. Но для развивающихся систем оно приобретает особое значение. Общей задачей в их исследованиях является реконструкция или имитация поведения системы. Ошибки при ее решении зачастую приводят как к неверным результатам расчетов, так и к нерациональному расходованию вычислительных ресурсов. Последнее может лишить всех потенциальных преимуществ, на которые рассчитывают при использовании суперкомпьютерных вычислений. Для исключения таких ошибок, необходима особая концепция модельного времени, регламентирующая проектные решения и гарантирующая их корректность.

Главной целью предлагаемого доклада является построение и обоснование требуемой концепции. Ей подчиняется структура изложения. Сначала даются сведения о типах представлений времени, используемых при моделировании, и уточняются понятия, характеризующее систему как развивающуюся. Затем описывается метод определения времени в моделях развивающихся систем, использующий механизм событий. Этот метод является основой предлагаемой концепции, изложение которой сводится к следующему: формализованное представление оперирования информацией, относящейся к модельному времени; понятие развития элемента и его состояний; обоснование использования локальных времен элементов модельной системы при событийной организации взаимодействий; доказательство достаточности использования частичной упорядоченности событий для определения локального времени элементов и глобального времени при событийном управлении.

Принято считать, что механизм синхронизации событий должен удовлетворять требованию локального ограничения причинной связи, обеспечивающего для модельного времени имитацию естественного порядка событий "от причины – к следствию". Понятно, что никакой формализм не гарантирует автоматическое выполнение этого требования. Наша формализация не исключение. Однако используя ее, разработчик будет точно знать, какие свойства модельной системы нужно проверять для верификации ее

корректности. В этом состоит преимущество предлагаемого подхода по сравнению с другими концептуально близкими приемами и методами, моделирующими время.

Исследования, представленное в докладе, показало, что преодоление трудных проблем глобализации времени на основе мировых часов достижимо, если глобальное время рассматривать как сущность, вторичную по отношению к локальным временам элементов системы. Это позволило определить общие требования к инструментам программной поддержки конструирования моделей, учитывающие необходимость оптимизации модельных расчетов на суперкомпьютерах. В качестве перспектив подхода рассматривается разработка унифицированных шаблонов проектирования для достаточно общих методов построения моделей развития.

Библиотека реализации ассоциативных вычислений на графических ускорителях cuSTAR: представление данных для задач биоинформатики

Т. В. Снытникова

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН

Email: snytnikovat@ssd.sccc.ru

DOI: 10.24412/cl-35065-2022-1-01-32

За последние несколько лет обработка генома стала широко востребуемой задачей. Различными вариантами обработки занимаются как частные лаборатории (от ПЦР-тестов до генетических паспортов), так и научные коллективы. При этом и первые, и вторые обрабатывают большие объемы данных или за счет количества образцов, или за счет длины этих образцов: от десятков тысяч до нескольких миллиардов нуклеотидов. Заметим, что огромная часть вычислений связана с поиском отдельных нуклеотидов или их последовательностей в большей последовательности или в большом числе последовательностей.

Для этого целесообразно использовать ассоциативные параллельные вычисления. Но ассоциативные архитектуры не представлены на рынке компьютерной техники в отличие от широкодоступных графических ускорителей. Библиотека cuSTAR была разработана для реализации ассоциативных вычислений на графических ускорителях. В данной работе предлагается метод организации данных, позволяющий использовать ассоциативные алгоритмы для решения различных задач, связанных с обработкой генома.

Исследование выполнено в рамках государственного задания ИВМиМГ СО РАН 0251-2021-0005.

Гибридный метод вычисления градиентов и метод расчета ограничителей градиента для повышения точности решения задач аэродинамики на неструктурированных сетках

А. В. Стручков, Р. Н. Жучков, А. С. Козелков

Российский федеральный ядерный центр – Всероссийский научно-исследовательский институт экспериментальной физики

Нижегородский государственный технический университет им. П. Е. Алексеева

DOI: 10.24412/cl-35065-2022-1-01-33

В работе рассматривается вопрос расчета градиентов газодинамических величин на неструктурированных сетках в задачах аэродинамики. Используется интерполяционный алгоритм Грина – Гаусса и метод наименьших квадратов с различными весами. Показано, что метод Грина – Гаусса дает хорошую точность на ортогональных сетках, но на неструктурированных сетках данный метод имеет недостаточную точность. В случае метода наименьших квадратов результаты существенно зависят от геометрии ячеек сетки.

Для повышения точности при расчете на неструктурированных сетках с произвольными ячейками авторами предложен гибридный метод расчета градиентов, совмещающий в себе как свойства метода Грина – Гаусса, так и метода наименьших квадратов. В работе приводится вид функции для вычисления веса вклада в итоговую формулировку градиента каждого из методов при определении итогового значения градиента. Функция обеспечивает плавный переход между методами в зависимости от свойств ячейки.

Применение предложенного метода расчета градиентов показано на решении задачи трансзвукового обтекания профиля NASA0012 и сверхзвукового обтекания модели летательного аппарата. На данных примерах продемонстрировано повышение точности от применения гибридного метода расчета градиентов на неструктурированных сетках.

Дополнительно в работе рассматривается вопрос применения ограничителя градиента газодинамического потока при решении трехмерных задач аэродинамики на произвольных неструктурированных сетках. Приводится решение задач с ударно-волновыми структурами, в которых для предотвращения появления осцилляций на разрывных решениях понижается порядок точности за счет использования функции-ограничителя градиента. Исследовано влияние ограничителя на точность результатов и монотонность решения. Показано, что применение ограничителя в "классической формулировке", в которой порог срабатывания основан на характерном размере ячейки сетки, способствует подавлению ложных осцилляций в решении и повышению его монотонности. Однако при расчете на неструктурированных сетках ограничитель в такой формулировке может привести к появлению областей его случайного срабатывания, что влияет на точность получаемого решения. Для неструктурированных сеток предложена иная запись ограничителя, в котором формулировка порога срабатывания основана на использовании газодинамических параметров течения. Предложенный вариант функции характеризуется отсутствием "паразитных" областей случайного срабатывания и обеспечивает его работу лишь в области высоких градиентов – ударно-волновых процессов. При этом свойства монотонности, в сравнении с "классической формулировкой", сохраняются. Для обоих вариантов ограничителей приведено сравнение констант порога срабатывания на примере численного решения задач с ударно-волновыми процессами на различных сетках. По результатам их решения даны рекомендации по оптимальным значениям этих величин.

Для рассмотрения применимости функций ограничителя выбраны задачи сверхзвукового течения в канале с клином и трансзвуковое обтекание профиля NASA0012. Расчет проводился с использованием неструктурированных сеток на основе тетраэдров, усеченных шестигранников и многогранников. На примере решения этих задач показана область случайного срабатывания ограничителя Venkatakrishnan в "классической формулировке" и отсутствие таких областей в случае применения модифицированного варианта функции ограничителя. При анализе коэффициента силы лобового сопротивления в задаче обтекание профиля NASA0012 показано, что более "чистая" работа предложенного варианта ограничителя Venkatakrishnan способствует повышению точности решения задачи в целом.

Работа выполнена при финансовой поддержке национального проекта "Наука и университеты" в рамках программы Минобрнауки РФ по созданию молодежных лабораторий № FSWE-2021-0009 (научная тема "Разработка численных методов, моделей и алгоритмов для описания гидродинамических характеристик жидкостей и газов в естественных природных условиях, и условиях функционирования промышленных объектов в штатных и критических условиях на суперкомпьютерах петафлопсного класса"), а также при финансовой поддержке гранта Президента Российской Федерации по государственной поддержке ведущих научных школ НШ-70.2022.1.5

Efficient direct sparse solver for different processor architectures

M. Cherepanov¹, V. Kostin², A. Semenov¹, S. Solov'ev²

¹Unipro

²Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS

Email: SolovevSA@ipgg.sbras.ru

DOI: 10.24412/cl-35065-2022-1-01-34

In software development, solutions working well for x86 processors are not necessarily good for another architecture. In our talk, we tell about issues that arose during developing a parallel direct solver for servers equipped both with x86, ARM and the Elbrus processors and what we did to resolve the issues. Although the obtained results are not final, the story about achieving the performance goals is instructive.

References

1. Davis T. A., Rajamanickam S., Sid-Lakhdar W. M. A survey of direct methods for sparse linear systems // *Acta numerica*. 2016. V. 25. P. 383–566.
2. MUMPS homepage. URL: <http://mumps.enseeiht.fr/>.
3. PARDISO homepage. URL: <https://www.pardiso-project.org/>.
4. Intel® Math Kernel Library homepage. URL: <https://software.intel.com/en-us/intel-mkl>.
5. Duff I., Lopez F., Nakov S. Sparse Direct Solution on Parallel Computers. In: Al-Baali M, and Grandinetti L, and Purnama A, editors. *Numerical Analysis and Optimization*. Cham: Springer 2018. P. 67–98.
6. Karypus G. METIS – A software package for partitioning unstructured graphs, partitioning meshes, and computing fill-reducing orderings of sparse matrices – version 5.1.0. University of Minnesota. 2013.
7. MCST home page. URL: <http://www.mcst.ru>.
8. Short description of architecture Elbrus. URL: http://www.elbrus.ru/arhitektura_elbrus.
9. SuiteSparse Matrix Collection homepage. URL: <https://sparse.tamu.edu/>.

Rapid algorithm of pairwise collisions for particle-in-cell method

I. S. Chernoshtanov, A. A. Efimova, A. A. Soloviev, V. A. Vshivkov

Institute of Computational Mathematics and Mathematical Geophysics SB RAS

Email: vsh@ssd.sccc.ru

DOI: 10.24412/cl-35065-2022-1-01-35

Collision treatment is important for the operation of plasma confinement systems [1]. The article discusses a high-speed pairwise collision algorithm developed for the particle-in-cell method. The approach makes it possible to effectively calculate the collisions of particles without using trigonometric functions at all, which makes it much faster than classical [2]. In this case the possibility of pairwise collisions exists for all model particles in the cell (in contrast to the problems of gas mechanics). Algorithm is used in software systems for modeling particle motion in a magnetic field. Comparison with the results of other algorithms is presented.

This work was supported by the Russian Science Foundation, project 19-71-20026.

References

1. M. Weiland and oth. Real-time simulation of the NBI fast-ion distribution // *Nuclear Fusion*. 2018. V. 58, № 8.
2. T. Takizuka, H. Abe. A binary collision model for plasma simulation with a particle code // *J. of Computational Physics*. 1977. V. 25, № 3. P. 205–219.

Параллельная фрагментированная реализация метода частиц-в-ячейках (PIC) с помощью библиотеки управления распределенными данными Didal

Г. А. Щукин

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН

Email: schukin@ssd.ssscc.ru

DOI: 10.24412/cl-35065-2022-1-01-36

Библиотека управления распределенными данными Didal (Distributed data library) [1] предназначена для упрощения разработки параллельных фрагментированных программ на языке C++ для вычислительных машин с распределенной памятью. В технологии фрагментированного программирования [2] программа представляется как множество фрагментов (объектов) данных и вычислений; фрагменты распределяются по вычислительным узлам для параллельного исполнения. Библиотека Didal поддерживает распределенные коллекции объектов и асинхронный удаленный вызов процедур для обращения к удаленным объектам. В работе представлена фрагментированная реализация метода частиц-в-ячейках (PIC) [3] для задачи моделирования динамики самогравитирующего пылевого облака, выполненная с помощью средств библиотеки Didal. Проведено тестирование эффективности полученной программы и сравнение с реализациями с помощью других средств параллельного программирования.

Список литературы

1. Щукин Г. А. Didal: библиотека управления распределенными данными для вычислительных систем с распределенной памятью // Материалы 13-й международной конференции Параллельные вычислительные технологии 2019. 2019. Челябинск: Изд. центр ЮУрГУ. С. 466.
2. Kireev S. E., Malyshkin V. E. Fragmentation of numerical algorithms for parallel subroutines library // The J. of Supercomputing, Springer Verlag. 2011. V. 57, N. 2. P. 161–171.
3. Григорьев Ю. Н., Вшивков В. А., Федорук М. П. Численное моделирование методами частиц-в-ячейках. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2004.

СЕКЦИЯ 6

Обратные задачи

Optimization based algorithms for solving inverse problems of designing cloaking, shielding and concentrating devices

G. V. Alekseev^{1,2}, J. E. Spivak^{1,2}

¹*Institute of Applied Mathematics FEB RAS*

²*Far Eastern Federal University*

Email: alekseev@iam.dvo.ru, uliyaspivak@gmail.com

DOI: 10.24412/cl-35065-2022-1-01-37

A lot of attention has been paid recently to developing technologies for designing special functional devices to control static physical fields (e.g. thermal, electric, magnetic etc.). Designing these devices necessitates solution of inverse problems for the respective model of static field [1].

To study these problems, a mathematical apparatus is developed based on the optimization method of solving inverse problems for partial differential equations. Based on the apparatus, a theoretical analysis of considered inverse problems is carried out, additional properties of optimal solutions are established depending on the choice of the cost functional and efficient numerical algorithms for their solution, based on the use of one of global minimization methods, are developed. These algorithms allow to take into account various restrictions, including restrictions associated with the simplicity of the technical implementation of the solutions. We will show that using them for solving design problems allows us to obtain solutions with high functional efficiency and ease of technical implementation in the form of layered shells consisting of natural materials.

This work was supported by the Russian Science Foundation (grant N 22-21-00271).

References

1. Alekseev G. V., Levin V. A., Tereshko D. A. Analysis and optimization in designing invisibility devices for material bodies. M.: FIZMATLIT. 2021.

К выбору численного метода для решения обратных задач ЭИТ

А. А. Афанасьева, А. В. Старченко

Национально исследовательский Томский государственный университет

Email: afanaseva_anyutka@inbox.ru

DOI: 10.24412/cl-35065-2022-1-01-38

Электроимпедансная томография (ЭИТ) – это метод, который позволяет реконструировать внутреннюю структуру объектов живой природы по сечениям на основе измерения напряжения электрического тока, проходящего через сетку электродов, с последующим считыванием напряжения на границе объекта [1]. Математически ЭИТ описывается с помощью коэффициентной обратной задачи [2]. В данной работе обратная задача ЭИТ рассматривается в полной электродной модели, особенностью которой является использование уравнения эллиптического типа с кусочно-постоянными коэффициентами и специального интегро-дифференциального граничного условия на контактной границе электродов. После сеточной дискретизации обратная задача ЭИТ представляет собой систему линейных уравнений с неизвестной матрицей, коэффициенты которой можно найти, зная наборы правых частей и решений такой СЛАУ.

Для решения такой задачи рассматриваются два стохастических метода: дифференциальная эволюция [3] и метод стаи серых волков [4].

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ (соглашение № 075-02-2022-884).

Список литературы

1. Cheney M. Electrical Impedance Tomography / M. Cheney, D. Isaacson, J. C. Newell // Society for Industrial and Applied Mathematics. 1999. V. 41, № 1. P. 85–101.
2. Borcea L. Electric Impedance Tomography. Topical Review // Inverse Problems. 2002. V. 18. P. R99–R136.
3. Storn R. Differential evolution – a simple and efficient heuristic for global optimization over continuous spaces / R. Storn, K. Price // J. Global Optimization. 1997. N 11. P. 341–359.
4. Mirjalili S. Grey Wolf Optimizer / S. Mirjalili, S. Mohammad Mirjalili, A. Lewis // Advances in Engineering Software. 2014. V. 69. P. 46–61.

Замедление алгоритмов реконструкции изображений в эмиссионной томографии

М. А. Братенков

Новосибирский государственный университет

Email: m.bratenkov@g.nsu.ru

DOI: 10.24412/cl-35065-2022-1-01-39

В современных эмиссионных томографах для реконструкции изображений используются итерационные EM-алгоритмы. Обычно это алгоритмы OSEM с возможным включением сглаживания. Алгоритмы OSEM являются эвристическими алгоритмами, основанными на алгоритме MLEM, для которого доказана сходимости к решению максимального правдоподобия. В докладе будет рассмотрен новый алгоритм реконструкции изображений по пуассоновским данным – замедленный алгоритм MLEM, который не является EM-алгоритмом. Тем не менее, доказаны теоретические свойства нового алгоритма, дающие возможность замедлять сходимости алгоритмов OSEM. Замедление OSEM в некоторых случаях может позволить получить решение "лучше", чем дает исходный алгоритм OSEM. Но основная польза замедленного OSEM может заключаться в том, что этот алгоритм может позволить "смягчить" проблему слишком быстрой сходимости решения и последующего быстрого зашумления изображения, свойственных алгоритму OSEM, когда неверный выбор итерации решения может привести к существенным ошибкам в реконструированном изображении.

Краевые и экстремальные задачи для уравнения реакции-диффузии конвекции с переменными коэффициентами

Р. В. Бризицкий, Ж. Ю. Саричкая

Институт прикладной математики ДВО РАН

Email: mlnwizard@mail.ru, zhsar@icloud.com

DOI: 10.24412/cl-35065-2022-1-01-40

Доказана глобальная разрешимость краевой задачи для уравнения реакции-диффузии-конвекции с переменными коэффициентами. Предполагается, что коэффициенты диффузии и реакции в уравнении нелинейно зависят от концентрации вещества, а коэффициент реакции также зависит и от пространственных переменных. Установлены достаточные условия на исходные данные краевой задачи, при которых справедлив принцип максимума и минимума для концентрации вещества. Для более гладкой границы доказано локальное существование сильного решения краевой задачи. Далее установлены дополнительные условия его локальной единственности.

Для рассматриваемой задачи сформулированы и исследованы задачи распределенного управления и доказана их разрешимость. Полученные в работе результаты обобщает ряд результатов, полученных в [1–3].

Работа выполнена в рамках НИОКТР номер АААА-А20-120120390006-0 ИПМ ДВО РАН и при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ (номер соглашения: 075-02-2021-1395).

Список литературы

1. Бризицкий Р. В., Сарицкая Ж. Ю. Обратные коэффициентные задачи для нелинейного уравнения конвекции-диффузии-реакции // Известия РАН. Сер. матем. 2018. Т. 82. Вып. 1. С. 17–33.
2. Brizitskii R.V., Saritskaya Zh.Yu. Optimization analysis of the inverse coefficient problem for the nonlinear convection-diffusion-reaction equation // J. Inverse Ill-Posed Probl. 2018. V. 26, № 6. P. 821–833.
3. Brizitskii R. V., Saritskaia Zh.Yu. Multiplicative control problems for nonlinear reaction-diffusion-convection model // J. Dyn. Contr. Sys. 2021. V. 27(2). P. 379–402.

Диффузионный процесс с различными источниками

Ю. В. Гласко

Научно-исследовательский вычислительный центр МГУ им. М. В. Ломоносова

Email: glaskoyv@mail.ru

DOI: 10.24412/cl-35065-2022-1-01-43

В докладе рассмотрена квазилинейная модель диффузионного процесса с подвижной границей. Сеточная область задачи представляет систему четырех вложенных 3D-кубов. Использована численная реализация balayage-метода [3]. В качестве области-источника использованы: внутренний куб, набухший на шаг сетки внутренний куб, торообразная область без самого вложенного куба. Рассмотрен источник во внутреннем кубе и система точечных источников. Эти точечные источники могут возникнуть и случайным образом по вероятностному закону распределения. С целью определения местоположения начального источника и возможно вторичного источника проведены сопоставления выметенных значений плотности.

Работа выполнена в рамках НИР "Математические модели и эксперимент в электродинамике и магнитной гидродинамике" (договор № 6).

Список литературы

1. Годунов С. К. Уравнения математической физики. М.: Наука, 1979.
2. Марчук Г. И. Методы вычислительной математики. М.: Наука. 1989.
3. Poincare H. Sur les equation aux derives partielles de la physique mathematique // American J. of Mathematics, 1890. № 4. P. 211–294.

Tensor train optimization of a single source problem for a diffusion-logistic model

T. A. Zvonareva^{1,2}, O. I. Krivorotko^{1,2}

¹*Institute of Computational Mathematics and Mathematical Geophysics SB RAS*

²*Novosibirsk State University*

Email: t.zvonareva@g.nsu.ru

DOI: 10.24412/cl-35065-2022-1-01-44

The source problem for a parabolic equation with a nonlinear right-hand side using additional information of the diffusion process at fixed points in time is considered. The source problem for the diffusion-logistic model [1] is reduced to a multiparametric problem of minimizing the target functional. For the problem under consideration nature-like algorithms work inefficiently and the TT method is a promising direction. The

functional is represented as a tensor and approximated as a tensor train [2]. The effectiveness of the method in terms of the accuracy of the solution obtained and the computational cost will be demonstrated. TT method was applied to the source problem that arise in the description of information diffusion in online social networks.

This work is supported by the Russian Science Foundation (project no. 18-71-10044-П) and Council for Grants of the President of the Russian Federation (project no. MK-4994.2021.1.1).

References

1. Wang F., Wang H., Xu K., Wu J., Jia X. Characterizing Information Diffusion in Online Social Networks with Linear Diffusive Model // Proceedings of ICDCS. 2013. P. 307–316.
2. Oseledets I. V. Tensor-train decomposition // SIAM J. Sci. Comput. 2011. V. 33, N. 5. P. 2295–2317.

Elimination of stripe interference in satellite images during remote sensing from space

I. G. Kazantsev¹, R. Z. Turebekov², M. A. Sultanov²

¹*Institute of Computational Mathematics and Mathematical Geophysics SB RAS*

²*Khoja Akhmet Yassawi International Kazakh-Turkish University*

Email: kazantsev.ivan6@gmail.com

DOI: 10.24412/cl-35065-2022-1-01-45

The article deals with the problem of removing noise that has some anisotropy in a certain direction in remote sensing images [1]. Such interference can occur with satellite imagery of the surface of Earth and planets due to the peculiarities of the imaging equipment [2]. We propose the method of removing such noise in the Radon space, using its singular value decomposition [3] and new formula for generalized inverse of the matrices involved. The numerical experiments on real-world images demonstrate the efficiency of the techniques proposed.

This work was (partially) supported by the state contract with the ICM&MG SB RAS (project 0251-2021-0003) and by the Ministry of Science of the Republic Kazakhstan (project no. AP09258836).

References

1. Gonzalez R. C., Woods R. E. Digital Image Processing, Pearson, NY, 2018.
2. Song Q., Wang Y., Yan X., Gu H. Remote Sensing Images Stripe Noise Removal by Double Soarse Regulation and Region Separation // Remote Sensing. 2018. V. 10, Paper 998.
3. Davison M. E. A Singular Value Decomposition for the Radon Transform in n-Dimensional Euclidian Space // Numerical Functional Analysis and Optimization. 1981. V. 3. P. 321–340.

Regularization algorithms of inverse problems in epidemiology based on sensitivity-based identifiability analysis

O. I. Krivorotko^{1,2}, M. I. Sosnovskaya²

¹*Institute of Computational Mathematics and Mathematical Geophysics SB RAS*

²*Novosibirsk State University*

Email: krivorotko.olya@mail.ru

DOI: 10.24412/cl-35065-2022-1-01-46

Mathematical models in epidemiology are described by compartmental and agent-based approaches. The combination of different approaches allows one to construct forecasting scenarios depends on socio-economic processes. Such models are based on differential equations (ODE, PDE and SDE types) and mathematical statistics and characterized by its parameters. The identification of model parameters to measurements of

epidemiology process is an ill-posed problem. The sensitivity-based identifiability analysis [1] allows one to construct an ordered sequence of sensitive parameters and reduce the intervals of parameter variability.

The identifiability analysis for combined mathematical model of COVID-19 propagation is demonstrated [2]. The regularization algorithm of solving the inverse problem is proposed.

This work was supported by the RFBR and the Royal Society of London (RS) (project number 21-51-10003).

References

1. Krivorotko O. I., Kabanikhin S. I., Sosnovskaya M. I., Andornaya D. V. Sensitivity and identifiability analysis of COVID-19 pandemic models // Vavilov J. of Genetics and Breeding. 2021. V. 25(1). P. 82–91.
2. Krivorotko O., Sosnovskaia M., Vashchenko I., Kerr C., Lesnic D. Agent-based modeling of COVID-19 outbreaks for New York state and UK: parameter identification algorithm // Infectious Disease Modelling. 2022. V. 7. P. 30–44.

"Супербыстрое" решение трехмерной обратной задачи эластографии методом малого параметра

А. С. Леонов¹, Н. Н. Нефедов², А. Н. Шаров², А. Г. Ягола²

¹Национальный исследовательский ядерный университет "МИФИ"

²Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова

Email: asleonov@mephi.ru

DOI: 10.24412/cl-35065-2022-1-01-47

В онкологической диагностике активно развивается новый метод – эластография, основанный на различиях упругих свойств здоровой и опухолевых тканей. Измеряя смещения биологических тканей при их поверхностном сжатии и находя по смещениям распределение модулей упругости в исследуемой области, можно сделать вывод о наличии там опухолей. Такая диагностика в реальном времени требует разработки адекватной математической модели и "быстрого" метода решения трехмерной обратной задачи: по смещениям найти модули упругости. Практически, это сводится к решению трехмерной обратной коэффициентной задачи для специальной системы уравнений линейной теории упругости. В задаче имеется характерный "малый параметр", и поэтому ее удастся решить аналитически в рамках теории регулярных возмущений. Полученная компактная формула для решения трехмерной обратной задачи эластографии позволяет решить ее за несколько миллисекунд на персональном компьютере (ПК) для достаточно подробных сеток. Для сравнения, решение исходной трехмерной обратной коэффициентной задачи по методу конечных элементов на ПК занимает для нетривиальных сеток десятки минут и часы [1]. Приводятся примеры решенных модельных обратных задач.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (код проекта 18-11-00042).

Список литературы

1. Leonov A. S., Sharov A. N., Yagola A. G. Solution of the three-dimensional inverse elastography problem for parametric classes of inclusions // Inverse Problems in Science and Engineering. 2021. V.29, N 8. P. 1055–1069.

Analysis, construction and justification of algorithms for numerical solution of multiparametric optimization problems by machine learning methods

S. Liu

Novosibirsk State University

Email: 1130168245@qq.com

DOI: 10.24412/cl-35065-2022-1-01-48

In this paper, we analyzed the relationship between theoretical knowledge of inverse and ill-posed problems and machine learning methods, which combines theoretical and numerical experiments to solve practical

problems in the field of financial investment using algorithms [1]. A cross-sectional comparison of the same prediction objective shows that a deep belief network model using unsupervised learning can automatically train valid data information and is more effective than an artificial neural network model with supervised learning in which only the surface neural network is involved in training [2]. The method extracts features from the stock index and then passes them to the neural network classifier for training [3]. According to the experimental results, the prediction results are more accurate in the case of smaller errors, and this model can avoid the risk brought by only manual operation; the timing of buying and selling stocks is judged according to the nodes with larger errors to avoid the influence brought by international factors.

References

1. Bahrammirzaee A. A comparative survey of artificial intelligence applications in finance: artificial neural networks, expert system and hybrid intelligent systems // *Neural Computing and Applications*, 2010. V. 19(8). P. 1165–1195.
2. Hinton G. E. A practical guide to training restricted Boltzmann machines // *Neural networks: Tricks of the trade*. Springer, Berlin, Heidelberg, 2012. P. 599–619.
3. Goodfellow I., Bengio Y., Courville A. *Deep learning*. MIT press, 2016.

Determination of the absolute permeability tensor of heterogeneous porous media using their discrete geometric models

S. I. Markov^{1,2}, E. P. Shurina^{1,2}, N. B. Itkina^{1,3}

¹*Novosibirsk State Technical University*

²*Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics, SB RAS*

³*Institute of Computational Technologies, SB RAS*

Email: www.sim91@list.ru

DOI: 10.24412/cl-35065-2022-1-01-49

In many applied problems, to determine the permeability of porous media, the phenomenological Darcy model, which establishes a linear dependence of the averaged fluid flow rate on the pressure gradient, is used. Such an assumption turns out to be incorrect if the methods of effective media theory are not applicable: structural microinclusions are commensurate with the rock sample, flow velocity is characterized by the high Reynolds numbers, etc. Due to sedimentation and geogenesis processes, the permeability of geological rock is described by a second rank tensor, the determination of which is a difficult problem. In this paper, we propose and implement an algorithm for calculating the absolute permeability tensor of heterogeneous porous media based on methods of volumetric averaging theory of continuum mathematical models of incompressible fluids flow of the Newtonian rheology. To construct discrete geometric models, the results of computer tomography of cores have been used. Non-conforming finite-element methods have been applied for the spatial discretization of mathematical models. The dependence of the absolute permeability tensor structure on the properties of the fluid filling the porous medium is shown.

This work was supported by RSF Project No. 20-71-00134.

Использование метода гиперплоскостей в задаче идентификации вещества

В. Г. Назаров

Институт прикладной математики ДВО РАН

Email: naz@iam.dvo.ru

DOI: 10.24412/cl-35065-2022-1-01-50

Рассматривается задача частичной идентификации химического состава неизвестной среды методом просвечивания этой среды потоком рентгеновского излучения. Образец неизвестного вещества предполагается однородным по химическому составу, а поток фотонов, коллимированным как по направлению,

так и по энергии. Сформулирована математическая модель для задачи идентификации и кратко дано ее сравнение с задачей нахождения химического состава среды. Предложенный автором метод гиперплоскостей [1] учитывает влияние измерительных ошибок на возможность успешного решения задачи. Получено достаточное условие на максимально допустимую суммарную относительную ошибку, при выполнении которого два конкретных вещества могут быть отличены друг от друга по результатам одного единственного эксперимента по просвечиванию. На примерах нескольких конкретных групп органических веществ показано, что любая пара этих веществ становится "хорошо различимой" при достаточно малой энергии просвечивания среды.

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, НИОКТР № АААА-А20-120120390006-0, а также при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 20-01-00173).

Список литературы

1. Назаров В. Г. Метод гиперплоскостей в задаче идентификации неизвестного вещества // Сиб. журн. индустр. матем. 2021, Т. 24. № 3. С. 39–54. DOI: 10.33048/SIBJIM. 2021.24.304.

Сравнительная оценка двух статистических подходов к решению обратной некорректной задачи реконструкции изображений мозга при обследовании пациентов методом однофотонной эмиссионной компьютерной томографии: имитационное исследование

А. В. Нестерова^{1,2}, М. А. Гурков^{1,2}, Н. В. Денисова^{1,2}

¹*Институт теоретической и прикладной механики им. С. А. Христиановича СО РАН*

²*Новосибирский государственный университет*

Email: a.nesterova@g.nsu.ru

DOI: 10.24412/cl-35065-2022-1-01-51

В настоящее время при обследовании пациентов методом однофотонной эмиссионной компьютерной томографии (ОФЭКТ) для реконструкции изображений используются статистические методы. Статистические алгоритмы учитывают пуассоновское распределение регистрируемых данных, а также эффекты, связанные с прохождением гамма-излучения в биологических тканях и через коллиматор и детектор гамма-камеры.

В данной работе представлены исследования, направленные на сравнительный анализ двух статистических подходов к решению обратной некорректной задачи реконструкции изображений: алгоритма Ordered Subsets Expectation Maximization (OSEM) [1] и алгоритма, основанного на байесовском подходе Maximum a Posteriori (MAP) с заданием априорной плотности вероятности с помощью функционала Гиббса (MAP-Gibbs) [2]. Было проведено компьютерное моделирование, имитирующее обследования головного мозга пациента методом ОФЭКТ, с цифровым фантомом головного мозга (фантом Хоффмана). Проекционные данные генерировались методом Монте-Карло, имитируя сбор данных вращающейся вокруг пациента гамма-камеры. Реконструкция осуществлялась алгоритмами OSEM и MAP-Gibbs. Условия имитационного эксперимента были приближены к клинической практике. Количественная точность алгоритмов оценивалась путем сравнения реконструированных изображений с точным изображением фантома по среднеквадратичной ошибке.

Список литературы

1. L. A. Shepp and Y. Vardi, "Maximum Likelihood Reconstruction for Emission Tomography," in IEEE Transactions on Medical Imaging. V. 1, no. 2. P. 113–122, Oct. 1982, DOI: 10.1109/TMI.1982.4307558.

2. T. Hebert and R. Leahy, "A generalized EM algorithm for 3-D Bayesian reconstruction from Poisson data using Gibbs priors," in *IEEE Transactions on Medical Imaging*. V. 8, no. 2. P. 194–202, June 1989, DOI: 10.1109/42.24868.

Математическое моделирование переноса вещества в винтовом магнитном поле

И. П. Оксогоева, Г. Г. Лазарева

Peoples Friendship University of Russia

Email: oksogi@mail.ru

DOI: 10.24412/cl-35065-2022-1-01-52

Открытые магнитные системы для удержания плазмы рассматриваются в качестве возможных конфигураций для термоядерного реактора с первых дней исследований термоядерного синтеза. В ИЯФ им. Г. И. Будкера СО РАН создана новая установка открытого типа винтовая ловушка (СМОЛА) для удержания плазмы [1]. Винтовая конфигурация стационарного магнитного поля позволяет целенаправленно вращать плазму, двигая ее к центру ловушки. В докладе представлена математическая модель переноса вещества в спиральном магнитном поле. Стационарное уравнение переноса вещества [2] в аксиально-симметричной постановке содержит вторые производные, в том числе смешанные. Переменные коэффициенты имеют сложный вид, содержат экспериментально полученные зависимости [3]. Полученное с помощью численного моделирования распределение концентрации вещества согласуется с данными натуральных экспериментов. Созданная модель позволяет получать зависимости интегральных характеристик вещества от глубины гофрировки магнитного поля, диффузии и потенциала плазмы.

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки России в рамках государственного задания: соглашение № 075-03-2020-223/3 (FSSF-2020-0018).

Список литературы:

1. A. V. Sudnikov, et al. SMOLA device for helical mirror concept exploration // *Fusion Eng. Design*. 122 (2017) 85. DOI: 10.1016/j.fusengdes.2017.09.005.

2. A. D. Beklemishev Radial and Axial Transport in Trap Sections with Helical Corrugation // *AIP CP* 1771 (2016) 040006. DOI: 10.1063/1.4964191.

3. A. V. Sudnikov, et al. Plasma flow suppression by the linear helical mirror system // *J. Plasma Phys.* 88 (2022), no.1. DOI: 10.1017/S0022377821001276.

New method to the frequency-domain Newtonian full-waveform inversion

A. Orazbayev, M. Malovichko, N. Khokhlov

Moscow Institute of Physics and Technology

Email: orazbaev@phystech.edu

DOI: 10.24412/cl-35065-2022-1-01-53

In this report the new numerical method for performing Newtonian seismic full-waveform inversion (FWI) in frequency domain based on Newton iterations is developed. FWI codes developed in python are successfully implemented using the Marmousi velocity model as the true model. We compare performance of new iterative method, including the preconditioned GMRES applied to KKT matrix with the CG applied to the normal system matrix.

This work was supported by the Russian Science Foundation, project no. 21-11-00139.

References

1. A. Tarantola. Inversion of seismic reflection data in the acoustic approximation. *Geophysics*, 49(8):1259–1266, 1983.

2. J. Virieux and S. Operto. An overview of full-waveform inversion in exploration geophysics. *Geophysics*, 74:WCC1–WCC26, 2009.

3. N. Yavich, N. Khokhlov, M. Malovichko, and M. S Zhdanov. Contraction operator transformation for the complex heterogeneous helmholtz equation.

4. M. S. Malovichko, A. V. Tarasov, N. B. Yavich, K. V. Titov. Application of optimal control to inversion of self-potential data: Theory and synthetic examples // *IEEE Trans. on Geoscience and Remote Sensing*. V. 60. P. 1–11, 2022. Art. № 2003211. DOI: 10.1109/TGRS.2021.3121538.

Сингулярное разложение нормального преобразования Радона, действующего на 3D тензорные поля

А. П. Полякова, И. Е. Светов

Институт математики им. С. Л. Соболева СО РАН

Email: apolyakova@math.nsc.ru

DOI: 10.24412/cl-35065-2022-1-01-54

Рассматривается задача трехмерной интегральной геометрии: требуется восстановить симметричное m -тензорное поле, заданное в единичном шаре, по его известным значениям нормального преобразования Радона. Для обращения оператора получено его сингулярное разложение. Суть метода: образ оператора представляется в виде ряда по базисным элементам, с сингулярными числами в качестве коэффициентов, тогда образ обратного оператора будет представлять собой ряд со схожей структурой, в котором задействованы прообразы этих базисных элементов и те же сингулярные числа. Результат является обобщением результатов, полученных в [1-3], на случай произвольного m .

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект 19-51-12008-ННИО).

Список литературы

1. Louis A. K. Orthogonal function series expansions and the null space of the Radon transform // *SIAM J. Math. Anal.* 1984. V. 15, N 3. P. 621–633.

2. Polyakova A. P. Reconstruction of a vector field in a ball from its normal Radon transform // *J. Math. Sci.* 2015. V. 205, N 3. P. 418–439.

3. Polyakova A. P. Singular value decomposition of a normal Radon transform operator acting on 3D symmetric 2-tensor fields // *Siberian Electronic Mathematical Reports*. 2021. V. 18, N 2. P. 1572–1595.

Регуляризация численных оценок областей решений дифференциальных уравнений с управляющими и возмущающими воздействиями

А. Н. Рогалёв

Институт вычислительного моделирования СО РАН

Email: rogalov@icm.krasn.ru

DOI: 10.24412/cl-35065-2022-1-01-55

В работе исследуются алгоритмы решения прикладных задач оценки областей решений дифференциальных уравнений. Сложность заключается в том, что большинство методов оценки ошибок численных решений систем ОДУ приводят к сильному росту границ этих ошибок, отсутствует дополнительная априорная информация о точном решении [1]. В работах [2–4] описывалась обратная задача для систем ОДУ восстановления характеристик системы (коэффициентов, параметров, входящих в дифференциальные уравнения, в начальные условия) по информации о количественных характеристиках траектории этой системы, полученной в процессе вычислений. В докладе предлагается регуляризация алгоритмов оценки границ множеств решений, записанных в операторном виде. Регуляризация существенно упрощает построение достаточно точных оценок погрешности и устраняет эффект экспоненциального роста оценок множеств решений.

Работа выполнена в рамках базового проекта 0287-2021-0002 ФИЦ КНЦ СО РАН Красноярск.

Список литературы

1. Морозов В. А. Регулярные методы решения некорректно поставленных задач. М.: Наука, 1987.
2. Rogalev A. N., Feodorova N A. Regularization of algorithms for estimation of errors of differential equations approximate solutions // J. of Physics: Conference Series, 2020. v. 1715, "Marchuk Scientific Readings 2020" (MSR-2020), J. Phys.: Conf. Ser. V. 1715 012044.
3. Rogalev A. N. Set of Solutions of Ordinary Differential Equations in Stability Problems. In book "Continuum mechanics, applied mathematics and scientific computing: GODUNOV'S legacy: A liber amicorum to professor Gogunov. Springer: 2020. P. 307–312.
4. Rogalev A. N. Regularization of inclusions of differential equations solutions based on the kinematics of a vector field in stability problems // J. of Phys.: Conf. Ser. "Marchuk Scientific Readings 2021" (MSR-2021), 2021. V. 2099, 012045.

Сингулярное разложение лучевых преобразований, действующих на 2D тензорные поля

И. Е. Светов, А. П. Полякова

Институт математики им. С. Л. Соболева СО РАН

Email: svetovie@math.nsc.ru

DOI: 10.24412/cl-35065-2022-1-01-57

Рассматривается задача двумерной интегральной геометрии: требуется восстановить симметричное m -тензорное поле, заданное в единичном круге, по его известным значениям продольного, смешанного или поперечного лучевых преобразований. Для обращения операторов получены их сингулярные разложения. Суть метода: образ оператора представляется в виде ряда по базисным элементам, с сингулярными числами в качестве коэффициентов, тогда образ обратного оператора будет представлять собой ряд со схожей структурой, в котором задействованы прообразы этих базисных элементов и те же сингулярные числа. Результат является обобщением результатов, полученных в [1–3], на случай произвольного m .

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект 19-51-12008-ННИО).

Список литературы

1. Louis A. K. Orthogonal function series expansions and the null space of the Radon transform // SIAM J. Math. Anal. 1984. V. 15, N 3. P. 621–633.
2. Derevtsov E. Yu., Efimov A. V., Louis A. K., Schuster T. Singular value decomposition and its application to numerical inversion for ray transforms in 2D vector tomography // J. Inverse Ill-Posed Problems. 2011. V. 19, N 4–5. P. 689–715.
3. Derevtsov E. Yu., Polyakova A. P. Solution of the integral geometry problem for 2-tensor fields by the singular value decomposition method // J. Math. Sci. 2014. V. 202, N 1. P. 50–71.

Двухэтапный метод восстановления концентрации парниковых газов по спектру пропускания солнечного света через атмосферу

Г. Г. Скорик^{1,2}, В. В. Васин^{1,2}

¹*Институт математики и механики УрО РАН*

²*Уральский Федеральный университет*

Email: skorik@imm.uran.ru; vasin@imm.uran.ru

DOI: 10.24412/cl-35065-2022-1-01-58

В работе [1] для обратных задач термического зондирования атмосферы был предложен двухэтапный метод решения системы нелинейных уравнений. Этот метод основан на предварительной тихоновской регуляризации исходной задачи, квадратичной аппроксимации функционала Тихонова в совокупности с итерационным прох–методом решения полученной квадратичной задачи минимизации. В работах [2, 3] дано обоснование метода и двух его модификаций. В недавно вышедшей работе [4] предложен

двухэтапный метод, в котором аппроксимация регуляризованного решения осуществляется модифицированным методом Гаусса – Ньютона, где производная оператора задачи в операторе шага вычисляется один раз в начальной точке в течение всего процесса итераций. В докладе дается сравнительный обзор эффективности упомянутых выше методов и обсуждаются результаты численных расчетов вертикальных профилей концентрации тяжелой воды и углекислого газа в атмосфере по реальным спектрам, измеренным спектрометром BRUKER 125M, установленном на уральской атмосферной станции УрФУ.

Исследование В. В. Васина выполнено при финансовой поддержке Российского научного фонда (код проекта 18-11-00024-П); исследование Г. Г. Скорика выполнено в рамках госзадания Минобрнауки РФ FEUZ-2021-0014.

Список литературы

1. Skorik G. G. Reconstruction of vertical profiles of heavy water in atmosphere by IR-spectra of the solar light transmission // EJMCA. 2018. V. 6, iss. 1. P. 56–64.

2. Skorik G. G., Vasin V. V. Regularized Newton type method for retrieval of heavy water in atmosphere by IR-spectra of the solar light transmission // EJMCA. 2019. V. 7, iss. 2. P. 79–88.

3. В. В. Васин, Г. Г. Скорик. Двухэтапный метод решения систем нелинейных уравнений и его приложение к обратной задаче зондирования атмосферы // Доклады РАН. Математика, информатика, процессы управления. 2020, Т. 494, № 1. С. 17–20.

4. Vasin V. V. Solving nonlinear inverse problems based on the regularized modified Gauss–Newton method // Doklady RAN. Matematika, Informatika, Protsessy Upravleniya. 2022. V. 504. P. 47–50.

Экономичный численный алгоритм вычисления потока тепла на недоступной границе

С. Б. Сорокин

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН

Новосибирский государственный университет

Email: sorokin@sscc.ru

DOI: 10.24412/cl-35065-2022-1-01-59

Разработка теплообменных устройств и оптимизация их производительности требует знаний о термомождкостном взаимодействии между жидкостью и устройством. Очень часто требуется знание температуры и теплового потока на недоступных частях устройств. Эти величины сложно измерить.

Для оценки этих величин может быть очень полезным использование постановок и методов теории обратных задач. Этот подход позволяет оценить необходимые параметры на недоступных для измерения частях прибора, по дополнительным измерениям температуры или потока на доступных участках с помощью бесконтактных экспериментальных методик.

Математической моделью, описывающей такую практическую задачу, является задача Коши для эллиптического уравнения (стационарный случай). Как правило, решение задачи Коши для эллиптических уравнений так или иначе связано с применением итерационных процедур. Известные прямые алгоритмы решения задачи Коши разработаны только для операторов с постоянными коэффициентами (Лапласа, Гельмгольца) и основаны на существовании аналитических решения для задач с такими операторами.

В работе для решения задачи Коши для эллиптических уравнений с переменными коэффициентами (тела, составленные из частей с различными физическими характеристиками) в стандартных расчетных областях (прямоугольник, круг, кольцо) предложен быстрый численный алгоритм, основанный на методе разделения переменных. Предлагаемый подход использует конечно-разностную аппроксимацию и позволяет чрезвычайно дешево получить решение более общей задачи.

Новизна в настоящей работе состоит в том, что представленный алгоритм может быть применен для эллиптического оператора с переменными коэффициентами (специального вида). Принципиально, что в этом случае нельзя получать аналитические решения задачи.

Предложенный алгоритм существенно расширяет круг решаемых задач и может применяться при создании приборов способных в реальном масштабе времени определять поток тепла на недоступных для измерения частях неоднородных конструкций. Например, для определения потока тепла на внутреннем радиусе трубы, выполненной из различных материалов.

Работа поддержана государственным заданием ИВМиМГ СО РАН № 0251-2021-0001.

Невыпуклые задачи оптимального управления

А. С. Стрекаловский

Институт динамики систем и теории управления имени В. М. Матросова СО РАН

Email: strekal@icc.ru

DOI: 10.24412/cl-35065-2022-1-01-60

Исследуется задача оптимального управления (ОУ) с ограничениями и целевым функционалом, заданными функционалами Больца с DC функциями. С помощью Теории Точного штрафа задача сводится к задаче ОУ без ограничений, которая представляется в обобщенной DC форме, что позволяет сформулировать и доказать условия глобальной оптимальности (УГО). Последние, в свою очередь, сводят решение оштрафованной задачи к изучению семейства выпуклых по состоянию (линеаризованных) задач ОУ.

УГО обладают конструктивным (алгоритмическим) свойством, т. е. если УГО нарушено, то найдено допустимое управление, лучшее, чем исследуемое, по целевому функционалу исходной задачи. УГО обосновывают построение не только специального метода локального поиска, но и, главное, возможность выхода с улучшением, из любой локальной ямы, что демонстрируется примерами.

Определение параметров математической модели иммунного ответа на ВИЧ

П. С. Сурнин^{1,2}, М. А. Шишленин²

¹*Новосибирский государственный университет*

²*Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН*

Email: p.surnin@g.nsu.ru

DOI: 10.24412/cl-35065-2022-1-02-42

Вирус иммунодефицита человека (ВИЧ) остается одной из основных проблем глобального общественного здравоохранения. ВИЧ поражает иммунную систему и ослабляет защиту от многих инфекций и некоторых типов рака, с которыми может справиться иммунитет здорового человека. Не существует метода, позволяющего вылечить ВИЧ-инфекцию. Однако благодаря расширению доступа к эффективным средствам профилактики, диагностики и лечения ВИЧ и оппортунистических инфекций, а также ухода за пациентами, ВИЧ-инфекция перешла в категорию поддающихся терапии хронических заболеваний [1]. Для предупреждения наихудшего сценария прогрессирования инфекции применяется математическое моделирование [2].

Для описания патогенеза ВИЧ-инфекции сформулирована система обыкновенных дифференциальных уравнений [3]. Модель состоит из восьми уравнений, описывающих четыре состояния CD4+ Т-клеток и два вида CD8+ Т-клеток, которые относятся к клеточному иммунитету человека. Особенность данной модели в том, что CD4+ клетки служат основным резервуаром латентно инфицированных клеток.

Вирусная нагрузка на организм человека суммируется из воздействия инфекционного и неинфекционного свободного вируса.

Для описанной математической модели приведено решение задачи Коши вычислительными методами, а также проведен анализ идентифицируемости и анализ чувствительности от входных данных для параметров. Поставлена и решена обратная задача оптимизационными методами.

Список литературы

1. Всемирная организация здравоохранения. URL: <https://www.who.int/ru/news-room/fact-sheets/detail/hiv-aids> (дата обращения: 08.02.2022).
2. Ю. М. Нечепуренко, М. Ю. Христиненко, Д. С. Гребенников, Г. А. Бочаров. Анализ бистабильности моделей вирусных инфекций с запаздывающим аргументом. Препр. ИПМ им. М. В. Келдыша. 2019. № 017. 26 с.
3. H. T. Banks, M. Davidian, Shuhua Hu, Grace M. Kepler and E.S. Rosenberg. Modelling HIV immune response and validation with clinical data // J. of Biological Dynamics. Vol. 2, No. 4. October 2008. P. 357–385.

Обратная задача гидропроводности почвы на отрезке

В. П. Танана, Б. А. Марков

Южно-Уральский государственный университет

Email: smpx1969@mail.ru

DOI: 10.24412/cl-35065-2022-1-01-61

Рассмотрена обратная задача для коэффициента гидропроводности почвы на конечном отрезке [1]. На одной границе заданы градиент потока воды и поступление воды, на другом задано условие непротекания. По известным данным необходимо вычислить коэффициент гидропроводности воды.

Прямая задача решалась разбиением на пространственные отрезки, для каждого из которых задавалось постоянное значение коэффициента гидропроводности и строилось точное решение, а затем доказывалась сходимости итерационного процесса к точному решению, равно как единственность и существование решения прямой задачи. Обратная задача решалась методом минимизации полученного функционала [2]. Выполнена оценка порядка погрешности [3].

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ (государственное задание FENU-2020-2022).

Список литературы

1. Нерпин С. В., Чудновский А. Ф. Физика почвы // М., Наука, 1967. 584 с.
2. Тихонов А. Н., Леонов А. С., Ягола А. Г. Нелинейные некорректные задачи // М.: Физматлит, 1995. 312 с.
3. V. Tanana, A. Sidikova. Optimal methods for ill-posed problems with applications to heat conduction. De Gruyter, 2018.

Обратная задача для уравнения теплопроводности с подвижной границей

В. П. Танана, Б. А. Марков

Южно-Уральский государственный университет

Email: smpx1969@mail.ru

DOI: 10.24412/cl-35065-2022-1-01-62

Рассмотрена обратная задача на полупрямой для композитного материала. Измеряется температура в точке под композитным материалом. По полученному измерению необходимо найти температуру на границе [1]. Сама граница является подвижной.

Прямая задача решалась разбиением на временные отрезки, для каждого из которых строилось точное решение, а затем доказывалась сходимости итерационного процесса к точному решению, равно как единственность и существование решения прямой задачи. Обратная задача решалась методом регуляризации А. Н. Тихонова [2]. Выполнена оценка порядка погрешности [3].

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ (государственное задание FENU-2020-2022).

Список литературы

1. Тихонов А. Н., Гласко В. Б. К вопросу о методах определения температуры поверхности тела // ЖВМиМФ. 1967, № 4. С. 910–914.
2. Тихонов А. Н., Леонов А. С., Ягола А. Г. Нелинейные некорректные задачи // М.: Физматлит, 1995. 312 с.
3. V. Tanana, A. Sidikova. Optimal methods for ill-posed problems with applications to heat conduction. De Gruyter, 2018.

Численное решение задач проектирования тепловых концентраторов при помощи оптимального выбора геометрических параметров

Д. А. Терешко

Институт прикладной математики ДВО РАН

Email: ter@iam.dvo.ru

DOI: 10.24412/cl-35065-2022-1-01-63

В последние годы большое внимание уделяется обратным задачам проектирования концентраторов потока тепла с эффектом маскировки. Решение таких задач обычно связано с оптимизацией теплопроводящих свойств концентратора, причем часто получаются неоднородные структуры, которые трудно реализовать на практике. Ранее в качестве таких концентраторов было предложено использовать оболочки, состоящие из секторов, заполненных двумя чередующимися материалами (см., например, [1]). Простая структура оболочки обеспечивает простоту ее реализации, но не позволяет значительно повысить ее эффективность. Дальнейшее повышение эффективности оболочки возможно за счет подбора ее геометрических параметров, таких как толщина оболочки и отношение ширины соседних секторов. В докладе представлены результаты вычислительных экспериментов по повышению эффективности тепловых концентраторов за счет геометрической оптимизации при фиксированном выборе материалов оболочки.

Список литературы

1. Алексеев Г. В., Левин В. А., Терешко Д. А. Анализ и оптимизация в задачах дизайна устройств невидимости материальных тел. М.: ФИЗМАТЛИТ. 2021.

Иерархия математических моделей инфаркта миокарда

Ч. А. Цгоев^{1,2}, О. Ф. Воропаева²

¹*Федеральный исследовательский центр информационных и вычислительных технологий*

²*Новосибирский государственный университет*

Email: chermentsgoev@yandex.ru

DOI: 10.24412/cl-35065-2022-1-02-35

Инфаркт миокарда является наиболее опасным для жизни человека повреждением сердечной мышцы, которое протекает как сложный многостадийный и все еще слабо изученный процесс. Асептическое воспаление – это одна из основных стадий инфаркта, которая определяет тяжесть повреждения и будущий сценарий течения заболевания.

В работе представлены результаты цикла исследований, которые направлены на математическое моделирование биохимических процессов, сопровождающих гибель клеток миокарда во время острого инфаркта [1]. Создана технологическая основа в виде алгоритмов численного решения прямых и обратных коэффициентных задач для нелинейных жестких систем обыкновенных дифференциальных уравнений и уравнений типа реакция-диффузия, экономичной вычислительной технологии конструирования новых и модификации существующих математических моделей, а также комплекса компьютерных программ для решения этих задач. Разработана иерархия новых математических моделей и выполнено численное исследование динамики гибели клеток сердечной мышцы при инфаркте миокарда во время острой фазы заболевания [2].

Список литературы

1. Воропаева О. Ф., Цгоев Ч. А. Численная модель динамики факторов воспаления в ядре инфаркта миокарда // Сиб. журн. индустр. матем. 2019. Т. 22. № 2 (78). С. 13–26.
2. Воропаева О. Ф., Цгоев Ч. А., Шокин Ю. И. Численное моделирование воспалительной фазы инфаркта миокарда // Журн. прикл. механ. и техн. физ. 2021. Т. 62, № 3 (367). С. 105–117.

Применение методов искусственного интеллекта (нейронных сетей) в обратных нелинейных задачах геофизики с приложением к геоэлектрике

М. И. Шимелевич

Российский государственный геологоразведочный университет им. С. Орджоникидзе

Email: shimelevichmi@mgri.ru

DOI: 10.24412/cl-35065-2022-1-01-64

Рассматриваются вопросы применения аппроксимационного нейросетевого (АНС) метода для решения условно-корректных нелинейных обратных задач геофизики, которые сводятся к операторному уравнению I рода. АНС метод заключается в построении приближенного обратного оператора задачи с помощью нейросетевых аппроксимационных конструкций (сверточных и полносвязных MLP сетей) на основе заранее построенного множества опорных решений прямых и обратных задач [1]. Приводится обзор применения АНС метода в нашей стране и за рубежом при решении задач геофизики и, в частности, геоэлектрики.

Работа выполнена с использованием вычислительных ресурсов Межведомственного суперкомпьютерного центра Российской академии наук (МСЦ РАН) и с использованием оборудования Центра коллективного пользования сверхвысокопроизводительными вычислительными ресурсами МГУ им. М. В. Ломоносова.

Список литературы

1. М. И. Шимелевич, Е. А. Оборнев, И. Е. Оборнев, Е. А. Родионов. Алгоритм решения обратной задачи геоэлектрики на основе нейросетевой аппроксимации // СибЖВМ. 2018. Т. 21, № 4. С. 437–452.

Sensitivity-based identifiability analysis for the simplest mathematical model of cellular HIV dynamics

Y. S. Shishmareva¹, O. I. Krivorotko^{1,2}

¹*Novosibirsk State University*

²*Institute of Computational Mathematics and Mathematical Geophysics SB RAS*

Email: y.shishmareva@g.nsu.ru

DOI: 10.24412/cl-35065-2022-1-01-65

Human immunodeficiency virus (HIV) is a virus that gradually weakens the immune system, resulting in acquired immunodeficiency syndrome (AIDS). Since most of the population lives with HIV and more than 1 million people die every year.

The mathematical model of intracellular dynamics of HIV infection which is described by a system of non-linear ordinary differential equations is investigated. The parameters of this system characterize the interaction of the body's cells and its immune response when the virus enters the individual organism. The sensitivity-based identifiability analysis is carried out to study the effect of each parameter on the model. We have considered several approaches, namely methods of global and local sensitivity [1, 2]. The results obtained during the work will be presented and analyzed.

This work is supported by the Russian Foundation for Basic Research (project No. 21-51-10003).

References:

1. Miao H., Xia X., Perelson A. S., Wu H. On identifiability of nonlinear ODE models and applications in viral dynamics. SIAM review // Society for Industrial and Applied Mathematics. 2011. 53(1). P. 3–39.
2. Marino S., Hogue I. B., Ray C. J., Kirschner D. E. A methodology for performing global uncertainty and sensitivity analysis in systems biology // J. Theor. Biol., 254 (2008), 178.

СЕКЦИЯ 7

Информационные и вычислительные системы

Адаптивный метод сжатия бинарных изображений

М. П. Бакулина

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН

Email marina@rav.sccc.ru

DOI: 10.24412/cl-35065-2022-1-01-66

Эффективное сжатие изображений без потери качества – одна из важных задач теории информации, имеющая широкое практическое применение. Ее решению посвящен ряд исследований [1, 2]. Известно, что любое цифровое изображение можно представить последовательностью сообщений. Для выбора таких сообщений существуют многочисленные способы. Единственное требование к ним – обеспечение возможности восстановления точной копии исходного изображения из последовательности сообщений. В работе [3] рассматривается эффективный двухэтапный метод блочного кодирования бинарных изображений без потери информации. На основе метода из [3] в данной работе предлагается адаптивный алгоритм сжатия бинарных изображений, позволяющий учитывать статистические свойства таких изображений. Предложенный алгоритм позволяет улучшить степень сжатия бинарных изображений в сравнении с методом из [3] и известным методом JPEG, широко используемым для сжатия изображений.

Список литературы

1. Howard P. G., Vitter J. S. Fast and efficient lossless image compression. Proc. IEEE Data Compression Conf. Snowbird, Utah, USA, 1993. P. 351–360.
2. Babu P., Sathappan S. Efficient lossless image compression using modified hierarchical prediction and context adaptive coding. Indian Jour. of Sc. and Tech., 2015. V. 8. P. 1–6.
3. Бакулина М. П. Эффективный метод блочного кодирования двухуровневых изображений. Программные продукты и системы, 2017. Т. 30, № 2. С. 282–285.

Применение теории графов в алгебраическом многосеточном методе для решения разреженных

СЛАУ

А. Р. Герб², Г. А. Омарова¹

¹*Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН*

²*Новосибирский государственный университет*

Email: gerb-artem@mail.ru, gulzira@rav.sccc.ru

DOI: 10.24412/cl-35065-2022-1-01-67

В работе рассматриваются геометрические и алгебраические многосеточные методы, алгоритмы огрубления графов, метрики, которые используются для построения агрегаций вершин [4, 5]. Реализован метод огрубления на основе метрики А. Напова и И. Нотея [3]. Для оптимизации времени вычислений используются алгоритмы Густавсона для эффективного умножения и транспонирования матриц формата CSR [1], что позволило обрабатывать графы с количеством вершин более миллиона.

Среди существующих метрик нет одной, которая бы могла бы подойти для всех графов: необходимо подбирать метрики в зависимости от поставленной задачи и требований, которые накладываются на получаемые агрегации. Например, для систем эллиптических дифференциальных уравнений отлично подойдет классическая мера "близости" вершин [2], а для более сложных графов можно использовать алгебраическое

расстояние. Возможно также вместо использования мер "близости" вершин применять критерии отбора вершин в агрегации, которые позволяют абстрагироваться от исходного пространства задачи.

Рассматриваются однопоточные и многопоточные варианты реализации алгоритмов.

Список литературы

1. Писанецки С. Технология разреженных матриц. Мир. 1988.
2. Livne O. E. and Brandt A. Lean algebraic multigrid (LAMG): Fast graph laplacian linear solver. SIAM J. Sci. Comput. 2012.
3. Napov A. and Notay Y. An efficient multigrid method for Laplacian systems II: robust aggregation. Society for Industrial and Applied Mathematics. 2016.
4. Notay Y. An aggregation-based algebraic multigrid method. Electron. Trans. Numer. Anal., 2010.
5. Napov A. and Notay Y. An algebraic multigrid method with guaranteed convergence rate. SIAM J. Sci. Comput. 2012.

Подход к расчету интерференции в сценах с оптически изотропными объектами и естественным освещением

В. А. Дебелов

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН

Email: debelov@oapmg.sccc.ru

DOI: 10.24412/cl-35065-2022-1-01-68

Современные программы расчета изображений (рендеры), на которых базируются также системы виртуальной реальности, не учитывают поляризации луча, а значит не позволяют рассчитать такие визуально наблюдаемые явления как интерференция, не позволяют ввести в сцену поляризационный фильтр. В [1] предложен метод расширения рендера достаточный для преодоления таких ограничений. Усложняется математическая модель применяемого для трассировки луча добавлением фазы волны, состоянием поляризации света и данные для выявления когерентности. Визуализация интерференции в системах оптического дизайна основывается на трассировке телесным лучом (например, в системе FRED [2]). Такое решение в рендерах не применяется в связи с огромным числом элементов в 3D сцене. В работе [3] предложено решение для расчета интерференции на основе лучей нулевой толщины в сценах с оптически изотропными объектами и монохромным освещением, которое успешно продемонстрировано при расчете колец Ньютона. На данном этапе делается следующий шаг: расчеты в сценах с естественным освещением. В докладе рассматриваются особенности соответствующего алгоритма.

Исследования выполнены в рамках государственного задания ИВМиМГ СО РАН (0251-2021-0001).

Список литературы

1. Debelov V. A., Vasilieva L. F. Visualization of interference pictures of 3D scenes including optically isotropic transparent objects // Scientific Visualization. 2020. V. 12, N. 3. P. 119–136.
2. Harvey J. E., Irvin R. G., Pfisterer R. N. Modeling physical optics phenomena by complex ray tracing // Optical Engineering, 2015, V. 54, N. 3. 12 P.
3. Debelov V., Dolgov N. Rendering of Newton's Rings in monochrome light // CEUR workshop proceedings. 2021, V. 3027. P. 116–125.

Учет сезонных изменений работы плотин ГЭС на примере результатов анализа данных натуральных наблюдений автоматизированных систем сейсмометрического контроля плотин Красноярской и Зейской ГЭС

Д. Б. Короленко, Л. А. Короленко, А. П. Кузьменко, В. С. Сабуров

Федеральный исследовательский центр Институт вычислительных технологий

Email: dbkoroenko@gmail.com

DOI: 10.24412/cl-35065-2022-1-01-69

Для контроля состояния ГЭС и их оснований среди основных диагностических показателей должны отслеживаться динамические характеристики – параметры, характеризующие динамические свойства

объекта, проявляющиеся при динамических нагрузках и отражающие техническое состояние строительной конструкции в целом (частоты собственных форм колебаний, статистические и диссипативные характеристики и др.).

В настоящей работе рассмотрены результаты обработки данных автоматизированных систем сейсмического контроля, установленных на плотинах Красноярской и Зейской ГЭС, и позволяющих совмещать задачи регистрации сейсмических событий и мониторинга технического состояния по динамическим характеристикам. Приведены графики изменения динамических характеристик в сопоставлении с факторами внешних воздействий на плотину ГЭС (уровень верхнего бьефа, температурный фактор, мощность и число работающих агрегатов). Представлена информационная модель системы и программное обеспечение для исследования изменения динамических характеристик с учетом сезонной работы сооружения. Данные инструменты позволяют проверить соответствие текущих значений сложившимся внешним воздействиям с помощью статистических моделей.

Качество цитирования в научной графике и метод его количественной оценки

Н. А. Лаврентьев, А. З. Фазлиев

Институт оптики атмосферы СО РАН

Email: lnick@iao.com

DOI: 10.24412/cl-35065-2022-1-01-70

Задача оценки качества информационных ресурсов является частью более общей задачи – оценки доверия, ставшей в свое время основной целью создания стандартов Semantic Web. Критерии доверия разительно отличаются как в разных предметных областях, так и в рамках одной предметной области, и для разных типов информационных ресурсов различия могут быть существенными.

В докладе описан подход к количественной оценке качества цитирования научных графиков, на примере собранной нами коллекции графических ресурсов в системе GrafOnto, предназначенной для упрощения поиска спектральной информации, представленной в графическом виде. Коллекция содержит научную графику преимущественно по трем разделам спектроскопии: изучению свойств атмосферных молекулярных комплексов и молекулы воды, а также задачам непрерывного поглощения и сечения поглощения атмосферных молекул. В настоящее время коллекция содержит порядка 6000 примитивных графиков, большая часть которых входит в состав составных графиков или составных рисунков. Почти 1500 из этих графиков являются цитируемыми. Сопоставление цитированного графика с соответствующим ему оригиналом нередко осложняется проблемами, связанными с неявным заданием вещества, различными единицами измерений физических величин, неопределенностью в пересчете данных из одной системы единиц в другую (например, когда требуется пересчет значений дополнительных физических величин, в ряде случаев отсутствующих в публикациях) или сравнением безразмерных величин с размерными.

В результате возникает задача оценки качества цитирования, для решения которой нами предлагается количественная метрика среднего расхождения пары "оригинальный график – цитируемый график". Основной проблемой при сравнении двух графиков является сложность сопоставления двумерных массивов, для которых в общем случае не совпадают ни количество точек, ни плотность распределения этих точек, ни интервалы по обеим осям. Предлагаемый нами подход приводит, если это возможно, координатные массивы обоих графиков к виду, позволяющему однозначное сопоставление точек по оси абсцисс, что значительно упрощает вычисление значений расхождения для каждой из точек оригинального и цитируемого графика. Усреднив полученные на предыдущем шаге значения расхождения, мы получаем метрику среднего расхождения двух графиков. После нормирования значение метрики находится в интервале от 0 до 100 %, количественно характеризуя расхождение оригинального и цитированного

графика. Полученная таким образом оценка расхождения позволяет оценить качество и точность цитирования.

Работа выполнена в рамках федеральной целевой программы.

Разработка стенда для удаленной асинхронной работы с ПЛИС

А. С. Лоренс, Г. А. Петухов

Национальный исследовательский университет "Высшая школа экономики"

Email: aslorens@edu.hse.ru, gapetukhov@edu.hse.ru

DOI: 10.24412/cl-35065-2022-1-01-71

Основной задачей данной работы является создание программно-аппаратного комплекса, обеспечивающего удаленное взаимодействие с платами ПЛИС в асинхронном формате. В работе [1] подробно описана актуальность разработки и внедрения удаленных лабораторий в процесс обучения программированию ПЛИС. Разработка компании Labs Land [2] является популярным решением в данной сфере, количество уникальных посетителей сайта за 2021 составляет 150 000 человек. Исходя из этого, было решено разработать удаленную лабораторию на базе УЛ САПР МИЭМ НИУ ВШЭ для упрощения процесса обучения и повышения доступности плат ПЛИС.

Лабораторный стенд, разработанный в УЛ САПР МИЭМ НИУ ВШЭ, является набором программных и аппаратных компонентов, обеспечивающих доступ к платам ПЛИС, и другому оборудованию в удаленном асинхронном формате. Программная компонента данной разработки включает в себя ряд программ, разработанных на языке Python. Разработанные программы обеспечивают обработку пользовательских прошивок, отправку результатов пользователю в формате видеозаписи работы платы ПЛИС, отчетов о компиляции проекта и прошивке платы. Аппаратная основа лабораторного стенда состоит из персонального компьютера, платы Arduino, платы ПЛИС, веб-камеры.

Список литературы

1. Morgan F., Cawley S. Enhancing learning of digital systems using a remote FPGA lab // 6th International Workshop on Reconfigurable Communication-Centric Systems-on-Chip, ReCoSoC 2011. Proceedings. 2011. P. 1–8.
2. Aramburu Mayoz C. et al. FPGA Remote Laboratory: Experience in UPNA and UNIFESP // Advances in Intelligent Systems and Computing. 2021. V. 1231 AISC. P. 112–127.

Отображение нескладируемых ресурсов в моделях календарного планирования проектов

О. А. Ляхов

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН

Email: loa@rav.sccc.ru

DOI: 10.24412/cl-35065-2022-1-01-72

В календарном планировании проектов постулируется априорное внешнее распределение нескладируемых ресурсов планового периода. В моделях календарного планирования наличие нескладируемых (возобновляемых) ресурсов полагается заранее заданным во всех временных интервалах, т. е. предполагается их расчет до построения расписания выполнения проекта. Отображение наличия нескладируемых ресурсов как постоянных величин приводит к потере эффективных расписаний работ. Общеизвестное определение нескладируемых ресурсов как ненакапливаемых (типа "мощность"), неиспользование которых приводит к их потере, неполностью отражает их специфику. В статье показана возможность формализации условий перераспределения нескладируемых ресурсов по временным интервалам проекта в моделях календарного планирования. Совмещение построения расписаний с распределением ресурсов позволяет строить более эффективные календарные планы в сравнении с традиционным

подходом. Перераспределение ресурсов рассмотрено на примере сетевой модели построения расписания работ, минимизирующего дисбаланс ресурсов при заданных директивных сроках завершения проектов.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИВМиМГ СО РАН (0251-2021-0005).

Информационная система Meteo+ для систематизации и анализа результатов вычислительного моделирования краткосрочных метеорологических прогнозов

А. И. Привезенцев^{1,2}, С. А. Проханов¹, А. З. Фазлиев^{1,2}, А. В. Старченко¹, Е. А. Стребкова^{1,2}

¹Национальный исследовательский Томский государственный университет

²Институт оптики атмосферы им. В. Е. Зуева СО РАН

Email: alexey@privezentsev.ru

DOI: 10.24412/cl-35065-2022-1-01-74

Доклад посвящен описанию прикладной системы компьютерной поддержки научных исследований, предназначенной для трех групп пользователей: 1) профессионалов в вычислительной геофизике, занимающихся усовершенствованием и разработкой вычислительных моделей, тестированием и апробацией выдвигаемых исследовательских решений в рамках проверки научных гипотез; 2) профессионалов в метеорологии, занимающихся экспертным анализом, интерпретацией и вероятностными предсказаниями опасных погодных явлений, а также оценкой качества приземного воздуха городской агломерации; 3) студентов и аспирантов, занимающихся изучением определенных аспектов метеорологии и освоением изучаемых навыков. Рассматриваемая информационная система Meteo+ предназначена для накопления, систематизации и анализа результатов вычислительного моделирования метеорологических прогнозов по моделям TSUNM3 [1], CTM, WRF, CAMx [2].

Информационная система Meteo+ является научной многопользовательской информационно-вычислительной веб-системой с функциями онлайн-вычислений, импорта, экспорта, атрибутивного поиска, визуализации и сравнения решений по моделям TSUNM3, CTM, WRF, CAMx. Для расширенных возможностей анализа полученных решений информационная система обогащает данные широким спектром различных метаданных. В результате работы разработанная научная информационно-вычислительная веб-система развернута и находится в режиме эксплуатации по адресу <http://meteo.math.tsu.ru/>.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (код проекта 19-71-20042).

Список литературы

1. Старченко А. В., Барт А. А., Кижнер Л. И., Данилкин Е. А. Мезомасштабная метеорологическая модель TSUNM3 для исследования и прогнозирования состояния метеопараметров приземного слоя атмосферы над крупным населенным пунктом // Вестн. Том. гос. ун-та. Математика и механика. 2020. № 66. С. 35–55.

2. Starchenko A, Shelmina E, Kizhner L. Numerical Simulation of Meteorological Conditions and Air Quality above Tomsk, West Siberia. // Atmosphere. 2020. V 11 (11), № 1148. 15 p. DOI: <https://doi.org/10.3390/>.

Внешнее связывание имитационных моделей в системе MTSS

С. В. Рудометов^{1,2}, С. С. Журавлев², В. В. Окольников²

¹Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН

²Федеральный исследовательский центр информационных и вычислительных технологий

Email: rsw@academ.org

DOI: 10.24412/cl-35065-2022-1-01-75

Система имитационного моделирования MTSS [1] позволяет создавать библиотеки элементарных моделей (ЭМ) для проведения имитационных экспериментов специалистами в предметной области. Каждая библиотека является отдельным программным продуктом.

Иногда возникает ситуация, когда две или более имитационных модели (ИМ), созданных в различных рабочих группах, можно дополнить перекрестным использованием.

Рабочая группа отладки контроллеров управления шахтными конвейерами использует систему MTSS для моделирования процессов в конвейерной сети [2]. Конвейеры в этой сети транспортируют продукт, появление которого имитируется в простой ЭМ забоя. Другая рабочая группа создала детальную модель забоя [3]. И хотя MTSS позволяет сделать ИМ, которая будет содержать и модель забоя, и модель конвейерной сети, интерес так же представляет способ интеграции двух приложений со своими моделями так, чтобы данные имитации забоя использовались бы в отладке контроллеров управления конвейерной сетью.

Мы применили спецификацию HLA [4] для связывания нескольких имитационных моделей. HLA используются для связи абсолютно различных имитационных систем. В работе рассмотрены различные аспекты такого связывания имитационных моделей (запуск, останов, организация имитационного эксперимента).

Список литературы

1. Рудомётов С. В. Визуально-интерактивная система имитационного моделирования технологических систем // Вестник СибГУТИ. 2011. № 3. С. 14–26.
2. Журавлёв С. С. Имитационный программно-аппаратный комплекс для тестирования АСУ ТП предприятий горнодобывающей промышленности. // Диссертация Новосибирск 2020. 135 с.
3. Окольнишников В. В., Ордин А. А., Рудометов С. В. Разработка цифровой модели очистного забоя угольной шахты // Автометрия, 2021. № 6. С. 113–123.
4. IEEE Standard for Modeling and Simulation (M&S) High Level Architecture (HLA)— Framework and Rules. IEEE Computer Society. 18 August 2010. ISBN 978-0-7381-6251-5.

СЕКЦИЯ 8

Компьютерная биология, медицина и биотехнология

Анализ молекулярных и структурных последовательностей гена StSN1, кодирующего антимикробный пептид Snakin-1

Н. С. Андреев, В. М. Ефимов

Томский государственный университет

Email: nikita_007g@mail.ru

DOI: 10.24412/cl-35065-2022-1-01-77

Snakin-1 является богато-цистеиновым антимикробным пептидом, который проявляет сильную противогрибковую и антибактериальную активность в отношении широкого спектра патогенов растений [1].

Целью работы является анализ нуклеотидной последовательности гена StSN1 и вторичной структуры пептида методом PCA-Seq [2]; исследование связи главных компонент с предсказанными антимикробными свойствами этих последовательностей.

Список литературы

1. Su T. et al. Molecular and biological properties of snakins: the foremost cysteine-rich plant host defense peptides // J. of Fungi. 2020. Т. 6. № 4. С. 220. DOI:10.3390/jof6040220.

2. Ефимов В. М. и др. Главные компоненты генетических последовательностей: корреляции и достоверность // Математическая биология и биоинформатика. 2021. Т. 16. № 2. С. 299–316. DOI: 10.17537/2021.16.

Численное моделирование задач медицинского ультразвука

К. А. Беклемишева, А. В. Васюков

Московский физико-технический институт

Email: amisto@yandex.ru

DOI: 10.24412/cl-35065-2022-1-01-78

Медицинский ультразвук, являющийся надежным, недорогим и широко распространенным методом неинвазивной диагностики, сталкивается с рядом проблем при попытках применить его к сложным случаям, например исследованию сосудов в черепно-мозговом отделе [1].

В данной работе рассматривается полностью трехмерная постановка с использованием линейного и матричного датчика. Для моделирования костной ткани и согласующего слоя ультразвукового преобразователя применяется упругая модель материала, позволяющая корректно моделировать сдвиговые и поверхностные волны, которые участвуют в формировании изображения в ближней зоне.

Рассмотрено формирование изображения (В-скана) для акустически однородной среды и расположенных в ней отражающих границ. Рассмотрено влияние на В-скан отражающих объектов, расположенных вне основной плоскости сканирования. Данное моделирование позволяет систематизировать оценки влияния окружающей среды на формируемое изображение основной целевой области сканирования. Выполнено моделирование появления некоторых типовых артефактов на изображениях, таких как реверберации и фантомные объекты [2, 3].

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (код проекта 22-11-00142).

Список литературы

1. Beklemysheva K. A., Grigoriev G. K., Kulberg N. S., Petrov I. B., Vasyukov A. V., Vassilevski Yu. V. Numerical simulation of aberrated medical ultrasound signals // RJNAMM. 2018. V. 33, № 5. P. 277–288.

2. Hajian M., Gaspar R., Maev R. G. Accurate 3-D Profile Extraction of Skull Bone Using an Ultrasound Matrix Array // IEEE Transactions on Biomedical Engineering. 2017. V. 64, № 12. P. 2858–2871.

3. Mozaffarzadeh M., Minonzio C., de Jong N., Verweij M. D., Hemm S., Daeichin V. Lamb Waves and Adaptive Beam-forming for Aberration Correction in Medical Ultrasound Imaging // IEEE Transactions on Ultrasonics, Ferroelectrics, and Frequency Control. 2021. V. 68, № 1. P. 84–91.

Структурно-функциональный анализ цис-регуляторных элементов с помощью интеграции полногеномных данных ChIP-seq и RNA-seq

В. А. Долгих^{1,2}, Д. С. Вибе^{1,2}, В. Г. Левицкий^{1,2}, Е. В. Землянская^{1,2}

¹Институт цитологии и генетики СО РАН

²Новосибирский государственный университет

Email: dolgikh@bionet.nsc.ru

DOI: 10.24412/cl-35065-2022-1-01-79

Регуляция экспрессии генов транскрипционными факторами (ТФ) контролируется на нескольких уровнях, среди которых важную роль играют физические свойства взаимодействий между ТФ и ДНК и олигомеризация ТФ. Эти явления находят отражение в сложной структуре цис-регуляторных элементов. В промоторах генов цис-регуляторные элементы могут формировать цис-регуляторные модули, состоящие из нескольких сайтов связывания ТФ. Кроме того, одному ТФ могут соответствовать разные сайты связывания. Из-за сложной структуры цис-регуляторных модулей их системные экспериментальные исследования затруднительны. Биоинформатическая интеграция данных ChIP-seq (содержащих сайты связывания изучаемого ТФ и его партнеров) с данными RNA-seq (отражающих транскрипционный ответ потенциальных мишеней ТФ) может облегчить проведение подобного рода исследований. Однако, насколько нам известно, в настоящее время нет программного обеспечения для такого комплексного анализа. В данной работе мы разработали конвейер для структурно-функционального анализа цис-регуляторных элементов на основе интеграции данных ChIP-seq и RNA-seq. Мы использовали полногеномные данные ChIP-seq по связыванию ключевых ТФ гормонов растений этилена, ауксина и цитокинина: EIN3, ARF6 и ARR1, соответственно, а также данные индуцированных этими гормонами транскриптомов для оценки функциональности конвейера.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (код проекта 20-14-00140).

Платформа для многопараметрического гемодинамического анализа брюшных аневризм аорты

Р. Ю. Епифанов¹, Я. В. Федотова¹, К. А. Борисова¹, Р. И. Мулладжанов^{1,2}, А. А. Карпенко^{1,3}

¹Новосибирский государственный университет

²Институт теплофизики им. С. С. Кутателадзе СО РАН

³Национальный медицинский исследовательский центр им. акад. Е. Н. Мешалкина

Email: rostepifanov@gmail.com

DOI: 10.24412/cl-35065-2022-1-02-34

Брюшная аневризма представляет собой патологическое расширение аорты, которое склонно к неконтролируемому увеличению в размерах до наступления разрыва аорты. Для предотвращения разрыва в медицинской практике при достижении критического диаметра в месте максимального расширения назначают хирургическое лечение [1]. Несмотря на то, что увеличение максимального диаметра аневризмы повышает риск разрыва [2], такая оценка является грубой, так как размер аневризмы не является определяющим фактором. В работах [3, 4] авторы показывают, что добавление гемодинамических параметров способно улучшить оценку риска разрыва аневризмы. Однако такие модели являются

недоступными для медиков напрямую из-за отсутствия соответствующих инструментов, которые способны осуществлять гемодинамические расчеты автоматически. В рамках данной работы мы сосредоточились на создании платформы для проведения многопараметрического гемодинамического анализа брюшных аневризм аорты. Платформа по КТ-снимку брюшной полости способна извлекать геометрию аневризмы, подготавливать расчетную сетку по извлеченной геометрии и проводить гемодинамическое моделирование. Получаемые на выходе гемодинамические параметры можно напрямую использовать для оценки риска разрыва аневризмы.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект № 21-15-00091).

Список литературы

1. Authors/Task Force members et al. 2014 ESC Guidelines on the diagnosis and treatment of aortic diseases: document covering acute and chronic aortic diseases of the thoracic and abdominal aorta of the adult The Task Force for the Diagnosis and Treatment of Aortic Diseases of the European Society of Cardiology (ESC) // *Europ. Heart J.* 2014. Vol. 35. No 41. P. 2873–2926.
2. Абугов С. А. Национальные рекомендации по ведению взрослых пациентов с аневризмами брюшной аорты и артерий нижних конечностей. // *НЦССХ им. А. Н. Бакулева РАМН.* 2011.
- 3 Baek S., Arzani A. Current state-of-the-art and utilities of machine learning for detection, monitoring, growth prediction, rupture risk assessment, and post-surgical management of abdominal aortic aneurysms // *Appl. in Engin. Sci.* 2022. P. 100097.
4. Qiu Y. et al. Association between blood flow pattern and rupture risk of abdominal aortic aneurysm based on computational fluid dynamics // *Europ. J. of Vascular and Endovascular Surgery.* 2022.

ANDSystem: a cognitive computer system for automated gene networks reconstruction and analysis

V. A. Ivanisenko^{1,2,3}, P. S. Demenkov^{1,2}, T. V. Ivanisenko^{1,2}, E. A. Antropova¹, A. V. Adamovskaya^{1,3}, P. M. Revva^{1,3}

¹*Institute of Cytology and Genetics SB RAS*

²*Kurchatov Genomic Center of the Institute of Cytology and Genetics SB RAS*

³*Novosibirsk State University*

Email: salix@bionet.nsc.ru

DOI: 10.24412/cl-35065-2022-1-02-38

A cognitive software and information system ANDSystem has been developed. ANDSystem considers 12 types of objects, including organisms, cells/tissues, diseases, genes, metabolites, drugs, etc. For these objects, knowledge about physical interactions, catalytic reactions, regulatory relationships is automatically extracted from texts. There are more than 20 types of interactions in total.

ANDSystem has been used to solve a wide range of problems in the reconstruction of the molecular mechanisms of diseases, the interpretation of omics data, and other problems in the field of biomedicine. In particular, an urgent problem is the study of molecular genetic mechanisms of pathogen-host interaction. Reconstruction of signaling pathways for the regulation of cellular biological processes by viral proteins can help in the search for new pharmacological targets. Using the ANDSystem, the associative gene networks describing the potential regulation of the apoptosis process by HCV viral proteins were reconstructed. Another direction of research was related to the study of the molecular mechanisms of pathological processes in hepatocellular carcinoma. Induction of apoptosis by the cell response to mechanical stress caused by tumor tissue compaction is important antitumor mechanism. The analysis of gene networks made it possible to identify potential signaling pathways linking genes involved in the cell response to mechanical stress with key genes of the external pathway of apoptosis. Potential molecular mechanisms of dysfunction of these signaling pathways in hepatocellular carcinoma have also been reconstructed.

Supported by agreement with the Ministry of Education and Science of Russia No 075-15-2021-944.

Применение разномасштабных моделей гемодинамики при решении задачи поиска оптимальных параметров формирования сосудистых анастомозов

Ю. О. Куянова, Д. В. Паршин

Институт гидродинамики им. М. А. Лаврентьева СО РАН

Email: i.kuianova@g.nsu.ru

DOI: 10.24412/cl-35065-2022-1-01-80

Формирование сосудистых анастомозов – один из широко применяемых методов при лечении церебральных аневризм в современной клинической практике. При этом вопросы об оптимальных параметрах формирования на данный момент остаются открытыми. Ранее мы исследовали вопрос о нахождении оптимального угла формирования анастомозов [1], однако параметры подбирались вручную, что существенно увеличивало время поиска. В данной работе решается задача о поиске оптимального места формирования анастомоза с помощью метода роя частиц [2] на основе разномасштабных моделей гемодинамики. Проведено сравнение использования двух различных моделей при решении данной задачи.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект № 20-71-10034).

Список литературы

1. Kuyanov Iu.O., Presnyakov S. S., Dubovoy A. V., Chupakhin A. P., Parshin D. V. Numerical study of the tee hydrodynamics in the model problem of optimizing the low-flow vascular bypass angle // J. of Applied Mechanics and Technical Physics. 2019. V. 60. P. 1038–1045.
2. Poli R., Kennedy J., Blackwell T. Particle swarm optimization // Swarm Intelligence. 2007. V. 1, № 1. P. 33–57.

A computational pipeline for the identification and analysis of orthologous gene families: Study of phospholipases A2 in flatworms

М. Е. Лачынова^{1,2,3}, И. И. Турнаев^{1,2}, Д. А. Афонников^{1,2,3}

¹*Institute of Cytology and Genetics SB RAS*

²*Kurchatov Genomic Center ICG SB RAS*

³*Novosibirsk State University*

Email: lachynova @bionet.nsc.ru

DOI: 10.24412/cl-35065-2022-1-02-27

Identification and structural analysis of proteins of orthologous families including multidomain proteins (enzymes, transcription factors, transmembrane proteins) is an important task in the study of their function and evolution. This task is complicated by the fact that the structure of these proteins may include, along with the main functional domain, many concomitant domains whose composition changes as a result of functional diversification of the proteins. In this paper, we propose a computational pipeline for the identification and subsequent structural and evolutionary analysis of multidomain protein families based on processing protein sequences from full genomic data. This pipeline was used to analyze phospholipase A2, the enzymes that catalyze phospholipid hydrolysis. These proteins are also widely present in mammals and perform a number of important basic functions at the cellular and whole body level. Disruption of human phospholipase A2 function is often associated with cancer. A search for proteins of this family in the genomes of 36 flatworm organisms was performed. In this regard, phospholipases are of interest because they may be involved in the parasite-host interaction process. We first identified classes of phospholipases A2 from 11 families. We also examined the primary

structure and domain composition of the found PLA2 proteins. The resulting bioinformatic pipeline can be used to search and analyze multidomain proteins for a wide class of taxa.

The work was carried out with funding from the Kurchatov Center of the Federal Research Center for Genome Research of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, agreement with the Ministry of Education and Science of the Russian Federation № 075-15-2019-1662.

Технология визуализации интересующих биологических тканей в момент интраоперационного кровоизлияния

А. В. Медиевский¹, А. Г. Зотин², К. В. Симонов³, А. С. Кругляков³

¹*Красноярский государственный медицинский университет им. В. Ф. Войно-Ясенецкого*

²*Сибирский государственный университет науки и технологий им. М. Ф. Решетнева*

³*Институт вычислительного моделирования СО РАН*

Email: amedievsky@yandex.ru

DOI: 10.24412/cl-35065-2022-1-01-81

Для снижения риска геморрагических осложнений предлагается технология эндоскопической визуализации оперируемых тканей при помощи улавливания отраженного ближнего инфракрасного света (NIR) и компьютерной обработки. Кровь имеет выше коэффициент поглощения лучей NIR по сравнению с другими тканями [1], это позволяет визуализировать интересующие структуры, несмотря на кровоизлияние в полость раны. В целях облегчения анализа полученных изображений были адаптированы методы компьютерной обработки, суть которых заключается в шумоподавлении, улучшении яркостных характеристик, формировании контурного представления и цветового кодирования изображений [2].

Список литературы

1. Calabro, Katherine W. Modeling Biological Tissues in LightTools. (2020)
2. Zotin A. G.: Fast algorithm of image enhancement based on multi-scale Retinex // Int. J. Reasoning-based Intelligent Systems 12 (2), 106–116 (2020)

Моделирование гемодинамики в бифуркации аорты при наличии аневризмы

Л. Р. Мерзоева, А. А. Карпенко, Д. В. Паршин, А. П. Чупахин

Новосибирский государственный университет

Email: l.merzhoeva@g.nsu.ru

DOI: 10.24412/cl-35065-2022-1-01-82

Аневризма брюшного отдела аорты является распространенной аномалией сосудистой системы, нарушающей нормальный режим кровотока [1]. Бифуркация аорты при наличии аневризмы представляет собой сложную гидродинамическую систему. Описание течения жидкости в бифуркации является предметом многих исследований [2].

В работе исследуются свойства брюшного отдела аорты при включении в систему аневризмы локализованной на стволе аорты. Геометрические и гемодинамические параметры системы берутся из медицинских данных, предоставленных ФГБУ НМИЦ им. Е. Н. Мешалкина. Проведено численное моделирование течения крови в идеализированных конфигурациях с патологией и без. Результаты моделирования согласуются с общепринятым представлением о физиологических процессах в абдоминальном отделе аорты. Выявлены: снижение значений нормированной диссипативной функции с появлением патологии, рост давления и уменьшение площади, ограниченной кривой диаграммы "давление – скорость", выше аневризмы с увеличением радиуса последней в сравнении с конфигурацией без патологии.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (код проекта 21-15-00091).

Список литературы

1. Vignali E., et. al. Fully-Coupled FSI Computational Analyses in the Ascending Thoracic Aorta Using Patient-Specific Conditions and Anisotropic Material Properties. *Frontiers in Physiology*, 2021.
2. Correa P. G., et. al Three-dimensional flow structures in X-shaped junctions: Effect of the Reynolds number and crossing angle. *Phys. Fluids* 31, 2019.

Триггерная модель динамики асептического воспаления

Т. С. Михаханова^{1,2}, О. Ф. Воропаева²

¹Новосибирский государственный университет

²Федеральный исследовательский центр информационных и вычислительных технологий

Email: t.mikhakhanova@g.nsu.ru; vorop@ict.nsc.ru

DOI: 10.24412/cl-35065-2022-1-01-83

Воспаление является универсальной защитно-приспособительной реакцией организма на внешние повреждения или внутренние нарушения. Суть воспаления заключается в определении, частичной или полной ликвидации раздражителя, а также восстановлении пораженных тканей и органов. Данные процессы определяются взаимодействием клеток иммунной системы между собой, с другими клетками и биоактивными веществами.

В работе для количественного описания динамики асептического воспаления в центральной зоне раневого повреждения привлекается модель, описанная в [1]. Установлено, что модель обладает множественностью стационарных решений. Исследован триггерный механизм функционирования системы, который обеспечивается только изменением начальных условий. Результаты имеют вполне ясный биологический смысл. Они также позволяют рассчитывать на то, что сценарий заживления раны, в значительной мере, может быть предсказан еще "дооперационным" исследованием клеточного состава крови.

Список литературы

1. Воропаева О. Ф. Математическая модель динамики асептического воспаления / О. Ф. Воропаева, Т. Б. Баядилов // Сибирский журнал индустриальной математики. 2020. Т. 23. № 4. С. 30–47.

Alignment-free метод сравнения символьных последовательностей (на примере генетических)

А. А. Молявко^{1,2}, М. Г. Садовский^{1,3,4}, Е. Д. Каропова¹, И. А. Боровиков⁵

¹Институт вычислительного моделирования СО РАН

²Сибирский федеральный университет

³Красноярский государственный медицинский университет

⁴Федеральный Сибирский научно-клинического центр ФМБА России

⁵Nekkar Ltd., California (USA)

Email: msad@icm.krasn.ru

DOI: 10.24412/cl-35065-2022-1-01-84

Предлагается новый мощный alignment-free метод сравнения генетических последовательностей, который за один проход вычисляет точное число совпавших нуклеотидов для любого наложения двух последовательностей вне зависимости от их взаимного расположения в наложении. Это можно проделывать для n -грамм любой длины, где n ограничено только мощностью вашего компьютера (наши эксперименты проводились для n до 7). Метод, предложенный В. В. Шайдуровым, не имеет никаких

настраиваемых параметров и основан на применении быстрого преобразования Фурье для вычисления свертки числовых последовательностей, получаемых из исходных символьных.

Впервые было проведено полнохромосомное сравнение 1-й и 2-й хромосом человека для односимвольных совпадений; расчеты заняли около 100 мин. на персональном компьютере (8 ядер, 32 Gb RAM, 3,2 GHz). Аналогично попарное сравнение 63 геномов коронавируса (также для однобуквенного совпадения) заняло 8 мин. процессорного времени; попарное выравнивание, реализованное на суперкомпьютере, заняло приблизительно 72 ч.

Основной трудностью данного метода является локализация высоко гомологичных совпадений, для ее решения также предложен ряд процедур

Работа выполнена при поддержке Красноярского математического центра, финансируемого Минобрнауки РФ в рамках мероприятий по созданию и развитию региональных НОМЦ (соглашение 075-02-2022-873).

Modeling age-related alterations in the mouse liver circadian clock caused by an imbalance in the NAD + consumption system

N. L. Podkolodny^{1,2,3}, N. N. Tverdokhle¹, O. A. Podkolodnaya¹

¹*Institute of Cytology and Genetics, SB RAS*

²*Institute of Computational Mathematics and Mathematical Geophysics, SB RAS*

³*Novosibirsk State University*

Email: pnl@bionet.nsc.ru

DOI: 10.24412/cl-35065-2022-1-02-26

A mathematical model of the interaction of the circadian oscillator in the mouse liver with the NAD+ consumption system, including the enzyme SIRT1, PARP1, CD38, whose activity changes with age, has been developed and tested on experimental data.

We included in our model the genes *Arntl*, *Clock/Npas2*, *Per1/2*, *Cry1/2*, *Rora/g*, *Rev-Erbalpha/beta*, *Dbp*, *Nfil3*, *Nampt* which are important for the functioning of the circadian oscillator in the mammalian liver (mouse). To verify the model, we used experimental data with various types of impacts, knowledge about the intervals of possible values of model parameters and the effect of knockout of various genes on the dynamics of the model and the oscillation period, the relationship between amplitudes, phases of model variables.

Modeling showed a pronounced circadian activity of CD38, PARP1 and SIRT1, as well as the fact that age-related changes in the activity of these enzymes lead to age-related disorders of NAD+ metabolism. Such disorders can be one of the causes of dysfunction of circadian oscillators in the liver and contribute to disruption of circadian rhythms in the body as a whole.

Supported by FWNR-2022-0020, and № 0251-2021-0004.

Применение математических моделей к анализу функционирования системы биомаркеров дегенеративных заболеваний

С. Д. Сенотрусова, О. Ф. Воропаева

Федеральный исследовательский центр информационных и вычислительных технологий

Email: senotrusova.s@mail.ru

DOI: 10.24412/cl-35065-2022-1-01-85

Супрессор опухолей белок p53 и его основные регуляторы (белки Mdm2, Wip1 и Sirt1) известны как биомаркеры дегенеративных заболеваний (рак, болезнь Альцгеймера, фиброзы и др.). Последние биомедицинские исследования указывают на то, что более доступными биомаркерами могут быть микроРНК, связанные с p53 прямой или обратной положительной связью. В докладе представлены результаты математического моделирования функционирования системы p53–микроРНК, опирающегося на

данные лабораторных экспериментов. В рамках системно-биологического подхода выполнено развитие разработанной базовой минимальной модели [1], включающей в себя функционально-дифференциальные уравнения с запаздывающими аргументами. Принятые модели используются для описания ряда экспериментальных измерений, исследования основных закономерностей и механизмов функционирования систем вида р53–белок-ингибитор–микроРНК и анализа роли р53-зависимых микроРНК в диагностике и терапии дегенеративных заболеваний.

Список литературы

1. Воропаева О. Ф., Сенотрусова С. Д., Шокин Ю. И. Применение минимальных математических моделей динамики сигнального пути белка р53–микроРНК к анализу лабораторных данных // Вычислительные технологии. 2020. Т. 25, № 6. С. 4–49.

Анализ молекулярных последовательностей гена LZTFL1 методом главных компонент (PCA-Seq)

Юй Сяотун¹, В. М. Ефимов^{1,2,3,4}

¹Новосибирский государственный университет

²Институт цитологии и генетики СО РАН

³Институт систематики и экологии животных СО РАН

⁴Томский государственный университет

Email: s.yuj@g.nsu.ru

DOI: 10.24412/cl-35065-2022-1-01-86

Ген LZTFL1 (leucine-like zip transcription factor 1) является опухолевым супрессором, участвующем в цитогенезе и внутриклеточном транспорте цилиарных белков.

Целью работы является анализ нуклеотидной и аминокислотной последовательностей гена LZTFL1 и вторичной структуры белка методом PCA-Seq [1-2], а также исследование связи главных компонент этих последовательностей с физико-химическими свойствами аминокислот.

Список литературы

1. Ефимов В. М., Ефимов К. В., Ковалева В. Ю. Метод главных компонент и его обобщения для последовательности любого типа (PCA-Seq) // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2020. Т. 23. № 8. С. 1032–1036. DOI: 10.18699/VJ19.584

2. Ефимов В. М. и др. Главные компоненты генетических последовательностей: корреляции и достоверность // Математическая биология и биоинформатика. 2021. Т. 16. № 2. С. 299–316. DOI: 10.17537/2021.16.

Ведущим фактором кластеризации триплетных профилей генов 16S РНК бактерий является таксономия их носителей

А. А. Тетерлева², М. Г. Садовский^{1,3,4}, А. В. Моргун³, И. А. Ларионова³, В. Г. Абрамов⁴

¹Институт вычислительного моделирования СО РАН

²Институт фундаментальной биологии и биотехнологии СФУ

³Красноярский государственный медицинский университет

⁴ФСНКЦ ФМБА России

Email: msad@icm.krasn.ru

DOI: 10.24412/cl-35065-2022-1-01-87

В работе изучалась связь таксономии бактерий и частот триплетов их генов 16S РНК нелинейными методами анализа (метод упругих карт) и линейными методами (метод динамических ядер, классификация без учителя). На основе метода динамических ядер построена процедура кластеризации и ее результаты сопоставлены с той, которая была получена с помощью упругих карт. Мы использовали генетический материал из открытой базы данных SILVA и проанализировали гены всех порядков бактерий,

представленных в этой базе данных. Упругие карты, выявляющие неоднородности в распределении данных (собственно кластеры) в пространстве частот триплетов, строились с помощью ПО *VidaExpert*. Результаты анализа таксономического состава выделенных на картах кластеров показывают, что в один кластер попадают бактерии преимущественно одного таксона или близких к нему и исключения редки. Этот результат позволяет возможным в перспективе создание (полу)автоматической системы диагностики некоторых неврологических расстройств: рассеянного склероза, болезни Паркинсона, болезни Альцгеймера по составу микробиоты человека.

Гемодинамика бифуркационной аневризмы абдоминального отдела аорты

Д. В. Тихвинский¹, А. А. Карпенко^{1,2}, А. П. Чупахин¹, Д. В. Паршин¹

¹*Новосибирский государственный университет*

²*Национальный медицинский исследовательский центр им. Е. Н. Мешалкина*

Email: nabster98@yandex.ru

DOI: 10.24412/cl-35065-2022-1-01-88

Бифуркационные аневризмы абдоминального отдела аорты являются широко распространенным заболеванием: от 1.5 % до 5 % людей старше 65 лет имеют данную патологию [1]. Целью данной работы является изучение гемодинамики бифуркационной аневризмы абдоминального отдела аорты.

По DICOM-изображениям реальных пациентов, проходивших лечение в НМИЦ им. Е. Н. Мешалкина, были восстановлены 30 геометрий аорты. Эти данные были использованы для нахождения диаметров аневризмы аорты и подвздошных артерий, а также их статистического анализа. В итоге были построены 9 идеализированных конфигураций с аневризмой и 9 здоровых (без аневризмы) конфигураций.

В результате проведенного исследования оказалось, что реальное распределение диаметров проксимального, по отношению к аневризме, отдела аорты и диаметров подвздошных артерий отличается от предсказанного по закону Мюррея [2]

По результатам FSI-моделирования (данные об эластических свойствах сосудов взяты из [3]) получено распределение деформаций стенки как в конфигурациях с аневризмой, так и в конфигурациях без аневризмы аорты

Полученные результаты планируется применять для дальнейшего развития и верификации авторского комплексного предсказательного фреймворка –ассистента принятия врачебных решений.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (код проекта 21-15-00091).

Список литературы

1. Wanhainen A, et al., European Society for Vascular Surgery (ESVS) 2019 Clinical Practice Guidelines on the Management of Abdominal Aorto-iliac Artery Aneurysms// *European J. of Vascular and Endovascular Surgery* (2018).
2. Zheng, X. et al. Bio-inspired Murray materials for mass transfer and activity. *Nat. Commun.* 8, 14921.
3. А. И. Липовка, А. А. Карпенко, А. П. Чупахин, Д. В. Паршин. Исследование прочностных свойств сосудов абдоминального отдела аорты: результаты экспериментов и перспективы // *ПМТФ*. 2022. № 2. С. 84–93.

Analysis of the biological sequence of Hemoglobin A using PCA-seq

Houchun Zhou¹, V. M. Efimov^{1,2}

¹*Novosibirsk State University*

²*Institute of Cytology and Genetics SB RAS*

Email: zhouhouchun@mail.ru

DOI: 10.24412/cl-35065-2022-1-01-89

Hemoglobin A (HbA) is a complex of four subunits ($\alpha_2\beta_2$) with diverse functions such as catalysis, nitric oxide metabolism, which is the main form of hemoglobin in the adult human body [1]. We have access to the biological sequence of hemoglobin from NCBI (nucleotide sequence, amino acid sequence) and translate the symbolic

sequence embedded in the biological sequence into a digital sequence. We mainly use PCA-seq [2], to analyse its biological sequences and with the help of other databases and bioinformatics tools.

This work was (partially) supported by the Foundation China Scholarship Council.

References

1. David A. Gell. Structure and function of haemoglobins. 2018. V. 70. P. 13–42. DOI: 10.1016/j.bcnd.2017.10.006.
2. Efimov V. M., Efimov K. V., Kovaleva V. Yu., Matushkin Yu.G. Principal Components of Molecular Genetic Sequences: Correlations and Significance. 2021. V. 16. N 2. DOI: 10.17537/2021.16.299.

СЕКЦИЯ 9

Методы искусственного интеллекта и машинного обучения

Machine learning techniques to improve Reynolds-stress and turbulent-scalar-flux approximations

A. Bernard¹, S. S. Garmaev^{1,2}, R. I. Mullyadzhyanov², S. N. Yakovenko²

¹*Novosibirsk State University*

²*Kutateladze Institute of Thermophysics SB RAS*

Email: s.yakovenko@mail.ru

DOI: 10.24412/cl-35065-2022-1-01-91

The RANS models are widely used to predict turbulent flows due to their computational efficiency. The versatility and accuracy of these models is often insufficient for applications. The Reynolds stress anisotropy (RSA) approximation can be enhanced by applying machine learning (ML) methods and reference high-fidelity data of measurements, DNS and LES approaches that require excessive resources.

The paper compares ML methods: tensor basis random forest [1], gene expression programming [2], and other tools to obtain RSA using DNS or LES reference solutions for 1D, 2D flows in channels without/with ribs, in square ducts, as well as to improve turbulent scalar flux models in heat and mass transfer cases.

The work includes the dissertations results of MSc Students of NSU (Bernard A., Garmaev S.S.) and is supported by the Russian Science Foundation (project 22-19-00587).

References

1. Kaandorp M., Dwight R. P. Data-driven modelling of the Reynolds stress tensor using random forests with invariance // *Comput. Fluids*. 2020. V. 202. # 104497. P. 1–16.

2. Weatheritt J., Sandberg R. D. A novel evolutionary algorithm applied to algebraic modifications of the RANS stress–strain relationship // *J. Comput. Phys*. 2016. V. 325. P. 22–37.

Задачи распознавания на многозначных логических высказываниях экспертов

А. А. Викентьев

Институт математики им. С. Л. Соболева СО РАН

Новосибирский государственный университет

Email: vikent@math.nsc.ru

DOI: 10.24412/cl-35065-2022-1-01-92

В настоящее время достаточно хорошо развиты теория и методы машинного обучения на основе эмпирических данных. Наряду с анализом данных, существует потребность в анализе высказываний (знаний) экспертов. Упорядочение знаний экспертов по степени близости дает возможность ранжировать их источники (экспертов, интернет-пользователей и т. д.) по схожести. В качестве примеров приложений разрабатываемых методов можно привести медицинские экспертные системы, рекомендательные системы по поиску телефильмов, выбору туристических маршрутов.

Следуя логической модели представления знаний, имеющиеся знания экспертов отображаются совокупностью формул – логических высказываний в некоторой многозначной логике.

Задача определения меры близости между логическими высказываниями была поставлена в работе [1]. Теоретико-модельный подход к определению расстояний между логическими формулами n -значной логики Лукасевича был впервые предложен и развит в [2]. Нами предложен гибридный подход к рассматриваемой задаче – сочетание различных коллективных подходов и моделей, включая классы логических моделей, возможно и противоречивых..

Работа выполнена в рамках государственного контракта ИМ СО РАН (код проекта FWNF-2022-0015).

Список литературы

1. Vikent'ev A. A., Lbov G. S. Setting the metrics and informativeness on statements of experts // Pattern Recognition And Image Analysis. 1997. V. 7, N 2. P. 175–183.

2. Vikent'ev A. A. Distances and Degrees of Uncertainty in Many-Valued Propositions of Experts and Application of These Concepts in Problems of Pattern Recognition and Clustering // Pattern Recognition and Image Analysis. 2014. V. 24, N 4. P. 489–501.

Кластеризация метеорологических данных в зависимости от концентрации взвешенных частиц $PM_{2.5}$ для выявления неблагоприятных метеорологических условий

О. С. Володько, Е. Д. Кареева

Институт вычислительного моделирования СО РАН

Email: olga.pitalskaya@gmail.com

DOI: 10.24412/cl-35065-2022-1-01-93

По данным Минприроды России концентрация вредных веществ в атмосфере города Красноярска часто превышает допустимые нормы. Кроме различных антропогенных источников на концентрацию загрязняющих веществ в атмосфере влияют метеоусловия, которые вносят значительный вклад в создание неблагоприятных метеорологических условий (НМУ) [1]. НМУ представляют собой краткосрочное особое сочетание метеорологических факторов, способствующих накоплению загрязняющих веществ в приземном слое атмосферного воздуха. Наибольшую опасность для здоровья человека представляют взвешенные частицы (PM), которые классифицируются в зависимости от их размера [2].

В настоящей работе исследуется зависимость концентрации взвешенных частиц $PM_{2.5}$ от метеорологических условий.

Для группировки метеорологических параметров и концентраций взвешенных частиц $PM_{2.5}$ был применен метод кластеризации k-средних, чтобы использовать полученные кластеры в качестве входных переменных для моделей прогнозирования. Метод кластеризации k-средних может помочь выявить скрытую информацию в большом наборе данных, поэтому рассмотрение результатов кластеризации в качестве входных переменных может улучшить качество работы моделей прогнозирования [3].

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (код проекта 22-21-20117).

Список литературы

1. Eremkin A. I., Kvashin I. M., Unkerov U. I. Regulation of emissions, pollutants into the atmosphere. Moscow: Assoc. of Constr. Univers, 2001.

2. Kaufman Y. J., Tanré D., Boucher O. A satellite view of aerosols in the climate system // Nature. 2002. T. 419. № 6903. С. 215–223.

3. Elangasinghe, M. A., Singhal, N., Dirks, K. N., Salmond, J. A., Samarasinghe, S., Complex time series analysis of PM_{10} and $PM_{2.5}$ for a coastal site using artificial neural network modelling and k-means clustering // Atmos. Environ. 2014. V. 94, P. 106–116.

Predicting flow fields around airfoils and geometry optimization using a graph neural network

G. E. Gusev¹, V. A. Travnikov¹, I. A. Plokhikh^{1,2}, R. I. Mullyadzhyanov^{1,2}

¹Novosibirsk State University

²Institute of Thermophysics SB RAS

Email: gusgrigoriev@gmail.com

DOI: 10.24412/cl-35065-2022-1-02-37

In this study we apply machine learning methods to the problem of the flow over airfoils which geometry is to be optimized using Graph Neural Network (GNN) and combined optimization methods (Bayesian optimization and gradient based methods).

In work of Viquerat et al. [1] was shown that GNN can approximate stationary solutions of the Navier-Stokes equations with higher accuracy than previously used CNN and provide a significant reduction in time required to obtain a solution (about 2–3 orders) in comparison with the direct calculation by CFD solver at the cost of a small error rates. Due to these advantages, it was proposed to use GNN as a flow approximator in the algorithm of aerodynamical shape optimization, where it is necessary to obtain a large number of solutions in order to find optimal geometry parameters. After training the model, we utilized it in conjunction with different optimization algorithms, such as Bayesian optimization [2] and gradient-based methods (e.g., BSGF). This approach can be implemented in various applied tasks, for example, maximization of lift/drag force ratio for airfoils.

References:

1. Chen J., Hachem E., Viquerat J. Graph neural networks for laminar flow prediction around random 2D shapes // arXiv preprint arXiv:2107.11529. 2021.
2. Moćkus J. On Bayesian methods for seeking the extremum // Optimization techniques IFIP technical conference. Springer, Berlin, Heidelberg, 1975. P. 400–404.

Применение нейросетевых алгоритмов для анализа 3D изображений компьютерной томографии головного мозга пациентов с диагностированным ишемическим инсультом

А. В. Добшик¹, А. А. Тулупов^{1,2}, К. М. Шерман^{1,2}, В. Б. Бериков^{1,3}

¹Новосибирский государственный университет

²Международный томографический центр СО РАН

³Институт математики им. С. Л. Соболева СО РАН

Email: a.dobshik@alumni.nsu.ru, taa@tomo.nsc.ru, ksh1420@yandex.ru, berikov@math.nsc.ru

DOI: 10.24412/cl-35065-2022-1-01-94

В работе представлен алгоритм для автоматического анализа 3D изображений бесконтрастной компьютерной томографии головного мозга пациентов с диагностированным ишемическим инсультом. Предлагаемый метод основан на применении сверточной нейронной сети, архитектура которой представляет собой модифицированный 3D U-Net [1] со встроенными модулями 3D Squeeze-and-Excitation [2] и остаточными соединениями.

Автоматический анализ 3D медицинских изображений требует значительных вычислительных ресурсов, которые чаще всего ограничены. Мы используем технику извлечения патчей, различные алгоритмы обработки данных и регуляризованную процедуру обучения нейросети.

Набор данных содержит 81 трехмерное изображение бесконтрастной компьютерной томографии головного мозга. На каждом снимке рентгенолог выполнил ручную сегментацию областей, пораженных инсультом. Предлагаемый алгоритм достигает точности 0.61 по метрике Dice при кросс-валидации на 5 частях.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 19-29-01175).

Список литературы

1. Çiçek Ö. et al. 3D U-Net: learning dense volumetric segmentation from sparse annotation // International conference on medical image computing and computer-assisted intervention. Springer, Cham, 2016. P. 424–432.
2. Li Y., Fan Y. DeepSEED: 3D squeeze-and-excitation encoder-decoder convolutional neural networks for pulmonary nodule detection //2020 IEEE 17th International Symposium on Biomedical Imaging (ISBI). IEEE, 2020. P. 1866–1869.

Динамика цели в системах искусственного интеллекта и онлайн обучение

С. В. Зув

*Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова**Крымский федеральный университет им. В. И. Вернадского*

Email: sergey.zuev@bk.ru

DOI: 10.24412/cl-35065-2022-1-01-95

Одной из основных задач на пути к созданию сильного искусственного интеллекта является онлайн обучение: возможность изменять уже обученную модель машинного обучения прямо во время ее работы. В настоящее время эта задача является трудно решаемой, поскольку обученные модели обычно работают на машинах с малыми возможностями, не позволяющими осуществлять обучение. Даже тогда, когда вычислительное устройство позволяет менять параметры модели во время ее работы, ограничения в вычислительных ресурсах весьма существенны в силу того, что синхронизация обучения и работы модели требует вычислений в реальном времени. Математически задача онлайн обучения связана с задачей оптимизации, поставленной в несколько обобщенном плане [1]. Разработки системной динамики для частных примеров [2–4] обобщаются в настоящем докладе в математическую модель онлайн обучения, связанную с динамикой выбора цели в системе искусственного интеллекта. В частности, вводятся понятия устойчивого состояния информационной системы, интерпретируется понятие машинного обучения как процесс эволюции распределений вероятностей переходов между состояниями информационной системы. В качестве примера приложения предлагаемых моделей приводится система распознавания аномалий в видеопотоке.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 19-29-09056).

Список литературы

1. Hazan E. Introduction to Online Convex Optimization. // Foundations and Trends in Optimization, 2015.
2. Зув С. В. Вероятностная модель риска. // Моделирование и анализ безопасности и риска в сложных системах. Сборник статей Международной научной конференции. Под редакцией Е. Д. Соложенцева, В. В. Карасев. 2020.
3. S. Zuev, P. Kabalyants, V. Polyakov and S. Chernikov, "Fractal Neural Networks," 2021 International Conference on Electrical, Computer and Energy Technologies (ICECET), 2021. P. 1–4, DOI: 10.1109/ICECET52533.2021.9698649.
4. Зув С. В., Кабальянц П. С., Поляков В. М. Выявление аномалий в потоке с помощью фрактальной размерности графа нейронной сети обработки данных. // Информационные системы и технологии, 5(127). 2021. С. 31–38.

Метод интерпретируемого распознавания изображений на основе комбинации сверточной сети и дерева решенийР. М. Козинец¹, В. Б. Бериков²¹*Новосибирский государственный университет*²*Институт математики имени С. Л. Соболева СО РАН*

Email: r.kozinets@g.nsu.ru

DOI: 10.24412/cl-35065-2022-1-01-96

Сверточные нейронные сети достигли высокого качества распознавания изображений и нашли практическое применения во многих сферах, но не обладают достаточной интерпретируемостью результатов предсказания. Это является проблемой, когда специалист использует для принятия решения нейросеть и ему необходимо понимать на каких основаниях модель сделала предсказание. Целью данной работы является повышение интерпретируемости нейросети при высоком качестве распознавания.

В работе предлагается новый метод для интерпретируемого распознавания изображений. Модель объединяет в себе сверточную нейронную сеть, обучаемый "мешок" визуальных слов [1] и "мягкое"

дерево решений [2]. При распознавании модель сравнивает части изображения с визуальными словами и использует степень сходства для принятия решения.

Тестирование на двух общедоступных наборах данных показало конкурентное качество распознавания метода по сравнению с классическими сверточными сетями, но с интерпретацией предсказаний.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 19-29-01175).

Список литературы

1. Chen C. et al. This looks like that: deep learning for interpretable image recognition // Advances in neural information processing systems. 2019. Т. 32.
2. Frosst N., Hinton G. Distilling a neural network into a soft decision tree // arXiv preprint arXiv:1711.09784. 2017.

Вычислительная сложность двух задач анализа данных

О. А. Кутненко

Институт математики им. С. Л. Соболева СО РАН

Новосибирский государственный университет

Email: olga@math.nsc.ru

DOI: 10.24412/cl-35065-2022-1-01-97

Доказана NP-трудность в сильном смысле двух задач когнитивного анализа данных: задачи таксономии (кластеризации) – разбиения неклассифицированной выборки объектов на непересекающиеся подмножества, и задачи выбора подмножества типичных представителей классифицированной выборки, состоящей из объектов двух образов. Первая задача может рассматриваться как частный случай второй при условии, что один из образов состоит из единственного объекта. Для количественной оценки качества множества выбранных типичных представителей выборки используется функция конкурентного сходства – FRIS-функция (function of rival similarity) [1], с помощью которой оценивается сходство объекта с ближайшим типичным объектом. Доказательство NP-трудности выполнено сведением известной NP-полной задачи о вершинном покрытии графа [2] к задаче выбора подмножества, на котором достигается согласно заданным критериям максимум оценки качества выбранных прототипов.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИМ СО РАН (проект № FWNF–2022–0015).

Список литературы

1. N. G. Zagoruiko, I.A. Borisova, V. V. Dyubanov, O. A. Kutnenko. Methods of recognition based on the function of rival similarity // Pattern Recognition and Image Analysis. 2008. V. 18, № 1. P. 1–6.
2. М. Гэри, Д. Джонсон. Вычислительные машины и труднорешаемые задачи. М: Мир, 1982.

Анализ эффективности методов решения задачи слабо-контролируемого обучения (в задаче классификации)

О. А. Кутненко^{1,2}, В. Б. Бериков^{1,2}

¹*Институт математики им. С. Л. Соболева СО РАН*

²*Новосибирский государственный университет*

Email: olga@math.nsc.ru

DOI: 10.24412/cl-35065-2022-1-01-98

Задача классификации данных в постановке слабо-контролируемого обучения актуальна для многих приложений, в которых имеются большие объемы данных, полученные с помощью автоматического измерения. Разметка и анализ таких данных часто являются дополнительной высоко затратной процедурой или требуют проведения классификации на множестве прототипов, часть из которых размечена неточно. В работе рассматривается задача определения степени поражения участка головного мозга при инсульте.

Выборка представлена 8043 объектами (участками головного мозга 24 пациентов со степенью поражения от 0 % до 100 %), описанными в 31-мерном признаковом пространстве. Рассмотрены два критерия выбора наиболее информативного признакового пространства, опирающиеся на гипотезу локальной компактности [1]: в первом критерии, основанном на использовании функции конкурентного сходства [2], максимизируется качество разделения выборки на два класса в зависимости от наличия поражения; во втором – минимизируется средняя ошибка определения степени поражения участков, задающих обучающую выборку. В докладе приведены результаты данных исследований.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (код проекта 22-21-00261).

Список литературы

1. Аркадьев А. Г. Браверман Э. М. Обучение машины распознаванию образов. М: Наука, 1964.
2. N. G. Zagoruiko, I.A. Borisova, V. V. Dyubanov, O. A. Kutnenko. Methods of recognition based on the function of rival similarity // Pattern Recognition and Image Analysis. 2008. V. 18, № 1. P. 1–6.

Вычислительная сложность задачи цензурирования данных с опорой на конкурентное сходство

О. А. Кутненко^{1,2}, А. В. Плясунов^{1,2}

¹Институт математики им. С. Л. Соболева СО РАН

²Новосибирский государственный университет

Email: olga@math.nsc.ru

DOI: 10.24412/cl-35065-2022-1-01-99

Проблема цензурирования данных (Data filtering, Data cleaning) актуальна при решении самых разных задач. Рассматривается задача очистки обучающей выборки, представленной объектами двух классов, от шумовых объектов только одного класса. Такие задачи возникают, в частности, при анализе биомедицинских данных, требующем полного сохранения данных одного из образов. Исключение из обучающей выборки неверно классифицированных объектов (или объектов-выбросов) осуществляется на основе анализа локального окружения объектов. Количественная характеристика локальной компактности образа оценивается с помощью функции конкурентного сходства, успешно используемой в когнитивном анализе данных при решении различных прикладных задач [1]. Доказательство NP-трудности в сильном смысле задачи цензурирования данных выполнено сведением известной NP-полной задачи о вершинном покрытии графа [2] к задаче выбора подмножества, на котором компактность образа максимальна.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИМ СО РАН (проекты № FWNF–2022–0015, № FWNF–2022–0019).

Список литературы

1. Загоруйко Н. Г., Борисова И. А., Дюбанов В. В., Кутненко О. А. Количественная мера компактности и сходства в конкурентном пространстве // Сибирский Журнал Индустриальной Математики. 2010. Т 13, № 1. С. 59–71.
2. М. Гэри, Д. Джонсон. Вычислительные машины и труднорешаемые задачи. М: Мир, 1982.

Основанное на данных развитие модели турбулентности для течений в каналах с выступами

Х. Ли¹, С. Н. Яковенко²

¹Новосибирский государственный университет

²Институт теоретической и прикладной механики им. С. А. Христиановича СО РАН

Email: s.yakovenko@mail.ru

DOI: 10.24412/cl-35065-2022-1-02-00

Рассматривается применение различных методов машинного обучения (в частности, нейронная сеть с тензорным базисом, TBNN [1], методы GEP [2], UIML [3]) для аппроксимации напряжений Рейнольдса в

канонических течениях в двумерных каналах с выступами, для которых доступны высокоточные данные DNS, LES для обучения и калибровки моделей. Предварительные расчеты в OpenFOAM для течения с периодическими холмами и априорные оценки показывают, что использование TBNN приводит к уточнению распределений для компонент тензора анизотропии напряжений Рейнольдса по сравнению с их аналогами, вычисленными по базовой линейной градиентной модели Буссинеска.

Работа выполнена в рамках государственного задания (номер госрегистрации 121030500149-8).

Список литературы

1. Ling J., Kurzawski A., Templeton J. Reynolds averaged turbulence modelling using deep neural networks with embedded invariance // J. Fluid Mech. 2016. V. 807. P. 155–166.
2. Weatheritt J., Sandberg R. A novel evolutionary algorithm applied to algebraic modifications of the RANS stress-strain relationship // J. Comput. Phys. 2016. V. 325. P. 22–37.
3. Jiang C., Vinuesa R., Chen R., Mi J., Laima S., Li H. An interpretable framework of data-driven turbulence modeling using deep neural networks // Phys. Fluids. 2021. V. 33. # 055133.

Универсальные локально-постоянные ядерные оценки в непараметрической регрессии

Ю. Ю. Линке, И. С. Борисов, П. С. Рузанкин

Институт математики им. С. Л. Соболева СО РАН

Email: linke@math.nsc.ru

DOI: 10.24412/cl-35065-2022-1-02-01

В докладе будет обсуждаться новый класс универсальных оценок ядерного типа в непараметрической регрессии, равномерно состоятельных при близких к минимальным и наглядных условиях на точки дизайна. При этом не используются традиционные условия зависимости элементов дизайна, дизайн может быть как фиксированным и не обязательно регулярным, так и случайным, при этом не обязательно состоящим из независимых или слабо зависимых случайных величин. Универсальность оценок заключается в том, что их асимптотические свойства не зависят от структуры корреляции элементов дизайна, относительно которых предполагается лишь в некотором смысле плотное заполнение области определения регрессионной функции.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (код проекта 22-21-00414).

Список литературы

1. Borisov I. S., Linke Yu.Yu., Ruzankin P. S. Universal weighted kernel-type estimators for some class of regression models // Metrika. 2021. V.84, № 2. P.141–166.
2. Linke Yu.Yu., Borisov I. S. Insensitivity of Nadaraya-Watson estimators to design correlation // Communications in Statistics – Theory and Methods. 2021. <https://doi.org/10.1080/03610926.2021.1876884>.
3. Линке Ю. Ю. К вопросу о нечувствительности оценок Надарая – Ватсона относительно корреляции элементов дизайна // Теория вероятностей и ее применения (принята к печати).

Проблема вариативности в задаче нотолинейной реконструкции знаменных песнопений

Л. А. Мирошниченко, И. В. Бахмутова, В. Д. Гусев

Институт математики им. С. Л. Соболева СО РАН

e-mail: luba@math.nsc.ru

DOI: 10.24412/cl-35065-2022-1-02-02

Развиваемый авторами подход к разработке методики и алгоритмов перевода знаменных церковных песнопений XII–XVII вв. в современную нотолинейную форму [1] основан на использовании "параллельных" текстов, в которых мелодия записана как знаменами, так и нотами. Сложность перевода обусловлена высокой вариативностью обоих уровней представления данных: фрагмент знаменного текста может

иметь несколько допустимых вариантов интерпретации на уровне нот и, наоборот, одной и той же цепочке нот могут соответствовать разные цепочки знамен. Об этом свидетельствует анализ идентичных (по стихотворному тексту) песнопений из певческих книг, составленных разными авторами. Целью работы является получение качественных и количественных оценок допустимой вариативности. Для сравнения двознаменных текстов предложена модификация известной схемы вычисления "редакционного" расстояния. Указана связь полученных результатов с оценкой точности алгоритмов дешифровки.

Работа выполнена при поддержке программы фундаментальных научных исследований РАН (проект № FWNF-2022-0015).

Список литературы

1. Gusev V. D., Bakhmutova I. V., Miroshnichenko L. A., Titkova T. N. Possible approaches to deciphering Russian ancient Znamenny chant // J. of New Music Research. 2020. V. 49, iss. 3. P. 298–306.

Распознавание в научных текстах аргументов с этосом и пафосом

Н. В. Саломатина¹, И. С. Пименов², Е. А. Сидорова³

¹Институт математики им. С. Л. Соболева СО РАН

²Новосибирский государственный университет

³Институт систем информатики им. А. П. Ершова СО РАН

Email: salomatina_nv@live.ru

DOI: 10.24412/cl-35065-2022-1-02-03

Данная работа направлена на автоматизацию разметки такого свойства аргумента, как механизм воздействия на аудиторию: апелляция к авторитету (этос) и к эмоциям (пафос). Материалом послужили аргументационные аннотации научных русскоязычных текстов, построенные "вручную" экспертами в виде графов аргументации на платформе ArgNetBankStudio [1]. Решались две задачи бинарной классификации аргументов: аргументы разделялись на выражающие и не выражающие 1) этос и 2) пафос. Для решения применялся ряд алгоритмов машинного обучения. Описание аргументов было составлено из отфильтрованных по весу (EMI) униграмм. Обучающие коллекции для решения каждой задачи содержали более 950 аргументов из двух классов в примерно равной пропорции. Тестовая коллекция для каждой задачи включала около 300 аргументов. Лучшая F-мера классификации этос/не-этос и пафос/не-пафос была достигнута полиномиальным Байесом и составила 65 % и 64 % соответственно.

Работа выполнена в рамках гос. задания ИМ СО РАН (проект № FWNF-2022-0015) и гос. задания ИСИ СО РАН № 075-01520-22-00.

Список литературы

1. Сидорова Е. А., Ахмадеева И. Р., Загорулько Ю. А., Серый А. С., Шестаков В. К. Платформа для исследования аргументации в научно-популярном дискурсе // Онтология проектирования. 2020. Т. 10, № 4(38). С. 489–502.

Влияние настраиваемых параметров полносвязной нейронной сети на качество предсказания для задачи классификации литотипов

И. А. Селезнёв¹, Г. А. Коссов^{1,2}

¹Московский НИИЦ Шлюмберже

²Московский физико-технический институт

Email: kossov.ga@phystech.edu

DOI: 10.24412/cl-35065-2022-1-02-04

Применение методов машинного обучения позволяет автоматизировать процесс классификации литотипов, что значительно упрощает работу геолога. Алгоритмы, основанные на сверточных сетях,

показывают высокую точность предсказания [1]. Однако данные модели вычислительно затратны и долго обучаются. Полносвязные нейронные сети лишены вышеописанных недостатков. Качество результата напрямую зависит от числа слоев сети и количества узлов в слое [2]. В данной работе рассматривается поведение различных архитектур сетей, что является важным шагом для разработки методики по подбору оптимальной конфигурации. Также в работе предложена оценка асимптотической сложности алгоритмов прямого и обратного распространения и рассмотрено влияние начальной инициализации на результаты предсказания.

Список литературы

1. Baraboshkin E. E., Ismailova L. S., Orlov D. M., Zhukovskaya E. A., Kalmykov G. A., Khotylev O. V., Baraboshkin E. Y., Koroteev D. A. Deep convolutions for in-depth automated rock typing // *Computers & Geosciences*. 2020. V. 135. P. 104330.
2. Bishop C. M. *Pattern Recognition and Machine Learning*. В.: Springer-Verlag, 2006.

Small world effect of the miRNA science field drives its growth

A. B. Firsov¹, I. I. Titov²

¹*A. P. Ershov Institute of Informatics Systems*

²*Institute of Cytology and Genetics*

Email: artemijfirsov@mail.ru

DOI: 10.24412/cl-35065-2022-1-02-30

In our work, we show that the growth of the miRNA science field is governed by the small-world architecture of the scientific institution network [2], and experiences power-law growth. Here we treat the knowledge spreading process as the infection-like process. The small-world graphs have the average shortest path length of the order of $\log(N)$ resulting in the compact structure of the graph. Such effect slows down the exponential growth of the infection/knowledge spreading to power because compactness results in transmission of infection/knowledge to hit nodes already infected by the alternate paths. We show using the "small-world-ness" metric [3] that the miRNA field has the small-world property, and it follows the small-world models' [2] criteria of the power-law growth. The model states that the initial power growth of the nodes count should have the $D - 1$ exponentiation parameter, where D is the average shortest path length. In our case, the $D = 3.46$, and the approximated exponentiation parameter $D - 1 = 2.64$, which shows 7 % deviation from the model's one. This result shows that the research field dynamics might be governed by the small-world properties.

This work was (partially) supported by the Russian State Budgetary Project FWNR-2022-0020.

References

1. Leydesdorff, L., Wagner, C., Park, H., and Adams, J. (2013). International collaboration in science: The global map and the network. *El Profesional de la Informacion*, 22.
2. Vazquez, A. (2006). Spreading dynamics on small-world networks with connectivity fluctuations and correlations. *Physical review. E, Statistical, nonlinear, and soft matter physics*, 74:056101.
3. Humphries, M. D. and Gurney, K. (2008). Network 'small-world-ness': A quantitative method for determining canonical network equivalence. *PLOS ONE*, 3(4):1–10.705

Типологическая группировка на основе декомпозиции смесей вероятностных распределенийС. Е. Хрущев^{1,2}, Ю. Н. Исмаилова^{2,3}¹Институт математики им. С. Л. Соболева СО РАН²Новосибирский государственный университет³Сибирский институт управления – филиал РАНХиГС

Email: hrushew@rambler.ru

DOI: 10.24412/cl-35065-2022-1-02-05

При исследовании неоднородных выборок, взятых из конечных смесей вероятностных распределений, число смешивающихся распределений (компонент), а также соответствующие им веса и параметры могут быть неизвестными. Задачей разделения (декомпозиции) смесей называется задача оценивания неизвестных параметров смешивающихся распределений и их весов. В докладе будут рассмотрены некоторые известные методы решения этой задачи, их преимущества и недостатки. Применяя данные методы, мы проведем декомпозицию смесей некоторых реальных социально-экономических неоднородных совокупностей, что, как следствие, решит задачу типологии (классификации) данных – выделение групп наблюдений, взятых из одной и той же компоненты смеси.

Применение многокомпонентных нейросетевых аппроксиматоров при решении нелинейной обратной задачи геофизикиМ. И. Шимелевич¹, Е. А. Оборнев¹, Е. А. Родионов¹, И. Е. Оборнев^{1,2}¹Российский государственный геологоразведочный университет им. С. Орджоникидзе²НИИ ядерной физики имени Д. В. Скобельцына МГУ им. М. В. Ломоносова

Email: shimelevichmi@mgi.ru

DOI: 10.24412/cl-35065-2022-1-02-06

В работе рассматриваются вопросы применения аппроксимационного нейросетевого (АНС) метода для решения обратных задач геофизики в классе кусочно-постоянных решений, которые сводятся к нелинейному операторному уравнению I рода на компактном множестве. АНС метод заключается в построении приближенного обратного оператора задачи (так называемого аппроксиматора) с помощью многослойных нейросетевых аппроксимационных конструкций на основе заранее построенного множества опорных решений (банка решений) прямых и обратных задач [1].

Конструируемая сверточная сеть является двухкомпонентной и состоит из двух нейросетевых аппроксиматоров, построенных на различных сетках параметризации исследуемой среды и отличающихся избирательностью по отношению к слоям сетки, расположенным на разной глубине; сеть включает тензорный входной слой, а также слои сжатия и смешивания входных данных. Приводятся численные примеры работы аппроксиматора на модельных и полевых данных 3D задач геоэлектрики.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 19-11-00333.

Список литературы

1. М. И. Шимелевич, Е. А. Оборнев, И. Е. Оборнев, Е. А. Родионов. Алгоритм решения обратной задачи геоэлектрики на основе нейросетевой аппроксимации // СибЖВМ. 2018. Т. 21, № 4. С. 437–452.

МИНИ-СИМПОЗИУМ

Применение информационных систем к решению задач комплексного мониторинга опасных геологических процессов

Мониторинг режима подземных вод на пилотной станции "Земная кора"

С. В. Алексеев, Л. П. Алексеева, П. А. Шолохов

Институт земной коры СО РАН

Email: salex@crust.irk.ru

DOI: 10.24412/cl-35065-2022-1-02-07

В 2021 г. организован мониторинг режима подземных вод на пилотной станции "Земная кора". В качестве водопункта использована гидрогеологическая наблюдательная скважина, пробуренная в юрских песчаниках до глубины 46 м. Для непрерывного мониторинга использован регистратор проводимости, уровня и температуры Solinst 3001 LTC Levellogger Edge, а также система телеметрии Solinst 9500 LevelSender (Canada). В весенний период (март-апрель) установлены: подъем уровня, незначительный рост проводимости, запасов подземных вод в ходе весеннего снеготаяния. В первой декаде апреля уровень воды в скважине повысился на 0,5 м и составил 15,5 м, удельная электрическая проводимость подземных вод возросла от 183,1 до 187,4 $\mu\text{Sm}/\text{cm}$, а их температура практически не изменилась (+6,2 °C). Низкие значения проводимости свидетельствуют перетоке талых снеговых вод в водоносный горизонт юрских отложений и существенном разбавлении подземных вод. Осенний период (с сентября по ноябрь) характеризовался постепенным снижением величины электропроводности воды в скважине от 368,8 до 355,4 $\mu\text{Sm}/\text{cm}$, колебанием уровня подземных вод от 16,5 до 17,0 м.

Работа выполнена в рамках проекта № 075-15-2020-787 "Фундаментальные основы, методы и технологии цифрового мониторинга и прогнозирования экологической обстановки Байкальской природной территории".

Мониторинг качества подземных вод в поселке Листвянка

С. В. Алексеев, Л. П. Алексеева, П. А. Шолохов, А. М. Кононов

Институт земной коры СО РАН

Email: salex@crust.irk.ru

DOI: 10.24412/cl-35065-2022-1-02-08

В 2017-2021 гг. выполнена оценка качества подземных вод режимной сети поселка Листвянка, состоящей из муниципальных, частных колодцев и скважин. Всего обследовано 106 водопунктов. Установлено загрязнение подземных вод нитратами и аммонием в 16 колодцах и 8 скважинах. Превышение ПДК по нитратам изменяется от 1.1 до 5.9 раза, что исключает возможность использования воды из этих водопунктов в качестве питьевой. Источниками загрязнения являются бытовые стоки гостиничных комплексов, расположенных в долинах и по бортам распадков. Для проб подземных вод, в которых обнаружена повышенная концентрация нитратов и аммония, определено содержания фосфатов. Установлено, что она существенно (от 4 до 24 раз) превышает ПДК для олиготрофных водоемов, а субаквальная разгрузка такого типа подземных вод в оз. Байкал способствует эвтрофикации мелководной зоны озера и угрожает жизнедеятельности байкальских губок [1].

Работа выполнена в рамках проекта № 075-15-2020-787 "Фундаментальные основы, методы и технологии цифрового мониторинга и прогнозирования экологической обстановки Байкальской природной территории".

Список литературы

1. Алексеев С. В., Алексеева Л. П., Шолохов П. А., Оргильянов А. И., Кононов А. М. Качество подземных и поверхностных вод поселка Листвянка (юго-западное побережье озера Байкал) // География и природные ресурсы. 2018. № 4. С. 105–114.

Семантическая подсистема цифровой платформы для геофизического мониторинга

Л. П. Брагинская^{1,2}, А. П. Григорюк^{1,2}, Г. Б. Загорулько³, В. В. Ковалевский¹, И. К. Семинский²

¹*Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН*

²*Институт земной коры СО РАН*

³*Институт систем информатики СО РАН*

Email: ludmila@org.sscs.ru

DOI: 10.24412/cl-35065-2022-1-02-09

В работе представлены принципы построения семантической подсистемы, предназначенной для решения задач семантического поиска, классификации, структуризации и интеграции информации по геофизическому мониторингу Байкальской природной территории [1]. Интеграция знаний из различных гетерогенных источников проводится на основе онтологии предметной области, разработку которой проводят авторы данной работы. Подсистема является составной частью инструментальной и инфраструктурной цифровой платформы (ЦП), обеспечивающей полный цикл работы с данными мониторинга опасных геологических процессов Байкальской природной территории. Подсистема может рассматриваться как интеллектуальный ассистент, повышающий эффективность взаимодействия пользователя с ЦП.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИВМиМГ СО РАН при финансовой поддержке проекта Минобрнауки РФ № 075-15-2020-787 "Фундаментальные основы, методы и технологии цифрового мониторинга и прогнозирования экологической обстановки Байкальской природной территории".

Список литературы

1. Борняков С. А., Салко Д. В., Встовский Г. В. Методология деформационного мониторинга в Южном Прибайкалье и концептуальный подход к прогнозу землетрясений // Известия ИГУ. Серия "Науки о Земле". 2021. Т. 38. DOI: 10.26516/2073-3402.2021.38.13.

Цифровая платформа для интеграции и анализа данных комплексного геофизического мониторинга Байкальской природной территории

А. П. Григорюк^{1,2}, Л. П. Брагинская^{1,2}, В. В. Ковалевский¹, И. К. Семинский²

¹*Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН*

²*Институт земной коры СО РАН*

Email: and@org.sscs.ru

DOI: 10.24412/cl-35065-2022-1-02-10

В работе представлена инструментальная цифровая платформа (ИЦП), предназначенная для комплексирования большого объема разнородных и разноформатных данных геофизического мониторинга Байкальской природной территории (БПТ), объединения различных вычислительных и информационных методов анализа этих данных. Данные сейсмического, геодезического, деформометрического, эманационного, гидрогеологического, магнитотеллурического и инженерно-геологического мониторинга поступают с нескольких полигонов, расположенных в пределах зоны интенсивного природопользования БПТ. Хранение, обработка и анализ данных осуществляется на сервере, к которому пользователи могут обращаться через интернет посредством веб-браузера. Архитектура сервера предусматривает расширение

набора процедур обработки и анализа данных, а также визуализации результатов. В настоящее время доступны несколько методов фильтрации данных (линейная частотная, Савицкого – Голея и др.), различные методы спектрального и вэйвлет-анализа, мультифрактальный и энтропийный анализ, пространственный анализ данных. Цифровая платформа была опробована на реальных данных.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИВМиМГ СО РАН при финансовой поддержке проекта Минобрнауки РФ № 075-15-2020-787 "Фундаментальные основы, методы и технологии цифрового мониторинга и прогнозирования экологической обстановки Байкальской природной территории".

Список литературы

1. Борняков С. А., Салко Д. В., Встовский Г. В. Методология деформационного мониторинга в Южном Прибайкалье и концептуальный подход к прогнозу землетрясений // Известия ИГУ. Серия "Науки о Земле". 2021. Т. 38. DOI: 10.26516/2073-3402.2021.38.13.

Сейсмические и ионосферные эффекты Кударинского землетрясения 9 декабря 2020 г.

А. А. Добрынина^{1,2}, Н. П. Первалова³, В. А. Саньков¹, Н. А. Радзиминович¹, И. К. Эдемский³, А. В. Лухнев¹

¹Институт земной коры СО РАН

²Геологический институт СО РАН

³Институт солнечно-земной физики СО РАН

Email: dobrynina@crust.irk.ru

DOI: 10.24412/cl-35065-2022-1-02-11

По данным, полученным на оборудовании пункта комплексного мониторинга опасных геологических процессов ИЗК СО РАН "Бугульдейка" (Центр коллективного пользования "Геодинамика и геохронология" ИЗК СО РАН, https://ckp-rf.ru/ckp/433687/?sphrase_id=7107870) и Центра коллективного пользования "Ангара" ИСЗФ СО РАН (<http://ckp-rf.ru/ckp/3056/>) проведен анализ характеристик Кударинского землетрясения (09.12.2020) и поведения ионосферы во время этого события. Получены значения очаговых параметров землетрясения – сейсмический момент землетрясения ($M_0 = 3.02 \cdot 10^{17}$ Н·м), моментная магнитуда ($M_w = 5.6$), размеры очага (2.43 км), величина сброшенного напряжения (1.26 МПа). Проведенный с помощью приемников GPS/ГЛОНАСС анализ поведения ионосферы не выявил возмущений, обусловленных Кударинским землетрясением, что вероятнее всего, обусловлено относительно малой магнитудой этого землетрясения. Анализ рядов наблюдений в отношении Кударинского землетрясения, показал эффективность использования оборудования центров коллективного пользования и пунктов комплексного мониторинга для исследования сейсмичности, которая является наиболее опасным природным процессом для Байкальского региона.

Работа выполнена в рамках проекта № 075-15-2020-787 "Фундаментальные основы, методы и технологии цифрового мониторинга и прогнозирования экологической обстановки Байкальской природной территории".

Формирование береговой линии высоких абразионных уступов при повышении уровня в оз. Байкал (на примере полигона "Бугульдейка")

А. В. Кадетова, А. А. Рыбченко

Институт земной коры СО РАН

Email: kadetova@crust.irk.ru

DOI: 10.24412/cl-35065-2022-1-02-12

Исследуемый участок расположен на западном берегу озера Байкал, он представляет собой абразионный тип берега. Процессу абразии подвержен береговой склон, сложенный рыхлыми делювиально-

пролювиальными отложениями, представленными песком и щебнем. Максимальная высота абразионного уступа составляет 20 м [1].

Мониторинг абразионного процесса осуществляется с 2019 года. На участке проводятся тахеометрическая и аэрофотосъемка. За период наблюдений 2019–2021 гг. отступление бровки уступа составило 5–10 см. Следует отметить, что зафиксированное отступление бровки не связано непосредственно с активизацией абразионного процесса. На данном этапе развития абразионного склона отступление бровки происходит за счет процессов выветривания материала и эрозионного размыва верхней части берегового склона поверхностными водотоками.

За счет высокого положения уровня воды в оз. Байкал в 2020–2021 гг. зафиксировано увеличение ветро-волновой нагрузки на береговой склон. В результате подножие склона активно перерабатывалось за счет активизации абразионного процесса. По результатам дешифрирования ортофотопланов подножие склона отступило на 0,5 метров за период 2019–2021 гг. Размыв берегового уступа нарушает равновесное состояние берегового склона, что в свою очередь провоцирует активизацию гравитационных процессов на склоне.

Работа выполнена в рамках проекта № 075-15-2020-787 "Фундаментальные основы, методы и технологии цифрового мониторинга и прогнозирования экологической обстановки Байкальской природной территории".

Список литературы

1. Козырева Е. А., Кадетова А. В., Рыбченко А. А., Пеллинен В. А., Светлаков А. А., Тарасова Ю. С. Типизация и современное состояние берегов озера Байкал // Водные ресурсы. 2020. Т. 47, № 4. С. 453–465. DOI: 10.31857/S0321059620040070.

Вибросейсмический мониторинг в Байкальском регионе

В. В. Ковалевский¹, Л. П. Брагинская¹, А. П. Григорюк¹, Ц. А. Тубанов²

¹Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН

²Институт геологии и минералогии им. В. С. Соболева СО РАН

Email: kovalevsky@sscc.ru

DOI: 10.24412/cl-35065-2022-1-02-13

В докладе представлены результаты обработки данных активного вибросейсмического мониторинга в южной части Байкальской рифтовой зоны. Вибросейсмический мониторинг с использованием вибратора ЦВО-100 установленного на Южно-Байкальском геодинамическом и региональной сети сейсмических станций проводится с 2003 г. При проведении вибросейсмического мониторинга были детально исследованы сезонные вариации волнового поля вибратора и разработаны методики спектральной коррекции и поляризационного анализа сейсмограмм. Получены оценки многолетнего тренда в вариациях времен вступлений для трасс распространения вибратор-сейсмостанция Тырган и вибратор-сейсмостанция Хурамша, связанных с медленным изменением скоростных характеристик земной коры под оз. Байкал.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИВМиМГ СО РАН, ГИН СО РАН, при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ.

Список литературы

1. Kovalevsky V. V., Sobisevich A. L., Tubanov Ts.A., Braginskaya L. P., Grigoryuk A. P. Vibroseismic Investigations of the Baikal Rift Zone with a Powerful CVO-100 Vibrator // Geodynamics & Tectonophysics. 2022. V. 13 (2), p. 1–6.

Геоэкологические особенности оползневых смещений в береговой зоне Ольхонского экзогеодинамического полигона

В. А. Пеллинен, Т. Ю. Черкашина

Институт земной коры СО РАН

Email: vadim.a.pellinen@ya.ru

DOI: 10.24412/cl-35065-2022-1-02-14

Данное исследование направлено на изучение роли оползней в миграции тяжелых металлов (ТМ) и общего органического углерода ($C_{\text{орг.общ.}}$). В ходе этого исследования изучены концентрации Hg, Cd, Pb, Cu и $C_{\text{орг.общ.}}$ в мелкозернистой фракции грунтов. При помощи различных геохимических индексов изучен уровень антропогенного загрязнения отложений ТМ в зонах поля, оползня и пляжа. Определены возможные источники Hg, Cd, Pb и Cu в качестве антропогенных, включая туристические и рекреационные мероприятия, существующую дорожную систему, унаследованное загрязнение сельскохозяйственных полей фосфорными удобрениями и инсектицидами [1].

В результате мониторинга выявлено, что значение $C_{\text{орг.общ.}} \geq 0.5\%$ в прибрежной зоне указывает на то, что в наблюдаемом году происходило поступление оползневых масс в береговую зону. Предложена комплексная аналитическая и геохимическая схема геоэкологического и геодинамического мониторинга, которая является полезным инструментом для изучения территорий, осложненных гравитационными процессами. Установление миграционных взаимосвязей между оползнями и ТМ, а также зависимости увеличения концентрации $C_{\text{орг.общ.}}$ от динамики оползней является новым взглядом этого исследования и требует пристального и постоянного внимания [2].

Работа выполнена в рамках проекта № 075-15-2020-787 "Фундаментальные основы, методы и технологии цифрового мониторинга и прогнозирования экологической обстановки Байкальской природной территории".

Список литературы

1. Pellinen V.A., Cherkashina T. Y., Gustaytis M. A. Assessment of metal pollution and subsequent ecological risk in the coastal zone of Olkhon Island, Lake Baikal, Russia. *Sci. Tot. Environ.* 2021. V. 786, iss. no. 147441.

2. Pellinen V. A., Cherkashina T. Y., Ukhova N. N., Komarova A. V. Role of Gravitational Processes in the Migration of Heavy Metals in Soils of the Priolkhonye Mountain-Steppe Landscapes, Lake Baikal: Methodology of Research AGRONOMY-BASEL. 2007. V. 11, iss. 10.

Возмущения, вызванные извержением вулкана Хунга-Тонга-Хунга-Хаапай в январе 2022 г.Н. П. Перевалова¹, А. А. Добрынина^{2,3}, В. А. Саньков^{2,4}, С. В. Воейков¹, Н. В. Шестаков^{5,6}¹*Институт солнечно-земной физики СО РАН*²*Институт земной коры СО РАН*³*Геологический институт СО РАН*⁴*Иркутский государственный университет*⁵*Дальневосточный федеральный университет*⁶*Институт прикладной математики ДВО РАН*

Email: pereval@iszf.irk.ru

DOI: 10.24412/cl-35065-2022-1-00-86

По данным сейсмических и метеорологических станций, а также сетей наземных приемников глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС) исследованы литосферные, атмосферные и ионосферные возмущения, вызванные извержением вулкана Хунга-Тонга-Хунга-Хаапай 15 января 2022 г. На сейсмической станции Талая зарегистрированы вызванные извержением поверхностные сейсмические

волны фундаментальной и более высоких мод с частотами от 2 до 6 Гц. На метеостанциях в районе озера Байкал наблюдались колебания атмосферного давления длительностью до 29 мин. Для регистрации возмущений в ионосфере использовались данные глобальных сетей приемников ГНСС (IGS, UNAVCO, SONEI), региональных сетей в Австралии, Новой Зеландии, Канаде, России, а также сети постоянно действующих приемников ГНСС ИЗК СО РАН. Выявлены перемещающиеся ионосферные возмущения, обусловленные извержением вулкана. Определены параметры этих возмущений.

Работы проводились в рамках проекта № 075-15-2020-787 "Фундаментальные основы, методы и технологии цифрового мониторинга и прогнозирования экологической обстановки Байкальской природной территории". Обработка данных сетей ГНСС выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки России.

Пошаговое приближение к прогнозу сильных землетрясений в центральной части Байкальской рифтовой системы в радиоизотопных исследованиях вулканических пород и подземных вод

С. В. Рассказов^{1,2}, Е. П. Чебыкин^{1,3}, А. М. Ильясова¹, С. В. Снопков², И. С. Чувашова^{1,2}

¹Институт земной коры СО РАН

²Иркутский государственный университет

³Лимнологический институт СО РАН

Email: rassk@crust.irk.ru

DOI: 10.24412/cl-35065-2022-1-02-15

В продвижении к прогнозу сильных землетрясений мы делаем 7 шагов: 1) обосновываем характер развития Японско-Байкальского геодинамического коридора по пространственно-временной активности источников вулканизма, 2) обосновываем модель современной геодинамики в Байкальской рифтовой системе по пространственно-временной активности источников неоген-четвертичного вулканизма, 3) концентрируемся на пространственно-временной эволюции плиоцен-четвертичного вулканизма в Байкальской рифтовой зоне с выходом на голоценовые события, 4) определяем сейсмогенное состояние разломов по результатам гидроизотопных ($^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$) исследований, 5) выбираем чувствительные полигоны для организации гидроизотопного мониторинга и получаем ряд наблюдений полного сейсмогеодинамического цикла, 6) определяем гидрогеохимическими методами вхождение деформаций коры в аномальное состояние и 7) проводим экспрессный детальный гидроизотопный мониторинг сети станций полигона и составляем заключение о характере деформаций коры, соответствующих (или не соответствующих) подготовке и реализации сильного землетрясения.

Работа выполнена в рамках проекта № 075-15-2020-787 "Фундаментальные основы, методы и технологии цифрового мониторинга и прогнозирования экологической обстановки Байкальской природной территории".

Влияние температурного режима грунтов на оползневые деформации неоген-четвертичных отложений на о. Ольхон

А. А. Рыбченко, А. В. Кадетова, А. А. Светлаков

Институт земной коры СО РАН

Email: rybchenk@crust.irk.ru

DOI: 10.24412/cl-35065-2022-1-02-16

Участок исследования расположен в береговой зоне острова Ольхон, на участке выделяются как консеквентные, так и инсеквентные типы оползней [1]. Формирование оползней происходит в мощной толще рыхлых неоген-четвертичных отложениях с глинистыми прослоями [2].

Температурный режим грунтов характеризуется следующими показателями. Протаивание многолетнемерзлых грунтов на участке начинается в середине апреля и продолжается вплоть до ноября, достигает

отметки 2.0 м уже в мае, а максимальное значение температуры приходится на август и составляет 10.9 °С. Промерзание грунтов начинается во второй половине октября и к концу декабря происходит промерзание до глубины 2.0 м. Минимальное значение температуры зафиксировано в феврале и составляет –5.6 °С. Современный тренд температуры грунтов показывает положительную тенденцию.

Климатические условия характеризуется крайне неравномерным внутригодовым распределением атмосферных осадков – максимальное количество осадков приходится на теплый период июль – сентябрь (75–93 % от годового количества осадков).

Таким образом, температурный режим грунтов и соответственно глубина промерзания и оттаивания неоген-четвертичных отложений, в сочетании с внутригодовым распределением атмосферных осадков приводит к активизации оползневых деформаций во временном интервале соответствующей максимальной глубине оттаивания.

Работа выполнена в рамках проекта № 075-15-2020-787 "Фундаментальные основы, методы и технологии цифрового мониторинга и прогнозирования экологической обстановки Байкальской природной территории".

Список литературы

1. Саваренский Ф. П. Инженерная геология. М.: ГОНТИ. 1939. Т. 488.
2. S. Tyszkowski, H. Kaczmarek, M. Słowiński, E. Kozyreva, D. Brykała, A. Rybchenko, V. A. Babicheva. Geology, permafrost, and lake level changes as factors initiating landslides on Olkhon Island (Lake Baikal, Siberia) // Landslides. June 2015. V. 12, iss. 3. P. 573–583.

Изучение деформаций земной коры Байкальской рифтовой системы методами спутниковой геодезии

В. А. Саньков^{1,2}, А. В. Лухнев¹, А. И. Мирошниченко¹, А. В. Саньков¹, Л. М. Бызов¹

¹Институт земной коры СО РАН

²Иркутский государственный университет

Email: sankov@crust.irk.ru

DOI: 10.24412/cl-35065-2022-1-02-17

Геодезическая сеть геодезических Байкальского геодинамического полигона, заложенная в 1994 г., насчитывает более 50 полевых и постоянных пунктов. Применяемые методы спутниковой геодезии позволяют проводить цифровой мониторинг движений и деформаций земной коры на разных масштабных уровнях – от рифтовой системы целиком, до зон конкретных активных разломов. Часть геодезических наблюдений проводится на пунктах комплексного мониторинга опасных геологических процессов ИЗК СО РАН, где обеспечена передача данных измерений на сервер Центра мониторинга. В результате обработки данных измерений за 1994–2020 гг. рассчитаны скорости горизонтальных движений и деформаций для южной части Байкальской рифтовой системы, где в 2020–2022 гг. произошли несколько землетрясений с $M > 5.0$. Сделан вывод о том, что эти сейсмические события приурочены к зонам перехода от участков преобладающего растяжения земной коры к участкам ее сжатия. Полученная закономерность позволяет выявлять вероятные зоны подготовки очагов сильных землетрясений будущего для оптимального размещения сетей наблюдений за их предвестниками.

Работа выполнена в рамках проекта № 075-15-2020-787 "Фундаментальные основы, методы и технологии цифрового мониторинга и прогнозирования экологической обстановки Байкальской природной территории".

Мониторинг температуры пород центральной части природной Байкальской территории (полигон Приольхонье)

А. А. Светлаков

Институт земной коры СО РАН

Email: sir.swetlackov@yandex.ru

DOI: 10.24412/ci-35065-2022-1-02-18

Центральная часть природной байкальской территории относится к южной геокриологической зоне. В условиях современного изменения климата температура пород является одним из важнейших показателей природной среды, особенно на участках развития многолетнемерзлых пород. Исследования температурного режима пород проведены на полигоне Приольхонье севернее п. Куяда, а также в пределах западного побережья о. Ольхон на участке, расположенном северо-восточнее п. Харанцы. В геокриологическом аспекте данная территория относится к области редкоостровного распространения многолетнемерзлых пород. Мощность линз не превышает 10–15 м, среднегодовая температура изменяется в пределах от -0.1 до -0.2 °C [1].

Были получены данные хода температуры пород. Среднегодовая температура пород у поверхности (0.1 м) изменяется в пределах от 1.5 до 4.1 °C. Глубина сезонномерзлого и сезонноталого слоя достигает 2.5–3.0 м. Среднегодовая температура в области распространения многолетнемерзлых пород на глубине 2.0 м изменяется в пределах 2.0–2.2 °C. На участках с тальми породами среднегодовая температура составляет 3.0–3.3 °C. В пределах полигона Приольхонье отмечается положительный тренд температуры пород в области сезонноталого и сезонномерзлого слоя, что негативно сказывается на общем состоянии многолетнемерзлых пород.

Работа выполнена в рамках проекта № 075-15-2020-787 "Фундаментальные основы, методы и технологии цифрового мониторинга и прогнозирования экологической обстановки Байкальской природной территории".

Список литературы

1. Лещиков Ф. Н. Мерзлые породы Приангарья и Прибайкалья. Наука, 1978, 145 с.

Опыт выявления эманационных предвестников землетрясений в ПрибайкальеК. Ж. Семинский¹, А. А. Бобров¹, А. А. Михайлов²¹Институт земной коры СО РАН²Институт динамики систем и теории управления имени В. М. Матросова СО РАН

Email: seminsky@crust.irk.ru

DOI: 10.24412/ci-35065-2022-1-02-19

Поиск эманационных предвестников землетрясений в Прибайкалье осуществлялся на основе комплексного анализа временных вариаций объемной активности почвенного радона (Q) в двух пунктах мониторинга. Они были оборудованы в зоне Обручевского сброса – одного из наиболее крупных разломов Байкальской рифтовой зоны (БРЗ). Для измерений использовались датчики ВМС-2, которые, кроме параметра Q , каждый час фиксируют значения атмосферного давления (P), температуры и влажности воздуха. Взаимное сопоставление временных вариаций измеряемых параметров позволило выявить устойчивую зависимость изменений концентрации радона в почве от атмосферного давления. Кроме того, установлен сезонный тренд вариаций радона, который связан с режимом промерзания-оттаивания почвы в окрестностях пунктов мониторинга. Установленные закономерности были использованы при построении на базе методов искусственного интеллекта моделей временных вариаций параметра Q для каждого из пунктов мониторинга. Сопоставление модельных вариаций с рядами, полученными для периода

проявления в БРЗ трех землетрясений с $M = 5.4 \div 6.8$, позволяет считать использованный подход перспективным для обнаружения эманационных предвестников опасных для Прибайкалья сейсмических событий.

Подход к магнитотеллурическому мониторингу тектонической активизации на Байкальском рифте: производственная технология и обработка данных

И. К. Семинский¹, А. В. Поспеев¹, А. П. Григорюк^{1,2}, Л. П. Брагинская^{1,2}

¹Институт земной коры СО РАН

²Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН

Email: iks@crust.irk.ru

DOI: 10.24412/cl-35065-2022-1-02-20

Периодичность разрушительных землетрясений на территории Байкальской рифтовой зоны составляет около двухсот лет. Последним таким землетрясением было Цаганское (магнитуда около 7.5), произошедшее в дельте реки Селенги 11 января 1862 г. Иными словами, высока вероятность очередного сильного землетрясения в ближайшие 40–50 лет, что усиливает необходимость развития прогностического подхода зон тектонической активизации.

В комплексе методов мониторинга естественных геофизических полей, реализуемых на Байкальском рифте, в 2020 г. добавился магнитотеллурический мониторинг. Важно отметить, что мониторинг двух компонент геомагнитного и трех компонент электротеллурического полей ведется в реальном времени посредством специально разработанной телеметрической мониторинговой станции SMT-32. Уже в первые месяцы метод показал свой потенциал путем выявления краткосрочных (аномальное поведение вертикальной компоненты электротеллурического поля) и среднесрочных (изменение электропроводности сейсмогенерирующего слоя) предвестников готовящегося Кударинского землетрясения (9.12.2020, магнитуда 5.5).

Отдельным уникальным блоком подхода к мониторингу является электронная платформа, позволяющая обрабатывать ряды наблюдений и визуализировать на едином планшете как данные магнитотеллурического мониторинга, так и данные всего комплекса режимных наблюдений.

Работа выполнена в рамках проекта Минобрнауки РФ № 075-15-2020-787 "Фундаментальные основы, методы и технологии цифрового мониторинга и прогнозирования экологической обстановки Байкальской природной территории".

Изменение гидрогеохимических условий под влиянием техногенных процессов на урбанизированной Байкальской природной территории (на примере полигона "Листвянка")

П. А. Шолохов

Институт земной коры СО РАН

Email: sholokhov@crust.irk.ru

DOI: 10.24412/cl-35065-2022-1-02-21

Выполнена оценка преобразования гидрогеологической обстановки Иркутской городской агломерации за истекшие более чем полвека. Установлено, техногенная компонента выразилась в изменении режима и качества подземных вод. Зафиксированы рост уровня подземных вод и подтопление части городской территории, повышение температуры, минерализации, изменение химического состава подземных вод. Созданы графические модели изменения гидрогеохимических условий урбанизированной Байкальской природной территории в виде комплекта карт масштаба 1:5000 и 1:25000, свидетельствующие о том, что наибольшему техногенному воздействию подверглись подземные воды аллювиальных отложений

поймы и надпойменных террас. В местах наибольшего прессинга произошел рост минерализации подземных вод до 3–6 г/дм³. Содержание фосфатов достигло ПДК, хлоридов, сульфатов превысило ПДК в 2–3, а элементов азотной группы, марганца, железа в 300–600 раз. Основные источники техногенного загрязнения на полигоне "Листвянка" – правобережные очистные сооружения с площадками отвалов снега, свалка твердых бытовых отходов, Жилкинское нефтехранилище, золоотвал и промплощадка Ново-Иркутской ТЭЦ.

Работа выполнена в рамках проекта № 075-15-2020-787 "Фундаментальные основы, методы и технологии цифрового мониторинга и прогнозирования экологической обстановки Байкальской природной территории".

МИНИ-СИМПОЗИУМ

Методы математического моделирования для оценки и прогнозирования экологической обстановки Байкальской природной территории

Стохастическое моделирование гидрометеорологических процессов в южной части Байкальской природной территории

М. С. Акентьева, В. А. Огородников, Н. А. Каргаполова

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН

Email: nkargapolova@gmail.com

DOI: 10.24412/cl-35065-2022-1-02-31

В докладе представлен обзор результатов, полученных при выполнении КНП № 075-15-2020-787. Приведено описание стохастической модели пространственно-временного поля комплекса метеопараметров (температуры воздуха и его относительной влажности, модуля или ортогональных компонент вектора скорости ветра, количества осадков и др.) [1]. Входными параметрами предложенной модели являются зависящие от временных и пространственных координат одномерные распределения метеопараметров и их взаимная корреляционная матрица. Продемонстрированы два примера применения представленного стохастического "генератора погоды". В рамках первого примера показана возможность моделирования пространственно-временного поля индекса холодового стресса, а в рамках второго – возможность исследования стока р. Слюдянка как функции количества осадков, выпавших в ее бассейне.

Работа выполнена в рамках гранта № 075-15-2020-787 Министерства науки и высшего образования РФ на выполнение крупного научного проекта по приоритетным направлениям научно-технологического развития (проект "Фундаментальные основы, методы и технологии цифрового мониторинга и прогнозирования экологической обстановки Байкальской природной территории").

Список литературы

1. Akenteva M. S., Kargapolova N. A., Ogorodnikov V. A. Development of a numerical stochastic model of joint spatio-temporal fields of weather parameters for the south part of the Baikal natural territory // RJNAMM. 2022. Vol. 37. № 2. P. 73-83. DOI 10.1515/rnam-2022-0006.

Использование данных и анализ эффективности гетерогенных систем мониторинга качества воздуха

А. В. Пененко, В. В. Пененко, Е. А. Цветова, А. В. Гочаков, Е. В. Русин, Э. А. Пьянова, В. С. Скорик

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН

e-mail: aleks@ommgp.sscs.ru

DOI: 10.24412/cl-35065-2022-1-02-32

Использование разнородных типов данных мониторинга позволяет повысить точность систем анализа и прогнозирования качества воздуха. Ключевой является задача идентификации источников, для решения которой применяется подход с использованием операторов чувствительности моделей переноса и трансформации примесей. Ансамблевая конструкция операторов позволяет естественно комбинировать различные типы данных измерений в одном операторном уравнении [1, 2] и распараллеливать его вычисление. Структура операторного уравнения позволяет анализировать информативность данных измерений. Приводятся результаты работы с модельными и реальными данными для Байкальской природной территории.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта № 075-15-2020-787 в форме субсидии на крупный научный проект Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Список литературы

1. Penenko, A. Penenko, V., Tsvetova, E., Gochakov, A., Pyanova, E., Konopleva, V. Sensitivity operator framework for analyzing heterogeneous Air Quality Monitoring Systems // Atmosphere. Vol. 12, N 12 MDPI AG p. 1697. DOI: 10.3390/atmos12121697.

2. Penenko, A., Penenko, V., Tsvetova, E., Gochakov, A., Pyanova, E., Konopleva, V. Sensitivity operator-based approach to the interpretation of heterogeneous air quality monitoring data // Large-Scale Scientific Computing, Springer International Publishing, 2022. P. 164–171. DOI: 10.1007/978-3-030-97549-4_19.

Оценка атмосферного загрязнения в районе южного Байкала по данным наблюдений дымовых шлейфов ТЭЦ

В. Ф. Рапута, А. А. Леженин

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН

Email: raputa@sscc.ru

DOI: 10.24412/cl-35065-2022-1-02-33

Дымовые шлейфы от труб крупных ТЭЦ переносятся на большие расстояния. Предложены модели численного восстановления полей концентраций примесей в периоды прохождения шлейфов выбросов в районе станции EANET, расположенной в пос. Листвянка. Обсуждается проблема оценивания параметров подъема дымовых смесей от высотных труб ТЭЦ. В качестве базовых соотношений используются асимптотики решения уравнения турбулентной диффузии, уравнения гидротермодинамики атмосферы [1, 2]. Привлекаются данные измерений метеостанций и спутниковая информация.

Выполнены оценки траекторий и высот подъема дымовых шлейфов от труб Ново-Иркутской ТЭЦ, Гусиноозерской ГРЭС. Для территории Южного Байкала представлены результаты малопараметрической реконструкции полей концентраций и определения эмиссии примесей от удаленных источников.

Работа выполнена в рамках гранта № 075-15-2020-787 Минобрнауки РФ.

Список литературы

1. Берлянд М. Е. Современные проблемы атмосферной диффузии и загрязнения атмосферы. Л.: Гидрометеоиздат, 1975.

2. Рапута В. Ф., Леженин А. А. Оценка динамических и тепловых характеристик подъема дымового факела по спутниковой информации // Оптика атмосферы и океана. 2021. Т. 34, № 7. С. 530–534.