ИНСТИТУТ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ МАТЕМАТИКИ
И МАТЕМАТИЧЕСКОЙ ГЕОФИЗИКИ
СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

ТЕЗИСЫ

конференции молодых ученых ИВМиМГ СО РАН

24–26 апреля 2017 г.

Новосибирск

Разработка среды распределенного исполнения фрагментированных программ для неоднородных вычислительных устройств с использованием web-технологий

А. А. Ажбаков
Новосибирский государственный университет

Параллельное программирование (ПП) является трудоемкой для человека задачей. Для упрощения разработки параллельных программ создаются алгоритмы автоматизации ПП, позволяющие описывать программу на языке высокого уровня и получать готовую параллельную программу [1].

В системах автоматизации ПП при использовании разнородных ресурсов возникает проблема эффективного использования ресурсов. Например, в системах автоматизации ПП LuNA, DVM, S-Net, которые применяются для решения задач численного моделирования. Проблема особенно сложна в случае неоднородности вычислительных устройств [1–3].

Предлагается создать переносимую исполняющую среду для распределенного исполнения программ по их описательному представлению, применяемому в системе автоматизации ПП LuNA, и усовершенствовать алгоритм исполнения, реализуемый этой системой, с учетом специфики, возникающей из-за неоднородности вычислителей, для использования в исполняющей среде.

Для обеспечения переносимости было решено использовать web-технологии – Javascript/WebRTC, т.к. данные технологии являются кроссплатформенными и поддерживаются как на высокопроизводительных вычислителях, так и на более медленных мобильных устройствах.

Была разработана вышеописанная исполняющая среда. На данный момент присутствуют ограничения на конфигурацию распределенной вычислительной сети.

В дальнейшем предлагается модифицировать алгоритм исполнения LuNA-программы, с учетом неоднородности узлов вычислительной сети, а также модифицировать программу для снятия ограничения на конфигурацию сети.

Научный руководитель – Перепелкин В. А.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Малышкин В. Э. Параллельное программирование мультикомпьютеров // Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2006.
2. Перепелкин В. А. Проблема распределения ресурсов мультикомпьютера в технологии фрагментированного программирования // Труды междунар. конф. "Научный сервис в сети Интернет: поиск новых решений", Новороссийск, 17–22 сент. 2012 г. М.: Изд-во МГУ. 2012. С. 398–401.
3. Malyshkin V., Perepelkin V. Optimization of Parallel Execution of Numerical Programs in LuNA Fragmented Programming System // In the Proceedings of the second Russia-Taiwan symposium on Method and tools of Parallel Programming Multicomputers (MTPP) // Springer Verlag, LNCS series. 2010. Vol. 6083. P. 1–10.

Исследование эффективности использования ветвления траектории в методе Монте-Карло

К. А. Андреева
Новосибирский Государственный университет

Для оценки решения интегрального уравнения 2-го рода методом Монте-Карло обычно используют так называемую схему Неймана – Улама на основе связи между этими уравнением и однородной цепью Маркова, обрывающейся с вероятностью единица [1]. Суть схемы такова: задается цепь Маркова с плотностью перехода, определяются веса (отношения исходного ядра уравнения к моделируемой плотности при соответствующих переходах в цепи Маркова) и строится случайная весовая оценка, математическое ожидание от которой совпадает с искомым решением. Известно [1], что при дополнительном ветвлении траектории можно существенно уменьшить величину выборочной дисперсии оценки. В данной работе представлена новая модификация метода экспоненциального преобразования с ветвлением траектории так, чтобы равномерно минимизировать величину спектрального радиуса оператора из интегрального уравнения для второго момента оценки. Доказано, что трудоемкость представленного алгоритма ограничена. Проведены численные эксперименты для стандартной задачи теории переноса об оценке вероятности вылета частицы из источника z=0 за границу полупространства $z = H$ [1] с использованием оценок прямого моделирования, весовой оценки с использованием метода экспоненциального преобразования, а также ее модификации с ветвлением траектории согласно [1] и представленной новой модификацией. Последний алгоритм оказался наиболее эффективным при достаточно больших значениях H.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 17-01-00823 а).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

[1] Михайлов Г. А., Медведев И. Н. Оптимизация весовых алгоритмов статистического моделирования. Новосибирск, 2011.

Численное моделирование водного режима в дельте реки Лена

Е. А. Антипова[1], Д. В. Перевозкин[2]
[1]Новосибирский государственный университет
[2]Институт вычислительной математики и математической геофизики

Важной задачей гидравлики открытых потоков является построение и изучение математической модели движения жидкости, которая позволяет осуществить расчет основных характеристик речного стока. Движение потока в открытом русле в общем случае является неустановившимся и характеризуется изменением во времени и пространстве параметров потока. В условиях изменяющегося климата изучение неустановившегося движения воды в устьях рек имеет большое научное и практическое значение.

В работе рассматривается задача численного моделирования водного режима дельты реки Лена на основе уравнений Сен-Венана, которые позволяют исследовать основные закономерности водного стока для многорукавных дельт. Для этого устьевой участок реки представляется в виде системы, состоящей из двух типов элементов (участков открытых русел и узлов разветвления), которую можно представить в виде некоторого плоского графа. На полученном графе рассматривается система уравнений Сен-Венана. В качестве неизвестных функций на отрезках выбирается расход воды и уровень свободной поверхности. В качестве начальных условий на каждом отрезке используется решение стационарной задачи; в вершинах графа задаются условия сопряжения в виде баланса расходов и условий связи между уровнями. Граничные условия в начальных и концевых створах русловой сети дельты рассматриваются как частный случай условий сопряжения.

В качестве численного метода решения исходных дифференциальных уравнений используется абсолютно устойчивая неявная разностная схема, представленная в работе [1]. Реализация данного метода зависит от типа рассматриваемого разветвленного русла. При решении получившейся замкнутой системы линейных алгебраических уравнений (СЛАУ) для разветвлений с "кольцами" учитывается структура одномерного графа "дерево", а для простых разветвлений без "колец" используется метод параметрической прогонки.

Для исследования сходимости численного решения был проведен следующий численный эксперимент. При определенных дополнительных ограничениях на параметры русла система уравнений Сен-Венана сводится к параболическому уравнению конвекции–диффузии. При постоянном коэффициенте диффузии и постоянной скорости конвекции получившееся уравнение имеет аналитическое решение, которое было найдено с помощью метода Фурье. Для сравнения аналитического решения с численным был повторен эксперимент с участком горной реки Кубань, приведенный в статье [2].

Дельта р. Лены включает пять основных магистральных проток: Быковскую, Трофимовскую, Сардахскую, Туматскую и Оленекскую, и является одним из ключевых районов на судоходных путях севера Сибири.

Цифровая модель рельефа дельты, необходимая для учета в уравнениях движения, получена на основе географических карт и спутниковых фотографий земной поверхности из системы "Google Earth". Для задания граничных условий на левой границе расчетной области использовались данные о расходе воды на гидростворе в с. Кюсюр за 2008 год (Международный геофизический год). Моделирование гидравлического режима в дельте реки Лена проводилось в период открытой воды с мая по октябрь.

Численный эксперимент сначала проводился для основной судоходной протоки дельты – Быковской. Результаты расчетов для этой протоки позволили перейти к моделированию водного режима во всей дельте. Необходимо отметить, что используемый алгоритм дает незначительные осцилляции величин расхода воды и уровня свободной поверхности от точки к точке по длине участка. Эти колебания являются погрешностями расчета по конечно-разностной схеме и не имеют отношения к природе гидравлических явлений [3].

Результаты численных экспериментов в дельте р. Лены и их сравнение с данными измерений [4, 5] показали, что модель удовлетворительно описывает распределение расходов воды по основным протокам дельты.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Воеводин А. Ф., Никифоровская В. С., Овчарова А. С. Численные методы решения задачи о неустановившемся движении воды на устьевых участках рек // Гидрометеоиздат, Труды ААНИИ. 1983. Т. 378. С. 23−34.

2. Семенчин Е. А., Вандина Н. В. Анализ системы уравнений Сен-Венана аналитическими и численными методами // Научный журнал КубГАУ. 2010. № 64(10). С. 1−14.

3. Грушевский М. С. Неустановившееся движение воды в реках и каналах. // Л.: Гидрометеоиздат, 1982. 288 с.

4. Гуков А. Ю. Гидробиология устьевой области реки Лены. М.: Научный мир, 2001. 288 с.

5. Большиянов Д. Ю., Макаров А. С., Шнайдер В., Штоф Г. Происхождение и развитие дельты реки Лены. СПб.: ААНИИ, 2013. 268 с.

Динамическое планирование распределения вычислительной нагрузки LuNA-программ по CPU и GPU на мультикомпьютерах

Беляев Н. А.

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН

При реализации больших численных моделей на суперкомпьютерах существенный прирост в производительности можно получить, задействовав в вычислениях графические процессоры (GPU) и другие специализированные вычислительные устройства. На текущий момент разработка параллельной программы, способной загрузить и центральные, и графические процессоры является сложной задачей.

В рамках настоящей работы была поставлена цель разработать алгоритм распределения вычислительной нагрузки между GPU и CPU с учетом информационных зависимостей в параллельной программе для системы LuNA[1], разрабатываемой в ИВМиМГ СО РАН.

Система LuNA представляет собой систему параллельного программирования, ориентированную на решение больших численных задач на суперкомпьютерах. Система частично автоматизирует решение задачи распределния нагрузки и ряда других задач системного параллельного программирования.

В рамках работы разработан алгоритм динамического распределения вычислительной нагрузки по GPU и CPU на основе алгоритма RoB[2] для системы LuNA. Алгоритм позволяет учитывать при выборе распределения структуру информационных зависимостей программы. Было проведено тестирование системы с реализованным алгоритмом на тестовой задачи численного решения уравнения Пуассона и показало прирост производительности по сравнению с “наивным” алгоритмом распределения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Malyshkin V. E., Perepelkin V. A. LuNA fragmented programming system, main functions and peculiarities of run-time subsystem // Proc. of the 11th conference on parallel computing technologies, LNCS 6873. Springer, New York. P. 53–61.

Научный руководитель – д-р техн. наук проф. Малышкин В. Э.

Численное решение системы уравнений двухскоростной гидродинамики с равновесием фаз по давлению

Г. С. Васильев

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН

Уравнение движения двухскоростной среды в диссипативном случае с одним давлением в системе, в изотермическом случае имеет вид [1]

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \mathrm{div}(\rho v) = 0, \frac{\partial \tilde{\rho}}{\partial t} + \mathrm{div}(\tilde{\rho}\tilde{v}) = 0,$$

$$\bar{\rho}\left(\frac{\partial v}{\partial t} + (v, \nabla)v\right) = -\nabla P + \vartheta\, \Delta v + \left(\frac{\vartheta}{3} + \mu\right)\nabla \mathrm{div}\, v + \frac{\tilde{\rho}}{2}\nabla(v - \tilde{v})^2 + \bar{\rho}\mathrm{f},$$

$$\bar{\rho}\left(\frac{\partial \tilde{v}}{\partial t} + (\tilde{v}, \nabla)\tilde{v}\right) = -\nabla P + \tilde{\vartheta}\, \Delta \tilde{v} + \left(\frac{\tilde{\vartheta}}{3} + \tilde{\mu}\right)\nabla \mathrm{div}\, \tilde{v} - \frac{\rho}{2}\nabla(v - \tilde{v})^2 + \bar{\rho}\mathrm{f},$$

где v и $\tilde{v}$– векторы скоростей подсистем, составляющих двухскоростной континуум с соответствующими парциальными плотностями ρ и $\tilde{\rho}$, $\vartheta(\mu)$ и $\tilde{\vartheta}(\tilde{\mu})$ – соответствующие сдвиговые (объемные) вязкости, $\bar{\rho} = \rho + \tilde{\rho}$ – общая плотность двухскоростного континуума; f – вектор массовой силы, отнесенной к единице массы. Данная система замыкается уравнением состояния: $P = P(\bar{\rho}, (v - \tilde{v})^2)$.

Рассмотрим одномерный случай системы уравнений двухскоростной гидродинамики с одним давлением, в обратимом приближении и отсутствии вектора массовой силы

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial(\rho v)}{\partial x} = 0, \frac{\partial \tilde{\rho}}{\partial t} + \frac{\partial(\tilde{\rho}\tilde{v})}{\partial x} = 0,$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + v\frac{\partial v}{\partial x} = -\frac{1}{\bar{\rho}}\frac{\partial P}{\partial x} + \frac{\tilde{\rho}}{2\bar{\rho}}\frac{\partial}{\partial x}(v - \tilde{v})^2,$$

$$\frac{\partial \tilde{v}}{\partial t} + \tilde{v}\frac{\partial \tilde{v}}{\partial x} = -\frac{1}{\bar{\rho}}\frac{\partial P}{\partial x} - \frac{\rho}{2\bar{\rho}}\frac{\partial}{\partial x}(v - \tilde{v})^2.$$

В данной работе проведен спектральный анализ системы уравнений двухскоростной гидродинамики с одним давлением, в обратимом приближении и отсутствии вектора массовой силы, при условии независимости давления от скоростей подсистем. Проведена численная реализация с помощью HLL-метода [2] на тестовых задачах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Доровский В. Н., Перепечко Ю. В. Теория частичного плавления // Геология и геофизика. 1989. № 9. С. 56–64.

2. Amiram Harten, Peter D. Lax, Bram Van Leer. On Upstream Differencing and Godunov-Type Schemes for Hyperbolic Conservation Law // SIAM Review. 1983. Vol. 25, No. 1. P. 35–61.

Научный руководитель – д.ф.-м.н. Имомназаров Х. Х.

Численный алгоритм 3D лучевой пристрелки

А. А. Галактионова
Новосибирский Государственный Университет

Задача численного моделирования процесса распространения сейсмических волн в трехмерных неоднородных изотропных средах представляет практический интерес при интерпретации данных полевых измерений в сейсмологии и сейсморазведке. В данной работе эта задача решается на основе лучевого метода. Цель работы – разработка эффективных алгоритмов и программ для вычисления времен и направлений прихода волн в заданную 3D сетку точек.

Разработан алгоритм 3D лучевой пристрелки, который применим как для точечного источника, так и в более общем случае, когда начальное положение фронта волны задано в виде поверхности $\mathbf{r}=\mathbf{r}(u,v)$. В последнем случае начальные точки лучей на поверхности заранее не известны. Переменные u, v задают гладкую параметризацию поверхности, а в случае точечного источника определяют начальное направление луча.

Для реализации алгоритма лучевой пристрелки, к системе дифференциальных уравнений луча добавляются уравнения для производных по u, v. Полученная система решается методом Рунге – Кутты 5-го порядка с контролем точности на шаге. Знание этих производных в каждой точке луча позволяет воспользоваться методом Ньютона, что гарантирует квадратичную сходимость алгоритма пристрелки.

Рассматриваются случаи различного скоростного строения среды: однородная, градиентная и т.д., а также различные виды поверхности $\mathbf{r}(u,v)$. Представлены результаты численных экспериментов.

Научный руководитель – к.ф.-м.н. доц. А. С. Белоносов

Альтернативный метод определения амплитуды переднего фронта длинных волн

М. А. Горовик[1], О. И. Криворотько[2]
[1]Новосибирский государственный университет
[2]Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН

В работе предлагается алгоритм нахождения амплитуды переднего фронта волны, основанный на аналитическом представлении фундаментального решения системы линейных уравнений мелкой воды. Преимущество данного алгоритма состоит в увеличении скорости расчетов за счет определения функции двух переменных вместо функции трех переменных, а также в применении к вычислению источников возмущений (обратных задач).

Целью работы является восстановление амплитуды источника по наблюденным высотам проходящей волны. В работе используется решение уравнения эйконала, которое характеризует время прихода волны в заданную точку. Решение задачи Коши для уравнения эйконала определяется методом бихарактеристик. Для одномерного случая решение полученной задачи Коши для определения амплитуды переднего фронта волны определяется аналитически и совпадает с общеизвестной формулой Эри – Грина, полученной из физических законов сохранения. Согласно этой формуле амплитуда волны растет при подходе к берегу.

Приведены примеры численных расчетов для модельного дна.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кабанихин С. И., Криворотько О. И. Численный алгоритм расчета амплитуды волны цунами // СибЖВМ. 2016. Т. 19, № 2. С. 153–165.

2. Кабанихин С. И. Обратные и некорректные задачи. Новосибирск: Сибирское научное издательство, 2009.

3. Кабанихин С. И. Линейная регуляризация многомерных обратных задач для гиперболических уравнений // Препринт института математики СО АН СССР, Новосибирск. 1988. Т. 27.

Неявная модификация алгоритма вариационного усвоения данных 3Dvar в сравнении с алгоритмом 4DVar со слабыми ограничениями

А. А. Гришина[1,2], А. В. Пененко[2]
[1]Новосибирский Государственный Университет.
[2]Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН

При исследовании и атмосферных явлений, в частности, химических реакций, протекающих в атмосфере, возникают задачи, которые требуют совместного использования математических моделей и поступающих в реальном времени данных измерений. В таких случаях решается последовательность связанных обратных задач с различными наборами данных измерений. При поступлении новых данных вариационные алгоритмы усвоения позволяют получить значения искомых функций состояния модели путем решения оптимизационной задачи поиска минимума некоторого функционала. В моменты времени, когда данные измерений не поступают, алгоритм работает в режиме поиска прогноза решения по имеющейся математической модели. С развитием систем измерения состава атмосферы задачи усвоения данных химической кинетики становятся все более актуальными [1–3].

В данной работе рассмотрена неявная модификация вариационного метода усвоения данных 3DVar [4], а также метод 4DVar со слабыми ограничениями. Работа алгоритмов продемонстрирована на примере жесткой системы химической кинетики – системы Робертсона. Методы построены с помощью введения функции неопределенности в исходную математическую модель. В целевых функционалах возникающих оптимизационных задач присутствует квадрат нормы невязки между смоделированными и измеренными значениями функции состояния и взвешенный квадрат нормы функции неопределенности.

Проведен численный эксперимент, в ходе которого на основе зашумленных синтетических данных измерений решена задача усвоения. Целью задачи было определить значения концентраций веществ, описываемых системой Робертсона на основе поступающих данных об одном веществе. Получено, что при определенных условиях метод типа 3DVar показал лучшие результаты, чем метод 4Dvar. Это можно объяснить свойствами рассмотренной системы. Изучен вопрос эффективности определения параметра усвоения (регуляризации) с помощью обобщенного принципа невязки.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 17-01-00137) и гранта Президента РФ (номер гранта МК-8214.2016.1).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пененко В., Образцов Н. Вариационный метод согласования полей метеорологических элементов // Метеорология и гидрология. 1976. Т. 13. С. 1–11.

2. Bocquet M., Elbern H., Eskes H. et al. Data assimilation in atmospheric chemistry models: current status and future prospects for coupled chemistry meteorology models // Atmos. Chem. Phys. 2015. Vol. 15. P. 5325–5358.

3. Пененко В. В. Вариационные методы усвоения данных и обратные задачи для изучения атмосферы, океана и окружающей среды // Сиб. журн. выч. матем. 2009. Т. 12. № 4.С. 421–434.

4. Пененко А. В., Пененко В. В. Прямой метод вариационного усвоения данных для моделей конвекции – диффузии на основе схемы расщепления // Вычислительные технологии. 2014. Т. 19, № 4, С. 69–83.

Реализация и исследование алгоритма множественной проверки гипотез в задачах анализа генетических данных

М. В. Грищенко[1], А. В. Лазарева[2]
[1]Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН,
[2]Новосибирский государственный технический университет

Обработка генетических данных с целью анализа генетической детерминации признаков на сегодняшний день является актуальной задачей в биологии. Традиционные параметрические методы статистической обработки данных, основанные на априорных сведениях о виде плотности распределения выборочных данных не подходят для анализа генетических данных. Альтернативным методом анализа здесь являются методы ресамплинга (resampling) [1]. Методы ресамплинга объединяют три разных подхода: рандомизацию, или перестановочный тест (permutation), метод "складного ножа" (jackknife), бутстреп (bootstrap). В данной работе рассматривается первый из подходов – перестановочный тест. Метод заключается в многократном случайном перемешивании строк или столбцов таблицы наблюдений. Важно, что в ходе перестановок не меняется ни состав исходной таблицы, ни численность групп с разными характеристиками. Взаимозависимость статистических характеристик также не меняется в ходе перестановок. Это позволяет проводить статистический анализ для множества характеристик один раз на полной выборке, не производя множественные тесты, и не корректируя уровень значимости. Однако, при всех преимуществах данных методов перед аналитическими методами, они требуют больших вычислительных ресурсов[2].

Алгоритм перестановочного теста позволяет вычислить p-value одновременно для всех характеристик последовательности генов. Процесс вычисления p-value является итеративным, при котором значения вычисляемой статистики постепенно сходится к устойчивому уровню значению [3] в окрестности некоего значения p*. Цель данной работы связана с анализом процедуры сходимости, связанной с определением минимально необходимого числа итераций алгоритма для вычисления установившегося значений p-value в зависимости от входных данных.

Для достижения поставленной цели проведено исследование алгоритма перестановочного теста на различных объемах входных данных. В частности, было оценено среднее число итераций для достижения устойчивого, с заданной доверительной вероятностью, значения p-value. Было показано, что среднее лежит в пределах 27,5 – 28,5 тысяч итераций и в большинстве случаев не зависит от объема входных данных. Можно устанавливать ограничение на количество итераций в этом размере. Однако, это решение имеет несколько отрицательных сторон: во-первых, не все p-value достигнут своего устоявшегося значения и результаты будут неточными, а во-вторых, существуют случаи, когда этого количества итераций недостаточно. Эти факторы заставляют нас искать другие способы оптимизации данного алгоритма. Один из способов связан сиспользованием максимального числа итераций, необходимого для достижения сходимости p-value. Иными словами, алгоритм останавливается, когда все искомые p-value достигнут своих установившихся значений. Было получено, что максимальное число итераций не зависит от числа генов во входных данных, но зависит от числа свойств генов.

Можно было бы построить функциональную зависимость между количеством свойств генов и количеством итераций, необходимых для достижения устоявшихся значений p-value, но эта зависимость нетривиальная и вычислять аналитически оптимальное количество итераций невозможно. Поэтому, в качестве критерия останова алгоритма было решено вычислять проме-

жуточные значения p-value для того, чтобы контролировать динамику их изменений и завершать работу алгоритма, когда все p-value достигнут установившихся значений.

Помимо числа итераций было проведено исследование влияния количества бинарных пермутаций (перестановок) в итерацию на сходимость p-value. При увеличении числа пермутаций p-value достигает своего устоявшегося значения быстрее. В итоге было решено взять оптимальное число пермутаций, равное количеству генов в исходных данных.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 16-37-00240).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Эфрон Б. Нетрадиционные методы многомерного статистического анализа. М.: Финансы и статистика, 1988. 263 с.

2. Шитиков В. К., Розенберг Г. С. Рандомизация и бутстреп: статистический анализ данных в биологии и экологии с использованием R. Тольятти: Кассандра, 2013. 314 с.

3. Yakymenko A. A., Gunbin K. V., Khairetdinov M. S. Search for the Overrepresented Gene Characteristics: The Experience of Implementation.

Решение нелинейной системы уравнений диффузионного типа со случайными начальными условиями на основе разложения по стохастическим полиномам Лежандра

О. В. Дульзон
Новосибирский государственный университет

В работе рассматривается система уравнений диффузионного типа со случайными начальными условиями и периодическими граничными значениями. Случайное поле решений разлагается в полиномиальный хаос [1–2], а именно по стохастическим полиномам Лежандра, коэффициенты разложения которого находятся на основе стохастического метода коллокаций. В работе сравниваются первые моменты распределения, вычисленные на основе метода Монте-Карло и полиномиального разложения хаоса.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (грант № 14-11-00083).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Irina A. Shalimova, Karl K. Sabelfeld, Olga V. Dulzon. Uncertainty quantification and stochastic polynomial chaos expansion for recovering random data in Darcy and Diffusion equations, Journal of Inverse and Ill-posed Problems, Published Online: 2017-03-16. DOI: https://doi.org/10.1515/jiip-2016-0037.

2. I. Shalimova and K. Sabelfeld. Stochastic polynomial chaos based algorithm for solving PDS with random coefficients. Monte Carlo Methods and Applications. 2014. Vol. 20, issue 4. P. 279–289, DOI 10.1515/mcma-2014-0006.

Усвоение данных для моделей адвекции-диффузии на основе итеративной регуляризации

В. Е. Ермишина
Новосибирский государственный университет

Алгоритмы усвоения данных используются при изучении процессов, характеристики которых быстро изменяются со временем. Примером являются процессы переноса примесей в атмосфере. В работе поставлены и рассмотрены прямая задача распределение примесей и обратная задачи поиска источников по значениям функции состояния в заданных точках пространства и времени, а так же задача усвоения данных, представленная в виде последовательности обратных задач с увеличивающимся набором данных измерений. Обратные задачи из этой последовательности решаются с помощью градиентного алгоритма. Градиент целевого функционала разыскивается с помощью сопряженных уравнений.

Обычно в алгоритмах вариационного усвоения данных используются алгоритмы 3DVAR и 4DVAR, аналогичные алгоритмам Тихоновской регуляризации. Однако если нет возможности решить задачу минимизации прямым алгоритмом, то каждый раз при выборе параметра регуляризации требуется привлечение итерационных алгоритмов, что является затратным с вычислительной точки зрения. Альтернативой при решении некорректных обратных задач является итерационная регуляризация, когда номер итерации является параметром регуляризации. Таким образом, в данной работе численно исследуется эффективность применения алгоритма усвоения данных на основе итерационной регуляризации к модели адвекции-диффузии. Приводятся результаты численных экспериментов.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук Пененко А. В.

Численное исследование обратных задач для математической модели динамики ВИЧ-инфекции с лечением

Д. В. Ермоленко[1,2], О. И. Криворотько[1,2]
[1]Новосибирский национальный исследовательский государственный университет
[2]Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН

Математические модели инфекционных заболеваний описываются системами нелинейных обыкновенных дифференциальных уравнений и характеризуются своими коэффициентами. Эти параметры могут описывать естественные скорости рождаемости и смертности клеток, скорость выработки специфичных антител, эффективность лечения и т.д. Необходимо уметь определять эти параметры для составления наиболее эффективных программ лечения. Для этого применяется подход теории обратных задач [1], в котором неизвестные параметры модели определяются с помощью дополнительной информации (доступных измерений).

В данной работе численно исследована задача идентификации параметров ВИЧ-инфекции и иммунного ответа при известных дополнительных измерениях концентраций Т-лимфоцитов, свободного вируса и иммунных эффекторов в фиксированные моменты времени для математической модели динамики ВИЧ-инфекции [2]. Задача определения параметров (обратная задача) сводится к задаче минимизации целевого функционала, описывающего квадратичное отклонение модельных данных от экспериментальных. Используя метод линеаризации и дискретизации, получена линеаризованная матрица обратной задачи. На основе сингулярного разложения линеаризованной матрицы дискретной обратной задачи исследована устойчивость задачи определения параметров. Разработан алгоритм регуляризации некорректной задачи и построен стохастический метод (генетический алгоритм) решения задачи минимизации функционала, в смысле наименьших квадратов. Проанализирована частота измерений Т-лимфоцитов, свободного вируса и иммунных эффекторов. Показано, что при увеличении числа измерений средняя относительная ошибка уменьшается. После определения параметров модели, исследована задача выбора оптимального лечения для конкретного пациента. Данная задача решена путем минимизации функционала, характеризующего комбинацию вирусной нагрузки и затрат на лечение. Для нахождения оптимального контроля лечения использован принцип максимума Понтрягина [3]. Показано, что можно получить такое оптимальное лечение, которое приведет систему к тому же состоянию, что и при полном лечении, но с минимальными затратами. Проанализированы полученные численные результаты.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации (4.1.3 совместно с Лабораторией НГУ – НСК СО РАН) и гранта Президента РФ (номер гранта МК-1214.2017.1).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Kabanikhin S. I. Inverse and Ill-Posed Problems: theory and Applications. Berlin/Boston: de Gruyter, 2012.

2. Adams B. M., Banks H. T., et.al. HIV dynamics: Modeling, data analysis, and optimal treatment protocols // Journal of Computational and Applied Mathematics. 2005. V. 184. P. 10–49.

3. Arruda E. F., Dias C. M., Magalhaes C. V., et.al. An Optimal Control Approach to HIV Immunology // Applied Mathematics. 2015. V. 6. P. 1115–1130.

Математическое моделирование процессов распространения и возбуждения магнитоакустических волн в насыщенной электролитом пористой среде

Имомназаров Ш. Х.

Работа посвящена математическому моделированию процессов упругодеформирования насыщенных электролитом пористых сред в присутствии внешнего магнитного поля в случае цилиндрической системы координат (r, φ, z). Аналогичная задача в декартовой системе координат рассмотрена в работе Доровского В. Н., Доровского С. В. (2009). Математические модели состояния магнитопористости строятся на основе метода законов сохранения. В данном докладе обсуждается задача распространения и возбуждения поперечных магнитоупругих волн для насыщенного электролитом пористого полупространства $(r > R)$:

$$\ddot{\mathbf{u}} - c_t^2 \Delta \mathbf{u} - a_1 \nabla \operatorname{div} \mathbf{u} + a_2 \nabla \operatorname{div} \mathbf{v} + \frac{\rho_l^2}{\rho_s} \bar{\chi}(\dot{\mathbf{u}} - \dot{\mathbf{v}}) + \frac{\alpha c_e \rho_l}{4\pi\sigma\rho_s} \operatorname{rot} \dot{\mathbf{B}} = 0,$$

$$\ddot{\mathbf{v}} - a_4 \nabla \operatorname{div} \mathbf{v} + a_3 \nabla \operatorname{div} \mathbf{u} - \frac{1}{4\pi\rho_l} \operatorname{rot} \dot{\mathbf{B}} \wedge \mathbf{B}_0 - \rho_l \bar{\chi}(\dot{\mathbf{u}} - \dot{\mathbf{v}}) - \frac{\alpha c_e}{4\pi\sigma} \operatorname{rot} \dot{\mathbf{B}} = 0,$$

$$\dot{\mathbf{B}} = \operatorname{rot}\left[-\frac{c_e^2}{4\pi\sigma} \operatorname{rot} \mathbf{B} + \frac{\alpha c_e \rho_l}{\sigma} (\mathbf{u} - \mathbf{v}) + \mathbf{v} \wedge \mathbf{B}^0 \right],$$

где $\mathbf{v}$ – гидродинамическая скорость жидкости; $\mathbf{u}$ – скорость движения вмещающей матрицы; $\mathbf{B}$ – магнитная индукция; $\rho = \rho_l + \rho_s$; ρ_s – парциальная плотность матрицы; ρ_l – парциальная плотность жидкости; $\bar{\chi} = \chi^{\partial} - \alpha^2 / \sigma$; σ – электропроводность среды; χ^{∂} _ коэффициент трения; α – электроакустический параметр; c_t – скорость звука поперечных волн; c_e _ скорость света; $a_{1,2,3,4}$ – коэффициенты, функции скоростей звука.

При этом источником возбуждения является магнитное поле, заданное на границе свободной поверхности и внешнее магнитное поле, параллельное распространению волн. Для решения используется спектральный метод Фурье по временной координате и пакет Wolfram Mathematica.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Доровский В. Н., Доровский С. В. Электромагнитоакустический метод измерения электропроводности и дзета-потенциала // Геология и геофизика. – 2009. Т. 50 (6). - С. 735–744

2. Имомназаров Х. Х., Доровский В. Н. Магнитозвуковые колебания в скважинных условиях, определяющие электрокинетические параметры пористой насыщенной среды // Труды "Гео-Сибирь 2017" (принято в печать).

Научный руководитель – к.ф.-м.н. Михайлов А. А.

КОМБИНИРОВАННЫЙ ЧИСЛЕННЫЙ АЛГОРИТМ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ КО-ИНФЕКЦИИ ТБ / ВИЧ

О. И. Криворотько[1,2], В. Н. Каштанова[2]
[1]Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН,
[2]Новосибирский государственный университет

Разработка и исследование индивидуальной математической модели, описывающей ко-инфекцию ВИЧ и туберкулеза (ТБ) и их передачу в популяции, является одним из наиболее эффективных методов прогнозирования распространения эпидемии в конкретном регионе и помогает определить наиболее оптимальную стратегию лечения этих заболеваний среди населения. Такие модели описываются системами нелинейных обыкновенных дифференциальных уравнений (ОДУ), коэффициенты которых характеризуют особенности популяции и распространения болезни. Таким образом для уточнения модели для конкретной популяции необходима качественная оценка параметров модели (или их комбинаций) [1].

Целью данной работы является построение и исследование численных алгоритмов определения коэффициентов нелинейной системы ОДУ, которая описывает процессы передачи ВИЧ и ТБ с лечением и их ко-инфекцией [2], используя дополнительные статистические данные о популяции за последние несколько лет (а именно, количество здоровых, скрыто инфицированных и инфицированных лиц).

Результаты численных расчетов показывают, что вышеописанный подход определяет для конкретного региона набор наиболее чувствительных параметров, численные значения которых существенно отличаются от широко используемых стандартных значений. Численные результаты анализируются и обсуждаются.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации, Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 16-31-00189) и гранта Президента РФ (номер гранта МК-1214.2017.1).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Kabanikhin S.I. Inverse and Ill-Posed Problems: Theory and Applications // Berlin: Gruyter. 2011.
2. Sharomi O., Podder C. N., Gumel A. B. and Song B. Mathematical analysis of the transmission dynamics of HIV/TB coinfection in the presence of treatment // Mathematical Biosciences and Engineering. 2008. Vol. 5(1). P. 145–174.

Метод оптимального контроля решения задачи для математической модели взаимодействия новообразований с иммунными клетками в условиях радиотерапии

С. И. Кабанихин[1], О. И. Криворотько[1], Е. А. Кондакова[1]
Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН
Новосибирский государственный университет

В работе численно исследуется прямая и обратная задачи для системы нелинейных обыкновенных дифференциальных уравнений (ОДУ), которые описывают взаимодействия новообразований и иммунных клеток [1]. Параметры исследуемой модели характеризуют степень новообразования, а также скорость иммунного ответа. В докладе рассматриваются вопросы устойчивости прямой и обратной задач для системы нелинейных ОДУ, основанные на исследовании фазовых портретов системы [2–3]. Установлено влияние на устойчивость системы члена, отвечающего за лечение. Цель работы – построение численного алгоритма определения оптимального лечения [3], основанного на методе оптимального управления, и разработка алгоритма регуляризации задачи управления. Результаты численных расчетов приведены и обсуждены.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ledzewicz U., Mosalman M. S. F., Schattler H. Optimal controls for a mathematical model of tumor-immune interactions under targeted chemotherapy with immune boost // Discrete and Continuous Dynamical Systems Series B. 2013. Vol. 18, № 4. C. 1031_1051.

2. Годунов С. И. Современные аспекты линейной алгебры. Новосибирск: Научная книга, 1997.

3. Кабанихин С. И. Обратные и некорректные задачи. Новосибирск: Сибирское научное издательство, 2009.

Научные руководители: д-р физ.-мат. наук, чл.-корр. РАН Кабанихин С. И., канд. физ.-мат. наук Криворотько О. И.

Численное решение обратной задачи для математической модели "антиген – антитело" методом сингулярного разложения

М. Б. Котомина, О. И. Криворотько
Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН
Новосибирский государственный университет

Исследование обратной задачи для простейшей математической модели "антиген – антитело", которая описана системой нелинейных ОДУ. Вектор параметров данной модели, характеризующий заболевание и иммунный ответ по дополнительной информации об антителах и антигенах в фиксированные моменты времени, определен в ходе исследования и решения обратной задачи. Найдены и исследованы сингулярные числа дискретного аналога оператора линеаризованной обратной задачи с помощью изученного метода сингулярного разложения.

Цель работы – построение спектральных портретов вещественных и комплексных матриц некоторых порядков, описывающих процессы в иммунологии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Afraites L., Atlas A. Parameters identification in the mathematical model of immune competition cells // Journal of Inverse and Ill-Posed Problems. 2015. Vol. 23, № 4. С.323–337.

2. Годунов С. И. Современные аспекты линейной алгебры. Новосибирск: Научная книга, 1997.

3. Кабанихин С. И. Обратные и некорректные задачи. Новосибирск: Сибирское научное издательство, 2009.

4. Kabanikhin S.I., Krivorotko O.I. Identification of biological models described by system of nonlinear differential equations // Journal of Inverse and Ill-Posed Problems. 2015. Vol. 23, № 5. С. 519–527.

Научные руководители: д-р физ.-мат. наук, чл.-корр. РАН Кабанихин С. И., канд. физ.-мат. наук Криворотько О. И.

Математическое моделирование образования молекулярного облака в ходе развития МГД турбулентности межзвездной среды

И. М. Куликов

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН

Магнитное поле играет ключевую роль в формировании и динамики астрофизических объектов. Важную роль учет влияния магнитного поля оказывает на развитие межзвездных турбулентных течений, где магнитное поле достаточно сильное. В задачах развития МГД турбулентности были исследованы субальфвеновские течения, скорость звездообразования и проведено сравнение различных кодов на задаче эволюции сверхзвуковой турбулентности. Имеет место корреляция магнитного числа Маха с квадратом плотности и большая часть плотного облака попадают в сверхальфвеновскую область. Контуры косинуса угла колинеарности между векторами скорости и магнитного поля образуют седловидную структуру, что говорит о том, что сжатие происходит вдоль силовых линий магнитного поля.

Работа выполнена при поддержке гранта Президента РФ для молодых ученых МК – 1445.2017.9, грантов РФФИ 15-01-00508 и 16-07-00434.

Вариационное усвоение данных дистанционного зондирования

Ли Фань
Новосибирский государственный университет

Из-за высокой стоимости и сложности экспериментов точный динамический пространственный и временный мониторинг концентрации атмосферных примесей неосуществим. Поэтому стабильные алгоритмы усвоения данных модели переноса и трансформации атмосферных примесей широко используются для прогнозирования качества атмосферного воздуха. Задачу усвоения данных рассматриваем как последовательности связанных обратных задач с различными наборами данных измерений.

Рассмотрим модель процесса диффузии химического вещества (в штилевых условиях). Данные измерений в конечное время. По заданным коэффициенту диффузии, измерениям требуется найти концентрацию во все моменты времени.

Задача решается вариационными методами с применением сопряженных уравнений [1] и методов регуляризации по Тихонову. Обсуждается корректность обратной задачи. Приводятся результаты численных экспериментов.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 17-01-00007), Российского научного фонда (код проекта 17-11-12345) и гранта Президента РФ (номер гранта МК-1234.2017.1).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пененко В. В. Метод численного моделирования атмосферных процессов. Ленинград, Гидрометиздат, 1981.

КВАДРАТУРНОЕ НАКОПЛЕНИЕ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ В ЗАДАЧАХ АКТИВНОГО МОНИТОРИНГА

И. Н. Матвеев

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН

В работе описывается программный модуль квадратурного накопления сигнала в режиме реального времени, предназначенный для использования в составе системы геофизического мониторинга GeoRT.

В настоящее время актуальной является проблема проведения геофизического мониторинга окружающей среды в интересах прогноза ряда разрушительных техногенных и природных событий. При решении подобных задач одним из первоочередных требований является использование программных систем, ориентированных на работу в режиме реального времени и позволяющих существенно повысить оперативность обработки полученных данных.

Для проведения мониторинга в режиме реального времени на базе лаборатории геофизической информатики ИВМиМГ СО РАН была разработана программная система GeoRT [1]. Важным преимуществом этой системы является ее модульная архитектура, идеологически близкая к архитектуре микросервисов. Каждый модуль в составе GeoRT реализует некий алгоритм обработки данных. Данные, получаемые в режиме реального времени с сейсмостанции, проходят через цепочку модулей (вычислительный конвейер), структура которого может быть изменена без прекращения обработки данных. Каждый модуль запускается в отдельном процессе и общается с головным процессом посредством легковесного бинарного протокола. Головной процесс отвечает за управление потоками данных и взаимодействие с пользователем. Такая архитектура системы позволяет легко расширять GeoRT путем добавления новых модулей.

Одной из задач, возникающих в ходе мониторинга в режиме реального времени, является задача определения времени вступления полезного сигнала на фоне шумов. Такая задача может вставать в процессе зондирования Земли с помощью вибрационных источников, при изучении акустооптического взаимодействия [2] и т.д.

В работе анализируется алгоритм определения времени вступления набора гармонических сигналов с известными частотами, основанный на квадратурном накоплении в системах реального времени. Алгоритм реализован в виде модуля системы GeoRT. Модуль имеет два параметра: **freq** (вещественное число) – частота искомого сигнала; **t** (целое число) – длина скользящего окна в секундах.

На выход модуль выдает два потока данных: амплитуда накопления сигнала; начальная фаза обнаруженного сигнала.

Работа модуля протестирована на сигналах, регистрируемых в поточном режиме на сейсмостанции в поселке Ключи Новосибирской области, а также при проведении нового класса экспериментов по изучению акустооптического взаимодействия на инфранизких частотах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Матвеев И. Н., Хайретдинов М. С. Программное управление сетевым комплексом сбора и обработки геофизических данных // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2016. XII Междунар. науч. конгр., 18–22 апреля 2016 г., Новосибирск : Междунар. науч. конф. "Дистанционные методы зондирования Земли и фотограмметрия, мониторинг окружающей среды, геоэкология" : сб. материалов в 2 т. Т. 2. Новосибирск: СГУГиТ, 2016. С. 30–34

2. Акустооптическая информационная система инфранизких частот = Acousto-optical infra-low frequency information system / М. С. Хайретдинов, Б. В. Поллер, А. В. Бритвин, Г. Ф. Седухина // Интерэкспо ГЕО – Сибирь 2016. 12 междунар. науч. конгр., Новосибирск, 18–22 апр. 2016 г. : междунар. науч. конф. "Дистанционные методы зондирования Земли и фотограмметрия, мониторинг окружающей среды, геоэкология" : сб. материалов в 2 т. – Новосибирск : СГУГиТ, 2016. – Т. 2. – С. 8–13. - ISBN 978-5-87693-910-4.

Программно-технический комплекс для дистанционной передачи и анализа данных

Д. Я. Машников, Хасанайн Али Хуссейн
Новосибирский государственный технический университет

Создание и развитие сетевых информационных технологий геофизического мониторинга окружающей среды, направленных на обнаружение и предупреждение чрезвычайных ситуаций, относятся к числу актуальных экологоохранных проблем. Указанные технологии важны для региональных систем оперативного обнаружения и локации разрушительных природных и техногенных источников: землетрясений, взрывов и др., а также вибросейсмоакустических колебаний, используемых в проблеме активного сейсмоакустического мониторинга окружающей среды [1]. В связи с этим важной является задача разработки программно-технических средств дистанционного сбора, накопления и оперативного анализа геофизических данных от сети пространственно-распределенных автономных станций.

Целью данной работы является разработка программно-технического приемо-передающего комплекса с возможностями дистанционной передачи данных по каналам сотовой связи.

Основой данного комплекса для регистрации сигналов является станция "Байкал–8" [2]. Станция представляет собой 6-канальный регистратор сейсмических, акустических и других сигналов с 24- разрядным АЦП. Поскольку сама регистрирующая станция не способна выполнять подключение к интернету через USB-модем и установку VPN-соединения, необходимо для этих задач применять маршрутизатор. Маршрутизатор обеспечивает VPN-подключение с сервером с помощью протокола L2TP [3]. Подключение к сети Интернет обеспечивается с помощью USB-модема. Для обеспечения работы станции "в режиме реального времени", "Байкал–8" синхронизируется с помощью GPS-антенны.

Для регистрации сигналов к станции подключены трехканальный сейсмодатчик СК-1П, двухканальный акусто-сейсмический и одноканальный акустический датчики. Станция вместе с датчиками, маршрутизатором/модемом и системами питания расположена на ионосферной станции "Ключи" Новосибирской области.

Для анализа данных применяется программный пакет "Астра", работающий на платформе MATLAB. "Астра" является обобщением накопленного опыта в области создания программ обработки сейсмических и акустических данных. Она интегрирует в себе комплект инструментальных средств, который поддерживает широкий диапазон операций по обработке сейсмоданных, таких как поляризационный анализ, спектральный и спектрально-временной анализ, корреляционный анализ и т.д.

Программно-технический комплекс "Байкал–8" может применяться в задачах как активного, так и пассивного мониторинга окружающей среды. В качестве примера активного мониторинга, комплексом "Байкал–8" регистрируется периодические сейсмические и акустические сигналы от источника ЦВ-40. Также с помощью данного комплекса, осуществляется пассивный мониторинг окружающей среды, направленный на обнаружение природных и техногенных источников (землетрясений, промышленных взрывов и т.д). Данным комплексом зарегистрировано и анализировано землетрясение магнитудой 6,2, произошедшее в Восточном Казахстане 4 апреля. Результаты анализов землетрясения представлены в докладе.

В докладе представлен программно-технический комплекс, построенный на принципах сетевой архитектуры. Комплекс реализует функции регистрации и дистанционной передачи гео-

физических данных по каналам сотовой связи. Приводятся результаты апробации комплекса по регистрации акустических и сейсмических сигналов и анализу данных с помощью пакета "Астра".

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Хайретдинов М. С. Информационные технологии в глобальных мониторинговых сетях / М. С. Хайретдинов // Проблемы информатики. – Новосибирск: ИВМиМГ, 2009. – №3, сс. 10–26

2. Байкал–8. Техническое описание [Электронный ресурс]: Ревизия 1.4 от 16.06.2014. – Электронные данные. – Режим доступа: http://www.expas-sib.com/images/supplements/by_8/By-8%20manual%201.5.pdf, свободный. – Загл. с экрана.

3. Протокол L2TP (Layer Two Tunneling Protocol) [Электронный ресурс]: MSDN Library. – [Электрон. ресурс]. https://msdn.microsoft.com/ru-ru/library/cc759432(v=ws.10).aspx, свободный. – Загл. с экрана.

Численная стохастическая модель совместных временных рядов температуры воздуха и относительной влажности с учетом суточного хода

О. В. Сересева, А. М. Медвяцкая

На основе векторной модели периодически коррелированных гауссовских рядов строится численная стохастическая модель совместных временных рядов температуры воздуха и относительной влажности с учетом суточной периодичности одномерных распределений и периодической специфики матричной корреляционной функции. Для временных рядов температуры воздуха используется гауссовское приближение. Одномерное распределение временных рядов влажности аппроксимируется бета распределением с параметрами, периодически зависящими от времени. Для моделирования используется метод обратных функций распределения. Латентный гауссовский периодически коррелированный процесс строится на основе специальной векторной модели авторегрессии, учитывающей периодичность авто- и взаимных корреляционных связей. Параметры модели оцениваются по данным наблюдений для двух метеорологических станций, расположенных различных климатических зонах. Приводятся оценки характеристик аномальных сочетаний этих параметров с учетом суточного хода.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (коды проектов 15-01-01458-а, 16-01-00145-а, 16-31-00038-мол-а).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Драган Я. П., Рожков В. А., Яворский И. Н. Методы вероятностного анализа ритмики океанологических процессов. – Л.: Гидрометеоиздат, 1987.

2. Пригарин С. М. Методы численного моделирования случайных процессов и полей. – Новосибирск: ИВМиМГ СО РАН, 2005.

Исследование влияния гладкости функции управления в задачах усвоения данных для моделей адвекции – диффузии

Ж. С.Мукатова[1], А. В. Пененко[2]
[1]Новосибирский государственный университет
[2]Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН

Алгоритмы усвоения данных используются при изучении процессов переноса и трансформации примесей в атмосфере. В работе рассмотрена задача усвоения данных контактных измерений концентрации для модели диффузии примеси на ограниченном отрезке по пространству.

Усвоение данных осуществляется за счет выбора управляющей функции, имеющей смысл источников выбросов. Для численного моделирования процессов диффузии используется неявная схема. В алгоритмах вариационного усвоения данных со слабыми ограничениями решение разыскивается как минимум целевого функционала, включающего невязку между смоделированными и измеренными значениями и некоторый регуляризатор, в качестве которого используется квадрат нормы производной по пространству функции управления. Для решения вариационной задачи используются прямой алгоритм (без итераций), аналогично [1]. То есть изучается влияние учета гладкости функции управления на качество усвоения данных. Производится сравнение полученных результатов с аналогичным исследованием с меньшей гладкостью функции управления.

Приводятся результаты численных экспериментов по решению тестовой задачи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. А. В. Пененко, В. В. Пененко, Е. А. Цветова Последовательные алгоритмы усвоения данных в моделях мониторинга качества атмосферы на базе вариационного принципа со слабыми ограничениями // Сиб. журн. вычисл. матем. 2016. № 4 (19). С. 401–418.

Моделирование взаимодействия плазмы и электронного пучка

М. С. Пехтерев
Новосибирский государственный университет
Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН

Рассматривается задача взаимодействия релятивистского электронного пучка с плазмой. Плазма рассматривается в бесстолкновительном приближении и ее динамика описывается системой уравнений Власова для функций распределения ионов и электронов и системой уравнений Максвелла для самосогласованных электромагнитных полей.

Создана двумерная численная модель и проведены расчеты для параметров плазмы и пучка, максимально приближенных к условиям экспериментов, в том числе воспроизведена непрерывная инжекция электронного пучка в плазму, которая обеспечивает развитие модуляционных плазменных колебаний и генерацию электромагнитного излучения субтерагерцового диапазона частот. С помощью Фурье анализа исследован спектр электромагнитного излучения. На основании полученного спектра электромагнитных полей в области пучково-плазменного взаимодействия и в вакууме были найдены доминирующие гармоники генерируемого излучения.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (код проекта 16-11-10028).

Подсистема управления процессом конструирования параллельных программ для системы LuNA

И. В. Софронов
Новосибирский государственный университет
Институт вычислительной математики и математической геофизики

Создание эффективных параллельных программ (ПП) численного моделирования для суперкомпьютеров – сложный процесс, т.к. помимо реализации алгоритма, описывающего численную модель, необходимо дополнительно программировать взаимодействия процессов, выбирать декомпозицию данных, производить балансировку нагрузки и пр. Все это приводит к большим затратам на создание ПП, более того исследователи ограничиваются достаточно простыми ПП и, соответственно, простыми численными моделями.

Для преодоления этих трудностей создаются системы автоматизации конструирования ПП. Одной из таких систем является система фрагментированного программирования (СФП) LuNA [1]. В рамках этой системы пользователь описывает алгоритм решения задачи на языке высокого уровня, а подсистема исполнения выполняет алгоритм в соответствии с особенностями конкретного вычислителя.

Свойства автоматически построенной программы зависят от свойств выбранных реализаций ее подпрограмм. Возникает проблема выбора реализаций подпрограмм для придания результирующей программе требуемых свойств с учетом особенностей вычислителя.

Целью исследования является создание подсистемы управления процессом конструирования ПП. Круг рассматриваемых задач ограничивается численными задачами с применением итерационных методов на регулярных сетках.

Созданная система была встроена в СФП LuNA. Проведено тестирование работы системы на примере алгоритма решения уравнения Пуассона методом Якоби в трехмерной области при одномерной пространственной декомпозиции. Результаты тестирования показали применимость системы для придания требуемых свойств результирующей программе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Malyshkin V.E., Perepelkin V.A. LuNA Fragmented Programming System, Main Functions and Peculiarities of Run-Time Subsystem // In the Proc. of the 11th Intern. Conf. on Parallel Computing Technologies (PaCT 2011), LNCS. V. 6873, Springer, 2011. P. 53–61

Генерация управляющих программ для оптимизации исполнения фрагментированных программ частного вида в системе LuNA

А. А. Ткачева

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН

Новосибирский государственный национальный исследовательский университет

Система фрагментированного программирования LuNA[1] относится к высокоуровневым декларативным системам параллельного программирования. В таких системах существует проблема достижения приемлемой производительности по сравнению с программами, использующих традиционные средства, такие как MPI.

Одна из причин этого в системе LuNA является накладные расходы из-за высокого уровня недетерминизма исполнения параллельной программы. Другая причина – это то, что runtime-система LuNA принимает множество решений о распределении ресурсов и порядке исполнения операций в динамике. Поэтому для достижения приемлемой производительности исполнения LuNA программ целесообразно часть таких решений принимать статически там, где это возможно.

Предлагается использовать управляющие программы вместо исходного алгоритма исполнения runtime-системы LuNA. В них вложены частичные решения о распределении ресурсов и порядке исполнения операций. В работах [2–3] было показано, что предлагаемое решения позволяет достичь нужной производительности для случая, когда управляющая программа написана вручную. В то же время, так как основная цель системы LuNA автоматизировать процесс разработки параллельных программ для больших задач численного моделирования, то требовать от пользователя написания управляющих программ самому неприемлемо. Поэтому разрабатываются алгоритмы генерации управляющих программ для LuNA программ.

В работе рассматривается один из таких алгоритмов, разработанный для LuNA программ частного вида. Кроме того, представляются результаты тестирования производительности, где сравниваются исполнения LuNA программы в системе LuNA базовым алгоритмом, с помощью сгенерированной управляющая программа и аналогичной реализацией программы в MPI.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Malyshkin V.E., Perepelkin V.A.LuNA Fragmented Programming System, Main Functions and Peculiarities of Run-Time Subsystem.— In the Proceedings of the 11th Conference on Parallel Computing Technologis, LNCS 6873, Springer, 2011. — pp. 53–61.

2. Akhmed-Zaki D.Z., Lebedev D.V., Perepelkin V.A. (2017) Implementation of a three dimensional three-phase fluid flow (“oil–water–gas”) numerical model in LuNA fragmented programming system. Journal of Supercomputing, Volume 73, Issue 2, pp 624–630.

3. Киреев С. Е., Перепелкин В. А., Ткачева А. А. Реализация метода IADE_RB_CG в системе фрагментированного программирования LuNA // Вос. Сиб. конф. по параллельным и высокопроизводительным вычислениям: труды конф., Томск: Изд-во Том. гос. ун-та, 2015, с. 66–72.

Использование двумерных проекционных оценок метода Монте-Карло для решения ряда задач теории переноса излучения

Н. В. Трачева[1,2]

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН

Новосибирский национальный исследовательский государственный университет

В данной работе представлен оригинальный подход к построению оценок метода Монте-Карло в приложении к задачам атмосферной оптики. Оценки метода Монте-Карло строятся на основе двумерного проекционного разложения искомого функционала по полиномам, ортонормальным с некоторым весом, что является обобщением идеи разложения, представленной в работе [1]. Коэффициенты данного разложения – суть математические ожидания случайных величин с заданным распределением и могут быть оценены с помощью метода Монте-Карло. Построенный метод применяется для численного изучения двумерных угловых характеристик поляризованного излучения, проходящего и отраженного оптически толстым слоем рассеивающего и поглощающего вещества, и позволяет рассчитывать вектор Стокса, компоненты которого описывают в совокупности все характеристики поляризованной волны, а тем самым исследовать двумерные угловые распределения интенсивности и степени поляризации излучения.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (коды проектов 15-01-00894 а, 16-31-00123 мол_а, 17-01-00823 а).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Tracheva N. V., Ukhinov S. A. Numerical statistical study of the angular distribution of the polarized radiation scattered by medium // Russian Journal of Numerical Analysis and Mathematical Modelling. 2017. Т. 32, № 2. С. 135–146.

Итеративная регуляризация в задаче усвоения данных дистанционного зондирования

Чжэн Цзянпэн
Новосибирский государственный университет

В настоящее время задачи усвоения данных дистанционного зондирования активно изучаются. При решении задачи усвоения данных требуется решить последовательность связанных обратных задач с различными наборами данных измерений. В рамках вариационного подхода обратная задача сводится к оптимизационной [1].

В работе изучается применение алгоритмов итеративной регуляризации [2] к задаче определения источника в одномерном уравнении теплопроводности в ограниченной области, где данные приведены в некоторых фиксированные моменты времени. Эта проблема некорректна, то есть решение (если оно существует) не зависит непрерывно от данных. В работе также обсуждается задача поиска источника по методу регуляризации Тихонова [3] и сравнивается метод регуляризации Тихонова с методом итеративной регуляризации.

В работе изучаются свойства алгоритма, приводятся результаты численных экспериментов.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 17-01-00007), Российского научного фонда (код проекта 17-11-12345) и гранта Президента РФ (номер гранта МК-1234.2017.1).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вайникко Г. М., Веретенников А. Ю. Итерационные процедуры в некорректных задачах.М.:Наука,1996.

2. Fu Chuli, Li Hongfang, Xiong Xiangtuan. Iterated Tikhonov regularization for ill-posed problems. Mathematica Numberica Sinica. 2006, 28(3):237–246.

3. Yang Fan, Wan Shimin, Li Dungang, Li Xiaoxiao. Inverse problem of identifying heat source in parabolic equation containing convection term in bounded domain[J]. Journal of Lazhou Uni. of Tech.. 2010,36(5):143–146.

Научные руководители: д-р физ.-мат. наук, проф. Пененко В. В. канд. физ.-мат. наук Пененко А. В.