

В. И. Гурман

## **Школа-семинар «Приближенные методы оптимального управления в параллельных вычислениях»**

С 22 по 27 декабря 2010 г. в Институте программных систем им. А. К. Айламазяна РАН, г. Переславль-Залесский, проходила Школа-семинар «Приближенные методы оптимального управления в параллельных вычислениях», организованная при поддержке РФФИ по программе «Мобильность молодых» (проект 11-01-06800-моб\_г). Цель этого мероприятия — передача фундаментальных идей и опыта ведущих специалистов старшего поколения молодым участникам в указанной быстро развивающейся области теории управления в связи с бурным развитием технических и программных средств параллельных вычислений и обсуждение результатов молодых участников, полученных главным образом в 2010 году в ходе выполнения родственных исследовательских проектов и стажировок, поддержанных РФФИ.

Школа-семинар проходила в форме лекций и пленарных докладов известных ученых старшего поколения и наиболее результативных молодых ученых и секционных докладов молодых участников теоретического и прикладного характера по таким темам, как поиск глобально-оптимальных решений, методы улучшения приближенных решений, приложения в технических, инженерно-физических и социо-эколого-экономических проблемах.

В качестве лекторов и пленарных докладчиков приняли участие С.М. Абрамов, чл.-корр. РАН, директор ИПС РАН, В.А. Ильин, акад. РАН, гл.н.с. МИ РАН, зав. кафедрой Математического анализа ВМК МГУ, Я.Д. Сергеев, д.ф.-м.н., проф. НГУ им. Лобачевского и университета Калабрия (Италия), В.И. Гурман, д.т.н., гл.н.с. ИПС РАН, Л.Н. Никифорова, д.т.н., гл.н.с. ИПС РАН, А.И. Тятюшкин, д.т.н.,

---

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (№11-01-06800-моб\_г).

гл.н.с. ИДСТУ СО РАН, И.В. Расина, к.ф.-м.н., зав. кафедрой Математики и естественных наук САПЭУ (Иркутск), Е.А. Трушкова, к.ф.-м.н., с.н.с. ИПС РАН.

Контингент молодых участников составили в основном аспиранты ИПС РАН, МГУ, МГТУ, ИПУ РАН, студенты Университета города Переславля (УГП), стажеры ИПС РАН из Иркутска и Улан-Удэ.

Лекция С.М. Абрамова «Логический дизайн» была проведена по просьбе молодых участников и посвящена вопросам культуры представления результатов научных исследований с эффективным использованием возможностей современных текстовых и графических редакторов. На наглядных примерах была продемонстрирована важность этих вопросов, поскольку традиционно в России им не уделяется должного внимания ни в вузах, ни в научных институтах, что подчас незаслуженно принижает значимость полученных результатов, в особенности на фоне выступлений зарубежных коллег, как правило, более продвинутых в этом отношении. Лекция прошла с большим успехом, судя по вниманию слушателей, многочисленным вопросам и оживленной дискуссии.

В лекции Я.Д. Сергеева «Численные вычисления с бесконечно большими и бесконечно малыми величинами» представлен новый подход к численным вычислениям, позволяющий построить простую и наглядную арифметику для работы не только с конечными числами, но и с бесконечно большими и бесконечно малыми величинами. Построенная арифметика естественно распространяет постулат «часть всегда меньше целого» при работе с конечными числами, на бесконечно большие и бесконечно малые величины. Предлагается новая позиционная система с бесконечной базой, позволяющая записывать бесконечно большие и бесконечно малые величины в явной форме конечным числом символов. Новый подход позволяет построить компьютер (получены патенты РФ, ЕС и США), выполняющий численные (не символьные) вычисления с конечными, бесконечно большими и бесконечно малыми величинами. *Во время лекции продемонстрирован подобный калькулятор для персональных компьютеров.*

В докладе В.А. Ильина и И. Смирнова «Оптимизация граничного управления в гиперболических системах» рассматриваются задачи оптимального управления на моделях, описываемых волновым и телеграфным уравнением в однородных и неоднородных средах. Искомое управление должно быть оптимальным в смысле минимума интегрального квадратического функционала энергии. На основе

единого подхода, предложенного и развиваемого В.А. Ильиным и его учениками и последователями в течение ряда лет, получено исчерпывающее решение указанных задач и приведен явный вид оптимального управления. Указан круг актуальных приложений этих решений, в том числе связанных с эксплуатацией газопроводов.

Лекция В.И. Гурмана «Приближенные методы оптимального управления в параллельных вычислениях» была посвящена новым приближенным методам оптимального управления на основе достаточных условий оптимальности и принципа расширения и их реализации в параллельных вычислениях на суперкомпьютерах кластерного типа с учетом высокой степени возможного параллелизма, обусловленного самой природой рассматриваемого класса задач как задач систематического сравнения вариантов. Представлен собственный опыт работы в этом направлении, связанный с созданием, развитием и приложениями программно-алгоритмического комплекса улучшения и приближенно-оптимального синтеза управления (ПК ISCON). Кратко описана его архитектура и приведены примеры тестовых и прикладных задач, демонстрирующие эффективность предлагаемых методов при параллельной реализации.

К этой лекции непосредственно примыкает обзорный доклад И.В. Расиной «Эволюция и перспективы методов улучшения управления». В нем кратко представлена история становления современной теории оптимального управления с конца 1950-х–начала 1960-х годов, мотивированного бурным развитием техники и появлением первых космических программ, когда возникла настоятельная необходимость решения задач оптимизации и были сформулированы такие основополагающие результаты, как принцип максимума Понтрягина и метод динамического программирования Беллмана, общие достаточные условия оптимальности Кротова. Проанализированы причины ограниченности их непосредственного использования для решения прикладных задач и многочисленных разработок как на их основе, так и независимо, приближенных методов, главным образом, учеными, работавшими в прикладных областях, такими как Д.Е. Охочимский, В.А. Егоров, Т.М. Энеев, Л.И. Шатровский, Дж. Келли, В.Ф. Кротов, Н.Н. Моисеев, Ф.Л. Черноусько и многими другими. Значительное место в обзоре уделено направлению, базирующемуся на достаточных условиях оптимальности Кротова и принципе расширения.

Его плодотворность подтверждается, в частности, многолетними разработками в этом русле, которые отличаются значительным многообразием подходов и результатов. Специфику составляют возможность априорного оценивания получаемых приближенных решений и использование характерного свойства вырожденности прикладных задач и соответствующих специальных методов для поиска начальных приближений, что, как известно, является критическим моментом при использовании итерационных улучшающих алгоритмов. Указаны возможные направления развития этих методов, ориентированные на параллельные вычисления применительно к оптимизации сложных дискретно-непрерывных процессов в гибридных системах, в системах высокой размерности, таких как квантовые, системах со сложной структурой данных, таких как социо-эколого-экономические и другие подобные им объекты.

В докладе Л.Н. Никифоровой и А.О. Блинова «Приближенные методы оптимизации маневров вертолета в программном комплексе параллельных вычислений» описано применение метода наименьших квадратов к задачам приближенного аналитического представления моделей управляемых систем и синтеза приближенно-оптимальных законов управления на основе соотношений динамического программирования Беллмана, глобальных оценок Кротова и условий локальной оптимальности и улучшения. Рассмотрены примеры эффективного решения прикладных задач, в т.ч. определения безопасных маневров нештатной посадки вертолета и синтеза оптимального управления в окрестности опорной траектории его подъема-разгона с использованием комплекса параллельных вычислений ПК ISCON.

В докладе Е.А. Трушковой «Программный комплекс параллельных вычислений для моделирования регионов» представлена общая процедура (с методическими рекомендациями) приближенной оптимизации управления для сложной социо-эколого-экономической модели региона, реализованная на основе того же ПК ISCON. Для этого создан специальный комплекс программ DSEEmodel 1.0, реализующий на кластерном вычислительном устройстве параллельные алгоритмы сценарных расчетов, оптимизации и улучшения приближенно-оптимального управления для социо-эколого-экономической модели

с целью проведения многовариантных расчетов, связанных с разработкой стратегии устойчивого развития региона. В целом это — новый инструментарий с использованием суперЭВМ и полномасштабной социо-эколого-экономической модели для поддержки ситуационного управления регионом.

Доклад А.И. Тятюшкина и О.В. Моржина «Численное исследование множеств достижимости нелинейных управляемых дифференциальных систем» был посвящен схемам аппроксимации множеств достижимости нелинейных управляемых дифференциальных систем, в общем случае невыпуклых, несвязных, с применением модификации метода опорных гиперплоскостей. В этой схеме «элементарной операцией» служит задача оптимизации программного управления. Продемонстрировано применение полученных результатов для расчета оптимального синтеза по методу динамического программирования в границах трубки разрешимости при заданном целевом множестве. Приведены результаты численных экспериментов на серии тестовых задач и на содержательной задаче преследования–уклонения в системе «самолет-ракета».

К этому близок доклад В.Д. Ширяева «Масштабируемость эллипсоидального метода оценивания множеств достижимости линейных систем», в котором демонстрируются возможности эффективной параллельной реализации известного метода А.Б. Куржанского. Этот метод предусматривает построение достаточно точной оценки посредством пересечения семейства эллипсоидальных оценок. Поскольку всякая эллипсоидальная оценка вычисляется независимо от других, то каждый процессор, получив параметры задачи и значение  $l(t_0, l_0)$ , может вести вычисления совершенно независимо от других — это можно делать параллельно, что и обеспечивает высокую эффективность распараллеливания. Приведено описание соответствующего программного комплекса, реализованного на машине BlueGene/P, установленной на факультете ВМиК МГУ, на языке «С» с использованием библиотеки MPI для массового параллелизма и ESSL для матричных операций на каждом вычислительном узле.

Среди секционных докладов молодых участников, как наиболее интересные, можно отметить доклады Н. Малтугуевой, стажера ИПС РАН из ИДСТУ СО РАН, «Методы последовательных улучшений для решения задач оптимального управления логико-динамическими

системами», А. Кулешова, ассистента ВМК МГУ, «О некоторых смешанных задачах для разрывного уравнения колебаний струны на отрезке», О. Фесько, аспиранта ИПС РАН, «Программный комплекс поиска оптимальных управлений на множествах простой структуры», а также доклады, посвященные прикладным задачам — И. Гусевой, аспиранта БГУ, Улан-Удэ, и Ни-Минь Каня, профессора Шанхайского педагогического университета (представлен О. Моржиным), «Магистральные решения высокого порядка в задаче оптимального управления на эколого-экономической модели», А. Евсеева «Построение реализаций нелинейных динамических систем», Д. Понизовкина, аспиранта ИПС РАН, «Использование методов коллаборативной фильтрации для проведения экспертизы проектов», М. Егоровой, студентки УГП, «Разработка долгосрочного плана для отрасли с учетом неопределенности количественных и качественных параметров окружающей среды», Э. Сафаровой, студентки УГП, «Оптимальное поведение потребителя в условиях производственной и социальной модели». Некоторые докладчики, в частности, Е.А. Трушкова, О.В. Моржин, А.О. Блинов, выступали повторно на разных секциях.

Заседания круглых столов (ведущие — И.В. Расина и Д.М. Бельшев) были посвящены общеметодологическим проблемам оптимизации и приближенных методов, таким как фундаментальная неопределенность задач оптимизации, связанная с субъективностью критериев; автоматическое регулирование штрафных и других параметров в итерационных процедурах; глобальность приближенных решений с учетом магистральной природы прикладных задач; практический синтез управления с использованием параллельных вычислений; проблемы отчуждаемости и практическая доступность и возможности их решения на пути интеллектуализации создаваемых программно-алгоритмических комплексов (многометодность, генерирование процедур из общих принципов) с учетом опыта создания и использования языков высокого уровня. Состоялось оживленное и полезное обсуждение этих проблем.

В целом мероприятие прошло весьма активно и содействовало решению злободневной проблемы преемственности научных поколений, обмену информацией о состоянии дел в исследованиях по известной тематике, формированию новых актуальных тем и направлений, установлению новых плодотворных научных связей, прежде всего в среде научной молодежи. Можно уверенно утверждать, что усилия

по его организации полностью оправдались, что отражено и в итоговом решении.

В настоящем тематическом выпуске публикуются избранные статьи ряда участников Школы-семинара, отражающие содержание их докладов и выступлений.

V. I. Gurman. *Workshop “Approximate methods of optimal control in parallel computing”*.

*Образец ссылки на статью:*

В. И. Гурман. *Школа-семинар «Приближенные методы оптимального управления в параллельных вычислениях»* // Программные системы: теория и приложения : электрон. научн. журн. 2011. № 2(6), с. 3–9. URL: [http://psta.psiras.ru/read/psta2011\\_2\\_3-9.pdf](http://psta.psiras.ru/read/psta2011_2_3-9.pdf)