

О МАГИСТЕРСКОЙ ПРОГРАММЕ «МАТЕМАТИКА ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ» И СПЕЦИАЛИЗАЦИИ ПО СИСТЕМНОМУ ПРОГРАММИРОВАНИЮ

Л.В. Городняя, А. Г. Марчук, Ф. А. Мурзин

Аннотация

В докладе рассматривается проект магистерской программы, освоение которой полезно при специализации по системному программированию в области организации параллельных вычислений.

Введение

Задача образовательной магистерской программы – дать ясное лаконичное изложение основных понятий и построений, используемых в реальных вычислительных моделях и компьютерных языках, на основе которых видны закономерности формирования информационных технологий и перспектива конструктивного подхода к решению сложных наукоемких задач. Данная программа не претендует на полное освещение проблем параллельного программирования, а нацелена на формирование концептуального дополнения к ряду существующих магистерских программ, посвященных методам и технологиям параллельных вычислений.

Программа представляет собой комплекс из четырех полугодовых курсов и шести специальных курсов по выбору:

- Метаматематика и алгоритмы.
- Формальная эквивалентность.
- Процессы и недетерминизм.
- Управление вычислениями.
- Парадигмы компьютерных языков.
- Модели вычислений в языках программирования.
- История информатики и ИКТ.
- Semantic Web и онтологии.
- Суперкомпьютеры.
- Графические процессоры.

Характеристика курсов программы

Курс «Метаматематика и алгоритмы» начинается с небольшого экскурса в интуиционистскую и конструктивную теорию множеств, позволяющего разобраться с особенностями кумулятивной иерархии, являющейся формальной основой представления динамических структур данных и процессов. Далее следует тренинг по формированию навыков определения сигнатур и аксиоматических формулировок, обеспечивающих технику представления границ достоверности формальных распараллеливающих преобразований используемых компонент и границ применимости инструментов. Одновременно показывается математическая основа функционального подхода к разработке параллельных программ, смягчающая временные зависимости относительно разных моделей вычислений, включая ленивые и опережающие, что способствует не только повышению производительности, но и расширению границ вычислимости. Студенты знакомятся с теорией решеток и пределов в дискретном пространстве, многозначными логиками и изучают классификацию алгоритмов по сложности, которая дополняется метриками, существенными для параллельных алгоритмов – производительность, справедливость, живучесть, а также критериями границ эффективности разных методов, зависящих от соотношения коэффициентов в формулах расчета эффективности с реальным разбросом значений параметров. [4,8].

Курс «Формальная эквивалентность» представляет собой обзор конкретных применений теории графов, алгебраических и аксиоматических подходов при решении задач реализации языков программирования. Кроме грамматик и автоматов изучаются методы выбора компактных форм с высокой выразительной силой, эквивалентные преобразования программ компилятором, включая их распараллеливание, критерии применимости преобразований с обоснованием применения неэквивалентных преобразований при распараллеливании. Булевы алгебры, решетки, интервальная арифметика и смешанные вычисления рассматриваются как методы расширения сферы приложения суперкомпьютерных технологий в реальном производстве и проектировании. [2].

Курс «Процессы и недетерминизм» начинается с уяснения процессной природы вещественных чисел и изучения методов нейтрализации погрешностей и обеспечения сходимости процессов вычислений. Рассматриваются основные идеи регулярных множеств, статистики и комбинаторно-вероятностных моделей с целью понимания границ достоверности и обоснованности техники применения математических построений. Изучаются временные логики и результаты теории программирования в области верификации, открывающие

возможность профилактики весьма тонких, трудно обнаруживаемых ошибок в процессе разработки и эксплуатации информационных систем. [7].

Курс «Управление процессами» знакомит с базовыми моделями организации процессов, включая параллельные вычисления, показывает основные явления, усложняющие параллельные алгоритмы в сравнении с обычными, последовательными. На формализме сетей Петри (алгебра, свойства, подклассы) анализируется спектр исследованных классов сетей, свойства которых строго доказаны. Изучаются используемые в задачах системного программирования и искусственного интеллекта упрощения и расширения теории множеств и основные подходы к определению семантики компьютерных языков, полезные при расширении границ вычислимости и повышении производительности программирования. Рассматриваются модели медленно текущих сходящихся процессов, описывающие связи жизненного цикла программ с уровнем изученности решаемых задач и показывающие причины, по которым разработка массовых приложений и параллельных программ принципиально не сводима к одному витку жизненного цикла. [6].

Курсы по выбору обеспечивают ознакомление с результатами эволюции компьютерных языков и информационных технологий, показывающими место и значение изученных моделей, их роль в выборе успешных решений и прогнозировании трудоемкости процессов разработки и применения информационных систем.

Курс «Парадигмы компьютерных языков» помогает видеть причины жизнеспособности «старых» и механизмы возникновения «новых» языков программирования, уметь сравнивать изобразительную силу компьютерных языков и обоснованно выбирать языки разработки информационных систем. [10].

Курс «Модели вычислений в языках программирования» знакомит с разнообразием подходов к организации процессов, включая параллельное программирование и методы решения проблем организации высокопроизводительных наукоемких вычислений. Приводится классификация вычислительных систем по Флинну (SISD, SIMD, MISD, MIMD). Даются сведения о различных архитектурах компьютеров: с общей шиной, матричные, торообразные, гиперкубы, основанные на использовании различных коммутаторов и различных видов памяти с параллельным доступом к информации. [3,5].

Курс «История информатики и ИКТ» дает обзор основных идей, событий и решений, определивших мир современных информационно-коммуникационных технологий [12]. Предполагается, что в курсе будут даваться сведения об истории создания суперкомпьютеров, их архитектурах и сферах применения, современном состоянии в данной области, сведения о таких проектах, как TOP 500 и Blue Gene. Небольшое внимание также будет уделено GRID – системам: концепция, область применения, основные направления и проекты в области GRID – технологий.

Курс «Semantic Web и онтологии» показывает достижения в области обработки содержательно нагруженной информации, подходов к представлению и извлечению знаний из накапливаемой в информационных сетях данных. Рассматриваются Wiki-технологии, словари, техническая лингвистика, автоматизация перевода и пр. [11].

Курс «Суперкомпьютеры» нацелен на ознакомление с основными проблемами и достижениями в области создания и применения наиболее мощных компьютерных конфигураций за рубежом и в нашей стране [12]. В курсе вводятся основные определения понятия, связанные с высокопроизводительными вычислениями, а также будут даны доказательства важных фактов относительно введенных характеристик. Возможные темы для изучения перечислены ниже. Загруженность и асимптотическая загруженность устройств. Время выполнения параллельного алгоритма. Минимально возможное время решения задачи. Понятия ускорения и эффективности. Возможно ли достижение сверхлинейного ускорения. Противоречивость показателей ускорения и эффективности. Общие математические соотношения, характеризующие вычисления на векторно-конвейерных ЭВМ: формулы для загруженности и ускорения для системы конвейерных устройств, работающих с векторами в режиме зацепления, условие на длины векторов. Модель "операции — операнды". Расписание для распределения вычислений между процессорами. Оптимальное расписание распределения вычислений. Оценки характеризующие времена последовательного решения задачи. Определение минимального возможного времени параллельного решения задачи по графу "операнды – операции". В конце курса могут быть рассмотрены конкретные задачи и методики их распараллеливания на суперкомпьютерах. В качестве учебного материала могут быть предложены задачи из вычислительной математики, кластеризации данных, обработки изображений и др.

Курс «Графические процессоры» посвящен анализу массово доступных средств и методов параллельной обработки данных на базе многопроцессорных конфигураций на примере графических процессоров (возможен практикум) [1]. Предполагается, что курс будет содержать две части. Первая часть посвящена архитектуре CUDA и включает в себя следующие разделы: устройство мультипроцессора GPU; отличие видеочипа GPU от CPU; ядро CUDA; потоковая модель; уровни иерархии блоков потоков; обработка условных переходов; характеристика видов памяти GPU; особенности текстурной памяти. Вторая часть включает сведения по программированию в рамках технологии CUDA. Эта часть содержит такие темы, как: архитектура CUDA API; этапы компиляции CUDA программы; планирование исполнения потоков; минимальная единица планирования и исполнения; синхронизация потоков на различных уровнях иерархии (варп, блок, сетка); характеристика подмножества языка C++ для работы с CUDA, ядра(kernel), ограничения

реализации функций, особенности работы с памятью устройства; оптимизация SIMD программ; разбиение программ, выбор типов памяти, работа с циклами, выравнивание, конфликты банков памяти.

Актуальность и целесообразность программы

В целом программа направлена на расширение и обновление программ подготовки магистрантов, обучающиеся по направлению «Математика и компьютерные науки» со специализацией в области разработки распределённых и высокопроизводительных вычислений и систем, а также технологии обработки, хранения, передачи и защиты информации. Целесообразность такой специализации вызвана задачами освоения нового оборудования суперкомпьютерных центров и эффективного применения современных технологий GPGPU на базе программно-аппаратной архитектуры CUDA с использованием графических процессоров NVIDIA.

Важным аспектом программы «Математика информационных систем» является систематизированное изложение математических основ, поддерживающих общую практику системного программирования и организации параллельных вычислений, а не только производственных технологий применения программ. При подготовке учебного материала предполагается использовать авторитетные и малодоступные научно-методические труды по современной математике и системному программированию, имеющие признание и практическую направленность, и учесть наиболее солидные рекомендации по формированию программ обучения в области компьютерных наук и информационных технологий.

Перспективы образовательного стандарта по системному программированию

Материал программы дополняет свод знаний, полученных на уровне бакалавриата, в направлении фундаментальных математических основ компьютерных наук и обоснований при решении проблем разработки и применения информационных систем, что позволяет решать проблемы обеспечения компетентности специалистов в области системного программирования, включая владение методами разработки информационных систем, создания новых языков и систем программирования. Таким образом становится возможной разработка образовательного стандарта по направлению «Системное программирование», в поддержке которого может быть заинтересована ассоциация АПКИТ, в частности Новосибирское отделение Intel, фирма Exelsior и др. Такой стандарт призван повысить результативность ощутимых преимуществ России в системе подготовки инженерно-технических кадров и специалистов в информационно-технологической сфере, ранее обусловленных уровнем классической подготовки выпускников школ в области математики и физики и фундаментальной подготовки студентов в области естественных наук. Это позволило российской ИТ-индустрии занять ряд сегментов высокотехнологичного производства, на которых Россия пока занимает ведущие позиции по ряду направлений вычислительной математики и программирования, но их сохранение требует образовательной поддержки в форме официально принятого образовательного стандарта.

В ряде небольшого числа городов России успешно функционируют и проявляют активность ведущие мировые компании, такие как, Intel, IBM, Microsoft, HP и другие. НГУ при специализации студентов традиционно опирается на научную квалификацию сотрудников СО РАН, что дает возможность обеспечить свод знаний и умений, основанных на высоком уровне математической подготовки магистрантов, их практическом участии в экспериментальных проектах и осведомленности о передовых достижениях в области вычислительной техники и информационных технологий.

Описание характеристик профессиональной деятельности магистров в рамках стандарта по системному программированию может учитывать сформулированные АПКИТ рекомендации по оздоровлению ситуации с подготовкой ИТ-специалистов, начиная с поддержки идей о необходимости собственных разработок и освоения экономики «знаний», которые становятся главным ресурсом роста конкурентоспособности ИТ-индустрии. Подразумевается качественное улучшение математического и естественнонаучного образования, обучение созданию программного обеспечения на основе опыта фундаментальных и прикладных исследований в этих областях, включая экспериментальные исследования в области разработки языков и систем программирования, методов компиляции, оптимизации, тестирования и верификации программ.

Требования к условиям реализации основных образовательных программ магистратуры подразумевают организацию сети и системы переподготовки и повышения квалификации и подготовки ИТ-специалистов, профессиональная компетентность которых зависит от темпа обновления техники и прогресса ИТ-технологий. Оценка качества освоения основных образовательных программ магистратуры учитывает необходимость усиления профессионально ориентированной работы среди российской молодежи, включая разработку ряда специальных форм, гарантирующих качество подготовки магистрантов, получение знаний и навыков, фактически получаемых выпускниками магистратуры ФИТ и ММФ НГУ и обеспечиваемых преподавателями НГУ при поддержке сотрудниками Новосибирского отделения Intel и фирмы Exelsior.

В последние годы на связанных с высокопроизводительными вычислениями международных научных конференциях представители фирмы Intel, ассоциации АПКИТ и участники конференций выражают обеспокоенность отсутствием в образовательных стандартах по подготовке ИТ-специалистов компетенций в области системного программирования, особенно в области методов компиляции, оптимизации и верификации программ. Известно, что Новосибирск, наряду с Москвой, Санкт-Петербургом и Владивостоком, входит в число

городов, обладающих школой системного программирования и кадровым потенциалом для обеспечения такой компетенции выпускников магистратуры.

Становление и развитие Новосибирской школы системного программирования связано с работами в области оптимизирующей компиляции программ (проекты Альфа, БЕТА, ГАММА, СИГМА, Эпсилон и др.), разработкой программного обеспечения для суперЭВМ Эльбрус (НФ ИВМиВТ, затем Новосибирское отделение Sun, ныне Новосибирское отделение Intel), созданием программного обеспечения школьных ПЭВМ (система Школьница, учебные языки программирования Робик и Рапира), производством встроенных бортовых систем для спутников и станций слежения (сотрудничество ИСИ СО РАН с НПО «Прикладная Механика», г. Красноярск, ныне ОАО «Информационные спутниковые системы» имени академика М.Ф.Решетнева, г. Железногорск) и телефонных станций (Excelsior) и др. Успехи студентов НГУ на международных чемпионатах по программированию в значительной мере обусловлены квалификацией тренеров в области теоретического и системного программирования.

Следует отметить, что курсы этого направления в НГУ имеют место в ранге кафедральных спецкурсов по выбору. Программы аналогичных курсов, доступных в Интернете, ограничиваются ознакомлением со средствами типа YACC-LEX, что достаточно для быстрого производства синтаксически управляемых обработчиков данных, но не обеспечивает профессионального знакомства с проблемами компиляции программ. Образование специалистов в области системного программирования требует углубленной подготовки по математике, знаний и навыков алгебраических и аксиоматических построений, лежащих в основе методов компиляции и разработки систем программирования, что НГУ обеспечивает на уровне подготовки бакалавров, а также дополнительными магистерскими программами, поддерживающими специализацию в области разработки информационных систем и параллельных вычислений, которые достаточно сложны сами по себе.

Заключение

На глазах одного поколения информатика из элитарного занятия научных работников и банковских служащих стала массовой профессией, учебной дисциплиной и особо сложным производством одновременно. Столь стремительное развитие не свободно от типичной болезни роста, выразившейся в отставании осознания основ информатики от реальных достижений элементной базы, программного обеспечения, телекоммуникаций и прагматики непрерывно расширяющегося спектра приложений. Нелегко дается понимание, что информатика не младшая сестра математики и давно уже не служанка физики. Еще сложнее решение вопроса «Что системную информатику выделяет из информатики, а системное программирование из программирования?». Не исключено, что ответ на этот вопрос может дать разработка магистерской программы «Математика информационных систем», ориентированной на специализацию в области системного программирования.

Учебно-методическая поддержка образовательных программ, нацеленных на специализацию в области параллельного программирования, требует ясного и лаконичного изложения основных идей и построений, используемых в реальных вычислительных моделях и компьютерных языках, на основе которых видна перспектива конструктивного подхода к параллельным алгоритмам и методам их реализации. Предлагаемая магистерская программа может быть реализована активными сотрудниками институтов СО РАН, преподающими в НГУ на кафедрах алгебры и математической логики, вычислительных систем, дискретной математики и информатики, программирования, теоретической кибернетики.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Берилло А. NVIDIA CUDA — неграфические вычисления на графических процессорах (sbe@ixbt.com). – 23.09.2008. <http://www.ixbt.com/video3/cuda-1.shtml> 1-17. Валиев М.К., Дехтярь М.И., Диковский А.Я. О сложности верификации динамических свойств многоагентных систем // Труды первой всеросс. научн. конф. "Методы и средства обработки информации", МГУ, 2003. – С. 329-335.
2. Валиев М.К., Дехтярь М.И., Диковский А.Я. О сложности верификации динамических свойств многоагентных систем // Труды первой всеросс. научн. конф. "Методы и средства обработки информации", МГУ, 2003. – С. 329-335.
3. Воеводин В.В., Воеводин Вл.В. Параллельные вычисления. – СПб.: БХВ-Петербург, 2002. – 600 с.
4. Гончаров С.С., Ершов Ю.Л. Конструктивные модели. – Новосибирск: Научная книга, 1999. – 345 с.
5. Корнеев В.В. Параллельные вычислительные системы. – М.: Нолидж, 1999. – 320 с.
6. Котов, В.Е. Сети Петри. – М.: Наука, 1984. – 160 с.
7. Лавров С.С. Методы задания семантики языков программирования // Программирование, № 6, 1978. ? С. 3-10.
8. Скотт Д. С. Логика и языки программирования // Лекции лауреатов премии Тьюринга (ред.: Эшенхерст Р.). – М.: Мир, 1993. – С. 65-83.
9. Сошников Д. В. Учебное пособие. Программирование на F#. – М.: ДМК Пресс, 2011. – 192 с.
10. Хигман Б. Сравнительное изучение ЯП. – М.: Мир, 1974. – 204 с.
11. Resource Description Framework (RDF) // <http://www.w3.org/RDF/>
12. TOP500 Supercomputer Sites – мировой рейтинг пятисот самых мощных компьютеров мира // Информационный ресурс в сети Интернет, <http://www.top500.org/>