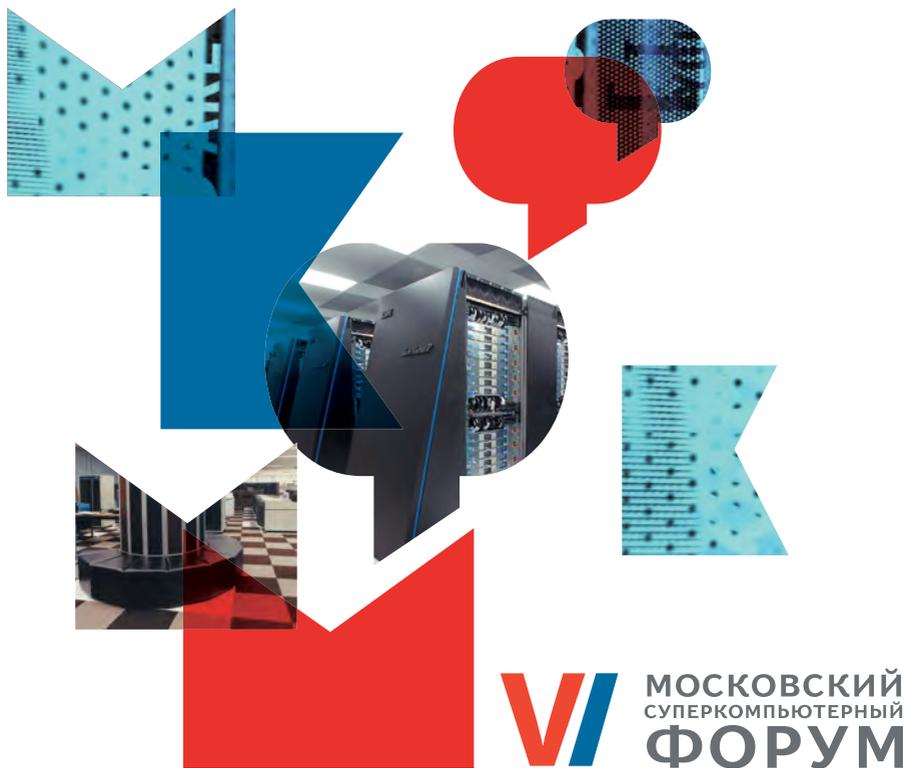


- Министерство связи и массовых коммуникаций РФ • Министерство образования и науки РФ
 - Министерство экономического развития РФ • Фонд перспективных исследований
 - Государственная корпорация по атомной энергии «Росатом»
 - Объединенная приборостроительная корпорация («Ростех»)
- Российский фонд фундаментальных исследований • Федеральное агентство научных организаций
- Республиканский исследовательский научно-консультационный центр экспертизы • «Открытые Системы»



Шестой Московский суперкомпьютерный форум

Программа и тезисы докладов

Москва, 2015 год

УДК 519.6, 519.7, 004.2, 004.3
ББК 32.973

При поддержке



Организатор

Генеральные информационные партнеры



Оргкомитет Шестого Московского суперкомпьютерного форума выражает признательность за поддержку Российскому фонду фундаментальных исследований (грант 15-07-20824-г), ФГУП «НИИ “Квант”», ОАО «НИЦЭВТ», компаниям Lenovo, PCK, «ПроСофт» и Intel.

Тематика МСКФ-2015:

Пленарная сессия. Текущее состояние и перспективы суперкомпьютерных архитектур

Секция. Опыт решения больших информационных и вычислительных задач

Секция. Экосистема высокопроизводительных систем

Секция. Стендовые доклады

Программа и тезисы докладов Шестого Московского суперкомпьютерного форума (Москва, 29 октября 2015 г.) // [Под. ред. Волкова Д.В.]. — М.: «Открытые системы», 2015. — 39 с.

В сборник трудов включены доклады Шестого Московского суперкомпьютерного форума, прошедшего 29 октября 2015 года в Москве в отеле «Милан». Цель форума — консолидация отечественных научно-исследовательских и промышленных коллективов, создающих элементно-конструкторскую базу экзамасштабных высокопроизводительных систем и программные средства решения задач в параллельных средах. Материалы сборника тезисов предназначены для представителей федеральных ведомств, научных сотрудников, разработчиков и пользователей, а также преподавателей и аспирантов, интересующихся проблемами создания и эксплуатации высокопроизводительных систем. Дополнительную информацию о МСКФ-2015 можно найти по адресу www.osp.ru/iz/mscf

© Copyright 2015 000 «Открытые системы»

Форум «новой реальности»

Ограничение доступа к перспективным технологиям, геополитическая напряженность и экономическая турбулентность неизбежно влияют на все индустрии страны, включая сферу высокопроизводительных решений выполнения интенсивных вычислений и обработки больших массивов информации. Одновременно с этим растет генерируемое компаниями, организациями и людьми количество данных, которые, почти по закону Мура, удваиваются каждые 18 месяцев. В результате все чаще возникают ситуации, когда ценные сведения остаются в тени или вовсе теряются, что не только дискредитирует инициативы по развертыванию высокопроизводительных систем и решению задач Больших Данных, но и недопустимо при выполнении ряда специальных информационных задач.

Задача Шестого Московского суперкомпьютерного форума, проходящего в условиях такой «новой реальности», состоит уже не только в консолидации профессионального сообщества специалистов по инновационным технологиям и объективной экспертизе работ в области создания платформ интенсивной обработки данных, но и в поиске решений, способных кардинально изменить ситуацию в отечественной индустрии высокопроизводительных систем. В центре внимания МСКФ-2015 сообщения по инновационным технологиям и решениям, способным обеспечить реальную технологическую независимость страны: сверхпроводящая электроника, криогенные суперкомпьютеры, защищенная операционная система и ряд других. Развитие технологий сверхпроводниковой электроники открыло путь к решению таких проблем современной полупроводниковой индустрии, (например как невероятно высокая потребляемая мощность традиционных полупроводниковых суперкомпьютеров), которые не могут быть решены обычными методами. Сверхпроводниковая элементная база позволяет использовать квантовые эффекты для создания быстродействующего и энергоэффективного вычислителя, потребляющего на порядки меньше энергии, а квантовый процессор, в сочетании с соответствующими периферийными управляющими устройствами, открывает путь к созданию полноценного квантового суперкомпьютера.

Ежегодные форумы МСКФ неизменно вызвали интерес в промышленных, деловых, научных кругах и у федеральных ведомств, отвечающих за решение задачи достижения технологической независимости. Как следствие, форум стал сегодня всероссийской площадкой для обсуждения положения дел в индустрии высокопроизводительных комплексов и разработки для них программного обеспечения. Однако сегодня суперкомпьютерная индустрия находится «на разломе» – в создаваемых системах активно внедряются отработанные аппаратно-программные технологии, но какими бы изощренными ни были традиционные компьютеры, они остаются инструментами прошлого, а для решения современных задач создания новых лекарств, нейтрализации террористических угроз, поддержки гибких облачных сред, аналитики реального времени или обработки Больших Данных нужны новые архитектуры. В этой ситуации требуется отказаться от стратегии копирования, а обратить внимание на развитие принципиально новых технологий, которыми владеют коллективы российских разработчиков.

Координационный совет МСКФ-2015

ПРЕДВАРИТЕЛЬНАЯ ПРОГРАММА VI МОСКОВСКОГО СУПЕРКОМПЬЮТЕРНОГО ФОРУМА

29.10.15		РЕГИСТРАЦИЯ УЧАСТНИКОВ. КОФЕ-БРЕЙК	
8:30	9:00		
ПЛЕНАРНАЯ СЕССИЯ			
9:00	9:20	Начало активной фазы создания эксафлопсных суперкомпьютеров и вопросы развития отечественных технологий	Эйсымонт Л.К., <i>к.ф.-м.н.</i> , «НИИ «Квант»
9:20	9:40	Сверхпроводниковая элементная база и современное состояние развития криогенных суперкомпьютеров	Гудков А.Л., <i>к.ф.-м.н.</i> , НИИФП им. Ф.В. Лукина
9:40	10:00	Сверхпроводящая электроника для цифровых и квантовых компьютеров	Рязанов В.В., <i>д.ф.-м.н.</i> , Институт физики твердого тела РАН
10:00	10:20	Архитектуры для высокопроизводительных СУБД	Кузнецов С.Д., <i>д.т.н.</i> , ИСП РАН
10:20	10:40	Комплексное оценочное тестирование вычислительного кластера на базе российской коммуникационной сети «Ангара»	Симонов А.С., <i>к.т.н.</i> , Семенов А.С., <i>к.т.н.</i> , «НИЦЭВТ»
10:40	11:00	Применение СПО для решения на высокопроизводительных системах задач гидроаэромеханики	Аветисян А.И., <i>д.ф.-м.н.</i> , Крапошин М.В., Стрижак С.В., <i>к.т.н.</i> , ИСП РАН
11:00	11:20	Приветствие от федеральных ведомств	Чукалин И.В., советник Министра связи и массовых коммуникаций РФ Юртаев А.С., Начальник отдела инновационного развития, Департамента социального развития и инноваций, Министерство экономического развития РФ
11:15	11:40	КОФЕ-БРЕЙК	
11:40	12:00	Платформа обеспечения технологической независимости	Волконский В.Ю., <i>к.т.н.</i> , Ким А.К., <i>к.т.н.</i> , Груздов Ф.А., <i>к.т.н.</i> , Нейман-заде М.И., <i>к.ф.-м.-н.</i> , Семенихин С.В., <i>д.т.н.</i> , Фельдман В.М., <i>д.т.н.</i> , ИНЭУМ им. И.С.Брука
12:00	12:20	Высокопроизводительные решения для инновационных отраслей национальной экономики	Горбас С.А., Lenovo
12:20	12:40	Высокоплотные и энергоэффективные решения для высокопроизводительных вычислений	Московский А.А., « РСК Технологии », группа компаний РСК

12:40	13:00	Новое ядро процессора обработки сигналов NMC4 семейства NeuroMatrix	Черников В.М., <i>к.т.н.</i> , Вискне П.Е., Шелухин А.М., Черников А.В., «НТЦ «Модуль»
13:00	13:20	Архитектура и технологическая платформа для создания решений класса Exascale	Местер Н.С., Intel
13:20	13:40	Арифметические сопроцессоры микропроцессоров с архитектурой КОМДИВ	Бобков С.Г., <i>д.т.н.</i> , Аряшев С.И., <i>к.т.н.</i> , Зубковский П.С., НИИСИ РАН
13:40	14:00	Проблемы создания перспективных информационно-управляющих систем специального назначения	Горелкин Г.А., <i>к.т.н.</i> , Коротков С.В., <i>к.т.н.</i> , «Концерн «Системпром»
14:00	14:20	Распределение влияния участников в больших сетях	Алескеров Ф.Т., <i>д.т.н.</i> , НИУ ВШЭ, ИПУ РАН
14:20	15:00	ОБЕД	
СЕКЦИЯ. ОПЫТ РЕШЕНИЯ БОЛЬШИХ ИНФОРМАЦИОННЫХ И ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ ЗАДАЧ			
15:00	15:15	Моделирование аэродинамики и аэроакустики винта вертолета	Бобков В.Г., Абалакин И.В., <i>к.ф.-м.н.</i> , Бахвалов П.А., <i>к.ф.-м.н.</i> , Козубская Т.К., <i>д.ф.-м.н.</i> , ИПМ РАН
15:15	15:30	Высокопроизводительные вычисления в инфраструктуре Больших Данных	Мальцева С.В., <i>д.т.н.</i> , НИУ ВШЭ
15:30	15:45	Вычислительные методы для решения задач машинного обучения на больших объемах данных	Фигурнов М.В., Сколковский институт науки и технологий, Ветров Д.П., <i>к.ф.-м.н.</i> , Сколковский институт науки и технологий, НИУ ВШЭ
15:45	16:00	Платформа экономики знаний	Зеленков Ю.А., <i>д.т.н.</i> , Финансовый университет при Правительстве РФ
16:00	16:15	Высокопроизводительные системы в задачах прогнозирования научно-технологического развития	Соколов А.В., <i>к.ф.-м.н.</i> , НИУ ВШЭ
16:15	16:30	Интеграция параллельных и распределенных вычислений для решения масштабных задач	Климентов А.А., <i>к.ф.-м.н.</i> , Брукхэвенская Национальная Лаборатория, РНЦ «Курчатовский институт», Кореньков В.В., <i>д.т.н.</i> , ОИЯИ, Велихов В.Е., <i>к.ф.-м.н.</i> , РНЦ «Курчатовский институт»
16:30	16:45	Инструменты компьютерного моделирования для оценки эффективности функционирования транспортных систем	Кулаков А.В., НИУ ВШЭ
16:45	17:00	Суперкомпьютерное моделирование задач нанотехнологий методами молекулярной динамики	Поляков С.В., <i>д.ф.-м.н.</i> , Подрыга В.О., <i>к.ф.-м.н.</i> , Пузырьков Д.В., Кудряшова Т.А., <i>к.ф.-м.н.</i> , ИПМ РАН

17:00	17:15	Методы машинного обучения в системах хранения Большого адронного коллайдера	Гущин М.И., Устюжанин А.Е., к.ф.-м.н., «Яндекс», МФТИ
СЕКЦИЯ. ЭКОСИСТЕМА ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ			
15:00	15:15	Опыт создания жидкостного охлаждения для высокопроизводительных реконфигурируемых вычислителей на основе ПЛИС	Жирков А.А., «ПроСофт»
15:15	15:30	Космическая медицина для оценки и прогноза состояния здоровья человека	Берсенева Е.Ю., к.б.н., ГНЦ РФ Институт медико-биологических проблем РАН, МФТИ
15:30	15:45	Высокопроизводительные комплексы для решения задач сохранения и поддержания здоровья в программах персональной медицины	Прозоров А.А., МФТИ, ИЦКМ ИМБП РАН
15:45	16:00	Петафлопсный ЦОД «Политехнический»: опыт создания и особенности эксплуатации	Заборовский В.С., д.т.н., Болдырев Ю.Я., д.т.н., Боровков А.И., к.т.н., Осадчий А.И., д.т.н., СПбГТУ
16:00	16:15	Би-СКВИД с пи-контактом для адиабатических и квантовых вычислений	Кленов Н.В., к.ф.-м.н., Соловьев И.И., к.ф.-м.н., НИИФП им. Ф.В. Лукина
16:15	16:30	Сервисы виртуальной проблемно-ориентированной веб-лаборатории	Самоваров О.И., ИСП РАН
16:30	16:45	Грид для Большого адронного коллайдера и центры уровня Tier1 для обеспечения мегапроектов	Велихов В.Е., к.ф.-м.н., РНЦ «Курчатовский институт», Кореньков В.В., д.т.н., ОИЯИ
16:45	17:00	Магистрат по технологиям Больших Данных: программа, опыт и проблемы	Крылов В.В., д.т.н., НГТУ им. Р.Е.Алексеева
17:00	17:15	Отечественная защищенная операционная система для супер-ЭВМ	Петрик А.Н., ИТМФ «РФЯЦ-ВНИИЭФ»
17:15	18:00	Круглый стол. Какие микропроцессоры нужны России? Ведущие: Корнеев В.В., Эйсымонт Л.К., «НИИ «Квант» Участники: Павел Вискне, НТЦ "Модуль"; Константин Трушкин, МЦСТ; Сергей Аряшев, НИИСИ РАН; Александр Семенов, НИЦЭВТ; Александр Исаев, Фонд Перспективных Исследований	
14:45	17:00	СТЕНДОВЫЕ ДОКЛАДЫ	
		HPGAS: опыт эмуляции массово-мультитредовых систем на многоядерных кластерных суперкомпьютерах	Андрюшин Д.В., Зайцев А.В., Биконов Д.В., «НИИ «Квант»
		Специализированные суперкомпьютерные микропроцессоры	Кузьминский М.Б., к.х.н., ИОХ РАН
		Вычисляемый интеллект мультиагентных систем в Интернете вещей	Заборовский В.С., д.т.н., Лукашин А.А., к.т.н., СПбГТУ, Мулюха В.А., к.т.н., ЦНИИ РТК

		Результаты оценочного тестирования макета мультитредового процессора с глобально адресуемой памятью	Симонов А.С., <i>к.т.н.</i> , Семенов А.С., <i>к.т.н.</i> , Кабыкин В.К, Фролов А.С., Соколов А.А., Мошкин Д.В., Бобков В.С., Курочкин К.А., Артемов А.С., Долженков И.И., Садчиков А.С., "НИЦЭВТ"
		Крупномасштабное моделирование турбулентных течений возле каверн на неструктурированных сетках	Дубень А.П., <i>к.ф.-м.н.</i> , Козубская Т.К., <i>д.ф.-м.н.</i> , Жданова Н.С., <i>к.ф.-м.н.</i> , Абалакин И.В., <i>к.ф.-м.н.</i> , ИПМ РАН, Даньков Б.Н., ЦНИИМаш
		Новый подход к отображению исследуемой задачи по ее профилю работы с памятью на АРЕХ-поверхность	Андрюшин Д.В., Биконов Д.В, «НИИ «Квант»
		Организация и визуальное представление параллельных решений задач оптимизационного анализа и параметрических исследований в вычислительной газовой динамике	Бондарев А.Е., <i>к.ф.-м.н.</i> , Галактионов В.А., <i>д.ф.-м.н.</i> , ИПМ РАН
		Цифровая трансформация промышленности	Мойсейчик Г.И., <i>к.э.н.</i> , Национальный банк республики Беларусь
		Импортозамещение параллелизма	Любченко В.С., ИПУ РАН
		Перенос параллельных программ с сохранением эффективности	Штейнберг Б.Я., <i>д.т.н.</i> , Абу-Халил Ж.М., Гуда С.А., <i>к.ф.-м.н.</i> , ЮФУ
		GRID обработки результатов квантовохимических суперкомпьютерных расчетов	Аникин Н.А., <i>к.х.н.</i> , Мускатин А.Ю., ИОХ РАН
		Применение сопроцессоров Xeon Phi для работы с потоковыми фонограммами	Цымблер М.Л., <i>к.ф.-м. н.</i> , Южно-Уральский Государственный Университет
18:00	18:30	НЕОФИЦИАЛЬНОЕ ОБЩЕНИЕ. ФУРШЕТ	
30.10.15		РЕГИСТРАЦИЯ УЧАСТНИКОВ	
9:00	9:30		
9:30	10:00	Объединенная группа экспертов — сообщество специалистов в области СКТ: цели и задачи	Шамсутдинов Ю.А., <i>к.т.н.</i> , Юркевичус С.П., <i>к.т.н.</i> , НИИ РИНКЦЭ
10:00	11:00	Молодежная школа Объединенной группы экспертов: <ul style="list-style-type: none"> • Результаты тестирования производительности и энергопотребления при решении научно-технических и информационных задач; • Архитектуры высокопроизводительных систем; • Утверждение плана работ на текущий учебный год. 	Представители РИНКЦЭ, «НИИ «Квант», МГУ, МИФИ, ИПМ РАН
11:00	12:00	Заседание рабочих групп МСКФ	

Организационный комитет:

Иванников В.П.	академик РАН, директор ИСП РАН, председатель оргкомитета
Волков Д.В.	с.н.с. ИПМ им. М. В. Келдыша РАН, гл. редактор журнала «Открытые системы.СУБД», зам. председателя оргкомитета
Алескеров Ф.Т.	д.т.н., руководитель департамента математики факультета экономики, НИУ ВШЭ
Аветисян А.И.	д.ф.-м.н., ИСП РАН
Бетелин В.Б.	академик РАН, директор НИИСИ РАН
Бахтурин Г. И.	директор ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ
Кореньков В.В.	д.т.н., директор ЛИТ ОИЯИ
Левин В.К.	академик РАН, научный руководитель ФГУП «НИИ «Квант»
Федоров А. Р.	к.т.н., директор ООО «ИТ-экспо»
Четверушкин Б.Н.	академик РАН, член президиума РАН, директор ИПМ им. М.В. Келдыша РАН

Программный комитет:

Эйсымонт Л.К.	к.ф.-м.н., ФГУП «НИИ «Квант», председатель программного комитета
Булнина Е.И.	д.ф.-м.н., директор отделения computer science Школы анализа данных «Яндекс»
Волконский В.Ю.	к.т.н., ОАО «ИНЭУМ им. И.С. Брука»
Горбунов В.С.	к.т.н., зам. директора ФГУП «НИИ “Квант”»
Волконский В.Ю.	к.т.н., ОАО «ИНЭУМ им. И. С. Брука»
Гудков А.Л.	к.ф.-м.н., директор ФГУП НИИФП им. Ф.В. Лукина
Дубова Н.А.	научный редактор журнала, «Открытые системы»
Изгалин С.П.	к.т.н., зам. директора ОАО «НИЦЭВТ», АО «Концерн «Вега», АО «ОПК»
Корнеев В.В.	д.т.н., зам. директора по науке ФГУП «НИИ «Квант»
Кузьминский М.Б.	к.х.н., зам. зав. лаб. ИОХ РАН
Савин Г.И.	академик РАН, директор МСЦ РАН
Соловьев В.П.	д.ф.-м.н., первый зам. директора ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», директор ИТМФ
Стемпковский А.Л.	академик РАН, директор Института проблем проектирования в микроэлектронике (ИППМ)
Сухомлин В.А.	д.т.н., профессор ВМК МГУ им. М.В.Ломоносова
Топорков В.В.	д.т.н., зав. кафедрой НИУ МЭИ
Христов П.В.	к.ф.-м.н., вице-президент ООО «Открытые системы»
Шагалиев Р.М.	д.ф.-м.н., первый зам. директора ИТМФ «РФЯЦ-ВНИИЭФ»
Якобовский М.В.	д.ф.-м.н., зав. сектором ИПМ им. М.В. Келдыша РАН

Пленарная сессия.

Текущее состояние и перспективы суперкомпьютерных архитектур

Начало активной фазы создания экзафлопсных суперкомпьютеров и вопросы развития отечественных технологий

Эйсымонт Л.К., «НИИ «Квант»

В 2014 году в США был уточнен календарный план разработки эволюционных (после 2018 года) и инновационных (после 2022 года) образцов экзафлопсных суперкомпьютеров, предназначенных для научно-технических расчетов в подразделениях Министерства энергетики США (DoE). На уровне президента США был озвучен, подготовленный DoE список десяти технологических проблем, которые должны быть преодолены в процессе создания такой высокопроизводительной техники, особенно в инновационных образцах.

В 2015 году в США был дан старт активной фазе разработки экзафлопсных суперкомпьютеров в форме Национальной стратегической компьютерной инициативы: 29 июля было выпущено распоряжение президента начать работы по созданию до середины следующего десятилетия суперкомпьютеров с реальной производительностью в 1 экзафлопс и памятью около 1 экзабайта для решения важнейших научно-технических задач и обработки больших объемов данных. К ноябрю 2015 года ведомствам США предстоит разработать и представить конкретные планы работ. В данном документе обращают на себя внимание две особенности. Первое – области приложений основных потребителей такой техники, Министерства энергетики США и Министерства обороны США (DoD), были определены соответственно как научно-технические расчеты и обработка Больших Данных. Второе – ответственность по фундаментальным исследованиям, а значит, и за прорывные суперкомпьютерные технологии, возложена на Управление перспективных исследований США (IARPA) и Институт стандартов США (NIST, в части тестирования). По мнению ряда зарубежных экспертов, это означает, что экзафлопсные суперкомпьютеры будут, по крайней мере, двух типов, причем особые усилия будут приложены к созданию суперкомпьютеров DoD, вплоть до применения в них технологий постмуровской эры.

Проектирование прототипа экзафлопсного суперкомпьютера начнется в 2016 году, до этого велись соответствующие проблематике программы исследований и разработок тестовых экземпляров, подготовки элементно-конструкторской базы (ЭКБ). Текущее состояние ЭКБ суперкомпьютеров США можно оценить по двум мегапроектам транспетафлопсных систем для Окриджской лаборатории (проекты Summit и Sierra, 150 PFLOPS, элементная база IBM – Power 8 и GPU Nvidia Volta, сеть Infiniband) и для Аргонской лаборатории (проект Aurora, 180 PFLOPS, Intel Xeon Knight Landing и сеть Intel OmniPath).

В докладе приводятся основные характеристики современной зарубежной ЭКБ для суперкомпьютеров, дается сравнение с имеющейся отечественной ЭКБ и формулируются предложения по преодолению отставания. На основе зарубежных материалов делается прогноз развития зарубежной ЭКБ до 2030 года.

Особое внимание в докладе уделено десятке основных технологических проблем создания экзафлопсного суперкомпьютера и двум темам. Во-первых, объясняется возникшая серьезная проблема «темного» кремния, которая связана с современными последствиями прекращения действия закона Деннарда еще в 2005 году, за счет которого до этого времени

происходило улучшение быстродействия СБИС и слабое изменение выделяемой ими энергии при масштабировании транзисторов в СБИС по закону Мура. После 2005 года прекращение действия закона Деннарда компенсировалось увеличением на СБИС количества процессорных ядер. Этот процесс в настоящее время привел к тому, что если не принимать соответствующих мер, то в ближайшем будущем, в силу невозможности экономически выгодного теплоотвода энергии со СБИС, одновременная работа всех процессорных ядер СБИС окажется невозможной.

Во-вторых, рассмотрена проблема организации модулей памяти и их энергопотребления. В связи с этим оцениваются достоинства 3D-модулей памяти и их усовершенствование по энергетике в соответствии с программой DARPA POEM, а также расширение их функциональных возможностей за счет реализации в них ускорителей памяти в виде встроенных в 3D-модули памяти процессоров (PIM-ядра).

Доклад содержит предложения по активизации разработок в области проблемно-ориентированных микросхем отечественного производства, способных сократить разрыв по характеристикам и архитектуре отечественной и зарубежной ЭКБ, причем с учетом имеющихся технологических проблем и преимуществ технологий постмуровской эры.

Сверхпроводниковая элементная база и современное состояние развития криогенных суперкомпьютеров

Гудков А.Л., НИИФП им. Ф.В. Лукина

Развитие технологий сверхпроводниковой электроники открыло новый путь решения проблем, возникших в полупроводниковой вычислительной технике при обработке огромного и возрастающего потока данных. Кроме невероятной потребляемой мощности современных полупроводниковых суперкомпьютеров существует много сложных проблем, которые не могут быть решены стандартными вычислителями.

Сверхпроводниковая элементная база позволяет в полной мере использовать квантовые эффекты для создания современного быстродействующего и энергоэффективного вычислителя: развитые схмотехнические подходы быстрой однокубитовой логики (БОК) позволяют на шесть порядков снизить энергопотребление и практически достичь предела Ландауэра ($E_{\min} = k_B T \ln 2$) по энергозатратам на одну логическую операцию. На основе БОК-логики уже реализованы процессоры для выполнения сверхбыстрых арифметических действий над много-разрядными числами с плавающей запятой и созданы практические схемы и устройства (ЦАП, АЦП и т. п. от компании HYPRES). Основой схем БОК-логики являются джозефсоновские переходы [1] и развитая многослойная ниобиевая технология [2]. В США действует национальная программа СЗ (Cryogenic Computing Complexity, IARPA), задачей которой является не столько создание сверхпроводникового вычислителя, сколько разработка и предложение приемлемой архитектуры для производства сверхпроводниковых суперкомпьютеров.

Переход к наноразмерам позволил реализовать сверхпроводниковую элементную базу квантового вычислителя на основе кубитовой техники. Недостижимый для полупроводниковых суперкомпьютеров параллелизм обработки информации возрастает экспоненциально с увеличением числа кубитов. Кроме первых квантовых алгоритмов Дойча, Шора и Гровера, сегодня уже имеются десятки эффективных квантовых алгоритмов для решения многих важных практических задач. Разработаны логические квантовые вентили, включая универсальный квантовый вентиль, выполняющий операцию CNOT. Так, например, с помощью вентилей Тоффли можно реализовать любую классическую логическую операцию. Полностью разработаны технические требования для создания практического квантового процессора.

Кроме того, для поддержания когерентного состояния квантового процессора в ходе выполнения операций уже найдены и детально разработаны эффективные методы кодирования, диагностики отклонений и их квантовой коррекции. Таким образом, для квантового процессора на основе сверхпроводящих кубитов уже имеются не только методы записи и считывания из них квантовой информации, но и эффективные методы реализации над ними функционально полного набора квантовых логических операций.

Квантовый процессор в сочетании с периферийным управляющим процессором на основе БОК-логики позволяет создать полноценный квантовый суперкомпьютер, первым из которых стал D-wave, в котором в качестве одной из наиболее перспективных идей был реализован так называемый «квантовый алгоритм адиабатической эволюции», также известный как «квантовый отжиг». В настоящее время компания D-wave создает вариант квантового компьютера на основе 1024 кубита.

Литература

1. Гудков А.Л. Джозефсоновские переходы: электрофизические свойства, области применения и перспективы развития. *Электроника: Наука, Технология, Бизнес.* № 137 (Спецвыпуск). 2014. С. 65-80.
2. Tolpygo S.K., V. Bolkhovskiy, T.J.Weir, A.Wynn, D.E.Oates, L.M. Johnson, and M.A. Gouker. *Advanced Fabrication Processes for Superconducting Very Large Scale Integrated Circuits. Presented at the 12th European Conference on Applied Superconductivity EUCAS 2015, 6th-10th September 2015, Lyon, France, 2A-E-01.1*

Сверхпроводящая электроника для цифровых и квантовых компьютеров

Рязанов В.В., ИФТТ РАН

Использование сверхпроводников дает возможность реализовывать принципиально более быстрые и энергоэффективные электронные схемы, чем в полупроводниковой электронике. Сверхпроводниковая электроника, основанная на джозефсоновских (туннельных) переходах – это уже существующие и перспективные аналоговые и цифровые устройства, работающие в частотном интервале от сотен гигагерц до нескольких терагерц. При использовании субмикронных джозефсоновских структур в когерентных квантовых системах (сверхпроводящих кубитах) уже получены многообещающие результаты, обзору которых посвящен доклад. Кроме этого, в докладе обсуждаются перспективы и проблемы сверхпроводниковой электроники в целом и предлагаются решения проблем реализации эффективной джозефсоновской памяти, позволяющей уменьшить размеры базовых ячеек благодаря разработанным новым гибридным структурам.

Архитектуры для высокопроизводительных СУБД

Кузнецов С.Д., ИСП РАН

У разработчиков СУБД всегда был соблазн найти компьютерную аппаратуру, способную обеспечить эффективную работу СУБД без вмешательства программистов; например, в середине 1980-х такая неудачная попытка была сделана в японском проекте компьютеров пятого поколения. В 1990-е годы стало модным применение appliance – аппаратных добавок к СУБД,

призванных повысить эффективность, однако жизнеспособной оказалась только архитектура Real Application Clusters, хотя многие специалисты и пользователи сомневаются и в ее целесообразности. В 2002 году Джим Грей высказал мнение о том, что пока для хранения данных используются магнитные диски с подвижными головками, никакие аппаратные усовершенствования не помогут существенно поднять производительность СУБД.

В докладе обсуждается влияние массивно-мультитредовых архитектур и энергонезависимой основной памяти на производительность СУБД класса in-memory, а также влияние отказа от традиционных дисков и полного перехода на флеш-массивы на производительность СУБД с хранением данных во внешней памяти.

Комплексное оценочное тестирование вычислительного кластера на базе российской коммуникационной сети «Ангара»

Симонов А.С., Семенов А.С., НИЦЭВТ

В современных высокопроизводительных вычислительных системах, состоящих из большого числа узлов, производительность при решении задач с интенсивным обменом данными и эффективность работы системы в целом в значительной мере зависит от коммуникационной сети. Применение коммерчески доступных решений (Infiniband, Ethernet) не всегда обеспечивает необходимую масштабируемость производительности, поэтому в суперкомпьютерах, как правило, используются заказные коммуникационные сети, недоступные для приобретения на открытом рынке, но обеспечивающие высокие характеристики производительности. В НИЦЭВТ разработана специализированная российская СБИС высокоскоростной коммуникационной сети «Ангара» с топологией 4D-тор (и сетевое оборудование на ее основе), близкая по своим характеристикам к заказным коммуникационным сетям современных суперкомпьютеров.

В докладе рассматриваются результаты сравнительного оценочного тестирования 36-узлового вычислительного кластера, оснащенного адаптерами коммуникационной сети «Ангара» и коммутатором сети Infiniband FDR.

Применение СПО для решения на высокопроизводительных системах задач гидроаэромеханики

Аветисян А.И., Крапошин М.В., Стрижак С.В., ИСП РАН

Все большую популярность в индустриальной среде сегодня завоевывают открытые пакеты, и примером успешного внедрения СПО (свободного ПО) для решения сверхбольших задач могут служить такие известные зарубежные компании, как Audi, BMW, BASF, General Electric, Siemens Power Generation и другие. В течение последних пяти лет в ИСП РАН проводится работа по внедрению СПО для решения задач гидроаэромеханики и наиболее интенсивно используется программный стек Salome-OpenFOAM-Paraview, позволяющий решать фундаментальные и прикладные задачи с использованием суперкомпьютеров. В качестве демонстрации возможности применения СПО можно привести примеры решения задач в области моделирования космической техники (обтекание летательного аппарата, расчет истечения сжимаемой струи из сопла по экспериментам NASA), судостроения (качка танкера на водной поверхности), энергомашиностроения (газодинамика вращения центробежного компрессора), а также фундаментальных задач (неустойчивость Релея-Тейлора, движение волнового аттрактора, обтекание цилиндра-профиля крыла).

Вместе с инженерным направлением в ИСП РАН в рамках веб-лаборатории UniHUB развивается направление разработки прикладного программного обеспечения, например библиотеки libAcoustics для исследования акустических явлений и гибридной численной модели KT/PISO моделирования сжимаемых течений – pisoCentralFoam. Выполняются работы по оптимизации производительности комплексных сопряженных моделей на вычислительном кластере: исследовались модели с сеткой в 15 млн расчетных ячеек с одновременной загрузкой до 512 ядер. Ведется интеграция других расчетных пакетов: nek5000 (метод спектральных элементов), HiFiLES (разрывный метод Галеркина), Kratos (метод конечных элементов с частицами). Важной составляющей успешного опыта использования СПО является интеграция в сообщество Open Source специалистов в прикладных областях и научно-образовательная деятельность. Для решения данной задачи в ИСП РАН разработаны и проводятся учебные курсы в рамках тематической веб-лаборатории UniHUB. Занятия проводятся с использованием суперкомпьютеров ИСП РАН и МГУ. Ведутся также тематические работы совместно с отечественными научными организациями и промышленными предприятиями.

Платформа обеспечения технологической независимости

Ким А.К., Волконский В.Ю., Груздов Ф.А., Нейман-заде М.И., Семенухин С.В., Фельдман В.М., ИНЭУМ им. И.С. Брука

В докладе рассматривается аппаратно-программная платформа «Эльбрус» на базе российских микропроцессоров и отечественного ПО. Почему эту платформу можно рассматривать как платформу обеспечения технологической независимости?

Микропроцессоры разрабатываются в России: создана собственная архитектура микропроцессора, поддержанная 9 российскими и 42 американскими патентами; логическое и физическое проектирование микропроцессора ведется в России. Изготовление микропроцессоров первоначально выполняется за рубежом, на фабрике TSMC, а затем процессоры изготавливаются в России (завод «Микрон»). Благодаря архитектурным особенностям платформа «Эльбрус» позволяет достигать высокой логической скорости исполнения программ, особенно для приложений, интенсивно использующих численные алгоритмы. Тактовые частоты микропроцессоров также постоянно повышаются, что делает вновь разрабатываемые микропроцессоры сопоставимыми по производительности с универсальными зарубежными микропроцессорами.

Большая часть общего и системного программного обеспечения данной платформы создано на основе свободного программного обеспечения и доработано до требований исполнения на аппаратуре «Эльбрус»: ядро операционной системы, совместимое с Linux; дистрибутив ОС и системные библиотеки; средства распараллеливания MPI, OpenMP; СУБД, кластерное ПО и др. Часть СПО разработана в России (оптимизирующие компиляторы с языков Си, C++, Fortran, Java, система начального старта, высокопроизводительные математические и мультимедийные библиотеки). Не имеющая аналогов в мире технология семантической защиты при исполнении программ позволяет создавать надежное ПО, облегчает отладку программ и обеспечивает защиту от компьютерных атак.

Разработана система переноса программ с существующих аппаратно-программных платформ на «Эльбрус». Дистрибутив ОС «Эльбрус» работает на платформе Intel, что облегчает перенос программ в исходных кодах. Кроме этого разработана технология полной двоичной совместимости с x86 и x86-64, что позволяет исполнять двоичные коды приложений и ОС на компьютерах с архитектурой «Эльбрус». Имеется практический опыт переноса больших прикладных программных систем работающих под управлением ОС Windows и Linux, с аппаратной

платформы Intel, на платформу «Эльбрус».

На базе микропроцессоров с архитектурой «Эльбрус» в России сегодня производятся автоматизированные рабочие места (однопроцессорные системы), серверы (компактные – четырех процессорные модули) и кластерные системы на базе четырехпроцессорных серверов (в стойке с помощью интерконнекта объединяются до 32 четырех процессорных серверных модулей).

Высокопроизводительные решения для инновационных отраслей национальной экономики

Горбас С.А., Lenovo

Развитие национальной экономики сильно зависит от возможности создавать инновационные или прорывные технологии, а также от наличия высококвалифицированных специалистов, способных эти технологии продвигать. Компания Lenovo готова предложить России высокопроизводительные решения, знания и опыт для создания передовых продуктов.

Высокоплотные и энергоэффективные решения для высокопроизводительных вычислений

Московский А.А., «РСК Технологии», группа компаний РСК

Новое ядро процессора обработки сигналов NMC4 семейства NeuroMatrix

Черников В.М., Виксне П.Е., Шелухин А.М., Черников А.В., НТЦ «Модуль»

Требование обработки потоков данных в реальном времени с производительностью, сравнимой с производительностью универсальных процессоров и энергопотреблением, характерным для встроенных систем, привело к созданию в НТЦ «Модуль» процессорных ядер архитектуры NeuroMatrix, обладающих следующими особенностями:

- векторно-конвейерный принцип выполнения операций, позволяющий одним потоком команд задавать большое количество параллельно выполняемых операций (динамический VLIW);
- использование внешних адресных генераторов, что обеспечивает эффективное использование адресных регистров ядра при адресации векторных данных;
- конвейер с очередью команд на ступени выборки операндов из памяти, обеспечивающий эффективную работу с банками внутренней и внешней памяти, имеющими различную глубину конвейера;
- выдача и прием данных на одной и той же ступени конвейера (Late Write), что резко снижает количество конфликтов по данным;
- использование команд, задающих несколько операций (статический VLIW).

Процессорное ядро NMC4 – это развитие архитектуры NeuroMatrix, основным отличием которой является:

- наличие одного или нескольких векторных сопроцессоров, работающих под управлением одного RISC-процессора и имеющих свои шины ввода/вывода данных;
- использования как векторного сопроцессора с целочисленной арифметикой, так и сопроцессора арифметики с плавающей запятой (до 32 операций одинарной точности или до 8 операций двойной точности за такт);
- глубокий конвейер, позволяющий получить рабочие частоты до 500 МГц на технологии 65 нм и до 1 ГГц на технологии 28 нм.

На базе процессорного ядра NMC4 в НТЦ «Модуль» завершается разработка двухъядерного процессора NM6407 с поддержкой как целочисленной арифметики, так и арифметики с плавающей запятой. Следующие характеристики дают представление об особенностях архитектуры и производительности процессора NM6407.

- Формат обрабатываемых данных – 32-разрядные скалярные данные, а также вектор данных в формате с фиксированной запятой программируемой разрядности от 1 до 64 разрядов, упакованные в 64-разрядные слова; вектор 32-разрядных данных в формате с плавающей запятой, упакованные в 64-разрядные слова (одинарная точность); 64-разрядные данные в формате с плавающей запятой (двойная точность).
- Единый поток команд для задания векторных и скалярных операций, операций ввода/вывода.
- Многотактные векторные команды, одновременное выполнение до восьми операций ввода/вывода за один процессорный такт.
- Производительность для данных в формате с фиксированной запятой (количество операций «умножение с накоплением», выполняемых за один такт): 2 MAC для 32-разрядных данных, 4 MAC для 16-разрядных данных, 24 MAC для 8-разрядных данных, 80 MAC для 4-разрядных данных, 224 MAC для 2-разрядных данных.
- Производительность для 32-разрядных данных в формате с плавающей запятой – 32 FLOPS за такт.
- Производительность для 64-разрядных данных в формате с плавающей запятой двойной точности – 8 FLOPS за такт.
- Общий объем внутренней статической памяти – 16 Мбит.
- Встроенные системные интеграторы, обеспечивающие доступ процессорных ядер к внутренней и внешней памяти.
- Параллельный 32-разрядный интерфейс с внешней памятью типа DDR2 400 МГц.
- Четыре высокоскоростных байтовых коммуникационных порта с пропускной способностью не менее 125 Мбайт/с каждый.
- Интерфейс USB, интерфейс SPI с четырьмя сигналами выборки кристалла, восемь последовательных портов ввода/вывода общего назначения.
- Технология изготовления – 65 нм КМОП и тактовая частота – до 500 МГц.

В дальнейшем предполагается построение на базе NMC4 многоядерного процессора, состоящего из четырех кластеров, содержащих управляющий процессор ARM Cortex-A5 и 4 ядра NMC4. На технологии КМОП 28 нм предполагается достичь частоты 1 гигагерц и пиковую производительности до 512 GFLOPS одинарной точности.

Архитектура и технологическая платформа для создания решений класса Exascale

Местер Н.С., Intel

Арифметические сопроцессоры микропроцессоров с архитектурой КОМДИВ

Бобков С.Г., Аряшев С.И., Зубковский П.С., НИИСИ РАН

НИИСИ РАН специализируется на разработке микропроцессоров, вычислительных модулей и систем для решения задач управления и выполнения встраиваемых приложений, функционирующих в жестких условиях эксплуатации и требующих высокой производительности. Кроме высокой производительности требуется высокая надежность, что приводит к ограничениям технологических норм и повышению доверенности. Все это в результате требует создания собственных микросхем, однако технологические нормы ведут к ограничению тактовой частоты и количества вычислительных ядер. Таким образом, для повышения производительности микропроцессоров требуются специализированные сопроцессоры, ориентированные на решение заданного типа задач. В НИИСИ РАН разработан два поколения 64-разрядных микропроцессоров с архитектурой КОМДИВ и специализированными сопроцессорами.

Микропроцессоры 1890ВМ6Я и 1890ВМ7Я изготовлены по технологии 180 нм, имеют тактовую частоту 200 и 270 МГц и реализованы на кристалле со встроенными контроллерами памяти, интерфейсов и высокоскоростных каналов RapidIO. Применяемая технология и низкая тактовая частота требуют для решения задач обработки сигналов наличия специализированных сопроцессоров. В микропроцессоре 1890ВМ7Я имеется SIMD-сoproцессор, содержащий четыре секции, каждая из которых может выполнять до 10 вещественных операций одинарной точности на задачах комплексного преобразования Фурье, что обеспечивает пиковую производительность 8 GFLOPS. Микропроцессор 1890ВМ6Я содержит двухсекционный сопроцессор, выполняющий специальные сложные инструкции в общем потоке с пиковой производительностью 5,4 GFLOPS на операциях с одинарной точностью.

В НИИСИ РАН завершаются работы по созданию следующего поколения микропроцессоров: 1890ВМ8Я – двухъядерное развитие микропроцессора 1890ВМ6Я; 1890ВМ9Я – двухъядерное развитие микропроцессора 1890ВМ7Я. Оба микропроцессора изготовлены по технологии 65нм, имеют по два ядра и тактовую частоту 800 МГц. Микропроцессор 1890ВМ9Я содержит два сопроцессора, идентичные сопроцессорам микропроцессора 1890ВМ7Я, а в каждое ядро микропроцессора 1890ВМ8Я встроен векторный сопроцессор, оптимизированный для выполнения задач линейной алгебры и обработки сигналов. Векторный сопроцессор позволяет выполнять операции одинарной и двойной точности над векторами шириной 128 разрядов и выполнять загрузку двух 128-разрядных регистров.

В докладе, наряду с описанием характеристик микропроцессоров с архитектурой КОМДИВ, приводятся результаты исследования производительности векторного сопроцессора на задачах линейной алгебры и цифровой обработки сигналов.

Проблемы создания перспективных информационно-управляющих систем специального назначения

Горелкин Г.А., Коротков С.В., «Концерн «Системпром»

Информационно-управляющие системы специального назначения (ИУС СН) образуют большое семейство, в котором можно выделить подгруппы систем, отличающихся, например, по варианту базирования, режимам использования, масштабностью и типам решаемых задач. Однако общим является то, что требования к любой из таких систем всегда изна-

чально согласуются с возможностями аппаратных платформ, на которых их предполагается реализовывать. При этом часто оказывается, что требования к ИУС СН превосходят возможности существующих или создаваемых платформ, что в конечном итоге влияет на снижение требований. Очевидно, что целесообразна разработка аппаратных платформ с опережением, однако возникает вопрос, каким образом формулировать требования к ним.

В силу специфики ИУС СН требования к разрабатываемому оборудованию не всегда могут формулироваться с раскрытием особенностей решаемых задач, поэтому задача ставится в некотором инвариантном виде, например в виде набора оценочных тестовых задач, имеющих желаемые характеристики. Обычно выделяются задачи-бенчмарки (алгоритмы решения типичных модельных задач) или задачи-стрессмарки (базовые алгоритмы и операции). Например, среди зарубежных наборов таких оценочных программ в области систем класса ИУС СН выделяют набор бенчмарков задач класса C3I (10 тестов), набор бенчмарков для встроенных систем HPEC Challenge (8 тестов), наборы DIS benchmark (5 тестов) и DIS stressmark (7 тестов) с интенсивной нерегулярной работой с памятью.

Тип решаемых задач в ИУС СН меняется со временем, и если еще недавно это были в основном, задачи обработки сигналов и изображений, то сегодня значительный вес приобрели задачи обработки Больших Данных или задачи DIS-класса, которые связаны как с обработкой интенсивных зашифрованных информационных потоков от множества сенсоров, так и с обработкой в режиме нерегулярного интенсивного доступа к массивам неоднородных данных в виде графов объемом в десятки и более петабайтов, находящихся в памяти, доступной через единое адресное пространство. Такие особенности, хотя и в меньших масштабах, становятся все более актуальными и для современных научно-технических расчетов. Об уровне важности задач такого типа говорит тот факт, что появился новый рейтинговый список Graph500 (на тесте поиска вширь в графе) и список HPCG (работа с разреженной матрицей), отражающие потребности современных информационных задач.

Задачи класса DIS или Больших Данных требуют новых аппаратных платформ на базе новых компонентов, построенных на новых микропроцессорах, сетевых средствах и модулях памяти. За рубежом уже появились образцы таких платформ коммерческого и заказного типа, однако активности отечественных предприятий в этом направлении пока нет. По-видимому, такие работы можно инициировать, предлагая отечественные наборы бенчмарков и стрессмарков, по аналогии с пакетами DIS benchmark и DIS stressmark, для аппаратных платформ, адекватных требованиям перспективных ИУС СН. Данные разработки могут стать частью технического задания на создание аппаратных платформ нового типа.

Распределение влияния участников в больших сетях

Алескеров Ф.Т., НИУ ВШЭ, ИПУ РАН

В докладе рассматривается применение процедур, используемых в теории выбора для анализа больших сетей, в частности для выделения ключевых (центральных) вершин и групп вершин. Приводятся алгебраические описания выделения ключевых множеств вершин, даются приближенные алгоритмы решения этой задачи.

Секция.

Опыт решения больших информационных и вычислительных задач

Моделирование аэродинамики и аэроакустики винта вертолета

Абалакин И.В., Бахвалов П.А., Бобков В.Г., Козубская Т.К., ИПП им. М.В.Келдыша РАН

В современном авиастроении все активнее применяются численные эксперименты, позволяющие сократить количество натурных экспериментов, что существенно удешевляет и ускоряет разработку летательных аппаратов (ЛА). Это тем более актуально сегодня, когда в связи с ужесточением требований к шуму и выбросам, производимым ЛА, увеличивается число необходимых экспериментов. В частности, исключительно актуальны исследования аэродинамических и акустических свойств винтов вертолета в различных режимах полета. При проведении подобных численных экспериментов задействуются мощности современных высокопроизводительных вычислительных систем, что продиктовано сложностью геометрических и математических моделей и требованиями к подробности расчетной сетки.

В докладе представлены результаты численного моделирования аэродинамических и акустических характеристик конструкций типа «винт в кольце» при отсутствии внешнего потока, что соответствует режиму зависания и модельного несущего винта при наличии внешнего потока. Для аэродинамических характеристик проводится в сравнении с экспериментальными данными. Мощность акустического излучения рассчитывается в дальнем поле течения, индуцированного вращением винта.

Для численного моделирования аэродинамических характеристик течения, создаваемого винтом, использовалась система уравнений Навье-Стокса. Все расчеты проводились на неструктурированных гибридных сетках с применением численных методов повышенной точности, построенных на основе схемы EBR (Edge-Based Reconstruction). Для выполнения расчетов использовались мощности МСЦ РАН (кластер МВС-10П), комплекс программ NOISEtte для параллельного режима при выполнении в пространстве от 200 до 480 вычислительных ядер с двухуровневым распараллеливанием MPI+OpenMP. Расчет одной конфигурации для фиксированного угла установки лопасти и фиксированной скорости вращения ротора занимал около суток.

Полученные в результате интегральные характеристики (коэффициенты силы тяги и крутящего момента винта) хорошо согласуются с экспериментальными данными.

Уровень шума в дальнем поле определялся с помощью интегрального метода FWH.

Работа проведена в ходе ПНИ «Разработка программного обеспечения для моделирования аэродинамических и аэроакустических характеристик винта вертолета на суперкомпьютерах» (проект RFMEFI60414X0092) ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технического комплекса России на 2014-2020 годы» Министерства образования и науки РФ.

Высокопроизводительные вычисления в инфраструктуре Больших Данных

Мальцева С.В., НИУ ВШЭ

Современная ИТ-инфраструктура предприятия включает много внешних компонентов: облака данных, открытые данные, данные социальных сетей, облачные платформы и сервисы. Большое количество обрабатываемых данных, их распределенный характер делают актуальными задачи распределения вычислений и повышения их производительности для обеспечения необходимой скорости принятия решений и снижения стоимости ИТ-инфраструктур.

Ориентация ИТ-инфраструктуры на работу с Большими Данными делает увеличение производительности вычислений одной из центральных задач. Новая аналитика, обеспечивающая возможности потоковой обработки разнородных данных в реальном времени, позволяет на новом уровне решать многие задачи предприятия, связанные с принятием стратегических решений, маркетинговой деятельностью, анализом рисков, взаимодействием с потребителем, управлением персоналом и др.

Формирование инфраструктуры Больших Данных – сложная задача, решение которой требует комплекса различных мер, среди которых обеспечение высокой производительности является ключевой для большинства применений.

Вычислительные методы для решения задач машинного обучения на больших объемах данных

Фигурнов М.В., Сколковский институт науки и технологий; Ветров Д.П., НИУ ВШЭ

В машинном обучении сейчас происходит революция, связанная с появлением новых методов обучения по большим объемам данных, распространением технологий сбора и хранения данных. Новое поколение нейронных сетей (глубинные сети) сделало возможным решение задач, традиционно считавшихся исключительно сложными: распознавание человеческой речи, понимание изображений, автоматический перевод текстов и др. Прорывы в машинном обучении были достигнуты благодаря применению новых методов оптимизации (стохастическая оптимизация) и реализации нейронных сетей на высокопроизводительных вычислителях (в частности, на видеокартах и кластерах). В современных нейронных сетях настройке по данным подвергаются десятки миллионов параметров, причем эксперименты показывают, что с увеличением их числа качество обучения возрастает, однако дальнейшее наращивание размеров нейронных сетей упирается в проблемы нехватки оперативной памяти для ее хранения и вычислительных ресурсов для ее обучения.

В докладе рассмотрены основные результаты, достигнутые на сегодняшний день в глубинном обучении, способы использования устройств для высокопроизводительных вычислений при обучении и применении нейронных сетей, а также ряд возможных путей дальнейшего наращивания размеров нейронных сетей.

Платформа экономики знаний

Зеленков Ю.А., Финансовый университет при Правительстве РФ

В развитых странах начался переход от производства, ориентированного на массовый спрос, к новой экономике, которая характеризуется удовлетворением индивидуальных потребностей, преобладанием сферы услуг и превращением производства в услугу, а также появлением компаний, основные ресурсы которых не имеют материальной формы. В новых экономических условиях единственным имеющим значение ресурсом становится знание – знание потребностей потребителя и знание о том, как построить эффективную партнерскую сеть, знание последних достижений науки и знания о том, как реализовать их в продуктах и технологиях. Компании, опирающиеся на традиционные факторы производства – капитал, дешевый труд и природные ресурсы, вытесняются на экономическую периферию.

Основным драйвером перехода к экономике знаний являются ИТ в целом и высокопроизводительные вычислительные системы в частности. Суперкомпьютеры трансформируют процессы проектирования и производства, оказывая существенное влияние на процесс потребления. Однако роль высокопроизводительных вычислительных систем в формировании экономики знаний значительно шире, чем простая замена натурального эксперимента вычислениями.

Среди основных направлений развития можно отметить:

- Анализ предпочтений потребителей, выделение кластеров экономических агентов с устойчивыми моделями поведения, обнаружение слабых сигналов, свидетельствующих о начале изменений в окружающей среде, поиск корреляций между различными потоками событий и т.д. Эти виды активности сводятся к поиску закономерностей в неструктурированных наборах данных и объединяются под общим термином Большие Данные. Все это ведет к тому, что данные приобретают определенную ценность и становятся товаром.
- Самоорганизация потребителей и владельцев производственных ресурсов на основе сетевых платформ облачного производства. Данное направление должно обеспечить создание виртуальных конструкторских бюро и производственных линий для реализации уникальных проектов. По аналогии с облачными моделями в ИТ предполагается, что потребитель будет оплачивать только фактическое использование ресурсов, что позволит снизить барьеры входа на рынки сложных продуктов для малых предприятий и стартапов, повысить конкуренцию, ускорить техническое развитие. Но, в отличие от облачной модели предоставления ИТ услуг, облачное производство связано с физическим перемещением материальных объектов между ресурсами, поэтому здесь возникает задача многокритериальной оптимизации в реальном времени, которая требует значительных вычислительных мощностей.
- Создание криптовалют и соответствующей инфраструктуры (платежных систем, систем биржевой торговли и т. д.).

Самоорганизация на основе сетевых платформ ведет к снижению роли компаний как механизма минимизации транзакционных издержек. Вполне вероятно, что появление таких платформ может радикально изменить существующие формы организации экономики.

Переход к использованию криптовалют может, в свою очередь, значительно повлиять на роль государства в новых условиях, поскольку заменяет национальные денежные системы.

Высокопроизводительные системы в задачах прогнозирования научно-технологического развития

Соколов А.В., Институт статистических исследований и экономики знаний НИУ ВШЭ

В докладе представлен обзор опыта разработки долгосрочных прогнозов научно-технологического развития (включая Прогноз научно-технологического развития РФ на период до 2030 года) и обсуждаются возможные постановки задач по использованию Больших Данных и высокопроизводительных систем для решения задач научно-технологического прогнозирования.

Интеграция параллельных и распределенных вычислений для решения масштабных задач

Климентов А.А., Брукхэвенская национальная лаборатория, Национальный исследовательский центр «Курчатовский Институт»; Кореньков В.В., Объединенный институт ядерных исследований; Велихов В.Е., РНЦ «Курчатовский институт»

Эксперименты на Большом адронном коллайдере (БАК) играют ведущую роль в научных исследованиях не только в физике элементарных частиц и ядерной физике (ФВЭИЯФ), но и в сфере Больших Данных в целом. Крупнейший эксперимент, проводимый на БАК, – это АТЛАС, объем экспериментальных данных которого составляет более 160 Пбайт, распределенных между 150 научными центрами по всему миру. Обработка и анализ данных ведется с использованием высокопроизводительных мощностей грид, образованных из академических, национальных и коммерческих ресурсов ЦОД, суперкомпьютеров и других подключаемых систем. Все это стало возможным после создания системы управления загрузкой – PanDA, «скрывающей» сложность компьютерной инфраструктуры: для ученых АТЛАС, вся компьютерная инфраструктура выглядит как единый ресурс. В 2014 году физики обработали 1,2 экзбайта данных, используя PanDA. Интеграция суперкомпьютеров по всему миру («Титан», «Арчер», «Курчатовский» СК, «Ансельм», «Мира») с грид была начата более года назад, и руководящую роль в этом процессе играют лаборатории ОИЯИ и НИЦ КИ, разрабатывающие как единую архитектуру гетерогенной компьютерной среды, так и ПО, позволяющее использовать СК для «нетрадиционных» вычислений, таких как приложения ФВЭИЯФ.

В докладе представлены результаты федерализации вычислительного ресурса в неоднородной среде и результаты интеграции грид и суперкомпьютеров, в том числе для научных приложений в таких высокоинтенсивных областях науки, как биоинформатика.

Инструменты компьютерного моделирования для оценки эффективности функционирования транспортных систем

Кулаков А.В., Центр транспортного моделирования ИЭТuП НИУ ВШЭ

Сегодня для оценки эффективности решений в транспортной сфере как на локальном, так и на сетевом уровне широкое распространение получила практика разработки транспортных схем и схем организации дорожного движения с обязательным применением систем транспортного моделирования. Такой формат разработки документов обеспечивает объективную

оценку эффективности предлагаемых мероприятий, подтвержденную данными математического моделирования. Однако следует отметить наличие негативных факторов существующей практики оценки эффективности проектных решений, которые зачастую сводят на нет все преимущества, предоставляемые системами транспортного моделирования:

- отсутствие утвержденного перечня критериев эффективности проектных решений;
- отсутствие методик оценки эффективности;
- существующие на мировом рынке системы транспортного моделирования не предоставляют в качестве выходных данных параметры транспортной системы, достаточные и необходимые для сравнительного анализа и объективной оценки эффективности проектных решений в транспортной отрасли.

Для нормализации сложившейся ситуации в сфере оценки эффективности транспортных решений всех уровней требуется:

- проект нормативной базы для разработок в сфере транспорта, обеспечивающей проектные организации методической основой для ведения данных работ и позволяющей лицам, принимающим решения, объективно оценить предоставленную разработчиками документацию;
- программный модуль анализа результатов вычислительных экспериментов в системах транспортного моделирования, позволяющий получить параметры транспортной системы, на основании которых возможны объективные оценки эффективности предлагаемых решений, сравнительный анализ и выбор оптимального варианта совершенствования транспортной системы.

Для решения последней задачи необходимо разработать методологию создания, валидации и калибровки транспортной модели; разработать перечень критериев оценки эффективности проектных решений; создать многофункциональную геоинформационную систему анализа результатов транспортного моделирования, обеспечивающую импорт результатов вычислительных экспериментов на транспортных моделях, расчет необходимых параметров транспортной системы для оценки эффективности проектных решений и сравнительный анализ полученных параметров. Основная задача данной системы – предоставить пользователю исчерпывающие данные для объективной оценки эффективности предлагаемых решений.

Суперкомпьютерное моделирование задач нанотехнологий методами молекулярной динамики

Поляков С.В., Подрыга В.О., Пузырьков Д.В., Кудряшова Т.А., ИПМ им. М.В. Келдыша РАН

Сегодня в промышленное производство активно внедряются нанотехнологии, что стимулирует развитие новых научных направлений, связанных с созданием, обработкой и использованием новых материалов и технических устройств сверхмалых размеров. Одним из этих направлений является наноэлектроника. Среди множества научных задач в рамках данной тематики во всем мире рассматривается проблема создания миниатюрных чипов и электронных приборов нового поколения, использующих в качестве активных элементов отдельные атомно-молекулярные структуры [1]. Одной из технологий создания таких наноприборов является сверхзвуковое холодное газодинамическое напыление (СХГН) [2], реализация технологии которого в предыдущие десятилетия уже позволила получать новые материалы и устройства в миллиметровом и субмиллиметровом диапазоне. Однако для более мелких масштабов, например при нанопринтинге, возникли большие проблемы, и на первый план математическое моделиро-

вание ее преодоление.

Математические постановки задач, описывающие процессы напыления в современных и будущих установках СХГН, уже не могут опираться только на методы и модели сплошной среды, во многих случаях теперь требуется учитывать множество процессов и факторов, относящихся ко многим масштабам, в том числе атомно-молекулярным. В результате математические описания проблем становятся смешанными, содержащими разные типы уравнений и связей, отвечающие за соответствующий уровень детализации. Одним из эффективных подходов стало внедрение методов частиц (крупных и мелких) и методов молекулярной динамики (классической и квантовой) в модели механики сплошных сред. Такой симбиоз позволил перевести проблемы многомасштабности в практическое русло, однако при этом возросла вычислительная емкость алгоритмов численного анализа подобных задач, что вызвало необходимость использования высокопроизводительных систем.

В докладе представлен подход к моделированию течений газовых смесей в микроканалах установок СХГН, имеющий два уровня детализации, связанные с решением всей транспортной задачи напыления в условиях реальной геометрии установки, а также с моделированием отдельных процессов, протекающих на микроуровне. Разработанная смешанная математическая модель содержит квазигазодинамические уравнения [3] для описания течения в целом, а также уравнения динамики Ньютона [4] для описания взаимодействий компонентов газа между собой и металлическими стенками канала. Численный алгоритм решения задачи на макроуровне является сеточным и базируется на методе конечных объемов. Численный алгоритм на микроуровне реализован в виде подсеточных вычислений и базируется на схеме Верле [5].

Программная реализация алгоритма выполнена для гибридной суперкомпьютерной платформы [6], использующей технологии MPI, OpenMP и CUDA. Тестирование разработанного параллельного ПО производилось на многопроцессорных вычислительных системах различного класса производительности на базе процессоров Intel Xeon, Intel Xeon Phi, IBM Power8, а также графических ускорителей Nvidia Tesla. Результаты тестирования и систематические расчеты подтвердили эффективность разработанного программного инструментария. Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проекты № 13-01-12073, 15-01-04620, 15-07-06082).

Литература

1. Resnick D. *Nanoimprint lithography*//In book: *Nanolithography. The art of fabricating nanoelectronic and nanophotonic devices and systems* (Edited by Martin Feldman). – Woodhead Publishing Limited. 2014. 600 p.
2. Алхимов А.П., Клинков С.В., Косарев В.Ф., Фомин В.М. *Холодное газодинамическое напыление. Теория и практика*. – М.: Физматлит, 2010. 536 с.
3. Elizarova T.G., *Quasi-gasdynamic equations*. Springer, 286 p.p., 2009.
4. Haile J.M. *Molecular Dynamics Simulations. Elementary Methods*. – NY: John Wiley & Sons Inc. 1992. 489 p.
5. Verlet L. *Computer «experiments» on classical fluids. I. Thermodynamical properties of Lennard-Jones molecules*. *Phys. Rev.* 1967. V. 159. P. 98–103.
6. Поляков С.В., Карамзин Ю.Н., Косолапов О.А., Кудряшова Т.А., Суков С.А. *Гибридная суперкомпьютерная платформа и разработка приложений для решения задач механики сплошной среды сеточными методами*././Известия ЮФУ. Технические науки, 2012, № 6 (131), с. 105-115.

Методы машинного обучения в системах хранения Большого адронного коллайдера

Гущин М. И., Школа анализа данных Яндекс, МФТИ; Устюжанин А. Е., НИЦ «Курчатовский Институт», НИУ ВШЭ

ЛНСб – это один из четырех главных экспериментов на Большом адронном коллайдере в ЦЕРН. Детекторы ЛНСб и системы моделирования физических процессов генерируют ежегодно 15000 Пбайт необработанных данных, которые хранятся в распределенной системе на жестких дисках и магнитных лентах. Диски используются для хранения данных, которые физики используют для текущих исследований. Жесткие диски быстрее магнитных лент, но значительно дороже, в результате объем дискового пространства существенно ограничен, и важно определить, какие файлы нужно держать на дисках, а какие хранить в виде архивов на магнитных лентах.

В докладе представлена система управления дисковой памятью для ЛНСб на основе методов статистического анализа истории обращения к данным. Показано, как можно использовать алгоритмы машинного обучения для прогноза популярности файлов, что позволит определить их оптимальное место хранения. В работе используются алгоритмы регрессионного анализа и анализа временных рядов, позволяющие определить оптимальное число копий файлов на диске. На основе предсказанной популярности файлов и оптимального числа копий минимизируется функция потерь для определения оптимального распределения данных. Функция потерь выражает требования к распределению данных в системе хранения.

В докладе показано как можно сэкономить дисковое пространство и уменьшить время ожидания доступа к данным.

Секция.

Экосистема высокопроизводительных систем

Опыт создания жидкостного охлаждения для высокопроизводительных реконфигурируемых вычислителей на основе ПЛИС

Жирков А.А., «ПроСофт»

В докладе представлен обзор создания системы непосредственного водяного охлаждения для реконфигурируемого компьютера RB-8V7, предназначенного для проведения вычислений на основе ПЛИС семейства Virtex. Будут рассмотрены типы жидкостного охлаждения для вычислительных блоков, этапы по созданию готового изделия, а также будет проведен анализ преимуществ выбора непосредственного охлаждения для суперкомпьютеров.

Космическая медицина для оценки и прогноза состояния здоровья человека

Берсенев Е.Ю., Институт медико-биологических проблем РАН, «Инновационный центр космической медицины», МФТИ «Лаборатория спецмедтехники, технологий и фармакологии»

Космическая медицина является одной из ведущих областей, где происходит активное развитие новых медицинских технологий. Особенно активна в этом отношении космическая кардиология. Многие приборы и методы космической кардиологии нередко становятся базой для активного развития новых научно-практических направлений в здравоохранении и в прикладной физиологии.

За последние 5-10 лет была создана серия аппаратно-программных комплексов для исследования сердечно-сосудистой системы и дыхания на Международной космической станции (МКС). Комплексы «Пульс» и «Пневмокард» позволили получить ряд новых данных о процессах адаптации организма человека к длительной невесомости. Комплекс «Сонокард» явился принципиально новым средством для бесконтактной регистрации физиологических функций космонавтов во время сна, при помощи миниатюрного прибора размером с пачку сигарет, который размещается в нагрудном кармане майки космонавта.

Наиболее демонстративным примером внедрения в практику достижений космической кардиологии является комплекс «Экосан-2007», в котором совмещены космические технологии для исследований кардиореспираторной системы, изучения вегетативной регуляции, оценки умственной и физической работоспособности. Этот комплекс, созданный для применения в модельном эксперименте «Марс-500», был использован в исследованиях летчиков и водителей автобусов и показал свою высокую информативность при оценке риска развития заболеваний. Рассмотрим результаты исследований с использованием комплекса «Экосан-2007» на автореприятии г. Зеленограда. Другим примером является прибор «Кардиосон-3» – наземный аналог бортового комплекса «Сонокард» для бесконтактной регистрации физиологических сигналов. Он представляет собой плоскую пластину в виде книги, которая кладется под подушку или под матрац спящего человека. Широкое применение может найти метод

оценки риска развития патологии, рассчитываемый по комплексу параметров variability сердечного ритма.

В последние годы на основе алгоритмов, применяемых в космической медицине разработаны три новые телемедицинские системы с применением сотовой и интернет-технологий для доврачебного выявления донозологических и преморбидных состояний: аппаратно-программный комплекс «Экосан-ТМ 2», система «Дельта-2013» и мобильное приложение для смартфона «Светофор здоровья».

Таким образом, достижения космической медицины и, в частности, космической кардиологии с каждым годом все более активно используются в различных областях здравоохранения и прикладной физиологии.

Высокопроизводительные комплексы для решения задач сохранения и поддержания здоровья в программах персональной медицины

Прозоров А.А., МФТИ, ИЦКМ ИМБП РАН

Развитие ИТ позволило сменить технологический уклад и взаимоотношения пациент-врач в такой консервативной области, как медицина, в которой сегодня происходят драматические изменения. На основе связанной технологической инфраструктуры операторов беспроводной и проводной связи выстраиваются фрагменты глобальной телебиометрической системы, направленной на:

- повышение уровня, разрешения и совместимости био квантификации;
- использование стандартных международных систем измерения биосигналов;
- развертывание стандартизованных методов шифрования, начиная от узла сбора биометрических данных и кончая облаком;
- обеспечение конфиденциальности и доступности биометрических данных о пациенте в облаке.

Можно выделить следующие основные логические уровни обработки биометрических данных в глобальной телебиометрической системе:

- биологическая мишень, находящаяся в непосредственном контакте с датчиком и подвергающаяся измерению;
- Bio-to-machine (B2M)–датчик, предназначенный для получения биометрических данных, включая поиск и определение паттернов в снимаемых аналоговых и цифровых сигналах, интегрированный в сетевую инфраструктуру облака;
- B2M-протокол предварительной обработки и передачи биометрических данных в облачное приложение, задачами которого являются описание, количественное сравнение и анализ биологической и измерительной ценности снимаемых данных;
- облачное приложение, получающее биометрические данные и выполняющее их распознавание, визуализацию, анализ, сопоставление т. д.;
- единое связанное хранилище биометрических данных, предназначенное для накопления и долгосрочного хранения данных, обеспечивающее должный уровень безопасности, доступности и поддержки различных протоколов доступа.

Распознавание сложных аналоговых биометрических сигналов, поиск паттернов и скрытых

закономерностей в уже распознанных сигналах требуют применения сложных математических алгоритмов, включая активное использование многослойных нейронных сетей, что означает наличие адекватных вычислительных мощностей как в центрах обработки данных, так и в датчиках-трансиверах. Известно, что, по оценкам аналитиков, к 2020 году ожидается порядка 200 млрд устройств, объединенных в сеть, но существенная их доля – это В2М-датчики.

Лаборатория специальной медицинской техники МФТИ в сотрудничестве с лабораторией космической медицины ИМБП РАН ведут работы по построению компонентов высокопроизводительного комплекса, направленного на решение задач персональной медицины по сохранению и поддержанию здоровья. В частности, в лаборатории разработаны и проводятся клинические испытания бесконтактного В2М-датчика и В2М-протокола, идет работа по созданию облачного приложения по непрерывному мониторингу пациентов и единому хранилищу биометрических данных на основе Hadoop. Разработка аппаратного и программного обеспечения ведется на базе открытых стандартов с применением открытого аппаратного и программного обеспечения.

Петафлопсный ЦОД «Политехнический»: опыт создания и особенности эксплуатации

Болдырев Ю.Я., Боровков А.И., Заборовский В.С., Осадчий А.И., СПбПУ

В ближайшее десятилетие суперкомпьютерные технологии станут фактором, объединяющим фундаментальные знания, образование и инженерные науки. На базе новых технологий будет формироваться принципиально новая сетевая среда, образованная совокупностью научных, технологических и логистических сервисов с общими средствами доступа и интерфейсами взаимодействия. В Санкт-Петербургском политехническом университете (СПбПУ) в 2015 году будет запущен в эксплуатацию гетерогенный суперкомпьютерный центр (СКЦ) нового поколения с интегральной производительностью более 1 PFLOPS, энергоинформационной эффективностью 1,4 GFLOPS/Вт и PUE не более 1,2. Целью создания СКЦ является внедрение методов предсказательного математического и имитационного моделирования в практику инженерного проектирования сложных технических систем, а также в решение прикладных задач, находящихся «за гранью интуиции главного инженера».

Согласно программе развития, СКЦ «Политехнический» должен играть ключевую роль в реорганизации учебно-научной деятельности СПбПУ в рамках новой парадигмы политехнического образования и научных исследований, основанной на интеграции фундаментальных и инженерных знаний с помощью ИТ. Выбранный подход требует непрерывного увеличения вычислительных ресурсов, используемых для решения возникающих междисциплинарных инженерных задач. СКЦ «Политехнический» включает в себя:

- гетерогенную кластерную вычислительную систему (668 двухпроцессорных вычислительных узлов, 56 узлов с ускорителями Tesla K40);
- систему с глобально-адресуемой памятью (64 вычислительных узла, содержащие 192 16 ядерных процессора Orteron 6380, 12 Тбайт оперативной памяти и сеть NumaConnect);
- систему с ультравысокой многопоточностью (32 модуля RSC Petastream, содержащие 256 сопроцессоров Intel Xeon Phi 5120D);
- оборудование для поддержки облачной инфраструктуры (44 двухпроцессорных вычислительных узла, из них 8 узлов дополнительно оснащены графическими адаптерами Grid K1 и 8 узлов – Grid K2, средства хранения данных емкостью 576 Тбайт);

- систему хранения данных (Xyratex ClusterStor 6000 с доступным дисковым пространством 1 Пбайт);
- сетевое оборудование (общая вычислительная сеть Infiniband; служебные и сервисные сети Ethernet).

Оценки характеристик пиковой производительности компонентов СКЦ «Политехнический»: кластерная вычислительная система – 938 TFLOPS, система с ультравысокой многопоточностью – 259 TFLOPS, система с глобально-адресуемой памятью – 31 TFLOPS.

Би-СКВИД с пи-контактом для адиабатических и квантовых вычислений.

Кленов Н.В., Соловьев И.И., НИИФП им. Ф.В. Лукина; МГУ им. М.В. Ломоносова, НИИЯФ МГУ

В докладе предлагается новая базовая ячейка для обратимых вычислений со сверхнизким энерговыделением на основе модифицированного сверхпроводящего квантового интерферометра. Анализ джозефсоновской и индуктивной энергии двухконтактного интерферометра показал, что, шунтируя его индуктивность дополнительным джозефсоновским контактом с отрицательным критическим током (пи-контактом), можно обеспечить возможность переходов между моностабильным и бистабильным состояниями, так что минимумы потенциальной энергии бистабильного состояния в предлагаемой ячейке – би-СКВИДе с пи-контактом – будут связаны эквипотенциальной траекторией на энергетическом профиле.

Передача информации соответствует отклонению разностной фазы джозефсоновских контактов от нулевого значения в положительную или отрицательную область при прохождении кванта потока через ячейку (при этом суммарная фаза контактов изменяется на полный период от 0 до 2π). Динамика периода эволюции ячейки отвечает следующим условиям:

- 1) в несмещенном состоянии (ведущая фаза φ_{cl} , управляющая суммарной фазой, и нормированный приложенный магнитный поток φ_e , управляющий разностной фазой, равны 0) минимум энергии ячейки соответствует нулевому отклонению разностной фазы;
- 2) в процессе возрастания ведущей фазы (изменение, вызывающее возрастание, может быть обеспечено посредством приложения к ячейке напряжения) профиль потенциала всегда обладает единственным минимумом;
- 3) динамика процесса является адиабатической. Выполнение этих условий обеспечивает корректность и обратимость вычислений. Реальная диссипация энергии на периоде (в одной операции) не ограничена пределом Ландауэра $kT \ln 2$ (k – постоянная Больцмана, T – температура) и может быть уменьшена до величин порядка зета джоуля, что на шесть порядков меньше величин, характерных для стандартных КМОП–схем при аналогичных тактовых частотах.

Связность информационного домена обеспечивается магнитной связью между предлагаемыми ячейками, которые при последовательной эволюции переходят через состояния, одинаковые по энергии с заданным отклонением разностной фазы. Причем переводя, всю систему в целом в «квантовый режим» (например, за счет уменьшения рабочей температуры), можно реализовать функционирование «квантовой шины данных». Здесь важно отметить, что обеспечение обратимого режима функционирования ячейки за счет добавления джозефсоновского контакта позволяет сохранить простую и компактную топологию базового элемента, что выгодно отличает это предложение от известных альтернативных решений [1, 2].

В докладе представлен анализ обратимой эволюции состояния базовой ячейки, в том числе и

в «квантовом режиме», оптимизированы параметры и структура сдвигового регистра, инвертора, других исследуемых схем, даются оценки на уровень энерговыделения и исследованы принципы реализации логических операций над квантовыми битами на основе сверхпроводящих интерферометров с пи-контактами.

Литература

1. Ren J., Semenov V.K., // *IEEE Trans. Appl. Supercond.*, V.21(3), 780 (2011).
2. Takeuchi N., Ozawa D., Yamanashi Y. et al. // *Supercond. Sci. Technol.*, V.26, 035010 (2013).

Сервисы виртуальной проблемно-ориентированной веб-лаборатории

Самоваров О.И., ИСП РАН

При реализации наукоемких проектов одним из перспективных подходов к организации эффективного взаимодействия науки, образования и индустрии являются виртуальные проблемно-ориентированные веб-лаборатории, в рамках единой среды поддерживающие проведение научных исследований междисциплинарными коллективами специалистов. В таких лабораториях возможно проведение численных экспериментов с использованием компьютерных моделей предметных областей, составление отчетов, подготовка статей, обсуждение результатов на семинарах и совещаниях, а также поддержка учебного процесса подготовки студентов и аспирантов.

Полноценная реализация концепции проблемно-ориентированной веб-лаборатории связана с необходимостью обеспечить возможность использования различных аппаратных средств (суперкомпьютеров, высокопроизводительных кластеров, в том числе с ускорителями, средств визуализации, серверов, систем хранения и т.п.) и программных пакетов. При этом должны быть обеспечены масштабируемость на всех уровнях, надежность и безопасность. Эффективным методом решения данной задачи является использование облачной модели, когда все перечисленные ресурсы предоставляются по запросу в виде набора масштабируемых сервисов.

В докладе представляется разработанная в модели облачных вычислений архитектура веб-лаборатории, рассматриваются особенности реализации на ее основе программной платформы развертывания полноценных лабораторий UniHUB, а также рассказывается об опыте эксплуатации ряда конкретных лабораторий, в том числе предназначенных для решения задач механики сплошных сред (UniCFD).

Грид для большого адронного коллайдера и центры уровня Tier1 для обеспечения мегапроектов

Велихов В.Е., РНЦ «Курчатовский институт»; Кореньков В.В., ОИЯИ

Информационно-коммуникационное обеспечение участия российских ученых в обработке и анализе данных на таких установках мега класса, как;

- Большой адронный коллайдер (БАК),
- Европейский рентгеновский лазер на свободных электронах (XFEL),

- Европейский центр по исследованию ионов и антипротонов (FAIR),
- Экспериментальные термоядерные реакторы IGNITOR и ITER,
- Реакторы ПИК, чрезвычайно сложная инженерная задача.

WLCG – самая большая академическая распределенная вычислительная среда в мире, состоящая из сотен центров распределенных вычислений. Проект WLCG призван решить вопросы построения распределенной иерархической архитектуры системы региональных центров, нацеленных на хранение и обработку полученной информации. В рамках проекта EGEE/EGI осуществляется организация мировых компьютерных ресурсов в единую однородную среду для их совместного использования. Главный потребитель инфраструктуры, построенной в рамках этих проектов, – сообщество ученых, занимающихся физикой высоких энергий. Все проекты часто рассматривают как единое целое и обозначают в виде интегрированной инфраструктуры EGEE/EGI/WLCG, основные элементы которой – вычислительные центры различных уровней, объединенные высокоскоростными телекоммуникационными каналами. В структуре ЦЕРН таких уровней три: Tier0, Tier1 и Tier2. Надежность хранения данных обеспечивается благодаря тому, что один экземпляр данных хранится непосредственно в ЦЕРН, а второй распределяется между центрами Tier1. При помощи ресурсов, входящих в WLCG, более 8 тыс. ученых анализируют данные БАК в поисках новых явлений, причем все они должны иметь доступ к данным, а сама структура вычислительной среды должна обеспечить доступ из институтов по всему миру.

Старт новой рабочей сессии ускорителя состоялся в 2015 году, и в России ведущими научными центрами, участниками международного проекта БАК стали НИЦ «Курчатовский институт» и ОИЯИ. Принято решение к началу нового сеанса БАК в 2015 году создать центр уровня Tier1 в России и интегрировать его в состав мировой системы центров Tier1, глобальной грид-системы БАК (WLCG). В НИЦ «Курчатовский Институт» развернут ресурсный центр уровня Tier1 для обработки и хранения экспериментальных данных, получаемых в экспериментах ATLAS, ALICE и LHCb, а также данных по моделированию событий на детекторах БАК. Кроме этого обеспечивается предоставление грид-сервисов для выполнения последующего анализа этих данных участниками международных коллабораций на распределенных центрах уровня Tier2, глобальной грид-системы WLCG. В ОИЯИ развернут ресурсный центр уровня Tier1 для эксперимента CMS. Оба эти центра объединены кольцом 10 Гбит/с как между собой, так и с оптической сетью БАК – LHCOPN в рамках инфраструктуры WLCG.

Магистрат по технологиям Больших Данных: программа, опыт и проблемы

Крылов В.В., НГТУ им. Р.Е. Алексеева, НИУ ВШЭ

В докладе излагается опыт работы автора в реализации программ магистерской подготовки в Нижегородском государственном техническом университете и НИУ ВШЭ. В НГТУ курсы поставлены на кафедре информатики и систем управления, а в ВШЭ – на кафедре информатики и прикладной математики в рамках программы магистратуры «Интеллектуальный анализ данных». Существенным различием программ является число часов, выделенных на курсы, связанных со знакомством с технологиями Больших Данных, что позволяет оценить эффективность различных подходов к изложению и методике изучения.

Авторский подход к изучению предметной области состоит в максимизации возможностей для студентов работать с реальными данными и использовать для этого перспективные плат-

формы обработки. Тем самым будущие data scientists получают не только информационные основы применяемых технологий, но и практические навыки, которые они могут использовать в реальной практике предприятий и организаций. Как оказалось, основной проблемой имплементации такого подхода стали не только трудности развертывания реальных платформ обработки Больших Данных, но и проблема получения доступа к таким наборам данных.

В докладе рассмотрены подходы, применяемые автором для преодоления возникших проблем: студенты используют для развертывания платформ Hadoop, Spark и соответствующего набора приложений выделенные кластеры стандартной архитектуры и облачные ресурсы. К сожалению, оказалось невозможным использование такой облачной инфраструктуры, как O7, в силу неразрешимости проблем академического доступа, аналогичные трудности возникли и с Amazon WS. Только Microsoft Azure, благодаря возможности установки бесплатной локальной версии эмулятора облака сервиса HDInsight, стала платформой, на которой студентам удастся полноценно работать с Spark в облачном окружении. Однако и здесь возникла проблема, связанная с необходимостью выгрузки в облачное хранилище анализируемого набора данных, который даже для учебных задач составляет 50-100 Гбайт. Как время выгрузки, так и необходимость оплаты хранения массива на протяжении всего жизненного цикла проекта существенно ограничивают возможности использования Microsoft Azure в учебных целях.

Наиболее значительной проблемой при организации работы оказался проблема доступ к реальным данным. Большинство организаций и предприятий рассматривают данные через призму патологического страха перед нарушением безопасности при их использовании студентами и не допускают какие-либо варианты анонимизации и легендирования, что могло бы позволить им самим извлекать пользу из получаемых в ходе аналитики результатов. В докладе озвучены основные изучаемые темы, описаны как лекционные, так и лабораторные занятия и статистика результатов обучения.

Отечественная защищенная операционная система для супер-ЭВМ

Петрик А.Н., ИТМФ «РЯЦ-ВНИИЭФ»

Защищенная операционная система (ЗОС) для супер-ЭВМ на базе открытой программной платформы Linux – это специализированная операционная система, удовлетворяющая требованиям ФСТЭК России по обработке информации, составляющей государственную тайну. Входящие в состав ЗОС ключевые для программного обеспечения супер-ЭВМ компоненты, отсутствующие в других отечественных сертифицированных операционных системах, делают ее незаменимой для решения таких актуальных задач, как имитационное моделирование, сбор и обработка больших объемов структурированных и неструктурированных данных, внедрение систем поддержки принятия решений и т.д., требующих высокопроизводительных вычислений на базе автоматизированных систем в защищенном исполнении.

ЗОС обладает рядом отличительных особенностей:

- возможность построения различных конфигураций вычислительных ресурсов;
- поддержка современных аппаратных платформ и гибридных вычислений;
- обеспечение полного цикла проведения расчетов, от подготовки начальных данных до визуализации результатов;

- встроенные средства защиты информации от несанкционированного доступа (СЗИ НСД);
- возможность использования для обработки информации в автоматизированных системах класса 1Б-С (по «Временным требованиям...» ФСТЭК России от 17.08.2012 г.).

В 2014 году пройдены сертификационные испытания, получен сертификат соответствия № 3356 от 06.03.2015 г. на ЗОС, встроенные СЗИ которой соответствуют требованиям РД ФСТЭК России по уровню 2 контроля отсутствия НДВ и технических условий.

Секция. Стеновые доклады

HPGAS: опыт эмуляции массово-мультиредовых систем на много-ядерных кластерных суперкомпьютерах

Зайцев А.В., Биконов Д.В., Андрушин Д.В., «НИИ «Квант»

Многие информационные и научно-технические задачи требуют для своего решения огромного объема памяти, адресуемой через единое адресное пространство, причем с обеспечением эффективной поддержки интенсивного нерегулярного доступа к такой ней. Главная проблема реализации суперкомпьютеров с такой памятью состоит в преодолении больших задержек выполнения операций с памятью – 100-200 тактов процессора. При обращении к памяти ближайшего по сети узла задержка составляет несколько тысяч тактов, а обращение к удаленным узлам и дискам – десятки тысяч.

Для сокращения влияния таких задержек на развиваемую суперкомпьютером реальную производительность используются разные методы, самый радикальный из которых – создание процессоров с массово-мультиредовой архитектурой: Gray XMT и Sparc T-серия; микропроцессоры FT; микропроцессоры J7, J10 (Россия, проект «Ангара»). В последние годы развивается подход на базе программной реализации массово-мультиредовых архитектур на суперкомпьютерах кластерного типа, построенных на коммерчески доступных микропроцессорах, в виде специальных систем run-time. Данный подход оказался дешевле и доступнее, хотя уступает по производительности специальным аппаратным решениям, но на порядок лучше при решении задач на кластерных суперкомпьютерах с использованием средств MPI.

Доклад посвящен реализации кластерного суперкомпьютера класса HPGAS (иерархическая разделяемая глобально адресуемая память) посредством программной эмуляции массово-мультиредовых архитектур. Цели данной работы: разработка структуры системы HPGAS и пользовательских интерфейсов; отработка элементов реализации такой системы и сборка всей системы целиком; выработка рекомендаций по оптимизации работы системы HPGAS за счет применения ПЛИС, а в будущем – специальных аппаратных решений; получение опыта прикладного программирования на такой системе с глобально адресуемой памятью.

В докладе представлены: общая архитектура HPGAS; схема коммуникационных взаимодействий (внутри сокета, многосокетной платы, макроузла из сокетных плат под одним коммутатором «МВС-Экспресс», всей системы макроузлов); разработанное API для работы с сегментированной виртуальной глобально адресуемой памятью системы HPGAS; экспериментальные данные по отработке основных элементов реализации FIFO-буферов на разных уровнях иерархии системы HPGAS; система трансляции виртуальных адресов; система управления легкими тредами – корутинами.

В докладе показано, что удалось полностью реализовать систему HPGAS, обладающую высоким параллелизмом процессов и тредов, а также эффективно использующую сети «МВС-Экспресс» и Infiniband. Приводятся результаты тестирования системы для некоторых уровней иерархии на специальном тесте GUPS. Возможная область применения HPGAS: графовые базы данных, моделирование квантовых алгоритмов, проведение исследований и разработок по созданию экзафлопсных суперкомпьютеров.

Специализированные суперкомпьютерные микропроцессоры

Кузьминский М.Б., ИОХ РАН

Уже давно большинство суперкомпьютеров строятся на базе процессоров от Intel и AMD – более 90% списка Top500 образовано из систем на базе данных архитектур, а оставшуюся часть занимают RISC-процессоры, причем не все из них хорошо известные процессоры. В последнее время стали производиться специальные, ориентированные именно на суперкомпьютеры микропроцессоры с большим числом высокопроизводительных ядер, но с небольшой тактовой частотой, например IBM Power BQC/1,6 ГГц и Fujitsu SPARC64 XIfx/2 ГГц. Такие системы обладают рядом общих специфических свойств. Так, у них имеется $2^{**}N$ вычислительных ядер ($N=4$ у IBM и $N=5$ у Fujitsu) плюс по два дополнительных, например для работы операционной системы. Ядра микропроцессоров основаны на известной архитектуре RISC-ISA этих производителей, расширенной для суперкомпьютеров. В ядрах используется архитектура SIMD для работы с векторами с плавающей запятой двойной точности (векторы длиной 4). В микропроцессорах применяется общий для всех ядер кэш L2, а кэша L3 нет. В процессоры интегрированы контроллеры для специализированного собственного межсоединения – 5D-тор у IBM и 6D-тор у Fujitsu, а также контроллеры оперативной памяти. Геометрическое расположение компонентов на микросхемах похоже – в центре размещается кэш L2, ядра в кольце, а по краям – контроллеры межсоединений, подсистемы ввода-вывода.

В докладе проведено подробное сопоставление микроархитектур этих процессоров между собой и с Intel Haswell Xeon E5.

Вычисляемый интеллект мультиагентных систем в Интернете вещей

Заборовский В.С., Лукашин А.А., Санкт-Петербургский политехнический университет им. Петра Великого; Мулюха В.А., Центральный научно-исследовательский и опытно-конструкторский институт робототехники и технической кибернетики

Развитие информационно-телекоммуникационных технологий, Интернета вещей, роботизированных комплексов и киберфизических систем привело к появлению новых вычислительных задач, которые не решаются традиционными методами на общедоступном вычислительном оборудовании. Для таких задач характерны большие объемы данных, реальное (или псевдореальное) время принятия решения, масштабирование вычислений и неструктурированный характер поступающей информации. Применение высокопроизводительных систем и облачных технологий позволяет повысить эффективность решения данных задач.

В докладе представлены результаты работы по созданию вычислительной среды обработки данных, поступающих от многоагентных систем (киберфизических объектов), например группировок роботов. Вычислительные модули, таких роботов переносятся в облако, что позволяет расширить возможности многоагентных систем и решать сложные задачи, обеспечивая масштабирование вычислений с привлечением интернет-сервисов для обработки информации.

В докладе представлены:

- концепция вычисляемого интеллекта для мультиагентных систем, задачи, проблемы и

- подходы к их решению;
- архитектура облачной вычислительной среды, обеспечивающая горизонтальное масштабирование и отказоустойчивость;
- модели вычислений и информационного обмена;
- описание исследовательского стенда, демонстрирующего процесс управления группой роботов из облачной среды.

Кроме этого, в докладе предложена концепция облачной среды, основанной на акторном взаимодействии вычислительных компонентов и организации общей среды обмена сообщениями. Каждый робот (или «вещь» в Интернете) представлен в виде актора облачной среды, а для других компонентов облака актор выглядит как черный ящик с адресом, по которому можно отправить сообщение и получить ответ. Вся внутренняя функциональность инкапсулирована внутри ящика. Такой подход реализован в акторных системах и впервые был применен в языке программирования Erlang, а затем вошел в языки Scala, Java и ряд других. Актор имеет непосредственную связь с киберфизическим объектом, который он обслуживает; это может быть робот, датчик или удаленный сервис, отправляющий оперативную информацию с локального места действия и получающий управляющие сигналы. Акторы могут обмениваться информацией между собой, при этом обмен происходит локально, в рамках ЦОД, хотя объекты управления и наблюдения могут находиться на разных полушариях планеты.

В докладе демонстрируются результаты группового взаимодействия «облака роботов» на исследовательском стенде, развернутом в ЦНИИ РТК, и предложены варианты внедрения разработанных технологий в промышленные решения робототехники, Интернета вещей, а также в космические проекты.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ (проект 15-29-07131 офи_м).

Результаты оценочного тестирования макета мультитредового процессора с глобально адресуемой памятью

Симонов А.С., Семенов А.С., Кабыкин В.К., Фролов А.С., Соколов А.А., Мошкин Д.В., Бобков В.С., Курочкин К.А., Артемов А.С., Долженков И.И., Садчиков А.С., НИЦЭВТ

В АО «НИЦЭВТ» разрабатывается процессор с мультитредовой архитектурой и поддержкой глобально адресуемой памяти. Работы по процессору основаны на проекте создания суперкомпьютера «Ангара», разработка которого велась в НИЦЭВТ под руководством Эйсымонта Л.К. с 2005-го по 2010 год. Главными архитектурными особенностями процессора являются: собственная система команд, аппаратная мультитредовость, поддержка глобально адресуемой памяти и мелкозернистых операций синхронизации в подсистеме памяти, а также поддержка активных сообщений. Сегодня ядро данного процессора и подсистема памяти реализованы в макете на ПЛИС.

В докладе рассматриваются результаты оценочного тестирования макета мультитредового процессора, ядро которого состоит из двух конвейеров по 16 аппаратных тредов (всего 32 треда), кэша команд и блока трансляции адресов данных. Подсистема памяти включает кэш данных нижнего уровня, контроллер памяти DDR3 и память DDR3.

Крупномасштабное моделирование турбулентных течений возле каверн на неструктурированных сетках

Абалакин И.В., Дубень А.П., Жданова Н.С., Козубская Т.К., ИПМ им. М.В.Келдыша РАН;
Даньков Б.Н., ЦНИИМаш

В работе представлены результаты крупномасштабных расчетов по моделированию отрывных турбулентных течений возле каверн при трансзвуковых режимах обтекания с помощью вихререзающих подходов. Исследования направлены на изучение основных механизмов генерации повышенных акустических нагрузок в ближнем поле и пассивного метода их снижения путем установки дефлекторов различных конфигураций. Для воспроизведения сложного турбулентного течения использовался программный комплекс NOISEtte [1]. Расчеты проводились с помощью вихререзающего гибридного RANS-LES – подхода IDDES новой модификации [2].

Для проведения серии расчетов использовались вычислительные ресурсы с узлами классической архитектуры, общее число задействованных ядер в рамках одного расчета составляло от 256 до 1024. При проведении численного моделирования применялась гибридная схема распараллеливания MPI+OpenMP.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России (проект RFMEFI60414X0037).

Литература

1. Абалакин И.В., П.А. Бахвалов П.А., Горобец А.В., Дубень А.П., Козубская Т.К. Параллельный программный комплекс NOISEtte для крупномасштабных расчетов задач аэродинамики и аэроакустики. // Выч. методы и прогн., т. 13, с. 110-125 (2012).
2. Shur M.L., Spalart P.R., Strelets M.Kh., Travin A.K. An enhanced version of DES with rapid transition from RANS to LES in separated flows // Flow, Turbulence and Combustion, 2015, Vol. 95.

Новый подход к отображению исследуемой задачи по ее профилю работы с памятью на APEX-поверхность

Андрюшин Д.В., Биконов Д.В., НИИ «Квант»

Известен метод оценки эффективности подсистем памяти вычислительных установок, от микропроцессоров до вычислительных систем посредством теста APEX-мар. Этот тест для массива заданного объема (его объем обычно сопоставим с объемом физической памяти исследуемой установки) производит обращения к памяти на считывание с автоматическим изменяемой пространственно-временной локализацией обращений и фиксирует для каждого такого обращения время, за которое оно выполняется. По полученным данным строится APEX-поверхность вида $P=f(L,A)$, где:

L – показатель пространственной локализации,

A – показатель временной локализации,

P – время обращения к памяти.

APEX-поверхности позволяют оценивать эффективность подсистем памяти исследуемых установок. Кроме того, отображение на эти поверхности исследуемых задач, исходя из их пространственно-временного профиля работы с памятью, позволяет оценить, в какой зоне

эффективности работы подсистемы памяти находится исследуемая задача. На основании этого можно сделать выводы о возможности ее дальнейшей оптимизации по работе с памятью.

Важным этапом этой методики является отображение исследуемой задачи на точку APEX-поверхности. Известен применяемый до настоящего времени метод такого отображения, который основывается на достаточно абстрактных теоретических моделях, который на практике часто недостаточно адекватен. В докладе сообщается об инженерном подходе к выполнению такого отображения, суть которого состоит в следующем.

Во-первых, по выполнению теста APEX-мар с использованием средств сбора статистики PAPI подготавливается одна или несколько (для разных объемов используемого в тесте массива) таблиц промахов в кэш-память, где каждому значению $\langle L, A \rangle$ ставится в соответствие четверка $\langle ML1, ML2, ML3, ML1TLB \rangle$, а каждое из чисел в этой четверке – процент промахов в соответствующую кэш-память.

Во-вторых, для исследуемой задачи также получается с использованием средств PAPI вектор промахов в кэш-памяти вида $\langle TL1, TL2, TL3, TL1TLB \rangle$.

В-третьих, зная объем данных, который использует исследуемая задача, подбирается таблица промахов в кэш-память, построенная на тесте APEX-мар для массива с близким объемом. Далее по вектору $\langle TL1, TL2, TL3, TL1TLB \rangle$ находится наиболее близкая к нему точка в выбранной таблице промахов в кэш-памяти для теста APEX-мар. Таким образом, фактически производится отображение задачи на APEX-поверхность.

В докладе приводится экспериментальный материал по предложенному методу для нескольких исследуемых задач.

Организация и визуальное представление параллельных решений задач оптимизационного анализа и параметрических исследований в вычислительной газовой динамике

Бондарев А.Е., Галактионов В.А., ИПМ им. М.В. Келдыша РАН

В докладе рассматривается комбинированный подход к построению и анализу многомерных параметрических решений нестационарных задач вычислительной механики жидкости и газа. Данный подход предназначен для моделирования процессов образования пространственно-временных структур, таких как отрыв пограничного слоя, возникновение циркуляционных зон и пульсационных режимов течения.

Современная вычислительная техника и численные методы позволяют точно моделировать практически любой нестационарный физический процесс в механике сплошных сред и получать соответствующее поле физических величин, однако в практических приложениях недостаточно просто рассчитать поле течения и представить красивую картину трансформации пространственно-временной структуры. Основной интерес для исследователей вызывает не само явление, а обстоятельства, при которых оно возникает – зависимость возникновения явления от определяющих параметров задачи, таких как числа Маха, Рейнольдса, Прандтля, и т.д. Для расчета подобной зависимости необходимо организовать решение задач параметрического поиска и оптимизационного анализа. Параметрические численные исследования позволяют получать решение не для одной конкретной задачи математического моделирования, а для класса задач, заданного в многомерном пространстве определяющих параметров. Применение параллельных алгоритмов на высокопроизводительных компьютерах позволяет выполнять численное исследование задач оптимизационного анализа, когда обратная задача

решается в каждой точке сеточного разбиения многомерного пространства определяющих параметров. Основная особенность, с точки зрения задач анализа и визуализации решений, подобных вычислений заключается в том, что их результаты представляют собой многомерные массивы, размерность которых соответствует количеству определяющих параметров. Эти массивы нуждаются в обработке и визуальном представлении с целью их анализа и выявления внутренних взаимосвязей между определяющими параметрами.

Представленный в докладе подход основан на решении задач параметрического поиска и оптимизационного анализа. Рассматриваются вопросы организации параллельных вычислений для подобных задач. Результаты вычислений представляют собой многомерные массивы данных. Для поиска скрытых взаимозависимостей в массивах применяются методы анализа многомерных данных и визуализации. Все алгоритмы комбинированного подхода организованы в виде единой технологической цепочки. Подобная организация позволяет рассматривать реализованный подход как прототип обобщенного вычислительного эксперимента. Применение подхода позволяет проводить быструю приближенную оценку зависимости возникновения нестационарных структур в потоке от определяющих параметров задачи, выраженную в виде квазианалитических соотношений. Приводятся примеры практической реализации подхода.

Цифровая трансформация промышленности

Мойсейчик Г.И., Национальный банк Республики Беларусь

Становление глобальной хозяйственной системы влечет за собой кардинальные институциональные преобразования, охватывающие как финансовую систему, так и промышленность и экономику в целом, причем орудием такой трансформации становятся цифровизация. В мире формируется всеобщая иерархическая система цифровых денег и цифровых промышленных технологий. Процесс цифровизации окажет серьезное преобразующее воздействие и на сферу услуг; например, из 700 банковских операций, покрывающих весь спектр функций, начиная от открытия счета и кончая выдачей кредитов, более половины могут быть оцифрованы полностью.

Все эти процессы получили название четвертой промышленной революции, ядро которой составляет цифровизация и киберфикация промышленности и финансов – промышленный Интернет; роботизация; 3-D–проектирование, печать и дизайн. Цифровые технологии рассматриваются как могучий ускоритель роста производительности мировой промышленности и как средство обеспечения финансово-технологического суверенитета стран. Страны – технологические лидеры поставили перед собой действительно масштабные структурные задачи реиндустриализации в глобальном мире. Так, доля промышленности в ВВП в странах ОЭСР (Организация экономического сотрудничества и развития) должна вырасти за десятилетие на 5-10% и к 2025 году составить 20% ВВП. При этом создаются новые мировые цепочки создания стоимости. Согласно прогнозам McKinsey, полный переход мировой промышленности на цифровую технологическую платформу займет около 100 лет, и к 2025 году вклад промышленного Интернета в мировую экономику может составить около 11% мирового ВВП.

Такие страны как, США, Германия и Япония, и ряд других-членов ОЭСР приняли правительственные стратегии по достижению технологического лидерства на мировом рынке (The Lead Market Initiative), причем ядром этих стратегий является переход к новой промышленной платформе (индустрии-4). Создан даже глобальный институт для проведения исследований

в данной области – Глобальный центр цифровых преобразований бизнеса (Global Center for Digital Business Transformation) и формируются стандарты цифровой индустрии. Принципиальное геополитическое значение будет иметь заключенное в 2015 году межправительственное соглашение Германии и Китая в области формирования цифровой трансформации промышленности на базе стандартов индустрии-4.

Однако в Евразийском союзе о подобной промышленной стратегии по созданию цифровой платформы промышленности пока и речи не идет. В отечественной практике государственного управления ничего не известно о четвертой промышленной революции и цифровизации экономики. В этой связи задачей экономической науки является как можно раньше ввести в научный обиход понятия четвертой промышленной революции и цифровой трансформации экономики в качестве приоритетного долгосрочного направления стратегии развития и роста. В ЕАЭС промышленная политика ограничивается кластерным уровнем – точечными вкраплениями элементов 5-7 технологических укладов. При этом на уровень постановки системной задачи, а именно перевода всей отечественной промышленности на цифровую платформу, составляющего суть стратегии технологического лидерства, ни одно из государств ЕАЭС не вышло. Закрепленные в долгосрочных стратегических документах развития ЕАЭС задачи модернизации экономики либо создания технологических укладов 5-7 не соответствуют велемию времени. Сегодня настоятельно необходима целостная стратегия, единый план цифровой трансформации экономики – необходимо сосредоточить усилия ЕАЭС на разработке стратегии перевода на цифровую платформу народно-хозяйственных комплексов входящих в союз стран.

Импортозамещение параллелизма

Любченко В.С., ИПУ им. В.А. Трапезникова РАН

Современное программирование все больше становится параллельным, и здесь сформировалась территория, «застроенная» в первую очередь на основе зарубежных базовых принципов. Насколько они правильны и логичны? Возможны ли другие, отечественные?

В докладе показано, что для создания новых решений можно использовать имеющийся параллелизм, понимая его слабые стороны и используя достоинства. Подобное демонстрирует технология визуально-компонентного программирования на базе автоматной модели параллельных процессов (ВКПА), в которой нет ограничений на использование потоков, а языком программирования, кроме внутреннего визуального, является C++. Автоматное программирование ВКПА является развитием известного автоматного программирования, а параллельная автоматная модель – это генератор новых идей и в области аппаратных архитектур, где на существующей элементной базе можно повысить аппаратную скорость вычислений на порядки. В докладе представлены уникальные возможности автоматного программирования с точки зрения технологии программирования. Автоматное программирование качественно развивает концепцию ООП, вводя в класс управление. Параллелизм, визуализация автоматов переводят процессы проектирования, отладки и сопровождения программ на качественно иной уровень. В докладе утверждается: чем раньше начнется активное применение параллельных автоматных идей, тем быстрее решатся многие проблемы, порождающие кризисные явления в современном параллельном программировании. В результате разговоры о невозможности догнать зарубежных поставщиков сменятся конструктивными предложениями по созданию отечественного параллельного автоматного программирования.

Перенос параллельных программ с сохранением эффективности

Абу-Халил Ж.М., Гуда С.А., Штейнберг Б.Я., Южный федеральный университет

В докладе рассматриваются требования к высокоуровневым программам – высокопроизводительная переносимость. Сегодня в сфере высокопроизводительных систем наблюдается тенденция не только к ускорению их работы, но и к расширению многообразия компьютеров. Прогресс в микроэлектронике позволяет на одной микросхеме размещать много различных элементов, участвующих в вычислениях, но для одних задач на схеме процессора выгоднее разместить больше ядер, уменьшив объем локальной памяти, а для других задач, наоборот, больше памяти, уменьшив, этим самым возможное количество вычислительных ядер. Для достижения высокой производительности программы специально пишутся под целевые архитектуры, и тогда перенос программы с одной архитектуры на другую, как правило, означает ее переписывание. Решение этой проблемы предполагалось достичь созданием переносимых языков параллельного программирования (OpenCL), которые поддерживаются производителями разных архитектур.

В докладе вводится формальное понятие эффективности программы на конкретной вычислительной системе, приводятся примеры OpenCL-программ, у которых при переходе с одной архитектуры на другую эффективность может меняться более чем на порядок. Обсуждается ограниченность понятия «масштабируемость программ», как свойства программ линейно менять производительность в зависимости от изменения количества вычислительных устройств. Кроме этого в докладе вводится количественная характеристика переносимости ПО и приводятся примеры ее измерения на специальных тестовых примерах и на популярных тестах CompuBench CL for OpenCL.

Для высокопроизводительной переносимости (переносимости с сохранением высокой эффективности) предлагается писать параметрические программы, параметры которых не только описывают количество вычислительных устройств, но и позволяют подстраиваться под иерархию памяти. Предлагается писать параметризованные программы, параметры которых учитывают не только количество вычислительных устройств, но и структуру памяти. В качестве примера приводится программа множественного выравнивания строк, которая подстраивается под иерархию памяти вычислительной системы тремя параметрами.

GRID-технология обработки результатов квантовохимических суперкомпьютерных расчетов

Анкин Н.А., Мускатин А.Ю., ИОХ РАН

Производительность суперкомпьютеров постоянно повышается, и уже в ближайшем будущем ожидается достижение эксафлопсного уровня. Одновременно с ростом производительности и эффективности программ создаются квантовохимические методы, имеющие линейную зависимость времени расчета от размерности системы – N против не менее N^{*3} в традиционных методах. На кластерах ИОХ РАН и ЯрГУ созданы реляционные базы данных на основе СУБД PostgreSQL и MySQL, содержащие результаты расчетов. Интеграция этих баз осуществляется средствами Globus Toolkit 4.2, а также инструментами, реализованными в рамках европейского проекта EMI, покрывающего функции Globus.

В докладе демонстрируется эффективность применения ЕМІ и новых версий перечисленных СУБД с поддержкой распараллеливания и использования в грид-комплексе ИОХ РАН.

Применение сопроцессоров Xeon Phi для работы с потоковыми фонограммами

Вейс А.А., Мовчан А.В., Цымблер М.Л., НИУ ЮУРГУ

Одной из областей применения многоядерных ускорителей обработки потоковых фонограмм является задача Query By Humming (поиск похожих музыкальных фрагментов по записи голоса). Данная задача предполагает, что пользователь записывает короткий фрагмент песни, которую он хочет найти, а программа выдает перечень всех музыкальных композиций, содержащих похожий фрагмент.

Решение данной задачи предполагает конверсию фонограммы пользователя и набора композиций, в котором осуществляется поиск, во временные ряды, а затем многократное решение задачи поиска похожей подпоследовательности во временном ряде, где в качестве запроса выступает временной ряд, полученный из фонограммы, а поиск осуществляется в каждом временном ряде, представляющем музыкальную композицию набора. В качестве меры схожести временных рядов используется динамическая трансформация шкалы времени (Dynamic Time Warping, DTW), которая признается сегодня одной из лучших мер для решения подобных задач, несмотря на то, что является вычислительно более сложной, чем, например, Евклидова мера.

Исследования авторов показали, что многоядерные сопроцессоры на базе архитектуры Intel Many Integrated Core (Xeon Phi и др.) способны успешнее решать задачи поиска похожих подпоследовательностей во временном ряде, чем графические процессоры. Перенос и адаптация разработанных алгоритмов поиска похожих подпоследовательностей на вычислительные кластеры с узлами на базе сопроцессоров Intel Xeon Phi дает дополнительный ресурс параллелизма и возможность существенного увеличения эффективности решения данной задачи. Конверсия мелодий (фонограммы пользователя и композиций из базы данных для поиска) во временной ряд осуществляется следующим образом. С помощью параллельного алгоритма для сопроцессора Intel Xeon Phi, реализующего оконное преобразования Фурье, массив амплитуд мелодии преобразуется в спектрограмму. Далее посредством адаптированных для Intel Xeon Phi алгоритмов определения высот тона и удаления шумов происходит очистка спектрограммы для выявления четкой мелодии фрагмента. Очищенная спектрограмма преобразуется во временной ряд, используемый в алгоритмах поиска локально похожих подпоследовательностей.

Премиум-партнеры



Партнеры



**Программа и тезисы докладов
Шестого Московского суперкомпьютерного форума**

Москва, 2015, 39 с.