

# РОССИЙСКИЕ СУПЕРКОМПЬЮТЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ

ПРОДОЛЖЕНИЕ

М.Шейкин max.shaking@ya.ru

Мы продолжаем обзор материалов Второго национального суперкомпьютерного форума. В первой части\* были рассмотрены некоторые интересные разработки в области высокопроизводительных вычислений. Вторая часть обзора посвящена проблемам, стоящим на пути развития суперкомпьютерной отрасли России, добровольным распределенным вычислениям и перспективным разработкам в области искусственных когнитивных систем.

**Н**е секрет, что любая отрасль науки, особенно в нашей стране, при своем становлении и развитии сталкивается с проблемами и трудностями. Доклад Владимира Владимировича Стегайлова, д.ф.-м.н., доцента, заведующего отделением Объединенного института высоких температур, был полностью посвящен проблемам отечественной суперкомпьютерной отрасли.

В 2002 году, на стадии первоначального формирования отрасли, объем суперкомпьютерных ресурсов опережал спрос со стороны научно-технического сообщества. Поэтому основным критерием ее успешного развития стала формальная производительность вычислительных систем, оторванная от реальных потребностей. Это привело к отклонению развития отрасли от основного пути мирового прогресса в области высокопроизводительных вычислений.

Итогом увеличения государственного финансирования суперкомпьютерной отрасли в 2006–2009 годах стало создание кластера "Ломоносов" (МГУ), занявшего 12-ю позицию в списке Top500. Однако с этого момента рост замедлился, стали проявляться тенденции несбалансированного развития. Ранее с каждым обновлением списка титул самого мощного суперкомпьютера России мигрировал по различным организациям – МСЦ РАН, Томский государственный университет, МСЦ РАН, МГУ им. М.В.Ломоносова. Менялись также вторая и

третья позиции списка, представляя не только Москву, но и региональные центры. Но с 2008 года на первых позициях списка укрепились кластеры "Ломоносов", МВС-100 (МСЦ РАН) и аналогичный ему кластер в РИЦ КИ; лишь в конце 2012 года на третьем месте оказался кластер "Торнадо" в Южноуральском государственном университете (ЮурГУ). Такое постоянство на верхних позициях списка мощнейших вычислительных систем страны означает лишь отсутствие интенсивного развития и конкуренции среди отечественных суперкомпьютеров (рис.1).

Одна из главных задач, стоящих перед разработчиками современных вычислительных систем, – объединение узлов системы для их взаимодействия и синхронизации. Топология коммутационной сети (интерконнекта) определяет как быстродействие системы, так и возможность ее масштабирования. На заре развития суперкомпьютеров, в начале 1990-х годов, ведущие разработчики, такие как Cray, IBM, Hitachi и т.д., создавали и применяли интерконнекты с различными топологиями, экспериментируя и выбирая оптимальные варианты. Из-за экономических проблем российские разработчики не смогли успеть за мировым прогрессом в этой области. Они оказались не готовы встретить следующий рынок развития, который ознаменовался появлением в 1995 году суперкомпьютера Cray T3E, основанного на топологии трехмерного тора. Эта система стала одной из наиболее коммерчески успешных разработок, и в 1998 году

\* См. Электроника: НТБ, 2013, №8, с.114–120.

на этом суперкомпьютере был впервые преодолен барьер производительности 1 Тфлопс во время прикладных вычислений. Доминирование суперкомпьютеров одного типа, конечно, отразилось и на тенденциях разработки системного и прикладного ПО для высокопроизводительных вычислений. К сожалению, в России таких систем не было. Лишь к концу 1990-х годов в нашей стране стали появляться доступные кластерные системы, объединенные сетями типа Ethernet и Gigabit Ethernet. С появлением же мощных коммерческих решений типа Myninet, Quadrics и Infiniband эпоха доминирования дорогих и эксклюзивных суперкомпьютеров

закончилась. Важно, что все эти решения ориентированы на создание систем с топологией "толстое дерево", узлы в котором объединяются через коммутаторы (см. рис.2а). Именно такие суперкомпьютеры оказались в лидерах списка Top500 в 2000-х годах, системы же с непосредственным объединением узлов (рис.2б-2г) ненадолго исчезли из верхней десятки списка (рис.3). И именно на это время пришлось зарождение современной суперкомпьютерной отрасли России. Вероятно, именно поэтому все российские суперкомпьютеры на протяжении десяти лет развития имеют топологию "толстое дерево" и собираются из импортных комплектующих. Проблема

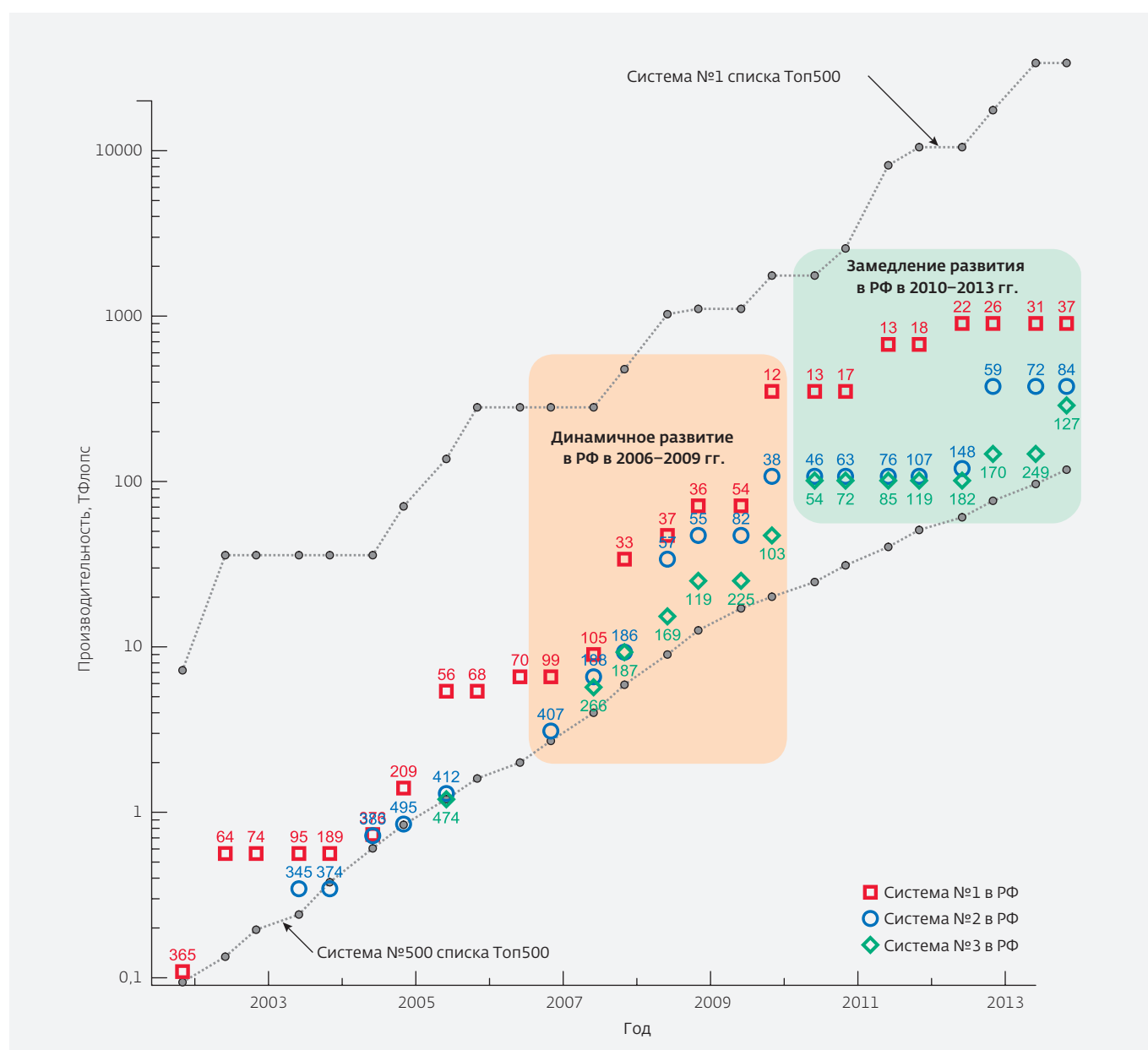
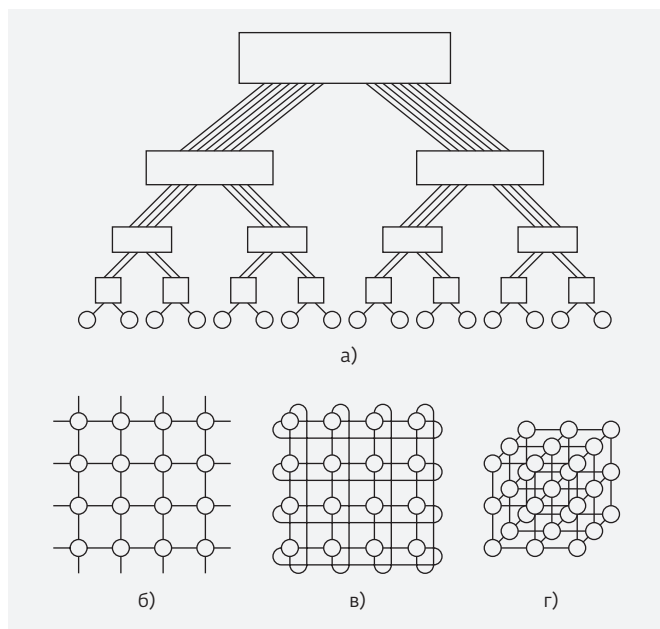
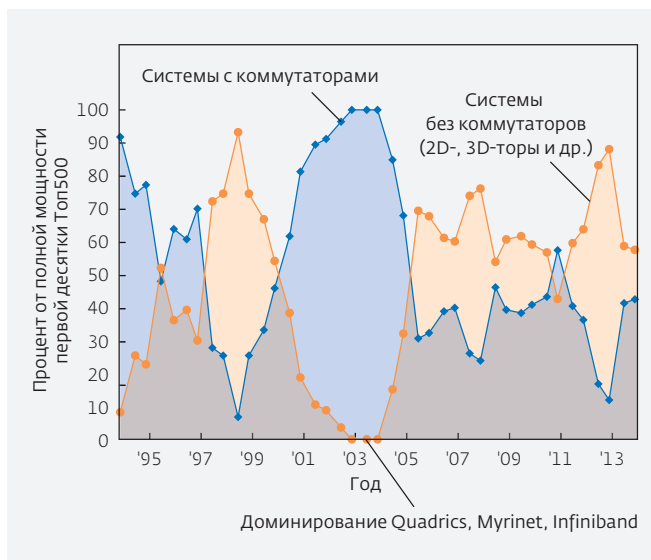


Рис.1. Динамика положения российских суперкомпьютеров в мировом рейтинге



**Рис.2.** Схемы объединения узлов суперкомпьютеров: "толстое дерево" с коммутаторами (а); непосредственное объединение узлов в решетку (б), двухмерный тор (в) и трехмерную решетку (г)

заключается в том, что процесс поиска оптимальной топологии не закончился в то время и продолжается до сих пор. Уже к 2006 году суммарная производительность систем с тороидальной топологией обогнала "толстое дерево"; 2012 год показал стремительное падение удельного вклада систем топологии "толстое дерево" в общую производительность. (Ввод в строй китайского суперкомпьютера Tianhe-2 этой топологии производительностью 33,86 Пфлопс несколько портит статистику, но столь впечатляющие цифры достигнуты в большей мере за счет мощных вычислительных узлов, а не интерконнекта – в этой системе всего 16 000 узлов.) В США, Японии, странах Европы ведутся разработки интерконнектов на основе многомерного тора, однако Россия не может пока похвастаться ни разработками, ни готовыми вычислительными системами, так как ясных планов создания и закупок на сегодняшний день нет. Более того, именно интерконнект, а также количество вычислительных узлов (а не их производительность в петафлопсах) и определяют уровень технологии современных суперкомпьютеров. Отрыв России от ведущих в этой области стран сокращается крайне медленно, – по субъективным наблюдениям авторов доклада, большинство задач, решаемых на отечественных высокопроизводительных системах, используют до 100 вычислительных ядер



**Рис.3.** Развитие списка Top500

без учета ускорителей. Лишь малая часть прикладных задач требует порядка 1000 ядер.

Из специфических для России проблем В.В.Стегайлов также отметил привязанность к тесту производительности LINPACK. При разработке нового суперкомпьютера в нашей стране попадание в Top500 на основе этого теста рассматривается как самоцель. Однако задачи линейной алгебры, входящие в тест LINPACK и составлявшие значительную долю вычислений на суперкомпьютерах в 1979 году, когда был создан этот тест, сегодня уже не столь актуальны при реальных расчетах. Поэтому результаты теста LINPACK нельзя считать главным критерием эффективности вычислительных систем. Разрабатываются новые тесты, имитирующие некоторые типы алгоритмов современных высокопроизводительных вычислений, проблема заключается лишь в репрезентативном представлении всех специальных подобластей таких вычислений. Но в нашей стране LINPACK все еще остается "священной коровой". Для получения высоких показателей в этом тесте зачастую достаточно максимально увеличить мощность вычислительных элементов, жертвуя принципами массового параллелизма (и сохраняя перекося в развитии отечественных суперкомпьютеров).

Очевидно, что суперкомпьютерная архитектура неразрывно связана с системным и прикладным ПО, разработка и совершенствование которого требуют наличия соответствующего оборудования. Поэтому одностороннее развитие аппаратной базы суперкомпьютерной отрасли в России приводит к тому, что отечественные разработчики не



имеют возможности создавать ПО для эффективных параллельных вычислений. Это исключает российских ученых из важнейшего мирового направления развития вычислительных методов для систем будущей экзафлопсной эры.

В то же время суперкомпьютерная индустрия США и стран Европы встала на путь интенсивного увеличения числа вычислительных элементов и применения массового параллелизма. Вычисления, связанные с одновременным запуском множества однотипных задач (тривиальный параллелизм для набора статистики), уже не приоритетны. От алгоритма прикладной задачи требуется параллельная эффективность на вычислительном поле порядка 20% от ресурсов машины. В 2011 году это соответствовало вычислительному полю около 20 000, а в 2013 – 200 000 ядер! Эти цифры красноречиво говорят о начале новой эры вычислительных методов в науке и технике. Для сравнения, лучший российский кластер "Ломоносов" может представить лишь 52 168 ядер.

Были предложены следующие меры для поддержания российской суперкомпьютерной отрасли:

- дополнительное оснащение научных центров страны суперкомпьютерами с современными интерконнектами;
- ускорение отечественных разработок в области аппаратного обеспечения, в первую очередь интерконнекта, и реализация их на практике;
- создание нового ПО и адаптация существующего с учетом требований массового параллелизма.

В.В.Стегайлов завершил выступление невольным предположением о том, что если в течение нескольких лет в суперкомпьютерной отрасли не произойдет значимых изменений, то российским специалистам по высокопроизводительным вычислениям придется менять профессию.

### РАСПРЕДЕЛЕННЫЕ ДОБРОВОЛЬНЫЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ КАК АЛЬТЕРНАТИВА СУПЕРКОМПЬЮТЕРНЫМ СИСТЕМАМ

Идея создания грид-систем из персональных компьютеров (ГПК) не нова. В отличие от суперкомпьютеров, ГПК не могут выполнять сильносвязанные приложения, требующие интенсивного взаимодействия процессов, и обрабатывать большие объемы данных. Однако ГПК позволяют эффективно выполнять вычисления со множеством независимых подзадач. Достоинства ГПК очевидны – это и низкая стоимость ресурсов (можно включать в сеть уже имеющиеся на предприятии компьютеры, рабочие станции и серверы), и отсутствие административных барьеров. ГПК получили

широкое распространение вследствие роста количества мощных домашних ПК и высокоскоростных сетей, которые позволили привлечь к распределенным вычислениям энтузиастов, готовых пожертвовать частью мощности своих домашних компьютеров на благо научных исследований. Это стало возможным благодаря разработанной в Калифорнийском университете в Беркли открытой платформы BOINC. Сегодня широко известны такие проекты добровольных распределенных вычислений, как SETI@home (поиск внеземных цивилизаций), Einstein@home (проверка гипотезы Эйнштейна о существовании гравитационных волн), LHC@home (расчеты, необходимые для постройки и эксплуатации большого адронного коллайдера) и др. Всего в мире насчитывается более 70 таких проектов, в которых активно участвует 240 000 человек и 450 000 компьютеров. В марте 2014 года средняя производительность всех проектов на платформе BOINC составляла более 8 Пфлопс. В качестве примера задач, которые решаются в ходе добровольных распределенных вычислений, можно привести моделирование поведения пучка заряженных частиц при различных параметрах воздействия на них управляющих магнитов ускорителя (проект LHC@home).

В России исследования, связанные с технологиями ГПК, проводятся в Центре распределенных вычислений Института проблем передачи информации (ИППИ) им. А.А.Харкевича РАН. О центре и проводящихся в нем работах рассказал Михаил Анатольевич Посыпкин, к.ф.-м.н., доцент, ведущий научный сотрудник ИППИ РАН. Центр располагает мощной базой персональных компьютеров и серверов и имеет доступ к высокопроизводительным кластерам. Сегодня в центре функционируют три инфраструктуры ГПК: учебная, тестовая и рабочая, на которой непрерывно выполняются проекты добровольных вычислений SAT@home (решение булевых уравнений) и OPTIMA@home (глобальная оптимизация). По состоянию на сентябрь 2013 года в проекте SAT@home принимали участие около 5000 пользователей (более 12 000 компьютеров) из 108 стран, обеспечивая среднюю производительность порядка 2,7 Тфлопс (рис.4).

В рамках международного проекта Desktop grid for international scientific collaboration (DEGISCO, ГПК для международных научных сообществ) была создана Международная федерация ГПК (International desktop grid federation, IDGF). Ее основная цель – всемерное содействие распространению технологий ГПК и поддержка пользователей и разработчиков ПО для этой платформы. В состав IDGF



входит около 40 организаций, в том числе четыре института из России – Институт динамики систем и теории управления Сибирского отделения РАН (ИДСТУ СО РАН), Институт прикладных математических исследований Карельского научного центра РАН (ИПМИ КарНЦ РАН), Институт вычислительных технологий Сибирского отделения РАН (ИВТ СО РАН) и Институт системного анализа РАН. Руководство российского отделения IDGF поддерживает тесные контакты с сообществом российских добровольцев, распространяя и популяризируя добровольные вычисления в России. О сообществах энтузиастов добровольных вычислений и о личном опыте их организации рассказал Александр Андреев, администратор сайта boinc.ru.

Добровольцы распределенных вычислений называют себя "кранчерами" (англ. to crunch – грызть, хрустеть). Действительно, многие из них годами "грызут" полюбившиеся им проекты в надежде, что это принесет реальную помощь научному сообществу. В России также есть свои сообщества энтузиастов распределенных вычислений. Не все они прошли проверку временем – на сегодняшний день осталось лишь четыре крупные площадки для общения кранчеров: старейший сайт и форум distributed.ru, форум команды TSC! Russia, находящийся на платформе overclockers.ru (тематика этого форума ограничена биомедицинскими проектами), относительно молодой ресурс boinc.ru, созданный в 2006 году, и группа в социальной сети "ВКонтакте" "Программа BOINC и проекты распределенных вычислений".

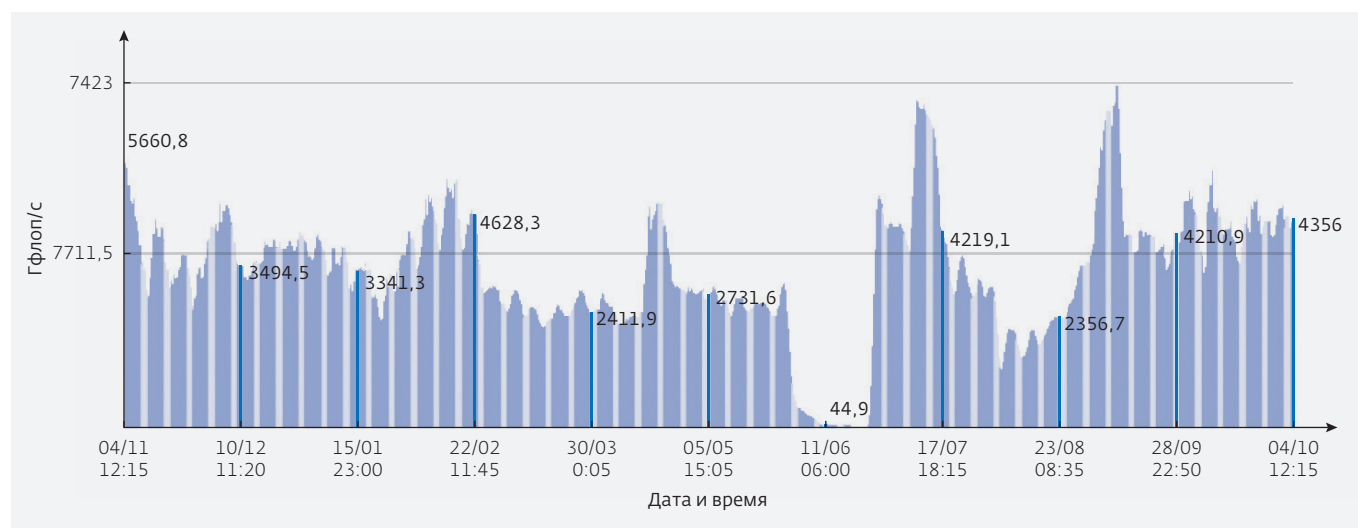
В общемировом рейтинге вклада в распределенные вычисления наша страна находится на 11-й

позиции (см. таблицу). Неудивительно, что на первых местах рейтинга – США, Германия и Япония. Однако несколько странно, что Польша и Чехия также опережают Россию с большим отрывом. Несмотря на все большее распространение высокоскоростного Интернета и мощных компьютеров, участие России в распределенных добровольных вычислениях невелико, причем оно снизилось в последние годы. А вопрос, почему американцы, чехи и поляки более предрасположены к таким проектам, возможно, стоит задать социологам, а не инженерам.

Будучи администратором сайта boinc.ru, А.Андреев посвятил часть своего доклада рассказу об этом ресурсе. Форум boinc.ru предоставляет площадки для общения и координации усилий отдельных команд – членов сообщества, даже если эти команды малочисленны. С самого начала существования форума на нем стали публиковаться переводы информации с сайтов зарубежных проектов, сделанные силами самих участников. Эти публикации помогли членам сообщества понять суть проектов, в которых они участвуют. Также в библиотеке сообщества имеются и собственные оригинальные статьи.

Сайт boinc.ru стал по сути площадкой для тестирования и обсуждения проектов SAT@home и Netmax@home. На этом сайте родился проект Gerasim@home – единственный российский проект, созданный энтузиастами, написавшими аналог BOINC-сервера для ОС Windows и расчетные модули.

Было особо отмечено, что при создании новых проектов добровольных распределенных



**Рис.4.** Производительность проекта SAT@home. Пики соответствуют моментам проведения соревнований среди команд энтузиастов

вычислений большое внимание следует уделять социальным факторам. Для того чтобы привлечь новых пользователей и дать им возможность общения между собой, необходимо создать сайт с форумом и обеспечить поддержку (администрирование) сайта и модерацию форума. Понятно, что для корпоративного проекта собственный сайт не требуется. Для повышения популярности проекта крайне желательно разработать расчетные приложения для всех распространенных платформ – 32- и 64-битной PC/Windows, Linux, MacOS. В последнее время также наблюдается тенденция к проведению распределенных расчетов на устройствах с ОС Android. И, наконец, для мотивации участников нужно организовать систему расчета вознаграждения каждому участнику (очки, баллы и т.д.) в зависимости от проведенного им объема расчетов. Эта задача, пожалуй, самая болезненная для сообщества краучеров – очень важно найти ту золотую середину, которая позволит корректно начислять вознаграждение. Иными словами, социальные и психологические аспекты здесь важны даже более, чем технические. Всегда нужно понимать, что распределенные вычисления – это не только и не столько проекты и задачи, сколько люди, участвующие в этом движении. А для повышения популярности добровольных вычислений и привлечения новых участников необходимо как можно шире распространять информацию о них не только среди возможных участников-добровольцев, но и среди научного сообщества, которому могут быть полезны результаты этих вычислений.

Очень важно было налаживать и поддерживать контакты с коллегами как из России, так и из других стран; удалось даже взять несколько эксклюзивных интервью с разработчиками некоторых проектов и представителями зарубежных команд. А.Андреев отметил, что 2012–2013 годы стали особенными для российского сообщества добровольных

вычислений. Было опубликовано несколько статей в газете "Троицкий вариант – Наука". Волонтеры привлекли внимание российских представителей к Международной федерации грид-систем персональных компьютеров (IDGF), в результате представитель сообщества принял участие в конференции ГРИД'2012 – это был первый "живой" контакт профессионалов и любителей. Позже в г. Петрозаводск была проведена первая российская конференция, посвященная платформе BOINC – BOINC:FAST 2013. И, наконец, о добровольных вычислениях было рассказано на Суперкомпьютерном форуме. Пользуясь случаем, А.Андреев пригласил всех заинтересовавшихся добровольными вычислениями на сайт boinc.ru для общения и сотрудничества.

### ИСКУССТВЕННЫЕ КОГНИТИВНЫЕ СИСТЕМЫ – НОВАЯ КОНЦЕПЦИЯ ВЫЧИСЛЕНИЙ

Последние достижения нейронаук, рост производительности суперкомпьютеров и появление обучаемых наноматериалов позволили разработать новую парадигму вычислительных архитектур – ассоциативные искусственные когнитивные системы (ИКС).

Их особенность – возможность самообучения и синтеза нового знания путем ассоциативной рекомбинации полученной информации. ИКС основаны на нейроморфных (подобных организации нервной системы живых организмов), кортикоморфных (подобных коре головного мозга) искусственных нейронных сетях и генноморфных (подобных генетическим механизмам живых организмов) алгоритмах развития и размножения таких систем. О возможностях реализации таких систем как на программном, так и на аппаратном уровнях и прогрессе в этих областях рассказал Вадим Анатольевич Филиппов, к.с.н., доцент, генеральный директор ООО "Тюменских ассоциативных систем объединение" (ТАСО).



ИКС могут быть созданы на основе суперкомпьютеров, распределенных систем, автономных технических систем и роботов, средств управления технологическими комплексами, в виде микросхем, наномасштабных и киберорганических систем. Для всех этих платформ ИКС реализуются в виде программного обеспечения (ПО) для суперкомпьютеров или электронных устройств на основе обучаемых наноматериалов – мемристоров.

Для создания ИКС на базе суперкомпьютерных вычислительных сетей необходимо построить в параллельной программной среде модели коры головного мозга, состоящей из множества кортикальных колонок – повторяющихся модулей, связанных друг с другом и с регулируемыми активностью коры отделами мозга. Созданы модели кортикальной колонки, которые позволяют ассоциативно обрабатывать различные комбинации входных сигналов, относящиеся к усвоенным ра-

нее знаниям системы. Объединенные в искусственную "кору мозга", они обеспечивают дивергенцию (распространение) и конвергенцию (схождение) сигналов – процессы, аналогичные происходящим в головном мозге живых существ.

Известны зарубежные проекты реализации ИКС – Human Brain Project (основанный на результатах моделирования кортикальной колонки Blue Brain Project), американская президентская инициатива BRAIN, проекты разработки вопросно-ответной системы контентной аналитики DeepQA Watson (IBM), облачного программного ассистента Siri (Apple) и нейросетевого искусственного интеллекта компании Google, а также японские проекты под патронажем JST, канадский проект Sprain и др. Созданию ИКС, в т.ч. в форме программной реализации, были посвящены 42 из 218 программ Агентства передовых оборонных исследовательских проектов (DARPA) и 21 из 29 программ Агентства

Мировой рейтинг вклада в добровольные распределенные вычисления по состоянию на 18 марта 2014 года

Место	Страна	Общий счет	За день	За неделю	За месяц	Усредненный
1	США	578 047 374 391	468 350 698	3 345 447 552	19 422 637 922	504 895 100
2	Германия	212 107 903 452	155 843 543	1 072 851 457	4 528 792 068	161 095 563
3	Япония	102 385 999 305	70 497 119	1 540 182 937	3 441 900 256	77 502 197
4	Великобритания	98 593 554 367	67 454 051	477 346 557	2 058 562 844	72 243 036
5	Интернациональные участники	91 273 707 033	116 129 117	275 819 620	2 355 831 584	123 116 690
6	Польша	84 291 624 164	76 289 839	463 978 918	2 012 846 046	97 034 907
7	Франция	80 674 485 283	57 525 093	420 498 003	1 887 869 566	65 337 561
8	Канада	75 959 445 234	63 889 439	447 044 382	1 917 194 154	67 383 512
9	Чехия	65 160 350 120	67 947 862	459 324 643	1 952 041 741	75 827 294
10	Австралия	52 544 664 800	39 354 965	318 763 692	1 163 707 499	40 896 696
11	Россия	49 770 173 656	39 524 552	280 658 066	1 216 293 231	42 562 539
12	Китай	38 805 086 370	54 463 145	396 186 643	1 516 145 626	58 224 692
13	Нидерланды	37 074 101 091	18 848 925	132 385 661	582 292 942	20 374 417
14	Швейцария	34 934 894 057	24 756 804	170 059 564	794 288 268	27 152 503
15	Норвегия	33 101 625 942	25 934 891	195 285 584	865 660 762	28 905 386
16	Тайвань	31 800 849 005	26 553 303	182 144 278	768 733 627	28 082 407
17	Финляндия	30 192 210 890	32 454 956	222 839 219	1 092 588 046	35 776 288
18	Италия	27 329 925 460	25 807 067	173 175 990	762 868 763	25 849 278
19	Австрия	25 809 470 458	18 357 543	119 298 759	514 742 005	18 427 181



передовых исследовательских проектов разведки (IARPA) США, реализованных в 2012 году. В июле 2013 года агентством IARPA был опубликован запрос на технологии создания программных моделей коннектома (структуры связей в нервной системе организма) и функций кортикальной колонки как первичного модуля коры.

В России работы по программной реализации ИКС ведут Институт программных систем РАН им. А.К.Айламазяна, НИЦ "Курчатовский институт", Российский НИИ искусственного интеллекта, Вычислительный центр РАН им. А.А.Дородницына, Институт проблем информатики РАН, Институт вычислительной математики РАН, Институт систем обработки изображений РАН, Институт проблем передачи информации РАН им. А.А.Харкевича, Институт системного анализа РАН, НИИ системных исследований РАН и др. На предприятии TACO были созданы модели кортикальной колонки и состоящей из кортикальных колонок искусственной коры – кортикоморфные нейросети TACO. Вся сеть построена как ламинарная структура, состоящая из вертикально ориентированных колонок с четкими функциональными ролями слоев в них. Каждая колонка обеспечивает запоминание семантических объектов, их "припоминание" по введенному ассоциативному основанию, самостоятельное ассоциирование системы после завершения ввода данных и другие когнитивные функции. Созданные в ООО TACO нейросети базируются на биоморфных моделях нейронов с многофазным формированием памяти – от моделирования электрохимических процессов до структурных перестроек искусственной клетки. В кортикоморфных нейросетях используются разработанные TACO технологии кибергеномики – регулирования развития кибернетических и других искусственных систем посредством моделирования генетического кода, генетической экспрессии и эпигенетики живых организмов.

Кортикоморфные искусственные нейросети TACO способны:

- распознавать и понимать (выполнять прямое и контекстуальное ассоциирование с дефинициями) различные фрагменты текста (слоги, морфемы, слова, предложения, группы предложений) или иных последовательностей сигналов;
- обучаться в ходе диалога с пользователем или самостоятельного чтения сигналов путем консолидации, активации и реконсолидации следа памяти;
- принимать во внимание всю структуру введенной информации (ассоциативного основания) для обеспечения логики рассуждений;

- обрабатывать все существующие типы ассоциативных оснований (отношений внешних запросов к ранее усвоенным знаниям системы);
- выполнять корректное ветвление возникающих ассоциаций;
- самостоятельно продолжать ассоциирование на основе введенного текста и прогнозирование;
- синтезировать новое знание путем ассоциативной рекомбинации известного;
- предупреждать ошибочные суждения через реализацию обучаемого торможения;
- фильтровать существенную информацию, образовывать вторичные производные смыслов и самостоятельный синтез новых семантических комбинаций (в том числе и словотворчество);
- корректно выводить ассоциативную реакцию на запрос пользователя или внешний сигнал;
- усваивать большой объем знаний.

Для поддержки разработки и функционирования создаваемых нейросетей в ООО TACO создана интегрированная среда разработки (IDE) нейрогенетических сетей, динамических моделей сложных объектов и искусственных когнитивных систем. Программный комплекс реализован в параллельной версии на основе клиент-серверной архитектуры для суперкомпьютерных кластерных архитектур. Он позволяет создавать и поддерживать функционирование искусственных биоморфных нейросетей с более чем 200 млн. элементов (сом, дендритов, аксонов) на один эталонный восьмиядерный вычислительный узел на базе процессоров Intel Xeon E5450 с рабочей частотой 3 ГГц или им подобных. Скорость прохождения активности по нейросети – около 5 млн. искусственных синапсов в секунду на 1 ГГц частоты процессоров. Увеличивая количество вычислительных узлов, можно масштабировать программные мощности нейросети.

В.А.Филиппов отметил, что именно программная реализация нейросети, вероятнее всего, станет первой формой реализации систем с мощным искусственным интеллектом. По данным, предоставленным Национальным исследовательским советом США (NRC) в 2008 году (Доклад "Перспективные когнитивные нейронауки и связанные с ними технологии"), разработка программных моделей живых нейросистем на базе суперкомпьютеров не только займет мало времени, но и будет иметь относительно низкую стоимость из-за постоянного увеличения доступности высокопроизводительных вычислительных ресурсов. Поэтому, по мнению NRC, по-настоящему интеллектуальные искусственные когнитивные системы, способные к самостоятельному обучению и познанию, могут

быть созданы в любой из развитых стран Америки, Европы или Азии в ближайшие 10 лет. Конечно, это может произойти при условии постоянных вложений в подготовку высококлассных специалистов и развитие необходимой инфраструктуры. Лишь недостаточное финансирование и непонимание важности создания искусственных когнитивных систем может помешать стране проявить себя в этой области.

Появление нового класса пассивных электронных устройств – мемристоров – дало возможность аппаратной реализации искусственных когнитивных систем. В основе современных компьютеров лежит архитектура фон Неймана, которая предполагает разделение памяти и вычислительных процессов, выполняющихся последовательно. В ряде случаев такая архитектура уже не удовлетворяет современным требованиям к высокопроизводительным вычислениям, а также не способна к самостоятельному ассоциированию и синтезу нового знания. Свойства мемристоров позволяют создавать из них однородные структуры, не имеющие центров обработки данных и ввода/вывода информации и функционирующие аналогично мозгу живого существа: отдельные блоки могут обмениваться информацией друг с другом и хранить данные.

Сегодня известно два класса мемристоров:

- на основе оксидов металлов и кремния, изменение эффективности связи в которых происходит за счет дрейфа легирующих примесей в электрическом поле;
- на основе органических материалов, чей принцип действия основан на окислительно-восстановительных реакциях.

За рубежом работы по созданию мемристорной элементной базы ведутся по программе DARPA "Системы нейроморфной электроники со свойствами пластичности" (SyNAPSE), реализуемой корпорациями Hewlett-Packard, IBM и Hughes Research, и в рамках проекта IBM "Создание когнитивного компьютера на базе синаптроники и суперкомпьютеров" (C2S2), в результате которого, по планам IBM, должны появиться новый класс технологий (ИКС), новая вычислительная архитектура и новые отрасли промышленности. В августе 2013 года запрос на технологии кортикального процессора опубликовало DARPA.

В России неорганические мемристоры получены в Тюменском государственном университете на установках НТ-МДТ "Нанофаб-100" (диоксид титана, апрель 2012 года), в НИЦ "Курчатовский институт" и в НИИ Физических проблем им. Ф.В.Лукина. Органические полимерные и композитные мемристоры разрабатываются

в Институте элементоорганических соединений им. А.Н.Несмеянова РАН и в НИУ МИЭТ.

Анализ текущих работ и уже полученных результатов в сфере разработки ИКС позволяет не сомневаться в успешности создания в ближайшем десятилетии нового класса стратегических информационных технологий – искусственных когнитивных систем, способных к сенсорному восприятию, самообучению, мышлению, синтезу нового знания, реализации субъективности и автономному поведению. Не исключено, что появление ИКС станет даже более значимым событием, чем создание компьютеров в прошлом веке. Более того, человечество стоит перед перспективой сосуществования с системами, обладающими субъективным мышлением более высокого качества и скорости.

Исходя из этих неоднозначных перспектив, в России необходимо реализовать целевую программу или комплекс мероприятий по созданию ИКС, в том числе и в рамках развития российских суперкомпьютеров. В заключение доклада В.А.Филиппов предположил, что появление таких систем за рубежом будет означать экономическую, технологическую, социальную, политическую и даже военную угрозу для России.

\* \* \*

В рамках одной публикации (даже состоящей из двух частей) невозможно уделить внимание всем важным темам НСКФ. Мы постарались рассказать о нескольких интересных направлениях развития высокопроизводительных вычислительных систем и о важных аспектах суперкомпьютерной индустрии России, по которым можно судить о состоянии и перспективах отрасли в целом. Третий национальный суперкомпьютерный форум состоится в ноябре 2014 года, и мы обязательно продолжим серию публикаций о российских суперкомпьютерах. ●