

пользователей университета при организации самообразования, контроле качества обучения, проведении научных и инженерных расчетов, требующих больших вычислительных ресурсов. Организован процесс обучения магистрантов. Регулярно, примерно раз в неделю, в режиме телемоста, проводятся трансляции лекций по параллельным вычислениям ведущих преподавателей из г. Москвы, С.-Петербурга, Н. Новгорода для слушателей из ПГТУ.

Перспективным направлением развития будет создание виртуальной сети, объединяющей несколько суперкомпьютеров для решения задач более высокого уровня. Работы в данном направлении продолжаются по программе «Университетский кластер». Появляется возможность ускоренной реализации межрегионального стратегического проекта «Белкомур», включающего северные территории в единый транспортный поток России.

Пермский государственный технический университет вошел в Суперкомпьютерный консорциум университетов России. Пермскому государственному техническому университету присвоена категория Национального исследовательского университета России. В связи с этим можно ожидать нового подъема эффективности реализации высокопроизводительных вычислений на кластере ПГТУ для фундаментальных и прикладных научных исследований и нужд промышленных предприятий Пермского региона.

В.П. Матвеев, А.Г. Масич, Г.Ф. Масич

Институт механики сплошных сред УрО РАН, г. Пермь

РЕГИОНАЛЬНАЯ НАУЧНО-ОБРАЗОВАТЕЛЬНАЯ ОПТИЧЕСКАЯ СЕТЬ УРО РАН – ФУНДАМЕНТ КИБЕРИНФРАСТРУКТУРЫ

Эволюция R&E-коммуникаций. Отработанные технологии построения сетей привели в середине 90-х годов к коммерциализации Интернета и стремительному техническому подъему. В этот период по всему миру прокладывалось оптоволокно со скоростью более 8000 км/час (70 миллионов км в 1999 году !)

[1]. Чтобы расширить полосу пропускания, внедрялась технология плотного волнового мультиплексирования (DWDM), обеспечивающая возможность передавать 10–40–100 Гбит/с по каждому «лямбда»-каналу. Это позволяло увеличить пропускную способность без прокладки новых дорогостоящих волоконно-оптических линий связи (ВОЛС). Таким образом, можно с уверенностью утверждать, что для протяженных высокоскоростных линий связи альтернативы оптическому волокну в обозримом будущем отсутствуют.

В этот же период времени (90-е годы) R&E-сообщество осознало [2], что потеряло контроль над дефицитным ресурсом (каналами) телекоммуникационной промышленности. Развернутые за последние три десятилетия XX века R&E-сети были построены на арендованных каналах. Однако в 2000 году стремительный технический подъем сменился техническим кризисом, ряд компаний по протяженным каналам связи обанкротились, и ввиду переизбытка пропускной способности компании–поставщики телекоммуникационных услуг были готовы обсудить вопрос о продаже или долгосрочной аренде неиспользуемого ими оптоволокну (dark fiber – темного) или лямбда-каналов. Возможностью приобретения «темных» волокон воспользовались многие R&E-организации в мире. В этом случае судьба пропускной способности оказывается в руках конечных клиентов, а не у поставщиков сервисов и потоков. Результат – стратегическая обеспеченность R&E-сообщества. Примеры таких подходов освещены в [3]. Это следующие сети: NLR (National LambdaRail) в США, более 17000 км оптического волокна, скорость 6,4 Тбит/с; GIGA в Бразилии, национальная исследовательская и образовательная сеть, 700 км «темного» оптоволокну, WDM-оборудование; CSI (Cyber Science Infrastructure) в Японии; TWAREN – тайваньская научно-образовательная сеть объединяет магистралью 10 Гбит/с одиннадцать региональных центров; GEANT2 (Gigabit European Academic Network Technology) – седьмое поколение Европейской научно-образовательной сети.

В России история создания R&E-сетей в национальном масштабе началась с 1980 года, когда в СССР была разработана про-

грамма и проект создания Академсети, структурно представляющая собой совокупность девяти взаимосвязанных региональных вычислительных подсетей (РВПС) СССР. В 1986–1990 годах была создана рабочая зона РВПС «УРАЛ» Академсети (1,2–2,4 Кбит/с). В период 1991–2000 годов со снятием эмбарго на ввоз высоких технологий создание и развитие региональной информационно-вычислительной сети (РИВС) УрО РАН происходило на новой технической базе.

Однако по настоящее время R&E-сети в России, национальные (RBNет – Russian Backbone Network, RUNет – Russian University Network, RASет) и региональные (например, сеть УрО РАН), все еще арендуют дорогостоящие потоки 45–155 Мбит/с. Так, например, сеть УрО РАН состоит из созданных и развиваемых в шести научных центрах собственных оптических инфраструктур: Архангельск – АНЦ, Сыктывкар – КомиНЦ, Ижевск – УдНЦ, Пермь – ПНЦ, Челябинск – ЧНЦ, Оренбург – ОНЦ и Екатеринбург. Так, сеть Пермского научного центра (ПНЦ) объединяет оптическим волокном на скорости 1 Гбит/с по IP/GE-технологии четыре института и Президиум ПНЦ (рис. 1), связана с оптическими сетями Пермского государственного технического университета (ПГТУ) и Пермского государственного университета (ПГУ). Оптическая инфраструктура построена в кооперации с различными ведомствами и организациями для уменьшения затрат на приобретение части волокон и последующее обслуживание линий связи. Волокна не выкуплены по причине их обилия в городе, как это происходило в США и других странах, а построены собственные волоконно-оптические линии связи (ВОЛС).

Подключение научных центров к Екатеринбургу выполнено по арендуемым потокам на скорости 2–4 Мбит/с. Централизованный доступ в Интернет осуществляется по арендуемому потоку 75 Мбит/с «Екатеринбург–Москва». И увеличение, например, на два порядка (0,2 Гбит/с) скоростей в магистрях между научными центрами, по нашей оценке, потребует увеличения почти на два порядка ежегодных затрат на аренду, что бесперспективно, дорого, да и скорости не мирового уровня.



Рис. 1. Существующая оптическая инфраструктура сети ПНЦ УрО РАН

Инициатива GIGA UrB RAS [4] направлена на достижение стратегической обеспеченности Уральского отделения РАН скоростными коммуникациями путем преодоления отрицательного влияния сложившейся в России практики аренды дорогостоящих каналов связи посредством собственного «темного волокна» и DWDM-технологии (рис. 2). В ИМСС УрО РАН найдены решения для объединения существующих и развиваемых оптических сетей научных центров в городах Екатеринбурге, Перми, Ижевске, Сыктывкаре и Архангельске, обеспечивая сравнимые с мировым уровнем скорости. Экономическая целесообразность Инициативы GIGA UrB RAS оценена на примере сопоставления разовых и ежегодных затрат:

- предлагаемое решение 40 Гбит/с $\sim$ 400 млн руб. разово;
- возможная аренда 0,2 Гбит/с $\sim$ 400 млн руб. ежегодно.



Рис. 2. Создаваемая региональная научно-образовательная оптическая сеть УрО РАН (Инициатива GIGA UrB RAS)

Разовые затраты на приобретение двух академических оптических волокон (срок эксплуатации 25–30 лет) для нужд научно-образовательного сообщества Урала и прилегающих территорий и заложенная возможность поэтапного наращивания производительности DWDM-системы до терабитных скоростей обеспечивают защиту инвестиций и согласуются с мировой тенденцией развития научно-образовательных сетей УрО РАН (Инициатива GIGA UrB RAS).

Идея «Инициативы GIGA UrB RAS» одобрена и реализуется Уральским отделением РАН в рамках постановления и распоряжения о создании «Региональной научно-образовательной оптической сети», объединяющей научные центры Уральского отделения РАН. Соучастие в проекте образовательных учреждений Уральского региона и прилегающих территорий формируется в рамках соглашений и договоров с Уральским отделением РАН. Начата реализация первого этапа проекта на участке «Пермь–Екатеринбург».

Эволюция технологий супервычислений. Для доступа к распределенным в пространстве вычислительным ресурсам R&E-сообщество создало грид-технологии, в которых изначально использовались разделяемые между всеми пользователями Интернета TCP/IP-сети (публичный, public Интернет). Однако если передавать терабайтные файлы по public Интернет, то передача будет длиться очень долго и ее использование станет крайне неэффективно.

Следующий этап развития национальных и региональных оптических R&E-сетей привел к созданию международной виртуальной организации GLIF (Global Lambda Integrated Facility) [5] – глобальной лямбда-системы, продвигающей парадигму глобальных лямбда-сетей. Деятельность участников GLIF направлена на интеграцию своих «лямбд» в глобальную систему для их использования учеными и проектами, требующими передачи большого количества данных, например, по схеме «точка-точка» по одной или нескольким лямбда-каналам. Сообщество GLIF разделяет взгляды в построении новых парадигм грид-вычислений, в которых центральный архитектурный элемент – это оптические сети, а не компьютеры. Эта парадигма называется LambdaGrid, направлена на поддержку наиболее требовательных к скоростям научных приложений этого десятилетия, основывается на использовании параллелизма, как и в суперкомпьютеринге десятилетие назад. Однако у GLIF параллелизм заключен в многочисленных длинах волн света (лямбд) в одном оптическом волокне.

Киберинфраструктура. Национальный научный фонд США (NSF) в понятии «киберинфраструктура» в начале XXI столетия [6] в более общей постановке сформулировал задачу развития IT-отрасли. «Всестороннюю инфраструктуру, которая должна объединять все усовершенствования в сфере информационных технологий назвали киберинфраструктурой (Cyberinfrastructure – CI). CI объединяет в себе аппаратные средства для вычислений, данные и сети, цифровые датчики, обсерватории и экспериментальные средства, взаимодействующий набор программного обеспечения и услуг микропрограммных средств

и инструментов. Миссия NSF касательно киберинфраструктуры (CI) [7]. Разработка антропоцентрической CI, которая управляется возможностями образования и исследований в науке и технике; обеспечение научным и техническим сообществам доступа к инструментальным средствам и услугам CI мирового класса. Продвижение CI для расширения участия национальной рабочей силы во всех областях науки и техники. Обеспечение жизнеспособной CI, которая является безопасной, эффективной, надежной, доступной, вполне используемой и способной к взаимодействию и которая развивается как основная национальная инфраструктура для обеспечения образования и исследований в науке и технике. Интеграция и совместное использование активов киберинфраструктуры, развернутых и поддерживаемых на национальном, региональном, местном уровнях и на уровне университетских городков». В этом смысле киберинфраструктура – это движущая сила науки и техники, а высокоскоростные коммуникации – фундамент киберинфраструктуры.

Суть проекта «Распределенный PIV» [7] – обработка в реальном времени получаемых в ИМСС (Пермь) на PIV-экспериментальной установке изображений на удаленном суперкомпьютере. Широко используемый метод PIV (Particle Image Velocimetry) [8] основан на цифровой трассерной визуализации, позволяет в плоскости и толщине лазерного ножа фиксировать цифровыми камерами перемещения трассеров и рассчитывать, например, поля скорости. Точность измерений зависит как от характеристик видеокамер, так и от возможностей алгоритмов расчета.

Экспериментальная установка PIV, установленная в ИМСС (Пермь), генерирует поток экспериментальных данных на скорости 1–10–100 Гбит/с, зависящей от разрешения и числа камер и частоты проводимых измерений. Ограниченность вычислителя экспериментальной установки сдерживает развитие математического аппарата и возможности управления экспериментов в реальном времени. Перенос вычислений на многопроцессорные системы позволит использовать ресурсоемкие, но высокоточные алгоритмы, избегать хранения гигантских объемов избыточной информации, обрабатывать измерения «на лету» и проводить

эксперименты с обратной связью. Пакет программ на супервычислителе реализует алгоритм параллельного расчета мгновенных полей скорости по изображениям, поступающим с измерительной установки.

На первом этапе (2009) [7] использован суперкомпьютер СКИФ (НИВЦ МГУ, Москва, 60 Tflops) по временно организованному магистральному каналу связи протяженностью ~1500км на скорости 1 Гбит/с (прототип LambdaGrid). Инфраструктура эксперимента изображена на рис. 3. Цель первого этапа работ – оценка существующих возможностей научно-образовательных коммуникаций и вычислительных ресурсов России и уточнение модели распределенного в пространстве эксперимента реального времени. На первом этапе выявлен ряд нерешенных задач как в части протоколов передачи данных, так и способов ввода интенсивных потоков данных в супервычислитель.

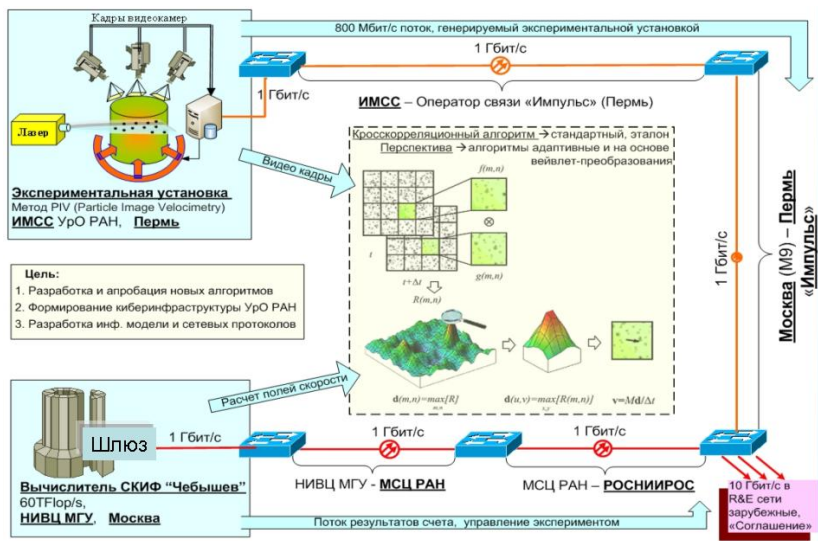


Рис. 3. Инфраструктура проекта «Распределенный PIV» (Этап 1, 2009 г.)

На втором этапе [9, 10] (2010) разработано «идеальное» архитектурное решение, заключающееся в прямом вводе в вычислительные узлы супервычислителя экспериментальных дан-

ных, в том числе протокола обмена данными между экспериментальной установкой и удаленной многопроцессорной системой (протокол PIV). Отладка и апробация «идеальной» модели выполнялись в связке экспериментальной установки PIV с МВС-1000/16П (ИМСС, Пермь) по L2 каналу 0,1 Гбит/с и с МВС ИММ «um64» (ИММ УрО РАН, Екатеринбург) через public Интернет на скорости 15Мбит/с. Подробное описание результатов второго этапа исследований выходит за рамки этой статьи, однако следует отметить состоятельность предложенной модели организации обработки экспериментальных данных, в том числе и направления последующих работ. Создание переносимого системного программного обеспечения (например, в рамках MPI-библиотек), доступного для использования в задачах обработки и передачи интенсивных потоков данных; организация скоростных портов ввода/вывода супервычислителя; анализ, исследование и разработка эффективных протоколов передачи данных.

Общепризнано сегодня, что исследователи из академических институтов и университетов играют ключевую роль и в разработке фундаментальных интернет-технологий, и их апробации в крупномасштабных испытательных моделях. Яркий тому пример – амбициозная «Инициатива GIGA UrB RAS», которая не уступает аналогичным проектам науки и образования США, Европы и Японии и хорошо ложится на организационно-территориальную структуру УрО РАН. Поскольку чем больше протяженность и чем выше скорость передачи, тем более заметны преимущества оптических сетей.

Сравнение тенденций роста мощности у технологий вычислений, хранилищ и сетевых показало, что производительность сети растет значительно быстрее, чем у вычислителей и хранилищ данных. Это означает, что становится более экономичным построить или приобрести высокоскоростные сети связи для доступа к удаленным вычислительным ресурсам и памяти, чем дублировать и поддерживать эти ресурсы на местах.

Проект «Распределенный PIV» иллюстрирует возможности новых парадигм организации супервычислений, основанных на возможности использования больших скоростей передачи данных, и является одним из примеров создаваемой киберинфраструктуры УрО РАН.

Список литературы

1. Philip Papadopoulos, Larry Smarr. Introduction // CTWatch Quarterly. Vol. 1. No. 2, may 2005. P 2–4.

2. David Farber, Tom West. The National LambdaRail. Cyberinfrastructure for Tomorrow's Research and Education // CTWatch Quarterly. Vol. 1 No. 2, may 2005. P 14–19.

3. Масич А.Г., Масич Г.Ф. От Инициативы GIGA UrB RAS к киберинфраструктуре УрО РАН. // Вестн. Перм. науч. центра (октябрь–декабрь 4/2009). – Пермь: Изд-во ПНЦ УрО РАН, 2009. – С. 41–56.

4. Масич А.Г., Масич Г.Ф. Инициатива GIGA UrB RAS // Вычислительные технологии, Вестник КазНУ им. Аль-Фараби. Серия «Математика, механика, информатика». № 3 (58). – Алматы, 2008.

5. Global Lambda Integrated Facility. – URL: <http://www.glif.is/> 20.12.2009.

6. Cyberinfrastructure Vision for 21st Century Discovery, National Science Foundation Cyberinfrastructure Council, March 2007.

7. Степанов Р.А., Масич А.Г., Масич Г.Ф. Инициативный проект «Распределенный PIV» // Научный сервис в сети Интернет: масштабируемость, параллельность, эффективность: тр. Всерос. суперкомпьютерной конф. – М.: Изд-во МГУ, 2009. – С. 360-363.

8. Adrian R.J. Scattering particle characteristics and their effect on pulsed laser measurements of fluid flow: speckle velocimetry vs. particle image velocimetry // Appl. – Opt. 1984. Vol. 23. – P. 1690–1691.

9. Масич А.Г., Масич Г.Ф. GIGA UrB RAS-подход к LambdaGrid парадигмам вычислений // Научный сервис в сети Интернет: суперкомпьютерные центры и задачи: тр. Междунар. суперкомпьютерной конф. – М.: Изд-во МГУ, 2010. С. 4–11.

10. Скоростной I/O канал супервычислителя и протокол для обмена интенсивным потоком экспериментальных данных / А.Г. Масич [и др.] // Высокопроизводительные параллельные вычисления на кластерных системах (НРС–2010) (1–3 ноября 2010 г., г. Пермь): материалы X Междунар. конф. – Пермь: Изд-во Перм. гос. техн. ун-та, 2010.

^{1,3}В.Н. Снытников, ¹Э.А. Кукшева, ^{1,3}Т.В. Маркелова,
²Н.В. Снытников, ¹О.А. Стадниченко, ¹О.П. Стояновская

¹Институт катализа им. Г.К. Борескова, г. Новосибирск

²Институт вычислительной математики и математической геофизики
СО РАН, г. Новосибирск

³Новосибирский государственный университет

СУПЕРКОМПЬЮТЕРНЫЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ С ЭКЗАФЛОПНОЙ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬЮ В АСТРОФИЗИКЕ И АСТРОКАТАЛИЗЕ

Сегодня особый интерес в естественных науках вызывает образование околозвездных дисков при гравитационном коллапсе среды в газопылевых туманностях. В этих дисках формируются планеты, которые обнаружены у сотен звезд помимо нашего Солнца. С начальными этапами зарождения звезд и планет связана химическая эволюция. Она обеспечила в Солнечной системе синтез предбиологических соединений, зарождение жизни и возникновение на Земле биосферы.

Целью наших исследований в астрофизике и астрокатализе с использованием суперкомпьютеров стало создание численных моделей околозвездных дисков для сравнения с наблюдательными данными. Нас интересуют условия в среде, при которых шла химическая и предбиологическая эволюция, с тем