

# GIGA URB RAS ПОДХОД К LAMBDAGRID ПАРАДИГМАМ ВЫЧИСЛЕНИЙ

А.Г. Масич., Г.Ф. Масич

Предложен подход к построению сверхбыстрых региональных научно-образовательных (R&E - Research and Education) коммуникаций посредством «темного волокна», DWDM технологии и быстродействующих каналов ввода/вывода сопрягаемых систем. Предлагаемый подход направлен на преодоление отрицательного влияния сложившейся в России практики аренды дорогостоящих каналов связи и может рассматриваться как способ создания национальных парадигм LambdaGrid вычислений на примере проектов «Инициатива GIGA UrB RAS» и «Распределенный PIV».

## 1. Историческая справка.

Отслеживая состояние R&E сетей США, начиная от ARPANET (1969 год - 4 узла объединенных на скорости 56Кбит/с) до конца 90-х гг. 20 в. (NSFNET: 1988 г - 1,5Мбит/с, 1991 – 45Мбит/с; vBNS: 1995 г - 155Мбит/с, Internet2/Abilene: 1996 г - 622Мбит/с) видим рост скорости и продолжительные по времени реализации проекты научных сетей для решения определенных задач. Отработанные технологии построения сетей привели в середине 90-х годов к коммерциализации Интернет и стремительному техническому подъему. В этот период по всему миру прокладывалось оптоволокно со скоростью более 8000 км/час (70 миллионов км. в 1999 г !) [1]. А чтобы расширить полосу пропускания внедрялась технология плотного волнового мультиплексирования (DWDM - Dense Wavelength Division Multiplexing), обеспечивающая возможность передавать 10, 40, 100 Гбит/с по каждому "лямбда" каналу в волокне согласно частотного плана ITU-T в инфракрасном диапазоне. Справка. Различные длины волн света в одном оптическом волокне используются для разделения каналов передачи данных (рис.1). Каждая длина волны называется «лямбда». Международный союз электросвязи (ITU-T) стандартизировал частотный спектр длин волн в С-диапазоне с шагом 200, 100, 50, 25 ГГц, что соответствует числу волн 20, 40, 80, 160 соответственно. Это позволяет эффективно увеличить пропускную способность без прокладки новых дорогостоящих волоконно-оптических линий связи (ВОЛС).

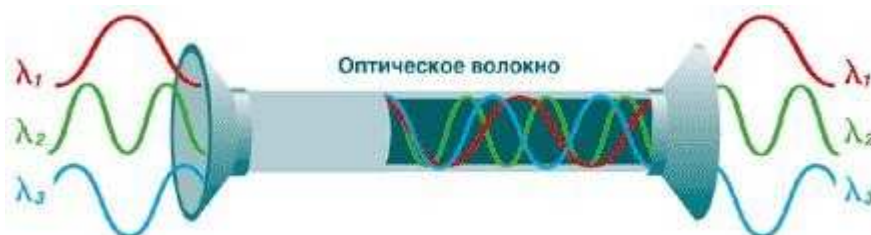


Рис. 1. Лямбда каналы в одном волокне

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. Важная общая черта всех R&E сетей, развернутых за последние три десятилетия 20 века, - большая часть каналов (основной инфраструктуры сети) не принадлежало R&E сообществу, т.е. сети были построены на каналах, арендованных у традиционных компаний по передаче данных. Однако в 2000 году стремительный технический подъем сменился техническим кризисом. И поскольку ряд компаний по протяженным каналам связи обанкротились, ввиду переизбытка пропускной способности появилась другая возможность - компании-поставщики телекоммуникационных услуг были готовы обсудить вопрос о продаже или долгосрочной аренде неиспользуемого ими оптоволокна или лямбда каналов. По неиспользуемым операторами связи волокнам не распространяются лямбда и оно не светится. Не светящееся волокно называется «темным» (dark fiber). Возможностью приобретения «темных» волокон воспользовались многие R&E организации в мире для построения собственных LAN/MAN/WAN инфраструктур. В этом случае судьба пропускной способности оказывается у конечных клиентов, а не у поставщиков сервисов и потоков. Результат - стратегическая обеспеченность R&E сообщества.

Примерами таких подходов и реализаций являются следующие сети. *National LambdaRail* (NLR) [3], объединяет региональные оптические сети США (Regional Optical Networks – RONS), более 17000 км оптического волокна, скорость 6,4 Тбит/с. *Бразильская* [4] национальная исследовательская и образовательная сеть, проект GIGA с 2002 года, 700 км «темного» оптоволокна, WDM оборудование, IP услуги через GE конечным пользователям. Стратегия известна как национальная оптическая инициатива (ION - National Optical Initiative), в основе которой лежит «темное» волокно или WDM волны, а не аренда услуг. *CSI (Cyber Science Infrastructure)* инициатива для улучшения японских научных исследований [5]. Включает в себя высокоскоростную оптическую сеть следующего поколения, которая объединит SINET (Science Information Network – 1 Гбит/с) и SuperSINET (10 Гбит/с) для того, чтобы добиться предоставления полосы пропускания по

требованию. *TWAREN* [6] (TaiWan Advanced Research and Education Network) – тайваньская научно-образовательная сеть, объединяет магистралью 10 Гбит/с одиннадцать региональных центров (GigaPoPs). *GEANT2* (Gigabit European Academic Network Technology) [7] – седьмое поколение Европейской научно-образовательной сети, использует магистральную сеть NREN (National Research and Education Network) некоммерческого оператора DANTE для объединения 28 национальных сетей. Национальные сети Европы имеют свою собственную инфраструктуру [от 10 Гбит/с (Германия) до 100 Мбит/с (Литва)], все чаще арендуется темное оптоволокно и устанавливается собственное каналобразующее оборудование. Европейские национальные сети создали ассоциацию TERENA (штаб квартира в Амстердаме), которая управляется генеральной ассамблеей, состоящей из представителей национальных сетей, международных организаций (CERN, ESA, ...), ассоциативных членов (CISCO, DANTE, IBM, NORDUnet), а также ЕЭС. Россия не член ассоциации TERENA.

## 2. Технологии использования и вектор развития R&E коммуникаций в начале 21 века.

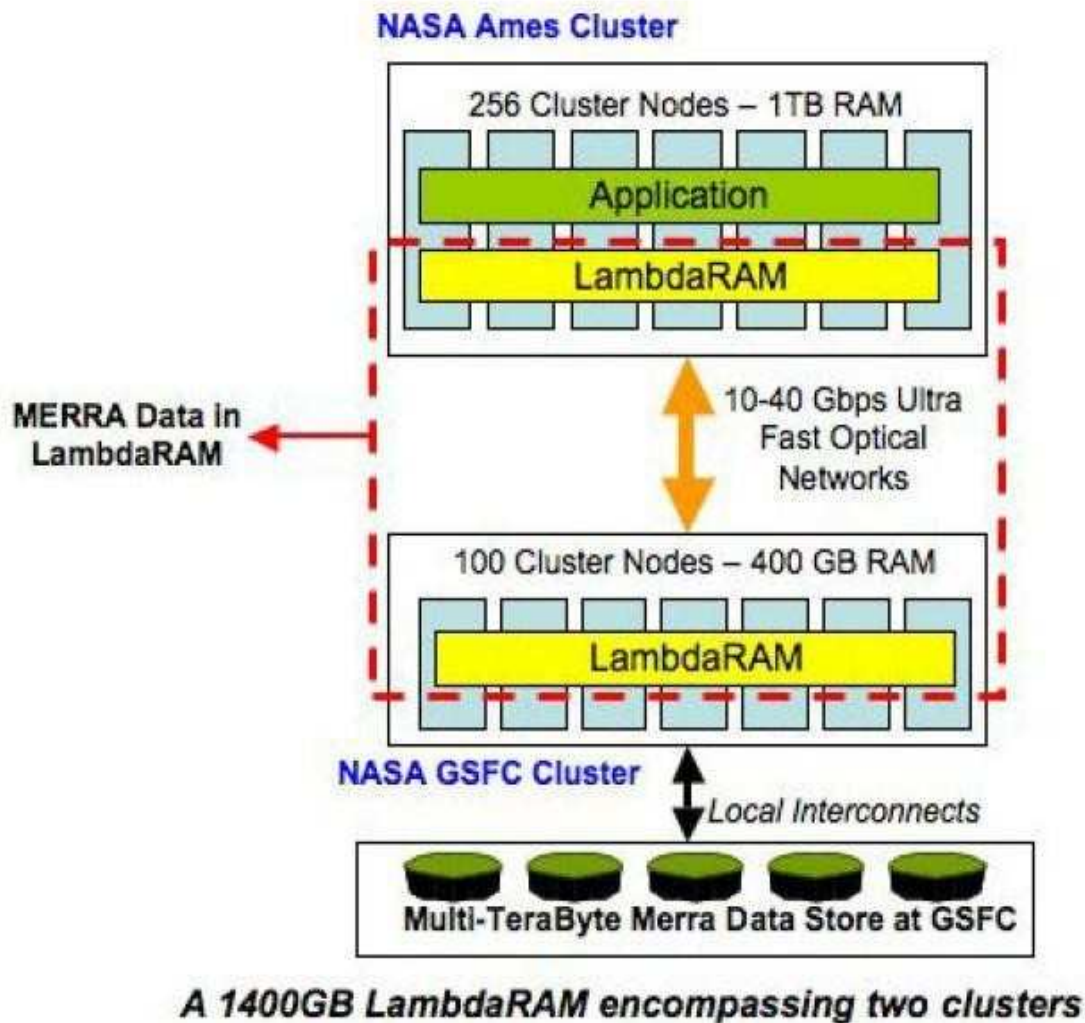
Для доступа к распределенным в пространстве вычислительным ресурсам R&E сообщество создало грид-технологии, которые позволяют большому количеству ученых по всему миру намного быстрее выполнять трудоемкие расчеты и обрабатывать огромные объемы данных. Изначально в грид-вычислениях и других грид-приложениях использовались разделяемые между всеми пользователями Интернет TCP/IP сети. Сейчас о таких сетях говорят публичный (public) Интернет. Такие сети играли и играют роль клея, который в грид технологиях соединял грид приложения. И следует отметить, что если передавать терабайтные файлы по public Интернет, то передача будет длиться очень долго и станет крайне неэффективно ее использование.

Поэтому следующий этап развития национальных и региональных оптических R&E сетей привел к созданию международной виртуальной организации GLIF ([Global Lambda Integrated Facility](#)) [8] – глобальной лямбда системы, продвигающей парадигму глобальных лямбда-сетей. Участниками GLIF являются национальные R&E сети, консорциумы и организации, работающие с «лямбда». GLIF была основана на [3rd LambdaGrid Workshop](#) в Рейкьявике (Исландия) в августе 2003. 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. Эта парадигма 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.

При интерактивной обработке больших массивов данных (терабайты и петабайты) обрабатываемые данные должны перемещаться по LambdaGrid между дисками, кластерами, экспериментальными установками, дисплеями и другими физическими приборами. Приложения LambdaGrid обычно используют middleware, включая, GLOBUS, CACTUS. «Data Intensive middleware» обычно используют MPI для коммуникации внутри кластера и специализированные транспортные протоколы для глобальных коммуникации, включая быстросредствующие варианты TCP, RBUDP и UDT.

Одним из таких подходов является LambdaRAM [9, 10], который основан на территориально распределенных на множестве кластерах «Data Intensive middleware», связанных по LambdaGrid. LambdaRAM, по сути является подсистемой памяти для LambdaGrids и использует память узлов в одном или более кластерах для интерконнекта по ультрабыстросредствующим сетям, обеспечивая приложения быстрым доступом к локальным и отдаленным данным. На рис. 2 изображена LambdaRAM, объединяющая два кластера с использованием оптической сети NLR, в которой используется новая превентивная эвристика уменьшения времени латентности [9]. Поддерживается LambdaRAM набором инструментов (Rails Toolkit — RTK), который абстрагирует топологию конечных систем (кластеров) и обеспечивает для приложений и межплатформенного программного обеспечения возможности совместного планирования ядер ЦП, GPUs, памяти и ресурсов сети в пределах мульти- и много-ядерных компьютерных систем [11].

## LambdaRAM encompassing Two Clusters



**A 1400GB LambdaRAM encompassing two clusters**

Рис. 2. Объединение по LambdaRAM двух кластеров [10]

В этом смысле **коммуникации являются фундаментом киберинфраструктуры** и уместно привести трактовку понятия киберинфраструктура Национальным научным фондом США (NSF) [12]. Всестороннюю инфраструктуру, которая должна объединять все усовершенствования в сфере информационных технологий назвали киберинфраструктурой (Cyberinfrastructure - CI). CI объединяет в себе средства для вычислений, хранилища данных и сети, цифровые датчики, обсерватории и экспериментальные установки, взаимодействующий набор программного обеспечения и услуг микропрограммных средств и инструментов. Миссия NSF киберинфраструктуры [12]. Разработка антропоцентрической CI, которая управляется возможностями образования и исследований в науке и технике; обеспечение научных и технических сообществ доступом к инструментальным средствам и услугам CI мирового класса. Интеграция и совместное использование активов киберинфраструктуры, развернутых и поддерживаемых на национальном, региональном, местном уровнях, и на уровне университетских городков. Так одной из целей NSF проекта OptIPuter было понять, как новые высокоскоростные сети будут коренным образом изменять вычисления и научные открытия. Сравнивая тенденции роста мощности у технологий вычислений, хранилищ и сетевых, показано, 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 [9].

### 3. R&E сети в России.

В России история создания R&E сетей в национальном масштабе началась с 1980 года [13], когда в СССР была разработана программа и проект создания Академсети, структурно представляющая собой совокупность девяти взаимосвязанных региональных вычислительных подсетей (РВПС) СССР: "Центр", "Северо-Запад", "Прибалтика", "Юго-Запад", "Урал" (Свердловск, ИММ УрО АН СССР), "Сибирь", "Средняя

Азия", "Казахстан" и "Дальний Восток". На Урале в 1986-1990 гг. была создана рабочая зона РВПС "УРАЛ" Академсети (1,2-2,4 Кбит/с) [14]. Со снятием эмбарго на ввоз высоких технологий (1991-2000 гг) создание и развитие сети УрО РАН происходило на новой технической базе. В настоящее время, национальные (RNet, RUNNet, RASNet) и региональные (например, сеть УрО РАН) R&E сети, все еще арендуют дорогостоящие потоки 45–155 Мбит/с для подключения к MSK-IX и 2-4 Мбит/с для построения региональных сетей. Однако в начале 2010 года ФГУ ГНИИ ИТТ «Информика» при поддержке ФЦП завершила развертывание собственной RUNNet DWDM-системы на участке «Санкт-Петербург – Хельсинки» (550 км, 40 Гбит/с) с возможностью организации до 72 длин волн по 100 Гбит/с [15] Это первый позитивный опыт лямбда R&E инфраструктуры в России. А планами концепции Грид-сети на 2010-2015 гг, формируемой «Национальной ассоциацией исследовательских и научно-образовательных электронных инфраструктур «е-АРЕНА» [16], предусматривается скорость в магистрали «С-Петербург - Хабаровск» 10 Гбит/с. Поэтому задача построения в регионах своих лямбда сетей как никогда актуальна.

#### 4. Инициатива GIGA UrB RAS.

Региональная сеть УрО РАН состоит из созданных и развиваемых в шести научных центрах оптических инфраструктур: Архангельск – АНЦ, Сыктывкар - КомиНЦ, Ижевск – УдНЦ, Пермь – ПНЦ [17], Челябинск – ЧНЦ, Оренбург - ОНЦ и Екатеринбург. Подключение научных центров к Екатеринбургу выполнено по арендуемым потокам на скорости 2-4 Мбит/с (рис. 3). Централизованный доступ в Интернет осуществляется по арендуемому потоку 65 Мбит/с «Екатеринбург-Москва». Столь удручающие скорости обусловлены дороговизной их аренды и сдерживают развитие коммуникаций в регионах.

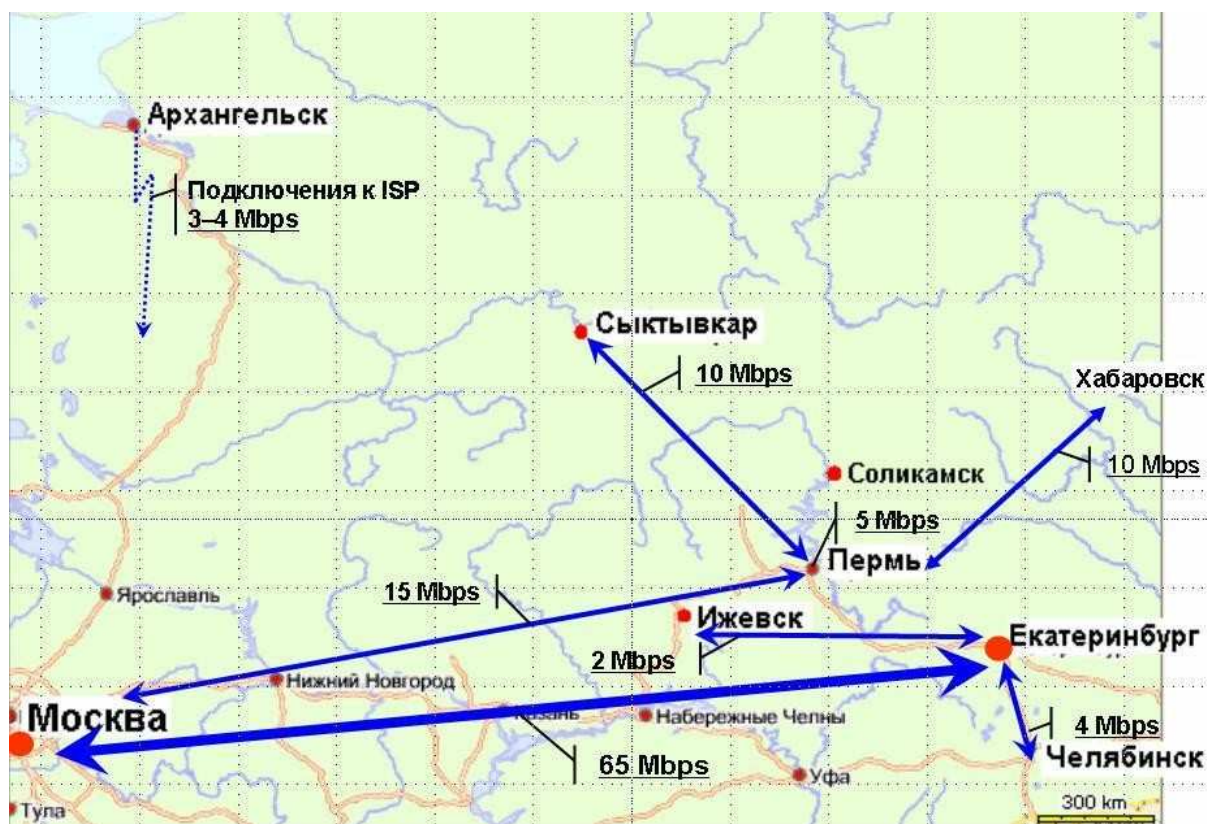


Рис. 3. Сеть УрО РАН

Тем не менее, в научных центрах УрО РАН создали и развивают свои оптические инфраструктуры. Так сеть Пермского научного центра (ПНЦ) [18, 19] объединяет оптическим волокном длиной 32,4 км на скорости 1 Гбит/с по IP/GE технологии четыре института и Президиум ПНЦ (рис. 4). Оптическая инфраструктура построена в кооперации с различными ведомствами и организациями для уменьшения затрат на приобретения части волокон и последующего обслуживания линий связи. Т.е. 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).



Рис. 4. Оптическая инфраструктура сети ПНЦ УрО РАН

Так что же мешает и как строить высокоскоростные региональные R&E сети в России? Первое и самое главное - это отсутствие понимания на всех уровнях необходимости владения собственным оптоволокном, и как следствие сдержанное финансирование. Вторая причина, невозможно в России выкупить или приобрести в долгосрочную аренду у национальных операторов связи волокна в уже построенных или планируемых ВОЛС. Действительно, продавая коммуникационный сервис эти структуры не хотят потерять «научно-образовательных клиентов», которые составляют существенную долю в их коммерческой деятельности. Поэтому необходима мотивация операторов связи путем их соучастия в перспективных научных проектах, выполняемых в том числе и для отработки перспективных коммуникационных технологий для обеспечения их конкурентоспособности. Третье обстоятельство заключается в оценке стоимости регионального лямбда проекта. Предпроектные исследования и оценка стоимости, по нашему мнению, могут выполнены только в тесной кооперации с оператором связи и производителем сетевого оборудования.

Примером следования такому подходу является «Инициатива GIGA UrB RAS» [20], которая направлена на достижение стратегической обеспеченности коммуникационным сервисом Уральского отделения РАН посредством “темного волокна” и DWDM технологии (рис. 5). Проведенные нами исследования позволили найти решение для объединения опорных точек доступа оптических сетей научных центров в городах Екатеринбург, Пермь, Ижевск, Сыктывкар и Архангельск. Подсчитана экономическая целесообразность GIGA UrB RAS для четырех  $\lambda$  потоков по 10 Гбит/с в каждом, которые обеспечивают сравнимую с мировым уровнем скорость 40 Гбит/с. Экономическая целесообразность заключается в сопоставлении разовых затрат на реализацию проекта и ежегодных затрат на аренду каналов связи:

- - предлагаемое решение 40 Гбит/с ~ 400 млн. руб. разово
- - возможная аренда 0,2 Гбит/с ~ 400 млн. руб. ежегодно

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 16  $\lambda$  каналов, обеспечивают защиту инвестиций и согласуется с мировой тенденцией развития R&E сетей.



Рис. 5. Инициатива GIGA UrB RAS

Идея “Инициативы GIGA UrB RAS” одобрена руководством УрО РАН и позиционируется как фрагмент национальной LambdaGrid инфраструктуры РФ.

Одним из формируемых приложений для высокоскоростных коммуникаций является **проект «Распределенный PIV»** [21, 22]. Суть проекта - обработка в реальном времени получаемых в ИМСС (Пермь) на PIV-экспериментальной установке изображений на удаленном суперкомпьютере. Оценим скорости потоков и требуемые вычислительные мощности для эксперимента “Распределенный PIV”. Широко используемый метод PIV (Particle Image Velocimetry) [23] 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 от характеристик видеокамер (разрешение и частота кадров) и от возможностей алгоритмов расчета.

Экспериментальная установка PIV, установленная в ИМСС, генерирует поток экспериментальных данных порядка 1 Гбит/с ( $4 \text{ Мпикс} \times 8 \text{ бит/пикс} \times 30 \text{ кадров/сек} = 960 \text{ Мбит/с}$ ). При использовании планируемых камер более высокого разрешения ( $10 \text{ Мпикс} \times 24 \text{ бит/пикс} \times 30 \text{ кадров/сек} = 7200 \text{ Мбит/с}$ ) поток приближается к скорости 10 Гбит/с. А для режимов работ PIV установки стерео (2 камеры) или томография (3 камеры) и более 30 кадров в секунду скорость потока экспериментальных данных приближается к 100 Гбит/с.

Скорость обработки одной пары изображений зависит от параметров расчета и производительности процессоров. Типичное время составляет 10 сек, тогда для синхронной обработки потребуется порядка 150 расчетных ядер. При усложнении вычислительного алгоритма характерное время будет возрастать и потребуются большее число ядер.

Наша первая попытка ввода экспериментальных данных по L2-каналу связи 1GE в связке ИМСС — НИВЦ МГУ (СКИФ) через хост суперЭВМ СКИФ МГУ ЧЕБЫШЕВ обозначил ряд нерешенных задач как в части протоколов передачи данных, так и способов ввода интенсивных потоков данных в супервычислитель [22]. Экспериментально подтверждена несостоятельность TCP протокола для надежной передачи данных и предложена «Идеальная» модель канала ввода/вывода в супервычислитель (рис. 6).

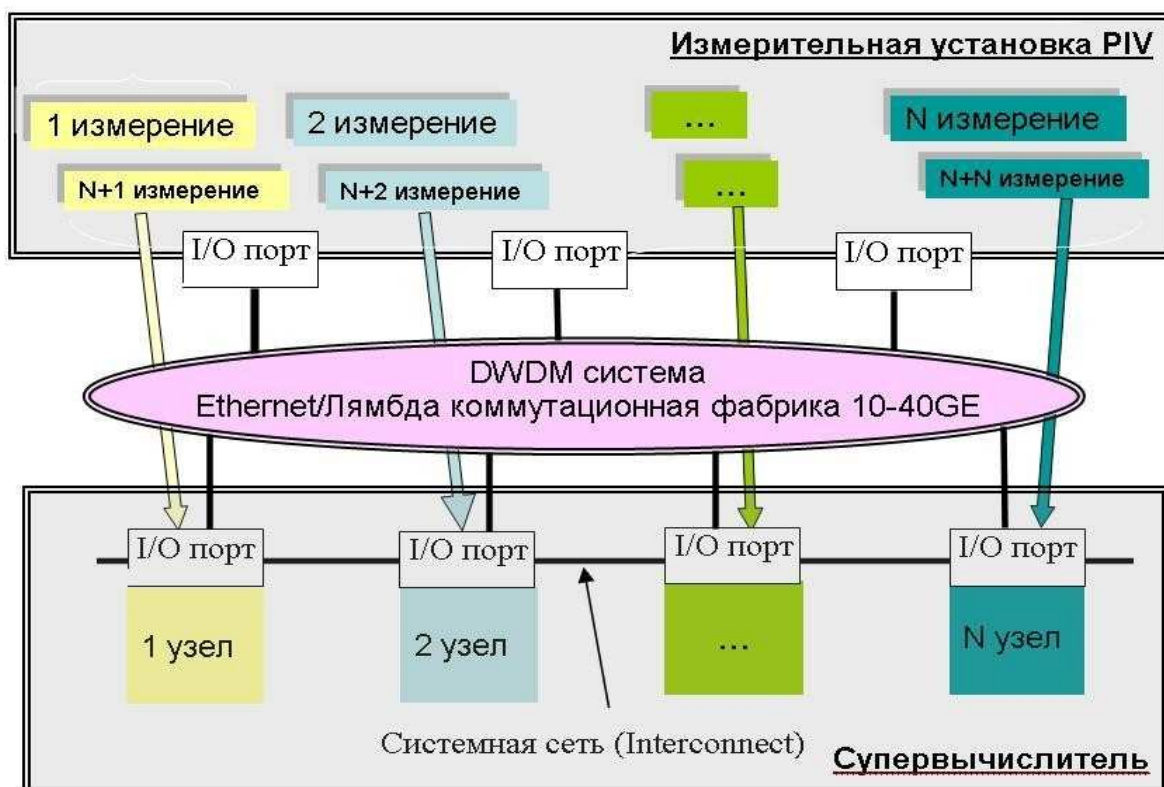


Рис. 6. Идеальная модель ввода интенсивных потоков данных в супервычислитель

Идея основана на прямом вводе в память узлов супервычислителя экспериментальных данных, а задержки обмена данными имеют между системами имеет две компоненты: задержки в оконечных системах и задержки в сети. Задержка приема/передачи в оконечных системах определяется скоростью порта и временем поступления данных от порта сетевого адаптера (NIC) в буфер приложения и наоборот, из буфера приложения в сеть (порт адаптера). Скорости портов непрерывно растут (1-10-40-100GE), и основная проблема заключается в передаче данных приложению. Эта задержка возникает как на передающей, так и на приемной стороне и определяется внутренней сущностью NIC. В качестве I/O портов связываемых по LambdaGRID оконечных систем целесообразно использование интеллектуальных NIC карт (Intelligent Ethernet adapter), которые аппаратно поддерживают стеки протоколов передачи данных (TOE NIC - TCP Offload Engine) и технологии удаленного прямого доступа к памяти (RDMA - Remote Direct Memory Access) для разгрузки CPU узлов в связи с переходом на скорости 10-40-100GE. Задержка времени доставки данных через сеть от порта передатчика до порта приемника оконечных систем, определяется временем распространения сигнала по физической среде, например оптическому волокну, является физической константой и зависит только от длины линии связи. Если часть узлов связываемых систем оснастить интеллектуальными NIC адаптерами, связанными по LambdaGRID, то это и будет «идеальная» модель ввода/вывода. Причем в DWDM системах введен механизм упреждающего исправления ошибок (FEC), который повышает достоверность передачи данных. Если не оснащать каналные узлы супервычислителя I/O портами для межкластерного обмена, а подключаться прямо к коммуникационной фабрике супервычислителя, обеспечивающей внутренний интерконнект, возникает дополнительная задержка прохождения данных через коммутаторы. В этом случае предпочтителен их режим сквозной передачи "cut-through".

Идеология таких аппаратных решений совместно ранее изложенным подходом LambdaRAM/RTK и является предметом использования инициативы GIGA UrB RAS для приложений, требующих интенсивной передачи и обработки данных. Апробация решений выполняется на примере проекта «Распределенный PIV».

**Выводы.** Для протяженных высокоскоростных линий связи альтернативы оптическому волокну в обозримом будущем отсутствуют. Поэтому использование R&E сообществом РФ собственных «темных» волокон и масштабируемых DWDM систем защищают вложенные в них инвестиции и обеспечивают стратегический LambdaGrid коммуникационный сервис региональных сетей. Островки региональных оптических сетей R&E организаций России (отделений РАН и ВУЗов) позволят инициировать процесс построения национальной лямбды в рамках тех или иных инициатив и консорциумов для обеспечения полноценного их участия в LambdaRAM парадигмах параллельных вычислений.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. P. Papadopoulos, L. Smarr. Introduction // CTWatch Quarterly. 2005. -Vol. 1. -№ 2, P. 2-4 (ISSN 1555-9874)

2. D. Farber, T. West. [The National LambdaRail. Cyberinfrastructure for Tomorrow's Research and Education](#) // CTWatch Quarterly. - 2005. -Vol. 1. - № 2, P. 14-19 (ISSN 1555-9874)
3. J. Silveste. [National LambdaRail \(NLR\) — Packet, Wave and Frame Services](#) // GLIF 2006, Akihabara, Japan, September 11, 2006
4. Cyberinfrastructure for Multidisciplinary Science in Brazil / M.A. Raupp [et al.] // CTWatch Quarterly. - 2006. Vol. 2. - № 1. P. 32-36 (ISSN 1555-9874)
5. Cyber Science Infrastructure Initiative for Boosting Japan's Scientific Research / M. Sakauchi [et al.] // CTWatch Quarterly. - 2006. Vol. 2. - № 1. P. 20-26 (ISSN 1555-9874)
6. Taiwan's Cyberinfrastructure for Knowledge Innovation / W.-F. Tsai [et al.] // CTWatch Quarterly. - 2006. Vol. 2. - № 1. P. 37-42 (ISSN 1555-9874)
7. GEANT2 [pan-European research and education network](#) / <http://www.geant2.net> – 20.12.2009
8. Global Lambda Integrated Facility / <http://www.glif.is/> 20.12.2009
9. V. Vishwanath. LambdaRAM: A HighPerformance, MultiDimensional, Distributed Cache Over UltraHigh Speed Networks / [http://www.optiputer.net/pdf/Vishwanath\\_PhD\\_Dissertation\\_2009.pdf](http://www.optiputer.net/pdf/Vishwanath_PhD_Dissertation_2009.pdf) - 9.06.2010
10. V. Vishwanath, L. Zuck, J. Leigh. [Specification and Verification of LambdaRAM – A Wide-Area Distributed Cache for High Performance Computing](#) // Sixth ACM-IEEE International Conference on Formal Methods and Models for Codesign (MEMOCODE 2008), Anaheim, CA, June 5-7, 2008
11. V. Vishwanath, J. Leigh, T. Shimizu, S. Nam, L. Renambot, H. Takahashi, M. Takizawa, O. Kamatani. [The Rails Toolkit \(RTK\) - Enabling End-System Topology-Aware High End Computing](#) // The 4th IEEE International Conference on e-Science, December 7-12, 2008.
12. Cyberinfrastructure Vision for 21st Century Discovery, National Science Foundation Cyberinfrastructure Council, March 2007.
13. Академическая компьютерная сеть С.-Петербурга / Г.М. Лосев (и др.) // Электросвязь. - 2003, №5.
14. Региональная информационно-вычислительная сеть Уральского отделения Академии наук СССР: сб. научн. докл. / Отв.ред. Ю.И. Кузякин. - Препринт. Свердловск: УрО АН СССР, 1990.
15. Ю.В. Гугель. [Сеть передачи данных RUNNet2010: инфраструктура, сервисы, пользователи](#) / Доклад на совещании по развитию и повышению эффективности функционирования сети RUNNet. Великий Новгород, НовГУ, 21.04-22.04.2010
16. Концепция ГРИД / Национальная ассоциация исследовательских и научно-образовательных электронных инфраструктур «e-ARENA» / <http://e-arena.ru/ru/documents/grid> - 8.06.2010
17. Г.Ф. Масич, А.Г. Масич. [Аспекты развития коммуникаций](#). // Материалы XIV конференции представителей региональных научно-образовательных сетей «RELARN-2007». - Н.Новгород, 2007. С. 21-26.
18. А.Г.Масич, Г.Ф. Масич. [Оптическая магистраль ПИЦ УрО РАН](#) // Сб. тез. докл. XIII конференции представителей региональных научно-образовательных сетей «RELARN-2006». - Алтай, 2006. – С. 40-44
19. В.П. Матвеевко, А.Г. Масич, Г.Ф. Масич. Парадигмы развития научно-образовательных коммуникаций // Материалы XV конференции представителей региональных научно-образовательных сетей «RELARN-2008». - Н.Новгород, 2008. – С. 40-42.
20. А.Г. Масич, Г.Ф. Масич. Инициатива GIGA UrB RAS // Совместный вып. журн. “Вычислительные технологии” и журн. “Вестник КазНУ им. Аль-Фараби”. Сер. “Математика, механика, информатика” №3 (58). По материалам Междунар. конф. “Вычислительные и информационные технологии в науке, технике и образовании”. - Казахстан, Алматы.-2008.-Т.13.- Ч. II. -С. 413-418 (ISSN 1560-7534)
21. Инфраструктура распределенного эксперимента / Масич А.Г. (и др) // Сб. тез. докл. XVI конференции представителей региональных научно-образовательных сетей «RELARN-2009». - М.-СПб, 2009. - С. 58-60.
22. Р.А. Степанов, А.Г. Масич, Г.Ф. Масич. Инициативный проект “Распределенный PIV” // Научный сервис в сети Интернет: масштабируемость, параллельность, эффективность: труды Всероссийской суперкомпьютерной конференции – М.: Изд-во МГУ, 2009. – С. 360-363. (ISBN 978-5-211-05697-8)
23. R.J. Adrian. 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.