

КОМП'ЮТЕРНІ ЗАСОБИ, МЕРЕЖІ ТА СИСТЕМИ

Рассмотрены средства и способы организации взаимосвязи в компьютерных системах с применением различных коммуникационных сред и технологий обмена информацией между компонентами системы. Определены наиболее значимые параметры коммуникационной среды, влияющие на характеристики компьютерной системы в целом и на процедуру её выбора.

© Ю.С. Яковлев, 2002

УДК 681.322.00; 681.324.00

Ю.С. ЯКОВЛЕВ

КОММУНИКАЦИОННАЯ СРЕДА И ЕЁ ВЛИЯНИЕ НА ПАРАМЕТРЫ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ КОМПЬЮТЕРНОЙ СИСТЕМЫ

Одной из отличительных особенностей компьютерной системы любого типа является наличие коммуникационной среды, с помощью которой элементы системы (процессоры, память и др.) соединяются между собой. Коммуникационная среда является важной составной частью не только многопроцессорной системы с микропроцессорами, физически размещенными на одной плате или в одном шкафу, но и многомашинной системы, машины которой (например, персональные ЭВМ) размещены в пределах одного помещения (например, комнаты, здания) и являются компонентами локальной сети, а также сложной распределенной компьютерной системы (например, с клиент-серверной архитектурой), компоненты которой (серверы, рабочие станции и др.) могут быть географически удалены на большие расстояния и входят в состав корпоративной сети [1].

Несмотря на то, что существует несколько разновидностей архитектур коммуникационных сред, всех их объединяют общее свойство – они задерживают прохождение информации между компонентами системы. Причем может оказаться, что задержки сигналов в коммуникационной среде могут быть настолько существенными, что исчезает целесообразность построения и применения распределенной компьютерной системы на базе имеющихся ЭВМ для решения конкретного класса задач, и появляется необходимость создания дорогостоящей супер ЭВМ с повышенными требованиями к параметрам

производительности.

Тем не менее, часто при расчете производительности компьютерных систем затраты на обмен информацией через коммуникационную среду не учитываются, так как проблемы обмена в значительной степени скрыты от программиста. Это может привести к неправильному выбору типа и конфигурации системы, если предполагается её использование на пределе производительности, а расчеты при выборе были сделаны без учета задержек коммуникационной среды. Однако, оценка влияния задержки коммуникационной среды на параметры компьютерной системы в отечественных и зарубежных публикациях отсутствует.

В данной работе кратко изложены результаты анализа организации взаимосвязи в компьютерных системах и технологий обмена информацией с помощью коммуникационных сред, определены их основные параметры.

Существуют две основные модели межпроцессорного обмена: одна основана на использовании общей памяти, другая – на передаче сообщений.

Для их реализации как правило применяют два соответствующих способа организации коммуникационной среды: на базе общей шины и на базе скоростных коммутационных сетей, построенных по соответствующей топологии (2D – решетка, куб или 2D – тор, клик, конвейер и т.д.) [2] – [4].

В многопроцессорной системе с общей памятью, чтобы обеспечить согласованность данных и синхронизацию процессов, обмен часто реализуется методом "почтового ящика", когда один процессор осуществляет запись в конкретную ячейку памяти, а другой - производит считывание из этой ячейки.

В архитектурах с передачей сообщений и локальной памятью процессоры получают доступ к совместно используемым данным как правило по быстродействующей сети обмена (табл.1).

ТАБЛИЦА 1. Примеры средств и способов организации взаимосвязи для некоторых компьютеров [2]

Компьютер	Средства и способы организации взаимосвязи
IBM RS/6000 SP	Пакетами с помощью высокопроизводительного многоступенчатого коммутатора (IBM high-performance switch)
Cray T3E	Высокопроизводительная (до 480Мб/с) коммуникационная сеть с топологией 3D-тор и двунаправленными каналами
Cray Origin2000	Коммуникационная сеть CrayLink, выполненная на маршрутизаторах MetaRouter
Fujitsu VPP	Коммутатор Crossbar network, релизующий двухсторонние обмены без прерывания вычислений (615Мб/с – 1,6Гб/с.)
WorldMark	Узлы объединяются с помощью сети BYNET V2 (120 Мб/с)
AViiON	Система с общей памятью (cc-NUMA)
QM-1	Кластерная система. Одновременный обмен в двух направлениях (250 Мб/с)

Для реализации скоростного обмена в таких системах используют различные технологии, обеспечивающие одновременную передачу (распараллеливание) большого количества потоков данных, например, технологии, основанные на использовании [5] - [6]:

высокоскоростных каналов с соединениями типа "точка-точка" (последовательно-параллельный интерфейс SCI – Scalable Coherent Interface);

принципа коммутации потоков данных (ServerNet фирмы Tandem);

распределенной передачи сообщений DMP(Distributed Message Passing);

многопротокольной (многоуровневой) коммутации на основе меток (Multi-protocol Label Switching – MPLS);

технологии адаптивной коммутации, а также технологий:

UPA (Ultra Port), которая предусматривает возможность использования теоретически неограниченного количества коммутируемых портов;

кластерные и другие новейшие технологии, такие как: VI (Virtual Interface), интеллектуального ввода/вывода - I₂O (Intelligent Input/Output) и др.

Наиболее популярными сегодня коммуникационными технологиями для построения кластерных архитектур являются: Myrinet, Virtual Interface Architecture, SCI (Scalable Coherent Interface), QsNet (компании Quadrics Supercomputers World), Memory Channel (разработка Compaq и Encore), Fast Ethernet и Gigabit Ethernet [7], а также обычные сетевые технологии (Ethernet, Token Ring, FDDI, ATM), высокоскоростной интерфейс Fibre Channel или специализированные технологии (DSSI, CI,) [8].

Требования, предъявляемые к быстродействию коммуникационного канала, зависят от степени интеграции узлов кластера и характера работы приложений. Для высокоскоростной коммуникации обычно используется специальная высокоэффективная коммуникационная технология Memory Channel, которая обеспечивает обмен сообщениями между серверами в сети (кластере) со скоростью до 100 Мб/с. Более того, с помощью определенных сетевых соединений можно разносить узлы кластера на расстояния до 40 км и строить резервные компьютерные центры.

Для унификации межсоединений используется виртуальный интерфейс (Virtual Interface – VI), который определяет стандартные аппаратные и программные средства, задающие универсальные правила передачи сообщений между узлами кластера.

При увеличении быстродействия микропроцессорного ядра как правило совершенствуются другие компоненты сервера, в частности – системная шина и система ввода/вывода. Для этой цели используется новая технология (I₂O – Intelligent Input/Output), обеспечивающая стандартизацию архитектуры интеллектуального ввода/вывода. Эта технология основана на применении специального процессора ввода/вывода, который в значительной степени освобождает центральный процессор и системную шину от операций по обслуживанию функций ввода/вывода [8].

Одним из новых решений, позволяющих организовать параллельную передачу данных в системе, является технология UPA (Ultra Port). Это – высокопроизводительная многосишная (многопортовая) масштабируемая архитектура, построенная на принципе одновременной пакетной коммутации нескольких портов и предназначенная для реализации широкого спектра вычислительных систем (от однопроцессорных рабочих станций до многопроцессорных серверов), имеющих оптимальное соотношение производительность/стоимость [5].

Обмен данными при применении технологии UPA реализуется пакетами по схеме "процессор-память" с использованием трех основных типов шин: шины UPA-адреса; шины UPA-данных; шины данных памяти (Memory Databus). Все шины имеют соединения типа "точка-точка", что позволяет поднять частоту передачи данных до величин порядка 100 МГц.

Анализ практически реализованных систем показал, что различные коммуникационные технологии и соответственно коммуникационные среды имеют разные возможности с точки зрения максимально допустимого количества применяемых в системе компонентов, которые необходимо коммутировать (табл.2) [9]. Этот фактор является в большинстве случаев определяющим при выборе архитектуры не только коммуникационной среды, но и многопроцессорной распределенной системы в целом.

ТАБЛИЦА 2. Примеры предельных возможностей коммуникационных сред для отдельных типов известных компьютерных систем

Тип используемой коммуникационной среды	Допустимое число процессоров, шт.	Примеры компьютерных систем
Коммуникационный процессор или сетевой адаптер	Несколько тысяч (ASCI Red, Blue Mountain)	IBM RS/6000 SP2, Hitachi SR8000, транспьютерные системы Parsytec и др.
Общая шина (базовые 2 - 4 процессорные SMP-сервера), crossbar-коммутатора (HP 9000)	Для < 32 процессоров	HP9000; SMP-сервера и рабочие станции на базе МП ф.Intel (IBM, HP, Compaq, Fujitsu и др.)
Высокоскоростной коммутатор	До 256 процессоров (Origin2000)	HP9000; SGI Origin2000, IBM/Sequent NUMA-Q2000
Шина для узла (16 процессоров с общей памятью), коммутатор для узлов	(1-16) процессоров на один узел	NEC SX-4/SX-5, CRAY-1, CRAY J90/T90, CRAY SV1, серия Fujitsu VPP

Корпоративные и локальные сети, помимо выполнения своих классических функций (доставки различных форм информации), могут быть также использованы для построения сверхкомпьютера (метакомпьютера), который для пользователей и программистов выступает как единая вычислительная среда, доступная непосредственно с рабочего места [10].

Составляющими компонентами метакомпьютера могут быть серверы, рабочие станции и даже персональные компьютеры, соединенные средствами коммуникационной среды.

Одним из основных компонентов коммуникационной среды (маршрутизаторы, коммутаторы, мосты, шлюзы, общая шина с коммутационной логикой) компьютерных сетей являются коммутаторы, которые позволяют [11]:

повысить отдачу от уже существующей сети, в частности – повысить производительность сети за счет сегментации и эффективность её использования за счет равномерного распределения полосы пропускания между пользователями и приложениями;

создавать логические (виртуальные) сети и перегруппировывать устройства в них.

Поэтому коммутаторы стараются ставить в сети там, где это возможно, а маршрутизаторы – только там, где необходимо.

Особенности архитектуры коммутаторов во многом определяются сетевой технологией. Тем не менее, принципы построения остаются общими. Коммутаторы как правило содержат: решающую логику, которая обрабатывает заголовки пакетов; регистр-зачелку, фиксирующий результат решения; линию задержки, необходимую для синхронизации операций, и непосредственно коммутационное поле (switch fabric), выполняющее "прямое" или "кросс-соединение" входных и выходных портов.

Некоторые разновидности коммутаторов представляют собой достаточно сложное устройство, имеющее один или несколько процессорных модулей и поэтому могут выполнять, помимо основной задачи по передаче кадров из порта в порт, ряд дополнительных функций, таких как: трансляция протоколов канального уровня; поддержка протокола spanning tree; фильтрация кадров; использование различных классов сервиса; локализация потоков информации в сети и управление ими (создание и поддержка особых условий фильтрации).

Примеры отдельных разновидностей коммутаторов сетей и их параметры приведены в табл.3, составленной по [12 - 18].

ТАБЛИЦА 3. Примеры сетевых коммутаторов и их параметры

Тип	Состав, параметры	Функции
1	2	3
CELLplex ф. 3Com	Внутренняя шина; модули для локальных и глобальных связей. Пропускная способность – 2.56 Гб/с;	АТМ (коммутация до 16 портов) и Ethernet-коммутаторов; поддержка до 4096 виртуальных каналов на порт
Набор LattisCell 10114 (10 типов)	Корпус с 16 портами. Пропускная способность – 155 Мб/с для каждого порта	Коммутация без блокировок; broadcast, multicast передачи; различный уровень качества сервиса (Quality of Service - QoS)
EtherCell (10328-F и 10328-SM)	12 портов 10Base-T RJ-45 и один порт прямого доступа к АТМ со скоростью 10 Мб/с	Поддержка стандарта LAN emulation, спецификаций UNI, MIB-II, EtherCell-MIB, формата MIB компании Bay Networks

1	2	3
Light Stream 1010	Модуль управления ATM; Коммутационная матрица; RISC-процессор MIPS R4600; 8 адаптеров портов PAM. Производительность 5 Гб/с	Поддержка спецификации PNNI Phase1 для маршрутизации (SVC) в неоднородных ATM-сетях и всех определенных ATM Forum видов трафика, в том числе – ABR
Newbridge 670	Устройство управления; коммутационная матрица; 224 порта OC - 3/STM-1 (мин. конфигурация), 1700 портов (макс.)	Управление голосовым трафиком и трафиком данных; сбор статистики; управление услугами при помощи графического интерфейса

Стандартным методом решения проблем, возникающих при конкуренции за выходной порт в коммутаторах, является использование схем буферизации, которые могут быть установлены на входе коммутатора, на его выходе и внутри коммутационного поля. Для предотвращения потерь кадров при кратковременном многократном превышении среднего значения интенсивности трафика применяют буфер большого объема. Дополнительным средством защиты может служить общий для всех портов буфер в модуле управления коммутатором. Такой буфер обычно имеет объем в несколько мегабайт.

Основной характеристикой коммутатора принято считать его производительность, в качестве оценочных параметров которой могут выступать: скорость фильтрации (filtering); скорость маршрутизации (forwarding); пропускная способность (throughput); задержка передачи кадра [12].

Для сокращения числа коммутационных элементов, необходимых при внутренней коммутации каналов, были разработаны многокаскадные сетевые архитектуры внутренних соединений (Multistage Interconnection Networks - MIN).

В число наиболее распространенных многокаскадных архитектур входят баньяноподобные коммутационные сети [18], при применении которых можно получить такую комбинацию путей, что пакеты не смогут коммутироваться одновременно.

Последним словом в развитии средств маршрутизации и коммутации для магистралей Интернет является технология многопротокольной (многоуровневой) коммутации на основе меток (Multiprotocol Label Switching – MPLS), которая сохраняет все лучшее, что присуще архитектуре IP-over-ATM, и при этом повышает масштабирование сети, упрощает их построение и эксплуатацию. Логическая маршрутизируемая IP-сеть функционирует как бы поверх коммутируемой топологии (ATM либо Frame Relay) и независимо от неё. Коммутаторы обеспечивают скоростные соединения, а IP-маршрутизаторы на периферии сети, связанные друг с другом сетью виртуальных каналов второго уровня, осуществляют виртуальную пересылку IP-пакетов [19].

Внутри ядра сети коммутаторы игнорируют информацию сетевого уровня в заголовках пакетов и определяют маршрут их следования исключительно на основе меток (рисунок).

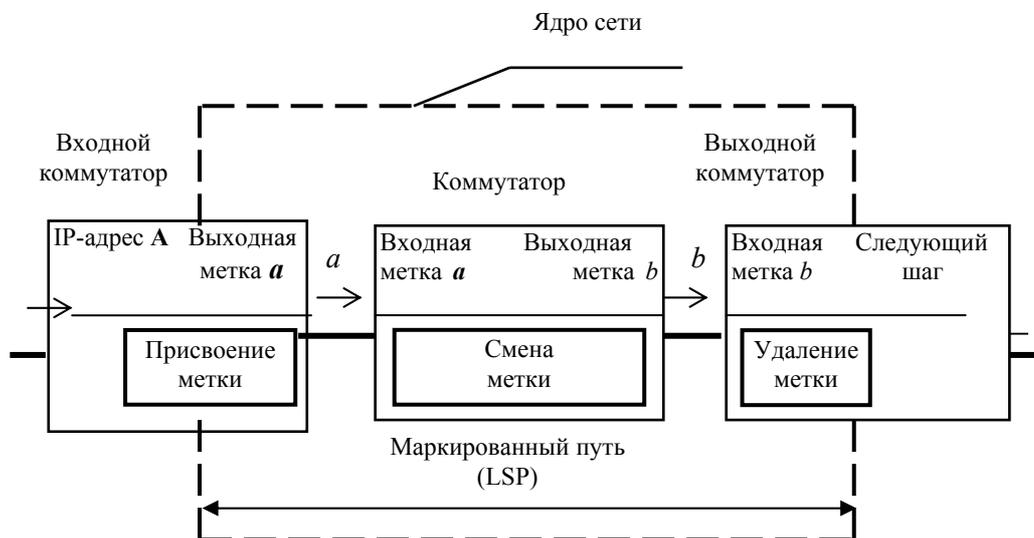


РИСУНОК. Применение коммутаторов для передачи пакетов по маршруту с коммутацией на основе меток

Для широкого внедрения многоуровневой коммутации был разработан стандарт MPLS – (Multiprotokol Label Switching), что позволило обеспечить совместимость аппаратуры разных производителей. Кроме того, появилась возможность применять метки в сетях, где используются любые технологии канального уровня.

Таким образом, несмотря на то, что архитектура и наборы реализуемых функций коммуникационных сред могут существенно отличаться [20], все они имеют общие признаки: главная их функция – установление связи и передача информации между компонентами системы и что они при этом вносят задержки по времени, которые могут оказаться весьма значительными.

Поэтому при выборе конкретной архитектуры распределенной компьютерной системы необходимо учитывать не только тип и параметры процессоров и памяти, но и архитектуру коммуникационной среды, технологию обмена информацией посредством этой среды и время задержки при прохождении через неё сигналов.

Например, при построении систем с ориентацией на архитектуру UPA с большим количеством процессоров можно использовать эту архитектуру только на уровне процессорных модулей (по два микропроцессора на каждом модуле), связь между которыми осуществляется по общей шине (например, Giganplane), реализующей конвейерную передачу данных.

Точно также при выборе системы необходимо иметь ввиду, что использование технологии и стандарта многоуровневой коммутации MPLS предоставляет поставщику сетевых услуг большую гибкость: он может конструировать спе-

циальные LSP- маршруты, использовать различные критерии для классификации пакетов, выделять любой путь пользовательского трафика и ассоциировать его с определенным классом и т.д.

Приведенные в работе результаты анализа коммуникационных сред, коммутаторов и технологий обмена информацией могут служить в качестве исходной ориентировки для предварительной оценки влияния параметров коммуникационной среды на параметры распределенной компьютерной системы (например, производительность, надежность и стоимость), что имеет огромное значение для принятия решения по проблеме: комплексировать распределенную компьютерную систему с заданными параметрами из компонентов, имеющихся на рынке; закупать требуемую систему за рубежом или разрабатывать и создавать новую.

1. *Олифер В.Г. Олифер Н.А.* Компьютерные сети. Принципы. Технологии. Протоколы. – СПб: Питер. – 2002. – 672 с.
2. *Многопроцессорные компьютеры* (<http://parallel.ru/computers/computers.html>).
3. *Бездушный А.* MIMD компьютеры (<http://www.cs.ru/paral/mimd/mimd.html>).
4. *SIMD - компьютеры* (<http://www.ccas.ru/paral/simd/simd.html>).
5. *Архитектура семейства компьютеров Ultra* (<http://www.jetinfo.ru/1997/23-24/1/arhult.html>).
6. *Многопроцессорные системы // Сервер Информационных Технологий / E-mail: <mailto:info@citmgu.msk.su?Subject='From page topic CIT-FORUM'>*.
7. *Савьяк В.* Интерфейсы межузлового взаимодействия в кластерах // Компьютерное Обозрение. – 2002. – №18–19. – С. 30–31.
8. *Дубова Н.* Кластеризация массовых серверных систем (<http://www.jobuniverse.ru/os/1999/02/05.htm>).
9. *Основные классы современных параллельных компьютеров* (<http://parallel.ru/computers/classes.html>).
10. *Корягин Д.А., Коваленко В.Н.* Вычислительная инфраструктура будущего. (<http://www.keldysh.ru/metacomputing/infrastructure.html>).
11. *Коммутирующие сети.* (http://kunegin.narod.ru/ref1/net_dev/switch.htm).
12. *Характеристики производительности коммутаторов* (http://www.citforum.ru/nets/lsok/glava_8.shtml).
13. *Примеры ATM-коммутаторов для локальных сетей.* (http://koi.citforum.tula.ru/nets/lsok/glava_19.shtml).
14. *Маршрутизирующий коммутатор 7670 (Newbridge 670).* (<http://www.datatel.ru/products/alcatel/7670/content.html>).
15. *Особенности коммутаторов локальных сетей.* (http://www.citforum.ru/nets/lsok/glava_7.shtml).
16. *Коммутационная платформа «ЭКСЕЛ».* (http://www.paco.odessa.ua/~ocvef/exs/excel_reklama.htm).
17. *Centillion 100.* (<http://old.ruslan-com.ru/bay/centil.html>).
18. *Бараиш Л.* Архитектура коммутаторов. Основные принципы. (http://www.vector.kh.ua/support/techn/ar_arch_kom.htm).
19. *Сатовский Б.Л.* MPLS – технология маршрутизации для нового поколения сетей общего пользования // Сети и системы связи. – 2001. - №3 (67). – С.57 – 65.
20. *Спортак Марк, Паппас Френк и др.* Компьютерные сети и сетевые технологии / Пер. с англ. – Киев: ООО «ТИД «ДС». – 2002. – 736с.

Получено 01.07.2002