

## ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОЙ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ КАНАЛОВ СВЯЗИ

*Тарасов В.Н., Шатов Л.Г.*

В статье приведены результаты исследования эффективной пропускной способности каналов связи, полученные путем имитационного моделирования и проведения реальных экспериментов на оборудовании.

**Ключевые слова:** номинальная и эффективная пропускная способность, технологии Ethernet, Fast Ethernet и Gigabit Ethernet.

### Введение

Эффективная пропускная способность (ЭПС) канала связи - это средняя скорость передачи пользовательских данных, то есть данных, содержащихся в поле данных каждого пакета. В общем случае эффективная пропускная способность протокола будет ниже номинальной из-за наличия в пакете служебной информации, а также из-за пауз между передачей отдельных пакетов. Знание эффективной пропускной способности каналов связи 10 Мб/с, 100Мб/с, 1000 Мб/с является важной задачей при исследовании и расчете показателей производительности компьютерных сетей.

### Отличие ЭПС от номинальной

Рассмотрим подробнее разницу между номинальной и эффективной пропускными способностями на примере протоколов Ethernet, Fast Ethernet и Gigabit Ethernet. Номинальная про-

пускная способность протокола Ethernet составляет 10 Мб/с, Fast Ethernet – 100 Мб/с и Gigabit Ethernet – 1000 Мб/с, что означает, что биты внутри кадра передаются с интервалом в 0,1 мкс.

Кадр состоит из 8 байт преамбулы, 14 байт служебной информации – заголовка, 46 байт пользовательских данных и 4 байт контрольной суммы, всего – 72 байта или 576 бит. При номинальной пропускной способности 10 Мб/с время передачи одного кадра минимальной длины составляет 57,6 мкс.

Реальная (эффективная) пропускная способность по пользовательским данным в сети может быть только меньше приведенного выше значения (10 Мб/с для кадров данного размера). Отношение реальной пропускной способности сегмента, канала или устройства к его номинальной пропускной способности называется коэффициентом использования (utilization) сегмента, канала или устройства соответственно.

Эффективная пропускная способность существенно отличается от номинальной пропускной способности протокола, что говорит о необходимости ориентации именно на эффективную пропускную способность при выборе типа протокола для того или иного сегмента сети.

### Моделирование ЭПС

Были проведены расчеты в пакете Opnet Modeler (см. рис. 1), направленные на теоретическое

Таблица 1. Результаты расчета для пропускных способностей и загрузки каналов связи

№	Канал связи	Размер файла	Количество пакетов информации	Время передачи	ЭПС
1	10 Мб/с	100 Мб	137428	80 с	97%
2	10 Мб/с	1 Гб	1407263	810 с	96%
3	10 Мб/с	10 Гб	14072632	9000 с	85%
4	100 Мб/с	100 Мб	137428	8 с	76%
5	100 Мб/с	1 Гб	1407263	82 с	93%
6	100 Мб/с	10 Гб	14072632	910 с	96%
7	1000 Мб/с	100 Мб	137428	0,9 с	79%
8	1000 Мб/с	1 Гб	1407263	8 с	93%
9	1000 Мб/с	10 Гб	14072632	82 с	83%

исследование эффективной пропускной способности каналов связи в компьютерных сетях (см. таблицу 1, где приведены расчеты для каналов связи различных пропускных способностей и загрузки каналов).

По результатам проведенных исследований в пакете Opnet Modeler были получены следующие данные. Приведем примеры некоторых из них. Был взят канал связи 10 Мб/с и количество пакетов информации, передаваемое по этому каналу, равное 137428 величиной 763 байта каждый (половина от максимальной длины кадра 1526 байтов). Эффективная пропускная способность данного канала составила 77%. Далее был взят

канал связи 100 Мб/с и количество пакетов информации, передаваемое по этому каналу, равное 1407263 величиной 763 байта каждый. Эффективная пропускная способность данного канала составила 76%. Наконец, был взят канал связи 1000 Мб/с и количество пакетов информации, передаваемое по этому каналу, равное 14072632 величиной 763 байта каждый. Эффективная пропускная способность данного канала составила 83%. Пример моделирования представлен на рис. 1. Под номинальной пропускной способностью обычно понимается битовая скорость передачи данных, поддерживаемая на интервале передачи одного пакета.

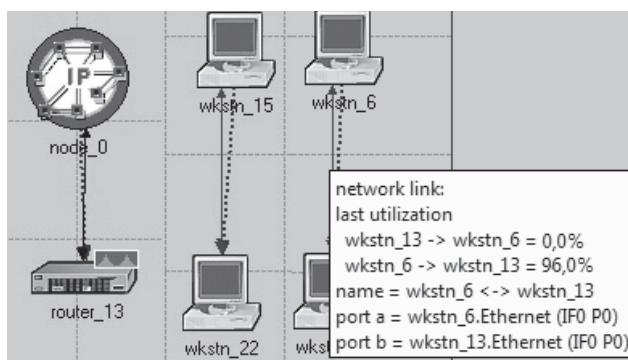
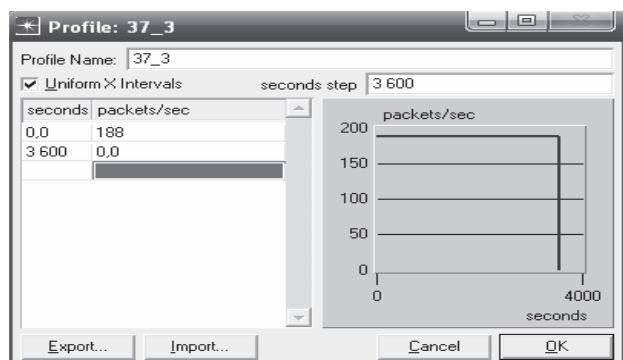


Рис. 1. Пример моделирования в системе Opnet Modeler

### Экспериментальное исследование ЭПС

Были проведены эксперименты, направленные на практическое исследование эффективной пропускной способности каналов связи в компьютерных сетях. В табл.2 приведены ре-

зультаты исследования эффективной пропускной способности через сетевое соединение двух компьютеров при помощи витой пары типа «cross», схема соединения которых представлена на рис. 2.



Рис. 2. Соединение двух компьютеров при помощи витой пары типа «cross»

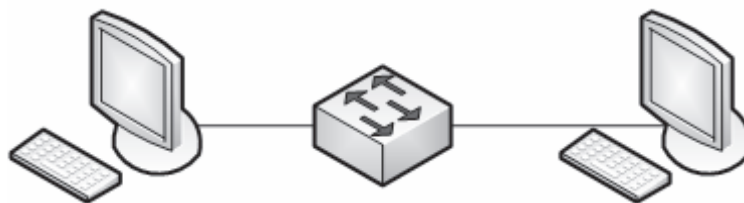


Рис. 3. Соединение двух компьютеров при помощи коммутатора

Таблица 2. Результаты исследования эффективной пропускной способности через сетевое соединение двух компьютеров при помощи витой пары типа «cross»

№	Канал связи	Размер файла	Количество пакетов информации	Время передачи	Эффективная пропускная способность
1	10 Мб/с	100Мб	137428	80 с	97,5%
2	10 Мб/с	1Гб	1407263	810 с	98%
3	10 Мб/с	10Гб	14072632	9000 с	88%
4	100 Мб/с	100Мб	137428	8 с	76%
5	100 Мб/с	1Гб	1407263	82 с	96,8%
6	100 Мб/с	10Гб	14072632	910 с	96,8%
7	1 Гб/с	100Мб	137428	0,9 с	79,6%
8	1 Гб/с	1Гб	1407263	8 с	95%
9	1 Гб/с	10Гб	14072632	82 с	86%

Таблица 3. Результаты исследования эффективной пропускной способности через сетевое соединение двух компьютеров при помощи коммутатора

№	Канал связи	Размер файла	Количество пакетов информации	Время передачи	Эффективная пропускная способность
1	10 Мб/с	100Мб	137428	80 с	97,5%
2	10 Мб/с	1Гб	1407263	810 с	98%
3	10 Мб/с	10Гб	14072632	9000 с	88%
4	100 Мб/с	100Мб	137428	8 с	76%
5	100 Мб/с	1Гб	1407263	82 с	96,8%
6	100 Мб/с	10Гб	14072632	910 с	76,8%
7	1 Гб/с	100Мб	137428	0,9 с	79,6%
8	1 Гб/с	1Гб	1407263	8 с	95%
9	1 Гб/с	10Гб	14072632	82 с	86%

В таблице 3 приведены результаты исследования эффективной пропускной способности через сетевое соединение двух компьютеров при помощи коммутатора, схема соединения которых представлена на рис. 3. По результатам проведенных исследований через сетевое соединение двух компьютеров при помощи коммутатора были получены следующие данные.

Был использован канал связи 10 Мб/с, по которому были переданы файлы: размером 100 Мб, эффективная пропускная способность которого составила 75,5%, размером 1 Гб, эффективная пропускная способность которого составила 98%, размером 10 Гб, эффективная пропускная

способность которого составила 88%. Далее был использован канал связи 100 Мб/с, по которому были переданы те же файлы. В результате эффективная пропускная способность файла размером 100 Мб составила 76%, размером 1 Гб – 96,8% и размером 10 Гб – 76,8%. Затем был использован канал связи 1000 Мб/с, по которому были переданы те же файлы. В результате эффективная пропускная способность файла размером 100 Мб составила 79,6%, размером 1 Гб – 95% и размером 10 Гб – 86%.

В завершение были проведены те же исследования с теми же файлами, но через сетевое соединение двух компьютеров при помощи коммутато-

ра. Эксперимент дал результаты, которые можно увидеть в таблице 3. Отсюда можно сделать вывод, что пропускная способность каналов связи не зависит от того, каким образом они подключены.

### Задача выбора коммуникационных протоколов

Эта задача может решаться относительно независимо для канального уровня с одной стороны (Ethernet, TokenRing, FDDI, Fast Ethernet, Gigabit Ethernet, ATM) и пары «сетевой – транспортный протокол» с другой стороны (IPX/SPX, TCP/IP, NetBIOS).

На выбранный критерий оптимизации сети влияет большое количество параметров различных типов. В наибольшей степени на производительность сети влияют:

- используемые коммуникационные протоколы и их параметры;
- доля и характер широковещательного трафика, создаваемого различными протоколами;
- топология сети и используемое коммуникационное оборудование;
- интенсивность возникновения и характер ошибочных ситуаций;
- конфигурация программного и аппаратного обеспечения конечных узлов.

Каждый протокол имеет свои особенности, предпочтительные области применения и настраиваемые параметры, что и дает возможность за счет выбора и настройки протокола влиять на производительность и надежность сети. Настройка протокола может включать в себя изменение таких параметров, как

- максимально допустимый размер кадра,
- величины тайм-аутов (в том числе время жизни пакета),
- для протоколов, работающих с установлением соединений, – размер окна неподтвержденных пакетов, а также некоторых других.

Время доступа к среде определяется как логикой самого протокола, так и степенью загруженности сети. В локальных сетях пока доминируют разделяемые среды передачи данных, требующие выполнения определенной процедуры для получения права передачи кадра. В протоколах Ethernet и Fast Ethernet используется алгоритм случайного доступа с обнаружением коллизий CSMA/CD, а в протоколах TokenRing и FDDI – алгоритм, основанный на детерминированной передаче токена доступа. Новый стандарт 100VG-AnyLAN использует алгоритм доступа DemandPriority, при котором решение о предоставлении доступа принимается центральным элементом - концентратором.

Время доступа к среде складывается из номинального времени доступа и времени ожидания доступа. Номинальное время доступа определяется как время доступа к незагруженной среде, когда узел не конкурирует с другими узлами. Номинальное время доступа к незанятой среде протоколов TokenRing и FDDI в 5-10 раз превышает соответствующее время протокола Ethernet, так как в незанятой сети Ethernet станция практически мгновенно получает доступ, а в сети TokenRing она должна дожидаться прихода маркера доступа.

Другая составляющая времени доступа к среде - время ожидания - зависит от задержек, возникающих из-за разделения передающей среды между несколькими одновременно работающими станциями. Время ожидания зависит как от алгоритма доступа, так и от степени загруженности среды, причем зависимость времени ожидания от степени загрузки (коэффициента использования) сети для большинства протоколов носит экспоненциальный характер.

Наиболее чувствителен к загруженности среды метод доступа протокола Ethernet, для которого резкий рост времени ожидания начинается уже при величинах коэффициента использования в 30-50%. Поэтому для нормальной работы сети

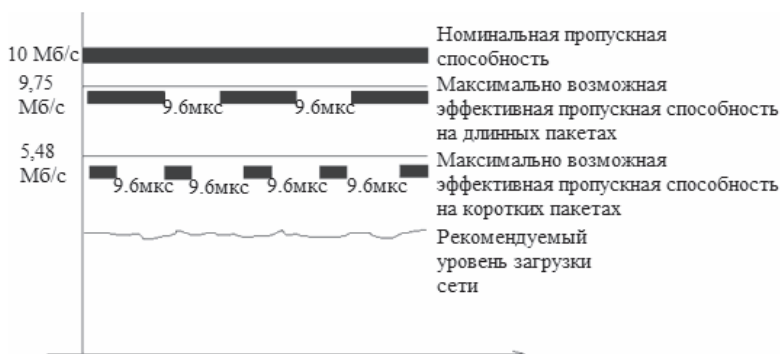


Рис. 4. Характеристики пропускной способности сети Ethernet

сегменты Ethernet не рекомендуется нагружать свыше 30% (см. рис. 4). Даже если среднее значение коэффициента использования находится в норме, но имеются пиковые значения, превышающие 60%, то это является свидетельством того, что сеть работает ненормально и требует проведения дополнительных исследований.

### Заключение

1. По результатам проведенных исследований эффективной пропускной способности каналов связи теоретически (в пакете Opnet Modeler) и экспериментально (соединением двух компьютеров при помощи коммутатора, а также витой пары типа «cross») можно сделать вывод о том, что результаты исследования имеют расхождение. Эти расхождения совсем незначительные (относительная погрешность менее 4%) и могут

быть использованы для сравнения результатов аналогичных исследований пропускной способности каналов связи.

2. Выбранные протоколы канального уровня (Ethernet, Fast Ethernet, Gigabit Ethernet) были выбраны для исследований в связи с тем, что принципы их работы реализованы в пакете OPNET Modeler, а также они являются наиболее доступными для практического использования.

### Литература

1. Тарасов В.Н., Бахарева Н.Ф., Коннов А.Л., Ушаков Ю.А. Проектирование и моделирование сетей ЭВМ в системе Opnet Modeler. Самара: Изд. ПГАТИ, 2008. – 233 с.
2. Уилсон Э. Мониторинг и анализ сетей: Методы выявления неисправностей: Пер. с англ.-М.: ЛОРИ, 2002. – 350 с.

## STUDY OF THE EFFECTIVE BANDWIDTH CHANNELS OF COMMUNICATION

Tarasov V.N., Shatov L.G.

**The results of studies of effective bandwidth of communication channels, obtained by simulation and real experiments for the equipment.**

*Keywords: nominal and effective capacity, technology, Ethernet, Fast Ethernet and Gigabit Ethernet.*

Тарасов Вениамин Николаевич, д.т.н. профессор, заведующий Кафедрой программного обеспечения и управления в технических системах (ПОУТС) Поволжского государственного университета телекоммуникаций и информатики (ПГУТИ). Тел. (8-846) 228-00-13. E-mail: vt@ist.psati.ru

Шатов Леонид Георгиевич, аспирант Кафедры ПОУТС ПГУТИ. Тел. (8-846) 228-00-13. E-mail: leonid2009@hotmail.com

## ТЕХНОЛОГИИ КОМПЬЮТЕРНЫХ СИСТЕМ И СЕТЕЙ

УДК 519.71

### ОПТИМАЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИОННО-ГРАФОВАЯ МОДЕЛЬ ОРГАНИЗАЦИИ ВКЛЮЧАЮЩЕГО ПОИСКА В ДЕСКРИПТОРНЫХ ПОИСКОВЫХ СИСТЕМАХ

Лялин В.Е., Мальцев С.А., Тарануха В.П., Шишов Д.Р.

В статье рассматривается создание оптимальной информационно-графовой (ИГ) модели организации включающего поиска в дескрипторных поисковых системах для организации непрерывного резервного копирования информации. Проведена оценка сложности включающего поиска, рассмотрены оптимальные информационные графы с недревовидной и древовидной структурой. Приведен подробный алгоритм решения задачи включающего поиска путем построения информационного графа.

**Ключевые слова:** информационный граф, включающий поиск, множества.

### Введение

В общем случае включающий поиск встречается всегда, когда элементы информационного массива задаются множеством свойств (в частности, свойствами наличия дескриптора в описании документа), причем необходимо перечислить в этом массиве элементы с определенным набором свойств задаваемым запросом. В нашем случае описанием объекта файловой системы может служить: название, время резервирования, тип файла и т.д. Особенностью алгоритма включаю-