

УДК 681.3

АШРАФ И.М. АЛЬКЕЙСИ

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ПАРАЛЛЕЛЬНОЙ КОММУТАЦИИ В ОПТИЧЕСКИХ СЕТЯХ

*Винницкий национальный технический университет
Хмельницкое шоссе, 95, Винница, 21021, Украина
E-mail: lg1@vstu.vinnica.ua*

Abstract: By the methods of discretely-temporal numerical simulation descriptions of delay time are researched during parallel switching of packets with buffering in the Gigabit Ethernet networks.

Аннотация: С помощью методов дискретно-временного численного моделирования исследованы характеристики времени задержки при параллельной коммутации пакетов с буферизацией в сетях Gigabit Ethernet.

Ключевые слова: параллельный коммутатор, буферная память, среднее время задержки

ВВЕДЕНИЕ

На сегодняшний день происходит активное распространение технологий Gigabit Ethernet в корпоративных, городских и региональных оптических сетях. Появление новых стандартов связано с разработкой методов плотного волнового мультиплексирования (Density Wave De-Multiplexing, DWDM), управления потоками кадров и приоритетами трафика, созданием виртуальных каналов, а также развитием технологии многопротокольной коммутации с заменой меток (Multiprotocol Label Switching, MPLS) [1]. Усовершенствование технологий коммутации создает новые возможности при передаче конвергированного трафика (данные, голос, видео) в мультисервисных оптических сетях. Для обеспечения требуемого качества обслуживания в оптических сетях необходимо помимо задачи оптимизации маршрута решить проблему создания эффективных протоколов и алгоритмы управления потоками, классами и очередями в магистральных коммутаторах, для разработки которых необходимо провести комплексные исследования соответствующих динамических процессов.

Существующие аналитические модели работы параллельных коммутаторов на основе теории массового обслуживания в основном оперируют с обобщенным параметром – уровнем загрузки канала. При этом они не позволяют полностью учитывать все возможные факторы влияния (переменный размер кадра, алгоритм коммутации, вариация межкадровой паузы), а также сложную динамику параллельной коммутации групп пакетов [2].

Одним из подходов для анализа процессов параллельной коммутации является создание универсальной асинхронной дискретно-временной модели. При этом учет всех необходимых параметров задержки для случая параллельной коммутации пакетов в скоростных мультисервисных оптических сетях является сложным и громоздким [3].

ОЦЕНКА ВРЕМЕНИ ПЕРЕДАЧИ ПАКЕТОВ В ПАРАЛЛЕЛЬНОМ КОММУТАТОРЕ

Для оценки среднего времени задержки прохождения пакетов в исследуемых коммутаторах 10GE используем теорию параллельных (кластерных) вычислительных систем [4,5]. В этих случаях топологию коммутатора можно представить как полный граф, в котором имеются определенные ограничения на одновременность выполнения коммуникационных операций. Так, даже при использовании новейших коммутационных технологий параллельная передача данных в каждый текущий момент времени может выполняться только между ограниченным числом непересекающихся пар портов.

Учитывая пакетный способ передачи сообщений, трудоемкость операции коммуникации между двумя портами может быть оценена в соответствии с выражением [4]

$$t_{no} = t_n + l \cdot t_k + t_c, \quad (1)$$

где l – длина пакета сообщения ($l=512 \div 1518$ байт для кадра GE), t_n – время начальной подготовки данных, t_c – время передачи служебных данных, t_k – время передачи одного слова данных по одному каналу передачи.

Вместе с этим можно заметить, что в рамках представленной модели время подготовки данных предполагается постоянным (не зависящим от объема передаваемых данных), время передачи служебных данных не зависит от количества передаваемых пакетов и т.п. Эти предположения не в полной мере соответствуют действительности и временные оценки, получаемые в результате использования модели, могут не обладать необходимой точностью.

Учитывая приведенные замечания, схема построения временных оценок может быть уточнена. Трудоемкость передачи данных между двумя портами (узлами сети) может быть определена следующим образом:

$$t_{no} = t_{n0} + (l_{max} - l_c) \cdot t_{n1} + \left(1 + \frac{l_c}{l_{max} - l_c}\right) l \cdot t_k, \quad (2)$$

где l_{max} – максимальный размер пакета, который может быть доставлен в сети, l_c – объем служебных данных в пакете, t_{n0} – константа, характеризующая аппаратную составляющую латентности (параметр коммутатора), t_{n1} – время подготовки одного байта данных.

Как результат, максимальная величина латентности коммутатора $t_n = t_{n0} + (l_{max} - l_c) \cdot t_{n1}$ увеличивается линейно в зависимости от объема передаваемых данных. При этом предполагается, что подготовка данных для передачи второго и всех последующих пакетов может быть совмещена с пересылкой предшествующих пакетов.

В выражении (2) также уточнено правило вычисления времени передачи данных (третье слагаемое), которое учитывает эффект увеличения объема данных при росте числа пересылаемых пакетов за счет добавления служебной информации (заголовков пакетов).

Более сложным является алгоритм вычисления трудоемкости операции множественной параллельной коммутации. Для оценки трудоемкости такой операции используем модель множественной рассылки для вычислительной сети с топологией гиперкуб. В этом случае рассылка может быть выполнена за $p-1$ последовательных итераций (p – количество узлов сети). Общая длительность операции обобщенной передачи данных в этом случае [5]:

$$t_{no} = (t_n + m \cdot t_k)(p-1) + \frac{t_c}{2} p \cdot \log p. \quad (3)$$

С учетом введенных в выражении (2) уточнений можно записать следующую модифицированную формулу для оценки обобщенного значения трудоемкости процесса параллельной коммутации

$$t(p) = \left[t_{n0} + (l_{max} - l_c) \cdot t_{n1} + \left(1 + \frac{l_c}{l_{max} - l_c}\right) l \cdot t_k \right] (p-1) + \frac{t_c}{2} p \cdot \log p. \quad (4)$$

На рис. 1 представлена полученная на основе (4) графическая зависимость (в логарифмическом масштабе по оси ординат) обобщенной трудоемкости параллельной коммутации $t(p)$ (нс) для коммутатора $10GE$ от количества портов p коммутатора.

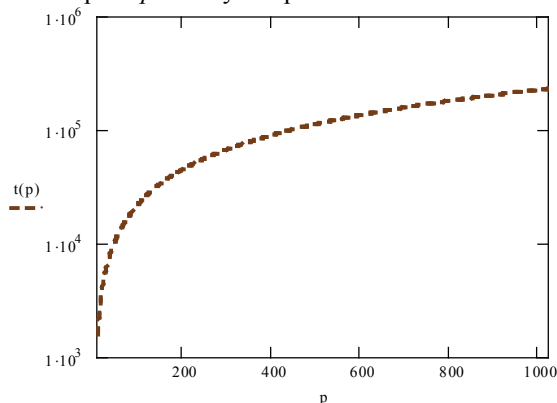


Рис. 1. Обобщенная трудоемкость параллельной коммутации $t(p)$ (нс) для коммутатора $10GE$ в зависимости от количества портов p коммутатора ($l=l_{max}=1518$ байт, $l_c=512$ байт, $t_{n0}=0,1$ нс, $t_{n1}=10$ пс, $t_c=50$ пс)

Полученные с помощью модели (4) результаты оценки среднего времени задержки при множественной рассылке пакетов хорошо согласуются с экспериментальными результатами [4], однако не дают возможности анализировать количество и доступность задействованных входов/выходов и различные правила групповой обработки, а также статистику распределения заявок на обслуживание в пакетах [6].

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СРЕДНЕЙ ЗАДЕРЖКИ ПАКЕТОВ ПАРАЛЛЕЛЬНОГО КОММУТАТОРА С БУФЕРНОЙ ПАМЯТЬЮ

Для расчета среднего времени задержки прохождения пакетов при параллельной коммутации с буферизацией в скоростных оптических сетях в зависимости от коэффициента загрузки разработана дискретно-временная имитационная модель. Особенностью модели является то, что она учитывает различные значения для периодов поступления пакетов на вход коммутатора, времени обработки адресной части пакета, размеров пакета, скорости передачи данных (в пределах стандарта 10GE), времени задержки на входе, количества и доступности задействованных входов/выходов устройства, а также разные алгоритмы коммутации групп пакетов и времена переключения коммутационной матрицы. Также при моделировании возможно изменение статистики распределения заявок на обслуживание в пакетах.

Рассмотрим алгоритм работы предложенной имитационной модели. Процесс моделирования начинается с генерации группы сигналов, параллельно поступающих на входы. Сигналы поступают на свободные входы (в процессе моделирования возникают ситуации, когда новая группа генерируется до обработки/передачи предыдущих групп сигналов, т.е. часть входов могут быть занятыми) с учетом коэффициента загрузки. Регистрируем момент времени, в который на определенные входы поступают сигналы (адресная часть + пакет), который относительно текущего времени моделирования определяется базовым периодом поступления сигналов на вход и заданным типом распределения случайных величин.

В процессе моделирования определяется условие групповой коммутации (начала передачи групп пакетов) согласно одному из следующих правил:

- сигналы поступили на все входы (правило «never»),
- сигналы поступили как минимум на один вход (правило «always»),
- сигналы поступили на количество входов большее, чем их задействовано (правило «normal»),
- случайный процесс, равномерное распределение с вероятностью 0,5 (правило «random»).

Правило “random” используется для контроля процесса моделирования.

В случае, если выбранное условие не выполняется, коммутация не происходит, и пакеты остаются во входных буферах памяти, далее генерируется новая группа пакетов до момента выполнения выбранного условия (либо до невозможности сгенерировать новую группу пакетов – нет доступных входов). При наличии очереди входных сигналов к выходам коммутация происходит поочередно по мере поступления заявок. При этом, поскольку моменты появления и распределение входных пакетов между выходами есть случайными величинами, случайным является и время общей задержки пакета.

В результате считаем статистическую сумму общих времен задержки пакетов по данной коммутации и количество пакетов в течении определенного времени моделирования, определяя среднее время задержки пакета. Модель учитывает следующие временные характеристики пакетов [1,7]:

- время обработки адресной части пакета, размер пакета, скорость передачи данных (константы, одинаковые для всех сигналов);
- время задержки группы сигналов на входе для записи в буфер адресной части – случайная величина с равномерным статистическим законом распределения (в пределах от BT (bit time) до времени задержки на входе группы пакетов);
- номер входа и выхода (уникальная случайная величина);
- время коммутации (зависит от номера входа, количества доступных выходов, размера пакета и скорости передачи данных, уникальная случайная величина);
- время синхронизации сигналов (случайная величина, одинакова для всех сигналов в группе);
- момент времени наблюдения (случайная величина, одинакова для всех сигналов в группе);
- итоговое общее время задержки сигнала (уникальная случайная величина).

При этом время коммутации считается как наибольшее из времен коммутации сигналов, находящихся на входах. Каждое из них определяется пропорционально количеству свободных выходов из числа задействованных для данного пакета. Также программно задается значение времени перезаписи пакета в выходной буфер (константа).

Для анализа функционирования параллельного коммутатора GE с буферной памятью с учетом решающих правил групповой обработки пакетов проведен ряд численных экспериментов. При проведении экспериментов учитывались особенности различной занятости входных/выходных портов (комбинации доступности входов/выходов 32/32, 64/64, 128/128, 64/32, 128/64) для коммутатора GE с

максимальної розмірністю портів 128x128. Результати роботи імітаційної моделі для різних розмірів пакета GE представлені на рис. 2-10.

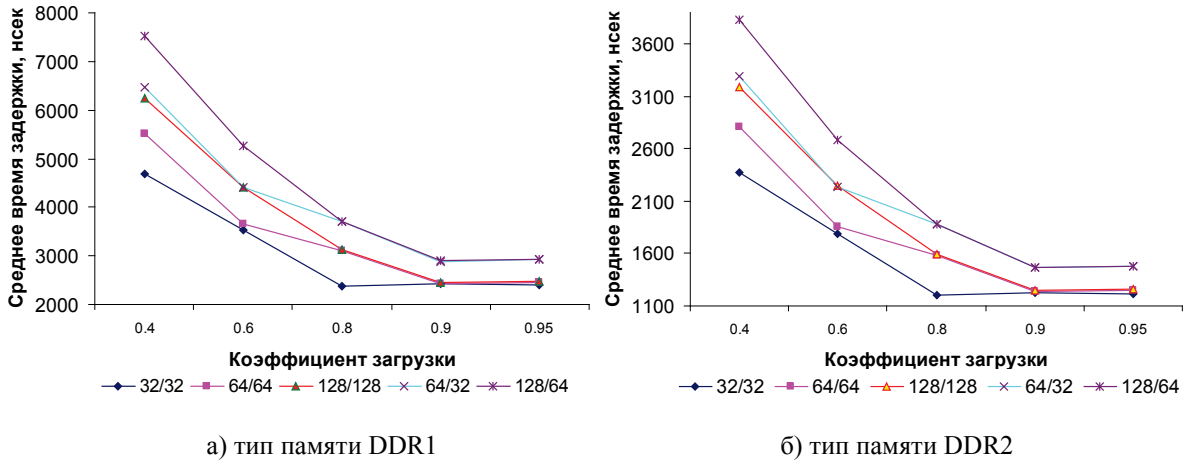


Рис.2. Середнє модельне час затримки 512В пакета GE при груповій комутації "never"

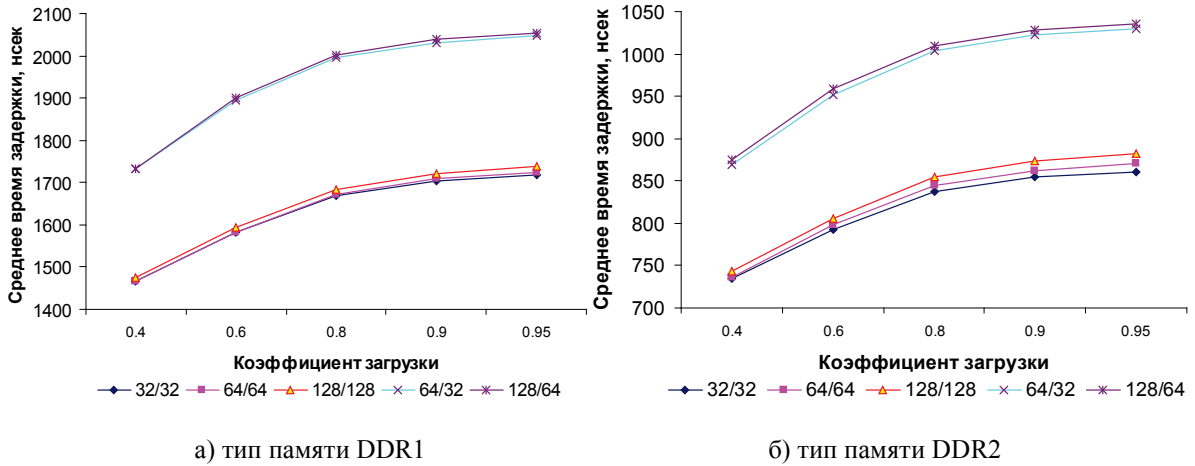


Рис.3. Середнє модельне час затримки 512В пакета GE при груповій комутації "always"

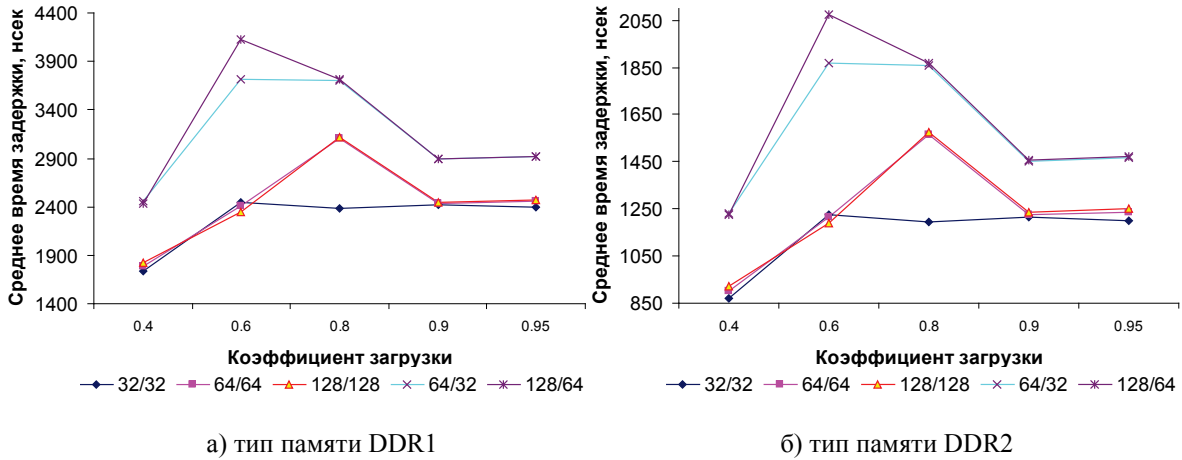


Рис.4. Середнє модельне час затримки 512В пакета GE при груповій комутації "normal"

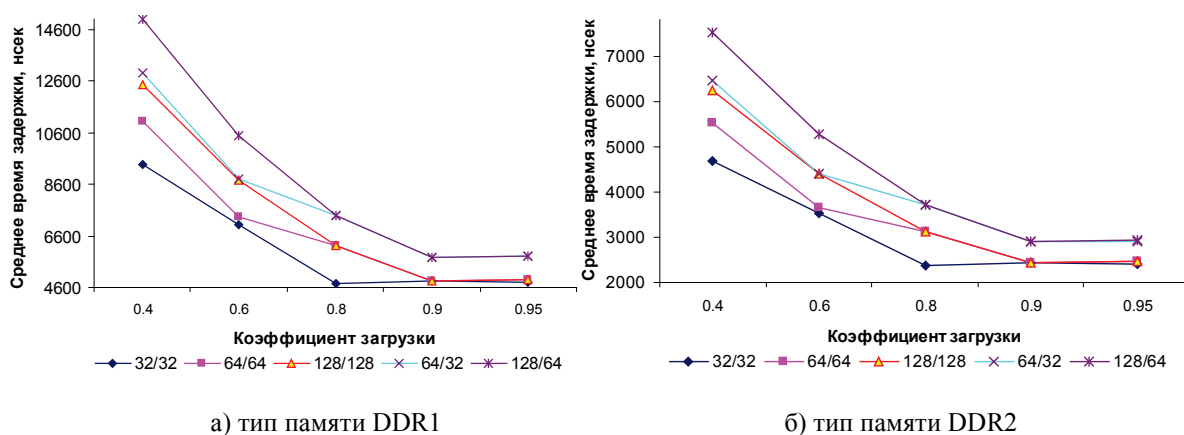


Рис.5. Среднее модельное время задержки 1024В пакета GE при групповой коммутации “never”

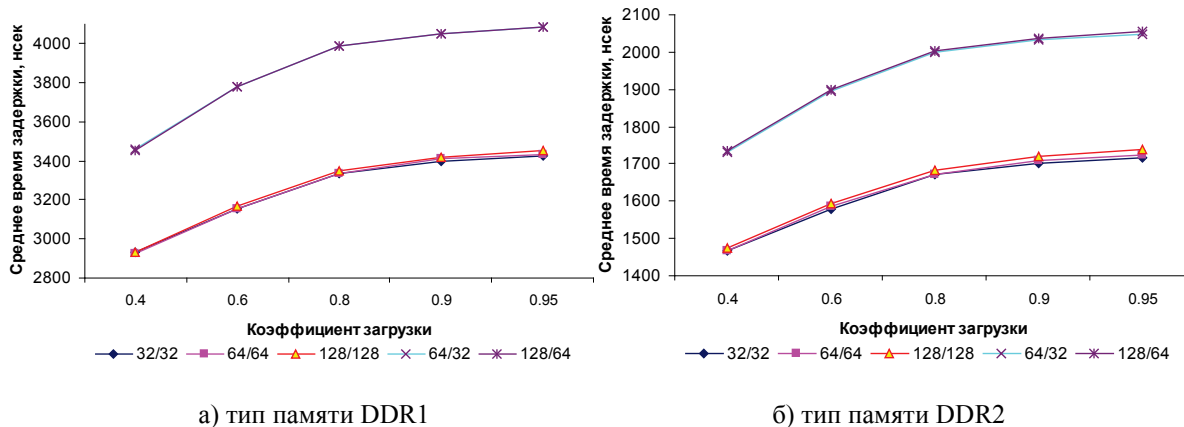


Рис.6. Среднее модельное время задержки 1024В пакета GE при групповой коммутации “always”

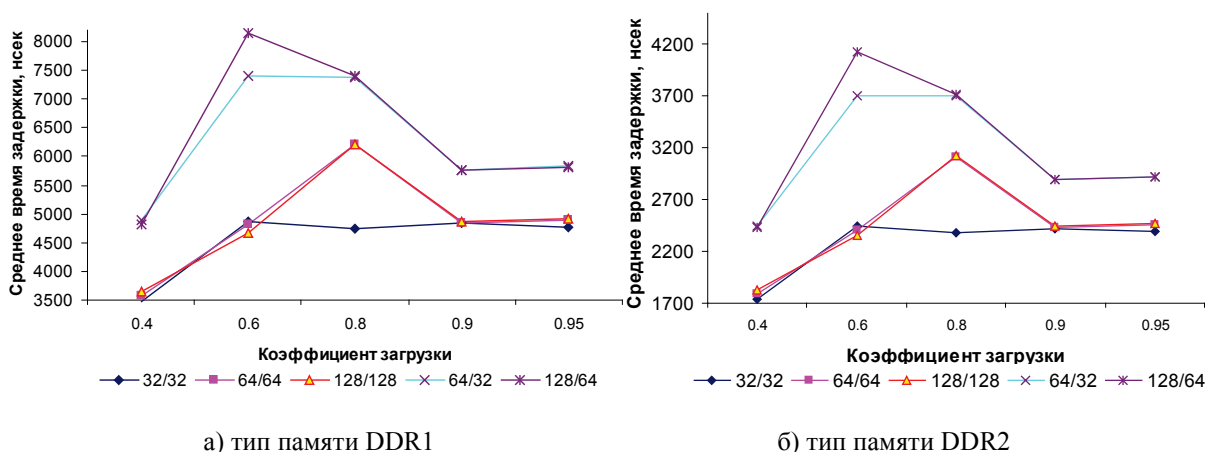


Рис.7. Среднее модельное время задержки 1024В пакета GE при групповой коммутации “normal”

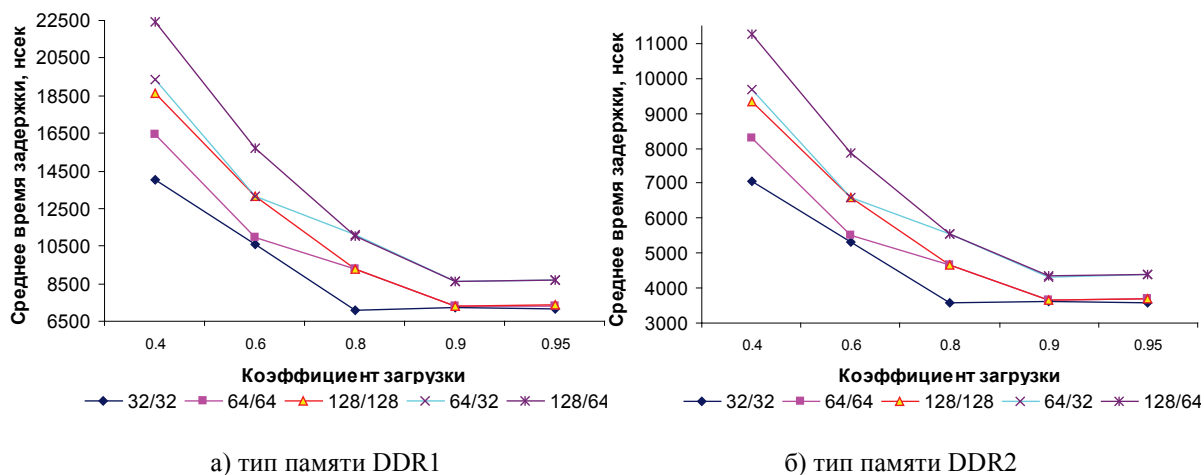


Рис.8. Среднее модельное время задержки 1536В пакета GE при групповой коммутации “never”

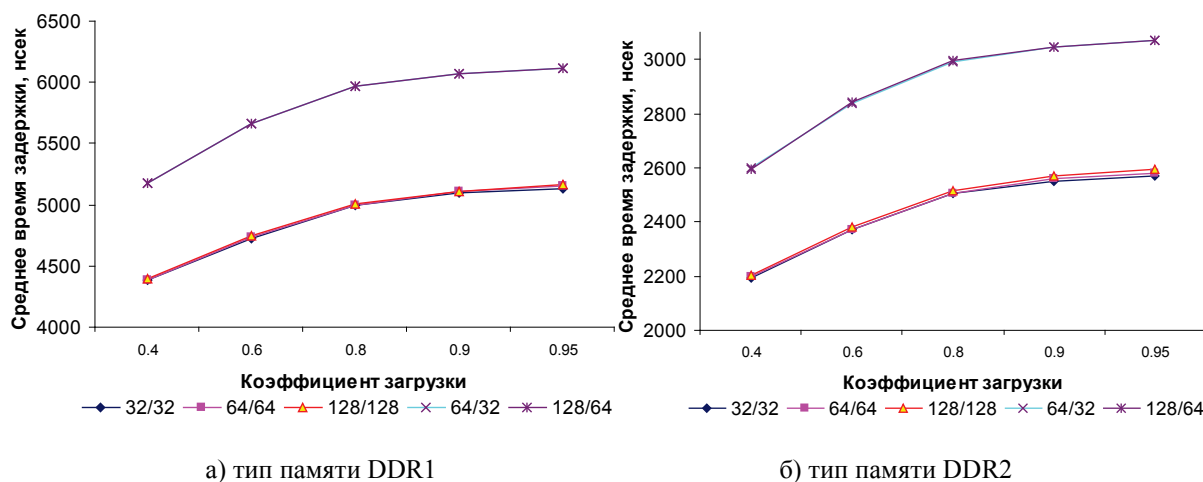


Рис.9. Среднее модельное время задержки 1536В пакета GE при групповой коммутации “always”

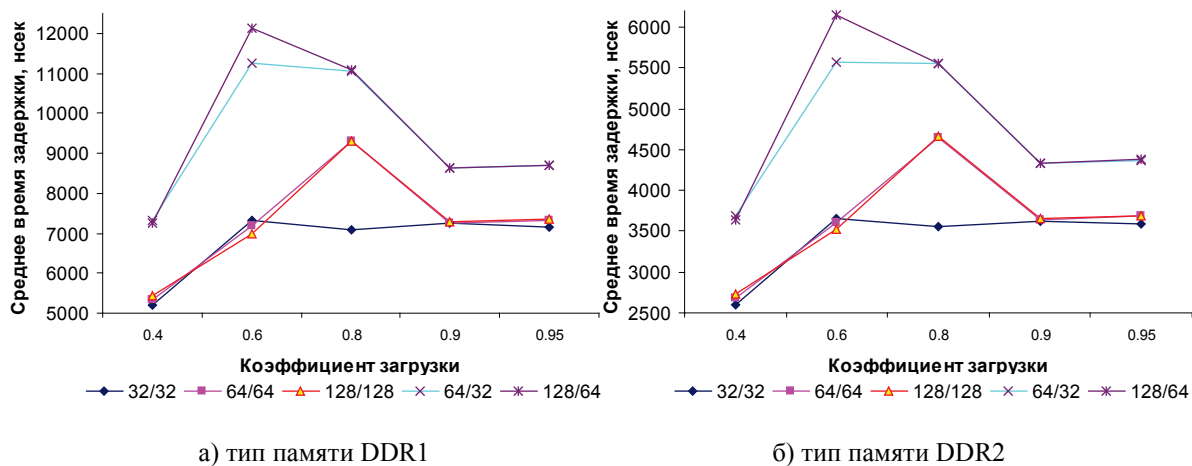


Рис.10. Среднее модельное время задержки 1536В пакета GE при групповой коммутации “normal”

Для всех экспериментов интервал поступления пакетов составляет 2нс, время обработки служебного заголовка – 1нс, время синхронизации пакетов – 2нс. Рассматривается два варианта

буферной памяти – DDR1 (запись 1Гб/с, чтение 3Гб/с) и DDR2 (запись 2Гб/с, чтение 6Гб/с).

Проведенное моделирование показывает эффективную работу коммутатора при коммутации отдельных групп пакетов “always”(сразу по поступлении группы), хотя такой алгоритм управления и является идеализированным. При этом также обеспечиваются минимальные приведенные временные затраты по входным портам. В реальном устройстве при минимальной и максимальной загрузке эффективным также может быть алгоритм “pqma”, при котором принятие решения о коммутации зависит от количества обработанных пакетов предыдущей группы.

ВЫВОДЫ

В статье рассмотрены математические модели, позволяющие рассчитать величину средней задержки при передаче пакетов в коммутаторах, использующих буферную память. Сравнительный анализ представленных на рис.2-10 результатов показывает, что учет только уровня загрузки канала при исследовании динамики ОК является недостаточным, так как значения параметров передачи при фиксированном уровне загрузки существенно зависят от размера и правила обработки пакетов, а также от времени и способа коммутации. Учет указанных параметров позволяет существенно оптимизировать функционирование оптических коммутаторов с буферной памятью и сетей на их основе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Олифер В.Г., Олифер Н.А. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы. – СПб: Издательство “Питер”, 1999. – 672с.
2. Слепов Н.Н. Современные технологии цифровых оптоволоконных сетей связи. М.: Радио и связь, 2000. – 468 с.
3. Лисенко Г.Л., С.Є. Тужанський, Осама Ф Ф Абудайя. Аналіз і моделювання роботи оптичних комутаторів для високопродуктивних волоконно-оптичних мереж // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2005, №2. – с. 69-76.
4. Гергель В.П., Стронгин Р.Г. Основы параллельных вычислений для многопроцессорных вычислительных систем. – Н.Новгород, ННГУ. – 179с.
5. Воеводин В.В., Воеводин Вл.В. Параллельные вычисления. – СПб.: БХВ-Петербург, 2002. – 245 с.
6. Г.Л. Лысенко, С.Е. Тужанский, Ашраф И.М. Алькейси. Моделирование характеристик оптических коммутаторов с буферной памятью // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології, 2006. – № 1 (13). – С. 200-207.
7. Пономаренко Л.А., Маликов А.З., Фаттахова М.И. Численные методы исследования многопоточковых систем обслуживания с виртуальным разделением общего буфера // Кибернетика и системный анализ. – 2004, №6. – С. 162-171.

Надійшла до редакції 10.09.2008р.

АШРАФ И. М. АЛЬКЕЙСИ – аспирант кафедры лазерной и оптоэлектронной техники, Винницкий национальный технический университет, Винница, Украина.