

УДК 004.912

В.А. Гулиус, С.Г. Удовенко, А.А. Шамраев

Харьковский национальный университет радиотехники, Харьков

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПАКЕТНОЙ СЕТЕВОЙ КОММУТАЦИИ ДЛЯ РАЗНЫХ ДИСЦИПЛИН ОБСЛУЖИВАНИЯ

Предложена программная модель пакетного коммутатора, позволяющая измерять задержки продвижения пакетов с момента поступления их во входной буфер до появления этих пакетов в выходном порту коммутатора. Исследовано влияние дисциплин обслуживания на эффективность коммутации. Результаты имитационного моделирования показывают, что применение дисциплины обслуживания заявок LIFO позволяет повысить пропускную способность коммуникационных устройств, входящих в структуру локальных компьютерных сетей.

Ключевые слова: пакетный коммутатор, дисциплина обслуживания заявок, имитационное моделирование.

Введение

Сети с коммутацией пакетов, в которых реализованы методы обеспечения качества обслуживания, позволяют передавать различные виды трафика, в том числе телефонный и компьютерный. Поэтому методы коммутации пакетов сегодня считаются наиболее перспективными для построения конвергентной сети, которая обеспечит комплексные качественные услуги для абонентов любого типа [1 – 3]. Важной задачей для проектировщиков и пользователей компьютерных систем и сетей является разработка новых методов обеспечения требуемого качества обслуживания QoS (Quality of Service), которые позволили бы минимизировать уровень задержек для чувствительного к ним трафика.

Представляется целесообразным провести анализ проблемы коммутации пакетов в локальных компьютерных сетях и разработать модель коммутатора, позволяющую исследовать влияние основных дисциплин обслуживания заявок (FIFO и LIFO) на качество обслуживания.

Постановка задачи

Во всех сетях с коммутацией пакетов применяются очереди. Принцип работы таких сетей подразумевает наличие буфера у каждого входного и выходного интерфейса коммутатора пакетов. С одной стороны, буферизация пакетов обеспечивает высокую производительность сетей этого типа. С другой стороны, очереди приводят к неопределенным задержкам при передаче пакетов через сеть, что является главным источником проблем для чувствительного к задержкам трафика. Так как операторы пакетных сетей заинтересованы в передаче пульсирующего трафика, им требуются средства обеспечения компромисса между стремлением предельно загрузить свою сеть и выполнением требований QoS для всех видов трафика [4, 5].

Основными элементами модели системы массового обслуживания (СМО) являются [1]:

- входной поток пакетов, который характеризуется интенсивностью λ (количеством пакетов, поступающих на вход системы в единицу времени);
- буфер, в котором формируется очередь пакетов, ожидающих обслуживания;
- сервер – обслуживающее устройство, нагрузка которого обозначается как ρ .

Пакеты поступают на вход буфера в случайные моменты времени. Среднее число пакетов, ожидающих обслуживания, обозначим как w , а среднее время ожидания T_w . усредним для всех пакетов (в том числе и для тех, которые не стояли в очереди). Если в момент поступления пакета буфер пуст и сервер свободен, то пакет передается в сервер для обслуживания, осуществляемое в течение времени T_w . Если при поступлении на вход СМО буфер не пуст, то пакет становится в очередь и ожидает обслуживания. Пакеты выбираются из очереди и передаются на сервер в соответствии с дисциплиной обслуживания, принятой в системе. В настоящее время по умолчанию в большинстве СМО в качестве дисциплины обслуживания используется FIFO (First-In, First-Out; первым пришел – первым обслужен).

Для дисциплины обслуживания FIFO разработаны аналитические модели, позволяющие получить оценки качества функционирования исследуемого прибора. Однако для других дисциплин обслуживания, в частности, для дисциплины LIFO (Last-In, First-Out), аналитические модели отсутствуют. В связи с этим возникает необходимость проведения сравнительной оценки влияния дисциплины обслуживания на качество функционирования пакетного коммутатора.

Для этого в настоящей статье предполагается построить модель пакетного коммутатора, позволяющую решить следующие задачи:

- определение средних значений задержек продвижения пакетов в коммутаторе в зависимости от размера пакета и емкости входного буфера;
- влияние дисциплины обслуживания заявок FIFO и LIFO на задержки в коммутаторе.

Модель пакетного коммутатора

В качестве базовой была выбрана модель коммутатора A packet switch, реализованная в среде MatLab+SimEvents. Эта модель была дополнена блоками Start timer и Read timer, позволяющими измерять задержки продвижения пакетов с момента поступления их во входной буфер до появления этих пакетов в выходном порту коммутатора.

Для проведения исследований была разработана программа, которая дает возможность в автоматическом режиме задавать параметры пакетов, поступающих на вход коммутатора, и на основе дисперсионного анализа оценивать результаты моделирования.

На рис. 1 представлена модель 3-х канальной системы формирования пакетов коммутатором. Каждый канал содержит:

- подсистему формирования пакетов Subsystem;
- блок Start Timer, фиксирующий начальный момент поступления пакета во входной буфер коммутатора;
- блок FIFO Queue (буфер входного порта коммутатора с дисциплиной обслуживания First In First Out);
- блок Read Timer, определяющий момент завершения времени пребывания пакета во входном буфере;
- блок Read Timer 3, определяющий момент появления первого бита в выходном порту коммутатора.

Формирование пакетов выполняется тремя источниками, обозначенными на рис. 1 как Subsystem, Subsystem1 и Subsystem2.

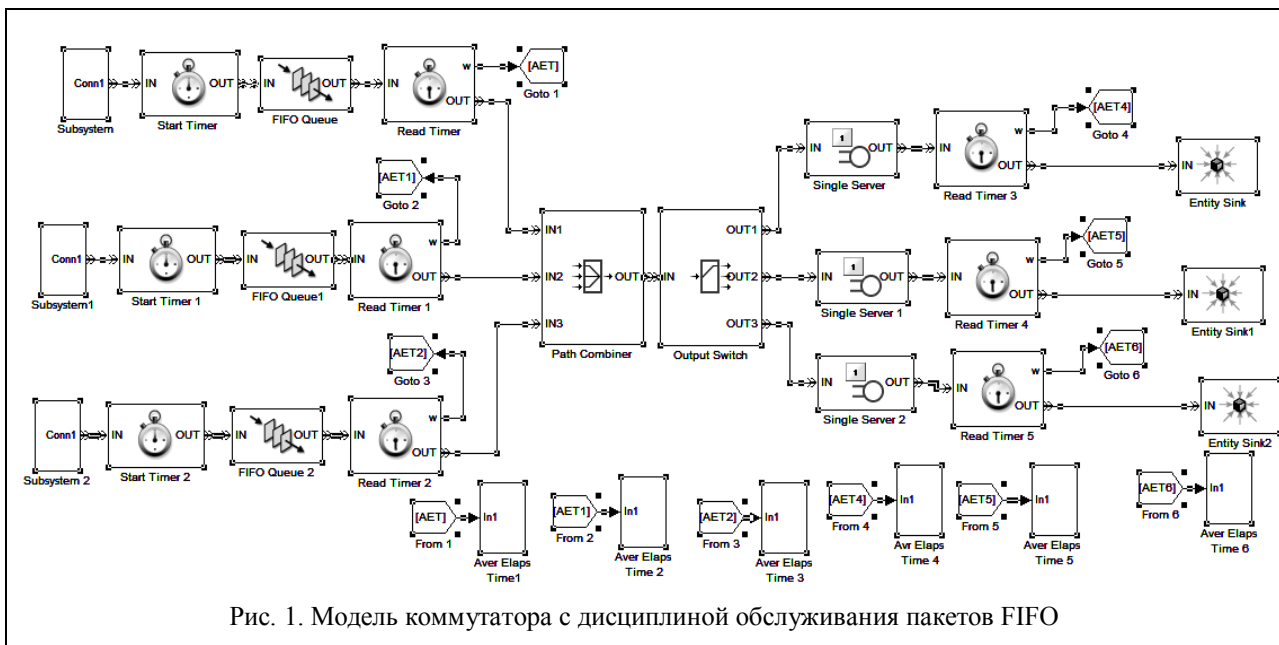


Рис. 1. Модель коммутатора с дисциплиной обслуживания пакетов FIFO

Схема одной подсистемы генерирования пакетов, представленная на рис.2, включает 4 функциональных блока:

- Time-Based Entity Generator (генерирует временные интервалы между последовательно следующими пакетами по экспоненциальному закону распределения псевдослучайных чисел);
- блок Destination (формирует адрес сервера - приемника, представляющий собой случайное целое число между 1 и 3);
- блок Length (формирует временной интервал, соответствующий размеру пакета).

На выходе блока Set Attribute формируется пакет с заданными временными параметрами и адресом назначения.

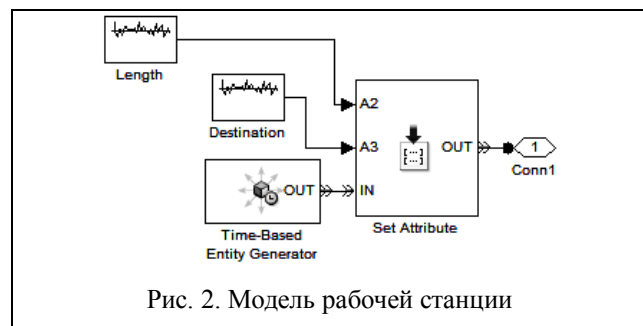


Рис. 2. Модель рабочей станции

На рис. 3 – 5 представлены временные диаграммы, иллюстрирующие процедуру генерирования пакетов.

При этом были установлены такие начальные значения параметров:

- место назначения пакета (случайное целое число между 1 и 3);
- длина пакета (случайное целое число между 7 и 15);
- временные интервалы (случайные целые числа, распределенные по экспоненциальному закону со средним значением 11).

Блок Set Attribute (Свойства набора) присоединяет все данные к пакету в соответствии с его форматом.

В нижней части модели представлены блоки, обеспечивающие визуализацию процесса моделирования и формирование численных значений результатов моделирования в окне Workspace (рис. 6).

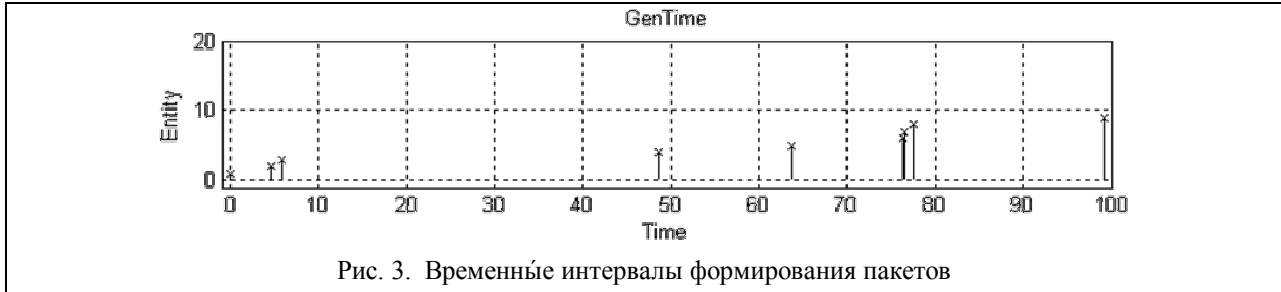


Рис. 3. Временные интервалы формирования пакетов

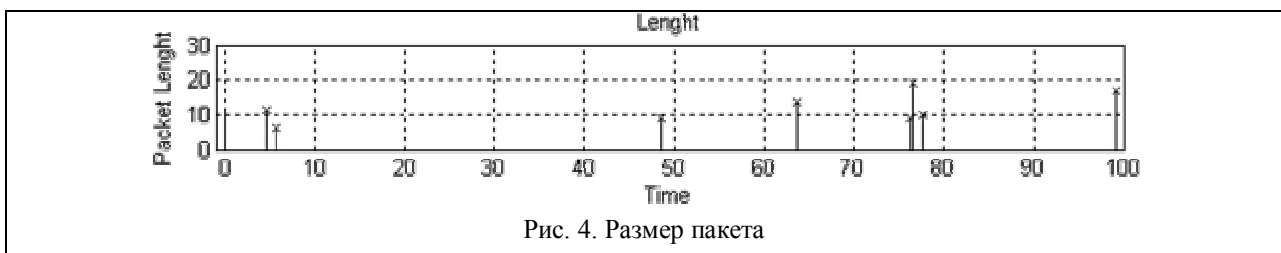


Рис. 4. Размер пакета

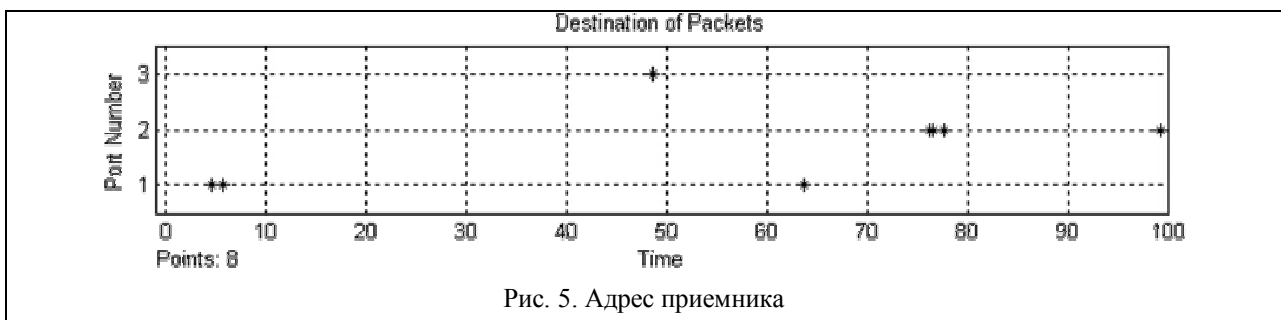


Рис. 5. Адрес приемника

Блок коммутатора Path Combiner выполняет функции коммутационной матрицы, а блок Output Switch направляет пакеты к серверам, которые подключены к выходным портам. К выходу сервера первого канала подсоединен блок Read Timer 3, фиксирующий суммарное время задержки пакетов в коммутаторе.

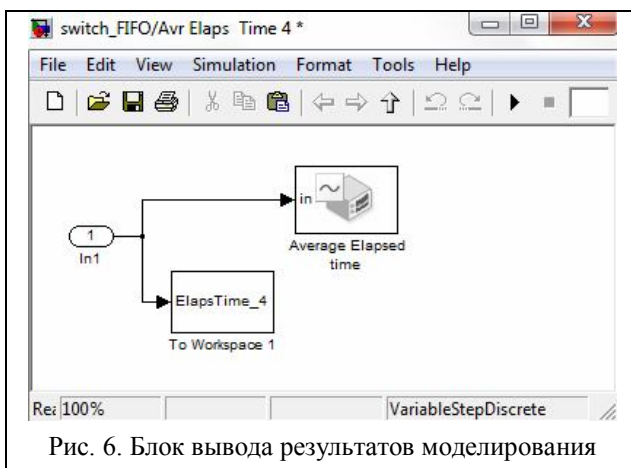


Рис. 6. Блок вывода результатов моделирования

Результаты моделирования

Первое исследование задержек в коммутаторе выполнялось с использованием дисциплины обслуживания FIFO применительно к сети Fast Ethernet.

Весь диапазон размеров пакетов был разделен на 8 частей, соответствующих длине поля данных 100:200:1500 байт.

Для каждого поддиапазона были определены минимальные и максимальные значения времени передачи пакета, которые программно загружались в блоки параметров Length подсистемы формирования пакетов Subsystem. Для блоков Start Timer и Read Timer первого канала был выбран тэг T. Емкость буфера задавалась значениями 1:5:25. Результаты моделирования представлены в табл. 1 и на рис.7.

Следующий этап моделирования задержек в коммутаторе был выполнен с использованием дисциплины обслуживания LIFO. В этом случае в схеме модели коммутатора входные порты FIFO Queue были заменены блоками LIFO Queue.

Результаты моделирования для этого случая представлены в табл. 2 и на рис. 8. Временные параметры во всех таблицах измерялись в наносекундах.

Результаты моделирования пакетного коммутатора, представленные в табл. 1 и 2 и на рис. 7 и 8, свидетельствуют о том, что применение дисциплины обслуживания заявок (пакетов) LIFO значительно уменьшает время задержки пакетов в буфере комму-

татора, что позволит повысить пропускную способность коммутатора и других коммуникационных устройств, применяемых в компьютерных сетях.

Выполним проверку нулевой гипотезы H_0 о том, что ожидаемые значения задержек продвижения пакетов в коммутаторе не зависят от дисциплины обслуживания, т.е. $H_0 : \Pi_{LIFO} = \Pi_{FIFO}$.

Таблица 1

Среднее время пребывания пакетов в коммутаторе (FIFO)

Емкость буфера (пакет)	Размер пакета (байт)							
	100	300	500	700	900	1100	1300	1500
1	21,61	42,97	71,38	100,21	127,00	157,61	157,61	221,30
5	63,37	125,57	211,96	286,79	380,42	464,07	464,07	671,87
10	129,54	254,19	416,97	584,48	766,21	766,21	1116,64	1228,24
15	196,93	386,81	607,30	896,78	1103,03	1443,85	1657,95	1907,03
20	273,58	543,45	896,53	1227,71	1566,83	2030,22	2295,22	2644,75
25	341,85	658,45	1113,31	1587,64	2035,15	2461,60	3105,09	3532,04

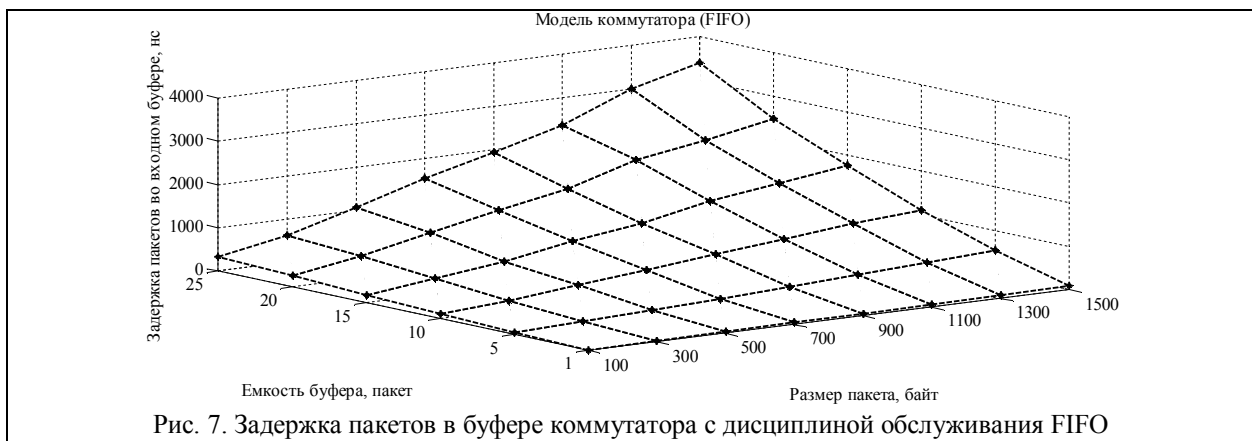
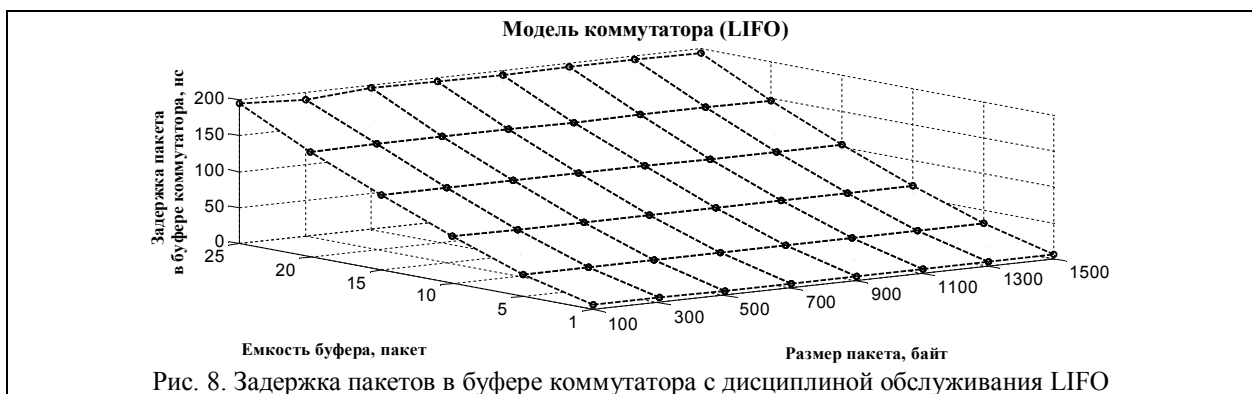


Таблица 2

Среднее время пребывания пакетов в коммутаторе (LIFO)

Емкость буфера (пакет)	Размер пакета (байт)							
	100	300	500	700	900	1100	1300	1500
1	14,49	14,47	14,49	14,48	14,48	14,47	14,47	14,48
5	38,68	38,40	38,50	39,09	39,02	39,03	39,0	39,04
10	73,55	73,39	73,70	73,41	73,39	73,29	73,42	73,45
15	114,4	112,30	112,42	112,79	112,71	112,42	112,65	112,84
20	150,6	153,19	152,34	151,98	151,49	153,59	154,0	151,63
25	205,1	199,83	204,67	204,35	203,74	205,33	204,38	203,85



Правило, по которому гипотеза H_0 принимается или отвергается, основанное на использовании статистики F , сводится к следующему: если $F \leq F_{\alpha; m-1; m(n-1)}$ отвергнуть H_0 , в противном случае принять H_0 .

Здесь $F_{\alpha; m-1; m(n-1)}$ соответствует процентилу распределения F со степенями свободы $m-1$ и $m(n-1)$ (α – уровень значимости, $m=2$ – число планов, $n=48$ – число повторений каждого плана). Если гипотеза H_0 принимается, то делается вывод о том, что выборочные различия между планами возникают не из-за случайных возмущений, а за счет фактического различия в параметрах распределения. В связи с тем, что псевдослучайные числа, генерированные для каждого плана, не зависят от псевдослучайных чисел других планов, этот эксперимент можно обрабатывать методами планирования однофакторного эксперимента.

Пусть X_{ij} – полная задержка пакета в буфере коммутатора в i -й реплике j -го плана; $X_{.j}$ – задержка пакета, усредненная по всем 48 репликам; $X_{..}$ – общая средняя задержка для всех планов, каждый из которых просчитывался 48 раз.

Статистика F определяется по формуле

$$F = MS_p / MS_e. \quad (1)$$

Для определения источника дисперсии между планами, используемого в процессе однофакторного эксперимента, воспользуемся такими формулами:

$$SS_p = n \sum_{j=1}^m (X_{.j} - X_{..})^2, \quad (2)$$

где n – количество реплик каждого плана; m – число планов.

$$MS_p = SS_p / (m - 1). \quad (3)$$

Дисперсия между планами вычисляется

$$SS_e = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (X_{ij} - X_{.j})^2. \quad (4)$$

В свою очередь, дисперсия ошибок может быть вычислена

$$MS_e = SS_e / m(n - 1). \quad (5)$$

Результаты эксперимента представлены в табл. 3.

Таблица 3

Статистики дисперсионного анализа однофакторного эксперимента

Источник дисперсии	Сумма квадратов	Степени свободы
Между планами	13 636 000	2
Ошибка	921 980	48
Статистика $F=0.01697$		

Подставив результаты эксперимента в табл.5, получаем, что $F=0,01697$ меньше критической величины $F_{0,05; 1; 4} = 3,92$. Таким образом, результаты имитационного эксперимента не поддерживают нулевую гипотезу о том, что ожидаемые значения задержек продвижения пакетов в коммутаторе не зависят от дисциплины обслуживания.

Выводы

Результаты имитационного моделирования показывают, что применение дисциплины обслуживания заявок LIFO позволят повысить пропускную способность коммуникационных устройств, применяемых в конвергентных компьютерных сетях. При этом значительно сокращаются задержки в обслуживании пакетов коммутатором.

Список литературы

1. Столлингс В. Компьютерные системы передачи данных / В. Столлингс. – М.: Вильямс, 2002. – 928 с.
2. Вишневецкий В.М. Теоретические основы проектирования компьютерных сетей / В.М. Вишневецкий. – М.: Техносфера, 2003. – 512 с.
3. Кульгин М.В. Практика построения компьютерных сетей. Для профессионалов / М.В. Кульгин. – СПб.: Питер, 2001. – 320 с.
4. Леохин Ю.Л. Корпоративные сети: архитектура, технологии, управление / Ю.Л. Леохин. – М.: Фонд «Качество», 2009. – 148 с.
5. Леохин Ю.Л. Корпоративные сети: состояние, перспективы и тенденции / Ю.Л. Леохин, В.Ю. Бекасов. – М.: Фонд «Качество», 2008. – 123 с.

Поступила в редакцию 15.07.2013

Рецензент: д-р техн. наук, проф. О.Г. Руденко, Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Харьков.

ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПАКЕТНОЇ МЕРЕЖЕВОЇ КОМУТАЦІЇ ДЛЯ РІЗНИХ ДИСЦИПЛІН ОБСЛУГОВУВАННЯ

В.О. Гуліус, С.Г. Удовенко, А.А. Шамраєв

Запропоновано програмну модель пакетного комутатора та досліджено вплив дисциплін обслуговування на ефективність комутації. Результати імітаційного моделювання показали переваги застосування дисципліни обслуговування заявок LIFO, використання якої дозволило підвищити пропускну здатність комунікаційних пристроїв, застосовуваних у локальних комп'ютерних мережах.

Ключові слова: пакетний комутатор, дисципліна обслуговування заявок, імітаційне моделювання.

SIMULATION OF NETWORK PACKET-SWITCHING FOR DIFFERENT SERVICE DISCIPLINES

V.A. Gulius, S.G. Udovenko, A.A. Shamraev

Program model of packet switch was proposed and the influence of service disciplines on the efficiency of switching was explored. Simulation results have shown the advantages of using the LIFO service discipline, which using has allowed to increase the capacity of communication devices used in local area computer networks.

Keywords: package switchboard, discipline of maintenance of requests, imitation design.