

Висновки

Результат цієї роботи можна реально використовувати при розробці і удосконаленні програмного забезпечення цифрової системи комутації “СС-11”, яка використовується на українських телефонних мережах. Запропоновані засоби можна використовувати:

- для визначення оптимальних об’ємів буферів при обслуговуванні потоку кадрів, створених в результаті певного вхідного навантаження телефонного трафіка;
- для дослідження можливості використання цифрової комутаційної системи за різних навантажень;
- для оцінки завантаженості центрального керуючого процесора;
- для визначення питомої ваги втрачених кадрів;
- для визначення ймовірності перезапиту кадрів за різних значень вхідного навантаження.

Розроблена модель являє собою процес обробки вхідних кадрів цифрової системи комутації і не відображає її роботу у зворотному напрямку. Але результати цієї роботи можуть бути використані для побудови моделі всього процесу обробки кадрів в цифровій системі комутації.

1. Гольдштейн Б.С. *Протоколи сети доступа. Т. 2* – М., 1999. 2. *ITU-T Recommendation Q.920 (I.440) ISDN User-Network – Data Link Layer – General Aspects. Geneva, 1993.* 3. *ITU-T Recommendation Q.921 (I.441) ISDN User-Network – Data Link Layer Specification. Geneva, 1993.* 4. *ITU-T Recommendation Q.930 (I.450) ISDN User-Network Interface Layer 3 – General Aspects. Geneva, 1993.* 5. *ITU-T Recommendation Q.931 (I.451) ISDN User-Network Interface Layer 3 – Specifications for Basic Call Control. Geneva, 1993.* 6. Стеклов В.К., Беркман Л.Н. *Телекомунікаційні мережі*. – К., 2001. 7. *Настанова з експлуатації цифрової комутаційної станції “СС-11”, 2003.* – 325 с. 8. *Volochiy B., Ulybin D. Improvements in the technology of discrete uniterupted stochastic information systems modelling // Prace X konferencji “Sieci i Systemy Informatyczne”. – Lodz. – 2002.* – S. 317–326. 9. *Беляев В.П., Волочий Б.Ю., Мандзий Б.А. Автоматизация построения надежностных моделей отказоустойчивых РЭС // Автоматизация проектирования.* – М., 1994. – № 2–3. – С. 73–81. 10. *Volochiy B., Matichyn O., Ozirkovskyy L., Stetsuk., Ulybin D. Means of Analysis of the Efficiency of the Digital Commutation System ES-11 with the LAPD Protocol // Proceedings of the International Conference TSCET’2004.* – P. 587–591.

УДК 681.32.03

Михайло Климаш, Василь Романчук, Богдан Стрихалюк
Національний університет “Львівська політехніка”,
кафедра телекомунікацій

ДОСЛІДЖЕННЯ ТА МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ GIGABIT ETHERNET КОМУТАТОРА ТРАНСПОРТНИХ ОПТИЧНИХ МЕРЕЖ

© Климаш Михайло, Романчук Василь, Стрихалюк Богдан, 2004

Розроблено математичну модель комутатора Gigabit Ethernet – одного з основних вузлів сучасних телекомунікаційних систем. Створена модель враховує змінний розмір кадру і варіацію міжкадрового інтервалу. Показано адекватність моделі реальному комутатору Gigabit Ethernet.

In work the mathematical model of switch Gigabit Ethernet is developed – one of basic of communications device. The created model takes into different packet sizes and variation of inter-packet intervals at constant channel load. In work the adequacy of model is shown to the real switch Gigabit Ethernet.

Вступ

До основних вимог, що пред’являються до широкосмугових цифрових мереж з інтеграцією послуг, відноситься гарантія певної якості обслуговування (Quality Service, QoS) кожного

з'єднання. Оскільки мережі на основі Ethernet створювалися для передачі даних, то в них не передбачено управління пріоритетним трафіком.

Поява нових механізмів управління пріоритетним трафіком, потоком пакетів і віртуальними каналами, з технологією багатопротокольної комутації із заміною міток (Multiprotocol Label Switching, MPLS), робить можливість застосування Ethernet в мультисервісних корпоративних і міських мережах, а з розвитком технології хвильового мультиплексування (Density Wave De-Multiplexing, DWDM) і з ухваленням стандарту на 10 Гбіт/с і в мережах територіального рівня.

Постановка задачі

Базову функціональну модель вузла комутації трафіка (ВКТ) можна створити на основі теорії масового обслуговування. При цьому комутатор в першому наближенні представлено одноканальною системою масового обслуговування (СМО), з кінцевим вхідним буфером і системою обслуговування заявок FIFO (first input/first output). Функціональна модель системи показана на рис. 1.

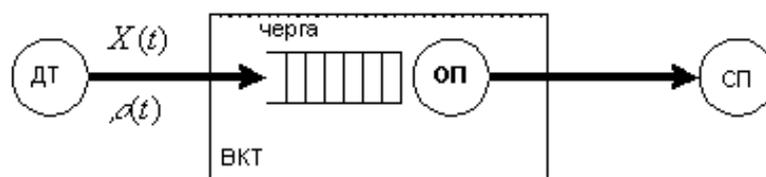


Рис. 1. Функціональна схема комутатора

В теорії масового обслуговування, комутаційна матриця і процесор представлені як обслуговуючий прилад (ОП), вхідний буфер як черга, кадри як заявки, які генерує джерело трафіка (ДТ). Навантаженням комутатора є споживач трафіка (СТ). Рівень завантаження вхідного каналу виражається через інтенсивність потоку заявок. Якщо прийняти допущення про однорідність трафіка, тоді кожний стан кадру складатиметься з двох фаз: "р-" – міжкадрова пауза, і "р+" – передача кадру. Тривалість міжкадрового інтервалу позначимо через $t_p[k]$, а тривалість передачі кадру – $t_f[k]$. Процес передачі кадрів показаний на рис. 2.

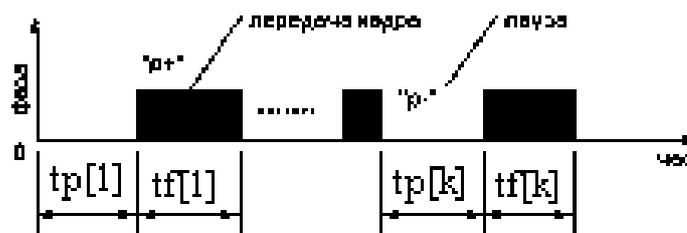


Рис. 2. Діаграма процесу передачі кадрів в каналі

Тривалість фази "р+" пов'язана з розміром кадру співвідношенням

$$t_f[k] = \frac{l_f[k]}{V_b}, \quad (1)$$

де V_b – бітова швидкість комутатора, сталий апаратний параметр. Технологія Gigabit Ethernet передає кадри змінної довжини при змінному міжкадровому інтервалі, тому мінімальний вектор стану каналу характеризується двома компонентами:

$$S[k] = \begin{bmatrix} t_f[k] \\ t_p[k] \end{bmatrix}. \quad (2)$$

Кадр Gigabit Ethernet складається з преамбули, службової частини і корисного навантаження [1]. Розмір преамбули дорівнює 512 біт, а службової частини – 144 біт. Мінімальне значення "чис-

того" міжкадрового інтервалу в точності дорівнює часу передачі 96 біт і становить для Gigabit Ethernet 96 нс, а максимальне значення не обмежене. Враховуючи, що преамбула на каналному рівні не обробляється, набуваємо значення "реального" мінімального міжкадрового інтервалу в 608 нс.

В результаті одержимо, що компонента l_f дискретна по своїй природі і визначена на бітовому відрізьку

$$l_f \in [512, 12144] \quad (3)$$

з дискретизацією у 8 біт.

Компонента τ_p неперервна і визначена на наносекундному напівінтервалі

$$t_p \in [608, \infty) . \quad (4)$$

З точністю, достатньою для інженерних розрахунків, компоненту можна також подати дискретною з інтервалом дискретизації в 1нс.

Період проходження кадрів в каналі дорівнює $T_f = t_p + t_f$. Відношення мінімального періоду до поточного і є реальним рівнем завантаження каналу. Звідси рівень завантаження каналу залежатиме і від розміру кадру і від міжкадрової паузи. Таким чином, виникає закономірне запитання, як будуть поводитися характеристики комутатора, якщо розмір кадру і тривалість міжкадрової паузи будуть змінюватися.

Математична модель комутатора

На вхід моделі комутатора поступає потік заявок, який описується двома випадковими величинами: $\tau_p[k]$ – тривалість міжкадрового інтервалу та $l_f[k]$ – розмір кадру. Бітова швидкість комутатора V_{bc} є постійною. Та S_{buf} – розмір буфера комутатора (в нашому випадку 256 Кбайт = 2097152 біт.).

СМО відноситься до систем з очікуванням та втратами. Для цього типу систем справедливий закон балансу:

$$S_q(t) = Q_g(t) - Q_{SW}(t) - Q_L(t), \quad (5)$$

де $S_q(t)$ – довжина черги; $Q_g(t)$ – кількість бітів, що поступили в систему; $Q_{SW}(t)$ – кількість скомутованих бітів; $Q_L(t)$ – кількість втрачених бітів.

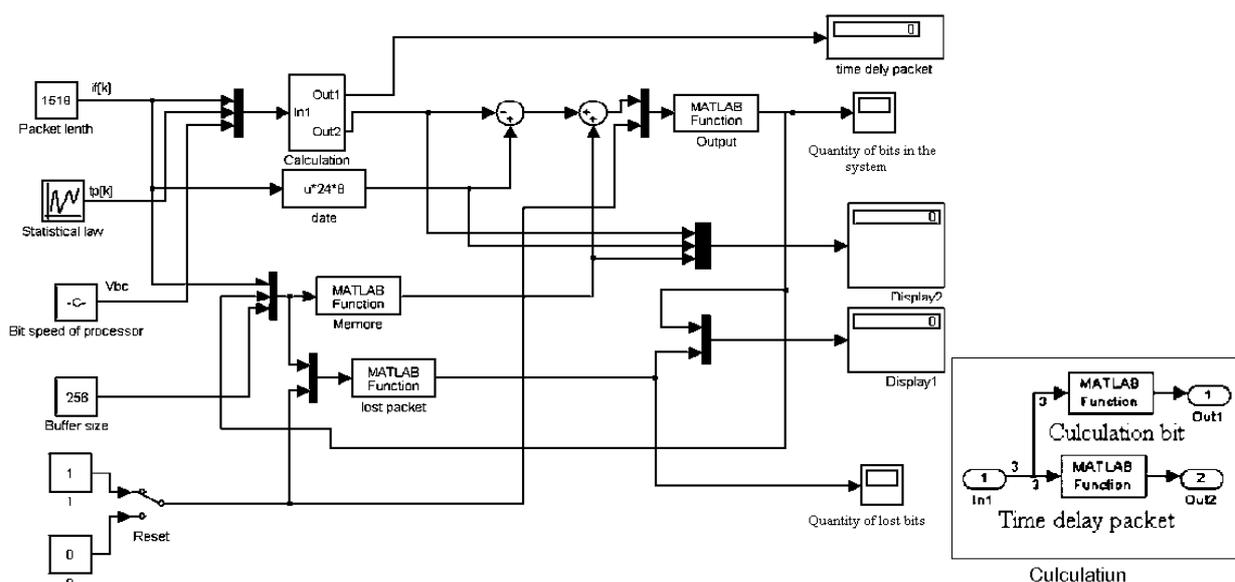


Рис. 3. Математична модель комутатора

Режим комутації з повною буферизацією використовується у магістральних комутаторах. Тому час обробки кадру дорівнюватиме

$$t_w = t_{sw} + t_{pr} + t_{st}, \quad (6)$$

де t_w – час обробки кадру; t_{sw} – час комутації визначається розміром кадру та бітовою швидкістю комутації; t_{pr} – час обробки заголовка процесором (проводиться перевірка контрольної суми і визначається вихідний порт по запису “адреса-порт в таблиці комутації”); t_{st} – час що залишається до звільнення вихідного порту, зайнятого іншими процесами.

На цьому етапі синтез математичної моделі комутатора можна вважати закінченим. Структурна схема моделі розроблена на Matlab 6.0 і показана на рис. 3.

- **Calculation** – обраховує кількість бітів, які були скомутовані комутаторами.
- **Calculation bit** – обраховує кількість бітів, які були скомутовані комутаторами.
- **Time delay packet** – обраховує затримку кадру.
- **Date** – обраховує кількість бітів, які поступили в систему.
- **Memory** – обраховує кількість бітів, які знаходяться у пам’яті комутатора.
- **Output** – функція виходу, обмежує від’ємні значення на виході.
- **Reset** – перемикач дає змогу очистити буфер комутатора.
- **Quantity of bits in the system** – виводить осцилограму залежності розміру буфера від кількості кадрів.
- **Quantity of lost bits** – виводить осцилограму втрачених кадрів.

Перевірка адекватності математичної моделі

Для дослідження комутатора Gigabit Ethernet проведемо оцінку на адекватність отриманої математичної моделі реальним комутатором Gigabit Ethernet.

Як реальний комутатор, візьмемо комутатор “Cajun P550” (виробник компанія “Avaya”). Параметри цього комутатора наведені в табл. 1.

Таблиця 1

Параметри комутатора

Параметр	Ефективне значення
Продуктивність комутаційного ядра	1,638 Гбіт/с
Продуктивність процесора	1 375 461 пакет/с
Буфер	256 Кбайт

В табл. 2 наведені для порівняння результати тестування та результати моделювання. Результати тестування взяті з [2], дані з реального моделювання отримані самостійно. З табл. 2 можна побачити, що максимальна похибка не перевищує 8,29 %. Ця точність є достатньою для практичних інженерних досліджень.

Таблиця 2

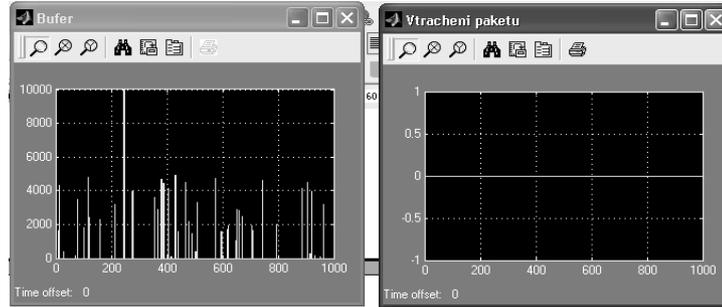
Порівняння результатів моделі та реальних даних

Параметр	Тест	Модел	Похибка
Затримка кадру, 64 байт	3,42 мкс	3,8 мкс	4,4 %
Затримка кадру, 1518 байт	10,15 мкс	10,9 мкс	8,29 %
Затримка (реальний трафік, 200 кадрів)	7,12 мкс	7,37 мкс	3,39 %

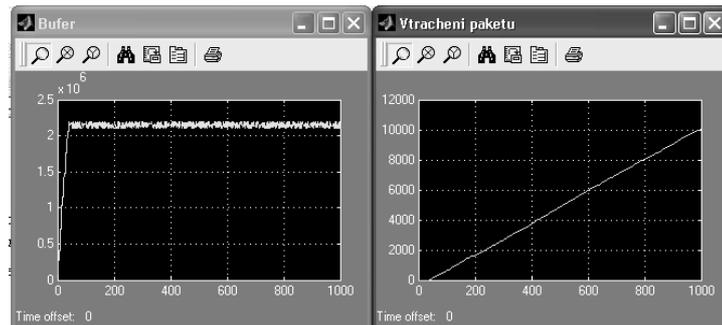
Результати моделювання

Моделювання проводиться для 1000 кадрів.

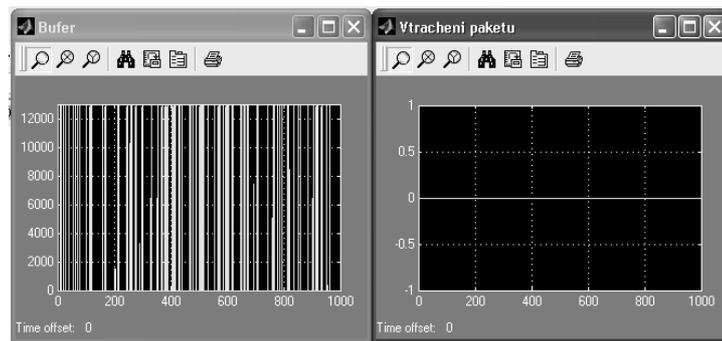
Вхідні дані: розмір кадру – 64 байт; міжпактний інтервал $608 \cdot 10^{-9} \div 608 \cdot 10^{-7}$.



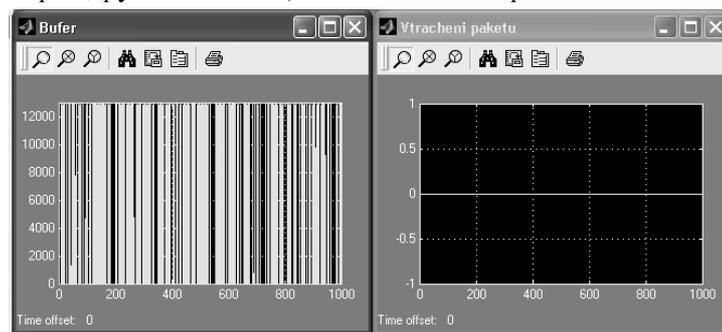
Вхідні дані: розмір кадру – 604 байт; міжпактний інтервал $608 \cdot 10^{-9} \div 608 \cdot 10^{-7}$.



Вхідні дані: розмір кадру – 604 байт; міжпактний інтервал $608 \cdot 10^{-9} \div 608 \cdot 10^{-6}$.



Вхідні дані: розмір кадру – 1518 байт; міжпактний інтервал $608 \cdot 10^{-9} \div 608 \cdot 10^{-6}$.



Висновки

Ця модель призначена для дослідження, роботи комутатора при передачі трафіка голосу даних та відео, вона також дає змогу оцінити завантаження вхідного буфера комутатора та визначити затримку пакета при різних режимах роботи комутатора.

1. IEEE 802.3z. 1998 Edition. IEEE standards for Local Area Networks: Gigabit Ethernet. 2. Report 180998, September 1998, Mier Communications Inc. 3. Немес В. А. Качество обслуживания на сетях связи / Жур. "Сети и системы связи". – 1999. – № 3. – С. 66–71.