

Дослідження швидкості комутаційних процесів в ех-мережах

Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАНУ

Наведено результати експериментальних досліджень швидкості комутаційних процесів в мережах побудованих із використанням нової телекомунікаційної технології EX, що передбачає використання службової інформації протоколів транспортного, мережного та каналного рівнів моделі OSI у складі єдиного заголовку. Проведені дослідження залежності середнього часу передавання тестового файлу від значення максимального розміру блоку даних показали цілковиту відповідність теоретичним розрахункам. Показано, що час обробки даних функціями протоколу EX є достатнім для обробки трафіку у реальному часі. Проведені дослідження показали, що при зменшенні розміру мережної адреси спостерігається стійке зростання продуктивності мережі.

Ключеві слова: технологія EX, експериментальні дослідження, час передавання, швидкість комутаційних процесів, час обробки даних, розмір мережної адреси

Стрімкий розвиток інфокомунікаційних технологій, який викликав зростання обсягів трафіку, що циркулює в сучасних телекомунікаційних мережах, як ніколи гостро поставив перед науковцями проблему пошуку нових методів підвищення ефективності його передавання. Важливим кроком на цьому шляху стало створення нової телекомунікаційної технології (EX), що передбачає використання службової інформації протоколів транспортного, мережного та каналного рівнів семирівневої моделі відкритих систем OSI-ISO у складі єдиного заголовку змінного або фіксованого розміру на базі технології Ethernet.

На попередніх етапах створення нової технології [1-4] було сформовано базові принципи її практичної реалізації, розроблено специфікацію алгоритмів роботи та характеристик протоколів зв'язку, що забезпечують транспортування навантаження як в межах одного сегменту, так і крізь спеціалізовані EX-комутатори, а також виконано дослідну програмну реалізацію окремих сервісів, що забезпечують її роботу.

Однією з ключових особливостей пропонованої технології стало використання адрес змінного розміру, що надало створюваним за її допомогою мережам нових переваг як з точки зору зменшення часу передавання корисної інформації (за рахунок мінімізації службової інформації), так і з точки зору підвищення швидкості комутації (за рахунок використання адрес зменшеного, у порівнянні із класичним протоколом IP, розміру).

Метою роботи є кількісна оцінка досягнутого ефекту швидкодії при використанні технології EX шляхом експериментальних досліджень роботи окремих підсистем.

Одним з основних способів апробації програмної реалізації телекомунікаційних механізмів є проведення експериментальних досліджень функціонування тієї або іншої послуги в реальній мережі. Проведення таких досліджень дозволяє визначити типи та параметри потоків запитів на надання послуг, провести вимірювання впливу послуги на загальну завантаженість мережі, оцінити коректність програмної реалізації нового механізму шляхом порівняння досягнутих результатів із аналогами тощо. При цьому важливою умовою таких досліджень є наявність реалізованого програмного забезпечення та сформованого середовища користувачів, що його використовують. Проведення ж експериментальних досліджень нових телекомунікаційних механізмів, яке ставить

за мету, насамперед, визначення можливості реалізації певних видів послуг, передбачає розробку спеціального програмного забезпечення, яке імітує роботу таких послуг в реальних мережах. З метою проведення таких досліджень було створено спеціальний дослідний сегмент з трьох спеціалізованих апаратних платформ (RS1, RS2 та RS3 відповідно), що реалізують функціональність комутуючих маршрутизаторів EX. Зазначені платформи поєднані між собою за кільцевою схемою (RS1 до RS2, RS2 до RS3, RS3 до RS1) через звичайні Ethernet інтерфейси за допомогою кабелю UTP/cat.6.

Кожна з платформ RS1, RS2 та RS3 являє собою компактне апаратне рішення, реалізоване в корпусі типу mini-ITX на платформі Intel Atom D2550 з підтримкою п'яти незалежних Ethernet інтерфейсів. До кожної з платформ кабелем UTP/cat.6 підключено портативні робочі станції WS1, WS2 та WS3 відповідно.

Крім функцій комутуючих маршрутизаторів на платформи RS2 та RS3 встановлено мережні сервіси, що реалізують систему доменних імен (DNS) та сервіс динамічного конфігурування вузлів (DHCP) відповідно. На робочій станції WS2 було встановлено веб-сервер «Apache HTTP Server» [5], а на робочій станції WS3 встановлене спеціально розроблене ПЗ «SFTP Collector», яке забезпечує функціональність файлового серверу, програмне забезпечення, що реалізує функціональність FTP-серверу (в TCP-середовищі), а також спеціалізоване ПЗ, що реалізує передавання файлів за допомогою протоколу UDP (серверна частина). Робоча станція WS1 використовувалась для ініціалізації запитів та моніторингу результатів експериментальних досліджень, а також містила серверну реалізацію файлового серверу, що працює за протоколом SFTP (Secure File Transfer Protocol) та клієнтське ПЗ, що працює за протоколами FTP та UDP.

В якості операційної системи на всіх елементах дослідного сегменту було використано дистрибутив Linux Debian 2.6.32-5-хен-amd64 [6]. При цьому для реалізації функціональності EX мереж платформи RS1, RS2 та RS3, а також робочі станції WS1 та WS3 було оснащено спеціальним модулем ядра. Робоча станція WS2 використовувала бібліотеку-обгортувач для забезпечення функціонування прикладних процесів, що розроблено для роботи із IP-адресами, у EX-середовищі.

Експериментальна оцінка часу передавання корисної інформації при використанні технології EX. Дослідження швидкості передавання інформації в EX-мережі базується на послідовному багаторазовому передаванні заздалегідь підготовленого тестового файлу між WS1 та WS3 (тобто, крізь 2 проміжних вузли – RS1 та RS3) дослідного сегменту за допомогою п'яти наборів протоколів – SFTP/SSH/TCP/IP/Ethernet, FTP/TCP/IP/Ethernet, UDP/IP/Ethernet, SFTP/SSH/EX та EX.

В першому випадку (для SFTP/SSH/TCP/IP/Ethernet та для SFTP/SSH/EX) на WS3 у відповідній директорії, зазначеній в змінній «SFTPPathForScan» конфігураційного файлу ПЗ «SFTP Collector» створювався тестовий файл еталонним розміром 500МБ, що наповнювався випадковою послідовністю. При цьому відповідні параметри «SFTPHost», «SFTPPort», «SFTPLogin» та «SFTPPassword» були встановлені таким чином, щоб забезпечувати можливість авторизації за протоколом SFTP на робочій станції WS1 при передаванні навантаження як крізь IP-середовище («SFTP Section 1»), так і крізь EX-середовище («SFTP Section 2»).

Після запуску програмного забезпечення «SFTP Collector» за допомогою команди «/etc/init.d/sftpcd start» здійснювалось вимірювання часу необхідного для

передавання тестового файлу для обох випадків. Для забезпечення більшої точності та визначення впливу параметрів середовища на швидкість передавання інформації вимірювання здійснювались по 20 разів для кожного значення максимального розміру блоку даних (Maximum Transfer Unit – MTU) з ряду 1500, 1250, 1000, 750, 500, 250 як для TCP/IP, так і для EX. Значення MTU змінювались за допомогою команди «ip link set dev».

Аналогічним чином здійснювались вимірювання для наборів протоколів FTP/TCP/IP/Ethernet, UDP/IP/Ethernet та EX. При цьому в першому випадку використовується програмне забезпечення «ftpd», а для двох останніх випадків використовується спеціальна утиліта, що складається з клієнтської частини (встановлюваної на WS1) та серверної частини (встановлюваної на WS3) програмного забезпечення, що реалізує передавання файлів в режимі без підтвердження доставки. Результати проведених вимірювань у вигляді середніх значень для кожного з MTU, а також теоретичні розрахунки наведені в табл. 1.

Теоретичні значення часу передавання файлу ($T_{\text{теор}}$) отримані за допомогою наступного виразу:

$$T_{\text{теор}} = \frac{L_{\text{файлу}}}{H_{\text{корис}}} \quad (1)$$

де $H_{\text{корис}}$ – швидкість передавання корисної інформації, яка може бути обчислена, як $H_{\text{корис}} = L_{\text{макс}} \cdot (L_{\text{даних}} - L_{\text{сис}})$; $L_{\text{макс}}$ – максимально припустима інтенсивність передавання Ethernet кадрів; $L_{\text{даних}}$ – обсяг поля даних в бітах (MTU); $L_{\text{сис}}$ – обсяг додаткової службової інформації (в бітах) що передається разом з корисними даними (залежить від технології, що використовується для передавання інформації); $L_{\text{файлу}}$ – розмір тестового файлу в бітах.

Максимально припустима інтенсивність передавання Ethernet кадрів заданого обсягу $L_{\text{кадру}}$ визначається за формулою:

$$L_{\text{макс}} = \frac{H_{\text{макс}}}{L_{\text{кадру}} + H_{\text{макс}} \cdot t_p} \quad (2)$$

де $H_{\text{макс}}$ – максимальна номінальна швидкість передавання інформації в мережі Ethernet, біт/с; t_p – розмір технологічної паузи між кадрами Ethernet, с (для стандарту 100Base-TX цей розмір становить 9,6 мкс).

Як видно з табл. 1 залежності середнього часу передавання тестового файлу від значення MTU мають приблизно однаковий характер, що підтверджує відповідність програмної реалізації технології EX теоретичним розрахункам. Незначні відмінності в значеннях пояснюються тим, що теоретичні обчислення враховують лише усереднені статистичні параметри обробки пакетів на вузлах мережі та не враховують затримок, що вносяться в роботу програмного забезпечення в умовах роботи реальної мережі. При цьому теоретичні значення майже повністю відповідають експериментальним за умов передавання файлів без здійснення надлишкових операцій на кшталт надсилання пакетів для підтвердження доставляння інформації, а також на кшталт шифрування даних. В свою чергу дані, отримані при використанні протоколу SFTP, відрізняються в 5-6 разів від даних отриманих при експериментальних дослідженнях без його використання.

Таблиця 1 — Результати вимірювань та теоретичних розрахунків

Параметр	MTU					
	1500	1250	1000	750	500	250
Час передавання файлу, с (Технологія EX)						
Середнє значення за результатами експерименту (SFTP/SSH/EX)	271,02	271,11	272,90	273,23	273,69	274,01
Середнє значення за результатами експерименту (EX)	52,21	52,55	52,96	53,75	55,15	70,62
Теоретичне значення (EX)	46,02	46,84	48,06	50,10	54,19	66,43
Час передавання файлу, с (TCP/IP)						
Середнє значення за результатами експерименту (SFTP/SSH/TCP/IP/Ethernet)	323,36	323,46	325,62	326,00	326,54	326,92
Середнє значення за результатами експерименту (FTP/TCP/IP/Ethernet)	70,89	71,37	72,14	72,81	73,11	80,29
Середнє значення за результатами експерименту (UDP/IP/Ethernet)	59,32	59,71	60,18	61,09	61,53	80,25
Теоретичне значення (UDP/IP/Ethernet)	47,28	48,39	50,06	52,93	58,90	79,09

Експериментальна оцінка підвищення швидкості комутації при застосуванні адрес змінного розміру. Дослідження роботи стеку протоколів в ядрі операційної системи та програмного інтерфейсу для прикладних процесів полягає у вимірюванні швидкості роботи процедур доставки інформаційних повідомлень в двох напрямках: від прикладного програмного забезпечення до мережного адаптера та від мережного адаптера до прикладного програмного забезпечення. З цією метою було створено спеціальне програмне забезпечення, яке вимірює різницю у часі для виконання чотирьох ключових операцій:

формування EX або Ethernet кадру та його розміщення у вхідній черзі мережного адаптеру; деінкапсуляція EX або Ethernet кадру та переміщення даних до вхідної черги відповідного сокету; маршрутизація IP-паketу або EX-кадру та його переміщення у вхідну черзі відповідного мережного адаптеру; завершення процедури зміни стану відповідного сокету на підставі отриманих даних про початок або завершення з'єднання.

Схема розміщення ключових точок вимірювання часу на шляху проходження блоків даних для технології EX зображена на рис. 1. Перша ключова точка, позначена комбінацією «R0», відповідає виклику процедури `ex_rcv()`, що ініціюється з процедури `net_rx_action()` внаслідок системного переривання, що виникає під час надходження EX-кадру до мережного адаптера. Процедура `ex_rcv()` відповідає за потрапляння структури `sk_buff`, що містить дані кадру до модулю ядра операційної системи.

Друга ключова точка, позначена комбінацією «R1», відповідає завершенню процедури `ex_rcv_established()`, що відповідає за деінкапсуляцію кадру (виділення даних з структури `sk_buff`) та розміщення даних до вхідної черги відповідного сокету.

Третя ключова точка, позначена комбінацією «R2», відповідає завершенню процедури `ex_route()`, що відповідає за маршрутизацію EX-кадру (визначення інтерфейсу призначення) та копіювання структури `sk_buff` до вхідної черги відповідного мережного адаптера.

Наступна ключова точка, позначена комбінацією «R3» (рис. 1), відповідає завершенню процедури `ex_rcv_state()`, що відповідає за зміну стану відповідного сокету на підставі отриманих даних про початок або завершення з'єднання.

Ключові точки, позначені комбінацією «S0» та «S1», відповідають початку та завершенню процедури `ex_sendmsg()` відповідно. Зазначена процедура відповідає за формування EX або Ethernet кадру та його розміщення у вхідній черзі мережного адаптеру.

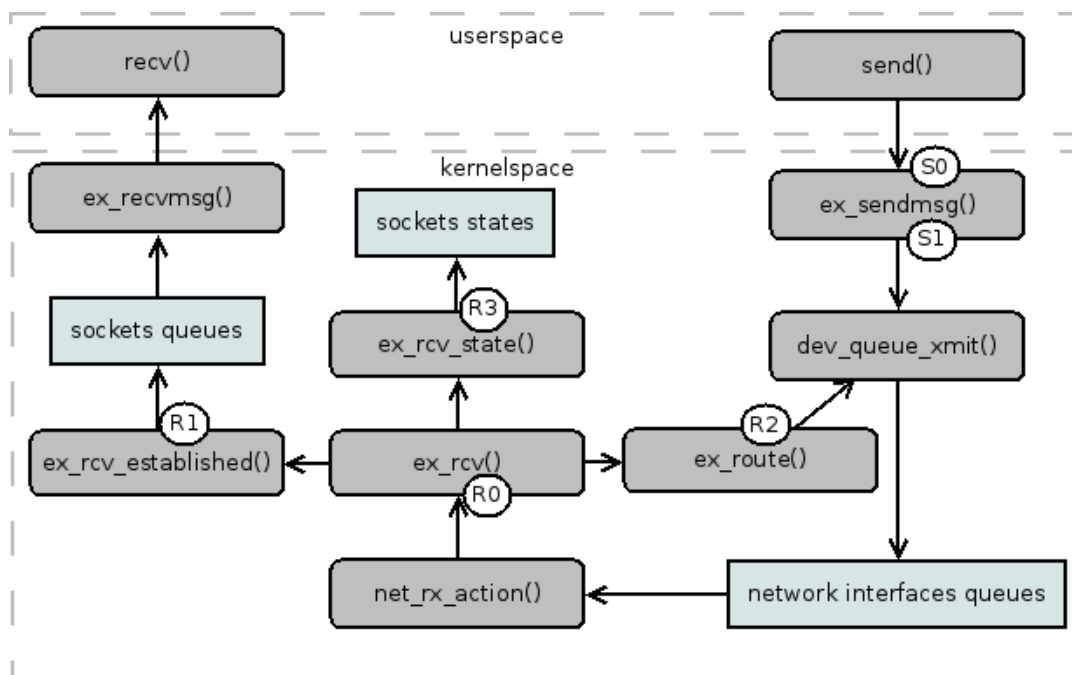


Рис. 1. Схема розміщення ключових точок вимірювання

Під час експериментальних досліджень роботи стеку протоколів в ядрі операційної системи та програмного інтерфейсу для прикладних процесів було проведено вимірювання максимального та мінімального часу проходження блоків даних (Protocol Data Unit – PDU) між чотирма парами ключових точок (що відповідають зазначеним вище ключовим операціям): між R0 та R1, між R0 та R2, між R0 та R3, а також між S0 та S1. При цьому для кожного напрямку проводилось вимірювання проходження 500 блоків даних, що викликали необхідну послідовність процедур. Так, наприклад, для напрямку «R0-R3» вимірювання проводилось із використанням запитів на встановлення з'єднання, а для напрямку «R0-R2» за допомогою пересилання EX-кадрів, що підлягали маршрутизації до іншого інтерфейсу. Для останнього з використаних напрямків («S0-S1») здійснювалась відправка довільних EX-кадрів через мережний адаптер досліджуваного вузла. Фіксації підлягала кількість тактів роботи процесору з подальшим перерахунком до абсолютного часу із використанням значення тактової частоти його роботи. Вимірювання роботи стеку протоколів TCP/IP проводилось за аналогічним принципом. Представлені у вигляді часових характеристик вимірювання для обох стеків протоколу EX та TCP/IP наведені в табл. 2.

Таблиця 2 – Результати експериментальних досліджень роботи стеку протоколів в ядрі операційної системи та програмного інтерфейсу для прикладних процесів

Напрям вимірювання	Час проходження PDU для стеку протоколів EX, мкс	
	мінімальний	максимальний
R0-R1	23,46	31,24
R0-R2	5,6	9,3
R0-R3	6,8	10,2
S0-S1	13,6	21,3

Як видно з табл. 2 час обробки даних функціями протоколу EX є достатнім для обробки навантаження у реальному часі (час обробки одного фрейму менший ніж інтервал поміж фреймами у сумі із мінімальним часом отримання одного фрейму). Найбільш витратними, з точки зору кількості машинних команд, операціями є: операції копіювання та обчислювання хеш-функцій JenkinsHash [7] для пошуку відповідного сокету або перевірки черги фрагментів у разі наявності.

Дослідження швидкості комутації EX-маршрутизатору полягає у визначенні максимальної кількості пакетів, що можуть бути оброблені мережним інтерфейсом маршрутизатора під час роботи, та швидкості передавання навантаження на його інтерфейсах. Для визначення даного показника на RS1 дослідного сегменту відбувався запуск багатопотокового генератора запитів до RS2 з використанням стеків TCP/IP (Ethernet) та EX. При цьому RS1 був налаштований таким чином, щоб навантаження до RS2 передавався через апаратну платформу RS3. Кожен новий запуск генератора запитів супроводжувався зміною розміру EX-адреси. Під час генерації запитів за допомогою утиліт «vnstat» [8] та «bwm-ng» [9] відбувалось спостереження за активністю мережних інтерфейсів «eth1» та «eth2» апаратної платформи RS3.

Запуск багатопотокового генератора запитів з використанням стеку TCP/IP (Ethernet) відбувався по команді «root@ex-test1:~/ex_route_test# ./test in 192.168.222.2», що була введена в консолі апаратної платформи RS1. Вимірювання швидкості комутації при передаванні навантаження за технологією TCP/IP виконувалось в режимі реального часу за допомогою команд «root@ex-test3:~# vnstat -l -i eth1», «root@ex-test3:~# vnstat -l -i eth2» та «root@ex-test3:~#

bwm-ng», що були введені в консолі апаратної платформи RS3.

Запуск багатопотокового генератора запитів з використанням стеку EX відбувався по команді «root@ex-test1:~/ex_route_test# ./test ex 00:88:88:88:04», що була введена в консолі апаратної платформи RS1. Вимірювання швидкості комутації при передаванні навантаження за технологією EX виконувалось в режимі реального часу за допомогою команд «root@ex-test3:~# vnstat -l -i eth1», «root@ex-test3:~# vnstat -l -i eth2» та «root@ex-test3:~# bwm-ng», що були введені в консолі апаратної платформи RS3.

Наступним кроком експерименту була зміна розміру EX-адреси з 6 байтів на 8, 4 та 2 байти з вимірюванням швидкості комутації при кожній зміні розміру адреси. Вимірювання проводились аналогічним чином.

Результати проведених вимірювань зведено до табл. 3. Як видно з цієї таблиці при зменшенні розміру мережної адреси спостерігається зростання продуктивності комутуючого маршрутизатора EX. При цьому результати експерименту показали приблизно однакову швидкість комутації при використанні мережних стеків TCP/IP (Ethernet) та EX з розміром адреси 6 байт. Найнижча швидкість комутації склала 73864 кадрів/с при передачі кадрів з розміром адреси 8 байт. Максимальна швидкість комутації склала 201421 кадрів/с при передачі кадрів з розміром адреси 2 байти, що приблизно у 2,5 рази перевищує отриманий результат при передаванні кадрів TCP/IP.

Таблиця 3 — Результати вимірювань швидкості комутації

Продуктивність, кадрів/сек	Технологія, розмір адреси				
	Ethernet, 6 байт	EX, 8 байт	EX, 6 байт	EX, 4 байти	EX, 2 байти
	82 226	73 864	83 634	155 654	201 421

На завершення можна зробити такі висновки:

1. Проведені дослідження залежності середнього часу передавання тестового файлу від значення MTU мають приблизно однаковий характер. При цьому теоретичні значення майже повністю відповідають експериментальним за умов передавання файлів без здійснення надлишкових операцій.

2. Час обробки даних функціями протоколу EX є достатнім для обробки навантаження у реальному часі. Найбільш витратними, з точки зору кількості машинних команд, операціями є: операції копіювання та обчислення хеш-функцій для пошуку відповідного сокету або перевірки черги фрагментів у разі наявності фрагментації.

3. Проведені дослідження швидкодії окремих підсистем технології EX показали, що при зменшенні розміру мережної адреси спостерігається стійке зростання продуктивності будь-якої з підсистем.

Подальші дослідження мають бути спрямовані на оптимізацію операцій, що потребують значного часу виконання через оптимізацію викликів системних функцій в ядрі операційної системи.

Список літератури

- Каптур В.А. Базові принципи практичної реалізації систем адресації із змінним розміром мережної адреси в Ethernet мережах / В.А. Каптур, К.Д. Гуляєв, П.С. Кравченко // Радіоелектронні і комп'ютерні системи. – 2012. – №1. – С. 51 – 54.
- Каптур В.А. Оцінювання ефективності впровадження телекомунікаційних технологій зменшення протокольної надлишковості / В.А.

Каптур, К.Д. Гуляев, П.С. Кравченко, О.О. Янина // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии. – 2011. – №52. – С. 77 – 89.

3. Гуляев К.Д. Стек протоколів системи адресації із змінним розміром мережної адреси / К.Д. Гуляев // Наукові праці ОНАЗ ім. О.С. Попова. – 2012. – №2. – С. 74 — 76

4. Гуляев К.Д. Адаптивний протокол передавання інформації в Ethernet мережах / К.Д. Гуляев // Наукові праці ОНАЗ ім. О.С. Попова, 2013. – №1. – С. 110–113.

5. Apache HTTP Server [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://httpd.apache.org/>

6. Debian [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.debian.org/>

7. Jenkins hash function [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://en.wikipedia.org/wiki/Jenkins_hash_function

8. vnStat [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://humdi.net/vnstat/>

9. bwm-ng (Bandwidth Monitor NG) [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.gropp.org/?id=projects&sub=bwm-ng>

Рецензент: к.т.н., с.н.с, проректор з наукової роботи ОНАЗ ім. О.С. Попова (м. Одеса), віце-голова 1-ї Дослідницької комісії Сектору розвитку Міжнародного союзу електрозв'язку Каптур В.А.
Поступила в редакцію 03.09.2014

Исследования вредности коммутационных процессов в ex-сетях

Приведены результаты экспериментальных исследований скорости коммутационных процессов в сетях, построенных с использованием новой телекоммуникационной технологии EX, предполагающей использование служебной информации протоколов транспортного, сетевого и канального уровне модели OSI в составе единого заголовка. Проведенные исследования зависимости среднего времени передачи тестового файла от значения максимального размера блока данных показали полное соответствие теоретическим расчётам. Показано, что время обработки данных функциями протокола EX является достаточным для обработки трафика в реальном времени. Проведённые исследования показали, что при уменьшении размера сетевого адреса наблюдается стойкое увеличение производительности сети.

Ключевые слова: технология EX, экспериментальные исследования, время передачи, скорость коммутационных процессов, время обработки данных, размер сетевого адреса.

Studies of hazard commutation processes in ex-networks

The results of experimental research of the switching rate in the EX-networks, which used of the protocol overhead of the transport, network and data link layers of the OSI model as a part of a single header. Research of the test file average transmission time from the maximum transfer unit showed full compliance with the theoretical calculations. It is shown that the processing time of the EX-protocol functions is sufficient to transfer the data in real time. Research have shown that a decrease in the network address size provides increase in network performance.

Keywords: EX technology, experimental research, transmission and switching rate, the data processing time, the size of the network address.