

УДК 621.391

В.А. КАПТУР<sup>1</sup>, К.Д. ГУЛЯЄВ<sup>2</sup>, П.С. КРАВЧЕНКО<sup>1</sup><sup>1</sup> *Одеська національна академія зв'язку ім. О.С. Попова, Україна*<sup>2</sup> *Інститут телекомунікацій та глобального інформаційного простору НАН України*

## БАЗОВІ ПРИНЦИПИ ПРАКТИЧНОЇ РЕАЛІЗАЦІЇ СИСТЕМ АДРЕСАЦІЇ ІЗ ЗМІННИМ РОЗМІРОМ МЕРЕЖНОЇ АДРЕСИ В ETHERNET МЕРЕЖАХ

*В роботі розглянуто базові принципи практичної реалізації систем адресації із змінним розміром мережної адреси в сучасних Ethernet мережах на прикладі технології EX. Визначено можливі способи та особливості реалізації таких систем для різних розмірів мережної адреси та різних способів організації мережі. Розглянуто низку прикладів застосування альтернативних технологій на існуючих телекомунікаційних мережах. Сформовано перелік змін, які необхідно внести до програмного та апаратного забезпечення сучасних Ethernet мереж для забезпечення функціонування в них технологій із змінним розміром мережної адреси.*

**Ключеві слова:** надлишковість службової інформації, змінний розмір мережної адреси, технологія EX.

### Вступ

Складний та тривалий шлях еволюції телекомунікаційних технологій, що застосовуються сьогодні в телекомунікаційних мережах, призвів до появи проблеми надлишковості службової інформації. Це пояснюється, насамперед, необхідністю узгодження роботи протоколів різних рівнів моделі OSI між собою. Така необхідність виникла ще на зорі формування сучасної телекомунікаційної інфраструктури, коли на шляху між відправником та одержувачем інформація могла проходити крізь десятки сегментів, що побудовані за різними технологіями. Однак вже сьогодні, зокрема завдяки зростаючій популярності технології Ethernet, в частині службових, корпоративних або навіть операторських мереж спостерігається уніфікація технологій, що нашоує винахідників на ідеї поєднання частини рівнів моделі OSI з метою спрощення реалізації та підвищення ефективності роботи мереж [1 – 3].

Одним з найбільш дієвих та розповсюджених механізмів такої оптимізації є використання мережних адрес (ідентифікаторів) змінного розміру [2, 3]. Слід однак зазначити, що висуваючи свої ідеї із зменшення протокольної надлишковості винахідники подекуди не поглиблюються в можливість їх практичної реалізації і, зважаючи на це, більшість таких ідей залишається лише в теорії.

**Метою статті** є визначення базових принципів практичної реалізації систем адресації із змінним розміром мережної адреси в сучасних Ethernet мережах.

### Результати досліджень

Низка відомих сьогодні систем адресації із змінним розміром мережної адреси, що передбачають використання Ethernet мереж для транспортування

навантаження, використовують для ідентифікації вузлів поля «MAC-адреса одержувача» та «MAC-адреса відправника» стандартного Ethernet-кадра [3]. Це стає можливим завдяки тому, що MAC-адреси при передачі кадрів по мережі комутаторами не аналізуються (якщо такий режим не застосовується спеціально), а лише перевіряються на предмет збігу з записами в таблицях комутації (CAM-таблицях). Саме цей принцип покладено в основу запропонованої авторами технології EX [4], яка базується на модифікації технології Ethernet та передбачає використання службової інформації протоколів транспортного, мережного та каналного рівнів у складі єдиного заголовку змінного розміру. Очевидно, що застосування цієї технології передбачає створення досить великих мереж, що працюють на базі однієї технології каналного рівня. Однак, зважаючи на те, що технологія Ethernet використовує плоску систему MAC-адресації [5], в великих Ethernet-мережах збільшуються розміри таблиць комутації, що часто призводить до збільшення часу обробки кадрів.

Задля подолання цієї проблеми технологія EX передбачає використання ієрархічних систем адресації із розділенням адреси на мережну частину та вузлову. Саме цей принцип покладено в основу методів змінної довжини маски підмережі VLSM (Variable Length Subnet Mask) та безкласової адресації CIDR (Classless Inter-Domain Routing), які наразі широко використовуються в TCP/IP-мережах [6].

Довжина адреси в технології EX може бути двох типів: динамічно змінювана або фіксована та поділена на три класи (з точки зору особливостей практичної реалізації) відповідно до її розміру – менша, рівна або більша за 6 байт.

Для використання службової інформації протоколів транспортного, мережного та каналного рівнів

у складі єдиного заголовку змінного розміру технології EX необхідна розробка відповідного стеку протоколів. Стек протоколів традиційно має певну програмну реалізацію в ядрі відповідної операційної системи та може бути реалізований як його додатковий модуль. Завдяки гнучкості програмного підходу він може бути реалізований практично в усіх сучасних мережних операційних системах. Мінімальна модифікація прикладних інтерфейсів, яка полягає у зміні розміру поля адреси, дозволить інтегрувати до стеку протоколів EX практично все існуюче прикладне програмне забезпечення, що підтримує стек протоколів TCP/IP. Також необхідно модифікувати через зміну розміру адреси та маски основні поширені протоколи маршрутизації (RIP, OSPF, BGP тощо). В свою чергу необхідність у використанні протоколів IP, ARP, RARP тощо просто зникає.

Основою EX-мережі мають стати мережні пристрої, що здатні підтримувати роботу із змінним розміром адреси та поєднувати у собі як функції маршрутизатора, так і функції комутатора в силу наявності єдиної структурованої адреси замість адрес каналного та мережного рівнів.

Слід також зазначити, що можливість використання технології EX без заміни мережного обладнання визначається розрядністю адреси та налаштуванням існуючого обладнання. Так, наприклад, при використанні адреси розміром 6 байт є можливість застосовувати звичайні Ethernet-комутатори. Однак, слід зазначити, що в 6 байтах адреси знаходиться і інформація щодо протоколів вищого рівня (номери портів тощо), яка постійно змінюватиметься, що призведе до появи в мережі ширококомовних штормів.

При використанні мережних адрес з розміром менше 6 байт застосування мережних карт, інсталюваних в сучасних комп'ютерах, комутаторів та маршрутизаторів залишається можливим лише у випадку доповнення адреси 48 біт однаковим заповнювачем (з частковою втратою ефективності). В іншому випадку, до складу 6 байт, що порівнюються комутаторами в SAM-таблицях потраплятиме змінна інформація, що, як і в попередньому випадку призведе до ширококомовних штормів в мережі.

В свою чергу при використанні адрес з розміром більше 6 байт, в яких адресна інформація вузла займає перші 6 байт, а решта адреси містить інформацію вищих рівнів моделі OSI (зокрема, номер порту, ідентифікатор протоколу тощо) залишається можливість використання вже існуючих комутаторів без їх заміни або перепрограмування. Очевидно, що використання мережних адрес з динамічно змінюваним розміром накладає такі ж саме обмеження на існуючу телекомунікаційну інфраструктуру.

Прикладами типового місця застосування альтернативної мережної технології EX є мережа датацент-

ру, ядро мережі оператора зв'язку, корпоративні мережі, які характеризуються передачею великих обсягів даних або великою інтенсивністю мережних запитів.

Переведення таких мереж на використання технології EX дозволить зменшити час передачі корисних даних між вузлами мережі, що, в свою чергу, зменшує загальний час роботи мережних вузлів в активному стані та, як наслідок, зменшує енергоспоживання мережних пристроїв, їх тепловиділення, споживання електроенергії пристроями кондиціонування. За рахунок зменшення часу на передачу даних вивільняється частина каналу зв'язку, який є продуктом комерціалізації, тобто збільшується кількість ресурсів, які можна надавати в оренду [4]. Збільшення швидкодії мережі покращує показник часу доступності серверів (аптайм), що є основним критерієм оцінки якості роботи датацентру. Завдяки цьому зменшиться час роботи мережних сервісів, якими користуються клієнти. Наприклад, якщо на певних серверах датацентру розміщена електронна бібліотека, то користувачі бібліотеки витратять менше часу на завантаження ресурсів бібліотеки, як наслідок, частіше обиратимуть саме цю бібліотеку за рахунок її швидкодії. Серед актуальних можливих галузей застосування технології можна виділити також кліматичні дослідження, дослідження космічних просторів, геодезичні обчислення тощо.

Окремої уваги заслуговують пошукові системи та соціальні мережі. Компанії, які володіють такими системами, як правило, мають власні датацентри. Для таких компаній переваги переведення мережі на використання технології EX особливо відчутні: окрім заощадження ресурсів, за рахунок збільшення швидкодії мережевого оточення вони зможуть збільшити прихильність своїх користувачів та залучити нових.

Технологія EX може бути використана і в корпоративних (наприклад, банківських) мережах та мережах передачі даних великих підприємств та їх філіалів. При цьому основними перевагами переведення мережі підприємства на альтернативну технологію можна вважати збільшення швидкодії мережі та звільнення частини пропускної спроможності каналів зв'язку, що поєднують філіали із головним офісом.

Зрозуміло, що заходи, які необхідно провести для переведення мережі на використання альтернативної технології, визначаються, насамперед, наявним в мережі обладнанням та розміром адреси, який планується використовувати. Для розрахунку економічного ефекту від впровадження альтернативної мережної технології авторами було запропоновано відповідну методику [4].

В залежності від вищезазначених факторів можна визначити спосіб практичної реалізації технології, що передбачає використання адрес змінного розміру. Так, наприклад, зважаючи на очевидну неефектив-

ність застосування мережних адрес розміром менш ніж 6 байт при збереженні існуючої мережної архітектури (із використанням Ethernet комутаторів), така реалізація є доцільною лише за умов розробки (перепрограмування) апаратної платформи комутаторів (зважаючи на ефект ширококомовного шторму). Однак така сама схема (використання адрес розміром менш ніж 6 байт) є цілком припустимою при організації з'єднання між двома вузлами в режимі «точка-точка».

Також на спосіб реалізації технології із змінним розміром мережної адреси безпосередньо впливають вимоги до взаємодії із мережами, що побудовані із використанням інших технологій. Так, наприклад, якщо необхідно забезпечити прозоре транспортування навантаження з однієї мережі до іншої (за умов використання різних технологій) виникає необхідність розробити відповідний програмний або програмно-апаратний шлюз із двома типами інтерфейсів, якщо необхідно лише поєднати дві мережі, що використовують альтернативну технологію, через мережу, побудовану на основі іншої технології, можна обмежитись розробкою відповідного тунелю.

Серед основних способів внесення змін до програмного забезпечення вузлів мережі з метою практичної реалізації технології EX слід зазначити:

- розробку програмного забезпечення драйвера віртуального мережного адаптера, що приймає класичні IP-пакети та пересилає їх у вигляді модифікованих Ethernet кадрів, в яких адреса відправника заповнюється корисними даними;
- розробку програмної бібліотеки, яка дозволяє формувати для передавання даних модифіковані Ethernet кадри, в яких адреса відправника заповнюється корисними даними;
- розробку віртуального гроху-серверу в межах вузла (або сервера), який приймає класичні IP-пакети та забезпечує їх двостороннє перетворення в модифіковані Ethernet кадри, в яких адреса відправника заповнюється корисними даними;
- розробку програмного шлюзу та/або тунелю, що дозволяє перетворювати класичні IP-пакети до модифікованих Ethernet кадрів (та навпаки) або здійснювати їх прозоре тунелювання крізь класичну IP-мережу.

В свою чергу основним способом внесення змін до мережної інфраструктури залишається розробка нового апаратного комутуючого маршрутизатора із підтримкою адрес зменшеного (змінного) розміру на користь збільшення обсягів передавання корисних даних.

У разі використання існуючого програмного забезпечення в операційних системах з відкритим вихідним кодом підтримка нової технології на вузлах (для всіх розмірів мережної адреси) мережі передбачає реалізацію власного драйверу віртуального

мережного адаптера. В свою чергу нове програмне забезпечення може розроблятися вже із використанням спеціалізованої бібліотеки, яка в свою чергу забезпечує пряме формування кадрів каналного рівня. Виключенням є тільки існуюче програмне забезпечення, що працює на пропрієтарних операційних системах. Можливим рішенням для цього випадку може стати розробка спеціального програмного продукту (шлюзу або посередника) для забезпечення прозорого перетворення навантаження.

Що стосується модифікації мережного обладнання, то це (для більшості випадків) має сенс лише для випадків, коли розмір мережної адреси менший за 6 байт. В цьому випадку необхідно розробляти, як комутатори, так і маршрутизатори, а у випадку використання адрес 6-ти байтного (або більшого) розміру лише маршрутизатори (стандартні комутатори другого рівня) будуть працювати при цьому в штатному режимі).

Зважаючи на вищезазначене практична реалізація технології EX потребує:

- модифікації протоколів DHCP, DNS, ICMP, SNMP тощо до використання адрес змінного розміру;
- модифікації протоколів маршрутизації RIP, OSPF, BGP тощо, а також протоколу STP;
- розробки мережного обладнання, яке працюватиме з мережними адресами змінного розміру, та виконуватиме функції комутації та маршрутизації пакетів на основі перелічених вище протоколів;
- розробки програмного забезпечення для модернізації сучасних маршрутизаторів до використання модифікованих протоколів маршрутизації та адрес змінного розміру (у випадках, які відповідають зазначеним вище вимогам).

## Висновки та результати

1. Одним з найбільш розповсюджених механізмів оптимізації сучасних телекомунікаційних мереж є використання мережних адрес змінного розміру.

2. Більшість винаходів, що базуються на зменшенні протокольної надлишковості, не знаходять свого застосування на практиці зважаючи на погану проробку принципів їх реалізації в існуючих телекомунікаційних мережах.

3. Одним з найбільш актуальних напрямків подолання протокольної надлишковості в Ethernet мережах є використання на мережі технології EX, яка заміщує службову інформацію протоколів транспортного, мережного та каналного рівнів єдиним заголовком змінного розміру.

4. Найменшої модернізації існуючого обладнання та максимальної ефективності від його використання на мережі можна досягти при використанні систем адресації, в яких мережні ідентифікатори є більшими за 6 байт.

5. Типовим місцем застосування технології, що передбачають зменшення протокольної надлишковості (в тому числі за рахунок використання адрес змінного розміру) є мережі в яких виконується періодична передача великих обсягів даних та/або велика кількість мережних запитів.

6. Базовими принципами практичної реалізації систем адресації із змінним розміром мережної адреси в сучасних Ethernet мережах є розробка власного стеку протоколів (або модифікація існуючого), розробка програмного забезпечення для мережного обладнання та модифікація модулів сучасних мережних операційних систем.

### Література

1. Каптур, В.А. Метод мінімізації службової інформації при тунелюванні IP-навантаження [Текст] / В.А. Каптур, Є.В. Добровольський, О.О. Яніна // *Радіоелектронні і комп'ютерні системи*. – 2009. – №4. – С. 91 – 98.
2. Воробієнко, П.П. Алгоритм динамической адресации объектов телекоммуникационной сети [Текст] / П.П. Воробієнко, В.И. Тихонов, И.В. Сми-

рнов, У.И. Сопина // *Цифрові технології*. – 2010. – № 8. – С. 11 – 18.

3. Воробієнко, П.П. *Всемирная сеть Ethernet? [Текст]* / П.П. Воробієнко, Д.А. Зайцев, О.Л. Нечипорук // *Зв'язок*. – 2007. – № 5. – С. 14 – 19.

4. Каптур, В.А. *Оцінка ефективності впровадження телекомунікаційних технологій зменшення протокольної надлишковості [Текст]* / В.А. Каптур, К.Д. Гуляєв, П.С. Кравченко, О.О. Яніна // *Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии*. – 2011. – №52. – С. 77 – 88.

5. *IEEE Standard for Information technology–Telecommunications and Information exchange between systems–Local and metropolitan area networks–Specific requirements. Part 3: Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection (CSMA/CD) Access Method and Physical Layer Specifications [Електронний ресурс]: LAN/MAN Standards Committee of the IEEE Computer Society*. – Режим доступу: <http://standards.ieee.org/about/get/802/802.3.html>. – 12.03.2012 р.

6. Хелебі, С. *Принципы маршрутизации в Internet [Текст]: пер. с англ./ С. Хелебі, Д. МакФерсон*. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2001. – 448 с.

Надійшла до редакції 12.03.2012

**Рецензент:** д-р техн. наук, професор, ректор П.П. Воробієнко, Одеська національна академія зв'язку ім. О.С. Попова, Одеса.

### БАЗОВЫЕ ПРИНЦИПЫ ПРАКТИЧЕСКОЙ РЕАЛИЗАЦИИ СИСТЕМ АДРЕСАЦИИ С ПЕРЕМЕННЫМ РАЗМЕРОМ СЕТЕВОГО АДРЕСА В ETHERNET СЕТЯХ

*В.А. Каптур, К.Д. Гуляев, П.С. Кравченко*

В работе рассмотрены базовые принципы практической реализации систем адресации с переменным размером сетевого адреса в современных Ethernet сетях на примере технологии EX. Определены возможные способы и особенности реализации таких систем для разных размеров сетевых адресов и разных способов организации сети. Рассмотрен перечень примеров возможного использования альтернативных технологий в существующих телекоммуникационных сетях. Сформировано перечень изменений, которые необходимо внести в программное и аппаратное обеспечение современных Ethernet сетей для обеспечения функционирования в них технологий с переменной длиной сетевого адреса.

**Ключевые слова:** избыточность служебной информации, переменный размер сетевого адреса, технология EX.

### BASIC PRINCIPLES OF PRACTICAL IMPLEMENTATION OF VARIABLE SIZE NETWORK ADDRESSES SYSTEM ADDRESSING IN THE ETHERNET NETWORKS

*V.A. Kaptur, K.D. Guliaev, P.S. Kravchenko*

The paper discusses the basic principles of practical implementation of variable size network addresses system addressing in modern Ethernet networks an example of EX technology. Identified possible ways and features of implementation such systems for the different network addresses sizes and the different methods of network organization. The list of examples of possible use of alternative technologies in existing telecommunication networks is considered. Prepared a list of changes that need to be made in software and hardware of modern Ethernet networks for working with variable length network address.

**Key words:** redundancy of service information, variable size of network address, EX technology.

**Каптур Вадим Анатолійович** – канд. техн. наук, ст. научн. сотр., проректор з наукової роботи, Одеська національна академія зв'язку ім. О.С. Попова, Одеса, Україна, e-mail: [vadim.kaptur@onat.edu.ua](mailto:vadim.kaptur@onat.edu.ua).

**Гуляєв Кирило Дмитрович** – канд. техн. наук, в.о. зав. відділу інф. та інноваційних технологій в освіті, Інститут телекомунікацій та глобального інформаційного простору НАН України, e-mail: [kirill@gulyayev.com.ua](mailto:kirill@gulyayev.com.ua).

**Кравченко Павло Станіславович** – аспірант, провідний інженер науково-учбово-виробничої лабораторії мережних технологій, Одеська національна академія зв'язку ім. О.С. Попова, Одеса, Україна, e-mail: [kravchenko.pavel@onat.edu.ua](mailto:kravchenko.pavel@onat.edu.ua).