

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

Д. І. Могилевич, І. В. Кононова

**АДРЕСАЦІЇ В
ІР-МЕРЕЖАХ
ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ
ТА ПРИКЛАДИ
РОЗВ'ЯЗАННЯ ЗАДАЧ**

*Рекомендовано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського
як навчальний посібник для здобувачів ступеня бакалавра
за спеціальністю 172 «Телекомунікації та радіотехніка»*

Київ
КПІ ім. Ігоря Сікорського
2019

Рецензент *Кузавков В.В.*, д-р техн. наук, доцент начальник кафедри побудови телекомунікаційних систем, Військового інституту телекомунікацій та інформатизації імені Героїв Крут
Явіся В.С., канд. техн. наук, доцент, В.О. завідувача кафедри телекомунікацій ІТС, НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського»

Відповідальний редактор *Правило В.В.*, канд. техн. наук, доцент

Гриф надано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського (протокол № 3 від 28.11.2019 р.) за поданням Вченої ради інституту телекомунікаційних систем (протокол № 10 від 25.11.2019 р.)

Електронне мережне навчальне видання
Могилевич Дмитро Ісакович, д-р техн. наук, проф.
Кононова Ірина Віталіївна, канд. техн. наук

АДРЕСАЦІЇ В ІР-МЕРЕЖАХ ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ТА ПРИКЛАДИ РОЗВ'ЯЗАННЯ

Адресації в ІР-мережах: Теоретичні основи та приклади розв'язання задач [Електронний ресурс]: навч. посіб. для студ. спеціальності 172 «Телекомунікації та радіотехніка» / Д. І. Могилевич, І. В. Кононова; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 1,590 Мбайт). – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 55 с.

Представлений матеріал навчального посібника надає студентам ґрунтовні знання з побудови мереж ІР телефонії, проектування, експлуатації та обслуговування апаратно-програмних засобів ІР-телефонії. Після кожного розділу в навчальному посібнику наведені приклади для вирішення завдань, що надають практичних навичок та закріплюють теоретичні знання з питань визначення та надання ІР-адрес, а також виявленню проблем, що пов'язані з некоректним привласненням ІР-адрес.

Представлений матеріал призначено для виконання курсової роботи з дисципліни «Основи теорії інформаційно-телекомунікаційних мереж» для студентів вищих навчальних закладів, які навчаються за спеціальністю: 172 «Телекомунікації та радіотехніка».

© Д. І. Могилевич, І. В. Кононова, 2019

© КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019

ВСТУП

З стрімким розвитком інформаційно-комунікаційних технологій виникає гостра потреба в гарантованій передачі даних на значні відстані. З кожним роком вимоги до інформаційно-телекомунікаційних мереж зростають, що обумовлює розвиток існуючих та появу нових технологій побудови телекомунікаційних мереж, нових протоколів передачі даних, нових засобів проектування мереж та нових моделей обладнання. Це свідчить про необхідність появи навчальних посібників для вивчення курсу «Основи теорії інформаційно-комунікаційних мереж – 3». Навчальний посібник «Теоретичні основи та приклади розв'язання задач з адресації в IP-мережах» розроблений відповідно до навчальної програми курсу «Основи теорії інформаційно-телекомунікаційних мереж – 3» підготовки бакалаврів напряму підготовки 172 – «Телекомунікації та радіотехніка». Він призначений для студентів усіх форм навчання і підготовлений з метою формування бази знань для проектування, експлуатації та обслуговування апаратно-програмних засобів IP-телефонії за допомогою інструментальних засобів.

У навчальному посібнику розглянуто структуру, форму запису IP пакету та його заголовку в протоколі IPv4, призначення кожного поля у заголовку адреси, а також правила призначення IP адрес. В кожному розділі наведено приклади для вирішення практичних завдань, які сприятимуть підвищенню практичних навиків студентів.

Викладені матеріали розраховані на студентів, які вже мають уявлення про еталонну модель взаємодії відкритих систем та загальні принципи побудови локальних і глобальних мереж.

ЗМІСТ

Вступ	3
Розділ 1: Стек протоколів TCP/IP	5
Розділ 2: IP протокол версії 4	7
Розділ 3: Адресації в IPV4	12
3.1. IP-адреси	12
3.2. Поділ IP-адреси на номер мережі і номер вузла на основі класів	13
3.3. Поділ IP-адреси на номер мережі і номер вузла на основі масок	16
3.4. Розподіл IP-адрес	28
3.5. IP-адреси для ізольованих мереж	28
3.6. Спеціальні IP-адреси	29
Розділ 4: Протокол ARP	32
Розділ 5: Маршрутизація	32
5.1. Принципи маршрутизації	32
5.2. Статична маршрутизація	43
Список рекомендованої літератури	55

РОЗДІЛ 1. СТЕК ПРОТОКОЛІВ TCP/IP

Стек протоколів TCP/IP – набір ієрархічно упорядкованих протоколів, призначених для побудови транспортної системи, що об'єднує різноманітні мережі в єдину систему передачі даних. Під різноманітністю мереж розуміють відмінність в технологіях побудови "локальних" мереж на фізичному і каналному рівнях моделі OSI. В даний час протоколи стека TCP/IP є основними протоколами передачі даних в мережі Інтернет. Назва стека походить від назви базових протоколів: протоколу управління передачею TCP (Transmission Control Protocol) і мережевого протоколу IP (Internet Protocol). Мережі, що об'єднуються називають підмережами, а об'єднану мережу – інтермережа або мережею інтернет. Технічні специфікації протоколів мережі Інтернет оформляються у вигляді документів RFC (Request for Comments). Документи RFC публікуються в мережі Інтернет, наприклад, на сайті <http://www.rfc-editor.org>.

Модель стека протоколів TCP/IP складається з чотирьох рівнів (RFC 1122), рисунок 1.

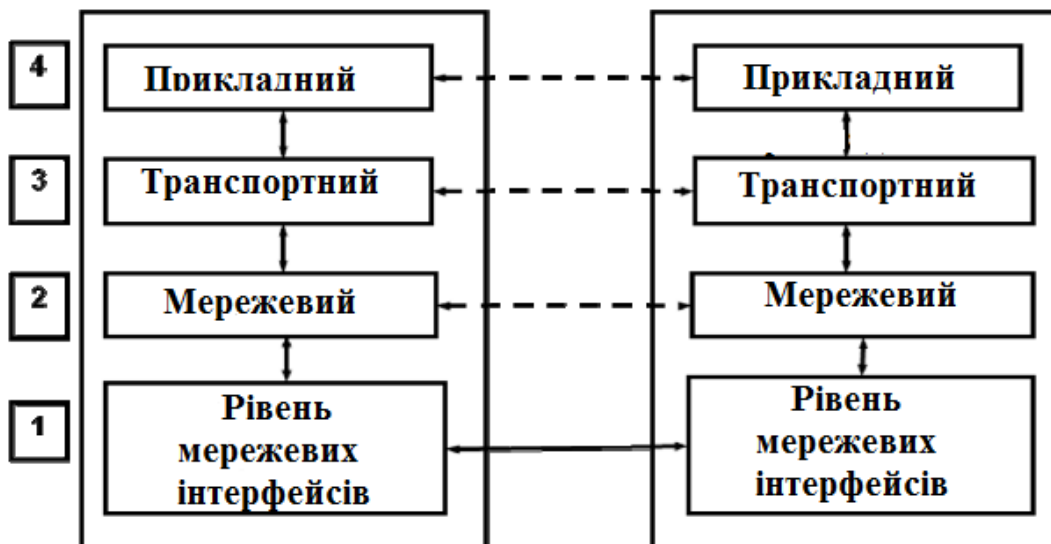


Рис. 1.1. Структура стека TCP/IP

1. Рівень мережевих інтерфейсів забезпечує об'єднання в складову мережу мереж, побудованих на "локальних" технологіях. Під локальними технологіями розуміють технології побудови локальних мереж (підмереж) або каналів точка-точка. Основні функції цього рівня:

інкапсуляція IP-пакетів в кадри технологій локальних і глобальних мереж;

перетворення адрес мережевого рівня в адреси, що використовуються в "локальних" технологіях.

Відзначимо, що на відміну від фізичного і канального рівнів моделі OSI, рівень мережевих інтерфейсів не визначає принципи передачі даних на фізичному і канальному рівнях.

2. Міжмережевий рівень відповідає за вибір маршрутів просування пакетів і передачу пакетів дейтаграмним способом (без встановлення з'єднання).

Протоколи мережевого рівня:

Основний протокол IP (Internet Protocol) – забезпечує передачу пакетів між вузлами складовою мережі дейтаграмним способом (RFC 791).

Протоколи маршрутизації – призначені для обміну маршрутизаторами інформацією про конфігурацію мережі і побудови таблиць маршрутизації. Приклади протоколів маршрутизації: BGP (RFC 4271), OSPF (RFC 2328), RIP (RFC 1058).

Протокол управління групами IGMP (Internet Group Management Protocol) – призначений для організації групових розсилок (multicast). IGMP використовується для передачі даних одночасно декільком вузлам мережі, наприклад, для організації тілі або радіомовлення (RFC 3376).

Міжмережевий протокол передачі керуючих повідомлень ICMP (Internet Control Message Protocol). Основне призначення ICMP – передача службових повідомлень з інформацією про помилки в роботі стека TCP/IP

(RFC 950).

В даний час найбільш поширеним протоколом для організації міжмережевої взаємодії є IP протокол версії 4 (IPv4). Поступово впроваджується IP протокол версії 6 (IPv6).

3. Транспортний рівень призначений для передачі даних між прикладними процесами. Залежно від вимог що пред'являються до якості передачі, протоколи транспортного рівня можуть забезпечувати доставку даних або дейтаграмним способом або з використанням механізмів надійної доставки.

Основні протоколи транспортного рівня:

Протокол управління передачею TCP (Transmission Control Protocol) – забезпечує надійну передачу повідомлень між віддаленими прикладними процесами. Для реалізації надійної доставки використовуються логічні з'єднання, контроль цілісності переданих даних, контроль доставки даних і управління потоком переданих даних (RFC 793).

Протокол призначених для користувача дейтаграм UDP (User Datagram Protocol) – забезпечує передачу даних дейтаграмним способом, виконує функції сполучної ланки між мережним рівнем і прикладними процесами (RFC 768).

4. Прикладний рівень надає додаткам високорівневі протоколи, які забезпечують перетворення форматів даних, що передаються, підтримку сесій взаємодії прикладних процесів, доступ до стандартних мережних служб. Приклади протоколів: FTP (RFC 959), HTTP (RFC1945), IMAP (RFC3501), POP3 (RFC1939), SNMP (RFC1155), SMTP (RFC821).

РОЗДІЛ 2. IP ПРОТОКОЛ ВЕРСІЇ 4

Основна функція IP-протоколу – передача пакетів між вузлами складовою мережі дейтаграмним способом. IP-протокол забезпечує доставку пакетів між вузлами мережі без встановлення з'єднання, контролю доставки, контролю цілісності даних і управління потоком пакетів (протокол не гарантує надійної доставки пакета).

Одиницею передачі даних в IP-протоколі є IP-пакет. IP-пакет складається з заголовка і поля даних. Заголовок може мати розмір від 20 до 60 байт і містить службову інформацію IP-протоколу. Поле даних містить дані, що передаються.

Структура заголовків представлено на рисунку 2.1. Заголовок складається з наступних полів:

Версія (4 біт)	Довжина (4 біт)	Диф. обслуговування (8 біт)	Довжина пакету	
Ідентифікатор пакета (16 біт)			Флаги (3 біта)	Зсув фрагменту (13 біт)
Час життя (8 біт)	Протокол (8 біт)		Контрольна сума заголовка	
IP-адреса відправника (32 біта)				
IP-адреса отримувача (32 біта)				
Опції (змінна довжина)			Заповнення (змінна довжина)	

Рис. 2.1. Структура заголовка IP-пакета

Версія (4 біта) – покажчик версії IP-протоколу. В даний час найбільшого поширення набув протокол IP версії 4 (IPv4).

Довжина (4 біта) – довжина заголовка пакета, виміряна в 32-бітових словах. Зазвичай заголовок має довжину 20 байт, але може бути збільшений до 60 байт за рахунок поля "Опції".

Диференційоване обслуговування (8 біт) – поле призначене для вказівки пріоритету пакета і критерію вибору маршруту. Відповідно до RFC 791 до 1998 р. це поле називалося "Тип сервісу", в RFC 2474 було прийнято нову назву "Диференційоване обслуговування".

Відповідно до RFC 791, перші три біта поля "Тип сервісу" призначені для вказівки пріоритету (терміновості) пакета. Ці біти приймають значення від 0 (низький пріоритет) до 7 (високий пріоритет). Маршрутизатор, що враховує пріоритет пакета, обробляє в першу чергу пакети з більш високим пріоритетом. Наступні три біти використовуються для вказівки критерію вибору маршруту. Варіанти інтерпретації значень 6, 7 і 8 бітів:

1. мінімізація затримки пакету;
2. максимізація пропускної здатності;
3. максимізація надійності доставки.

Відповідно до RFC 2474, інтерпретація перших шести бітів поля "Диференційоване обслуговування" залежить від значень четвертого, п'ятого і шостого бітів (останні два біта зарезервовані). Якщо четвертий, п'ятий і шостий біти рівні 0, перші три біта інтерпретуються також, як біти пріоритету поля "Тип сервісу". Якщо п'ятий і шостий біти не рівні 0, перші шість біт визначають різні класи трафіку.

Довжина пакета (2 байта) – використовується для зазначення загальної довжини пакета. Довжина пакета обмежена розрядністю цього поля і не може перевищувати 65535 байт. У більшості мереж використовуються пакети довжиною 1500 байт (максимальний розмір поля

даних кадру Ethernet II).

Ідентифікатор пакету (2 байта) – використовується для зазначення IP-пакетів, які є фрагментами один файл IP-пакета. Всі фрагменти одного пакету мають однакове значення цього поля.

Прапори – це поле використовується для зазначення ознак фрагментації пакета. Довжина поля 3 біта.

Зсув фрагмента (13 біт) – використовується для зазначення зміщення поля даних пакета, що є фрагментом іншого пакета. Зсув вказується від початку поля даних вихідного пакета.

Час життя (8 біт) – це поле призначене для зазначення максимального часу переміщення пакета по мережі і запобігання зациклення пакетів. У перших стандартах IP-протоколу передбачалося, що кожен маршрутизатор, через який проходить пакет, зменшує значення поля "Час життя" на декілько секунд, протягом яких пакет знаходився в черзі оброблюваних пакетів. Якщо значення поля стає рівним нулю, пакет повинен бути знищений маршрутизатором. Оскільки сучасні маршрутизатори обробляють пакети менш ніж за секунду, маршрутизатори зменшують значення цього поля на одиницю.

Протокол (8 біт) – покажчик на протокол верхнього рівня, з яким повинні бути передані дані з поля даних пакета.

Контрольна сума заголовка (16 біт) – значення контрольної суми заголовка пакета. Це поле використовується для перевірки цілісності заголовка пакета в процесі передачі. Контрольна сума обчислюється джерелом пакета, перевіряється і перераховується кожним маршрутизатором, через який проходить пакет. Перерахунок контрольної суми необхідний у зв'язку зі зміною полів заголовка пакета, наприклад, кожен маршрутизатор змінює значення поля "Час життя". При обчисленні контрольної суми, значення бітів поля "Контрольна сума" приймаються

рівними нулю.

IP-адреса джерела (32 біта) – адреса вузла, що відправив пакет.

IP-адреса одержувача (32 біта) – адреса вузла, якому призначений пакет.

Опції – це поле призначене для зазначення додаткових параметрів передачі пакета або для запису інформації про маршрут проходження пакета. Поле є необов'язковим і використовується, як правило, тільки при налагодженні мережі.

Заповнення – поле використовується для вирівнювання заголовка пакета по 32-бітній кордоні (заповнюється нулями).

РОЗДІЛ 3. АДРЕСАЦІЯ В IPV4

У стеку протоколів TCP/IP використовуються три типи адрес:

Локальні (апаратні) – адреси, що використовуються "локальними" технологіями для доставки пакетів в межах підмережі. Наприклад, MAC-адреси в мережах Ethernet, FDDI, WiMAX і т.д.

IP-адреси – адреси мережевого рівня, що використовуються для ідентифікації мережевих інтерфейсів інтермережі. На основі IP-адрес організовується універсальна, яка не залежить від "локальних" технологій ідентифікація мережевих інтерфейсів інтермережі.

Символьні доменні адреси (імена) – використовуються для присвоєння мережних інтерфейсів легко запам'ятовуваних символьних імен.

3.1. IP-адреси

У заголовку IP-пакета для IP-адрес одержувача і відправника відводиться по 32 біта (4 байта). Найбільш часто IP-адреса записують у вигляді чотирьох однобайтових чисел, між якими ставиться крапка.

Приклад 1.

Записи IP-адреси в різних форматах:

десяткова: 219.17.25.157

двійкова: 11011011.00010001.00011001.10011101

шістнадцяткова: DB11199D.

Якщо вузол IP-мережі має кілька мережевих інтерфейсів, кожному з них присвоюється окремий IP-адреса. Якщо вузол має два мережевих

інтерфейсу, за допомогою яких він підключений до двох "локальним" мереж, його мережевим інтерфейсам будуть співставлено дві IP-адреси.

Способи призначення адрес:

1. адміністратором (вручну), за допомогою утиліт конфігурації операційної системи (ОС);
2. автоматично, за допомогою протоколу динамічної конфігурації вузла DHCP (Dynamic Host Configuration Protocol, RFC 2131).

IP-адреса складається з двох частин – номера мережі і номера вузла. Номер мережі ідентифікує в інтермережі підмережа, до якої належить вузол, номер вузла однозначно визначає вузол всередині підмережі. Для поділу IP-адреси на частини використовують дві схеми: на основі класів адрес та на основі масок.

3.2. Поділ IP-адреси на номер мережі і номер вузла на основі класів

Традиційна схема поділу IP-адреси на номер мережі і номер вузла заснована на понятті класу, що визначається значеннями декількох перших біт адреси.

А. Перший біт дорівнює 0: адреса класу А, перший байт адреси використовується для номера мережі, інші три – для номера вузла (кількість адрес в мережі 2^{24}).

Адреси: 1.0.0.0 – 127.255.255.255.

В. Перші біти рівні 10: адреса класу В, перші два байта використовуються для номер мережі, інші – для номера вузла (кількість адрес в мережі 2^{16}).

Адреси: 128.0.0.0 – 191.255.255.255.

С. Перші біти рівні 110: адреса класу С, перші три байти використовуються для номера мережі, останній байт - для номера вузла

(кількість адрес в мережі 2^8).

Адреси: 192.0.0.0 – 223.255.255.255.

D. Перші біти рівні 1110 – адреси мультикаст (multicast), призначені для адресації групи вузлів.

Адреси: 224.0.0.0 – 247.255.255.255.

У деяких випадках необхідно окремо записувати номер мережі і номер вузла, з яких складається IP-адреса. У записі номера мережі відповідає номеру вузла розряди адреси замінюють нулями, в запису номера вузла нулями замінюють розряди, що відповідає номеру мережі.

Приклад 2

IP-адреса 192.9.7.5

(11000000.00001001.00000111.00000101)

Оскільки перші біти рівні 110, отже, це адреса класу C. Номер мережі – 192.9.7.0

(11000000.00001001.00000111.00000000).

Номер вузла – 0.0.0.5

(00000000.00000000.00000000.00000101).

Приклад 3

IP-адреса – 62.76.9.17

(00111110.01001100.00001001.00010001).

Оскільки перший біт дорівнює 0, отже, це адреса класу A.

Номер мережі – 62.0.0.0

(00111110.00000000.00000000.00000000)

Номер вузла – 0.76.9.17

(00000000.01001100.00001001.00010001)

Відповідність блоків адрес номерами мереж на основі класів.

Номер мережі визначає блок адрес з однаковим префіксом (однаковою старшою частиною), що залежать від класу адреси.

Приклад 4

Розглянемо номер мережі 192.168.169.0.

Перші розряди адреси мають значення 110, отже, це адреса класу С. Цьому номеру мережі відповідає блок адрес 192.168.169.0 – 192.168.169.255, всі адреси цього блоку мають однакові перші три октети, рівні 192.168.169.

Приклад 5

Розглянемо номер мережі 62.0.0.0.

Перший розряд адреси має значення 0, отже, ця адреса класу А. Цьому номеру мережі відповідає блок адрес 62.0.0.0 – 62.255.255.255, всі адреси цього блоку мають однаковий перший октет, рівний 62.

Неефективність адресації на основі класів.

Як показує практика, виділення мереж блоків адрес на основі класів (адресація на основі класів) не забезпечує оптимальне використання адресного простору IPv4. Наприклад, для більшості організацій середньої величини блок адрес класу С (256 адрес) занадто малий, а блок класу В (65534 адрес) занадто великий. Як правило, в таких організаціях для адресації вузлів використовують менше половини адрес. В даний час адресація на основі класів вважається застарілою і на практиці майже не використовується.

Можливі шляхи вирішення проблеми: збільшити кількість біт, що виділяються для номера мережі в класах А, В. Наприклад, можна в класі В

виділити під номер мережі 19-20 біт. Або Використовувати схему адресації, в якій для номера мережі можна використовувати будь-яку кількість біт адреси.

3.3. Поділ IP-адреси на номер мережі і номер вузла на основі масок

Маска – це використовуване спільно з IP-адресою чотирьохбайтове число, двійковий запис якого містить одиниці в розрядах, відповідних в адресі номеру мережі, і нулі в розрядах, що відповідають номеру вузла. Одиниці в масці починаються в першому розряді адреси і не можуть чергуватися з нулями.

За допомогою маски можна виділяти довільну кількість розрядів для номера мережі, що дозволяє відмовитися від понять класів адрес і зробити більш гнучкою систему адресації.

Приклади 6. Запис маски і IP-адреси

Десяткова форма: 192.168.74.64/255.255.255.192

Двійкова форма:

11000011.10101000.01001010.01000000/11111111.11111111.11111111.110
00000

Для вказівки кількості розрядів, виділених для номера мережі, також використовується вказівка префікса адреси. Запис адреси з префіксом має вигляд: *IP-адреса/Префікс*, де *Префікс* – число розрядів, виділених для номера мережі.

Наприклад, запис 192.168.75.64/26 означає, що в адресі 192.168.75.64 під номер мережі відведено 26 двійкових розрядів, відповідна маска 255.255.255.192.

Значення масок стандартних класів адрес:

клас А – 11111111.00000000.00000000.00000000 (255.0.0.0);

клас В – 11111111.11111111.00000000.00000000 (255.255.0.0);

клас С – 11111111.11111111.11111111.00000000(255.255.255.0).

Обчислення номера мережі і номера вузла по заданому IP-адресою і масці.

Для обчислення номера мережі по заданій IP-адресі і масці необхідно застосувати побітову операцію "І" до адреси і маски. Така операція називається накладенням маски на адресу.

На рис. 3.1. представлено таблично побітову операцію "І".

1-ий операнд	2-ий операнд	Значення "І"
0	0	0
1	0	0
0	1	0
1	1	1

Рис. 3.1. Визначення побітової операції "І"

Для обчислення номера вузла за заданою IP-адресою і масці необхідно застосувати побітову операцію "І" до адреси і результату застосування побітової операції "НІ" до маски.

На рисунку 3.2. представлено табличне представлення унарною операції побітового заперечення "НІ" (побітового доповнення).

Операнд	Значення "НІ"
0	1
1	0

Рис. 3.2. Визначення побітової операції "НІ"

Приклад 7.

Застосуємо побітову операцію "І" до однобайтових чисел 185 і 221.
Представимо числа в двійковій формі:

$$185 = 10111001, 221 = 11011101.$$

$$\begin{array}{r} 10111001 \\ \text{І} \quad \hline 11011101 \\ \hline 10011001 \end{array}$$

Застосуємо побітову операцію "НІ" до числа 185.

$$\begin{array}{r} \underline{10111001} \\ \text{НІ} 01000110 \end{array}$$

Приклад 8.

Обчислимо номер мережі і номер вузла для адреси 215.17.125.177 і маски 255.255.255.240.

IP-адреса: 215.17.125.177 (11010111.00010001.01111101.10110001)

Маска: 255.255.255.240 (11111111.11111111.11111111.11110000)

У цьому випадку номер мережі (Н.М.) і номер вузла (Н.В.) будуть наступними:

Н.М.: 215.17.125.176 (11010111.00010001.01111101.10110000)

Н.В.: 0.0.0.1 (00000000.00000000.00000000.00000001).

Приклад 9.

Обчислимо номер мережі і номер вузла для адреси 67.38.173.245 і маски 255.255.240.0.

IP-адреса: 67.38.173.245 (01000011.00100110.10101101.11110101).

Маска: 255.255.240.0 (11111111.11111111.11110000.00000000).

Н.М.: 67.38.160.0 (01000011.00100110.10100000.00000000).

Н.В.: 0.0.13.245 (00000000.00000000.00001101.11110101).

Відповідність блоків адрес номерами мереж на основі масок.

При використанні маски, так само, як і в разі адресації на основі класів, номер мережі визначає блок адрес з однаковим префіксом.

Приклад 10.

В масці 255.255.255.192 (11111111.11111111.11111111. 11000000) виділено 26 розрядів під номер мережі і 6 розрядів під номер вузла.

Номером мережі 192.168.74.64 з даної маскою відповідає блок адрес:

Маска: 11111111.11111111.11111111.11000000 (255.255.255.192)

Н.М: 11000011.10101000.01001010.01000000 (192.168.74.64)

Адрес 1: 11000011.10101000.01001010.01000000 (192.168.74.64)

Адрес 2: 11000011.10101000.01001010.01000001 (192.168.74.65)

Адрес 3: 11000011.10101000.01001010.01000010 (192.168.74.66)

.....

Адрес 63: 11000011.10101000.01001010.01111110 (192.168.74.126) Адрес

64:11000011.10101000.01001010.01111111 (192.168.74.127).

Всього в цьому блоці $2^6 = 64$ адрес (192.168.74.64 – 192.168.74.127). Всі адреси мають однаковий префікс (перші 26 розрядів):

11000011.10101000.01001010.01.

Приклад 11.

В масці 255.255.254.0 (11111111.11111111.11111110. 00000000) виділено 23 розряду під номер мережі і 9 розрядів під номер вузла.

Номером мережі 192.168.74.0 с даної маскою відповідає блок адрес:

Маска: 11111111.11111111.11111110.00000000 (255.255.254.0)

Н.с: 11000011.10101000.01001010.00000000 (192.168.74.0)

Адрес 1: 11000011.10101000.01001010.00000000 (192.168.74.0)

Адрес 2: 11000011.10101000.01001010.00000001 (192.168.74.1)

Адрес 3: 11000011.10101000.01001010.00000010 (192.168.74.2)

.....

Адрес 511: 11000011.10101000.01001011.11111110 (192.168.75.254)

Адрес 512: 11000011.10101000.01001011.11111111 (192.168.75.255)

Всього в цьому блоці $2^9 = 512$ адрес (192.168.74.0 – 192.168.75.255). Всі адреси мають однаковий префікс (перші 23 розряду):

11000011.10101000.0100101

Зауваження: розмір блоку адрес, відповідний деякій масці, завжди дорівнює степені двійки.

Розподіл блоків адрес на частини за допомогою маски.

При проектуванні мереж виникає задача виділення підмережам блоків адрес з деякого заданого безперервного блоку адрес з однаковим префіксом. Завдання вирішується виділенням додаткових розрядів для номерів мережі, тобто початковому блоку зіставляється маска, яка дозволяє виділити блоки адрес потрібного розміру. Відзначимо, що кожен блок, що виділяється представляє безперервну послідовність адрес, що мають однаковий префікс (номер мережі).

Приклад 12.

Нехай заданий блок адрес, який визначається номером мережі 213.59.30.0/255.255.255.0 (213.59.30.0/24), цьому номеру відповідають адреси: 213.59.30.0 – 213.59.30.255.

Всі адреси цього блоку мають однаковий префікс (див. рис. 3.3).

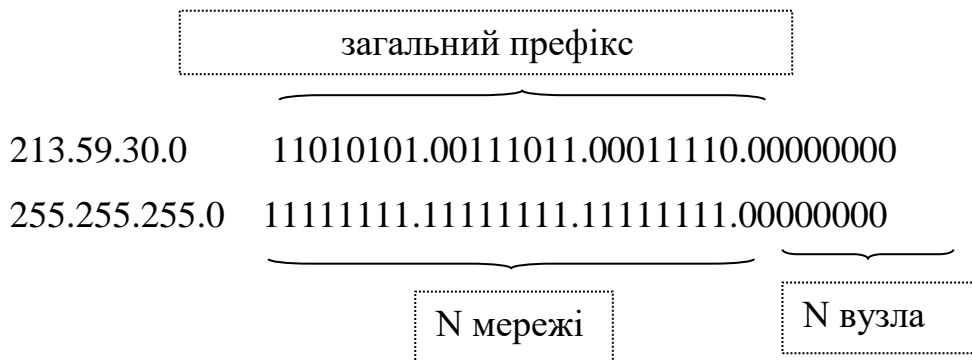


Рис. 3.3. Префікс блоку адрес

Зауважимо, що в початковому блоці адрес є вісім розрядів (виділених під номер вузла), частина яких можна виділити під номери мереж.

Наприклад, виділивши два додаткових розряду для номера мережі і залишивши шість розрядів для номера вузла (див. рис. 3.4), можна отримати чотири блоки адрес по шістдесят чотири адреси в кожному.

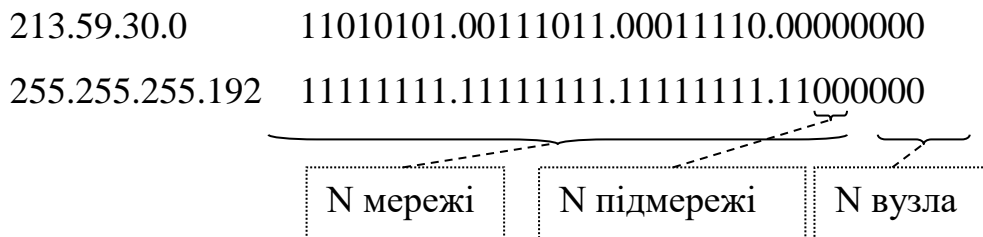


Рис. 3.4. Виділення додаткових розрядів для номера мережі

Тобто два додаткових розряда в масці дають чотири бітові комбінації, за допомогою яких можна отримати 4 номери мережі, і шість розрядів для номера вузла дають 64 бітові комбінації, за допомогою яких можна в кожному блоці отримати 64 адреси.

Додаткові розряди, що виділяються для номера мережі, часто називають розрядами, які використовуються для ідентифікації підмереж.

Зазначимо, що адреси кожного блоку мають однакові значення розрядів, виділених для ідентифікації підмережі.

Адресний простір вихідного блоку можна представити у вигляді таблиці (див. рис. 3.5).

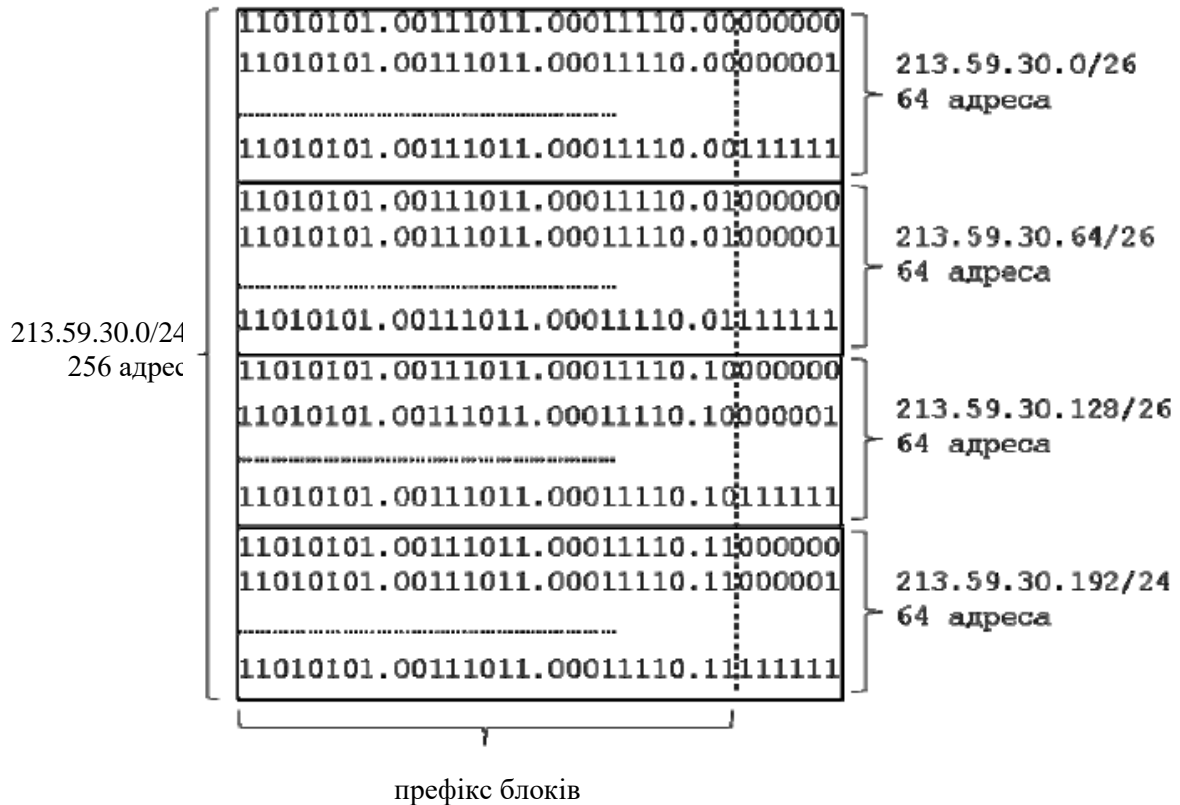


Рис. 3.5. Розподіл адрес на основі маски 255.255.255.192

Відзначимо, що адреси кожного блоку мають однакові значення розрядів, виділених для ідентифікації підмережі.

Для першого блоку ці розряди мають значення 00, для другого 01, для третього 10, для четвертого 11. Відповідно, ми отримали чотири номери мережі з префіксом 26 (див. рис. 3.6).

Використання масок (префіксів) різної довжини.

Використовуючи маски різної довжини, можна розбити блок адрес на частини з різною кількістю адрес.

Приклад 13.

Нехай заданий блок адрес, який визначається номером мережі 213.59.30.0/255.255.255.0 (клас С) цьому номеру відповідають адреси: 213.59.30.0 – 213.59.30.255 (див. рис. 3.7).

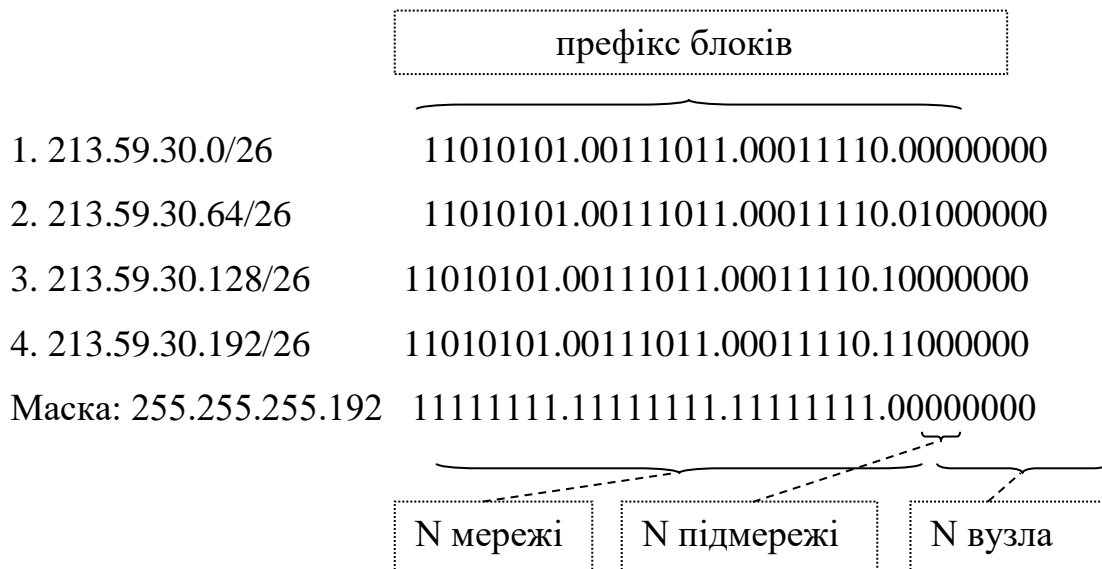


Рис. 3.6. Номери мереж

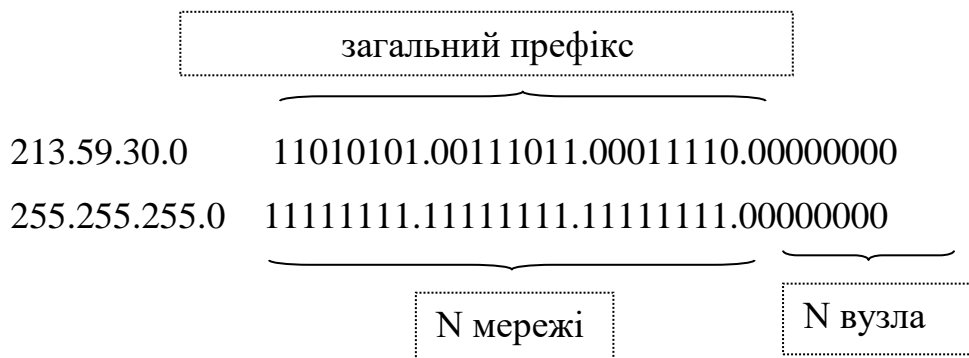


Рис. 3.7. Розподіл розрядів адреси на номер мережі і вузла

Відмітимо, що в початковому блоці адрес є вісім розрядів (виділених під номер вузла), частина яких можна виділити під номера підмереж. Наприклад, виділивши два додаткових розряду для номера підмережі і шість розрядів для номера вузла, використовуючи маску 255.255.255.192,

можна виділити блоки адрес по 64 адреси в кожному.

Виділивши один додатковий розряд для номера підмережі і сім розрядів для номера вузла, використовуючи маску 255.255.255.128, можна виділити блок з 128 адрес. Виділяючи в заданому блоці адрес частини, що мають однаковий префікс, що відповідає зазначеним маскам, можна отримати два блоки з 64 адресами і один блок з 128 адресами (див. рис. 3.8).

Зазначимо, що адреси кожного блоку мають однакові значення розрядів, виділених для ідентифікації підмережі (див. Рис. 3.9).

Для першого блоку ці розряди мають значення 00, для другого 01, для третього 1.

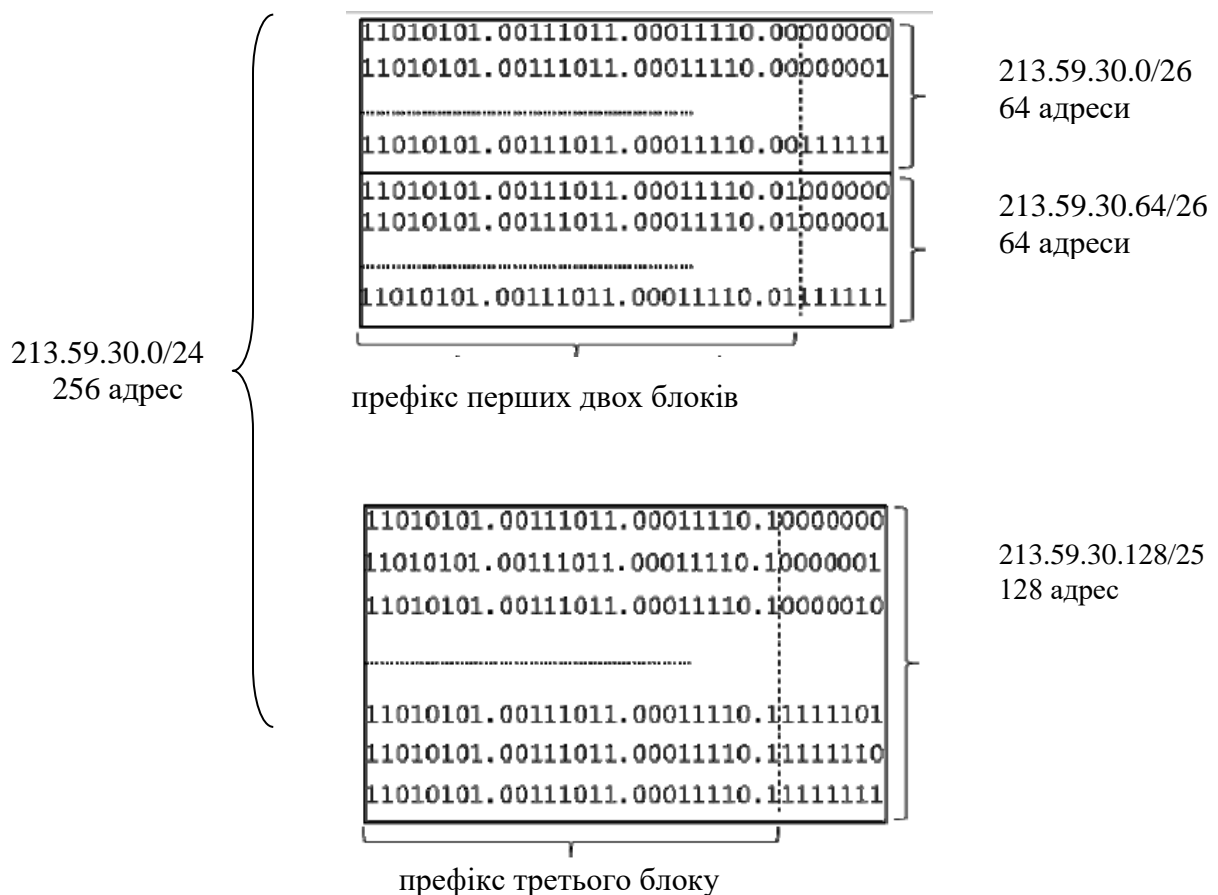


Рис. 3.8. Розподіл адрес

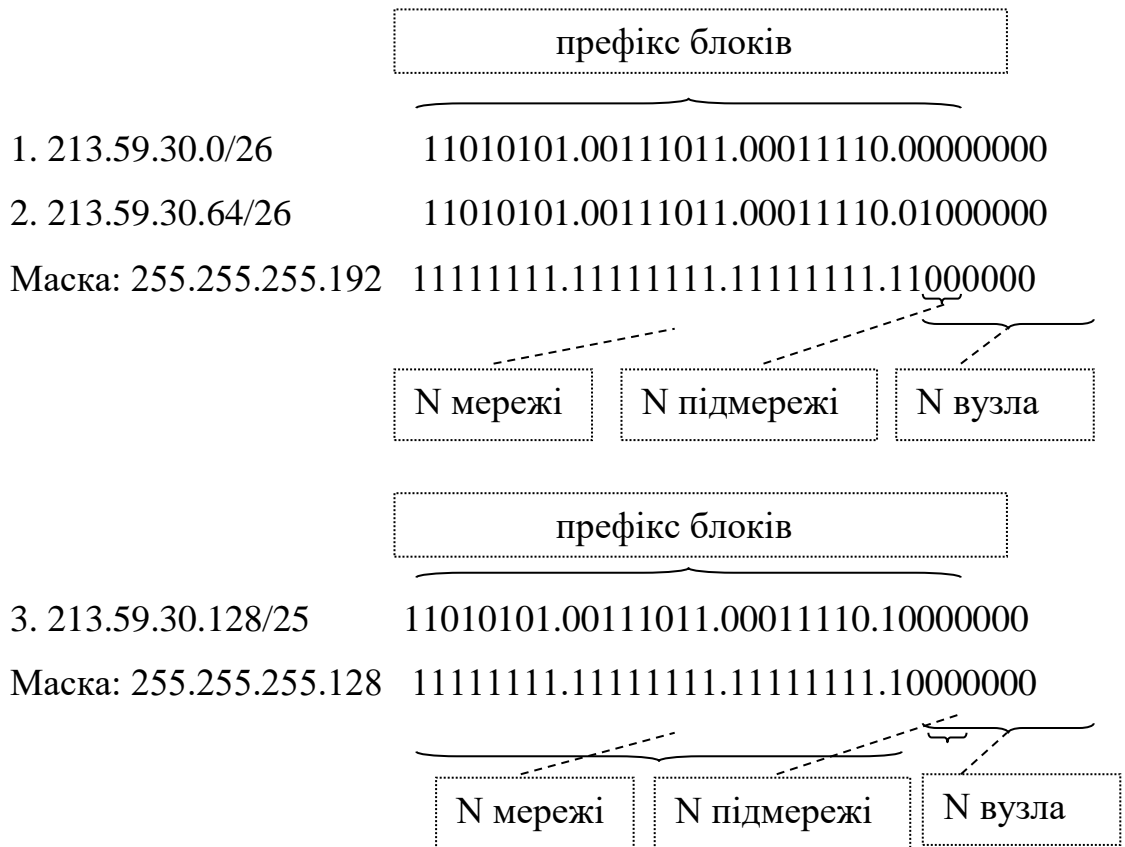


Рис. 3.9. Номери мережі

Відповідно, ми отримали два номери мережі:

з префіксом 26: маска 255.255.255.192;

з префіксом 27: маска 255.255.255.128.

Правила виділення адресних блоків.

1. Якщо вихідний блок адрес має префікс n , то блоки адрес, що виділяються можуть мати префікс m : $n < m < 32$. У разі поділу вихідного блоку на блоки однакового розміру, число одержуваних в результаті блоків дорівнює 2^{m-n} , число адрес в кожному блоці дорівнює 2^{32-m} .

2. Якщо виділяється блок з 2^k адрес, то в масці для номера вузла необхідно виділити k розрядів (кількість нулів у масці).

3. Адреси виділяються безперервними блоками, всі адреси блоку мають однаковий префікс.

4. Кількість адрес в виділених блоках завжди одно деякій мірі двійки.

5. Якщо необхідно отримати блок для адресації N вузлів, то кількість адрес в виділяється блоці має бути 2^k , де $2^k > N + 2$ і $2^{k-1} < N + 2$, оскільки при виділенні блоків адрес необхідно враховувати, що дві адреси в блоці матимуть спеціальне призначення і не можуть використовуватися для нумерації вузлів. Адреси, які мають спеціальне призначення, – це номер мережі і адресу, який використовується для обмеженого ширококомовлення (перший і останній адрес блоку).

6. У таблиці 3.1 представлені можливі значення масок, префіксів і відповідна їм кількість адрес в виділених блоках.

Таблиця 3.1.

Відповідність масок префіксів і кількості адрес

Кількість розрядів в номері вузла	Префікс	Маска	Кількість адрес
0	/ 32	255.255.255.255	2^0
1	/ 31	255.255.255.254	2^1
2	/ 30	255.255.255.252	2^2
3	/ 29	255.255.255.248	2^3
4	/ 28	255.255.255.240	2^4
5	/ 27	255.255.255.224	2^5
6	/ 26	255.255.255.192	2^6
7	/ 25	255.255.255.128	2^7
8	/ 24	255.255.255.0	2^8
9	/ 23	255.255.254.0	2^9
10	/ 22	255.255.252.0	2^{10}
11	/ 21	255.255.248.0	2^{11}

Продовження таблиці 3.1.

Кількість розрядів в номері вузла	Префікс	Маска	Кількість адрес
12	/ 20	255.255.240.0	2^{12}
13	/ 19	255.255.224.0	2^{13}
14	/ 18	255.255.192.0	2^{14}
15	/ 17	255.255.128.0	2^{15}
16	/ 16	255.255.0.0	2^{16}
17	/ 15	255.254.0.0	2^{17}
18	/ 14	255.252.0.0	2^{18}
19	/ 13	255.248.0.0	2^{19}
20	/ 12	255.240.0.0	2^{20}
21	/ 11	255.224.0.0	2^{21}
22	/ 10	255.192.0.0	2^{22}
23	/ 9	255.128.0.0	2^{23}
24	/ 8	255.0.0.0	2^{24}
25	/ 7	254.0.0.0	2^{25}
26	/ 6	252.0.0.0	2^{26}
27	/ 5	248.0.0.0	2^{27}
28	/ 4	240.0.0.0	2^{28}
29	/ 3	224.0.0.0	2^{29}
30	/ 2	192.0.0.0	2^{30}
31	/ 1	128.0.0.0	2^{31}
32	/ 0	0.0.0.0	2^{32}

3.4. Розподіл IP-адрес

Розподіл адрес в мережі Інтернет організовано на основі централізованої ієрархічної системи. Головним органом цієї системи є неурядова некомерційна організація ICANN (Internet Corporation for Assigned Numbers).

ICANN координує регіональні відділення – ARIN (Америка), RIPE (Європа), APNIC (Азія і Тихоокеанський регіон). Регіональні відділення видають блоки адрес великим провайдерам послуг Інтернет. Провайдери в свою чергу видають блоки адрес своїм клієнтам. Для отримання українським провайдером блоку адрес, провайдер повинен стати членом RIPE NCC та отримати статус Локального Інтернет-Реєстру (LIR).

Відповідно до RFC 1518, 1519 блоки адрес виділяються на основі однакового префікса, виділення блоків на основі класів адрес вважається застарілим і в даний час не використовується.

3.5. IP-адреси для ізольованих мереж

Якщо для передачі даних в локальній мережі використовується IP-протокол, але мережа не підключена до Інтернет або необхідно обмежити доступ з локальної мережі в мережу Інтернет, для адресації вузлів, відповідно до RFC 1918 року, рекомендується використовувати наступні адреси:

10.0.0.0 (блок адрес класу А);

172.16.0.0-172.31.0.0 (блок адрес класу В);

192.168.0.0-192.168.255.0 (блок адрес класу С).

Адреси з цих блоків називають приватними (private) адресами. IP-пакети з приватними адресами знищуються магістральними маршрутизаторами Інтернет. Для доступу в Інтернет з мереж з такими

адресами використовують технології NAT і Proxy.

3.6. Спеціальні IP-адреси

Адреси з першими розрядами рівними 11110 зарезервовані для майбутніх застосувань.

Пакет з адресою 255.255.255.255 повинен розсилатися всім вузлам, що знаходяться в тій же підмережі, що і джерело пакету. Такий спосіб розсилки називається обмеженим широкомовлення (limited broadcast).

Якщо розряди адреси, яка відповідає номеру вузла, містять тільки одиниці, то пакет розсилається всім вузлам мережі з заданим номером. Такий спосіб розсилки називається широкомовним (broadcast).

Приклад 14.

192.168.7.255 – широкомовна адреса для мережі 192.168.7.0/255.255.255.0

213.1.18.127 – широкомовна адреса для мережі 213.1.18.64/255.255.255.192

Якщо у адресі одержувача в полі номера мережі містяться тільки нулі, то вузол-одержувач належить тій же підмережі, що і вузол, який відправив пакет. Блок адрес 127.0.0.0/8 використовується для тестування і взаємодії мережевих процесів в межах окремого комп'ютера. Наприклад, при передачі пакетів на адресу 127.0.0.1, пакети не передаються по мережі, а повертаються модулям верхнього рівня як тільки що прийняті. Інакше кажучи, передача пакетів на адресу 127.0.0.1 означає зв'язок з самим собою. Адреса 127.0.0.1 відповідає віртуальному петлевий (loopback) мережному інтерфейсу, який реалізується програмно і не пов'язаний з фізичними інтерфейсами (RFC 3330). Наприклад, цей інтерфейс може бути використаний клієнтськими мережевими процесами для взаємодії з серверним процесом, що виконується на тому ж комп'ютері.

РОЗДІЛ 4. ПРОТОКОЛ ARP

ARP (Address Resolution Protocol) – протокол визначення адреси, призначений для отримання "локальної адреси" за відомим IP-адресою (RFC 826).

Відповідно до принципів моделі стека TCP/IP, при передачі IP-пакетів меду вузлами "локальної мережі" проводиться інкапсуляція пакетів в кадри технології, на основі якої побудована "локальна мережа".

Приклад 15.

Розглянемо мережу Ethernet, побудовану на основі комутатора, до якого підключені чотири комп'ютери (рис. 4.1).

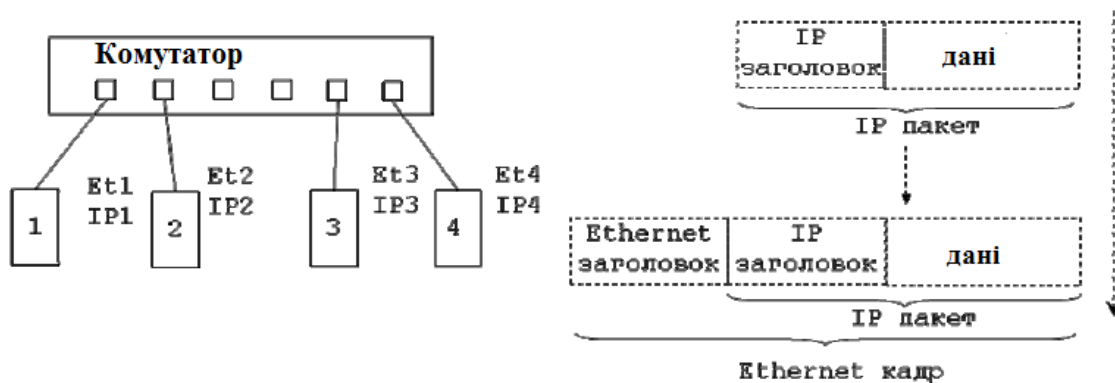


Рис.4.1. Інкапсуляція IP пакетів в Ethernet кадри

Припустимо, що вузлу № 1 з IP-адресою *IP1* необхідно передати IP-пакет вузлу №2 з адресою *IP2*. Модулю операційної системи, що реалізовує функції IP-протоколу в вузлі №1, відомий IP-адреса вузла 2, зазначений в заголовку IP-пакета. Для передачі пакета вузол №1 повинен визначити за відомою IP-адресою *IP2* відповідному вузлу №2 Ethernet-адреси *Et2*, інкапсулювати IP-пакет в Ethernet-кадр і передати цей кадр на основі технології Ethernet.

Алгоритм роботи протоколу ARP залежить від технології "локальної" мережі. Наприклад, в "локальних мережах", що підтримують ширококомвні розски, ARP протокол заснований на використанні ширококомвних розсилок. Розглянемо принципи роботи ARP-протоколу на прикладі технології Ethernet.

Схема визначення MAC-адрес в Ethernet-мережах:

1. При передачі IP-пакета на рівень мережевих інтерфейсів модуль між мережевої взаємодії звертається до модуля ARP для визначення Ethernet-адреси.

2. Модуль ARP формує запит на визначення адреси і передає його драйверу Ethernet.

3. Драйвер Ethernet посилає в мережу ширококомвний кадр, що містить запит (всі вузли мережі отримують цей кадр).

4. Вузол мережі, який має вказаний в запиті IP-адреса, посилає ARP-відповідь, в якому вказує свій Ethernet-адресу.

5. Модуль ARP джерела запиту, отримавши відповідь, передає отриманий Ethernet-адреса модулю між мережевої взаємодії.

Інформація про відповідність IP- адрес Ethernet-адресами тимчасово зберігається (кеширується) модулем ARP в ARP таблиці. ARP таблиця складається з трьох полів: "IP-адреса", "Ethernet адреса" і "Тип запису".

Види записів в таблиці ARP:

динамічні – заносяться в таблицю автоматично, мають обмежений термін життя і після закінчення декількох хвилин видаляються з таблиці;

статичні – заносяться в таблицю адміністратором с допомогою спеціальної утиліти операційної системи (в більшості ОС для цього використовується утиліта ARP), час життя таких записів не обмежий.

За допомогою статичних записів можна підвищити безпеку мережі і скоротити число ширококомвних розсилок.

РОЗДІЛ 5. МАРШРУТИЗАЦІЯ

5.1. Принципи маршрутизації

Мережі, що об'єднуються в інтермережу на основі IP-протоколу, з'єднуються між собою мережевими пристроями, званими маршрутизаторами.

Маршрутизатор – це мережевий пристрій, який збирає інформацію про топологію міжмережєвих зв'язків і на її основі пересилає IP-пакети в мережу призначення. Маршрутизатор зазвичай має більше одного мережевого інтерфейсу, кожен з яких забезпечує передачу даних на основі технології "локальної мережі", до якої він підключений.

Маршрут – послідовність маршрутизаторів, через які повинен пройти пакет.

На рисунку 5.1 представлені шість локальних мереж (позначені овалами), що об'єднуються між собою чотирма маршрутизаторами (позначені квадратами).

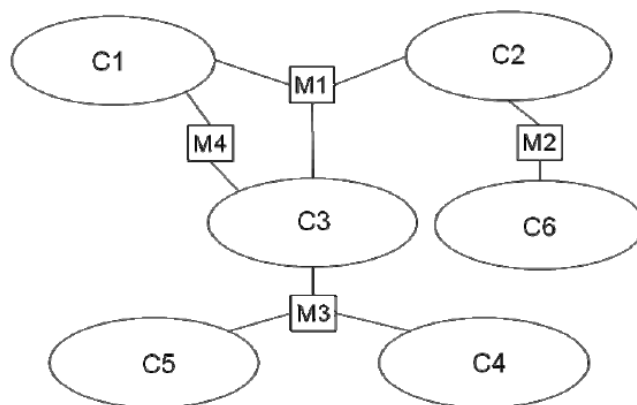


Рис. 5.1. Об'єднання мереж за допомогою маршрутизаторів

Кожній підмережі відповідає блок адрес, який визначається номером мережі і маскою, тобто всі адреси однієї підмережі мають однаковий

номер мережі (однакову старшу частину). Блоки адрес різних підмереж відрізняються номерами мереж (мають різну старшу частину).

Кінцеві вузли та маршрутизатори мережі зберігають інформацію про поточну конфігурацію маршрутів в електронних таблицях, які називаються таблицями маршрутизації. Кожен рядок таблиці визначає маршрутизатор для просування пакетів в деяку мережу. Кількість полів в таблиці маршрутизації може відрізнятися в залежності від ОС. У більшості ОС таблиці маршрутизації містять такі поля: "Адреса призначення", "Маска", "Шлюз", "Інтерфейс".

Призначення полів:

1. Адреса призначення – адреса мережі або вузла, для якого описується маршрут.

2. Маска – маска, що відповідає адресі, яка вказана в полі Адреса призначення.

3. Шлюз – IP-адреса інтерфейсу маршрутизатора, якому повинен бути переданий пакет. Або дане поле містить адресу локального інтерфейсу, на який повинен бути переданий пакет для пересилки в безпосередньо підключену "локальну мережу".

4. Інтерфейс – ідентифікатор інтерфейсу, через який повинен бути переданий пакет.

Таблиці маршрутизації створюються адміністратором мережі "вручну", за допомогою спеціальної утиліти ОС або автоматично – в результаті обміну маршрутизаторами інформацією про топологію мережі.

У процесі побудови таблиць маршрутизації і, отже, при виборі маршруту можуть враховуватися такі фактори:

величина затримки доставки пакета до мережі призначення;

пропускна здатність каналів передачі даних;

завантаженість ліній зв'язку;

кількість маршрутизаторів на шляху просування пакета (число хопів).

На практиці найбільш часто при виборі маршрутів враховують кількість маршрутизаторів на шляху просування пакета.

Приклад записів в таблиці маршрутизації:

Адреса п-ня	Маска	Шлюз	Інтерфейс
77.243.120.0	255.255.255.0	192.168.0.2	192.168.0.1
77.243.121.64	255.255.255.192	192.168.1.3	192.168.1.4

У першому рядку таблиці прописано, що IP-пакети, адресовані в мережу з номером 77.243.120.0 і маскою 255.255.255.0 повинні бути передані маршрутизатором з IP-адресою 192.168.0.1 через інтерфейс з IP-адресою 192.168.0.1.

У другому рядку прописано, що IP-пакети, адресовані в мережу з номером 77.243.121.64 і маскою 255.255.255.192 повинні бути передані маршрутизатора з IP-адресою 192.168.1.3 через інтерфейс з IP-адресою 192.168.1.4.

Зауваження: у наведеному прикладі, для ідентифікації інтерфейсів використовуються їх IP-адреси. З іншого боку, замість IP-адрес можуть бути використані символні імена, побудовані відповідно до правил ОС (наприклад, eth0, em0, lo). У деяких ОС поля "Адреса призначення" та "Маска" об'єднують в одне поле "Адреса призначення", в якому вказують номер мережі з префіксом. У разі адресації на основі класів, в таблиці маршрутизації поле "Маска" відсутня, оскільки за першим розрядами IP-адреси можна визначити клас адреси і, отже, отримати номер мережі.

Таблицю маршрутизації в ОС Windows і *nix можна отримати за допомогою команд *route* і *netstat*. Для модифікації таблиць використовується команда *route*.

Основні функції маршрутизаторів

На рівні мережевих інтерфейсів: узгодження електричних сигналів, лінійне і логічне кодування, отримання доступу до середовища передачі даних, формування, відправлення та отримання кадрів, підрахунок контрольних сум кадрів, передача поля даних кадру вищьому рівню.

На межсетевом рівні: перевірка контрольних сум IP-пакета, перевірка часу життя пакета, коригування вмісту деяких полів пакету (TTL, перерахунок контрольної суми), фільтрація трафіку, фрагментація пакетів, аналіз таблиці маршрутизації, дозвіл локальних адрес, обмін інформацією про топологію мережі, формування таблиць маршрутизації.

У загальному випадку при отриманні кадру маршрутизатор виконує такі дії:

1. Вилучає з кадру пакет мережевого рівня.
2. Вилучає з заголовка пакета IP- адресу одержувача.
3. Виконує пошук в таблиці маршрутизації адреси шлюзу, якому повинний бути переданий пакет.
4. При необхідності фрагментує пакет.
5. Модифікує деякі поля заголовка пакету (наприклад, TTL).
6. За допомогою протоколу дозволу локальних адрес визначає адресу вузла (маршрутизатора), якому повинен бути переданий пакет.
7. Формує кадр канального рівня (інкапсулює в кадр мережевий пакет) відповідно до базової технологією мережі, в яку (через яку) повинен бути переданий пакет. Відправляє кадр через інтерфейс, вказаний в таблиці маршрутизації.

Зауваження: в описаному вище алгоритмі не розглядається випадок, коли одержувачем пакета є сам маршрутизатор.

Узагальнений алгоритм пошуку маршруту в таблиці маршрутизації:

1. Послідовно з кожним рядком таблиці виконуються наступні дії:

виконується операція накладення маски значення поля "Маска" на IP-адресу одержувача;

отримане значення порівнюється зі значенням поля "Адреса призначення", якщо значення збігаються, то система запам'ятовує рядок таблиці.

2. Якщо на попередньому кроці був знайдений один рядок, то з поля "Шлюз" цього рядка вилучається адреса шлюзу, який буде використаний для просування пакета.

Якщо знайдено кілька рядків, то для вибору маршрутизатора використовують рядок з найбільшою кількістю одиниць в масці. Якщо рядки не виявлено, пакет знищується і відправнику надсилається повідомлення про помилку за допомогою протоколу ICMP.

Зауваження: якщо ОС упорядковує таблицю за полем "Маска", перегляд таблиці припиняється після першого збігу.

Таблиці маршрутизації комп'ютерів і маршрутизаторів, які перебувають на периферії мережі, можуть містити записи для маршрутизатора за замовчуванням. Маршрутизатор за замовчуванням (default router) – це маршрутизатор, якому буде переданий пакет в тому випадку, коли інші рядки таблиці маршрутизації не описують шлях до вузла-одержувача (табл. 5.1).

Таблиця 5.1.

Приклад таблиці маршрутизації із записом для маршрутизатора за замовчуванням

Адреса п-ня	Маска	Шлюз	Інтерфейс
0.0.0.0	0.0.0.0	192.168.3.3	192.168.3.1
77.243.120.0	255.255.255.0	192.168.0.2	192.168.0.1
77.243.121.64	255.255.255.1	92192.168.1.3	192 .168 . 1 . 4

Представлена таблиця характерна для сімейства ОС Windows, де рядок таблиці для маршрутизатора за замовчуванням містить 0.0.0.0 в полях "Адреса призначення" та "Маска". Це пояснюється тим, що при накладенні на будь-який IP-адреса маски 0.0.0.0 отримаємо 0.0.0.0, тобто зазначений рядок може бути використаний для просування пакетів в будь-яку IP-мережу.

Приклад 16.

Розглянемо вибір шляху передачі IP-пакета з адресою одержувача 77.243.121.97 в таблиці 5.1.

Перегляд рядків таблиці починається з другого рядка (рядок для маршрутизатора за замовчуванням обробляється останнім). Винесемо значення поля "Маска" і застосуємо операцію накладення маски до отриманого значення і IP-адресою одержувача:

IP-адреса: 77.243.121.97 01001101.11110011.1111001.01100001

Маска: 255.255.255.0 11111111.11111111.1111111.00000000

Результат: 77.243.121.0 01001101.11110011.1111001.00000000

Значення поля "Адреса призначення" – 77.243.120.0 і результат накладення маски – 77.243.121.0 нерівні, отже, цей рядок не може використовуватися для передачі пакета.

Переходимо до третьому рядку таблиці. Винесемо значення поля "Маска" і застосуємо операцію накладення маски до отриманого значення і IP-адресою одержувача:

IP-адреса: 77.243.121.97 01001101.11110011.1111001.01100001

Маска: 255.255.255.192 11111111.11111111.1111111.11000000

Результат: 77.243.121.64 01001101.11110011.1111001.01000000

Значення поля "Адреса призначення" – 77.243.121.64 і результат накладення маски – 77.243.121.64 рівні. Оскільки інших рядків, за винятком рядка для маршрутизатора за замовчуванням, в таблиці немає, то цей рядок буде використаний для визначення маршруту. Пакет буде переданий маршрутизатору з IP-адресою 192.168.1.3 (значення поля "Шлюз") через інтерфейс з IP-адресою 192.168.1.4 (значення поля "Інтерфейс").

Приклад 17.

Розглянемо вибір шляху просування IP-пакета з адресою одержувача 77.243.121.129 в таблиці 5.1.

Перегляд рядків таблиці починається з другого рядка (рядок для маршрутизатора за замовчуванням обробляється останнім). Винесемо значення поля "Маска" і застосуємо операцію накладення маски до отриманого значення і IP-адресою одержувача:

IP-адреса: 77.243.121.129 01001101.11110011.1111001.10000001

Маска: 255.255.255.0 11111111.11111111.11111111.00000000

Результат: 77.243.121.0 01001101.11110011.1111001.00000000

Значення поля "Адреса призначення" – 77.243.120.0 і результат накладання маски – 77.243.121.0 нерівні, отже, цей рядок не може використовуватися для вибору шляху просування пакета.

Переходимо до третього рядку таблиці. Винесемо значення поля "Маска" і застосуємо операцію накладення маски до отриманого значення і IP-адресою одержувача:

IP-адреса: 77.243.121.129 01001101.11110011.1111001.10000001

Маска: 255.255.255.192 11111111.11111111.11111111.11000000

Результат: 77.243.121.128 01001101.11110011.1111001.10000000

Значення поля "Адреса призначення" – 77.243.121.64 і результат накладення маски – 77.243.121.128 нерівні, отже, цей рядок не може використовуватися для вибору шляху просування пакета.

Оскільки інших рядків, за винятком рядка для маршрутизатора за замовчуванням, в таблиці немає, то для визначення маршруту буде використаний рядок для маршрутизатора за замовчуванням. Пакет буде переданий маршрутизатором з IP-адресою 192.168.3.3 (значення поля "Шлюз") через інтерфейс з IP-адресою 192.168.3.1 (значення поля "Інтерфейс").

Зазначимо, що при передачі IP-пакета вузлом "локальної мережі" можливі два варіанти (див. рис. 5.2).

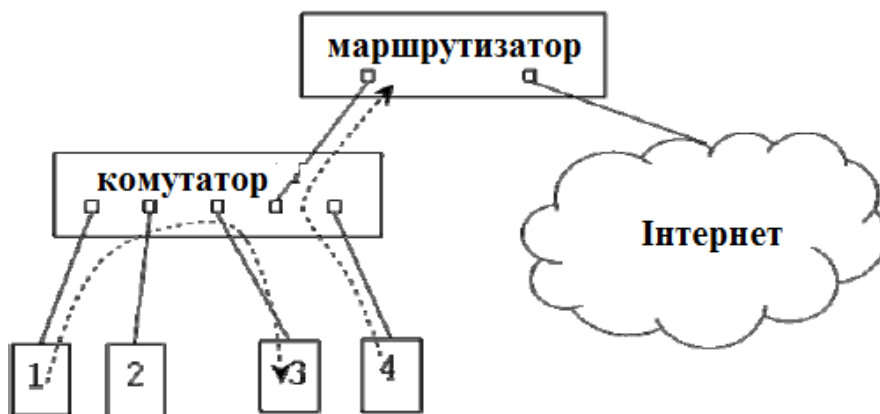


Рис. 5.2. Варіанти передачі пакету

1. Пакет призначений вузлу, який знаходиться в тій же "локальній мережі", що і вузол відправник (номер мережі вузла відправника дорівнює номеру мережі вузла одержувача). На рисунку цей варіант відповідає передачі пакета від вузла 1 вузлу 3.

В даному випадку за допомогою протоколу ARP визначається локальна адреса вузла-одержувача, IP-пакет упаковується в кадр локальної технології і передається відповідно до алгоритму цієї технології.

2. Пакет призначений вузлу, який знаходиться в іншій мережі і

повинен бути переданий маршрутизатору. На рисунку цей варіант відповідає передачі пакета від вузла 4 через маршрутизатор в зовнішню мережу.

В даному випадку за допомогою таблиці маршрутизації визначається адресу шлюзу, якому повинен бути переданий пакет, за допомогою протоколу ARP визначається MAC-адреса шлюзу, IP-пакет упаковується в кадр "локальної" технології і передається відповідно до алгоритму цієї технології.

Види алгоритмів маршрутизації

За способом складання таблиць маршрутизації розрізняють наступні алгоритми:

алгоритми статичної (фіксованою) маршрутизації;

алгоритми адаптивної (динамічної) маршрутизації.

В алгоритмах статичної маршрутизації таблиця складається адміністратором "вручну" за допомогою спеціальних утиліт і налаштовується маршрутизатором під час його завантаження. При зміні топології мережі таблиця не змінюється операційною системою автоматично, потрібні додаткові дії адміністратора для модифікації таблиці.

Різновидом фіксованої маршрутизації є метод заливки – пакети передаються на всі інтерфейси маршрутизатора крім того, з якого він отриманий.

Алгоритми адаптивної маршрутизації забезпечують автоматичну побудову і оперативне оновлення таблиць маршрутизації.

Адаптивні алгоритми маршрутизації поділяють на два види:

1. Алгоритми, засновані на використанні векторів відстаней.

Приклади протоколу:

- RIP (Routing Information Protocol);

- RFC 1058, 2453.

2. Алгоритми, що враховують стан ліній.

Приклади протоколів:

- OSPF (Open Shortest Path First);

- RFC 2328, IS-IS (Intermediate System to Intermediate System);

- RFC 1142.

Мінімальна таблиця маршрутизації

Операційні системи автоматично створюють мінімальну таблицю маршрутизації, яка містить рядки, що обчислюються ОС автоматично на основі конфігурації мережевих інтерфейсів (IP-адрес, масок) і адреси маршрутизатора за замовчуванням. У більшості ОС мінімальна таблиця маршрутизації містить запис для маршрутизатора за замовчуванням, записи для безпосередньо підключених до вузла мереж і записи для організації ширококомовних розсилок. Розглянемо IP-мережу, побудовану на основі мережі Ethernet (див. рис. 5.3).

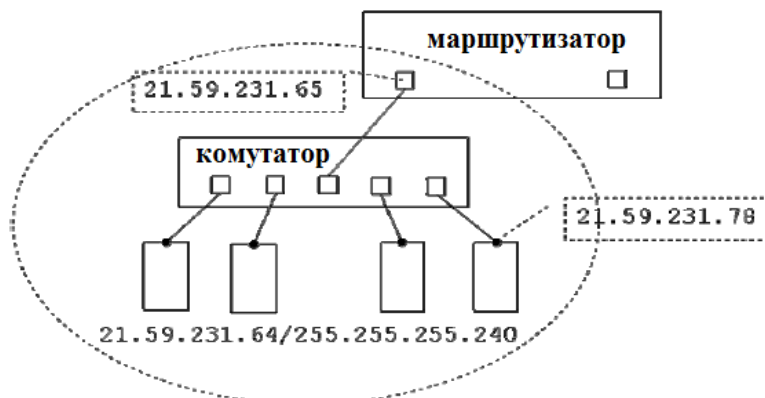


Рис. 5.3. Приклад IP-мережі

В даній мережі для нумерації вузлів виділений блок IP-адреси, який визначається номером мережі 21.59.231.64 з маскою 255.255.255.240.

Припустимо, що вузлу 4 виділено IP-адресу: 21.59.231.78/255.255.255.240 тоді мінімальна таблиця маршрутизації цього

вузла в ОС Windows має наступний вигляд (табл. 5.2):

Таблиця 5.2.

Мінімальна таблиця маршрутизації

Адреса п-ня	Маска	Шлюз	Інтерфейс
0.0.0.0	0.0.0.0	21.59.231.65	21.59.231.78
127.0.0.0	255.0.0.0	127.0.0.1	127.0.0.1
21.59.231.64	255.255.255.255	127.0.0.1	127.0.0.1
21.59.231.78	255.255.255.240	21.59.231.78	21.59.231.78
21.255.255.255	255.255.255.255	21.59.231.78	21.59.231.78
224.0.0.0	240.0.0.0	21.59.231.78	21.59.231.78
255.255.255.255	255.255.255.255	21.59.231.78	21.59.231.78

Зауваження: номери рядків, поміщені в окружність пунктирної лінії, не є частиною таблиці.

Призначення рядків:

1. Шлях до маршрутизатора за замовчуванням. В даній мережі вузол 4 має єдиний шлях просування пакетів в зовнішні мережі через маршрутизатор, Ethernet-інтерфейс якого має адресу 21.59.231.65.

2. Шлях просування пакетів на loopback-адреси 127.0.0.0/255.0.0.0. Пакети, які передаються в цю мережу, направляються на петлевий інтерфейс з адресою 127.0.0.1 і обробляються локально.

3. Шлях просування пакетів на loopback-адреси 127.0.0.0/255.0.0.0. Пакети, які передаються в цю мережу, направляються на петлевий інтерфейс з адресою 127.0.0.1 і обробляються локально.

4. Шлях просування пакетів з адресою призначення рівним IP-адресою комп'ютера

5. Пакети передаються на петлевий інтерфейс і обробляються локально.

6. Маршрут просування пакетів в дану локальну мережу, до якої належить вузол 4. Передані в цю мережу пакети направляються через Ethernet інтерфейс вузла 4 безпосередньо вузлу одержувача (маршрутизатор для передачі пакетів в цій мережі не використовується).

7. Шлях для широкомовних розсилок в мережі з номером 21.0.0.0 рівним номеру мережі адреси 21.59.231.78 відповідно до адресації на основі класів.

8. Маршрут для групових (multicast) розсилок. Цей рядок характерний для таблиць маршрутизації сімейства ОС Windows, в мінімальних таблицях більшості інших ОС за замовчуванням відсутній.

9. Маршрут для організації обмеженого широкомовлення. Широкомовні IP-пакети доставляються всім вузлам локальної мережі Ethernet за допомогою широкомовних Ethernet-кадрів.

Зауваження:

1. Інтерфейси в ОС Windows ідентифікуються основними IP-адресами інтерфейсів.

2. Для безпосередньо підключеної до вузла мережі в таблиці маршрутизації в поле "Шлюз" вказана IP-адреса інтерфейсу.

Це означає, що пакет, адресований в цю мережу, необхідно передати засобами технології Ethernet, визначивши MAC-адресу вузла одержувача за допомогою протоколу ARP.

5.2. Статична маршрутизація

У цьому розділі будуть розглянуті приклади складання статичних таблиць маршрутизації в IP-мережі.

При складанні таблиць маршрутизації будемо дотримуватися правил, які часто застосовуються на практиці:

1. При наявності декількох шляхів просування пакетів в деяку мережу, вибирається шлях з найменшою кількістю маршрутизаторів (шлях мінімальної довжини).

2. Якщо через маршрутизатор за замовчуванням лежить шлях мінімальної довжини в деяку мережу, то в таблиці не допускаються інші рядки, що описують шлях просування пакетів в цю мережу (мінімізація розміру таблиці).

Приклад 18.

Нехай дана мережа, що складається з п'яти сегментів і одинадцяти комп'ютерів (див. рис. 5.4), для адресації комп'ютерів виділений блок адрес 25.15.1.0/24.

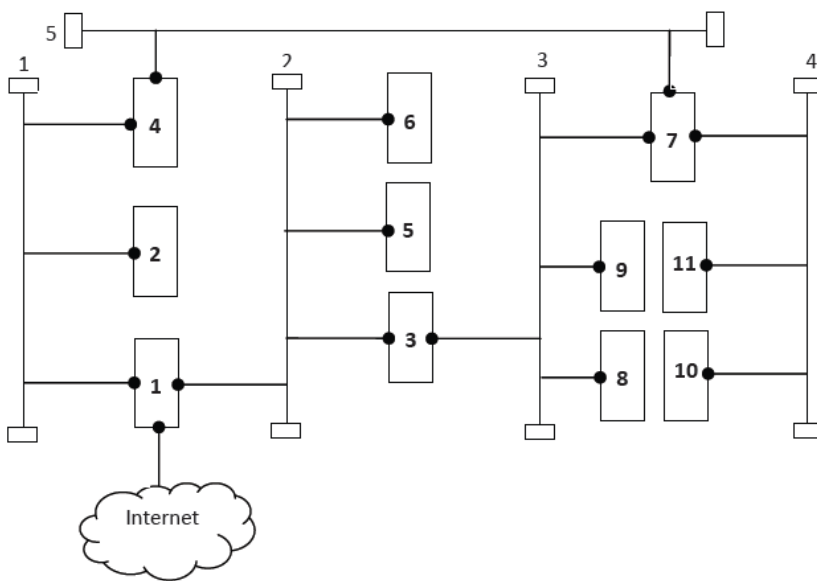


Рис. 5.4. Схема мережі

Необхідно:

1. Присвоїти всім комп'ютерам IP-адреси з урахуванням того, що

число комп'ютерів в кожному сегменті буде збільшено до 16.

2. Вказати таблиці маршрутизації для комп'ютерів 4, 7 і 10.

Комп'ютери з номерами 1, 3, 4, 7 мають більше одного мережевого інтерфейсу і виконують функції маршрутизаторів, через маршрутизатор 1 здійснюється підключення до мережі Інтернет.

Зауваження:

Для спрощення схеми на рисунку представлені Ethernet-мережі на основі коаксіального кабелю. Виходячи з принципів роботи стека протоколів TCP/IP, принципи передачі IP-пакетів не зміняться, якщо замість коаксіального кабелю використовуються повторювачі або комутатори.

У таблицях маршрутизації не будуть наведені рядки мінімальної таблиці маршрутизації, за винятком рядків, відповідних шляхів просування пакетів в безпосередньо підключені мережі.

Розглянемо, які маршрути повинні бути представлені в таблицях маршрутизації з урахуванням вище зазначених зауважень:

1. Маршрут для передачі пакетів в зовнішні мережі через маршрутизатор за замовчуванням;

2. Маршрути просування пакетів в мережі, для яких шлях через маршрутизатор за замовчуванням не є найкоротшим;

3. Маршрути для передачі пакетів в безпосередньо підключені мережі.

Призначення комп'ютерам IP-адрес

З точки зору міжмережевого рівня дана мережа складається з п'яти підмереж, об'єднаних за допомогою маршрутизаторів.

Виділимо блоки адрес для кожної підмережі. Зауважимо, що в початковому адресному блоці 25.15.1.0/24 є вісім розрядів, частину яких можна використовувати для ідентифікації підмереж і номерів вузлів (див. рис. 5.5).

Н.М.: 25.15.1.0 00011001.00001111.00000001.00000000
 Маска: 255.255.255.0 11111111.11111111.11111111.00000000

Розряди які можна використовувати для ідентифікації підмереж та номерів вузлів

Рис. 5.5. Двійкове представлення номера мережі та маски початкового блоку

Окремий блок адрес повинен містити адреси для всіх мережевих інтерфейсів підмережі і додатково дві спеціальні адреси – для номера мережі та широкомовлення. В даному випадку, кожній підмережі необхідно виділити блок не менше ніж на 18 адрес (16 адрес + 2 спеціальні адреси). Визначимо скільки розрядів необхідно виділити в адресі під номер вузла для отримання 18 адрес. Відповідно до правил виділення адресних блоків (див. п.п. 3.3) під номер вузла повинно бути виділено m розрядів, де $2^{m-1} < 16+2 < 2^m$. Отже, під номер вузла виділяємо 5 розрядів ($2^4 < 16+2 < 2^5$). Для ідентифікації підмереж залишається 3 розряди – ці розряди дають 8 бітових комбінацій, за допомогою яких можна ідентифікувати 8 адресних блоків (див. рис. 5.6, 5.7, 5.8).

Н.М.: 25.15.1.0 00011001.00001111.00000001.00000000
 Маска: 255.255.255.0 11111111.11111111.11111111.00000000

N мережі
 N підмережі
 N вузла

Рис. 5.6. Призначення розрядів

Зіставимо підмережам номери мереж і відповідні їм адресні блоки:
 Сегмент №1 – номер мережі 25.15.1.0/27, блок адрес 25.15.1.0 – 25.15.1.31;

Сегмент №2 – номер мережі 25.15.1.32/27, блок адрес 25.15.1.32 – 25.15.1.63; Сегмент №3 – номер мережі 25.15.1.128/27, блок адрес 25.15.1.128 – 25.15.1.159; Сегмент №4 – номер мережі 25.15.1.160/27, блок адрес 25.15.1.160 – 25.15.1.191; Сегмент №5 – номер мережі 25.15.1.192/27, блок адрес 25.15.1.192 – 25.15.1.223.

префікс блоків	
1. 25.15.1.0/27	00011001.00001111.00000001.00000000
2. 25.15.1.32/27	00011001.00001111.00000001.00100000
3. 25.15.1.64/27	00011001.00001111.00000001.01000000
.....	
7. 25.15.1.192/27	00011001.00001111.00000001.11000000
8. 25.15.1.224/27	00011001.00001111.00000001.11100000

N мережі
 N підмережі
 N вузла

Рис. 5.7. Варіанти номерів мереж

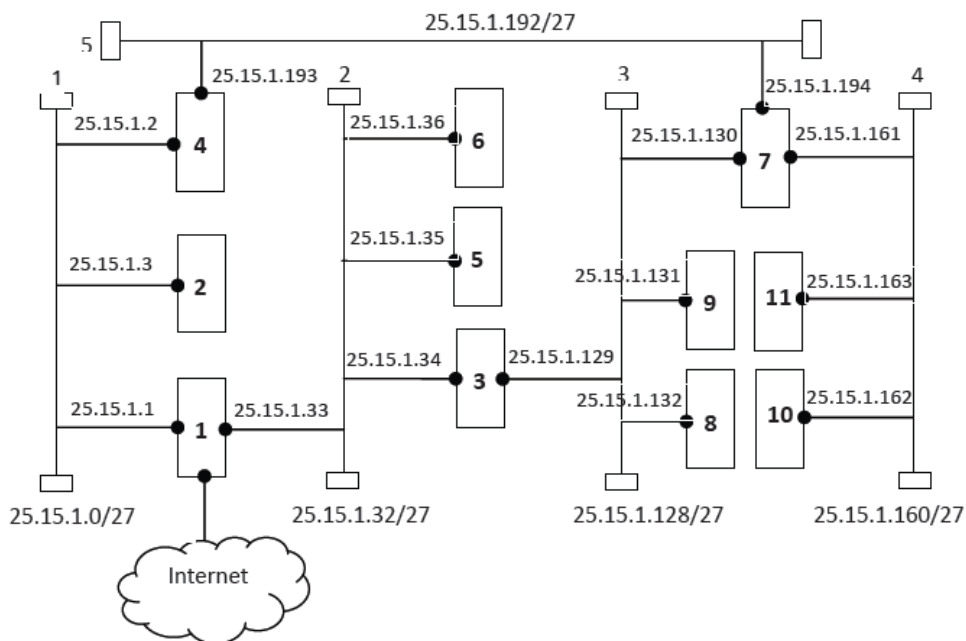


Рис. 5.8. Присвоєння адрес мережних інтерфейсів

Зауважимо, що для даної мережі необхідно всього п'ять блоків адрес, а три блоки адрес використовуватися не будуть.

Складання таблиць маршрутизації.

Зауважимо, що для вузла 4 є два шляхи просування пакетів в мережу Інтернет: перший – через маршрутизатор 1 (довжина шляху дорівнює 1), другий – через маршрутизатор 7 (довжина шляху дорівнює 3). Найкоротший шлях лежить через маршрутизатор 1, отже, маршрутизатором за замовчуванням необхідно призначити цей маршрутизатор. Пакети маршрутизатора 1 будуть пересилатися на інтерфейс з адресою 25.15.1.1 через інтерфейс з адресою 25.15.1.2, отже, в таблиці маршрутизації повинний міститися рядок:

Адреса п-ня	Маска	Шлюз	Інтерфейс
0.0.0.0	0.0.0.0	25.15.1.1	25.15.1.2

В мережу 25.15.1.32/27 є два шляхи просування пакетів: через маршрутизатор 1 (довжина шляху дорівнює 1) і маршрутизатор 7 (довжина шляху дорівнює 2). Отже, шлях через маршрутизатор за замовчуванням є найкоротшим і додатковий рядок в таблиці маршрутизації для цієї мережі не потрібний.

У мережі 25.15.1.128/27 і 25.15.1.160/27 є два шляхи просування пакетів: через маршрутизатор 1 (довжина шляху дорівнює 2) і маршрутизатор 7 (довжина шляху дорівнює 1).

Найкоротший шлях лежить через маршрутизатор 7, пакети цього маршрутизатора будуть передаватися на інтерфейс з адресою 25.15.1.194 через інтерфейс з адресою 25.15.1.193.

Отже, в таблиці маршрутизації повинні міститися рядки:

Адреса п-ня	Маска	Шлюз	Інтерфейс
25.15.1.128	255.255.255.224	25.15.1.194	25.15.1.193
25.15.1.160	255.255.255.224	25.15.1.194	25.15.1.193

До маршрутизатора 4 безпосередньо підключені дві мережі, їх адреси:

1. 25.15.1.0/27
2. 25.15.64.192/27

Пакети з адресами із зазначених блоків повинні передаватися безпосередньо до відповідних локальній мережі без участі інших маршрутизаторів, отже, в таблиці маршрутизації необхідно прописати наступні рядки:

Адреса п-ня	Маска	Шлюз	Інтерфейс
25.15.1.0	255.255.255.224	25.15.1.2	25.15.1.193
25.15.1.192	255.255.255.224	25.15.1.193	25.15.1.193

Таблиця 5.3.

Таблиця маршрутизації вузла 4

Адреса п-ня	Маска	Шлюз	Інтерфейс
0.0.0.0	0.0.0.0	25.15.1.1	25.15.1.2
25.15.1.128	255.255.255.224	25.15.1.194	25.15.1.193
25.15.1.160	255.255.255.224	25.15.1.194	25.15.1.193
25.15.1.0	255.255.255.224	25.15.1.2	25.15.1.2
25.15.1.192	255.255.255.224	25.15.1.193	25.15.1.193

Зауважимо, що для маршрутизатора 7 є два шляхи просування пакетів в мережу Інтернет: перший – через маршрутизатор 3 (довжина шляху дорівнює 2), другий – через маршрутизатор 4 (довжина шляху дорівнює 2). Довжини шляхів рівні, тому можна вибрати в якості маршрутизатора за

замовчуванням кожний із зазначених маршрутизаторів (на практиці вибирають найменш завантажений маршрутизатор або маршрутизатор через який проходить найбільша кількість маршрутів). Виберемо маршрутизатор за замовчуванням – маршрутизатор 4. Пакети цього маршрутизатора будуть пересилатися на інтерфейс з адресою 25.15.1.193 через інтерфейс з адресою 25.15.1.194, отже, в таблиці повинна міститися рядок:

Адреса п-ня	Маска	Шлюз	Інтерфейс
0.0.0.0	0.0.0.0	25.15.1.193	25.15.1.194

В мережу 25.15.1.0/27 є два шляхи просування пакетів: через маршрутизатор 3 (довжина шляху дорівнює 2) і маршрутизатор 4 (довжина шляху дорівнює 1). Отже, шлях через маршрутизатор за замовчуванням є найкоротшим і додатковий рядок в таблиці маршрутизації для цієї мережі не потрібна.

У мережі 25.15.1.32/27 є два шляхи просування пакетів: через маршрутизатор 3 (довжина шляху дорівнює 1) і маршрутизатор 4 (довжина шляху дорівнює 2). Найкоротший шлях лежить через маршрутизатор 3, пакети цього маршрутизатора будуть передаватися на інтерфейс з адресою 25.15.1.129 через інтерфейс з адресою 25.15.1.130.

Отже, в таблиці маршрутизації повиний міститися рядок:

Адреса п-ня	Маска	Шлюз	Інтерфейс
25.15.1.32	255.255.255.224	25.15.1.129	25.15.1.130

До маршрутизатора 7 безпосередньо підключені три мережі, його адреси:

1. 25.15.1.128/27
2. 25.15.1.160/27
3. 25.15.1.192/27

Адреса п-ня	Маска	Інтерфейс
25.15.1.128	255.255.255.224	25.15.1.130
25.15.1.160	255.255.255.224	25.15.1.161
25.15.1.192	255.255.255.224	25.15.1.194

Пакети в ці мережі повинні передаватися безпосередньо до відповідних локальній мережі без участі інших маршрутизаторів, отже, в таблиці маршрутизації повинні міститися рядки:

Таблиця 5.4

Таблиця маршрутизації вузла 7

Адреса п-ня	Маска	Шлюз	Інтерфейс
0.0.0.0	0.0.0.0	25.15.1.193	25.15.1.194
25.15.1.32	255.255.255.224	25.15.1.129	25.15.1.130
25.15.1.128	255.255.255.224	25.15.1.130	25.15.1.130
25.15.1.160	255.255.255.224	25.15.1.161	25.15.1.161
25.15.1.192	255.255.255.224	25.15.1.194	25.15.1.194

Зауважимо, що для вузла 10 є єдиний шлях просування пакетів в зовнішній мережі – через маршрутизатор 7. Виберемо його маршрутизатором за замовчуванням, пакети цього маршрутизатора будуть пересилатися на інтерфейс з адресою 25.15.1.161 через інтерфейс з адресою 25.15.1.162. Отже, в таблиці повинний міститися рядок:

Адреса п-ня	Маска	Шлюз	Інтерфейс
0.0.0.0	0.0.0.0	25.15.1.161	25.15.1.162

До вузла 1 безпосередньо підключена єдина мережа 25.15.1.160/27.

Пакети в цю мережу повинні передаватися безпосередньо в локальну мережу без участі інших маршрутизаторів, отже, в таблиці маршрутизації повинний міститися рядок:

Адреса н-я	Маска	Шлюз	Інтерфейс
25.15.1.160	255.255.255.224	25.15.1.162	25.15.1.162

Таблиця 5.5.

Таблиця маршрутизації вузла 10

Адреса н-я	Маска	Шлюз	Інтерфейс
0.0.0.0	0.0.0.0	25.15.1.161	25.15.1.162
25.15.1.160	255.255.255.224	25.15.1.162	25.15.1.162

Агрегація маршрутів.

У таблиці маршрутизації вузла 4 (таблиця 5.3) є два рядки:

Адреса п-ня	Маска	Шлюз	Інтерфейс
25.15.1.128	255.255.255.224	25.15.1.194	25.15.1.193
25.15.1.160	255.255.255.224	25.15.1.194	25.15.1.193

Зауважимо:

1. У першому рядку визначається шлях просування пакетів для мережі 25.15.1.128/27, якому відповідає блок адрес 25.15.1.128 – 25.15.1.159.

2. У другому рядку визначається шлях просування пакетів для мережі 25.15.1.160/27, якому відповідає блок адрес 25.15.1.160 – 25.15.1.191.

3. Шлюзом для мереж 25.15.1.128/27 і 25.15.1.160/27 вказано один і той же маршрутизатор з адресою 25.15.1.194.

4. Адреси зазначених вище блоків мають однаковий префікс (див. рис. 5.9).

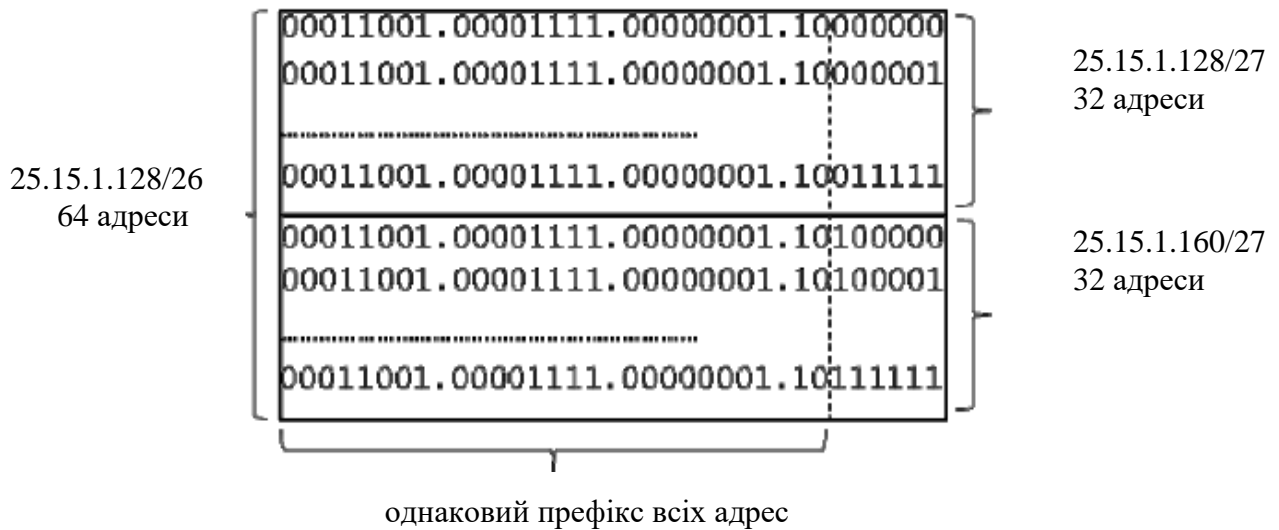


Рис. 5.9. Представлення адрес у двійковій формі

Цей префікс визначає номер мережі 25.15.1.128/26, якому відповідає блок адрес

25.15.1.128 – 25.15.1.191

рівний об'єднанню блоків адрес мереж

25.15.1.128/27 і 25.15.1.160/27.

Отже, два рядки в таблиці маршрутизації вузла 4 можна замінити одним рядком:

Адреса п-ня	Маска	Шлюз	Інтерфейс
25.15.1.128	255.255.255.192	25.15.1.194	25.15.1.193

З точки зору маршрутизації шлях просування пакетів не змінився – цей рядок визначає той же маршрут і для того ж блоку адрес, що і зазначені вище рядки.

Таким чином, таблиця маршрутизації вузла 4 (табл. 5.3) еквівалентна наступній таблиці 5.6.

Операція об'єднання кількох маршрутних записів в одну на основі однакового префікса називається агрегуванням маршрутів.

Таблиця маршрутизації вузла 4 з агрегування маршрутних записів

Адреса н-я	Маска	Шлюз	Інтерфейс
0.0.0.0	0.0.0.0	25.15.1.1	25.15.1.2
25.15.1.128	255.255.255.192	25.15.1.194	25.15.1.193
25.15.1.0	255.255.255.224	25.15.1.2	25.15.1.2
25.15.1.192	255.255.255.224	25.15.1.193	25.15.1.193

Для того, щоб за допомогою агрегування можна було значно скоротити таблиці маршрутизації необхідно на етапі проектування мережі розподіляти підмережам адресні блоки з урахуванням можливості їх подальшого об'єднання в маршрутних записах.

Безкласова міждоменна маршрутизація.

Безкласова міждоменна маршрутизація (Classless Inter Domain Routing, CIDR) основний метод маршрутизації, який використовується в Інтернет в даний час (RFC 1518, 1519). CIDR заснована на виділенні провайдером послуг Інтернет безперервних блоків адрес, що мають однаковий префікс (однакову старшу частину). Використання блоків адрес на основі однакового префікса дозволяє відмовитися від адресації на основі класів і скоротити таблиці маршрутизації за рахунок агрегування записів.

СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Олифер В.Г. Компьютерные сети / Олифер В.Г., Олифер Н.А. // Принципы технологии протоколы. – 3-е изд. – СПб.: Питер, 2006. – 958 с.
2. Э. Таненбаум Компьютерные сети / Э. Таненбаум. – Питер, 2005. – 960 с.
3. Вильям Столингс Компьютерные системы передачи данных / Вильям Столингс. – Издательский дом “Вильямс”, 2002. – 928 с.
4. Мэтью Ногл TCP/IP / Мэтью Ногл // Иллюстрированный учебник. М.: – ДМК, 2001. – 481 с.
5. Дж. Ирвин Передача данных в сетях: инженерный подход / Ирвин Дж., Харль Д. – Санкт–Петербург: БХВ–Петербург, 2003. – 448 с.
6. Хелд Г. Технологии передачи данных / Хелд Г. – П.: 2003. – 720 с.
7. Гольдштейн Б.С. Сигнализация в сетях связи / Гольдштейн Б.С. – М.: Радио и связь, 2001. – 423 с.
8. Гольдштейн Б.С. Протоколы сети доступа / Гольдштейн Б.С. – М.: Радио и связь, 2001. – 214 с.
9. CISCO. <http://www.cisco.com>.