

# “Маршрутизація в мережах зв’ язку”



# Форма отчетности

Форма отчетности – зачет.

Для получения оценки необходимо набрать за семестр от **60** до **100** баллов:

	Кол-во	баллы	сумма
ЛК	10	2п*10	20
ПЗ	2+1к/р	2*7	20
ЛР	4	(5з*2)*4	40
КР	1	20	20
Итог	-	-	<b>100</b>

П – посещение; З – защита ЛР

## 5.1 Основна література

1. *Астраханцев А.А., Безрук В.М.* Маршрутизація в мережах зв'язку. – Х.: ТОВ «Компанія СМІТ», 2010. – 368 с.
2. *Олифер В.Г., Олифер Н.А.* Компьютерные сети. Принципы. Технологии. Протоколы. 3-е изд. – СПб.: Питер, 2006 – 958 с.
3. *Веешна Ш.* Качество обслуживания в сетях IP: Пер. с англ. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2003. – 386 с.
4. *Остерлох Х.* Маршрутизация в IP-сетях. Принципы, протоколы, настройка. – С.Пб.: ВHV-С. Пб., 2002. – 512 с.
5. *Хелеби С., Мак-Ферсон Д.* Принципы маршрутизации в Internet. – М: Издательский дом «Вильямс», 2001. – 1100 с.
6. *Руденко И.* Маршрутизаторы CISCO для IP-сетей. – М.: КУДИС-ОБРАЗ, 2003. – 656 с.
7. Руководство по технологиям объединенных сетей / Настольный справочник специалиста по сетевым технологиям. 3-е издание. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2002. – 1040 с.

## 5.2 Додаткова література

1. Д. Шварц, Т. Леммл. CCIE. Учебное руководство. Пер. с англ. – М.: Лори, 2002 – 791 с.
2. Т. Леммл. CCNA. Учебное руководство. Пер. с англ. – М.: Лори, 2002 – 576 с.
3. *Бертсекас Д., Галлагер Р.* Сети передачи данных. – М.: Мир, 1989. – 544 с.
4. Вишнеvский В.М., Ляхов А.И. и др. Широкополосные беспроводные сети передачи информации. – М.: Техносфера, 2005 – 592 с.
5. *Форд Л., Фалкерсон Д.* Потоки в сетях: Пер. с англ. – М.: Мир, 1966.– 276с.
6. *Таненбаум Э.* Компьютерные сети. – СПб.: Питер, 2002. – 848 с.
7. *Адамс Б., Ченг Э.* Руководство по междоменной многоадресной маршрутизации.: Пер. с англ. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2004 – 320 с.

# Содержание курса:

1. Общие принципы маршрутизации, виды маршрутизаторов, основные метрики.
2. Классификация способов маршрутизации (полная). Классификация методов в проводных сетях. Default, directly connected, static, dynamic.
3. Внутридоменные протоколы динамической маршрутизации (2 ЛК)
4. VLSM, CIDR
5. Протоколы многоадресной маршрутизации
6. Междоменная маршрутизация.
7. Маршрутизация в MANET
8. Аппаратная структура маршрутизаторов

## 2. BASIC ROUTING CONCEPTS

**Management** - process of purposeful change of the system or process (object) state .

**Routing** is the process of selecting paths in a network along which to send network traffic.

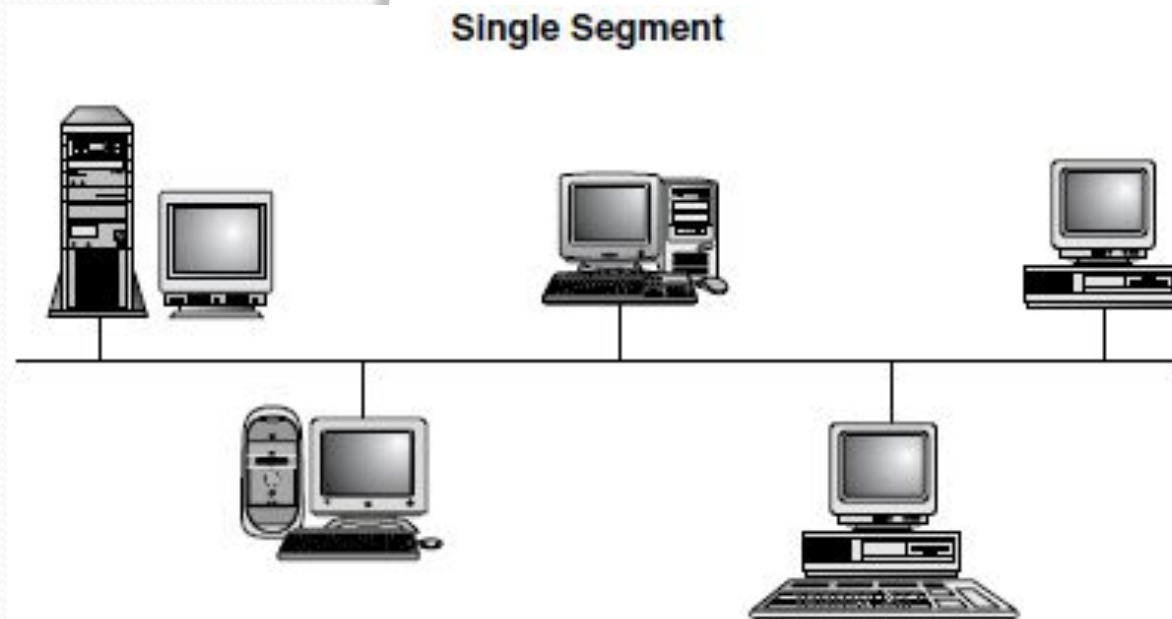
### **General purposes of routing:**

- minimizing (maximizing) values of selected quality of service parameters (transmission rate, average delay, jitter, packet loss, etc.);
- providing a load balanced network.



# Basic Routing Concepts (continuation)

Routing involves the delivery of datagrams between end systems located on different networks. Without routers and routing protocols, end host communication would be limited to only those systems on the same physical segment

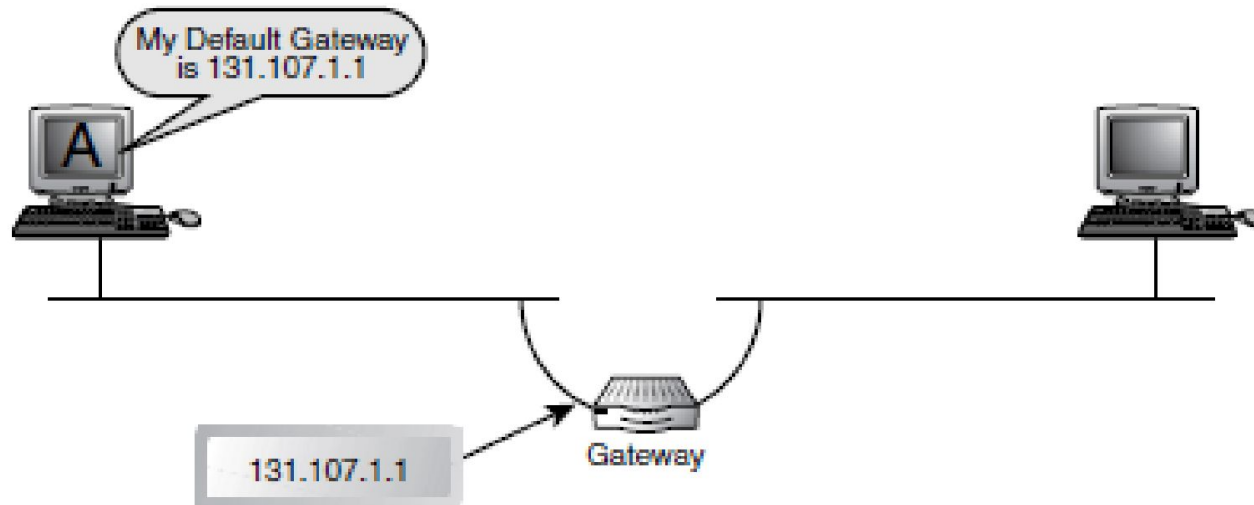


All hosts are attached to the same segment. There is no need for routers and routing protocols for these hosts to communicate with each other.

# Basic Routing Concepts (continuation)

**Routers** provide the physical connection between networks. Routers must be configured with some type of routing mechanism to enable communication between hosts beyond their local segments.

These routing mechanisms are either static or dynamic in nature. Static means manual configuration is necessary. Dynamic mechanisms involve routing protocols that facilitate the exchange of information, allowing routers to learn and adapt to changes in a network's topology. Static and dynamic routing protocols will be discussed later in this chapter. Whether a router is configured statically or dynamically or a combination of both the objective is the same, to facilitate communication between remote hosts. For hosts to communicate with other hosts located on different networks, end systems must be configured with the IP address of at least one local router (also referred to as the default router). Hosts may be statically configured or dynamically discover their local router's or router's IP address



# 1. ОСНОВНІ ПОЛОЖЕННЯ МАРШРУТИЗАЦІЇ В МЕРЕЖАХ ЗВ'ЯЗКУ



Тема “Основні положення маршрутизації в мережах зв’язку”, присвячена обговоренню загальних принципів формування оптимальних маршрутів; характеристик, функцій та можливостей маршрутизаторів. В темі аналізуються основні компоненти таблиць маршрутизації, наводиться класифікація маршрутизаторів.



## 1.1 Місце маршрутизації в мережі зв'язку

Розглянемо загальну структуру мережі зв'язку (рис. 1.1) [4].

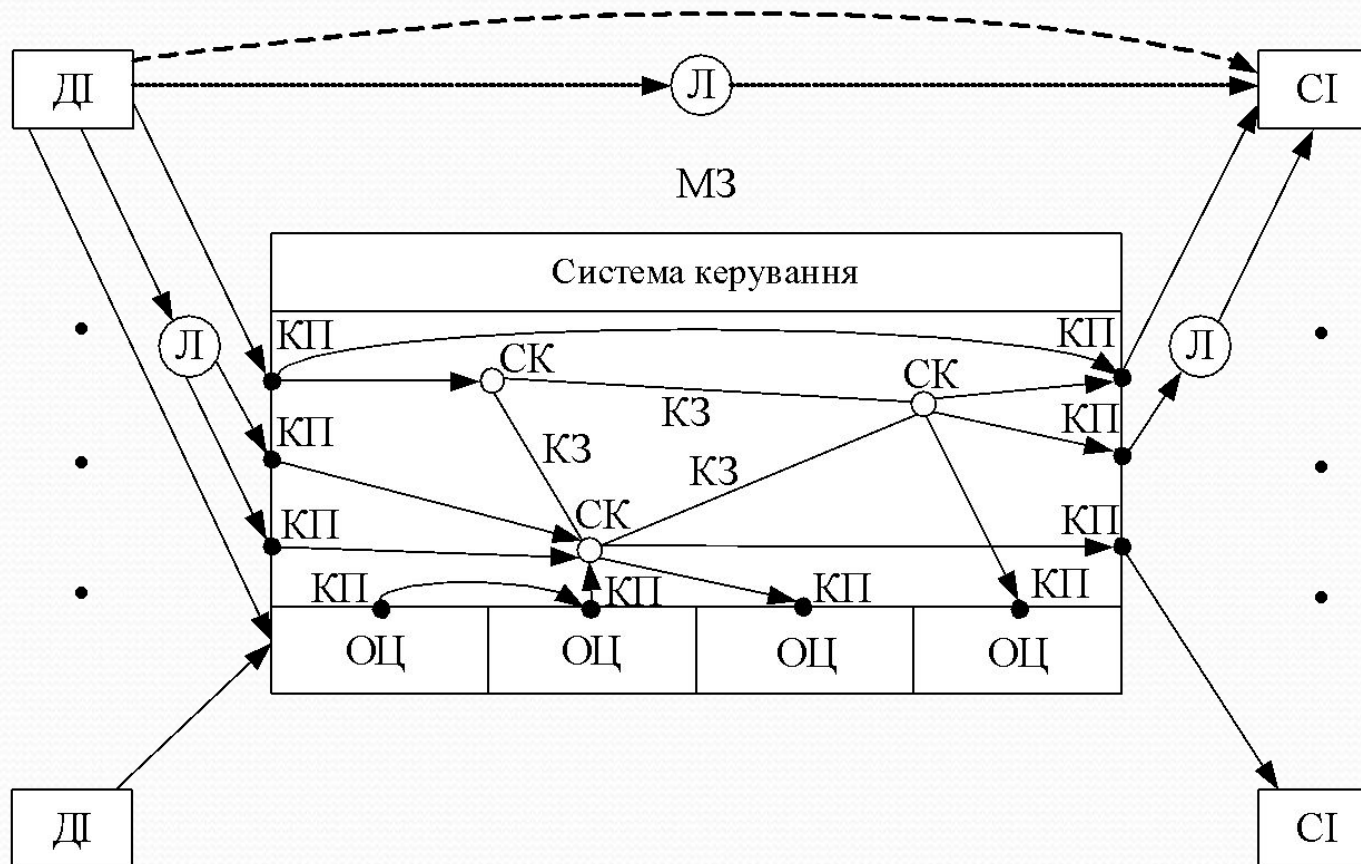


Рис. 1.1. Загальна структура мережі зв'язку



Інформація від джерел інформації (ДІ) до споживачів інформації (СІ) може бути доставлена різними способами: людиною (Л) безпосередньо, за допомогою якогось виду зв'язку (наприклад, поштового, кур'єрського), або за допомогою системи електрозв'язку чи мережі електрозв'язку.

Мережа зв'язку (МЗ) – це сукупність кінцевих пунктів (КП), мережних вузлів, каналів зв'язку (КЗ), систем керування (СК), що призначені для передавання інформації від деякої множини джерел інформації до множини споживачів.

Система керування – це набір програмно-технічних засобів, призначених для забезпечення нормальної роботи окремих систем, пристроїв і каналів, а також доставки повідомлень за адресою із заданими показниками якості. Обчислювальні центри (ОЦ) використовуються для забезпечення інформаційних послуг, тобто збору, збереження і переробки інформації.

Кінцеві пункти – це сукупність технічних засобів для перетворення інформації в сигнали, що можуть бути передані по каналах зв'язку.

Канали та лінії зв'язку (у випадку представлення мережі у вигляді графа –ребра графа), призначені для перенесення сигналів у просторі між окремими пунктами мережі.

Мережні вузли виконують у мережі зв'язку функції перерозподілу потоків інформації та регулюють розповсюдження трафіка між сусідніми вузлами, обираючи найкращі за якимось критерієм маршрути [ст: 1]. Загальна структура мережного вузла наведена на рис. 1.2.





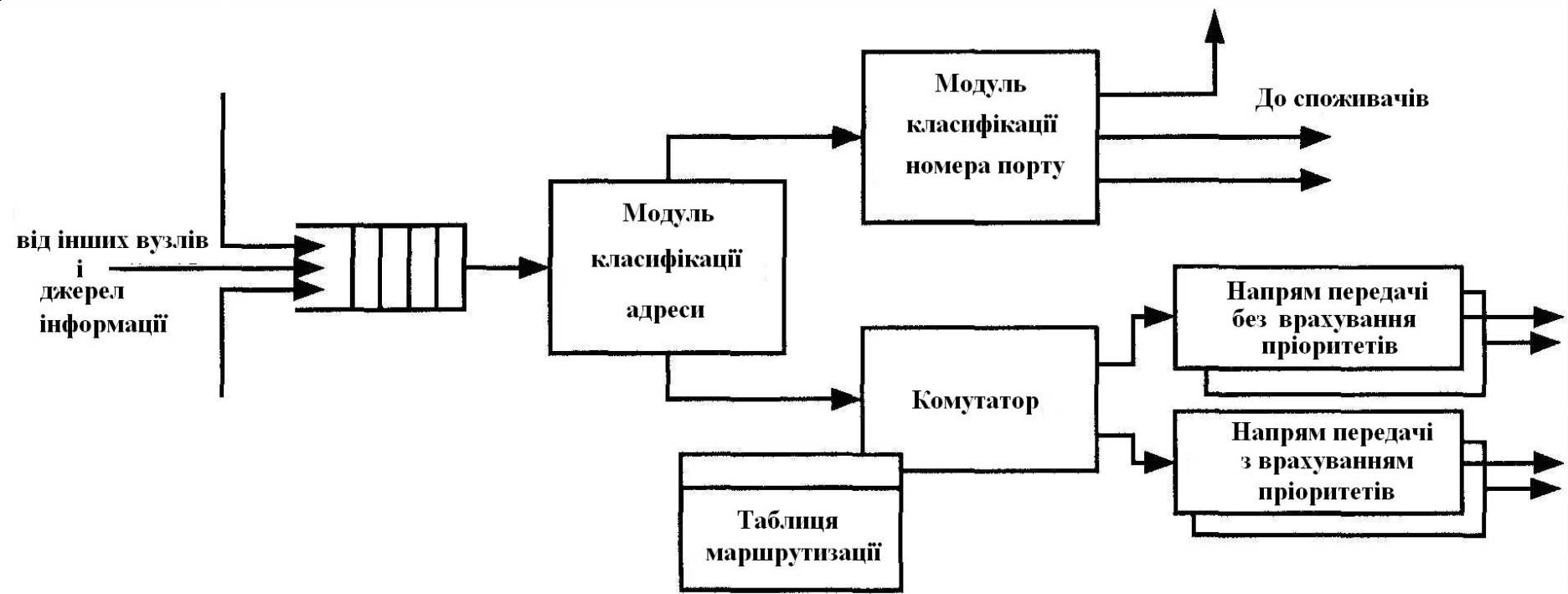



Рис. 1.2. Загальна структура мережного вузла



Охарактеризуємо взагалі процес обробки пакету у мережному вузлі (рис. 1.2). Пакети, що надходять на вузол комутації від джерела повідомлень (комп'ютер) або від попереднього вузла мережі, ставляться в чергу. Далі модуль класифікації адреси вибирає пакети із черги й починає їхню обробку у вузлі. У модулі класифікації адреси із заголовка пакета зчитується поле ідентифікатора маршруту й визначається, чи є даний вузол кінцевим вузлом у маршруті або транзитним. У першому випадку пакет направляється в модуль класифікації номера порту, у другому в модуль комутації. Крім цього, у модулі класифікації адреси відбувається затримка пакета на час  $T$ , (затримка обробки пакета у вузлі комутації).


У модулі класифікації номера порту із заголовка пакета зчитується значення поля «Номер порту» і встановлюється, для якого з підключених до вузла комутації споживачів призначений цей пакет, після чого пакет направляється одержувачу.



При обробці пакета в модулі комутації визначають маршрут його подальшого просування по мережі. Для цього із заголовка пакета зчитується поле ідентифікатора маршруту й у таблиці маршрутизації відшукується рядок з таким же ідентифікатором. Після цього пакет посилається в напрямку передачі, що відповідає даній колонці.

Коли пакет надходить у напрямку передачі без врахування пріоритетів (порядку обслуговування), шукається вільний канал і пакет ставиться на обслуговування. Якщо вільний канал не знайдений, то пакет ставиться в чергу; при відсутності буферного запам'ятовувального пристрою або при його переповненні пакет скидається. Після закінчення обробки пакета (передачі через канал), пакет надходить на обробку в наступний вузол мережі. Після цього аналізується підключений до каналу буферний запам'ятовувальний пристрій на наявність пакетів у черзі і якщо пакет не знайдений то каналу встановлюється прапор «вільний» і канал переходить у режим очікування.





При надходженні пакета на обробку в блок доступу з урахуванням пріоритетів відбувається пошук вільного каналу або зайнятого обслуговуванням пакета, який можна витиснути згідно пріоритету. У випадку вдалого результату пакет, що обслуговується в знайденому каналі, витісняється й на обслуговування каналу передається пакет, що вимагає негайної обробки, а витиснутий пакет обробляється як пакет, що одержав відмову в негайному обслуговуванні (він блокується або ставиться у відповідну чергу).

В мережах передачі даних, які використовують стратегії маршрутизації, орієнтовані на віртуальний канал (з попередньою установкою з'єднання) або дейтаграмний режим із динамічної (адаптивної до зміни потоків і топології) стратегією маршрутизації, функція вибору напрямку подальшої передачі покладається на об'єкт «маршрутизатор».

## 1.2 Поняття маршрутизації й маршрутизатора

**Маршрутизатор** – пристрій, який регулює напрямок трафіка між вузлами.

Типовий маршрутизатор є потужним обчислювальним пристроєм з одним або декількома процесорами, часто спеціалізованими або побудованими на RISC-архітектурі, зі складним програмним забезпеченням.

Маршрутизатор – це спеціалізований комп'ютер, що має швидкісну внутрішню шину або шини (із пропускною здатністю 600-2000 Мбіт/с), що часто використовує симетричне або асиметричне мультипроцесування й працюючий під керуванням спеціалізованої операційної системи, що має відношення до класу систем реального часу (часто на базі операційної системи Unix).





Найбільш рутинні операції обробки пакетів виконуються програмно спеціалізованими процесорами або апаратно великими інтегральними схемами (BIC/ASIC). Більш високорівневі дії виконують програмно універсальні процесори.

Маршрутизатори можуть підтримувати як один протокол мережного рівня (наприклад, IP, IPX або DECnet), так і декілька таких протоколів. В останньому випадку вони називаються *багатопротокольними* маршрутизаторами. Чим більше протоколів мережного рівня підтримує маршрутизатор, тим краще він підходить для корпоративної мережі.

Велика обчислювальна потужність дозволяє маршрутизаторам поряд з основною роботою по вибору оптимального маршруту виконувати й ряд допоміжних високорівневих функцій.





**Маршрутизацією** називається процес визначення шляху при переміщенні інформації по мережі від джерела до одержувача. При цьому на маршруті зустрічається як мінімум один проміжний вузол.



*Маршрутизація передбачає наступні етапи:*

Підготовчі:

- На маршрутизаторах запускаються спеціальні програми, які називають *протоколами маршрутизації (routing protocols, RP)*. Ці програми служать для прийому й передачі маршрутної інформації іншим маршрутизаторам у мережі.
- Маршрутизатори використовують інформацію про маршрути для заповнення своїх таблиць маршрутів, які пов'язані з відповідним протоколом маршрутизації.
- Маршрутизатори сканують таблиці маршрутів різних RP і вибирають один або кілька кращих маршрутів для доставки трафіка в пункт призначення.
- Маршрутизатори взаємодіють при передачі трафіка з наступними найближчими пристроями (next-hop devices), що мають адресу канального рівня й інтерфейси, що використовуються для пересилання пакетів.
- Інформація про пересилання для наступних найближчих пристроїв поміщується в таблицю маршрутизації (forwarding table) маршрутизатора.



### Процес маршрутизації:

- Коли маршрутизатор приймає пакет, він аналізує заголовок пакета й виділяє адресу одержувача.
- Після вивчення адреси одержувача маршрутизатор визначає, чи відомо йому, як відправити пакет на наступний перехід. Якщо спосіб відправлення невідомий, то пакет зазвичай відкидається. Якщо відомо, то маршрутизатор консультується з таблицею маршрутизації й одержує звідти відомості про вихідний інтерфейс (через який порт передавати) і про адресу найближчого пристрою, звідки можна потрапити в пункт призначення (куди передавати).
- Маршрутизатор виконує додаткові функції: зменшення «часу життя» пакета, керування полем типу сервісу TOS і пересилає пакет на відповідний наступний пристрій.
- Всі ці дії тривають, поки пакет не досягне хоста одержувача. Дана послідовність дій описує маршрутизацію через проміжні вузли (hop-by-hop).



Таким чином, *при здійсненні маршрутизації виконуються дві основних дії*: визначення оптимальних маршрутів і транспортування пакетів по мережі, згідно обраного маршруту.





## 1.3 Складові алгоритмів маршрутизації



*Алгоритми маршрутизації* розрізняються по декількох ключових характеристиках. По-перше, на характеристики протоколу маршрутизації впливає **ціль**, яка ставилася розробником алгоритму. По-друге, алгоритми маршрутизації застосовують різні **метрики**, що впливають на вибір оптимальних маршрутів. Нарешті, різні види алгоритмів по-різному використовують **ресурси** мережі й маршрутизаторів.



## Цілі, які ставляться при розробці алгоритмів маршрутизації

При розробці алгоритмів маршрутизації звичайно ставиться одна або декілька з наступних цілей:

- оптимальність;
- простота й мінімальний обсяг службової інформації, що передається;
- надійність і стійкість алгоритму;
- швидка збіжність;
- гнучкість.

Нагадаємо, що під *оптимальністю алгоритму маршрутизації* будемо розуміти здатність маршрутизатора вибрати кращий маршрут.





Крім того, алгоритми маршрутизації намагаються зробити як можна більш *простими*. Іншими словами, алгоритм маршрутизації повинен ефективно виконувати свої функції з мінімальними витратами на передавання службової інформації. Ефективність алгоритму особливо важлива в тому випадку, коли реалізує його програмне забезпечення працює на комп'ютері з обмеженими фізичними ресурсами.



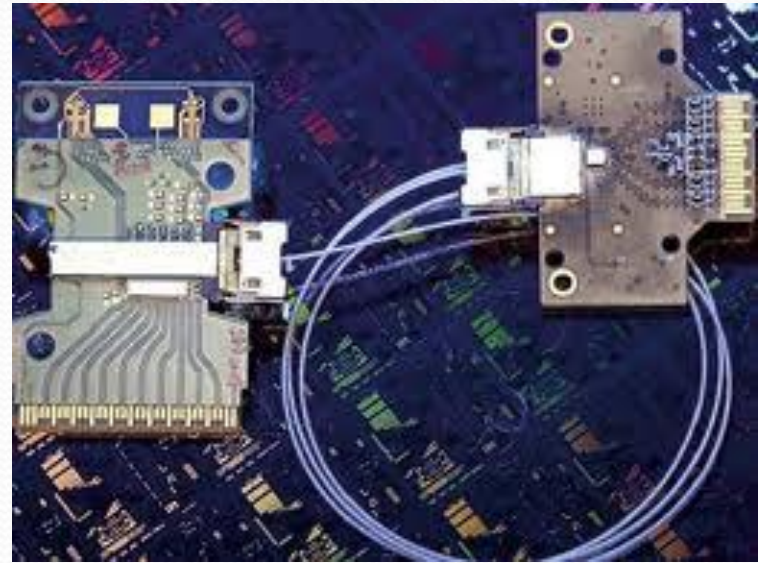


Алгоритми маршрутизації повинні бути *надійними*, тобто вони повинні безпомилково працювати в незвичайних або непередбачених умовах, таких як апаратні збої, високе навантаження й неправильна установка. Оскільки маршрутизатори розташовуються у вузлових точках мережі, збій у їхній роботі може привести до серйозних проблем. Найчастіше кращими виявляються ті алгоритми маршрутизації, які витримали перевірку часом і підтвердили свою стабільність у різних умовах роботи мережі.





Крім того, алгоритми маршрутизації повинні швидко збігатися. Під збіжністю розуміється процес узгодження оптимальних маршрутів всіма маршрутизаторами. Коли в мережі відбувається така подія, як вихід з ладу маршрутизатора або, навпаки, початок або поновлення його роботи, інші маршрутизатори поширюють по всіх мережах повідомлення про відновлення маршрутів, внаслідок чого відбувається повторне обчислення оптимальних маршрутів й узгодження їх між всіма маршрутизаторами. Якщо алгоритм маршрутизації повільно сходиться, то це може привести до появи петель маршрутизації або до недоступності частини мережі.





Алгоритми маршрутизації також повинні бути *гнучкими*, тобто швидко й точно адаптуватися до різних мережних умов. Наприклад, припустимо, що один з мережних сегментів вийшов з ладу. Така проблема враховується в багатьох алгоритмах маршрутизації. У такій ситуації необхідно швидко вибрати для всіх маршрутів, що зазвичай проходять через цей сегмент, оптимальний обхідний маршрут. Алгоритм маршрутизації повинен по можливості адаптуватися до змін смуги пропускання, довжини черги на маршрутизаторі й мережним затримкам, а також до інших параметрів.



## 1.4 Класифікація маршрутизаторів

*Магістральні маршрутизатори (backbone routers)* призначені для побудови центральної мережі корпорації. Центральна мережа може складатися з великої кількості локальних мереж, розкиданих по різних будинках і використовуючих найрізноманітніші мережні технології, типи комп'ютерів й операційних систем. Магістральні маршрутизатори – це найбільш потужні пристрої, здатні обробляти кілька сотень тисяч або навіть кілька мільйонів пакетів у секунду, що мають велику кількість інтерфейсів локальних і глобальних мереж. Підтримуються не тільки середньошвидкісні інтерфейси глобальних мереж, такі як T1/E1, але й високошвидкісні, наприклад, ATM або SDH із швидкостями 155 Мбіт/с або 622 Мбіт/с.







Найчастіше магістральний маршрутизатор конструктивно виконаний за модульною схемою на основі шасі з великою кількістю слотів – до 12-14. Велика увага приділяється в магістральних моделях питанням надійності й відмовостійкості маршрутизатора, які досягаються за рахунок системи терморегуляції, надлишкових джерел живлення, замінюємих «на ходу» (hot swap) модулів, а також симетричного мультипроцесування. Прикладами магістральних маршрутизаторів можуть служити маршрутизатори Backbone Concentrator Node (BCN) компанії Nortel Networks, Cisco 7500, Cisco 12000.



*Маршрутизатори регіональних відділень з'єднують регіональні відділення між собою й із центральною мережею. Мережа регіонального відділення, так само як і центральна мережа, може складатися з декількох локальних мереж. Такий маршрутизатор звичайно являє собою деяку спрощену версію магістрального маршрутизатора. Якщо він виконаний на основі шасі, то кількість слотів його шасі 4-5. Можливе також конструктивне виконання з фіксованою кількістю портів. Підтримувані інтерфейси локальних і глобальних мереж менш швидкісні.*





Прикладами маршрутизаторів регіональних відділень можуть служити маршрутизатори BLN, ASN компанії Nortel Networks, Cisco 3600, Cisco 2500, NetBuilder II компанії 3Com. Це найбільш великий клас маршрутизаторів, що випускають, характеристики яких можуть наближатися до характеристик магістральних маршрутизаторів, а можуть й опускатися до характеристик маршрутизаторів віддалених офісів.





*Маршрутизатори віддалених офісів* з'єднують, як правило, єдину локальну мережу віддаленого офісу із центральною мережею або мережею регіонального відділення по глобальному зв'язку. У максимальному варіанті такі маршрутизатори можуть підтримувати два інтерфейси локальних мереж. Як правило, інтерфейс локальної мережі – це Ethernet 10 Мбіт/с, а інтерфейс глобальної мережі – виділена лінія зі швидкістю 64 кбіт/с, 1,544 або 2 Мбіт/с. Маршрутизатор віддаленого офісу може підтримувати роботу по комутованій телефонній лінії, в якості резервного зв'язку для виділеного каналу. Існує дуже велика кількість типів маршрутизаторів віддалених офісів. Типовими представниками цього класу є маршрутизатори Nautika компанії Nortel Networks, Cisco 1600, Office Connect компанії 3Com.





*Маршрутизатори локальних мереж (комутатори 3-го рівня)* призначені для поділу великих локальних мереж на підмережі. Основна вимога, пред'явлена до них, – висока швидкість маршрутизації, так як в такій конфігурації відсутні низькошвидкісні порти, такі як модемні порти 33,6 кбіт/с або цифрові порти 64 кбіт/с. Всі порти мають швидкість принаймні 10 Мбіт/с, а багато з них працюють на швидкості 100 Мбіт/с. Прикладами комутаторів 3-го рівня служать комутатори CoreBuilder 3500 компанії 3Com, Accelar 1200 компанії Nortel Networks, Waveswitch 9000 компанії Plaintree, Turboiron Switching Router компанії Foundry Networks.





# Router types

**Enterprise routers.** All sizes of routers may be found inside enterprises. The most powerful routers are usually found in ISPs, academic and research facilities. Large businesses may also need more powerful routers to cope with ever increasing demands of intranet data traffic. A three-layer model is in common use, not all of which need be present in smaller networks.

**Access.** Access routers, including 'small office/home office' (SOHO) models, are located at customer sites such as branch offices that do not need hierarchical routing of their own. Typically, they are optimized for low cost.

**Distribution.** Distribution routers aggregate traffic from multiple access routers, either at the same site, or to collect the data streams from multiple sites to a major enterprise location. Distribution routers are often responsible for enforcing quality of service across a WAN, so they may have considerable memory installed, multiple WAN interface connections, and substantial onboard data processing routines. They may also provide connectivity to groups of file servers or other external networks.

**Security.** External networks must be carefully considered as part of the overall security strategy. Separate from the router may be a firewall or VPN handling device, or the router may include these and other security functions. Many companies produced security-oriented routers, including Cisco Systems' PIX and ASA5500 series, Juniper's Netscreen, Watchguard's Firebox, Barracuda's variety of mail-oriented devices, and many others.

**Core.** In enterprises, a core router may provide a "collapsed backbone" interconnecting the distribution tier routers from multiple buildings of a campus, or large enterprise locations. They tend to be optimized for high bandwidth.[8]



# Router functions

A **router** is a device that forwards data packets between telecommunications networks, creating an overlay internetwork. A router is connected to two or more data lines from different networks. When data comes in on one of the lines, the router reads the address information in the packet to determine its ultimate destination. Then, using information in its routing table or routing policy, it directs the packet to the next network on its journey or drops the packet.

The most familiar type of routers are **home and small office routers** that simply pass data, such as web pages and email, between the home computers and the owner's cable or DSL modem, which connects to the Internet (ISP). However more sophisticated routers range from **enterprise routers**, which connect large business or ISP networks up to the powerful **core routers** that forward data at high speed along the optical fiber lines of the Internet backbone.

# Router functions

A router has **two stages of operation** called planes:

- **Control plane:** A router records a routing table listing what route should be used to forward a data packet, and through which physical interface connection.
- **Forwarding plane:** The router forwards data packets between incoming and outgoing interface connections. It routes it to the correct network type using information that the packet header contains. It uses data recorded in the routing table control plane.

## 1.5 Основні характеристики маршрутизаторів

Основні технічні характеристики маршрутизатора пов'язані з тим, як він вирішує своє головне завдання – маршрутизацію пакетів у складеній мережі. Саме ці характеристики насамперед визначають можливості й сферу застосування того або іншого маршрутизатора.





Перелік підтримуваних мережних протоколів. Магістральний маршрутизатор повинен підтримувати велику кількість мережних протоколів і протоколів маршрутизації.

Якщо центральна мережа утворить окрему автономну систему Internet, то буде потрібна підтримка й специфічні протоколи маршрутизації цієї мережі, такі як EGP й BGP. Програмне забезпечення магістральних маршрутизаторів звичайно будується по модульному принципу, тому при виникненні потреби можна докупувати й додавати програмні модулі, що реалізують відсутні протоколи.



Перелік підтримуваних мережних протоколів звичайно включає протоколи IP, CONS й CLNS OSI, IPX, AppleTalk, DECnet, Banyan VINES, Xerox XNS.

Перелік протоколів маршрутизації становлять протоколи IP RIP, IPX RIP, NLSP, OSPF, IS-IS OSI, EGP, BGP, VINES RTP, AppleTalk RTMP.

Перелік підтримуваних інтерфейсів локальних і глобальних мереж. Для локальних мереж – це інтерфейси, що реалізують фізичні й каналні протоколи мереж Ethernet, Token Ring, FDDI, Fast Ethernet, Gigabit Ethernet, 100VG-AnyLAN та ATM.





Для глобальних мереж – це інтерфейси фізичного рівня для зв'язку з апаратурою передачі даних, а також протоколи канального й мережного рівнів, необхідні для підключення до глобальних мереж з комутацією каналів і пакетів.

Підтримуються інтерфейси послідовних ліній (serial lines) RS-232, RS-449/422, V.35 (для передачі даних зі швидкостями до 2-6 Мбіт/с), високошвидкісний інтерфейс HSSI, що забезпечує швидкість до 52 Мбіт/с, а також інтерфейси із цифровими каналами T1/E1, T3/E3 й інтерфейсами BRI й PRI цифрової мережі ISDN. Деякі маршрутизатори мають апаратуру зв'язку із цифровими глобальними каналами, що виключає необхідність використання зовнішніх пристроїв сполучення із цими каналами.



У набір підтримуваних глобальних технологій звичайно входять технології X.25, frame relay, ISDN й комутованих аналогових телефонних мереж, мереж ATM, а також підтримка протоколу канального рівня PPP.



Logo: OTE

Τα σηκώνει όλα.  
Και το Πάρισμα και Fax και Internet και Επισκευές.

ISDN

The advertisement features a photograph of an elephant walking on a thin, colorful tightrope. In the top right corner, there are logos for the European Union and OTE. Below the image, there is Greek text and the word 'ISDN' in large, bold letters.





Загальна продуктивність маршрутизатора. Висока продуктивність маршрутизації важлива для роботи з високошвидкісними локальними й глобальними мережами, такими як frame relay, T3/E3, SDH й ATM.

Загальна продуктивність маршрутизатора залежить від: типу використовуваних процесорів, ефективності програмної реалізації протоколів, архітектурної організації обчислювальних й інтерфейсних модулів. Загальна продуктивність маршрутизаторів коливається від декількох десятків тисяч пакетів у секунду до декількох мільйонів пакетів у секунду. Найбільш продуктивні маршрутизатори мають мультипроцесорну архітектуру, що сполучає симетричні й асиметричні властивості – кілька потужних центральних процесорів за симетричною схемою виконують функції обчислення таблиці маршрутизації, а менш потужні процесори в інтерфейсних модулях займаються передачею пакетів на підключені до них мережі й пересиланням пакетів на підставі частини таблиці маршрутизації, кешированої у локальній пам'яті інтерфейсного модуля.

Магістральні маршрутизатори звичайно підтримують максимальний набір протоколів й інтерфейсів і мають високу загальну продуктивність в 1-2 млн. пакетів у секунду. Маршрутизатори віддалених офісів підтримують один-два протоколи локальних мереж і низькошвидкісні глобальні протоколи, загальна продуктивність таких маршрутизаторів звичайно становить від 5 до 20-30 тис. пакетів у секунду.





## 1.6 Метрики, використовувані при виборі маршруту

Для визначення оптимального маршруту алгоритми маршрутизації використовують велику кількість різних метрик. У складних алгоритмах маршрутизації вибір маршруту здійснюється по декільком метрикам, що утворює складову (гібридну) метрику. **Метрика** являє собою числову характеристику маршруту. Звичайно меншому значенню метрики відповідає кращий маршрут.




Таблиця 1 – Часто використовувані метрики

№	Тип метрики	Опис
1	Кількість переходів	Кількість маршрутизаторів, які необхідно пройти пакету, щоб досягти пункту призначення. Чим менше, тим краще.
2	Довжина маршруту	Кожному каналу призначається значення, що відображає витрати на передачу. Довжина маршруту представляє сумарну кількість переходів на всіх пройдених ділянках. Чим менше, тим краще.
3	Надійність	Мережними адміністраторами каналам присвоюється рейтинг по надійності, враховуючу ймовірність помилок у каналі (відношення кількості переданих біт до кількості помилок) і швидкість відновлення каналу після збоїв.



4	Затримка	Проміжок часу, необхідний для доставки пакета по мережі від відправника до одержувача. Вимірюється в тактах затримки – кількість імпульсів системних годинників IBM PC (період проходження імпульсів 55мс). Чим менше, тим краще.
5	Смуга пропускання	Характеризує пропускну здатність каналу зв'язку. Чим більше, тим краще.
6	Навантаження	Характеризує ступінь зайнятості мережного ресурсу. Оцінюється інтенсивність використання процесора й кількість оброблюваних у секунду пакетів. Моніторинг параметра вимагає значних ресурсів.
7	Витрати на передачу	Характеризує витрати, пов'язані з орендною платою за використання чужих каналів зв'язку.



При аналізі різних типів метрик, слід відмітити, що величина затримки залежить від багатьох факторів, таких як смуга пропускання проміжних ліній зв'язку, довжина черги на порту кожного маршрутизатора, переповнення на проміжних лініях зв'язку, а також фізична відстань, яку необхідно пройти. Оскільки затримка є комбінацією декількох важливих параметрів, ця метрика є широко розповсюдженою. *Смуга пропускання* характеризує пропускну здатність каналу. За інших рівних умов 10-мегабітовий канал Ethernet переважніше, ніж виділена лінія зі смугою пропускання 64 кбіт/с. Хоча смуга пропускання характеризує максимальну пропускну здатність каналу, маршрути, що проходять по каналах з більшою смугою пропускання, не завжди виявляються краще маршрутів, що проходять по більше повільних лініях. Наприклад, якщо швидкий канал завантажений більше, то для передачі по ньому пакета одержувачеві може знадобитися більше часу, ніж при використанні більш повільного, але менш завантаженого каналу.

Оскільки серед розповсюджених типів мереж, мережі на основі протоколу є найбільш поширеними, то далі доцільно буде розглянути основні складові заголовку пакету IP, що приймають участь в процесі маршрутизації.



## 1.7 Поля IP-пакета, що впливають на роботу маршрутизаторів

Важливу роль в процесі маршрутизації відіграють певні поля IP-заголовку (рис. 1.4):

- Тип обслуговування (TOS).
- Час життя (TTL).
- IP-адреса відправника (Source Address).
- IP-адреса одержувача (Destination Address).

Поля IP-адреса відправника та IP-адреса одержувача мають розмір по 4 байта кожне, можуть підтримувати (або не підтримувати) мережні маски і в рамках даної книги детально розглядатися не будуть.

Розглянемо поля «Тип обслуговування» та «Час життя».

## Формат заголовку IP-пакета

0	7	15	23	31
Ver <small>version</small>	IHL	TOS	Total Length	
ID		Flags	Fragment Offset	
TTL	Protocol	Header Checksum		
Source Address				
Destination Address				
Options				Padding



## Поле «Тип обслуговування»

Поле «Тип обслуговування» – TOS (Type of Service), довжина 8 бітів (рис. 1.5). Значення поля визначає пріоритет дейтаграми й бажаний тип маршрутизації

0	2	3	7	
Precedence	Type Of Service			
	D	T	R	C

Рис. 1.5. Структура поля TOS

Донедавна більшість додатків не підтримували ToS і, відповідно, не використовували біти пріоритету (біти не були визначені або рівнялися нулю). Уперше біти пріоритету були задіяні за вимогою Розвідувального управління Міністерства оборони США – для забезпечення ідентифікації й маршрутизації трафіка відповідно до заздалегідь заданих рівнів безпеки. У цей час додатки, використовувані в мережах в обов'язковому порядку повинні підтримувати використання бітів пріоритету для реалізації багаторівневого захисту трафіка.

Три молодших біти (Precedence, 0–2) визначають пріоритет дейтаграми: **111** – керування мережею; **110** – керування міжмережною взаємодією; **101** – критично важлива інформація; **100** – пріоритетна флеш-інформація (більш ніж миттєво); **011** – флеш-інформація (миттєва доставка); **010** – негайна доставка; **001** – пріоритетна або термінова доставка; **000** – звичайна інформація.

Біти D,T,R,C (3–6) визначають бажаний тип маршрутизації:

- **1000** – D (Delay) – вибір маршруту з мінімальною затримкою. Даний тип обслуговування орієнтований на мінімальну затримку даних при проходженні по всьому каналу від відправника до одержувача. Оптимальний для додатків, що використовують інтерактивну взаємодію, наприклад Telnet.
- **0100** – T (Throughput) – вибір маршруту з максимальною пропускною здатністю. Маршрутизатори в цьому випадку будуть намагатися вибрати маршрути з максимальною пропускною здатністю. Розрахований на додатки, що сильно завантажують канал, наприклад FTP.
- **0010** – R (Reliability) – вибір маршруту з максимальною надійністю. Маршрутизатори будуть намагатися передавати дейтаграми по маршрутах, які протягом деякого часу зарекомендували себе більше надійними з погляду втрат дейтаграм. Використовується для критично важливих додатків і служб, наприклад, для передачі службової інформації протоколами маршрутизації.
- **0001** – C (Cost) – вибір маршруту з мінімальною вартістю. Маршрутизатори будуть намагатися передавати дейтаграми по маршрутах з мінімальною вартістю передачі трафіка, наприклад, по локальних мережах або дешевими комутованими з'єднаннями (в протизагагу виділеним лініям з високими розцінками на передачу трафіка). Найкраще застосовувати в тих випадках, коли витрати на оплату трафіка потрібно звести до мінімуму.
- **1111** – вибір маршруту з максимальною безпекою. Маршрутизатори будуть намагатися передавати дейтаграми по маршрутах, які вважаються найбільше безпечними. Використаються заздалегідь задані критерії безпеки маршрутів. Застосовується для додатків, що працюють з підвищеним рівнем безпеки.



У дейтаграмі може бути встановлений тільки один з бітів D,T,R,C (виключення – випадок максимальної безпеки). Старший біт байта зарезервований.

Далеко не всі протоколи маршрутизації "розуміють" біти ToS. Нижче наведений список тих протоколів, які підтримують типи обслуговування:

- OSPF;
- EIGRP;
- IGRP;
- BGP;
- IS-IS;
- PNNI.

Наступні протоколи не підтримують ToS:

- RIP v.1;
- RIP v.2.

## **Поле «час життя»**

Поле «час життя» – TTL (Time To Live), довжина 8 біт. Значення поля визначає «час життя» дейтаграми. Установлюється відправником, вимірюється в секундах. Кожен маршрутизатор, через який проходить дейтаграма переписує поле TTL, попередньо віднімаючи з нього час, витрачений на обробку дейтаграми. Так як швидкість обробки на маршрутизаторах велика й на одну дейтаграму витрачається менше 1 сек., то фактично кожен маршрутизатор віднімає з TTL одиницю. При досягненні TTL=0 дейтаграма знищується, а відправникові посилається відповідне ICMP-повідомлення. Контроль поля TTL запобігає зацикленню дейтаграми в мережі.

# 1.8 Структура та основні елементи таблиць маршрутизації

Програмні модулі протоколу IP встановлюються на всіх кінцевих станціях і маршрутизаторах мережі. Для просування пакетів вони використовують таблиці маршрутизації [20, 21].

## 1.8.1 Приклади таблиць різних типів маршрутизаторів

Структура таблиці маршрутизації стека TCP/IP відповідає загальним принципам побудови таблиць маршрутизації, розглянутим вище. Однак важливо відзначити, що вигляд таблиці IP-маршрутизації залежить від конкретної реалізації стека TCP/IP.

Приведемо приклад трьох варіантів таблиці маршрутизації, з якими міг би працювати маршрутизатор M1 у мережі, наведеної на рис. 1.6.



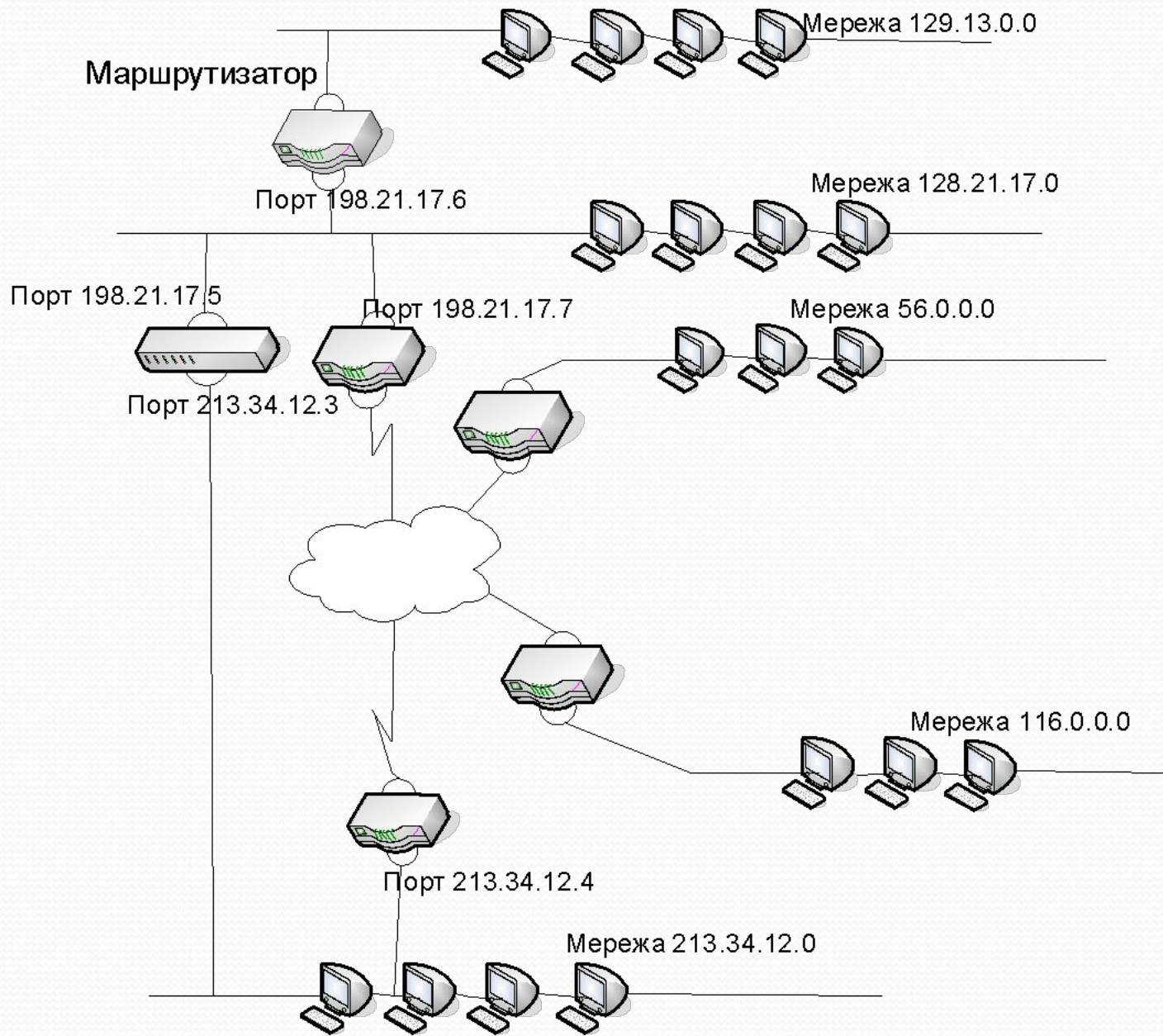


Рис. 1.6. Приклад мережі для пояснення таблиць маршрутизації

- Якщо вважати, що в якості маршрутизатора M1 у даній мережі працює штатний програмний маршрутизатор MPR операційної системи Microsoft Windows NT, то його таблиця маршрутизації буде мати такий вигляд (табл. 1.3);
- у випадку використання апаратного маршрутизатора NetBuilder II компанії 3Com (табл. 1.2) і
- для програмного маршрутизатора ОС Unix (табл. 1.4).
- Увага концентрується на істотних розходженнях у формі подання маршрутної інформації різними реалізаціями маршрутизаторів.



Таблиця 1.2 – Таблиця маршрутизації апаратного маршрутизатора NetBuilder II компанії 3Com

<b>Destination</b>	<b>Mask</b>	<b>Gateway</b>	<b>Metric</b>	<b>Status</b>	<b>TTL</b>	<b>Source</b>
198.21.17.0	255.255.255.0	198.21.17.5	0	Up	–	Connected
213.34.12.0	255.255.255.0	213.34.12.3	0	Up	–	Connected
56.0.0.0	255.0.0.0	213.34.12.4	14	Up	–	Static
116.0.0.0	255.0.0.0	213.34.12.4	12	Up	–	Static
129.13.0.0	255.255.0.0	198.21.17.6	1	Up	160	RIP

Таблиця 1.3 – Таблиця програмного маршрутизатора MPR Windows NT

<b>Network Address</b>	<b>Net mask</b>	<b>Gateway Address</b>	<b>Interface</b>	<b>Metric</b>
127.0.0.0	255.0.0.0	127.0.0.1	127.0.0.1	1
0.0.0.0	0.0.0.0	198.21.17.7	198.21.17.5	1
56.0.0.0	255.0.0.0	213.34.12.4	213.34.12.3	15
116.0.0.0	255.0.0.0	213.34.12.4	213.34.12.3	13
129.13.0.0	255.255.0.0	198.21.17.6	198.21.17.5	2
198.21.17.0	255.255.255.0	198.21.17.5	198.21.17.5	1
198.21.17.5	255.255.255.255	127.0.0.1	127.0.0.1	1
198.21.17.255	255.255.255.255	198.21.17.5	198.21.17.5	1
213.34.12.0	255.255.255.0	213.34.12.3	213.34.12.3	1
213.34.12.3	255.255.255.255	127.0.0.1	127.0.0.1	1
213.34.12.255	255.255.255.255	213.34.12.3	213.34.12.3	1
224.0.0.0	224.0.0.0	198.21.17.6	198.21.17.6	1
224.0.0.0	224.0.0.0	213.34.12.3	213.34.12.3	1
255.255.255.255	255.255.255.255	198.21.17.6	198.21.17.6	1

Таблиця 1.4 – Таблиця маршрутизації програмного маршрутизатора ОС Unix

<b>Destination</b>	<b>Gateway</b>	<b>Flags</b>	<b>Refcnt</b>	<b>Use</b>	<b>Interface</b>
127.0.0.0	127.0.0.1	UH	1	154	lo0
Default	198.21.17.7	UG	5	43270	le0
198.21.17.0	198.21.17.5	U	35	246876	le0
213.34.12.0	213.34.12.3	U	44	132435	le1
129.13.0.0	198.21.17.6	UG	6	16450	le0
56.0.0.0	213.34.12.4	UG	12	5764	le1
116.0.0.0	213.34.12.4	UG	21	23544	le1



## 1.8.2 Призначення і типи полів таблиці маршрутизації

Незважаючи на досить помітні зовнішні розходження, у всіх трьох таблиць є ключові параметри, необхідні для роботи маршрутизатора.

До таких параметрів, відносяться адреса мережі призначення (стовпці «Destination» у маршрутизаторах NetBuilder й Unix або «Network Address» у маршрутизаторі MPR) і адреса наступного маршрутизатора (стовпці «Gateway» у маршрутизаторах NetBuilder й Unix або «Gateway Address» у маршрутизаторі MPR).

Третій ключовий параметр – адреса порту, на який потрібно направити пакет, у деяких таблицях вказується прямо (поле «Interface» у таблиці Windows NT), а в деяких – побічно. Так, у таблиці Unix-маршрутизатора замість адреси порту задається його умовне найменування – *le0* для мережі Ethernet, *se0* – послідовний (serial) канал, тобто виділену лінію й *lo0* – інтерфейс зворотного зв'язку.

У маршрутизаторі NetBuilder II поле, що позначає вихідний порт у якій-небудь формі, взагалі відсутнє. Це пояснюється тим, що адресу вихідного порту завжди можна побічно визначити за адресою наступного маршрутизатора. Наприклад, спробуємо визначити по табл. 1.3 адресу вихідного порту для мережі 56.0.0.0. З таблиці випливає, що наступним маршрутизатором для цієї мережі буде маршрутизатор з адресою 213.34.12.4. Адреса наступного маршрутизатора повинна належати однієї з безпосередньо приєднаних до маршрутизатора мереж, і в цьому випадку це мережа 213.34.12.0. Маршрутизатор має порт, приєднаний до цієї мережі, і адресу цього порту 213.34.12.3 ми знаходимо в поле «Gateway» другого рядка таблиці маршрутизації, що описує безпосередньо приєднану мережу 213.34.12.0. Для безпосередньо приєднаних мереж адресою наступного маршрутизатора завжди є адреса власного порту маршрутизатора. Таким чином, адреса вихідного порту для мережі 56.0.0 – це адреса 213.34.12.3.

Інші параметри, які можна знайти в представлених версіях таблиці маршрутизації, є обов'язковими для ухвалення рішення про шлях проходження пакета.

Наявність або відсутність **поля маски** в таблиці говорить про те, наскільки сучасний даний маршрутизатор. Стандартним рішенням сьогодні є використання поля маски в кожному записі таблиці, як це зроблено в таблицях маршрутизаторів MPR Windows NT (поле «Netmask») і NetBuilder (поле «Mask»). Відсутність поля маски говорить про те, що або маршрутизатор розрахований на роботу тільки із трьома стандартними класами адрес, або він використовує для всіх записів ту саму маску, що знижує гнучкість маршрутизації.

У двох таблицях є **поле метрика**, однак воно використовується тільки як ознака безпосередньо підключеної мережі. Дійсно, якщо в таблиці маршрутизації кожна мережа призначення згадана тільки один раз, то поле метрики не буде прийматися в увагу при виборі маршруту, тому що вибір відсутній. А от ознака безпосередньо підключеної мережі маршрутизатору потрібна, оскільки пакет для цієї мережі обробляється особливим способом – він не передається наступному маршрутизатору, а відправляється вузлу призначення. Тому метрика 0 для маршрутизатора NetBuilder або 1 для маршрутизатора MPR просто говорить маршрутизатору, що ця мережа безпосередньо підключена до його порту, а інше значення метрики відповідає вилученій мережі. Вибір значення метрики для безпосередньо підключеної мережі є досить довільним, головне, щоб метрика віддаленої мережі відраховувалась з обліком цього обраного початкового значення.

Однак існують ситуації, коли маршрутизатор повинен обов'язково зберігати значення метрики для запису про кожну вилучену мережу. Ці ситуації виникають, коли записи в таблиці маршрутизації є результатом роботи деяких протоколів маршрутизації, наприклад протоколу RIP. У таких протоколах нова інформація про яку-небудь вилучену мережу порівнюється з існуючою в таблиці, і якщо метрика нової інформації краще існуючої, те новий запис витісняє існуючий. У таблиці Unix-маршрутизатора поле метрики відсутнє, і це значить, що він не використовує протокол RIP.



Прапори записів присутні тільки в **поле ознак** таблиці Unix-маршрутизатора. Вони описують характеристики запису.

- *U* (used) – показує, що маршрут активний і працездатний. Аналогічний зміст має поле «Status» у маршрутизаторі NetBuilder.

- *H* (host) – ознака специфічного маршруту до певного хосту. Маршрут до всієї мережі, до якої належить даний хост, може відрізнитися від даного маршруту.

- *G* (gateway) – означає, що маршрут пакета проходить через проміжний маршрутизатор. Відсутність цього прапора відзначає безпосередньо підключену мережу.

- *D* (reDirect) – означає, що маршрут отриманий з повідомлення Redirect (перенапрямок) протоколу ICMP. Ця ознака може бути присутня тільки в таблиці маршрутизації кінцевого вузла. Ознака означає, що кінцевий вузол у якійсь попередній передачі пакета вибрав не самий раціональний наступний маршрутизатор на шляху до даної мережі, і цей маршрутизатор за допомогою протоколу ICMP повідомив, що всі наступні пакети до даної мережі потрібно відправляти через інший наступний маршрутизатор. Протокол ICMP може посилати повідомлення тільки вузлу-відправникові, тому в проміжного маршрутизатора ця ознака зустрінися не може. Ознака ніяк не впливає на процес маршрутизації, вона тільки вказує адміністраторові джерело появи запису.

У таблиці Unix-маршрутизатора використовуються ще два поля, що мають довідкове значення. **Поле «Refcnt»** показує, скільки разів на даний маршрут посилалися при просуванні пакетів. **Поле «Use»** відображає кількість пакетів, переданих по даному маршруті.

У таблиці маршрутизатора NetBuilder також є два довідкових поля. **Поле часу життя «TTL»** (Time To Live) має сенс для динамічних записів, які мають обмежений строк життя. Поточне значення поля показує строк, що залишився, життя запису в секундах. **Поле «Source»** відбиває джерело появи запису в таблиці маршрутизації. Хоча це поле є не у всіх маршрутизаторах, але практично для всіх маршрутизаторів існують три основних джерела появи запису в таблиці.

### 1.8.3 Джерела й типи записів у таблиці маршрутизації

Першим джерелом є програмне забезпечення стека TCP/IP. При ініціалізації маршрутизатора це програмне забезпечення автоматично заносить у таблицю кілька записів, у результаті чого створюється так звана мінімальна таблиця маршрутизації [20].

По-перше, записи про безпосередньо підключені мережі й маршрутизатори за замовчуванням, інформація про які з'являється в стеці при ручному конфігуруванні інтерфейсів комп'ютера або маршрутизатора. До таких записів у наведених прикладах належать записи про мережі 213.34.12.0 й 198.21.17.0, а також запис про маршрутизатор за замовчуванням – *default* в Unix-маршрутизаторі й 0.0.0.0 у маршрутизаторі MPR Windows NT. У наведеному прикладі таблиці для маршрутизатора NetBuilder маршрутизатор за замовчуванням не використовується, отже, при надходженні пакета з адресою призначення, відсутньою у таблиці маршрутизації, цей пакет буде відкинутий.

По-друге, програмне забезпечення автоматично заносить у таблицю маршрутизації записи про адреси особливого призначення. У наведених прикладах таблиця маршрутизатора MPR Windows NT містить найбільш повний набір записів такого роду. Кілька записів у цій таблиці пов'язані з особливою адресою 127.0.0.0 (loopback), що використовується для локального тестування стека TCP/IP. Пакети, спрямовані в мережу з номером 127.0.0.0, не передаються протоколом IP на канальний рівень для наступної передачі в мережу, а повертаються в джерело – локальний модуль IP. Записи з адресою 224.0.0.0 потрібні для обробки групових адрес (multicast address). Крім того, у таблицю можуть бути занесені адреси, призначені для обробки ширококомовних розсилок (наприклад, записи 8 й 11 містять адреса відправлення ширококомовного повідомлення у відповідних підмережах, а останній запис у таблиці – адреса обмеженого ширококомовного розсилання повідомлення). Помітимо, що в деяких таблицях записи про особливі адреси взагалі відсутні.



Другим джерелом появи запису в таблиці є адміністратор, що безпосередньо формує запис за допомогою деякої системної утиліти, наприклад програми route, існуючої в операційних системах Unix й Windows NT. В апаратних маршрутизаторах також завжди є команда для ручного завдання записів таблиці маршрутизації. Задані вручну записи завжди є статичними, тобто не мають строку витікання життя. Ці записи можуть бути як постійними, тобто такими, що зберігаються при перезавантаженні маршрутизатора, так і тимчасовими, що зберігаються в таблиці тільки до вимикання пристрою. Часто адміністратор вручну заносить запис *default* про маршрутизатор за замовчуванням. У такий же спосіб у таблицю маршрутизації може бути внесений запис про специфічний для вузла маршрут. Специфічний для вузла маршрут містить замість номера мережі повну IP-адреса, тобто адресу, що має ненульову інформацію не тільки в полі номера мережі, але й у полі номера вузла. Передбачається, що для такого кінцевого вузла маршрут повинен вибиратися не так, як для всіх інших вузлів мережі, до якої він ставиться. У випадку, коли в таблиці є різні записи про просування пакетів для всієї мережі і її окремого вузла, при надходженні пакета, адресованого вузлу, маршрутизатор віддасть перевагу запису з повною адресою вузла.

Третім джерелом записів можуть бути протоколи маршрутизації, такі як RIP або OSPF. Такі записи завжди є динамічними, тобто мають обмежений строк життя. Програмні маршрутизатори Windows NT й Unix не показують джерело появи того або іншого запису в таблиці, а маршрутизатор NetBuilder використовує для цієї мети поле «Source».

Для побудови таблиці шляхом використання протоколів маршрутизації й за допомогою передачі різноманітних повідомлень маршрутизатори повинні мати можливість обмінюватися один з одним службовою інформацією.

Одним з таких повідомлень є повідомлення про зміну маршрутизації (routing update message). Таке повідомлення являє собою таблицю маршрутизації або її частину. Аналізуючи повідомлення про зміни маршрутизатор може створити повну картину топології мережі й визначити найкращий шлях до місця призначення.

## Питання для самоконтролю.

1. Поясніть, що розуміють під термінами «маршрутизатор», «маршрутизація»?
2. Які етапи та кроки містить процес маршрутизації?
3. Перелічіть цілі, що ставляться при розробці алгоритмів маршрутизації.
4. Наведіть основні характеристики маршрутизаторів.
5. Поясніть термін «метрика». Наведіть основні метрики, та приведіть приклади протоколів, що їх використовують.