Когато един пакет пристигне на входна линия на даден маршрутизатор, той трябва да избере на коя изходна линия да предаде този пакет. За целта се използват маршрутизиращи алгоритми.

За да могат потребителите на различни мрежи да комуникират помежду си се използват специални устройства, наречени шлюзове (**gateway**). Те реализират свързване на различни мрежи, които могат да използват различни технологии. Съвкупност от такива свързани мрежи се нарича **интернет**.

Най-популярен пример е световната мрежа Интернет (**Internet**).

**Дейтаграмата** представлява пакет, който се предава от източника към приемника, съгласно указан в него адрес, без маршрутът да е определен предварително. Комуникационната подмрежа не гарантира на приемника същата последователност на получаване на дейтаграмите, каквато е използвана при изпращането - след като получи всички дейтаграми приемникът оформя съобщението.

Каналите са три вида - **симплексни**, **полудуплексни** и **дуплексни**. Дуплексните канали позволяват едновременно предаване в двете посоки. Полудуплексните канали позволяват предаване и в двете посоки, но в даден момент може да се предава само в една посока. Симплексните канали позволяват предаване само в една посока.

Каналното ниво взима пакетите, които му се подават от мрежовото ниво и ги затваря в кадри.

Всеки кадър се състои от заглавна част (header), поле за данни, което съдържа пакета и опашка (trailer). Дължината на кадъра обикновено е ограничена отгоре.

Най-общата услуга, която каналното ниво предоставя е надеждното прехвърляне на данни между мрежовото ниво на източника и мрежовото ниво на получателя (всъщност самото предаване се извършва от физическото ниво, но това остава невидимо за мрежовото ниво). Основните варианти на тази услуга са: непотвърдено неуставено обслужване, потвърдено неустановено обслужване и потвърдено установено обслужване.

**Протокол PPP**

Протоколът PPP (Point-to-Point Protocol) е протокол за двуточкова връзка. Този протокол се използва за свързване на домашни компютри до доставчици на Интернет услуги по телефонна линия.

Протоколът PPP е байтово-ориентиран и за идентифициране на кадрите се използва техниката вмъкване на байтове.

При PPP няма индивидуални адреси на станциите, затова полето *Address* съдържа 11111111, което означава адресите на всички станции.

Мрежите с общодостъпно предаване се характеризират с общ комуникационен канал, който се споделя от всички машини, включени в мрежата.

Всеки изпратен кадър минава през общия канал и достига до всички машини в мрежата. Адресно поле в кадъра посочва за кой е предназначен този кадър. Когато една машина получи кадър, тя проверява дали той е предназначен за нея. Ако това е така, кадърът се приема и обработва, в противен случай се отхвърля.

Най-разпространената локална мрежа е **Ethernet**. Тя е описана в стандарта 802.3, издаден от ΙΕΕΕ (Institute of Electrical and Electronic Engineers) през 70-те години. Един персонален компютър се свързва в Ethernet мрежа с помощта на NIC (Network Interface Card) - това е каналната станция, която осъществява обмена по Ethernet канала.

Форматът на кадрите в Ethernet е следния:



**Хъб**

Ако хъбът получи кадър по някоя линия, той изпраща този кадър по всички останали линии. Важно е да се отбележи, че хъбът не знае адресите на каналните станции.

Хъбът е пример за устройство, чрез което се препредават кадри от един кабел към друг. Той работи на физическо ниво (1во).

**Повторител**

Друго подобно устройство на физическо ниво (1во) е **повторителят** (repeater).

Той приема сигнал на единия си порт, усилва го и предава сигналът на другия си порт. По този начин може да се увеличи максималната дължина на кабела в една локална мрежа.

**Мостът** **(bridge)**

е устройство, което работи на канално ниво (2ро) и служи за свързване на няколко локални мрежи. За разлика от повторителите и хъбовете, мостът анализира получените кадри. Той прочита адреса на получателя и по него определя към коя изходна линия да изпрати кадъра (за целта се поддържа специална таблица). Ще отбележим, че мостът предава кадъра само към определената от него изходна линия, а не по всички изходни линии.

**Превключвател** **(switch)**

Подобно устройство е **превключвателят** (switch) - той също прочита адресите на постъпилите в него кадри. Преключвателите най-често се използват, когато на всяка линия има по една канална станция. Всяка линия е самостоятелна, така че кадри не могат да бъдат изгубени поради колизии. За сметка на това в превключвателя трябва да има достатъчно буферно пространство за да може да се препращат кадрите. По-добра алтернатива е използването на **cut-through превключвател**, който препраща кадъра към съответната изходна линия (стига тя да е свободна) веднага след като е прочетен адресът на получателя.

**Маршрутен алгоритъм** е част от софтуера на мрежовото ниво, който определя по коя от изходните линии да се изпрати пристигнал пакет. За целта всеки маршрутизатор притежава **маршрутна таблица**.

Ако мрежата е с дейтаграми, решението трябва да се взима наново за всяка пристигнала дейтаграма, тъй като оптималният маршрут може да се е променил след последното изпращане. Ако мрежата използва виртуални канали, решенията по маршрутизацията се взимат само когато се създава виртуалният канал. Всички пристигнали пакети следват установения маршрут.

Маршрутизиращите алгоритми са два вида - **неадаптивни** и **адаптивни**. При неадаптивните алгоритми маршрутизацията не се извършва на базата на текущата топология на мрежата. Маршрутите между всеки два възела в мрежата се изчисляват предварително и маршрутните таблици се попълват ръчно от мрежовите администратори. При промяна на топологията на мрежата (например при отпадане на възел или на връзка), администраторите ръчно трябва да променят маршрутните таблици, така че всеки два възела да останат свързани.

Това прави неадаптивните алгоритми приложими само в малки мрежи, При маршрутизацията с **вектор на разстоянието** (distance vector routing) всеки маршрутизатор изгражда и поддържа маршрутна таблица, в която всеки ред съдържа адрес на дадено местоназначение, адрес на следващата стъпка към това местоназначение по най-добрия известен до момента път и дължината на този път. Маршрутизаторите разменят само с директно свързаните към тях съседни маршрутизатори съобщения с информация от маршрутните си таблици за всички възли в мрежата.

Предполага се, че всеки маршрутизатор знае метриката на връзките до своите съседи. Ако метриката е брой хопове, разстоянието до всеки съсед е 1. Ако метриката е натоварване на възела, разстоянието до всеки съсед е броя на пакетите в изходящата опашка към този пакет. Ако метриката е време-закъснение, маршрутизаторът периодично изпраща “ехо” пакети до съседните му маршрутизатори и измерва закъснението на техния отговор.

Неадаптивните алгоритми се наричат още **статични**.

При адаптивните алгоритми маршрутните таблици се променят динамично за да отразяват промени в топологията и натовареността на трафика.

При маршрутизирането със следене състоянието на връзката

(link state routing), всеки маршрутизатор трябва да извършва следните пет основни действия:

1. Откриване на съседните маршрутизатори и техните мрежови адреси.
2. Измерване на цените на връзките до съседните маршрутизатори.
3. Конструиране на пакети с информация за състоянието на връзките.
4. Изпращане на тези пакети до всички останали маршрутизатори.
5. Изчисляване на най-късия път до всеки маршрутизатор в мрежата.

От гледна точка на мрежовото ниво Internet е съвкупност от **автономни системи** (**AS**). Всяка автономна система се състои от една или повече мрежи. В рамките на една автономна система има фиксирани правила за предаване и фиксиран размер на пакета. Internet всъщност изгражда правила за връзка между отделните автономни системи. За целта се използва протоколът **IP** (internet protocol). Между автономните системи данните се придвижват под формата на **дейтаграми**. Задачата на IP е да извърши успешно предаване на дейтаграмите от източника до получателя без значение дали те са в една и съща мрежа или в различни мрежи.

Комуникацията в Internet най-общо се извършва по следния начин: транспортното ниво взима потоци от байтове и ги разделя на дейтаграми. Дейтаграмите могат на теория да достигнат 64Kb, но на практика те не са по-големи от 1500b. Всяка дейтаграма се изпраща самостоятелно, като по пътя тя може да се фрагментира на по-малки единици. Когато тези единици достигнат до получателя те се реасемблират от мрежовото ниво за получаване на оригиналната дейтаграма. По-нататък тази дейтаграма се подава на транспортното ниво на получателя, което я вмъква в съответния поток от байтове.

**Заглавна част (header) на дейтаграма:**



Флагът DF(don’t fragment) указва на маршрутизаторите да не фрагментират дейтаграмата. Всички автономни системи трябва да могат да приемат фрагменти от поне 576B. Ако размерът на фрагментите е по-голям и флагът DF е 1, то дейтаграмата може да пропусне някоя автономна система с по-малка дължина на пакета, дори тя да се намира на оптималния маршрут.

Флагът DF(don’t fragment) указва на маршрутизаторите да не фрагментират дейтаграмата. Всички автономни системи трябва да могат да приемат фрагменти от поне 576B. Ако размерът на фрагментите е по-голям и флагът DF е 1, то дейтаграмата може да пропусне някоя автономна система с по-малка дължина на пакета, дори тя да се намира на оптималния маршрут.



В клас A са възможни 127 мрежи, всяка с приблизително 16000000 хоста.

В клас B са възможни приблизително 16000 мрежи, всяка с приблизително 65000 хоста.

В клас C са възможни приблизително 2000000 мрежи, всяка с по 254 хоста.

Клас D е предназначен за работа с групови адреси, а клас E е резервиран за бъдеща употреба.

За имплементация на подмрежите маршрутизаторите се нуждаят от **мрежова маска**, която определя границата между номера на мрежата + номера на подмрежата и номера на хоста.

Всеки маршрутизатор има таблица с два вида IP-адреси. Едните са от вида (номер на мрежа, 0) и те указват как се стига до други мрежи, а вторите са от вида (номер на тази мрежа, номер на хост) и те указват как се стига до хостовете в мрежата на маршутизатора. Когато пристигне IP-пакет неговият адрес на получател се преглежда. Ако пакетът е за друга мрежа, той се пренасочва към съответния маршрутизатор, ако е за тази мрежа той се изпраща към съответния хост. Ако пакетът е за неизвестна мрежа, той се предава към маршрутизаторът по премълчаване.

За адресация в Internet се използват 32-битови IP-адреси. Хостовете, свързани към локална мрежа Ethernet, притежават уникални 48-битови физически адреси от тази мрежа. При опаковането в Ethernet кадри на IP дейтаграми, за всяка от които е известен IP адреса на хоста-получател, в полето “адрес на получателя” на Ethernet кадъра трябва да се запише Ethernet адреса на съответния хост. За установяване на съответствието между IP адреса и Ethernet адреса на хостовете в локалната мрежа се използва протокол за право преобразуване на адресите **ARP** (address resolution protocol).

**RIP** (routing information protocol) e широко използван маршрутизиращ протокол с вектор на разстоянието. Той е подходящ предимно за малки мрежи, в които относително рядко настъпват промени в топологията.

Всеки ред в маршрутната таблица на RIP маршрутизаторите съдържа информация за направлението, следваща стъпка към това направление и метрика. Метриката обозначава разстоянието в стъпки до местоназначението, т.е. метриката използвана от RIP протокола е брой хопове.

Както повечето маршрутизиращи протоколи, RIP също използва таймери. Обикновено на всеки 30 секудни се изпраща копие на маршрутната таблица към съседните маршрутизатори. Този интервал се задава от таймера за обновяване (route update timer) и е общ за всички маршрути. Таймерът за невалиден маршрут (route timeout timer) определя интервала от време, след който даден маршрут се счита за невалиден, ако маршрутизаторът не е получил съобщения за него. Когато даден път бъде отбелязан като невалиден, се изпращат съобщения с тази информация към съседните маршрутизатори и се преустановява използването му. Тези съобщения се изпращат до изтичането на таймера за изтриване на маршрут (garbage-collection timer), след което пътя се изтрива от маршрутната таблица.

Първата версия на RIP не поддържа подмаски, т.е. от гледна точка на IP не поддържа подмрежи, затова в края на 80-те години се разработва втора версия на RIP.

Максималният брой хопове в RIP е 15. Всяко местоназначение, което е на разстояние над 15 хопа се приема за недостижимо. Това прави невъзможно прилагането на RIP в мрежи с диаметър над 15 хопа, но ограничава ситуацията “броене до безкрайност”, при която могат да се получат цикли в маршрутите.

Във версията RIP-2 са избегнати някои от недостатъците на RIP-1, но тя продължава да бъде приложима само в малки мрежи поради ниския максимален брой хопове и сравнително ниската и скорост на сходимост. Въпреки наследените от RIP-1 недостатъци и наличието на протоколи, в които те са избегнати, протоколът RIP-2 продължава да се използва, тъй като е лесен за реализация и конфигуриране и се нуждае от сравнително малко машинни и мрежови ресурси.

Маршрутизаторът представлява специализирано устройство, което дава възможност за свързване на различни типове физически мрежи. Основни функции на маршрутизатора са определяне за всеки получен пакет на най-добрия маршут до хоста-получател на пакета и препредаване на този пакет към следващия маршрутизатор по този маршрут. Последният маршрутизатор от пътя препредава пакета директно към хоста-получател. Информацията за най-добрите маршрути се съхраняват в маршрутни таблици. За определяне на най-добрия маршрут маршрутизаторите обменят помежду си информация, като за оценка използват различна метрика. Обикновено тази метрика включва следните величини: дължина на пътя, надеждност, закъснение на пакета при предаването от източника до получателя, пропусквателна способност на комуникационните линии, натоварване на маршрутизаторите, цена на комуникационните линии.

Протоколът **OSPF** (open shortest path first) е разработен за IP мрежи и използва алгоритъма за маршрутизиране със следене състоянието на връзката (link state).

OSPF маршрутизаторите поддържат топологични бази данни с информация за състоянието на връзките в мрежата. Тези бази данни периодично се обновяват посредством обмен на съобщения за състоянието на връзките и съдържат входните данни за алгоритъма на Дейкстра, който се изпълнява от всеки маршрутизатор. В резултат от неговото изпълнение, всеки OSPF маршрутизатор намира най-късите от своя гледна точка пътища до всички известни местоназначения в мрежата.

Важна особеност на OSPF е йерархичното разделяне на автономните системи на **области** (**area**). Връзките между различните области се осъществяват задължително през **опорна мрежа** (**backbone**), която е особена област с номер 0. Според принадлежността към OSPF областите различаваме 4 вида маршрутизатори:

* **вътрешни** маршрутизатори (**internal routers**), всичките интерфейси на които са свързани към мрежи от една OSPF област;
* **областни гранични** маршрутизатори (**area border routers**), интерфейсите на които са свързани към мрежи от две или повече OSPF области, една от които задължително е опорната мрежа. Тези маршрутизатори поддържат топологични бази данни с информация за състоянието на връзките в областите, към които са свързани, и изпълняват алгоритъма на Дейкстра поотделно за всяка от тях;
* **опорни** маршрутизатори (**backbone routers**), на които поне един от интерфейсите е свързан с опорната мрежа на област 0. Опорните маршрутизатори могат да бъдат областни гранични маршрутизатори, но това не е задължително;
* **гранични за автономната система** маршрутизатори (**AS boundary routers**), които са свързани към поне две различни автономни системи и изпълняват освен OSPF друг външен маршрутизиращ протокол (например BGP).

OSPF поддържа три вида различни връзки:

* връзка от тип “точка-точка” между два маршрутизатора;
* многоточкови мрежи с broadcast (например, повечето LAN);
* многоточкови мрежи без broadcast (например, повечето WAN с комутация на пакети).

OSPF работи чрез обмяна на информация между прилежащи маршрутизатори, което не е същото като съседни маршрутизатори. Това се прави, тъй като не е ефективно всеки два маршрутизатора да обменят данни.

В рамките на една автономна система се използват вътрешни протоколи за маршрутизиране, например RIP или OSPF. Тяхната цел е максимално бързо и ефективно да предават пакети от източника до получателя.

За маршрутизиране между различни автономни системи се използват външни маршрутизиращи протоколи. Такъв протокол е **BGP** (border gateway protocol). В него се залага на политиката на маршрутизация – например, най-прекият път между две автономни системи не винаги е разумен. В политиката се включват икономически, административни и други фактори. Примери за политически ограничения:

* да не се позволява транзитен трафик през дадена автономна система;
* трафикът за Пентагона да не минава през Ирак;
* трафикът, започващ или свършващ в IBM да не минава през Microsoft.

Политическите ограничения се конфигурират ръчно и не са част от BGP протокола.

От гледна точка на един BGP маршрутизатор, светът се състои от автономни системи, свързани с линии. Две автономни системи са свързани, ако има линия между гранични маршрутизатори във всяка от тях. От гледна точка на транзитния трафик BGP мрежите се делят на три вида:

* stub мрежи – те имат само една връзка в BGP графа и не могат да се използват за транзитен трафик;
* multiconnected мрежи – те могат да се използват за транзитен трафик, но самите те отказват да го правят;
* transit networks – например опорните мрежи, които пренасят транзитен трафик, обикновено срещу заплащане.

BGP протокола се базира на алгоритъма с вектор на разстоянието, но се различава доста от него. Вместо да се поддържа само цената към всяко местоназначение, всеки BGP маршрутизатор поддържа целия път към местоназначението. Освен това, вместо периодично да подава на съседите си цените до местоназначенията, всеки BGP маршрутизатор подава на съседите си целите пътища, които те използват. Това има смисъл, тъй като графът с възли автономните системи не е безмерно голям.

за **трикратно договаряне** (three-way handshake). Да предположим, че крайните абонати A и B искат да установят връзка. Изпълняват се следните три стъпки:

1. A изпраща заявка, че иска да установи съединение – указва размера на буферите, брой на буферите, скоростта на предаване и др. Тази заявка е специално служебно съобщение на транспортно ниво. За мрежовото ниво заявката е обикновен пакет. Съобщението може да стигне до B, но може и да не стигне. За целта A си включва таймер и ако той изтече преди да се получи отговор от B, A изпраща заявката наново. След три неуспешни опита A решава, че B е недостъпен и се отказва;
2. B отговаря на A, като включва в отговора собствени параметри за връзката;
3. A потвърждава съединението на B. Това потвърждение е необходимо, тъй като B трябва да знае, че A е получил отговора. След успешно получаване на потвърждаване A и B заделят заявените ресурси.

Прекратяването на връзката също се извършва с трикратно договаряне.

Интернет слоя дефинира формат на пакета и съответен протокол, наречен интернет протокол **IP** (internet protocol). Една от неговите функции е да доставя IP пакетите до исканото местоназначение. Комутирането на пакетите е друга важна задача на този слой, както и предотвратяването на претоварвания в мрежата. Поради тази причина може да се каже, че интернет слоя е подобен във функционално отношение на мрежовия слой от OSI модела.

Първият протокол е **TCP** (transmission control protocol), който предоставя надеждно обслужване с установена връзка. Този протокол позволява потокът от байтове, изпратен от една машина да бъде предаден без грешка до произволна друга машина. В хоста-източник той фрагментира потока от байтове в отделни съобщения, които предава на интернет слоя. В хоста-получател транспортният слой реасемблира приетите съобщения в изходящ поток от байтове. TCP също така управлява потока от съобщения по такъв начин, че машината, която изпраща съобщения с по-висока скорост, да не препълни машината, която получава тези съобщения, но работи с по-ниска скорост. Вторият протокол на транспортния слой е **UDP** (user datagram protocol). Той осигурява ненадеждно обслужване с неустановена връзка. UDP се използва при приложения, които не изискват механизмите на TCP протокола за запазване от последователността на съобщенията и управление на потока от информация – например при предаване на звук.

При TCP/IP модела няма сесиен и представителен слой, тъй като няма необходимост от това.

Над транспортното ниво е **приложният слой**, който включва протоколи за различни приложения. Такива са TELNET (виртуалните терминали), FTP (обмен на файлове), SMTP (електронна поща), DNS (съответствие между име на хост и неговия IP адрес), NNTP (трансфер на USENET новини), HTTP (обмен на уеб-страници) и др.