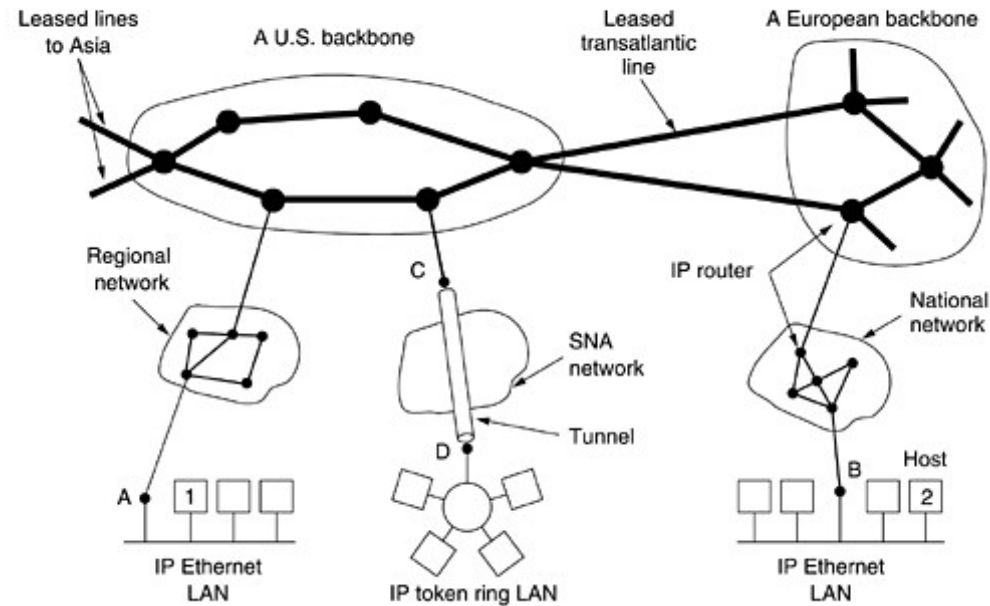


Mrežni sloj na Internetu

Ciljevi:

1. Mora da radi
 2. Jednostavnost
 3. Jasan izbor
 4. Modularnost
 5. Heterogenost
 6. Izbegavati statičke opcije i parametre
 7. Projekat ne mora da bude savršen
 8. Poštovati pravila pri slanju paketa, gledati kroz prste pri prijemu
 9. Skalabilnost mreže
 10. Performanse i cena
-
- Čitav Internet na okupu drži protokol mrežnog sloja, tzv. **protokol IP** (*Internet Protocol*). Za razliku od nekih starijih protokola, IP je od početka projektovan za međumrežni rad.
 - Dakle, zadatak IP protokola je da na najbolji način (naravno, ne garantovano) **obezbedi prenos datagrama od izvorišta do odredišta, bez obzira da li se računari nalaze na istoj mreži** ili se i druge mreže nalaze između njih.

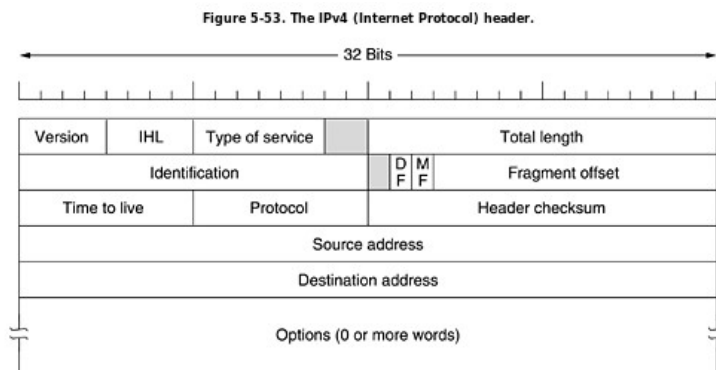
Figure 5-52. The Internet is an interconnected collection of many networks.



- Komunicira se tako što transportni sloj preuzima tokove podataka i deli ih u datagrame veličine do 64KB. Svaki datagram se prenosi Internetom i usput možda deli na manje fragmente. Kada svi delovi datagrama konačno stignu na odredište, mrežni sloj od njih sklapa originalni datagram.
- Na slici paket od računara 1 do računara 2 prolazi kroz 6 mreža, a taj broj je u praksi i veći.

2. Protokol IP

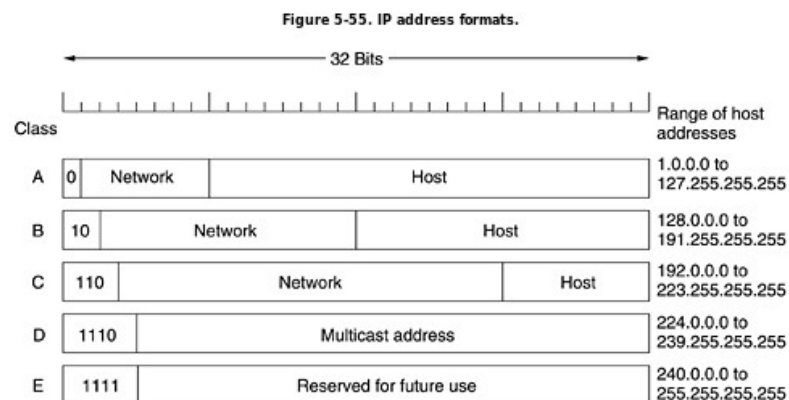
- IP datagram sadrži zaglavlje i deo sa podacima. Zaglavlje ima fiksni deo od 20 bajtova i opcioni deo promenljive dužine. Format zaglavlja prikazan je na slici, a prenosi se “big-endian” redosledom.



- U polju **Version** nalazi se verzija protokla kojem pripada datagram. Trenutno aktuelne su verzije 4 i 6 (IPv4 i IPv6).
- Pošto dužina zaglavlja nije fiksna, postoji polje **IHL (Internet Header Length)** u kome se beleži dužina zaglavlja u 32-bitnim rečima.
- Type of service** je 6-bitno polje koje služi za određivanje kvaliteta usluge.
- U polju **Total Length** čuva se ukupna dužina datagrama, tj. zaglavlje+podaci. Maksimalna dužina je 65535 bajtova (jer je polje dužine 16 bita), ali u praksi ne prelazi 1500 bajtova što je maksimalna dužina Ethernet okvira.
- Polje **Identification** određuje kom datagramu odgovara pristigli fragment, dok je bit **DF (Don't Fragment)** uključen ako datagram ne sme da se fragmentira, a **MF (More Fragments)** označava da još fragmenata treba da usledi. **Fragment offset** definiše redni broj fragmenta.
- Time to live** polje ograničava trajanje paketa na mreži (početno 255). Brojač smanjuje vrednost pri svakom skoku, kao i pri zadržavanju u redu. Postojanje ovog polja sprečava pojavu zalutalih paketa koji “večno” kruže mrežom.
- Najčešće vrednosti polja **Protocol** su TCP ili UDP indentifikatori.
- Header checksum** ima istu funkciju kao u sloju veze - proveru ispravnosti zaglavlja.
- Polje **Opcije** prihvata informacije koje nose novije verzije protokola. Ovaj prostor omogućava da se isprobaju nove ideje i ugrade opcije koje se retko koriste.
- Poseban odeljak posvećen je IP adresama.

3. IP adrese

- Svaki računar i svaki ruter na Internetu imaju svoju **jedinstvenu IP adresu** koja obuhvata broj njihove mreže i broj računara. Dužina adresa je 32 bita (4 bajta) i uklapa se u polja *Source Address* i *Destination Address* IP zaglavlja.
- Treba naglasiti da se **IP adresa u stvari odnosi na mrežni interfejs**, a ne na računar! Dakle, računar sa dva NIC-a (*Network Interface Controller*) ima dve IP adrese.
- Već više decenija se IP adrese grupišu u 5 kategorija prikazanih na slici.



- Formati klasa A, B, i C omogućavaju:
 - **A**: 128 mreža sa po 16 miliona računara
 - **B**: 16384 mreže sa po 64K računara
 - **C**: 2 miliona mreža (npr. lokalnih) sa po 256 računara (neke od njih su specijalne).
- Podržano je i višesmerno emitovanje (*multicast*). Adrese koje počinju sa 1111 rezervisane su za buduću upotrebu.
- Na Internet je danas povezano preko $5 \cdot 10^5$ mreža i taj broj raste. Brojeve mreža dodeljuje organizacija **ICANN** (*Internet Corporation for Assigned Names and Numbers*).
- Mrežne adrese obično se pišu **decimalnom notacijom s tačkom**, npr. 147.91.204.77. Brojevi idu od 0 do 255.
- Vrednosti 0 i -1 (sve jedinice) imaju specijalno značenje, što se vidi sa slike.

Figure 5-56. Special IP addresses.

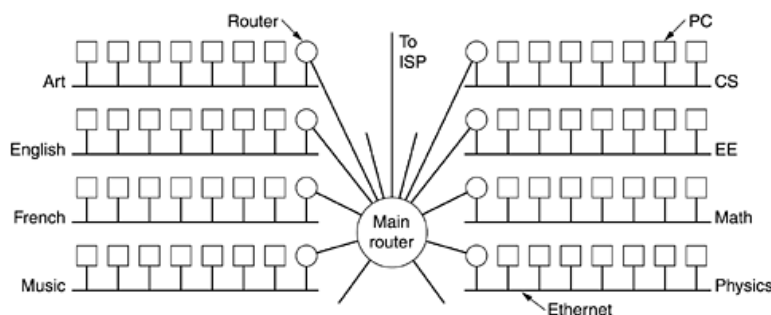
0 0	This host	
0 0 ... 0 0	Host	A host on this network
1 1	Broadcast on the local network	
Network	1 1 1 1 ... 1 1 1 1	Broadcast on a distant network
127	(Anything)	Loopback

- Adresu 0.0.0.0 koriste računari u fazi uključivanja. IP adresa sa brojem mreže 0 označava tekuću mrežu. Adresa koja se sastoji od samih jedinica omogućava difuzno slanje paketa svim hostovima na sopstvenoj mreži, dok četvrta varijanta u tabeli šalje paket svim hostovima na udaljenoj mreži. Konačno, 127.xx.yy.zz rezervisane su za testiranje povratnom petljom (localhost ili 127.0.0.1).

4. Podmreže

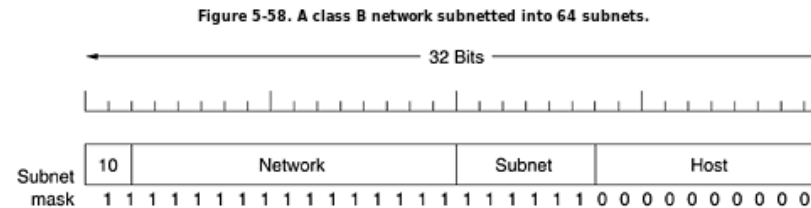
- Kao što je već objašnjeno, svi **računari na istoj mreži moraju imati isti mrežni broj. To pravilo adresiranja može stvoriti probleme prilikom rasta mreža.**
- Primera radi, svi univerziteti u Srbiji su deo jedne velike mreže klase B (147.91.*.*), što se lako vidi iz binarnog zapisa $147_{10} = \underline{100}10011_2$. Međutim, to nije jedinstvena Ethernet mreža, već skup većeg broja manjih mreža.
- Tipična mreža na jednom univerzitetu izgleda kao na slici. Svaka lokalna mreža je sa glavnim ruterom povezana preko svog lokalnog rutera.

Figure 5-57. A campus network consisting of LANs for various departments.



- U literaturi se delovi velike mreže (u ovom slučaju to su pojedinačne Ethernet mreže) nazivaju **podmrežama (subnets)**.

- Kada IP paket stigne do glavnog rutera (*Main router* na slici), kako on da zna gde da ga pošalje? Jedan od načina bi bio da glavni ruter sadži 65536 odrednica za svaki računar/ruter na mreži klase B. Međutim, tu ogromnu tabelu bi bilo dosta nezahvalno održavati. Primera radi, to bi bilo kao kada bi za svaki novi računar na PMF-u u Kragujevcu morao da se kontaktira administrator glavnog rutera na Univerzitetu u Beogradu.
- U praksi se radi drugačije. Umesto da se zadrži jedinstvena adresa klase B sa 14 bitova za mrežu i 16 za računar, od računarskih bitova se deo uzima za označavanje podmreže. Na primer, uzme se 6 bitova za podmrežu, a ostane 10 bitova za računar, kao na slici.



- U primeru sa slike moguće su $2^6=64$ podmreže sa po $2^{10}-2=1022$ računara (0 i -1 su rezervisani).
- **Maska podmreže (subnet mask)** naznačava podelu bitova između mreže+podmreže i računara. Za primer na slici, maska se može pisati kao 255.255.252.0 ili alternativno /22, što znači da je maska podmreže dugačka 22 bita.
- Podela na podmreže nije vidljiva izvan glavne mreže, pa ne treba tražiti dozvolu od ICANN.
- U gornjem primeru, prva podmreža bi mogla koristiti IP adrese počev od 147.91.4.1, druga bi počela od 147.91.8.1, treća od 147.91.12.1 itd. Zašto je to tako može se videti iz binarnog zapisa:
 Subnet 1: 10000010 00110010 000001|00 00000001
 Subnet 2: 10000010 00110010 000010|00 00000001
 Subnet 3: 10000010 00110010 000011|00 00000001
- Vertikalna crta odvaja broj mreže od broja računara.
- Rezultat podele u podmreže je mnogo fleksibilnije adresiranje, jer sada **glavni ruter treba samo da sadrži tabelu podmreža, ali ne i računara unutar njih.**

5. CIDR - Besklasno međudomensko usmeravanje

- **IP protokol verzije 4** se koristi već decenijama, međutim, u poslednje vreme se javlja problem nedostatka adresa. Opšte rešenje ovog problema je prelazak na **IPv6** protokol koji koristi 128-bitne adrese.
- Međutim, šta je glavni uzrok problema? **Neefikasno korišćenje postojećeg adresnog prostora čiji je glavni krivac organizacija u klase.**
- Najveći rasipnik je, konkretno, klasa B jer je za većinu firmi C klasa (256 adresa) premala, dok je 65536 adresa klase B dovoljno i za buduća proširenja. U stvarnosti, klasa B je prevelika za većinu organizacija. Ispitivanja su pokazala da čak polovina mreža klase B ima manje od 50 računara!
- Rešenje koje je realizovano i koje je omogućilo da se bar neko vreme predahne je **besklasno međudomensko usmeravanje (CIDR-Classless InterDomain Routing)**. Osnovna zamisao je da se preostali nedodeljeni prostor podeli u blokove različite veličine, ne vodeći računa o klasama.
- Tehničko izvedba radi na sledeći način. **Svaka odrednica rutinng table se proširuje 32-bitnom maskom** koja se koristi za bliže određivanje rutiranja.
- Posmatrajmo primer u kome su raspoložive desetine hiljada adresa počev od 194.24.0.0. Taj prostor je podeljen između univerziteta Kembridž, Edinburg i Oksford na sledeći način:

Figure 5-59. A set of IP address assignments.

University	First address	Last address	How many	Written as
Cambridge	194.24.0.0	194.24.7.255	2048	194.24.0.0/21
Edinburgh	194.24.8.0	194.24.11.255	1024	194.24.8.0/22
(Available)	194.24.12.0	194.24.15.255	1024	194.24.12/22
Oxford	194.24.16.0	194.24.31.255	4096	194.24.16.0/20

- Rutinng table širom sveta su sada ažurirane novim odrednicama, koje u binarnom obliku izgledaju ovako:

	Address	Mask
C:	11000010 00011000 00000000 00000000	11111111 11111111 11111000 00000000
E:	11000010 00011000 00001000 00000000	11111111 11111111 11111100 00000000
O:	11000010 00011000 00010000 00000000	11111111 11111111 11110000 00000000

Šta se događa kada stigne paket sa odredišnom adresom 194.24.17.4 koja u binarnom zapisu izgleda kao:

11000010 00011000 00010001 00000100

Taj niz se najpre AND-uje sa maskom Kembridža, pri čemu se dobija:

11000010 00011000 00010000 00000000

Ta vrednost se ne poklapa sa osnovnom adresom Kembridža, pa se proverava dalje. AND-ovanjem sa Edinburškom maskom se ne dobija

osnovna adresa Edinburga, ali se sprovođenjem istog postupka dobija osnovna adresa Oksforda, pa ako se u tabeli ne nađe još neka odrednica koja odgovara, **paket šalje na Oksford.**

- Kada npr. softver rutera na Univerzitetu u Kragujevcu (koji ima dve izlazne linije ka Univerzitetu u Beogradu i Univerzitetu u Nišu) dobije tri nove odrednice (Kembridž, Edinburg , Oksford) zapaža da sve tri može da kombinuje u jedinstvenu **grupnu odrednicu (*aggregate entry*)** 194.24.0.0/19, jer sve tri se usmravaju na istu izlaznu liniju. Ta grupna odrednica ima sledeću binarnu adresu i masku pod mreže:

11000010 00011000 00000000 00000000 11111111 11111111 11100000 00000000

- Tada ruter zna da pakete namenjene bilo kom od ova tri univerziteta šalje npr. ruteru Univerziteta u Beogradu, a **tehnika grupnih odrednica uveliko smanjuje potreban prostor u rutingu tabelama.**
- Na kraju treba pomenuti da grupna odrednica na Univerzitetu u Kragujevcu šalje u Beograd i pakete sa adresama označenim kao *Available* (nedodeljene) u prethodnoj tabeli. Međutim, ako se kasnije one nekom dodele (npr. Univerzitetu u Hanoveru), za njih se mora uneti dodatna odrednica u rutingu tabelu: 194.24.12.0/22.

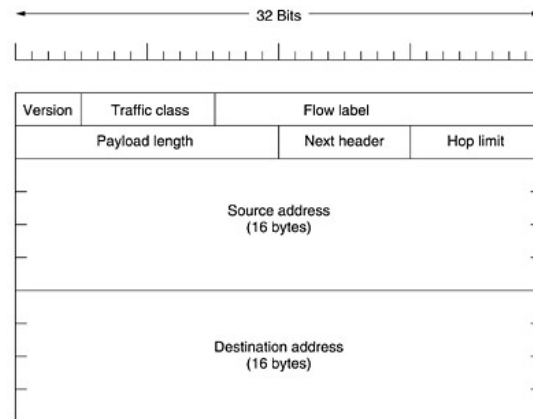
7. IP version 6

- Iako sistemi CIDR i NAT mogu kupiti još malo vremena, potpuno je jasno da su protokolu IPv4 odbrojani dani.
- Naravno, glavni problem je **skučen adresni prostor koji IPv4 nudi** (broj adresa 2^{32}). Sasvim se jasno može zamisliti situacija da u ne tako dalekoj budućnosti svaki televizor, telefon i drugi kućni uređaji budu potpuno ravnopravni čvorovi na Internetu koji međusobno razmenjuju ogromne količine multimedijalnog materijala.
- Trebalo je patentirati **novi protokol** koji bi rešio ovaj problem, a kada se već pristupa projektovanju novog protokola, **moгу se rešiti i neki drugi problemi** primećeni tokom 30-godišnje uspešne istorije IPv4 protokola.
- Novi Internet protokol je objavljen polovinom 90-ih godina pod nazivom IPv6, a slede izmene u odnosu na prethodnika:
 - **IPv6 radi sa 16-bajtnim adresama** omogućavajući 2^{128} hostova - slobodno se može reći “neograničen broj”.
 - **Zaglavlje je uprošćeno** - sadrži samo 7 polja umesto 13 kod IPv4.
 - **Bolja podrška opcijama** omogućavanjem dodatnih zaglavlja.
 - **Bolja bezbednost** u smislu provere identiteta i privatnosti.
 - **Kvalitetu usluge** (*Quality of Service*) je posvećena dužna pažnja.

8. Osnovno zaglavlje IPv6 paketa

- Na slici je prikazano osnovno zaglavlje (*header*) IPv6 paketa.

Figure 5-68. The IPv6 fixed header (required).



- Polje **Version** ima uvek vrednost 6 (4 za IPv4) i služi ruterima da raspoznaju i razvrstavaju pakete u prelaznom periodu kada će se koristiti oba protokola.
- Polje **Traffic class** služi za prepoznavanje paketa sa različitim zahtevima u pogledu isporuke u realnom vremenu (npr. multimedija). To polje je postojalo i u IPv4, ali se retko koristilo u rutiranju.
- I polje **Flow label** je eksperimentalno, a namena mu je uspostavljati neke vrste virtuelnog kola sa određenim kvalitetom usluge u smislu garancije isporuke ili garantovanog protoka. To je pokušaj da se kombinuje fleksibilnost datagramske usluge sa dobrim osobinama usluge sa virtuelnim kolima.
- Polje **Payload length** označava dužinu korisničkih podataka koji slede iza 40-bajtnog zaglavlja, nasuprot sličnom polju u IPv4 koje označava ukupnu dužinu paketa.
- Polje **Next header** je novina u IPv6 i označava koje od (za sada 6) dodatnih zaglavlja ide iza aktuelnog zaglavlja. Ako je trenutno aktuelno zaglavlje i poslednje, ovo polje ukazuje na program transportnog protokola (TCP, UDP) koji treba iskoristiti za obradu paketa.
- **Hop limit** označava maksimalan broj skokova i smanjuje se za jedan pri svakom skoku. Služi za onemogućavanje večnog života paketa.
- Najvažnija izmena je, svakako, u poljima **Source Address** i **Destination Address**. Adrese su 16-bajtna i uvreženo je mišljenje da ih nikada neće ponestati.
- Evo ilustracije: 2^{128} adresa je ukupno oko 3×10^{38} . Kada bi čitava Zemlja (kopno i more) bila prekrivena računarima, IPv6 bi dozvolio 7×10^{23} adresa po kvadratnom metru površine!
- Za zapis 16-bajtnih adresa smišljena je nova notacija. Adrese se pišu u heksadekadnom zapisu u obliku 8 grupa sa po 4 heksadekadna broja

razdvojenih dvotačkama:

8000:0000:0000:0000:0123:4567:89AB:CDEF

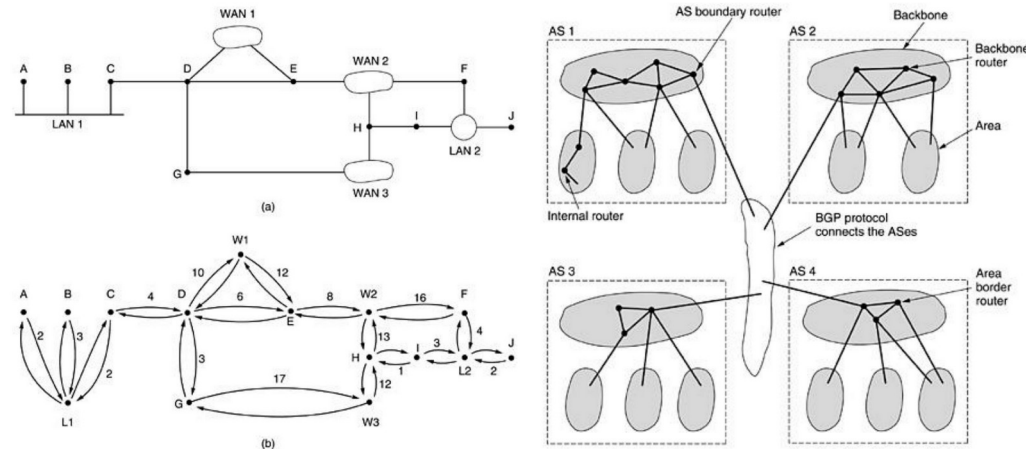
Pošto se očekuje da adrese sadrže brojne nule, odobrene su i tri optimizacije:

1. vodeće nule u grupi se mogu ispustiti, npr. 0123 postaje 123
 2. jedna ili više grupa od po četiri nule (16 bitova nula) može se zameniti duplom dvotačkom, npr. gornja adresa bi izgledala ovako:
8000::123:4567:89AB:CDEF
 3. IPv6 adrese se mogu pisati i u staroj dekadnoj notaciji s tačkom, pod uslovom da se na početku stavi par dvotački:
::192.31.20.46
- Zanimljivo je uporediti IPv4 zaglavlje sa IPv6 zaglavljem i primetiti šta je izbačeno iz IPv6:
 - Polje **Protocol** više ne postoji jer polje **Next header** vrši njegovu funkciju.
 - **Uklonjena su sva polja koja se odnose na fragmentiranje** jer IPv6 ima drugačiji pristup: od računara koji poštuju IPv6 očekuje se da dinamički određuju veličinu paketa.
 - Uklonjeno je polje **Checksum** jer njegovo izračunavanje znatno pogoršava performanse, a kontrolni zbir se ionako računa u sloju veze podataka i transportnom sloju.

Protokoli za upravljanje na Internetu

1. OSPF – Unutrašnji protokol za mrežni prolaz

- **Autonomni sistem** – svaka organizacija može koristiti sopstveni algoritam za rutiranje
- Unutar autonomnog sistema, koristi se unutrašnji protokol za mrežni prolaz (*interior gateway protocol*), dok se za komunikaciju između različitih autonomnih sistema koristi spoljni protokol za mrežni prolaz (*exterior gateway protocol*)
- RIP je 1979. godine zamenjen protokolom OSPF – *Open Shortest Path First*
- Osobine OSPF protokola:
- Otvoren, nikako *proprietary*
- Različiti načini određivanja razdaljine (kašnjenje, fizičko rastojanje, ...)
- Dinamičko prilagođavanje trenutnoj situaciji
- Rutiranje zasnovano na vrsti usluge – kasnije uklonjeno jer ga niko nije koristio
- Ujednačavanje opterećenja raspodelom na više linija
- Podrška hijerarhijskom rutiranju
- Obezbeđenje od zloupotrebe
- Podržava **tri vrste mreža**: P2P linije, **višepristupne** mreže koje omogućavaju difuzno emitovanje (lokalne) i regionalne višepristupne mreže koje ne omogućavaju difuzno emitovanje

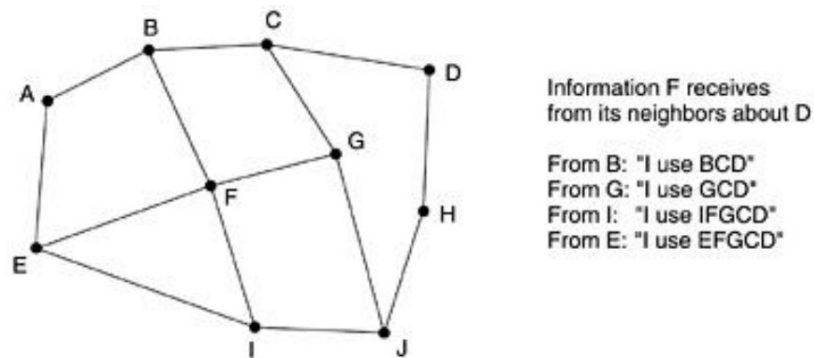


- **Višepristupna (multiaccess) mreža** može imati više rutera koji međusobno komuniciraju
- Podela na oblasti (*areas*), gde oblast predstavlja mrežu ili skup susednih mreža
- Svaki autonomni sistem ima **oblast okosnice (backbone area)**. Sa okosnice se može stići iz bilo koje oblasti u bilo koju drugu oblast. Svaki ruter povezan sa sve ili više oblasti, deo je okosnice.
- Unutar jedne oblasti, svi ruteri imaju iste podatke i izvršavaju isti algoritam
- Ruter povezan sa dve oblasti mora da ima dve baze podataka i za svaku posebno izvršava Dijkstrin algoritam
- **Tri koraka OSPF rutiranja:** od izvorišta do okosnice, okosnicom do odredišne oblasti, kroz odredišnu oblast do odredišta
- **Četiri vrste rutera:** (1) Interni ruteri koji pripadaju samo jednoj oblasti, (2) Granični ruteri koji povezuju oblasti, (3) Ruteri okosnice, (4) Granični ruteri autonomnog sistema
- **Namenski ruter** je predstavnik LAN-a u OSPF komunikaciji. On je istovremeno i **kontrolni ruter** za rutere u svom LAN-u
- OSPF poruke su date u tabeli. LINK STATE UPDATE paket se širi plavljenjem.

Message type	Description
Hello	Used to discover who the neighbors are
Link state update	Provides the sender's costs to its neighbors
Link state ack	Acknowledges link state update
Database description	Announces which updates the sender has
Link state request	Requests information from the partner

2. BGP – Spoljni protokol za mrežni prolaz

- *Border Gateway Protocol* – BGP
- OSPF se bavi efikasnošću prenosa paketa, a ne politikom. BGP se bavi političkim, bezbednosnim i ekonsomskim aspektima.
- Pravila se unose **manuelno** u svaki BGP ruter
- BGP Svrstava mreže u tri kategorije:
- Mreže povezane u jednoj tački – ne mogu se koristiti za tranzit
- Mreže povezane u više tačaka
- Tranzitne mreže – namenjene za transport, uz izvesna ograničenja (naknadu)
- BGP koristi **rutiranje zasnovano na vektoru razdaljine**, ali ne kao RIP. Umesto razdaljina, razmenjuju se i informacije o putanjama
- **Nema problema sa približavanjem beskonačnosti**. Ako npr. otkaže ruter G, ruter F dobija putanje od suseda BCD, IFGCD i EFGCD. Dve odmah otpadaju jer prolaze kroz ruter F.



3. Višesmerno emitovanje na Internetu

- Upotreba klase D. Grupe se identifikuju sa 28 bitova, tako da može postojati 250 miliona grupa. Grupe se dele na stalne i privremene. Evo primera nekih **stalnih grupa**:
 - 224.0.0.1 – Svi sistemi na lokalnoj mreži
 - 224.0.0.2 – Svi ruteri na lokalnoj mreži
 - 224.0.0.5 – Svi OSPF ruteri na lokalnoj mreži

- 224.0.0.6 – Svi namenski OSPF ruteri na lokalnoj mreži
- **Privremene grupe** se pre korišćenja moraju uspostaviti, za šta se koristi protokol IGMP (*Internet Group Message Protocol*)
- Višesmerno rutiranje se vrši pomoću **posebnih rutera kolociranih sa standardnim ruterima**. Koristi se razgranato stablo. Periodično svaki takav ruter u sloju veze šalje poruku svim računarima na LAN-u zahtevajući izveštaj o grupama kojima pripadaju njihovi procesi. Svaki računar odgovara adresama klase D.