

## OSI (TCP/IP) mrežni sloj

### OSI mrežni sloj (L3)

- Omogućava prenos informacija od hosta na jednom medijumu (Layer 2 mreži, fizičkoj mreži) do hosta na drugom medijumu
- Najvažniji zadatak: izbor putanje kroz Layer 3 mrežu
- Layer 3 PDU – IP paket

## Sadržaj

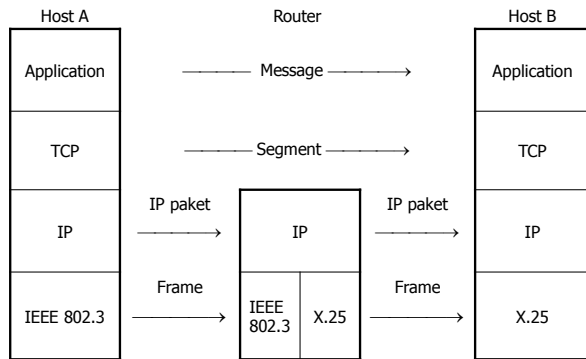
- Važnost mrežnog sloja
- Određivanje putanje (rutiranje)
- IP adrese
- Klase IP adresa
- Rezervisani adresni prostor
- Osnove podmrežavanja (*subnetting*)
- Kreiranje podmreža (*subnets*)
- IP zaglavlje

### Funkcionisanje OSI mrežnog sloja

- Krajnja stanica (*host, end system*) šalje paket
  - određenoj stanici, ako su na istoj fizičkoj (Layer 2) mreži
  - ruteru (*intermediate system*), koji je odgovoran da datagram prosledi sledećom ruteru, odnosno određinom hostu

Kako će znati da li su u istoj fizičkoj mreži ?

## Funkcionisanje OSI mrežnog sloja



## Mrežna adresa

- Vrijednost koja jednoznačno identifikuje mrežni interfejs priključenog uređaja
- Sastoji se iz dva dijela
  - Identifikator mreže (*netid*)
  - Identifikator računara (hosta) na mreži (*hostid*)
- Na osnovu mrežne adrese (tačnije *netid-a*) određišta se vrši usmjeravanje (rutiranje) paketa

## Određivanje putanje (rutiranje)

- Proces izbora sledećeg rutera (*hop*) na putanji primljenog paketa do odredišta
- Kao identifikator odredišta koristi se *netid* odredišne adrese primljenog paketa
  - ruter mora da zna koji deo mrežne adrese je *netid*
- Parametri izbora putanje paketa:
  - broj hopova do odredišta
  - propusni opseg linkova do odredišta

## IP adresa (IPv4)

- Veličine 32 bita
- Zapisuje se u *Dotted-decimal* formatu
  - 32 bita se razdvajaju u četiri grupe po osam bita i svaka grupa se predstavlja decimalnim brojem
  - 10010011 01011011 00000100 00110110 = 147.91.4.54

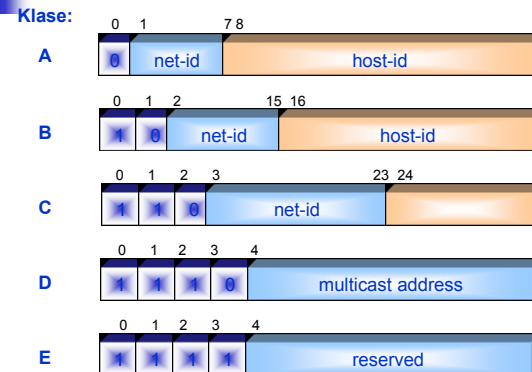
## Podjela IP adresnog prostora

- IP adresni prostor se dijeli na blokove tri različite veličine
  - blok veličine  $2^{24}$  adresa (A klasa)
  - blok veličine  $2^{16}$  adresa (B klasa)
  - blok veličine  $2^8$  adresa (C klasa)
- Svaki blok se dodjeljuje jednoj Layer 2 (fizičkoj) mreži

## Klase IP adresa

- IP mreža A klase ima *netid* dio veličine 8 bita i *hostid* dio veličine 24 bita
  - Ukupno postoji  $2^7-2$  IP mreža A klase
  - IP mreža A klase može imati ukupno  $2^{24}-2$  hostova
- IP mreža B klase ima *netid* dio veličine 16 bita i *hostid* dio veličine 16 bita
  - Ukupno postoji  $2^{14}-2$  IP mreža A klase
  - IP mreža B klase može imati ukupno  $2^{16}-2$  hostova

## Klase IP adresa



## Klase IP adresa

- IP mreža C klase ima *netid* dio veličine 24 bita i *hostid* dio veličine 8 bita
  - Ukupno postoji  $2^{21}-2$  IP mreža A klase
  - IP mreža C klase može imati ukupno  $2^8-2$  hostova
- D klasa sadrži multicast adrese
- E klasa sadrži rezervisane adrese

## Klase adrese

- Iz IP adrese se implicitno određuje veličina *netid* polja:
  - ako je prvi bit 0 onda je *netid* veličine 8 bita
  - ako su prva dva bita 10 onda je *netid* veličine 16 bita
  - ako su prva tri bita 110 onda je *netid* veličine 24 bita

## Klase IP adresa

Klasa se određuje na osnovu tri bita najvišeg reda !

- A klasa: 126 mreža 16.777.214 hostova po mreži
- B klasa: 16.348 mreža 65.534 hostova po mreži
- C klasa: 2.097.152 mreže 254 hosta po mreži
- D i E klase: nijesu za hostove

D je za *multicast*, a E za buduću upotrebu

## Klase IP adresa

klasa	adresa	netID	Raspon za w
○ A	w.x.y.z	w.0.0.0	1-126
○ B	w.x.y.z	w.x.0.0	128-191
○ C	w.x.y.z	w.x.y.0	192-223
○ D	w.x.y.z	-	224-239
○ E	w.x.y.z	-	240-255

256 > w, x, y, z > 0

127 je rezervisana za testiranje konekcije i ne širi pakete kroz mrežu ako su poslali mreži 127.0.0.0 *loopback*

## Binarno-decimalna konverzija

128	64	32	16	8	4	2	1	
1	0	0	0	0	0	0	0	= 128
1	1	0	0	0	0	0	0	= 192
1	1	1	0	0	0	0	0	= 224
1	1	1	1	0	0	0	0	= 240
1	1	1	1	1	0	0	0	= 248
1	1	1	1	1	1	0	0	= 252
1	1	1	1	1	1	1	0	= 254
1	1	1	1	1	1	1	1	= 255

© Cisco Systems, Inc. 1999

## Specijalne IP adrese

- Mrežna adresa
  - *hostid* = 0
- Broadcast adresa
  - *hostid* = 111...11 (*directed broadcast*)
  - *netid* = 111...11, *hostid* = 111...11 (*limited broadcast*)

## Vježba ?

- IP adresa je 147.91.168.200

*Koja je adresa mreže?*

*Koja je adresa hosta?*

## Vježba

- IP adresa je 147.91.168.200

*Koja je adresa mreže?*

*147.91.0.0*

*Koja je adresa hosta?*

*147.91.168.200*

## Specijalne IP adrese

All 0s	
All 0s	Hostid
All 1s	
Netid	All 1s
127	Anything (1)

This host
Host on this net
Limited broadcast
Directed broadcast
Loopback

## Privatne adrese

- Skup adresa koje su određene za privatnu upotrebu
  - 10.0.0.0 – 10.255.255.255 A
  - 172.16.0.0 – 172.31.255.255 B
  - 192.168.0.0 – 192.168.255.255 C

## Podmrežavanje (*subnetting*)

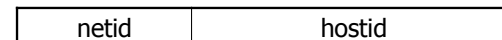
- Zašto podmrežavanje?
  - zato što klase A, B i C ne nude dovoljnu fleksibilnost!
  - Npr. ako mreža ima 1000 hostova onda se mora uzeti blok klase B od 65536 IP adresa!

## Ideja podmrežavanja

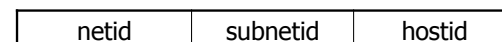
- Ideja: Uzeti jednu A B ili C klasu i podeliti je na manje blokove – podmreže
- Realizacija: uvesti dodatni identifikator (*subnetid*) podmreže pozajmljujući određen broj bitova od *hostid* polja

## Ideja podmrežavanja

Classical IP addressing



Subnet Addressing



## Ograničenja kod "pozajmljivanja" bitova

- *Subnetid* polje mora biti **najmanje** 2 bita
- Preostalo *hostid* polje mora biti **najmanje** 2 bita

Zašto?

## Implementacija podmreža - maske podmreža (subnet mask)

Maske se kao i IP adrese sastoje iz 32 bita  
Pišu se, kao i IP adrese, u decimalnoj notaciji.  
Dakle, mrežu jednoznačno određuje par:  
**netID i subnet mask**  
ili **netID/network bits**

## Pojam mrežne maske (subnet mask)

- Problem: kako ruter na osnovu IP adrese da zna veličinu *netid+subnetid* polja?
- Rešenje: posebna 32-bitna vrijednost koja sadrži 1-ice u bitovima koji sadrže *netid* i *subnetid*, a 0-e u bitovima koji sadrže *hostid*
- Obilježavanje mrežne maske
  - "Dotted-decimal" format
  - /<veličina *netid* i *subnetid* polja>

## Primjer

Maske u binarnoj notaciji:  
**11111111 11111111 11110000 00000000**  
decimalnoj: 255.255.240.0  
Dakle jednoznačno određujemo mrežu sa:  
**156.32.0.0 i 255.255.240.0,**  
a može i ovako: **156.32.0.0/20**

## Default-ne mrežne maske klasa A, B i C

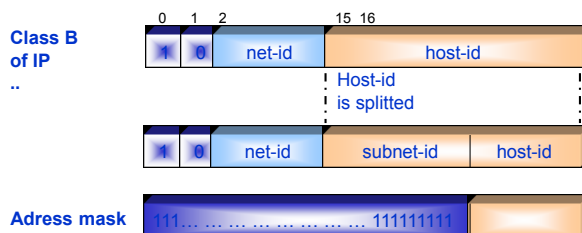
- IP blok klase A ima podrazumevanu mrežnu masku 255.0.0.0
- IP blok klase B ima podrazumevanu mrežnu masku 255.255.0.0
- IP blok klase C ima podrazumevanu mrežnu masku 255.255.255.0

## Korišćenje mrežne maske

- Problem: u procesu rutiranja, ruter mora da utvrdi da li IP adresa pripada određenoj IP mreži
- Rešenja:
  - bez podmreža: ruter implicitno računa mrežnu IP adresu i poredi sa zadatom IP mrežom
  - sa podmrežama: ruter vrši bitsku AND f-ju između IP adrese i maske zadate IP mreže i rezultat poredi sa zadatom IP mrežom

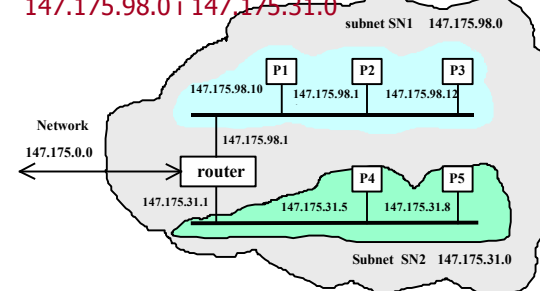
## IP adresa podmreže - primjer

Primjer IP adrese (klasa B) sa subnet-id



## IP adresa podmreža - primjer

Mreža 147.175.0.0 se sastoji iz dvije mreže 147.175.98.0 i 147.175.31.0



## IP adresa pod mreža - primjer

Mreža 147.175.0.0 se sastoji iz dvije mreže  
147.175.98.0 i  
147.175.31.0.

Da li možete odrediti subnet maske ovih  
pod mreža?

Koje su subnet maska ovih pod mreža?

## Veličina pod mreža

- Veličina pod mreža se računa prema
  - željenom broju pod mreža (definiše minimalni broj bita *subnetid* polja)
  - minimalnom broju računara u pod mreži (definiše minimalni broj bita *hostid* polja)

## Kreiranje pod mreža (*subnetting*)

- Zadatak: imamo zadatu mrežnu IP adresu klase A, B ili C, i dijelimo je na pod mreže (*subnets*)
- Sve pod mreže imaju isti broj adresa

## Veličina pod mreža

- Obratiti pažnju:
  - pod mreže imaju  $2^n$  IP adresa
  - broj bita *netid* + broj bita *subnetid* + broj bita *hostid* = 32
  - prva (*subnetid*=00..0) i poslednja (*subnetid*=11..1) pod mreža sa **ne** mogu koristiti
  - prva (*hostid*=00..0) i poslednja (*hostid*=11..1) adresa iz IP mreže se **ne** može koristiti za dodeljivanje računarima

## Primjer

- Klasa B  $\Rightarrow$  *netid* ima 16 bita
- Najmanje 20 podmreža  $\Rightarrow$  *subnetid* ima najmanje 5 bita
  - 4 bita – 14 podmreža
  - 5 bita – 30 podmreža
- Najmanje 1000 računara  $\Rightarrow$  *hostid* ima najmanje 10 bita
  - 9 bita – 510 računara
  - 10 bita – 1022 računara

## Primjer

- Ukupno: broj bita *subnetid* + broj bita *hostid* = 16
- Dozvoljene kombinacije
  - #1: broj bita *subnetid* = 5, broj bita *hostid* = 11
  - #2: broj bita *subnetid* = 6, broj bita *hostid* = 10
- Uzimamo varijantu #1
  - mrežna maska 255.255.248.0 (/21)
  - ukupno 30 podmreža koje možemo koristiti
  - ukupno 2046 korisnih IP adresa u svakoj IP mreži

## Planiranje adresnog prostora

- Zadatak: zadata je IP mreža klase B 156.78.0.0. Napraviti podmrežavanje tako da postoji najmanje 20 podmreža, a da svaka može da ima najmanje 1000 računara

## primjer

- Prva IP podmreža po redosledu se ne može koristiti
  - 156.78.0.0 (*subnetid*=00000)
- Prva IP podmreža koja se može koristiti
  - 156.78.8.0 (*subnetid*=00001)
- Zadnja IP podmreža koja se može koristiti
  - 156.78.240.0 (*subnetid*=11110)
- Poslednja IP podmreža po redosledu se ne može koristiti
  - 156.78.248.0 (*subnetid*=11111)

## primjer

- U prvoj IP korišćenoj IP podmreži (156.78.8.0)
  - Prva IP adresa po redosledu je adresa IP podmreže i ne može se dodeliti računaru
    - 156.78.8.0 (*hostid*=00000000000)
  - Prva IP adresa koja se može dodeliti računaru je druga adresa po redosledu
    - 156.78.8.1 (*hostid*=00000000001)

## IP protokol – osnov usmjeravanja

- Prenos datagram bez uspostavljanja veze

IP omogućava da korisnik posmatra internet kao jednu virtualnu mrežu koja međusobno povezuje sve računare (apstrakcija fizičke mreže)

## primjer

- U poslednjoj korišćenoj IP podmreži (156.78.240.0)
  - Poslednja IP adresa koja se može dodeliti računaru je pretposlednja adresa po redosledu
    - 156.78.247.254 (*hostid*=11111111110)
  - Poslednja IP adresa po redosledu je broadcast adresa i ne može se dodeliti računaru
    - 156.78.247.255 (*hostid*= 11111111111)

## IP datagram

IP datagram je jedinica prenosa u TCP/IP internetu

Okvir je jedinica prenosa za fizičku mrežu

IP definiše:

- IP datagram (sadržaj)
- Usmjeravanje (rutiranje)
- Pravila za "liječenje" nepouzdanosti
  - kako obraditi datagrame
  - kad i kako generisati poruke o greškama
  - kad i kako odbaciti datagrame
  - kad ih poslati ponovo ...

## Format IP datagrama (paketa)

VERS <sup>0</sup>	HLEN	SERVICE TYPE	TOTAL LENGTH	
IDENTIFICATION		FLAGS	FRAGMENT OFFSET	
TIME TO LIVE	PROTOCOL	HEADER CHECKSUM		
SOURCE IP ADDRESS				
DESTINATION IP ADDRESS				
IP OPTIONS			PADDING	
DATA				
...				

## Format IP datagrama (paketa)

Verzija	Dužina	Tip servisa	Ukupna dužina paketa	
Identifikacija			Indikator	Ofset fragmenta
TIME TO LIVE	PROTOCOL	Kontrolna suma zaglavlja		
Izvorišna IP ADDRESS				
Odredišna IP ADDRESS				
Opcije			Umetak (prikolica)	
Podaci				
...				

## Zaglavlje IP paketa

- Polje *VERS* specificira verziju IP protokola (4)
- *HLEN* specificira veličinu zaglavlja u 32-bitnim rečima (IP zaglavlje je iste dužine osim Opcija i umetka; ovo polje određuje granicu između zaglavlja i podataka)
- *TOTAL LENGTH* dalje ukupnu veličinu paketa u oktetima

## Zaglavlje IP paketa

- Polje *TIME TO LIVE* specificira koliko rutera paket može da prođe (*hop count*)
- U prosleđeni paket svaki ruter upisuje vrednost manju za 1 od vrednosti u primljenom paketu
- Svaki primljeni paket sa vrednošću 0 u ovom polju se odbacuje i javlja se izvoru putem ICMP protokola o tome.

## Zaglavlje IP paketa

- Polje *SOURCE IP ADDRESS* sadrži IP adresu interfejsa koji je paket poslao
- Polje *DESTINATION IP ADDRESS* je IP adresa jednog od interfejsa odredišta
- Ove se adrese ne mijenjaju pri prolasku kroz razne mrežne uređaje

## Usmjeravanje IP datagrama

Biranje putanje, usmjeravanje ili rutiranje (*routing*) datagrama (paketa).

U idealnom slučaju prilikom izbora najbolje putanje treba:

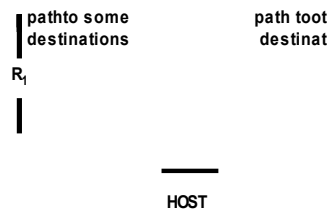
- voditi računa o opterećenju puteva
- voditi računa o dužini datagrama
- tipu servisa

Ali većina to radi na osnovu fiksnih pretpostavki o najkraćim putevima

## Usmjeravanje IP datagrama

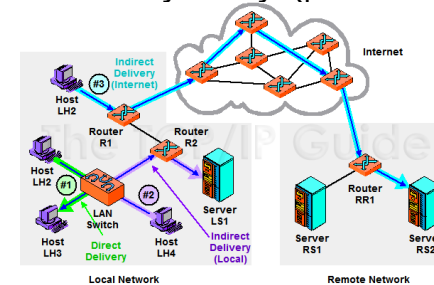
Usmjerivači (ruteri) povezuju više fizičkih mreža ali i računar (host) može biti *višedomni* tj. da je u više fizičkih mreža.

I računar (čak iako ima jednu mrežnu vezu) i ruter vrše usmjeravanje IP datagrama !



## Usmjeravanje IP datagrama

- Direktno usmjeravanje (kroz jednu fizičku mrežu)
- Indirektno usmjeravanje (preko rutera)



## Direktno usmjeravanje IP datagrama

Bez rutera !

Enkapsulira IP datagram u fizički okvir (frame),  
vezuje IP adresu za MAC adresu i šalje okvir na  
odredište

Kako će host znati da je to lokalno-direktno?

Iz IP adrese, jer je isti *netID* primaoca i njegov!

Direktno usmjeravanje koristi i zadnji ruter u nizu !

## Indirektno usmjeravanje IP datagrama

Host ka ruteru, on sledećem ruteru i tako redom  
dok zadnji u nizu ne usmjeri paket direktno  
odredištu.

Kako računar zna kom ruteru da pošalje paket?

Kako ruter određuje gdje da pošalje datagram?

Uobičajeni IP algoritam za usmjeravanje je  
korišćenje Internet tabela usmjeravanja  
(routing tables).

## Idirektno usmjeravanje IP datagrama

Treba da sa što manjim tabelama odlučiti gdje  
poslati paket.

Treba da sadrže samo mrežne prefikse a ne čitave  
IP adrese.

Da bi "skriva" informacije, tabele rutiranja  
održao malim a odluke efikasnijim, IP softver  
za rutiranje čuva samo informacije o  
odredišnim **mrežnim adresama**, a ne  
pojedinačne adrese (hostovi).

## Idirektno usmjeravanje IP datagrama

Tabele rutiranja čine parovi (N,R) , gdje je:

N – IP adresa odredišne mreže

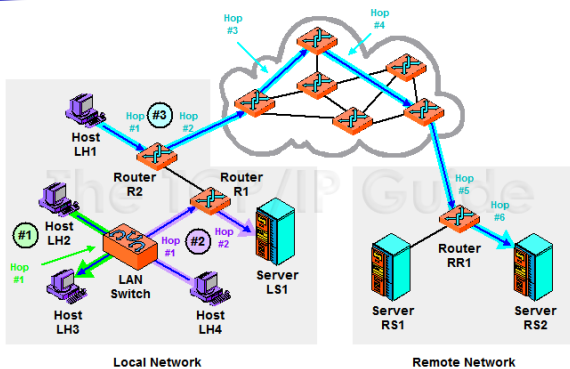
R – IP adresa sledećeg rutera ka toj mreži (*next  
hop*) On se često zove "sledeći skok"

Na primjer:

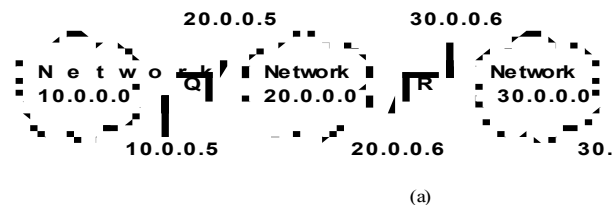
147.91.164.0                      147.91.169.100

Ovo znači da se svi IP paketi koji imaju IP adresu  
iz mreže 147.91.164.0 prosledjuju ruteru  
147.91.169.100. I tu prestaje svaka "briga" ovog  
rutera o tim paketima!

## Idirektno usmjeravanje IP datagrama



## Primjer tabele usmjeravanja (ruting tabele)



TO REACH HOSTS ON NETWORK	ROUTE TO THIS ADDRESS
20.0.0.0	DELIVER DIRECT
30.0.0.0	DELIVER DIRECT

## IP rutiranje

U tabeli postoje rute (putanje) za poznate mreže.

Ako se u tabeli ne postoji odgovarajuća ruta onda se paket prosljedi *podrazumijevanom ruteru (default-na ruta)*.

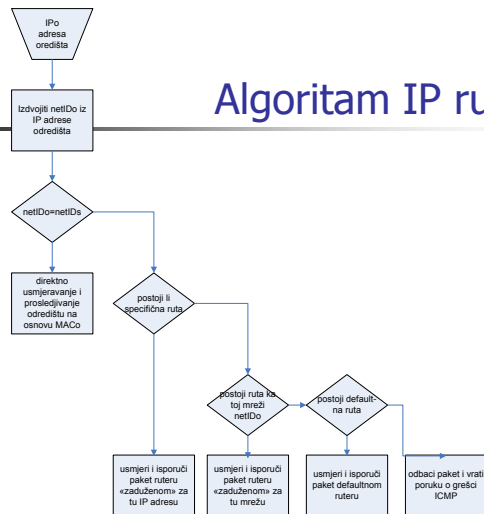
Imamo i mogućnost postavljanja *specijalnog puta* do nekog specifičnog računara (samo za važne hostove)

## IP rutiranje

Dakle, algoritam IP rutiranja izgleda ovako:

- Izdvojiti IP adresu iz datagrama
- Odrediti mrežni prefiks pa prosljediti na:
  - ako je lokalno direktno prosljediti odredištu
  - ima li specifična ruta?
  - ima li ruta ka toj mreži?
  - ima li podrazumijevana ruta?
- GREŠKA

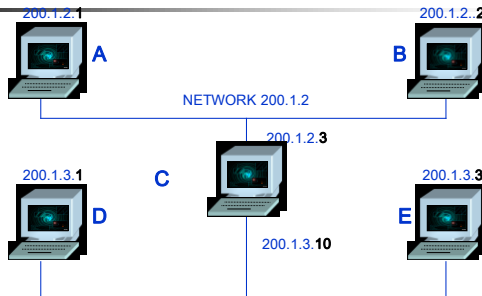
## Algoritam IP rutiranja



## IP rutiranje

**Odluke se donose na nivou IP adresa, a isporuke na osnovu MAC adresa!**

### Primjer 1



Uređaj (računar) C je ruter između ove dvije mreže.

### Primjer 1

Napišite rutingsku tabelu za ruter C.

Mreža

Ruta

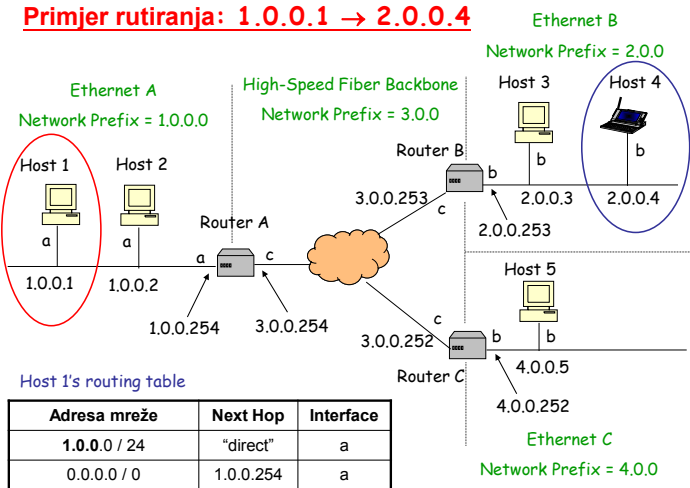
Kako će računari A, B, D i E znati gdje da šalju IP pakete koji ne propadaju njihovoj fizičkoj mreži?

Koje su adrese gateway-a za:

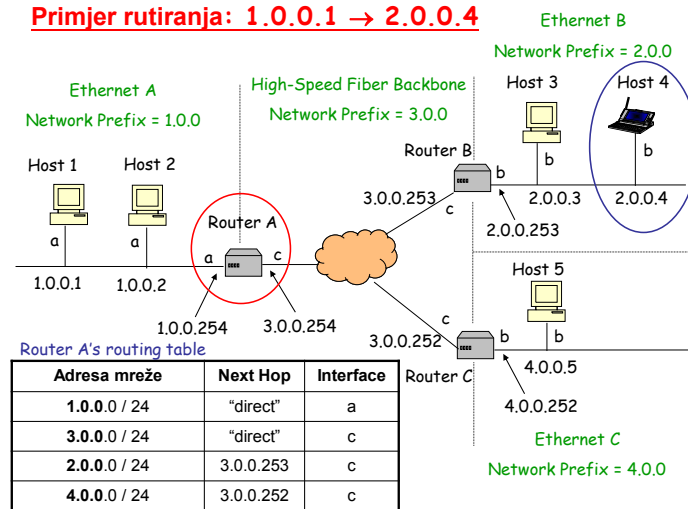
A i B ?

D i E ?

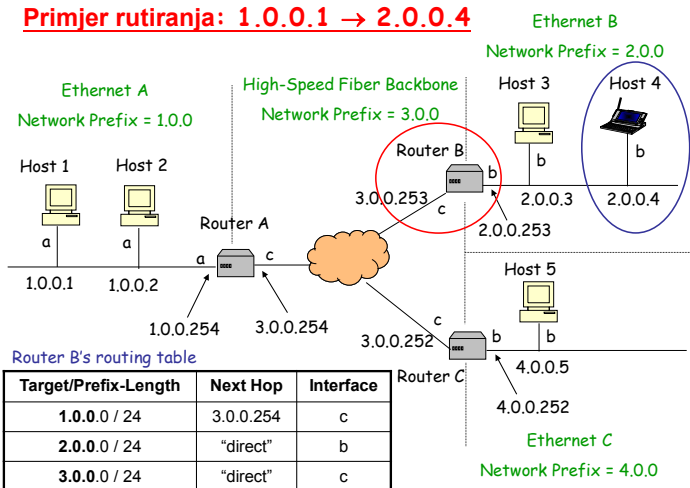
**Primjer rutiranja: 1.0.0.1 → 2.0.0.4**



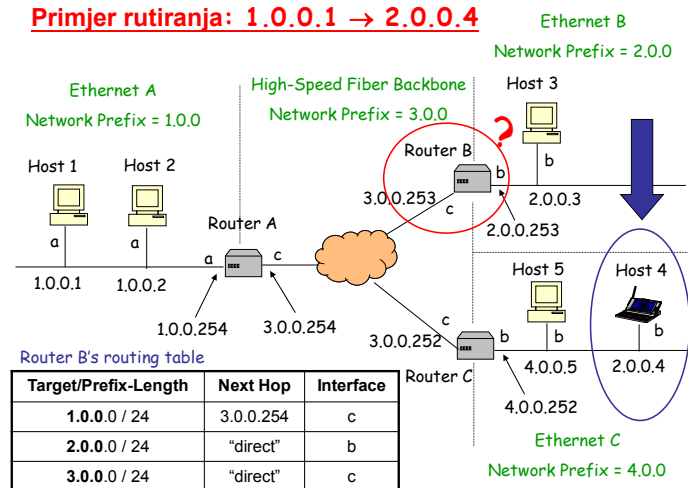
**Primjer rutiranja: 1.0.0.1 → 2.0.0.4**



**Primjer rutiranja: 1.0.0.1 → 2.0.0.4**



**Primjer rutiranja: 1.0.0.1 → 2.0.0.4**



## Problem

- Šta će se desiti ako Host 4 prenesemo u fizičku mrežu C (Ethernet C)

*Host Unreachable error message*

- Pitanje: Kako riješiti problem?*

## Rješenje 1: Unos specifične rute

- Unese se specifična ruta tabele svih rutera (A, B i C) na sledeći način:

Router A	Target/Prefix-Length	Next Hop	Interface
	2.0.0.4 / 32	3.0.0.252	c

Router B	Target/Prefix-Length	Next Hop	Interface
	2.0.0.4 / 32	3.0.0.252	c

Router C	Target/Prefix-Length	Next Hop	Interface
	2.0.0.4 / 32	"direct"	b

Da li je ovo dobro rješenje ?

## Rješenje 2: Promijeniti IP adresu

- Prosto promijeniti IP adresu.
- Koju IP adresu treba postaviti Hostu 4?

4.0.0.6	4.0.1.6
4.0.0.255	4.0.0.1
4.1.1.6	4.0.0.3

Da li je ovo dobro rješenje?

## Primjer 2 Analizirajte ruting tabelu za ruter sa slike

