

Рачунарске мреже

Александар Картељ

kartelj@matf.bg.ac.rs

Наставни материјали су преузети од: TANENBAUM, ANDREW S.; WETHERALL, DAVID J., COMPUTER NETWORKS, 5th Edition, © 2011
и прилагођени настави на Математичком факултету, Универзитета у Београду.

Slide material from: TANENBAUM, ANDREW S.; WETHERALL, DAVID J., COMPUTER NETWORKS, 5th Edition, © 2011.

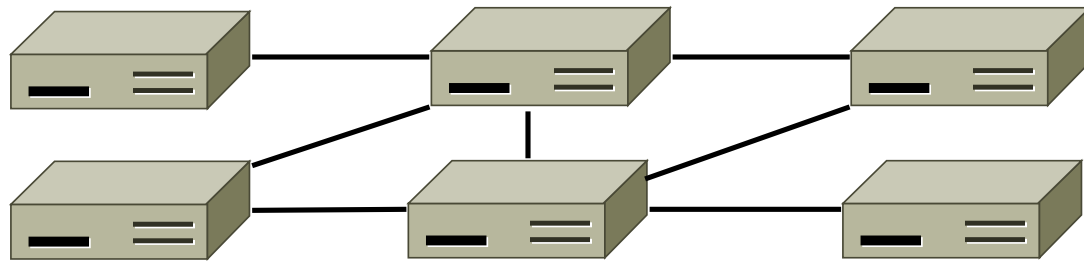
Electronically reproduced by permission of Pearson Education, Inc., Upper Saddle River, New Jersey

Мрежни слој

Преглед

Шта ће нам мрежни слој?

- Већ можемо да изградимо мрежу употребом веза и скретница...

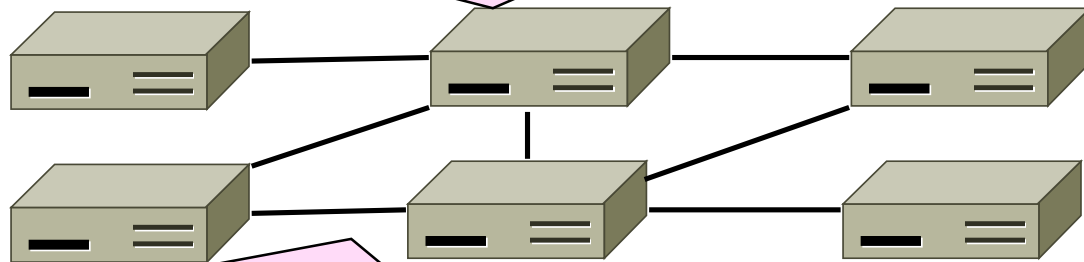


Проблеми са скретницама

1. Не скалирају се добро

- Табела релација би постала огромна
- Иницијално емитовање целом свету

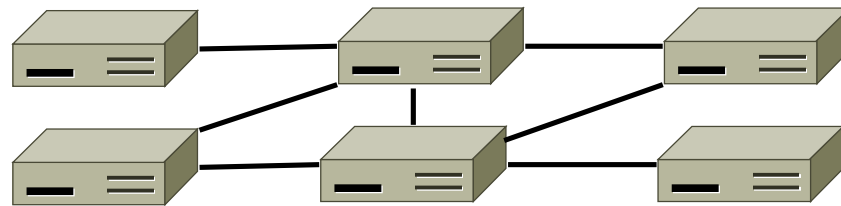
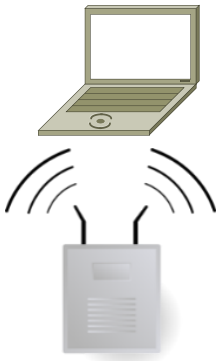
Табела релација за цео свет!



Емитовање нових чворова ка целом свету!

Проблеми са скретницама (2)

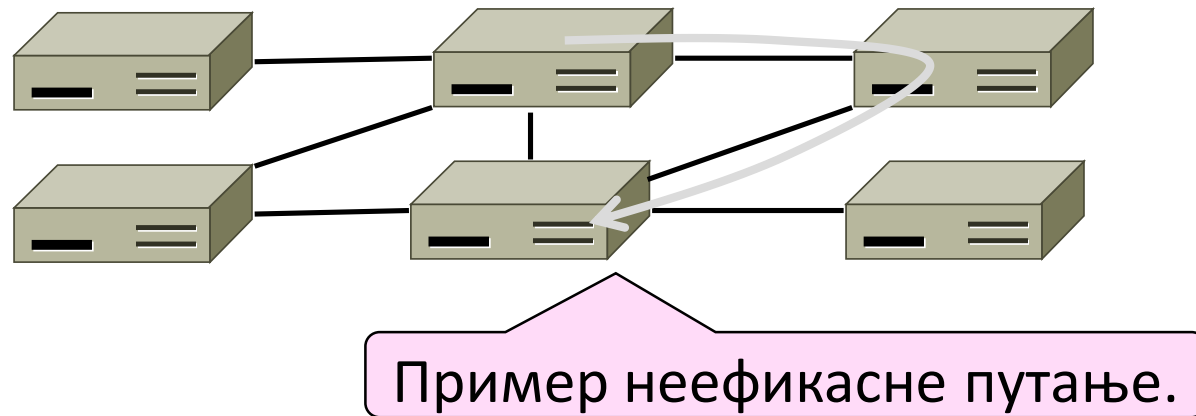
2. Не раде ако су технологије слоја везе различите
- Чворови на Етернету + 3G + 802.11 ...



Проблеми са скретницама (3)

3. Не омогућавају контролу саобраћаја

- Хоћемо да планирамо руте и проток

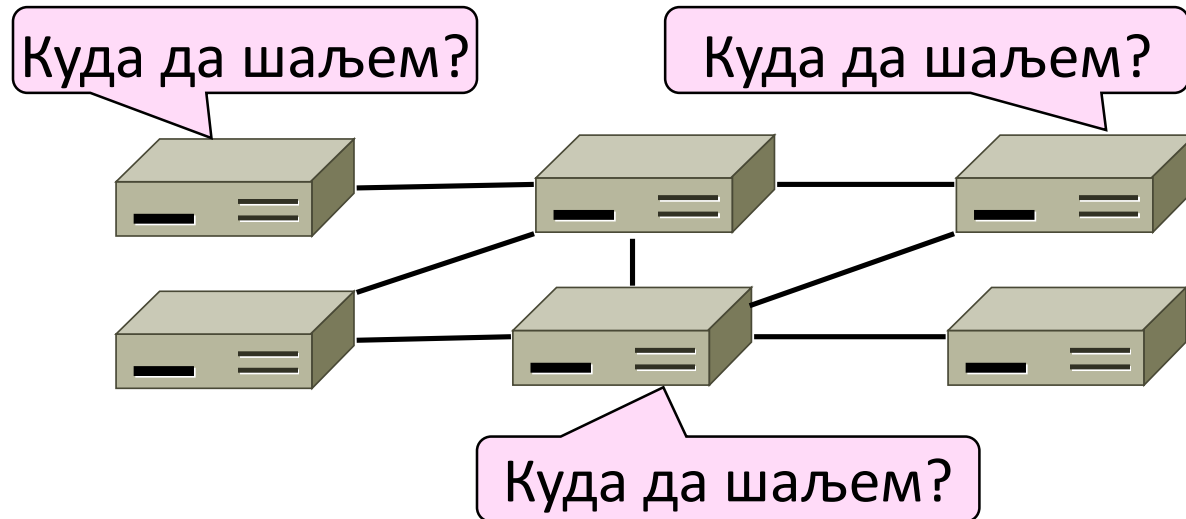


Теме

- Типови мрежних сервиса
 - Датаграмски модел (пакети), Модел виртуелног кола
- IP (Интернет протокол)
 - Умрежавање различитих мрежа
 - Прослеђивање (алгоритам најдужег одговарајућег префикса)
 - Помоћни механизми: ARP и DHCP
 - Грешке: протокол ICMP
- IPv6, будућност IP-а - прескачемо
- NAT
- Routing algorithms – следећи пут

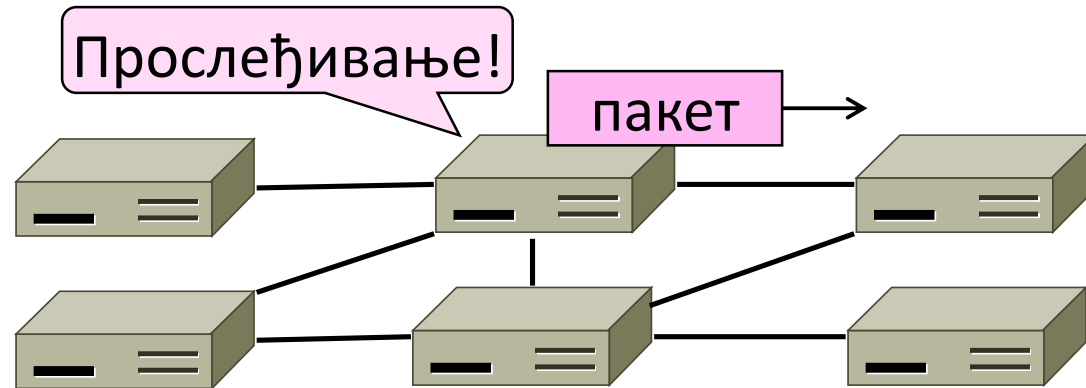
Рутирање или прослеђивање

- Рутирање је процес одлучивања у ком правцу треба послати саобраћај
 - Овакво одлучивање је скупо!
 - Морају се развити паметни алгоритми...



Рутирање или прослеђивање (2)

- Прослеђивање је процес слања пакета на основу локалне табеле
 - Чворови то раде локално и брзо



План рада

- Прослеђивање ћемо прво обрадити
 - Како чворови шаљу пакете другим чворовима
 - Претпостављамо да је већ одлучено где шаљу
- Рутирање следећи пут
 - Одлучивање где се пакети шаљу
 - Логички иде пре прослеђивања, али засад посматрамо као „црну кутију“
 - Алгоритми над графовима

Мрежни слој

Типови сервиса

Два типа мрежних сервиса

- Датаграми,
сервис без успостављања везе

- Попут поште
- (IP протокол ради ово)



- Виртуелна кола,
сервис са успостављањем везе

- Попут фиксне телефоније

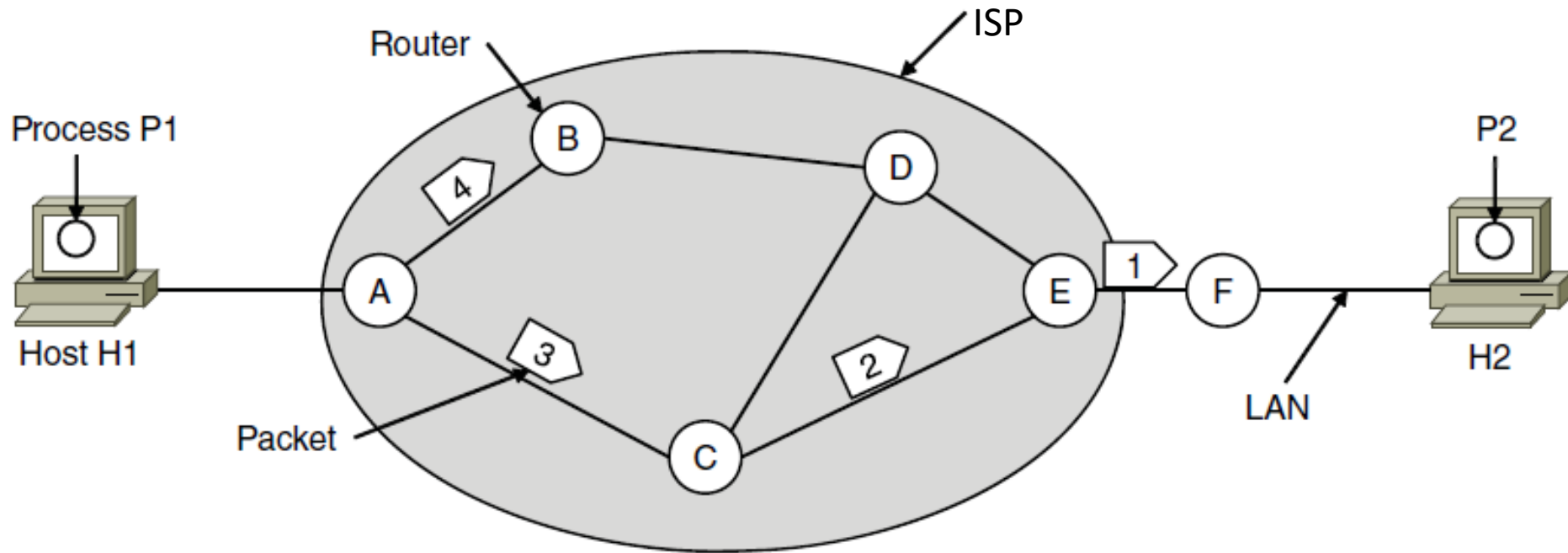


Сачувај-и-проследи механизам

- Оба типа сервиса се реализију техником сачувај-и-проследи (store-and-forward)
 - Усмеривачи (рутери) добијају пакет, и привремено га чувају све док га не проследе даље (користе баферисање)
 - Користи технику статистичког мултиплексирања за управљање протоком

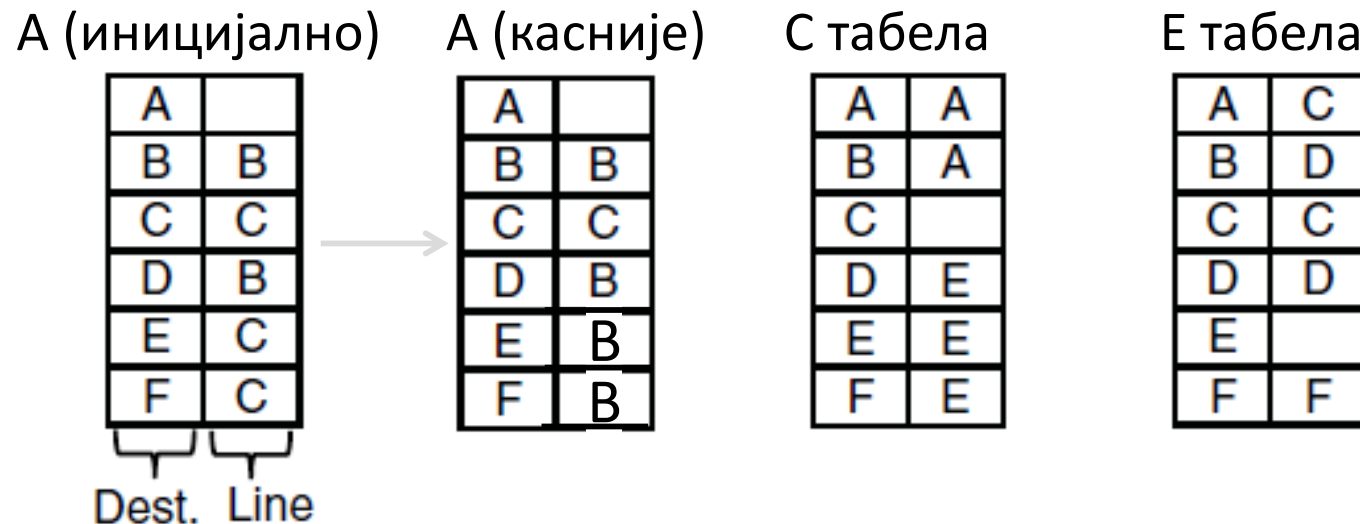
Датаграмски сервис

- Пакет садржи циљну адресу на основу које усмеривач прослеђује пакет даље



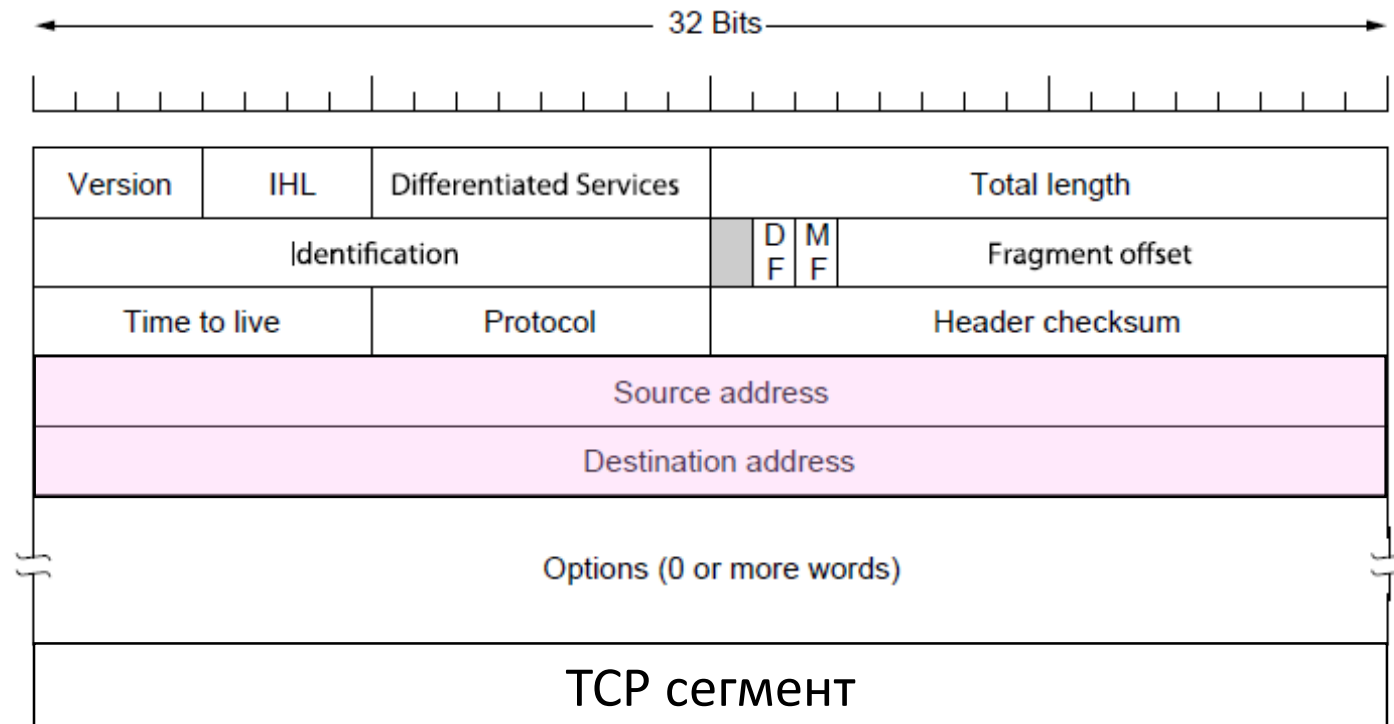
Датаграмски сервис (2)

- Сваки усмеривач има табелу прослеђивања (forwarding table) – табела се мења!
 - Ред у табели за дату циљну адресу одређује суседни чвор којем ће се пакет проследити (следећих хоп)



IP (Интернет протокол)

- Мрежни слој користи датаграмски сервис
 - IPv4 пакет има 32-битну адресу и обично је велик око 1.5 KB

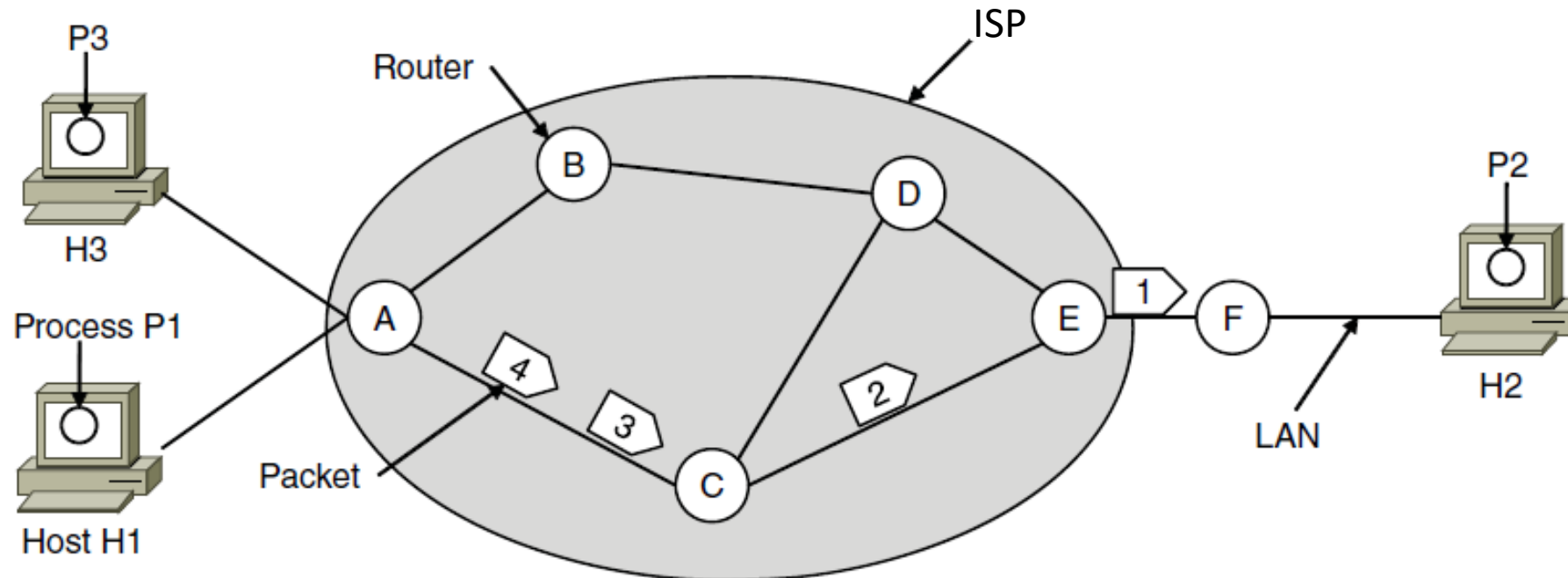


Виртуелно коло

- Три фазе:
 1. Успостављање виртуелног кола
 - Одабир путање и слање информација о путањи свим релевантним усмеривачима
 2. Пренос података
 - Пакети се прослеђују дуж успостављеног виртуелног кола
 3. Брисање виртуелног кола
 - Сви релевантни усмеривачи бришу информације о виртуелном колу
- Као код фиксне телефоније, само што је веза виртуелна:
 - Канал се не резервише само за ту конекцију, већ статистичким мултиплексирањем за већи број виртуелних кола и/или датаграмских сервиса

Виртуелно коло (2)

- Пакети садрже само кратки идентификатор в. кола
 - Овај идентификатор нема глобално значење као IP адреса, већ само на нивоу неког дела слоја везе



Датаграми или Виртуелно коло

Карактеристика	Датаграми	Виртуелна кола
Припрема	Није неопходна	Неопходно
Адресирање	Пакети носе пуне адресе	Пакети носе кратку ознаку
Усмеравање	По пакету	По колу
Откази	Лакше за разрешавање	Тешко за разрешавање
Различити квалитети сервиса	Тешко за додавање	Лако за додавање

Мрежни слој

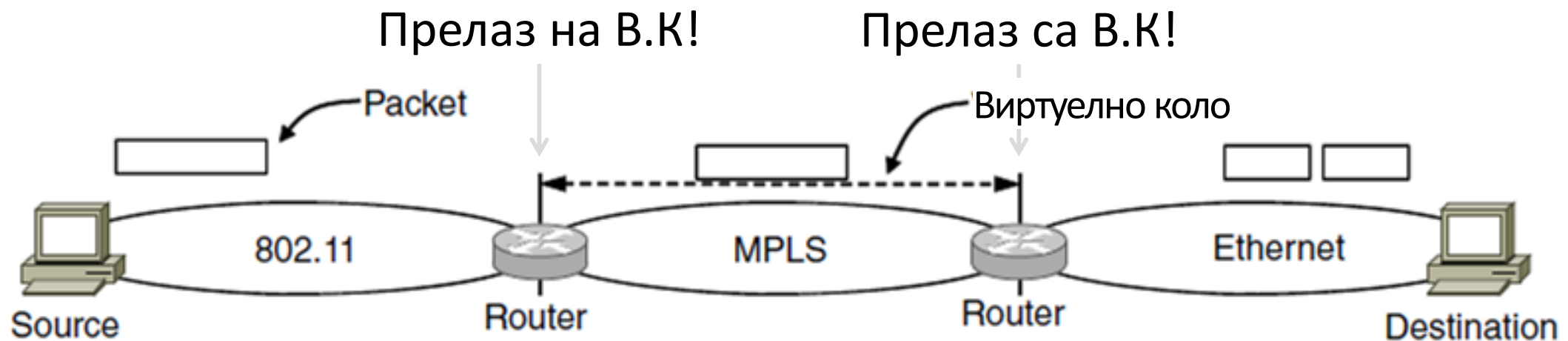
Повезивање различитих мрежа (међумреже)

Разлике међу мрежама

- Разлике у много аспеката:
 - Тип сервиса (датаграми, виртуелна кола)
 - Адресирање
 - Квалитет услуге - QOS (Quality of Service)
 - Величине пакета
 - Сигурност (има/нема енкрипције)

Повезивање датаграмског сервиса виртуелног кола

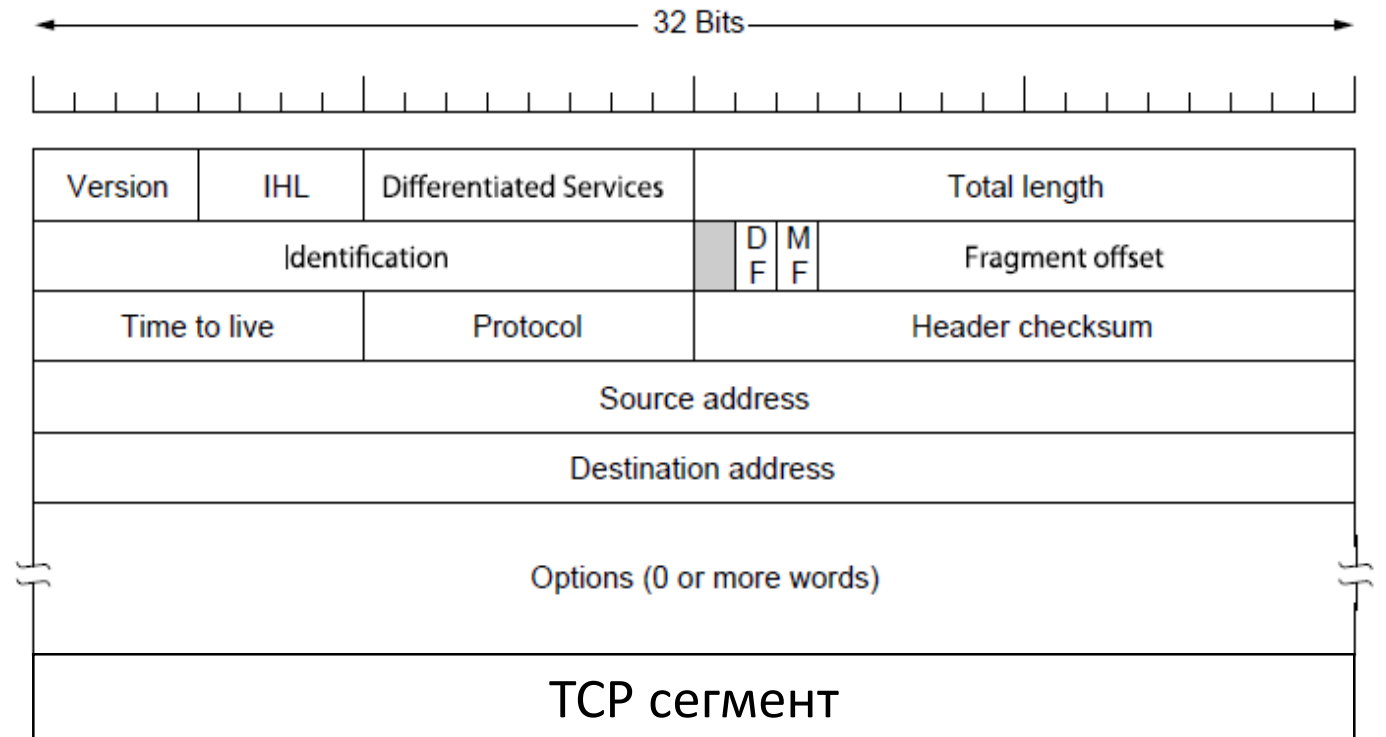
- Потребно је пресликавање између IP адреса и ознака виртуелног кола
- ISP често користе виртуелна кола како би груписали IP саобраћај и брже га пренели



IPv4 (Интернет протокол)

- Пакети садрже разне друге информације:

- Верзију
- Заглавље
- Дужина пакета
- Контролни збирови
- IP адресе
(није исто што и
адресе на слоју везе)
- ...

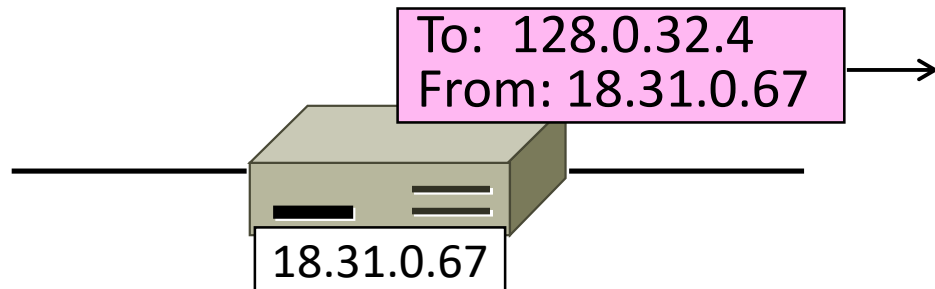


Мрежни слој

IP префикси

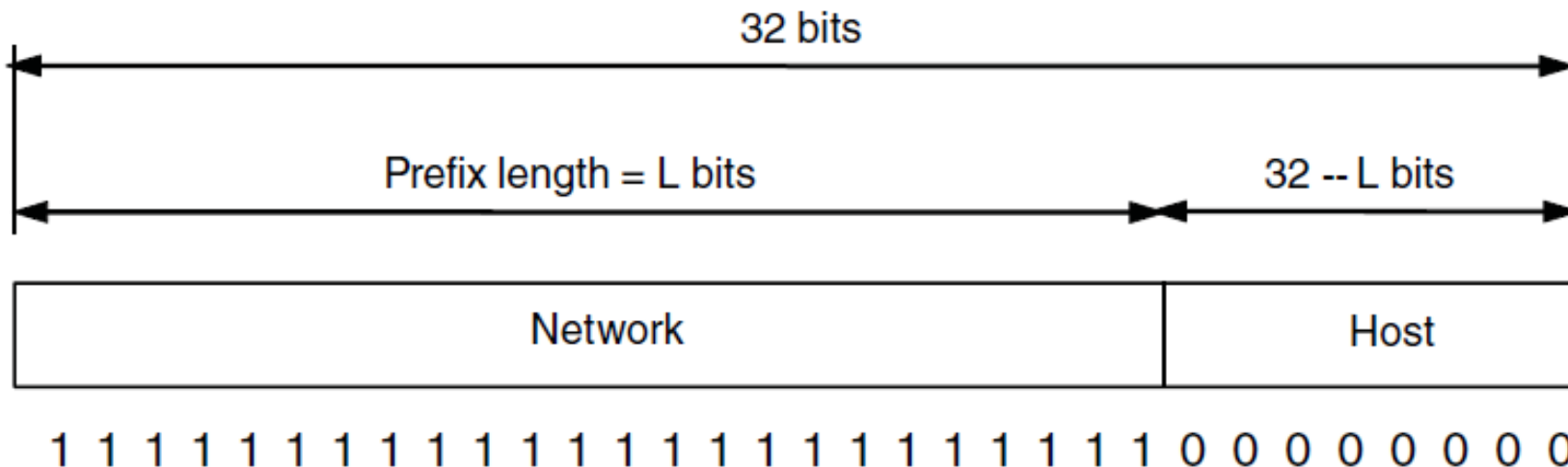
Тема

- Како изгледају IP адресе?
 - Шта су IP префикси (или блокови адреса)
 - Све ово се односи на IPv4



IP префикси

- Адресе се групишу у блокове који се називају префикси
 - L-битни префикс је група адреса које имају исти префикс дужине L бита
 - То значи да L-битни префикс има 2^{32-L} различитих адреса
 - Префикси описују мреже рачунара односе опсеге адреса



IP префикси (2)

- Нотација облика “IP адреса/дужина префикса”
 - Нпр., 128.13.0.0/16 је опсег 128.13.0.0 до 128.13.255.255
 - Префикс облика /24 одговара опсегу са 256 адреса док /32 одговара јединственој адреси

00010010|00011111|00000000|**xxxxxxx** ↔

↔ 128.13.0.0/16

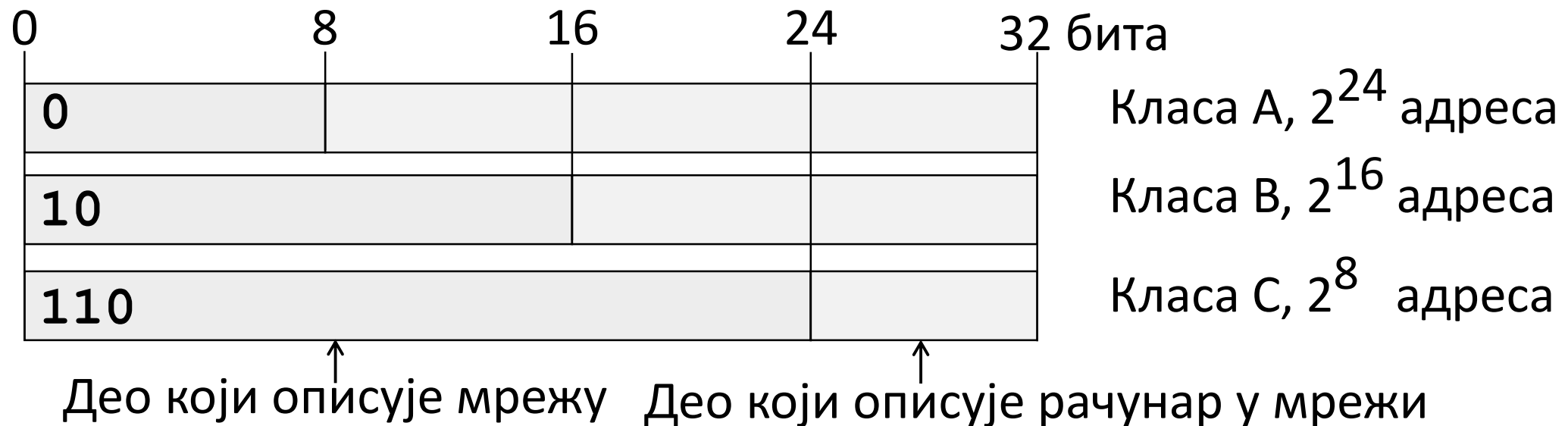
IP префикси (3)

- IP адреса припада различитим префиксима
- Више специфичан префикс
 - Је дужи префикс, јер ближе одређује опсег око те адресе
- Мање специфичан префикс
 - Је краћи префикс. Који је најмање специфичан?



IP класе адреса – стари систем груписања

- Раније су IP адресе биле груписане у класе адреса фиксне дужине
- Класа C је нпр. адекватна за локалне мреже
 - Омогућава 2097152 различитих мрежа величине до 256 рачунара



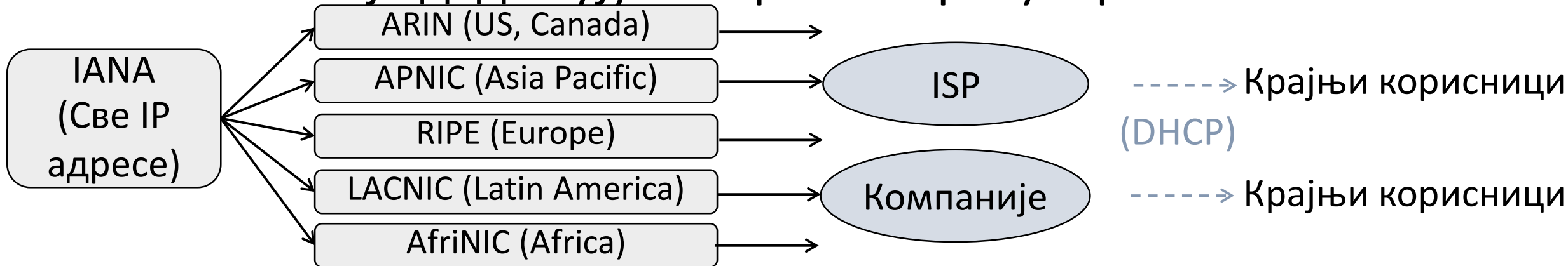
Јавне / приватне IP адресе

- Јавна IP адреса нпр., 18.31.0.1
 - Јединствена ознака рачунара на Интернету
 - Мора се доделити пре употребе (регулаторно тело)
 - Већим делом потрошене ... долази време за прелазак на IPv6!
- Приватне IP адресе
 - Нису глобално јединствене
 - Јесу јединствене на нивоу мањих мрежа, нпр. у мрежи фирме, кућне локалне мреже и слично
 - Примери:
10.0.0.0/8, 172.16.0.0/12, 192.168.0.0/16
 - Потребна је јавна бар једна јавна IP адреса и NAT да би се из оваквих мрежа повезали на Интернет

Додељивање јавних IP адреса

- Хијерархијски процес

- IANA је светско регулаторно тело
 - Додељује цео опсег адреса регионалним телима
- Регионална тела додељују опсеге компанијама у региону
- Компаније додељују конкретним рачунарима

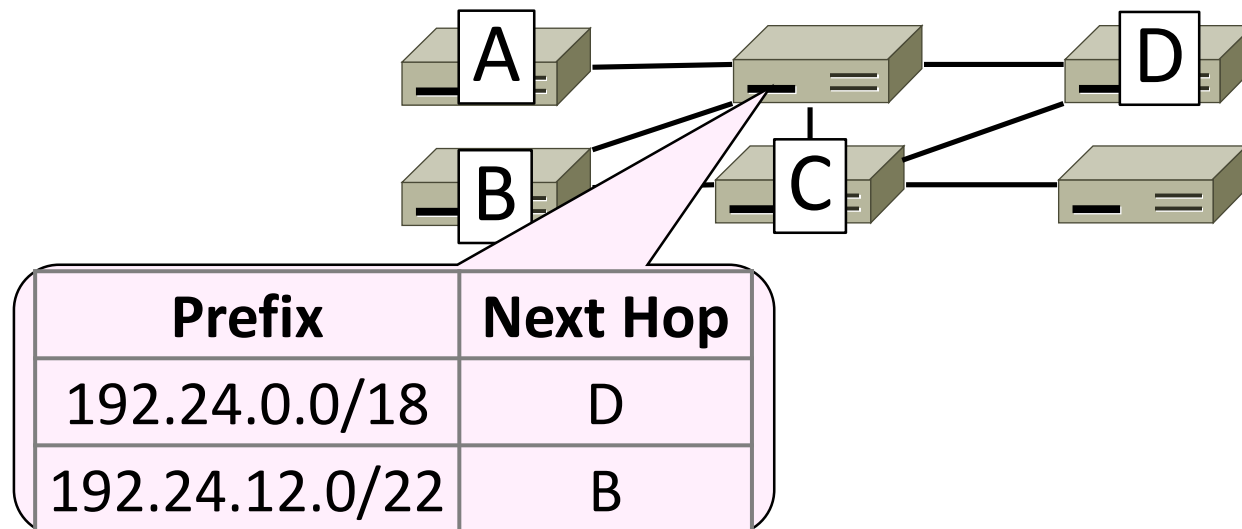


Мрежни слој

Прослеђивање у IP протоколу

IP прослеђивање

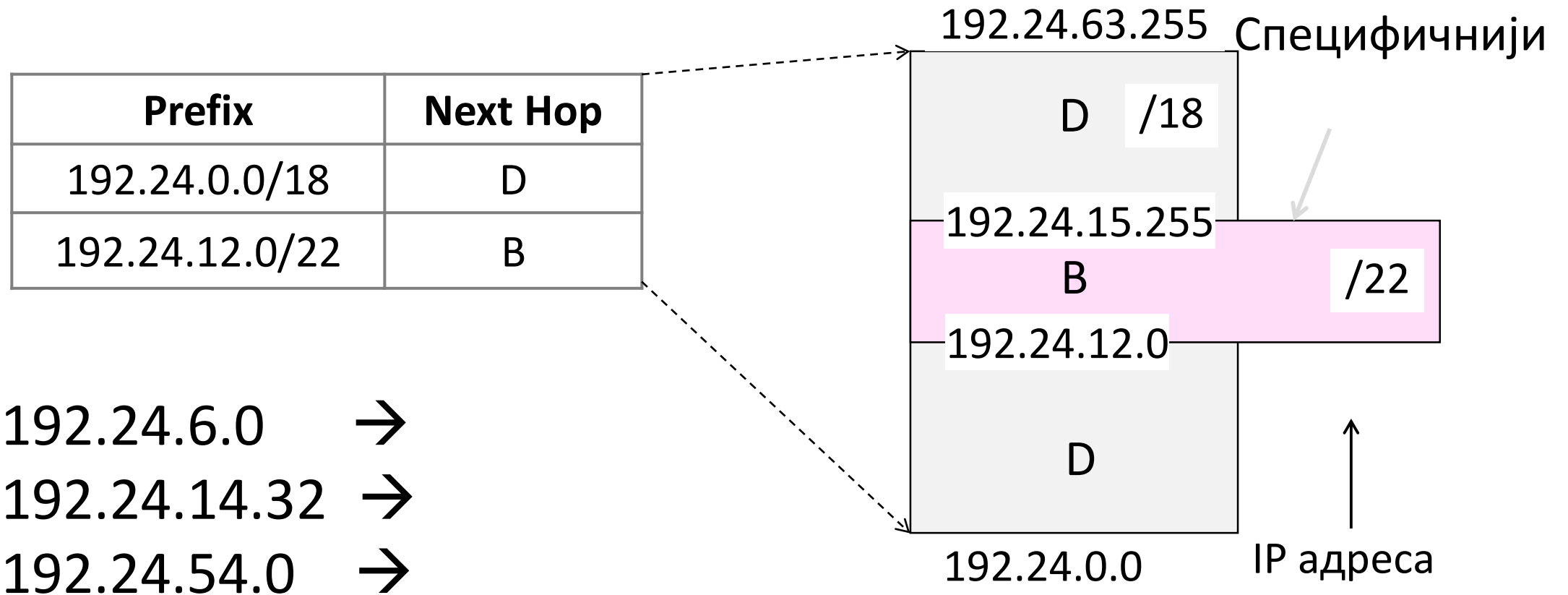
- Све IP адресе једне мреже припадају истом префиксу
- Сваки усмеривач поседује табелу уређених парова облика (префикс, следећи чвор – хоп)
- Зашто не (циљна адреса, следећи чвор)?



Најдужи одговарајући префикс

- Префикси у табели се могу преклапати!
- Правило најдужег одговарајућег префикса:
 - За сваки пакет, пронаћи најдужи префикс који садржи циљну адресу, односно најспецифичнији префикс
 - Проследити пакет чвору који одговара том префиксу

Најдужи одговарајући префикс (2)



Најдужи одговарајући префикс (3)

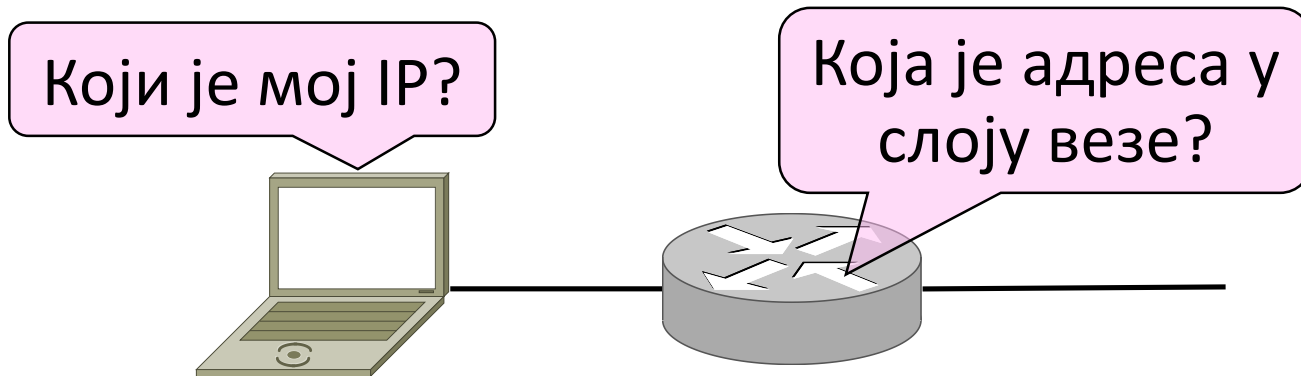
- Могу да пруже подразумевано понашање, са мање специфичним префиксом
- Могу да пруже специјално понашање, са специфичнијим префиксом
 - Због перформанси, сигурности итд.
- Огромна табела је распарчана хијерахијски на велики број усмеривача
 - Компактније табеле → подразумеваније (мање ефикасно, сигурно, ...) понашање
 - Веће табеле → специфичније (ефикасније, сигурније,...) понашање
 - Ово је компромис између временске и просторне сложености који стално срећемо у рачунарству!

Мрежни слој

Помоћни механизми: ARP и DHCP

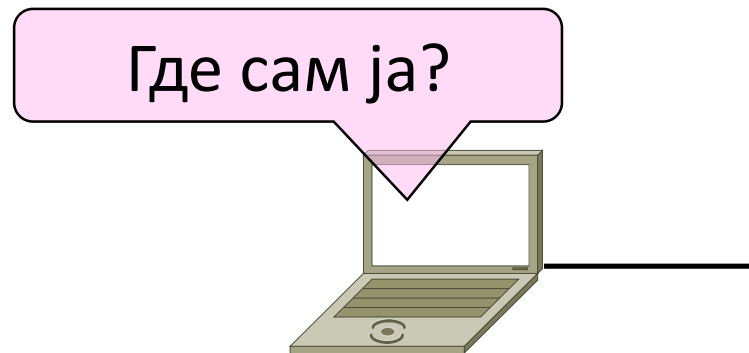
Тема

- Два проблема
 - Додељивање IP адресе рачунару у мрежи (DHCP)
 - Одређивање адресе у слоју везе (MAC) за циљну IP адресу (ARP)



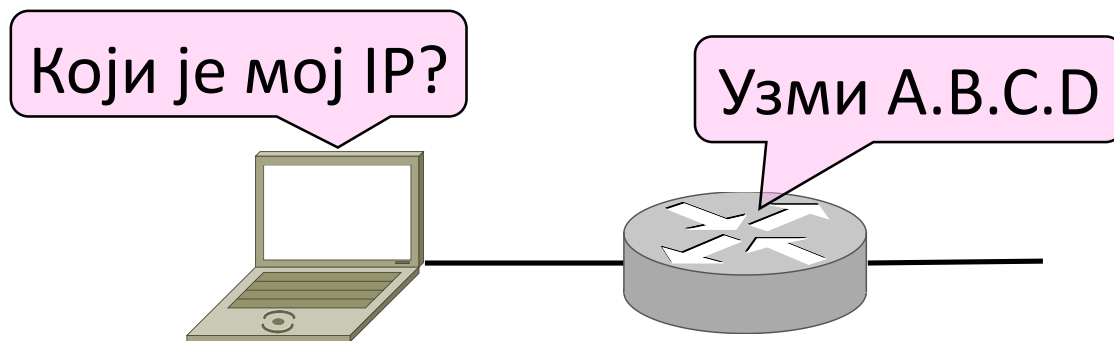
Додељивање IP адресе

- Први проблем:
 - Чвор А се покрене по први пут ...
 - Која је његова IP адреса?
 - Која је IP адреса његовог усмеривача итд?
 - Етернет адреса је фабрички задата на мрежној картици
 - Да ли ово може фабрички да се зада?



Додељивање IP адресе (2)

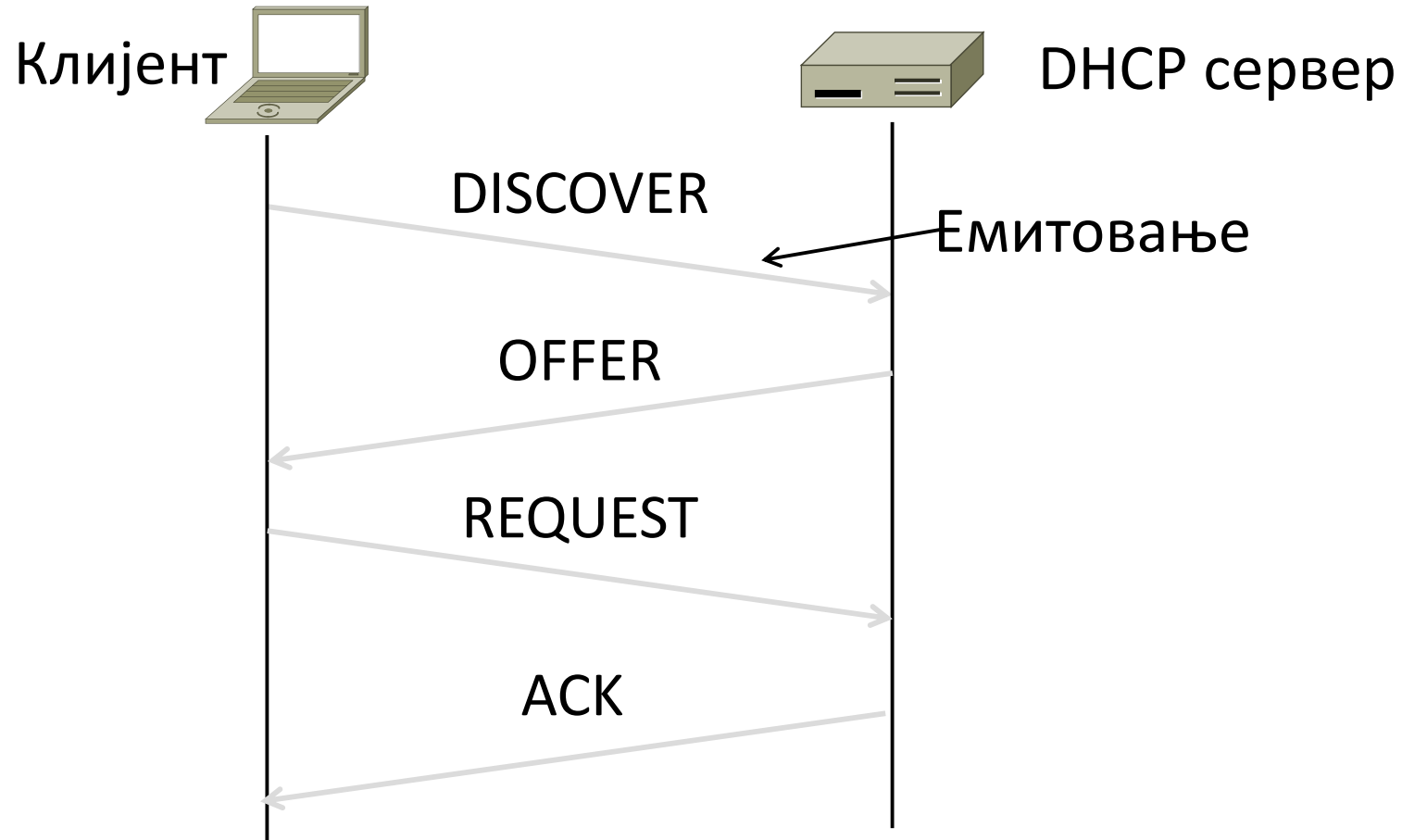
1. Ручно подешавање (стари приступ)
2. Протокол за аутоматско подешавање адреса (DHCP – Dynamic Host Configuration Protocol)



DHCP

- Опис протокола (рачунар не зна где је DHCP):
 1. Чвор емитује пакет целој мрежи (специјална адреса за емитовање је 255.255.255.255)
 2. DHCP одговара чвору циљано на основу његове MAC адресе са предложеном IP адресом
 3. Чвор емитује одговор да му одговара предложена адреса (може да буде више DHCP-ова)
 4. DHCP потврђује и брише адресу из списка слободних IP адреса

DHCP (2)

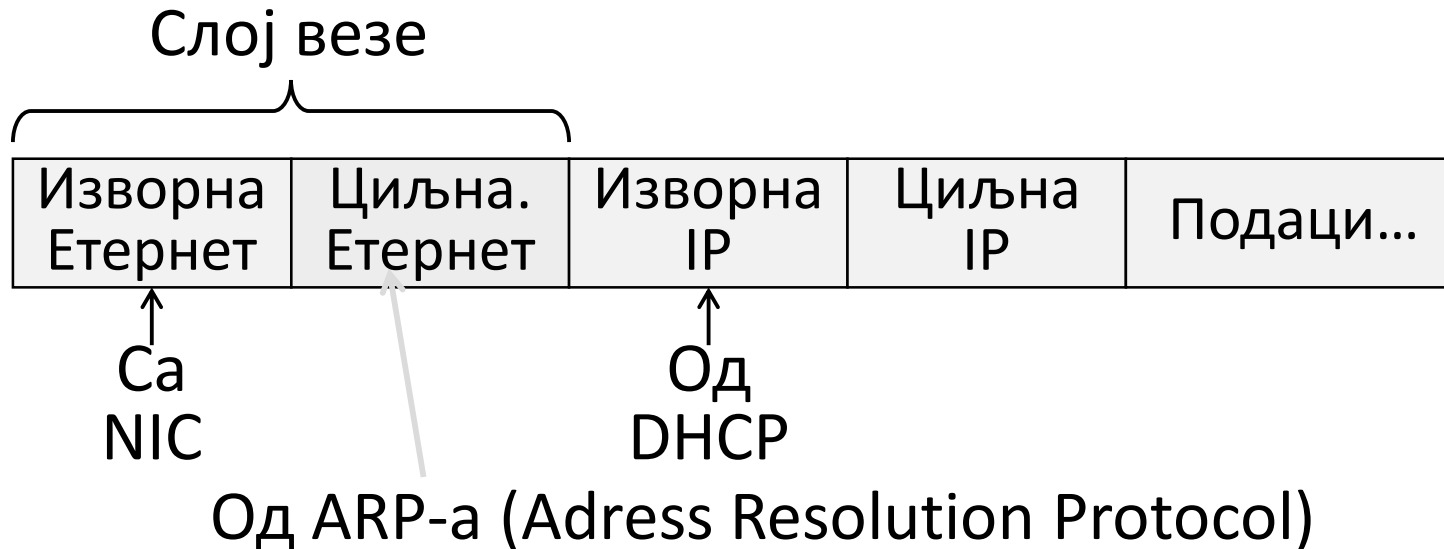


DHCP (3)

- Клијент може и да обнови већ додељену IP адресу ако је раније добио
 - Шаље само REQUEST и добија ACK
- Протокол такође омогућава паралелни рад више реплицираних DHCP сервера
 - Зарад поузданости и ефикасности
 - REQUEST се емитује тако да су синхронизовани

Слање IP пакета

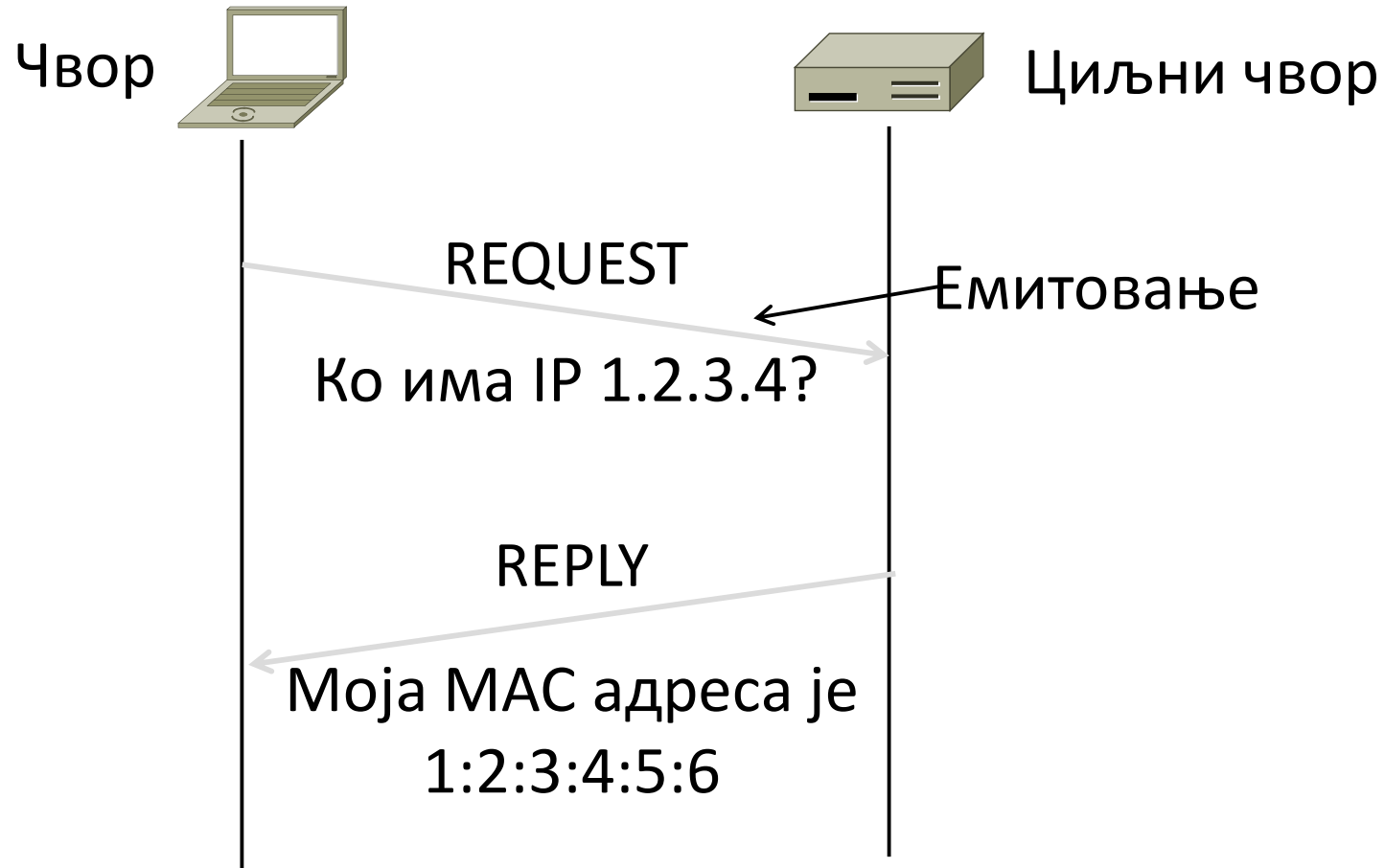
- Други проблем:
 - Чвор мора да сазна циљну адресу у слоју везе како би послао оквире на одговарајући чвор
 - Како на основу циљне IP адресе да сазна адресу у слоју везе?



ARP

- Опис протокола (једноставан):
 1. Чвор који хоће да сазна емитује циљну IP адресу
 2. Онај који има ту адресу за своју изворну, враћа му одговор са својом адресом у слоју везе

ARP (2)



Мрежни слој

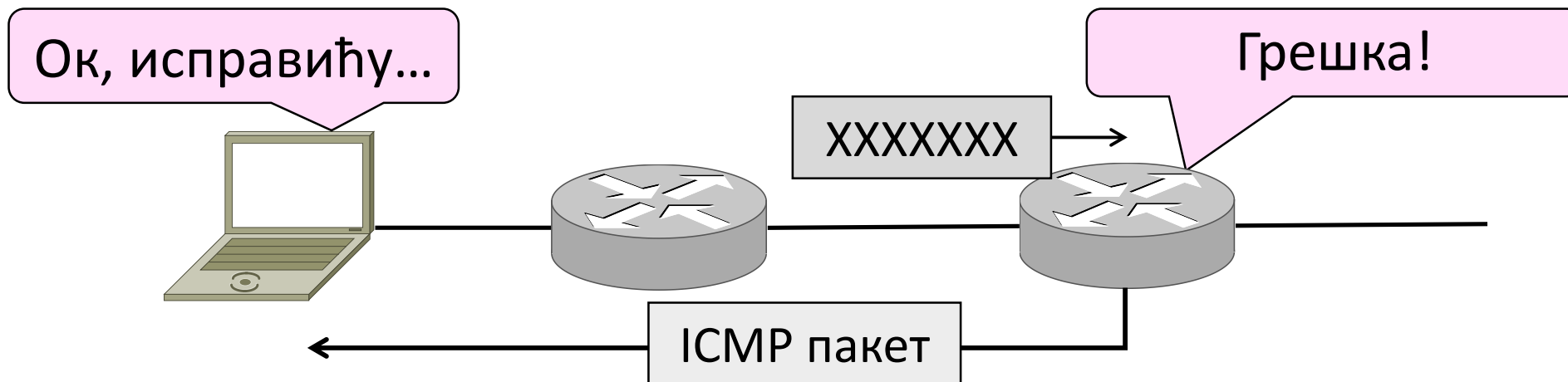
Протокол за грешке ICMP

Тема

- Шта се ради када се деси грешка приликом прослеђивања?
 - Потребно је да се то некако јави чвору који је послао пакет
- ICMP (Internet Control Message Protocol)

ICMP

- Када усмеривач детектује грешку при прослеђивању
 - нпр. превелики пакет, максималан број хопова и сл.
 - Усмеривач шаље ICMP пакет пошиљаоцу
 - Притом одбацује проблематични пакет



ICMP (2)

- ICMP пакет садржи тип грешке, код и контролни збир
- ICMP пакет је исти као IP пакет, има само индикаторско поље које омогућава разликовање

Назив	Тип/ Код	Употреба
Dest. Unreachable (Net or Host)	3 / 0 or 1	Недоступност циља
Dest. Unreachable (Fragment)	3 / 4	Пакет превелик
Time Exceeded (Transit)	11 / 0	Traceroute
Echo Request or Reply	8 or 0 / 0	Ping (тестирање циља)

Мрежни слој

NAT – превођење адреса

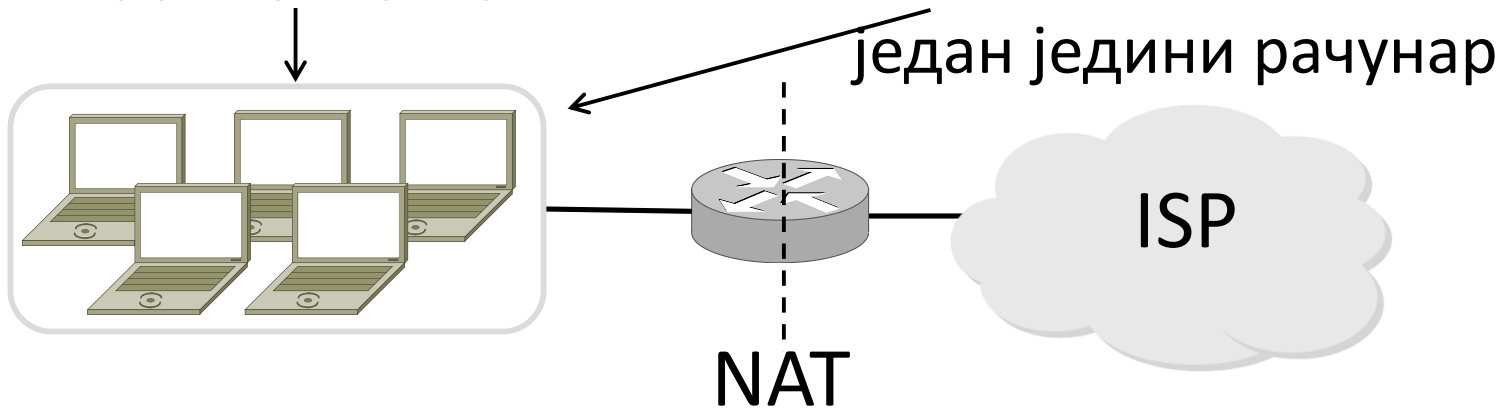
NAT (Network Address Translation)

- NAT повезује рачунаре из локалне мреже на спољну мрежу, нпр. Интернет
 - IPv4 омогућава само пар милијарди доступних јавних адреса
 - Међутим, рачунара који се повезују на Интернет је много више
- NAT је мотивисан управо несташицом IPv4 адреса

NAT (2)

- Стандардни сценарио:
 - Кућни рачунари користе “private” IP адресе
 - NAT (у оквиру кућног усмеривача- AP) повезује више кућних рачунара на једну јавну адресу додељену од стране ISP

Вишеструки рачунари



Како NAT ради?

- Он одржава табелу (пресликавање) унутрашњих/спољних адреса
 - Заправо је то пресликавање IP+TCP порт информација

Шта рачунар мисли

Шта ISP мисли

Унутрашњи IP:port	Спољни IP : port
192.168.1.12 : 5523	44.25.80.3 : 1500
192.168.1.13 : 1234	44.25.80.3 : 1501
192.168.2.20 : 1234	44.25.80.3 : 1502

- Портови су неопходни како би мапирање било 1-1, јер је спољних адреса мање (обично само једна)

Како NAT ради (2)

- Приликом слања података из локалне мреже
 - Сваком IP пакету се мења адреса пошиљаоца у складу са задатим пресликавањем (с лева на десно)
- Приликом прихватања података из спољне мреже
 - Сваком IP пакету се мења адреса примаоца у складу са задатим пресликвашњем (с десна на лево)

NAT лоше стране

- Нарушена је „чистоћа“ слојевитости
 - Ради на мрежном слоју, а барата TCP портовима
- Пакети могу да се примају само ако је претходно било послатих пакета. Зашто?
- Тешко је, готово немогуће, користити сервере преко NAT-а, зашто?

NAT добре стране

- Смањује потребе за јавним IP адресама
 - Довољна једна по домаћинству
- Лако се инсталира
- Често има у себи и неки вид заштите од упада (firewall)
- Помаже и по питању приватности, зашто?