

# Рачунарске мреже

Александар Картељ

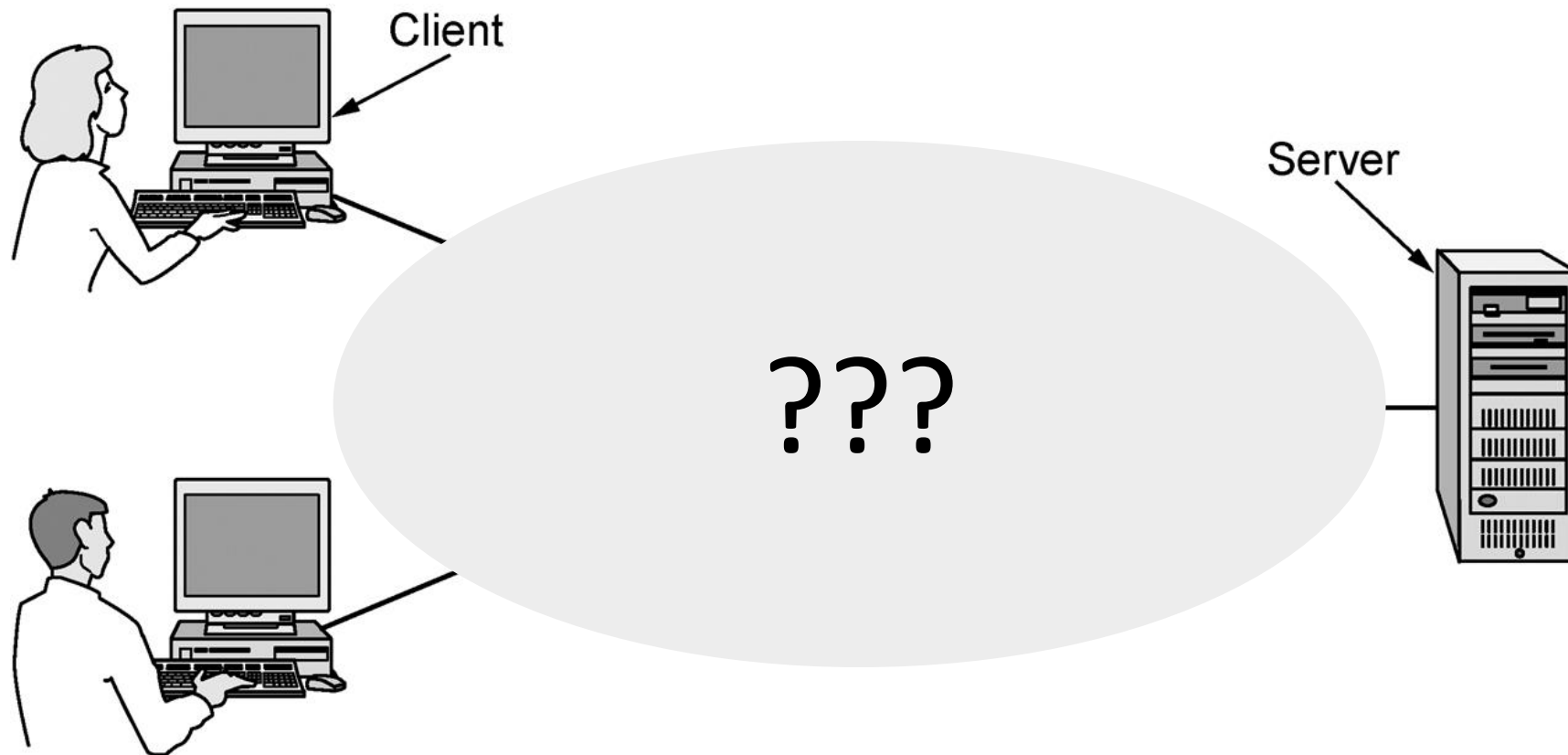
[kartelj@matf.bg.ac.rs](mailto:kartelj@matf.bg.ac.rs)

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

# Фокус курса



# Први циљ

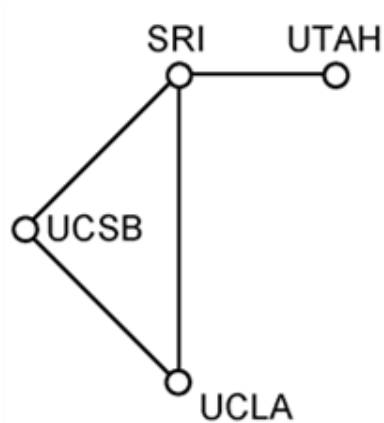
1. Да научимо како ради Интернет?

- Шта се заиста дешава када „сурфујемо“?
- Шта су: TCP/IP, DNS, HTTP, NAT, VPNs, 802.11 итд.?

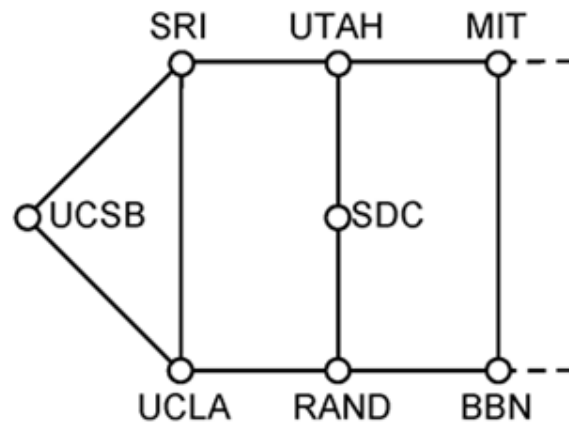
2. Да научимо основе рачунарских мрежа?

Како је започело ширење...

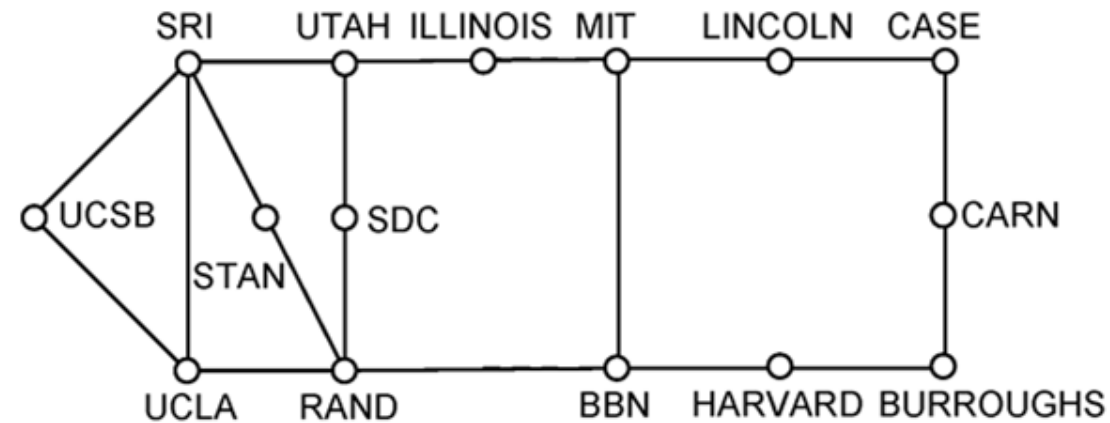
## ARPANET ~1970



(a) Дец. 1969.



(б) Јул 1970.



(в) Март 1971.



# Други циљ

1. Да научимо како ради Интернет?
2. Да научимо основе рачунарских мрежа?
  - Какве проблеме оне решавају?
  - Какав дизајн мрежа се показао добрим?

# Зашто учити теорију рачунарских мрежа?

1. Применљива је у свим типовима мрежа
2. Интелектуално је захтевна и интересантна
3. Разумевање промена и нових изума

# Шта нећемо учити?

- IT вештине у домену мрежа:
  - Подешавање мрежних уређаја:
    - Нпр., Cisco сертификација
  - Међутим, лабораторијске вежбе ће се позабавити неким од базичних (непроменљивих) технологија и алата.



# Преглед наставних целина

- Увод у рачунарске мреже
  - Употребе мрежа, примери мрежног софтвера и хардвера, референтни модели, примери мрежа, ...
- Физички слој мреже
  - Пренос сигнала, медијуми, бежични пренос, комуникациони сателити, систем мобилне телефоније, кабловска телевизија, ...
- Слој везе података
  - Откривање и исправљање грешака, протоколи, ...
- Подслој за управљање приступом медијумима
  - АЛОНА, Ethernet, бежичне локалне мреже, Bluetooth, RFID, ...

# Преглед наставних целина (2)

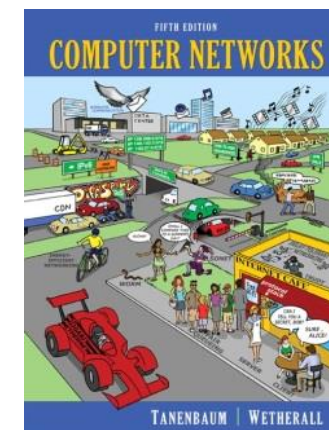
- Мрежни слој
  - Алгоритми усмеравања (рутирања), алгоритми управљања загушењем, повезивање различитих мрежа, ...
- Транспортни слој
  - Транспортни протоколи UDP и TCP, успостављање и раскидање везе, перформансе, ...
- Апликативни слој
  - DNS, електронска пошта, WWW, токови података, ...
- Безбедност у мрежи
  - Криптографија, алгоритми шифровања, дигитални потписи, ...

# Преглед студентских обавеза

- Предиспитне обавезе
  - Практични колоквијум: 30 поена
- Завршни испит
  - Практични део испита: 30 поена
  - Усмени део испита: 40 поена
    - **Услов за излазак је 15 поена на практичном делу**
    - **Услов за излазак је и 25 поена укупно на практичном и предиспитним обавезама**
    - **Услов за пролазну оцену је најмање 20 поена укупно на усменом**
    - **Услов за пролазну оцену је и најмање 1 поен по сваком питању**
  - Завршни испит је недељив
  - Делимични резултат са практичног или усменог се не преноси!

# О материјалима

- Ови слајдови се могу користити као полазна литература за курсеве:
    - Рачунарске мреже (смер 4И)
      - <http://www.matf.bg.ac.rs/~kartelj/nastava/MR2016>
    - Увод у оперативне системе и рачунарске мреже (смер 4МР)
      - <http://www.matf.bg.ac.rs/~kartelj/nastava/UOSRM2016>
  - Референтна литература за ова два курса су књиге:
    - [Computer Networks, 5th Edition, Andrew S. Tanenbaum, David J. Wetherall, Pearson, 2011.](#)
    - [Рачунарске мреже, превод петог издања, Andrew S. Tanenbaum, David J. Wetherall, Микро књига, 2012.](#)
- или
- [Computer Networking 6th edition: A Top-Down Approach, James F. Kurose, Keith W. Ross, Pearson, 2013.](#)
  - [Умрежавање рачунара, превод шестог издања, James F. Kurose, Keith W. Ross, CET и RAF – рачунарски факултет, 2014.](#)
  - Обе књиге су одличне, с тим што је код прве приступ „од дна ка врху“, а код друге „од врха ка дну“. Могу се користити и претходна издања ових књига, нпр. 4. издање прве, или 4. и 5. издање друге.



# Основе рачунарских мрежа

Употребе

# Примери употреба

- Пословне:
  - Електронска пошта, размена датотека, дељени штампачи, ...
- Кућне:
  - Филмови, музика, игрице, вести, аудио и видео комуникација, размена порука, електронска куповина, ...
- Мобилне:
  - Позиви, SMS, игрице, мапе, приступ информацијама, ...

# Комуникација

VoIP (позиви преко интернета)

Видео конференције

Четовање

Социјалне мреже

→ Потребан брз приступ, односно мало кашњење за овакве примене.

## Дељење ресурса

- Више корисника приступа истим уређајима и сервисима:
  - Нпр., 3D штампач, индекс претраге, рачунари на захтев (cloud)
- Ефективнија употреба од посвећених ресурса (када се гледа по кориснику)
  - Чак се и мрежни проток дели статистичким мултиплексирањем

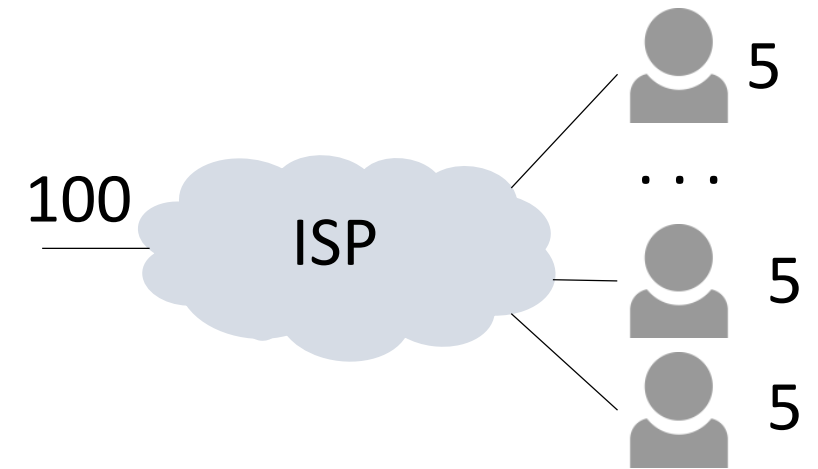


# Статистичко мултиплексирање

- Дељење мрежног протока међу корисницима на основу статистике захтева
  - Корисно, јер корисници најчешће не преносе ништа
  - Функција преноса кроз време је врло скоковита.
- Питање:
  - Како нам ово сазнање помаже?

# Статистичко мултиплексирање (2)

- Пример: Корисници у ISP\* мрежи
  - Мрежа има проток од 100 Mbps
  - Сваки корисник је претплаћен на по 5 Mbps
  - Међутим, корисник је активан само 50% времена...
- Колико корисника ISP може да подржи?
  - Са посвећеним протоком за сваког корисника?
  - Која је вероватноћа да комплетан проток буде искоришћен (претпостављамо да се корисници независни)?



ISP – internet service provider  
Дистрибутер услуге, нпр. Telekom, SBB,...

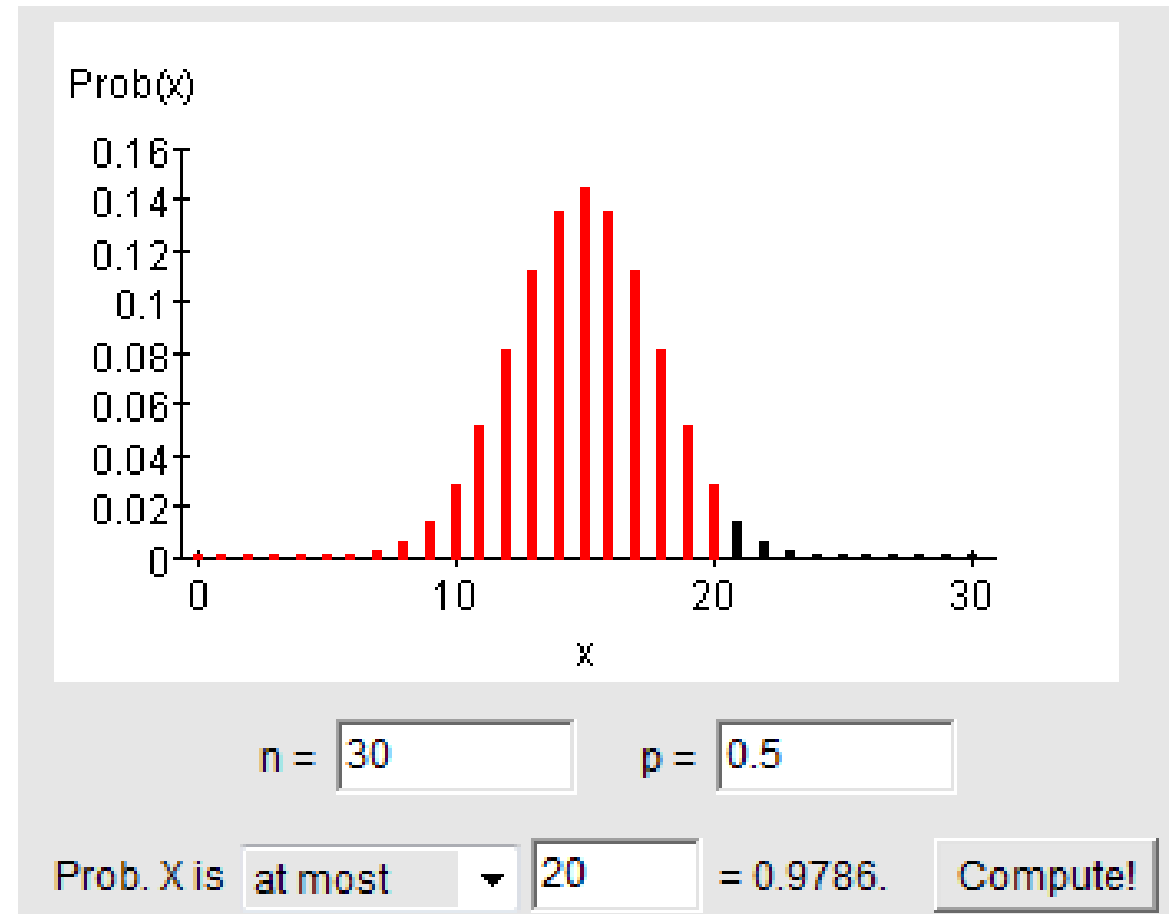
# Статистичко мултиплексирање (3)

- Чак и са 30 независних корисника, и даље су шансе мале (~2%) да ће бити потребно више од 100 Mbps
  - Биномна расподела

→ Дакле, већи број корисника са истим протоком

- Добит од статистичког мултиплексирања је: 30/20 или 1.5X
- Али постоји шанса од око 2% да ће корисници имати умањен проток

## Binomial Calculator

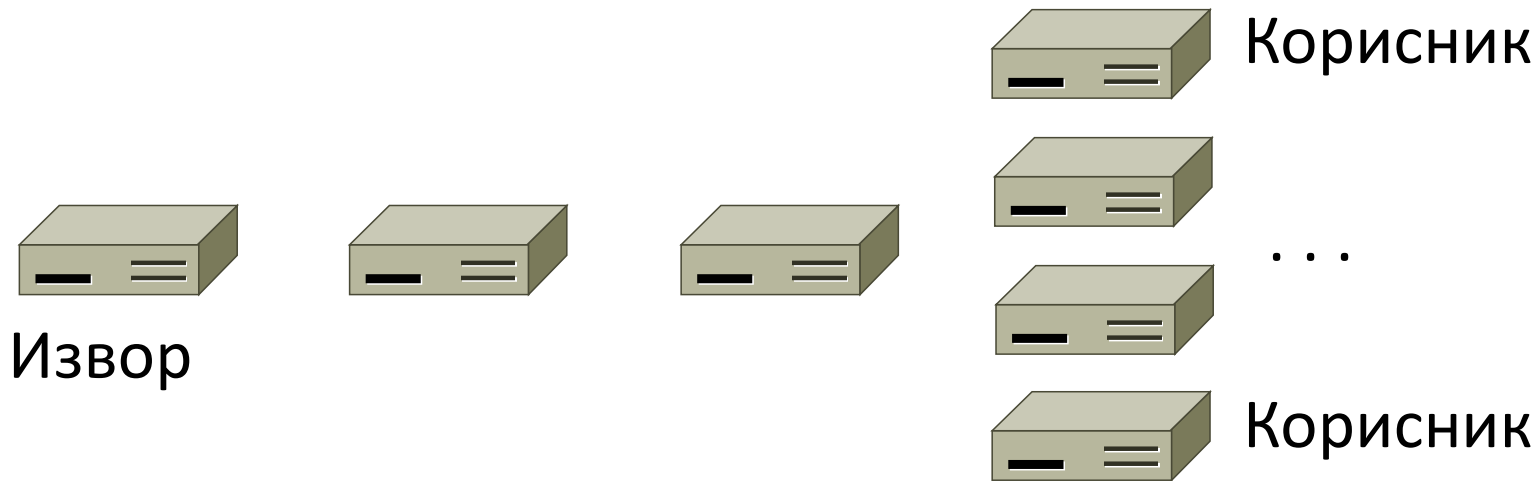


# Достављање садржаја (content delivery)

- Исти садржај већем броју корисника
  - Видео материјал, песме, апликације, веб странице, ...
- Ефикасније него слање копије сваком кориснику понаособ
  - Употреба дистрибуираних реплика широм мреже

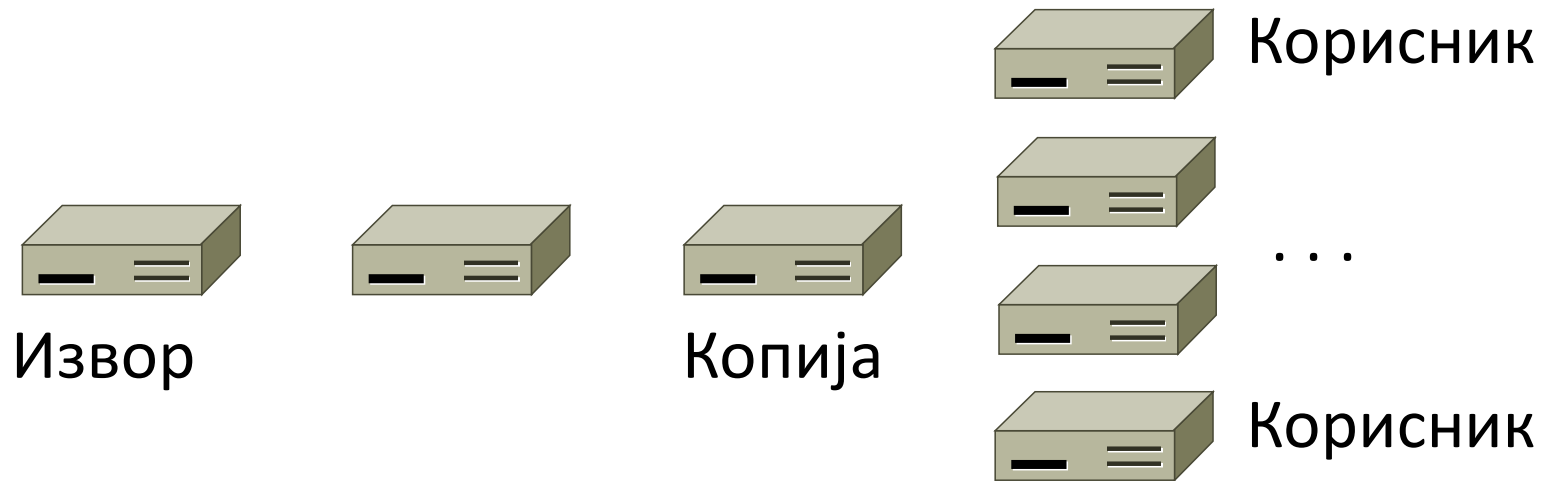
## Достављање садржаја (2)

- Слање садржаја са извора до 4 корисника узима 12 „мрежних скокова“ (network hops)



## Достављање садржаја (3)

- Слање са паметно позиционираном репликом узима  $4 + 2 = 6$  скокова



# Комуникација међу рачунарима

- Рачунари могу једни са другима комуницирати
  - нпр., електронско пословање, резервације карата
- Омогућава аутоматску обраду информација над независним системима

# Повезивање рачунара са уређајима

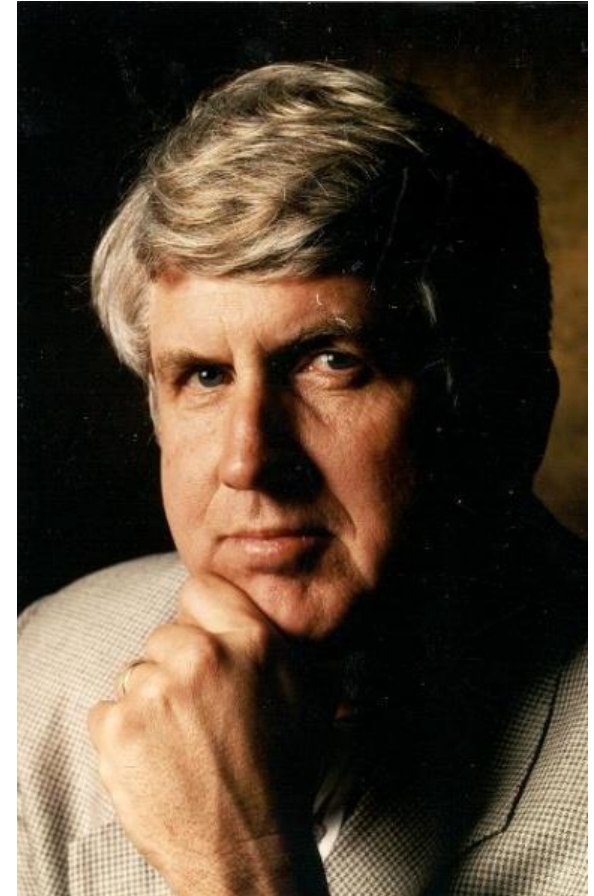
- Прикупљање података са сензора, манипулација уређајима
  - Нпр., камере, локације на мобилним уређајима, детектори покрета, ...
- Ово је подручје примене у повоју, Интернет за ствари (IoT – Internet of Things)



# Вредност повезивања

- Меткалфов закон ~1980:
  - Вредност мреже са  $N$  чворова је пропорционална вредности  $N^2$
  - Велика мрежа је вреднија него више малих са истим укупним бројем чворова

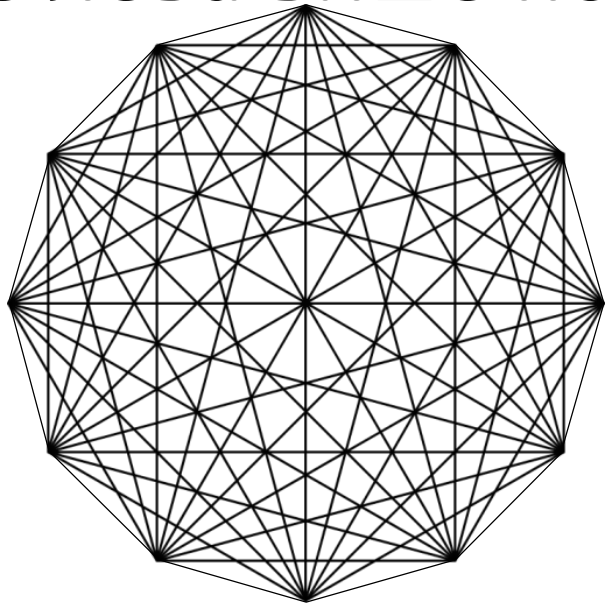
Bob Metcalfe



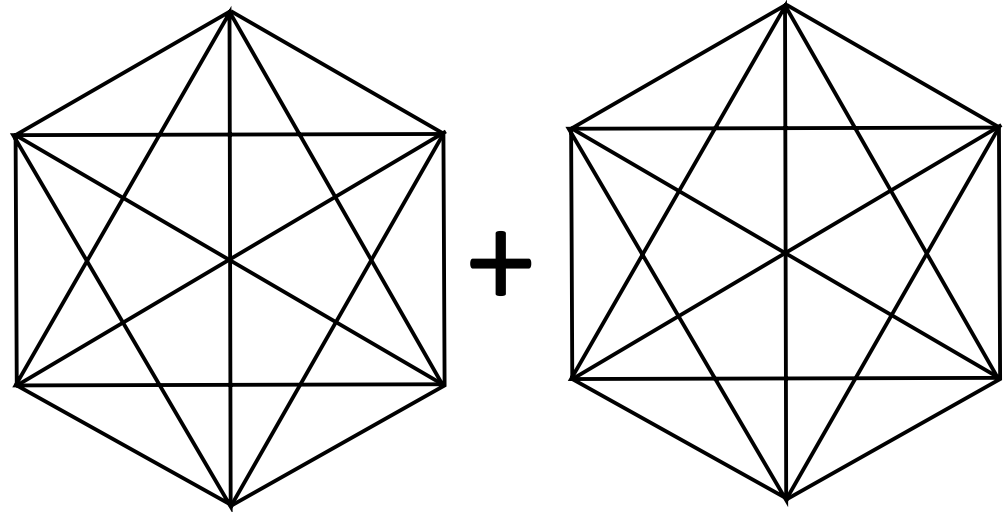
: © 2009 IEEE

## Вредност повезивања (2)

- Пример: обе структуре имају по 12 чворова, али је лева више повезана



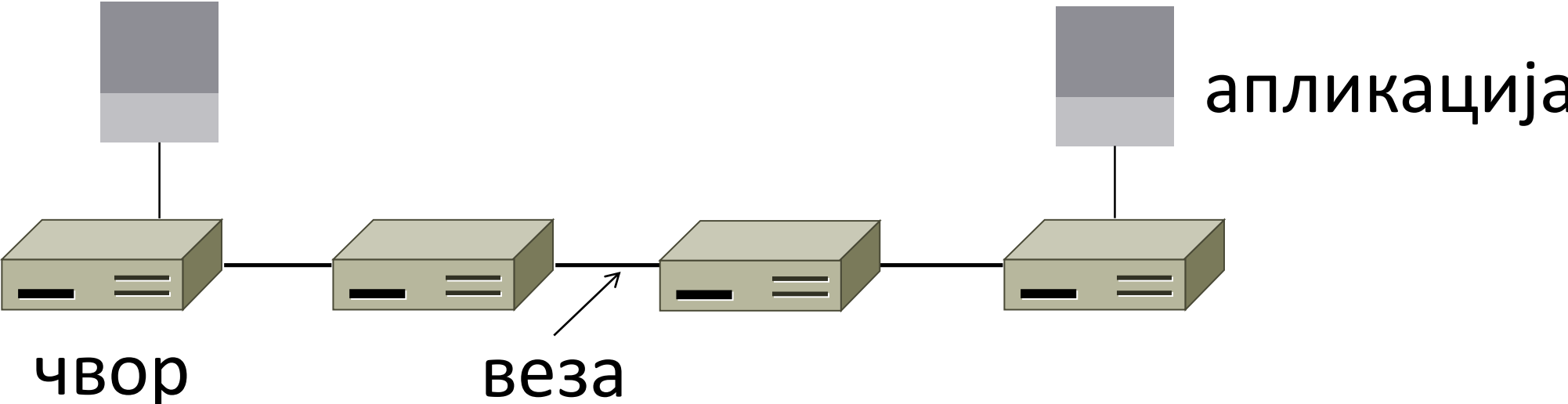
VS



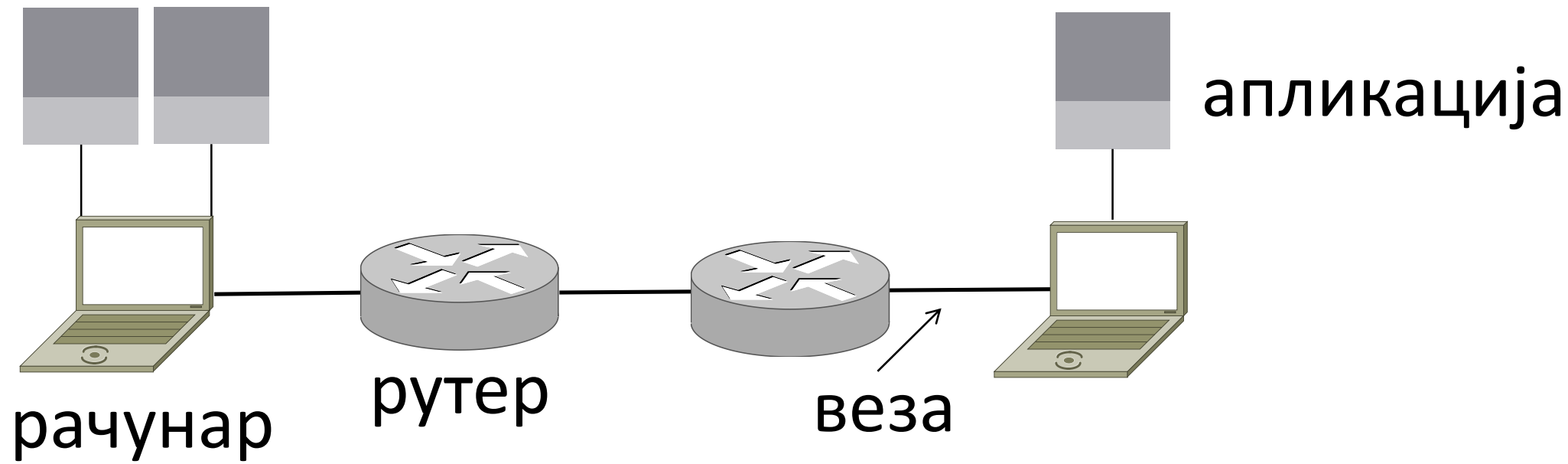
# Основе рачунарских мрежа

Компоненте мреже

# Делови мреже



# Делови мреже (2)



# Компоненте мреже

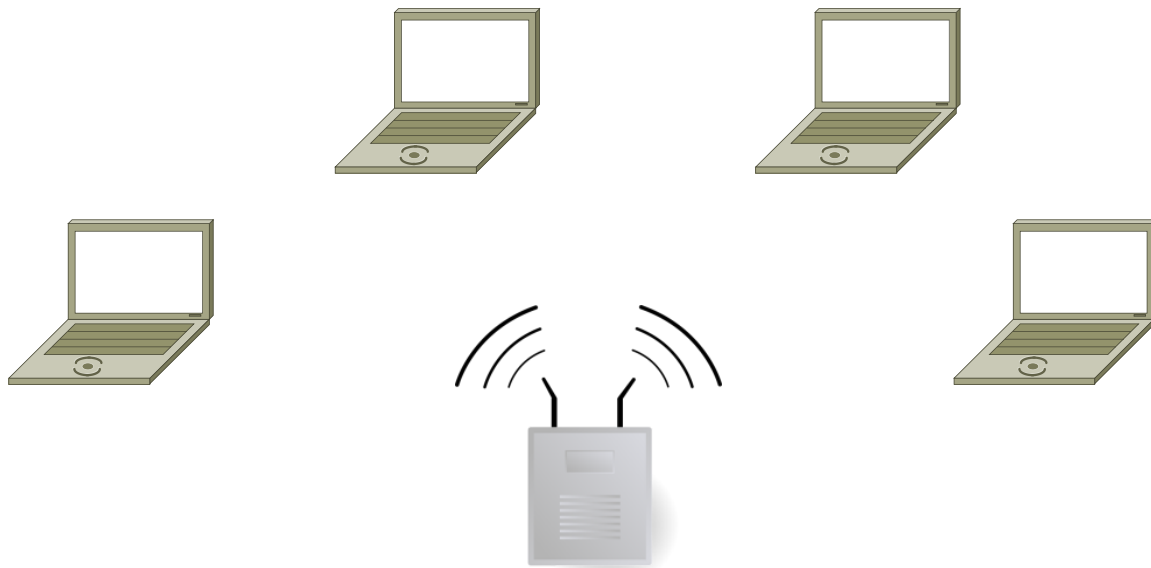
Компонента - називи	Функција	Пример
<u>Апликација</u> , корисник, ...	Користи мрежу	Skype, iTunes, Amazon
<u>Рачунар</u> , или завршни чвор, извор, уређај ...	Подржава апликацију	Лаптоп, мобилни телефон, стони рачунар
<u>Рутер</u> , или усмеривач, средишњи чвор	Прослеђује поруке између чворова	Приступна тачка, кабловски/DSL модем
<u>Веза</u> , или канал	Спаја чворове	Жичани, бежични

# Типови веза

- Пуни дуплекс
  - У оба смера истовремено
- Полу-дуплекс
  - У оба смера
- Симплекс
  - Један смер

# Бежичне везе

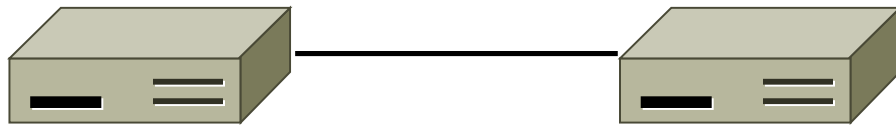
- Порука се емитује
  - Прихватају је сви чворови у опсегу
  - Мешање сигнала

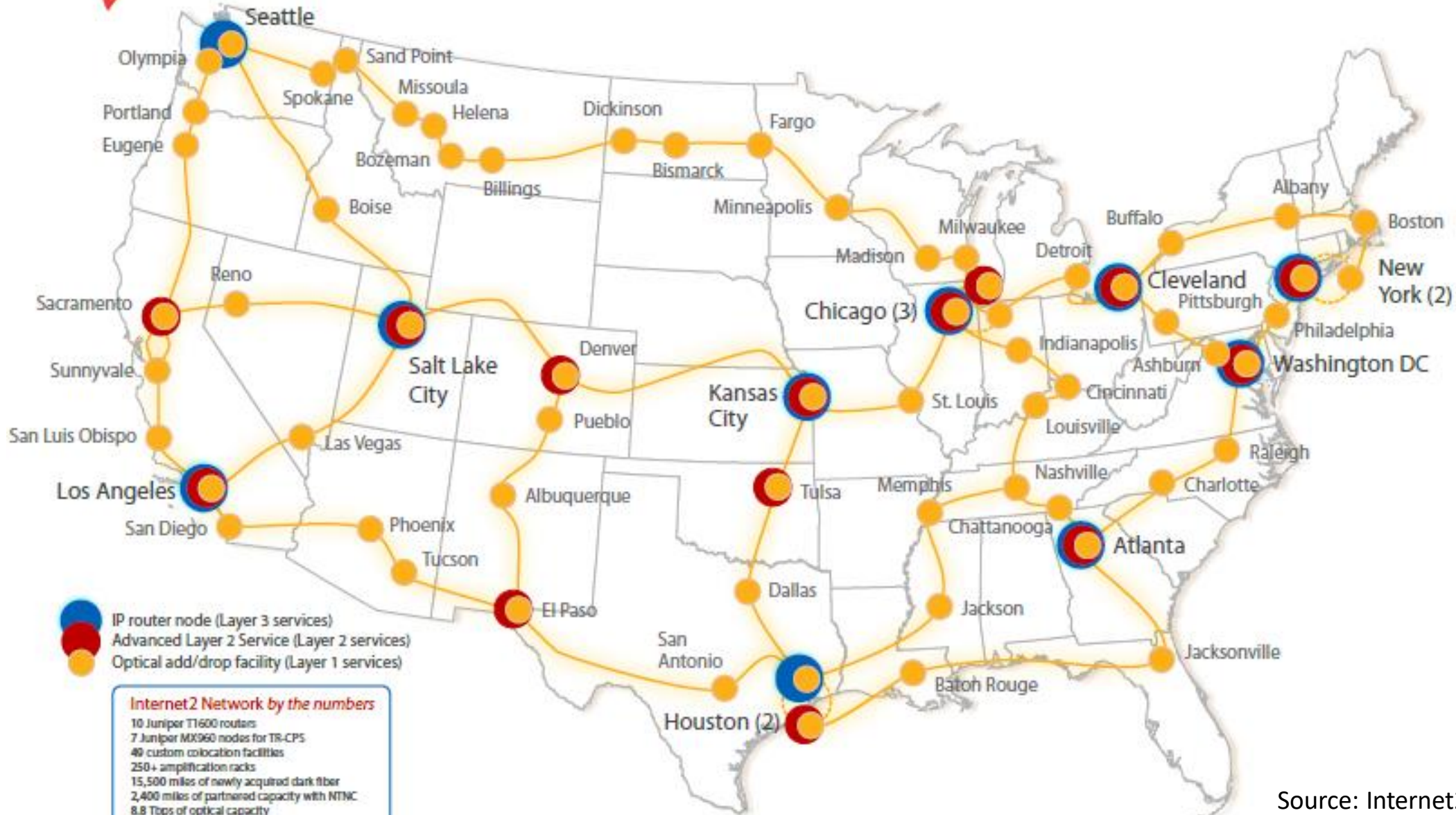




# Мала мрежа

- Повезује неколико рачунара





- IP router node (Layer 3 services)
- Advanced Layer 2 Service (Layer 2 services)
- Optical add/drop facility (Layer 1 services)

**Internet2 Network by the numbers**

- 10 Juniper T1600 routers
- 7 Juniper MX960 nodes for TR-CPS
- 40 custom colocation facilities
- 250+ amplification racks
- 15,500 miles of newly acquired dark fiber
- 2,400 miles of partnered capacity with NTNC
- 8.8 Tbps of optical capacity
- 100 Gbps of IP capacity
- 300+ Ciena ActiveFlex 6500 network elements

IN SUPPORT OF  
**U.S.UCAN**

NETWORK PARTNERS

**ciena**

**CISCO**

**INDIANA UNIVERSITY**

**Infinera**

**JUNIPER NETWORKS**

# Примери мрежа

- [Наведите неколико примера]

# Примери мрежа (2)

- WiFi (802.11)
- Пословне / Ethernet
- ISP (Internet Service Provider)
- Кабловска / DSL
- Мобилна телефонија (2G, 3G, 4G)
- Bluetooth
- Телефон
- Сателити ...

# Рачунарске мреже према димензији

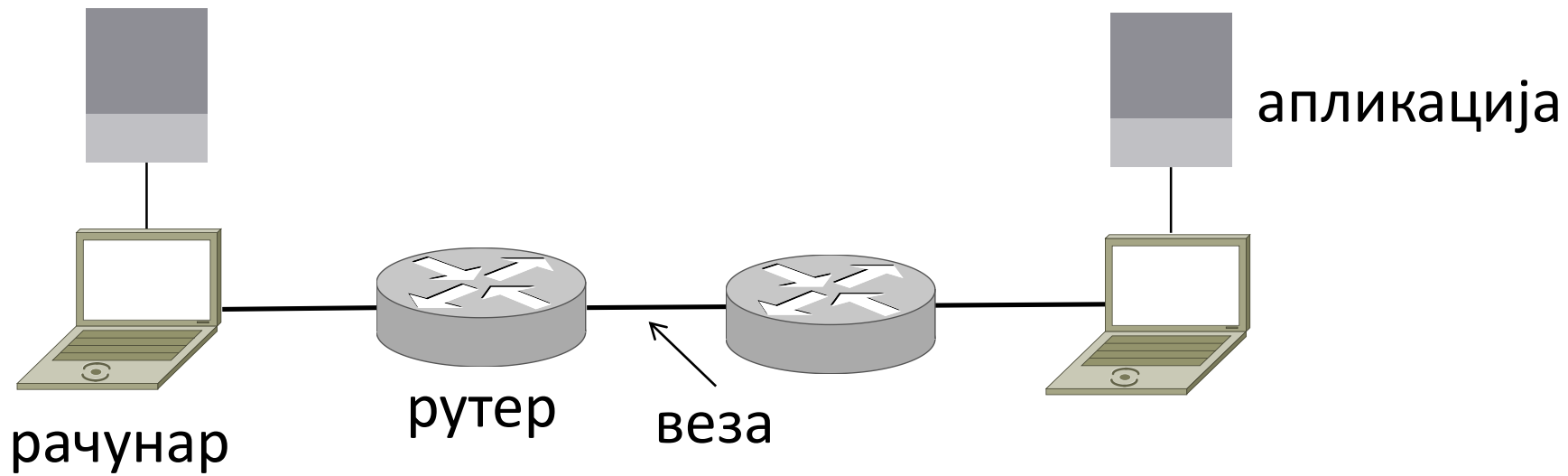
Димензија	Тип	Пример
Непосредна близина	<u>PAN</u> (Personal Area Network)	Bluetooth
Зграда	<u>LAN</u> (Local Area Network)	WiFi, Ethernet
Град	<u>MAN</u> (Metropolitan Area Network)	Кабловска, DSL
Држава	<u>WAN</u> (Wide Area Network)	Велики ISP, нпр. Телеком, SBB
Планета	Internet (мрежа свих мрежа)	Интернет

# Међумреже

- Међумрежа, или интернет, се добија повезивањем више различитих мрежа
- Интернет (велико почетно слово) је интернет који сви користимо

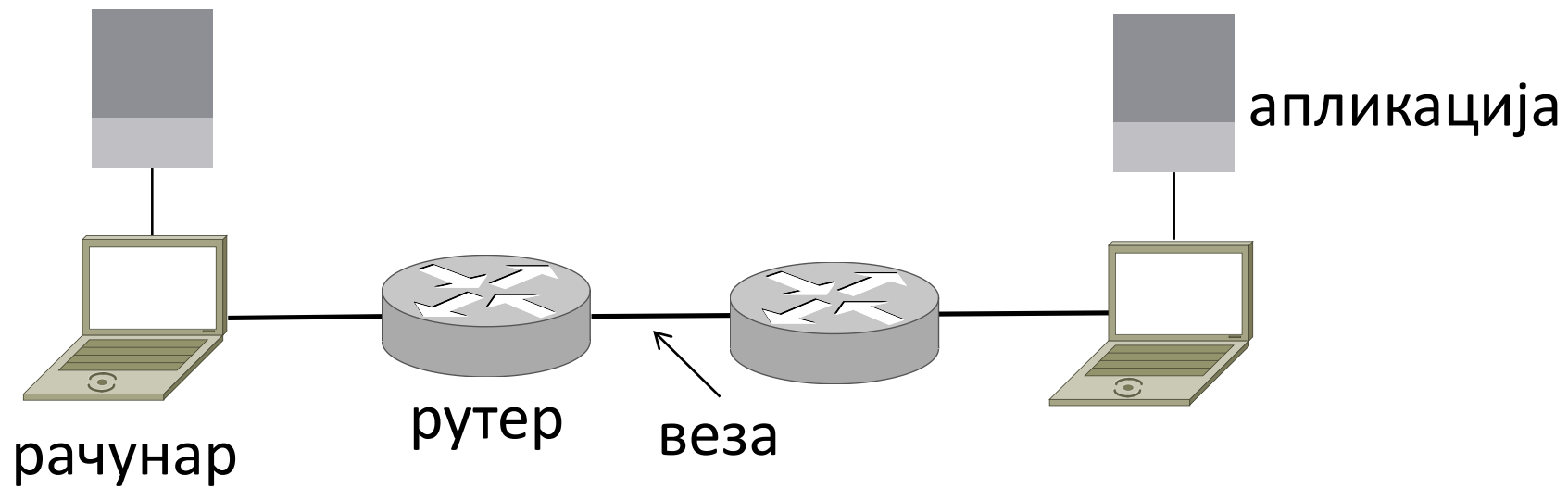
# Границе мреже

- Означите мрежу?



# Границе мреже (2)

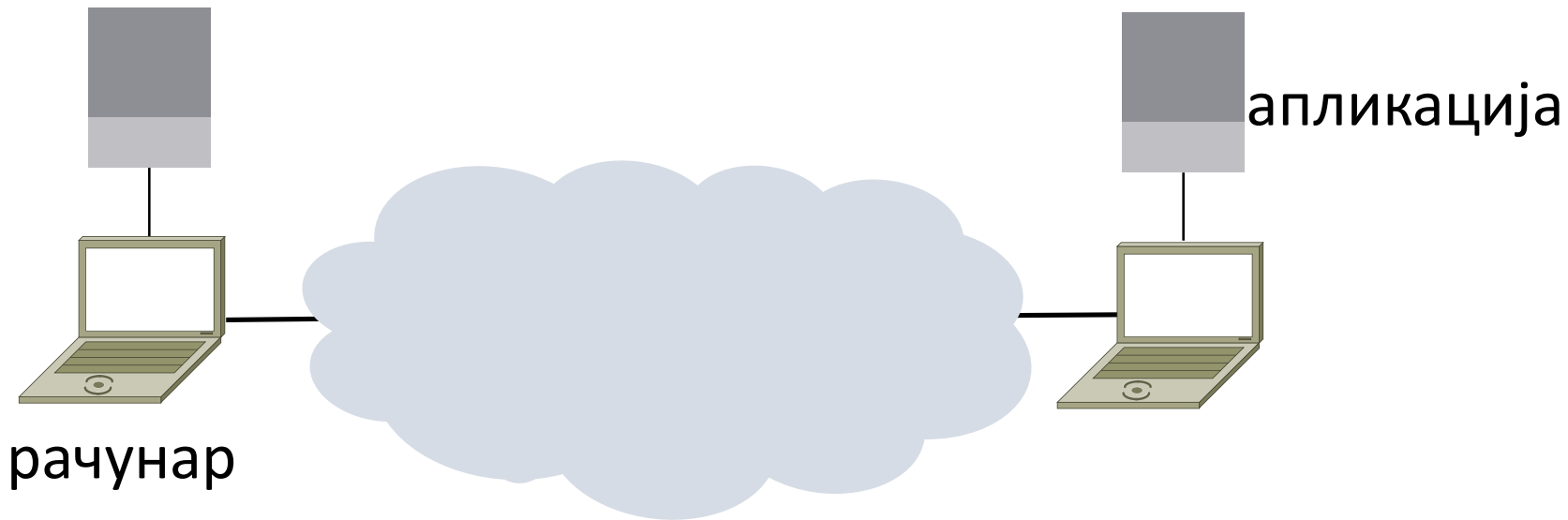
- Означите “ISP”?





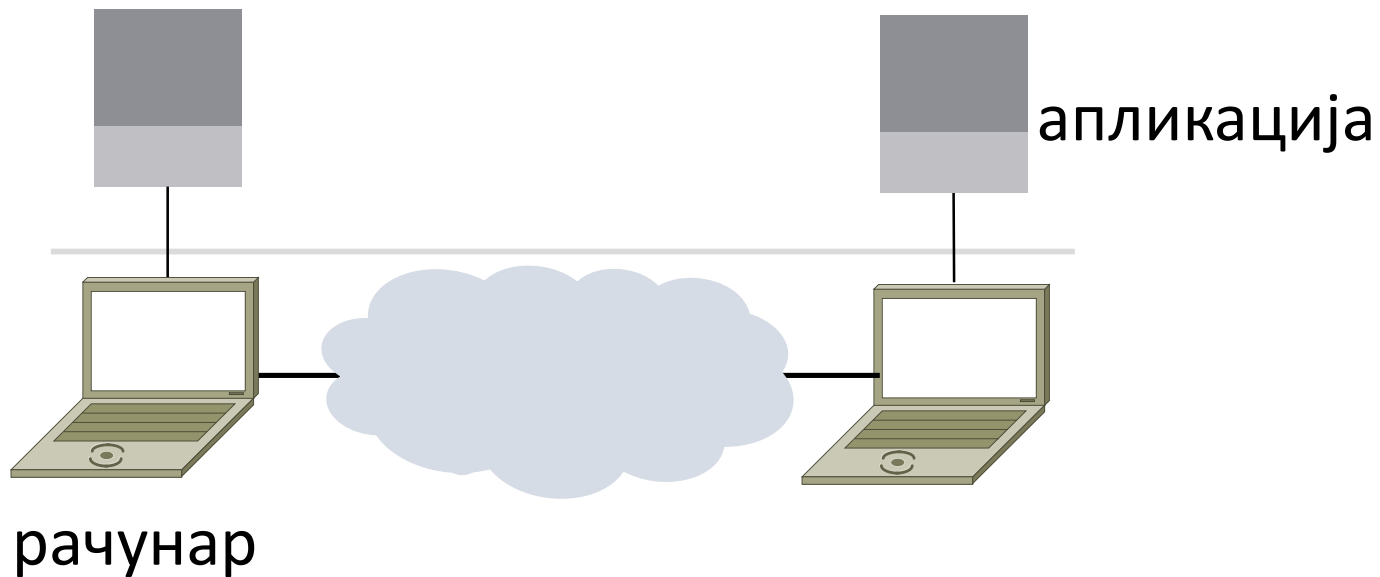
## Границе мреже (3)

- Облаком означавамо генеричку мрежу, без детаља о технологији



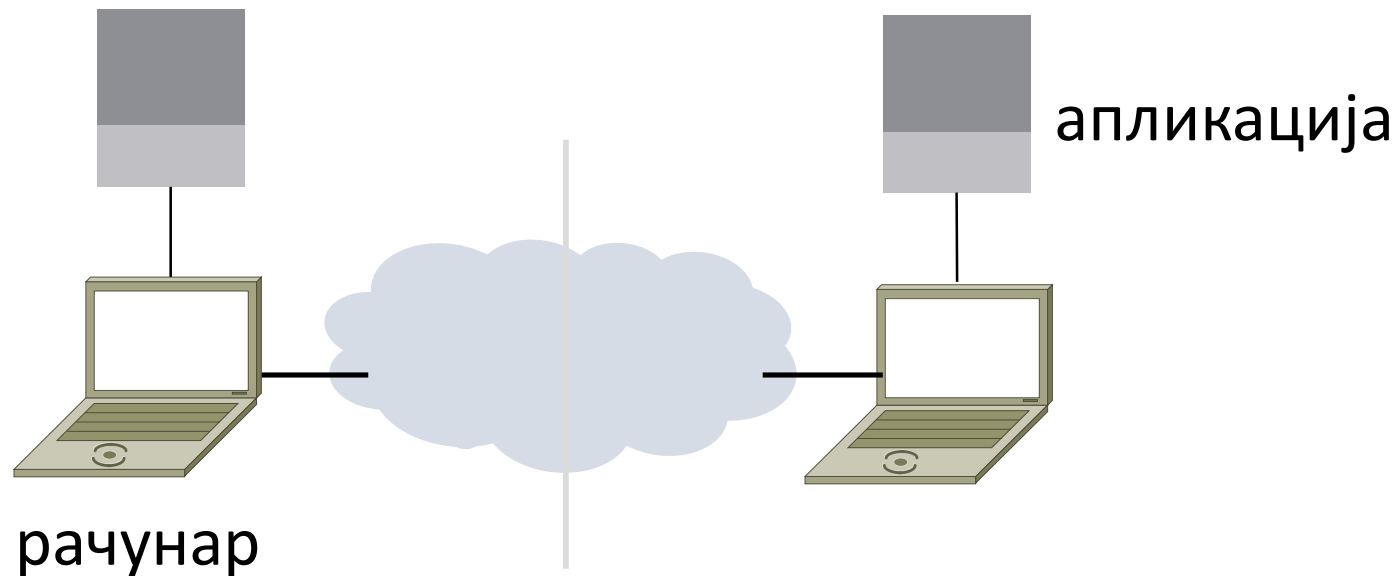
# Кључни интерфејси

1. Мрежа-апликација интерфејс – дефинише како апликације користе мрежу
  - Сокети (утичнице) се обично користе у пракси



## Кључни интерфејси (2)

- Мрежа-мрежа интерфејси – дефинишу како чворови „сарађују“
  - Команда tracroute може да „завири“ у унутрашњост мреже

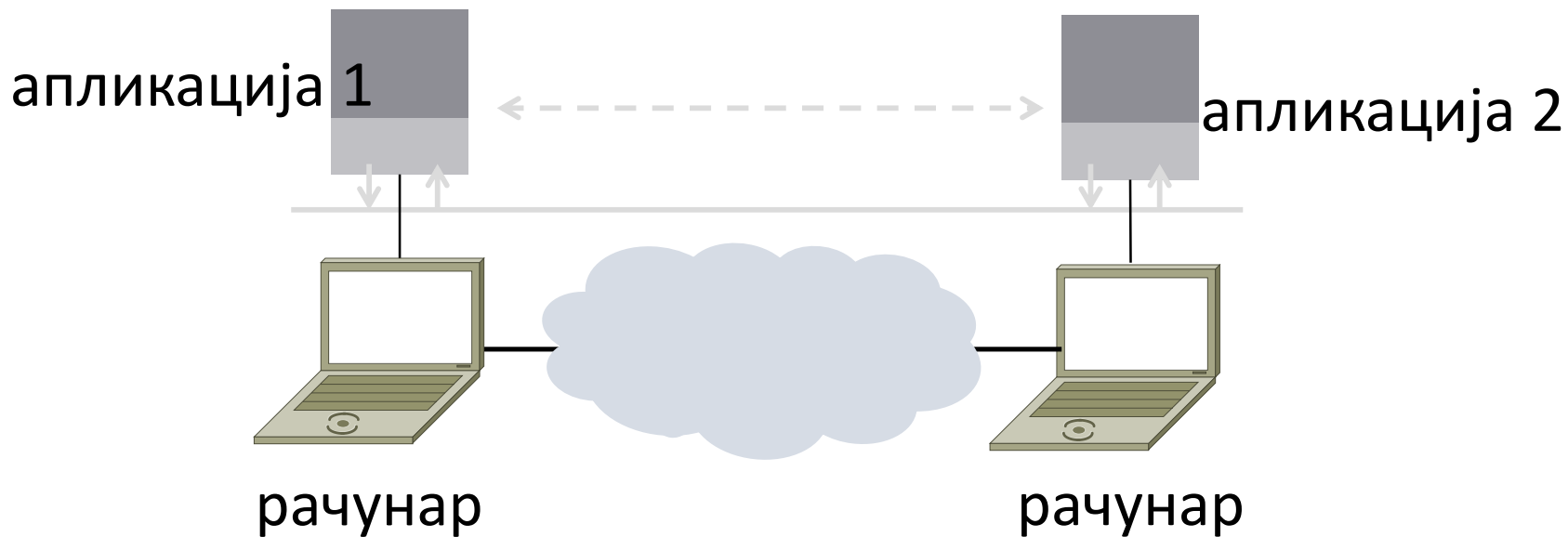


# Основе рачунарских мрежа

Сокети

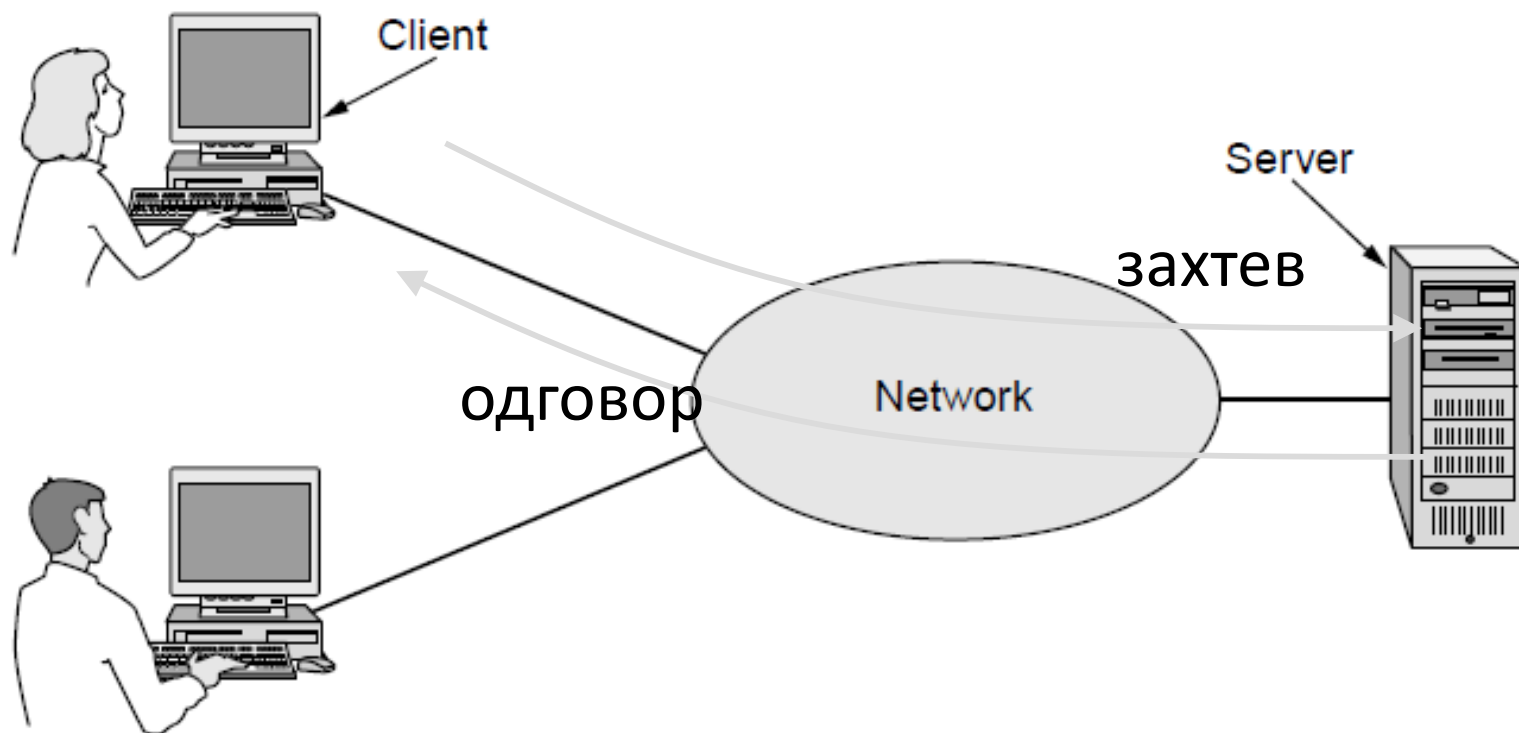
# Мрежа-апликација интерфејс

- Дефинише како апликације користе мрежу
  - Посматрамо апликације као да директно комуницирају
  - Занемарујемо детаљи мреже



# Пример примене

- Једноставни клијент-сервер сценарио



# Пример примене (2)

- Једноставни клијент-сервер сценарио
  - Клијентска апликација шаље захтев серверској апликацији
  - Серверска апликација враћа одговор
- Ово је полазна основа за многе примене
  - Пренос датотека: пошаљи назив, прихвати датотеку
  - Претраживање: пошаљи URL, прихвати страницу

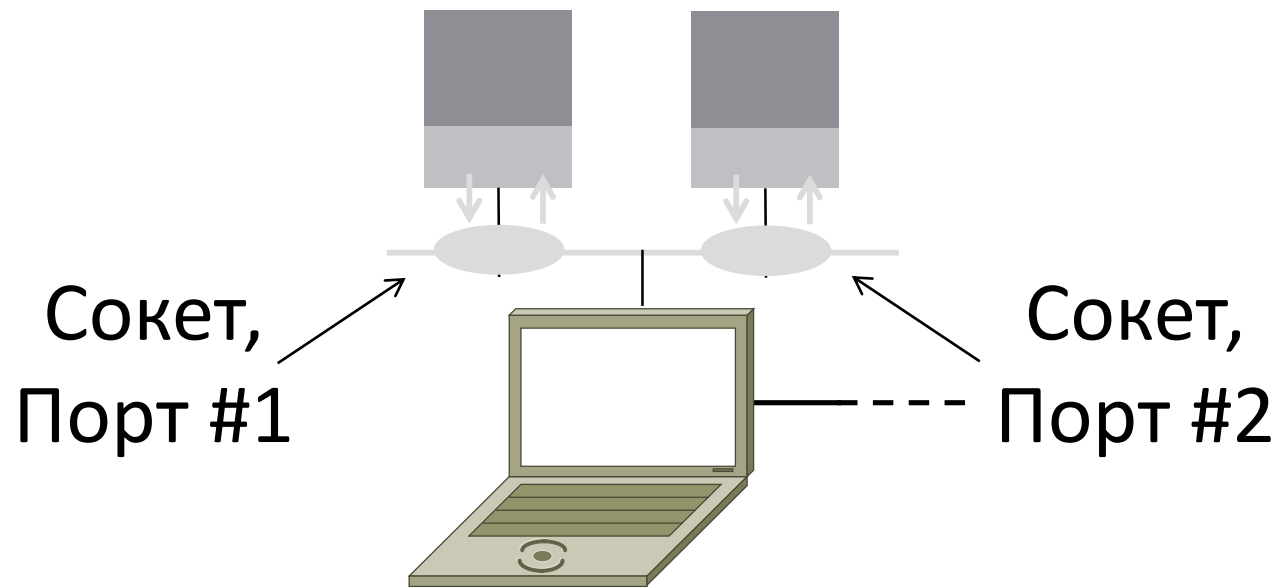
# Socket API

- Једноставна апстракција за употребу мреже
  - Мрежни API који се користи за писање свих Интернет апликација
  - Део свих познатијих оперативних систем
- Подржава два типа мрежних сервиса
  - Токови података: поуздано слање тока бајтова
  - Датаграм сервис: непоуздано слање одвојених порука



## Socket API (2)

- Сокети омогућавају да се апликација прикључи на локалну мрежу преко различитих портова

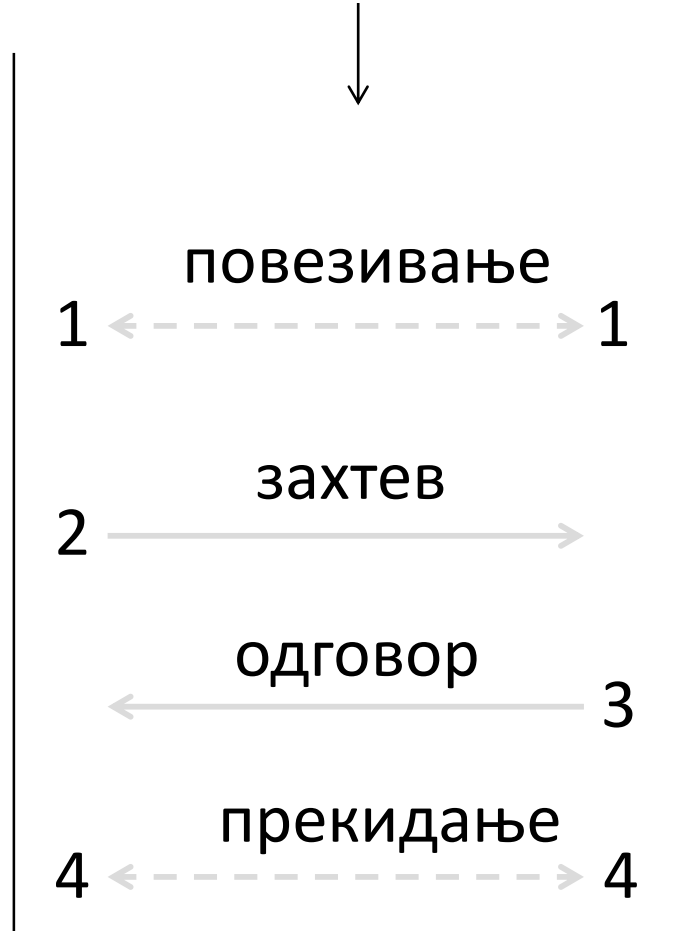


# Socket API (3)

Операција	Значење
SOCKET	Креира нову комуникациону тачку
BIND	Придружује сокету локалну адресу (сервер)
LISTEN	Означава да је сокет спреман да прихвата конекције (сервер)
ACCEPT	Пасивно прихвата и успоставља долазну конекцију (сервер)
CONNECT	Активно покушава да оствари конекцију (клијент)
SEND	Шаље податке преко успостављене конекције
RECEIVE	Прихвата податке преко успостављене конекције
CLOSE	Затвара конекцију

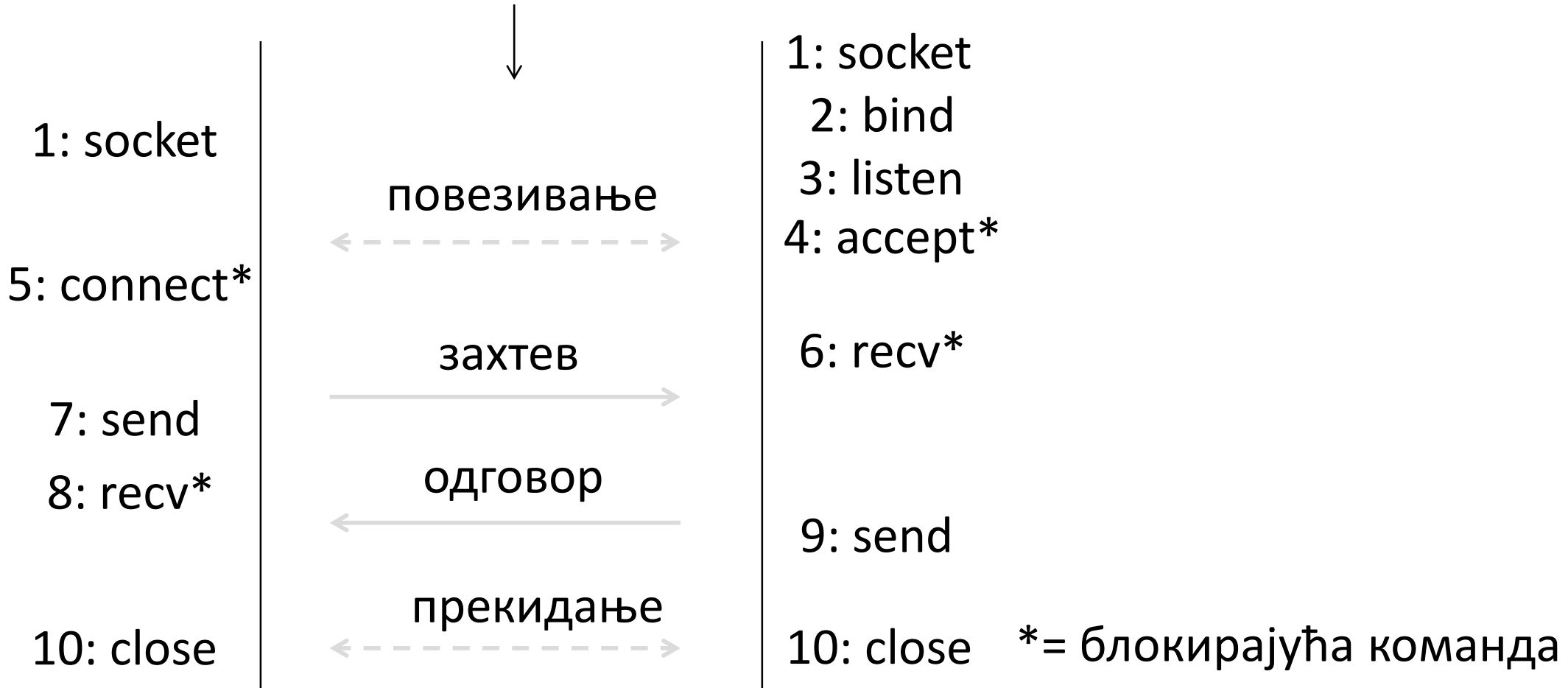
# Употреба сокета (2)

Клијент (хост 1)    Време    Сервер(хост 2)



# Употреба сокета (3)

Клијент (хост 1)    Време    Сервер (хост 2)



# Клијентски програм (оквирно)

```
socket()  
// прављење клијентског сокета задавањем циљне IP адресе и порта  
//нпр. www.example.com:80  
connect() // повезивање на сервер [блокирање]  
...  
send() // слање захтева  
recv() // чекање одговора [блокирање]  
... // нешто радимо са одговором...  
close() // готово, прекид – не гаси серверски сокет!
```

# Серверски програм (оквирно)

socket()

// прављење серверског сокета – адреса се имплицитно одређује, јер сервер

// већ има додељену јавну IP адресу

bind() // придруживаље порта сокету

listen() // припрема за прихватање долазних конекција

accept() // чекање на долазну конекцију [блокирање]

...

recv() // чекање на захтев за прихваћену конекцију

...

send() // враћање одговора

close() // гашење сервера – прекид свих долазних конекција

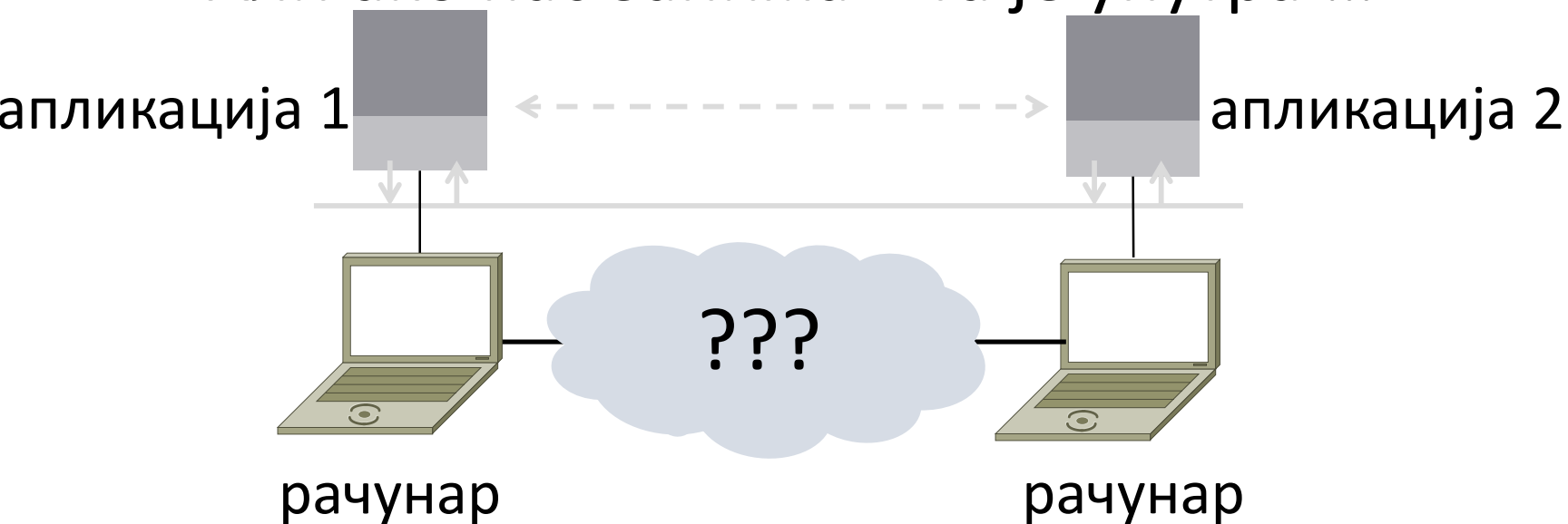
# Основе рачунарских мрежа

Гледање унутар мреже помоћу команде Traceroute

# Мрежни сервиси крију детаље

- Апликације комуницирају без реалне представе шта је унутар мреже

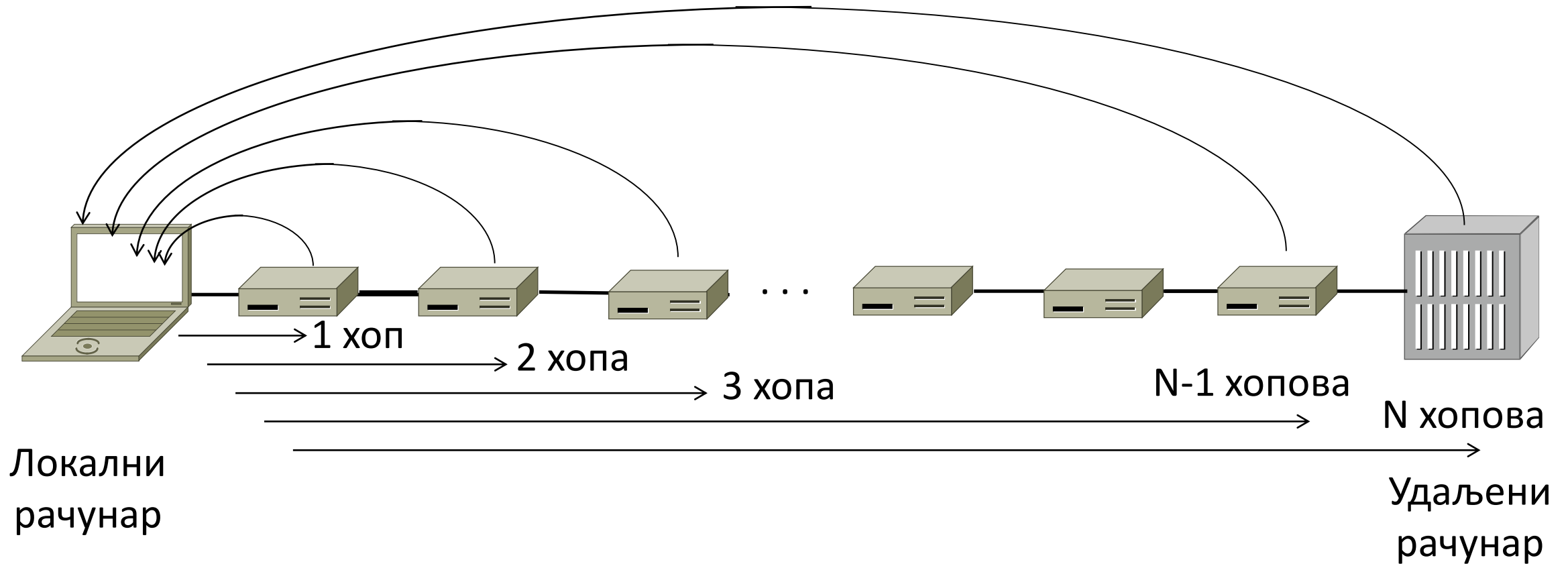
- Али ако нас занима шта је унутра ...





# Traceroute

Испитује узастопне хопове како би реконструисао целу путању



# Употреба Traceroute

```
Command Prompt
Microsoft Windows [Version 10.0.14393]
(c) 2016 Microsoft Corporation. All rights reserved.
C:\Users\aca>tracert www.uw.edu

Tracing route to www.washington.edu [128.95.155.198]
over a maximum of 30 hops:

  0  1 ms  <1 ms  1 ms  192.168.0.1
  1  10 ms  8 ms  8 ms  10.1.128.1
  2  11 ms  8 ms  8 ms  bg-ba-m-1-pc3.sbb.rs [89.216.6.29]
  3  12 ms  10 ms  7 ms  bg-yb-m-1-te2-7.sbb.rs [89.216.6.38]
  4  17 ms  9 ms  11 ms  bg-tp-m-0-be11.sbb.rs [89.216.6.17]
  5  8 ms  10 ms  12 ms  bg-tp-r-1-hu6-0.sbb.rs [89.216.5.254]
  6  13 ms  9 ms  8 ms  lag-10.bear1.RepublicOfSerbia2.Level3.net [213.242.124.1]
  7  183 ms  183 ms  182 ms  vl-3606.car2.Seattle1.Level3.net [4.69.208.137]
  8  181 ms  181 ms  181 ms  PACIFIC-NOR.car2.Seattle1.Level3.net [4.53.146.142]
  9  184 ms  181 ms  180 ms  ae0--4010.icar-sttl1-2.infra.pnw-gigapop.net [209.124.188.134]
 10  187 ms  183 ms  183 ms  ae0--4010.uwbr-atg-1.infra.washington.edu [209.124.188.135]
 11  *      *      *      Request timed out.
 12  184 ms  182 ms  181 ms  ae3--836.uwar-uwtc-1.infra.washington.edu [128.95.155.195]
 13  184 ms  182 ms  181 ms  www4.cac.washington.edu [128.95.155.198]

Trace complete.
C:\Users\aca>
```

# Основи рачунарских мрежа

Протоколи и слојеви

# Мрежи је потребна модуларност!

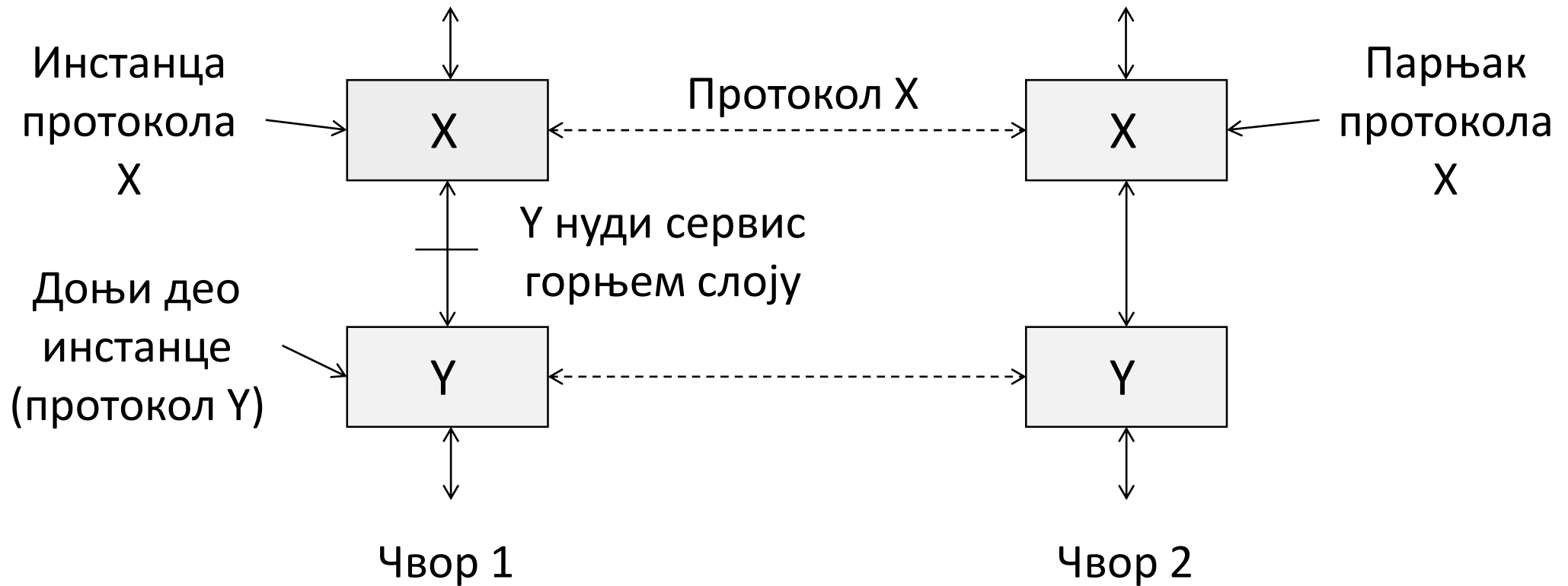
- Шта све мрежа ради за апликације:
  - Прави и прекида конекцију
  - Проналази путању за трансфер података
  - Поуздано шаље податке
  - Шаље податке произвољне величине
  - Брзина слања се прилагођава могућностима мреже
  - Дели проток међу корисницима
  - Омогућава сигуран пренос током транзита
  - Омогућава ново додавање рачунара и уређаја (чворова)
  - ...
- Да би радила све ово, неке ствари се морају раздвојити, неке „ставити испред заграде“ (reuse)...

# Протоколи и слојеви

- Протоколи и слојеви су главни механизам структурирања који мрежи даје модуларност
  - Свака инстанца протокола комуницира виртуелно само са својим парњаком (peer) употребом договорених метода
  - У стварности, они не комуницирају директно, већ свака инстанца користи услуге (services) слоја који је испод

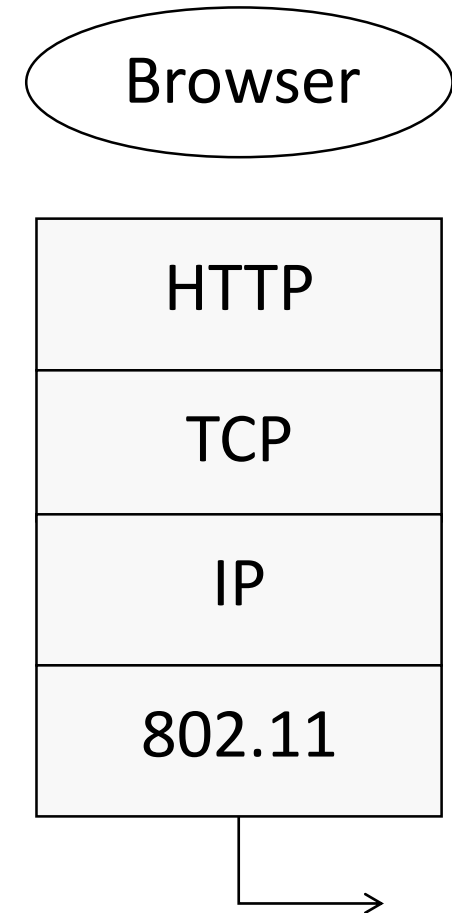
# Протоколи и слојеви (2)

- Протоколи су хоризонтални, слојеви вертикални



# Протоколи и слојеви (3)

- Познатији протколи:
  - TCP, IP, 802.11, Ethernet, HTTP, SSL, DNS, ... and many more
- Протокол стек је чест назив за скуп протокола у употреби:
  - Нпр. Скуп протокола који користи Интернет прегледач на рачунару који је путем WiFi повезан на Интернет



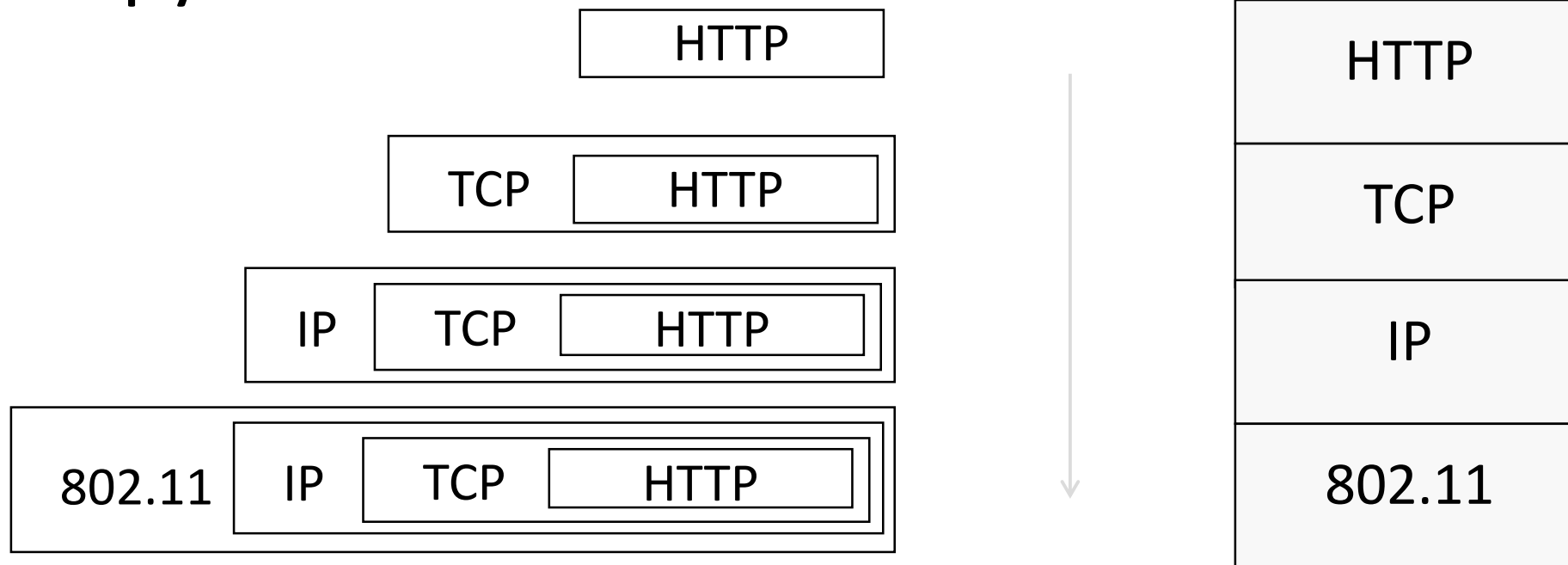
# Енкапсулација

- Енкапсулација је механизам слагања слојева протокола
  - Нижи слој прави омотач око садржаја вишег слоја и додаје своје сопствене информације поруци
  - Попут слања поште у коверти, поштари немају приступ унутрашњости коверте

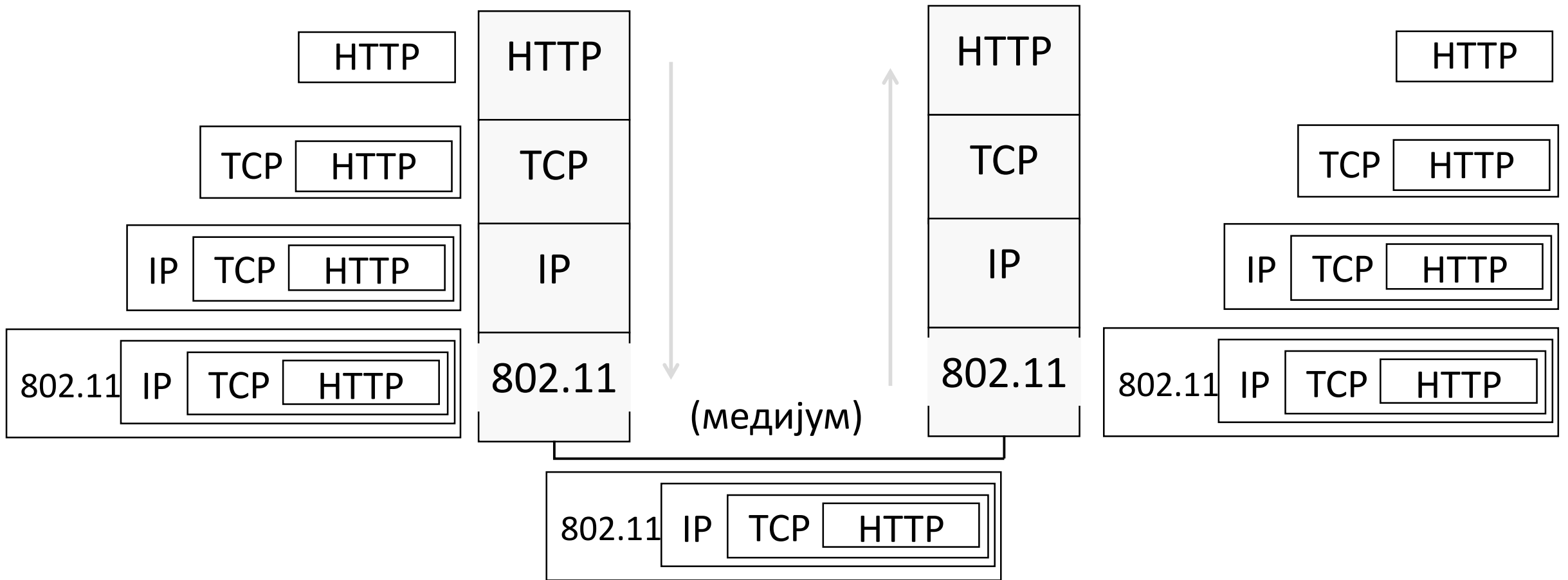


## Енкапсулација (2)

- Садржај нижих слојева је ближи спољашњости поруке

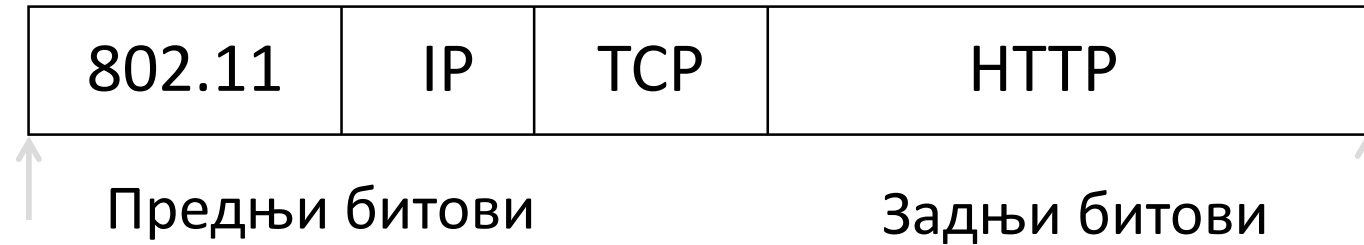


# Енкапсулација (3)



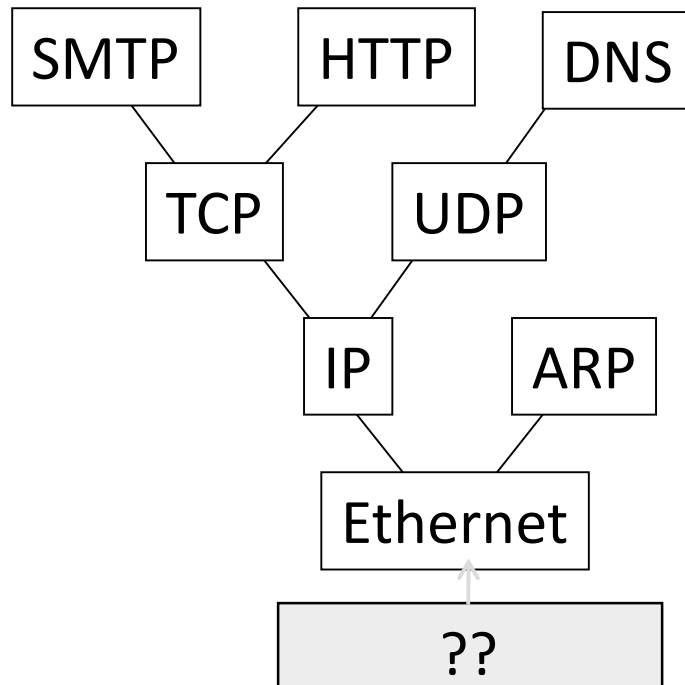
# Енкапсулација (4)

- Сваки слој додаје своје заглавље:



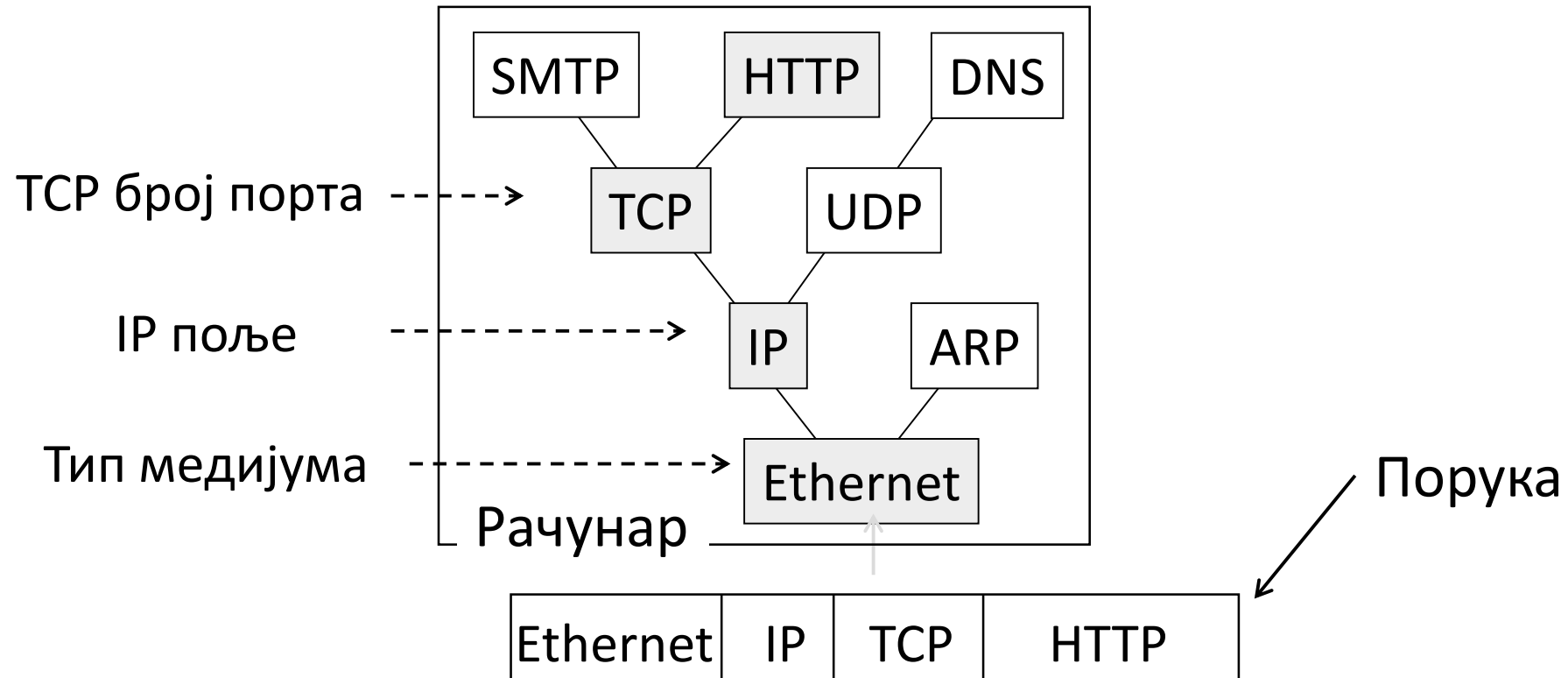
# Демултиплексирање

- Порука која пристиже се прослеђује протоколима које користи



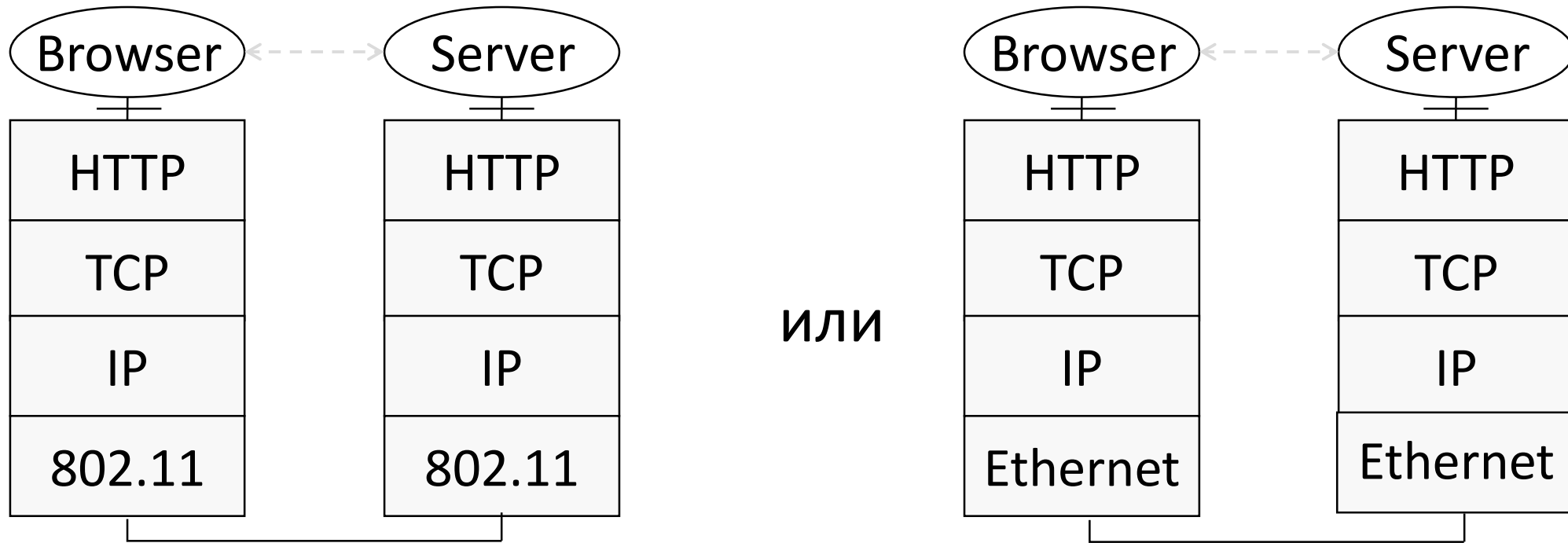
# Демултиплексирање (2)

- Ради се путем кључева на почетку



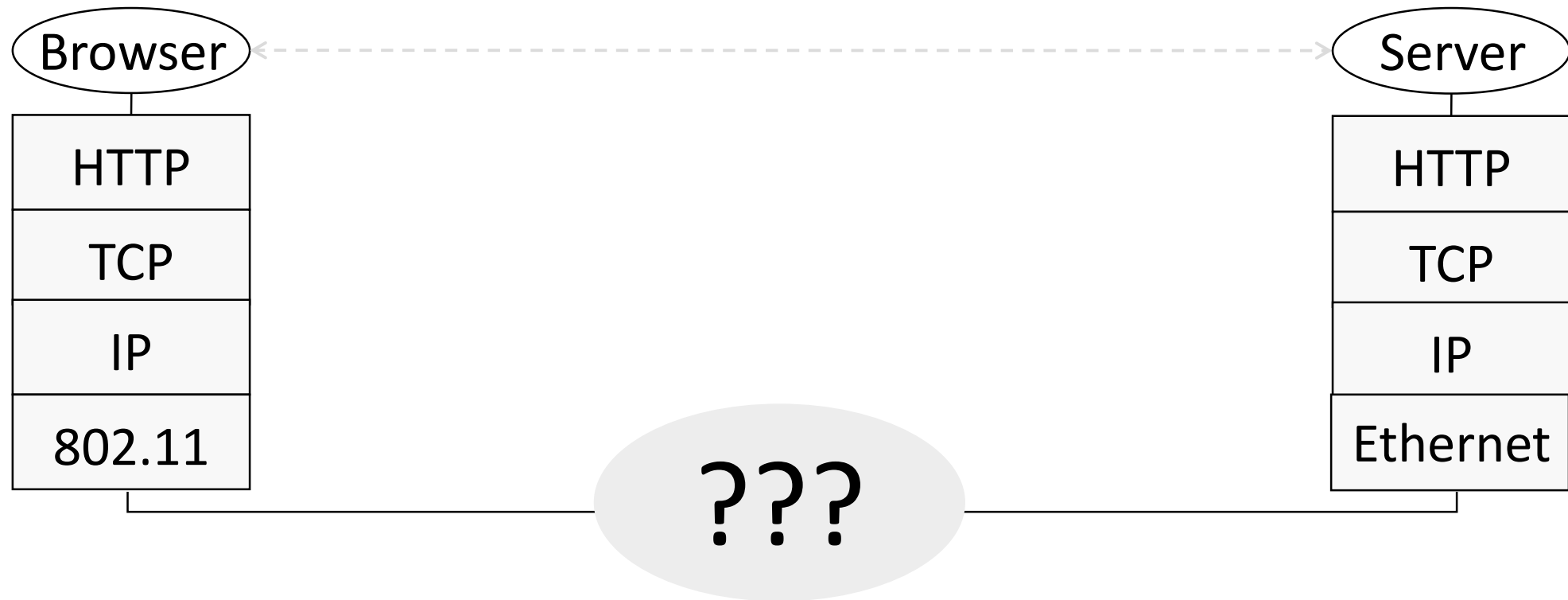
# Предности раслојавања

- Прикривање информација и поновна употреба



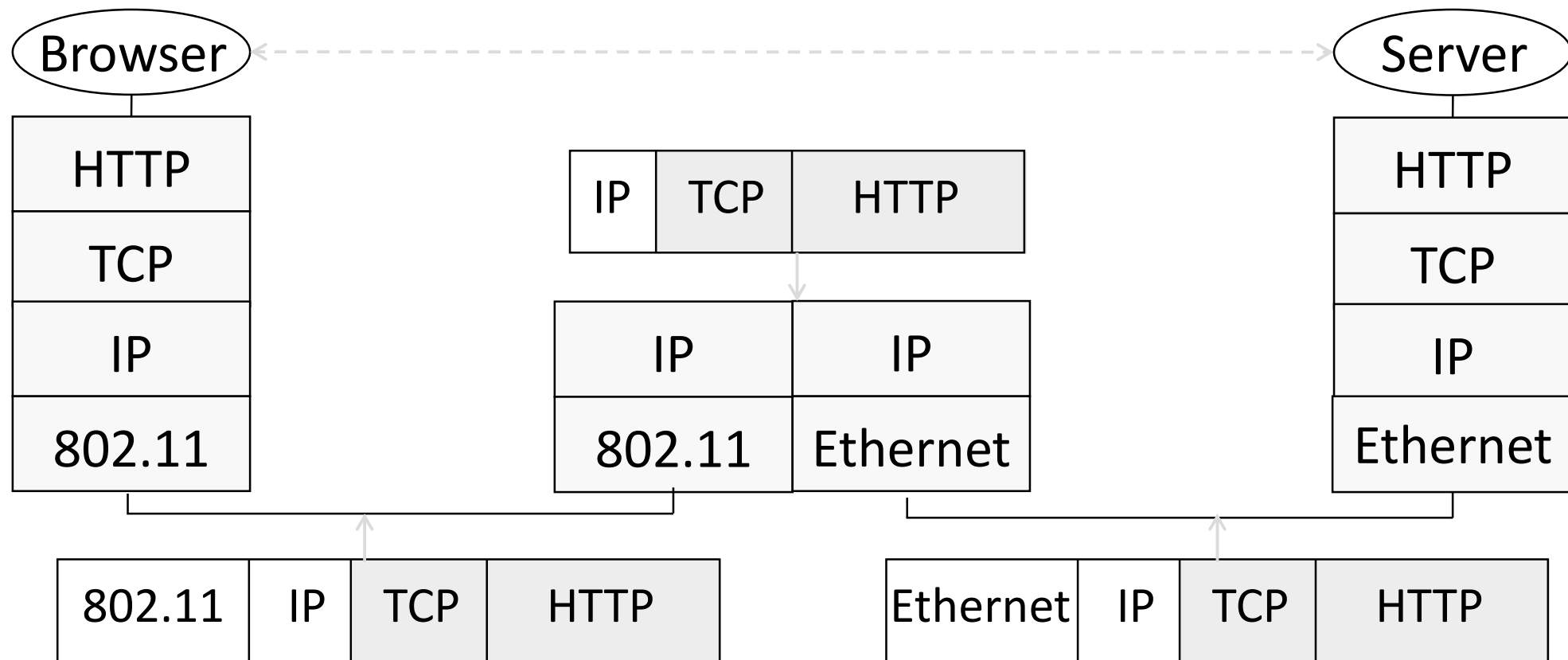
# Предности раслојавања (2)

- Повезивање различитих система?



# Предности раслојавања (3)

- Конверзија порука – табеле пресликавања протокола





# Мане раслојавања

- Повећани трошкови меморије и обраде (overhead)
  - Мање битно за дуже поруке
- Прикривање информација
  - Генерално је корисно, али неке апликације можда нпр. желе да знају да ли се подаци преносе путем кабла или бежично?

# Основе рачунарских мрежа

Референтни модели протокола и слојева

## Главне дилеме ...

- Коју функционалност имплементира неки слој?
  - Ово је кључно питање дизајна модела
  - Референтни модели одговарају на оваква питања

# OSI Модел са 7 слојева

- Интернационални стандард за повезивање система
  - Утицајан, али не превише коришћен у пракси

7	Application
6	Presentation
5	Session
4	Transport
3	Network
2	Data link
1	Physical

- Функције потребне кориснику, рад са порукама
- Конверзија за различите репрезентације
- Управљање сесијом
- Достављање сегмената (сегментација, потврђивање)
- Адресирање, рутирање пакета, контрола саобраћаја
- Слање оквира (скупова података)
- Слање битова путем реалних физичких канала

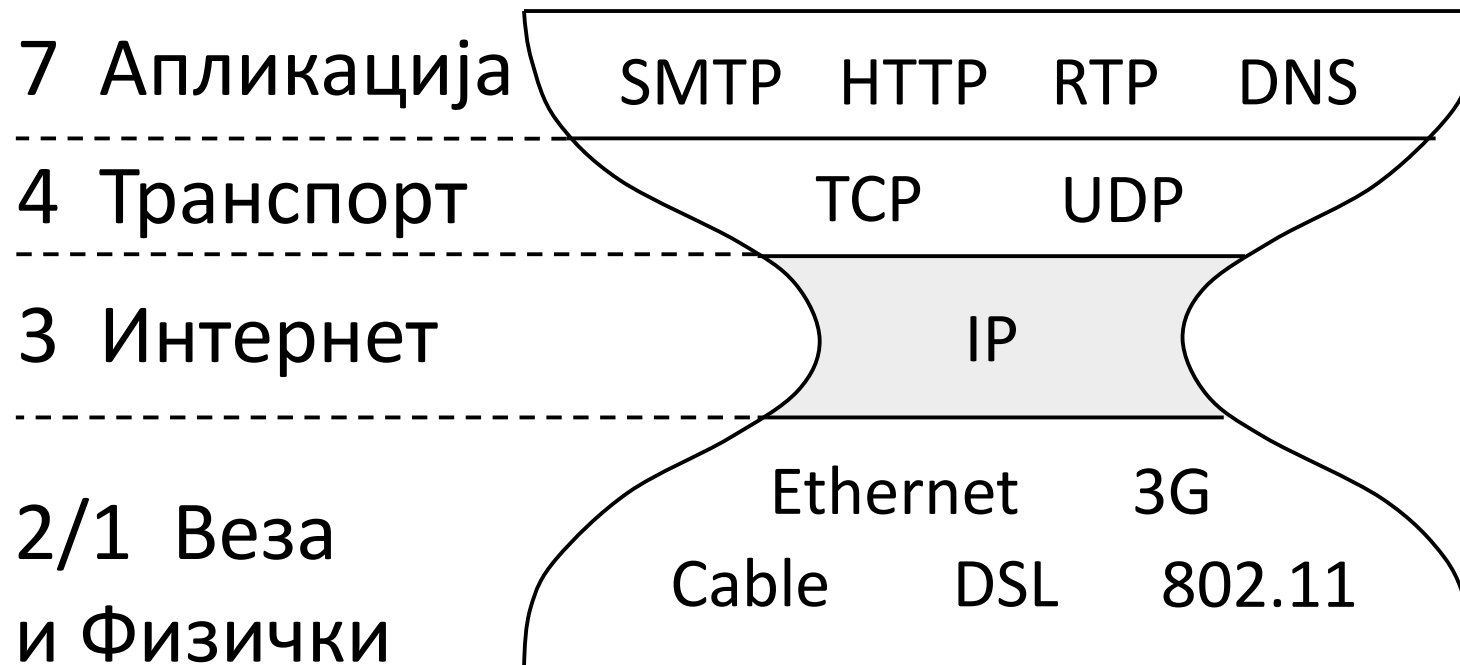
# Интернет Референтни Модел

- Модел са четири слоја заснован на пракси

Апликација	– Програми који користе услуге мреже
Транспорт	– Задужен за размену података између чворова
Интернет	– Слање пакета путем разнородних мрежа
Веза	– Физичко слање података путем медијума

# Интернет Референтни Модел (2)

- IP слој је најтањи по питању броја протокола



# Организације за стандарде

- Неке познатије организације!
  - Фокус је на

Орг.	Област	Примери стандарда
ITU	Телекомуникације	G.992, ADSL H.264, MPEG4
IEEE	Комуникације	802.3, Ethernet 802.11, WiFi
IETF	Интернет	RFC 2616, HTTP/1.1 RFC 1034/1035, DNS
W3C	Веб	HTML5 стандард CSS стандард

# Јединице података у различитим слојевима

<b>Слој</b>	<b>Јединица</b>
Апликативни	Порука
Транспортни	Сегмент
Мрежни	Пакет
Слој везе	Оквир
Физички	Бит



# Називи неких уређаја у мрежи

## Хаб (разводник)

Понавља физички сигнал на све излазе

Физички	Физички
---------	---------

## Свич (скретница)

Усмерава пакете само онима којима су потребни

Веза	Веза
------	------

## Рутер (усмеривач)

Усмерава пакете, али води рачуна и о добрим путањама

Мрежни	Мрежни
--------	--------

Веза	Веза
------	------

