

Рачунарске мреже

Александар Картељ

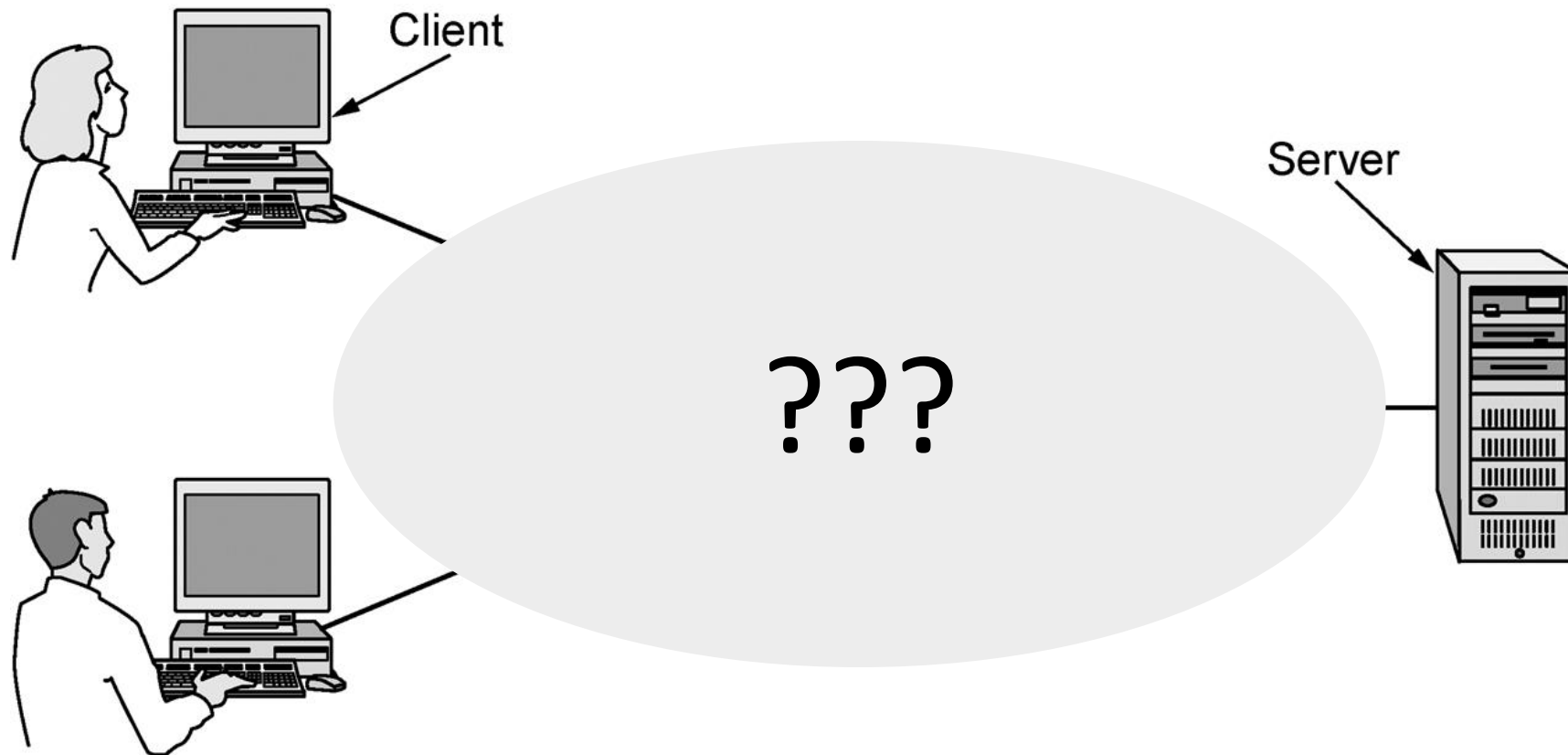
kartelj@matf.bg.ac.rs

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

Фокус курса



Први циљ

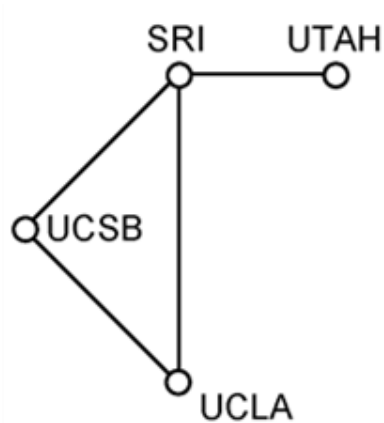
1. Да научимо како ради Интернет?

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

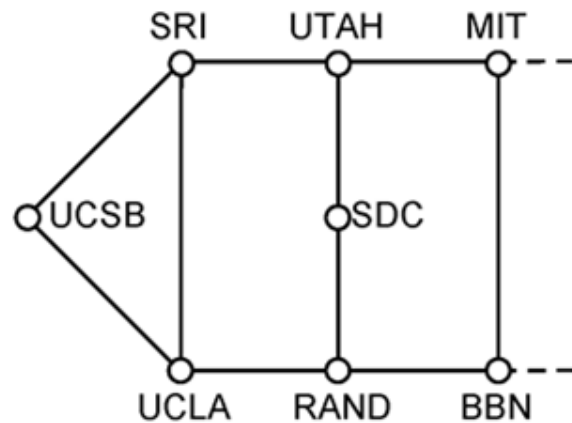
2. Да научимо основе рачунарских мрежа?

Како је започело ширење...

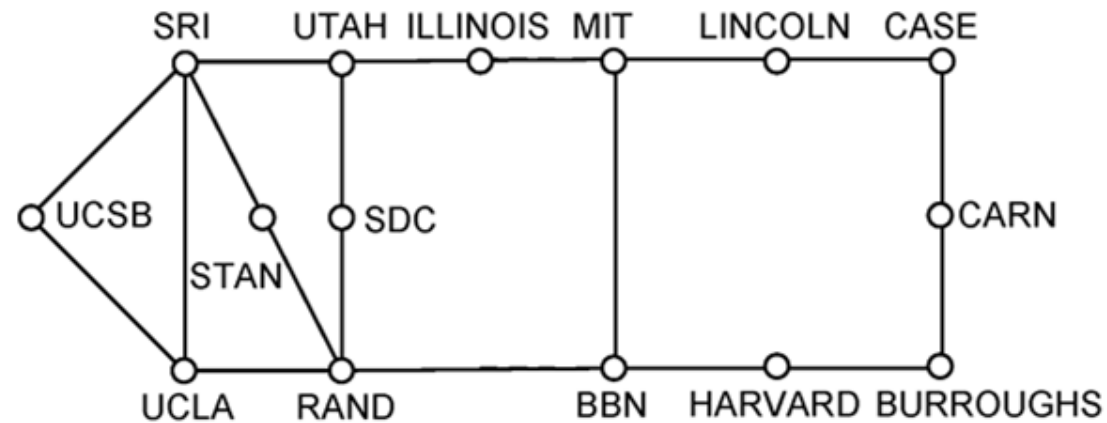
ARPANET ~1970



(a) Дец. 1969.



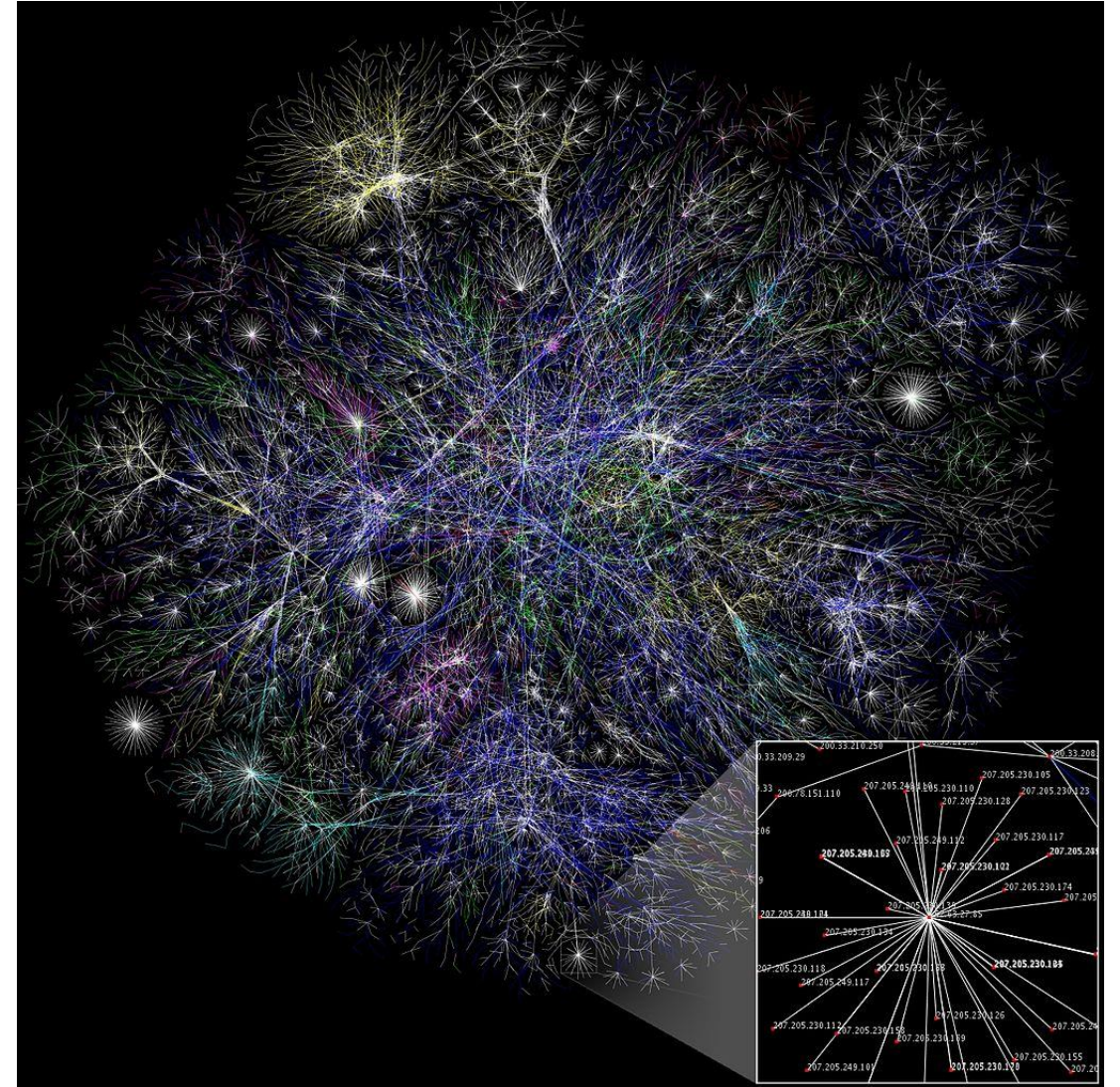
(б) Јул 1970.



(в) Март 1971.

Интернет ~2005

- Ова визуелизација је поједностављење, тј. не садржи све учеснике Интернета.



The Opte Project [CC-BY-2.5], Wikimedia Commons

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)

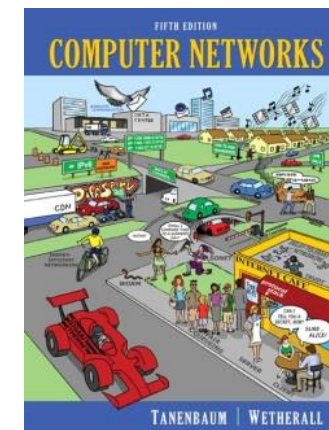
- Мрежни слој
 - Алгоритми усмеравања (рутирања), алгоритми управљања загушењем, повезивање различитих мрежа, ...
- Транспортни слој
 - Транспортни протоколи UDP и TCP, успостављање и раскидање везе, перформансе, ...
- Апликативни слој
 - DNS, електронска пошта, WWW, токови података, ...
- Безбедност 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 5 поена 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://poincare.matf.bg.ac.rs/~kartelj/?content=RM>
 - Увод у оперативне системе и рачунарске мреже (смер 4МР)
 - <http://poincare.matf.bg.ac.rs/~kartelj/?content=UOSRM>
 - 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

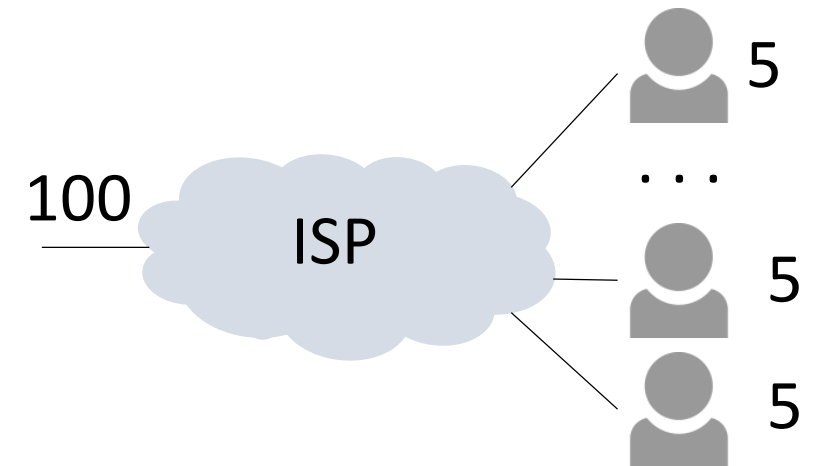
- Више корисника приступа истим уређајима и сервисима:
 - Нпр., 3D штампач, индекс претраге, рачунари на захтев (cloud)
- Ефективнија употреба од посвећених ресурса (када се гледа по кориснику)
 - Чак се и мрежни проток дели статистичким мултиплексирањем

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,...

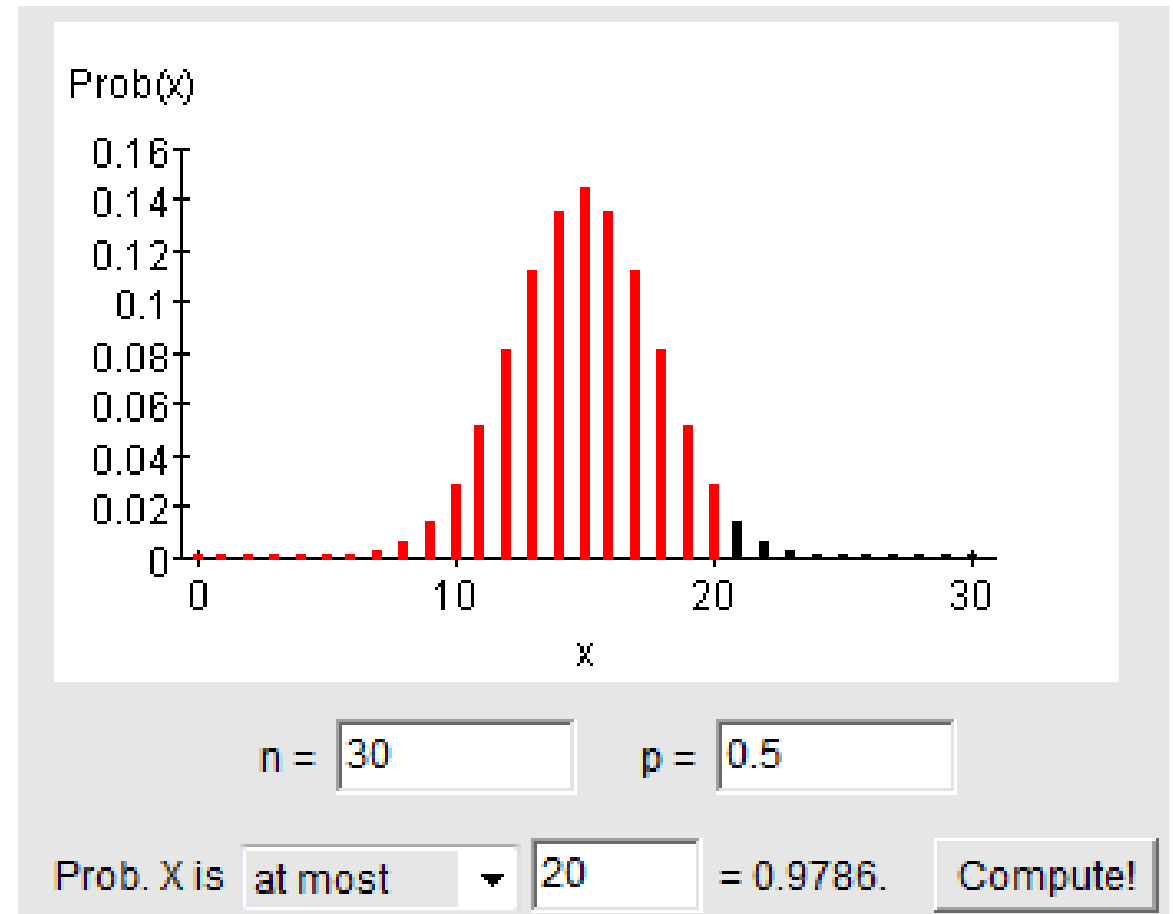
Статистичко мултиплексирање (3)

- 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

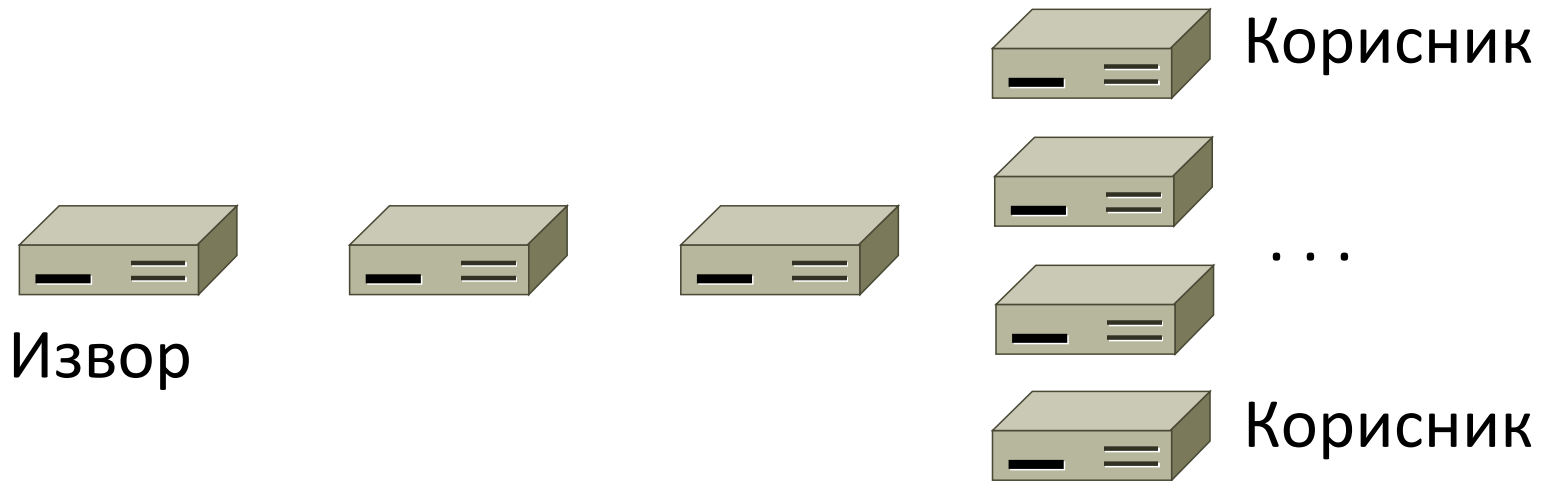


Достављање садржаја (content delivery)

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

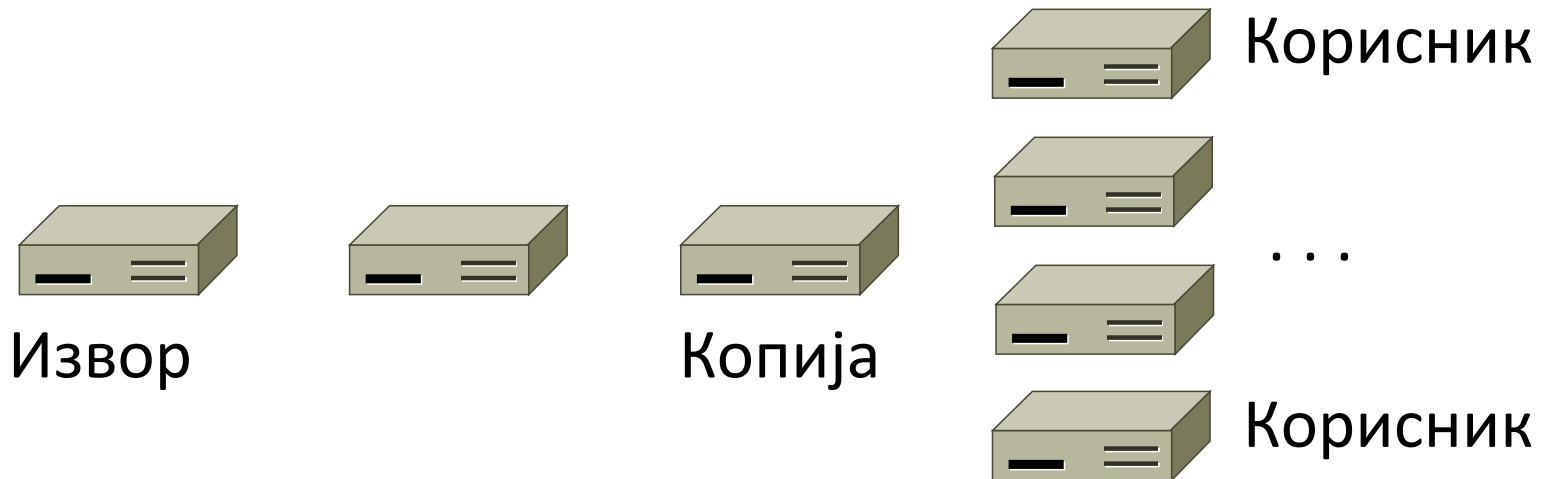
Достављање садржаја (2)

- 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

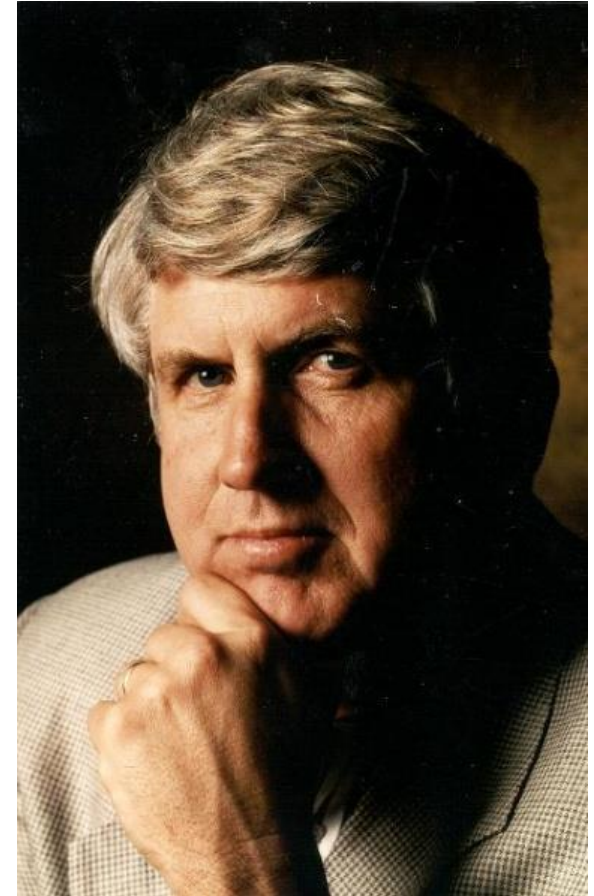
Повезивање рачунара са уређајима

- 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

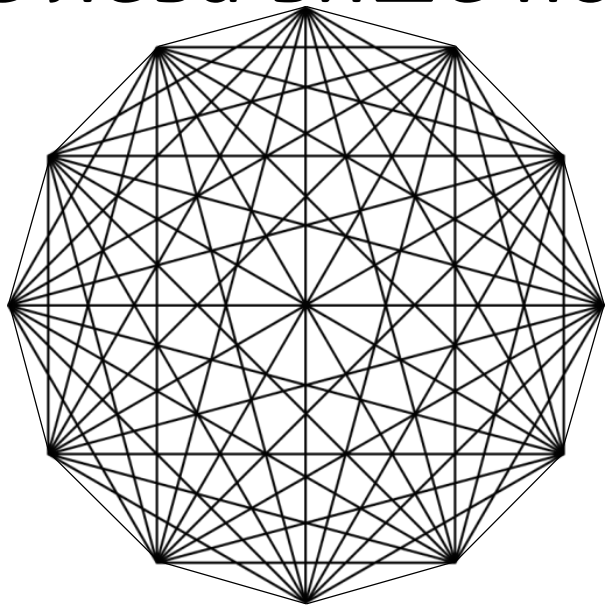
Bob Metcalfe



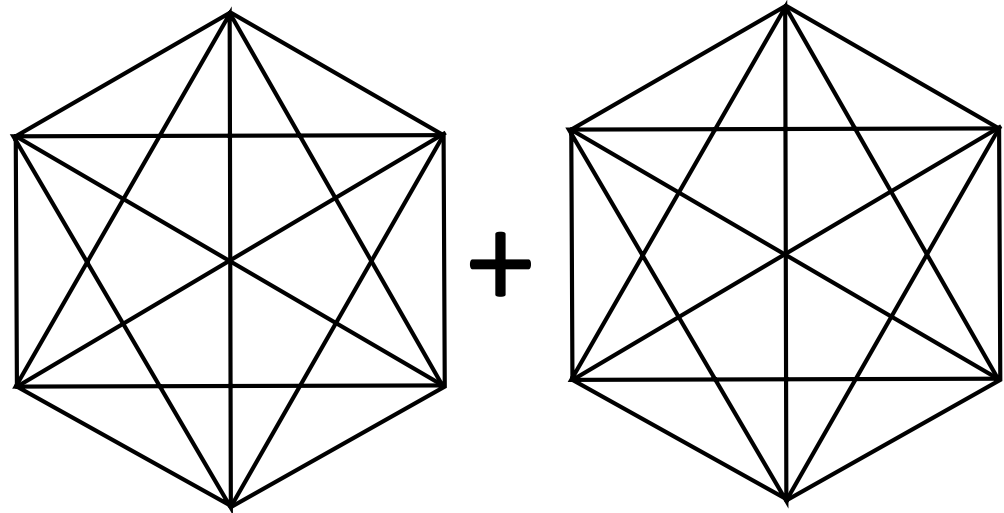
: © 2009 IEEE

Вредност повезивања (2)

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



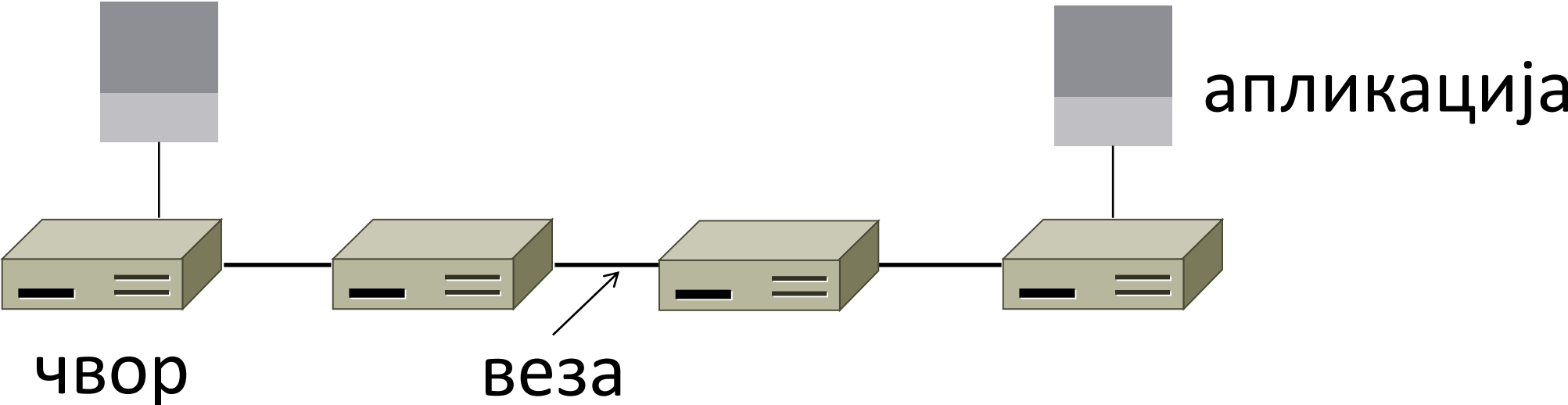
VS



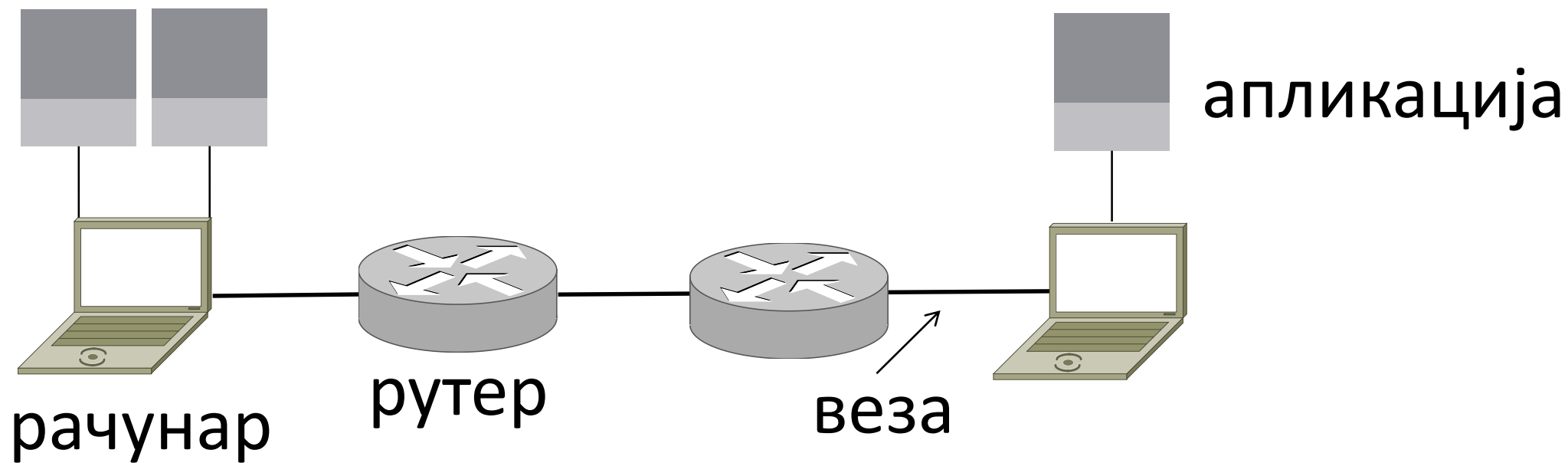
Основе рачунарских мрежа

Компоненте мреже

Делови мреже



Делови мреже (2)



Компоненте мреже

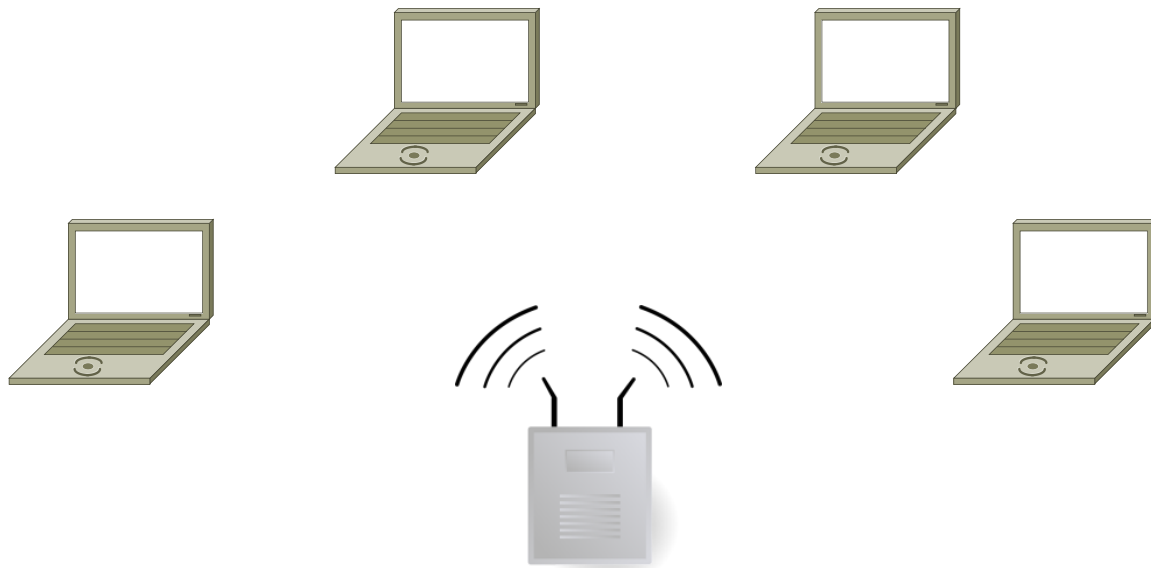
Компонента - називи	Функција	Пример
<u>Апликација</u> , корисник, ...	Користи мрежу	Skype, iTunes, Amazon
<u>Рачунар</u> , или завршни чвор, извор, уређај ...	Подржава апликацију	Лаптоп, мобилни телефон, стони рачунар
<u>Рутер</u> , или усмеривач, средишњи чвор	Прослеђује поруке између чворова	Приступна 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

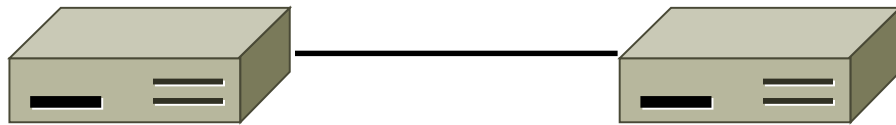
Бежичне везе

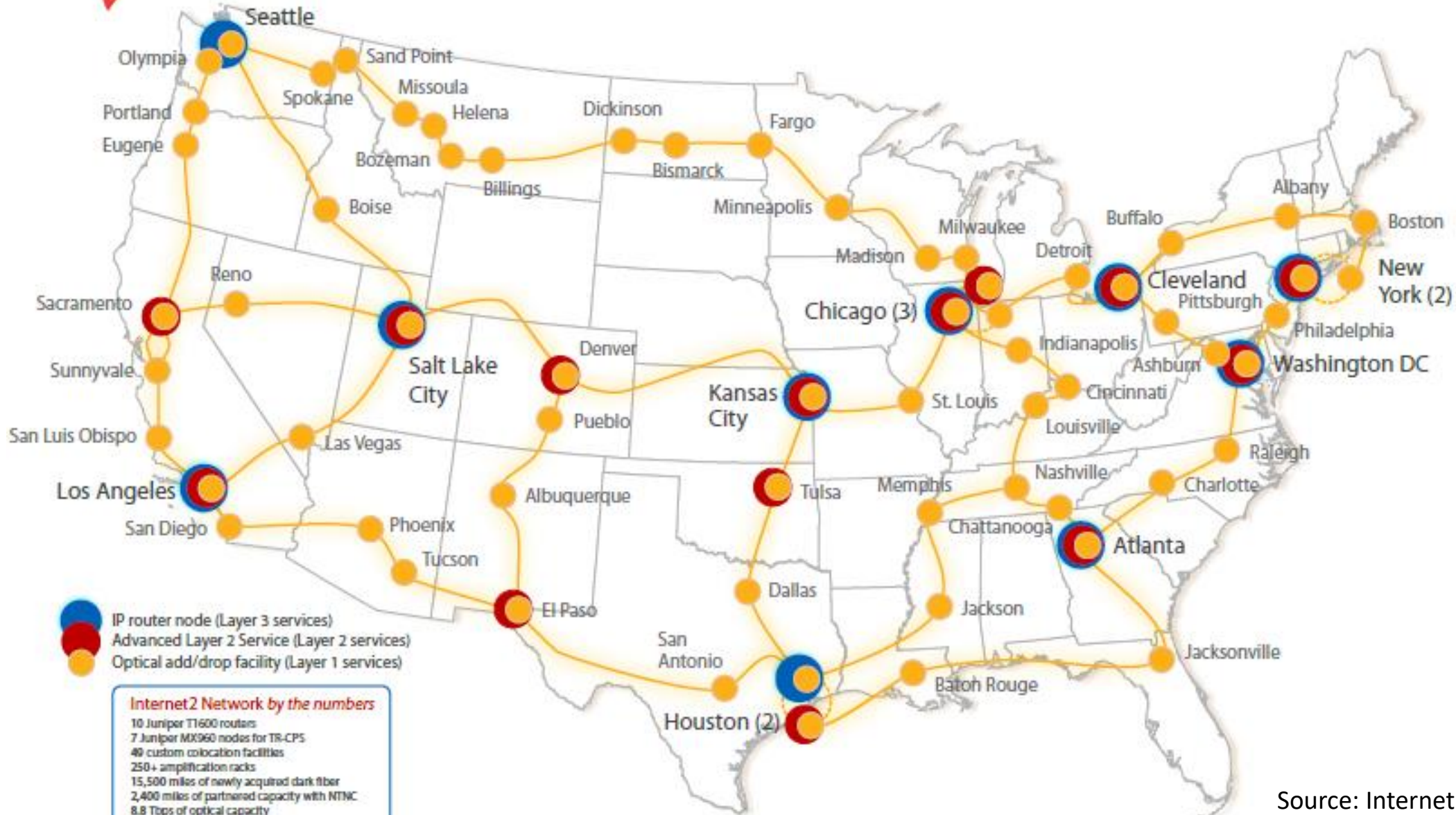
- Порука се емитује
 - Прихватају је сви чворови у опсегу
 - Мешање сигнала



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

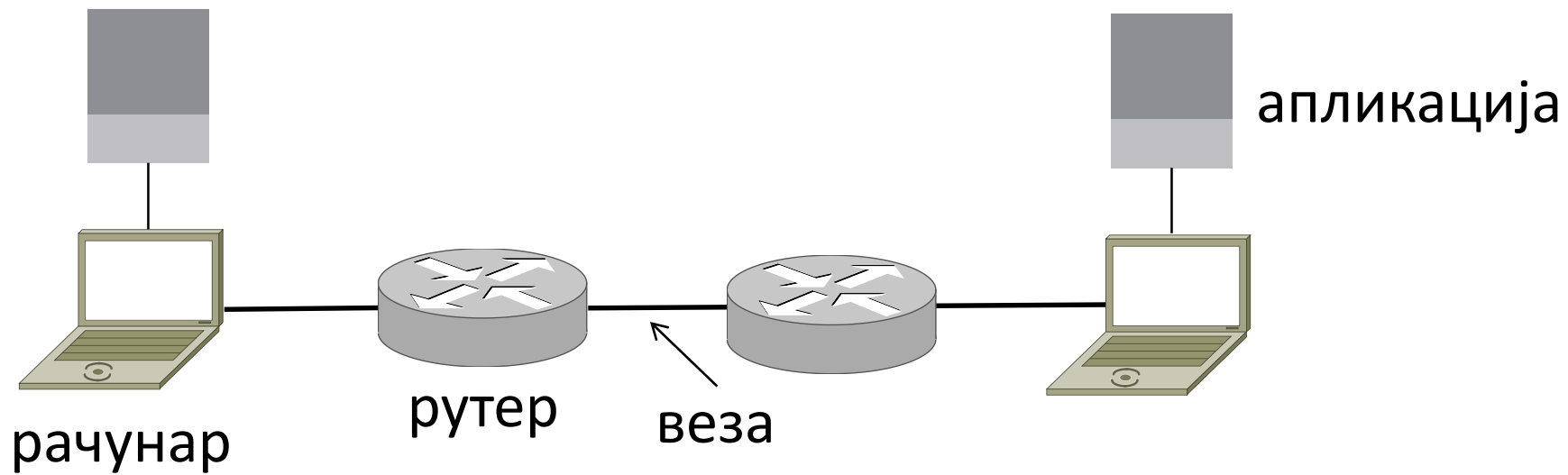
Димензија	Тип	Пример
Непосредна близина	<u>PAN</u> (Personal Area Network)	Bluetooth
Зграда	<u>LAN</u> (Local Area Network)	WiFi, Ethernet
Град	<u>MAN</u> (Metropolitan Area Network)	Кабловска, DSL
Држава	<u>WAN</u> (Wide Area Network)	Велики ISP, нпр. Телеком, SBB
Планета	Internet (мрежа свих мрежа)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

Међумреже

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

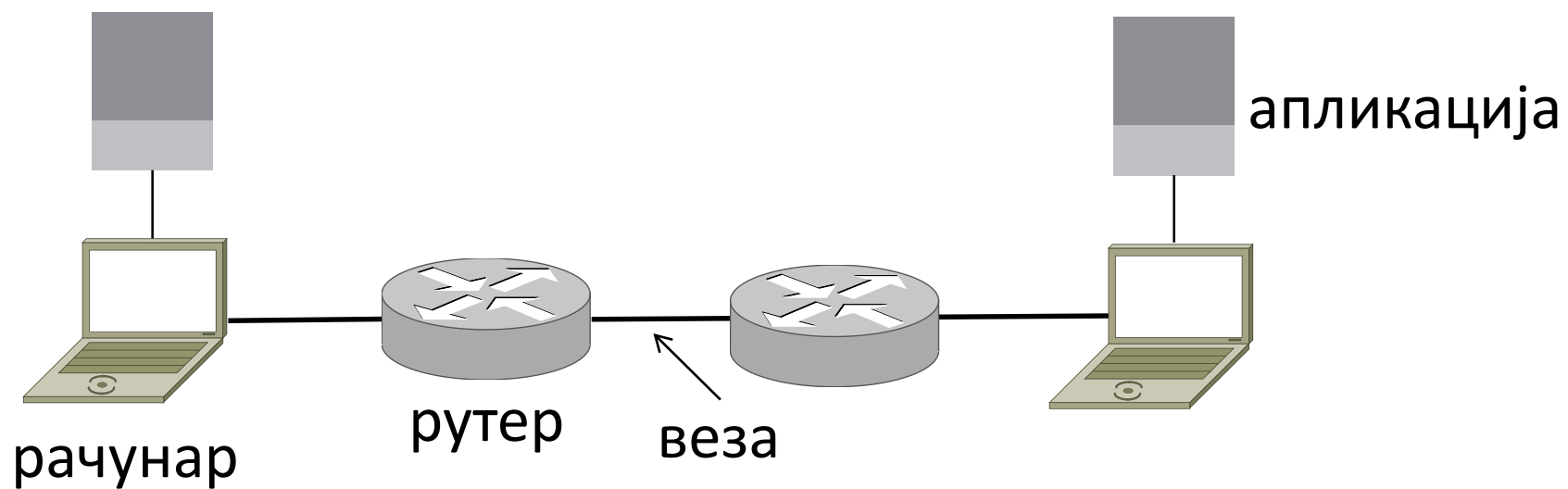
Границе мреже

- Означите мрежу?



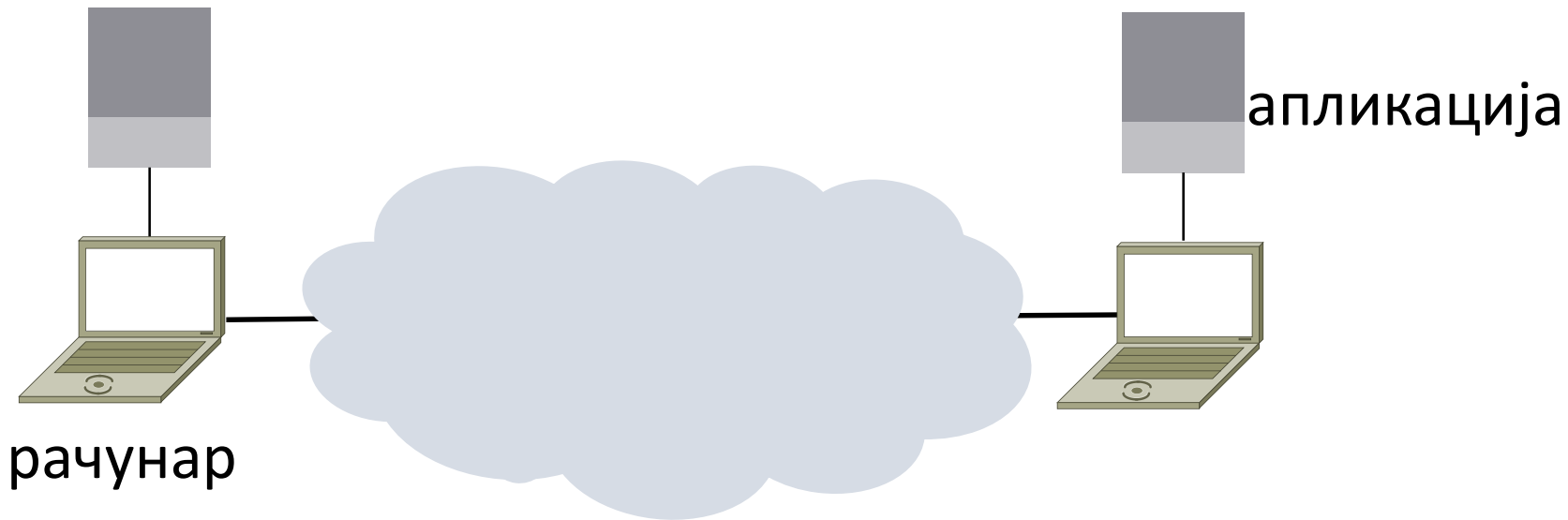
Границе мреже (2)

- Означите “ISP”?



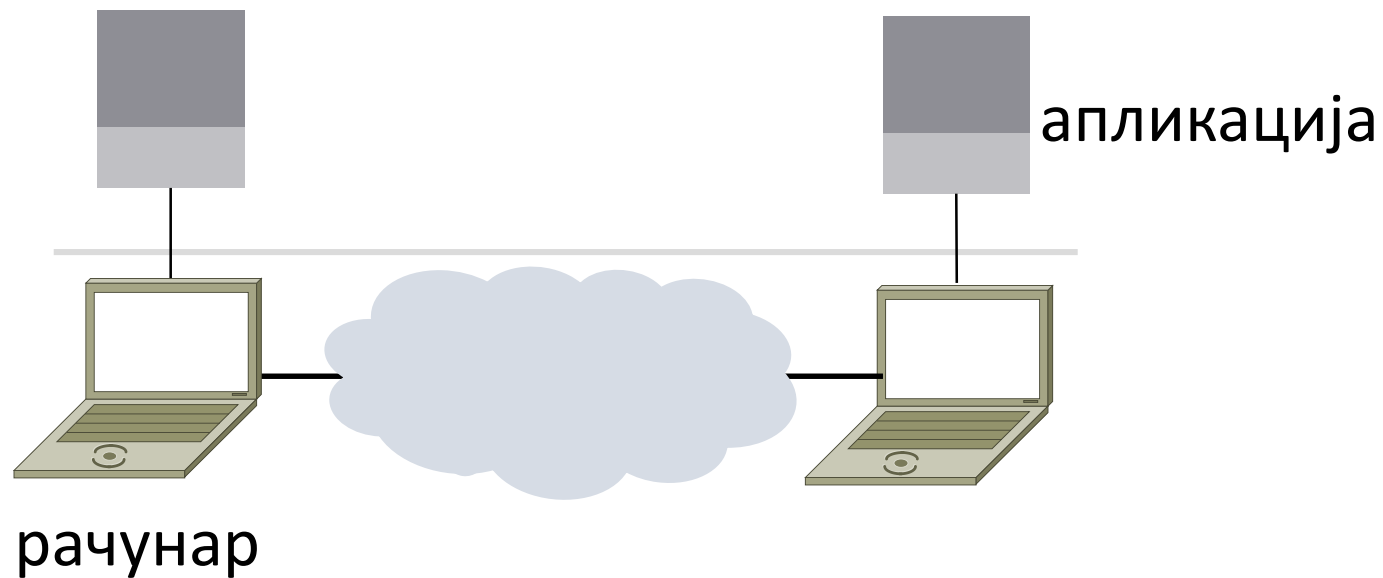
Границе мреже (3)

- Облаком означавамо генеричку мрежу, без детаља о технологији



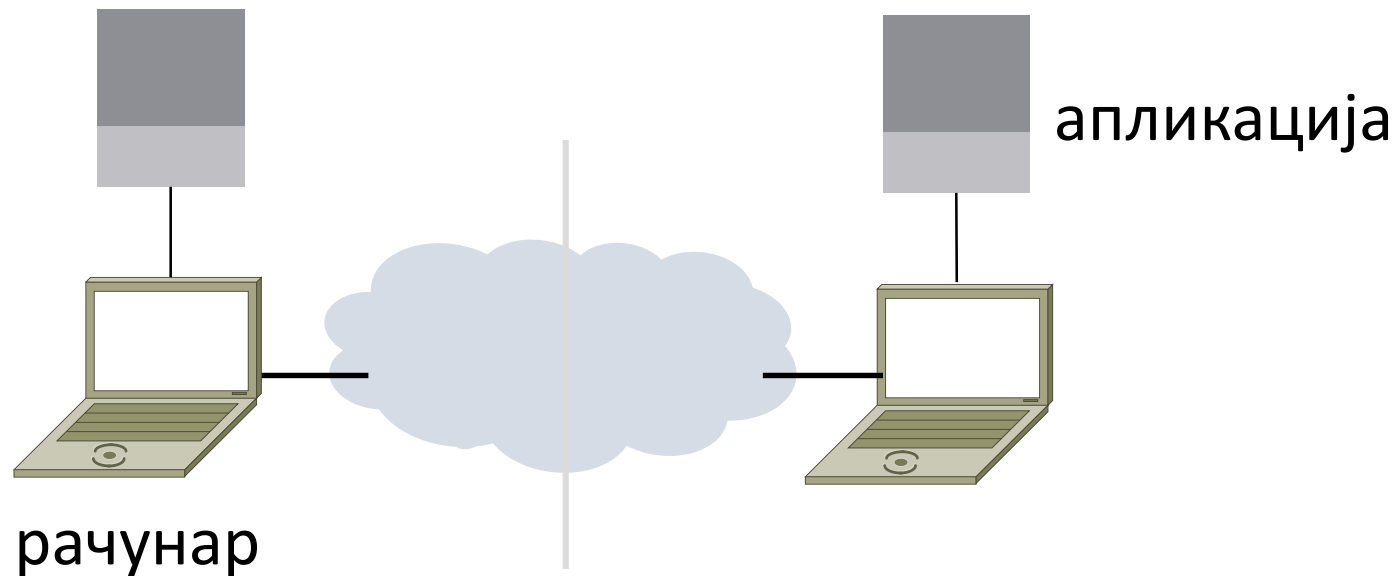
Кључни интерфејси

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



Кључни интерфејси (2)

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

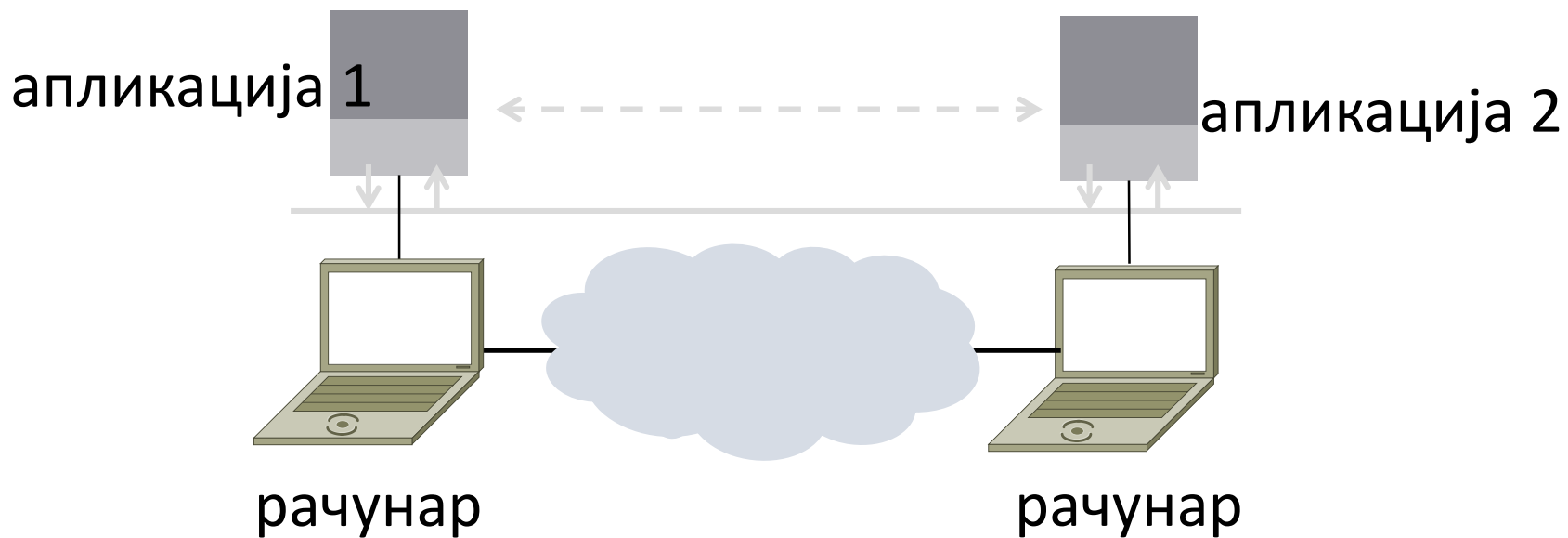


Основе рачунарских мрежа

Сокети

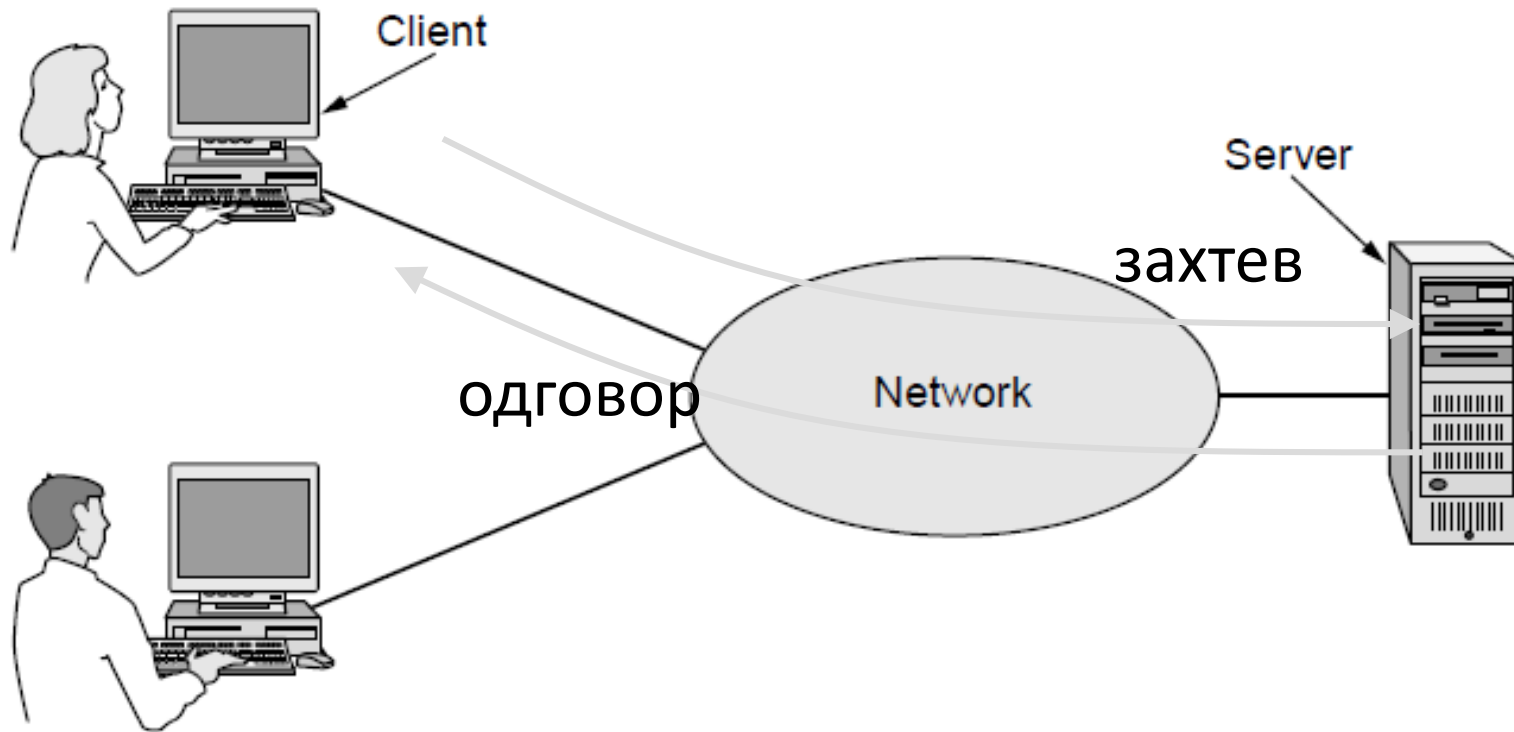
Мрежа-апликација интерфејс

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



Пример примене

- Једноставни клијент-сервер сценарио



Пример примене (2)

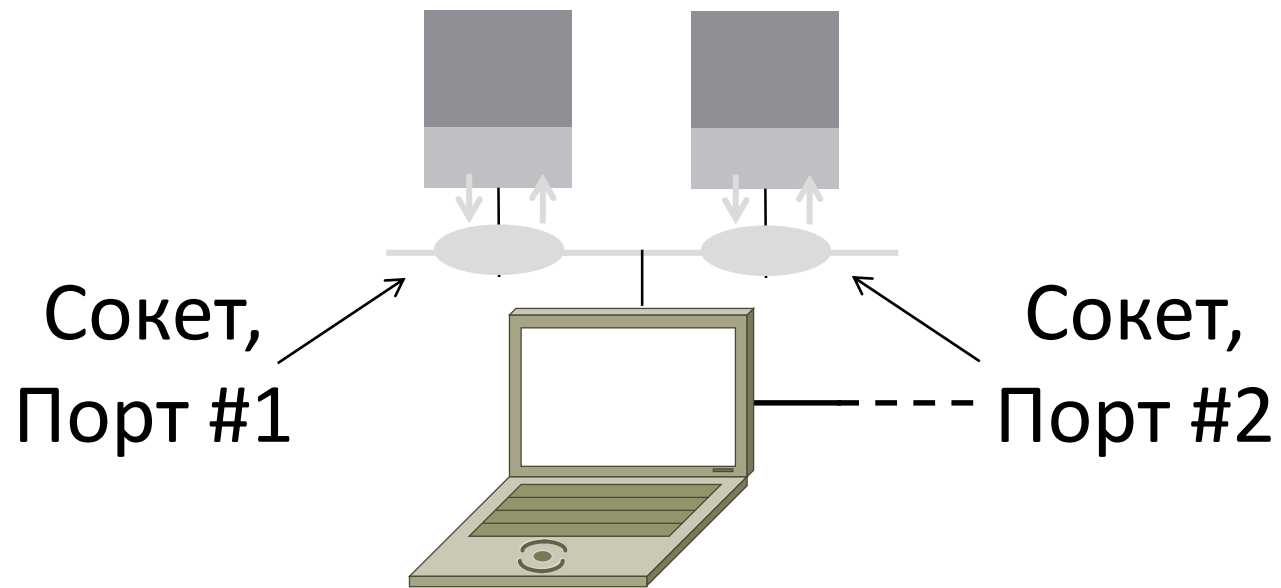
- Једноставни клијент-сервер сценарио
 - Клијентска апликација шаље захтев серверској апликацији
 - Серверска апликација враћа одговор
- Ово је полазна основа за многе примене
 - Пренос датотека: пошаљи назив, прихвати датотеку
 - Претраживање: пошаљи URL, прихвати страницу

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

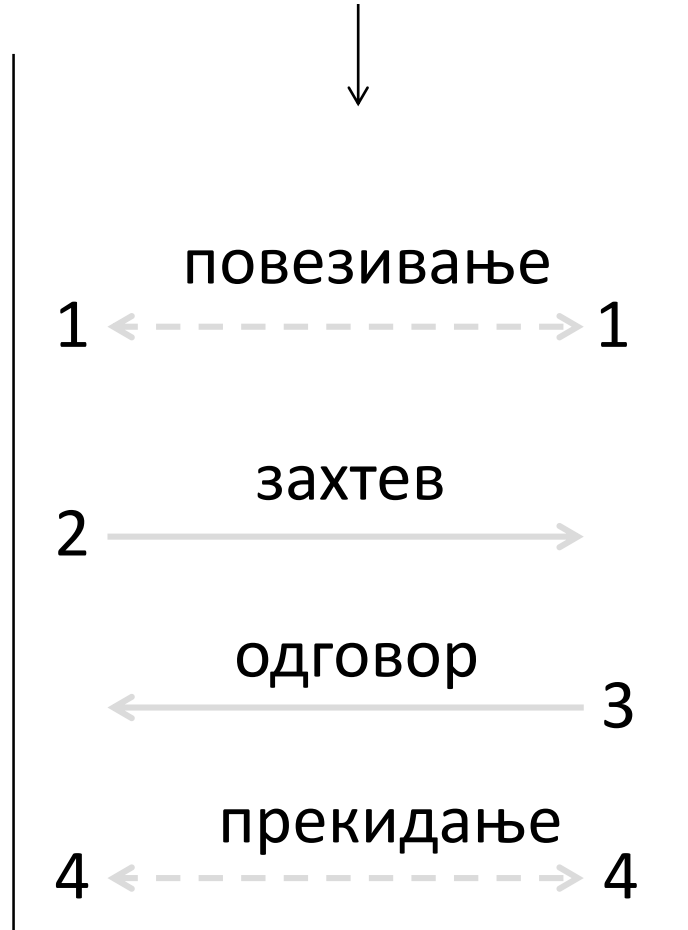


Socket API (3)

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

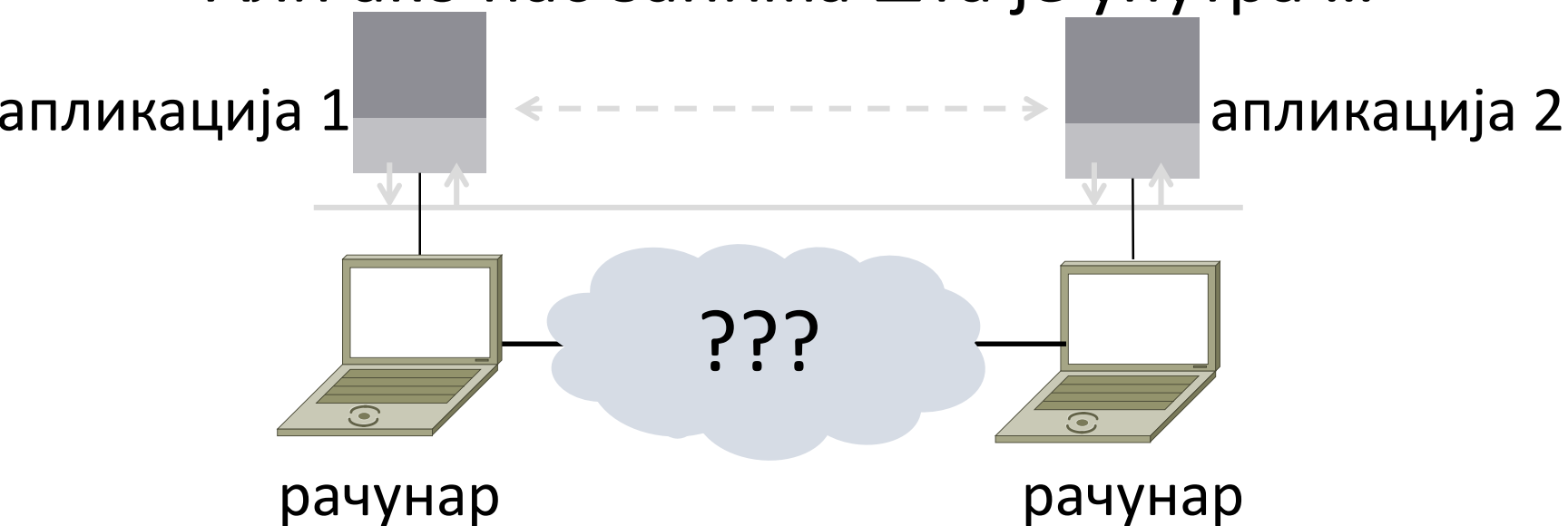
Основе рачунарских мрежа

Гледање унутар мреже помоћу команде Traceroute

Мрежни сервиси крију детаље

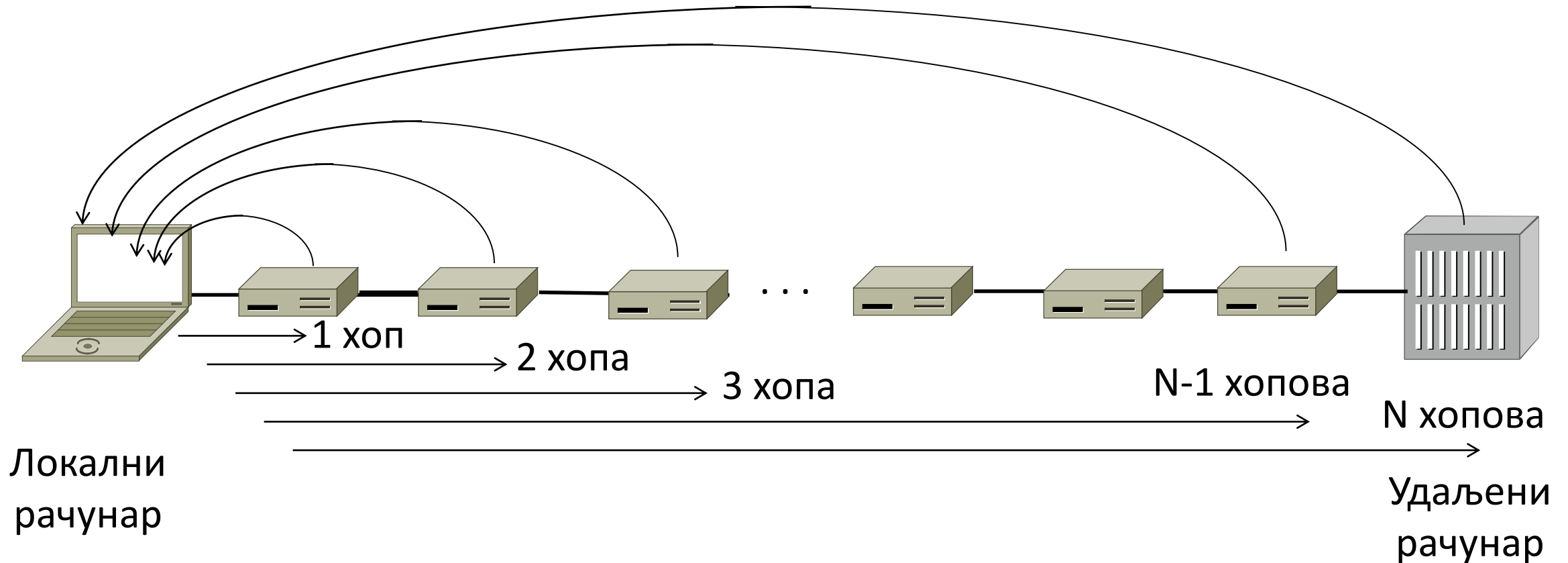
- Апликације комуницирају без реалне представе шта је унутар мреже

- 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-bell.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!

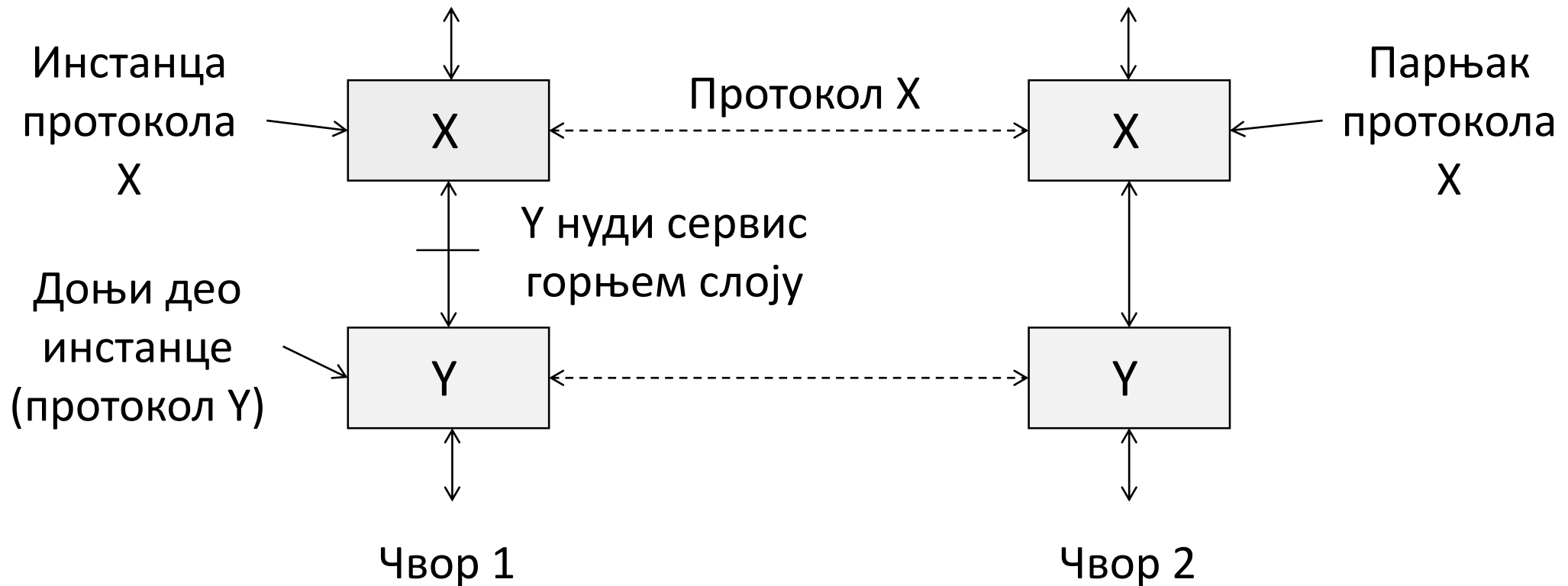
- Шта све мрежа ради за апликације:
 - Прави и прекида конекцију
 - Проналази путању за трансфер података
 - Поуздано шаље податке
 - Шаље податке произвољне величине
 - Брзина слања се прилагођава могућностима мреже
 - Дели проток међу корисницима
 - Омогућава сигуран пренос током транзита
 - Омогућава 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

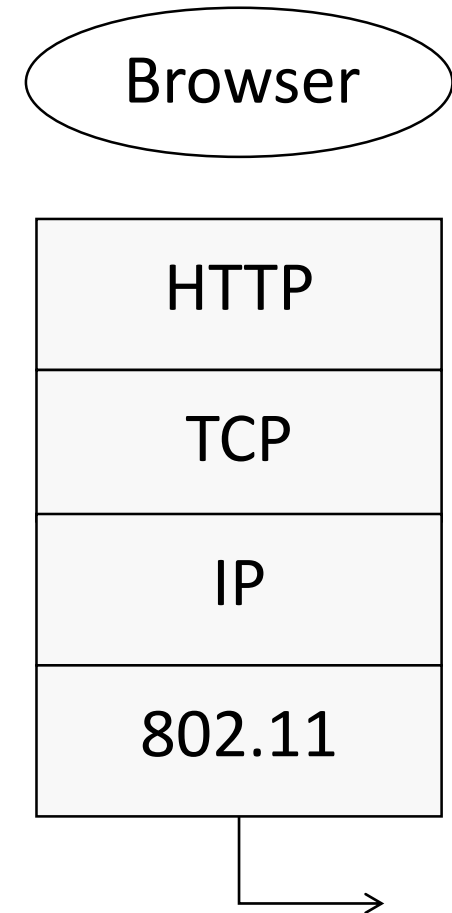
Протоколи и слојеви (2)

- 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

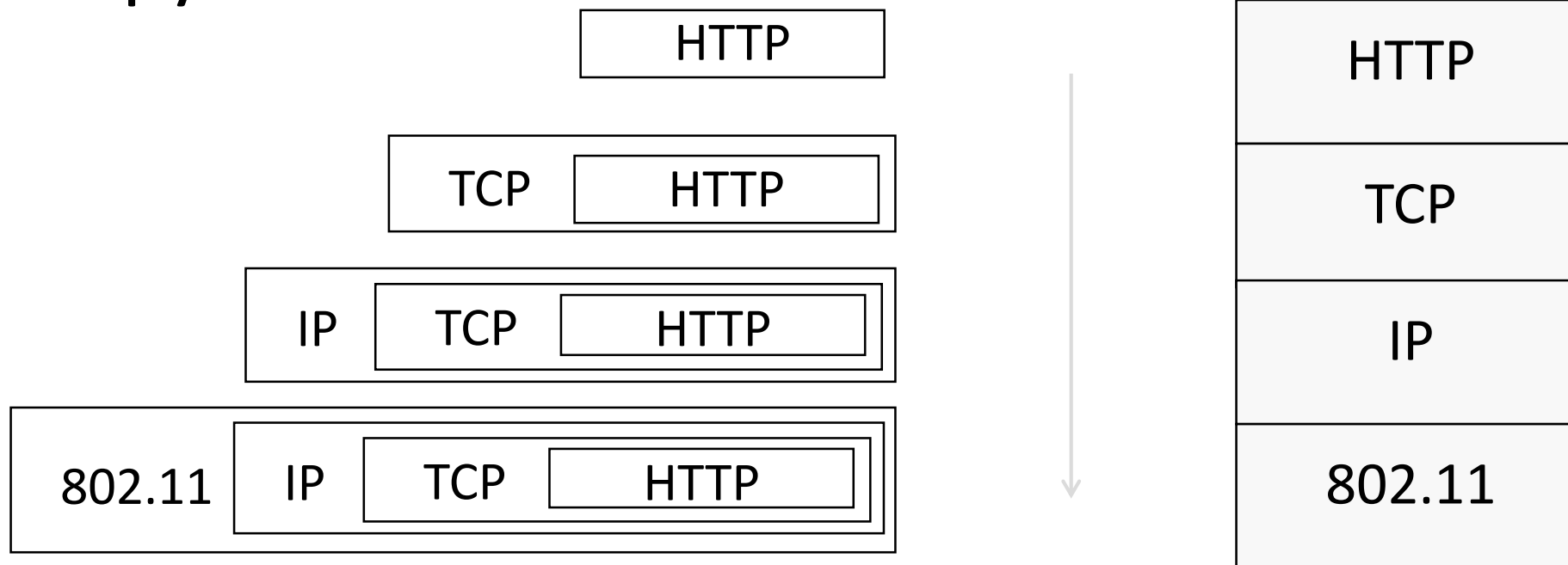


Енкапсулација

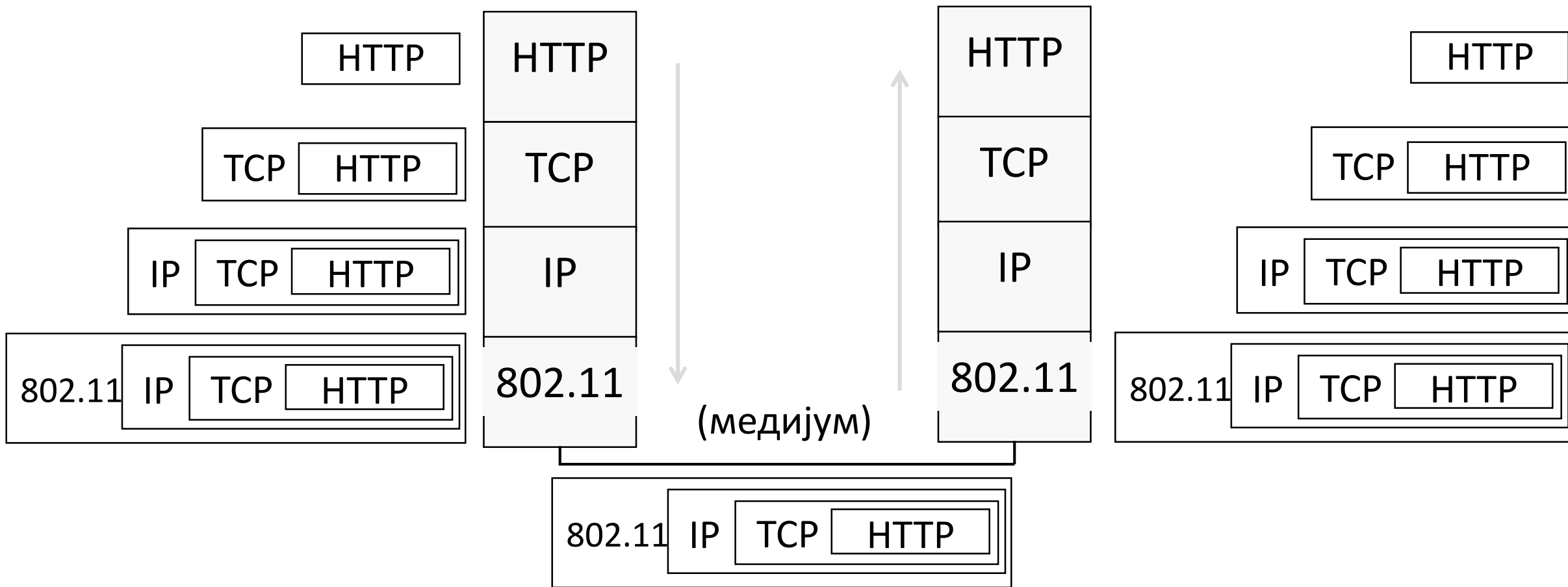
- Енкапсулација је механизам слагања слојева протокола
 - Нижи слој прави омотач око садржаја вишег слоја и додаје своје сопствене информације поруци
 - Попут слања поште у коверти, поштари немају приступ унутрашњости коверте

Енкапсулација (2)

- Садржај нижих слојева је ближи спољашњости поруке

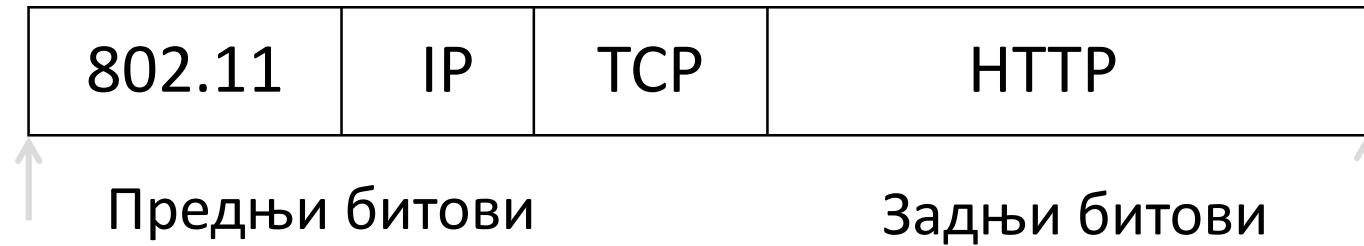


Енкапсулација (3)



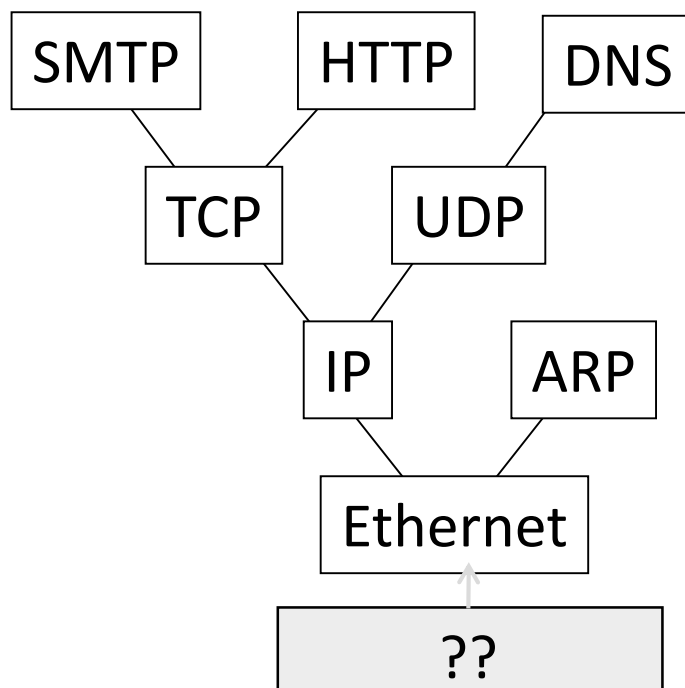
Енкапсулација (4)

- Сваки слој додаје своје заглавље:



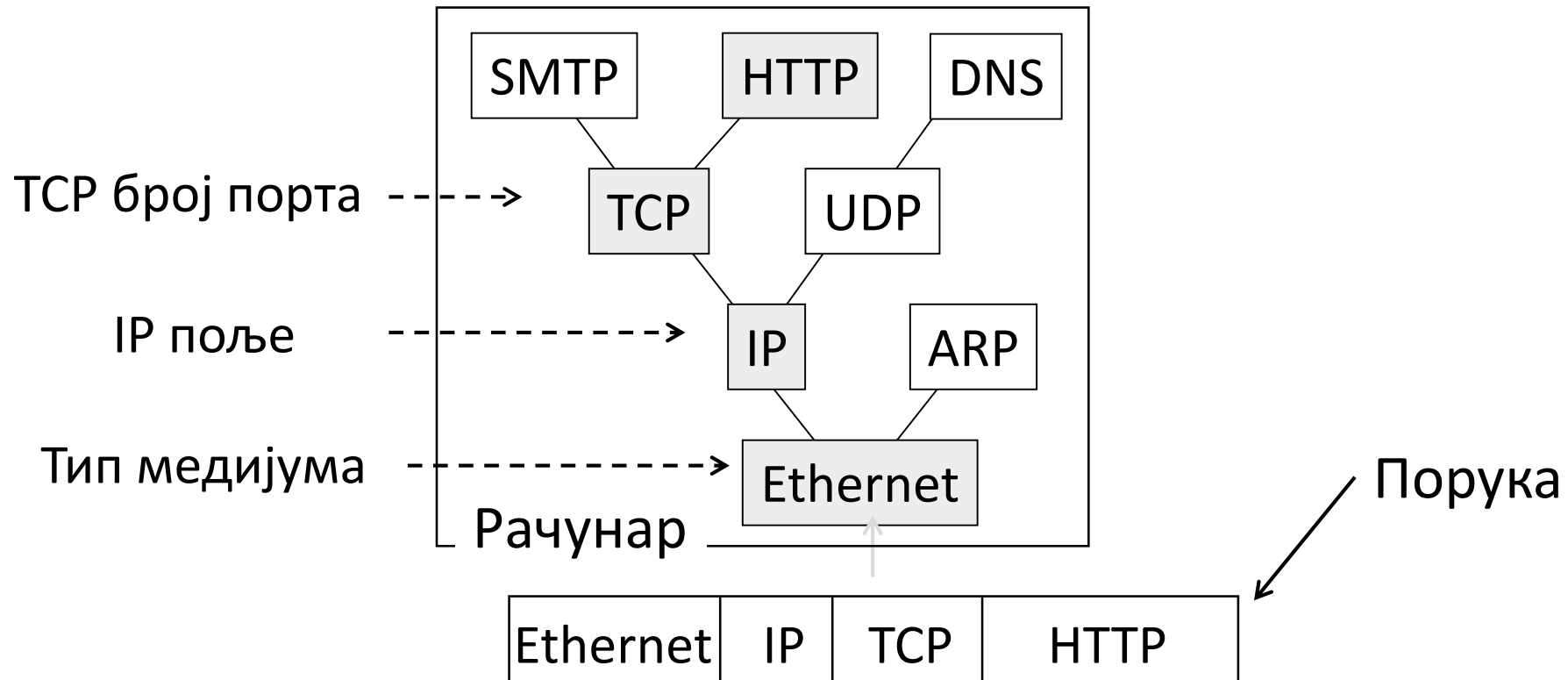
Демултиплексирање

- Порука која пристиже се прослеђује протоколима које користи



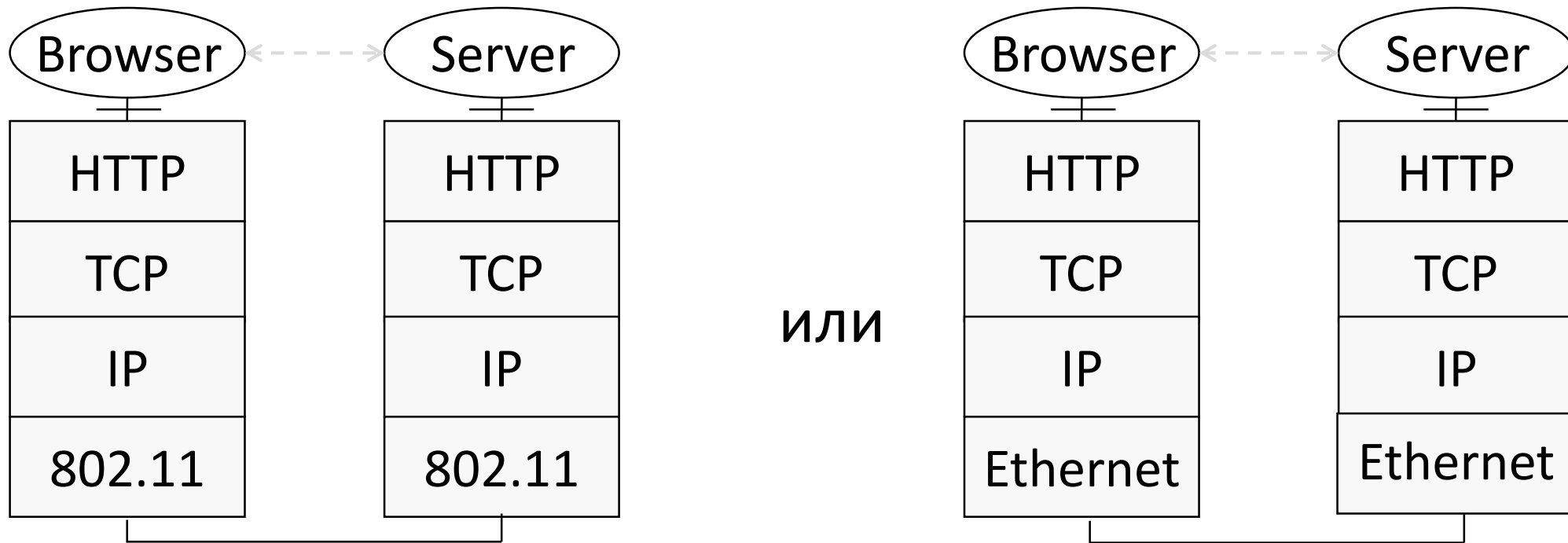
Демултиплексирање (2)

- Ради се путем кључева на почетку



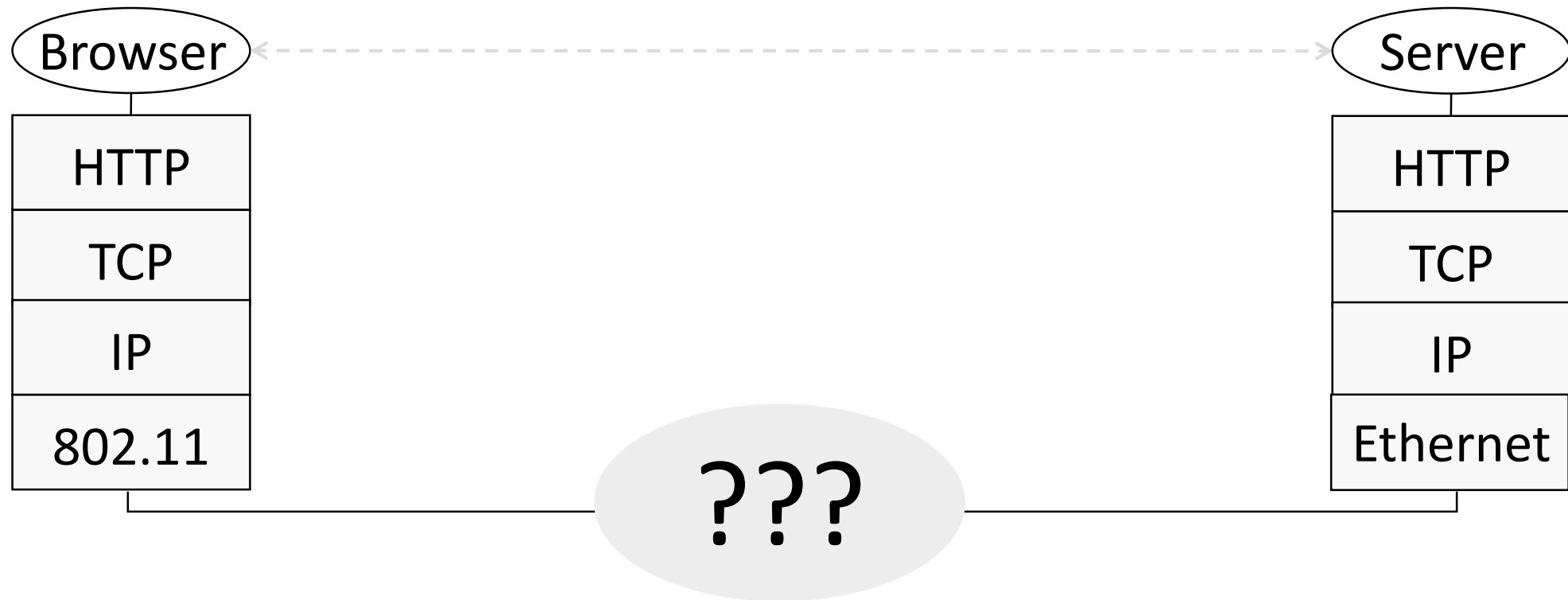
Предности раслојавања

- Прикривање информација и поновна употреба



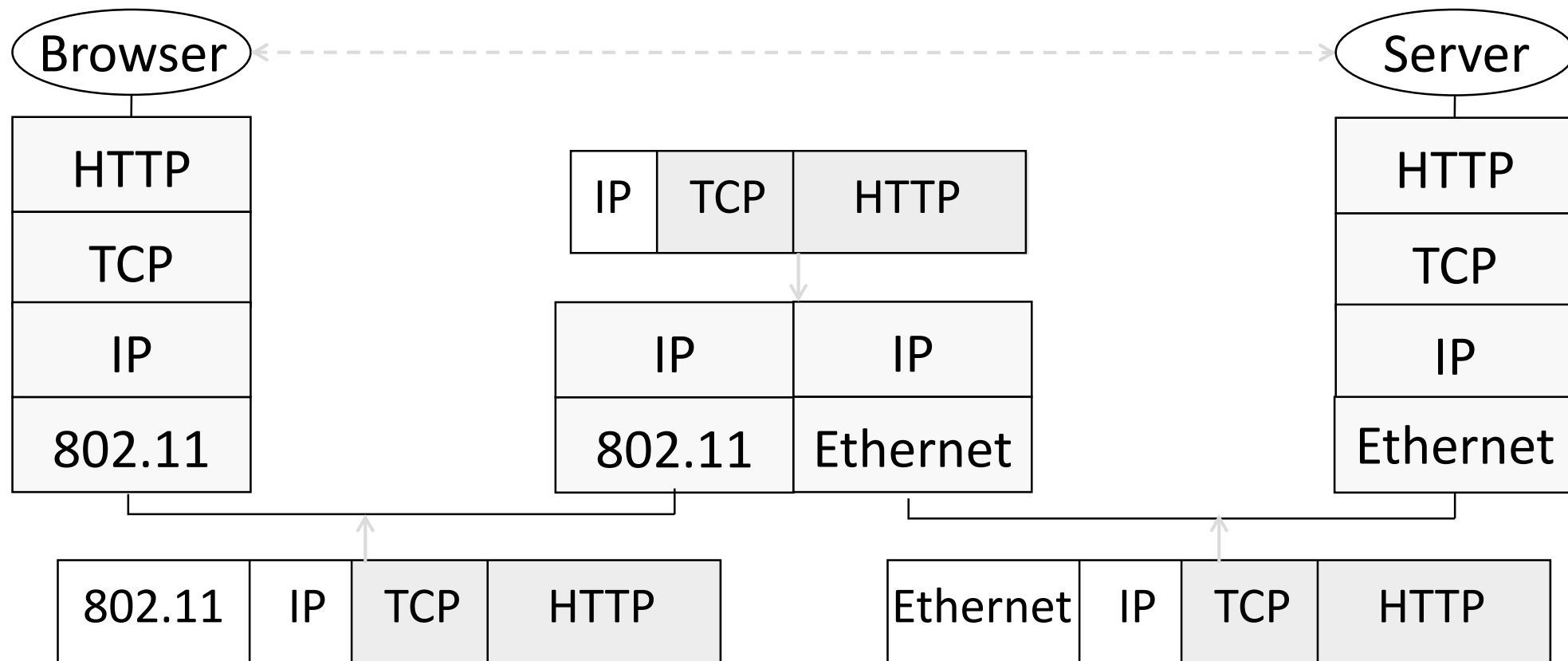
Предности раслојавања (2)

- Повезивање различитих система?



Предности раслојавања (3)

- Конверзија порука – табеле пресликавања протокола



Мане раслојавања

- Повећани трошкови меморије и обраде (overhead)
 - Мање битно за дуге 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
Транспорт
Интернет
Веза

– Програми који користе услуге мреже

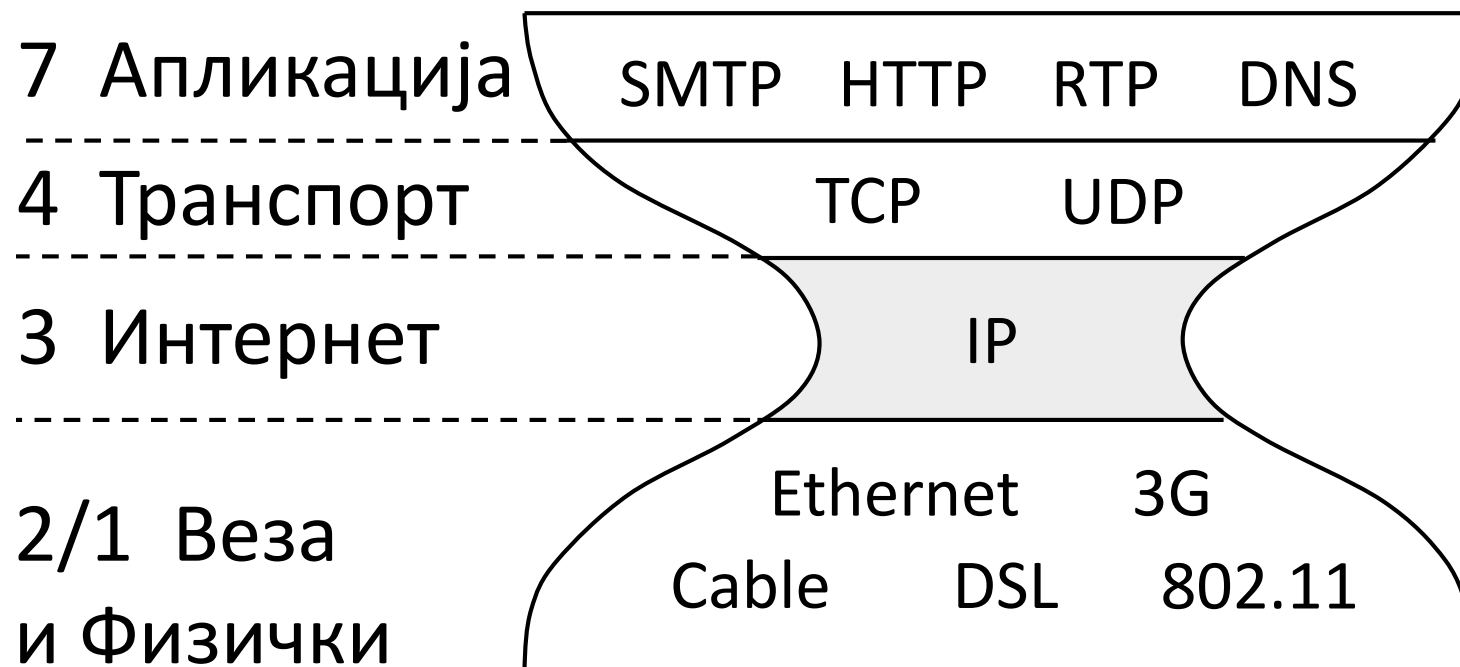
– Задужен за размену података између чворова

– Слање пакета путем разнородних мрежа

– 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

Слој	Јединица
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
------	------

