



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU



Fakultet  
elektrotehnike i  
računarstva

Diplomski studij

Računarstvo

Informacijska i komunikacijska  
tehnologija

Elektrotehnika i informacijska  
tehnologija

Akademska godina  
2022./2023.



# Umrežene igre

## Koncepti umrežavanja

25. 10. 2022.

## Sadržaj predavanja

- Internet kao komunikacijska mreža
- Pogled razvijatelja umrežene igre (aplikacije) na mrežu
- Povezivanje s IP-adresama u privatnom rasponu  
(primjena NAT-a)

Koncepti umrežavanja

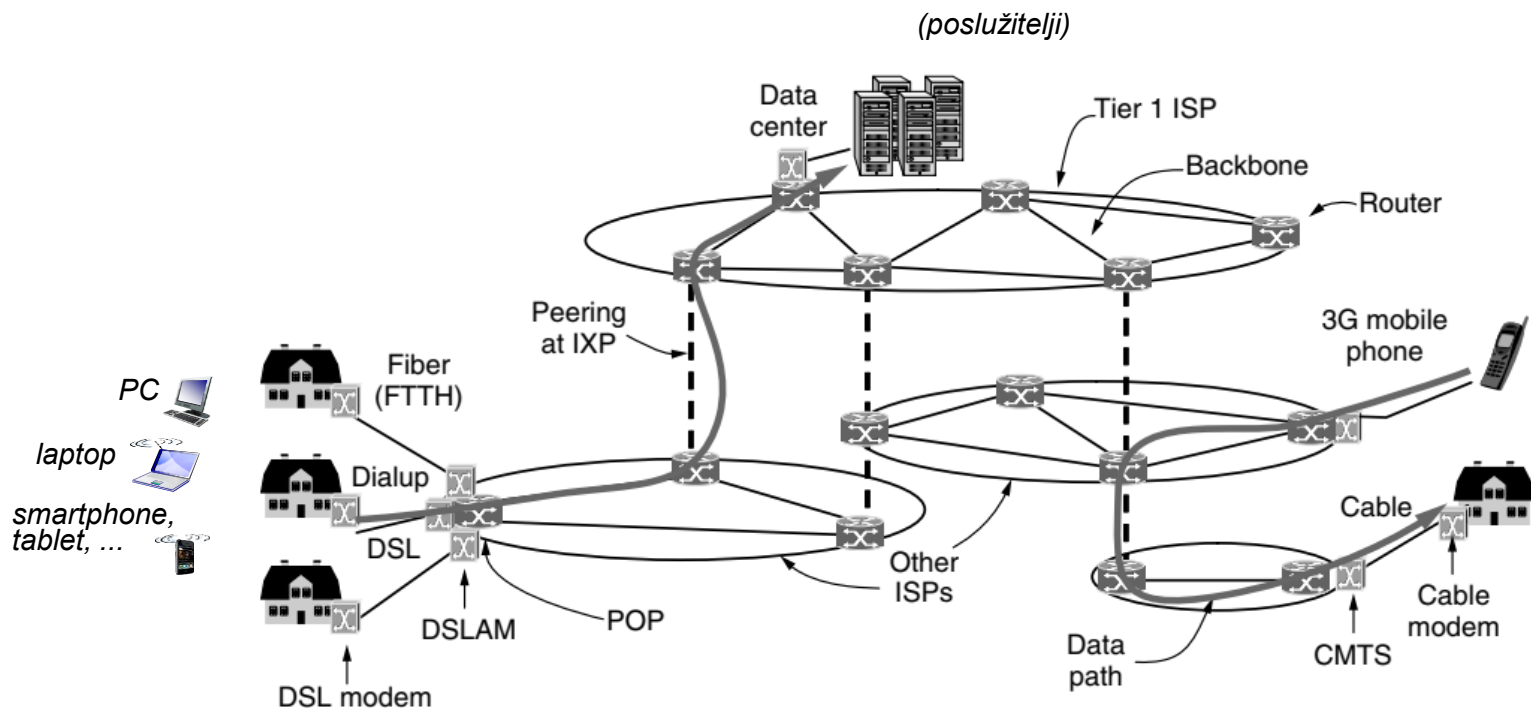
# Internet kao komunikacijska mreža

# Internet kao komunikacijska mreža

- Infrastruktura mreže
- Organizacija mreže
- Slojeviti referentni model TCP/IP

*(dopuna i podsjetnik na gradivo kolegija Komunikacijske mreže)*

# Pogled na mrežu "izvana"



Izvor:

A. Tanenbaum, D. Wetherall, Computer Networks, 5th Edition, Prentice Hall, 2011.  
(p. 62, Fig. 1-29. Overview of the Internet Architecture.)

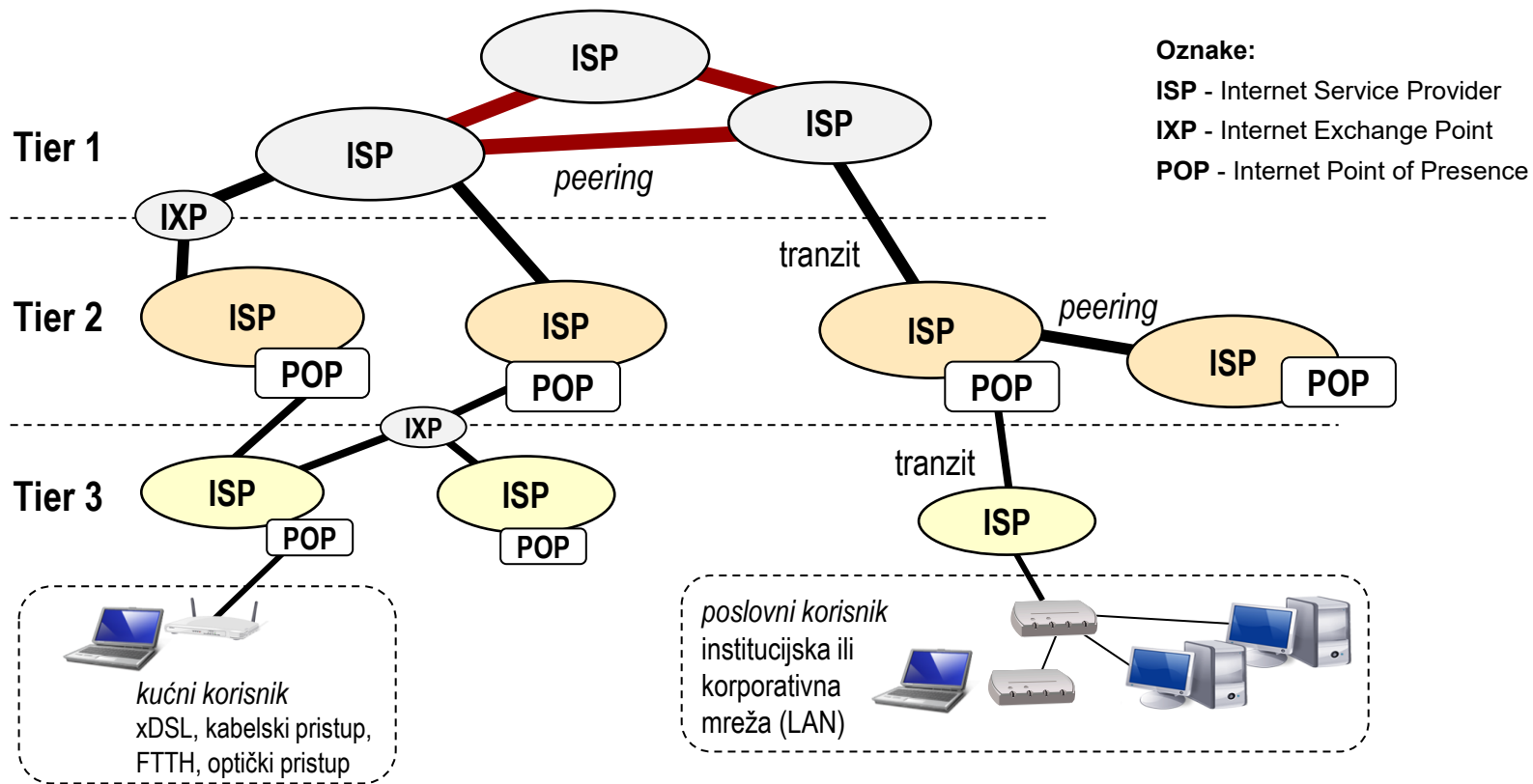
## Što čini mrežu u fizičkom smislu?

- krajnji sustavi
  - korisnički uređaji (osobno računalo, tablet, pametni telefon, ...) i razni drugi uređaji ("pametni", ili ne)
  - poslužiteljski uređaji i oprema
- "unutrašnjost" mreže
  - uređaji za povezivanje i prospajanje (komutatori (engl. *switch*), usmjeritelji (engl. *router*))
  - fizičke veze među uređajima: električne (parica, koaksijalni kabel), optičke (optički kabel, bežični optički sustavi), radijske (zemaljske, satelitske)

## Perspektiva korisnika i davatelja usluge/sadržaja

- pristup Internetu putem davatelja internetske usluga (engl. *Internet Service Provider*, skr. **ISP**)
- korisnici su smješteni na "rubu mreže" – ovise o načinu pristupa Internetu
- davatelji usluga i davatelji sadržaja smještaju svoju ponudu što bliže "jezgri mreže", tj. u podatkovne centre; ili koriste uspostavljena "premoštavanja" između ISP-ova putem točaka razmjene internetskog prometa (IXP)

# Hijerarhija i međusobno povezivanje ISP-ova





## Načini pristupa Internetu

- različiti načini pristupa za kućne korisnike, poslovne ili institucionalne (npr. škole) korisnike
- pristup se odnosi ne samo na fizički medij, već i na brzinu, kašnjenje i druge performanse

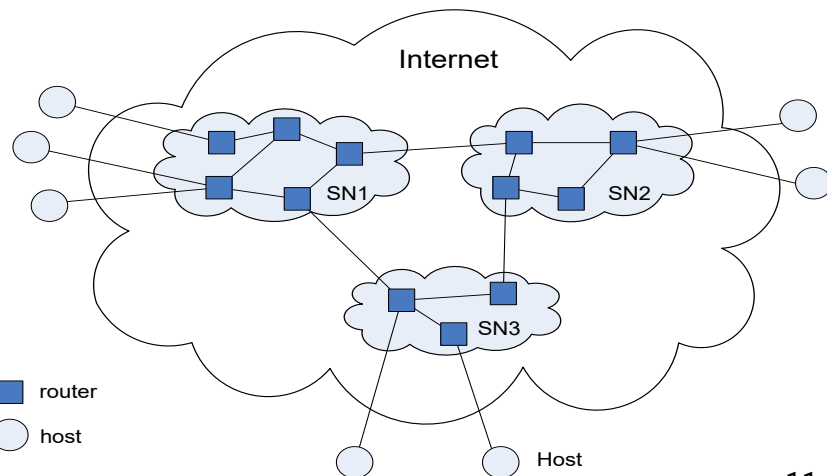
## Organizacija i struktura Interneta

- Internet - mreža međusobno povezanih mreža zasnovanih na TCP/IP arhitekturi i protokolima
- s obzirom na globalni karakter Interneta, treba riješiti zajednička pitanja:
  - organizacija Interneta – povezivanje (pod)mreža
  - fizička i logička slika, pojam autonomnog sustava
  - globalna koordinacija i normiranje
  - upravljanje adresama

# Internet = mreža međusobno povezanih mreža

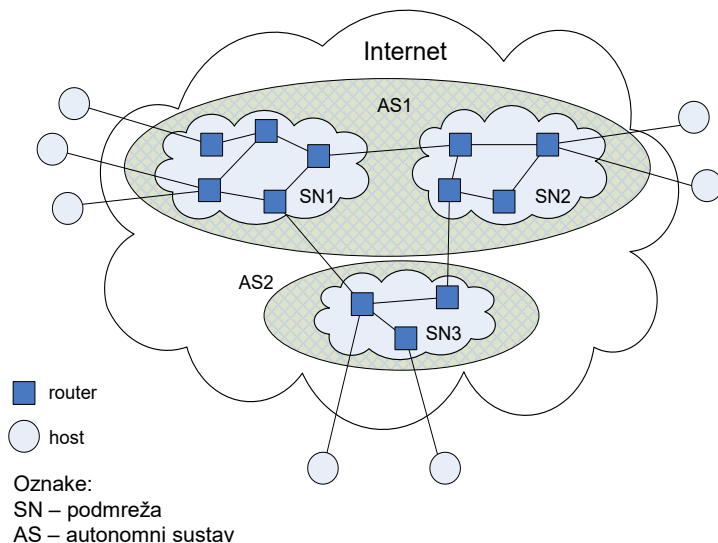


**fizički pogled -**  
mreža sastavljena od  
međusobno povezanih (pod)mreža



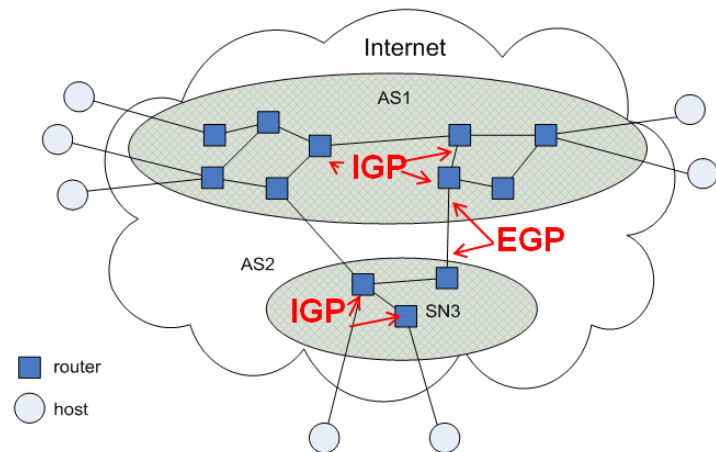
# Pojam autonomnog sustava

- promatrajući fizičku strukturu, Internet čine međusobno povezane pod mreže, administrativno podijeljene u autonomne sustave (engl. *Autonomous System*, skr. AS)
- AS se definira se kao povezani dio mrežne topologije, tj. više pod mreža s jedinstvenom i jasno definiranom politikom usmjeravanja “prema van”, odnosno prema ostalim autonomnim sustavima
  - broj AS-a mora biti (globalno) jedinstven - dodjeljuje ga IANA
  - AS je obično u vlasništvu i pod administracijom jednog mrežnog operatora
  - primjer AS-a: Hrvatska akademska i istraživačka mreža CARNet, dodijeljen broj AS 2108
- **u pogledu usmjeravanja, Internet je skup AS-ova**
  - razlikujemo dvije, međusobno neovisne razine usmjeravanja: unutar jednog AS-a i između različitih AS-ova



# Povezanost unutar AS-a i između AS-ova

- Usmjeravanje unutar AS-a:
  - protokoli unutrašnjeg usmjeravanja (engl. *Interior Gateway Protocol*, skr. IGP)
  - ima ih više, najčešći:  
*Open Shortest Path First* (OSPF),  
*Routing Information Protocol* (RIP),  
*Enhanced Interior Gateway Routing Protocol* (EIGRP),  
*Intermediate System to Intermediate System* (IS-IS)
- Usmjeravanje između AS-ova:  
protokoli vanjskog usmjeravanja (engl. *Exterior Gateway Protocol*, skr. EGP)
  - u praksi, **samo jedan**:  
*Border Gateway Protocol* (BGP, odn. inačica BGPv4)



# Globalna koordinacija i normiranje u Internetu

- Internet Engineering Task Force (**IETF**)  
<http://www.ietf.org>
  - izrada tehničkih specifikacija s primjenama u dizajnu, primjeni i upravljanju Internetom – primjerice, specifikacija protokola IP i drugih internetskih komunikacijskih protokola
- Internet Corporation for Assigned Names and Numbers (**ICANN**)  
<http://www.icann.org/>
  - “sveukupna koordinacija globalnih internetskih sustava jedinstvenih identifikatora i osiguravanje njihovog stabilnog i sigurnog rada”
  - proširuje ulogu i provodi nadležnosti Internet Assigned Number Authority (**IANA**)  
<https://www.iana.org/>
    - tj. koordinira dodjelu i pridruživanje jedinstvenih skupova internetskih identifikatora
      - nazivi domena i sustav domenskih imena
      - IP adrese i brojevi autonomnih sustava
      - brojevi vezani uz funkcioniranje komunikacijskih protokola (portovi i parametri)
  - koordinira evoluciju i djelovanje korijenskog DNS sustava
  - koordinira razvoj politika povezanih s navedenim tehničkim funkcijama



Internet Assigned Numbers Authority

# Dokumenti IETF-a: serija RFC

- naziv prema (engl.) *Request for Comments (RFC)*
- dokumenti objavljeni u seriji RFC obuhvaćaju razne tehničke i administrativne aspekte Interneta
- RFC Editor (urednički tim) uređuje i objavljuje RFC-ove putem Interneta  
<http://www.rfc-editor.org>
- svaki RFC ima jedinstveni serijski broj
  - prvi RFC objavljen 1969. godine, do studenoga 2021. godine objavljeno više od 8500 RFC-ova
  - objavljeni RFC-ovi se nikad ne mijenjaju, ispravci se objavljuju zasebno
- status RFC-a može biti:
  - standardni "track" (~~draft standard~~, *proposed standard*, *internet standard*)
  - drugi dokumenti: eksperimentalni, informativni, dobra praksa, povijesni
  - važno: RFC-ovi nisu "internetski standardi" – samo neki od njih jesu (nešto više od 120 njih ima taj status)

# Slojeviti referentni modeli, općenito

## Namjena referentnog modela:

- definiranje koncepata i normiranje,
- utvrđivanje pravila povezivanja sustava u mrežu te mreža međusobno,
- stvaranje otvorenih rješenja, neovisnih o proizvođaču opreme ili mrežnom operatoru.

## Osnovni modeli:

- referentni model povezivanja otvorenih sustava  
(engl. *Open System Interconnection Reference Model*, OSI RM)
- referentni model TCP/IP (internetski model)  
(engl. *TCP/IP Reference Model*)  
za razvoj digitalnih igara u Internetu, primarno nas zanima **TCP/IP model**



# Slojevita mrežna arhitektura

Aplikacijski sloj, sloj primjene
.....
(N+1)-sloj
(N)-sloj
(N-1)-sloj
....
Fizički sloj

## Vertikalna dekompozicija na slojeve

- svakom sloju dodjeljuju se funkcije i specificiraju sučelja sa susjednim slojevima kako bi viši sloj mogao koristiti **uslugu** nižeg sloja
- najviši je uvijek **aplikacijski** sloj koji predodžuje primjene i usluge za korisnike
- najniži je uvijek **fizički sloj** koji omogućuje stvarni prijenos informacije fizičkim medijem

# Referentni model TCP/IP

5 Aplikacijski sloj
4 Transportni sloj
3 Mrežni/internetski sloj
2 Sloj podatkovne poveznice*
1 Fizički sloj*

\*izvorni TCP/IP model ne uključuje fizički sloj i sloj podatkovne poveznice, ali ih podrazumijeva

- *aplikacijski sloj*: podrška za razne korisničke i sustavne aplikacije
  - protokoli: DNS, HTTP, SMTP, ...
- *transportni sloj*: razmjena podataka među procesima
  - protokoli: TCP, UDP
- *mrežni sloj*: usmjeravanje datagrama od izvora do krajnjeg odredišta (sučelja) u mreži
  - protokoli: IP, protokoli usmjeravanja
- *podatkovna poveznica*: prijenos podataka između dvaju izravno povezanih mrežnih elemenata
  - protokoli: Ethernet, 802.11 (WiFi), PPP
- *fizički sloj*: prijenos bitova

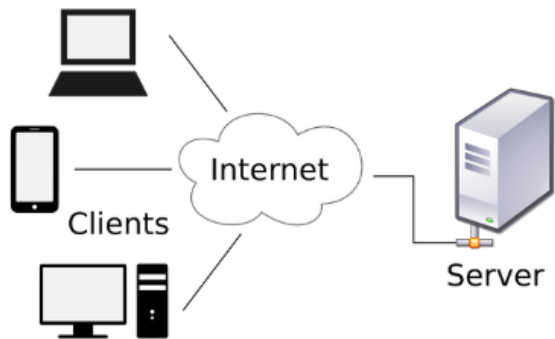
Koncepti umrežavanja

## **Pogled razvijatelja umrežene igre (aplikacije) na mrežu**

## Perspektiva razvijatelja umreženih igara

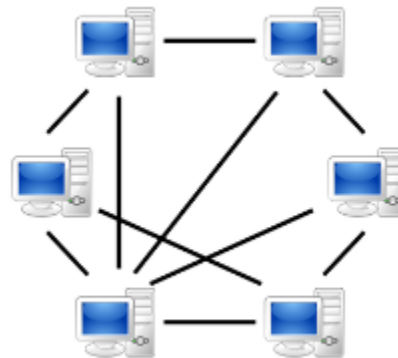
- umrežena igra izvedena je kao (raspodijeljena) aplikacija
- aplikaciju čini programski kôd koji se izvodi na krajnjim sustavim
- procesi koji izvode programski kôd međusobno komuniciraju , razmjenjujući poruke putem komunikacijske mreže
- najčešći izvedbeni modeli:
  - klijent – poslužitelj (engl. *client* - *server*)
  - procesi iste razine (engl. *peer-to-peer*, skr. P2P)

# Usporedba modela klijent - poslužitelj i P2P



## Klijent – poslužitelj

model koji prevladava kod umreženih igara  
(razlozi: registracija korisnika, sinkronizacija  
aktivnosti, sprečavanje varanja, naplata, ...)



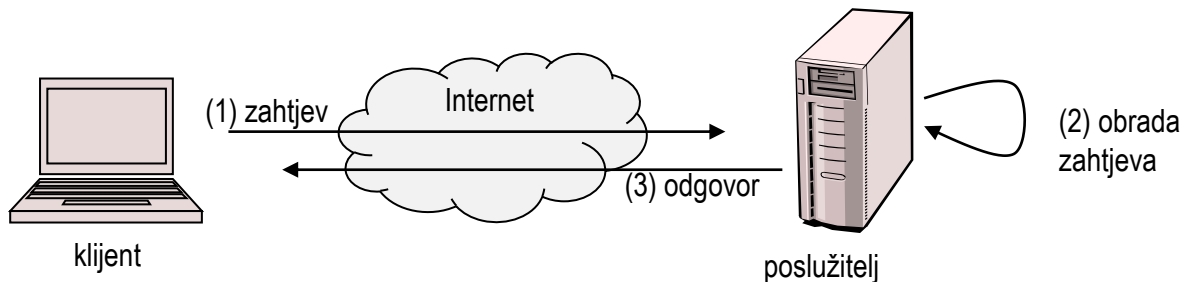
## Peer-to-peer

relativno manje zastupljen, zanimljiv jer  
(potencijalno) omogućuje bitno veću  
skalabilnost

(kod P2P izvedbe, svaki čvor je ujedno i klijent i poslužitelj)

# Model klijent-poslužitelj

- izvedba usluge u modelu klijent-poslužitelj podijeljena je između programa klijenta i programa poslužitelja, smještenih na krajnjim sustavima spojenima na Internet
- koristi se u većini "standardnih" internetskih usluga (web, e-mail, itd.)
- jedan poslužitelj poslužuje više klijenata
- komunikacija se temelji na nizu zahtjeva i odgovora:
  - klijent inicira uslugu slanjem zahtjeva poslužitelju
  - poslužitelj obrađuje zahtjev i odgovara klijentu šaljući rezultat obrade



## Perspektiva razvijatelja umreženih igara (nast.)

- programer koristi aplikacijsko programsko sučelje (API) za pristup mrežnim funkcionalnostima "ispod haube"
  - **socket API** služi za uspostavu logičke veze između procesa klijenta i poslužitelja
  - uočimo da programer (odn., kasnije, aplikacija) nema pristup funkcijama na sustavima "unutar" mreže, već samo onima na krajnjem sustavu

# Programsko sučelje (socket API)

- *socket* (priključnica) je programska apstrakcija krajnje točke komunikacije između klijenta i poslužitelja - klijent se "priključuje" na vrata poslužitelja



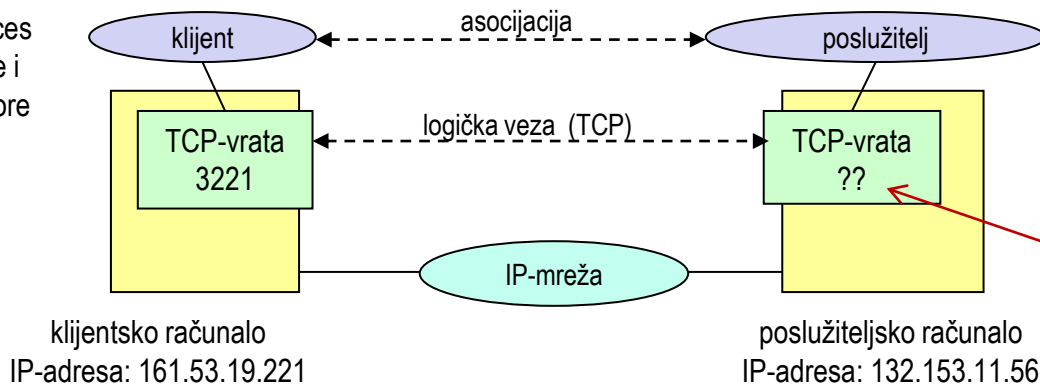
- "priključenjem" se stvara asocijacija između procesa – to je pretpostavka za daljnju komunikaciju
- parametri koji se definiraju putem API-ja:
  - adresa krajnjeg sustava ---> **IP adresa**
  - adresa procesa s kojim se komunicira ---> **vrata** (engl. port)
  - svojstva "transporta" poruka putem mreže ---> **odabrani protokol: TCP ili UDP**
- *socket* = (IP-adresa, transportni protokol, broj vrata), npr. na strani web-poslužitelja (161.53.19.220, TCP, 80)



# Asocijacija klijenta i poslužitelja

- asocijacija: uspostavljen odnos između procesa klijenta i poslužitelja povrh jedne transportne veze (npr. logička TCP-veza) ili povezanosti (npr. UDP-binding)
- podaci potrebni za uspostavu asocijacije:
  - aplikacijski protokol
  - socketi IP-adrese klijenta i poslužitelja
  - transportni protokol (TCP/UDP) i brojevi vrata za klijentski i poslužiteljski proces

klijentski proces  
šalje zahtjeve i  
prima odgovore

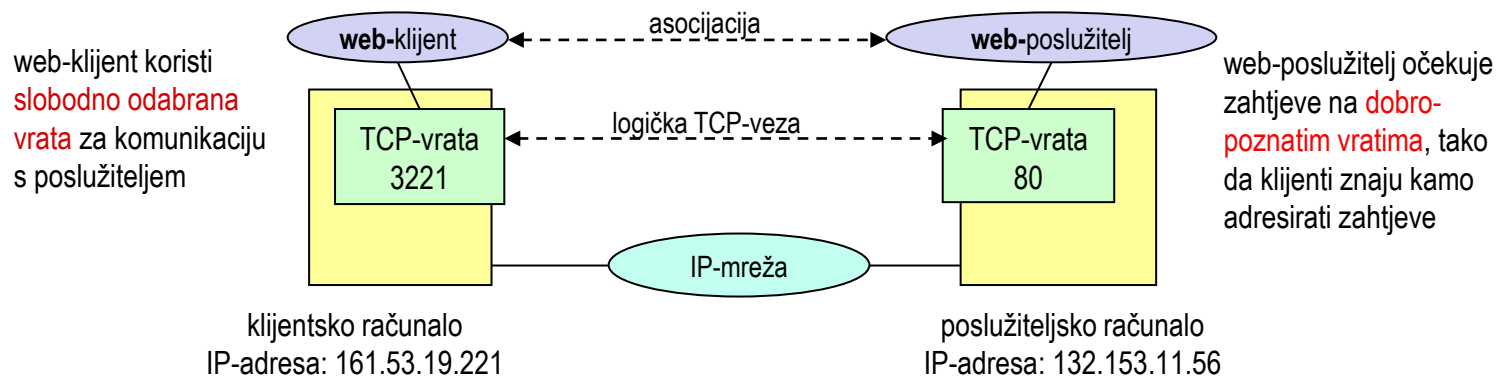


poslužiteljski proces  
osluškuje zahtjeve,  
obrađuje ih i šalje  
odgovore klijentu

pitanje: kako klijent  
"zna" kamo uputiti  
zahtjev?

# Pronalaženje usluga

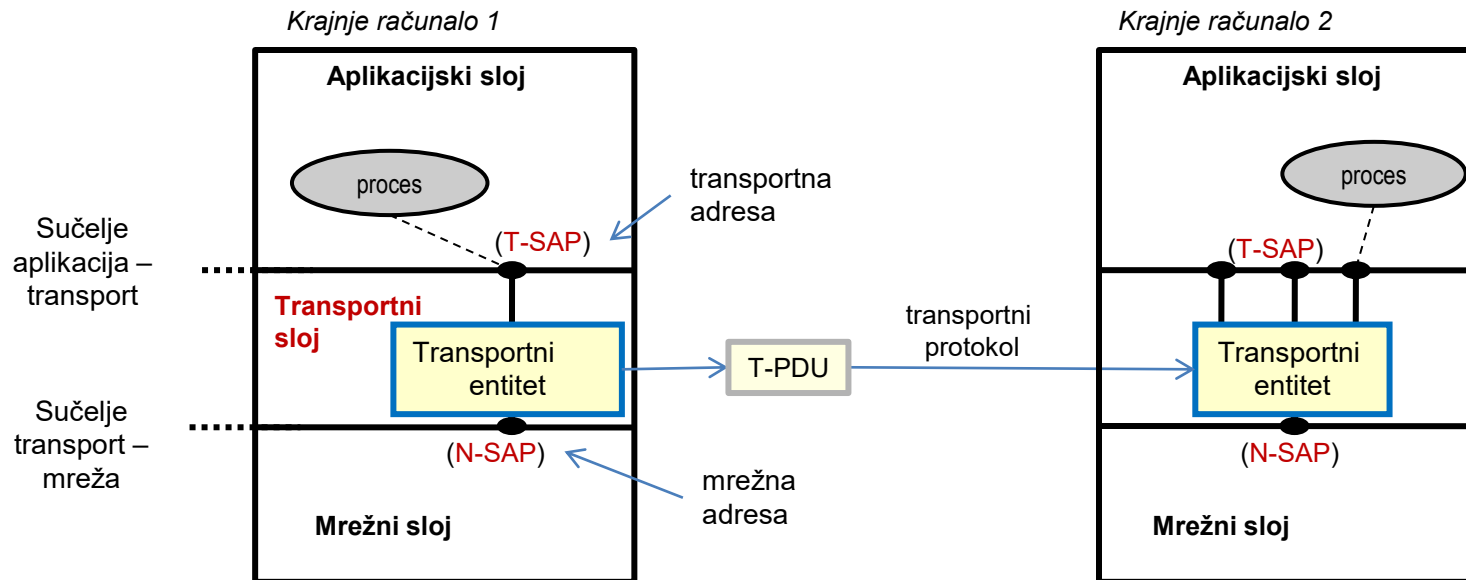
- klijent mora unaprijed znati IP adresu i vrata da bi mu pristupio poslužitelju
- na razini cijelog Interneta, unaprijed su definirana *dobro-poznata vrata* (engl. *well-known port*) za standardne internetske usluge – brojevi vrata u rasponu od 0 do 1023
- nadležnost IANA (<https://www.iana.org/assignments/service-names-port-numbers/service-names-port-numbers.xhtml>)
- za usluge koje nemaju dobro-poznata vrata, mora postojati neki drugačiji način (npr. imenička usluga)



# Izbor transportne usluge i odgovarajućeg protokola

- svrha: omogućiti **logičko povezivanje procesa** na krajnjim računalima
- usluga može biti spojna i nespojna
  - funkcije:
    - adresiranje (na razini transportnog sloja)
    - multipleksiranje
    - uspostava i raskid veze (za spojnu uslugu)
    - kontrola toka
    - oporavak od prekida komunikacije
  - prema potrebi, "kompenzacija nedostataka" mrežnog sloja
- **izbor transportnog protokola ovisit će o parametrima kvalitete usluge koje zahtijeva aplikacija!**

# Što znači "logičko povezivanje procesa"

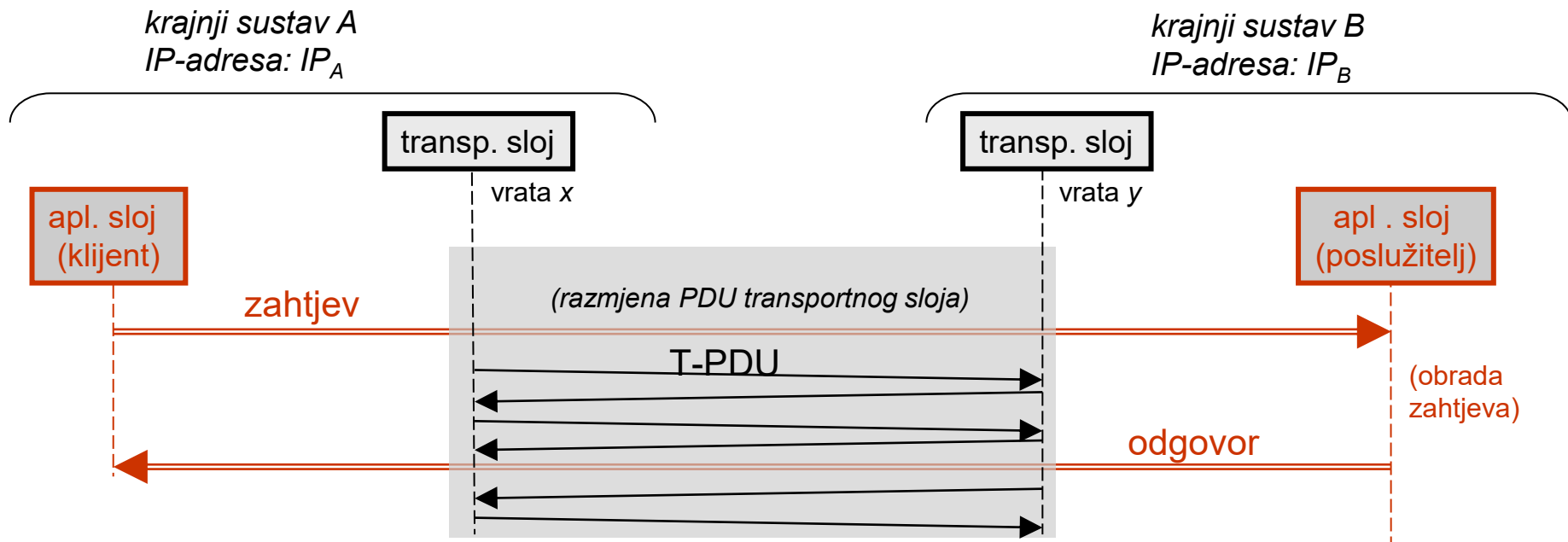


logička veza: procesi koji komuniciraju ponašaju se kao da su izravno spojeni  
(raspodijeljenost i mrežna komunikacija su im "nevidljive" – sve dokle su uvjeti komunikacije dobri ☺)

# Adresiranje

- na sučelju transporta i mreže: mrežna pristupna točka usluzi – N-SAP (Network-Service Access Point )
  - adresa mrežnog sučelja
  - u internetskom modelu: IP adresa
- na sučelju transporta i aplikacije: transportna pristupna točka usluzi – T-SAP (Transport-Service Access Point)
  - adresa transportnog entiteta
  - u internetskom modelu: vrata (engl. *port*)
- krajnje točke logičke veze:  
(IP adresa izvora, vrata na izvoru) --- (IP adresa odredišta, vrata na odredištu)
  - u internetskom modelu: priključnica (engl. *socket*)
- multipleksiranje: način preslikavanja T-SAP:N-SAP
  - multipleksiranje "odozgo": više procesa može komunicirati preko iste mrežne adrese

# Odnos procesa aplikacijskog i transportnog sloja



## Izbor transportne usluge i odgovarajućeg protokola (nast.)

- izbor transportne usluge s obzirom na:
  - pouzdanost
  - propusnost
  - kašnjenje
  - sigurnost
- izbor protokola - opcije: TCP ili UDP

# Zahtjevi aplikacija nad mrežom

Application	Data Loss	Throughput	Time-Sensitive
File transfer/download	No loss	Elastic	No
E-mail	No loss	Elastic	No
Web documents	No loss	Elastic (few kbps)	No
Internet telephony/ Video conferencing	Loss-tolerant	Audio: few kbps–1Mbps Video: 10 kbps–5 Mbps	Yes: 100s of msec
Streaming stored audio/video	Loss-tolerant	Same as above	Yes: few seconds
Interactive games	Loss-tolerant	Few kbps–10 kbps	Yes: 100s of msec
Smartphone messaging	No loss	Elastic	Yes and no

velika raznolikost igara  
- nema univerzalnog  
rješenja za sve!





## Table 1 The transport protocols used by popular MMORPGs

From: [On the challenge and design of transport protocols for MMORPGs](#)

Protocol	MMORPGs
TCP	World of Warcraft, Angel's Love, Lineage I/II, Guild Wars, Ragnarok Online
UDP	EverQuest, City of Heroes, Asheron's Call, Ultima Online, Final Fantasy XI
TCP/UDP	Dark Age of Camelot

Izvor: Wu, CC., Chen, KT., Chen, CM. *et al.* On the challenge and design of transport protocols for MMORPGs. *Multimedia Tools and Applications* 45, 7–32 (2009). <https://doi.org/10.1007/s11042-009-0297-5>

## Part IV: Great TCP-vs-UDP Debate of 64 Network DO's and DONT's for Game Engines

posted June 22, 2015 by "No Bugs" Hare, translated by Sergey Ignatchenko



Author: "No Bugs" Hare  
Job Title: Sarcastic Architect  
Hobbies: Thinking Aloud, Arguing with Managers, Annoying HRs,  
Calling a Spade a Spade, Keeping Tongue in Cheek

Follow: [Twitter](#) [Facebook](#)

This post continues our multi-part article on network-related programming for game engines. As before, we're covering pretty much every game out there (stock exchanges included), except for browser-based games (which are quite a different beast).



Izvor: Part IV: Great TCP-vs-UDP Debate of 64 Network DO's and DONT's for Game Engines (posted June 22, 2015), "No Bugs" Hare, <http://ithare.com/64-network-dos-and-donts-for-game-engines-part-iv-great-tcp-vs-udp-debate/> (Pristupljeno 15/11/2021)

However, some online games do use TCP, and this is somewhat related with the game genre. Some clear trends can be observed: FPSs always generate UDP flows. Many MMORPGs use TCP, although some of them use UDP (Chen et al., 2006b). The most popular MOBA (League of Legends) uses UDP. RTSs may use TCP or UDP.

Izvor: Saldana, Jose & Suznjovic, Mirko. (2015). QoE and Latency Issues in Networked Games. [https://doi.org/10.1007%2F978-981-4560-52-8\\_23-1](https://doi.org/10.1007%2F978-981-4560-52-8_23-1)

## Table 2 OnLive games considered in this paper.

Game	Nickname	Genre
Pro Evolution Soccer 2012	<i>pes2012</i>	Sports
Unreal Tournament 3	<i>unreal3</i>	FPS
Crazy Taxi	<i>crazytaxi</i>	Racing
Air Conflicts	<i>airconflicts</i>	Flight simulator
4 Elements	<i>4elements</i>	Puzzle

Izvor: Manzano, M.; Urueña, M; Sužnjević, M; Calle, E; Hernández, JA; Matijašević, M. Dissecting the protocol and network traffic of the OnLive cloud gaming platform. *Multimedia systems*, 20 (2014), 5; 451-470 <https://doi.org/10.1007/s00530-014-0370-4>

Napomena: OnLive platforma koristi i TCP i UDP, ali za različite svrhe unutar iste sjednice.

## Choosing TCP or UDP: a guide for game developers

As a game developer, you'll hear lots of myths about network code, especially when it comes to choosing UDP or TCP. You'll be told that:

- You can't build anything fast with TCP, dismissing counterexamples.
- UDP is always faster than TCP, ignoring that UDP is deprioritized by traffic-shaping networks.
- Your game must have the fastest net code, pretending that a game's design or player behavior makes no difference.

Izvor: Choosing TCP or UDP: a guide for game developers, Nakama, Heroic Labs Documentation, <https://heroiclabs.com/docs/nakama/concepts/tcp-vs-udp/> (Pristupljeno 15/11/2021)

Širok raspon literature, od priručnika za developere do znanstvenih radova ☺

# Razlike u svojstvima transportnih protokola TCP i UDP

## TCP

- spojno-orijentiran
  - pruža spojnu uslugu transporta struje okteta povrh nespojnog mrežnog protokola IP
  - uspostavlja logičku vezu između procesa na krajnjim računalima (logička veza definirana je parom vrata)
- pouzdan
  - osigurava pouzdan transport s kraja na kraj, s pomoću mehanizama potvrde i retransmisije, uz očuvani redoslijed struje okteta i uz upravljanje transportnom vezom
  - kontrola toka i kontrola zagušenja

## UDP

- nespojno orijentiran
  - pruža nespojnu uslugu transporta blokova okteta povrh IP-a
  - ne uspostavlja vezu prije slanja podataka procesi se povezuju preko broja vrata
- nepouzdan
  - ne potvrđuje primitak podataka
  - ne garantira isporuku podataka
  - ne otkriva gubitak paketa, niti radi retransmisiju izgubljenih paketa
  - ne garantira očuvanje redoslijeda
  - ne pruža kontrolu toka niti kontrolu zagušenja

## Osvrt na izbor TCP ili UDP u igrama

- Kako transportni sloj u Internet mreži utječe na maksimalnu brzinu kojom aplikacije mogu međusobno razmijenjivati podatke?
- Ako TCP pošiljatelj želi poslati veliku količinu podataka primatelju, o čemu sve ovisi brzina kojom će podaci biti preneseni?
  - ponovljeno slanje u slučaju gubitaka
  - kontrola toka
  - kontrola zagušenja
- A kod UDP-a?
  - aplikacije moraju same voditi računa o ispuštenim podacima i same moraju prilagođavati brzinu uvjetima u mreži

Koncepti umrežavanja

## **Povezivanje s IP-adresama u privatnom rasponu (primjena NAT-a)**

# TCP/IP model: mrežni sloj i protokoli

5 Aplikacijski sloj
4 Transportni sloj
3 Mrežni/internetski sloj
2 Sloj podatkovne poveznice
1 Fizički sloj

- Zadaća mrežnog sloja: ostvariti transfer datagrama s jednog kraja mreže na drugi, gdje su krajnje točke mrežna sučelja
- Internetski protokol (Internet Protocol, IP) i dodatni protokoli za usmjeravanje, kontrolu komunikacije i višeodredišnu komunikaciju
- Međusobno povezivanje mreža i podmreža (engl. *internetworking*)
- Internet je mreža s komutacijom paketa, u datagramskom načinu rada - svaki se paket usmjerava neovisno o ostalima

# IP-adresiranje

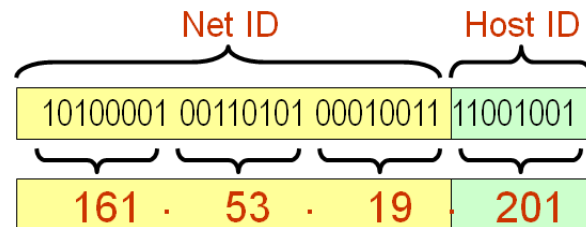
- IP-adresa - 32 bita (IPv4):
- identifikator koji globalno i jednoznačno određuje mrežno sučelje
  - krajnji sustav (npr. računalo priključeno na mrežu) obično ima jedno sučelje i jednu IP-adresu
  - mrežni čvor (npr. usmjeritelj) priključen na više (pod)mreža ima više sučelja i isto toliko IP-adresa
- način zapisa:
  - numerički zapis: binarni i dekadski

$\underbrace{10100001}_{161} \ . \ \underbrace{00110101}_{53} \ . \ \underbrace{00010011}_{19} \ . \ \underbrace{11001001}_{201}$

- simbolički zapis: prikladan za ljude, omogućuje lakše pamćenje (npr. [www.fer.unizg.hr](http://www.fer.unizg.hr))
- veza numeričke i simbolične adrese ostvaruje se putem sustava *Domain Name System* (DNS)

# Struktura IP-adrese

- IP-adresa ima dva dijela:
  - identifikator mreže (engl. *Network Identifier*, skr. *Net ID*)
    - određeni broj bitova koji identificira mrežu u kojoj se nalazi mrežno sučelje
    - primjenjuje se kod usmjeravanja u mreži
    - dodjeljuje se preko ICANN-a
  - identifikator krajnjeg sustava (engl. *Host Identifier*, skr. *Host ID*)
    - ostatak bitova u adresi, koji služe za identifikaciju mrežnog sučelja u mreži zadanoj s NetID-om
    - dodjeljuje lokalni administrator
    - može se dodatno podijeliti radi uvođenja podmreža (engl. *subnetting*)



## (Povijesne) klase i rasponi IP-adresa

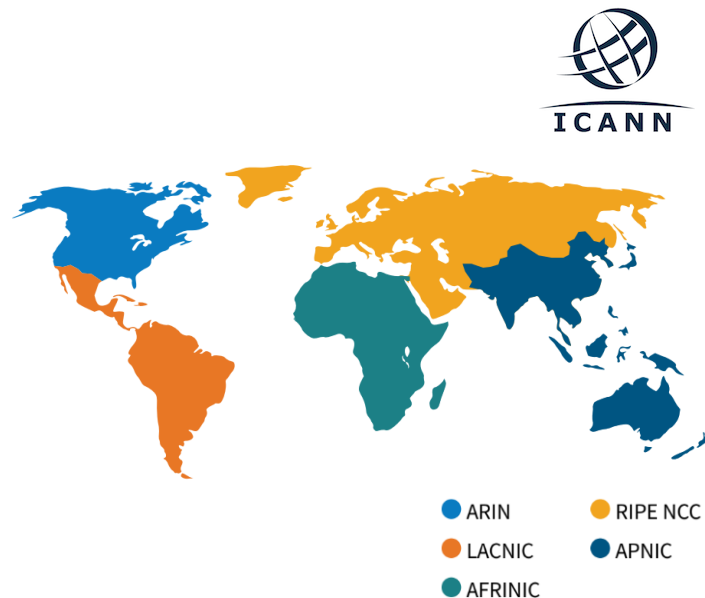
<b>Klasa:</b>	01	7 8	16	31	
<b>A</b>	0	NetID	HostID		0.0.0.0 – 127.255.255.255
<b>B</b>	10	NetID	HostID		128.0.0.0 – 191.255.255.255
<b>C</b>	110	NetID	HostID		192.0.0.0 – 223.255.255.255
<b>D</b>	1110	višeodredišna adresa			224.0.0.0 – 239.255.255.255
<b>E</b>	1111	rezervirano			240.0.0.0 – 247.255.255.255

- (sada) podjela između NetID i HostID može biti na bilo kojem mjestu unutar adrese - ne samo na granicama okteta kao kod klasa
- NetID se označava se *mrežnim prefiksom* iza adrese (npr. 195.24.0.0/13)
- usmjeravanje u Internetu temelji se na prefiksima, a ne klasama adresa - stoga i naziv CIDR (*Classless Inter-Domain Routing*)



# Dodjela i upravljanje IP-adresama

- ICANN (*Internet Corporation for Assigned Names and Numbers*)
  - upravljanje dodjelom blokova adresa i sustavom DNS na globalnoj razini
  - dodjela adresa se delegira regionalnim internetskim registrima (*Regional Internet Registry, RIR*):
    - APNIC, ARIN, LACNIC, **RIPE NCC (za Europu i Bliski istok)**, AFRINIC
  - RIR-ovi delegiraju odgovornost nacionalnim (NIR) i lokalnim (LIR) registrima
  - za vršnu domenu .hr nadležna je Hrvatska akademska i istraživačka mreža – CARNET (<https://domene.hr>)
  - u konačnici se blokovi adresa daju ISP-ovima, koji ih dodjeljuju korisnicima ili ISP-ovima niže razine



Izvor: The IANA Functions, ICANN, 2015.  
(<https://www.icann.org/en/system/files/files/iana-functions-18dec15-en.pdf>)

# Postavljanje IP-adrese

- statičko
  - IP-adresa se upiše u postavkama računala
  - obično se koristi za poslužitelje, usmjeritelje i uređaje koji (u pravilu) trebaju stalno imati istu adresu
  - dobro za male mreže, (pre)složeno i nepraktično za velike mreže
- dinamičko
  - IP-adresa i druge mrežne postavke dobivaju se od poslužitelja
  - pojednostavljuje dodjelu adresa u velikim mrežama (npr. mreža ISP-a)
  - obično se koristi za osobna računala, odn. uređaje koji ne moraju imati stalnu adresu
  - protokol DHCP (Dynamic Host Configuration Protocol)

# Vrste i namjena IP-adresa (1/2)

## Javni adresni prostor

- ◆ Za korištenje u javnom Internetu
- ◆ IP-adresa mora biti globalno jedinstvena – bilo koja dva uređaja spojena na (javni) Internet ne smiju imati istu IP-adresu
- ◆ Usmjeravanje mora biti moguće
- ◆ IANA, ICANN, RIPE...

IP Network Address Translator  
(NAT)

## Privatni adresni prostor

- ◆ Za korištenje u (privatnom) intranetu
- ◆ Organizacija upravlja s čitavim privatnim adresnim prostorom
- ◆ IP-adrese unutar privatne mreže moraju biti jedinstvene
- ◆ Blokovi adresnog prostora za privatne mreže je specificirala IANA: 10/8, 172.16/12, 192.168/16

## Adresni prostor IPv4

### Rezervirane i zadane adrese

- ◆ "ova" mreža 0.0.0.0/8
- ◆ "ovo" računalo na "ovoj" mreži 127.0.0.0/8 (virtualno mrežno sučelje, *loopback* adresa)
- ◆ Višeodredišno razasiłjanje (*multicast*)
- ◆ Opće razasiłjanje (*broadcast*) u lokalnoj mreži 255.255.255.255/32
- ◆ Blokovi rezervirani za IANA, neki se mogu dodjeljivati dalje, a neki ne

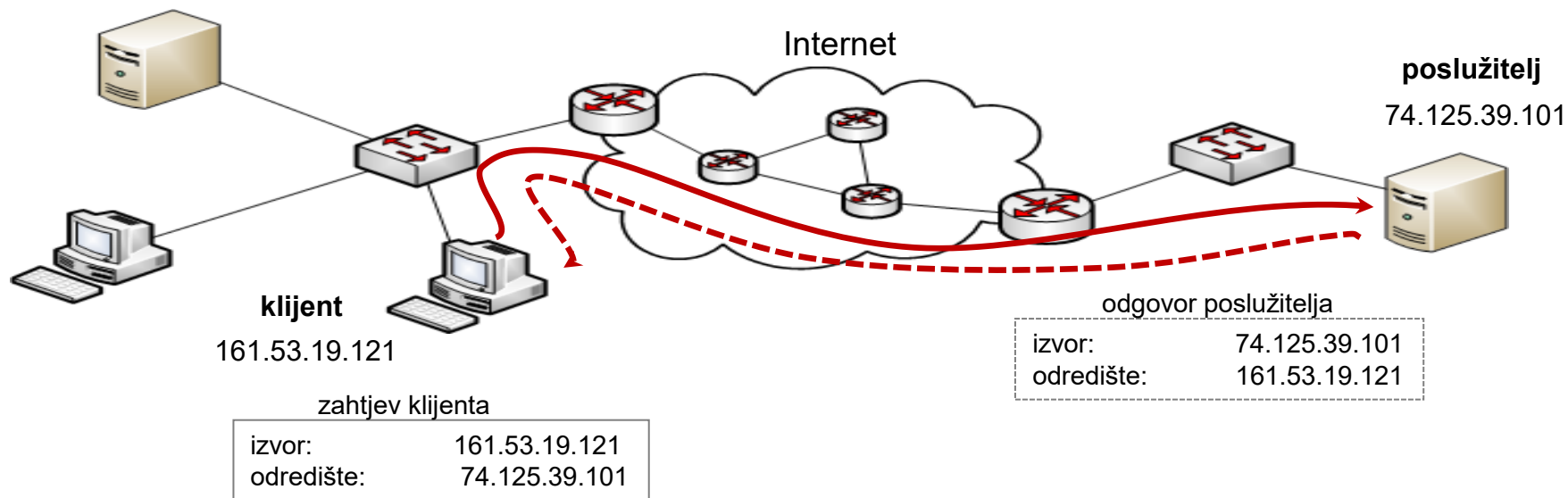
## Vrste i namjena IP-adresa (2/2)

- javne mreže:
  - svaka adresa mora biti globalno jedinstvena i "dohvatljiva" putem usmjeravanja
  - dodjela blokova adresa putem sustava delegiranja, od ICANN, RIR, LIR, NIR,... do ISP-ova, koji dodjeljuju adrese svojim korisnicima ili ISP-ovima niže razine
- privatne mreže:
  - ICANN definira samo raspone privatnih IP-adresa
  - organizacija – vlasnik mreže nadzire i upravlja adresnim prostorom
  - svaka adresa mora biti jedinstvena unutar privatne mreže
- preslikavanje privatnih adresa u javne i obrnuto – uređaj *Network Address Translator* (**NAT**)

## Usmjeravanje u Internetu, osnovna ideja

- Postupak usmjeravanja kreće od toga gdje se nalazi **odredišna** IP-adresa (u odnosu na izvorišnu) – dva su moguća slučaja:
  - slučaj 1: ako su izvorišni i odredišni čvor u istoj podmreži s dijeljenim medijem, tada komuniciraju izravno,
  - slučaj 2: ako su izvorišni i odredišni čvor u različitim (pod)mrežama, tada komuniciraju preko (jednog ili više) usmjeritelja.

# Usmjeravanje datagrama u Internetu (obje krajnje adrese javne)



Što ako je klijentu dodijeljena  
IP-adresa iz privatnog raspona?  
- Koristi se NAT!

# NAT – Network Address Translation (1)

- Prevođenje mrežnih adresa (engl. *Network Address Translation*)
  - izvorno uvedeno radi nedostatka IP-adresa u IPv4
  - adrese iz privatnog raspona nisu "dohvatljive" usmjeravanjem izvana, tj. bilo iz javnog Interneta, bilo iz neke druge privatne mreže - NAT se stoga koristi za "prevođenje" privatne adrese u javnu, i obratno
    - u pravilu, više računala iz privatne (lokalne) mreže komunicira prema javnom Internetu putem jedne ili nekoliko (javnih) IP-adresa
  - postoje razne izvedbe NAT-ova
    - statički NAT: preslikavanje tipa 1:1 privatne i javne adrese
    - dinamički NAT: dinamički pridružuje neku iz skupa (n) javnih adresa privatnoj adresi
    - NAT *overload*: više privatnih adresa pridružuje se jednoj zajedničkoj javnoj adresi, ali uz primjenu preslikavanja brojeva vrata - pojam PAT (*Port Address Translation*), koji mijenja i broj vrata (*port*)

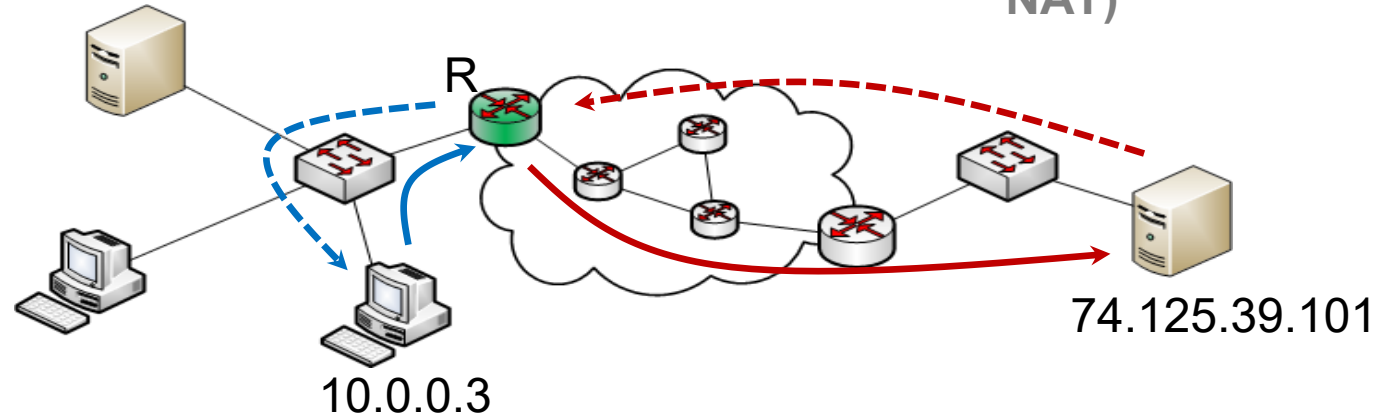
## NAT – Network Address Translation (2)

- Prednosti:
  - Ušteda adresnog prostora
  - Prilikom promjene ISP-a ne treba mijenjati adresni prostor privatne (lokalne) pod mreže
  - Povećana razina sigurnosti - primjena:
    - Odvajanje privatne mreže od Interneta, kada nema vatrozida (engl. *firewall*)
    - Privatne (unutarnje) IP-adrese *nisu objavljene* u Internetu: zaštita poslužitelja od napada s ciljem uskraćivanja usluge
- Nedostaci:
  - Povećano kašnjenje
  - Nemogućnost praćenja puta paketa s kraja na kraj
  - Ako aplikacijski protokol koristi IP-adrese, onda NAT mora "znati" kako promijeniti adresne podatke u aplikacijskom protokolu (npr., HTTP)



NAT-tablica		
Privatna adresa	Javna adresa	Odredišna adresa
10.0.0.3	161.53.19.121	74.125.39.101

Primjer: usmjeravanje datagrama (klijent s privatnom adresom + NAT)



izvor (SA) - 10.0.0.3  
 odredište (DA) - 74.125.39.101

→ NAT

izvor (SA) - 74.125.39.101  
 odredište (DA) - 10.0.0.3

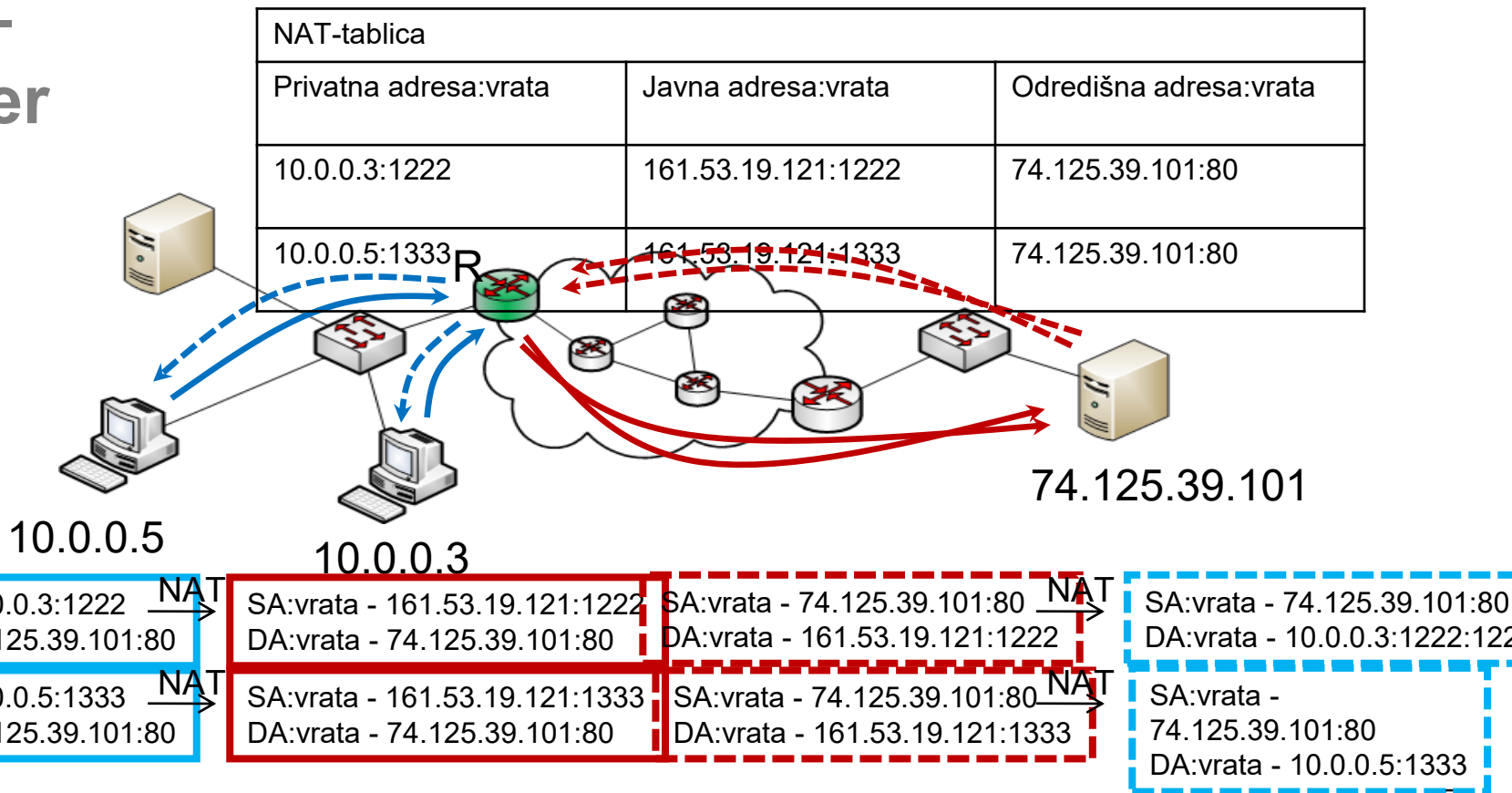
← NAT

izvor (SA) - 161.53.19.121  
 odredište (DA) - 74.125.39.101

izvor (SA) - 74.125.39.101  
 odredište (DA) - 161.53.19.121

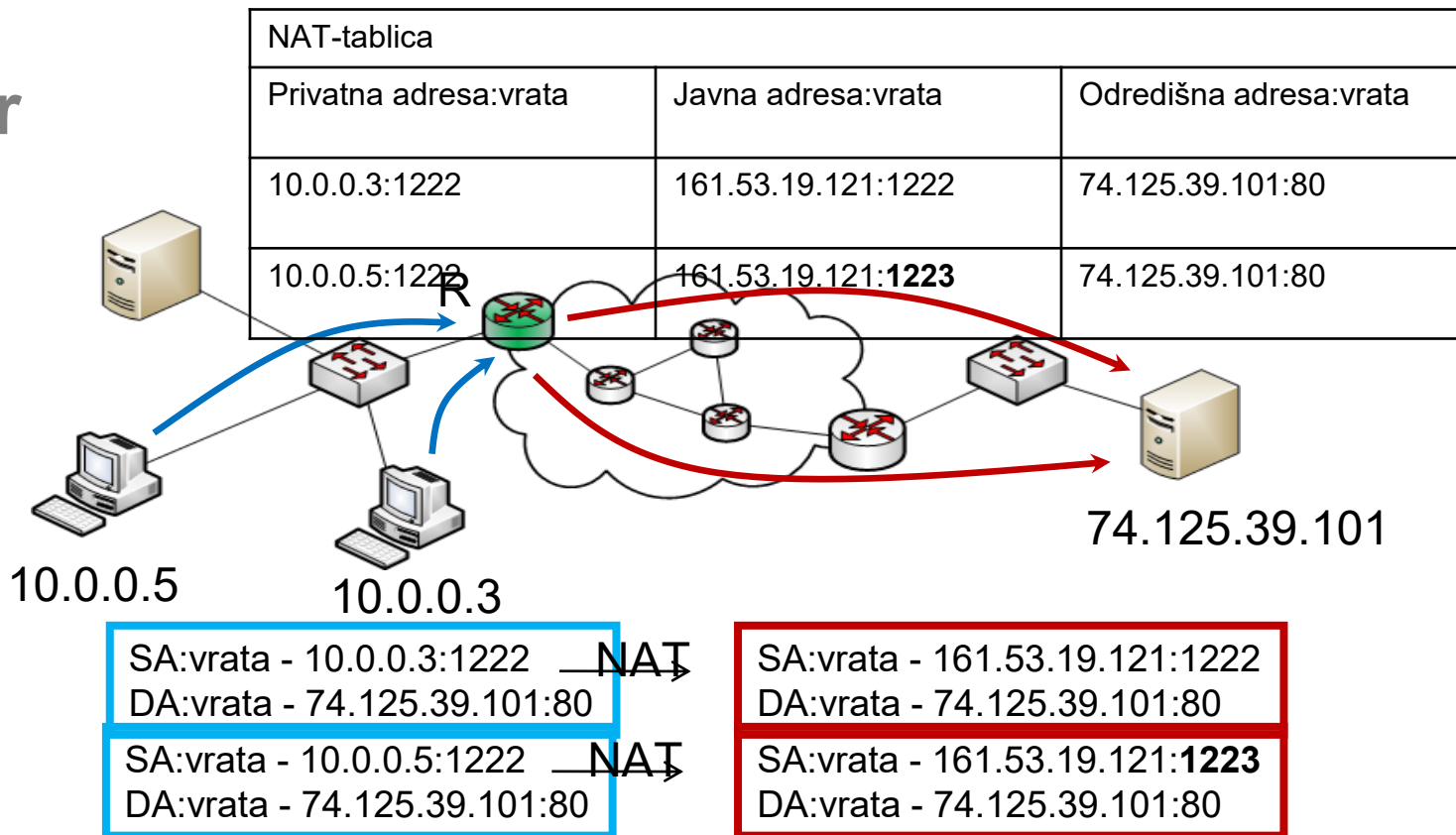
# PAT – primjer (1)

(dva klijenta s  
privatnim  
IP-adresama  
u istoj mreži, uz  
različite brojeve  
vrata)



# PAT – primjer (2)

(dva klijenta s  
privatnim  
IP-adresama  
u istoj mreži, uz  
isti slobodno  
odabran  
broj vrata)

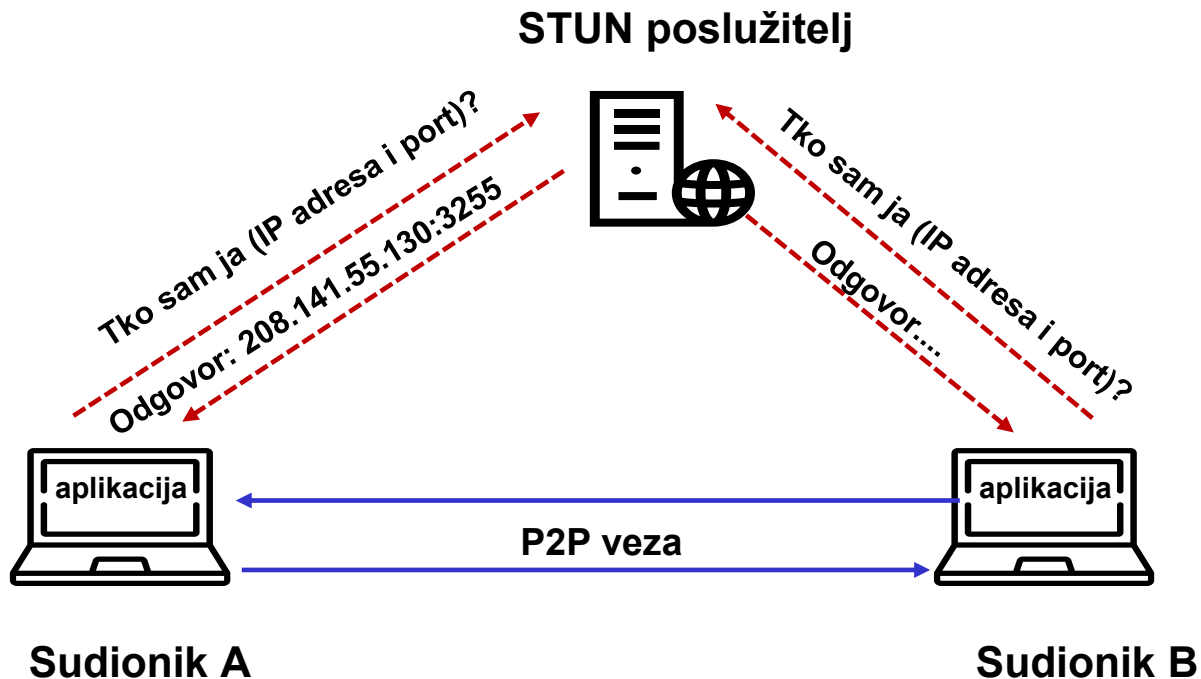


## Uspostava konekcije u slučaju vatrozida i NAT-a

- Sigurnosne postavke u pod mrežama otežavaju uspostavu P2P konekcija (npr. korištenje vatrozida, NAT-a)
- **Interactive Connectivity Establishment (ICE)**
  - protokol definiran od strane IETF-a (RFC 8445)
  - omogućuje UDP komunikaciju između računala koja su iza NAT-a
- ICE koristi sljedeće protokole:
  - Session Traversal Utilities for NAT (**STUN**)
  - Traversal Using Relays around NAT (**TURN**)

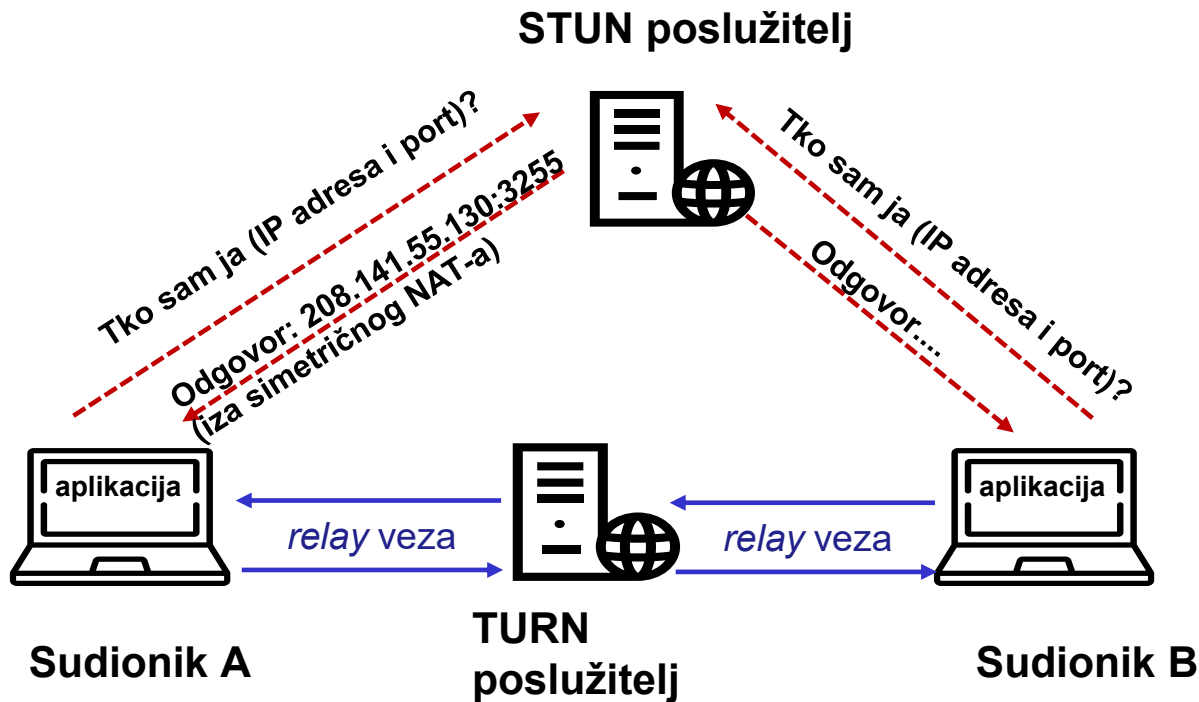
# Protokol STUN

*(dva klijenta s  
privatnim  
IP-adresama u  
različitim  
mrežama, svaki  
iza „svog“ NAT-a)*



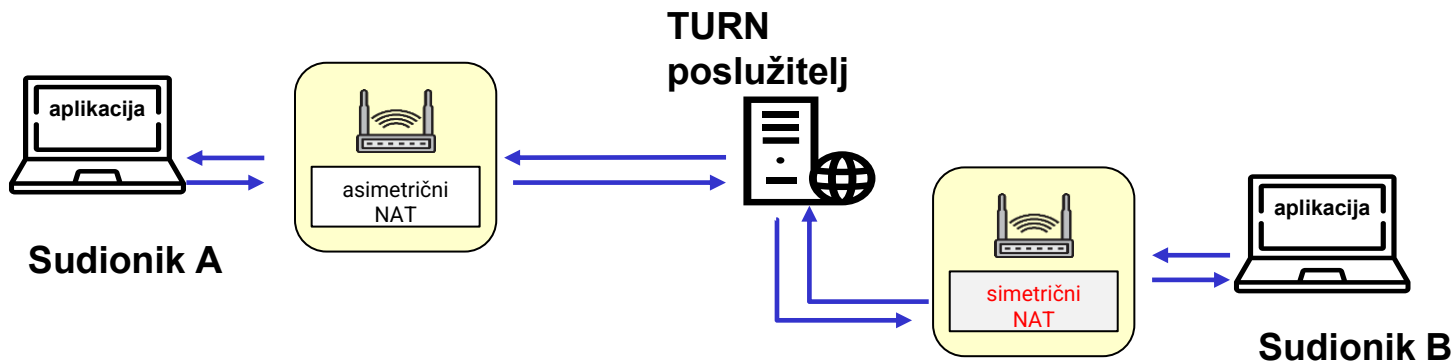
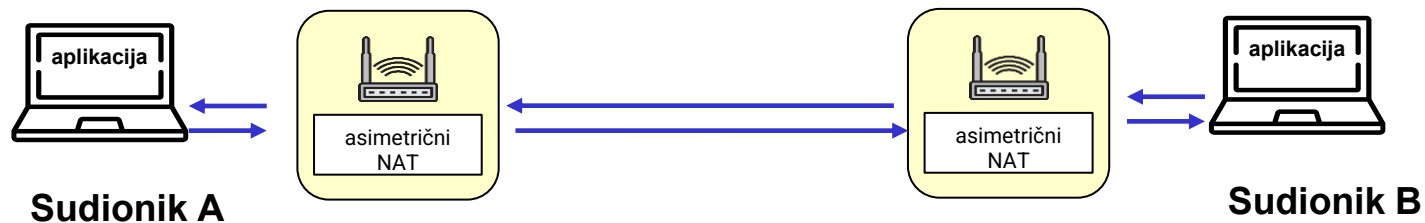
# Protokol STUN

(simetrični NAT –  
problem!)



**Problem sa  
simetričnim NAT-om:**  
svaki zahtjev s iste  
interne IP adrese i porta  
prema određenoj  
odredišnoj adresi i  
portu preslikavaju se na  
*jedinstvenu* vanjsku  
adresu i port (tj. isti  
izvor i različita  
odredišta imaju različita  
preslikavanja) –  
potrebno je drugo  
rješenje: **TURN  
poslužitelj**

## Direktna konekcija ili *relay*



## Literatura

- Jim Kurose, Keith Ross. [Computer Networking: A Top-Down Approach](#), 8th edition, Pearson, 2021
- Andrew Tanenbaum, Nick Feamster, David Wetherall. [Computer Networks](#), 6th Edition, Pearson, 2021

