SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
Fakultet elektrotehnike i računarstva

Diplomski studij
Računarstvo
Znanost o mrežama
Programsko inženjerstvo i informacijski sustavi
Računalno inženjerstvo
Ostali (slobodni izborni predmet)

Raspodijeljeni sustavi

2. Procesi i komunikacija: model klijent-poslužitelj

Ak. god. 2022./2023.

Creative Commons

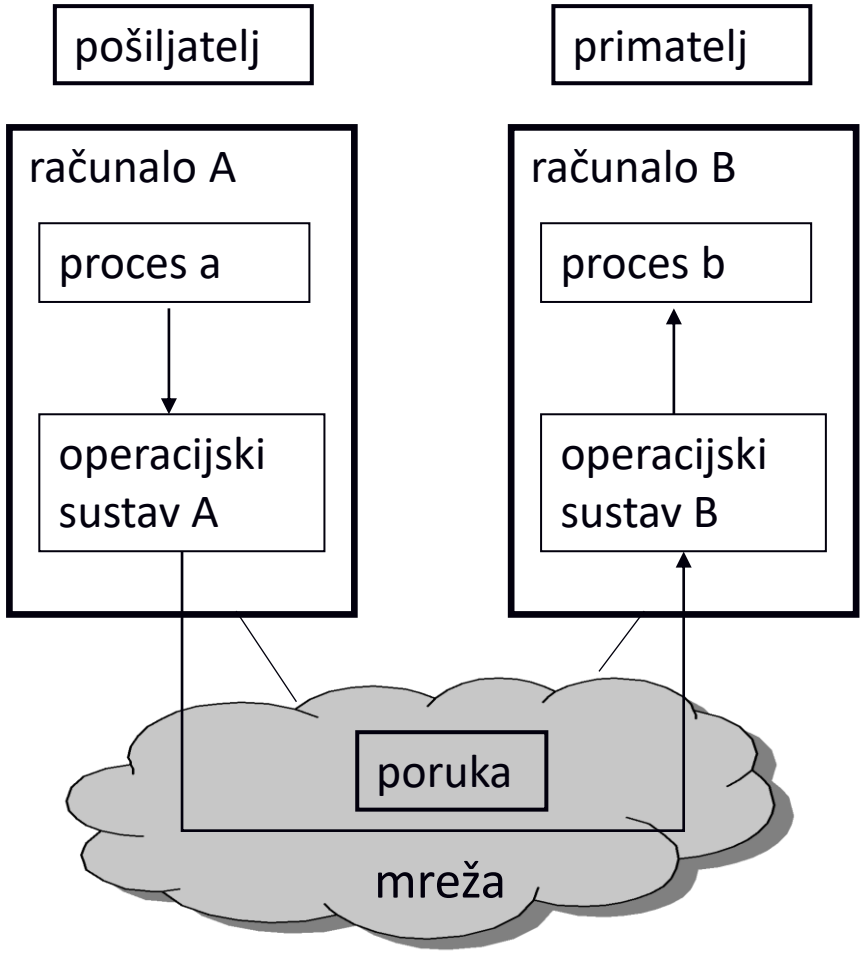
- slobodno smijete:
  - **dijeliti** — umnožavati, distribuirati i javnosti priopćavati djelo
  - **prerađivati** djelo
- pod sljedećim uvjetima:
  - **imenovanje:** morate priznati i označiti autorstvo djela na način kako je specificirao autor ili davatelj licence (ali ne način koji bi sugerirao da Vi ili Vaše korištenje njegova djela imate njegovu izravnu podršku).
  - **nekomercijalno:** ovo djelo ne smijete koristiti u komercijalne svrhe.
  - **dijeli pod istim uvjetima:** ako ovo djelo izmijenite, preoblikujete ili stvarate koristeći ga, preradu možete distribuirati samo pod licencom koja je ista ili slična ovoj.

U slučaju daljnjeg korištenja ili distribuiranja morate drugima jasno dati do znanja licencne uvjete ovog djela.
Od svakog od gornjih uvjeta moguće je odstupiti, ako dobijete dopuštenje nositelja autorskog prava.
Ništa u ovoj licenci ne narušava ili ograničava autorova moralna prava. *Tekst licence preuzet je s http://creativecommons.org/*

Sadržaj predavanja

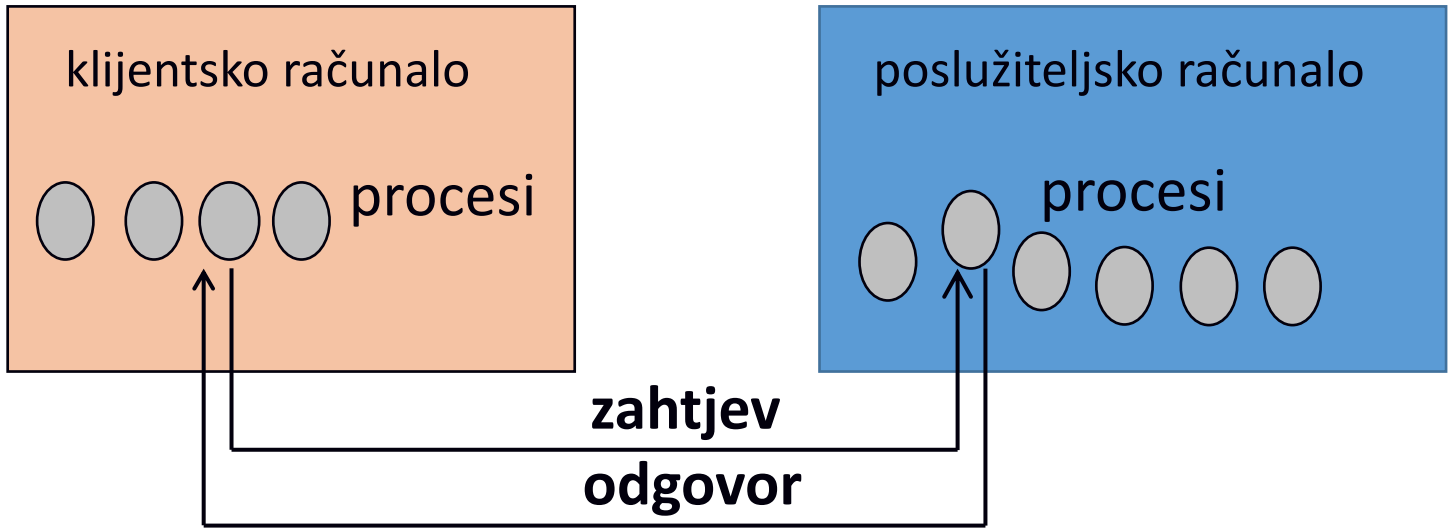
- Osnovni model komunikacije u raspodijeljenom okruženju
  - obilježja komunikacije
  - obilježja procesa
- Sloj raspodijeljenog sustava za komunikaciju među procesima
  - komunikacija korištenjem priključnica (Socket API)
    - primjeri TCP/UDP klijenta i poslužitelja
    - oblikovanje višedretvenog poslužitelja
  - poziv udaljene procedure (*Remote Procedure Call* - RPC) / poziv udaljene metode (*Remote Method Invocation* - RMI)
    - Java RMI
    - gRPC

Osnovni model komunikacije



- Procesi
  - izvode se na različitim računalima, autonomni su
- Komunikacija
  - prosljeđivanje poruka (engl. *message passing*), tj. razmjena poruka na mrežnom sloju
- Međuprocesna komunikacija
  - engl. *interprocess communication* (IPC)
  - potrebno je osigurati vremensku usklađenost procesa

Prisjetimo se modela klijent-poslužitelj



- KLIJENT
  - zahtjeva uslugu
  - šalje zahtjev poslužitelju i čeka odgovor
- POSLUŽITELJ
  - nudi usluge
  - prima i obrađuje dolazne zahtjeve te šalje odgovor klijentima

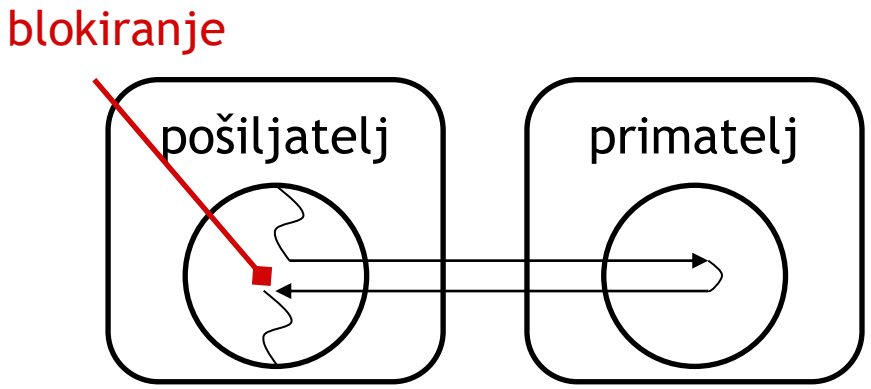
Obilježja komunikacije

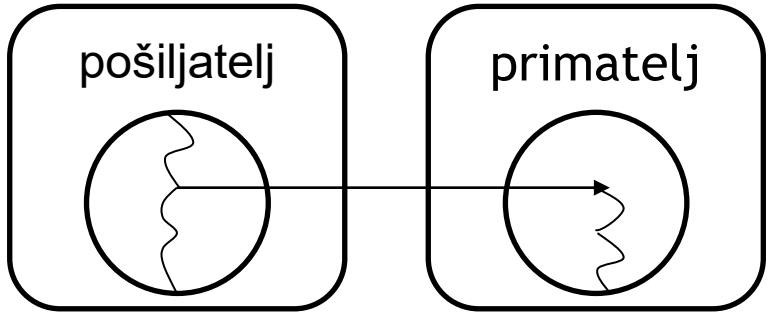
- konekcijska
  - procesi eksplicitno kreiraju konekciju prije razmjene podataka, postoje kontrolne poruke za uspostavu konekcije
- bezkonekcijska
  - sve poruke prenose podatke, nema kontrolnih poruka za uspostavu konekcije među procesima

- perzistentna komunikacija
  - garantira isporuku poruke, poruka se pohranjuje u sustavu i isporučuje primatelju kada je to moguće
- tranzijentna komunikacija
  - nepouzdana, garantira isporuku poruke samo ako su pošiljatelj i primatelj poruke istovremeno dostupni

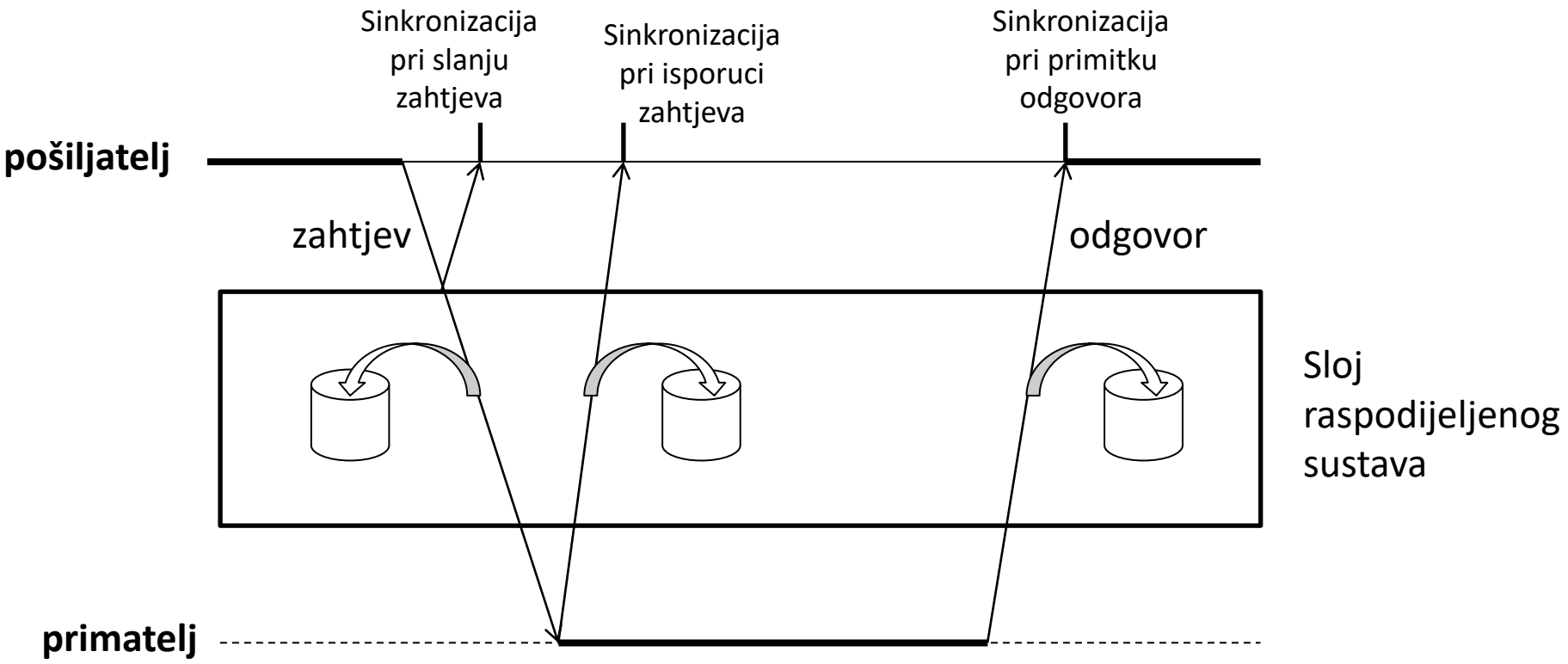
Obilježja komunikacije

- sinkrona komunikacija
  - blokira pošiljatelja do primitka potvrde od strane primatelja
- asinkrona komunikacija
  - omogućuje pošiljatelju nastavak obrade odmah nakon slanja poruke



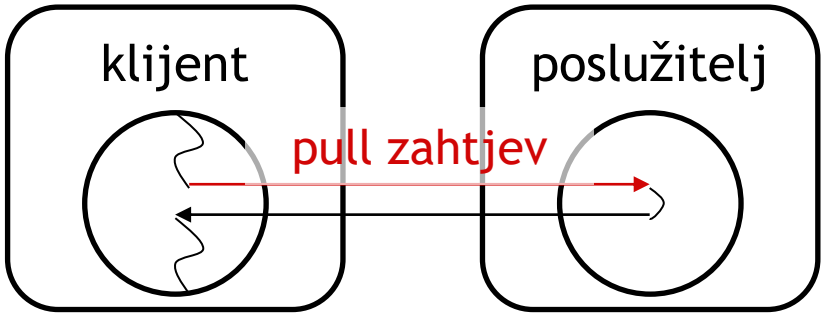


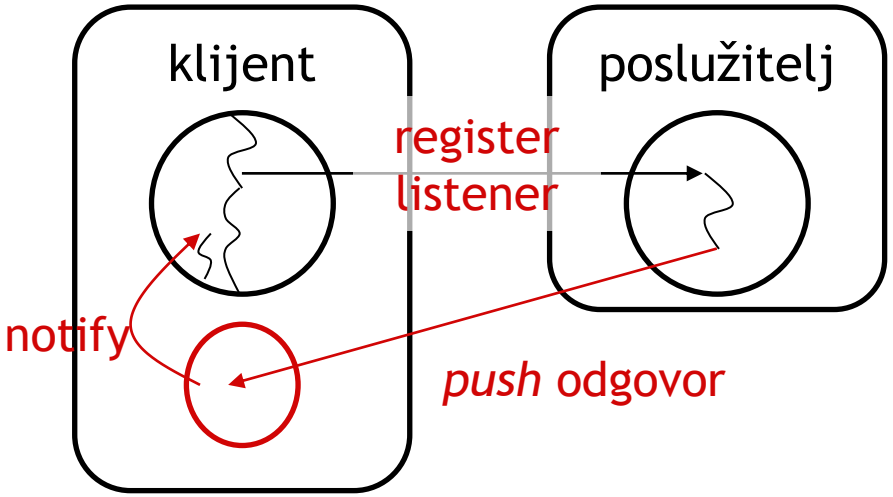
Točke sinkronizacije



Obilježja komunikacije

- komunikacija na načelu *pull* ili *push*
  - *pull* – "klasični" model zahtjev-odgovor
  - *push* – klijent registrira zahtjev i "sluša" odgovor, poslužitelj šalje odgovor nakon što završi obradu zahtjeva





Procesi

- Definira se kao program u izvođenju (prisjetimo se operacijskih sustava)
- Višedretvenost je važna za učinkovitu implementaciju raspodijelih procesa
  - omogućuje održavanje više logičkih konekcija s jednim procesom
  - višedretveni poslužitelj može paralelno obrađivati korisničke zahtjeve
  - višedretveni klijent može nastaviti s obradom dok čeka odgovor poslužitelja (primjer: Web preglednik)

Obilježja procesa

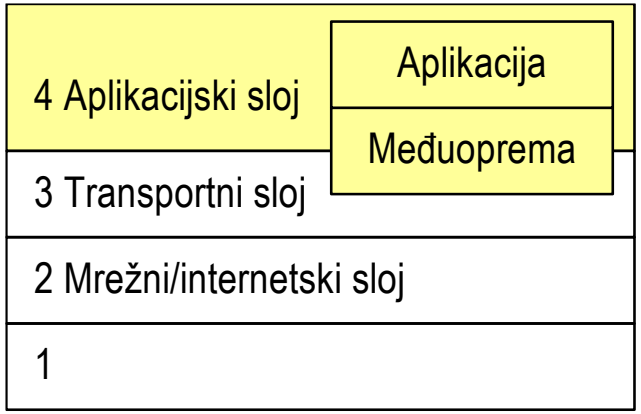
- vremenska (ne)ovisnost
  - vremenski ovisni procesi moraju biti istovremeno aktivni za realizaciju komunikacije
  - vremenski neovisni procesi mogu komunicirati i ako nisu istovremeno aktivni
- ovisnost o referenci “sugovornika”
  - proces je ovisan o referenci “sugovornika” ako mora znati jedinstveni identifikator (adresu) udaljenog procesa s kojim želi komunicirati
  - proces može biti i neovisan o referenci, tj. ne mora znati jedinstveni identifikator udaljenog procesa

Sadržaj predavanja

- Osnovni komunikacijski model
  - obilježja komunikacije
  - obilježja procesa
- Sloj raspodijeljenog sustava za komunikaciju među procesima
  - komunikacija korištenjem priključnica (Socket API)
    - primjeri TCP/UDP klijenta i poslužitelja
    - oblikovanje višedretvenog poslužitelja
  - poziv udaljene procedure (*Remote Procedure Call* - RPC) / poziv udaljene metode (*Remote Method Invocation* - RMI)
    - Java RMI
    - gRPC

Sloj raspodijeljenog sustava za komunikaciju među procesima

- vrsta programskog posredničkog sloja (međuopreme)
- implementira komunikacijske protokole za raspodijeljene procese na višem nivou apstrakcije od transportnog sloja
- omogućuje jednostavniji razvoj raspodijeljenih aplikacija, sakriva kompleksnost i heterogenost nižih slojeva



Sloj raspodijeljenog sustava za komunikaciju među procesima

- Postojeća rješenja za komunikaciju raspodijeljenih procesa
  1. komunikacija korištenjem priključnica (s*ocket API*)
  2. poziv udaljene procedure (*remote procedure call,* RPC)
  3. raspodijeljeni objekti - poziv udaljene metode (*remote method invocation,* RMI)
  4. komunikacija razmjenom poruka (*message-oriented interaction*)
  5. model objavi-pretplati (*publish/subscribe*)

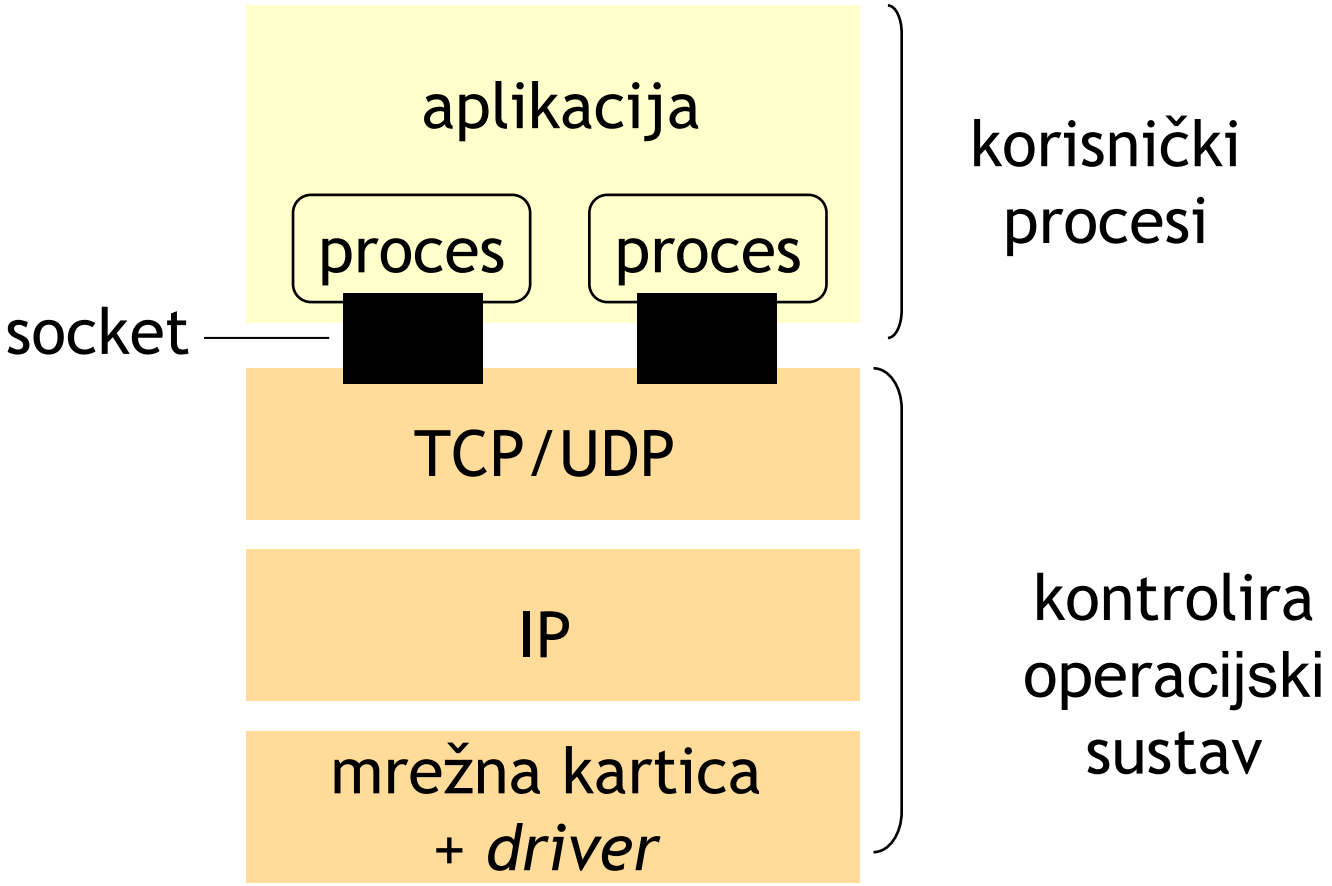
- U nastavku analiziramo prva 3 rješenja koja se temelje na modelu klijent-poslužitelj

Komunikacija korištenjem priključnica

Socket API

- koristi funkcionalnost transportnog sloja
  - TCP – konekcijski protokol, pouzdan prijenos podataka
  - UDP – prijenos nezavisnih paketa (*datagrami*), nepouzdan prijenos
- priključnica (engl. *socket*)
  - pristupna točka preko koje aplikacija šalje podatke u mrežu i iz koje čita primljene podatke
  - viši nivo apstrakcije nad komunikacijskom točkom koju operacijski sustav koristi za pristup transportnom sloju
  - veže se uz vrata (engl. *port*) koja jednoznačno određuju aplikaciju kojoj su poruke namijenjene

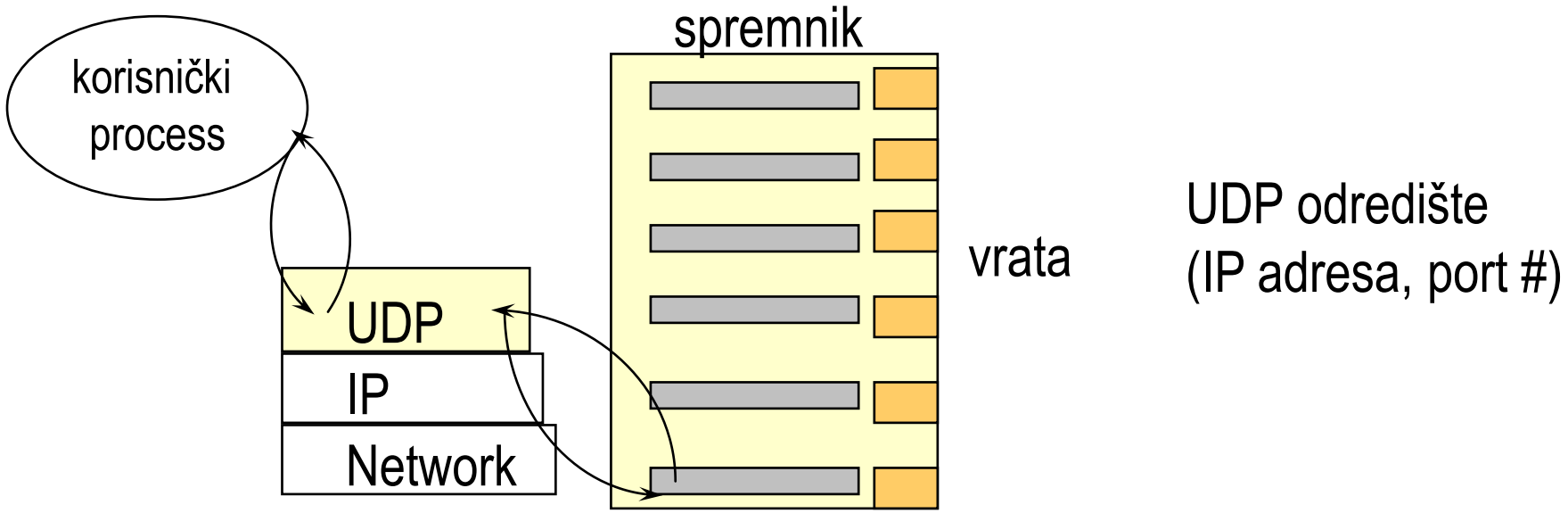
Komunikacija pomoću *socketa*



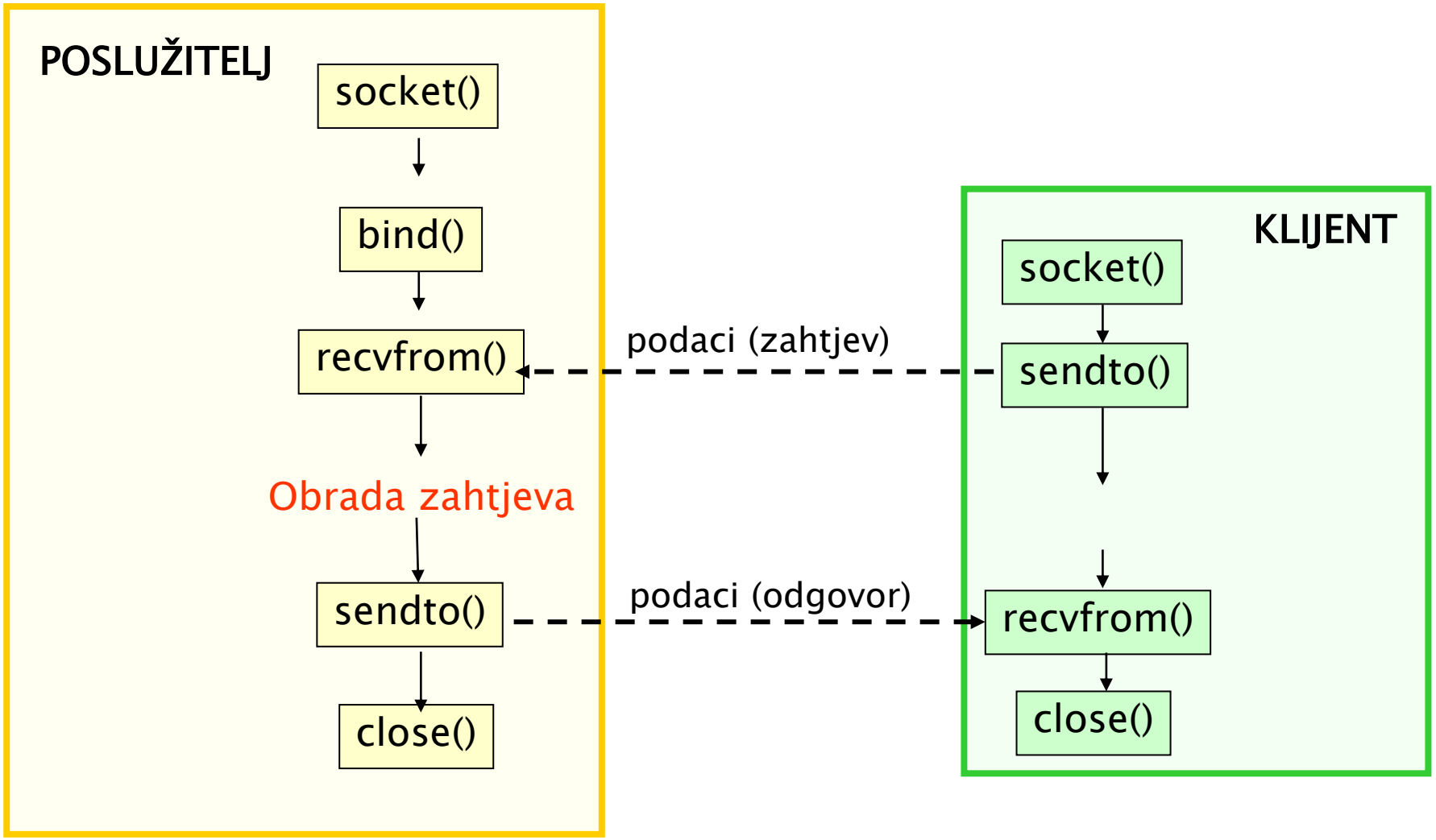
Transportni protokol UDP

User Datagram Protocol (UDP)

- komunikacija se odvija preko vrata (engl. *portova*) koje dodjeljuje operacijski sustav na strani klijenta, na strani poslužitelja se koriste "dobro poznata vrata"



Komunikacija pomoću *socketa* *UDP*



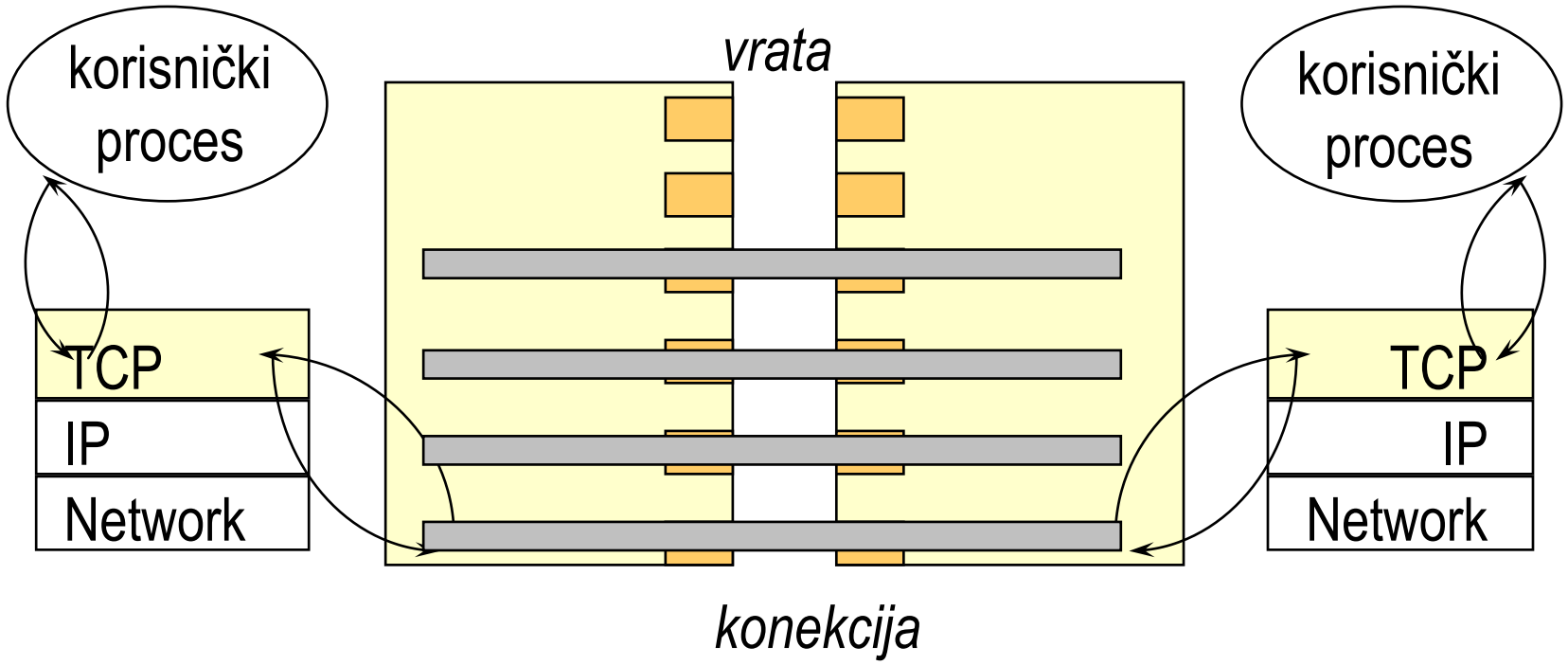
Obilježja *socketa* UDP

- model klijent-poslužitelj
- vremenska ovisnost procesa
  - poslužitelj mora biti aktivan za primanje datagrama
- klijent mora znati identifikator poslužitelja
- tranzijentna komunikacija
- asinkrona komunikacija
  - klijent šalje datagram i nastavlja obradu, nema blokiranja pošiljatelja
- nepouzdana komunikacija
- može se koristiti za implementaciju komunikacije na načelu *pull* i *push*

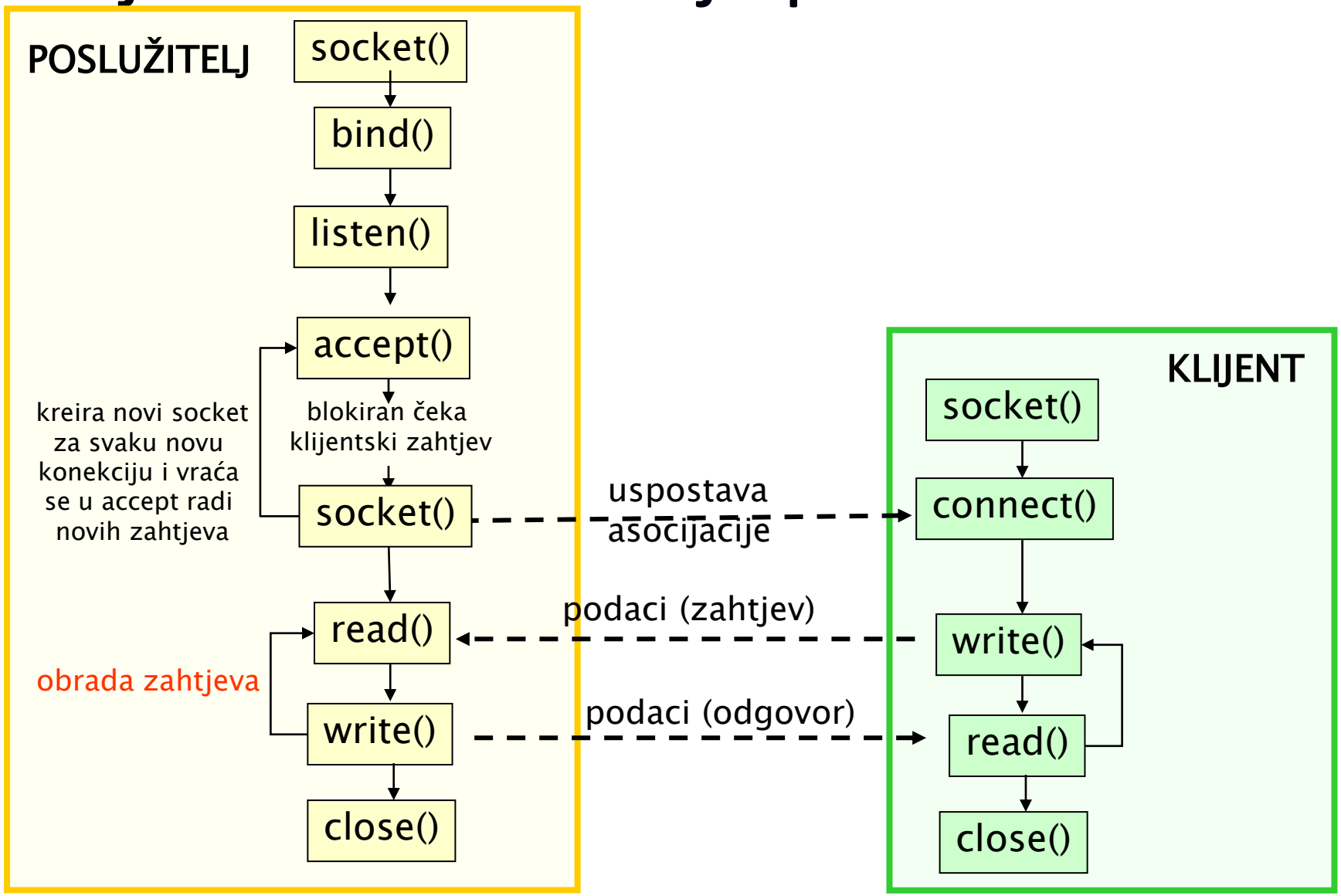
Transportni protocol TCP

Transmission Control Protocol (TCP)

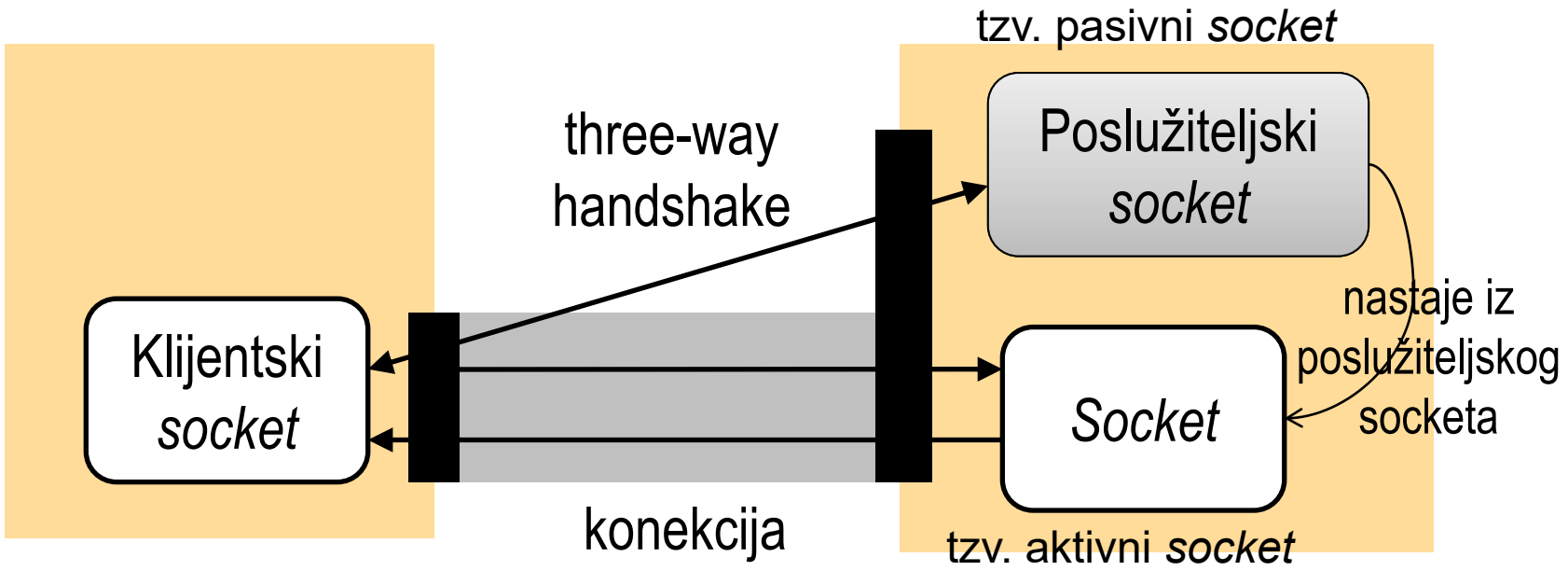
- konekcija između dvije krajnje točke koje se moraju dogovoriti o uspostavi konekcije



Konekcijska komunikacija pomoću *socketa* TCP



Konkurentni korisnički zahtjevi



- za svaki novi korisnički zahtjev kreira se novi *socket* (s dva *buffer*-a, *in* i *out*) koji se vežu uz konekciju <poslužiteljska IP adresa i broj vrata (broj vrata ostaje isti kao za poslužiteljski *socket*), klijentska IP adresa i broj vrata>
- originalni poslužiteljski *socket* mora konstantno biti u stanju "osluškivanja"

Obilježja *socketa* TCP

- model klijent-poslužitelj
- vremenska ovisnost
  - klijent i poslužitelj moraju biti istovremeno dostupni
- klijent mora znati identifikator poslužitelja
- tranzijentna komunikacija
- sinkrona komunikacija
  - klijent šalje zahtjev za kreiranje konekcije i proces je blokiran do uspostave konekcije
- pokretanje komunikacije na načelu *pull*

Sadržaj predavanja

- Osnovni komunikacijski model
  - obilježja komunikacije
  - obilježja procesa
- Sloj raspodijeljenog sustava za komunikaciju među procesima
  - komunikacija korištenjem priključnica (Socket API)
    - primjeri TCP/UDP klijenta i poslužitelja
    - oblikovanje višedretvenog poslužitelja
  - poziv udaljene procedure (*Remote Procedure Call* - RPC) / poziv udaljene metode (*Remote Method Invocation* - RMI)
    - Java RMI
    - gRPC

UDP: implementacija poslužitelja

1. Kreirati socket poslužitelja:

```
DatagramSocket serverSocket;
serverSocket = new DatagramSocket( PORT );
```

2. Kreirati paket (prazan, priprema za primanje):

```
byte[] rcvBuf = new byte[256];
DatagramPacket packet =
     new DatagramPacket(rcvBuf, rcvBuf.length);
```

3. Čekati korisnički paket (blokira proces do klijentskog zahtjeva!):

```
serverSocket.receive( packet );
```

4. Obrada pristiglog paketa i po potrebi odgovor klijentu
5. Zatvoriti socket (gasi poslužitelja!):

```
serverSocket.close();
```

UDP: implementacija klijenta

1. Kreirati socket:

```
DatagramSocket clientSocket;
clientSocket = new DatagramSocket();
```

2. Kreirati paket i napuniti ga podacima:

```
byte[] sendBuf = new byte[256];
DatagramPacket packet =
    new DatagramPacket(sendBuf, sendBuf.length, destAddress,
destPort);
```

3. Slanje paketa:

```
clientSocket.send( packet );
```

4. Po potrebi obrada i čekanje odgovora
5. Zatvoriti socket:

```
clientSocket.close();
```

TCP: implementacija poslužitelja

1. Kreirati socket poslužitelja:

```
ServerSocket serverSocket;
serverSocket = new ServerSocket( PORT );
```

2. Čekati korisnički zahtjev (blokira proces do klijentskog zahtjeva!!!) i kreirati kopiju originalnog socketa:

```
Socket copySocket = serverSocket.accept();
```

3. Kreirati I/O stream za komunikaciju s klijentom

```
DataInputStream is = new DataInputStream( copySocket.getInputStream() );
DataOutputStream os = new DataOutputStream(
     copySocket.getOutputStream() );
```

4. Komunikacija s klijentom
5. Zatvoriti kopiju socketa:

```
copySocket.close();
```

6. Zatvoriti poslužiteljski socket:

```
serverSocket.close();
```

TCP: implementacija klijenta

1. Kreirati klijentski socket:

```
clientSocket = new Socket( address, port );
```

2. Kreirati I/O stream za komunikaciju s poslužiteljem:

```
is = new DataInputStream( clientSocket.getInputStream() );
os = new DataOutputStream( clientSocket.getOutputStream() );
```

3. Komunikacija s poslužiteljem:
   - `//Receive data from server:`

     ```
     String line = is.readLine();
     ```
   - `//Send data to server:`

     ```
     os.writeBytes("Hello\n");
     ```

4. Zatvoriti socket:

```
clientSocket.close();
```

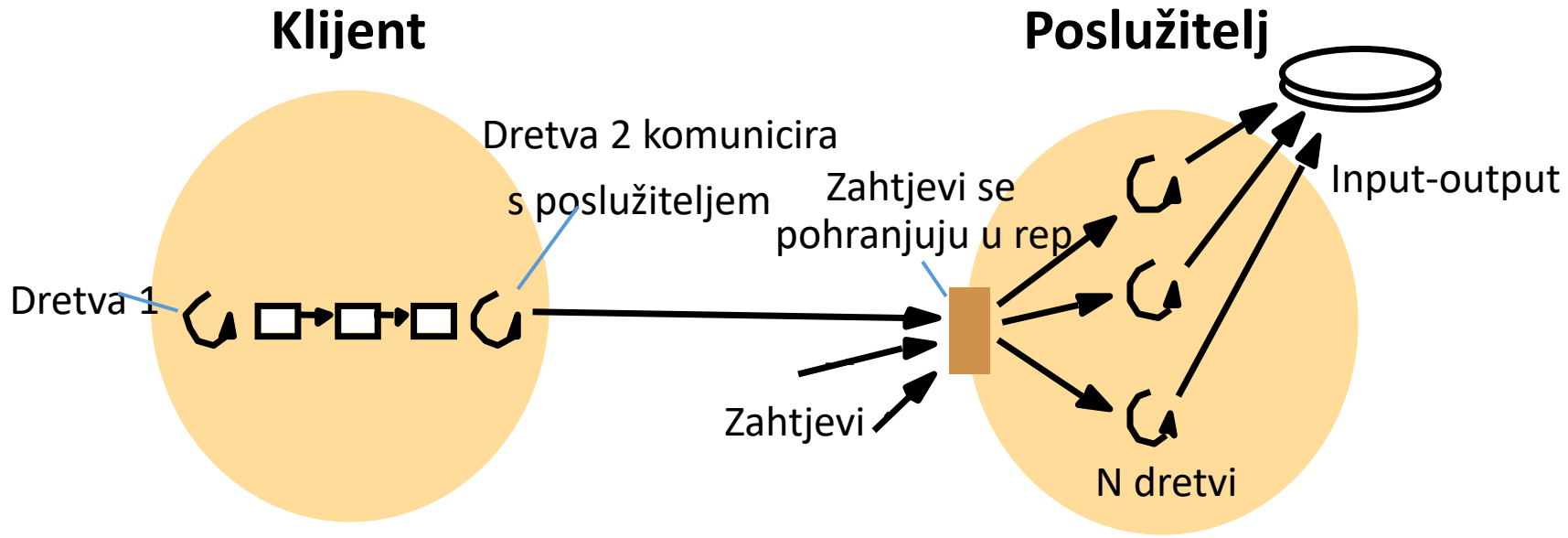
Paket `java.net`

- **API specification**
  https://docs.oracle.com/javase/8/docs/api/java/net/package-summary.html
- Osnovne klase
  - Socket, ServerSocket, URL, URLConnection, (koriste TCP)
  - DatagramPacket, DatagramSocket, MulticastSocket (koriste UDP)
- Java Networking Tutorial
  http://docs.oracle.com/javase/tutorial/networking/

Sadržaj predavanja

- Osnovni komunikacijski model
  - obilježja komunikacije
  - obilježja procesa
- Sloj raspodijeljenog sustava za komunikaciju među procesima
  - komunikacija korištenjem priključnica (Socket API)
    - primjeri TCP/UDP klijenta i poslužitelja
    - oblikovanje višedretvenog poslužitelja
  - poziv udaljene procedure (*Remote Procedure Call* - RPC) / poziv udaljene metode (*Remote Method Invocation* - RMI)
    - Java RMI
    - gRPC

Višedretveni poslužitelj i klijenti



Uobičajene zadaće na strani klijenta:

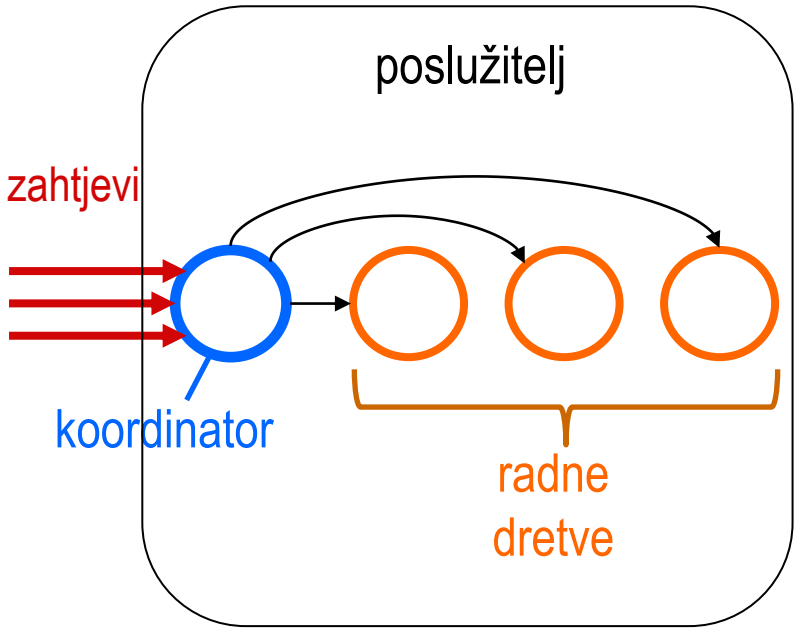
- korisničko sučelje,
- otvaranje mrežne konekcije i primanje podataka

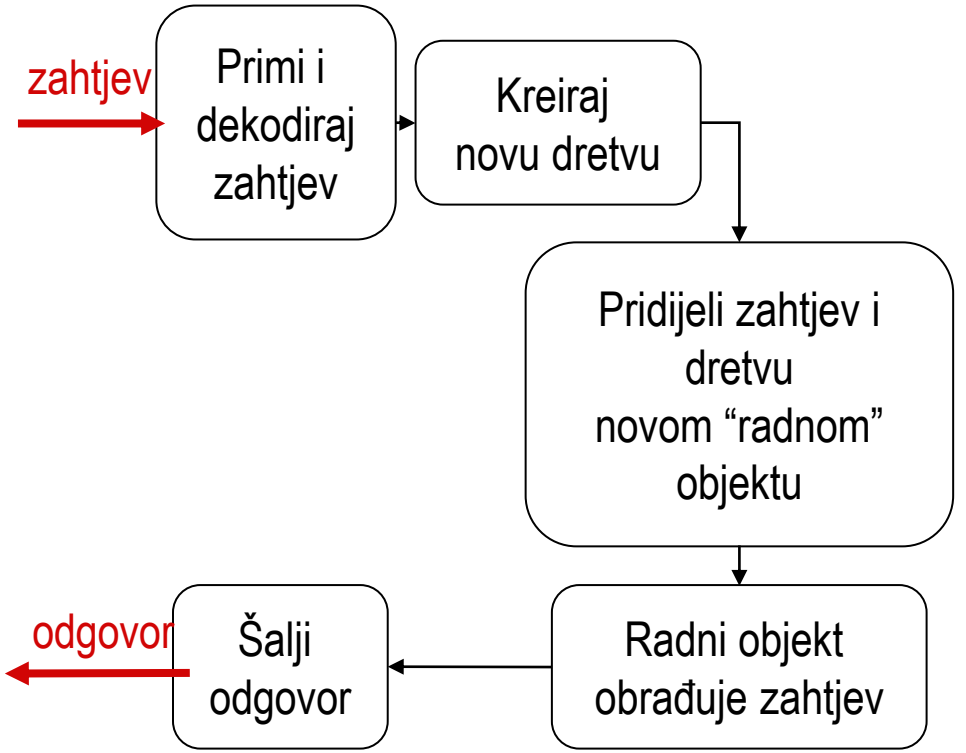
Uobičajene zadaće na strani poslužitelja:

- primanje konkurentnih klijentskih zahtjeva
- složena obrada podataka
- rad s diskom/bazom podataka

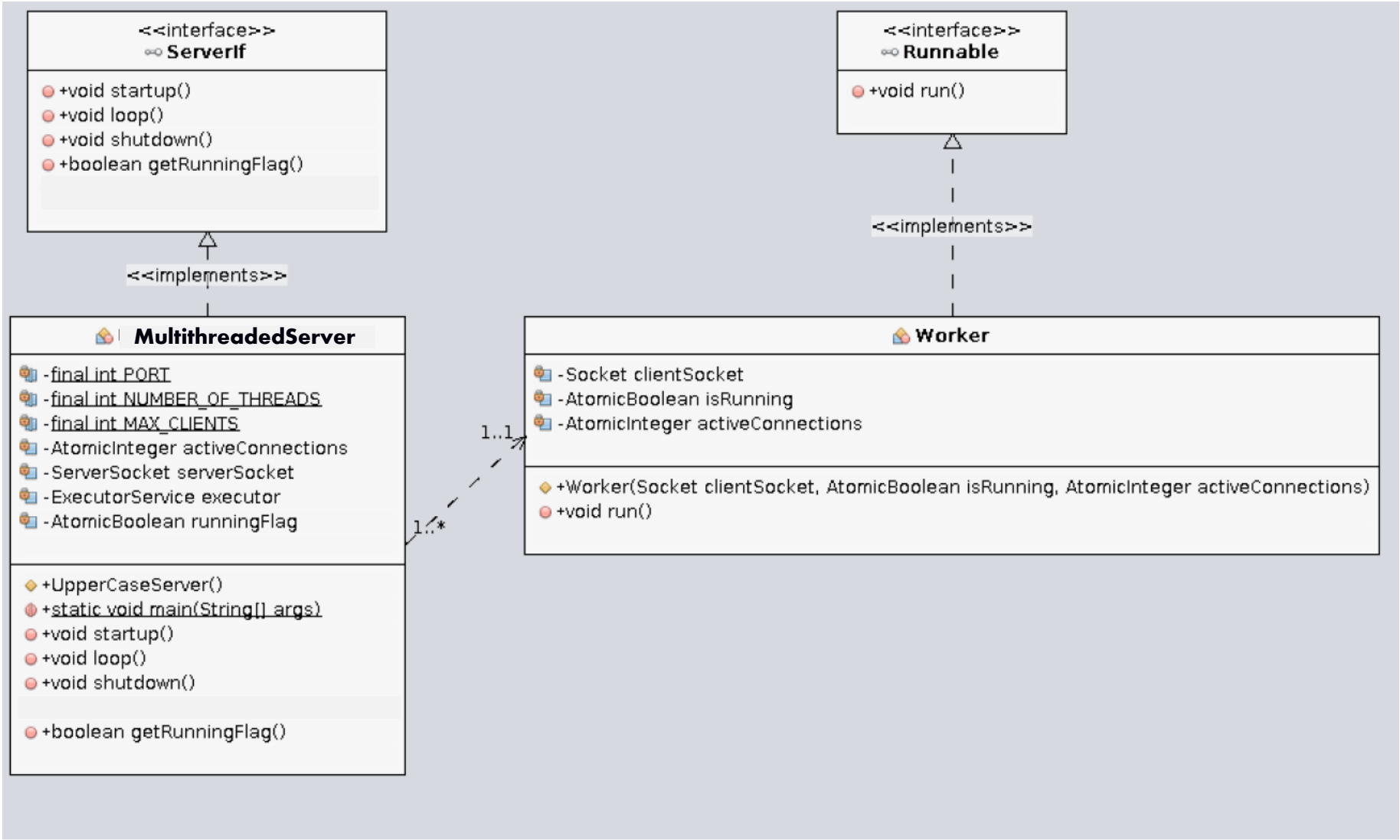
Višedretveni poslužitelj

Model koordinator/radna dretva (*dispatcher/worker model*)





Primjer višedretvenog poslužitelja



Sučelje višedretvenog poslužitelja

```
public interface ServerIf {
  // Server startup. Starts all services offered by the server.
  public void startup();

  // Server loops when in running mode. The server must be active
  // to accept client requests.
  public void loop();

  // Server shutdown. Shuts down all services started during
  //startup.
  public void shutdown();

  // Gets the running flag that indicates server running status.
  // @return running flag
  public boolean getRunningFlag();
}
```

Poslužitelj (1)

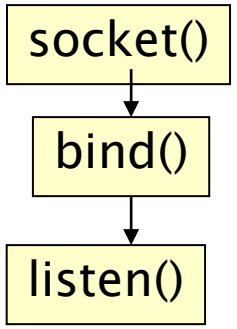
```
public class MultithreadedServer implements ServerIf {

   private static final int PORT = 10002; // server port
   private static final int NUMBER_OF_THREADS = 4;
   //Max queue length for incoming connection requests.
   private static final int BACKLOG = 10;

   private final AtomicInteger activeConnections;
   private ServerSocket serverSocket;
   private final ExecutorService executor;
   private final AtomicBoolean runningFlag;

...
```

Poslužitelj (2)

```
...
    public MultithreadedServer () {
         activeConnections = new AtomicInteger(0);
         executor = Executors.newFixedThreadPool(NUMBER_OF_THREADS);
         runningFlag = new AtomicBoolean(false);
    }
    public static void main(String[] args) {
         ServerIF server = new MultithreadedServer ();
         //start all required services
         server.startup();
         // run the main loop to accept client requests
         server.loop()
         //initiate shutdown when such request is received
         server.shutdown();
    }
...
```

Poslužitelj (3)

```
//Starts all required server services.
@Override
public void startup() {
  // create a server socket, bind it to the specified port
  // on the local host and set the backlog for
  // client requests
    try {
      this.serverSocket = new ServerSocket(PORT, BACKLOG);
      // set timeout to avoid blocking
      serverSocket.setSoTimeout(500);
      runningFlag.set(true);
      System.out.println("Server is ready!");
    } catch (SocketException e1) {
              System.err.println("Exception caught when setting server socket timeout: " +
    e1);
    } catch (IOException ex) {
              System.err.println("Exception caught when opening or setting the server
    socket: " + ex);
    }
}...
```



Poslužitelj (4)

```
// The main loop for accepting client requests.
@Override
public void loop() {
  while(runningFlag.get()) {
        try{// create a new socket, accept and listen for a connection made to this socket
        Socket clientSocket = serverSocket.accept();
        // execute a tcp request handler in a new thread
        Runnable worker = new Worker(clientSocket, runningFlag, activeConnections);
        executor.execute(worker);
        activeConnections.getAndIncrement());
  } catch(SocketTimeoutException ste) {
  // do nothing, check runningFlag
  } catch(IOExceptionex) {
        System.err.println("Exception caught when waiting for a connection: " + ex);
  }
 }
}
```

accept()

Poslužitelj (5)

```
@Override
public void shutdown() {
        while( activeConnections.get() > 0 ) {
          System.out.println( "WARNING: There are still active
                connections" );
         try { Thread.sleep( 5000 );
         } catch( java.lang.InterruptedException e ){}
        }
        if( activeConnections.get() == 0 ) {
          System.out.println( "Starting server shutdown." );
          try { serverSocket.close();
          } catch (IOException e) {
            System.err.println("Exception caught when closing the server socket: " + e);
          } finally {  executor.shutdown();
          }
          System.out.println("Server has been shutdown.");
        }
```

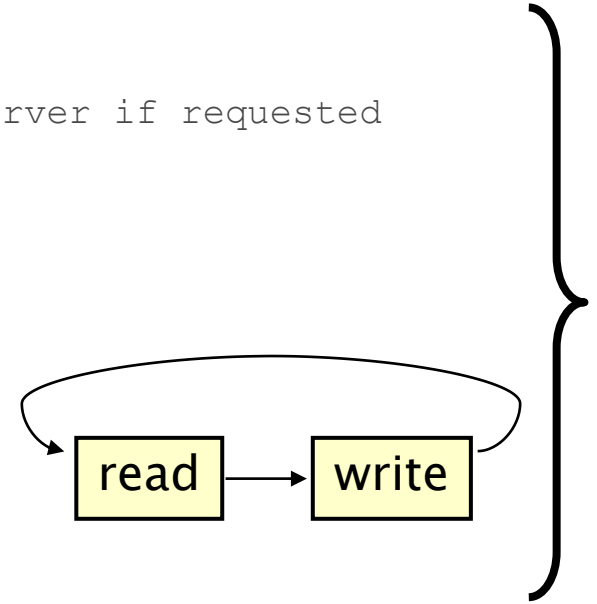
close()

Worker (1)

```
public class Worker implements Runnable {
  private final Socket clientSocket;
  private final AtomicBoolean isRunning;
  private final AtomicInteger activeConnections;
  public Worker(Socket clientSocket, AtomicBoolean isRunning, AtomicInteger activeConnections)
  {
        this.clientSocket = clientSocket;
        this.isRunning = isRunning;
        this.activeConnections = activeConnections;
  }
  @Override
  public void run() {
        try (//create a new BufferedReader from an existing InputStream
          BufferedReader inFromClient = new BufferedReader(new
                                InputStreamReader(clientSocket.getInputStream()));
        //create a PrintWriter from an existing OutputStream
          PrintWriter outToClient = new PrintWriter(new
                                OutputStreamWriter(clientSocket.getOutputStream()), true);)
  }
```

Worker (2)

```
  String receivedString;
  // read a few lines of text
  while ((receivedString=inFromClient.readLine()) != null {
        System.out.println("Server received:"+receivedString);
        if (receivedString.contains("shutdown")) {//shutdown the server if requested
          outToClient.println("Initiating server shutdown!");
          isRunning.set(false);
          activeConnections.getAndDecrement());
          return;
        }
        String stringToSend = receivedString.toUpperCase();
        // send a String then terminate the line and flush
        outToClient.println(stringToSend);
        System.out.println("Server sent: " + stringToSend);
  }
  activeConnections.getAndDecrement());
} catch (IOException ex){
        System.err.println("Exception caught when trying to read or send data: " + ex);
}...
```

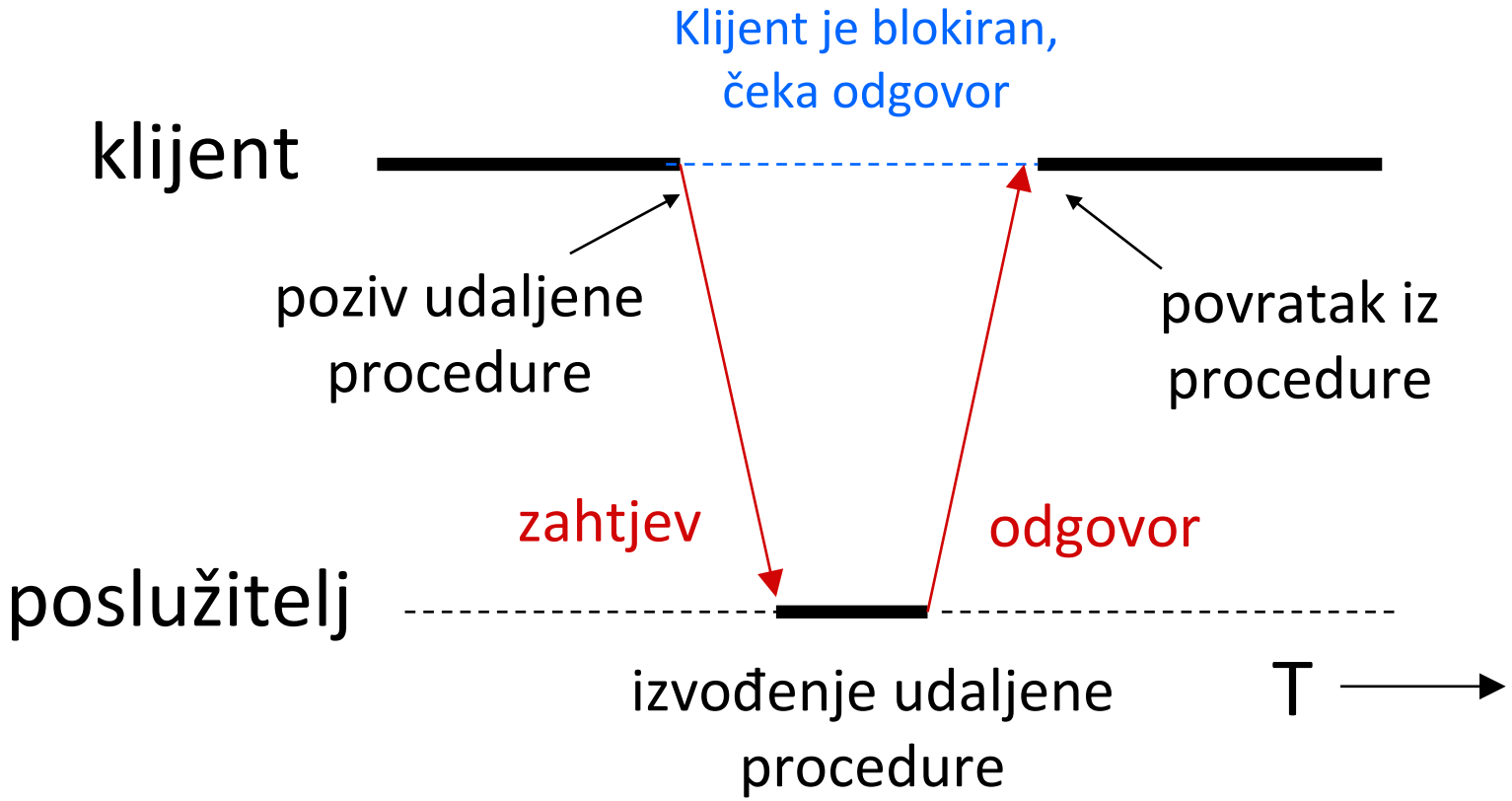


Sadržaj predavanja

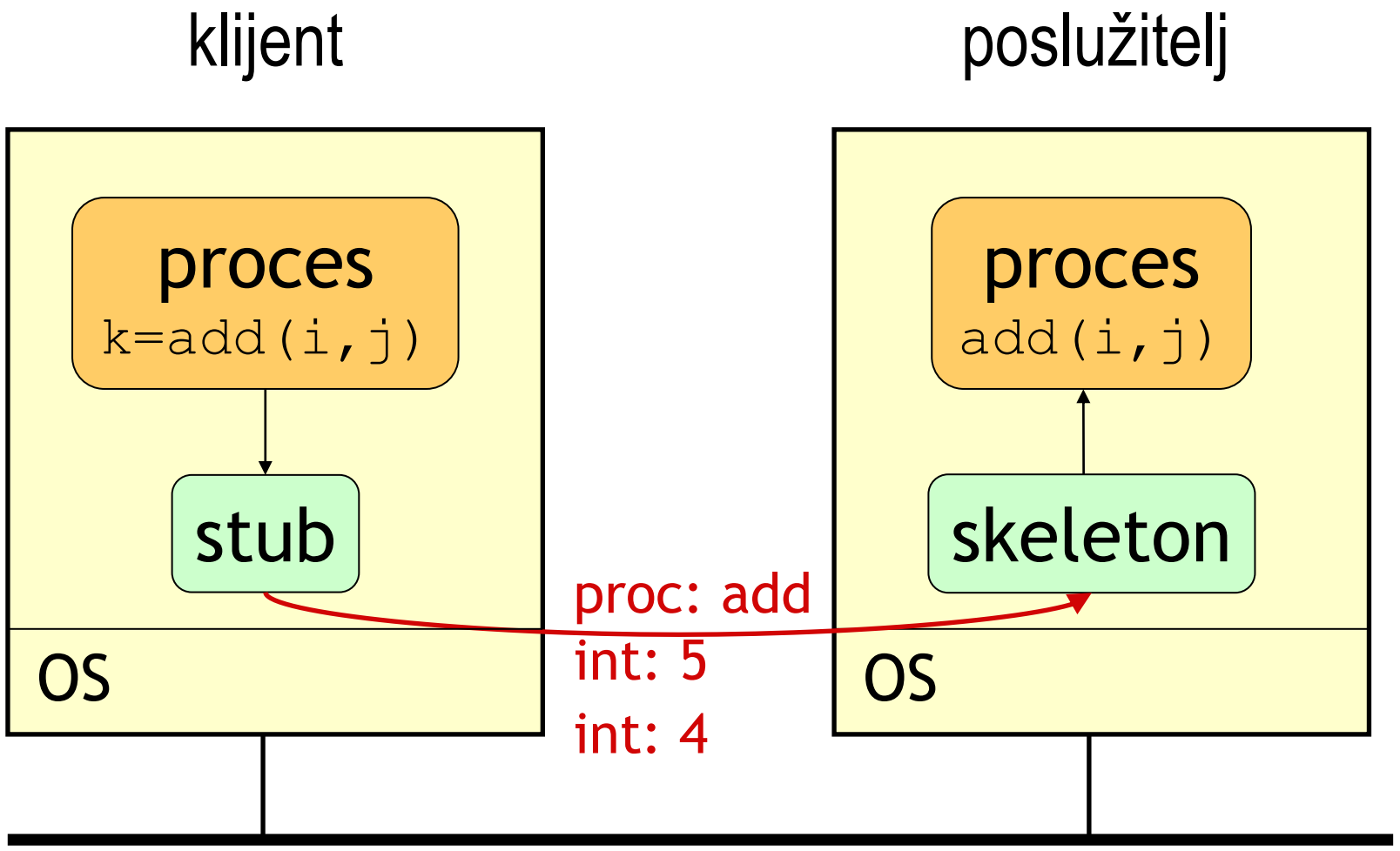
- Osnovni komunikacijski model
  - obilježja komunikacije
  - obilježja procesa
- Sloj raspodijeljenog sustava za komunikaciju među procesima
  - komunikacija korištenjem priključnica (Socket API)
    - primjeri TCP/UDP klijenta i poslužitelja
    - oblikovanje višedretvenog poslužitelja
  - poziv udaljene procedure (*Remote Procedure Call* - RPC) / poziv udaljene metode (Remote Method Invocation - RMI)
    - Java RMI
    - gRPC

Poziv udaljene procedure (RPC)

- Omogućuje procesima pozivanje i izvođenje procedura na udaljenom računalu.



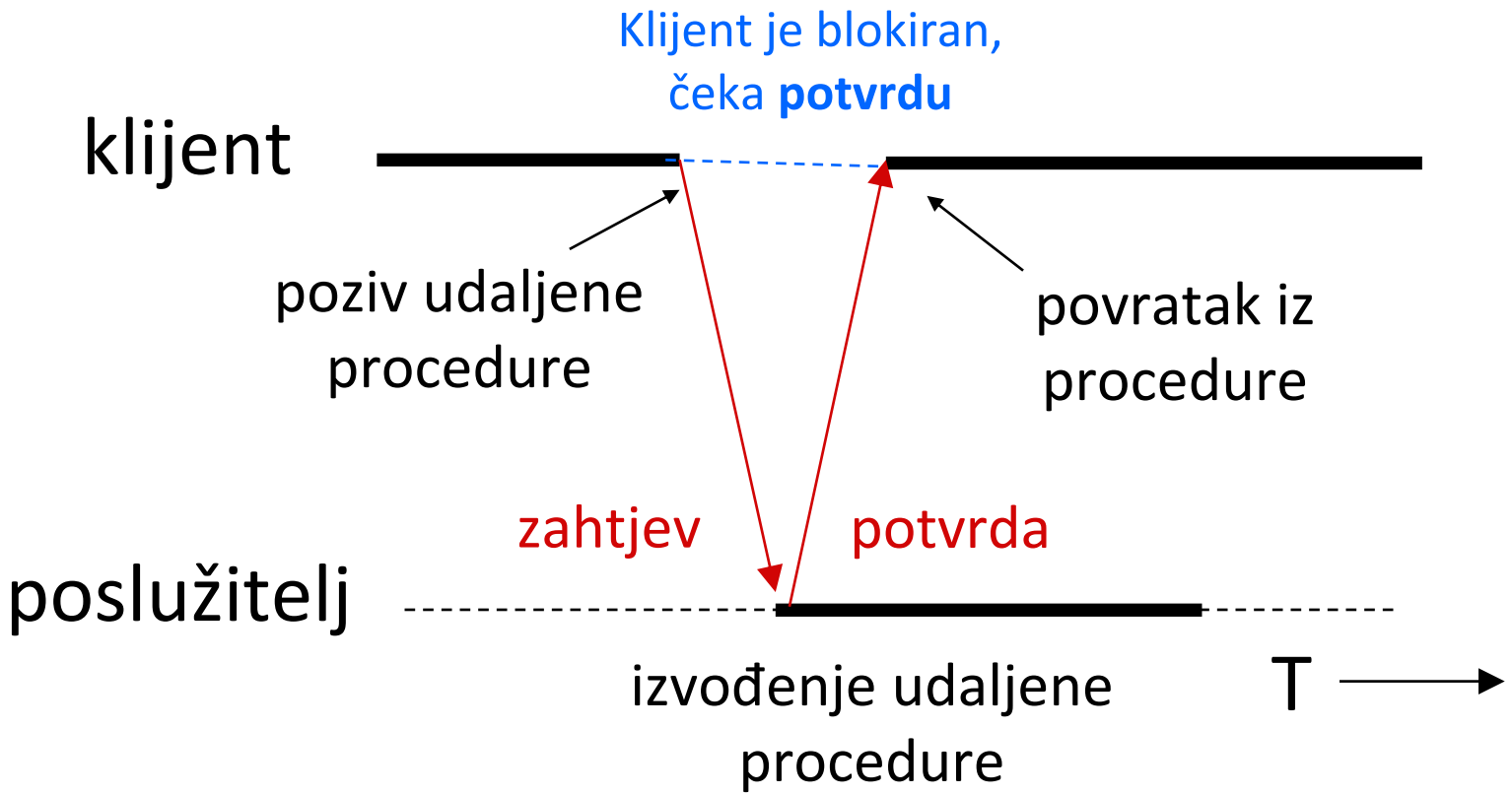
Izvođenje RPC-a



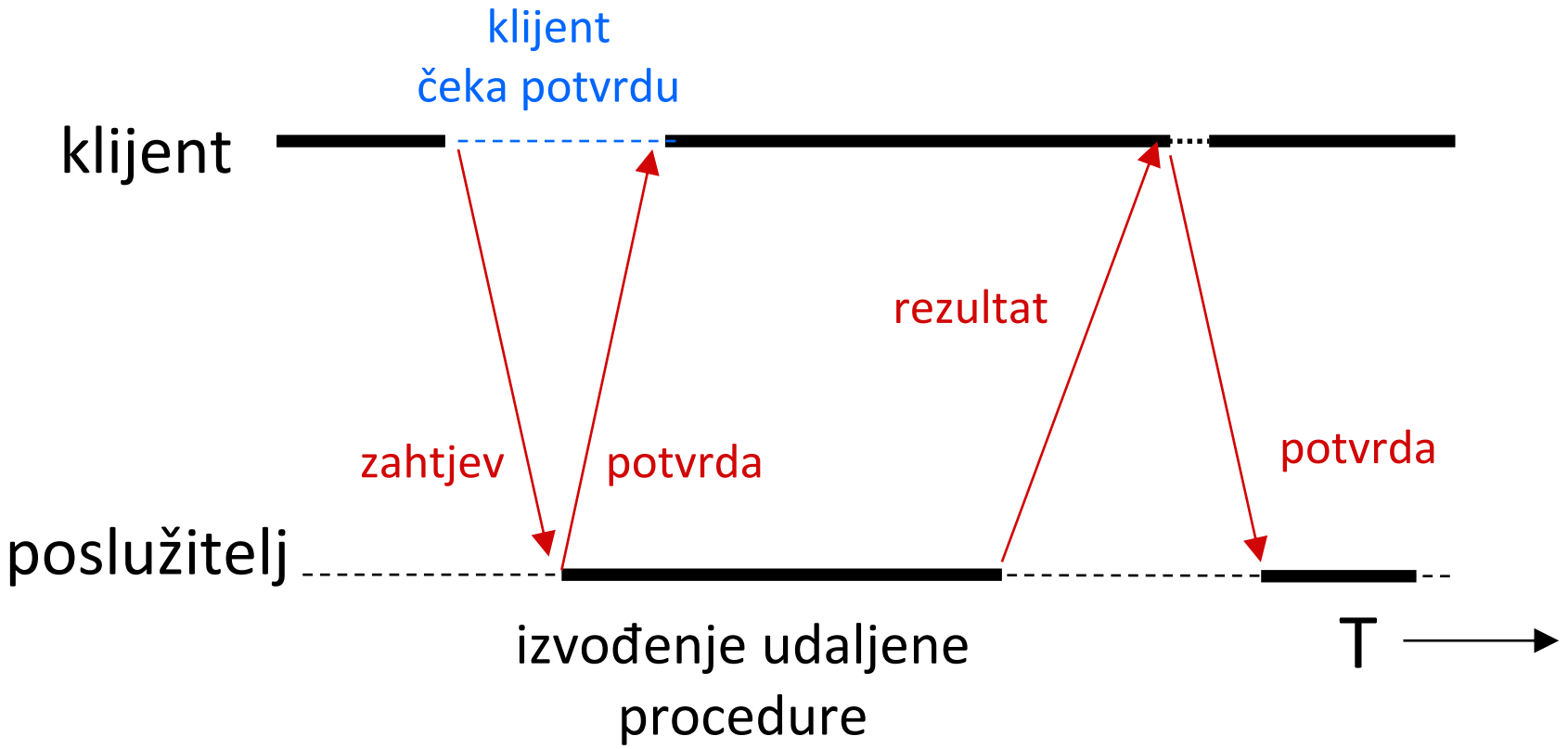
Prenošenje parametara

- *Marshaling* – “pakiranje” parametara ili rezultata u poruku
- *Unmarshaling* – čitanje parametara ili rezultata iz poruke
- Prenošenje vrijednosti parametra
  - Navodi se tip (npr. int, char, long) i vrijednost
  - Različiti OS-ovi često koriste različite prikaze znakova
- Prenošenje parametara koristeći reference
  - Referenca ima smisla samo u adresnom prostoru procesa koji je koristi!
  - Kako prenijeti string na udaljeno računalo?
    - nije moguće koristiti referencu na string!
    - kopiranje cijelog stringa i “pakiranje” u poruku

Asinkroni RPC



Odgođeni sinkroni RPC



Poziv udaljene metode

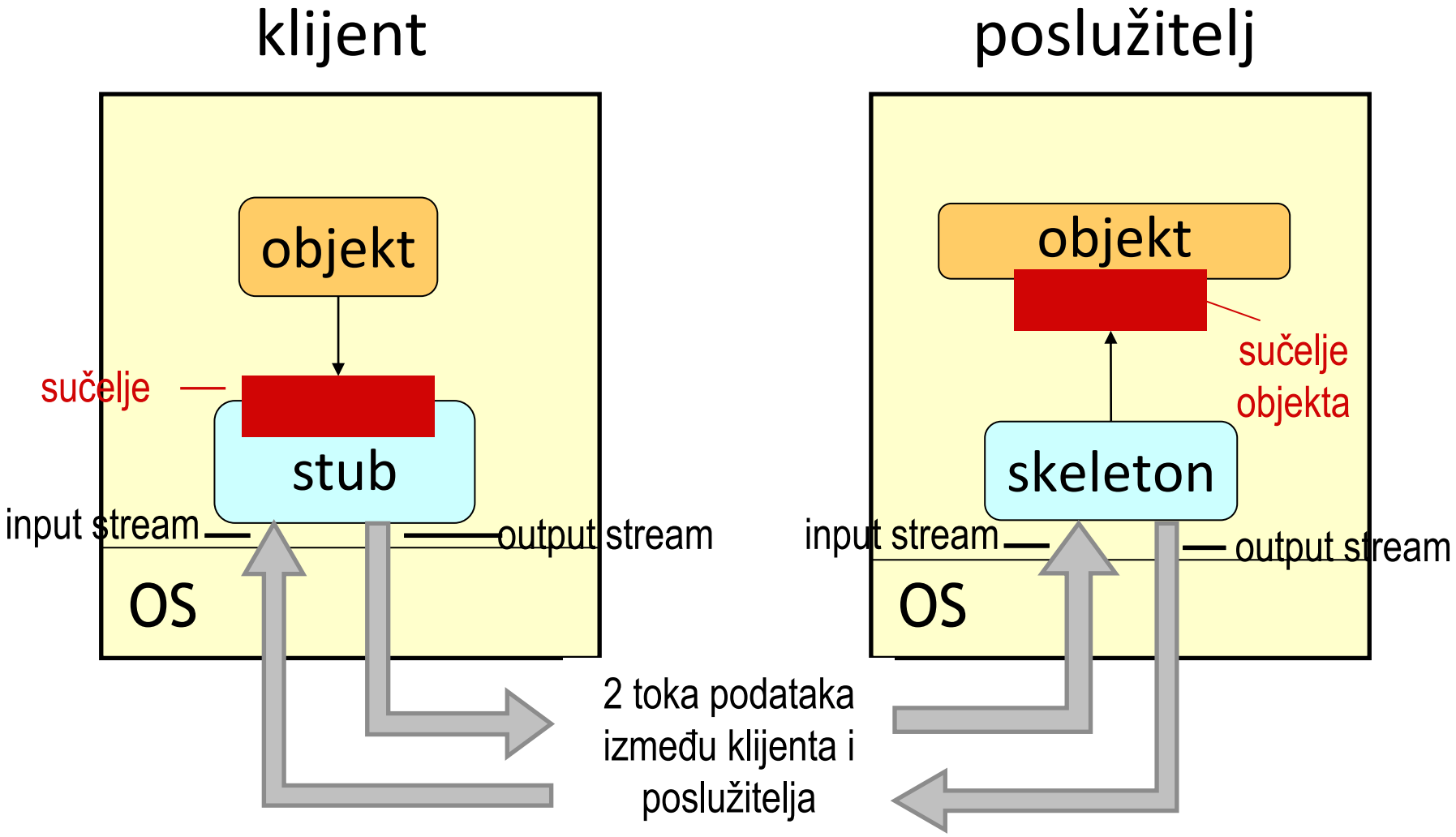
Remote Method Invocation (RMI)

- “nasljednik” poziva udaljene procedure, poziva se metoda udaljenog objekta
- udaljeni objekt
  - proširenje osnovnog objektnog modela za raspodijeljenu okolinu
  - odvajanje sučelja i implementacije objekta
- objekt (klijent) poziva metodu udaljenog objekta (poslužitelja) na transparentan način
  - identično pozivu metode lokalnog objekta

Udaljeni objekti

- Postoje reference na lokalne i udaljene objekte
- Svaki udaljeni objekt ima globalno jedinstven identifikator
  - npr. [ref: [endpoint:[161.53.19.24:1251](local),objID:[0]]]]
- Potrebna je usluga za registriranje i pronalaženje udaljenih objekata (*directory service*)

Izvođenje RMI-a



Obilježja RPC/RMI

- model klijent-poslužitelj
- vremenska ovisnost klijenta i poslužitelja
- klijent mora znati identifikator poslužitelja
- tranzijentna komunikacija
- sinkrona komunikacija
  - klijent je blokiran dok ne primi odgovor od strane poslužitelja
- pokretanje komunikacije na načelu *pull*

Sadržaj predavanja

- Osnovni komunikacijski model
  - obilježja komunikacije
  - obilježja procesa
- Sloj raspodijeljenog sustava za komunikaciju među procesima
  - komunikacija korištenjem priključnica (Socket API)
    - primjeri TCP/UDP klijenta i poslužitelja
    - oblikovanje višedretvenog poslužitelja
  - poziv udaljene procedure (*Remote Procedure Call* - RPC) / poziv udaljene metode (Remote Method Invocation - RMI)
    - Java RMI
    - gRPC

Java RMI

Java Remote Method Invocation

- Sunovo rješenje za komunikaciju udaljenih objekata na načelu poziva udaljene procedure/metode
- Oblikovan isključivo za programski jezik Java: omogućuje jednostavniju komunikaciju objekata koji se izvode u različitim JVM (*Java Virtual Machine*)
- Implementacija koristi TCP kao transportni protokol

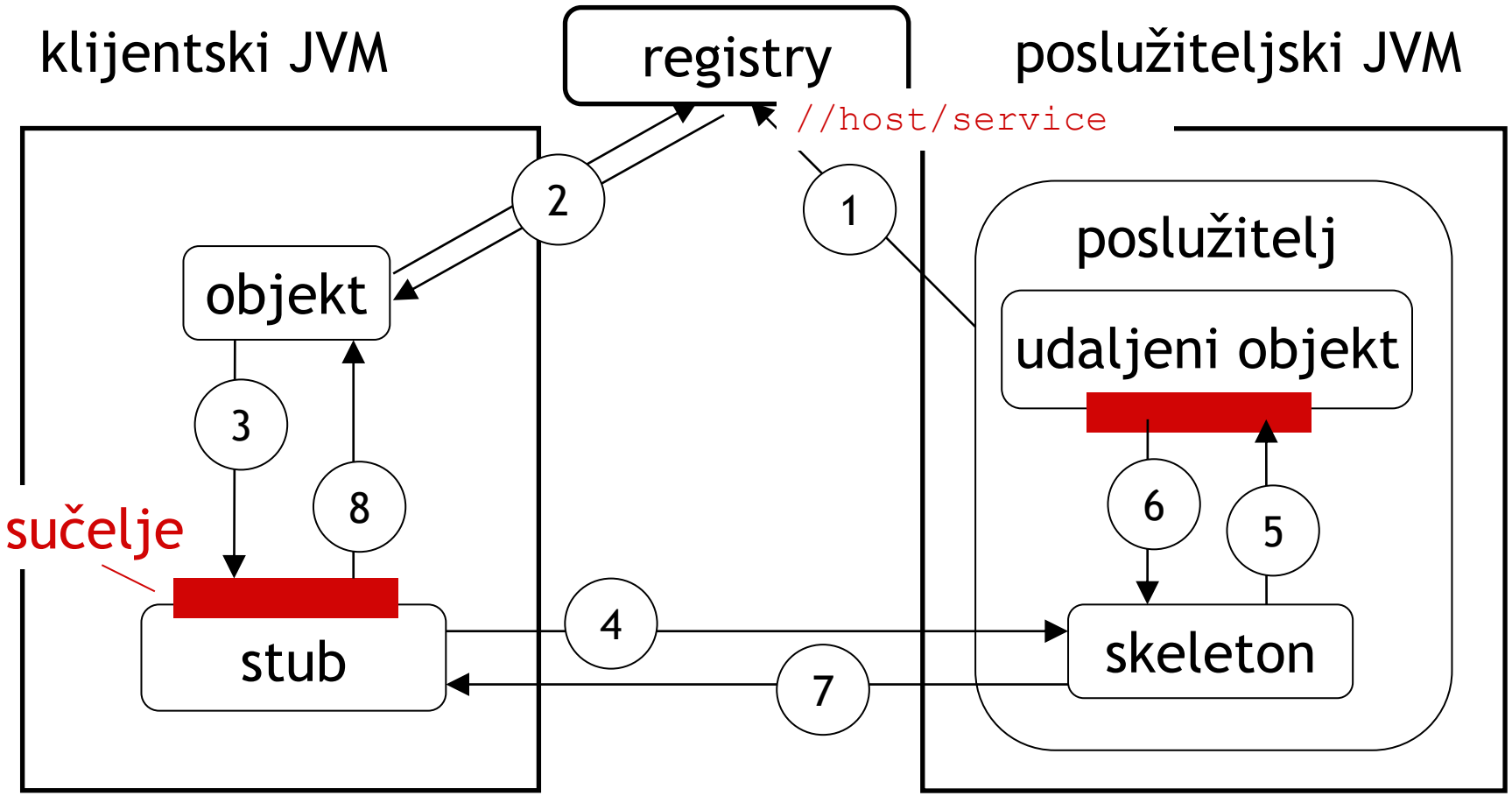
Javin model objekta

- transparentnost pristupa udaljenim objektima
  - referenca na udaljeni objekt istovjetna je referenci na lokalni objekt, no moraju implementirati sučelje `java.rmi.Remote`
- sučelja udaljenog objekta omogućuju komunikaciju s udaljenim objektom
- sučelje udaljenog objekta implementira *stub* (*proxy*) u adresnom prostoru klijentskog računala
- klase *stub* i *skeleton* generiraju se iz implementacije, a ne iz sučelja udaljenog objekta

Prenošenje parametara udaljenoj metodi

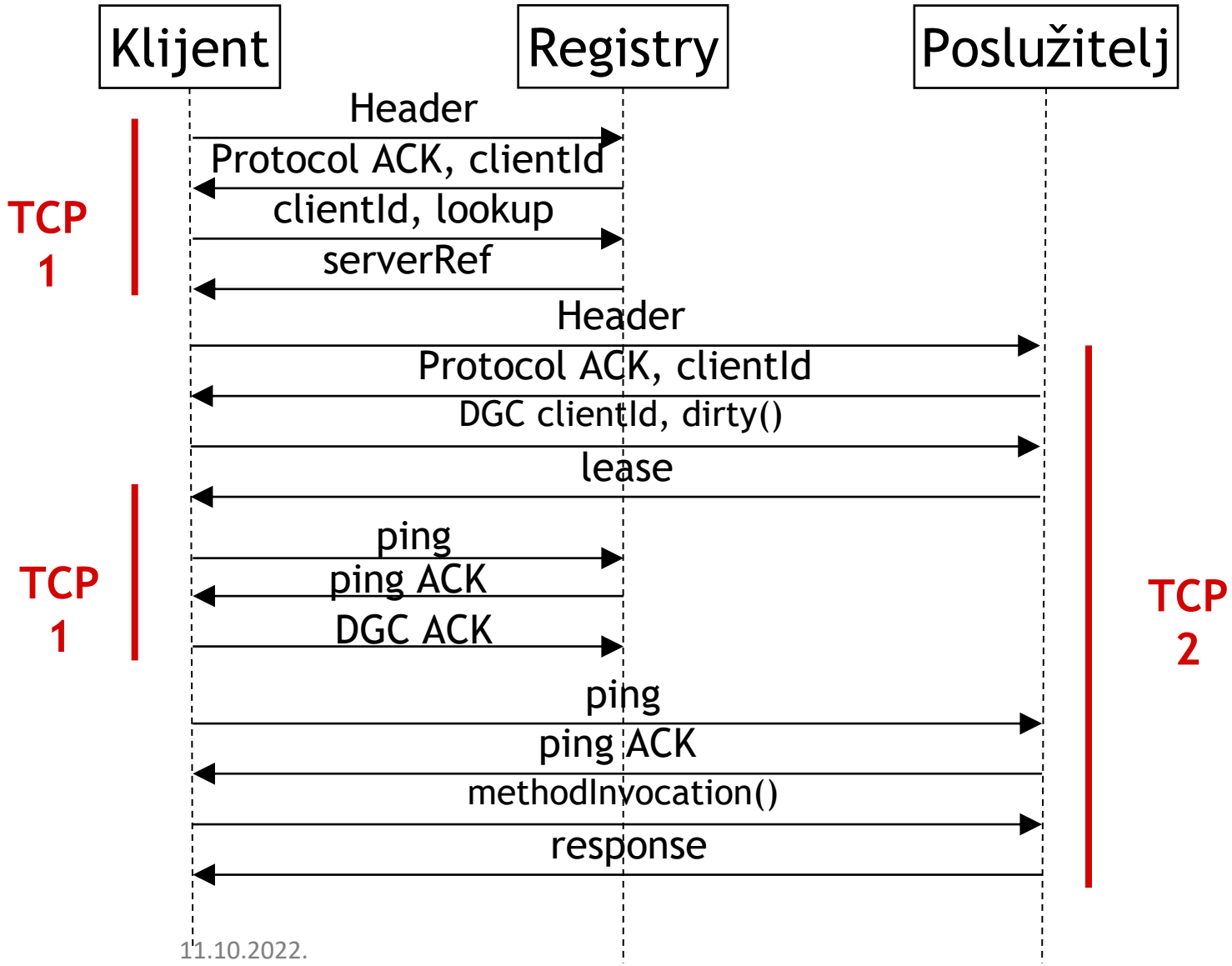
- lokalni objekti moraju se serijalizirati i prenosi se njihova vrijednost (*pass by value*)
  - implementiraju sučelje `Serializable`
- udaljeni se objekti prenose koristeći referencu (*pass by reference*)
  - implementiraju sučelje java.rmi.Remote i pravilno su eksportirani `UnicastRemoteObject.exportObject()`
  - referenca = adresa računala + port + identifikator udaljenog objekta
  - referenca udaljenog objekta je jedinstvena u raspodijeljenom sustavu

Protokol Java RMI (1)

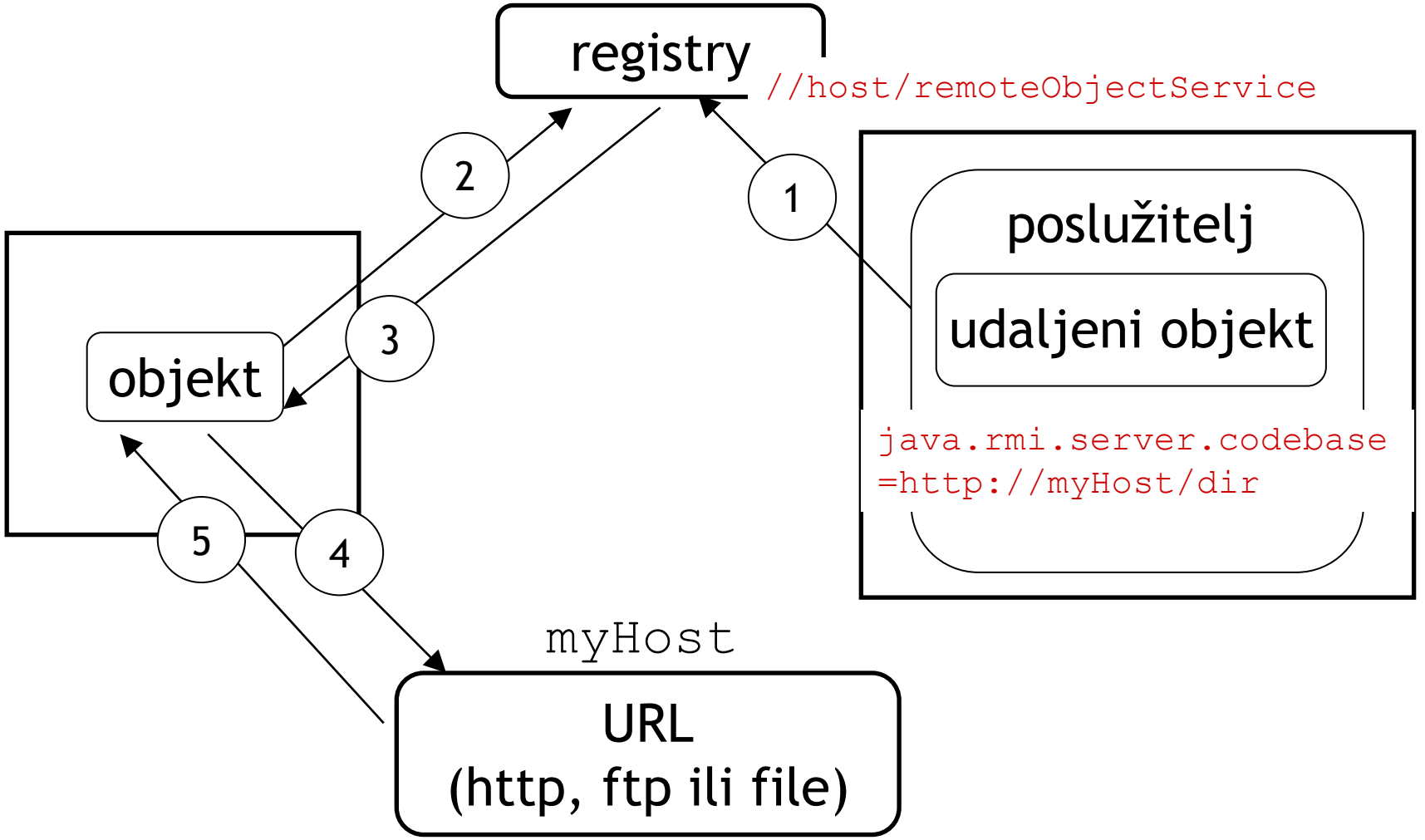


Pretpostavka: stub postoji na strani klijenta

Protokol Java RMI (2)



Dinamičko učitavanje klase stuba



Primjer RMI sučelja

```
import java.rmi.RemoteException;
import java.rmi.Remote;

/**
 * Remote object offers the service of converting a string
 * to upper case.
 */
public interface UpperCase extends Remote {

  public String toUpperCase
    (String originalString) throws RemoteException;

}
```

Primjer RMI poslužitelja (1)

```
import java.rmi.server.UnicastRemoteObject;
import java.rmi.RemoteException;
import java.rmi.Naming;
import java.rmi.RMISecurityManager;

public class UpperCaseImpl extends UnicastRemoteObject
  implements UpperCase {
  private static final String rmiUrl = "rmi://localhost:1099/UpperCase4U";
  public UpperCaseImpl() throws RemoteException {
      super();
  }
  public String toUpperCase( String originalString )
        throws RemoteException {
        return( originalString.toUpperCase() );
  }...
```

Primjer RMI poslužitelja (2)

```
...
  public static void main(String[] args) {
   try {
        if (System.getSecurityManager() == null)
               System.setSecurityManager(
                      new RMISecurityManager());

        UpperCaseImpl serverObject = new UpperCaseImpl();
        Naming.rebind(rmiUrl, serverObject);
        System.out.println("UpperCase object bound to " + rmiUrl);

  } catch (Exception e) {
      e.printStackTrace();
  }
}}
```

Primjer RMI klijenta (1)

```
import java.rmi.RemoteException;
import java.rmi.NotBoundException;
import java.rmi.Naming;
import java.rmi.RMISecurityManager;

public class UpperCaseClient {
  private static final String rmiUrl = "rmi://localhost:1099/UpperCase4U";
  private UpperCase uc = null;
  public UpperCaseClient() {
  try { uc = (UpperCase) Naming.lookup( rmiUrl );
        System.out.println( "Found remote object " + uc.toString() );
  } catch( Exception e ) {
              e.printStackTrace();
  }
}...
```

Primjer RMI klijenta (2)

```
...
  public static void main(String[] args) {
        if (System.getSecurityManager() == null)
           System.setSecurityManager(new RMISecurityManager());
        UpperCaseClient client = new UpperCaseClient();
        try {
                String any = new String( "Any string...");
                System.out.println( "Sending\t" + any );
                System.out.println("Received\t"
                        + client.uc.toUpperCase(any));
        }
        catch (Exception e) {
                 e.printStackTrace();
        }
  System.exit(0);
  }}
```

Obilježja Java RMI-a

- pozitivna svojstva
  - visok nivo transparentnosti
  - poziv udaljene metode ima jednaku sintaksu pozivu lokalne metode
  - podržava dinamičko učitavanje klasa
  - jednostavna i brza implementacija raspodijeljenog sustava
  - jednostavniji i čitljiviji kod programa
- negativna svojstva
  - performanse: poziv udaljene metode je puno sporiji od poziva metode lokalnog objekta, čak i ako su udaljeni objekt i klijent na istom računalu (TCP + dizajn protokola s velikim brojem ping paketa)

Paket `java.rmi`

- **API specification**
  http://docs.oracle.com/javase/8/docs/api/java/rmi/package-summary.html
- **The Java Tutorials, Trail: RMI**
  http://docs.oracle.com/javase/tutorial/rmi/
- **Java Remote Method Invocation - Distributed Computing for Java**
  http://www.oracle.com/technetwork/java/javase/tech/index-jsp-138781.html

Sadržaj predavanja

- Osnovni komunikacijski model
  - obilježja komunikacije
  - obilježja procesa
- Sloj raspodijeljenog sustava za komunikaciju među procesima
  - komunikacija korištenjem priključnica (Socket API)
    - primjeri TCP/UDP klijenta i poslužitelja
    - oblikovanje višedretvenog poslužitelja
  - poziv udaljene procedure (*Remote Procedure Call* - RPC) / poziv udaljene metode (Remote Method Invocation - RMI)
    - Java RMI
    - gRPC

gRPC

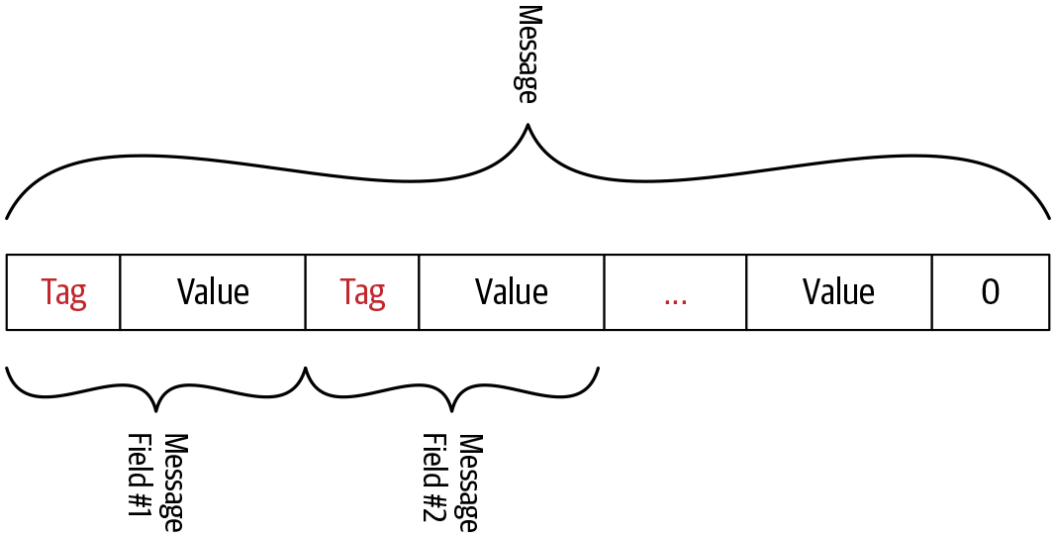
https://grpc.io/

- implementacija RPC-a **otvorenog koda** nastala na temelju Googleovog projekta Stubby
- podržava niz jezika: Java, Go, C++, Python…
- koristi posebnu implementaciju za prijenos i serijalizaciju podataka Protocol Buffers (HTTP/2)

- Od 2015.: *open source RPC framework*
- *"... a modern, bandwidth and CPU efficient, low latency way to create massively distributed systems that span data centers"*
- Danas ima raširenu uporabu: Netflix, Square, Lyft, Docker, Cisco, CoreOS
- Cloud Native Computing Foundation (CNCF), https://www.cncf.io/projects/ (*incubating*)

Protocol buffers

- IDL za definiranje sučelja: piše se u tekstualnu datoteku .proto (koristeći jednostavni format za definiranje RPC metoda i njihovih parametara)
- Protokol je neovisan o programskom jeziku
- Vrlo učinkovit mehanizam serijalizacije podataka, binarno kodiranje (poruke su značajno manje i jednostavnije za računalnu obradu od JSON-a)

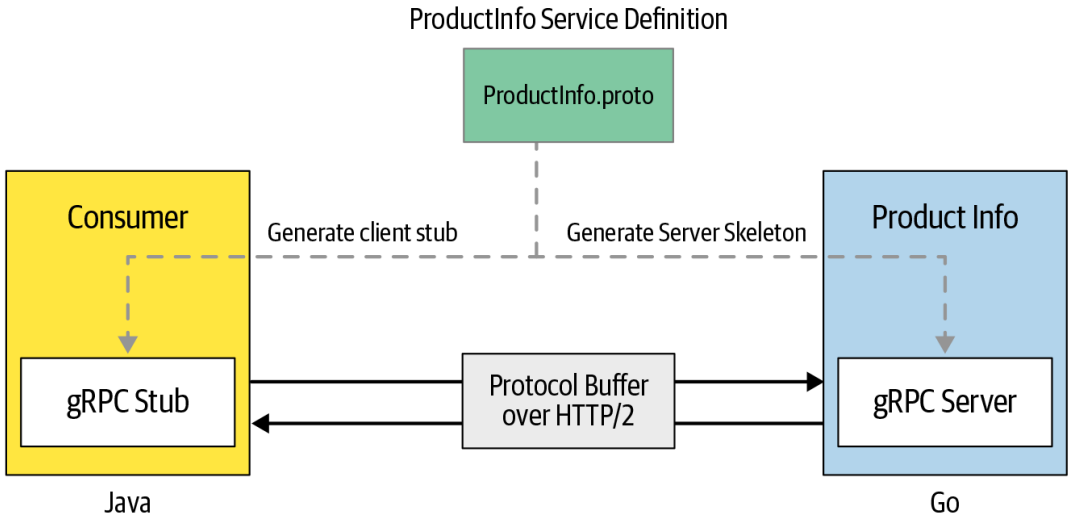


Kodiranje poruka

Primjer ProductInfo.proto

```
syntax = "proto3";
package ecommerce;
service ProductInfo {
    rpc addProduct(Product) returns (ProductID);
    rpc getProduct(ProductID) returns (Product);
}
message Product {
    string id = 1;
    string name = 2;
    string description = 3;
}
message ProductID {
    string value = 1;
}
```

Koristi se kompajler *protoc* za generiranje poslužiteljskog i klijentskog koda



Primjer gRPC for UpperCase

```
syntax = "proto3";
option java_multiple_files = true;
option java_package = "hr.fer.tel.rassus.examples";
package hr.fer.tel.rassus;

// The uppercase service definition.
service Uppercase {
  // Sends back a message converted to upper case
  rpc RequestUppercase (Message) returns (Message) {}
}
// Definition of request and response message
message Message {
  string  payload = 1;
}
```

Primjer definicije sučelja servisa Uppercase koje definira samo jednu metodu RPC RequestUppercase

Koraci prilikom implementacije i izvođenja

Poslužitelj

1. generiraj skeleton servisa na temelju .proto opisa
2. dodaj logiku generiranim metodama (*override*)
3. pokreni poslužitelja koji će kontinuirano primati korisničke zahtjeve

Klijent

1. kreiraj konekciju (kanal) prema udaljenom poslužitelju
2. poveži klijentski stub uz tu konekciju
3. pozovi udaljenu metodu na poslužitelju, a implementacija Protocol Buffers će se pobrinuti da prenese podatke u jednom i drugom smjeru

Uppercase service

```
public class UppercaseService extends UppercaseGrpc.UppercaseImplBase {
  private static final Logger logger =
  Logger.getLogger(UppercaseService.class.getName());
  @Override
  public void requestUppercase(
      Message request, StreamObserver<Message> responseObserver ) {
    logger.info("Got a new message: " + request.getPayload());
    // Create response
    Message response =
  Message.newBuilder().setPayload(request.getPayload().toUpperCase()).build();
    // Send response
    responseObserver.onNext( response );
    logger.info("Responding with: " + response.getPayload());
    // Send a notification of successful stream completion.
    responseObserver.onCompleted();
  }}
```

Generira plug-in

Prima obavijesti iz streama poruka (observable pattern), koristi se za slanje i primanje poruka

Šalje odgovor klijentu

Zatvori stream

gRPC poslužitelj (1/2)

```
public class SimpleUnaryRPCServer {
   private static final Logger logger = Logger.getLogger(SimpleUnaryRPCServer.class.getName());
   private Server server;
   private final UppercaseService service;
   private final int port;

   public SimpleUnaryRPCServer(UppercaseService service, int port) {
    this.service = service;
    this.port = port;
   }
   public void start() throws IOException {
    // Register the service
    server = ServerBuilder.forPort(port).addService(service).build().start();
    logger.info("Server started on " + port);
    //  Clean shutdown of server in case of JVM shutdown
    Runtime.getRuntime().addShutdownHook(new Thread(() -> { System.err.println("Shutting down gRPC server since JVM is
   shutting down");
    try {
        SimpleUnaryRPCServer.this.stop();
    } catch (InterruptedException e) {
        e.printStackTrace(System.err);
    }
      System.err.println("Server shut down");
    }));
  }...
```

Kreira instancu poslužitelja koji osluškuje na definiranom portu

gRPC poslužitelj (2/2)

```
public void stop() throws InterruptedException {
    if (server != null) {
      server.shutdown().awaitTermination(30, TimeUnit.SECONDS);
    }
  }

public void blockUntilShutdown() throws InterruptedException {
    if (server != null) {
      server.awaitTermination();
    }
  }

public static void main(String[] args) throws IOException, InterruptedException {
    final SimpleUnaryRPCServer server = new SimpleUnaryRPCServer(new UppercaseService(),
  3000);
    server.start();
    server.blockUntilShutdown();
  }
}
```

Radna dretva poslužitelja se zadržava sve dok ne stigne zahtjev za gašenjem poslužitelja.

gRPC klijent (1/2)

```
public class SimpleUnaryRPCClient {
  private static final Logger logger =
        Logger.getLogger(SimpleUnaryRPCClient.class.getName());
  private final ManagedChannel channel;
  private final UppercaseGrpc.UppercaseBlockingStub uppercaseBlockingStub;

  public SimpleUnaryRPCClient(String host, int port) {
    this.channel = ManagedChannelBuilder.forAddress(host, port).usePlaintext().build();

    uppercaseBlockingStub = UppercaseGrpc.newBlockingStub(channel);
  }

  public void stop() throws InterruptedException {
  //    Initiates an orderly shutdown in which preexisting calls continue but new calls are
  //    immediately cancelled. Waits for the channel to become terminated, giving up if the
  //    timeout is reached.
    channel.shutdown().awaitTermination(5, TimeUnit.SECONDS);
  } ...
```

Kreira gRPC kanal prema transportnoj adresi poslužitelja.

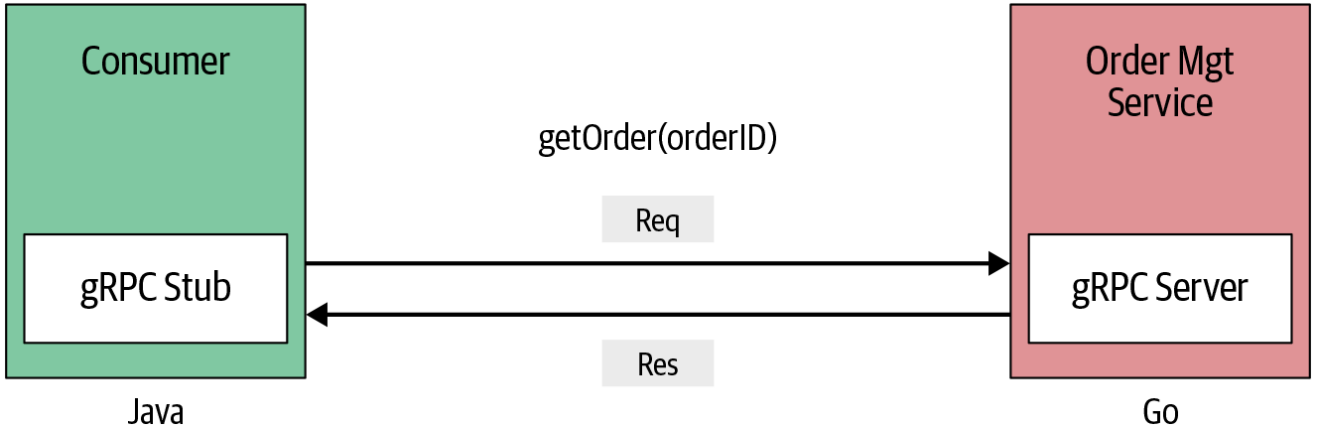
Kreira klijentski stub (blokirajući) pomoću kanala.

gRPC klijent (2/2)

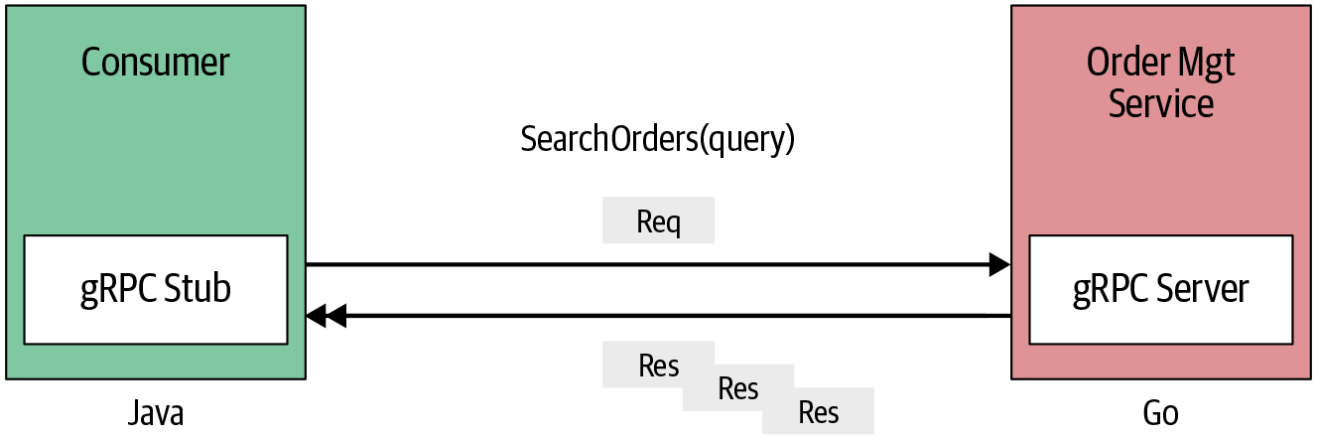
```
  public void requestUppercase() {
    final String payload = "message";
    Message request = Message.newBuilder().setPayload(payload).build();
    logger.info("Sending: " + request.getPayload());
    try {
      Message response = uppercaseBlockingStub.requestUppercase(request);
      logger.info("Received: " + response.getPayload());
    } catch (StatusRuntimeException e) {
      logger.info("RPC failed: " + e.getMessage());
    }
  }

  public static void main(String[] args) throws InterruptedException {
    SimpleUnaryRPCClient client = new SimpleUnaryRPCClient("127.0.0.1", 3000);
    client.requestUppercase();
    client.stop();
  }
}
```

Mogući oblici komunikacije (1/2)

- **Simple RPC (Unary RPC)**

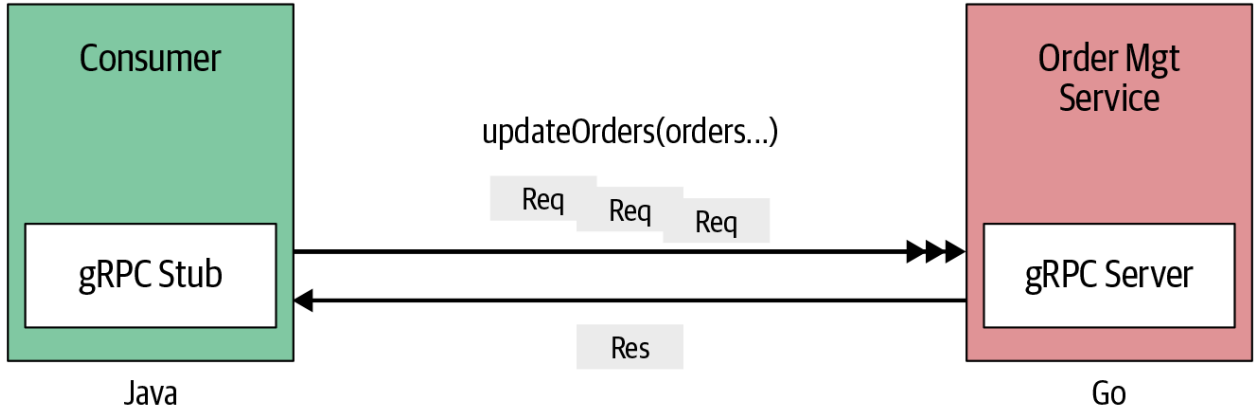


- **Server-Streaming RPC**

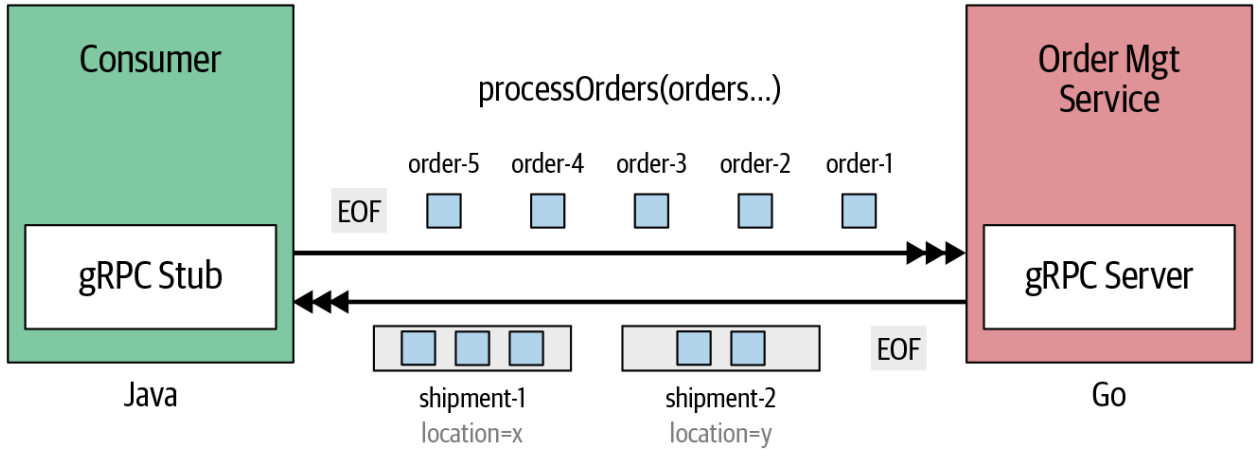


Mogući oblici komunikacije (2/2)

- **Client-Streaming RPC**



- **Bidirectional-Streaming RPC**



Pitanja za učenje i ponavljanje

- Objasnite zašto tranzijentna sinkrona komunikacija potencijalno pati od problema vezanih uz skalabilnost.
- Može li se pomoću UDP-a implementirati protokol za pouzdanu komunikaciju između klijenta i poslužitelja? Ako može, na koji način?
- Poslužitelj je implementiran pomoću socketa TCP na portu 10000 s ograničenjem NUMBER_OF_THREADS=2. Objasnite detaljno operacije prilikom dolaska prvog klijentskog zahtjeva na poslužitelj. Što se događa kada stigne drugi, pa treći klijentski zahtjev, a prve dvije konekcije su još uvijek aktivne? Koliko socketa je vezano uz port 10000?
- Koliko byte-a se može maksimalno zapisati u UDP datagram?
- Usporedite gRPC i RESTful servise u pogledu performanci.

Literatura

- Maarten van Steen, Andrew S. Tanenbaum (2017.), *Distributed Systems 3rd edition*, Createspace Independent Publishing Platform
  poglavlja 4.2 (RPC) i 4.3 (samo dio o Socketima)
- G. Coulouris, J. Dollimore, T. Kindberg: Distributed Systems: Concepts and Design, 5th edition, Addison-Wesley, 2012
  poglavlja 4.1, 4.2 i 4.3. (bez 4.3.1 CORBA i 4.3.3 XML) i poglavlje 5