Diplomski studij

Informacijska i komunikacijska tehnologija:

Telekomunikacije i informatika

Računarstvo:

Programsko inženjerstvo i informacijski sustavi

Računarska znanost

Ak.god. 2009./2010.

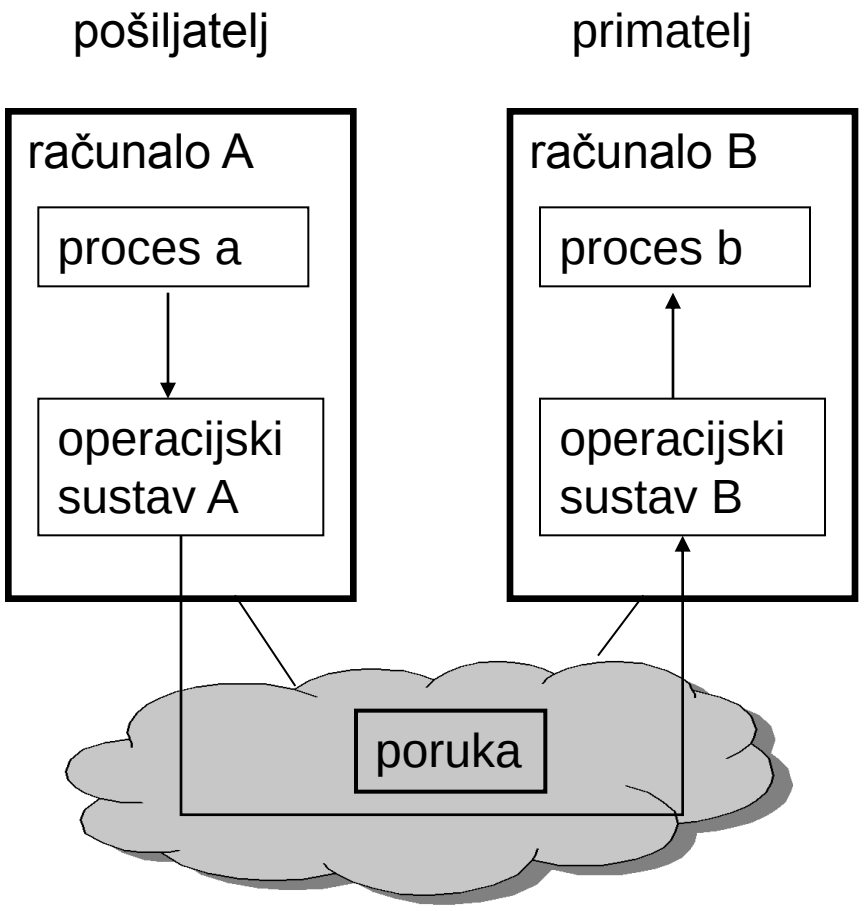
Raspodijeljeni sustavi

2.
Procesi i komunikacija u raspodijeljenom sustavu (1. dio)

Sadržaj predavanja

- Uvod
  - Osnovni interakcijski model
  - Komunikacija
  - Procesi
  - Međuoprema
- Međuoprema za komunikaciju raspodijeljenih procesa
  - 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)

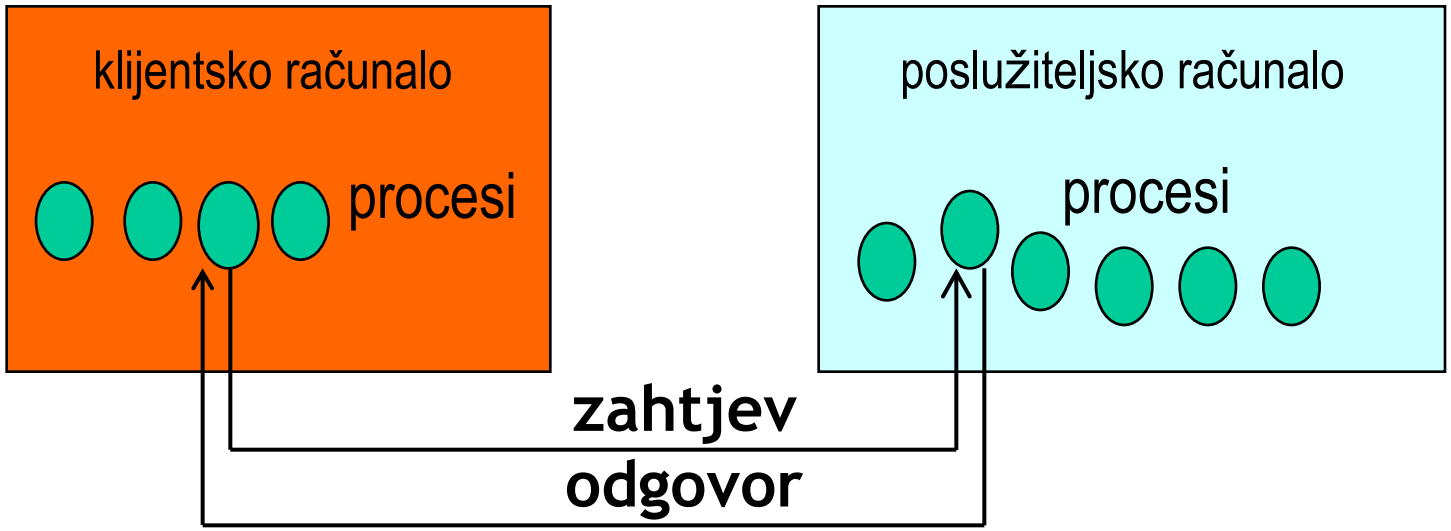
Osnovni interakcijski model



- 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 (sinkronost) odvijanja i komunikacije procesa

Podsjetimo se...

Model klijent-poslužitelj



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

Sadržaj predavanja

- Uvod
  - Interakcijski model
  - Komunikacija
  - Procesi
  - Međuoprema
- Međuoprema za komunikaciju raspodijeljenih procesa
  - 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)

Komunikacija

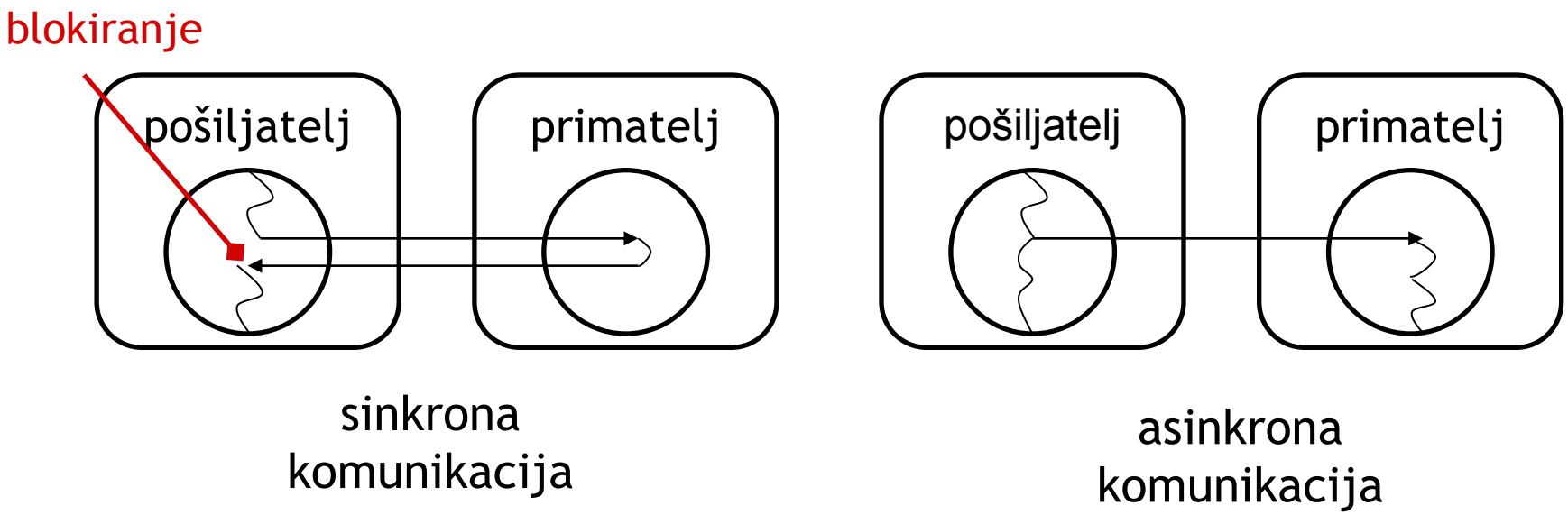
- konekcijska
  - procesi eksplicitno kreiraju konekciju prije razmjene podataka, postoje kontrolne poruke za uspostavu konekcije
- bezkonekcijska
  - sve poruke prenose podatke, nema kontrolnih poruka za uspostavu konekcije među procesima

Obilježja komunikacije

- 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

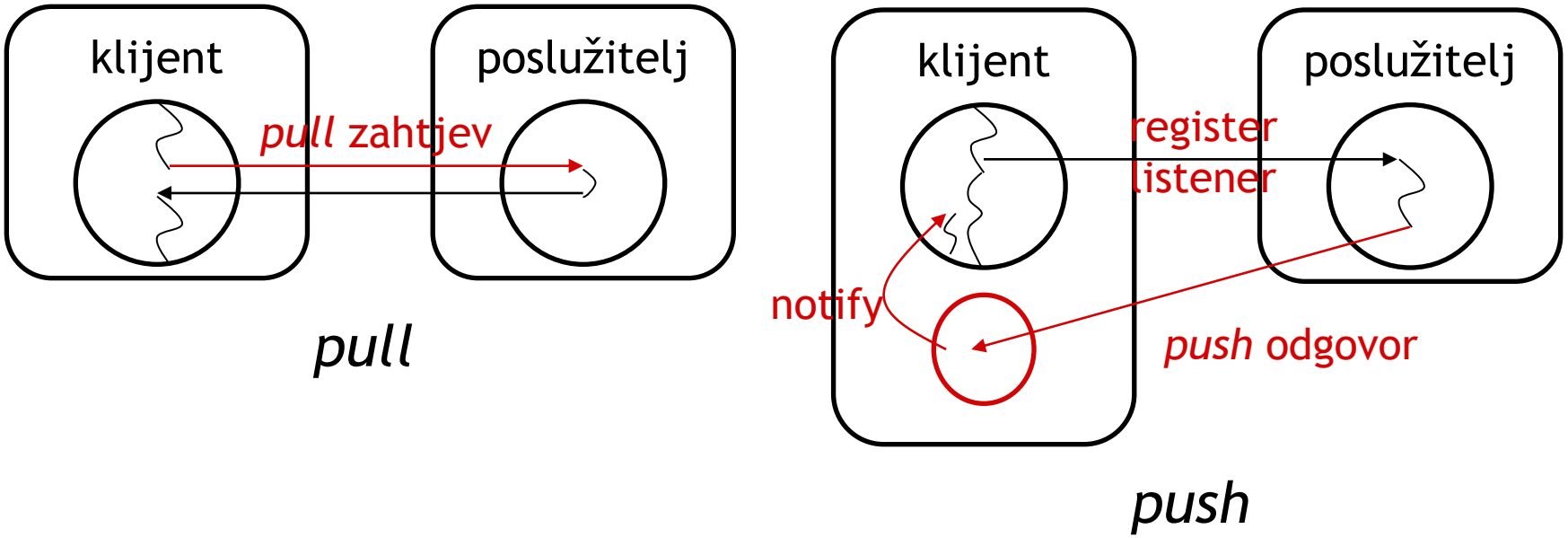
Obilježja komunikacije

- sinkrona komunikacija
  - blokira pošiljatelja do primitka potvrde o isporuci poruke primatelju
- asinkrona komunikacija
  - omogućuje pošiljatelju nastavak procesiranja odmah nakon slanja poruke



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



Sadržaj predavanja

- Uvod
  - Interakcijski model
  - Komunikacija
  - Procesi
  - Međuoprema
- Međuoprema za komunikaciju raspodijeljenih procesa
  - 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)

Procesi

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

Obilježja procesa

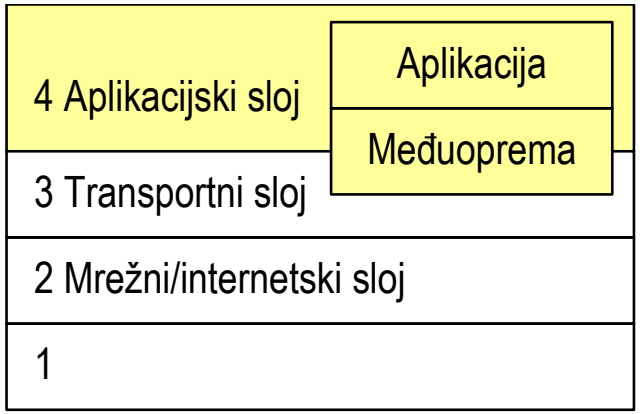
- vremenska (ne)ovisnost
  - vremenski ovisni procesi moraju biti istovremeno aktivni za realizaciju komunikacije
  - vremenski neovisni procesi mogu komunicirati i ako nisu istovremeno aktivni
- ovisnost o referenci “sugovornika”
  - proces je ovisan o referenci “sugovornika” ako mora znati jedinstveni 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

- Uvod
  - Interakcijski model
  - Komunikacija
  - Procesi
  - Međuoprema
- Međuoprema za komunikaciju raspodijeljenih procesa
  - 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)

Međuoprema (1)

- Raspodijenjeni sustavi koriste međuopremu (*middleware*), programsku infrastrukturu koja pruža generičke usluge za jednostavniji razvoj distribuiranih aplikacija
- U internetskom modelu međuoprema je smještena na aplikacijskom sloju između transportnog sloja i aplikacije



Međuoprema (2)

Međuoprema za komunikaciju raspodijeljenih procesa

- vrsta međuopreme za realizaciju komunikacije među udaljenim procesima
- protokoli za komunikaciju distribuiranih procesa na višem nivou apstrakcije od transportnog sloja
- omogućuje jednostavniji razvoj distribuiranih aplikacija, sakriva kompleksnost i heterogenost nižih slojeva

Međuoprema (3)

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

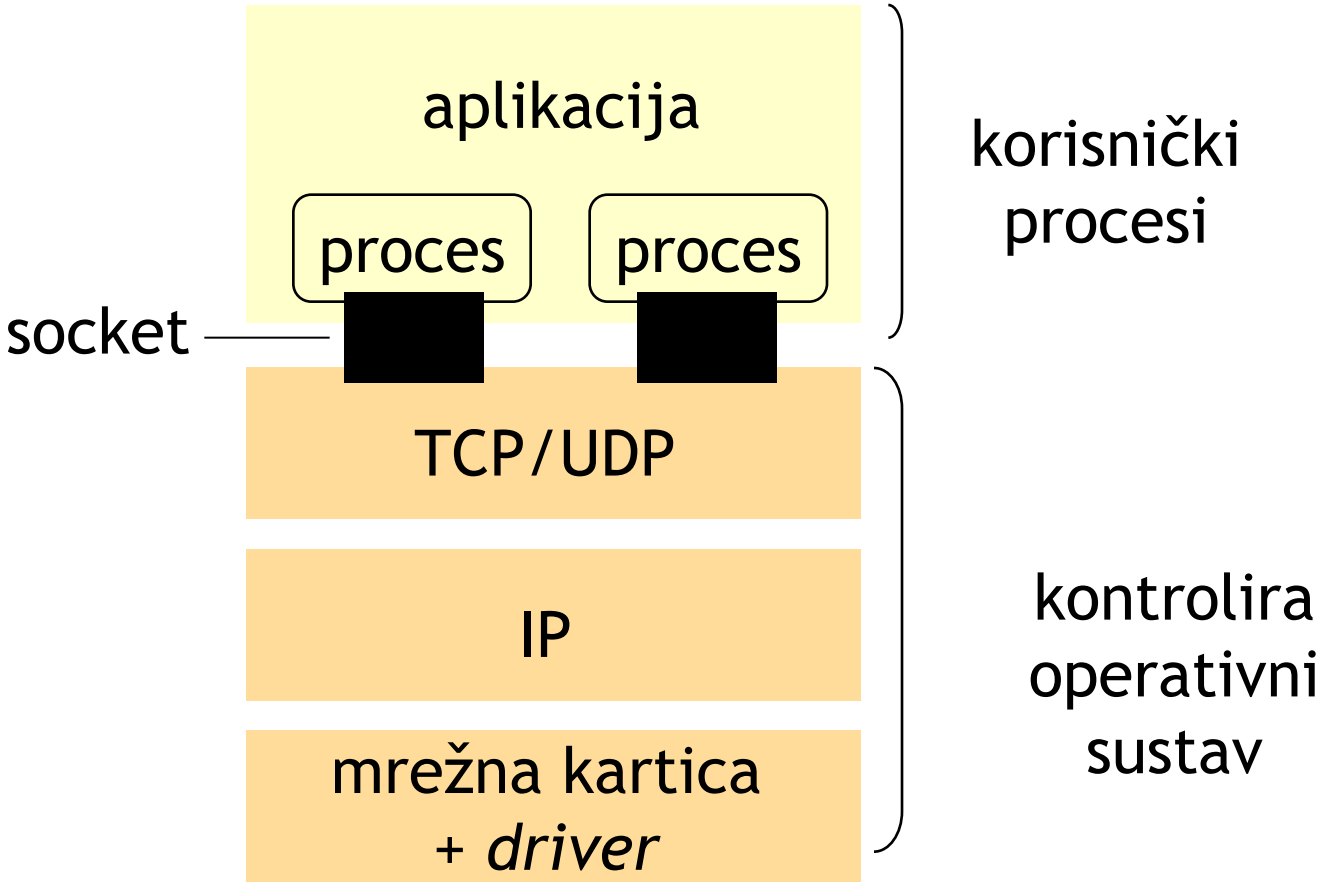
Sadržaj predavanja

- Uvod
  - Interakcijski model
  - Komunikacija
  - Procesi
  - Međuoprema
- Međuoprema za komunikaciju raspodijeljenih procesa
  - 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)

Socket API

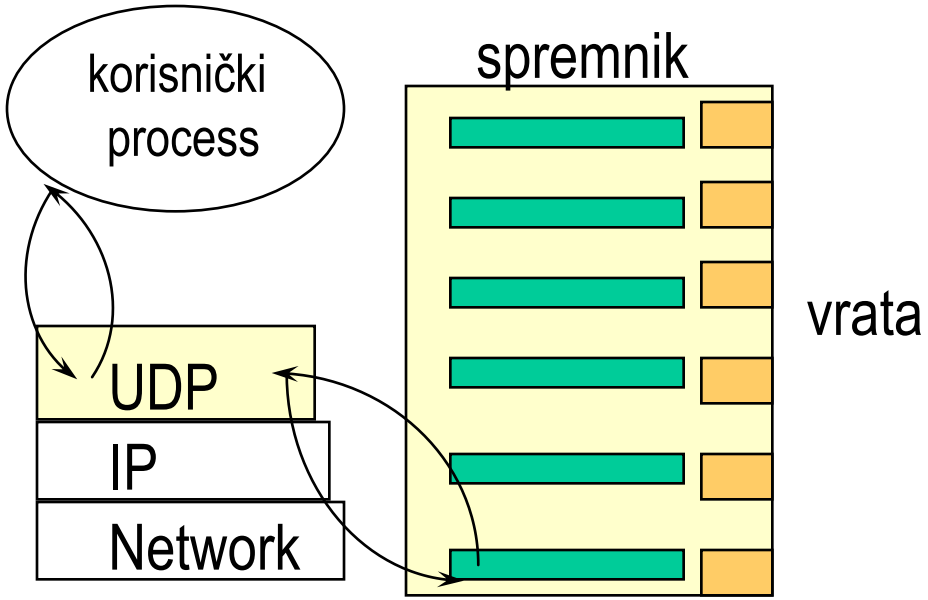
- koristi funkcionalnost transportnog sloja
  - TCP – konekcijski protokol, pouzdan prijenos podataka
  - UDP – prijenos nezavisnih paketa (*datagrami*), nepouzdan prijenos
- priključnica (engl. *socket*)
  - komunikacijska točka preko koje aplikacija šalje podatke u mrežu i iz koje čita primljene podatke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

Komunikacija pomoću *socketa*

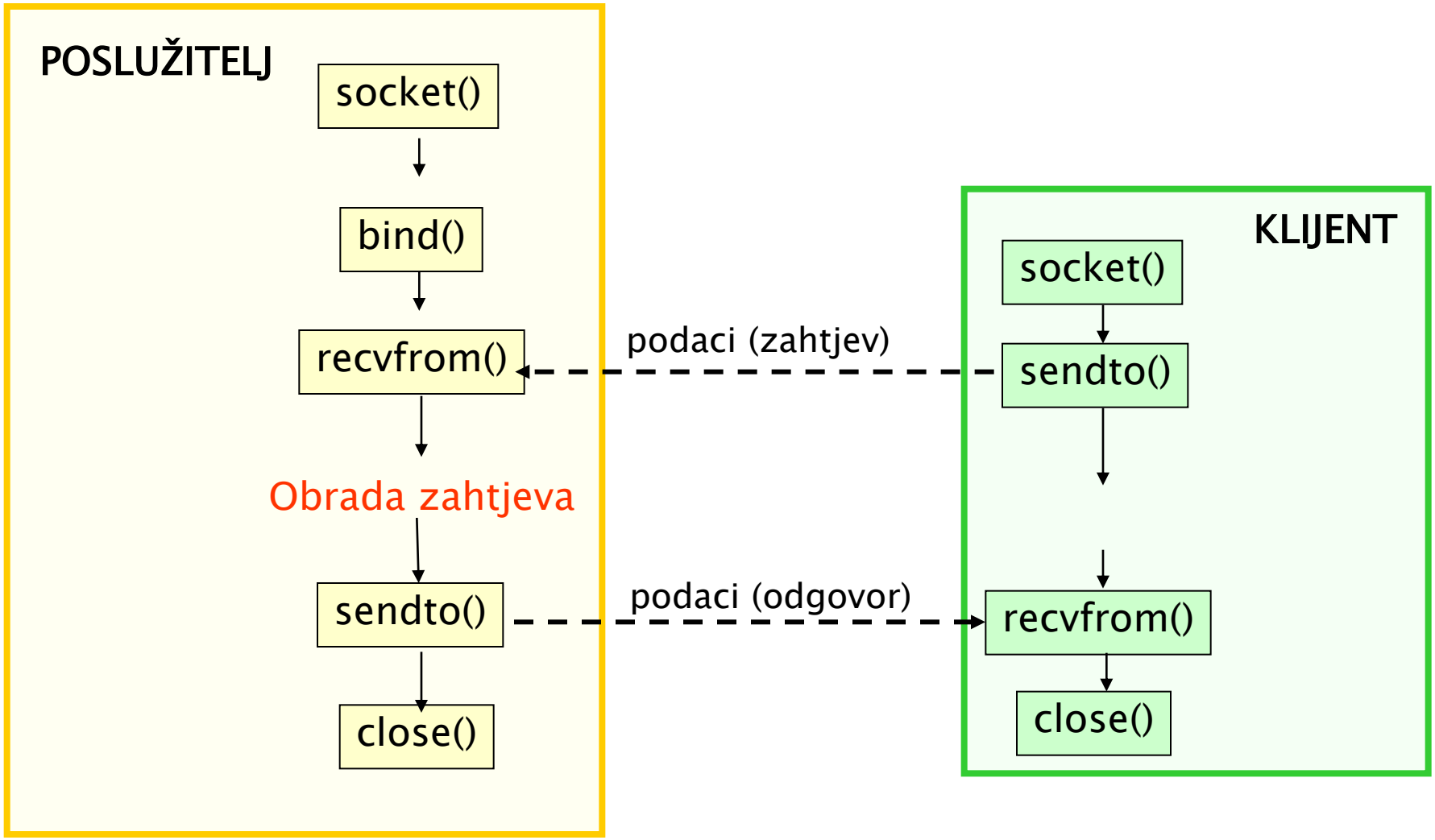


User Datagram Protocol (UDP)

- komunikacija se odvija preko vrata (engl. *portova*) koje dodjeljuje operacijski sustav



Komunikacija pomoću *socketa UDP*

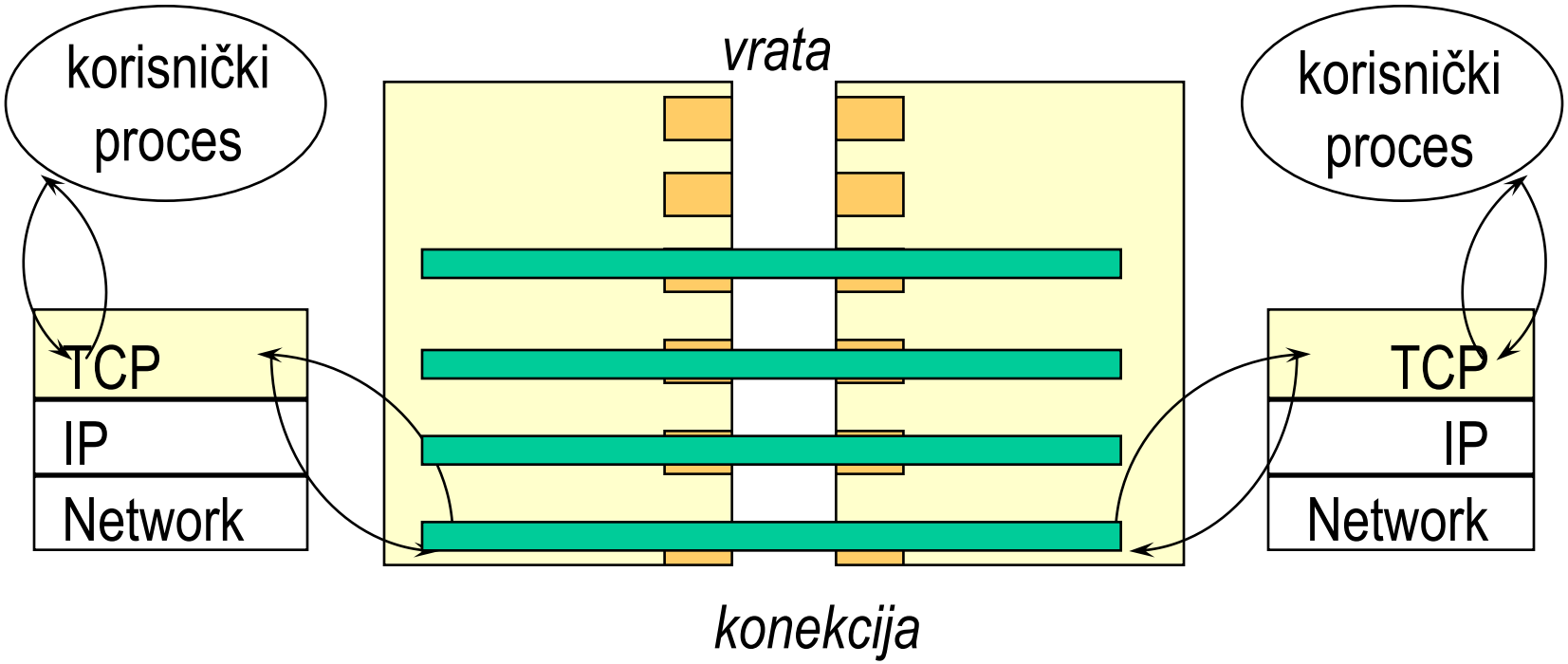


Obilježja *socketa* UDP

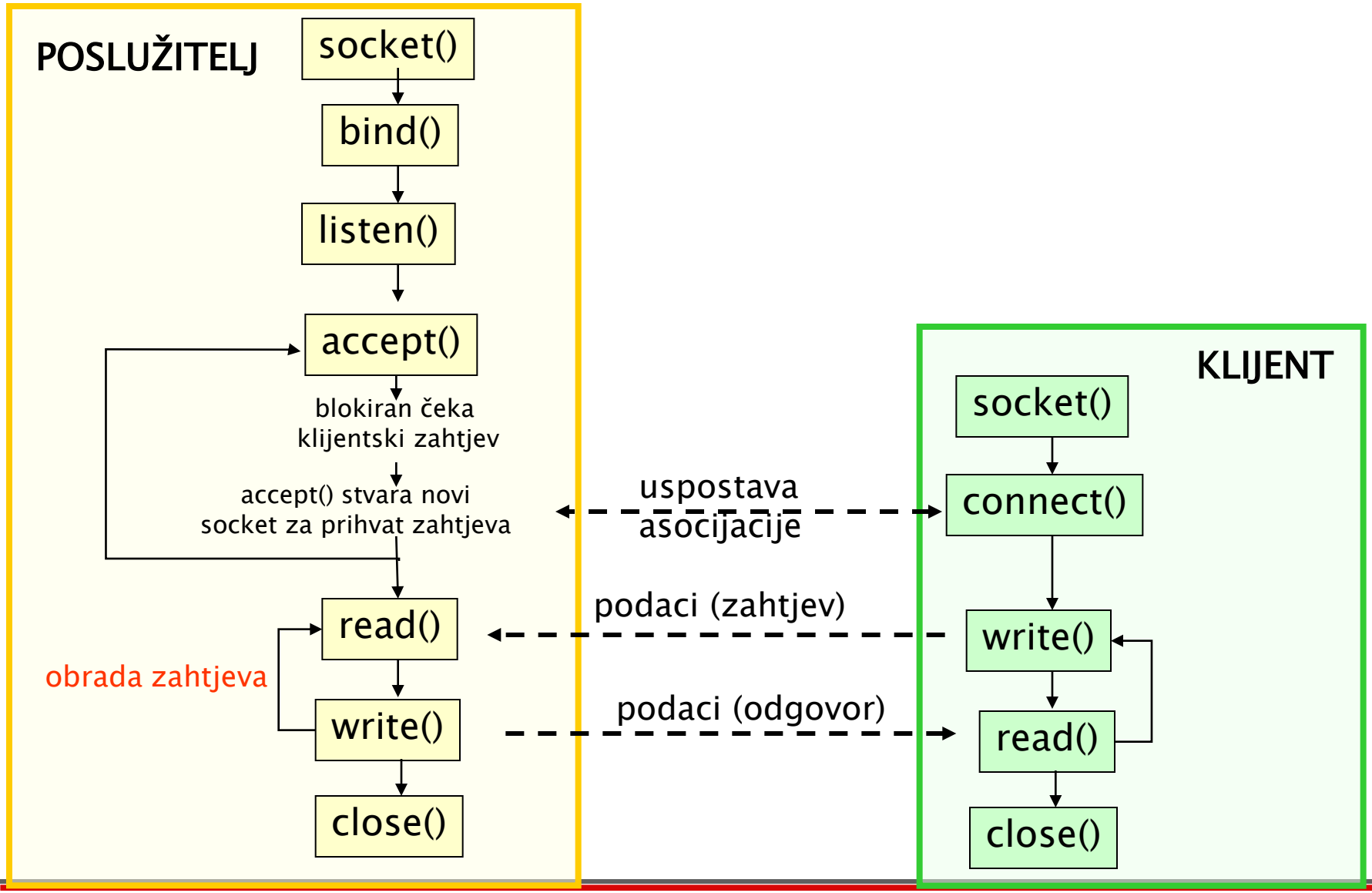
- model klijent-poslužitelj
- vremenska ovisnost procesa
  - poslužitelj mora biti aktivan za primanje datagrama
- klijent mora znati identifikator poslužitelja
- tranzijentna komunikacija
- asinkrona komunikacija
  - klijent šalje datagram i nastavlja procesiranje
- može se koristiti za implementaciju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

Transmission Control Protocol (TCP)

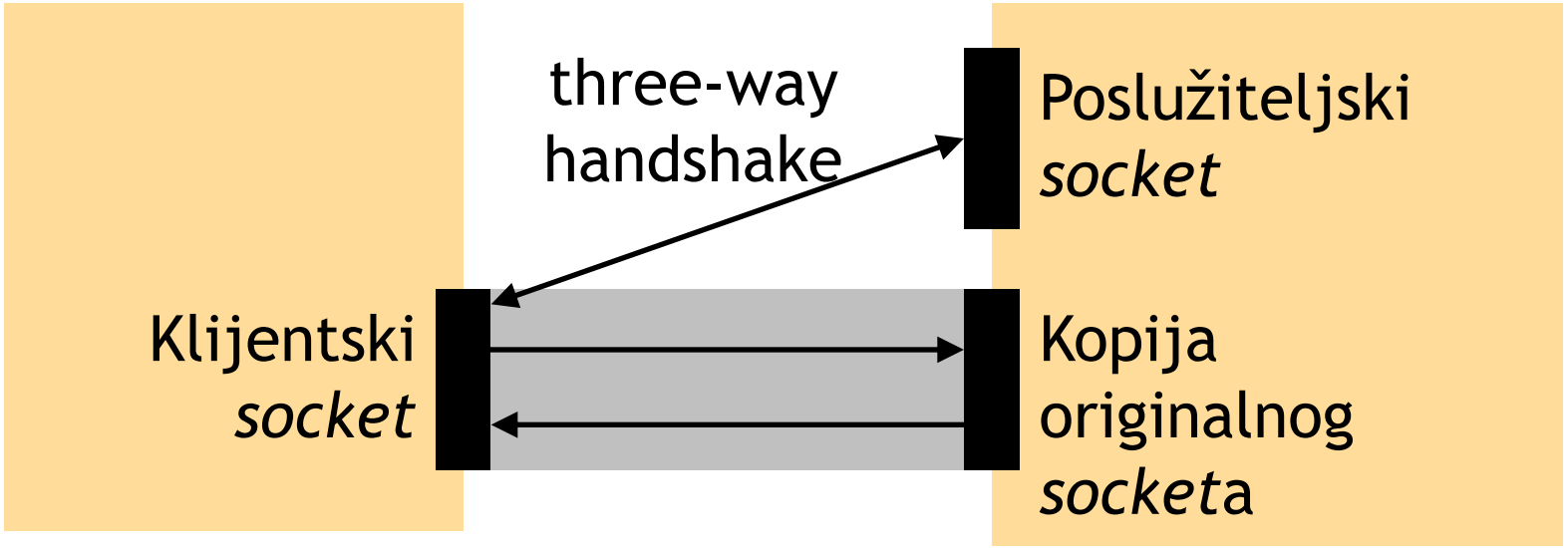
- konekcija između dvije krajnje točke koje se moraju dogovoriti o uspostavi konekcije



Konekcijska komunikacija pomoću *socketa* TCP



Konkurentni korisnički zahtjevi



- za svaki novi korisnički zahtjev kreira se novi socket (s novim brojem vrata) koji je kopija originalnog
- originalni poslužiteljski socket mora konstantno biti u stanju “osluškivanja”

Karakteristike *socketa* TCP

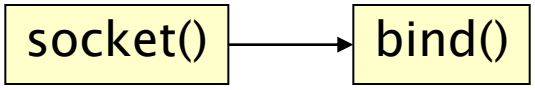
- model klijent-poslužitelj
- vremenska ovisnost
  - klijent i poslužitelj moraju biti istovremeno dostupni
- klijent mora znati identifikator poslužitelja
- tranzijentna komunikacija
- sinkrona komunikacija
  - klijent šalje zahtjev za kreiranje konekcije i blokiran je do uspostave konekcije
- pokretanje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

Sadržaj predavanja

- Uvod
  - Interakcijski model
  - Komunikacija
  - Procesi
  - Međuoprema
- Međuoprema za komunikaciju raspodijeljenih procesa
  - 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)

Primjer UDP poslužitelja (1)


```
import java.io.IOException;
import java.net.DatagramSocket;
import java.net.DatagramPacket;

public class UDPServer {

   public static void main(String args[]) throws IOException
   {

   int port = 10001;                    //server port
   byte[] rcvBuf = new byte[256]; //received bytes
   byte[] sendBuf = new byte[256];//sent bytes
   String receivedString;

   //create a UDP socket and bind it to the specified port
   //on the local host
   DatagramSocket socket = new DatagramSocket( port );

...
```



Primjer UDP poslužitelja (2)


```
...
   while( true ){
     //create a DatagramPacket for receiving packets
     DatagramPacket packet =
       new DatagramPacket(rcvBuf,rcvBuf.length);
     //receive packet
     socket.receive( packet );
     receivedString = new String(packet.getData(),
                                 packet.getOffset(),
                                 packet.getLength() );

     sendBuf = receivedString.toUpperCase().getBytes();
     //create a DatagramPacket for sending packets
     DatagramPacket sendPacket =
       new DatagramPacket( sendBuf, sendBuf.length,
                           packet.getAddress(),
   packet.getPort());
     //send packet
     socket.send(sendPacket);
 }}}
```

recvfrom()

obrada zahtjeva

sendto()

Primjer UDP klijenta (1)


```
import java.io.IOException;
import java.net.InetAddress;
import java.net.DatagramSocket;
import java.net.DatagramPacket;

public class UDPClient {

   public static void main(String args[]) throws IOException
   {

   String sendString = new String("Any string...");

   byte[] rcvBuf = new byte[256];
   byte[] sendBuf = new byte[256];
   sendBuf = sendString.getBytes();

   //Determines the IP address of a host, given the host's
   name
   InetAddress address = InetAddress.getByName("localhost");
   ...
```

Primjer UDP klijenta (2)


```
...
   //Create a datagram socket and bind it to any available
   //port on the local host
   DatagramSocket socket = new DatagramSocket();
   //Create a datagram packet for sending data
   DatagramPacket packet =
        new DatagramPacket(sendBuf, sendBuf.length,
   address,10001);
   socket.send( packet );

   //Create a datagram packet for receiving data
   DatagramPacket rcvPacket =
        new DatagramPacket(rcvBuf, rcvBuf.length);
   socket.receive(rcvPacket);

   String rcvString = new String( rcvPacket.getData(),
                                  rcvPacket.getOffset(),
                                   rcvPacket.getLength() );
   socket.close();
}}
```

socket()

sendto()

recvfrom()

close()

TCP: implementacija poslužitelja

1. Kreirati socket poslužitelja:

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

2. Čekati korisnički zahtjev (blokira proces do klijentskog zahtjeva!!!):

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

3. Kreirati I/O stream za komunikaciju s klijentom

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

4. Komunikacija s klijentom

```
Receive from client: String line = is.readLine();
Send to client: os.writeBytes("Hello\n");
```

5. Zatvoriti socket:

```
client.close();
```

TCP: implementacija klijenta

1. Kreirati socket:

```
client = new Socket( server, port_id );
```

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

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

3. Komunikacija s poslužiteljem:

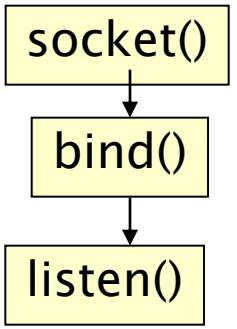
-
```
//Receive data from the server:
String line = is.readLine();
```
-
```
//Send data to the server:
os.writeBytes("Hello\n");
```

4. Zatvoriti socket:

```
client.close();
```

Primjer TCP poslužitelja (1)


```
import java.io.PrintWriter;
import java.io.BufferedReader;
import java.io.InputStreamReader;
import java.io.IOException;
import java.net.Socket;
import java.net.ServerSocket;

public class TCPServer {
   public static void main(String args[]) throws IOException,
        UnknownHostException  {

   int port = 10002;
   ServerSocket serverSocket = new ServerSocket(port);

   String rcvStr = null;
   String sendStr = null;

   ...
```

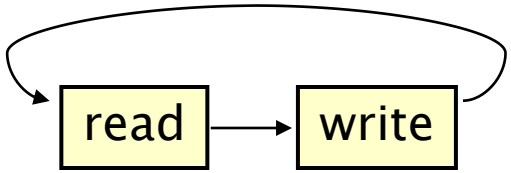


Primjer TCP poslužitelja (2)


```
...
   while( true ){
      Socket socket = serverSocket.accept();
      PrintWriter outToClient =
            new PrintWriter(socket.getOutputStream(), true);
      BufferedReader inFromClient = new BufferedReader(new

      InputStreamReader(socket.getInputStream()));
      while( (rcvStr = inFromClient.readLine()) != null ) {
            System.out.println( "Server received " + rcvStr );
            if( rcvStr.equals( "\n" ))
               break;
            outToClient.println(rcvStr.toUpperCase());
            System.out.println( "Server sends:\t" + sendStr);
      }
      outToClient.close();
      inFromClient.close();
      socket.close();
   }
}}
```

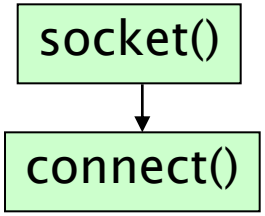
accept()

close()



Primjer TCP klijenta (1)


```
import java.io.IOException;
import java.io.PrintWriter;
import java.io.BufferedReader;
import java.io.InputStreamReader;
import java.net.Socket;

public class TCPClient {
    public static void main(String args[]) throws
   IOException, UnknownHostException {

        String serverName = new String("localhost");
        int port = 10002;

        //create the socket connection
        Socket clientSocket = new Socket( serverName,
   port );
        String sendString = new String("Any string...");
   ...
```



Primjer TCP klijenta (2)


```
...
   //get the socket's output stream and open a PrintWriter on
   it
   PrintWriter outToServer =
        new PrintWriter( clientSocket.getOutputStream(),
   true);

   //get the socket's input stream and open a BufferedReader
   on it
   BufferedReader inFromServer = new BufferedReader(
        new InputStreamReader
   (clientSocket.getInputStream()));

   outToServer.println(sendString);
   String rcvString = inFromServer.readLine();
   System.out.println("FROM SERVER:" + rcvString);

   outToServer.println("\n");
   clientSocket.close();
  }}
```

write()

read()

close()

Paket `java.net`

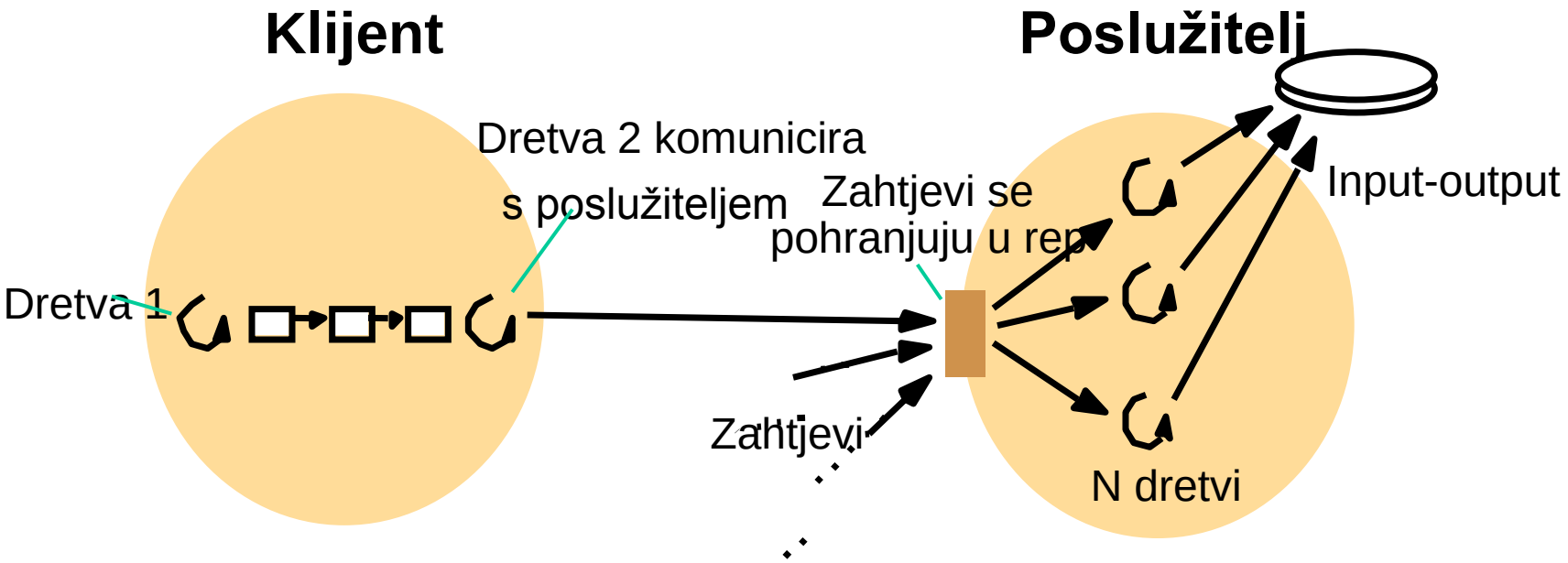
http://java.sun.com/javase/6/docs/api/java/net/package-summary.html

- Osnovne klase
  - Socket, ServerSocket, URL, URLConnection, (koriste TCP)
  - DatagramPacket, DatagramSocket, MulticastSocket (koriste UDP)
- Java Networking Tutorial
  http://java.sun.com/docs/books/tutorial/networking/
- http://www.unix.com.ua/orelly/java-ent/jnut/ch16_01.htm

Sadržaj predavanja

- Uvod
  - Interakcijski model
  - Komunikacija
  - Procesi
  - Međuoprema
- Međuoprema za komunikaciju raspodijeljenih procesa
  - 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)

Višedretveni klijent i poslužitelj



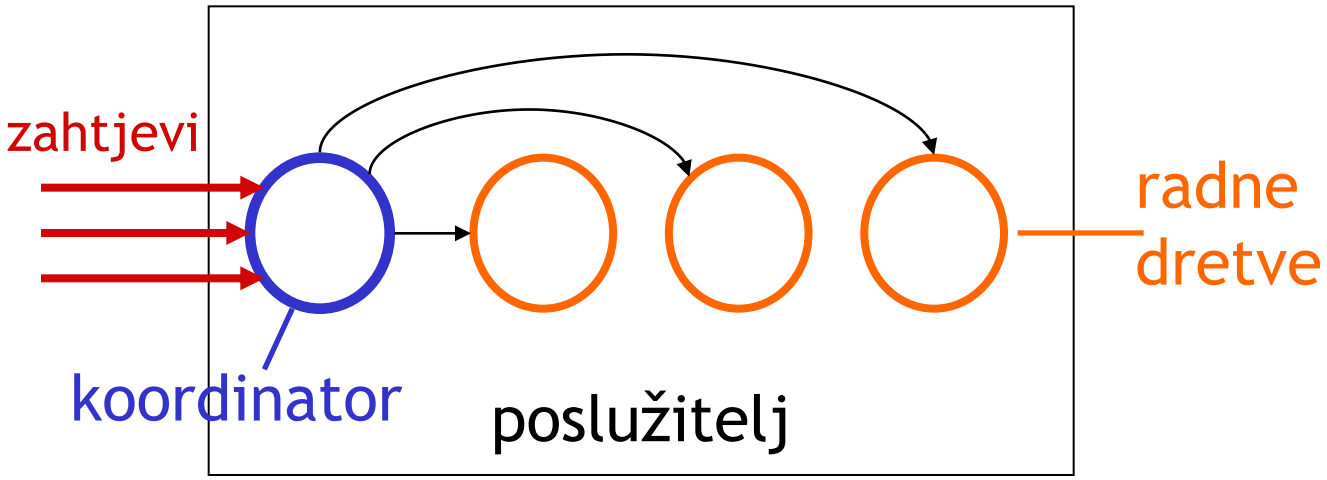
Uobičajene zadaće na strani klijenta:

- korisničko sučelje,
- složeno procesiranje,
- otvaranje mrežne konekcije i primanje podataka

Uobičajene zadaće na strani poslužitelja:

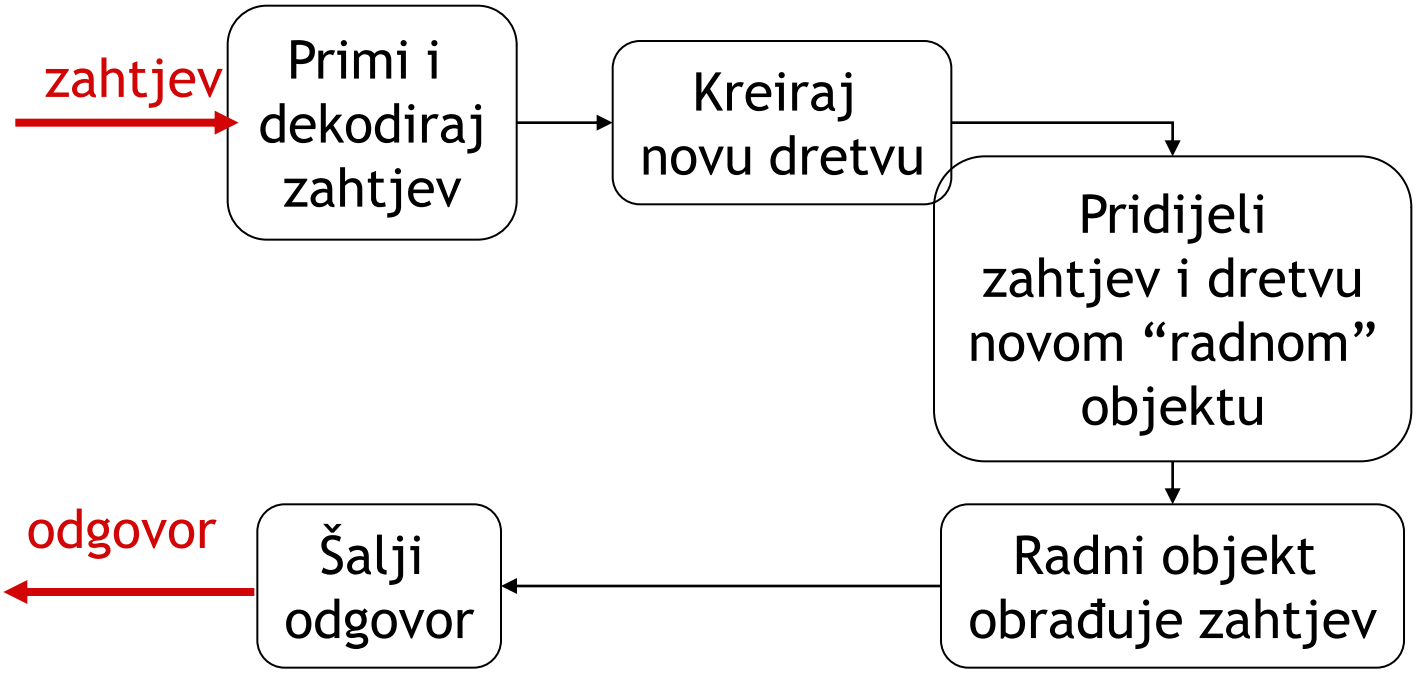
- konkurentni klijentski pozivi
- rad s diskom

Višedretveni poslužitelj (1)

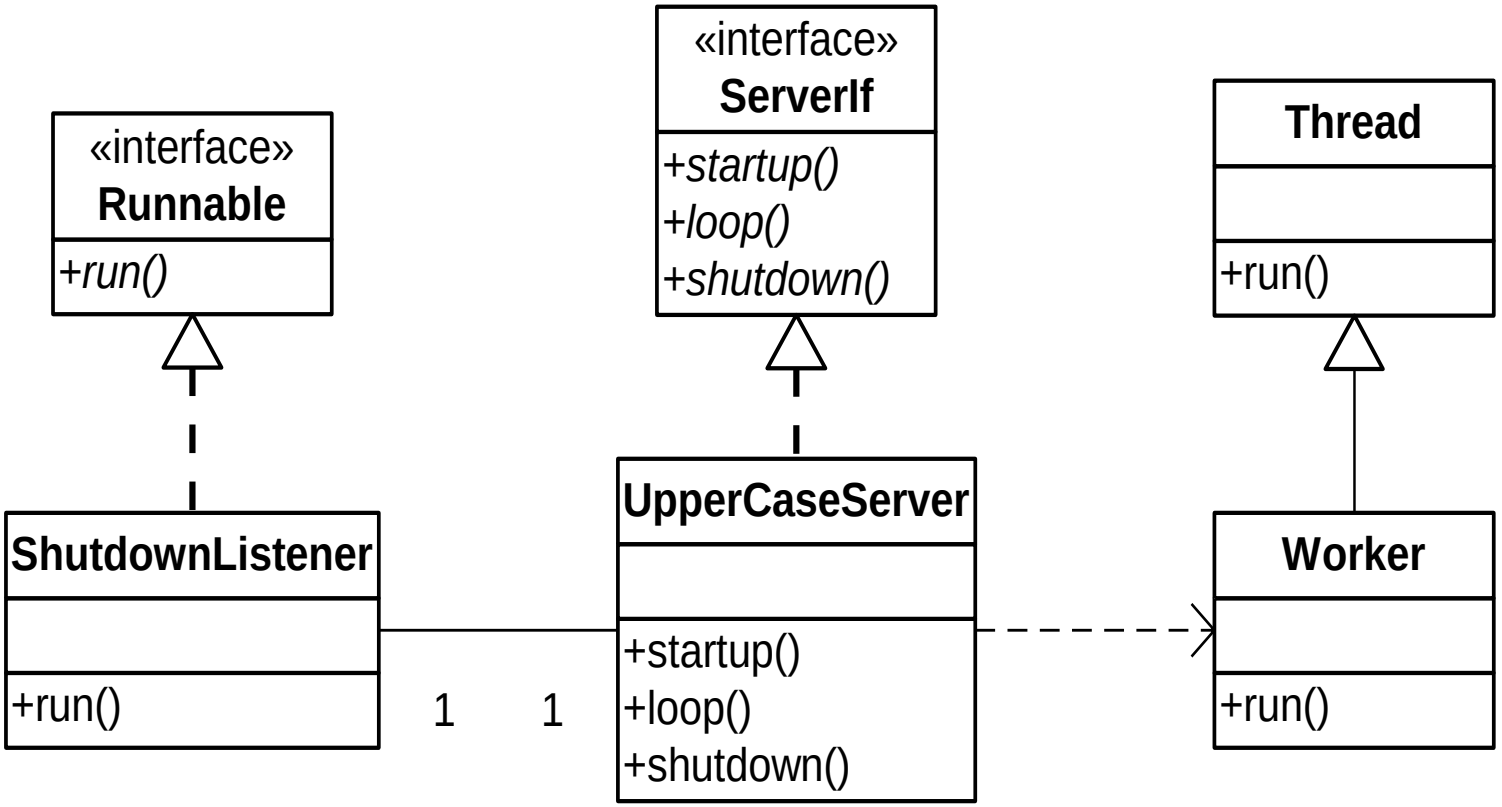


Model koordinator/radna dretva
(*dispatcher/worker model*)

Višedretveni poslužitelj (2)



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();

   // Sets the running flag that indicates server running
   status.
   // @param flag running flag
   public void setRunningFlag(boolean flag);
}
```

Poslužitelj (1)


```
public class UpperCaseServer implements ServerIf {

   private String       hostName = null;

   private int          port;

   private ServerSocket serverSocket;

   private boolean runningFlag = false;

   //Reference to a shutdown listener process, it accepts
   shutdown
   //requests.
   private ShutdownListener shutdownListener = null;

   //The number of active TCP connections.
   private int activeConnections = 0;

   private final static int MAX_CLIENTS = 10;
...
```

Poslužitelj (2)


```
...
   public UpperCaseServer( int portNo ) {

      try {
         //determine the local hostname
         hostName = InetAddress.getLocalHost().getHostName();
      } catch (UnknownHostException e) {
         e.printStackTrace();
         System.exit(-1);
      }

      port = portNo;
      if( port < 1024 ) {
         System.err.println( "UpperCaseServer: illegal port
   number ["+ port + "]");
         System.exit(-1);
      }
   }
...
```

Poslužitelj (3)


```
...
   //Starts all required server services.
   public void startup() {
     try {
       //create server socket, bind it to the specified port
       //and set the max queue length for client requests
       serverSocket = new ServerSocket(port, MAX_CLIENTS);

       //set the running flag to true
       runningFlag = true;

       //create shutdown listener in a new thread
       shutdownListener = new ShutdownListener(this, 4456);
       new Thread( shutdownListener ).start();

     } catch( IOException e) {
       e.printStackTrace();
       System.exit(-1);
     }
   }...
```

Poslužitelj (4)


```
//The main loop for accepting client requests.
public void loop() {
  try {   //set timeout to avoid blocking
    serverSocket.setSoTimeout( 500 );
  } catch( SocketException e ){
    e.printStackTrace();
    System.exit(-1);
  }
  while( runningFlag ) {
     try {
       //accept requests and create a new Worker object
       //in a new thread, or throw a SocketTimeoutException
       Thread w = (Thread)new Worker(serverSocket.accept());
       w.start();
       activeConnections++;
     } catch( SocketTimeoutException ste ) {
       //do nothing, check the runningFlag
     } catch( IOException e ) {
       e.printStackTrace();
       System.exit(-1);
     }}}
```

Poslužitelj (5)


```
...
   public void shutdown() {
        while( activeConnections > 0 ) {
          System.out.println( "WARNING: There are still active
               connections" );
          try {
               Thread.sleep( 5000 );
          } catch( java.lang.InterruptedException e ){}
        }
        if( activeConnections == 0 ) {
          System.out.println( "Server shutdown." );
          if( serverSocket != null )
               try {
                 serverSocket.close();
               } catch( IOException e ) {
                 e.printStackTrace();
                 System.exit(-1);
               }
        }}...
```

Poslužitelj (6)


```
...
   //The main method creates a new server object, initiates
   server
   //startup, calls the loop method,
   //and when the loop terminates invokes the shutdown
   method.
   public static void main(String argv[]) {

        UpperCaseServer server = new UpperCaseServer();

        server.startup();

        server.loop();

        server.shutdown();

        System.exit(0);
   }
```

Worker (1)


```
//inner class within UpperCaseServer
private class Worker extends Thread {
  Socket socket = null;
  Worker( Socket sckt ){
    super( "UpperCaseServer.Worker" );
    socket = sckt;
}
//Creates reader and writer for the socket, reads a line
from
//the reader, transforms it to upper case, and sends the
//transformed string to client.
public void run() {
    String clientInput = null;
    String capitalizedInput = null;
    try {
      PrintWriter outToClient =
        new PrintWriter(socket.getOutputStream(), true);
      BufferedReader inFromClient =
        new BufferedReader(new InputStreamReader
                           (socket.getInputStream()));
```

Worker (2)


```
        while( (clientInput = inFromClient.readLine()) !=
null ){
            System.out.println( "Server received from " +
              socket.getRemoteSocketAddress().toString() +
":\t"
              + clientInput );
            if( clientInput.equals( "\n" ))
                  break;
            capitalizedInput = clientInput.toUpperCase();
            outToClient.println(capitalizedInput);
            System.out.println( "Server sends:\t" +
                  capitalizedInput );
        }
        outToClient.close();
        inFromClient.close();
        if( socket != null )
          socket.close();
        activeConnections--;
    } catch( IOException e ) {
       e.printStackTrace();
    }}}
```

ShutdownListener (1)


```
//Creates a datagram socket that listens on port 4456 for
// shutdown requests.
public class ShutdownListener implements Runnable {
   //Reference to the server that will be shutdown.
   private ServerIf       server = null;
   private DatagramSocket socket = null;
   int                    port;
   //Running flag: when true the datagram socket is running and
   //accepting packets when false the listener process terminates.
   boolean                runningFlag = false;

   public ShutdownListener( ServerIf srv, int portNo ) {
        server = srv;
        port = portNo;
        if ( port > 1024 )
          try {
               socket = new DatagramSocket( port );
               runningFlag = true;
          } catch( IOException e ) {
               e.printStackTrace();
               System.exit(-1);
          }}
```

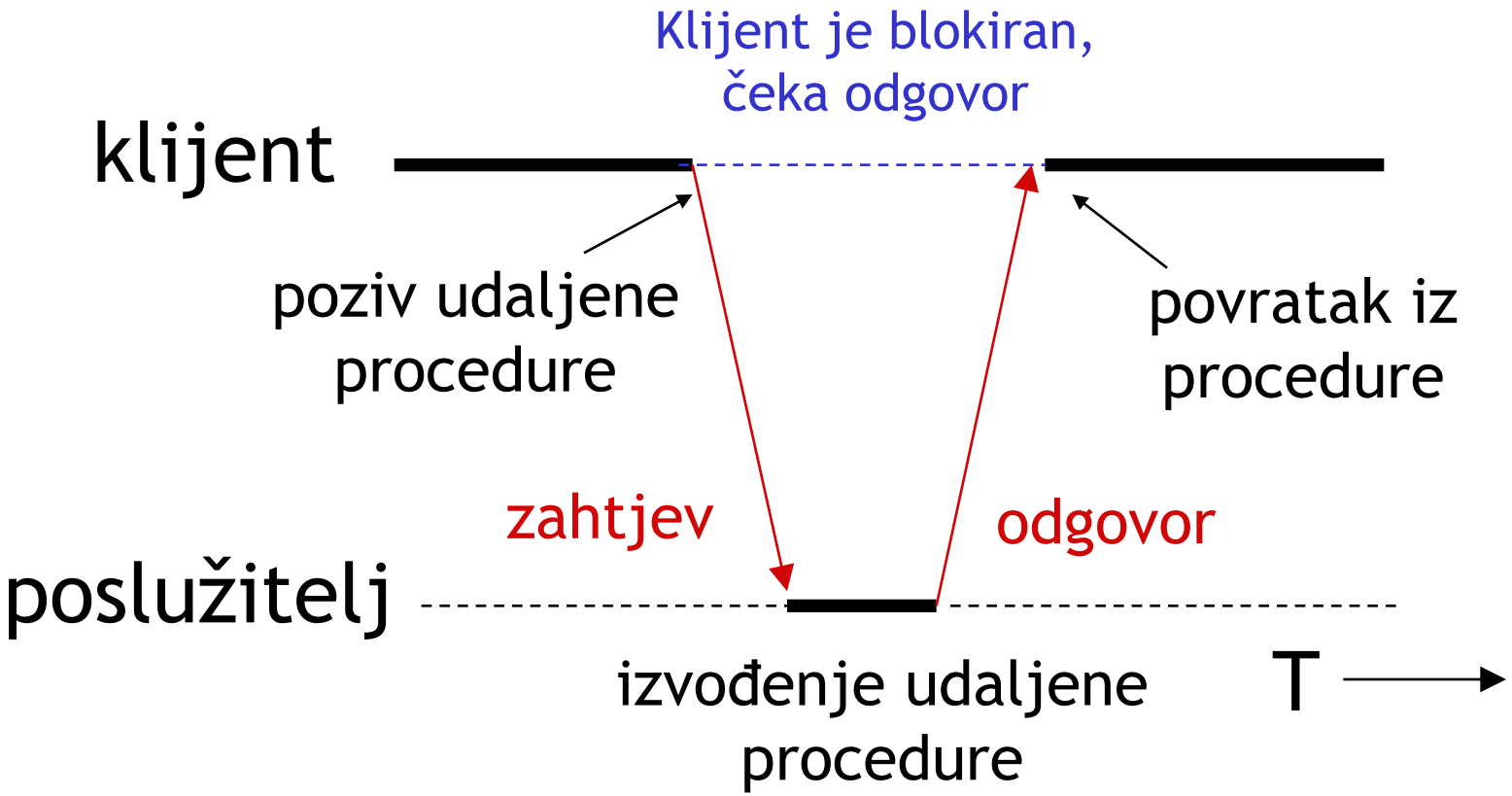
ShutdownListener (2)


```
//Listens for datagram packets. When the packet contains the
string
//"Shutdown now" sets the runningFlag of the server to false.
public void run() {
  byte[] buf = new byte[256];
  String received;
  while( runningFlag ){
    DatagramPacket packet = new DatagramPacket(buf,buf.length);
     try {
            socket.receive( packet );
            received = new String( packet.getData(),
                        packet.getOffset(), packet.getLength());
            if( received.equals( "Shutdown now" ) ) {
                    server.setRunningFlag( false );
                    //set my running flag to false
                    runningFlag = false; }
    } catch( IOException e ) {
            e.printStackTrace();
    }
  }
  socket.close();
}}
```

Sadržaj predavanja

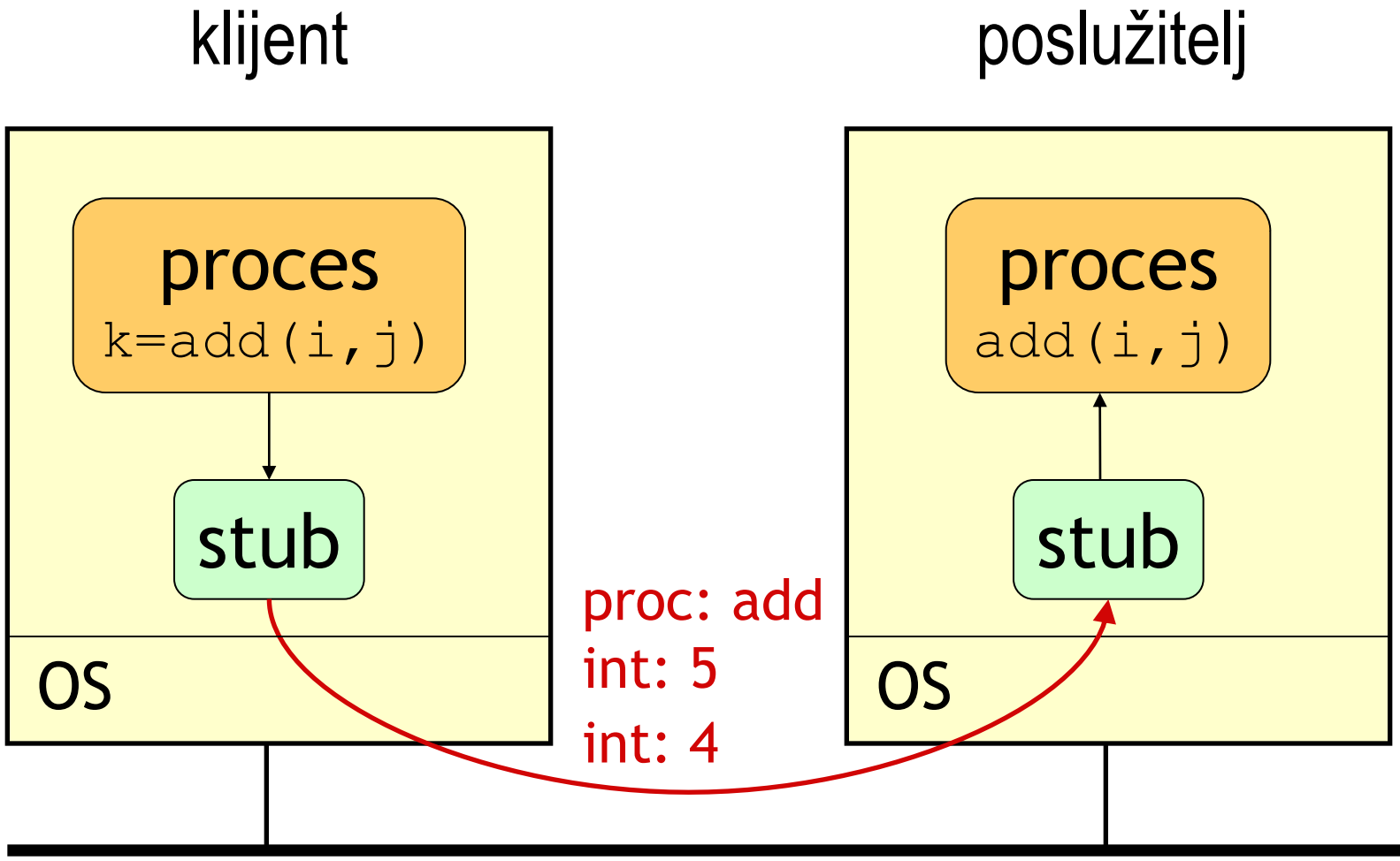
- Uvod
  - Interakcijski model
  - Komunikacija
  - Procesi
  - Međuoprema
- Međuoprema za komunikaciju raspodijeljenih procesa
  - Komunikacija korištenjem priključnica (Socket API)
    - Primjeri TCP/UDP klijenta i poslužitelja
    - Oblikovanje višedretvenog poslužitelja
  - Poziv udaljene procedure (*Remote Procedure Call* - RPC)
  - Poziv udaljene metode (*Remote Method Invocation* - RMI)

Poziv udaljene procedure (RPC)



Omogućiti procesima pozivanje i izvođenje procedura na udaljenom računalu.

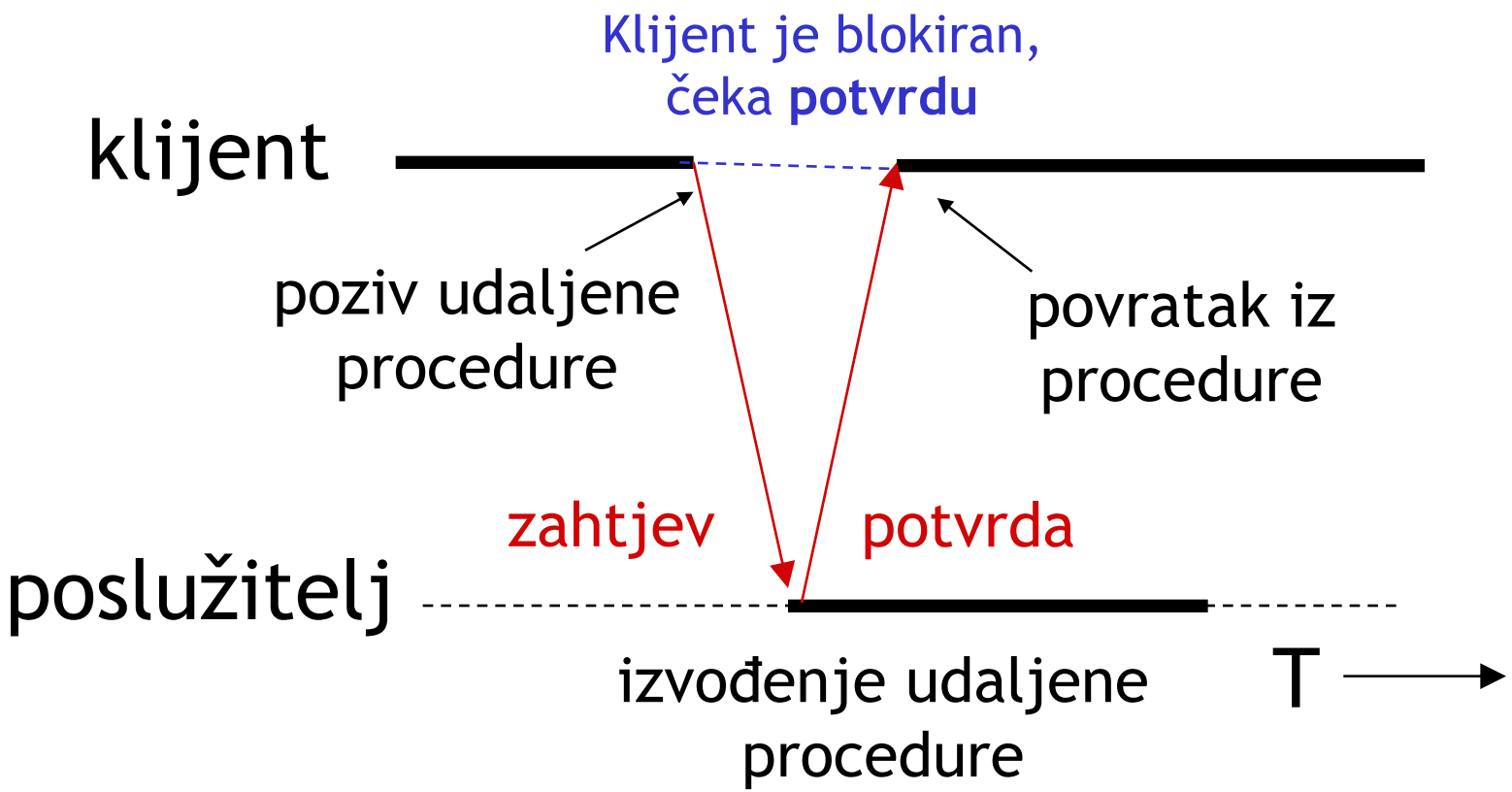
Izvođenje RPC-a



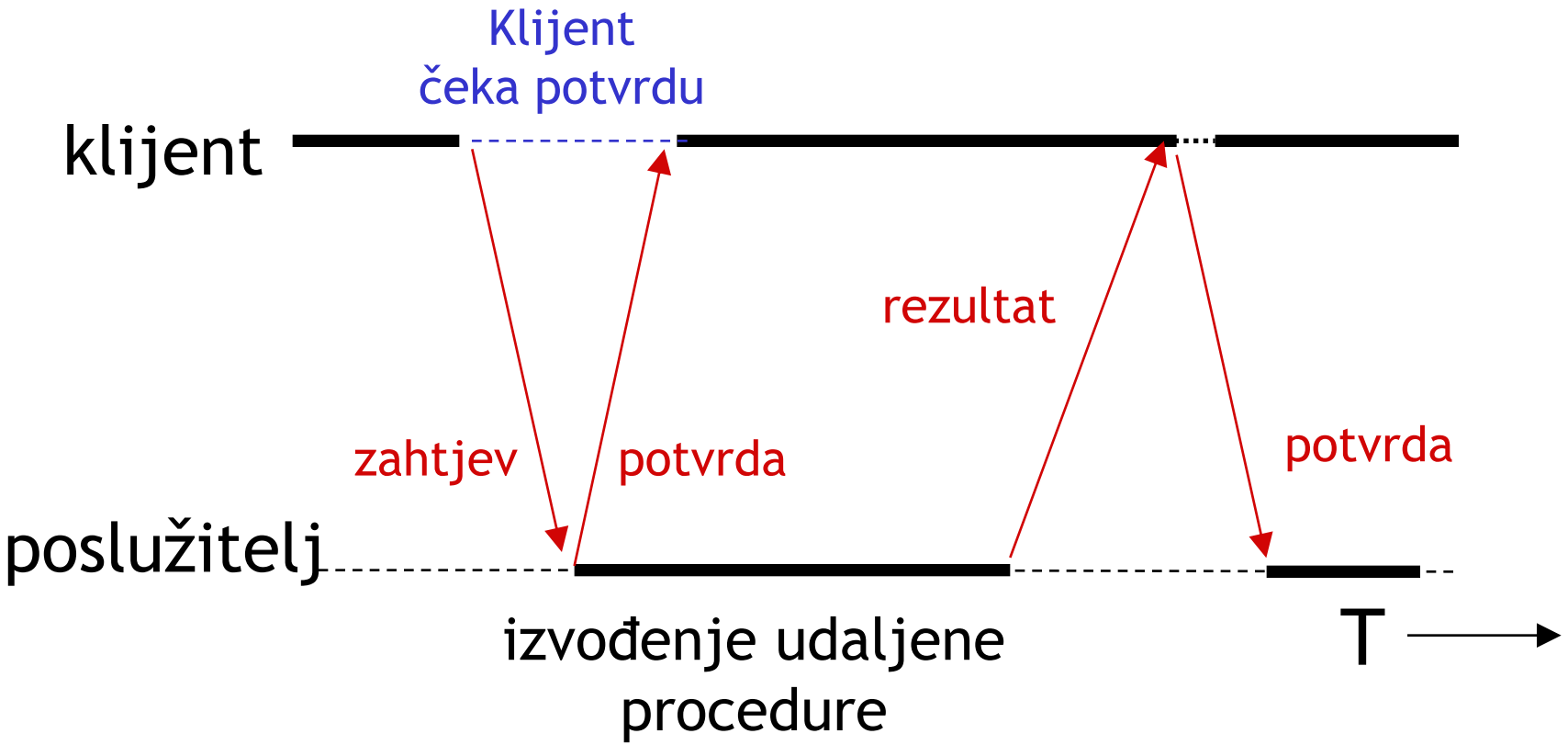
Prenošenje parametara

- *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
  - Različita računala 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



Sadržaj predavanja

- Uvod
  - Interakcijski model
  - Komunikacija
  - Procesi
  - Međuoprema
- Međuoprema za komunikaciju raspodijeljenih procesa
  - 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)

Poziv udaljene metode

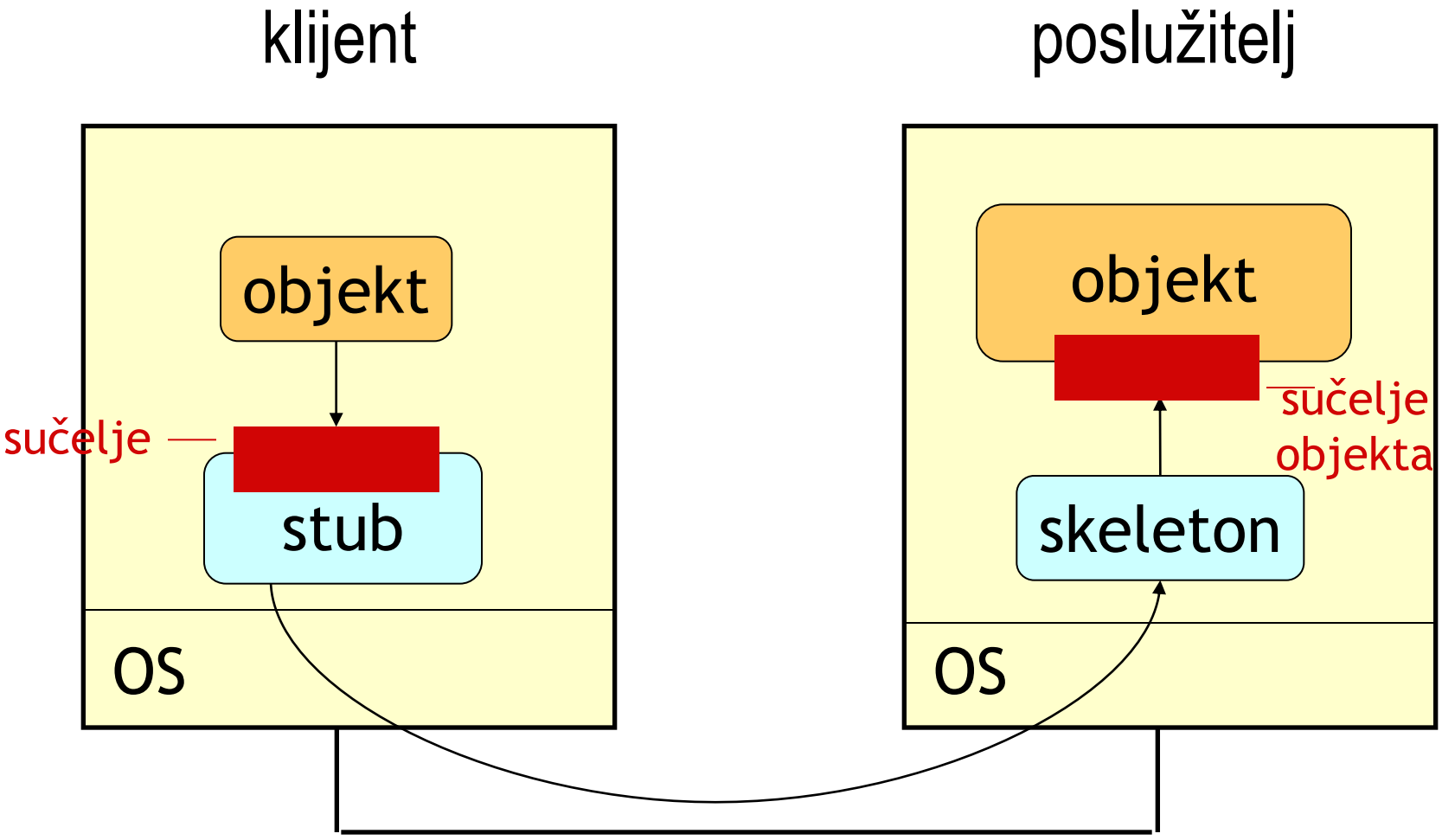
Remote Method Invocation (RMI)

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

Raspodijeljeni (udanjeni) 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*

Java Remote Method Invocation

- Sunovo rješenje za komunikaciju raspodijeljenih objekata na načelu poziva udaljene 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

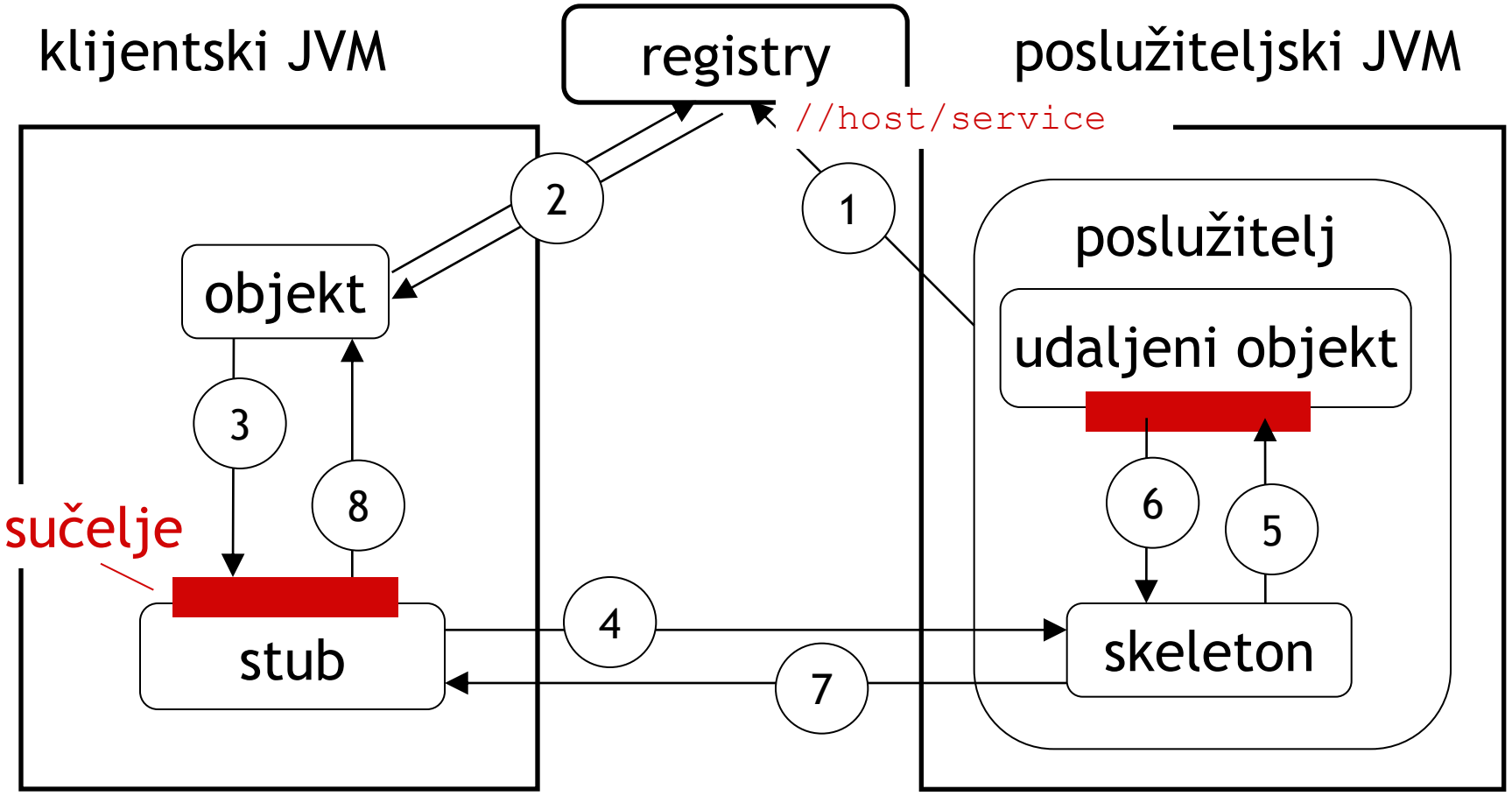
Javin model objekta

- 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

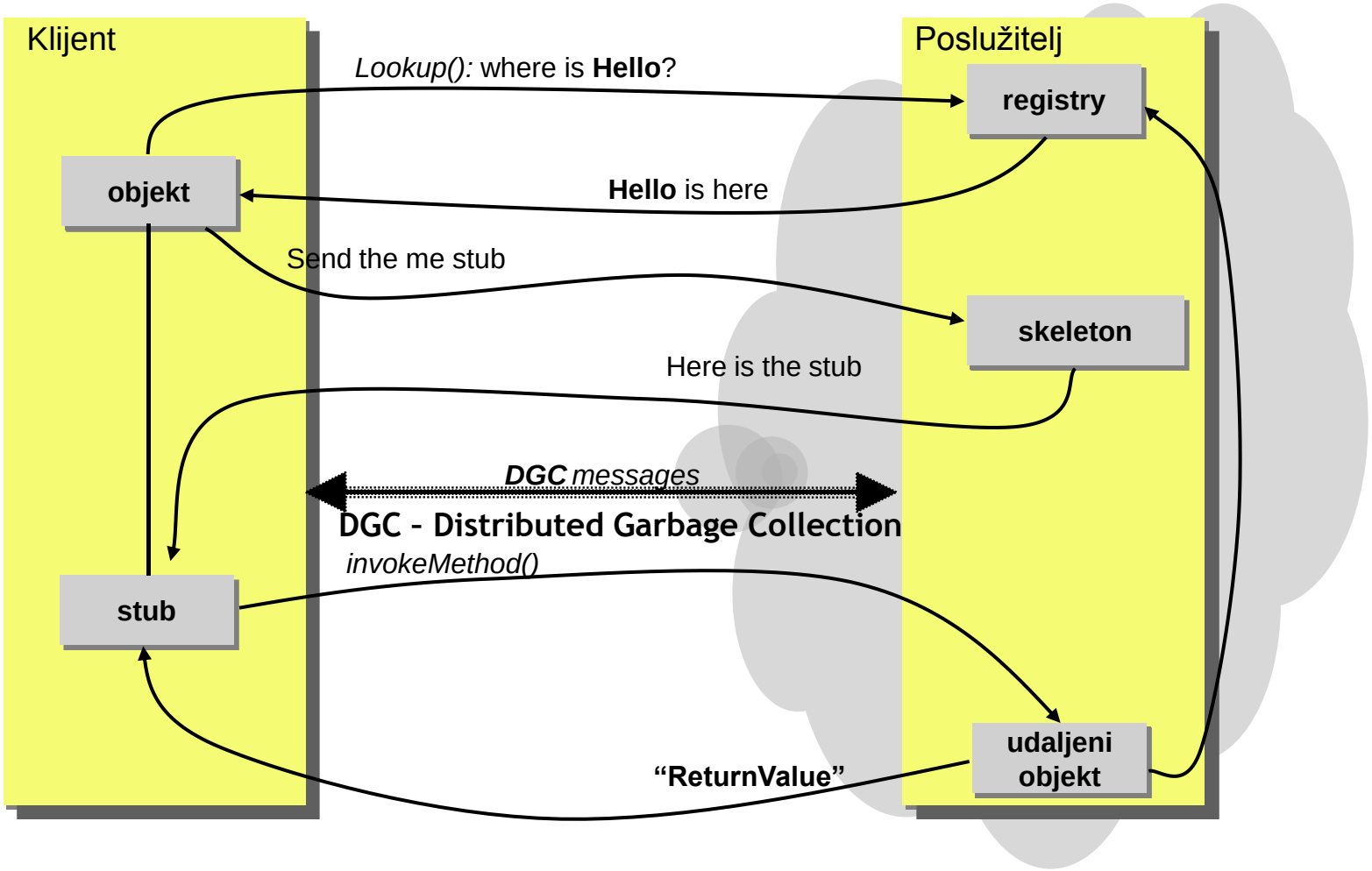
- lokalni objekti moraju se serijalizirati i prenosi se njihova vrijednost (*pass by value*)
  - implementiraju sučelje `Serializable`
- udaljeni se objekti prenose koristeći referencu (*pass by reference*)
  - implementiraju sučelje java.rmi.Remote i pravilno su eksportirani `UnicastRemoteObject.exportObject()`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

Protokol Java RMI (1)

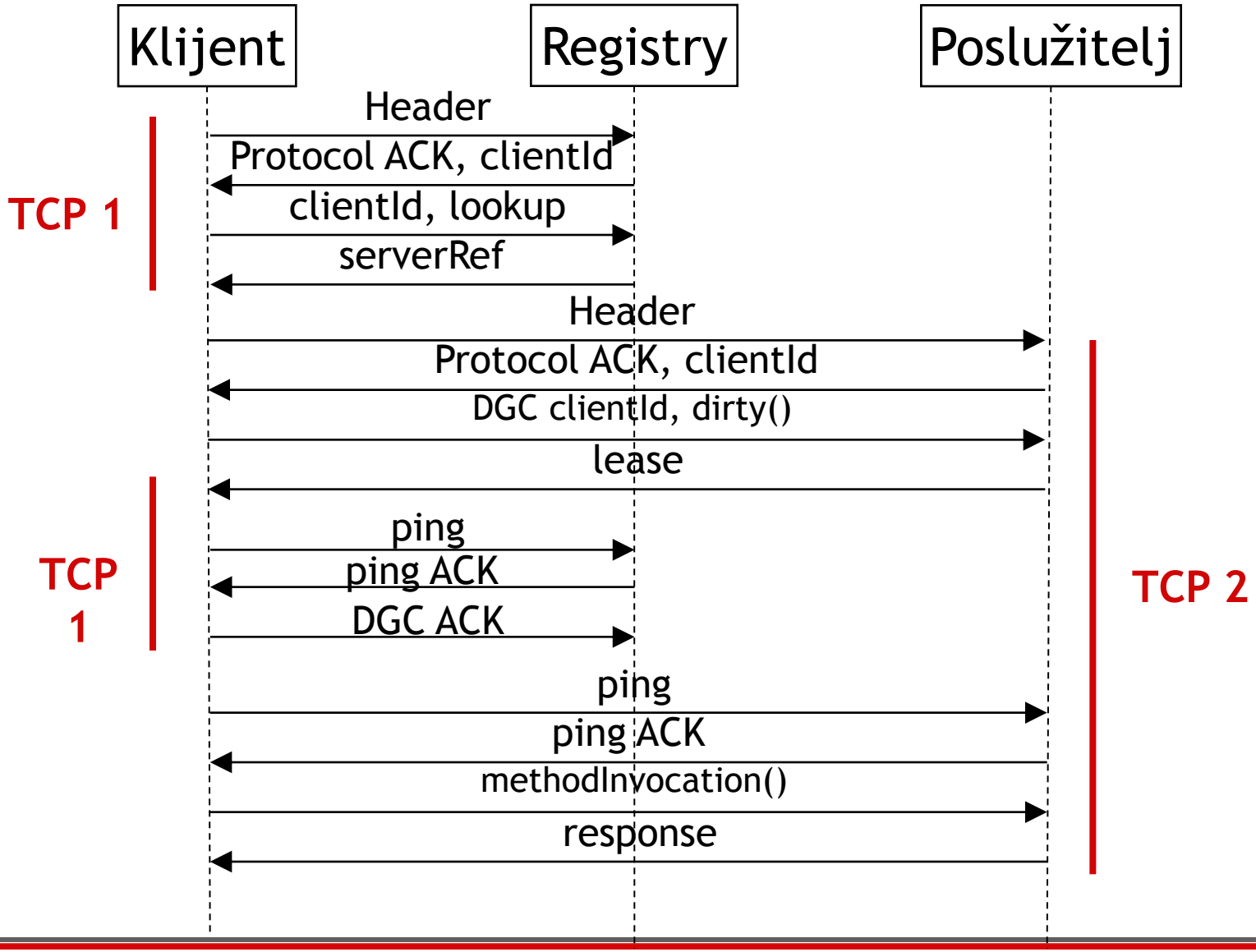


Pretpostavka: stub postoji na strani klijenta

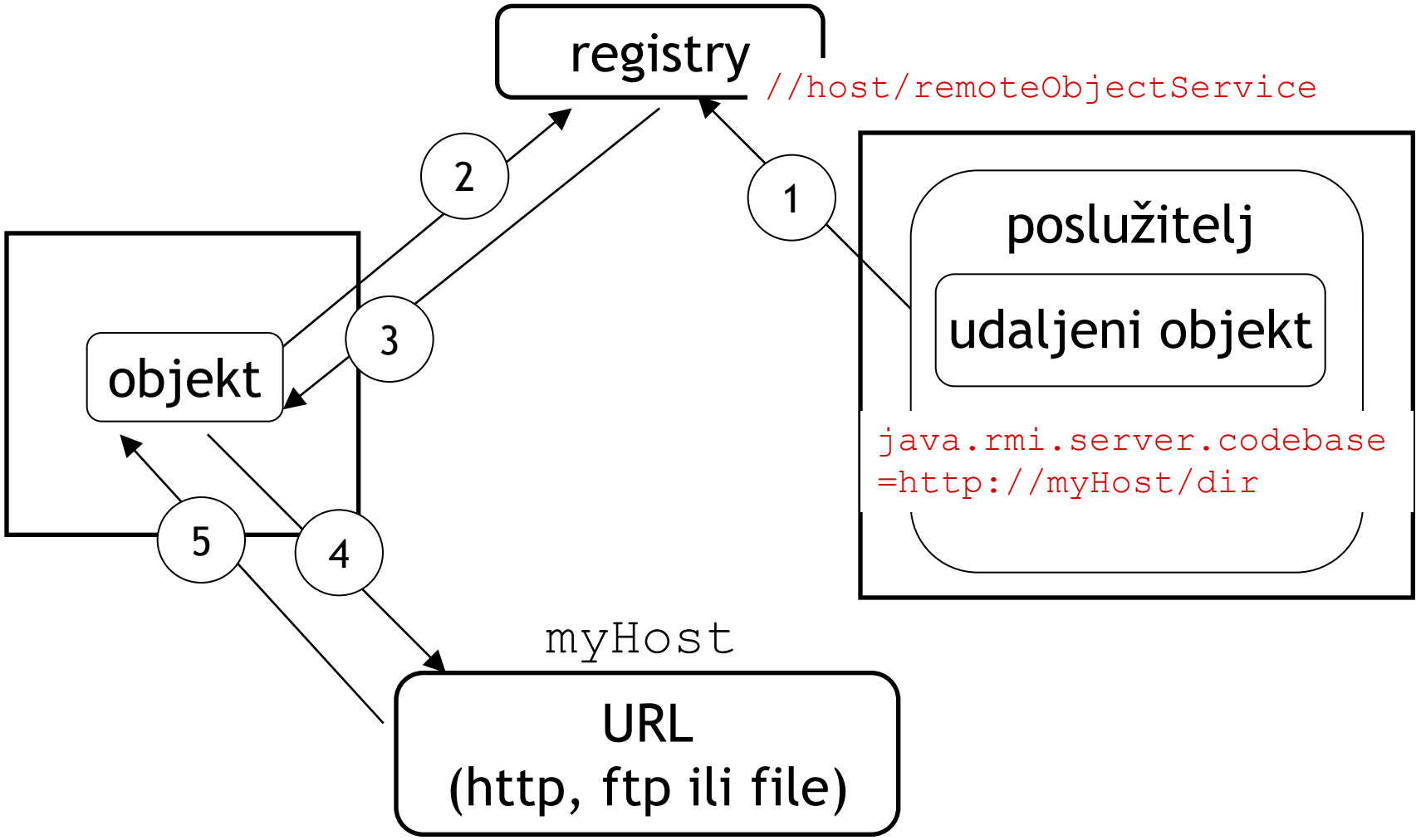
Protokol Java RMI (2)



Protokol Java RMI (3)



Dinamičko učitavanje klase stuba (1)



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);
   }}
```

Serijalizacija objekta

- omogućuje kodiranje objekata u niz bitova te dekodiranje niza bitova i stvaranje originalnog objekta
- koristi se u Javi za prijenos objekata kod komunikacije *socketima* ili za RMI
- serijalizirani objekt se može zapisati na disk i nakon toga ponovo kreirati deserijalizacijom

Sučelje `Serializable`

- klasa mora implementirati sučelje `Serializable` da bi se njeni objekti mogli serijalizirati
- sučelje `Serializable` nema definirane metode
- postoji standardni način na koji Java serijalizira objekte
  - sve varijable unutar objekta moraju se moći serijalizirati
  - naslijeđena klasa mora se moći serijalizirati
- za posebne slučajeve se mogu definirati pravila serijaliziacije i deserijalizacije

Pravila serijalizacije

- private void writeObject(java.io.ObjectOutputStream out) throws IOException
  - definira pravila za serijalizaciju
  - konstante su dio klase i one se ne serijaliziraju
  - varijable koje se ne žele serijalizirati deklariraju se kao `transient`
- private void readObject(java.io.ObjectInputStream in) throws IOException, ClassNotFoundException
  - definira pravila za deserijalizaciju
  - kreirani objekt mora biti jednak objektu koji nastaje pozivanjem konstruktora

Loš primjer serijalizacije


```
public class StringList implements Serializable {
   private int size = 0;
   private Entry head = null;

   private static class Entry implements Serializable {
       String data;
       Entry next;
       Entry previous;
   }...
}
```

Dobar primjer serijalizacije (1)


```
import java.io.*;

public class StringList implements Serializable {
    private transient int size   = 0;
    private transient Entry head = null;

    private static class Entry {
        String data;
        Entry  next;
        Entry  previous;
    }

    public void add(String s) {
        Entry e = new Entry();
        e.data = s;
        e.next = head;
        if (head != null)
            head.previous = e;
        head = e;
    }...
```

Dobar primjer serijalizacije (2)


```
...
    private void writeObject(ObjectOutputStream s)
            throws IOException {
        s.defaultWriteObject();
        s.writeInt(size);
        // Write out all elements in the proper order.
        for (Entry e = head; e != null; e = e.next)
            s.writeObject(e.data);
    }

    private void readObject(ObjectInputStream s)
            throws IOException, ClassNotFoundException {
        s.defaultReadObject();
        int size = s.readInt();
        // Read in all elements and insert them in list
        for (int i = 0; i < size; i++)
            add((String)s.readObject());
    }
}
```

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 distribuiranog 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`

http://java.sun.com/javase/6/docs/api/java/rmi/package-summary.html

- http://www.unix.com.ua/orelly/java-ent/jenut/ch13_01.htm
- **The Java Tutorials, Trail: RMI**
  http://java.sun.com/docs/books/tutorial/rmi/index.html
- **jGuru: Remote Method Invocation (RMI)**
  http://java.sun.com/developer/onlineTraining/rmi/RMI.html
- **Discover the secrets of the Java Serialization API**
  http://java.sun.com/developer/technicalArticles/Programming/serialization/

Literatura

- A. S. Tanenbaum, M. Van Steen: Distributed Systems: Principles and Paradigms, Second Edition, Prentice Hall, 2007
  poglavlja 2 i 3
- G. Coulouris, J. Dollimore, T. Kindberg: Distributed Systems: Concepts and Design, 4th edition, Addison-Wesley, 2005
  poglavlja 4 i 5