PARADIGMI DI PROGRAMMAZIONE

A.A. 2021/2022

Laurea triennale in Informatica

15: Primitive di Networking

PRIMITIVE DI NETWORKING

Le astrazioni di base che abbiamo a disposizione per la comunicazione fra più JVM corrispondono direttamente alle caratteristiche del protocollo TCP/IP:

- Sockets
- Datagrams

SOCKETS

Un `Socket` è una astrazione per la comunicazione bidirezionale punto-punto fra due sistemi.

```java
package java.net;
/**
* This class implements client sockets (also
* called just "sockets"). A socket is an
* endpoint for communication between two machines.
**/
public class Socket implements Closeable;
```

```java
/**
* Creates a socket and connects it to the specified
* remote address on the specified remote port.
* The Socket will also bind() to the local address
* and port supplied.
*
* @param address the remote address
* @param port the remote port
* @param localAddr the local address or null for anyLocal
* @param localPort the local port, o zero for arbitrary
**/
public Socket(InetAddress address, int port,
  InetAddress localAddr, int localPort)
    throws IOException
```

Un *client* `Socket` è un socket per iniziare il collegamento verso un'altra macchina.

Un *server* `Socket` è un socket per attendere che un'altra macchina ci chiami.

```
package java.net;
/**
* A server socket waits for requests to come
* in over the network.
**/
public class ServerSocket implements Closeable;
```

```java
/**
* Create a server with the specified port, listen backlog,
* and local IP address to bind to.
*
* @param port the local port, o zero for arbitrary
* @param backlog maximum length of the queue of incoming
* connections
* @param bindAddr the local InetAddress the server
* will bind to
**/
public ServerSocket(int port, int backlog,
  InetAddress bindAddr)
    throws IOException
```

Un `Socket` rappresenta un collegamento attivo.

Lato client, lo diventa appena il collegamento (l'handshake TCP/IP) è completato.

Lato server, viene ritornato quando un collegamento viene ricevuto e completato.

```java
/**
* Listens for a connection to be made to this socket and
* accepts it. The method blocks until a connection is made.
*
**/
public Socket accept() throws IOException
```

Un `Socket` (sia *client* che *server* collegato) ci fornisce un `InputStream` ed un `OutputStream` per ricevere e trasmettere dati nel collegamento.

```
/**
* Returns an input stream for this socket.
*
**/
public InputStream getInputStream()
  throws IOException
```

```java
/**
* Returns an output stream for this socket.
*
**/
public OutputStream getOutputStream()
  throws IOException
```

Questi stream sono sottoposti a diverse regole:

- sono thread-safe, ma un solo thread può scrivere o leggere per volta, pena eccezioni
- i buffer sono limitati, ed in alcuni casi i dati in eccesso possono essere silenziosamente scartati

- lettura e scrittura possono bloccare il thread
- alcune connessioni possono avere caratteristiche particolari (per es. urgent data)

Una volta terminato l'uso, il `Socket` va chiuso esplicitamente.

```java
/**
* Closes this socket. Any thread currently blocked in
* accept() will throw a SocketException.
**/
public void close() throws IOException
```

Avendo come astrazione della comunicazione gli Stream, la comunicazione via socket ha il difetto di richiedere la definizione esplicita di un confine fra richieste e risposte.

Dallo Stream non possiamo sapere se la richiesta è terminata, e non possiamo segnalare di aver inviato tutta la risposta.

it.unipd.pdp2021.sockets.HelloServer

```
try (
  ServerSocket serverSocket = new ServerSocket(portNumber);
  Socket socket = serverSocket.accept();
  PrintWriter out = new PrintWriter(
    socket.getOutputStream(), true);
  BufferedReader in = new BufferedReader(
  new InputStreamReader(socket.getInputStream()));
)
```

```
{
  String inputLine;
  System.out.println("Received data.");
  while ((inputLine = in.readLine()) != null) {
    System.out.println("Received: " + inputLine);
    out.println("Hello " + inputLine);
  }
  System.out.println("Server closing.");
}
```

Il protocollo fra client è server è "linea di testo terminata da `\n`".

Appena il server riceve il carattere di a capo (e non prima), `BufferedReader::readline` ritorna ed il server risponde.

it.unipd.pdp2021.sockets.HelloClient

```
try (
  Socket socket = new Socket("127.0.0.1", portNumber);
  PrintWriter out = new PrintWriter(
  socket.getOutputStream(), true);
  BufferedReader in = new BufferedReader(
  new InputStreamReader(socket.getInputStream()));
) {
  System.out.println("Connected, sending " + args[0]);
  out.println(args[0]);
  System.out.println("Got back: " + in.readLine());
}
```

DATAGRAMS

Un `Datagram` è un'astrazione per l'invio di un pacchetto di informazioni singolo verso una destinazione o verso più destinazioni.

Il concetto di connessione è diverso rispetto al socket, e non c'è garanzia di ricezione o ordinamento in arrivo.

```java
package java.net;
/**
* Datagram packets are used to implement a connectionless
* packet delivery service.
**/
public final class DatagramPacket
```

```java
/**
* Constructs a DatagramPacket for receiving packets.
*
* @param buf buffer for holding the incoming datagram
* @param length the number of bytes to read.
**/
public DatagramPacket(byte[] buf, int length)
```

```java
/**
* Constructs a DatagramPacket for receiving packets.
*
* @param buf the packet data
* @param length the packet length
* @param address the destination address
* @param the destination port number
**/
public DatagramPacket(byte[] buf, int length,
  InetAddress address, int port)
```

Un `DatagramPacket` è pur sempre un pacchetto UDP, quindi soggiace alle stesse limitazioni:

In particolare, la dimensione massima è di 64Kb.

Protocollo	MTU (bytes)
IPv4 (link)	68
IPv4 (host)	576
IPv4 (Ethernet)	1500
IPv6	1280
802.11	2304

Per inviare o ricevere abbiamo una sola classe, senza distinzione di operatività.

```
package java.net;
/**
* Constructs a datagram socket and binds it to the
* specified port on the local host machine.
*
* @param port the port to use
**/
public DatagramSocket(int port) throws SocketException
```

Possiamo "connettere" una `DatagramSocket` già creata ad un indirizzo, ma il significato è diverso.

```java
/**
* Connects the socket to a remote address for this
* socket. When a socket is connected to a remote address,
* packets may only be sent to or received from that
* address. By default a datagram socket is not connected.
*
* @param address the remote address for the socket
* @param port the remote port for the socket.
**/
public void connect(InetAddress address, int port)
```

```java
/**
* Sends a datagram packet from this socket. The
* DatagramPacket includes information indicating the data
* to be sent, its length, the IP address of the remote host,
* and the port number on the remote host.
*
* @param p the DatagramPacket to be sent
**/
public void send(DatagramPacket p) throws IOException
```

```java
/**
* Receives a datagram packet from this socket. When this
* method returns, the DatagramPacket's buffer is filled
* with the data received. The datagram packet also
* contains the sender's IP address, and the port number
* on the sender's machine.
*
* @param p the DatagramPacket to be sent
**/
public void receive(DatagramPacket p) throws IOException
```

```
/**
* Closes this datagram socket.
*
* Any thread currently blocked in receive() upon this
* socket will throw a SocketException.
*
* @param p the DatagramPacket to be sent
**/
public void close()
```

Con i Datagram la logica del protocollo è differente.
Abbiamo a disposizione:

- la dimensione del messaggio nota (e quindi l'informazione di ricezione completa)
- la possibilità di inviare messaggi a più indirizzi contemporaneamente (multicast)

Ma rispetto ai Socket, perdiamo:

- l'affidabilità: non c'è né garanzia né segnale di consegna
- la reciprocità: c'è una sola direzione; la risposta richiede mettersi in ascolto
- la dimensione: messaggi lunghi subiscono una forte penalità di affidabilità

it.unipd.pdp2021.sockets.EchoServer

```
public void run() {
  byte[] buf = new byte[256];
  DatagramPacket packet = new DatagramPacket(buf, buf.length);
  System.out.println("Server setup. Receiving...");
  try {
    socket.receive(packet);
    String received = new String(
    packet.getData(), 0, packet.getLength());
    System.out.println("Received: " + received);
  } catch (IOException e) { e.printStackTrace();
  } finally { socket.close(); }
}
```

it.unipd.pdp2021.sockets.EchoClient

```
DatagramSocket socket = new DatagramSocket();
byte[] buf = args[0].getBytes();
InetAddress address = InetAddress.getByName("localhost");
DatagramPacket packet = new DatagramPacket(
  buf, buf.length, address, PORT);
socket.send(packet);
socket.close();
```

URL

Già dalla prima versione Java include nativamente una classe per interagire con risorse web.

```java
package java.net;
/**
* Class URL represents a Uniform Resource Locator, a
* pointer to a "resource" on the World Wide Web.
**/
public final class URL
```

Una URL ha un formato complesso ed in grado di esprimere molte cose (protocolli, porte richieste, indirizzi remoti, file, jar, ecc.)

```
/**
* Creates a URL object from the String representation.
**/
public URL(String spec) throws MalformedURLException
```

Possiamo ottenere da una URL direttamente lo stream ottenuto dalla richiesta GET

```java
/**
* Opens a connection to this URL and returns an
* InputStream for reading from that connection.
**/
public InputStream openStream() throws IOException
```

it.unipd.pdp2021.sockets.UrlGet

```
BufferedReader reader = new BufferedReader(
new InputStreamReader(
  new URL("https://httpbin.org/get").openStream()));
String line;
while ((line = reader.readLine()) != null) {
  System.out.println(line);
}
```

Se vogliamo invece effettuare una richiesta POST dobbiamo esplicitamente richiederlo ottenendo la `connection` dalla URL e segnalando che desideriamo usarla a scopi di output.

```
/**
* Returns a URLConnection instance that represents a
* connection to the remote object referred to by the URL.
**/
public URLConnection openConnection() throws IOException
```

```java
package java.net;
/**
* The abstract class URLConnection is the superclass of
* all classes that represent a communications link
* between the application and a URL.
**/
public abstract class URLConnection;
```

```
/**
* Sets the value of the doOutput field for this
* URLConnection to the specified value.
**/
public void setDoOutput(boolean dooutput)
```

```
/**
* Returns an output stream that writes to this connection.
**/
public OutputStream getOutputStream() throws IOException
```

it.unipd.pdp2021.sockets.UrlPost

```
URL url = new URL(https://httpbin.org/post);
URLConnection connection = url.openConnection();
connection.setDoOutput(true);

PrintWriter writer = new PrintWriter(
  connection.getOutputStream());
writer.println("test=val");
writer.close();
```

```
BufferedReader reader = new BufferedReader(
  new InputStreamReader(connection.getInputStream()));
String line;
while ((line = reader.readLine()) != null) {
  System.out.println(line);
}
```

HTTP CLIENT

Per aggiornare le funzionalità fornite dalla classe URL, nella versione 11 è stato introdotta una classe `HttpClient` più versatile ed in grado di fornire maggiore controllo su come le richieste vengono effettuate.

La costruzione del client e delle richieste seguono il *Builder Pattern*: vengono concatenate chiamate a metodi che ritornano un oggetto la cui configurazione viene via via completata, per poi concludersi con l'ultimo metodo che ottiene l'oggetto completamente configurato.

it.unipd.pdp2021.sockets.HttpCln

```
HttpClient client = HttpClient.newHttpClient();
HttpRequest request = HttpRequest.newBuilder()
  .uri(URI.create("https://httpbin.org/get"))
  .build();
```

Una volta costruita la richiesta, la si può eseguire per ottenere una risposta.

Una *builder* non ancora completato può essere usato più volte, copiato per essere ulteriormente modificato, e così via.

```
HttpResponse< String > response =
  client.send(request, BodyHandlers.ofString());

System.out.println(response.statusCode());
System.out.println(response.body());
```

Il parametro `BodyHandler` permette di gestire come trattare il corpo della risposta.

La classe `BodyHandlers` contiene alcune strategie comuni.

Una richiesta può essere anche inviata in modo asincrono. Si ottiene un `CompletableFuture`, versione di `Future` che accetta istruzioni da eseguire al completamento del calcolo.

```
client
  .sendAsync(request, BodyHandlers.ofString())
  .thenApply(HttpResponse::body)
  .thenAccept(System.out::println);
```

Il metodo HTTP da usare viene definito nella costruzione della richiesta.

```
HttpRequest delete = HttpRequest.newBuilder()
  .DELETE()
  .uri(URI.create("https://httpbin.org/delete"))
  .build();
```

Per fornire il contenuto di una richiesta POST o PUT, si usa un parametro di tipo `BodyPublisher`.

```
HttpRequest post = HttpRequest.newBuilder()
  .uri(URI.create("https://httpbin.org/post"))
  .timeout(Duration.ofMinutes(2))
  .header("Content-Type", "application/x-www-form-urlencoded")
  .POST(BodyPublishers.ofString("foo=bar&baz=1"))
  .build();
```

La classe `HttpClient` fornisce inoltre la possibilità di controllare in modo molto fine la gestione del `Executor` che esegue le richieste, il protocollo usato, e molti altri dettagli della comunicazione.

ESEMPIO COMPLETO

Tema: realizzare un server che gestisce il gioco di TicTacToe fra due giocatori.

Realizzare quindi un client che gioca scegliendo una casella libera a caso.

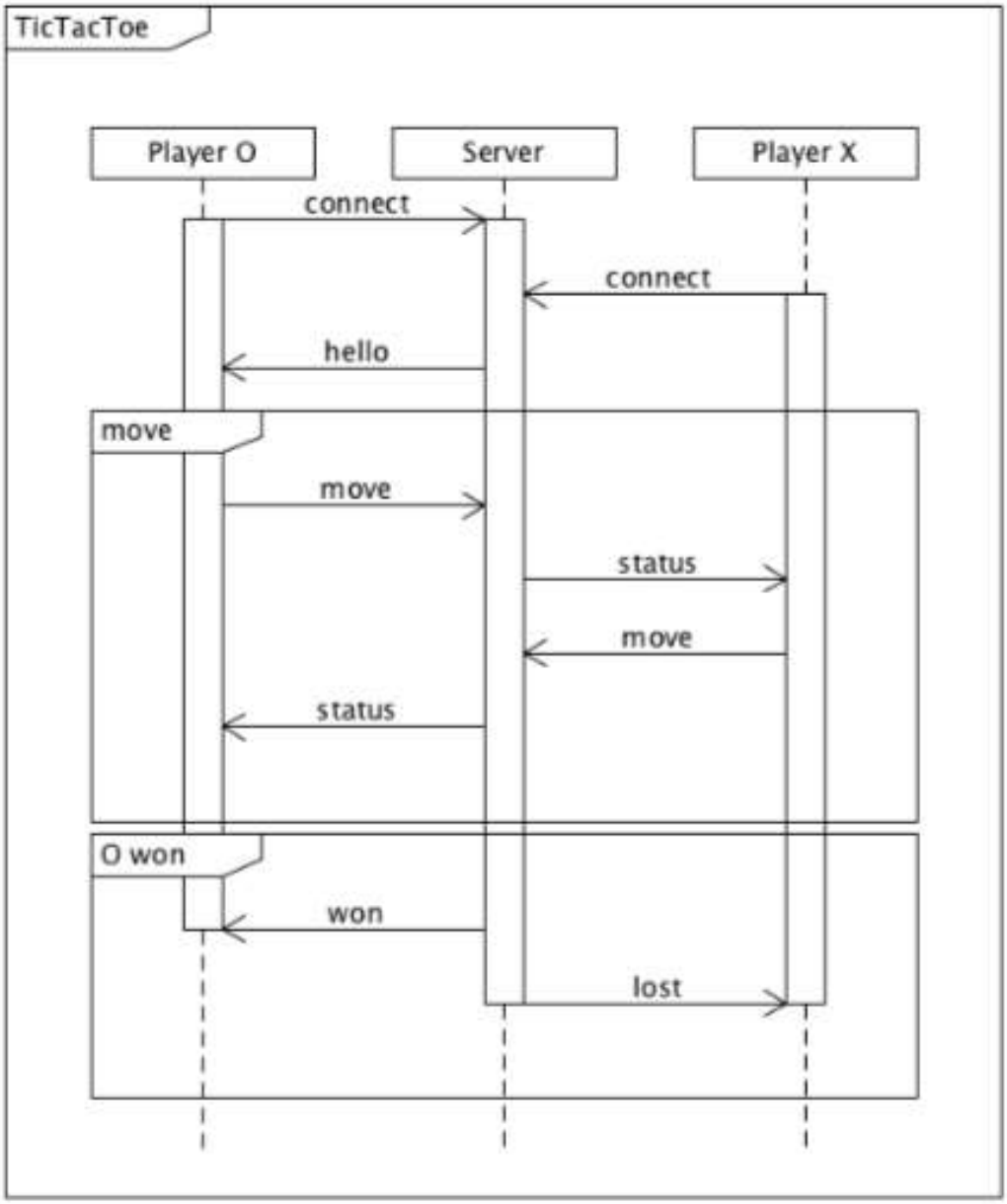
Il server deve:

- rispondere alla prima connessione salutando il primo giocatore
- rispondere alla seconda connessione salutando il secondo giocatore

- richiedere la mossa da ciascun giocatore al suo turno mostrandogli lo stato del gioco
- individuare la conclusione della partita e chiudere le connessioni

Il client deve:

- collegarsi al server
- interpretare la risposta con lo stato della partita
- effettuare una mossa a caso fra quelle legali


TicTacToe
Player O
Server
Player X
connect
connect
hello
move
move
status
move
status
O won
won
lost

it.unipd.pdp2021.sockets.ToeClient

```
try (
Socket socket = new Socket("127.0.0.1",
  ToeServer.PORT_GAME);
PrintWriter out = new PrintWriter(
  socket.getOutputStream(), true);
BufferedReader in = new BufferedReader(
new InputStreamReader(socket.getInputStream()));) {
  System.out.println("Connected.");
  String line;
  boolean done = false;
  while (!done && (line = in.readLine()) != null) {
```

```java
if (line.startsWith("PLAYER")) {
// gestiamo una mossa
  line = in.readLine(); // prima riga
  line = in.readLine(); // seconda riga
  line = in.readLine(); // terza riga
  line = in.readLine(); // mosse disponibili
  String[] split = line.split("\\s");
  String move = split[rnd.nextInt(split.length)];
  out.println(move);
  out.flush();
```

```
} else if (line.startsWith("Hello")) {
  // partita iniziata
  System.out.println(line);
} else {
  // partita finita
  done = true;
  System.out.println(line);
}
```

it.unipd.pdp2021.sockets.ToeServer

```
class GameServer implements Runnable {

int port;
Socket[] sockets = new Socket[2];
PrintWriter[] outs = new PrintWriter[2];
BufferedReader[] ins = new BufferedReader[2];
Game game = new Game();
```

```
try (ServerSocket serverSocket = new ServerSocket(port);) {
  // attendi che i giocatori si colleghino
  connectPlayers(serverSocket);
  // dai al primo giocatore la situazione iniziale
  GameResult status = game.status();
  outs[0].println(status);
  outs[0].flush();
```

```
// finché la partita non è conclusa...
while (!status.end) {
  // attendi la mossa dal giocatore
  String move = ins[status.next].readLine();
  // eseguila
  status = game.move(status.next, Integer.parseInt(move));
  if (!status.end) {
    // informa l'altro giocatore
    outs[status.next].println(status);
    outs[status.next].flush();
  }
}
```

```
// comunica il risultato
System.out.println(status);
if (status.valid) {
  outs[status.next].println("You won.");
  outs[(status.next + 1) & 0x1].println("You lost.");
  System.out.println("Player " + (
  status.next == 0 ? "O" : "X") + " won.");
} else {
  outs[0].println("Tied.");
  outs[1].println("Tied.");
  System.out.println("The game is a tie.");
}
```

```
// chiudi le risorse
outs[0].close();
outs[1].close();
ins[0].close();
ins[1].close();
sockets[0].close();
sockets[1].close();
```