Università degli Studi di Pisa
Dipartimento di Informatica

Lezione n.5b
LPR-A-09
UDP: Costruzione di pacchetti e esercizi avanzati

27/10/2008

Vincenzo Gervasi

SOMMARIO

- Invio di dati tramite UDP
  - codifica di dati primitivi come array di byte
  - invio di oggetti tramite serializzazione
- Discussione di esercizi avanzati
  - MiniTalk (Instant Messanger) [by Marco Danelutto]
    - handshaking per stabilire una "connessione"
    - invio bidirezionale di stringhe
  - TFTP (Trivial File Transfer Protocol)
    - protocollo per trasferimento di file in lettura/scrittura tra client e server
    - simulazione di trasmissione basata su stream

ABBIAMO VISTO CHE IN JAVA...

- Il protocollo UDP prevede la trasmissione di una sequenza (array) di bytes incapsulato in un **DatagramPacket**.
- Possiamo trasformare dati primitivi in sequenze di bytes da inserire all'interno del pacchetto usando
  - la classe **DataOutputStream** e i metodi **writeInt()**, **writeDouble()**, ...
  - la classe **ByteArrayOutputStream** e il metodo **toByteArray()**
- I dati possono essere ricostruiti dal mittente mediante
  - la classe **ByteArrayInputStream**
  - la classe **DataInputStream** e i metodi **readInt()**, **readDouble()**, ...
- Possiamo inviare più dati primitivi nello stesso pacchetto UDP, rileggendoli nello stesso ordine

SENDER: INVIA PIU' DATI IN UN PACCHETTO

```
byte byteVal = 101;
short shortVal = 10001;
int intVal  =  100000001;
long longVal = 100000000001L;
ByteArrayOutputStream buf = new ByteArrayOutputStream();
DataOutputStream out = new DataOutputStream(buf);
out.writeByte(byteVal);
out.writeShort(shortVal);
out.writeInt(intVal);
out.writeLong(longVal);
byte[ ] msg = buf.toByteArray( );    // Va inserito nel DatagramPacket
                                     // e spedito sul DatagramSocket
```

RECEIVER: ESTRAE PIU' DATI DAL PACCHETTO

```
...
ds.receive(dp);              // si riceve il DatagramPacket
byte byteValIn;
short shortValIn;
int intValIn;
long longValIn;
ByteArrayInputStream bufin =
      new ByteArrayInputStream(dp.getData(), 0, dp.getLength());
DataInputStream in = new DataInputStream(bufin);
byteValIn = in.readByte();
shortValIn = in.readShort();
intValIn = in.readInt();
longValIn = in.readLong();
```

CODIFICARE DATI PRIMITIVI COME BYTE[]

- Il protocollo UDP (e come vedremo anche TCP) consente di inviare unicamente sequenze di bytes. Un byte viene interpretato come un intero nell'intervallo [0..255].
- La codifica dei tipi di dato primitivi di un linguaggio in sequenze di bytes può essere realizzata
  - dal supporto del linguaggio (come visto nei lucidi precedenti)
  - più a basso livello, esplicitamente dal programmatore
- In ogni caso, il mittente ed il destinatario devono accordarsi sulla codifica stabilita. Ad esempio, per un dato di tipo intero si deve stabilire:
  - la dimensione in bytes per ogni tipo di dato
  - l'ordine dei bytes trasmessi,
  - l'interpretazione di ogni byte (con segno/senza segno)
- Il problema è semplificato se mittente e destinatario sono codificati mediante lo stesso linguaggio (ad esempio entrambi in JAVA)

CODIFICARE VALORI DI TIPO PRIMITIVO

Per scambiare valori di tipo intero, occorre concordare:

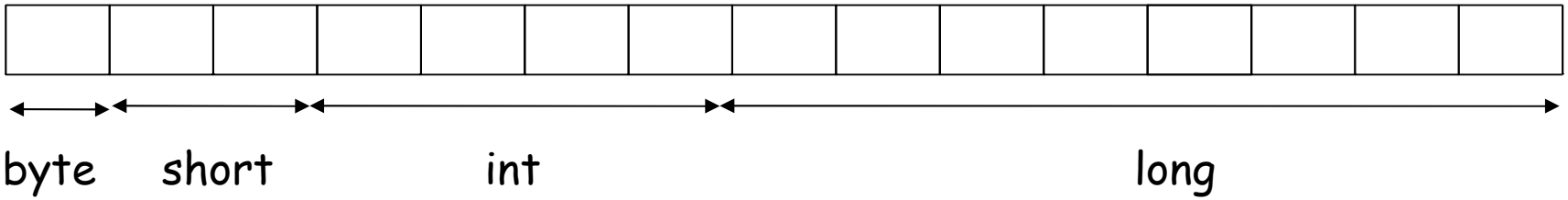
- dimensione dei tipi di dati scambiati: long: 8 bytes, int: 4 bytes, short: 2 bytes
- ordine dei bytes trasmessi
  - Little-endian: il primo byte trasmesso è il meno significativo
  - Big-endian: il primo byte trasmesso è il più significativo
- Interpretazione dei valori: con/senza segno

Nel caso di valori di tipo stringa, occorre concordare

- codifica adottata per i caratteri contenuti nella stringa
  - UTF-8,
  - UTF-16

CODIFICARE VALORI DI TIPO INTERO

- Supponiamo di dover costruire un pacchetto UDP contenente quattro valori interi: un byte, uno short, un intero ed un long



- Non si vogliono utilizzare le classi filtro DataOutputStrem e ByteArrayOutputStream
- Soluzione alternativa: si utilizzano operazioni che operano direttamente sulla rappresentazione degli interi
  - si definisce message, un vettore di bytes
  - si selezionano i bytes della rappresentazione mediante shifts a livello di bits
  - si inserisce ogni byte selezionato in una posizione del vettore message

CODIFICARE VALORI DI TIPO INTERO

```
public static int encodePacket(byte[ ] dst, int offset, long val, int size){
    for (int i = size; i > 0; i--){
        dst[offset++]  = (byte) (val >> ((i - 1) * 8));}
    return offset;}
```

- val valore intero
- size dimensione, in bytes, del valore val
- i bytes che rappresentano val devono essere inseriti nel vettore dst, a partire dalla posizione offset
- si utilizza lo shift destro per selezionare i bytes, a partire dal più significativo
- il cast a byte del valore shiftato V restituisce gli 8 bits meno significativi di V, eliminando gli altri bits

CODIFICARE VALORI DI TIPO INTERO

```
public static void main(String args[   ])
    { byte byteVal=101, short shortVal = 8, int intVal = 53,
    long  longVal = 234567L;
    final int BSIZE = 1;
    final int SSIZE= Short.SIZE / Byte.SIZE;
    final int ISIZE = Integer.SIZE/ Byte.SIZE;
    final int LSIZE = Long.SIZE / Byte.SIZE;
    byte [ ] message = new byte[BSIZE+SSIZE+ISIZE+LSIZE];
    int offset = encodePacket(message,0, byteVal, 1);
    offset = encodePacket(message,offset, shortVal, SSIZE);
    offset = encodePacket(message,offset,intVal, ISIZE);
    offset = encodePacket(message,offset, longVal, LSIZE);
    ..........................
```

DECODIFICARE VALORI DI TIPO INTERO

```
public static long decodePacket(byte[ ] val, int offset, int size){
    long rtn =0;  int BYTEMASK = 0xFF;
    for (int i= 0; i <  size; i++){
            rtn = (rtn << 8) | ((long) val[offset +i]  &  BYTEMASK);  }
     return rtn; }
```

- decodePacket: decodifica il valore di un dato reppresentato dai bytes contenuti nel vettore val, a partire dalla posizione offset. La dimensione (in byte) del valore da decodificare è size.
- Se si vuole 'riassemblare' il valore di tipo short dell'esempio precedente:

  short value = (**short**) *decodePacket* (message, BSIZE, SSIZE);

- "& BYTEMASK" è necessario per mettere a zero i bit più significativi (posizioni 0-55), che potrebbero essere ad 1 per il cast. Si provi il comando:

  System.*out*.println((**short**) (**byte**) 128); **// Stampa -128 ! Perché ?**

CODIFICA DI STRINGHE

- I caratteri vengono codificati in JAVA mediante Unicode che mappa i caratteri ad interi nell'intervallo [0..65535]
- Unicode è compatibile all'indietro con la codifica ASCII
- Il metodo getBytes( ) applicato ad una stringa restituisce un array di bytes contenente la rappresentazione della stringa, ottenuta secondo la codifica utilizzata di default dalla piattaforma su cui il programma viene eseguito
- E' possibile indicare esplicitamente la codifica desiderata, come argomento della getBytes()
- Esempio.
  - "Test!".getBytes( )
  - "Test!".getBytes("UTF-16BE")
- In generale mittente e destinatario devono accordarsi sulla codifica utilizzata per i valori di tipo stringa

SERIALIZZAZIONE DI OGGETTI

- Le classi ObjectInputStream e ObjectOutputStream definiscono streams (basati su streams di byte) su cui si possono leggere e scrivere oggetti.
- La scrittura e la lettura di oggetti va sotto il nome di serializzazione, poiché si basa sulla possibilità di scrivere lo stato di un oggetto in una forma sequenziale, sufficiente per ricostruire l'oggetto quando viene riletto. La serializzazione di oggetti viene usata in diversi contesti:
  - Per inviare oggetti sulla rete, sia che si utilizzino i protocolli UDP o TCP, sia che si utilizzi RMI.
  - Per fornire un meccanismo di persistenza ai programmi, consentendo l'archiviazione di un oggetto per esempio in un file. Si pensi ad esempio ad un programma che realizza una rubrica telefonica o un'agenda.

SERIALIZZAZIONE DI OGGETTI

- Consente di convertire un oggetto E TUTTI QUELLO DA ESSO RAGGIUNGIBILI in una sequenza di bytes.
- Tale sequenza può essere utilizzata per ricostruire l'oggetto e il contesto.
- L'oggetto e tutti quelli raggiungibili devono essere definiti in classi che implementi l'interfaccia **Serializable**, che **non ha metodi!** Altrimenti viene lanciata una **NotSerializableException**.
- Tutte le classi involucro per i tipi di dati primitivi (es: **Integer**, **Double**, ...) e anche **String** implementano **Serializable**: quindi JAVA garantisce una serializzazione di default per tutti i dati primitivi.
- Per serializzare uno o più oggetti si utilizzano stream di tipo **ObjectOutputStream** e **ObjectInputStream**, e i rispettivi metodi **writeObject()** e **readObject()**.
- Il meccanismo di serializzazione può essere personalizzato, ma non lo vediamo...

LA CLASSE ObjectOutputStream

public ObjectOutputStream (OutputStream out) **throws Exception**

Quando si costruisce un oggetto di tipo **ObjectOutputStream**, viene automaticamente registrato in testa allo stream un header, costituito da due short, 4 bytes

(costanti **MAGIC NUMBER + NUMERO DI VERSIONE**)

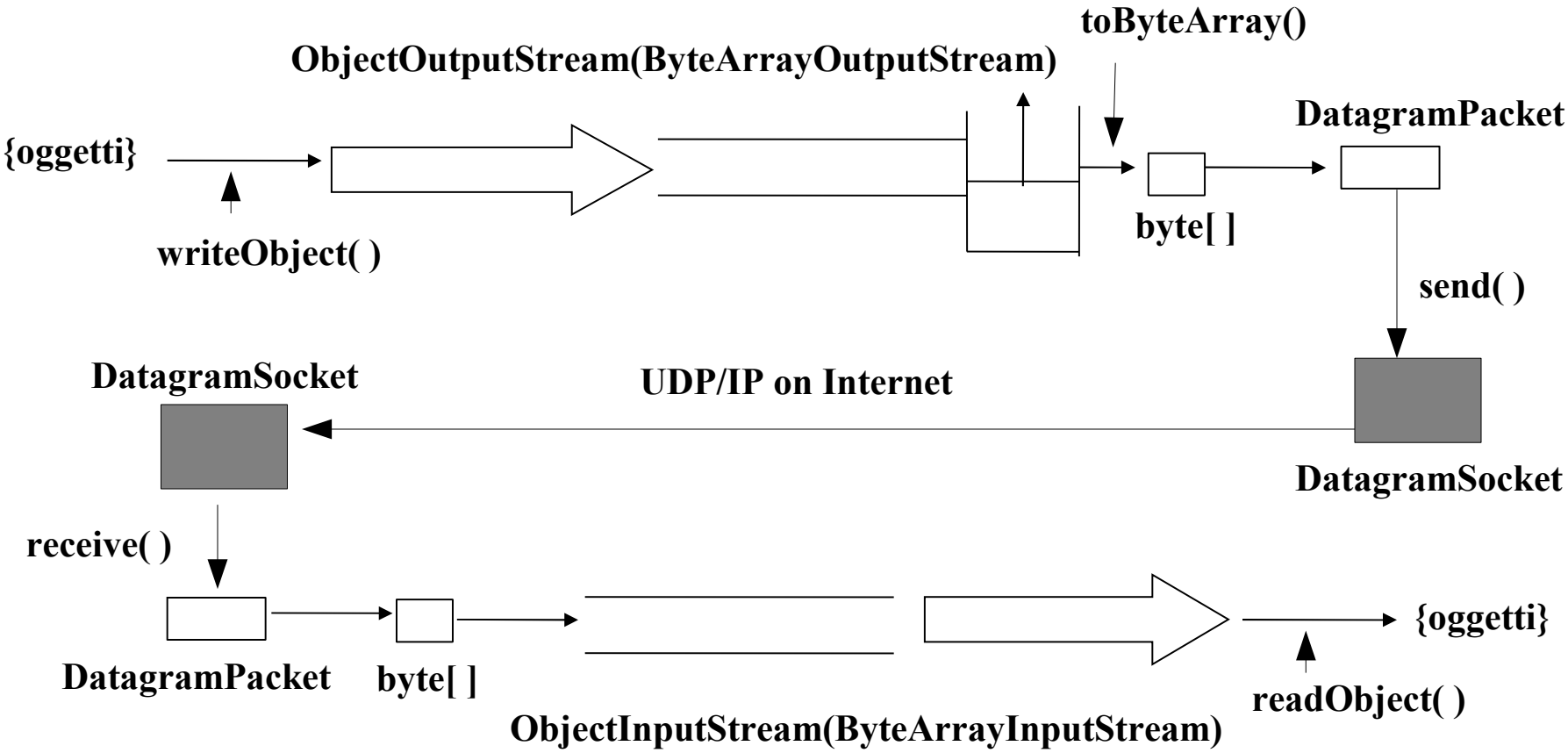
- Magic Number = identifica univocamente un object stream
- I Magic Number vengono utilizzati in diversi contesti. Ad esempio, ogni struttura contenente la definizione di una classe Java deve iniziare con un numero particolare (magic number), codificato mediante una sequenza di 4 bytes, che identificano che quella struttura contiene effettivamente una classe JAVA [3405691582, 0xCAFEBABE]
- Se l'header viene cancellato lo stream risulta corrotto e l'oggetto non può essere ricostruito. Infatti al momento della ricostruzione dell'oggetto si controlla innanzi tutto che l'header non sia corrotto

LA CLASSE ObjectInputStream

public ObjectInputStream (**InputStream** in) **throws Exception**

- L'header inserito dal costruttore di **ObjectOutputStream** viene letto e decodificato dal costruttore **ObjectInputStream**
- Se il costruttore **ObjectInputStream( )** rileva qualche problema nel leggere l'header (ad esempio l'header è stato modificato o cancellato) viene segnalato che lo stream risulta corrotto
- L'eccezione sollevata è **StreamCorruptedException**

TRASMISSIONE DI OGGETTI,SCHEMATICAMENTE



UN ESEMPIO DI TRASMISSIONE DI OGGETTI

```
import java.io.*; import java.net.*; import java.util.Vector;
public class UDP_SendObject {
    public static void main(String[] args) throws IOException {
        // build interesting object
        Vector<Object> vett = new Vector<Object>();
        vett.add(new Integer(74));
        vett.add("Questa e' una stringa");
        vett.add(new java.awt.Rectangle(3,4,10,20));
        // prepare data to be sent using object stream
        ByteArrayOutputStream bout = new ByteArrayOutputStream();
        ObjectOutputStream oout = new ObjectOutputStream(bout);
        oout.writeObject(vett);
        byte[] arr = bout.toByteArray();
```

UN ESEMPIO DI TRASMISSIONE DI OGGETTI

```
        // continua la classe UDP_SendObject
        // prepare Datagram socket and packet
        DatagramSocket ds = new DatagramSocket();
        InetAddress ia = InetAddress.getByName("localhost");
        int port = 24309;
        DatagramPacket dp = new DatagramPacket(arr,arr.length,ia,port);
        // send
        ds.send(dp);
    }
}
```

UN ESEMPIO DI TRASMISSIONE DI OGGETTI

```
import java.io.*; import java.net.*; import java.util.Vector;
public class UDP_ReceiveObject {
    public static void main(String[] args)
        throws IOException,SocketException,ClassNotFoundException{
        DatagramSocket ds = new DatagramSocket(24309);
        DatagramPacket dp = new DatagramPacket(new byte[512],512);
        ds.receive(dp);   // receive packet
        ByteArrayInputStream  bais =
new  ByteArrayInputStream(dp.getData(),dp.getOffset(),dp.getLength());
        ObjectInputStream ois = new ObjectInputStream(bais);
        Vector<Object> vett = (Vector<Object>) ois.readObject();
        for (Object o : vett){ System.out.println(o.getClass() + ": " + o); } } }
```

UN ESEMPIO DI TRASMISSIONE DI OGGETTI

L'output del programma mostra che il vettore e il suo contenuto sono arrivati correttamente al receiver:

class java.lang.Integer: 74

class java.lang.String: Questa e' una stringa

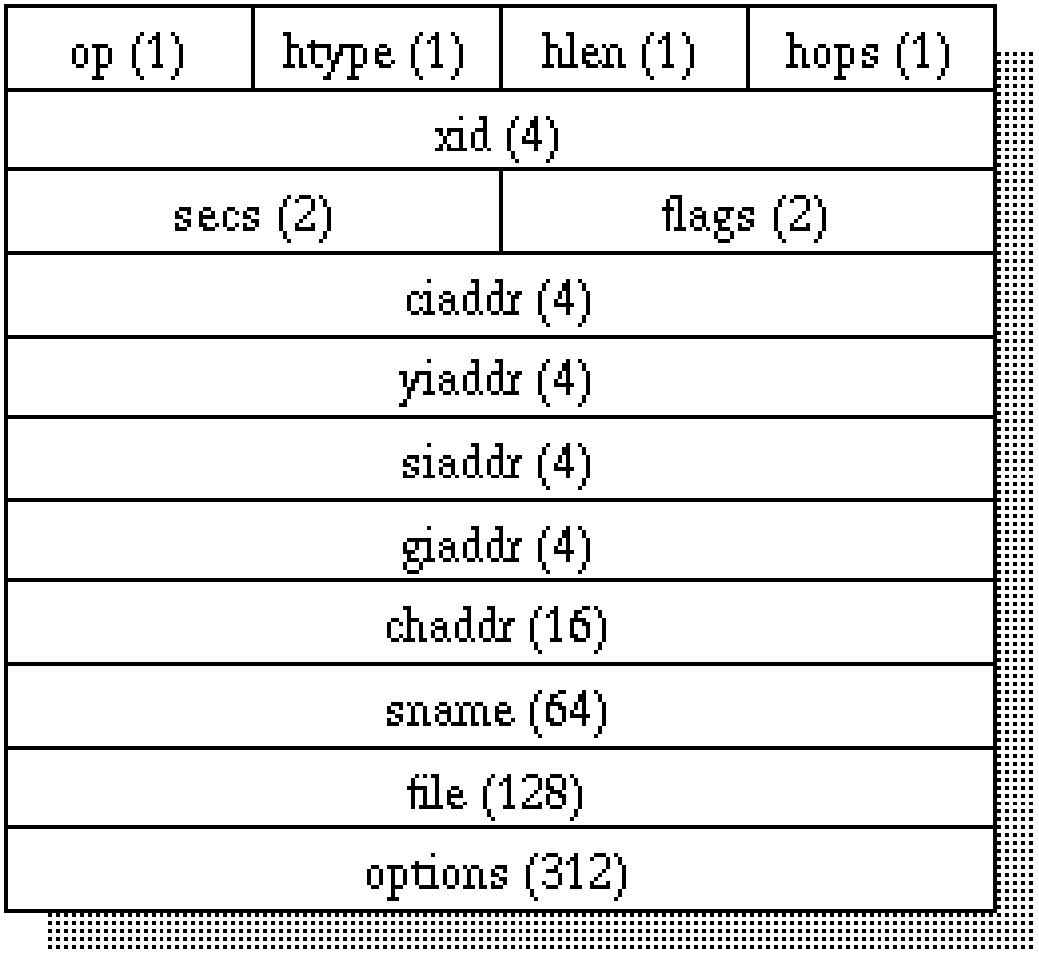
class java.awt.Rectangle: java.awt.Rectangle[x=3,y=4,width=10,height=20]

ATTENZIONE: UN ObjectOutputStream PER PACCHETTO!

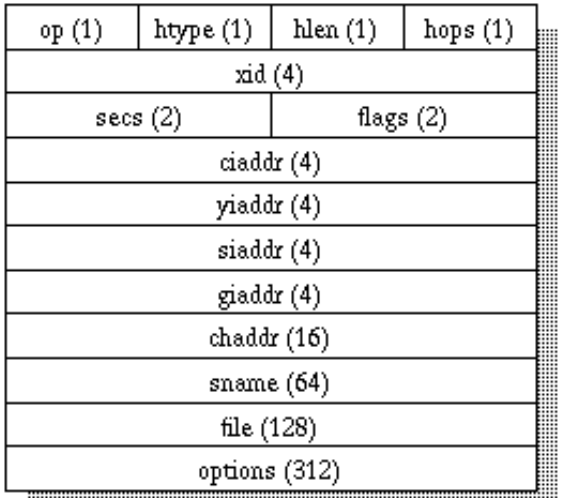
```
public class Test {
    public static void main(String args[ ]) throws Exception{
        ByteArrayOutputStream bout = new ByteArrayOutputStream ( );
        System.out.println (bout.size( ));   // Stampa 0
        ObjectOutputStream out= new ObjectOutputStream(bout);
        System.out.println (bout.size( ));  // Stampa 4: l'header è creato
        out.writeObject("prova");
        System.out.println (bout.size( ));  //Stampa 12
        // Spedisco il contenuto
        bout.reset ( ); //Necessario per eliminare bytes già spediti
        out.writeObject("prato");
        System.out.println (bout.size( )); //Stampa 8  = 12-4.     }}
```

- la **reset()** ha distrutto l'header dello stream!!!

ESEMPIO: Pacchetto DHCP



ESEMPIO: Pacchetto DHCP



FIELD	OCTETS	DESCRIPTION
op	1	Message op code / message type. 1 = BOOTREQUEST, 2 = BOOTREPLY
htype	1	Hardware address type (e.g., '1' = 10Mb Ethernet)
hlen	1	Hardware address length (e.g. '6' for 10Mb Ethernet)
hops	1	Client sets to zero, optionally used by relay agents when booting via a relay agent.
xid	4	Transaction ID. A random number chosen by the client, used by the client and server to associate the request message with it's and response.
secs	2	Seconds passed since client began the request process. Filled in by client.
flags	2	Flags
ciaddr	4	Client IP address. Filled in by client if it knows it's IP address (from previouse requests or from manual configurations). and can respond to ARP requests.
yiaddr	4	'your' (client) IP address. Server's response to client.
siaddr	4	Server IP address. Address of sending server or of the next server to use in the next bootstrap process step.
giaddr	4	Relay agent IP address, used in booting via a relay agent.
chaddr	16	Client hardware address.
sname	64	Optional server host name. Null terminated string.
file	128	Boot file name. Null terminated string; "generic" name or null in request, fully qualified directory-path name in reply.
options	var	Optional (BOOTP semantics) parameters field. In real DHCP messages at least one option (message type) must always be present, so this field is never empty.

DATAGRAM SOCKET API: RIASSUNTO E NOTE

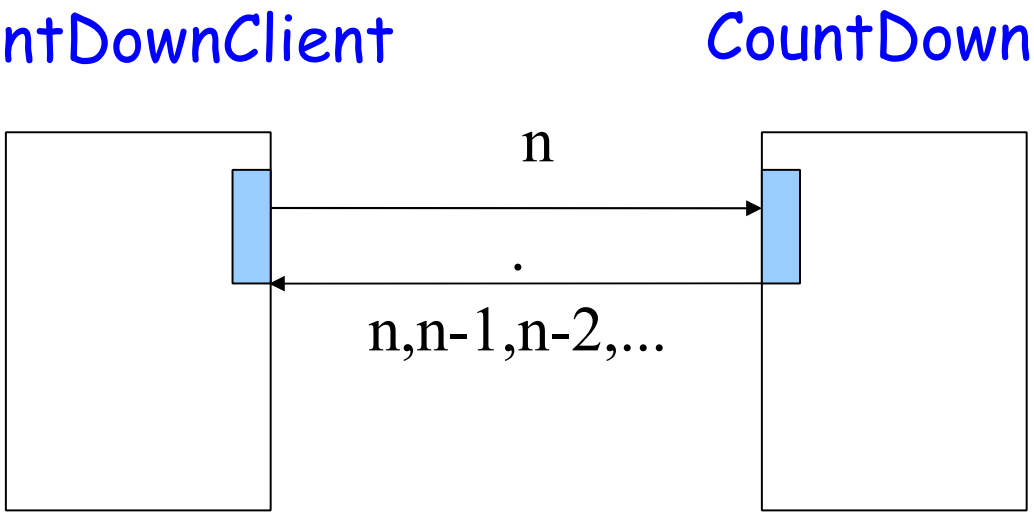
- lo stesso Datagram Socket può essere utilizzato per spedire messaggi verso destinatari diversi
- processi diversi possono inviare datagrams sullo stesso socket di un processo destinatario
- send non bloccante:
  se il destinatario non è in esecuzione quando il mittente esegue la send, il messaggio può venir scartato
- receive bloccante:
  uso di timeouts associati al socket per non bloccarsi indefinitamente sulla receive
- i messaggi ricevuti vengono troncati se la dimensione del buffer del destinatario è inferiore a quella del messaggio spedito **(provatelo!)**

DATAGRAM SOCKET API: RIASSUNTO E NOTE

- protocollo UDP (User Datagram Protocol)
  non implementa controllo del flusso: se la frequenza con cui il mittente invia i messaggi è sensibilmente maggiore di quella con cui il destinatario li riceve (li preleva dal buffer di ricezione) è possibile che alcuni messaggi sovrascrivano messaggi inviati in precedenza

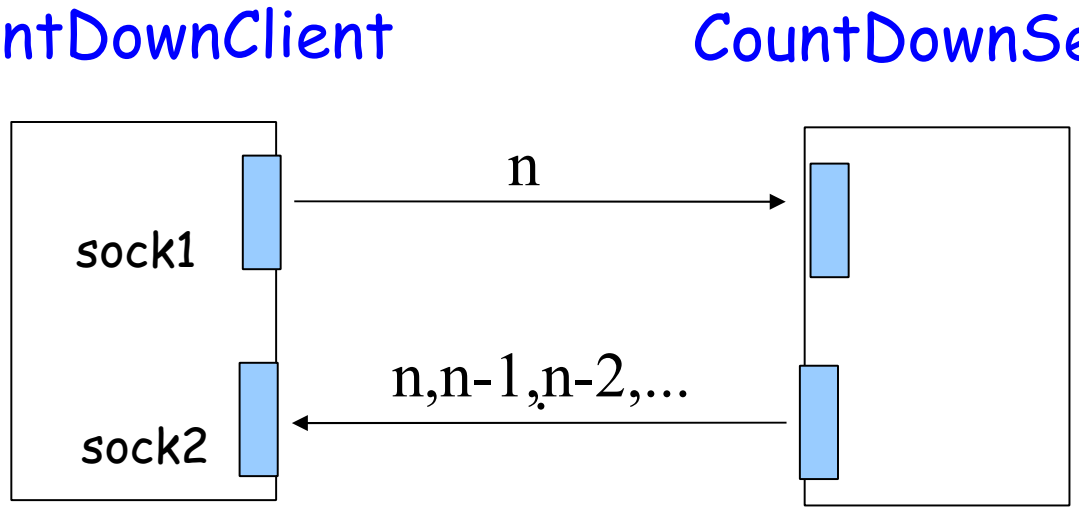
- Esempio: CountDown Server (vedi esercizio 2 di Lunedì 27/10).
  Il client invia al server un valore di n "grande" (provare valori>1000). Allora:
  - il server deve inviare al client un numero molto alto di pacchetti
  - il tempo che intercorre tra l'invio di un pacchetto e quello del pacchetto successivo è basso
  - dopo un certo numero di invii il buffer del client si riempie ⇒ perdita di pacchetti

COUNT DOWN SERVER UDP



- Si può utilizzare lo stesso socket per inviare n e per ricevere i risultati
- Quando il CountDownClient invia il valore n il CountDownServer deve aver allocato il socket, altrimenti il pacchetto viene perduto

COUNT DOWN SERVER UDP



- Posso utilizzare sockets diversi per la spedizione/ricezione
- In questo caso può accadere che sock2 non sia ancora stato creato quando CountDownServer inizia ad iniziare la sequenza di numeri
- E' possibile che il CountDownClient si blocchi sulla receive poiché i dati inviati dal CountDownServer sono stati inviati prima della creazione del socket e quindi sono andati persi

ESERCIZIO 1: UNA CLASSE AUSILIARIA PER TRASMETTERE OGGETTI

Scrivere la classe **Obj2DP** che fornisce due metodi statici:

- **public static** Object **dp2obj**(DatagramPacket dp)

  che restituisce l'oggetto contenuto nel pacchetto passato per argomento, deserializzandolo

- **public static** DatagramPacket **obj2dp**(Object obj)

  che restituisce un pacchetto contenente l'oggetto passato per argomento, serializzato, nel payload.

- Semplificare le classi UDP_SendObject e UDP_ReceiveObject viste prima usando i metodi della classe Obj2DP, senza più usare le classi ObjectOutput/InputStream e ByteOutput/InputStream.
- Usare la classe **Obj2DP** per i prossimi esercizi, trasmettendo oggetti serializzati con UDP invece di dati di tipi primitivi.

ESERCIZIO 2: MiniTalk Server e Client con UDP (1)

Si realizzino un Server e un Client UDP che realizzano un semplice Instant Messanger: ogni linea scritta nella shell del Server viene copiata nella shell del Client e viceversa. La trasmissione delle linee inizia dopo una semplice fase di handshaking, descritta di seguito.

- Il Server viene lanciato da shell, fornendo il numero di porta su cui ricevere i pacchetti UDP.
- Il Client viene lanciato da un'altra shell (eventualmente su un altro computer), fornendo host e porta del Server e porta locale su cui ricevere pacchetti UDP.
- Il Client manda una richiesta di connessione al Server, indicando nel messaggio la propria porta. Se non riceve un messaggio di ack entro 3 secondi, riprova a mandare la richiesta altre 5 volte, poi termina. Se invece riceve l'ack, inizia la trasmissione delle linee scritte nella shell locale e la ricezione e stampa delle linee scritte nella shell del Server.

ESERCIZIO 2: MiniTalk Server e Client con UDP (2)

- Quando il Server riceve una richiesta di connessione, recupera indirizzo e porta del Client dalla richiesta e manda un messaggio di ack al Client, quindi comincia la trasmissionex e ricezione delle stringhe come descritto per il Client.
- Il Client decide quando disconnettersi in base a una condizione a vostra scelta (per esempio, allo scadere di un timeout, oppure se la linea da mandare è vuota, oppure se la stringa è "CLOSE",...).
- Per disconnettersi, il Client manda una richiesta di disconnessione al Server e aspetta un ack, quindi termina l'esecuzione.
- Quando il Server riceve una richiesta di disconnessione interrome la trasmissione delle linee, manda un messaggio di ack, e si rimette in attesa di una richiesta di connessione.

Il Client e il Server devono scambiarsi **unicamente** oggetti della classe **TalkMsg**, usando i metodi della classe per crearne istanze e per ispezionare i messaggi arrivati.

ESERCIZIO 3: MiniTalk Messanger con UDP

Riusando il più possibile il codice sviluppato per l'esercizio precedente, realizzare un programma Messanger che offre le stesse funzionalità, ma in cui non si distinguono un Server e un Client.

Due istanze di Messanger devono essere lanciate in due shell diverse, fornendo ad ognuna tre dati: la porta locale, e l'host e la porta dell'altro Messanger. Ideare un opportuno protocollo di handshaking, che permetta di stabilire una connessione (concettuale) tra le due istanze di Messanger.

I messaggi scambiati devono essere tutti oggetti di una stessa classe. Usare la classe **TalkMsg**, oppure estenderla o definirne una analoga se necessario.

ESERCIZIO 4: TFTP con UDP (Trivial File Transfer Protocol) [1]

Questa è la specifica di TFTP da WIKIPEDIA:

- L'host A invia un pacchetto RRQ (read request) o WRQ (write request) all'host B, contenente il nome del file e la modalità di trasferimento.
- B risponde con un ACK (acknowledgement) packet, che serve anche a dire ad A quale porta sull'host B dovrà usare per i restanti pacchetti.
- L'host di origine invia dei pacchetti DATA numerati all'host di destinazione, tutti tranne l'ultimo contenenti un blocco di dati completo. L'host di destinazione risponde con un pacchetto ACK numerato per ogni pacchetto DATA.
- Il pacchetto DATA finale deve contenere un blocco di dati non pieno ad indicare che si tratta dell'ultimo. Se la dimensione del file trasferito è un multiplo esatto della dimensione dei blocchi, la sorgente invia un ultimo pacchetto di dati contente 0 byte di dati.

ESERCIZIO 4: TFTP con UDP (Trivial File Transfer Protocol) [2]

Realizzare un Server TFTP che implementa il comportamento dell'host B e un Client TFTP che implementa l'host A. In particolare:

- Client e Server devono scambiarsi solo oggetti di una classe, **TFTPmsg**, usati sia per messaggi di servizio (RRQ, WRQ, ACK) che per i pacchetti DATA: definire opportunamente la classe **TFTPmsg**.
- Per il trasferimento dei file, considerarli come file binari, usando quindi opportuni Output/InputStreams (e non Writer/Reader).
- Inviare le porzioni di file in array di byte all'interno di un'istanza di **TFTPmsg**.

Per testare il programma:

- Confrontare il file originale spedito dal mittente con quello ricevuto dal destinatario e scritto nel file system.
- Usare la classe UnreliableDatagramSocket per controllare che i pacchetti persi vengano reinviati correttamente.