

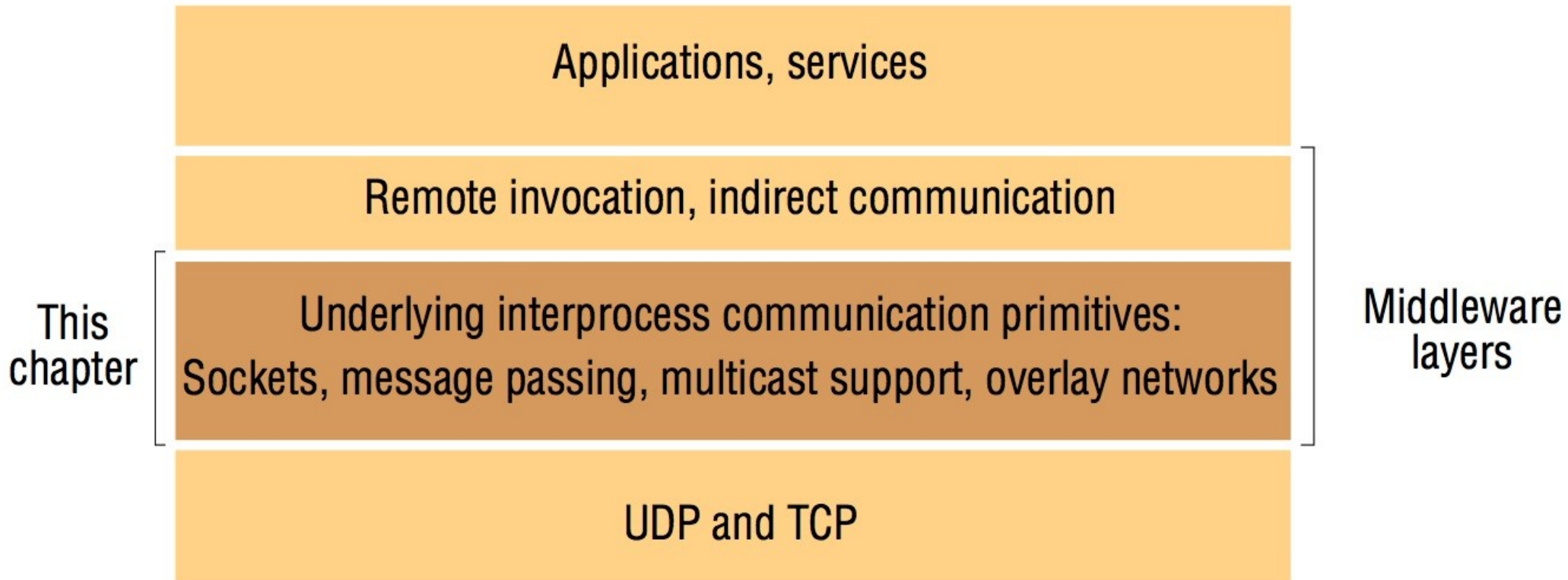
Sistemas Distribuídos

Comunicação em Sistemas Distribuídos
camada inferior de *middleware*

Introdução

- ◆ Camada “inferior” do *Middleware*, relacionada com detalhes de
 - ◆ comunicação
 - ◆ representação externa de dados
 - ◆ *marshalling*
- ◆ Características de protocolos de comunicação entre processos num SD

Middleware: camada inferior



Protocolos de Internet

- ◆ recordar...
 - ◆ UDP
 - ◆ abstração para comunicação entre processos
 - ◆ permite o envio de mensagens isoladas, através de pacotes chamados datagramas
 - ◆ TCP
 - ◆ abstração para comunicação entre processos
 - ◆ fornece uma ligação (*stream*, canal) bidirecional entre dois processos
- ◆ Comunicação: Operações envolvidas uma mensagem:
 - ◆ send
 - ◆ receive

Protocolos de Internet

- ◆ Existe uma **fila-de-espera** (*buffer*) associada ao processo destinatário
 - ◆ envio: a mensagem é adicionada à fila remota
 - ◆ recepção: a mensagem é retirada da fila local
- ◆ Comunicação **síncrona**: os processos emissor e receptor sincronizam-se a cada mensagem
 - ◆ *send* e *receive* são operações **bloqueantes**
 - ◆ o emissor fica parado no *send* até que o *receive* seja efetuado
 - ◆ ao efetuar um *receive*, o receptor fica bloqueado até a mensagem chegar
- ◆ Comunicação **assíncrona**: não há sincronização
 - ◆ *send* **não é bloqueante**
 - ◆ o emissor prossegue assim que mensagem passa ao *buffer* local de saída
 - ◆ *receive* pode ser **bloqueante** ou **não bloqueante***
 - ◆ * - o processo prossegue com um *buffer* que será preenchido *em background*, havendo uma notificação quando isso acontecer

Protocolos de Internet

- ◆ Destino da mensagem: (endereço, porto)
- ◆ Porto:
 - ◆ inteiro, identifica o destinatário da mensagem numa máquina
 - ◆ associado a um só destinatário mas usado por vários emissores
 - ◆ um processo pode receber mensagens de vários portos
 - ◆ um processo não partilha portos com outros processos na mesma máquina
 - ◆ uma máquina tem 2^{16} números para portos disponíveis
- ◆ Preocupações com o envio de mensagens:
 - ◆ **fiabilidade**: garantia de entrega das mensagens, ainda que alguns pacotes sejam perdidos
 - ◆ **ordenação correta**: garantia de que as mensagens são entregues pela ordem com que foram enviadas (e não há trocas)

Protocolos de Internet

- ◆ O endereço do destinatário ou de um serviço:

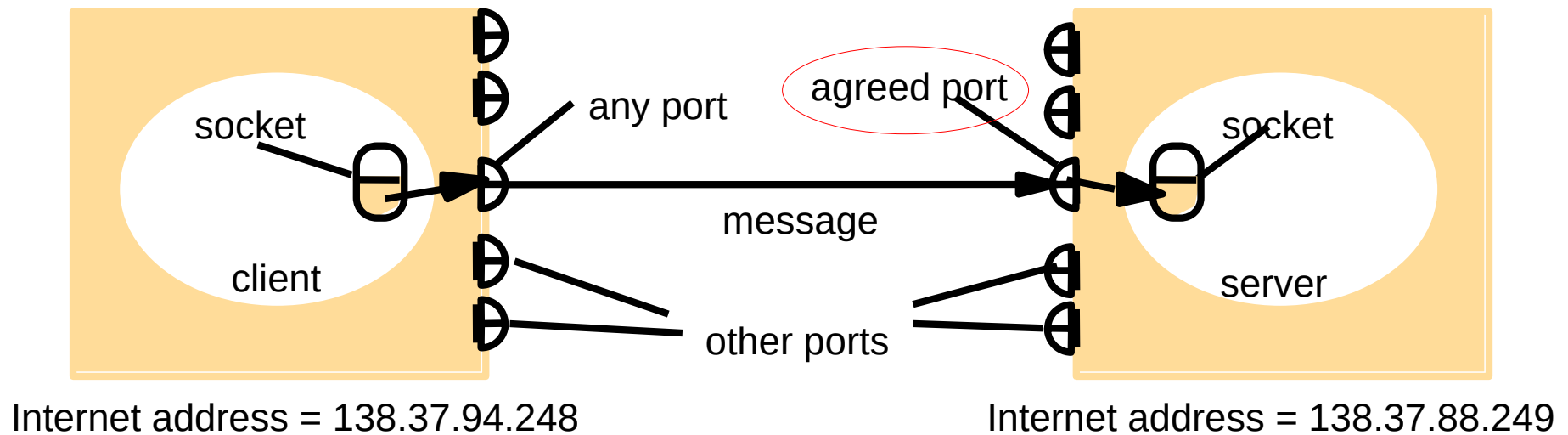
- ◆ endereço IP definido
- ◆ obtido de um servidor de nomes (*binder*)
 - ◆ alguma transparência de localização

- ◆ UDP e TCP usam Sockets

(**socket**: abstração para o acesso ao canal de comunicação)

- ◆ Comunicação entre processos
 - ◆ transmitir mensagens entre o *socket* de um processo e o *socket* de outro processo
- ◆ Para um processo receber mensagens:
 - ◆ o *socket* tem de estar *bound* a um *porto* local e um *endereço* da máquina onde é executado

Sockets e Portos



UDP

- ◆ não há *acknowledgement* (confirmação) ou reenvios
- ◆ em caso de falha a mensagem não é recebida
- ◆ tamanho da mensagem:
 - ◆ IP: até 2^{16} bytes (headers + mensagem) (muitos ambientes limitam 8K)
 - ◆ para mensagens maiores, as aplicações devem dividir a mensagem em vários pedaços (*chunks*)
- ◆ Para enviar ou receber
 - ◆ é necessário um socket associado (*bound*) a um porto local e endereço IP
- ◆ *send* não bloqueante; *receive*: bloqueante (com possível timeout)
- ◆ Modo *receive from any*
 - ◆ a origem da mensagem é desconhecida
 - ◆ o endereço e porto do emissor é detectado na operação *receive*

UDP

- ♦ Modelo de Falhas
 - ♦ **falhas de omissão**: algumas mensagens podem eventualmente perder-se (não chegam, ou têm erros de *checksum* ou falta de espaço no *buffer* de chegada)
 - ♦ **ordenação**: não há garantia de entrega pela ordem de envio
- ♦ Caberá às aplicações assegurar algumas garantias de fiabilidade, por exemplo através de confirmações (ack.)
- ♦ Utilização de UDP
 - ♦ por vezes o risco destas falhas pontuais pode ser tolerável/aceitável
 - ♦ vantagem: menos *overheads* relacionados
 - ♦ estado da informação na origem e destino
 - ♦ latência
 - ♦ exemplo de utilização: DNS

Cliente UDP

```

import java.net.*;
import java.io.*;
public class UDPClient{
    public static void main(String args[]){
        // args give message contents and server hostname
        DatagramSocket aSocket = null;
        try {
            aSocket = new DatagramSocket();
            byte [] m = args[0].getBytes();
            InetAddress aHost = InetAddress.getByName(args[1]);
            int serverPort = 6789;
            DatagramPacket request = new DatagramPacket(m, args[0].length(), aHost, serverPort);
            aSocket.send(request);
            byte[] buffer = new byte[1000];
            DatagramPacket reply = new DatagramPacket(buffer, buffer.length);
            aSocket.receive(reply);
            System.out.println("Reply: " + new String(reply.getData()));
        } catch (SocketException e){System.out.println("Socket: " + e.getMessage());}
        } catch (IOException e){System.out.println("IO: " + e.getMessage());}
    } finally {if(aSocket != null) aSocket.close();}
}

```

Servidor UDP em ciclo a atender clientes

```

import java.net.*;
import java.io.*;
public class UDPServer{
    public static void main(String args[]){
        DatagramSocket aSocket = null;
        try{
            aSocket = new DatagramSocket(6789);
            byte[] buffer = new byte[1000];
            while(true){
                DatagramPacket request = new DatagramPacket(buffer, buffer.length);
                aSocket.receive(request);
                DatagramPacket reply = new DatagramPacket(request.getData(),
                    request.getLength(), request.getAddress(), request.getPort());
                aSocket.send(reply);
            }
        }catch (SocketException e){System.out.println("Socket: " + e.getMessage());}
        }catch (IOException e) {System.out.println("IO: " + e.getMessage());}
    }finally {if(aSocket != null) aSocket.close();}
}

```

TCP

- tamanho da mensagem: à responsabilidade da aplicação, **tamanho arbitrário**. O TCP envia (de modo transparente) os dados em blocos, desde o buffer de saída
- usa *acknowledgement* e *checksums*
 - **garante a entrega** desses blocos reenviando aqueles cuja confirmação não chega antes de um *timeout*
- **controle do fluxo de dados**: se o emissor é mais rápido, então é bloqueado até que o receptor tenha consumido alguns dados
- **elimina duplicados e garante a ordem correta** na recepção (através de números de sequência em cada pacote IP)
- **com conexão**
- **bloqueante** para leitura; bloqueante no envio apenas se o controle de fluxo atuar

TCP

♦ Modelo de Falhas

- ♦ não é *reliable*/fiável, na medida em que não garante a entrega em todos os cenários (quando há dificuldades na rede, a ligação pode perder-se)
- ♦ um processo não distingue entre falha na rede e falha no processo do outro lado da ligação
- ♦ um processo não sabe se uma mensagem (recente) já foi ou não recebida (pode estar ainda a ser reenviada)

♦ Utilizações de TCP

- ♦ HTTP, FTP, Telnet, SMTP

Cliente TCP: *connect, send, receive*

```

import java.net.*;
import java.io.*;
public class TCPClient {
    public static void main (String args[]) {
        // arguments supply message and hostname of destination
        Socket s = null;
        try{
            int serverPort = 7896;
            s = new Socket(args[1], serverPort);
            DataInputStream in = new DataInputStream( s.getInputStream());
            DataOutputStream out =
                new DataOutputStream( s.getOutputStream());
            out.writeUTF(args[0]);           // UTF is a string encoding see Sn 4.3
            String data = in.readUTF();
            System.out.println("Received: " + data) ;
        }catch (UnknownHostException e){
            System.out.println("Sock:"+e.getMessage());
        }catch (EOFException e){System.out.println("EOF:"+e.getMessage());}
        }catch (IOException e){System.out.println("IO:"+e.getMessage());}
        }finally {if(s!=null) try {s.close();}catch (IOException e)
        {System.out.println("close:"+e.getMessage());}}
    }
}

```

Servidor TCP: em ciclo, aceita ligações

```
import java.net.*;
import java.io.*;
public class TCPServer {
    public static void main (String args[]) {
        try{
            int serverPort = 7896;
            ServerSocket listenSocket = new ServerSocket(serverPort);
            while(true) {
                Socket clientSocket = listenSocket.accept();
                Connection c = new Connection(clientSocket);
            }
        } catch(IOException e) {System.out.println("Listen :"+e.getMessage());}
    }
}
```

// this figure continues on the next slide

Servidor TCP: concorrente, serviço echo

```

class Connection extends Thread {
    DataInputStream in;
    DataOutputStream out;
    Socket clientSocket;
    public Connection (Socket aClientSocket) {
        try {
            clientSocket = aClientSocket;
            in = new DataInputStream( clientSocket.getInputStream());
            out = new DataOutputStream( clientSocket.getOutputStream());
            this.start();
        } catch (IOException e) {System.out.println("Connection:"+e.getMessage());}
    }
    public void run(){
        try {
            // an echo server
            String data = in.readUTF();
            out.writeUTF(data);
        } catch (EOFException e) {System.out.println("EOF:"+e.getMessage());}
        } catch (IOException e) {System.out.println("IO:"+e.getMessage());}
        } finally{ try {clientSocket.close();}catch (IOException e){/*close failed*/}}
    }
}

```

Protocolos de comunicação

- ◆ Ad-hoc, feitos à medida
 - ◆ Inteiro 1 representa a operação A
 - ◆ Inteiro 2 representa a operação B, e segue-se uma string...
- ◆ Baseados em normas padronizadas de representação de dados
 - ◆ A transformação do pedido para o canal de rede é automática
 - ◆ ...

Repr. Externa de Dados e *Marshalling*

- ◆ Processos: estruturas de dados
- ◆ Mensagens na Comunicação: sequências de bytes
 - ◆ é necessário **converter** no envio e recepção
 - ◆ inteiros: *big-endian* (byte mais significativo primeiro, como *network byte order*), *little-endian*
- ◆ para uma estrutura de dados poder usar-se em RPC ou RMI
 - ◆ serializável, passível de ser representado de modo *flattened* e os tipos primitivos num formato acordado
- ◆ Representação Externa de Dados
 - ◆ formato usado para representação de estruturas e tipos primitivos
- ◆ *Marshalling*
 - ◆ tradução das estruturas e tipos primitivos para uma RED adequada para a transmissão
 - ◆ *unmarshalling*: processo inverso para reconstruir os dados à chegada

Repr. Externa de Dados e Marshalling

- ♦ Alternativas para RED:
 - ♦ CORBA CDR (*Common Object Request Broker Architecture CDR*)
 - ♦ Serialização Java – usada em RMI
 - ♦ <https://docs.oracle.com/javase/tutorial/jndi/objects/serial.html>
 - ♦ Sun XDR
 - ♦ XML
 - ♦ JavaScript Object Notation (JSON)
 - ♦ <http://www.json.org/>
 - ♦ Protocol Buffers (Google)
 - ♦ <https://developers.google.com/protocol-buffers/>

CORBA CDR (*Common Data Representation*)

- ♦ tipos primitivos (short, long, float... char, boolean, bit) #15 tipos
 - ♦ bytes transmitidos de acordo com o emissor (*big-endian / little-endian*), que é também especificada na mensagem
- ♦ tipos compostos:

<i>Type</i>	<i>Representation</i>
<i>sequence</i>	length (unsigned long) followed by elements in order
<i>string</i>	length (unsigned long) followed by characters in order (can also can have wide characters)
<i>array</i>	array elements in order (no length specified because it is fixed)
<i>struct</i>	in the order of declaration of the components
<i>enumerated</i>	unsigned long (the values are specified by the order declared)
<i>union</i>	.type tag followed by the selected member

Mensagem CORBA CDR

- ♦ não é possível passar uma estrutura com ponteiros

- ♦ exemplo com uma Struct:

<i>index in sequence of bytes</i>	<i>4 bytes</i>	<i>notes on representation</i>
0–3	5	<i>length of string</i>
4–7	"Smit"	'Smith'
8–11	"h____"	“padding”
12–15	6	<i>length of string</i>
16–19	"Lond"	'London'
20–23	"on____"	
24–27	1934	<i>unsigned long</i>

Representa uma **Struct** *Person* com os valores: {'Smith', 'London', 1934}

Marshalling CORBA

- ◆ Operações de Marshalling
 - ◆ geradas automaticamente a partir da especificação dos tipos de dados a transmitir na mensagem (argumentos, retorno)
- ◆ Tipos descritos com CORBA IDL (interface definition language)
- ◆ Assume-se que o emissor e receptor **conhecem os tipos** de cada elemento da mensagem, por isso o tipo não é passado (apenas o valor)

Java RMI

- ♦ objetos e tipos primitivos podem ser transmitidos
 - ♦ estes dados são transmitidos como argumento ou resultado de invocação remota de métodos
- ♦ formalmente, podem ser transmitidos (argumentos, retorno):
 - ♦ tipos primitivos
 - ♦ instâncias de classes que implementem a interface `java.io.Serializable`
- ♦ a aplicação que recebe a mensagem pode não conhecer o tipo dos dados
 - ♦ a representação serializada inclui informação sobre a classe do objeto (nome, versão/hash)

Serialização em Java

- ▶ Handle: referência para um objeto incluído na representação serializada

<i>Serialized values</i>				<i>Explanation</i>
Person	8-byte version number		h0	<i>class name, version number</i>
3	int year	java.lang.String name:	java.lang.String place:	<i>number, type and name of instance variables</i>
1934	5 Smith	6 London	h1	<i>values of instance variables</i>

h0 e h1 são *handles*; O valor das Strings é precedido pelo comprimento

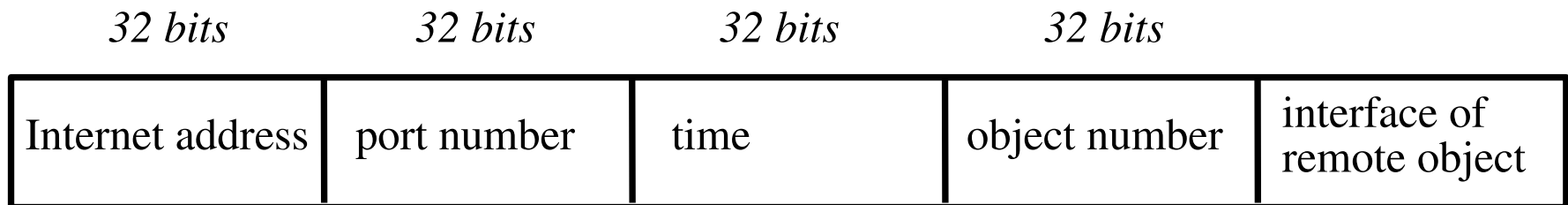
Cada objeto é escrito uma só vez, depois pode ser referido pelo seu Handle

Java Reflection

- ◆ **Java Reflection**
 - ◆ capacidade de descobrir propriedades de uma classe, como o nome e tipo de variáveis de instância ou métodos.
- ◆ Permite criar, obter e descobrir classes até então desconhecidas a partir do nome
- ◆ **`java.lang.reflect`**

Representação da Referência Remota de um Objeto

- ◆ Identificador para um objeto remoto válido no SD
- ◆ Cada objeto remoto tem uma única Ref. Remota
 - ◆ passada na mensagem do cliente que pede a invocação remota
- ◆ É importante garantir que a referência é única universalmente
 - ◆ junção de diversos elementos (data de criação...)



Serialização em XML

```
<person id="123456789">  
  <name>Smith</name>  
  <place>London</place>  
  <year>1984</year>  
  <!-- a comment -->  
</person >
```

Serialização em XML: esquema XML com tipologia da estrutura

```
<xsd:schema xmlns:xsd = URL of XML schema definitions >
  <xsd:element name= "person" type = "personType" />
    <xsd:complexType name="personType">
      <xsd:sequence>
        <xsd:element name = "name" type="xs:string"/>
        <xsd:element name = "place" type="xs:string"/>
        <xsd:element name = "year" type="xs:positiveInteger"/>
      </xsd:sequence>
      <xsd:attribute name= "id" type = "xs:positiveInteger"/>
    </xsd:complexType>
  </xsd:schema>
```

Serialização em JSON

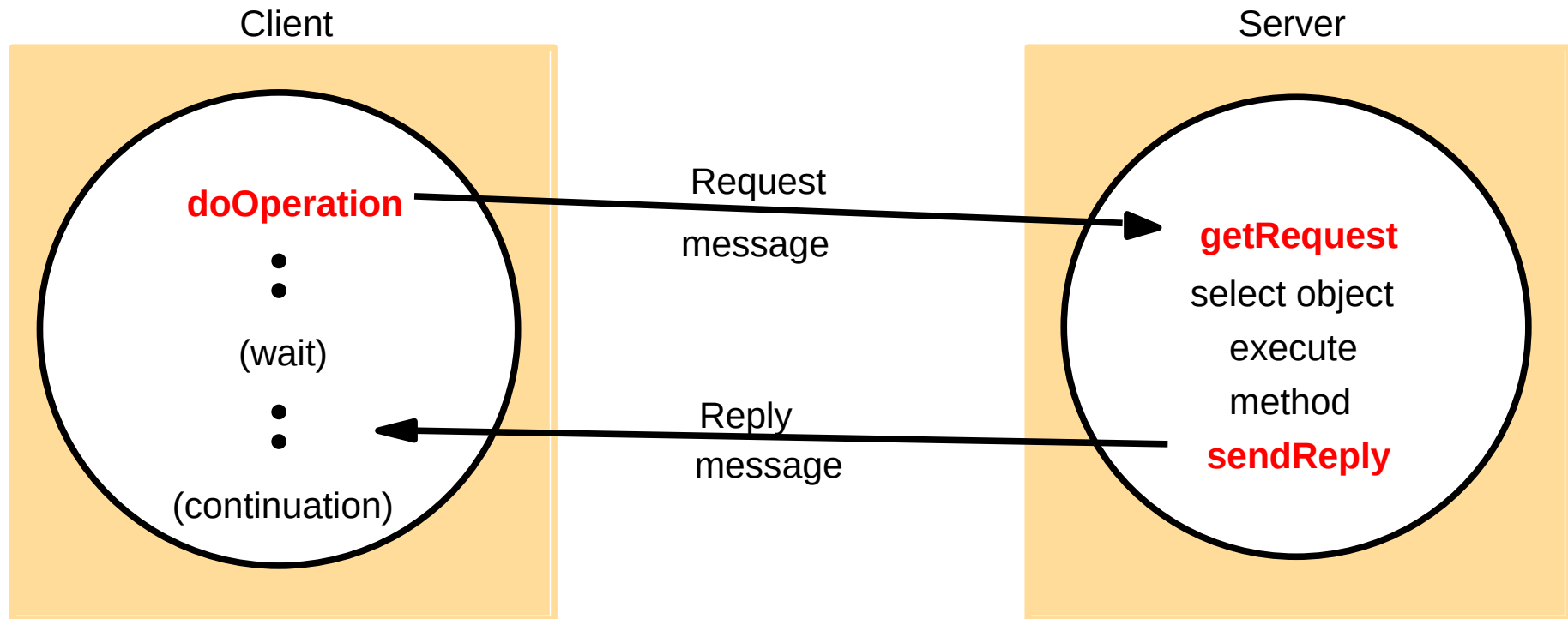
```
{"id": 123456789,  
  "name": "Smith",  
  "place": "London",  
  "year": 1984 }
```

Comunicação Cliente-Servidor

- ♦ usualmente baseado em comunicação Request-Reply síncrona
 - ♦ pois a resposta do servidor comprova a recepção da mensagem
 - ♦ mas também pode ser assíncrona (se o cliente recolhe as respostas mais tarde)
- ♦ UDP ou TCP
- ♦ UDP evita *overhead*:
 - ♦ *acknowledgement* – aqui são redundantes (já temos o reply)
 - ♦ estabelecimento da conexão (mais 2 pares de mensagens)
 - ♦ controlo de fluxo é desnecessário na maioria dos casos (são passados argumentos e resultados de tamanho reduzido)

Protocolo *Request-Reply*

- assenta em 3 primitivas:



Operações no Protocolo *Request-Reply*

◆ Primitivas usadas em *Request-Reply*:

public byte[] doOperation (RemoteObjectRef o, int methodId, byte[] arguments)

envia a mensagem com um pedido ao objeto remoto e devolve a resposta.

Argumentos: o objeto remoto, o método a invocar e respetivos argumentos.

public byte[] getRequest ();

através de um porto no servidor, recebe o pedido do cliente

public void sendReply (byte[] reply, InetAddress clientHost, int clientPort);

envia a mensagem de resposta para o cliente, através do seu par (endereço,porta)

Modelo de Falhas para *Request-Reply*

- ◆ se implementado sobre UDP: falhas de comunicação
 - ◆ falhas de omissão (algumas mensagens podem perder-se)
 - ◆ não há garantia de entrega pela mesma ordem do envio
- ◆ Falhas relacionadas com os processos (paragem, crash)
- ◆ Como tornar o sistema com UDP + fiável (a nível da aplicação):
 - ◆ utilizar **timeout** na operação doOperation, para reenvio de pedido
 - ◆ descartar **requests duplicados** (servidor verifica o identificador)
 - ◆ tratar **mensagens perdidas** – caso o servidor já tenha enviado o *reply*, então o *request* duplicado é processado para enviar de novo a resposta (se a op. for **idempotente**, caso contrário deve usar-se uma tabela, designada **Histórico** – ver *adiante*)
 - ◆ **uso de Histórico**: tabela com os últimos resultados que permite o reenvio de respostas sem repetir processamento
 - ◆ normalmente precisa apenas da última resposta para cada cliente

RPC

- ◆ protocolos usados em RPC:
 - ◆ request (R)
 - ◆ request-reply (RR)
 - ◆ request-reply-acknowledge reply (RRA)
- ◆ diferentes comportamentos perante falhas de comunicação
- ◆ a sua utilização depende do nº de mensagens necessárias

<i>Name</i>	<i>Messages sent by</i>		
	<i>Client</i>	<i>Server</i>	<i>Client</i>
R	<i>Request</i>		
RR	<i>Request</i>	<i>Reply</i>	
RRA	<i>Request</i>	<i>Reply</i>	<i>Acknowledge reply</i>

Request-Reply sobre TCP

- ◆ facilita a transmissão de argumentos e resultado de tamanho arbitrário
- ◆ mais fiável
- ◆ evita a necessidade de filtragem de duplicados e reenvios a nível do protocolo *request-reply*
- ◆ TCP facilita a implementação do protocolo RR
- ◆ Exemplo de protocolo RR:
 - ◆ HTTP

HTTP: request-reply

Request

method *URL or pathname* *HTTP version* *headers* *message body*

GET	//www.dcs.qmw.ac.uk/index.html	HTTP/ 1.1		
-----	--------------------------------	-----------	--	--

Reply

HTTP version *status code* *reason* *headers* *message body*

HTTP/1.1	200	OK		resource data
----------	-----	----	--	---------------

HTTP 1.1: ligações persistentes

- perduram durante várias séries de mensagens request-reply, para evitar o *overhead* do estabelecimento de uma nova ligação

Sockets para Datagramas e *Streams*

Sending a message

```
s = socket(AF_INET, SOCK_DGRAM, 0)
•
•
bind(s, ClientAddress)
•
•
sendto(s, "message", ServerAddress)
```

Receiving a message

```
s = socket(AF_INET, SOCK_DGRAM, 0)
•
•
bind(s, ServerAddress)
•
•
amount = recvfrom(s, buffer, from)
```

UDP

Requesting a connection

```
s = socket(AF_INET, SOCK_STREAM, 0)
•
•
connect(s, ServerAddress)
•
•
write(s, "message", length)
```

Listening and accepting a connection

```
s = socket(AF_INET, SOCK_STREAM, 0)
•
bind(s, ServerAddress);
listen(s, 5);
•
sNew = accept(s, ClientAddress);
•
n = read(sNew, buffer, amount)
```

TCP
stream

Comunicação em Grupo

- ◆ *multicast operation*: operação que envia uma mensagem de um processo para cada um dos membros de um grupo de processos
- ◆ usualmente, a constituição do grupo é transparente para o emissor e não há garantias de entrega ou ordenação
- ◆ **Multicast** fornece uma útil infraestrutura para (construir) SD que incluam:
 - ◆ detecção de servidores em *spontaneous networking*
 - ◆ replicação de dados para melhor desempenho
 - ◆ tolerância a falhas baseada na replicação dos serviços
 - ◆ propagação de notificações de eventos

IP Multicast

- ◆ **Multicast** sobre Internet Protocol (IP)
 - ◆ pacotes IP são destinados a endereços (máquinas – sem portos (estes dizem respeito à camada de transporte))
- ◆ **multicast group**: definido por um endereço IPv4 classe D
 - ◆ Em particular na gama 224.0.0.0 a 239.255.255.255
 - ◆ Endereços geridos pela *Internet Assigned Numbers Authority*
- ◆ é possível enviar datagramas para um grupo sem ser membro
- ◆ a nível da programação, o IP Multicast pode usar-se apenas com UDP
 - ◆ os dados circulam como datagramas
- ◆ ao nível de IP, um computador pertence ao grupo multicast se um ou mais processos tem sockets associados ao grupo

IP Multicast

- ◆ Modelo de Falhas no *multicast* de datagramas
 - ◆ falhas de omissão (inerentes ao UDP)
 - ◆ alguns membros podem não receber algumas mensagens
 - ◆ *unreliable multicast*: não garante a entrega de uma mensagem para cada membro do grupo
 - ◆ ordenação:
 - ◆ duas mensagens enviadas por processos diferentes podem não chegar pela ordem de envio
 - ◆ os pacotes IP de uma mensagem podem não chegar pela ordem de envio

Java API para IP Multicast:

join, troca de datagramas com o grupo

```
import java.net.*;
import java.io.*;
public class MulticastPeer{
    public static void main(String args[]){
        // args give message contents & destination multicast group (e.g. "228.5.6.7")
        MulticastSocket s =null;
        try {
            InetAddress group = InetAddress.getByName(args[1]);
            s = new MulticastSocket(6789);
            s.joinGroup(group);
            byte [] m = args[0].getBytes();
            DatagramPacket messageOut =
                new DatagramPacket(m, m.length, group, 6789);
            s.send(messageOut);
        }
    }
}
```

// this figure continued on the next slide

Java API para IP Multicast:

join, troca de datagramas com o grupo

```

// get messages from others in group
byte[] buffer = new byte[1000];
for(int i=0; i< 3; i++) {
    DatagramPacket messageIn =
        new DatagramPacket(buffer, buffer.length);
    s.receive(messageIn);
    System.out.println("Received:" + new String(messageIn.getData()));
}
s.leaveGroup(group);
}catch (SocketException e){System.out.println("Socket: " + e.getMessage());}
}catch (IOException e){System.out.println("IO: " + e.getMessage());}
}finally {if(s != null) s.close();}
}

```

Comunicação entre Processos - UNIX

- ◆ as primitivas para IPC (comunicação entre processos) estão disponíveis em *system calls* sobre UDP ou TCP
- ◆ destino da mensagem: socket address (internet address, port)
- ◆ um processo pode criar um socket para comunicar com outro processo, invocando a *system call* `socket`
- ◆ Comunicação via:
 - ◆ datagramas - UDP
 - ◆ *streams* - TCP

Redes Virtuais

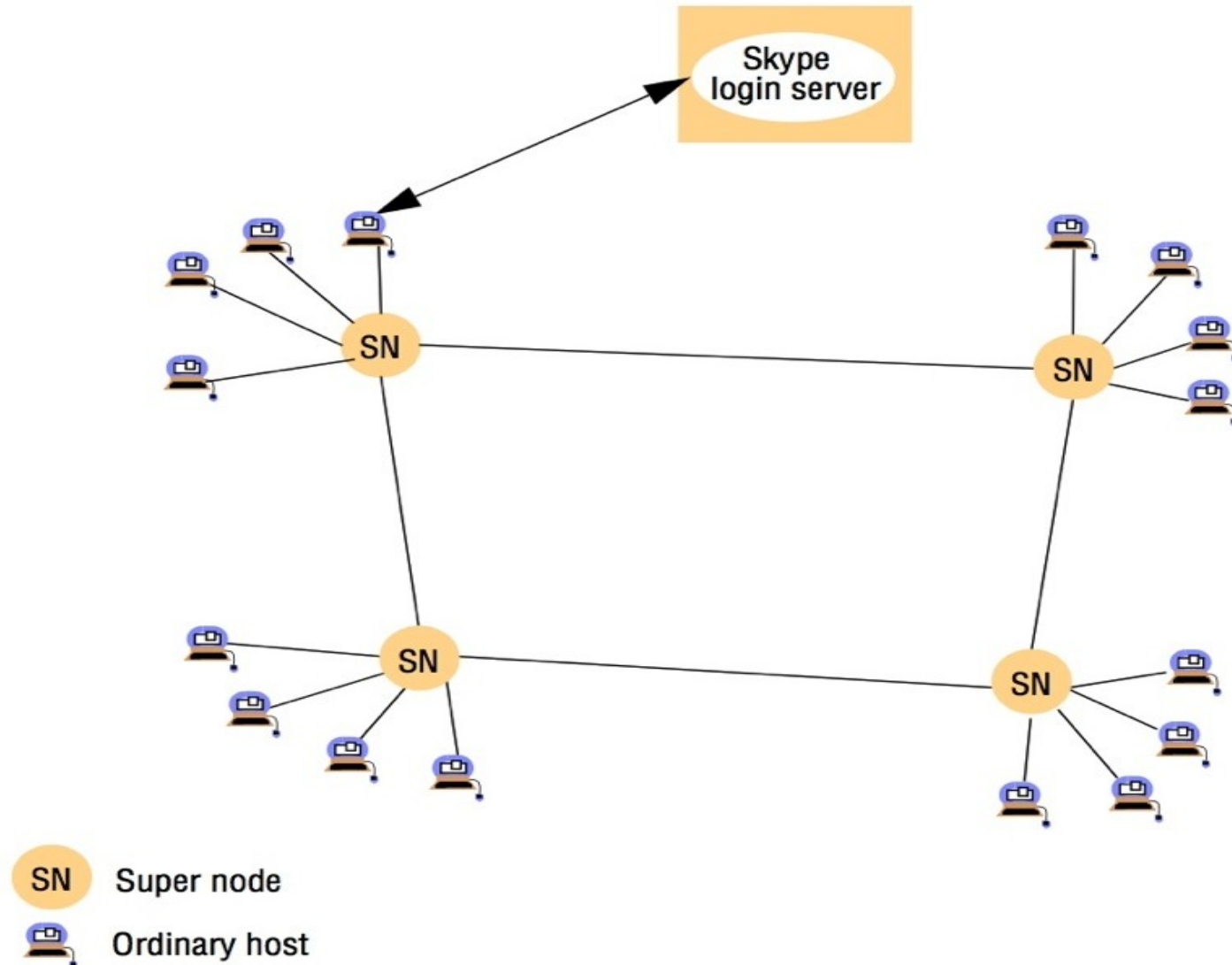
◆ *Network Overlay / Virtual Network*

- ◆ Rede virtual formada por um conjunto de nós e ligações lógicas/virtuais entre esses nós
 - ◆ Assenta numa rede convencional (como uma rede IP)
 - ◆ Esconde aspetos particulares dos segmentos em que assenta... fornece uma plataforma uniforme
 - ◆ Oferece serviços adicionais
 - ◆ Garantias adicionais de qualidade do serviço
 - ◆ Forma de encaminhamento (*routing*) própria
 - ◆ Segurança
 - ◆ Outros, vocacionados para determinado serviço específico
- ◆ Possível Desvantagem
 - ◆ Eventual perda de desempenho por existir mais uma camada

Exemplos: Skype

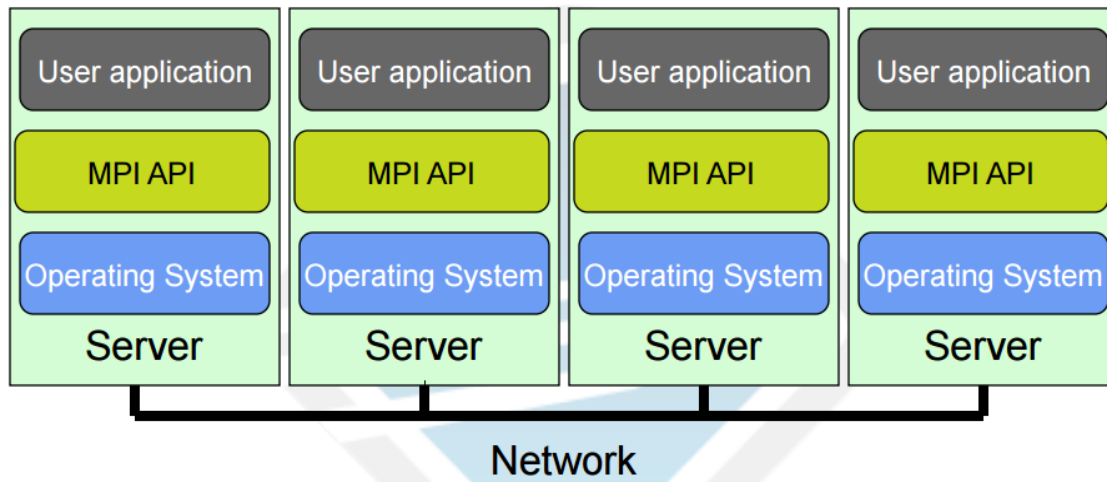
- ◆ Skype: aplicação Peer-to-Peer
 - ◆ de VoIP, IM, interfaces para serviço telefónico normal
 - ◆ Network overlay system com perto de 400 milhões de utilizadores
- ◆ Arquitetura: *Peer-to-peer...* com
 - ◆ Hosts cliente
 - ◆ Super nodes: hosts com capacidade suficiente
 - ◆ largura de banda, acessibilidade e/ou tempo de ligação ativa
 - ◆ endereço público de acessibilidade global
 - ◆ capacidade de processamento
- ◆ Funcionalidades importantes
 - ◆ Pesquisa de utilizadores
 - ◆ Envolve a consulta de 8 super nodes, em média
 - ◆ Chamadas de voz (TCP para negociar; UDP ou TCP para streaming)

Skype Network Overlay



Message Passing Interface (MPI)

- ◆ Mecanismo para comunicação entre processos baseado nas primitivas send/receive, usado em **programação distribuída**, para computação de alto desempenho



A operação send pode ser:

- bloqueante (`MPI_Send`)
- não bloqueante (`MPI_Isend`)

