SISTEMAS DISTRIBUÍDOS

Capítulo 4

Invocação remota

NOTA PRÉVIA

A estrutura da apresentação é semelhante e utiliza algumas das figuras do livro de base do curso

G. Coulouris, J. Dollimore and T. Kindberg,
Distributed Systems - Concepts and Design,
Addison-Wesley, 5th Edition, 2009

Para saber mais:

- RMI/RPCs - capítulo 5.
- Representação de dados e protocolos - capítulo 4.3.
- Web services – capítulo 9

MOTIVAÇÃO

Estruturar uma aplicação distribuída com base nas mensagens trocadas pelos seus componentes é a abordagem mais óbvia, mas:

- exige atenção a muitos detalhes de baixo nível; a estrutura dos programas espelha os padrões de comunicação, em vez da lógica da aplicação no seu todo.
- em particular, os servidores ficam estruturados em função das mensagens que sabem tratar.

PROBLEMAS ?

De aplicação para aplicação, verifica-se que muitas linhas de código são *repetitivas*, não contêm nenhum significado aplicacional específico e referem-se ao processamento das comunicações.

Em particular, boa parte do código está dedicado a:

- criação de *communication end points* e sua associação aos processos criação, preenchimento e interpretação das mensagens;
- selecção do código a executar consoante o tipo da mensagem recebida gestão de temporizadores/tratamento das falhas

OBJETIVO

- Não será possível automatizar aquilo que é repetitivo?
- Não será possível que o programador apenas especifique o código aplicacional?

INVOCAÇÃO REMOTA

Nas linguagem imperativas definem-se funções / procedimentos / métodos para executar uma dada operação. Num ambiente distribuído, uma extensão natural consiste em permitir que a **execução ocorra noutra máquina**.

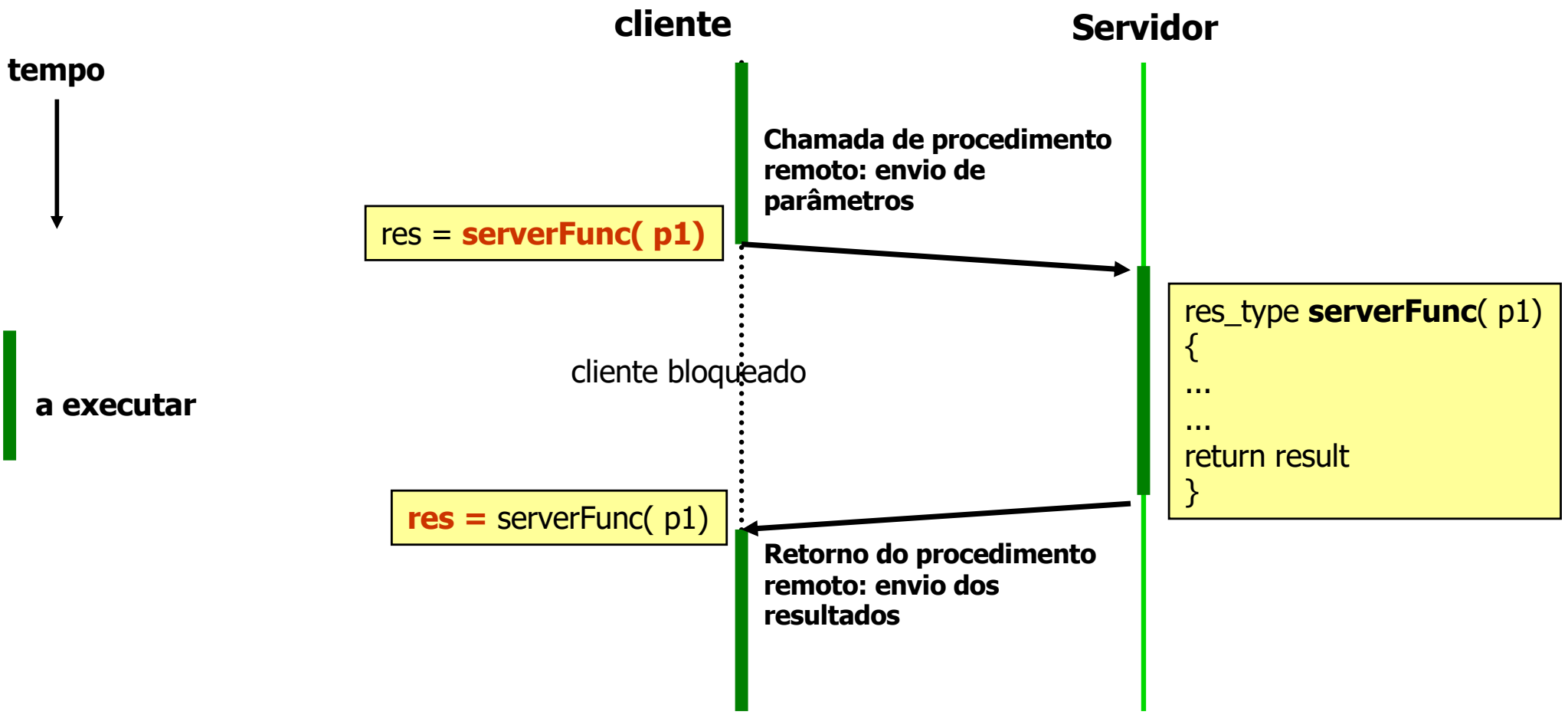
Invocação Remota de Procedimentos (RPCs), quando são executados funções/procedimentos remotamente.

- gRPC (https://grpc.io/), ONC/RPC, DCE

Invocação Remota de Métodos (RMI), quando são executados métodos de objetos remotos.

- JAVA RMI, .NET Remoting, Corba.
- Web Services (REST e SOAP)

INVOCAÇÃO DE PROCEDIMENTOS REMOTOS (RPCS)



Modelo

Servidor exporta interface com operações que sabe executar

Cliente invoca operações que são executadas remotamente e (normalmente) aguarda pelo resultado

INVOCAÇÃO REMOTA - PROPRIEDADES

Extensão natural do paradigma imperativo/procedimental a um ambiente distribuído

- Modelo síncrono de comunicação suporta chamadas bloqueantes no cliente

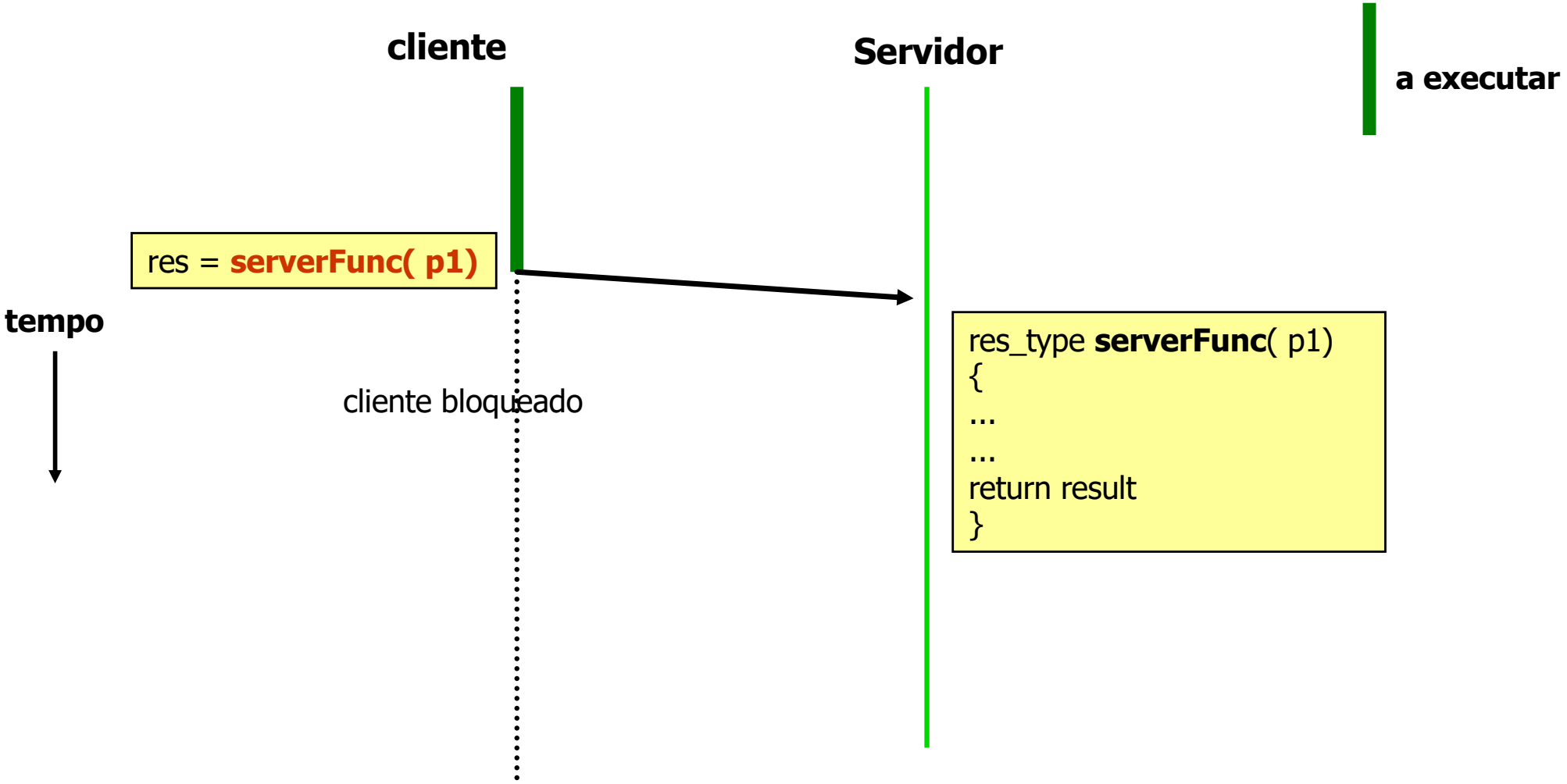
Esconde detalhes de comunicação (e tarefas repetitivas)

- Construção, envio, receção e tratamento das mensagens
- Tratamento básico de erros (devem ser tratados ao nível da aplicação)
- Heterogeneidade da representação dos dados

Simplifica disponibilização de serviços

- Interface bem definida, facilmente documentável e independente dos protocolos de transporte
- Sistema de registo e procura de serviços

RPCs: COMO IMPLEMENTAR



COMO ESCONDER OS DETALHES?
(SEM SUPORTE ESPECÍFICO DO RUNTIME DA LINGUAGEM)

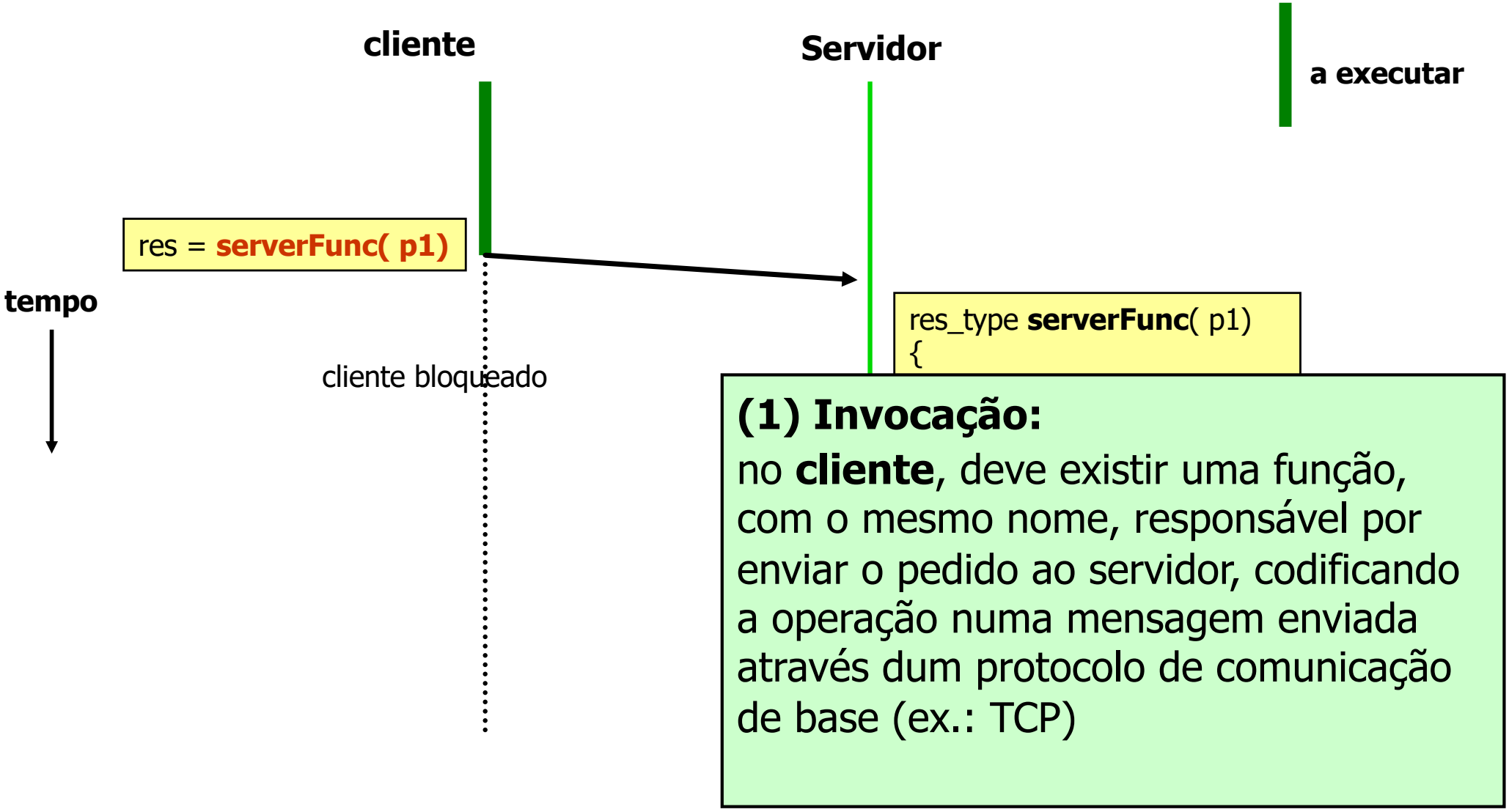
Cliente

```
res = serverFunc( p1)
```

Servidor

```
res_type serverFunc( T1 p1) {
        ...
        return result
}
```

RPCs: COMO IMPLEMENTAR



(1) Invocação:
no **cliente**, deve existir uma função, com o mesmo nome, responsável por enviar o pedido ao servidor, codificando a operação numa mensagem enviada através dum protocolo de comunicação de base (ex.: TCP)

COMO ESCONDER OS DETALHES?

(SEM SUPORTE ESPECÍFICO DO RUNTIME DA LING

(1) Invocação:
no **cliente**, deve existir uma função, com o mesmo nome, responsável por enviar o pedido ao servidor, codificando a operação numa mensagem enviada através dum protocolo de comunicação de base (ex.: TCP)

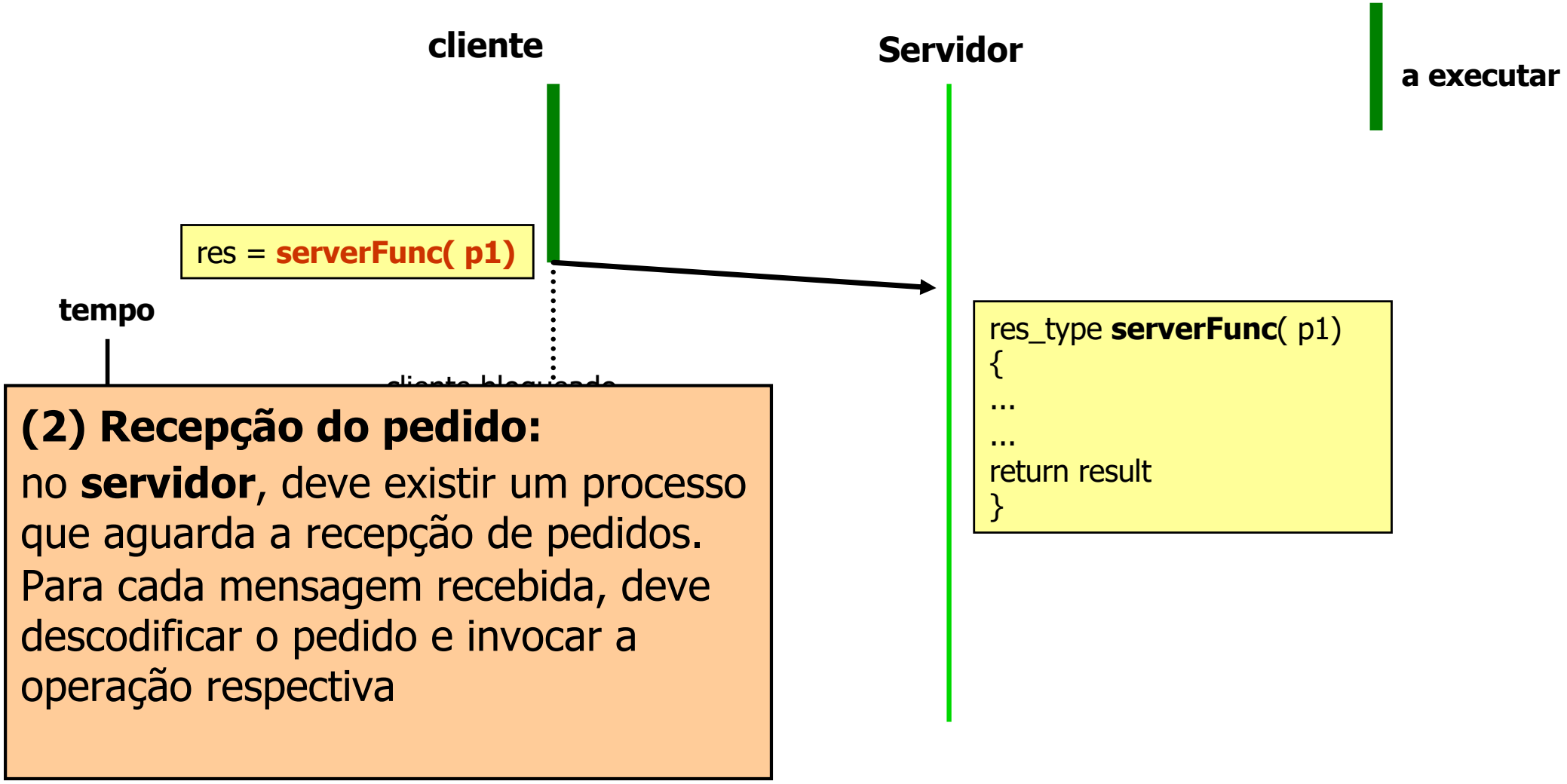
Cliente

```
res = serverFunc( p1)
```

```
}
```

```
res_type serverFunc( T1 p1)
    s = new Socket( host, port)
    s.send( msg[“serverFunc”,[p1]])
```

RPCs: COMO IMPLEMENTAR



(2) Recepção do pedido:
no **servidor**, deve existir um processo que aguarda a recepção de pedidos. Para cada mensagem recebida, deve descodificar o pedido e invocar a operação respectiva

COMO ESCONDER OS DETALHES?

(GUAGEM)

(2) Recepção do pedido:
no **servidor**, deve existir um processo que aguarda a recepção de pedidos. Para cada mensagem recebida, deve descodificar o pedido e invocar a operação respectiva

Servidor

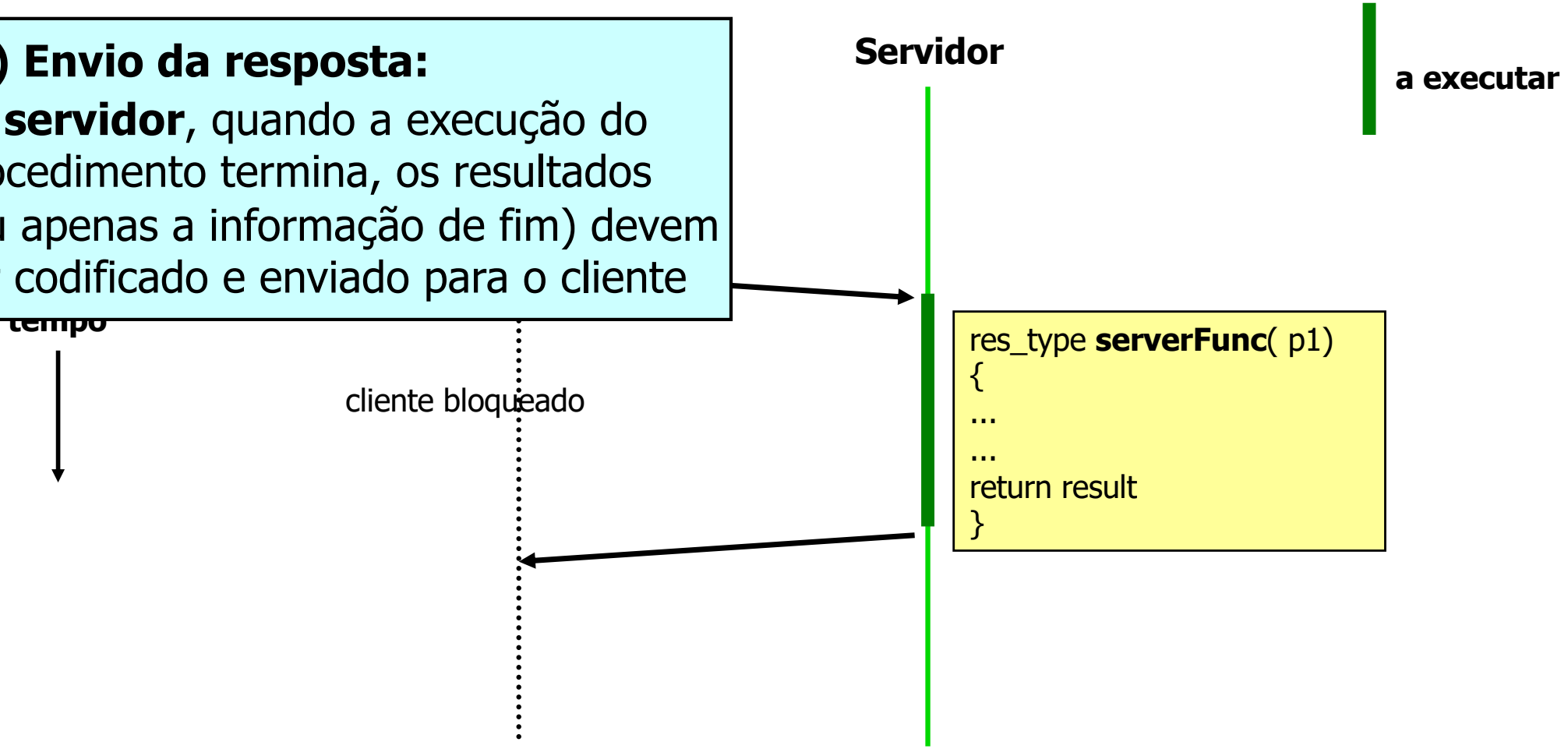
```
res_type serverFunc( T1 p1)
    s = new Socket( host, port)
    s.send( msg["serverFunc",[p1]])
```

```
res_type serverFunc( T1 p1) {
        ...
        return result
}
```

```
s = new ServerSocket
forever
    Socket c = s.accept();
    c.receive( msg[op, params])
    if( op = "serverFunc")
        res = serverFunc( params[0]);
    else if( op = ...)
        ...
```

RPCs: COMO IMPLEMENTAR

(3) Envio da resposta:
no **servidor**, quando a execução do procedimento termina, os resultados (ou apenas a informação de fim) devem ser codificado e enviado para o cliente



COMO ESCONDER OS DETALHES?
(SEM SUPORTE ESPECÍFICO DO RUNTIME DA LINGUAGEM)

(3) Envio da resposta:
no **servidor**, quando a execução do procedimento termina, os resultados (ou apenas a informação de fim) devem ser codificado e enviado para o cliente

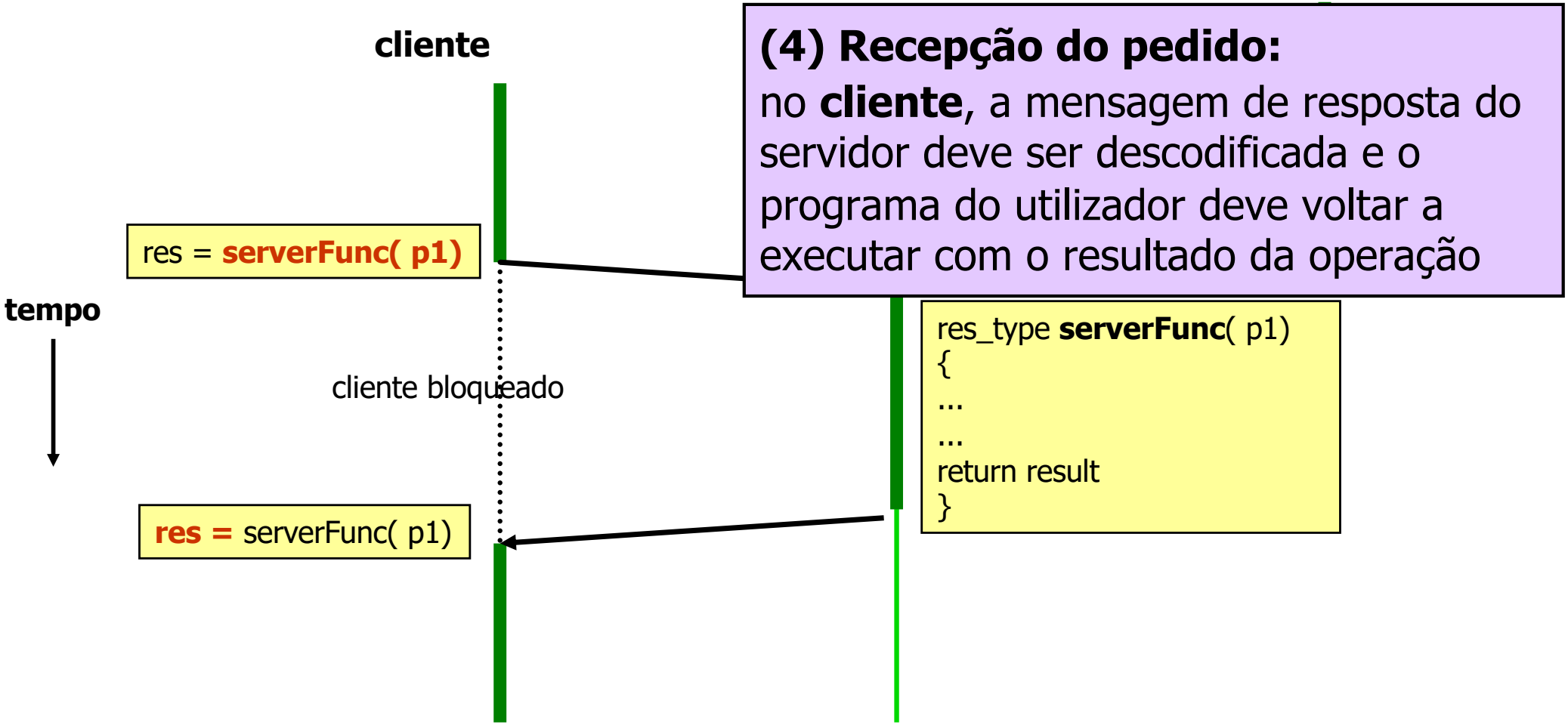
Servidor

```
res_type serverFunc( T1 p1)
    s = new Socket( host, port)
    s.send( msg[ "serverFunc",[p1]])
```

```
res_type serverFunc( T1 p1) {
        ...
        return result
}
```

```
s = new ServerSocket
forever
    Socket c = s.accept();
    c.receive( msg[op, params])
    if( op = "serverFunc")
        res = serverFunc( params[0]);
    else if( op = ...)
        ...
    c.send( msg[res])
    c.close
```

RPCs: COMO IMPLEMENTAR



COMO ESCONDER OS DETALHES?
(SEM SUPORTE ESPECÍFICO DO RUNTIME DA LINGUAGEM)

Cliente

```
res = serverFunc( p1)
```

```
res_type serverFunc( T1 p1)
    s = new Socket( host, port)
    s.send( msg( "serverFunc",[p1]))
    s.receive( msg( result))
    s.close
    return result
```

(4) Recepção do pedido:
no **cliente**, a mensagem de resposta do servidor deve ser descodificada e o programa do utilizador deve voltar a executar com o resultado da operação

```
s = new ServerSocket
forever
    Socket c = s.accept();
    c.receive( msg( op, params))
    if( op = "serverFunc")
        res = serverFunc( params[0]);
    else if( op = ...)
        ...
    c.send( msg(res))
    c.close
```

COMO ESCONDER OS DETALHES?
(SEM SUPORTE ESPECÍFICO DO RUNTIME DA LI

Cliente

```
res = serverFunc( p1)
```

```
res_type serverFunc( T1 p1)
    s = new Socket( host, port)
    s.send( msg( "serverFunc",[p1]))
    s.receive( msg( result))
    s.close
    return result
```

Na prática, sucessivas invocações podem partilhar o mesmo socket…

Stub do cliente ou _proxy_ do servidor

(4) Recepção do pedido:
no **cliente**, a mensagem de resposta do servidor deve ser descodificada e o programa do utilizador deve voltar a executar com o resultado da operação

(1) Invocação:
no **cliente**, deve existir uma função, com o mesmo nome, responsável por enviar o pedido ao servidor, codificando a operação numa mensagem enviada através dum protocolo de comunicação de base (ex.: TCP)

COMO ESCONDER OS DETALHES?
(SEM SUPORTE ESPECÍFICO DO RUNTIME DA LINGUAGEM)

Stub ou skeleton do servidor

(3) Envio da resposta:
no **servidor**, quando a execução do procedimento termina, os resultados (ou apenas a informação de fim) devem ser codificado e enviado para o cliente

(2) Recepção do pedido:
no **servidor**, deve existir um processo que aguarda a recepção de pedidos. Para cada mensagem recebida, deve descodificar o pedido e invocar a operação respectiva

Servidor

```
res_type serverFunc( T1 p1) {
            ...
            return result
}
```

```
s = new ServerSocket
forever
    Socket c = s.accept();
    c.receive( msg( op, params))
     if( op = "serverFunc")
         res = serverFunc( params[0]);
     else if( op = ...)
        ...
    c.send( msg(res))
    c.close
```

RPCs – Automatização (Proxy/Stub Compilers)

Nos sistemas de RPC/RMI, o código de comunicação é transparente para a aplicação.

É costume designar-se de **stub do cliente** às funções do cliente que efetuam a comunicação com o servidor para executar o método no servidor;

Do lado do servidor, o **stub ou *skeleton* do servidor** corresponde ao código de comunicação para esperar as invocações e executá-las, devolvendo o resultado;

RPCs – Automatização (Proxy/Stub Compilers)

Em alguns sistemas e ambientes usam-se ferramentas (compiladores) para gerar os stubs; e.g., wsimport para WebServices SOAP; gRPC.

Noutros sistemas a geração é automática: no servidor, quando este é instanciado; no cliente quando este se liga ao servidor da primeira vez:

- e.g., Java RMI, Servidor JAX-RS(Jersey);

Há ainda casos onde a invocação remota faz parte da própria especificação do ambiente/linguagem e é parte integrante do runtime:

- e.g., .NET Remoting.

SISTEMAS DISTRIBUÍDOS

Capítulo 4

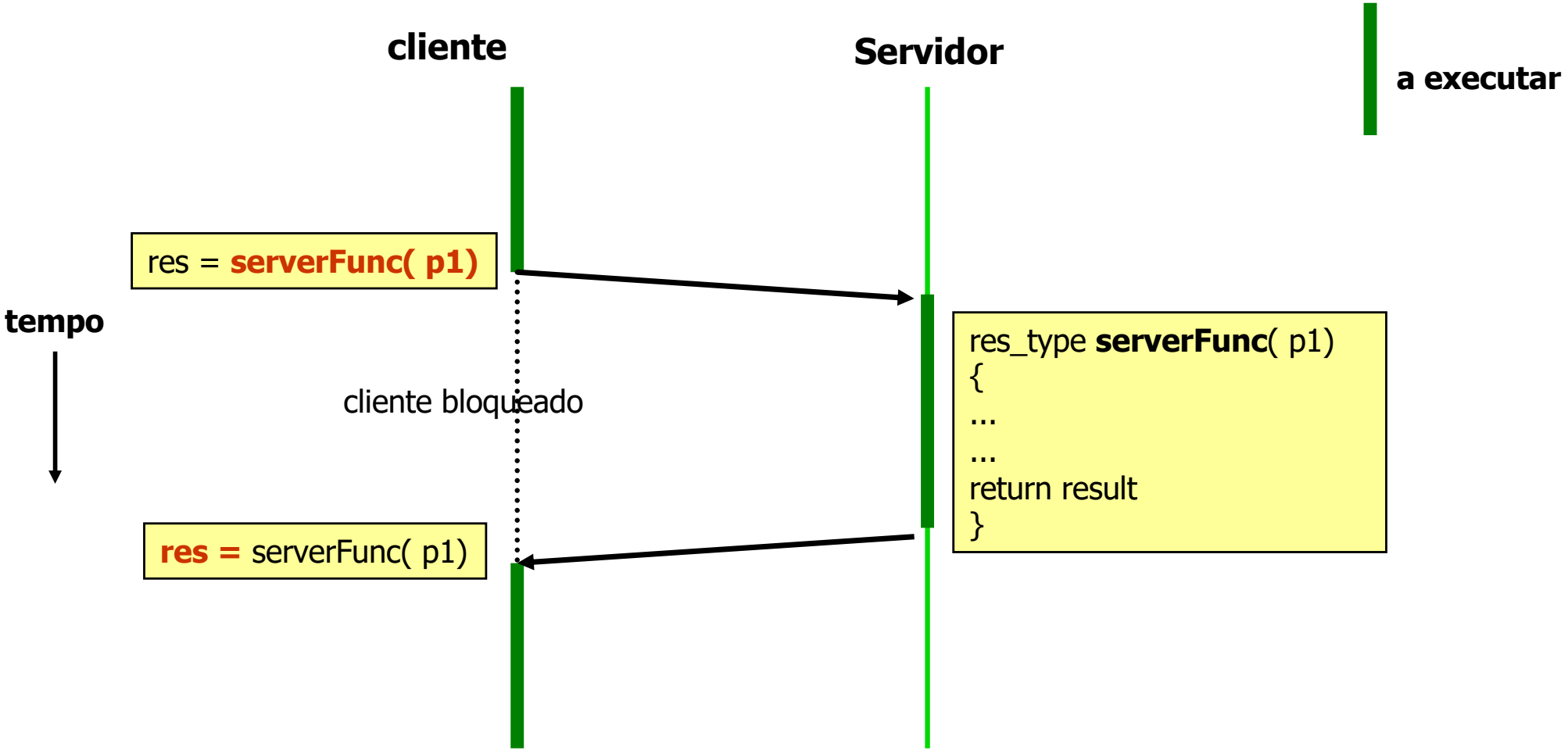
Invocação remota

NA ÚLTIMA AULA

Invocação remota de procedimentos/objectos

- Motivação
- Modelo
- Concorrência no servidor
- Definição de interfaces e método de passagem de parâmetros
- Codificação dos dados
- Mecanismos de ligação (binding)
- Protocolos de comunicação
- Sistemas de objetos distribuídos

INVOCAÇÃO REMOTA



NA ÚLTIMA AULA

Cliente

```
res = serverFunc( p1)
```

```
res_type serverFunc( T1 p1)
    s = new Socket( host, port)
    s.send( msg( "serverFunc",[p1]))
    s.receive( msg( result))
    s.close
    return result
```

Stub do cliente ou *proxy* do servidor

(4) Recepção do pedido:
no **cliente**, a mensagem de resposta do servidor deve ser descodificada e o programa do utilizador deve voltar a executar com o resultado da operação

(1) Invocação:
no **cliente**, deve existir uma função, com o mesmo nome, responsável por enviar o pedido ao servidor, codificando a operação numa mensagem enviada através dum protocolo de comunicação de base (ex.: TCP)

NA ÚLTIMA AULA

Stub ou skeleton do servidor

(3) Envio da resposta:
no **servidor**, quando a execução do procedimento termina, os resultados (ou apenas a informação de fim) devem ser codificado e enviado para o cliente

(2) Recepção do pedido:
no **servidor**, deve existir um processo que aguarda a recepção de pedidos. Para cada mensagem recebida, deve descodificar o pedido e invocar a operação respectiva

Servidor

```
res_type serverFunc( T1 p1) {
            ...
            return result
}
```

```
s = new ServerSocket
forever
    Socket c = s.accept();
    c.receive( msg( op, params))
     if( op = "serverFunc")
         res = serverFunc( params[0]);
     else if( op = ...)
        ...
    c.send( msg(res))
    c.close
```

AGENDA

Invocação remota de procedimentos/objectos

- Motivação
- Modelo
- Definição de interfaces e método de passagem de parâmetros
- Codificação dos dados
- Organização do servidor
- Mecanismos de ligação (binding)
- Protocolos de comunicação
- Sistemas de objetos distribuídos

Interface Definition Languages (IDL)

Problema: Necessário especificar quais as operações que estão disponíveis:

- Interface do serviço – assinatura das funções
- Tipos e constantes usados

Em alguns sistemas, os clientes e os servidores podem ser implementados em linguagens diferentes.

Os IDL são usados para definir as interfaces (não o código das operações):

- Por vezes, esta distinção é difícil de fazer porque os IDLs estão integrados com linguagem
- Em certos sistemas (e.g. .NET remoting), a interface pode não ser definida autonomamente

IDLs – APROXIMAÇÕES POSSÍVEIS

Usar subconjunto de uma linguagem já existente

- Ex.: Java RMI, .NET remoting

Definir linguagem específica para especificar interfaces dos servidores/objectos remotos

- Ex.: WSDL, gRPC
- Geralmente baseado numa linguagem existente

- Necessidade de mapear o IDL e as linguagens de desenvolvimento dos clientes/servidores

INTERFACE REMOTA EM JAVA RMI

```
public interface ContaBancaria
                                    extends Re
 {

        public void depositar ( float quantia )
                        throws RemoteException;

        public void levantar ( float quantia)
                        throws SaldoDescoberto, RemoteException;

        public float saldoActual ( )
                        throws RemoteException;
}
```

Interfaces remotos estendem **Remote**

Métodos devem lançar **RemoteException** para tratar erros de comunicação

Interfaces definidos em Java *standard*

INTERFACE DEFINIDA EM C# PARA .NET REMOTING

```
using System;
namespace IRemoting
{
        public interface ContaBancaria
        {
                double SaldoActual
                {
                        get;
                }
                void depositar ( float quantia );
                void levantar (float quantia);
        }
```

Permite definir atributos acessíveis por operações associadas (get/set)

Interface definida em C# comum

INTERFACE DEFINIDA EM C# PARA .NET REMOTING

```
using System;
namespace IRemoting
{
        public interface ContaBar
        {
                double SaldoActua
                {
                        get;
                }
                void depositar ( float
                void levantar (float qu
        }
}
```

```
public class ServiceClass :
        System.MarshalByRefObject
{
   public void depositar(float quantia) {
        Console.WriteLine (quantia);…
   }

   …
}
```

No .NET Remoting não é necessário definir qual a interface remota – esta pode ser inferida a partir da definição do servidor

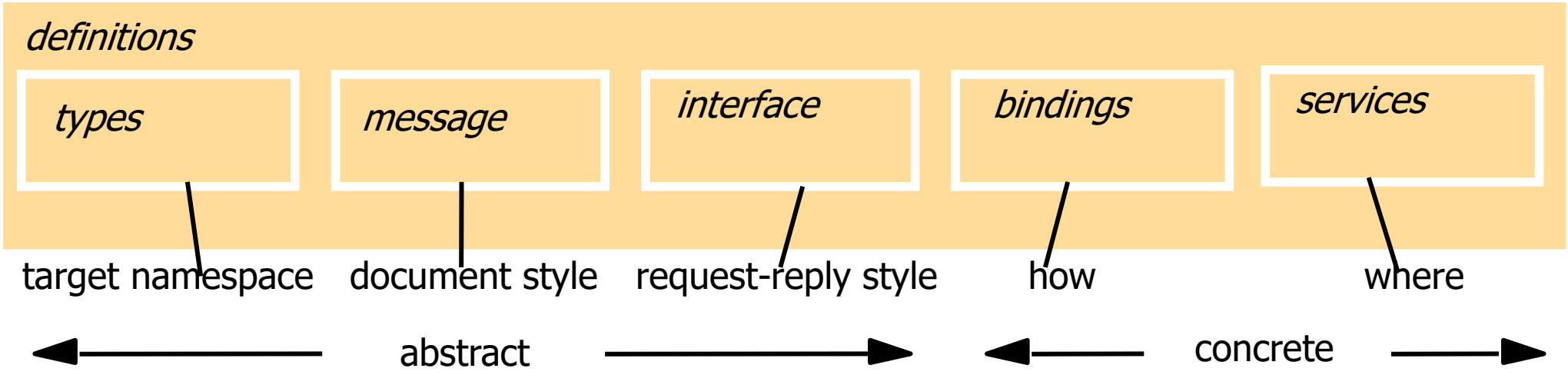
Um objecto remoto deve estender MarshalByRefObject

WSDL – IDL PARA *WEB SERVICES*

Definição da interface em XML

- WSDL permite definir a interface do serviço, indicando quais as mensagens trocadas na interacção
- WSDL permite também definir a forma de representação dos dados e a forma de aceder ao serviço

- Especificação WSDL bastante verbosa – normalmente criada a partir de interface ou código do servidor
  - Ex. JAX-WS tem ferramentas para criar especificação a partir de



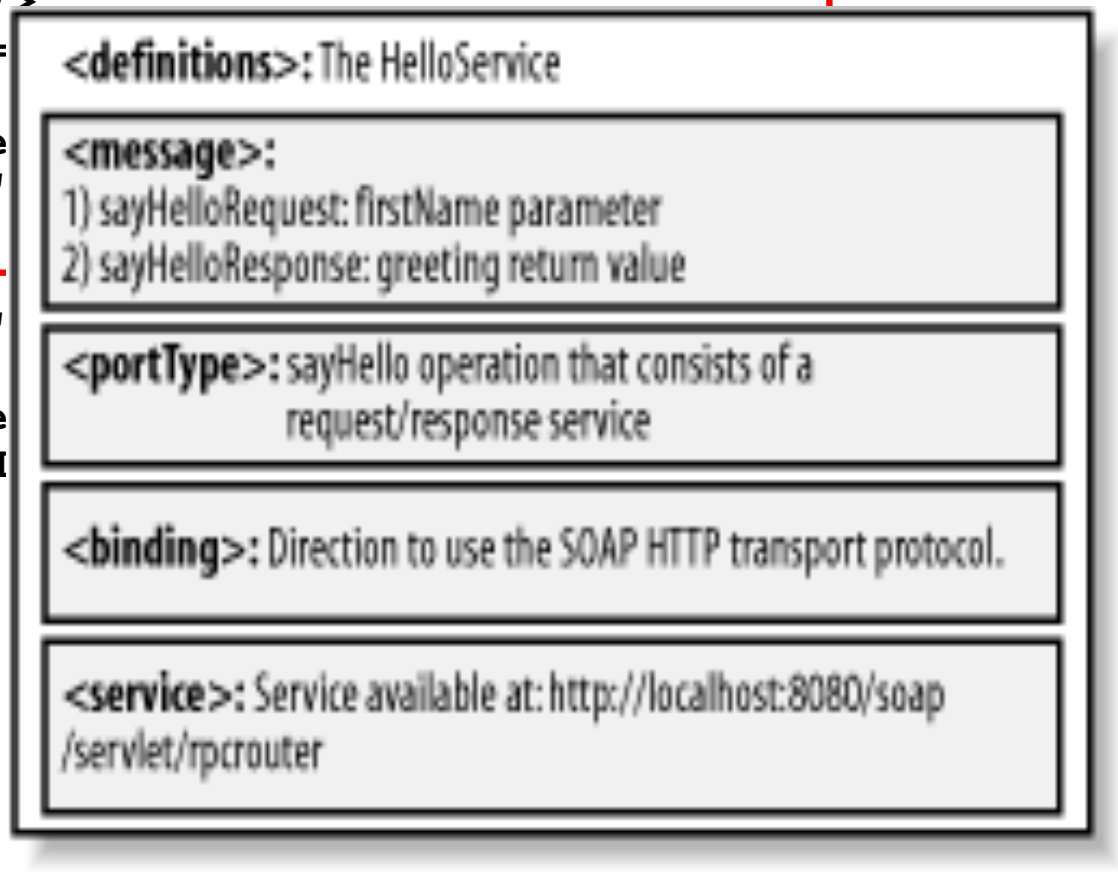
WSDL - EXEMPLO

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<definitions name="HelloService"
   targetNamespace="http://www.ecerami.com/wsdl/HelloService.wsdl"
   xmlns="http://schemas.xmlsoap.org/wsdl/"
   xmlns:soap="http://schemas.xmlsoap.org/wsdl/soap/"
   xmlns:tns="http://www.ecerami.com/wsdl/HelloService.wsdl"
   xmlns:xsd="http://www.w3.org/2001/XMLSchema">

   <message name="SayHelloRequest">
      <part name="firstName" type="xsd:string"/>
   </message>
   <message name="SayHelloResponse">
      <part name="greeting" type="xsd:string"/>
   </message>

   <portType name="Hello_PortType">
      <operation name="sayHello">
         <input message="tns:SayHelloRequest"/>
         <output message="tns:SayHelloResponse"/>
      </operation>
   </portType>
```

(exemplo do livro Web Services Essentials, O'Reilly, 2002.)

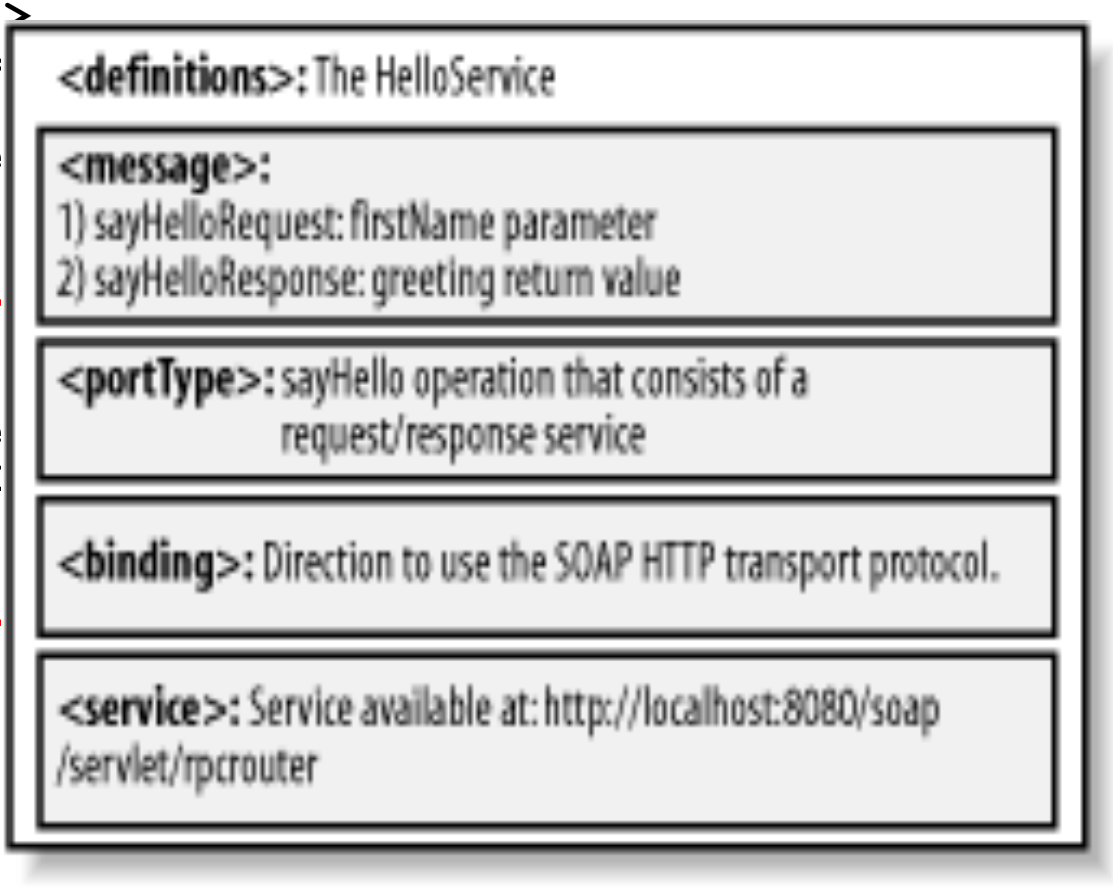
WSDL - EXEMPLO

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<definitions name="HelloService"
   targetNamespace="http://www.ecerami.com/wsdl/HelloService.wsdl"
   xmlns="http://schemas.xmlsoap.org/wsdl/"
   xmlns:soap="http://schemas.xmlsoap.org/wsdl/soap/"
   xmlns:tns="http://www.ecerami.com/wsdl/HelloService.wsdl"
   xmlns:xsd="http://www.w3.org/2001/XMLSchema">

   <message name="SayHelloRequest">
      <part name="firstName" type=
   </message>
   <message name="SayHelloResponse
      <part name="greeting" type="
   </message>

   <portType name="Hello_PortType"
      <operation name="sayHello">
         <input message="tns:SayHe
         <output message="tns:SayH
      </operation>
   </portType>
```



WSDL - EXEMPLO

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<definitions name="HelloService"
   targetNamespace="http://www.ecerami.com/wsdl/HelloService.wsdl"
   xmlns="http://schemas.xmlsoap.org/wsdl/"
   xmlns:soap="http://schemas.xmlsoap.org/wsdl/soap/"
   xmlns:tns="http://www.ecerami.com/wsdl/HelloService.wsdl"
   xmlns:xsd="http://www.w3.org/2001/XMLSchema">

   <message name="SayHelloRequest">
      <part name="firstName" type=
   </message>
   <message name="SayHelloResponse
      <part name="greeting" type="
   </message>

   <portType name="Hello_PortType"
      <operation name="sayHello">
         <input message="tns:SayHe
         <output message="tns:SayH
      </operation>
   </portType>
```

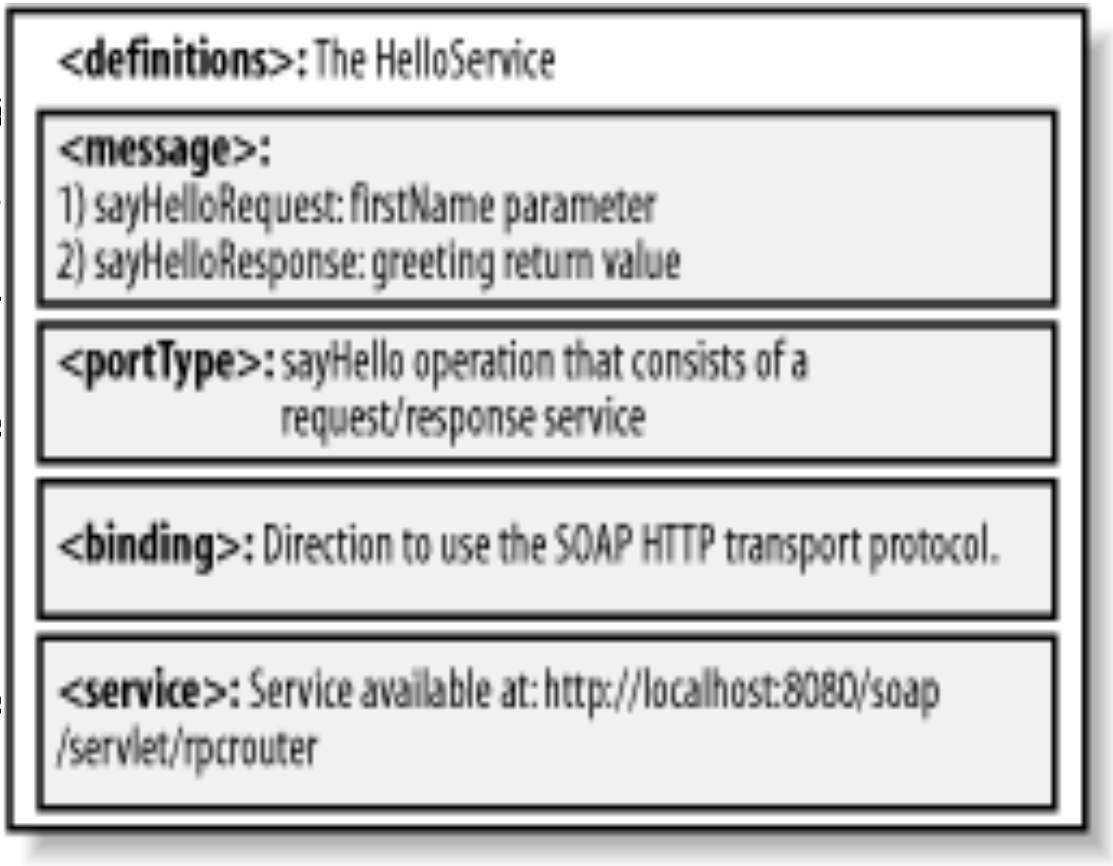


WSDL - EXEMPLO

```
      <binding name="Hello_Binding" type="tns:Hello_PortType">
    <soap:binding style="rpc"
       transport="http://schemas.xmlsoap.org/soap/http"/>
    <operation name="sayHello">
       <soap:operation soapAction="sayHello"/>
       <input>
          <soap:body
             encodingStyle="http://schemas.xmlsoap.org/soap/encoding/"
             namespace="urn:examples:helloservice"
             use="encoded"/>
       </input>
       <output>
          <soap:body
             encodingStyle="http://sc
             namespace="urn:examples:
             use="encoded"/>
       </output>
    </operation>
 </binding>

  <service name="Hello_Service">
     <documentation>WSDL File for Hell
     <port binding="tns:Hello_Binding"
        <soap:address
           location="http://localhost:
     </port>
  </service>
</definitions>
```

WSDL - EXEMPLO

```
    <binding name="Hello_Binding" ty
    <soap:binding style="rpc"
       transport="http://schemas.xmls
    <operation name="sayHello">
       <soap:operation soapAction="sa
       <input>
          <soap:body
             encodingStyle="http://sc
             namespace="urn:examples:
             use="encoded"/>
       </input>
       <output>
          <soap:body
             encodingStyle="http://sc
             namespace="urn:examples:
             use="encoded"/>
       </output>
    </operation>
 </binding>

 <service name="Hello_Service">
    <documentation>WSDL File for HelloService</documentation>
    <port binding="tns:Hello_Binding" name="Hello_Port">
       <soap:address
          location="http://localhost:8080/soap/servlet/rpcrouter"/>
    </port>
 </service>
</definitions>
```



WSDL a partir do Java (JAX-WS)

```
@WebService()
public class SimpleWSServer {
        ...
        public SimpleWSServer() {
                ...
        }
        @WebMethod()
        public String[] list( String path) {
                ...
        }
}
```

INTERFACE SERVIDOR REST EM JAVA (JAX-RS)

```
@Path("/files")
public interface FileServerREST {
        @GET
        @Path("/{path}")
        @Produces(MediaType.APPLICATION_JSON)
        public String[] list( @PathParam(”path") String path);

        @POST
        @Path("/{path}")
        @Consumes(MediaType.OCTET_STREAM)
        @Produces(MediaType.APPLICATION_JSON)
        public Response upload (@PathParam(”path") String path, byte[] contents);
}       }
```

gRPC

Interface definido num service

```
service UsersServer {
  rpc createUser(CreateUserRequest) returns (CreateUserReply) {}
  rpc getUser(GetUserRequest) returns (UserReply) {}
  rpc updateUser(UpdUserRequest) returns (UserReply) {}
  rpc deleteUser(UserPwdRequest) returns (UserReply) {}
  rpc searchUsers(SearchRequest) returns (ListUserReply) {}
  rpc verifyPassword(UserPwdRequest) returns (Void) {}
}
```

Métodos definidos usando a keyword rpc. Pode ter apenas um parâmetro e um resultado, definido como mensagens protobuf

gRPC (cont.)

Message permite definir uma mensagem a ser transmitida.

```
message User {
        optional string userId = 10;
        optional string email = 11;
        optional string fullName = 12;
        optional string password = 13;
}
```

Pode ter campos opcionais.

```
message CreateUserRequest {
        User user = 20;
}
```

Message pode ser construída à custa de outras mensagens.

gRPC (cont.)

```
enum ErrorCode {
        OK = 0;
        NO_CONTENT = 209;
         ...
}

message CreateUserReply {
        oneof status {
                ErrorCode code = 30;
                string userId = 31;
        }
}
```

Mensagem pode ter campos alternativos.

gRPC: CÓDIGO DO SERVIÇO

```
class GRPCUsersService extends UsersServerImplBase {
    @Override
    public void createUser( CreateUserRequest request,
            StreamObserver<CreateUserReply> responseObserver) {

       System.out.println("id:" + request.getUser().getUserId());

       ...

       CreateUserReply response = CreateUserResult.newBuilder()
          .setUserId("47")
          .build();


        responseObserver.onNext(response);
        responseObserver.onCompleted();

    }

    …
```

gRPC: CÓDIGO DO SERVIDOR

```
public class GrpcServer {
    public static void main(String[] args) {
        Server server = ServerBuilder
          .forPort(8080)
          .addService(new GRPCUsersService()).build();

        server.start();
        server.awaitTermination();
    }
}
```

gRPC: CÓDIGO DO CLIENTE

```
ManagedChannel channel = ManagedChannelBuilder
                .forAddress("server_address", 8080)
                .usePlaintext()
                .build();

UsersServerBlockingStub stub

           = UsersServerGrpc.newBlockingStub(channel);


CreateUserReply reply = stub.createUser (
                      CreateUserRequest.newBuilder()
                             .setUserId ("47")
                             ...
                             .build());


channel.shutdown();
```

gRPC (cont.)

Ferramenta **proto** cria, a partir da especificação da interface:

- Skeleton do servidor – métodos devem ser redefinidos com implementação do método;
- Stub do cliente, que permite criar um cliente para efetuar uma invocação remota.

Diferentes variantes do proto permitem construir o código base para diferentes linguagens – nas práticas vamos usar o proto-java.

gRPC permite definir chamadas síncronas, assíncronas, callbacks do servidor para o cliente, etc.

AGENDA

Invocação remota de procedimentos/objectos

- Motivação
- Modelo
- Definição de interfaces e método de passagem de parâmetros
- Codificação dos dados
- Organização do servidor
- Mecanismos de ligação (binding)
- Protocolos de comunicação
- Sistemas de objetos distribuídos

CODIFICAÇÃO DOS DADOS - PROBLEMA

Como representar dados trocados entre os clientes e os servidores?

CODIFICAÇÃO DOS DADOS - PROBLEMA

Várias dimensões do problema

- Diferentes representações de tipos primitivos dependendo do sistema/processador
- Diferentes representações dos tipos complexos em diferentes linguagens

Dados têm se ser enviados como uma sequência/array de bytes

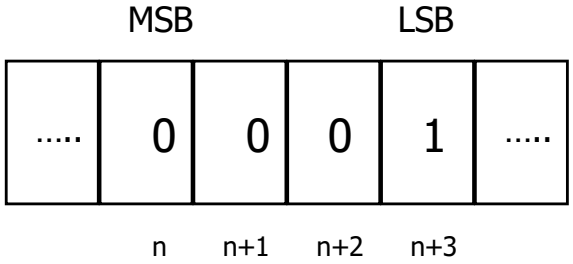
REPRESENTAÇÃO DOS TIPOS PRIMITIVOS

Diferentes sistemas representam os tipos primitivos de formas diferentes

- Inteiros armazenados por ordem diferente em memória – big-endian vs. little endian
- Diferentes representações para números reais – IEEE 754, decimal32, etc.
- Caracteres com diferentes codificações – ASCII, UTF-8 ,UTF-16, etc.

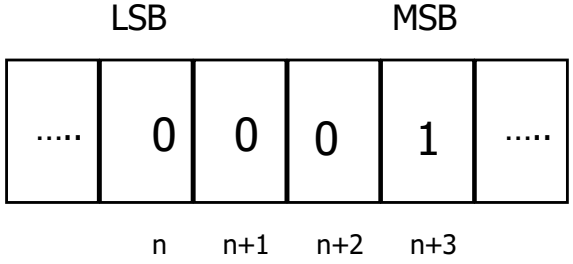
Simples transmissão dos valores armazenados pode levar a resultados errados

"big-endian"



conteúdo da palavra
= 1

"little-endian"



conteúdo da palavra
= 1 x 256 x 256 x 256

REPRESENTAÇÕES DOS DADOS – TIPOS COMPLEXOS

Aplicações manipulam estruturas de dados complexas

- Ex.: representadas por grafos de objectos

Mensagens são sequências de bytes

O que é necessário fazer para propagar estrutura de dados complexa?

- É necessário convertê-la numa sequência de bytes
- Por exemplo, para um objecto é necessário:
  - Converter as variáveis *internas*, incluindo outros objectos
  - Necessário lidar com ciclos nas referências

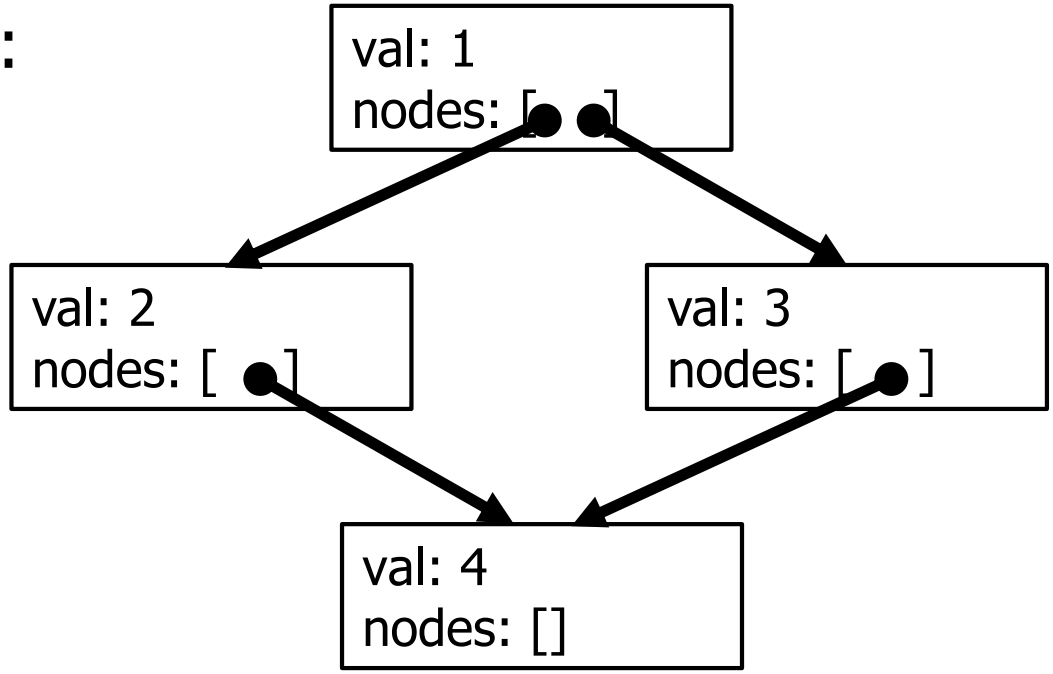
Marshalling – processo de codificar do formato interno para o formato rede

Unmarshalling – processo de descodificar do formato rede para o formato interno

PORQUE É QUE O MARSHALLING É COMPLEXO

Considere o seguinte exemplo:

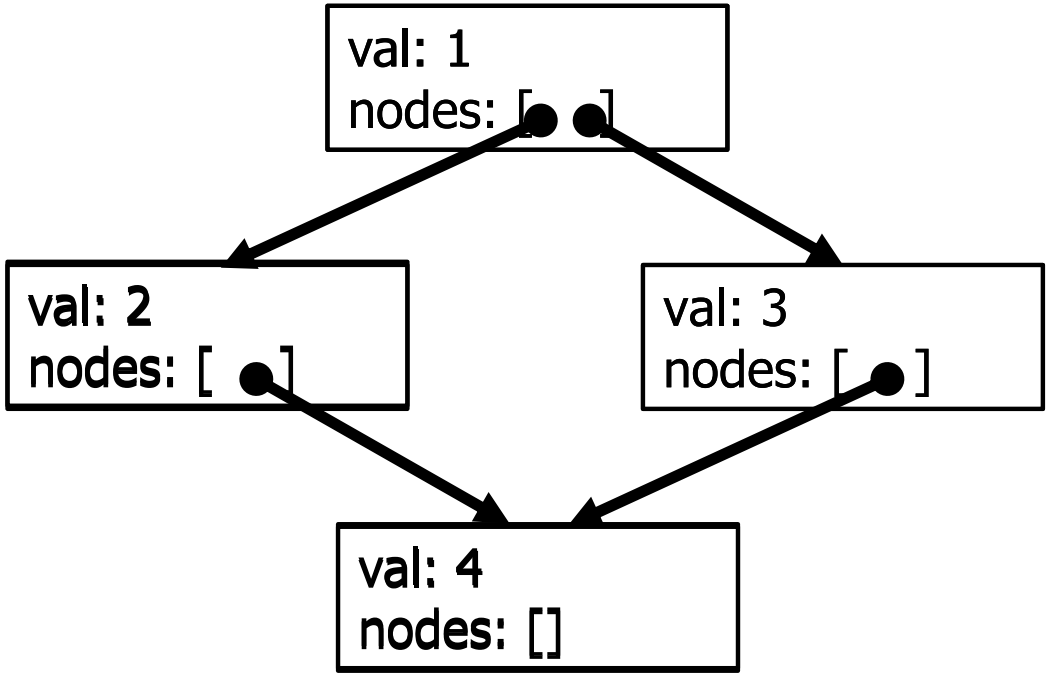
```
class Node {
    int val;
    Node[] nodes;
}
```



PORQUE É QUE O MARSHALLING É COMPLEXO?

Serializamos outra vez o node com val = 4 ?
Necessário ter forma de referenciar que um objeto já foi serializado.

Necessário representar as referências.
O que serializamos a seguir?



APROXIMAÇÕES À CODIFICAÇÃO DOS DADOS

Utilização de formato intermédio independente (network standard representation)

- Emissor converte da representação nativa para a representação da rede
- O receptor converte da representação da rede para a representação standard

Utilização do formato do emissor (receiver makes it right)

- Emissor envia usando a sua representação interna e indicando qual ela é
- Receptor, ao receber, faz a conversão para a sua representação

Utilização do formato do receptor (sender makes it right)

Propriedades:

- Desempenho ?
  - rep. intermédia tem pior desempenho - exige duas transformações
- Complexidade (número de transformações a definir) ?
  - rep. intermédia exige apenas que em cada plataforma se saiba converter de/para formato intermédio

JAVA SERIALIZATION

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

The true serialized form contains additional type markers; h0 and h1 are handles

```
public class Person
  implements Serializable
{
    private String name;
    private String place;
    private int year;
    ...
}
```

Assume-se que o processo de *deserialization* não tem informação sobre os objectos serializados

- Forma serializada inclui informação dos tipos

Serialização grava estado de um grafo de objectos

- A cada objecto é atribuído um *handle*. Permite escrever apenas uma vez cada objecto, mesmo quando existem várias referência para o mesmo no grafo de objectos.

SERIALIZAÇÃO DE OBJECTOS

Permite codificar/descoficar grafos de objectos

- Detecta e preserva ciclos pois incorpora a identidade dos objectos no grafo

Adaptável em cada classe (os métodos responsáveis podem ser redefinidos)

Os objectos devem ser serializáveis

- por omissão não são – porquê?
  - poderia abrir problemas de segurança. Exemplo?
  - Permitia acesso a campos private, por exemplo.

Os campos static e transient não são serializados

Usa *reflection* – permite obter informação sobre os tipos em runtime

- Assim, não necessita de funções especiais de marshalling e unmarshalling

EXTENSIBLE MARKUP LANGUAGE (XML)

XML permite descrever estruturas de dados complexas

- Tags usadas para descrever a estrutura dos dados
- Permite associar pares atributo/valor com a estrutura lógica

XML é extensível

- Novas tags definidas quando necessário

Num documento XML toda a informação é textual

- Podem-se codificar valores binários, por exemplo, em base64

No contexto dos sistemas de RPC/RMI, o XML pode ser usado para:

- Codificar parâmetros em sistemas de RPC
- Codificar invocações (SOAP)
- Etc.

```
<person id="123456789">
        <name>Smith</name>
        <place>London</place>
        <year>1934</year>
        <!-- a comment -->
</person >
```

```
<?xml version="1.0"?>
<methodCall>
        <methodName>inc</methodName
>
        <params>
            <param>

        <value><i4>41</i4></value>
            </param>
        </params>
</methodCall>
```

EXTENSIBLE MARKUP LANGUAGE (XML)

XML permite descrever estruturas de dados complexas

Tags usadas para descrever a estrutura dos dados

```
<person id="123456789">
        <name>Smith</name>
        <place>London</place>
```

```
<?xml version='1.0' encoding='UTF-8'?>
<soap:Envelope xmlns:xsi='http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance'
xmlns:xsd='http://www.w3.org/2001/XMLSchema'
xmlns:soap='http://schemas.xmlsoap.org/soap/ envelope/'
xmlns:soapenc='http://schemas.xmlsoap.org/soap/encoding/'
soap:encodingStyle='http://schemas.xmlsoap.org/soap/encoding/'>
<soap:Body>
        <n:sayHello xmlns:n='urn:examples:helloservice'>
                <firstName xsi:type='xsd:string'>World</firstName>
        </n:sayHello>
</soap:Body>
</soap:Envelope>
```

Etc.

```
        <value><i4>41</i4></value>
        </param>
    </params>
</methodCall>
```

XML SCHEMA / XML NAMESPACES

Um XML namespace permite criar espaço de nomes para os nomes dos elementos e atributos usados nos documentos XML

Um XML schema define os elementos e atributos que podem aparecer num documento XML

```
<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>
```

XML SCHEMA / XML NAMESPACES

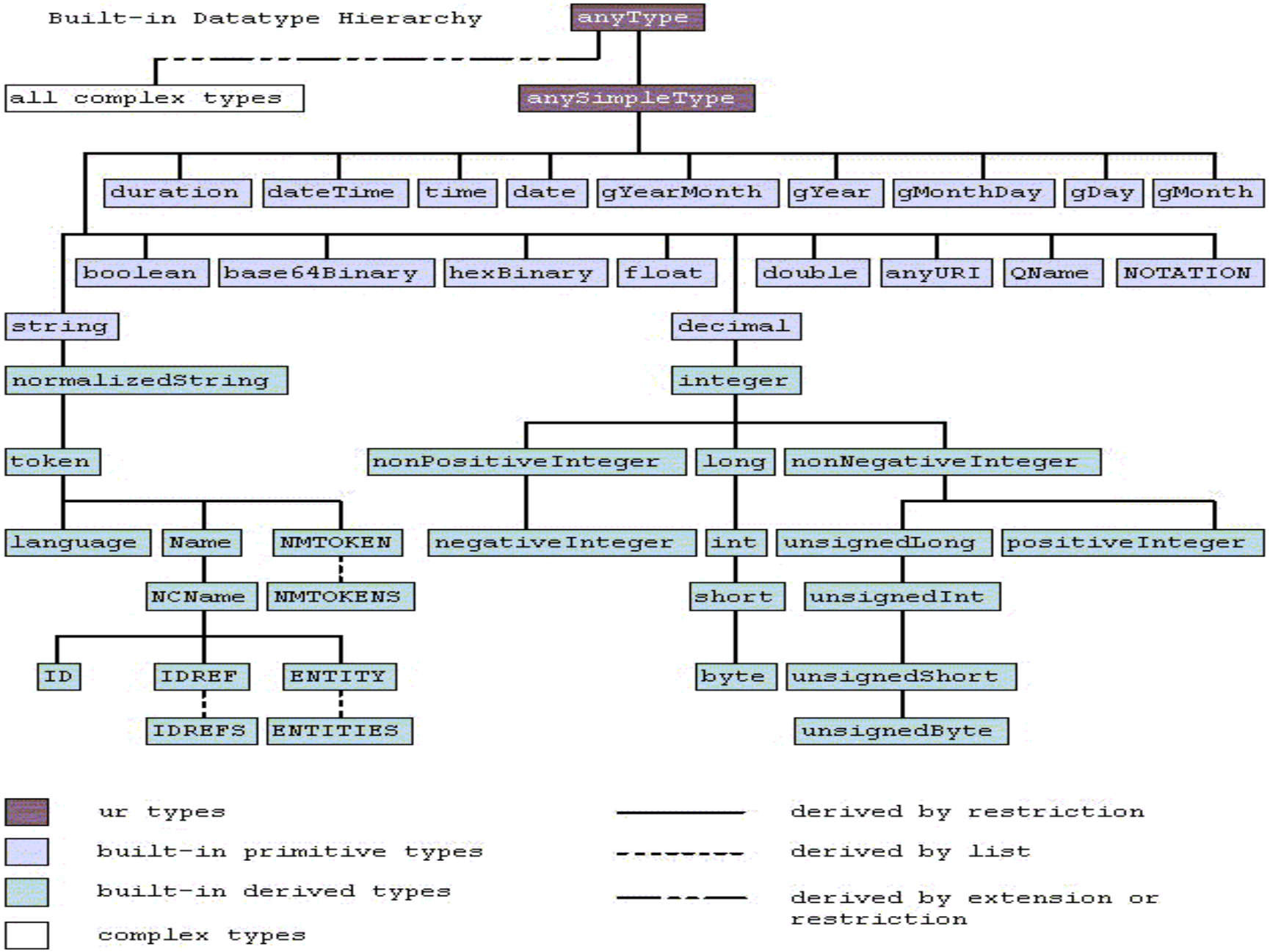
Um XML namespace permite criar espaco de nomes para os nomes dos elementos e atributos usac

Um XML schema define os elementos aparecer num documento XML

```
<person id="123456789">
    <name>Smith</name>
    <place>London</place>
    <year>1934</year>
</person >
```

```
<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>
```

TIPOS XML


Built-in Datatype Hierarchy
anyType
all complex types
anySimpleType
duration
dateTime
time
date
gYearMonth
gYear
gMonthDay
gDay
gMonth
boolean
base64Binary
hexBinary
float
double
anyURI
QName
NOTATION
string
decimal
normalizedString
integer
token
nonPositiveInteger
long
nonNegativeInteger
language
Name
NMTOKEN
negativeInteger
int
unsignedLong
positiveInteger
NCName
NMTOKENS
short
unsignedInt
ID
IDREF
ENTITY
byte
unsignedShort
IDREFS
ENTITIES
unsignedByte
ur types
built-in primitive types
built-in derived types
complex types
derived by restriction
derived by list
derived by extension or restriction

JSON (JavaScript Object Notation)

JSON permite descrever estruturas de dados complexas em formato de texto

Tipos primitivos

- Number
- String
- Boolean

Tipos complexos

- Array
- Object (mapa chave / valor)

JSON é uma alternativa ao XML

```
{  "Person":  {
     "name": "Smith",
     "place": "London",
     "year": 1934,
   }
}
```

```
{  "Person":  {
     "name": "Smith",
     "place": "London",
     "year": 1934,
     "phone": [999999999,
               888888888],
   }
}
```

PROTOBUF (GOOGLE PROTOCOL BUFFERS)

```
message Person {
    required string name = 1;
    required int32 id = 2;
    optional string email = 3;

    enum PhoneType {
            MOBILE = 0;
            HOME = 1;
            WORK = 2;
    }

    message PhoneNumber {
            required string number = 1;
            optional PhoneType type = 2
[default = HOME];
    }
    repeated PhoneNumber phone = 4;
}
```

```
person {
    name: "John Doe”
    id: 13
    email: "jdoe@example.com"
}
```

Dados passam na rede em formato binário

Menor dimensão, mais rápido a processar

- E.g. protobuf: 28 bytes; 100 ns
- XML: 69 bytes; 5000 ns

PROTOBUF (GOOGLE PROTOCOL BUFFERS)

Dados passam na rede em formato binário

Compilador cria código para serializar/deserializar dados estruturados

Resultado: menor dimensão, mais rápido a processar

E.g. protobuf: 28 bytes; 100-200 ns

XML: 69 bytes; 5000-10000 ns

... E MUITOS MAIS

Existe um grande número de soluções para serializar/deserializar objetos. Porquê?

Porque a serialização/deserialização pode ter impacto na performance dos sistemas distribuídos:

- Tempo de serialização/deserialização
- Dimensão das mensagens => tempo de propagação das mensagens

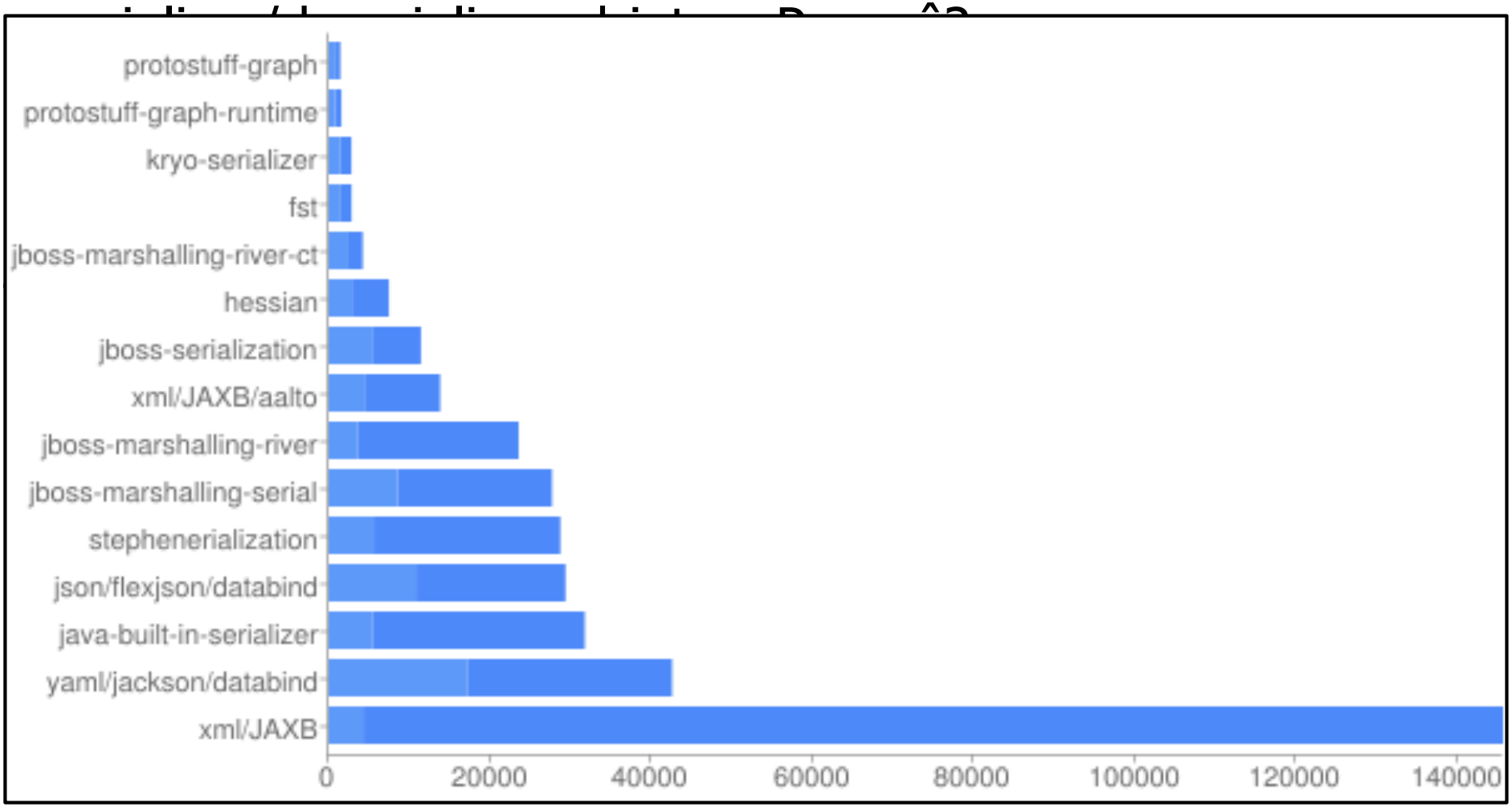
… E MUITOS MAIS

Existe um grande número de soluções pa

Po

pe

-
-



Source: https://github.com/eishay/jvm-serializers/wiki

REPRESENTAÇÕES DOS DADOS: CLASSIFICAÇÃO

Conteúdo da representação

- Formato binário – Java, protobuf
- Formato de texto – XML, JSON

Integração com linguagem

- Independente – XML, JSON, protobuf
- Integrado – Java, JSON

Informação de tipos

- Incluída – Java, XML
- Não incluída – JSON, protobuf

SISTEMAS DISTRIBUÍDOS

Capítulo 4

Invocação de procedimentos e de métodos remotos

NA ÚLTIMA AULA: IDLS – APROXIMAÇÕES POSSÍVEIS

Usar subconjunto de uma linguagem já existente

- Ex.: Java RMI, .NET remoting

Definir linguagem específica para especificar interfaces dos servidores/objectos remotos

- Ex.: WSDL, gRPC
- Geralmente baseado numa linguagem existente

- Necessidade de mapear o IDL e as linguagens de desenvolvimento dos clientes/servidores

NA ÚLTIMA AULA: REPRESENTAÇÕES DOS DADOS

Conteúdo da representação

- Formato binário – Java, protobuf
- Formato de texto – XML, JSON

Integração com linguagem

- Independente – XML, JSON, protobuf
- Integrado – Java, JSON

Informação de tipos

- Incluída – Java, XML
- Não incluída – JSON, protobuf

MÉTODOS DE PASSAGEM DE PARÂMETROS

Numa linguagem de programação, independentemente dos tipos dos parâmetros, os mesmos podem ser:

- Passados por valor
- Passados por referência

MÉTODOS DE PASSAGEM DE PARÂMETROS (CONT.)

Aproximação comum nos sistemas de RPC/RMI:

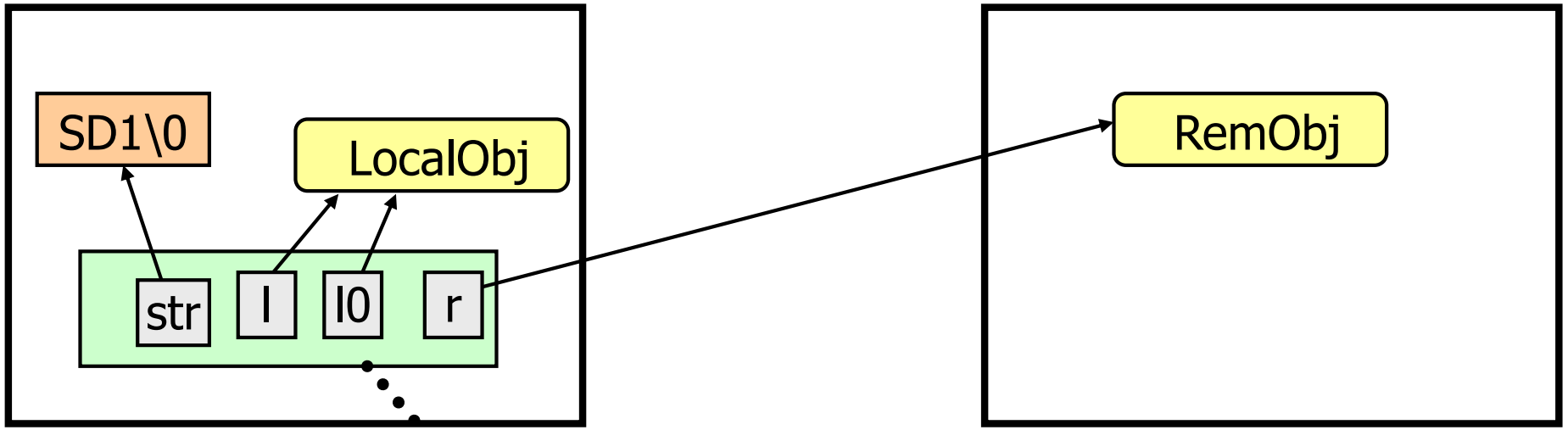
- Passagem por valor para tipos primitivos, arrays, estruturas e objetos
  - Apontadores/referências para arrays, objetos, etc. são seguidas
  - Estado dos objetos é copiado (ex: Java RMI)

  - Porque não passar tipos básicos por referência?

- Passagem por referência para objetos remotos
  - quando o tipo de um parâmetro é um objeto remoto, uma referência para o objeto é transferida

  - Porque não passar objetos remotos por valor?

MÉTODOS DE PASSAGEM DE PARÂMETROS: EXEMPLO

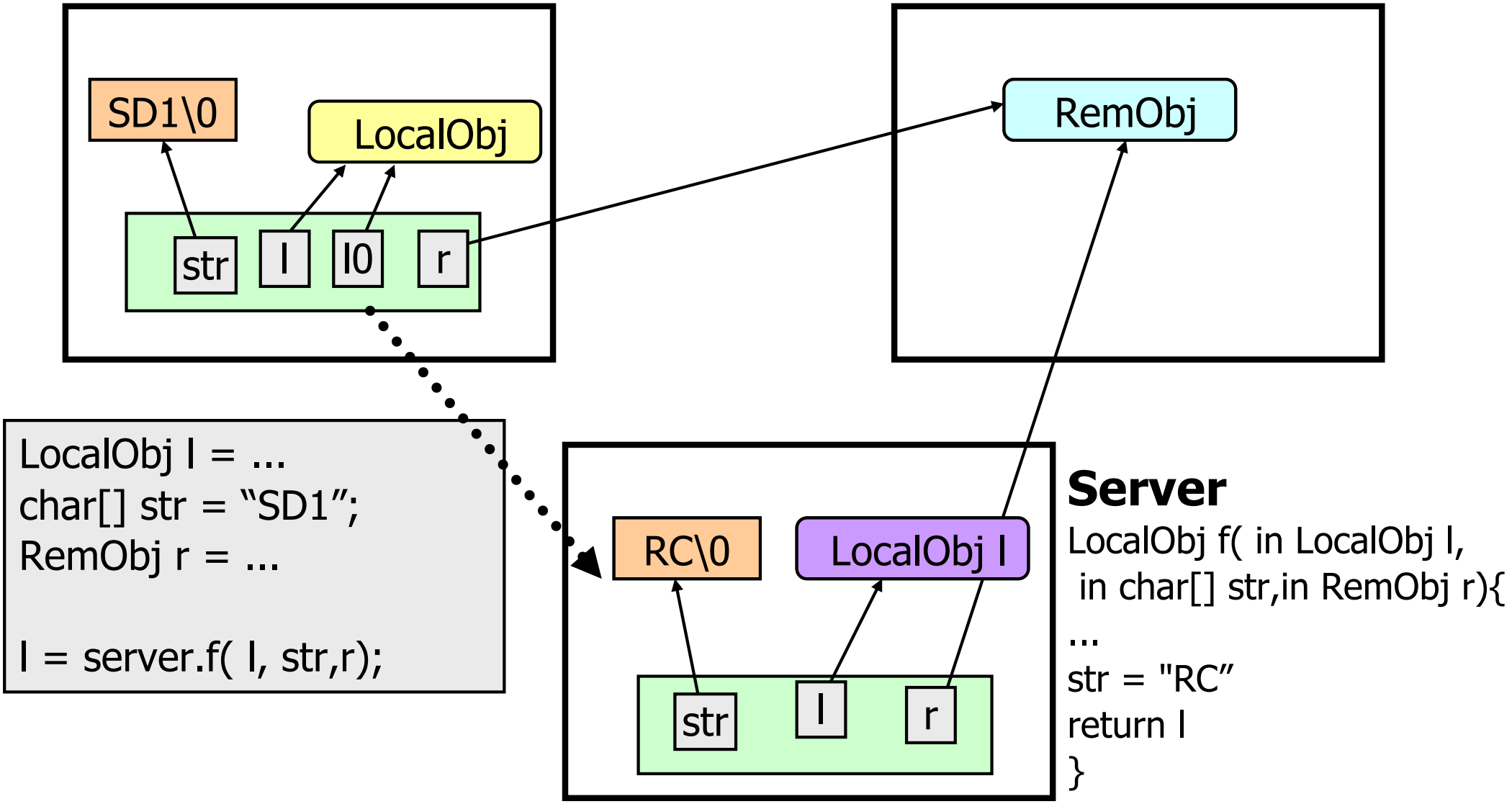



```
LocalObj l = ...
char[] str = "SD1";
RemObj r = ...

l = server.f( l, str,r);
```

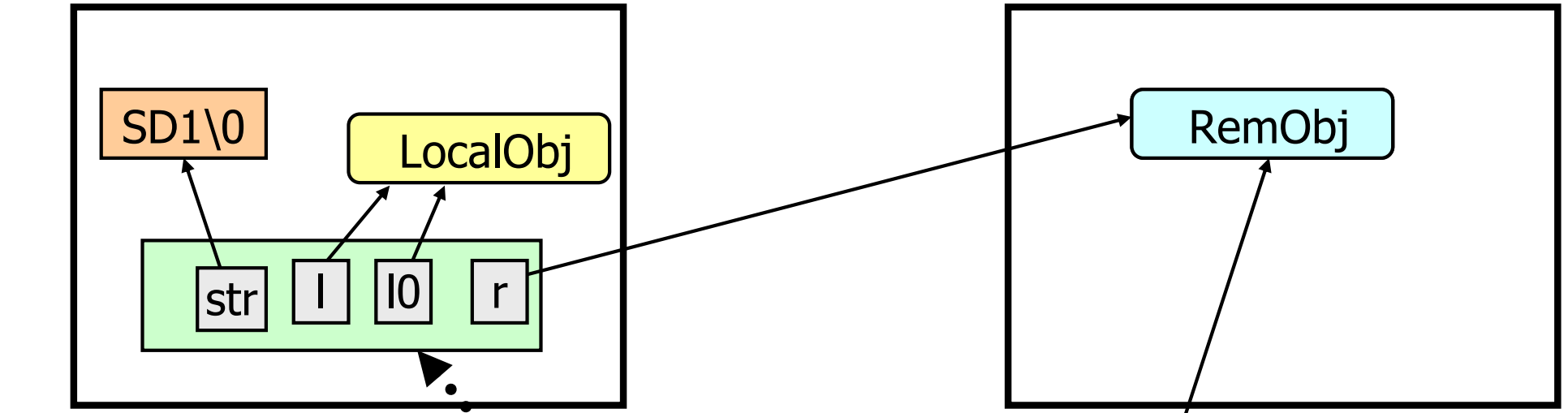
Server

```
LocalObj f( in LocalObj l,
 in char[] str,in RemObj r){
...
str = "RC"
return l
}
```

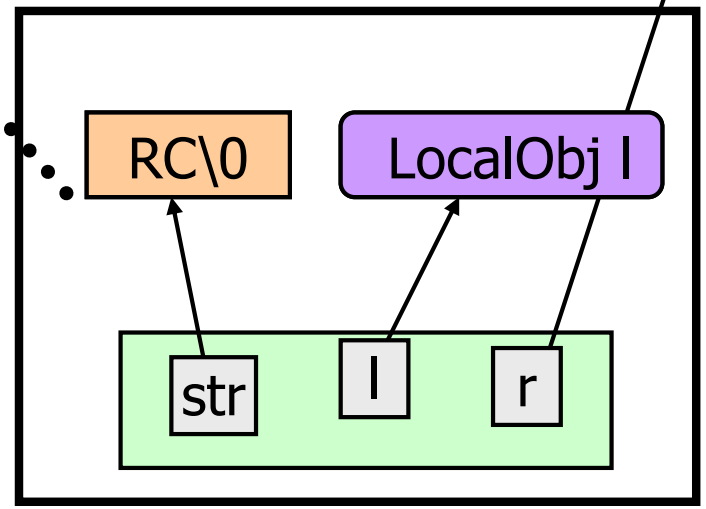
MÉTODOS DE PASSAGEM DE PARÂMETROS: EXEMPLO



MÉTODOS DE PASSAGEM DE PARÂMETROS: EXEMPLO



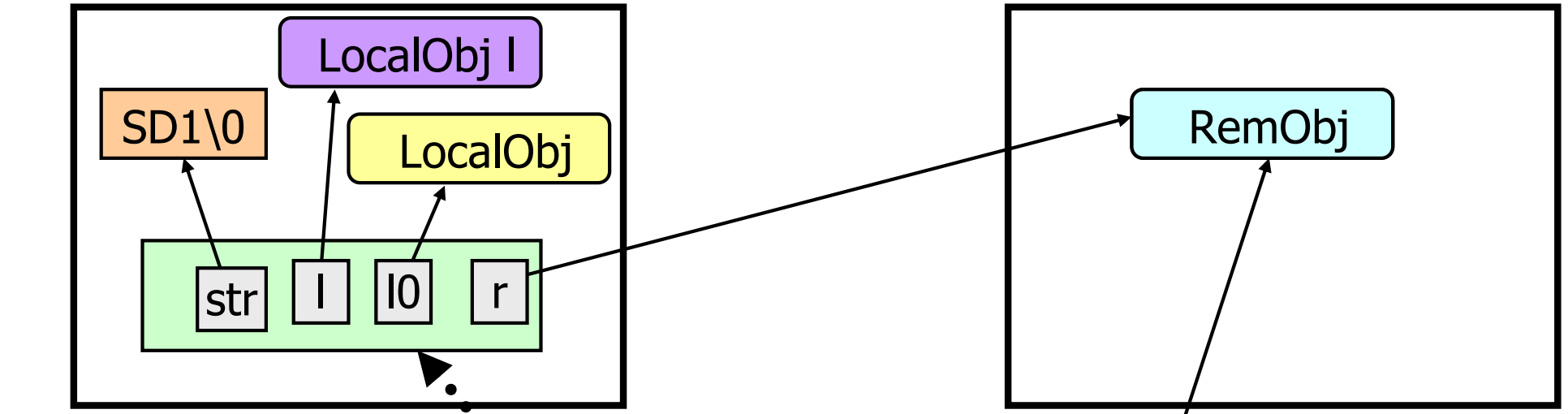

```
LocalObj l = ...
char[] str = "SD1";
RemObj r = ...

l = server.f( l, str,r);
```



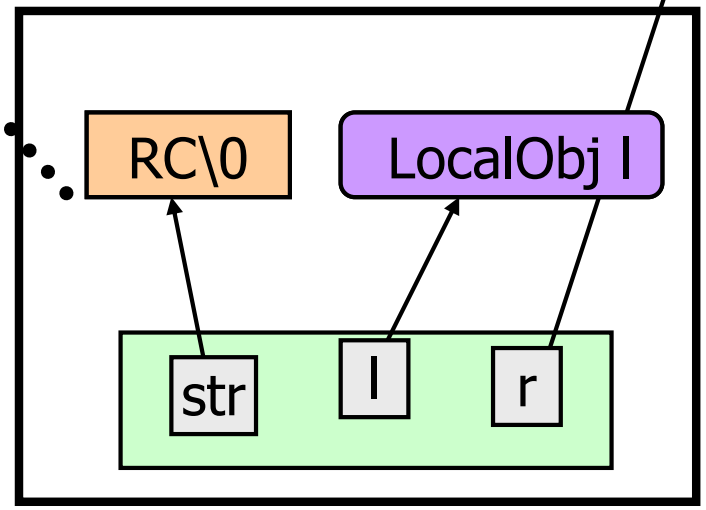
Server

```
LocalObj f( in LocalObj l,
 in char[] str,in RemObj r){
...
str = "RC"
return l
}
```

MÉTODOS DE PASSAGEM DE PARÂMETROS: EXEMPLO




```
LocalObj l = ...
char[] str = "SD1";
RemObj r = ...

l = server.f( l, str,r);
```



Server

```
LocalObj f( in LocalObj l,
 in char[] str,in RemObj r){
...
str = "RC"
return l
}
```

PASSAGEM DE OBJECTOS REMOTOS EM PARÂMETRO

Nos sistemas de RMI é, em geral, possível passar (referências para) objetos remotos em parâmetro (ou como resultado de uma operação)

Em Java RMI pode-se enviar uma referência para um objecto remoto:

- Passando como parâmetro/resultado uma referência remota – neste caso, uma cópia da referência remota é enviada
- Passando como parâmetro/resultado o objecto servidor – neste caso, uma referência para o objecto remoto é enviada (e não o próprio objecto) – passagem por referência

Uma referência remota inclui, pelo menos, a seguinte informação:

- Endereço/porta do servidor
- Tipo do servidor
- Identificador único

PASSAGEM DE OBJECTOS REMOTOS EM PARÂMETRO

Nos sistemas de RMI é, em geral, possível passar (referências para) objetos remotos em parâmetro (ou como resultado de uma operação)

Em Java RMI pode-se enviar uma re

- Passando como parâmetro/resu so, uma cópia da referência remota
- Passando como parâmetro/resu ma referência para o objecto remoto é enviada (e não o próprio objecto) – passagem por referência

Com esta representação seria fácil mudar a localização do objecto?

Não. Para tal, a referência remota não deve incluir directamente a localização do objecto.

Uma referência remota inclui, pelo menos, a seguinte informação:

- Endereço/porta do servidor
- Tipo do servidor
- Identificador único

ORGANIZAÇÃO DOS SERVIDORES

Ativação dos servidores

- Servidor a executar continuamente
- Servidor ativado quando necessário

Organização interna

- Iterativo vs. concorrente

ORGANIZAÇÃO DOS SERVIDORES: ATIVAÇÃO

Existem duas formas para lidar com os pedidos dos clientes:

- Existe apenas uma instância do código do servidor para atender todos os clientes
  - Aproximação mais comum

- Cria-se uma instância do código do servidor para atender cada cliente
  - E.g. .NET remoting: servidor *SingleCall*
  - REST em Java: cada pedido é tratado por um objeto criado no momento

ORGANIZAÇÃO DOS SERVIDORES: JAVA REST

No suporte REST do Java, quando se regista uma classe, são criadas múltiplas instâncias para tratar os vários pedidos.

Pode-se indicar que se pretende apenas uma instância com a anotação @Singleton.

```
20
21  @Singleton
22  public class MessageResource implements MessageService {
23
24      private Random randomNumberGenerator;
25
```

Alternativamente, pode-se registar um objeto do recurso em vez duma class.

```
30          URI serverURI = URI.create(String.format("http://%s:%s/rest", ip, PORT));
31
32          ResourceConfig config = new ResourceConfig();
33          config.register(new UserResource(domain, serverURI));
34
35          JdkHttpServerFactory.createHttpServer(serverURI, config);
36
```

VANTAGENS / DESVANTAGENS

Uma instância por pedido

- Não existem problemas de concorrência devido a múltiplos pedidos
- Não é possível manter estado na instância do servidor
  - Em geral, o estado duma aplicação é guardado numa base de dados

Uma instância apenas

- Necessário lidar com concorrência devido a múltiplos pedidos
- É possível manter estado na instância do servidor

ATIVAÇÃO DE OBJETOS REMOTOS (E.G. JAVA RMI)

Motivação: num sistema pode haver um número muito elevado de objetos remotos cujo estado se quer que persista durante tempo ilimitado, mas que não estão em uso durante grande parte do tempo

Solução: ativam-se os objetos remotos apenas quando necessário

- Quando um método é invocado ou quando uma referência remota é obtida

Activator: servidor responsável por:

- Manter informação sobre os objetos ativáveis
- Ativar os objetos remotos quando solicitado por um cliente
- Manter informação sobre localização dos objetos ativados

Objeto remoto *passivo* (quando não ativado)

- Código
- Estado do objeto *marshalled*

Referência remota mantém informação necessária para solicitar a ativação do objeto

ORGANIZAÇÃO DOS SERVIDORES

Ativação dos servidores

- Servidor a executar continuamente
- Servidor ativado quando necessário

Organização interna

- **Iterativo vs. concorrente**

ORGANIZAÇÃO DOS SERVIDORES: *THREADS*

Servidor iterativo: o servidor executa os pedidos de forma sequencial, executando um de cada vez

- Modelo simples

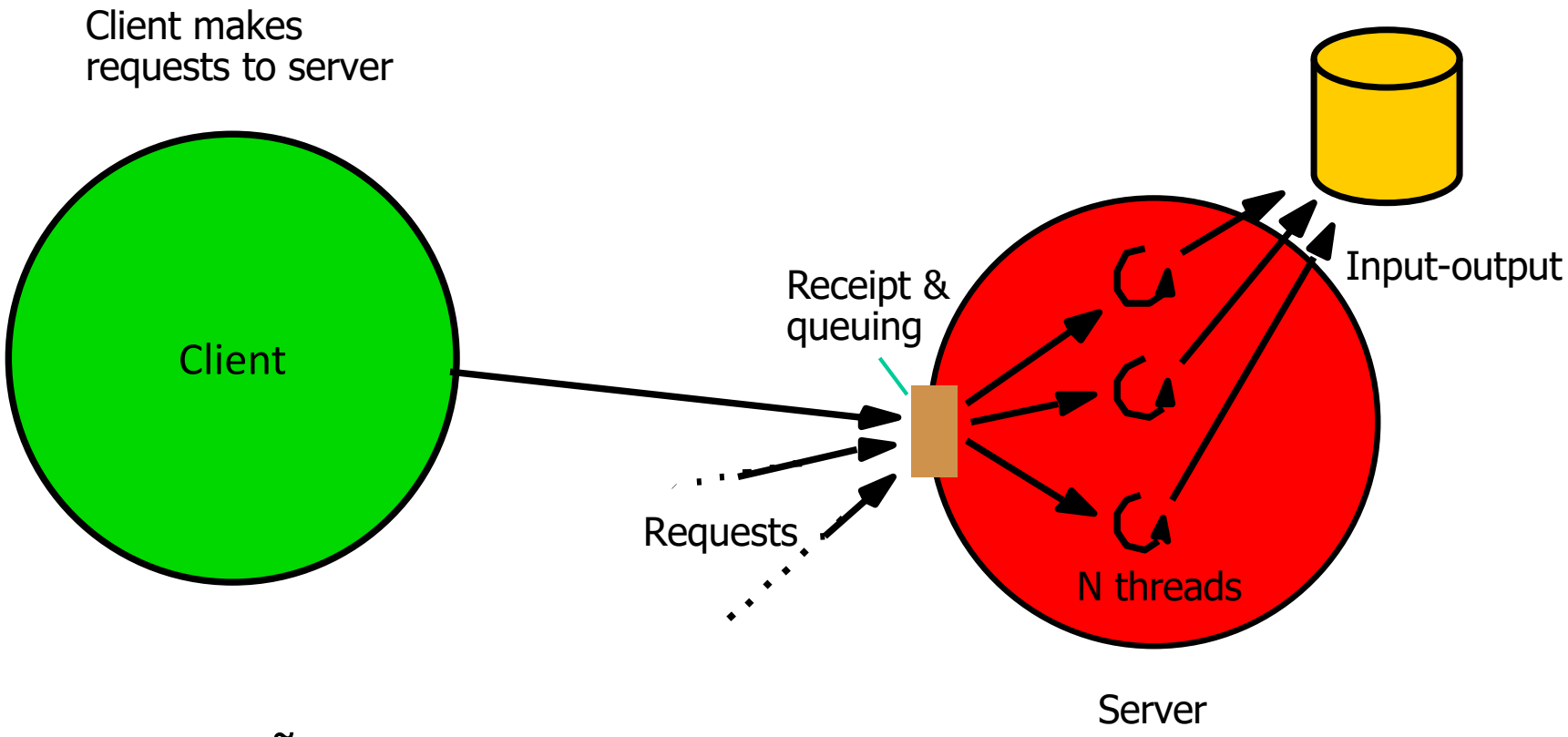
Para alguns tipos de serviços, esta aproximação pode ter um desempenho inadequado

- Exemplos: servidores de bases de dados, de ficheiros, etc. Porquê?
- Exemplo: serviços que chamam outros serviços em ambos os sentidos (A->B e B->A). Porquê?

Em geral, quando a execução de uma operação remota pode ser longa é interessante introduzir concorrência no servidor. Porquê?

Permite aproveitar os recursos computacionais da máquina.

UTILIZAÇÃO DE THREADS NUM SERVIDOR



A ter em atenção:

Possíveis problemas de concorrência: necessidade de sincronizar execução dos vários *threads*.

Como é que os threads se organizam e se relacionam com os pedidos?

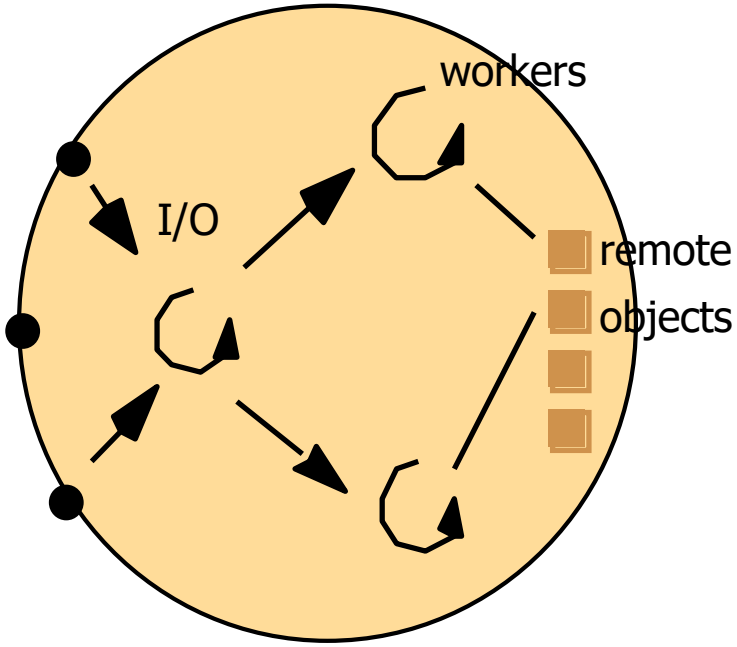
THREAD POR PEDIDO

Cada pedido é atendido por um *thread*.

Pode-se criar um *thread* quando chega um pedido ou existir um conjunto de *threads* que podem ser usadas para atender os pedidos.

Podem existir múltiplos *threads* a executar no mesmo servidor/objeto.

- Necessário executar controlo de concorrência no acesso aos dados.



a. Thread-per-request

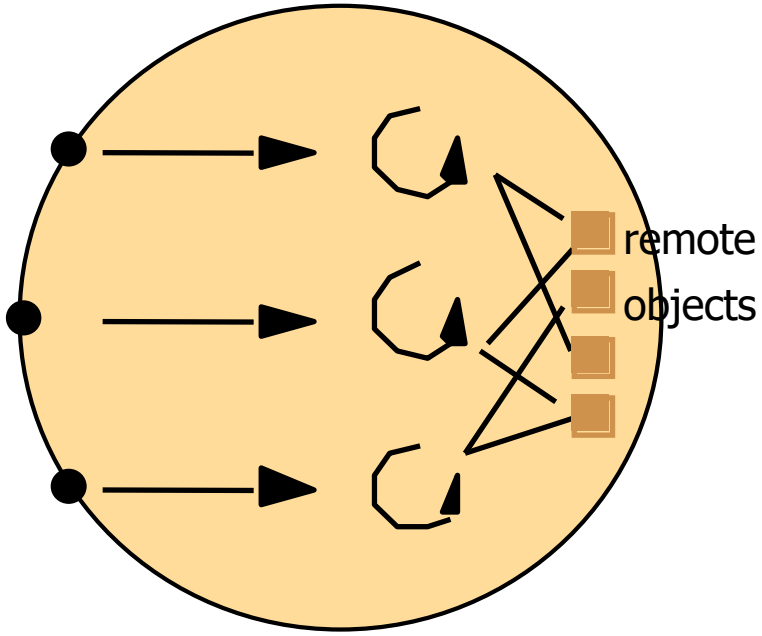
THREAD POR CONEXÃO

Cada conexão é atendida por um *thread*.

Pode-se criar um *thread* quando se cria uma conexão ou existir um conjunto de *threads* que podem ser usadas para atender os pedidos.

Podem existir múltiplos *threads* a executar no mesmo servidor/objeto.

- Necessário executar controlo de concorrência no acesso aos dados.



b. Thread-per-connection

THREAD POR OBJETO

Os pedidos de um objeto são atendidos todos pelo mesmo *thread*, de forma sequencial.

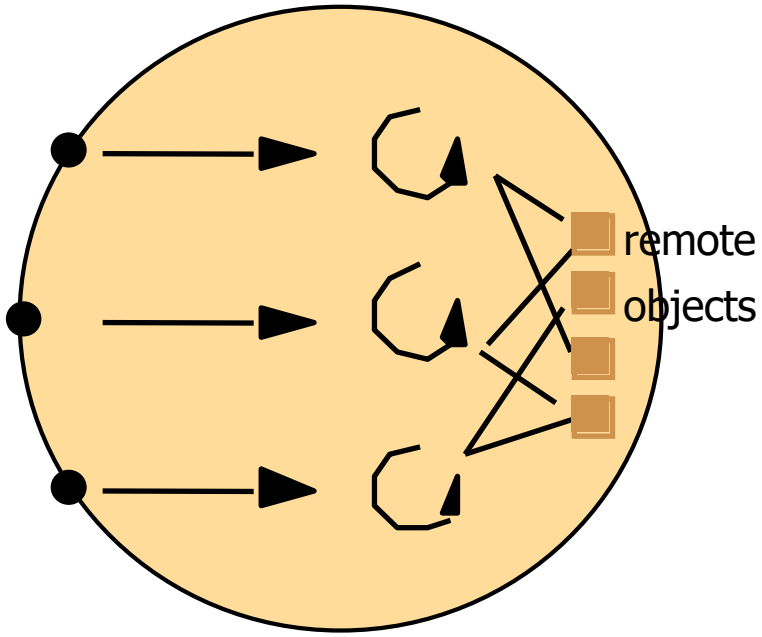
Cada objeto tem um *thread* associada.

Não existem problemas de concorrência no acesso ao estado dum servidor/objeto.

- Podem existir problemas se um servidor puder aceder a outros objetos.

Pode levar a problemas de deadlocks se comunicação com outros servidores for síncrona.

- Modelo de atores e CSP disponível em linguagens como o Erlang e o Go.



b. Thread-per-connection

ORGANIZAÇÃO DOS *THREADS*

Nos sistemas que usam múltiplos *threads* é comum:

- Existir um *thread* responsável por distribuir as invocações e existir um conjunto de *threads* responsáveis por executar as invocações, sendo reutilizados em sucessivas invocações
- *Pools* de *threads*
  - Em cada momento, o sistema mantém informação sobre os *threads* que não estão a processar nenhuma operação, os quais se encontram a *dormir*
  - Quando uma nova invocação é recebida, a informação sobre a mesma é passada para um *thread* da *pool*, o qual fica responsável por processar o pedido
  - No fim de processar o pedido, o *thread* volta à *pool*
- Esta aproximação permite dimensionar o número de *threads* à capacidade da máquina em que o servidor corre.

SISTEMAS DISTRIBUÍDOS

Capítulo 4

Invocação remota

CONTROLO DE CONCORRÊNCIA NOS SERVIDORES: ACESSO A ESTADO INTERNO

Quando existem múltiplos threads a executar concorrentemente e a aceder aos mesmos recursos é necessário controlar estes acessos

- Porquê?

Porque durante a execução duma operação no servidor, o estado das variáveis pode ser alterado por outro *thread*

ACESSO CONCORRENTE A ESTRUTURAS DE DADOS: EXEMPLO

```
@Singleton
public class UsersResource implements RestUsers {
    private final Map<String,User> users = new HashMap<String, User>();
    @Override
    public String createUser(User user) {
        if( users.containsKey(user.getUserId()))
            throw new WebApplicationException( Status.CONFLICT );
        users.put(user.getUserId(), user);
        return user.getUserId();
    }
    @Override
    public List<User> searchUsers(String pattern) {
        List<User> result = new ArrayList<User>();
        users.values().stream().forEach( u -> { if( u.getFullName().
                    indexOf(pattern) != -1) result.add( new User(u)); });
        return result;
     }
```

ACESSO CONCORRENTE A ESTRU
EXEMPLO

Execução concorrente do método **createUser** e **searchUsers** pode levar a exceções, por acesso concorrente ao mapa values.

```
@Singleton
public class UsersResource implements
    private final Map<String,User> users = new HashMap<String, User>();
    @Override
    public String createUser(User user) {
        if( users.containsKey(user.getUserId()))
            throw new WebApplicationException( Status.CONFLICT );
        users.put(user.getUserId(), user);
        return user.getUserId();
    }
    @Override
    public Lis
        List<U
        users.

        return
     }
```

```
java.util.ConcurrentModificationException
        at java.base/java.util.HashMap$ValueSpliterator.forEachRemaining(HashMap.jav
        at java.base/java.util.stream.ReferencePipeline$Head.forEach(ReferencePipeli
        at sd2021.aula2.server.resources.UsersResource.searchUsers(UsersResource.jav
        at jdk.internal.reflect.GeneratedMethodAccessor5.invoke(Unknown Source)
        at java.base/jdk.internal.reflect.DelegatingMethodAccessorImpl.invoke(Delega
        at java.base/java.lang.reflect.Method.invoke(Method.java:564)
        at org.glassfish.jersey.server.model.internal.ResourceMethodInvocationHandle
        at org.glassfish.jersey.server.model.internal.AbstractJavaResourceMethodDisp
        at org.glassfish.jersey.server.model.internal.AbstractJavaResourceMethodDisp
        at org.glassfish.jersey.server.model.internal.JavaResourceMethodDispatcherPr
        at org.glassfish.jersey.server.model.internal.AbstractJavaResourceMethodDisp
        at org.glassfish.jersey.server.model.ResourceMethodInvoker.invoke(ResourceMe
        at org.glassfish.jersey.server.model.ResourceMethodInvoker.apply(ResourceMet
        at org.glassfish.jersey.server.model.ResourceMethodInvoker.apply(ResourceMet
        at org.glassfish.jersey.server.ServerRuntime$1.run(ServerRuntime.java:255)
```

ACESSO CONCORRENTE A ESTRUTURAS DE DADOS: EXEMPLO

```
@Singleton
public class UsersResource implements RestUsers {
    private final Map<String,User> users = new HashMap<String, User>();
    @Override
    public String createUser(User user) {
        if( users.containsKey(user.getUserId()))
            throw new WebApplicationException( Status.CONFLICT );
        users.put(user.getUserId(), user);
        return user.getUserId();
    }
    @Override
    public List<Us
        List<User>
        users.valu

        return result;
     }
```

Execução concorrente do método **createUser** por dois threads, com users diferentes mas o mesmo userId pode levar a que ambos os threads verifiquem que o userId não existe e pensem que inseriram o utilizador, quando apenas o último ficará guardado.

TÉCNICAS DE CONTROLO DE CONCORRÊNCIA

Monitores (e.g. métodos/blocos synchronized no Java)

Locks

Estruturas de dados concorrentes (e.g. java.util.concurrent)

Transações

MÉTODOS SYNCHRONIZED

```
@Singleton
public class UsersResource implements RestUsers {
    private final Map<String,User> users = new HashMap<String, User>();
    @Override
    public synchronized String createUser(User user) {
        if( users.containsKey(user.getUserId()))
            throw new WebApplicationException( Status.CONFLICT );
        users.put(user.getUserId(), user);
        return user.getUserId();
    }
    @Override
    public synchronized List<User> searchUsers(String pattern) {
        List<User> result = new ArrayList<User>();
        users.values().stream().forEach( u -> { if( u.getFullName().
                    indexOf(pattern) != -1) result.add( new User(u)); });
        return result;
     }
```

MÉTODOS SYNCHRONIZED

```
@Singleton
public class UsersResource implements
    private final Map<String,User> use
    @Override
    public synchronized String createU
        if( users.containsKey(user.getUserId()))
            throw new WebApplicationException( Status.CONFLICT );
        users.put(user.getUserId(), user);
        return user.getUserId();
    }
    @Override
    public synchronized List<User> searchUsers(String pattern) {
        List<User> result = ne
        users.values().stream(
                    indexOf(pat
        return result;
     }
```

Num dado momento, apenas um *thread* pode executar nos métodos marcados como synchronized.
Se todos os métodos forem synchronized, apenas um thread modifica o servidor em cada momento, resolvendo os problema anteriores.

Potenciais problemas:

- Se um método for lento, limita o desempenho do servidor;
- Se um método invocar outro servidor pode, no limite, levar a problemas de deadlock no caso de pedidos cruzados entre servidores (ou ciclos de invocação).

BLOCOS SYNCHRONIZED

```
@Singleton
public class UsersResource implements RestUsers {
    private final Map<String,User> users = new HashMap<String, User>();
    @Override
    public String createUser(User user) {
        if(user.getUserId() == null || user.getPassword() == null ||
                user.getFullName() == null || user.getEmail() == null)
            throw new WebApplicationException( Status.BAD_REQUEST );
        synchronized( users) {
            if( users.containsKey(user.getUserId()))
                throw new WebApplicationException( Status.CONFLICT );
            users.put(user.getUserId(), user);
        }
        return user.getUserId();
    }
```

É possível reduzir a zona que executa em exclusão mútua usando um bloco *synchronized* apenas para proteger as operações que podem causar problema. Neste exemplo, as verificações se o objeto User está correto não precisam de ser protegidas – apenas o acesso a variáveis que podem ser acedidas concorrentemente precisa.

```
private final Map<String,User> users = new HashMap<String, User>();
@Override
public String createUser(User user) {
    if(user.getUserId() == null || user.getPassword() == null ||
            user.getFullName() == null || user.getEmail() == null)
        throw new WebApplicationException( Status.BAD_REQUEST );
    synchronized( users) {
        if( users.containsKey(user.getUserId()))
            throw new WebApplicationException( Status.CONFLICT );
        users.put(user.getUserId(), user);
    }
    return user.getUserId();
}
```

Em cada momento, apenas um thread pode aceder a um bloco synchronized relativo à variável X.

BLOCOS SYNCHRONIZED

```
public class Example {
    private final Queue<String> strs = new LinkedList<String>();

    public void addOne(String s) {
        synchronized( strs) {
                strs.put( s);
                try {
                        strs.notifyAll();
                } catch( InterruptedException e) { }
    }   }
    public String getOne() {
        synchronized( strs) {
             while (strs.peek() == null)
                 try {
                     strs.wait();
                 } catch(Exception e) { }
             return strs.poll();
    }   }
}
```

BLOCOS SYNCHRON

Os monitores permitem ainda que um *thread* se bloqueie no meio dum bloco synchronized, permitindo a outros *threads* entrarem na região crítica e mais tarde desbloquear o *thread* bloqueado – esta funcionalidade é usada, por exemplo, quando se quer esperar que alguma condição ocorra.

```
public class Example {
    private final Queu

    public void addOne(String s) {
        synchronized( strs) {
                strs.put( s);
                try {
                        strs.notifyAll();
                } catch( InterruptedException e) { }
    }   }
    public String getOne() {
        synchronized( strs) {
             while (strs.peek() == null)
                  try {
                      strs.wait();
                  } catch(Exception e) { }
             return strs.poll();
    }   }
}
```

TÉCNICAS DE CONTROLO DE CONCORRÊNCIA

Monitores (e.g. métodos/blocos synchronized no Java)

Locks

- Estudado em FSO

Estruturas de dados concorrentes (e.g. java.util.concurrent)

Transações

ESTRUTURAS DE DADOS CONCORRENTES

```
public class Example {
    private final Queue<String> strs = new LinkedBlockingQueue<String>();

    public void addOne(String s) {
        strs.put( s);
    }
    public String getOne() {
        return strs.take();
    }
}
```

O pacote **java.util.concurrent** tem implementações que permitem acesso concorrente, incluindo a iteradores. Não resolve todos os problemas de concorrência.

ESTRUTURAS DE DADOS CONCORRENTES (CONT.)

```
@Singleton
public class UsersResource implements RestUsers {
    private final Map<String,User> users = new ConcurrentHashMap<String,
User>();
    @Override
    public String createUser(User user) {
        if( users.containsKey(user.getUserId()))
            throw new WebApplicationException( Status.CONFLICT );
        users.put(user.getUserId(), user);
        return user.getUserId();
    }
    @Override
    public List<User> searchUsers(String pattern) {
        List<User> result = new ArrayList<User>();
        users.values().stream().forEach( u -> { if( u.getFullName().
                    indexOf(pattern) != -1) result.add( new User(u)); });
        return result;
     }
```

JAVA.UTIL.CONCURRENT

CopyOnWriteArrayList, CopyOnWriteArraySet

Criam uma cópia da estrutura de dados sempre que a mesma é alterada

ConcurrentHashMap, ConcurrentSkipListSet

Lidam com acesso concorrentes.

Nota: acessos sucessivos não são atómicos

```
ConcurrentHashMap<String,User> map = ...
if(! map.containsKey( "SD"))
        map.put("SD",user);
```

Nada garante que dois threads concorrentemente não entram no ramo *then* do *if*, fazendo put de dois valores diferentes.

TÉCNICAS DE CONTROLO DE CONCORRÊNCIA

Monitores (e.g. métodos/blocos synchronized no Java)

Locks

- Estudado em FSO

Estruturas de dados concorrentes (e.g. java.util.concurrent)

Transações

- É comum os servidores aplicacionais serem *stateless* e todo o estado persistente estar numa base de dados.
- Controlo de concorrência pode ser delegado para a base de dados – operação da aplicação origina transação na base de dados - controlo de concorrência efetuado na base de dados.

CONTROLO DE CONCORRÊNCIA NOS SERVIDORES: DEADLOCKS

Quando se utiliza um mecanismo de controlo de concorrência baseado em *locks* – e.g. monitores , *locks* – é necessário lidar com potenciais problemas de deadlocks.

Os deadlock podem surgir dentro dum servidor ou entre servidores.

CONTROLO DE CONCORRÊNCIA NOS SERVIDORES: DEADLOCKS NUM SERVIDOR (EXEMPLO)

```
private final User user1 = ...
private final User user2 = ...

public String copy1To2 () {
    synchronized(user1) {
       synchronized(user2) {
           User aux = user1;
           user1 = user2;
           user2 = aux;
        }
    }
}

public String copy2To1 () {
    synchronized(user2) {
       synchronized(user1) {
           User aux = user2;
           user2 = user1;
           user1 = aux;
        }
    }
}
```

CONTROLO DE CONCORRÊNCIA NOS SERVIDORES: DEADLOCKS

Para evitar deadlocks num servidor, podem-se usar diferentes aproximações:

1. Ter apenas um lock;
2. Obter locks sempre por ordem – e.g. se tivermos os locks l1, l2, l3, ..., uma operação obtém os locks que precisa por ordem, i.e., após obter o lock l_i ,nunca se obtém o lock l_j , tal que $j < i$.

CONTROLO DE CONCORRÊNCIA NOS SERVIDORES: DEADLOCKS DISTRIBUÍDOS

Os deadlocks podem surgir entre servidores.

```
public class UsersResource
          implements Users {
  @Override
  public synchronized User getUser(...) {
    ...
  }

 @Override
  public synchronized User deleteUser(...){
    ...
    shorts.deleteUserShorts(...);
  }
}
```

```
public class ShortsResource
          implements Shorts {
  @Override
  public synchronized FileInfo newShort (...) {
    ...
    User u = users.getUser( ...);
  }

 @Override
  public synchronized User deleteUserShorts(..){
    ...
  }
}
```

CONTROLO DE CONCORRÊNCIA NOS SERVIDORES: DEADLOCKS DISTRIBUÍDOS

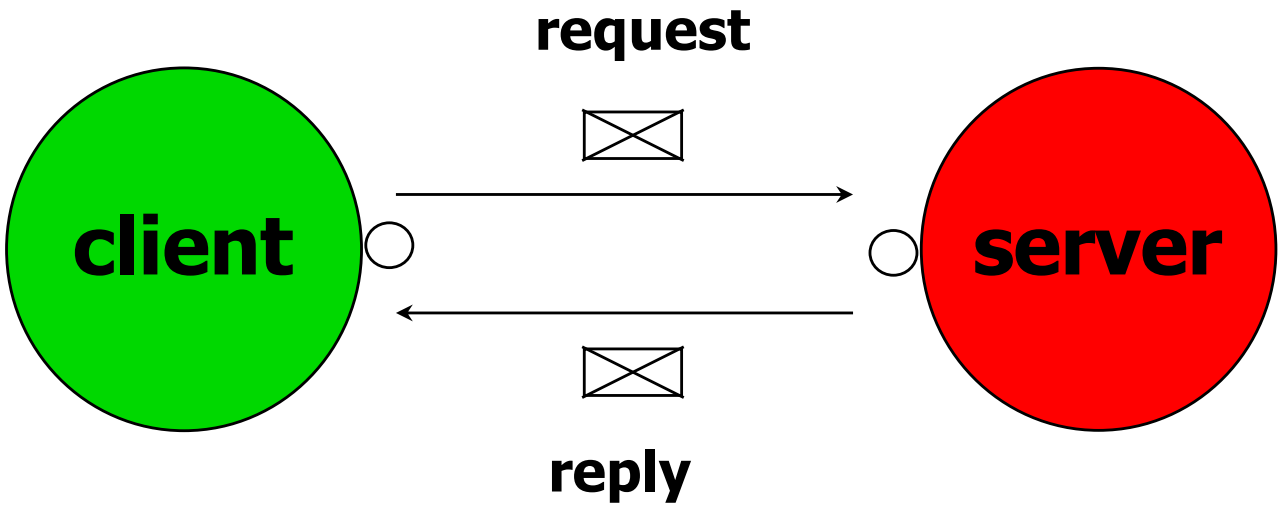
Para evitar deadlocks distribuídos, deve-se evitar fazer uma invocação remota enquanto de tem um *lock*.

NA AULA DE HOJE

Invocação remota de procedimentos/objectos

- Motivação
- Modelo
- Definição de interfaces e método de passagem de parâmetros
- Codificação dos dados
- Mecanismos de ligação (binding)
- Protocolos de comunicação
- Sistemas de objetos distribuídos

LIGAÇÃO DO CLIENTE AO SERVIDOR (*BINDING*)



Para poder invocar o servidor, o cliente tem de obter uma referência para o servidor

- Nos sistemas de RPC, uma referência corresponde ao endereço do servidor – endereço IP + porta + ...
- Nos sistemas de RMI, a referência remota corresponde geralmente a um proxy com a mesma interface do servidor (que internamente inclui informação de localização do servidor)

Como obter essa referência?

COMO OBTER REFERÊNCIA PARA O SERVIDOR?

Por configuração directa

- Ex.: REST, Web services, .NET remoting

Servidor de nomes regista associação entre nome e referência remota

- Ex.: Java RMI

Servidor de nomes e directório regista informação sobre servidores

- Ex. Universal Directory and Discovery Service – UDDI (web services)
- Além de permitir obter servidor dado o nome, permite procurar servidor pelos seus atributos

Cliente procura servidor usando multicast/broadcast

- Alguns sistemas de objectos distribuídos usavam esta aproximação

POR CONFIGURAÇÃO DIRECTA

No código do cliente, para obter uma referência para o servidor indica-se explicitamente a sua localização

.NET remoting

```
ChannelServices.RegisterChannel(new TcpChannel());
HelloServer obj = (HelloServer)Activator.GetObject(
            typeof(Examples.HelloServer),
            "tcp://localhost:8085/SayHello");
```

Web services

```
URL wsdlURL = new URL("http://localhost:8080/indexer?wsdl");
Service service = Service.create(wsdlURL, IndexerService.QNAME);
proxy = service.getPort(IndexerAPI.class);
```

Ao criar o código da referência remota a partir da descrição do serviço, a mesma inclui a localização do servidor

USAR UM SERVIÇO (*BINDING, NAMING OR TRADING*)

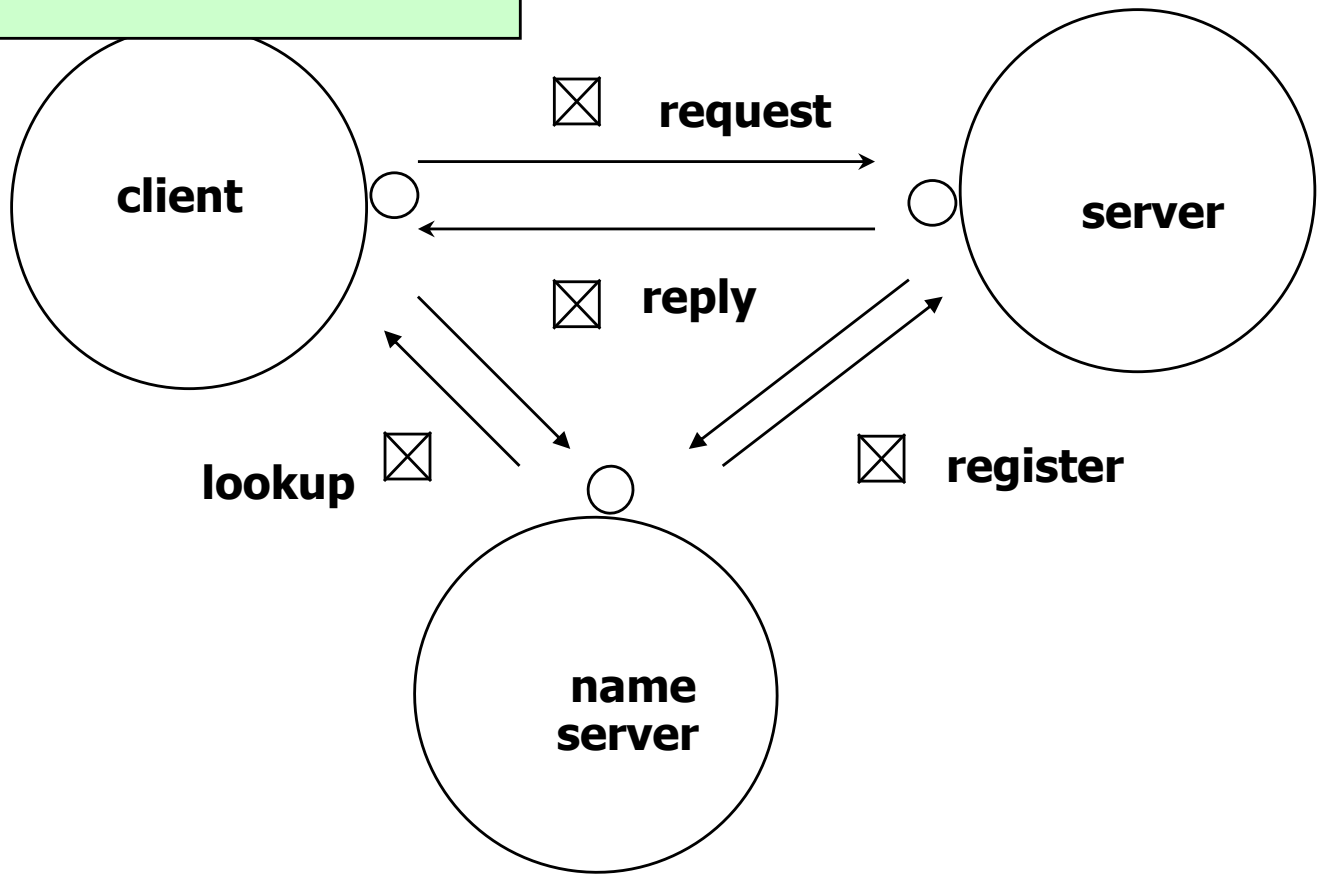
Java RMI

IServer s = Naming.lookup (”service”)

res = s.fun(obj)

Java RMI

Naming.rebind(”service”, this)



EXEMPLO: INTERFACE DA *REGISTRY* JAVA RMI

void rebind (String name, Remote obj)

- This method is used by a server to register the identifier of a remote object by name.

void bind (String name, Remote obj)

- This method can alternatively be used by a server to register a remote object by name, but if the name is already bound to a remote object reference an exception is thrown.

void unbind (String name, Remote obj)

- This method removes a binding.

Remote lookup(String name)

- This method is used by clients to look up a remote object by name. A remote object reference is returned. The code of the remote reference may be downloaded, if necessary. It encodes the protocol to be used.

String [] list()

- This method returns an array of Strings containing the names bound in the registry.

PROBLEMAS QUANDO SE USA UM SERVIDOR DE NOMES?

Como encontrar o servidor de nomes?

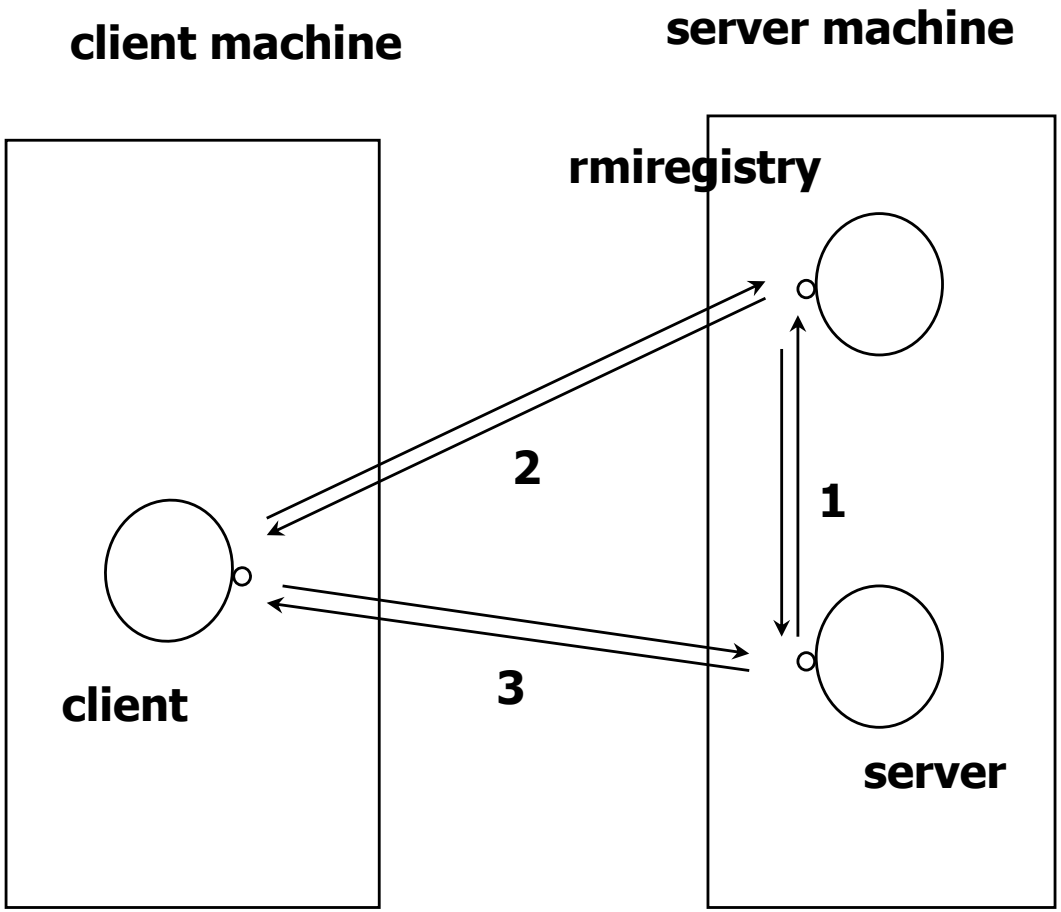
- Nome do objecto indica máquina em que está o servidor de nomes
- Servidor de nomes descoberto por multicast/broadcast

O servidor de nomes pode ser único ?

- No Java RMI não
- No SOAP, o espaço de nomes do UDDI é único e global

Problemas de segurança – como evitar que haja serviços / objectos impostores ou que atacantes impeçam o acesso ao serviço?

SOLUÇÃO PRAGMÁTICA DO JAVA RMI



Em cada máquina existe um RMI registry. O cliente tem de saber em que máquina está o serviço/objecto remoto em que está interessado.

- Em cada máquina, só pode estar associado uma instância de uma interface/classe a cada nome
- Pode existir mais do que uma instância da mesma interface/classe associados a nomes diferentes

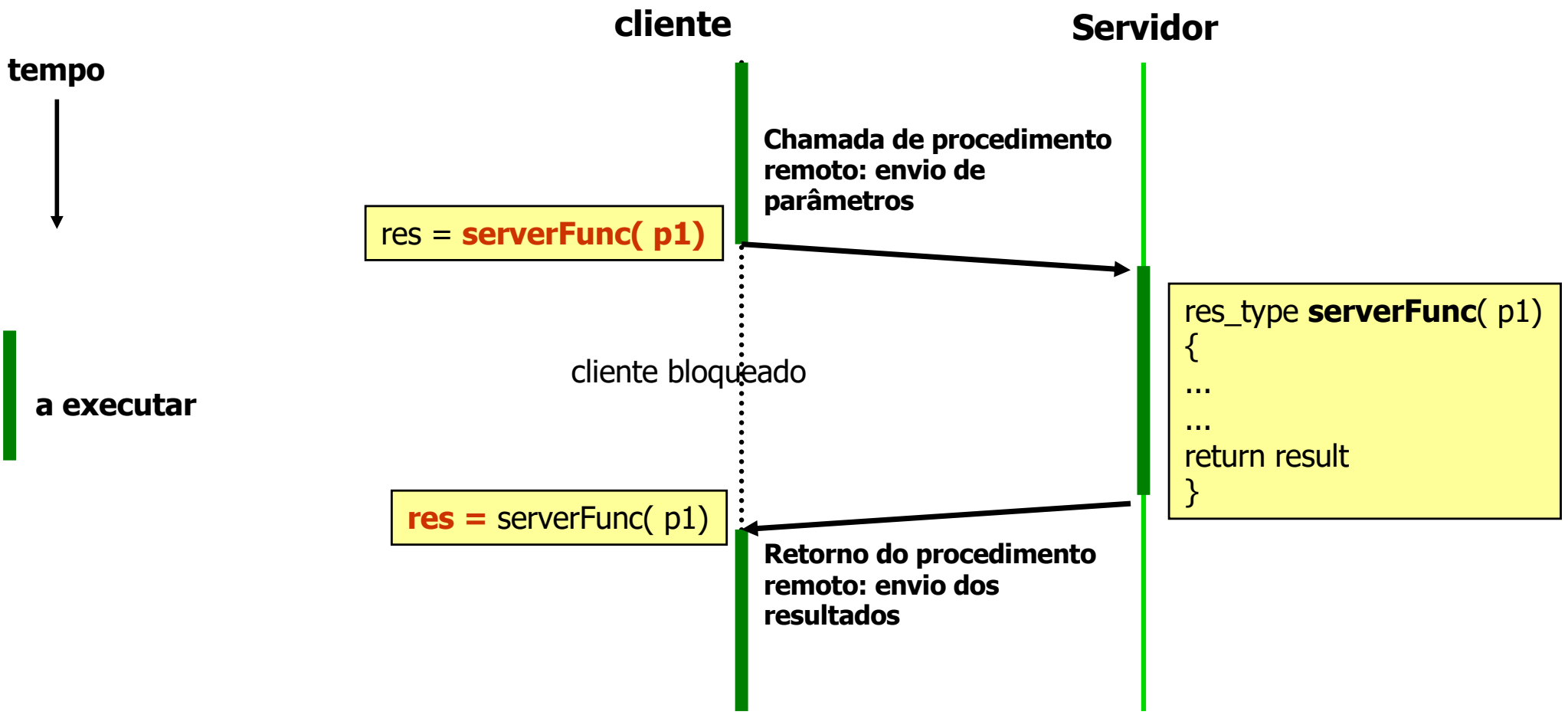
Porque é que esta solução diminui os problemas de segurança?

AGENDA

Invocação remota de procedimentos/objectos

- Motivação
- Modelo
- Concorrência no servidor
- Definição de interfaces e método de passagem de parâmetros
- Codificação dos dados
- Mecanismos de ligação (binding)
- Protocolos de comunicação
- Sistemas de objetos distribuídos

MODELO DE FALHAS



Admitindo que o canal não introduz falhas arbitrárias, podemos ter:

Canal: falhas de omissão e temporização

Cliente e servidor: crash-failures e falhas de temporização

ANOMALIAS POSSÍVEIS DURANTE UMA INVOCAÇÃO REMOTA

Anomalias a considerar:

- a mensagem com o pedido pode perder-se
- a mensagem com a resposta pode perder-se
- o servidor está muito lento e aparentemente não responde
- o servidor falha e não responde
  - o servidor falha e recupera mais tarde (quando ?)
- o cliente falha e recupera

Algumas destas situações podem ser facilmente detectáveis, outras não.

DIMENSÕES DO PROBLEMA

Protocolo de transporte

Semântica da invocação

PROTOCOLO UDP VS. TCP/HTTTP

Motivações para o uso do UDP:

- Estabelecer uma conexão tem um peso que se pode revelar demasiado pesado (para pedidos pontuais e de pequenas dimensões)
- Resposta à invocação remota funciona como ACK (não é necessário suportar peso dos mecanismos de fiabilidade incluídos no TCP)

Motivações para o uso de TCP (ou HTTP):

- Dimensão dos parâmetros/resultados não influencia complexidade da implementação
- No caso de usar UDP pode ser necessário enviar um pedido/resposta em mais do que uma mensagem

PROTOCOLO TCP / HTTP

O cliente usa conexão TCP (ou HTTP) para contactar o servidor e enquanto não receber resposta não avança com outro pedido

1) O cliente fez um pedido e recebeu a resposta:

- O cliente tem a certeza que o procedimento executou uma e uma só vez

2) O cliente fez o pedido e não recebeu resposta nenhuma até um certo *timeout*. Decidiu então abandonar o pedido:

- Não se sabe se a operação foi executada ou não.

3) O cliente fez o pedido e recebeu uma notificação de que a conexão foi quebrada (por falha na comunicação ou por *crash* no servidor)

- Não se sabe se a operação foi executada ou não.

PROTOCOLO UDP

O cliente usa o protocolo UDP para contactar o servidor e enquanto não receber resposta a um pedido não avança com outro pedido

1) O cliente enviou uma só vez o pedido e recebeu a resposta
   - O cliente tem a certeza que o procedimento executou (uma e uma só vez… assumindo que não existe duplicação de pacotes)

2) O cliente fez o pedido e não recebeu resposta nenhuma até um certo timeout
   - Não se sabe se a operação foi executada ou não.

DIMENSÕES DO PROBLEMA

Protocolo de transporte

Semântica da invocação

- May be
- At Least once
- Operações idempotentes
- At most once
- Exactly once

SEMÂNTICA DA INVOCAÇÃO REMOTA

May be (talvez): método pode ter sido executado uma vez ou nenhuma vez

- usa-se quando não se esperam resultados; não tem garantias. O interesse é muito limitado.

Protocolo?

- Envio simples sem retransmissões

clt: s.send(msg)

srv: msg = s.receive()
exec(msg)

SEMÂNTICA DA INVOCAÇÃO REMOTA

At least once (uma ou mais vezes ou "pelo menos uma vez"):

- 1. se cliente recebeu a resposta, o procedimento foi executado uma ou mais vezes
- 2. se o cliente não recebeu a resposta, o procedimento foi executado zero ou mais vezes

Protocolo?

- Implementado por protocolo com re-emissões e sem filtragem de duplicados

```
clt: forever
        s.send(msg)
        try
            [id,res] = s.receive()
            if( id == msg.id)
                // executou 1+ vezes
                break
        catch InterruptException
            continue
```

```
srv: msg = s.receive()
     res = exec(msg)
     s.send( [msg.id,res])
```

EM CASO DE ANOMALIA, APÓS RETRANSMISSÃO, O QUE SE PASSOU?

Caso o cliente não receba resposta ao seu pedido até um timeout após, pelo menos, uma retransmissão, e deseje abandonar, podem ter acontecido duas situações:

- A anomalia ocorreu antes de executar a operação em todas as retransmissões
- A anomalia ocorreu após a execução da operação em uma ou mais retransmissões

Sabe-se que: a operação foi executada zero, uma ou mais vezes.

Caso o cliente receba resposta ao seu pedido após, pelo menos, uma retransmissão, podem ter acontecido duas situações:

- Na tentativa de transmissão anterior, a anomalia ocorreu após a execução da operação
- Na tentativa de transmissão anterior, a anomalia ocorreu antes de executar a operação

Sabe-se que: a operação foi executada uma vez ou mais vezes.

SEMÂNTICA DA INVOCAÇÃO REMOTA

At most once (zero ou uma vez ou "no máximo uma vez"):

- 1. Se cliente recebeu a resposta, o procedimento foi executado uma só vez
- 2. Se o cliente não recebeu a resposta, o procedimento foi executado zero ou uma vezes

Protocolo?

- Protocolo sem re-emissões …

```
clt: s.send(msg)
     try
          [id,res] = s.receive()
          if( id == msg.id)
              // executou 1 vez
     catch InterruptException
          // executou 0 ou 1 vez
```

```
srv: msg = s.receive()
     res = exec(msg)
     s.send( [msg.id,res])
```

SEMÂNTICA DA INVOCAÇÃO REMOTA

At most once (zero ou uma vez ou "no máximo uma vez"):

- 1. Se cliente recebeu a resposta, o procedimento foi executado uma só vez
- 2. Se o cliente não recebeu a resposta, o procedimento foi executado zero ou uma vezes

Protocolo?

- Protocolo sem re-emissões ou protocolo com re-emissões e filtragem de duplicados (códgio assume: servidor com apenas um thread)

```
clt: forever    ou    for n = 1 to K
          s.send(msg)
          try
              [id,res] = s.receive()
              if( id == msg.id)
                  // executou 1 vez
                  break
          catch InterruptException
              continue
```

```
srv: msg = s.receive()
     if( ! cache.contains( msg.id))
          res = exec(msg)
          cache.put( msg.id, res)
     res = cache.get( msg.id)
     s.send( [msg.id,res])
```

SEMÂNTICA DA INVOCAÇÃO REMOTA

At most once (zero ou uma vez ou "no máximo uma vez"):

- 1. Se cliente recebeu a resposta, o procedimento foi executado uma só vez
- 2. Se o cliente não recebeu a resposta, o procedimento foi executado zero ou uma vezes

Protocolo?

- Protocolo sem re-emissões ou protocolo com re-emissões e filtragem de duplicados (códgio assume: servidor com apenas um thread). O que acontece quando servidor falha?

```
clt: forever    ou    for n = 1 to K
          s.send(msg)
          try
              [id,res] = s.receive()
              if( id == msg.id)
                  // executou 1 vez
                  break
          catch InterruptException
              continue
```

```
srv: forever
          msg = s.receive()
          if( ! cache.contains( msg.id))
              res = exec(msg)
              cache.put( msg.id, res)
          res = cache.get( msg.id)
          s.send( [msg.id,res])
```

SISTEMAS DISTRIBUÍDOS

Capítulo 4

Invocação remota

SEMÂNTICA DA INVOCAÇÃO REMOTA

Exactly once (exactamente uma vez):

- Garante-se a execução exatamente uma vez (a menos que existam falhas permanentes)

Protocolo?

- Protocolo com re-emissões, filtragem de duplicados, estado gravado em memória estável e re-execução quando cliente reinicia (código assume: servidor com apenas um thread)

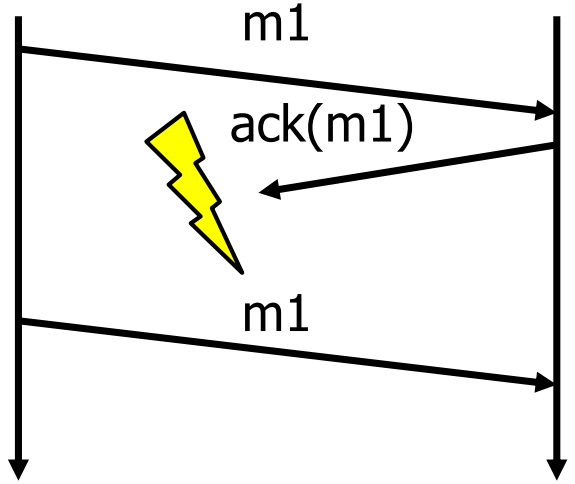
```
clt: log.log( [msg])
     forever
          s.send(msg)
          try
              [id,res] = s.receive()
              if( id == msg.id)
                  log.log( [msg,res])
                  //executou 1 vez
                  break
          catch InterruptException
              continue
```

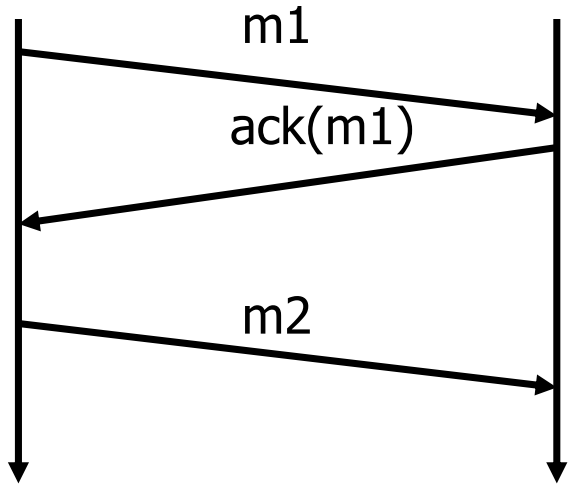
```
srv: msg = s.receive()
     atomic
          if( ! log.contains( msg.id))
              res = exec(msg)
              log.put( msg.id, res)

     res = log.get( msg.id)
     s.send( [msg.id,res])
```

FILTRAGEM DE DUPLICADOS (1)

Problema: Como é que se identifica que uma mensagem recebida é um duplicado?

As mensagens devem ter um identificador. Quem recebe a mensagem guarda o identificador.





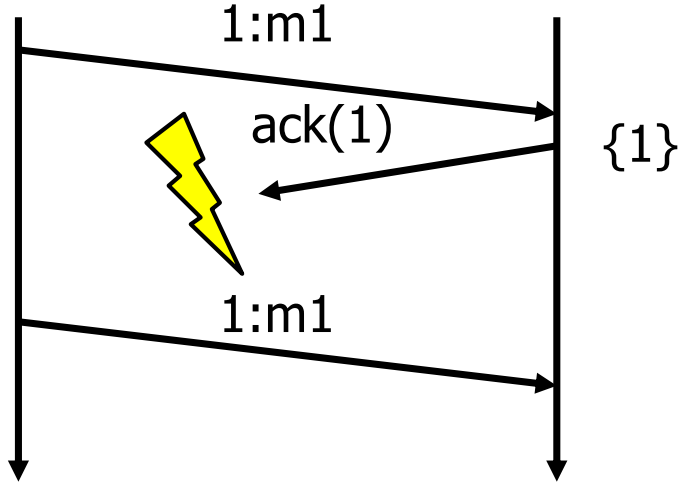
Para o servidor estas situações são indistinguíveis, se m1 puder ser igual a m2. Como resolver?

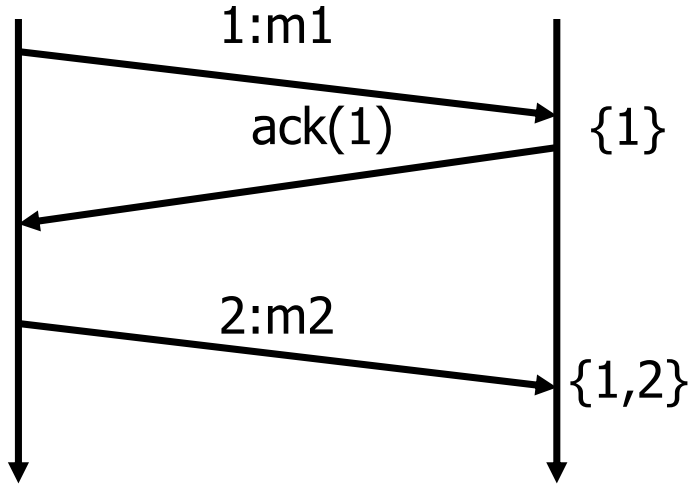
FILTRAGEM DE DUPLICADOS (2)

Problema: É necessário guardar todos os identificadores?

Se os identificadores forem sequenciais basta guardar o último (de cada emissor). Porquê?

Se o emissor não voltar a enviar uma mensagem, pode-se remover a informação após um período alargado, ao fim do qual se saiba que a mensagem não pode ser enviada novamente.





OPERAÇÕES IDEMPOTENTES

Uma operação é **idempotente** se a sua execução repetida não altera o efeito produzido (deixando o servidor no mesmo estado ou num estado aplicacionalmente aceitável como equivalente e produzindo o mesmo resultado).

Exemplos de operações idempotentes:

- em geral todas as operações que não mudam o estado
- reescrever os primeiros 512 bytes de um ficheiro se se ignorar o problema da concorrência de acessos ao ficheiro

Exemplos de operações não idempotentes:

- acrescentar 512 bytes a um ficheiro
- transferir dinheiro entre contas
- As operações idempotentes podem ser usadas com um protocolo de invocação remota que faça re-emissões sem filtrar duplicados.

Pode ser usado imediatamente com semântica ”pelo menos uma vez”

OPERAÇÕES IDEMPOT

Nota: Podem existir operações que deixem o servidor no mesmo estado e não sejam idempotentes.
Exemplo ???
Exemplo: uma operação de criação de um ficheiro que devolva como resultado um booleano que indique se o ficheiro foi criado ou não (caso já existisse).

Uma operação é **idempo**
efeito produzido (deixand
aplicacionalmente aceitável como equivalente e produzindo o mesmo resultado).

Exemplos de operações idempotentes:

- em geral todas as operações que não mudam o estado
- reescrever os primeiros 512 bytes de um ficheiro se se ignorar o problema da concorrência de acessos ao ficheiro

Exemplos de operações não idempotentes:

- acrescentar 512 bytes a um ficheiro
- transferir dinheiro entre contas
- As operações idempotentes podem ser usadas com um protocolo de invocação remota que faça re-emissões sem filtrar duplicados.

Pode ser usado imediatamente com semântica ”pelo menos uma vez”

SOLUÇÕES GERALMENTE ADOPTADAS

Java RMI

- "At most once" sobre TCP

.NET Remoting

- "At most once" sobre TCP, HTTP, pipes

Web Services

- "At most once" sobre HTTP (SMTP, etc.)
- WS-Reliability: suporte para "at least once", "exactly-once"

REST

- "At most once" sobre HTTP

AGENDA

Invocação remota de procedimentos/objectos

- Motivação
- Modelo
- Concorrência no servidor
- Definição de interfaces e método de passagem de parâmetros
- Codificação dos dados
- Mecanismos de ligação (binding)
- Semântica na presença de falhas
- Sistemas de objetos distribuídos

SISTEMAS DE OBJETOS DISTRIBUÍDOS

Extensão do modelo de uma aplicação composta por múltiplos objetos para um ambiente distribuído, em que os objetos executam em diferentes máquinas

Problemas adicionais:

- Garbage collection
- Carregamento dinâmico de código

GARGABE-COLLECTION: PROBLEMA

Numa aplicação distribuída composta por objetos a executar em diferentes máquina, como saber que um objeto já não é necessário?

Usar abordagem normal de **garbage collection**:

> se **nenhuma** referência para o objeto **existir**, este pode ser **removido**

Problema: como é que se sabe se existem referências ou não?

GARBAGE-COLLECTION: JAVA RMI

Entre máquinas virtuais, o sistema Java executa um algoritmo de *garbage-collection* distribuído para remover (apagar) objetos remotos para os quais não existem referências

- Cada máquina virtual (VM) contabiliza as referências que existem para cada objecto remoto e informa a VM do objecto
  - Quando aparece a primeira referência, a VM do objecto remoto é informada
  - Quando é removida a última referência, a VM do objecto remoto é informada
  - A VM reenvia a informação periodicamente
- Um objecto remoto pode ser removido (apagado) quando não existem referências em nenhuma VM

QUESTÃO DUM EXAME

Como sabe, o sistema Java RMI usa um mecanismo de garbage collection distribuído para recolher (remover) os objectos remotos que já não são necessários.

Explique o que acontece a um objecto remoto no caso de existir uma falha temporária da rede que impeça a comunicação entre a máquina virtual em que executa um objecto remoto e a máquina virtual do único programa que mantém uma referência para esse objecto remoto.

CARREGAMENTO DE CÓDIGO: PROBLEMA

Numa aplicação com objetos, dado um método

```
void function( T t)
```

é possível invocar o método com qualquer objeto cujo tipo estenda T.

Num sistema distribuído, se considerarmos um método disponível remotamente, seria possível passar um objeto dum tipo cujo código não seria conhecido no servidor.

Solução: impedir esta situação ou carregar o código dinamicamente.

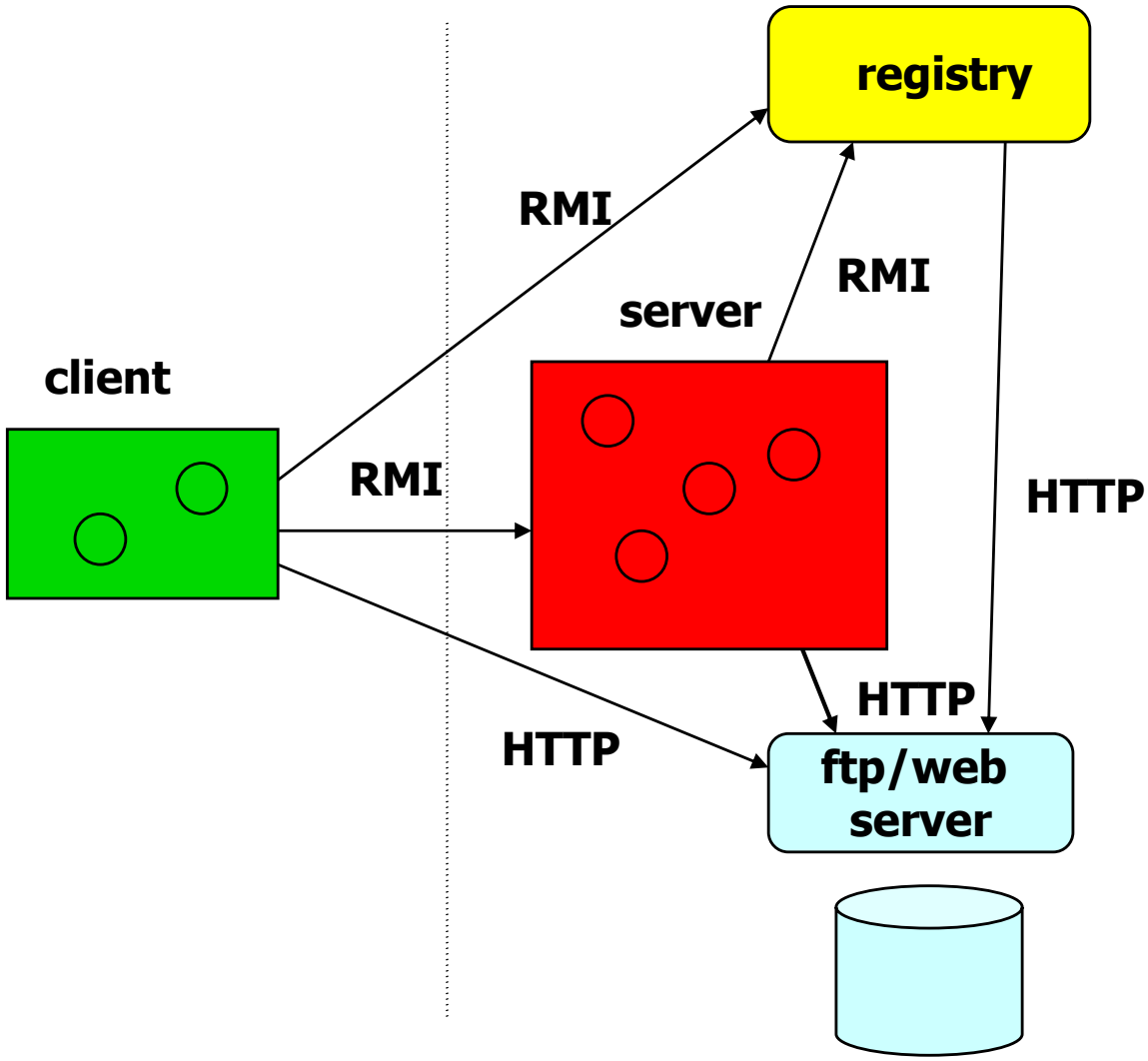
CARREGAMENTO DE CLASSES: SOLUÇÃO JAVA

RMI carrega o código das classes se o mesmo não estiver disponível

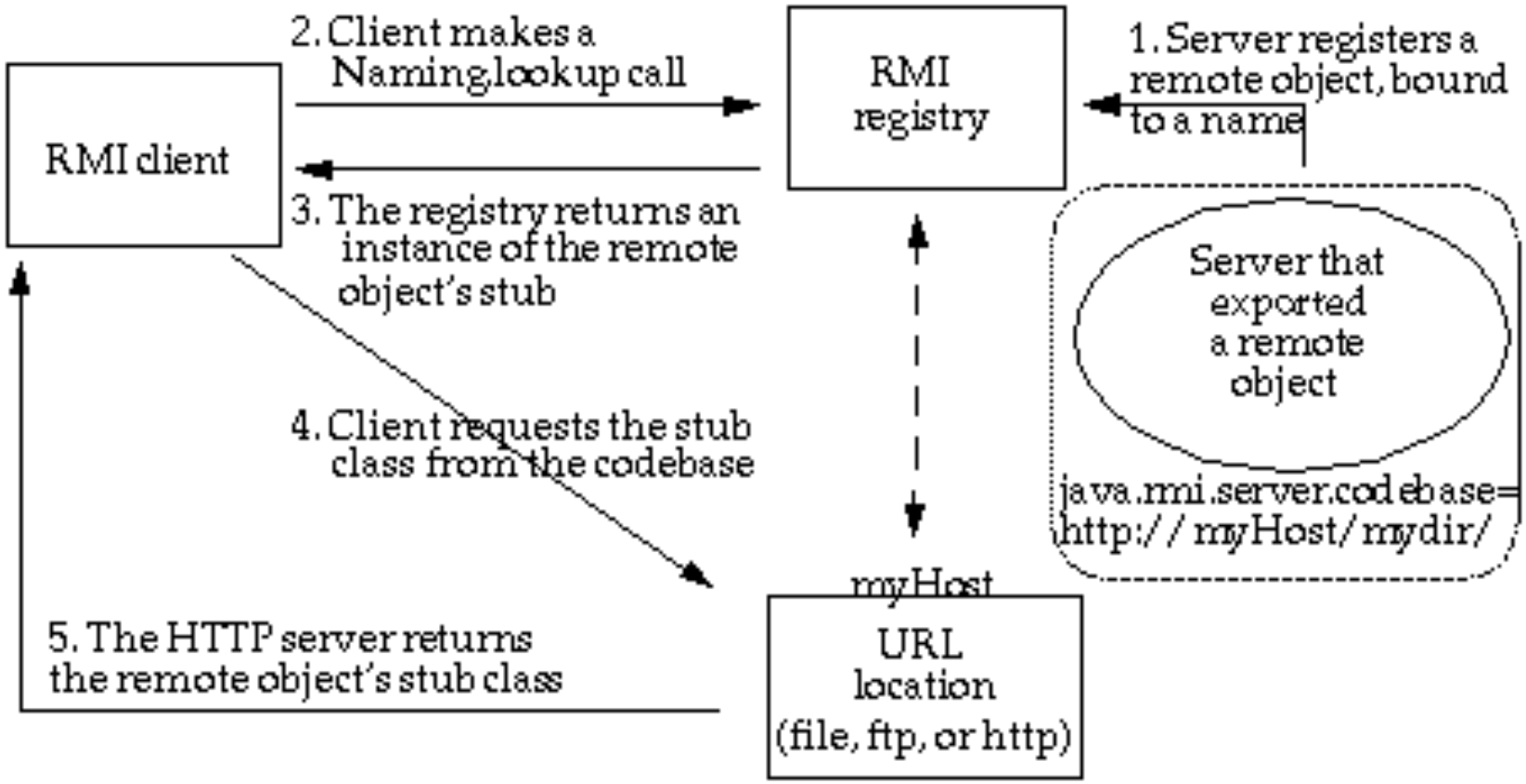
Isto aplica-se às classes do objecto remoto, do *stub*, do esqueleto, dos parâmetros e do valor de retorno dos métodos

O carregamento faz-se remotamente se necessário

Os URLs das classes ficam anotados nas referências remotas para se poderem localizar as mesmas

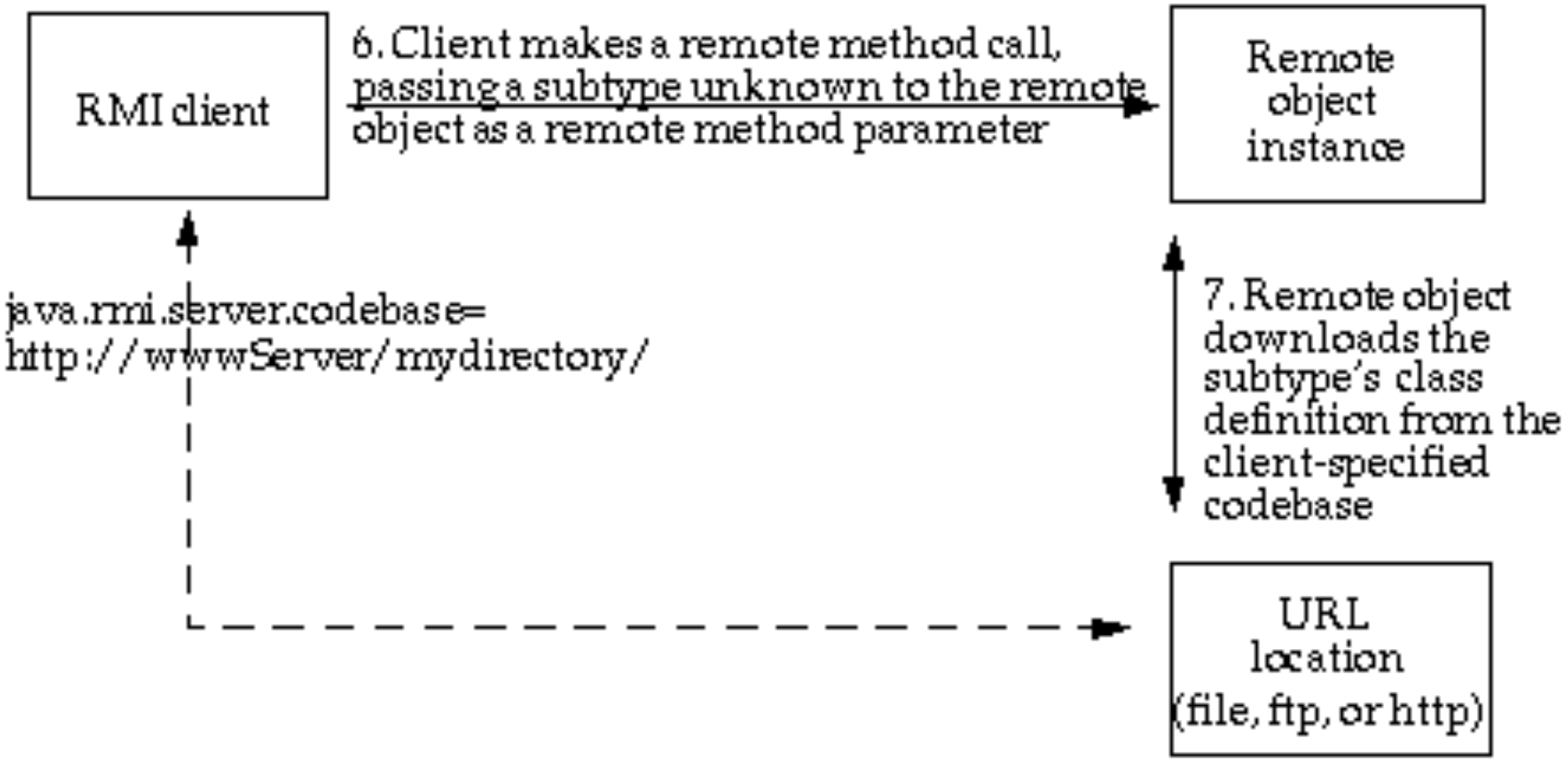


CARREGAMENTO DE CÓDIGO NO CLIENTE



Os objetos anotam o seu ***codebase***, o que permite obter o código das classes remotamente sem configuração adicional.

CARREGAMENTO DE CÓDIGO NO SERVIDOR



SEGURANÇA DO CARREGAMENTO DO CÓDIGO

Carregar código de fontes desconhecidas é um potencial problema de segurança

O RMI usa os mecanismos de segurança da linguagem Java

Qualquer código a carregar tem de o ser através de um carregador de classes (*class loader*)

Um gestor de segurança (*security manager*) tem de estar presente para que o carregamento de código seja possível

As aplicações podem fornecer o seu próprio gestor de segurança

PARA SABER MAIS

G. Coulouris, J. Dollimore and T. Kindberg, Distributed Systems - Concepts and Design, Addison-Wesley, 5th Edition, 2011

- RMI/RPCs - capítulo 5.
- Representação de dados e protocolos - capítulo 4.3.
- Web services – capítulo 9