

Sistemas Operativos II

Objetos Distribuídos e Invocação Remota

Introdução

- ◆ modelos de programação para aplicações distribuídas
 - ◆ compostas por vários programas que cooperam e são executados em distintos **processos** simultâneos
- ◆ necessidade de um processo invocar uma operação num outro processo
- ◆ MODELOS:
 - ◆ *Remote Procedure Call (RPC)*
 - ◆ programa cliente executa um procedimento do lado do servidor
 - ◆ *Remote Method Invocation (RMI) (JAVA RMI, CORBA)*
 - ◆ OO
 - ◆ um objeto pode invocar métodos de outro objeto num processo diferente
 - ◆ Modelo baseado em eventos
 - ◆ OO
 - ◆ objetos recebem notificações de eventos que acontecem num outro objeto em que estão interessados

Camada superior do *Middleware*

HOJE →

Remote invocation, indirect communication

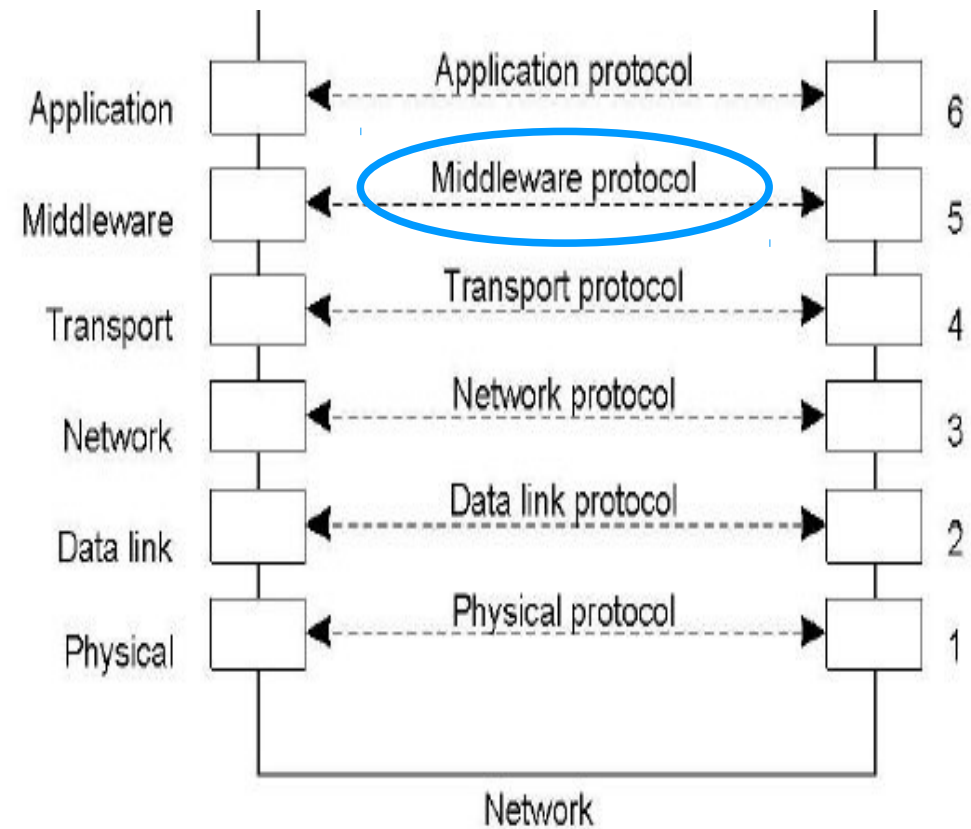
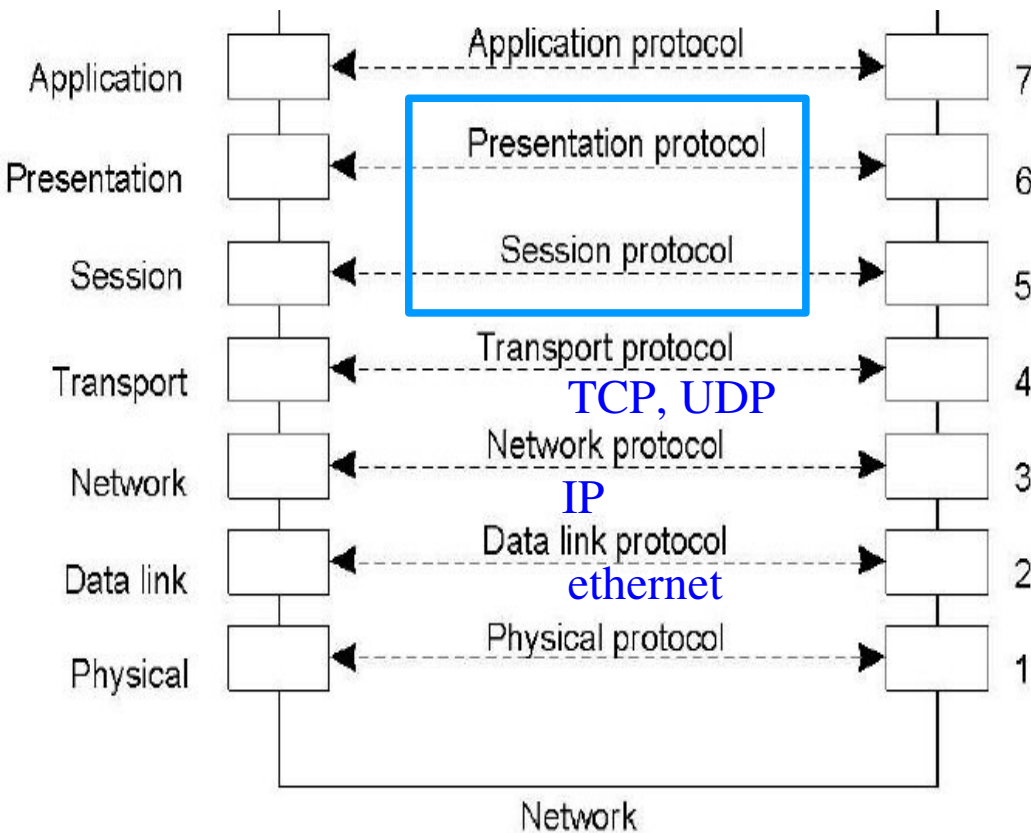
Underlying interprocess communication primitives:

Sockets, message passing, multicast support, overlay networks

UDP and TCP

Middleware
layers

Modelo OSI e o Middleware



Abstração Middleware

- ◆ Transparência face à localização
 - ◆ o processo cliente não sabe o endereço do servidor
- ◆ Independência dos protocolos de comunicação
 - ◆ o Request-Reply pode ser implementado sobre TCP ou UDP
- ◆ Independência do Hardware
 - ◆ standards para Representação Externa de Dados escondem diferenças
- ◆ Independência dos SO
 - ◆ as abstrações de nível superior fornecidas pelo Middleware não dependem do SO
- ◆ Utilização de diferentes linguagens de programação
 - ◆ CORBA: cliente numa linguagem pode invocar métodos em servidores escritos noutra linguagem – graças à CORBA IDL

Interfaces

- ◆ Interface
 - ◆ forma de controlo sobre a comunicação entre módulos ou processos
 - ◆ especifica um formato para as mensagens
- ◆ A interface de um módulo especifica os métodos e variáveis acessíveis para outros módulos (e o restante em cada módulo fica escondido do exterior)
- ◆ Tipos de Interface:
 - ◆ em RPC: *Service Interface (em modelos cliente-servidor)*
 - ◆ descrição dos procedimentos disponíveis e respectivos argumentos (input/output)
 - ◆ Não se podem passar apontadores como argumentos
 - ◆ em RMI: *Remote Interface*
 - ◆ *métodos de um objeto disponíveis para Inv. Remota*
 - ◆ *podem passar-se referências para objetos remotos (diferente de pointers)*

IDL

- ◆ *Interface Definition Language*
 - ◆ linguagem de programação adequada para definir interfaces
- ◆ Java RMI
 - ◆ todas as aplicações programadas na mesma linguagem: **Java**
- ◆ Sistemas baseados em várias linguagens de programação (ex: CORBA)
 - ◆ requerem uma IDL que forneça a notação para as interfaces que poderão ser usadas pelas diferentes aplicações

Exemplo de CORBA IDL

Em CORBA IDL cada argumento é marcado como “de entrada”, “de saída” ou “de entrada e saída”

```
// In file Person.idl  
struct Person {  
    string name;  
    string place;  
    long year;  
};  
interface PersonList {  
    readonly attribute string listname;  
    void addPerson(in Person p) ;  
    void getPerson(in string name, out Person p);  
    long number();  
};
```


Object Model (1)

- ◆ Programa OO
 - ◆ conjunto de objetos, cada um contendo dados e métodos
 - ◆ os objetos comunicam via invocação de métodos, passando argumentos e recebendo o resultado
 - ◆ algumas linguagens (Java,C++) permitem acesso direto a algumas variáveis (num SD os dados devem ser acedidos apenas pelos métodos)
- ◆ Os objetos têm uma referência (em Java: *1st class value*)
- ◆ Interfaces
 - ◆ declaração de métodos (argumentos, retorno e exceções) sem especificar a implementação
- ◆ Ações: iniciadas pelas invocações de métodos (podem alterar estado)
- ◆ Exceções: situação anómala
- ◆ *Garbage Collection*: libertar espaço ocupado por objetos quando eles já não são necessários

Objetos Distribuídos

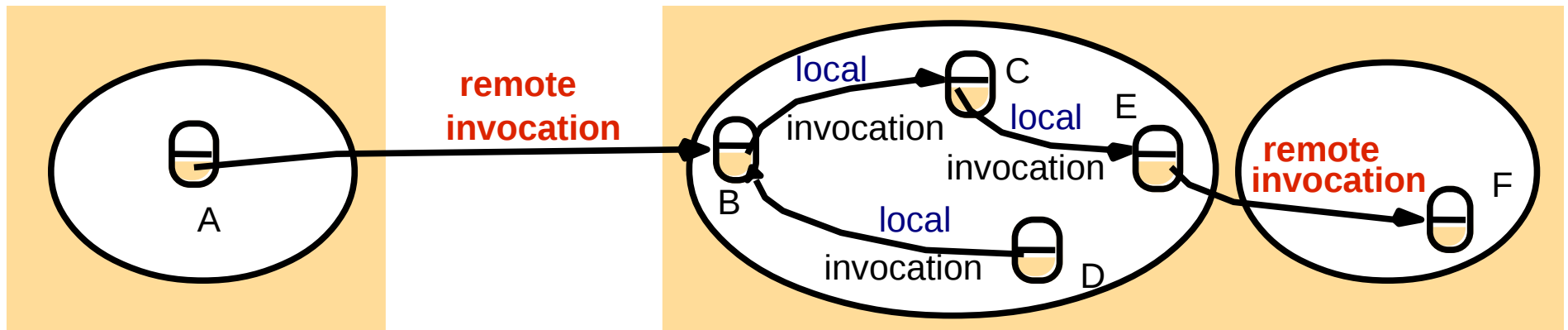
- ◆ Exemplo: arquitetura cliente-servidor
 - ◆ cliente envia um pedido ao servidor com o método que deseja invocar sobre um objeto pertencente ao servidor. O resultado é-lhe devolvido.
- ◆ **Estado do Objeto:** definido pelos valores das suas variáveis de instância
- ◆ quando o objeto pertence a um processo diferente, o seu estado só pode ser consultado/alterado através de métodos desse objeto
 - ◆ vantagem: facilita o mecanismo de proteção contra acessos incorretos (simultâneos/perigosos)

Object Model Distribuído

- ◆ processo
 - ◆ tem um conjunto de objetos, alguns dos quais recebem invocações locais e remotas, outros apenas recebem invocações locais
- ◆ Objeto Remoto
 - ◆ aquele que pode receber invocações remotas
- ◆ Referência Remota do Objeto
 - ◆ necessária para a invocação remota sobre o OR
 - ◆ identificação única no SD para aquele objeto
 - ◆ pode ser passada como argumento (Java)
- ◆ Interface Remota
 - ◆ especificação dos métodos que podem ser invocados remotamente

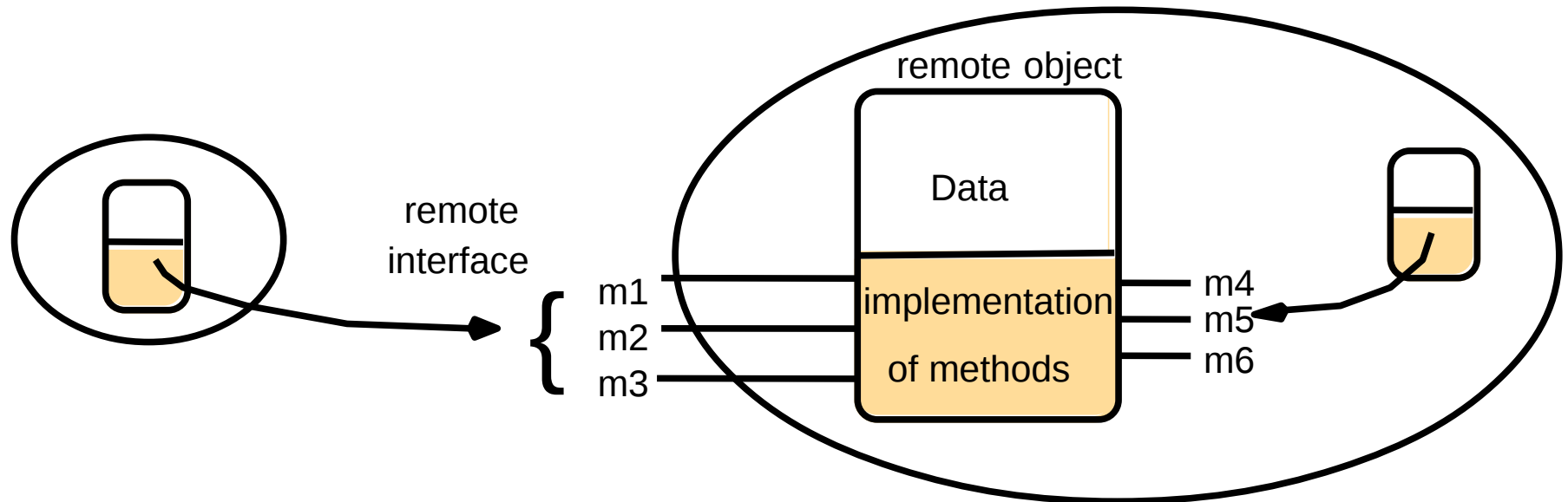
Invocação: local vs remota

- Invocação é **Remota** quando incide sobre um objeto de **outro** processo (que pode ou não estar na mesma máquina)



Object Model Distribuído

◆ Interface Remota



objetos do mesmo processo: podem invocar m1, ..., m4..., m6

objetos noutro processo: podem apenas invocar os métodos da interface remota m1,..., m3

Object Model Distribuído

◆ Ações

- ◆ iniciadas pela invocação* de métodos

* - que agora pode ser remota e desencadear outras invocações remotas em cadeia

◆ *Garbage Collection*

- ◆ a nível distribuído, é necessário considerar as referências remotas para o objeto

◆ Exceções

- ◆ podem surgir da mesma forma que na invocação local
- ◆ Java: `RemoteException`

Detalhes na conceção da abstração RMI

- ◆ Semântica na invocação em RMI
- ◆ garantias de *doOperation* no protocolo RR:
 - ◆ reenvio do pedido
 - ◆ reenviar a mensagem com o pedido para o servidor até a resposta chegar ou se detectar que o servidor está com problemas
 - ◆ filtragem de duplicados
 - ◆ decidir se o duplicado deve ser processado para reenvio ou ignorado
 - ◆ retransmissão de resultados
 - ◆ através de um histórico de resultados para evitar uma nova execução da operação

Semântica da Invocação

<i>medidas</i>			<i>semântica de invocação</i>
<i>reenvio do pedido</i>	<i>filtragem de duplicados</i>	<i>executar de novo ou retransmitir resultado do histórico</i>	
Não	Não aplicável	Não aplicável	<i>Maybe</i>
Sim	Não	executar de novo	<i>At-least-once</i>
Sim	Sim	retransmitir do histórico	<i>At-most-once</i>

Sun RPC

Java RMI
CORBA

◆ Possíveis Falhas:

- ◆ Maybe: omissão, crash
- ◆ At-least-once: crash, arbitrárias (retransmissão do pedido, reexecução)
- ◆ At-most-once: falhas evitam-se com os mecanismos de tolerância a falhas

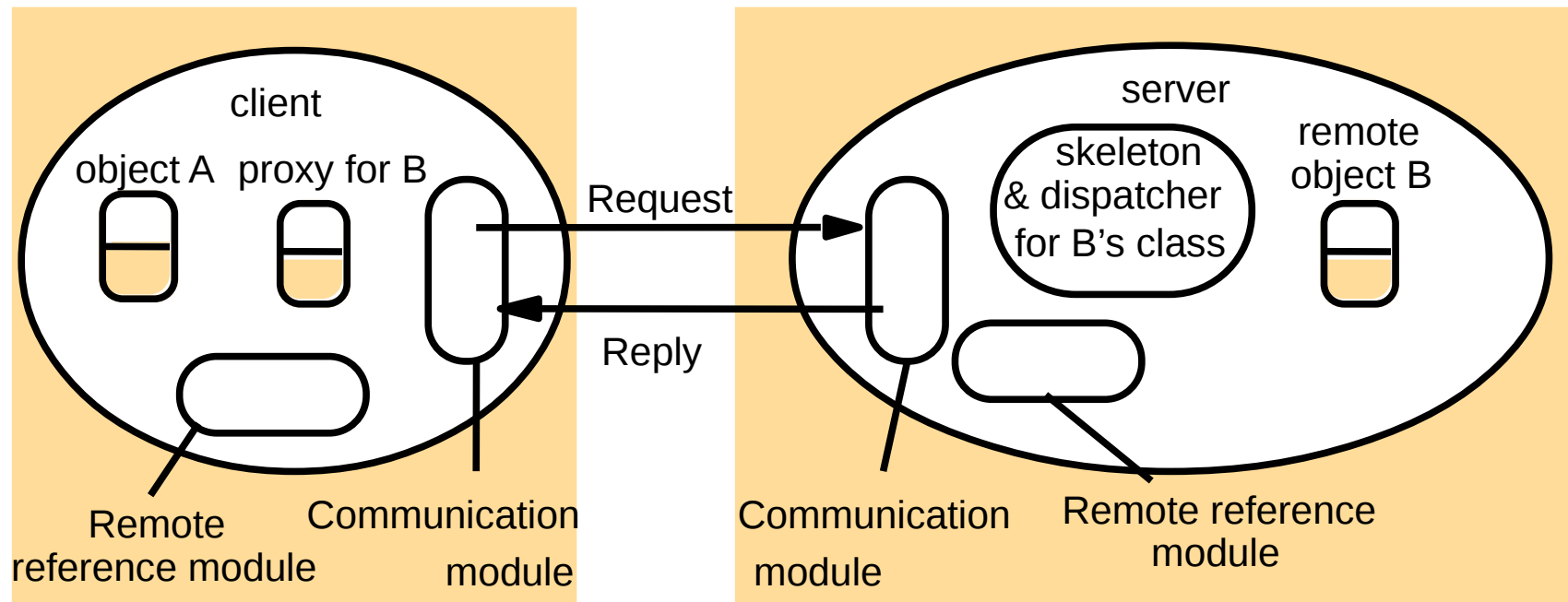
Implementação de RMI: **componentes**

- ◆ módulo de comunicação
 - ◆ protocolo RR, semântica da invocação, do lado do servidor escolhe o *dispatcher*
- ◆ módulo de referências remotas
 - ◆ tradução entre referências remotas e locais, criação de refs. remotas
- ◆ Software RMI
 - ◆ Proxy
 - ◆ torna a invocação remota transparente para o cliente
 - ◆ *marshalling* de argumentos, *unmarshalling* de resultado da invocação
 - ◆ existe um proxy para cada objeto remoto que um processo referencia
 - ◆ implementa os métodos da interface remota do objeto, mas cada método faz *marshall* da referência do objeto, *methodId*, e argumentos, aguardando a resposta para o *unmarshall*

Implementação de RMI: componentes

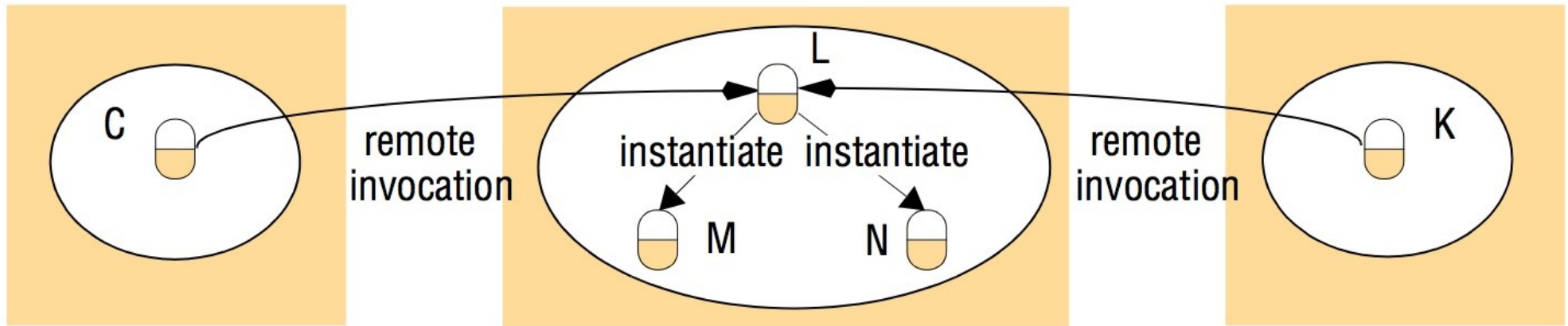
- ◆ Software RMI - *continuação*
 - ◆ Dispatcher
 - ◆ um para cada classe de objeto remoto, no servidor
 - ◆ recebe a mensagem e pelo *methodId* seleciona o método apropriado no Skeleton
 - ◆ Skeleton
 - ◆ um por cada classe que representa um objeto remoto, no servidor
 - ◆ implementa os métodos na interface remota, mas efetuando *unmarshall* a argumentos no pedido, invocando o método no objeto remoto (localmente) e devolvendo o *marshall* do resultado e eventual exceção na resposta ao proxy
- ◆ Orbix CORBA e Java RMI: proxy, dispatcher e skeleton são gerados automaticamente

RMI: Proxy e Skeleton



Objetos Remotos: podem ser criados *on-demand*

- novas instâncias ou ativações



Objeto Remoto pode estar em **estado**:

- **Ativo**: disponível para invocação a qualquer momento
 - permanece junto ao processo a que pertence
- **Passivo**: não disponível, mas pode ativar-se
 - inclui os seus métodos e uma representação serializada/*marshalled* do seu estado

Servidor, Cliente, Binder: quem tem e faz o quê?

- ◆ Servidor
 - ◆ classes para dispatcher e skeleton
 - ◆ classes com implementação para todos os objetos remotos *Servant ou Impl*
 - ◆ zona de inicialização:
 - ◆ criar pelo menos um objeto remoto e inicializá-lo
 - ◆ registrar o objeto no *binder*
 - ◆ para evitar demoras, cada invocação remota é tratada numa nova Thread
- ◆ Cliente
 - ◆ classes dos proxies dos objetos remotos usados
 - ◆ lookup no *binder* para obter a referência remota do objeto
- ◆ Binder
 - ◆ serviço que guarda pares (nome, referência remota do objeto)
 - ◆ “servidor de nomes”

Garbage Collection Distribuído

- ◆ Se um objeto tem uma referência local ou remota no conjunto de objetos distribuídos, então deve continuar a existir.
- ◆ Cooperação com o GC local:
 - ◆ cada servidor mantém uma lista com o conjunto de processos com referências para os seus objetos
 - ◆ quando um cliente cria um Proxy para um objeto, é adicionado ao conjunto de processos com referências para aquele objeto
 - ◆ quando o GC do cliente deteta que o Proxy do objeto já não necessário/referido, envia uma mensagem ao servidor (`removeRef(O)`) e elimina o proxy. O servidor remove o processo da lista.
 - ◆ Quando a lista estiver vazia, o GC do servidor recupera o espaço do objeto, excepto se existirem referências locais.

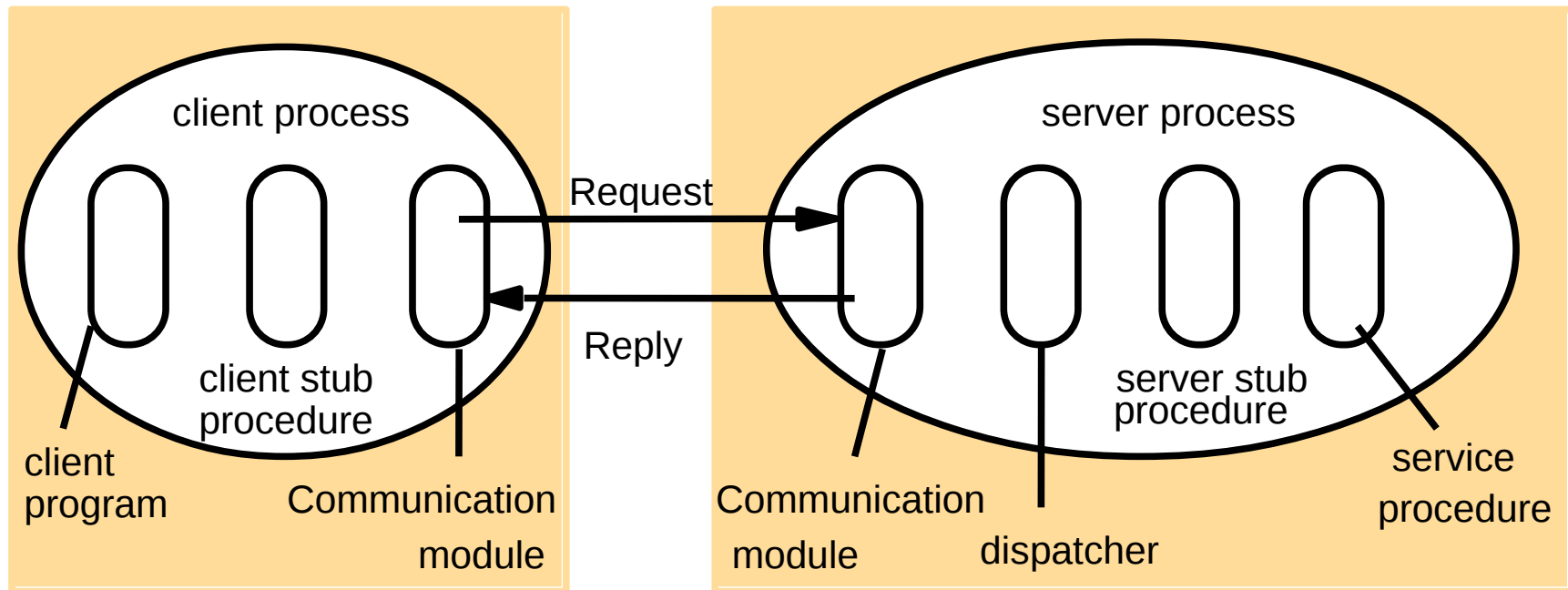
Garbage Collection Distribuído

- ◆ protocolo RR
- ◆ semântica de invocação *At-most-once*
- ◆ **Java Distributed GC**
 - ◆ tolera falhas no cliente
 - ◆ o servidor (com objetos remotos) atribui um intervalo de tempo (*lease*) ao cliente
 - ◆ a contagem é válida até o tempo expirar ou o cliente pedir *removeRef()*
 - ◆ o cliente é responsável por renovar periodicamente o seu *lease*
 - ◆ e assim ser contabilizado na lista de processos com referências para os objetos remotos

Abstração RPC

- ◆ *service interface*
- ◆ semânticas de invocação usualmente implementadas:
 - ◆ *at-least-once*
 - ◆ *at-most-once*
- ◆ sobre o protocolo RR
- ◆ **Software RPC**
 - ◆ semelhante ao anterior, mas sem Módulo de Referências Remotas, uma vez que não há a noção de objetos

RPC: stub de cliente e de servidor, dispatcher



RPC

- ◆ Stub de Cliente
 - ◆ como o Proxy: tem métodos locais que fazem marshalling, (unmarshalling) no pedido (resposta) para o servidor
- ◆ Server Stub
 - ◆ como o Skeleton (unmarshalling, marshalling)
- ◆ Dispatcher
 - ◆ recebe o pedido do cliente e escolhe o stub adequado
- ◆ Existe um *Stub Procedure* por procedimento na *Service Interface*
- ◆ Stubs e Dispatcher
 - ◆ gerados automaticamente a partir da interface do serviço

RPC

- ◆ Sun RPC (aka ONC RPC)
 - ◆ sobre TCP ou UDP
 - ◆ *interface language*: XDR (**e**xternal **d**ata **r**epresentation)
- ◆ SunRPC / XDR
 - ◆ não permite dar o nome à interface
 - ◆ números de programa e versão
 - ◆ o procedimento a invocar é identificado por um nº, no pedido
 - ◆ é permitido um único parâmetro de input (*vários: uma estrutura*)
 - ◆ o output do procedimento sai num único resultado/valor

Interface para ler e escrever ficheiros – Sun XDR

```
const MAX = 1000;  
typedef int FileIdentifier;  
typedef int FilePointer;  
typedef int Length;  
struct Data {  
    int length;  
    char buffer[MAX];  
};  
struct writeargs {  
    FileIdentifier f;  
    FilePointer position;  
    Data data;  
};
```

```
struct readargs {  
    FileIdentifier f;  
    FilePointer position;  
    Length length;  
};  
  
program FILEREADWRITE {  
    version VERSION {  
        void WRITE(writeargs)=1; 1  
        Data READ(readargs)=2; 2  
    }=2;  
} = 9999;
```

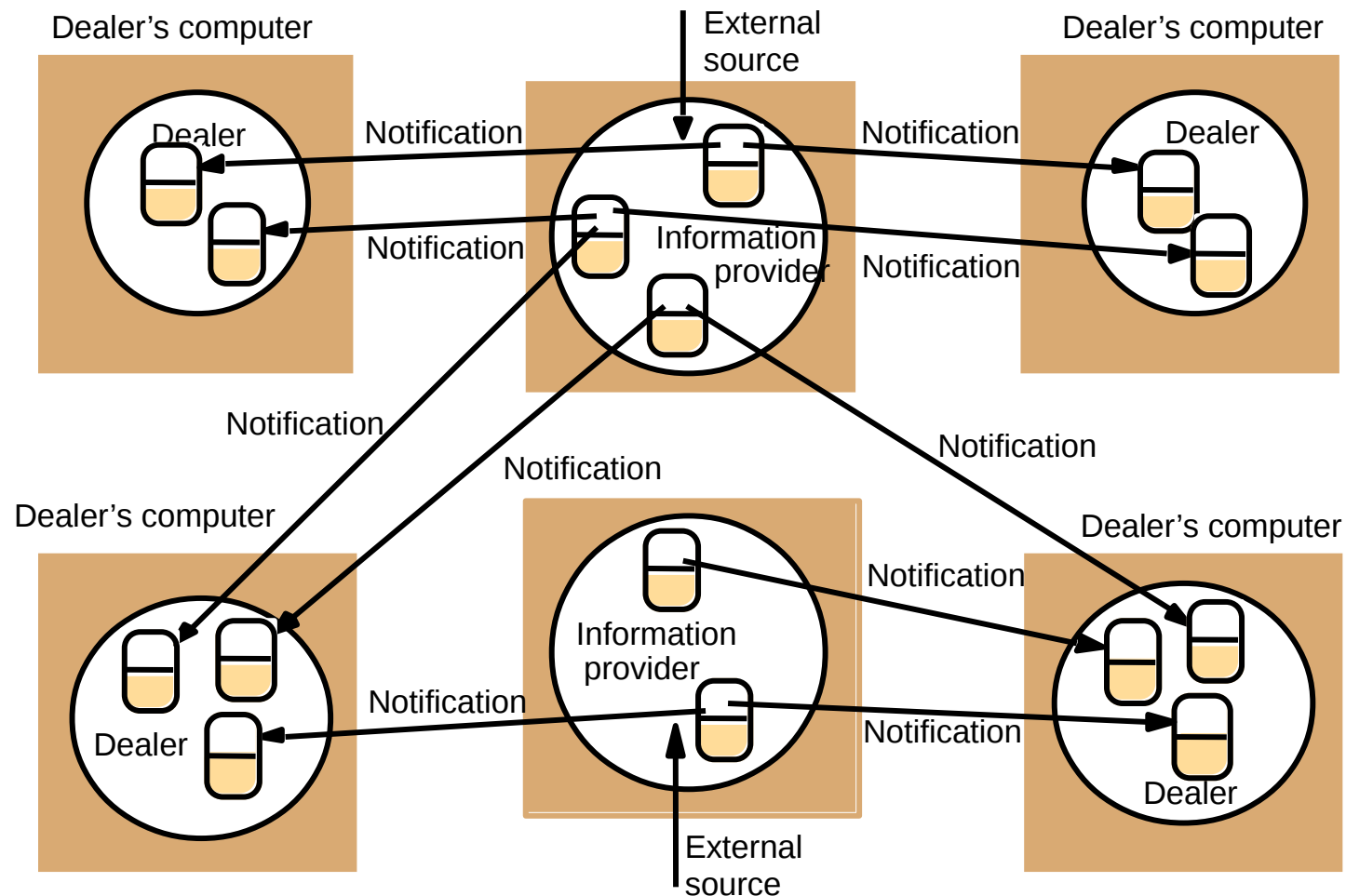
Sun RPC

- ◆ XDR
 - ◆ permite definir constantes, typedefs*, estruturas*, enumerações*, unions e programas. (* com a sintaxe da linguagem C)
- ◆ Binding: *port mapper*
 - ◆ ao iniciar, o servidor regista os nº de programa, versão e porto no port mapper
- ◆ Autenticação
 - ◆ mensagens Sun RPC incluem campos adicionais dedicados à autenticação de cliente e servidor

Eventos e Notificações

- ◆ Evento: provoca alteração do estado de um objeto
- ◆ **Notificações**: objetos que representam eventos
- ◆ Características de SD baseados em Eventos
 - ◆ usam paradigma *publish-subscribe*
 - ◆ os eventos são publicados: ficam disponíveis para observação por outros objetos
 - ◆ os objetos que querem receber notificações subscrevem o tipo de eventos que lhes interessa
 - ◆ heterogêneos
 - ◆ os componentes têm conhecimento dos outros componentes (a quem subscrevem ou para quem notificam)
 - ◆ assíncronos
 - ◆ notificações enviadas de modo assíncrono

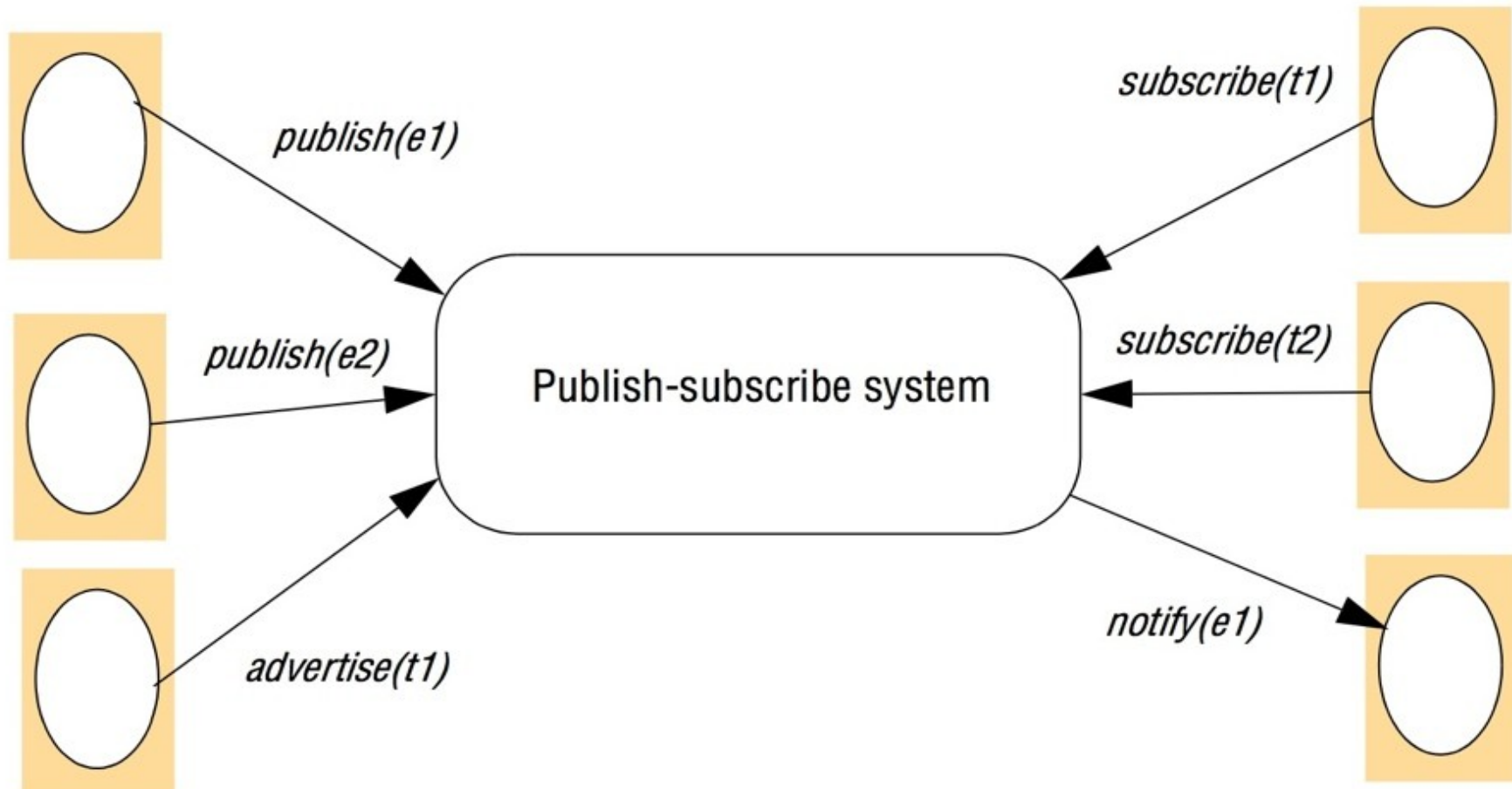
Exemplo: Notificações num Sistema de uma Corretora



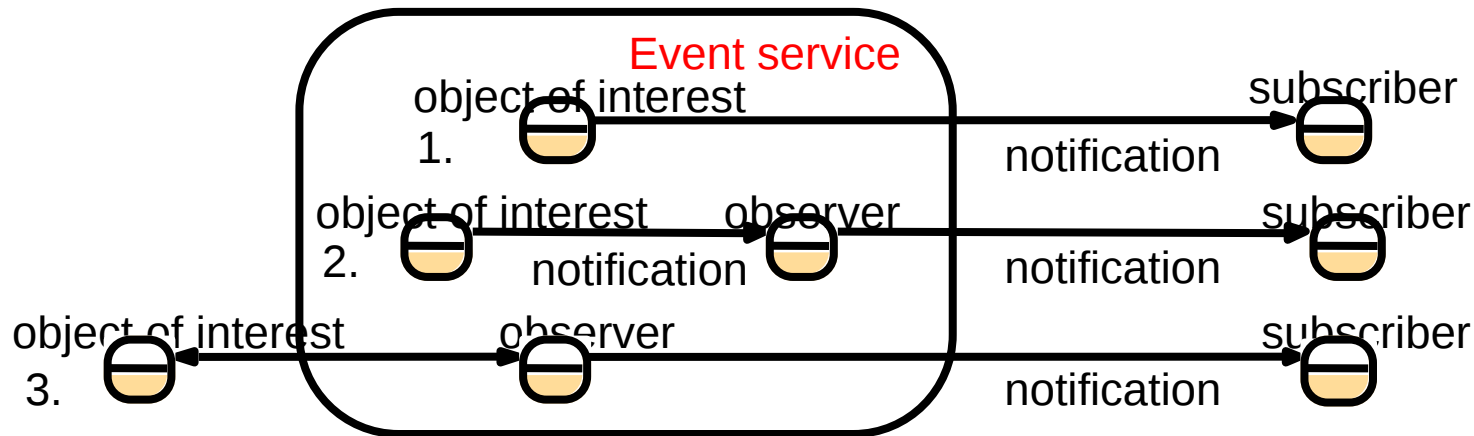
Paradigma *Publish-Subscribe*

Publishers

Subscribers



Arquitetura para um SD com notificação de eventos



Subscriber: objeto interessado em certo tipo de eventos de outro objeto

Event service: regista os eventos publicados e os interesses dos subscritores

Object of Interest: objeto que sofre alteração de estado em resultado de operações/invocações

Observer: intermediário entre o *Object of Interest* e o *Subscriber*, tem as funções:

- **Forwarding**: pode haver muitos *subscribers*, libertando o Ool
- **Filtragem de Notificações**
- **Padrões de eventos**: notificação especial na ocorrência de um padrão de eventos
- **Notification Mailbox**: guarda as notificações até o subscriber estar pronto para as receber

Notificação de Eventos em Java

- ◆ Jini
 - ◆ permite a um *subscriber* de uma JVM subscrever e receber notificações de eventos num *Object of Interest* localizado numa JVM diferente (eventualmente noutra máquina)
 - ◆ utiliza Java RMI no envio de notificações

Notificação de Eventos em Java: Jini

- ◆ *EventGenerator*: interface com o método *register()*. É implementada pelos objetos cujos eventos geram notificações.
- ◆ *RemoteEvent*: classe que descreve o tipo de evento, o gerador do evento, nº de sequência para aquele tipo de evento e ainda uma representação serializada do evento
- ◆ *RemoteEventListener*: interface com o método *notify()*. Implementada pelos *subscribers* e *third-party agents* para recebem as notificações (pela invocação remota deste método)
- ◆ *Third-party agents*: podem existir entre o Objecto de Interesse e o *subscriber*. Equivalentes aos observers.

Java RMI

- ◆ permite a invocação remota com uma sintaxe idêntica à invocação local
- ◆ o cliente tem de *tratar* as `RemoteExceptions`
- ◆ Interface Remota: definida em Java
- ◆ cuidado: prever o comportamento do objeto remoto com a concorrência
- ◆ **Exemplo:** servidor guarda registo de um quadro com figuras
 - ◆ objetos remotos: `Shape`, `ShapeList` – *ver livro*

Java RMI: interfaces remotas *Shape* e *ShapeList*

```
import java.rmi.*;
import java.util.Vector;

public interface Shape extends Remote {
    int getVersion() throws RemoteException;
    GraphicalObject getAllState() throws RemoteException;      1
}

public interface ShapeList extends Remote {
    Shape newShape(GraphicalObject g) throws RemoteException; 2
    Vector allShapes() throws RemoteException;
    int getVersion() throws RemoteException;
}
```

Java RMI

- Interface Remota

- ◆ interface remota: estender a interface *java.rmi.Remote*
- ◆ declaração de métodos: *throws RemoteException* (e eventualmente outras específicas da aplicação)

- Parâmetros e Resultado

- argumentos do método da interface: parâmetros de input
- retorno do método: único parâmetro de output
- as classes dos argumentos e retorno do método devem ser serializáveis
 - (todos os tipos primitivos e objetos remotos são serializáveis)
- passagem de parâmetros (*ver linhas 1 e 2*)
 - **objetos remotos**: por referência (remota)
 - **objetos não remotos**: passagem por valor

Java RMI

◆ Download de Classes

- ◆ em Java as classes podem passar de uma JVM para outra
- ◆ se o cliente não tem a classe do tipo de retorno no método, o código é obtido do seu interlocutor automaticamente
 - ◆ Vantagem: transparência
 - ◆ Segurança: precisamos de regras para aceitar código – `RMISecurityManager`

◆ RMI registry

- ◆ binder, serviço de nomes
- ◆ mapeia nomes* e referências remotas
 - ◆ * `rmi://hostname:port/objectName`
- ◆ ver `java.rmi.Naming`

Java RMI Registry: classe Naming

void rebind (String name, Remote obj)

método usado por um servidor para adicionar uma entrada, fazendo o registro de um par (nome, referência para o objeto remoto).

void bind (String name, Remote obj)

método usado por um servidor para adicionar uma entrada, fazendo o registro de um par (nome, referência para o objeto remoto).

Se o nome já existir é lançada uma exceção.

void unbind (String name, Remote obj)

método para eliminar uma entrada

Remote lookup(String name)

método invocado por clientes para obter uma referência para um objeto remoto a partir do seu nome

String [] list()

devolve um array de Strings com os nomes registados neste serviço

Java RMI: um servidor

```

import java.rmi.*;

public class ShapeListServer{
    public static void main(String args[]){
        System.setSecurityManager(new RMISecurityManager());
        try{
            ShapeList aShapeList = new ShapeListServant();           1
            Naming.rebind("Shape List", aShapeList );                2
            System.out.println("ShapeList server ready");
        }catch(Exception e) {
            System.out.println("ShapeList server main " + e.getMessage());}
        }
    }
}

```

Java RMI: Servant (ServiceImpl – classe do objecto remoto)

```

import java.rmi.*;
import java.rmi.server.UnicastRemoteObject;
import java.util.Vector;
public class ShapeListServant extends UnicastRemoteObject implements ShapeList {
    private Vector theList;                // contains the list of Shapes      1
    private int version;
    public ShapeListServant() throws RemoteException {...}
    public Shape newShape(GraphicalObject g) throws RemoteException {      2
        version++;
        Shape s = new ShapeServant( g, version);                            3
        theList.addElement(s);
        return s;
    }
    public Vector allShapes()throws RemoteException {...}
    public int getVersion() throws RemoteException { ... }
}

```

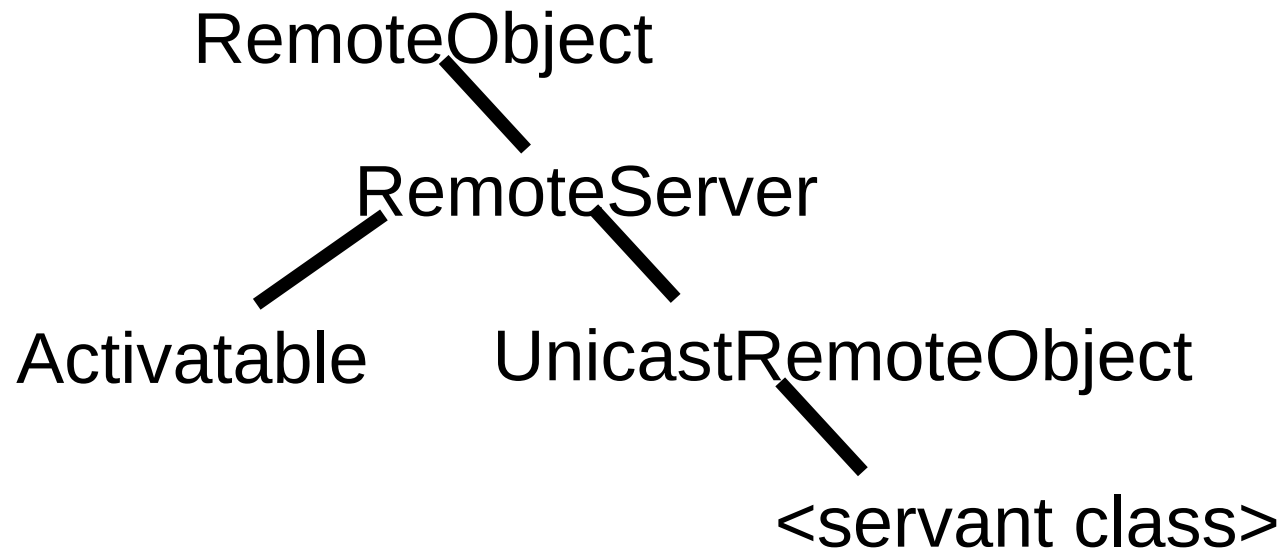
implementação dos métodos sem os detalhes de comunicação

Java RMI: um cliente

```
import java.rmi.*;
import java.rmi.server.*;
import java.util.Vector;
public class ShapeListClient{
    public static void main(String args[]){
        System.setSecurityManager(new RMISecurityManager());
        ShapeList aShapeList = null;
        try{
            aShapeList = (ShapeList) Naming.lookup("//bruno.ShapeList");
            Vector sList = aShapeList.allShapes();
        } catch (RemoteException e) {System.out.println(e.getMessage());}
        } catch (Exception e) {System.out.println("Client: " + e.getMessage());}
    }
}
```

1
2

Java RMI: hierarquia de classes (server-side)



Callbacks

- ◆ há situações em que é o servidor que toma a iniciativa de contactar o cliente devido a um evento
 - ◆ evita consultas desnecessárias por parte do cliente
 - ◆ implementável via RMI
 - ◆ cliente cria um objeto* remoto com o método que o servidor há-de invocar
 - * designado *callback object*
 - ◆ cada cliente interessado informa o servidor do seu *callback object*
 - ◆ a cada evento, o servidor invoca o método junto daqueles clientes

Java IDL

- ◆ conectividade e interoperabilidade com ambiente CORBA
- ◆ permite desenvolver uma aplicação em Java, com uma interface definida em CORBA IDL, e inseri-la num ambiente CORBA
 - ◆ (com outras aplicações possivelmente noutras linguagens)

CORBA (*common object request broker architecture*)

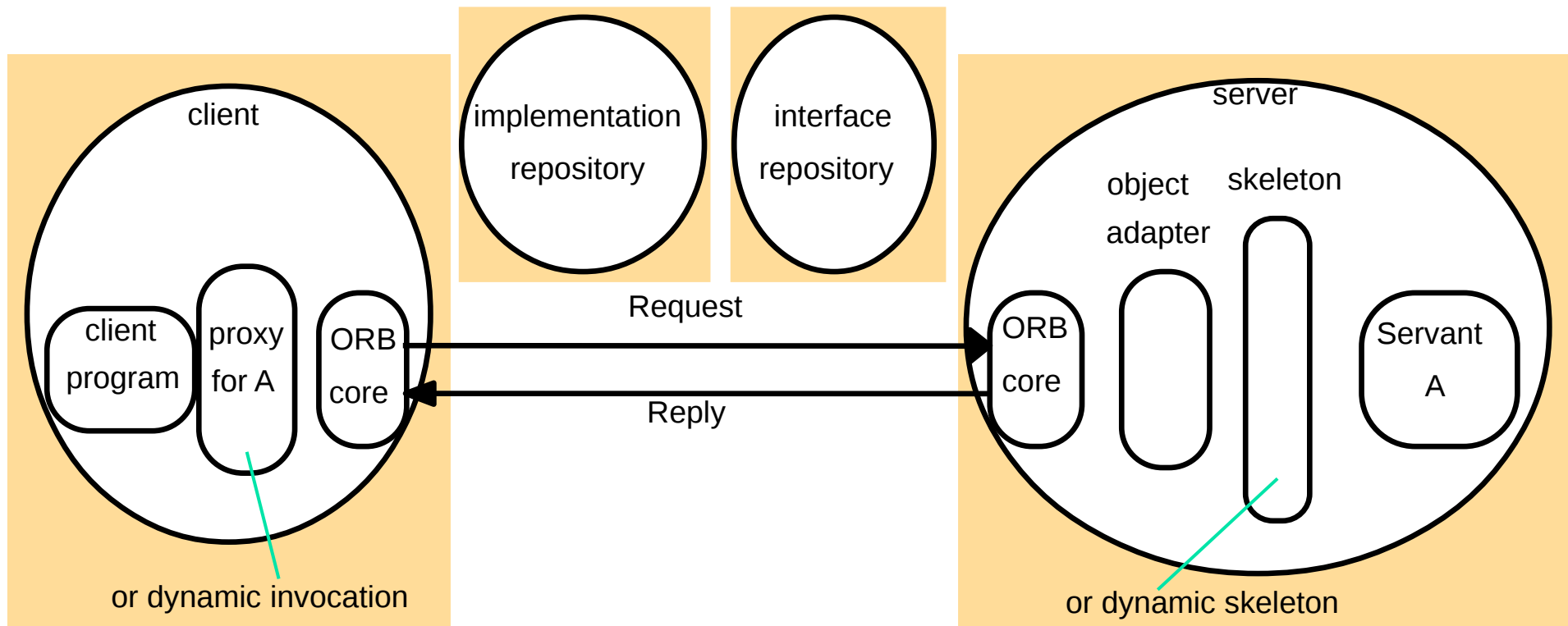
- ◆ permitir que objetos distribuídos e implementados em diferentes linguagens de programação possam comunicar
- ◆ assenta na metáfora do *object request broker*
 - ◆ ajuda um cliente a invocar um método num objeto
 - ◆ localizar o objeto
 - ◆ ativar o objeto, se necessário
 - ◆ comunicar o pedido ao objeto, que por sua vez presta o serviço
 - ◆ devolver a resposta ao cliente

CORBA

- ◆ Componentes principais:
 - ◆ IDL
 - ◆ arquitetura
 - ◆ formato para representação externa de dados CDR e formato das mensagens a trocar no protocolo RR, definidos na norma GIOP (*General InterORB Protocol*)
 - ◆ referência de objetos remotos, definida pela norma IIOP (*Internet Inter-Orb Protocol*)
- ◆ Passagem de parâmetros:
 - ◆ tipo definido pela IDL: é devolvida uma referência remota
 - ◆ tipos primitivos e outros tipos compostos: copiados e passados por valor
- ◆ Semântica de invocação
 - ◆ *at-most-once*

Arquitetura CORBA

- ◆ Semelhante à arquitetura Java RMI... com alguns componentes novos



Arquitetura CORBA

- ◆ **Object Adapter**: faz a ponte entre os objetos CORBA na interface IDL e os objetos do servant com a interface da linguagem de programação
- ◆ **ORB Core**: semelhante ao módulo de comunicação de Java RMI
- ◆ **Implementation repository**: mapeia nomes de *object adapters* em pathnames de ficheiros com a implementação dos objetos, bem como o hostname e porto do servidor em que se encontram
- ◆ **Interface repository**: disponibiliza aos clientes a informação sobre interfaces IDL registadas
- ◆ **skeleton**: gerado pelo compilador de IDL, na linguagem do servidor. Faz *unmarshall* e *marshall* de argumentos e resultado ou exceção, respetivamente
- ◆ **client stub/proxy**: gerado na linguagem do cliente, pelo compilador de IDL. Faz *marshall* e *unmarshall* de argumentos e resultado, respetivamente