中间件技术
Middleware Technology

第四章 远程过程调用和Java RMI

赖永炫 博士/教授
厦门大学 软件工程系

复习：分布式处理

分布式计算环境是在具有多地址空间的多计算机系统上进行计算和信息处理的软件环境；

分布式软件系统是支持分布式处理的软件系统，它包括分布式操作系统，分布式程序设计语言及其编译系统，分布式文件系统和分布式数据库系统等。

分布式处理就是多台相连的计算机各自承担同一工作任务的不同部分，在人的控制下，同时运行，共同完成同一件工作任务。

哑终端 dumb terminal

从远程大型主机（MainFrame）或强大的UNIX服务器运行的整体进程显示结果

直接拿电缆从哑终端连入主机

智能终端---》 PC

包括了专门的电路和固件，还可能有通信协议来和母机进行特定的合作

终端仿真(Terminal emulation)

PC出现后，数百名用户都能远程登录到一台强大的主机和UNIX服务器上

特定的通信协议，代价是复杂性

客户/服务器计算(C/S)

典型的客户有一个图形化用户界面，使用多种通信协议与服务器对话；服务器通常处理后台持久性的数据

在C/S架构下，通信层软件必须开发成能够处理客户和服务器的交互。这种类型的软件后来被称为”中间件”——即客户/服务器交互用的介质

进程可认知数据，但不理解一个原始的网络流

Package Unpackage

遇到的问题

业务逻辑和复杂计算在客户机上实现太昂贵了

由于客户机能力“微不足道”，客户性能上将受到很大影响

软件开发人员在编写处理客户/服务器通信的协议规范和代码上要花太多时间

每个客户/服务器系统都要利用某种安全性来防止潜在的攻击

安全软件通常是自己开发的，没什么标准可循

采用RPC的分布式计算

客户只负责简单的显示、捕获和验证用户数据，即所谓的“瘦客户”(Thin Client)

中间层是支持客户机做复杂商务处理(如计算花费)的服务器层，较为强大和灵敏

后台服务器管理持久性的业务数据，通常直接和数据库交换信息，这一层也应当放置在高端计算机上

三层体系各司其职，从而使得每个角色各尽所能。软件开发人员可以用某种格式的RPC，如

Sun ONC RPC；DCE RPC

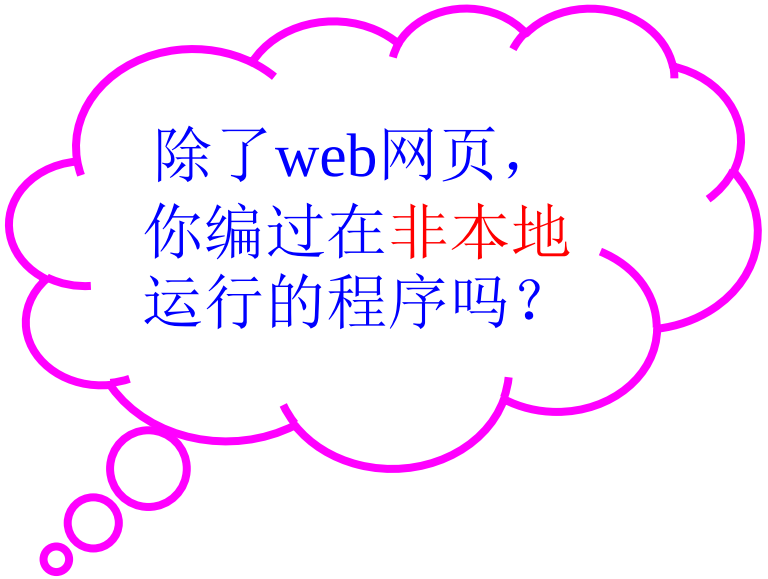
随着RPC的到来，使得在整个企业范围内分布功能和服务变得很容易，使得“分布式计算”这一术语更加流行

远程过程调用
Remote Procedure Call

RPC背景

在传统的编程概念中，过程是由程序员在本地编译完成，并只能局限在本地运行的一段代码

也就是说主程序和过程之间的运行关系是本地调用关系。



这种结构在网络日益发展的今天已无法适应实际需求。

其调用模式无法充分利用网络上其他主机的资源（如计算资源、存储资源、数据资源、显示资源等），也无法提高代码在实体间的共享程度，使得主机资源大量浪费。

远程过程调用的概念

进程间通信(IPC)是在多任务操作系统或联网的计算机之间运行的程序和进程所用的通信技术。有两种类型的进程间通信(IPC)：

本地过程调用(LPC)：用在多任务操作系统中，使得同时运行的任务能互相会话。这些任务共享内存空间使任务同步和互相发送信息

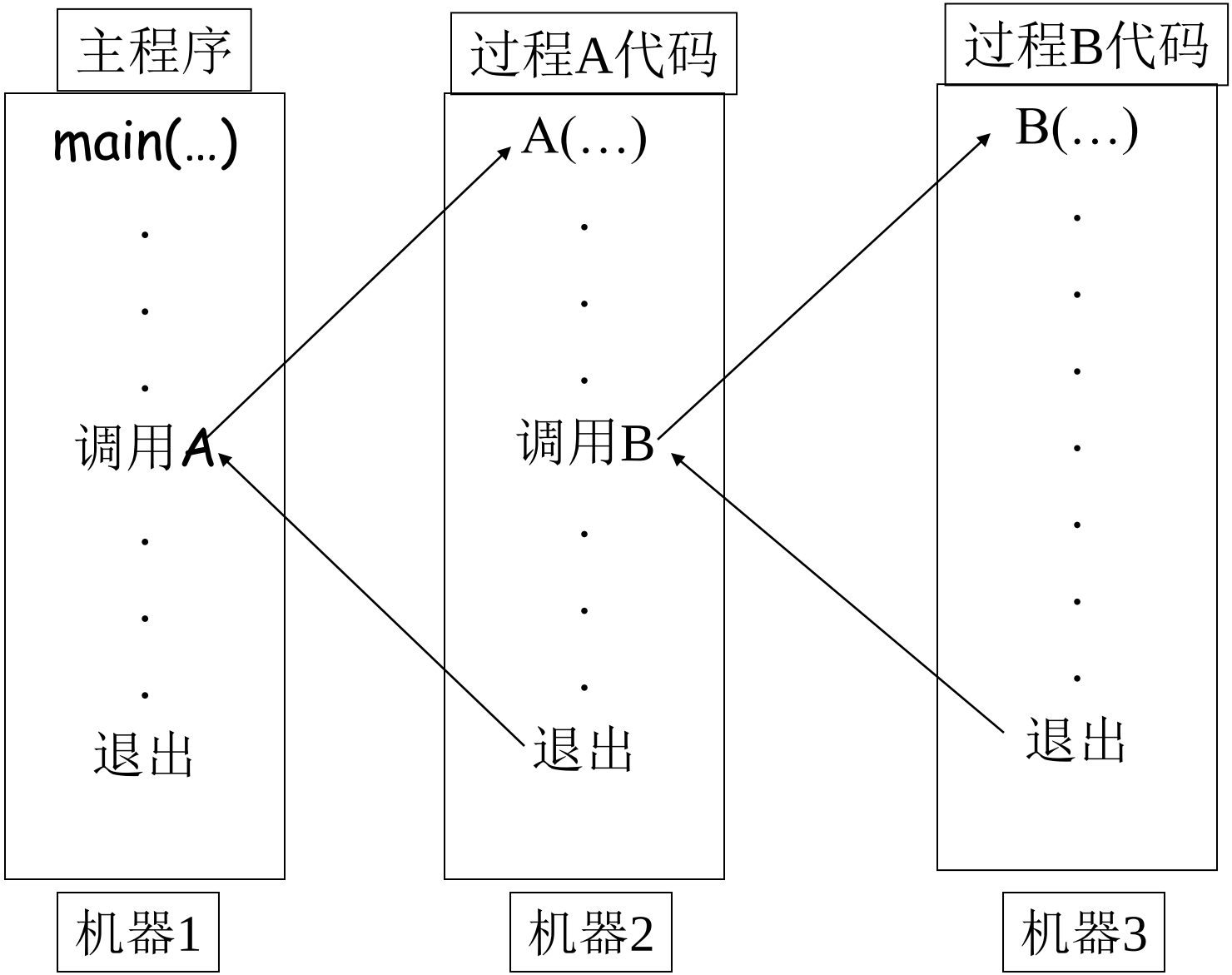
远程过程调用(RPC)：类似于LPC，只是在网上工作。RPC开始是出现在Sun微系统公司和HP公司的运行UNIX操作系统的计算机中

远程过程调用协议

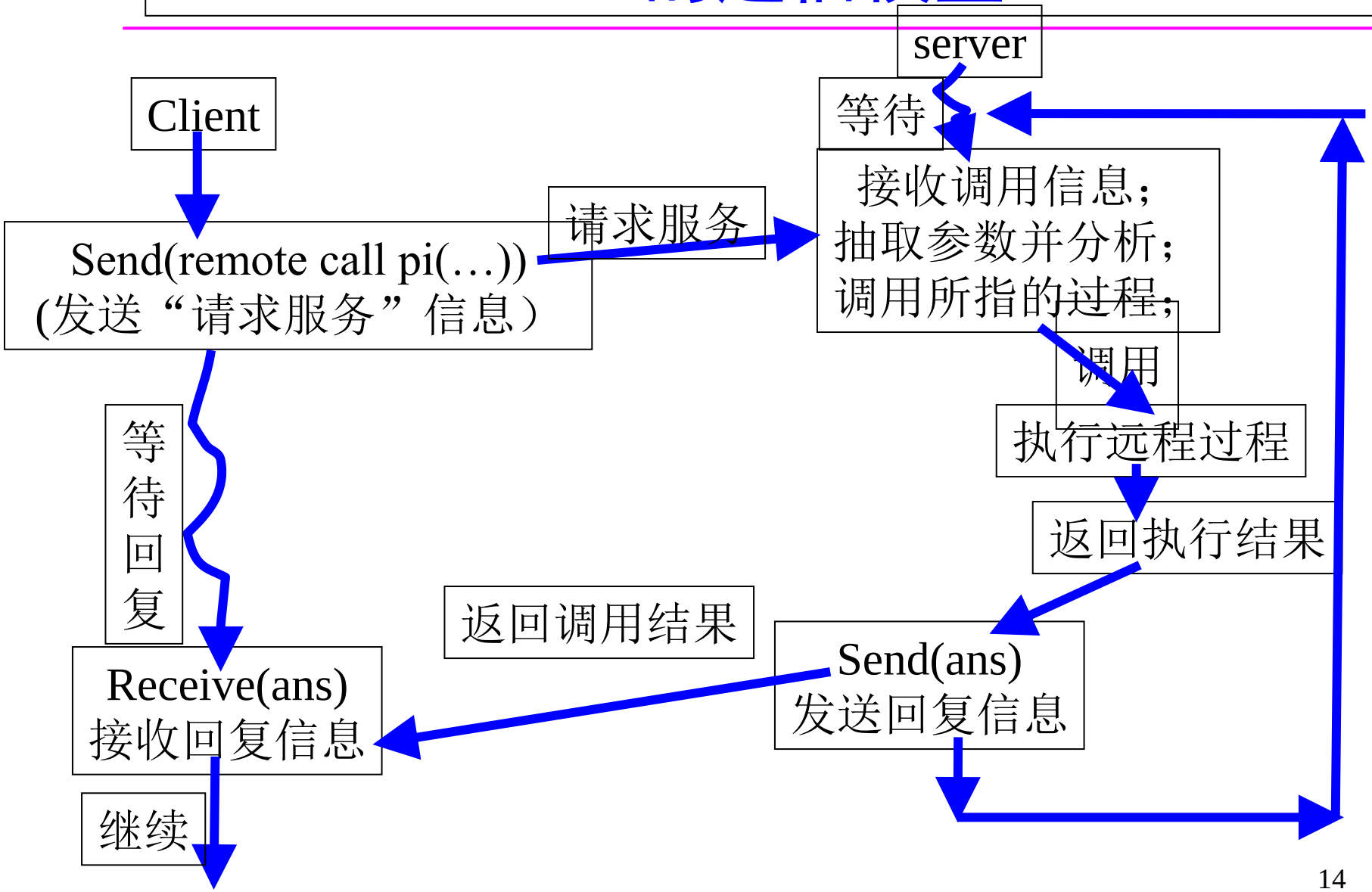
远程过程调用协议：一种通过网络从远程计算机程序上请求服务，而不需要了解底层网络技术的协议

RPC是一个Client/Server模型，调用程序片称为rpc client (本地程序)，被调用程序片称为rpc server(远程服务器)

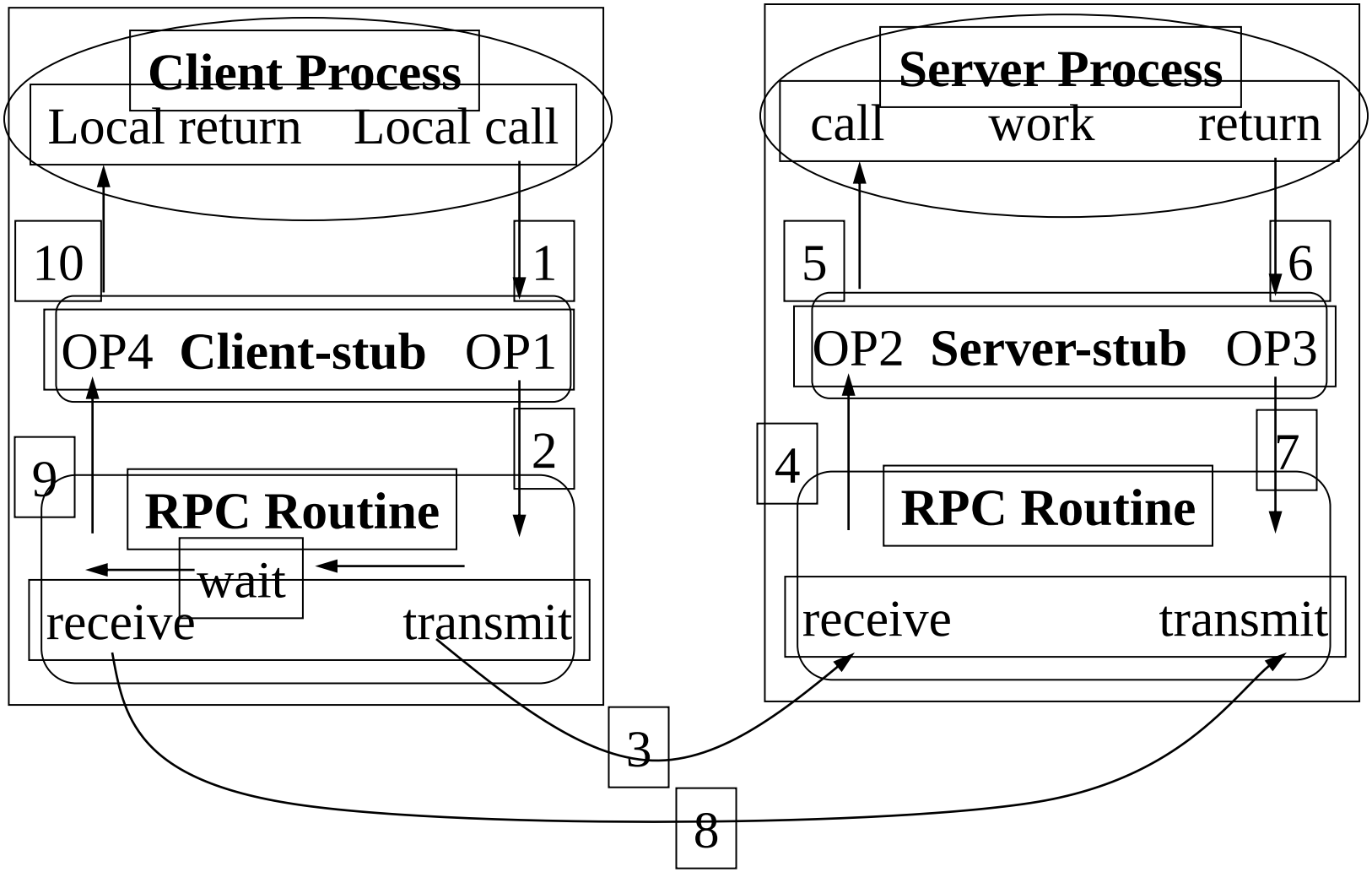
RPC调用模型



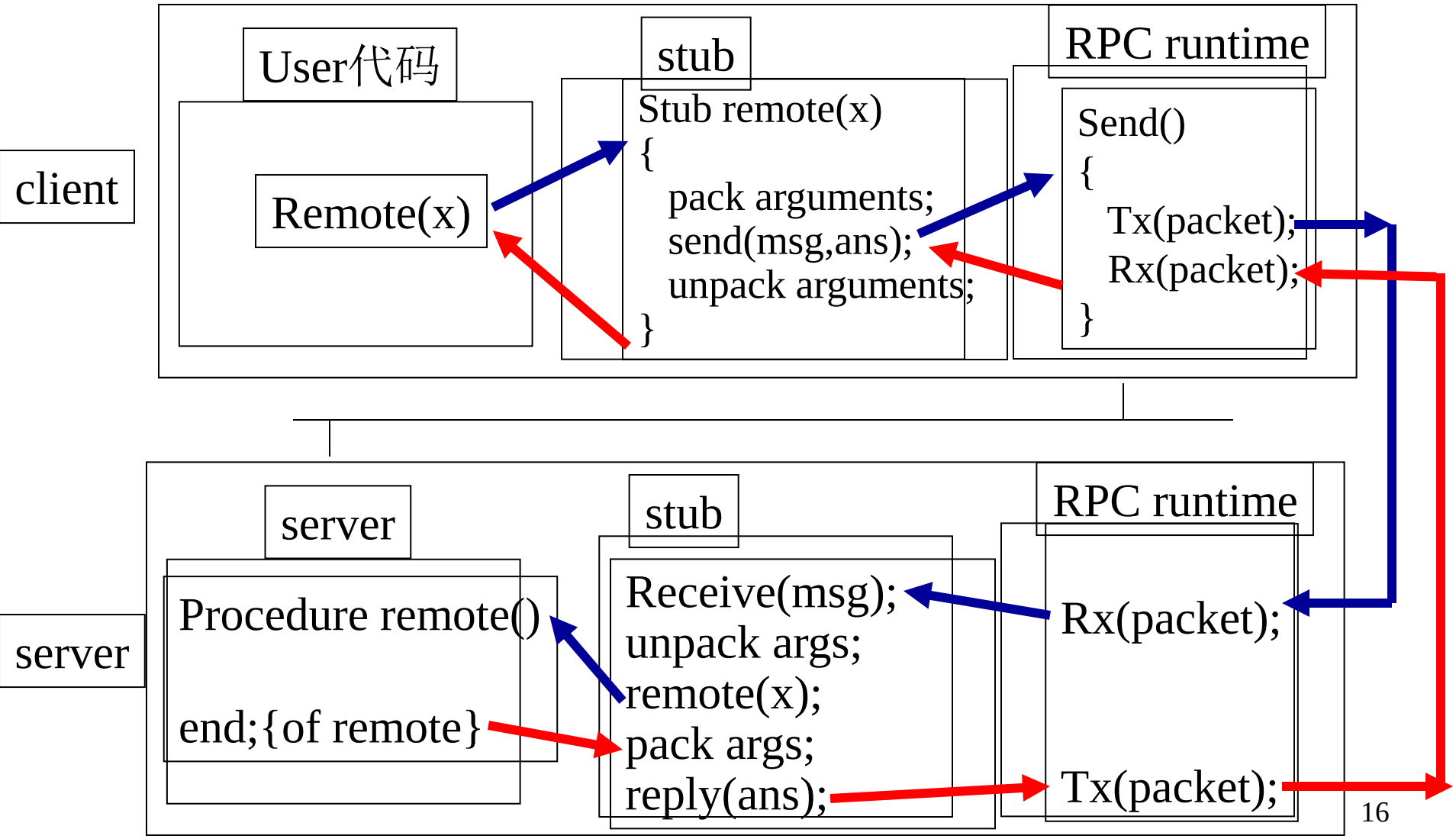
RPC的通信模型


server
Client
等待
接收调用信息；
抽取参数并分析；
调用所指的过程；
请求服务
Send(remote call pi(…))
(发送“请求服务”信息)
调用
执行远程过程
返回执行结果
等待回复
返回调用结果
Send(ans)
发送回复信息
Receive(ans)
接收回复信息
继续

RPC的执行


Client Process
Local return
Local call
10
1
OP4 Client-stub OP1
2
9
RPC Routine
wait
receive
transmit
Server Process
call
work
return
5
6
OP2 Server-stub OP3
4
7
RPC Routine
receive
transmit
3
8

RPC的实现


client
User代码
Remote(x)
stub
Stub remote(x)
{
pack arguments;
send(msg,ans);
unpack arguments;
}
RPC runtime
Send()
{
Tx(packet);
Rx(packet);
}
server
server
Procedure remote()
end;{of remote}
stub
Receive(msg);
unpack args;
remote(x);
pack args;
reply(ans);
RPC runtime
Rx(packet);
Tx(packet);

远程程序中的互斥

单个远程程序一次只能支持一个远程过程调用，当前远程过程调用完成之前会自动阻塞其他远程过程调用，程序员设计分布式程序时不需要考虑这种互斥。

通信协议

支持两种传输协议：TCP、UDP

TCP：连接、可靠、低效。保证要么把调用传递到远程过程且接受应答，要么报告通信无法进行。

UDP：无连接、不可靠、高效。使用UDP的远程过程调用也许会丢失或重复。

RPC编程

1、构建解决问题的常规应用程序；

2、选择一组过程形成远程程序，以便将远程程序转移到远程机器中，通过这种方法将程序分解；

3、为远程程序编写RPC界面(xxx.idl)，包括远程的名字及其编号，还有对其参数的申明。选择远程程序号和版本号；

4、运行rpcgen检查该界面，如果合法，便生成四个源代码文件：xxx.h（类型说明文件）、xxx_XDR.c（XDR转换例程）、xxx_clnt.c（客户端的stub过程）以及xxx_svr.c（服务守护过程，服务端的stub过程），这些文件将在客户和服务器程序中使用；

RPC编程

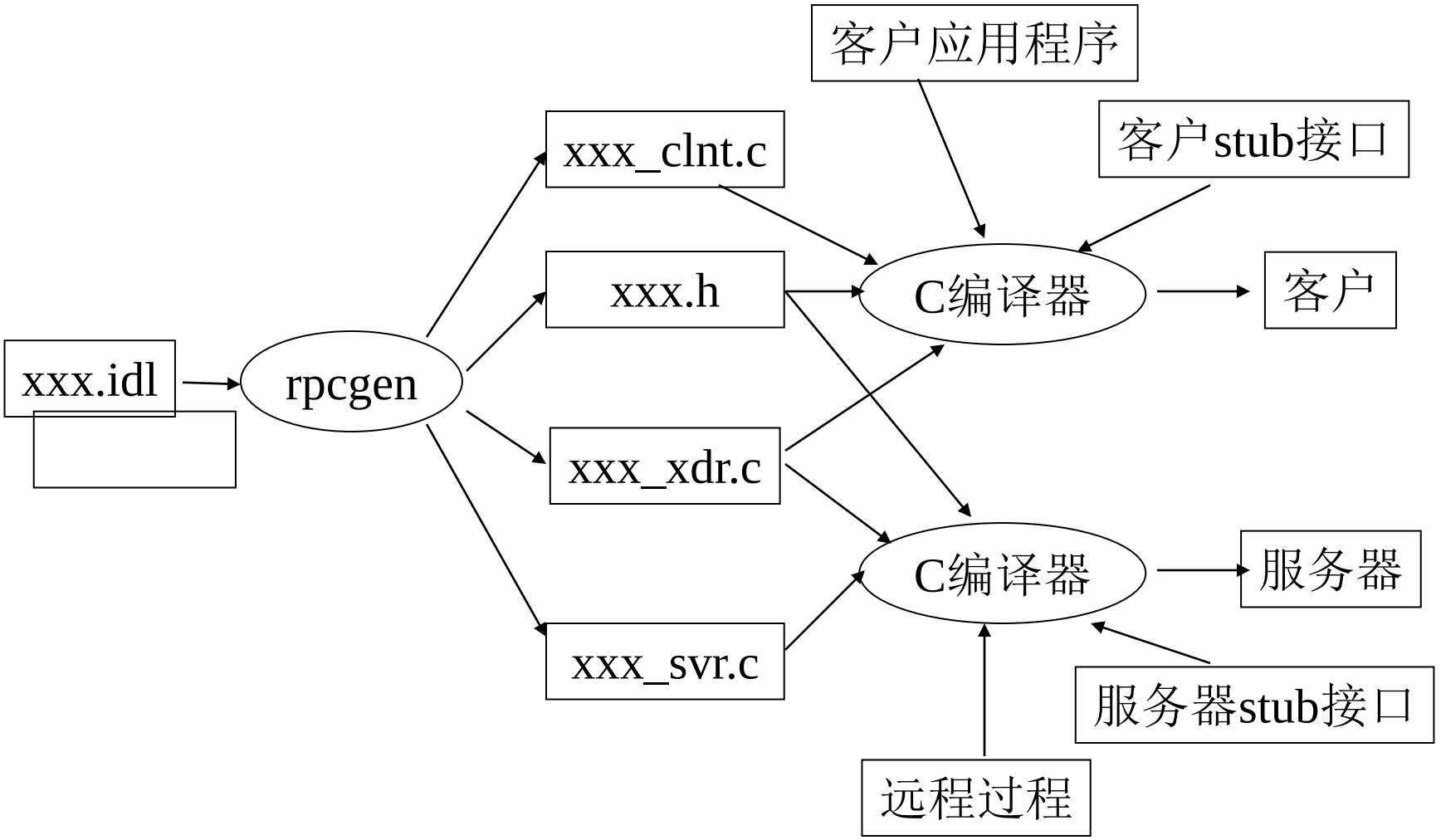
5、为客户端和服务器端编写stub接口例程；

6、编译并链接客户程序。它由四个主要文件组成：去掉了远程过程的程序、客户端的stub（rpc生成）、客户端的接口stub以及XDR过程（ rpc生成）。

7、编译并链接服务器程序。它由四个主要文件组成：远程过程组成的程序、服务器的stub（rpc生成）、服务器端的接口stub以及XDR过程（ rpc生成）。

8、在远程机器上启动服务器，接着在本机上启动客户。

RPC编程


客户应用程序
客户stub接口
xxx_clnt.c
xxx.h
C编译器
客户
xxx.idl
rpcgen
xxx_xdr.c
C编译器
服务器
xxx_svr.c
服务器stub接口
远程过程

RPC的优势

位置透明性：被调用的函数在本地或者远程都能实现，调用者不必在意目标函数的位置在哪里

RPC使开发人员可以集中精力在运用程序的功能上，再也不用再通信和网络协议上劳神了

位置透明性，使得开发人员能够把三层系统思想扩展到多层

RPC还内置了对安全性的支持，支持多线程概念和网络协议的独立性

Java远程方法调用

JAVA语言

1991年，Sun公司的James Gosling。Bill Joe等人，为电视、控制考面包机等家用电器的交互操作开发了一个Oak（一种橡树的名字）软件，他是Java的前身。当时，Oak并没有引起人们的注意，直到1994年，随着互联网和3W的飞速发展，他们用Java编制了HotJava浏览器，得到了Sun公司首席执行官的支持，得以研发和发展。为了促销和法律的原因，1995年Oak更名为Java。

很快Java被工业界认可，许多大公司如IBM，Microsoft，DEC等购买了Java的使用权，并被美国杂志PC Magazine评为1995年十大优秀科技产品。从此，开始了Java应用的新篇章。

JAVA语言

Java平台由Java虚拟机（Java Virtual Machine）和Java应用编程接口（Application Programming Interface、简称API）构成。Java 应用编程接口为Java应用提供了一个独立于操作系统的标准接口，可分为基本部分和扩展部分。在硬件或操作系统平台上安装一个Java平台之后，Java应用程序就可运行。现在Java平台已经嵌入了几乎所有的操作系统。这样Java程序可以只编译一次，就可以在各种系统中运行。

Java分为三个体系JavaSE(Standard Edition，JavaEE(Enterprise Edition)，JavaME(Micro Edition)。

2009年04月20日，oracle（甲骨文)宣布收购sun。

JAVA的影响

Java的诞生时对传统计算机模式的挑战，对计算机软件开发和软件产业都产生了深远的影响：

（1）软件4A目标要求软件能达到任何人在任何地方在任何时间对任何电子设备都能应用。这样能满足软件平台上互相操作，具有可伸缩性和重要性并可即插即用等分布式计算模式的需求。

（2）基于构建开发方法的崛起，引出了CORBA国际标准软件体系结构和多层应用体系框架。在此基础上形成了Java EE平台和.NET平台两大派系，推动了整个IT业的发展。

（3）对软件产业和工业企业都产生了深远的影响，软件从以开发为中心转到了以服务为中心。中间提供商，构件提供商，服务器软件以及咨询服务商出现。企业必须重塑自我，B2B的电子商务将带动整个新经济市场，使企业获得新的价值，新的增长，新的商机，新的管理。

（4）对软件开发带来了新的革命，重视使用第三方构件集成，利用平台的基础设施服务，实现开发各个阶段的重要技术，重视开发团队的组织和文化理念，协作，创作，责任，诚信是人才的基本素质。

Java远程方法调用

Java远程方法调用，即Java RMI（Java Remote Method Invocation）是Java编程语言里，一种用于实现远程过程调用的应用程序编程接口

RMI概述

Java 1.1 中即引入了这种技术，在java2版本后得到显著的增强和扩充

大大增强了Java开发分布式应用的能力。Java作为一种风靡一时的网络开发语言，其巨大的威力就体现在它强大的开发分布式网络应用的能力上，而RMI就是开发百分之百纯Java的网络分布式应用系统的核心解决方案之一。

其实它可以被看作是RPC的Java版本。但是传统RPC并不能很好地应用于分布式对象系统，而Java RMI则支持存储于不同地址空间的程序级对象之间彼此进行通信，实现远程对象之间的无缝远程调用。

Java 远程方法调用

RMI使客户机上运行的程序可以调用远程服务器上的对象。远程方法调用特性使Java编程人员能够在网络环境中分布操作。

RMI全部的宗旨就是尽可能简化远程接口对象的使用；使分布在不同虚拟机中的对象的外表和行为都像本地对象一样

RMI的目标

RMI规范中列出了RMI系统的目标：

支持对存在于不同java虚拟机上对象的无缝的远程调用

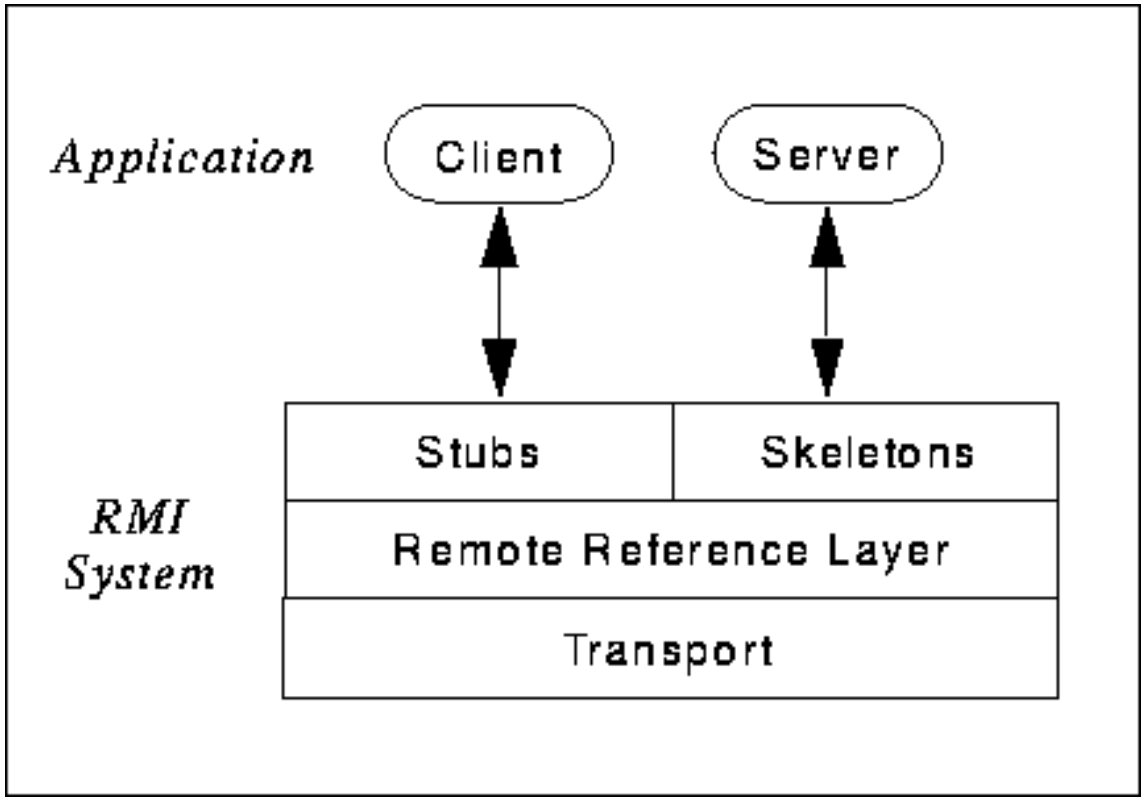
支持服务器对客户的回调

把分布式对象模型自然的集成到java语言里

使编写可靠的分布式运用程序尽可能简单

保留java运行时环境提供的安全性

RMI 体系结构



为了实现位置透明性，RMI 引入了两种特殊类型的对象：*存根（stub）*和*框架（skeleton）*

Java RMI

调用远程对象的虚拟机有时称为客户机；包含远程对象的虚拟机称为服务器

```
MyRemoteObject o=...;
o.myMethod();
```

Java RMI极大地依赖于接口。在需要创建一个远程对象的时候，程序员通过传递一个接口来隐藏底层的实现细节。

客户端得到的远程对象句柄正好与本地的存根代码连接，由后者负责透过网络通信。

程序员只需关心如何通过自己的接口句柄发送消息。

存根 stub

*存根*是代表远程对象的客户机端对象

存根具有和远程对象相同的接口或方法列表，但当客户机调用存根方法时，存根通过 RMI 基础结构将请求转发到远程对象，实际上由远程对象执行请求。

框架 skeleton

在服务器端，*框架*对象处理“远方”的所有细节。

程序员完全可以象编码本地对象一样来编码远程对象。框架将远程对象从 RMI 基础结构分离开来。在远程方法请求期间，RMI 基础结构自动调用框架对象，因此它可以发挥自己的作用。

关于这种设置的最大的好处是：程序员不必亲自为存根和框架编写代码。JDK 包含工具 rmic，它会为您创建存根和框架的类文件。

存根/框架的关键技术

对象串行化技术(object serialization)，该技术将对象的类型和值信息转化为平坦的字节流形式，并利用这种串行化表示和重建与原对像相同的同类型对象，从而实现对象状态的持久性或网络传输。存根/框架利用这一技术对远程过程调用的参数和返回值进行打包与解包

动态类装载(dynamic class loading)，用于在程序动态运行时装载客户程序所需的存根，并支持java语言内建的类型检查与类型转换机制。

RMI的位置透明性

获取远程对象的引用和获取本地对象的引用有点不同，但一旦获得了引用，就可以象调用本地对象一样调用远程对象

RMI 基础结构将自动截取请求，找到远程对象，并远程地分派请求。

这种位置透明性甚至包括垃圾收集

客户机不必特地释放远程对象，RMI 基础结构和远程虚拟机为您处理垃圾收集。

RMI程序

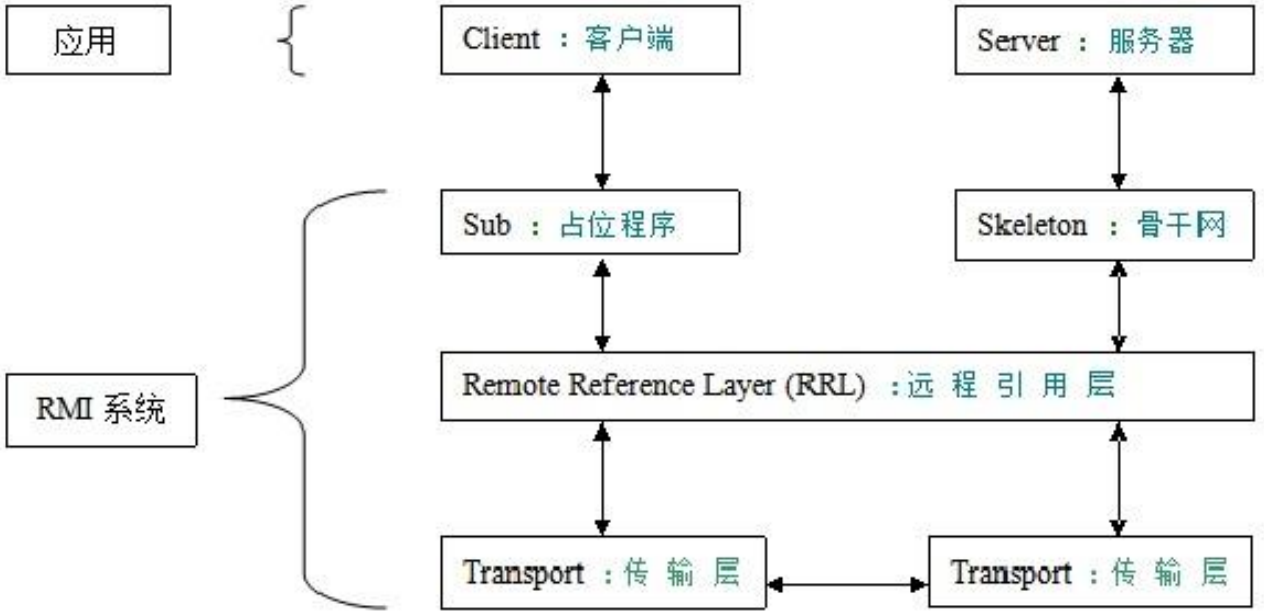
一个基于RMI的多层结构分布式应用程序通常包括以下几个部分：

远程对象接口：规定了客户程序与服务程序进行交互的界面，是客户方与服务方双方必须共同遵守的合约

远程对象实现：为远程对象接口规定每一个方法提供的具体实现

服务程序：远程对象实现并不是服务程序本身，它需要由服务器创建并注册，服务程序中这些真正提供服务的对象实例又称为伺服对象(servant)

客户程序：与终端用户进行交互，并利用远程对象提供的服务完成某一功能



1、 生成一个远程接口
2、 实现远程对象(服务器端程序)
3、 生成占位程序和骨架程序(服务器端程序)
4、 编写服务器程序
5、 编写客户程序
6、 注册并启动远程对象

Hello World

一个例子：Hello World

RMI的开发步骤概述

1，定义用于远程对象的接口 Hello.java

这个接口定义了客户机能够远程地调用的方法。远程接口和本地接口的主要差异在于，远程方法必须能抛出 RemoteException。

2，编写一个实现该接口的类 HelloImpl.java

3，编写在服务器上运行的主程序 Server.java

这个程序必须实例化一个或多个服务器对象

4，将远程对象注册到 RMI 名称注册表，以便客户机能够找到对象

5，编写客户端程序 Client.java

远程接口定义

```
import java.rmi.*;
public interface Hello extends java.rmi.Remote {
    String sayHello(String name) throws java.rmi.RemoteException;
}
```

这些方法必须能抛出 RemoteException，如果客户机和服务器之间的通信出错，则客户机将捕获此异常。

注：该接口本身继承了 java.rmi 包中定义的 Remote 接口。Remote 接口本身没有定义方法，但通过继承它，我们说明该接口可以被远程地调用。

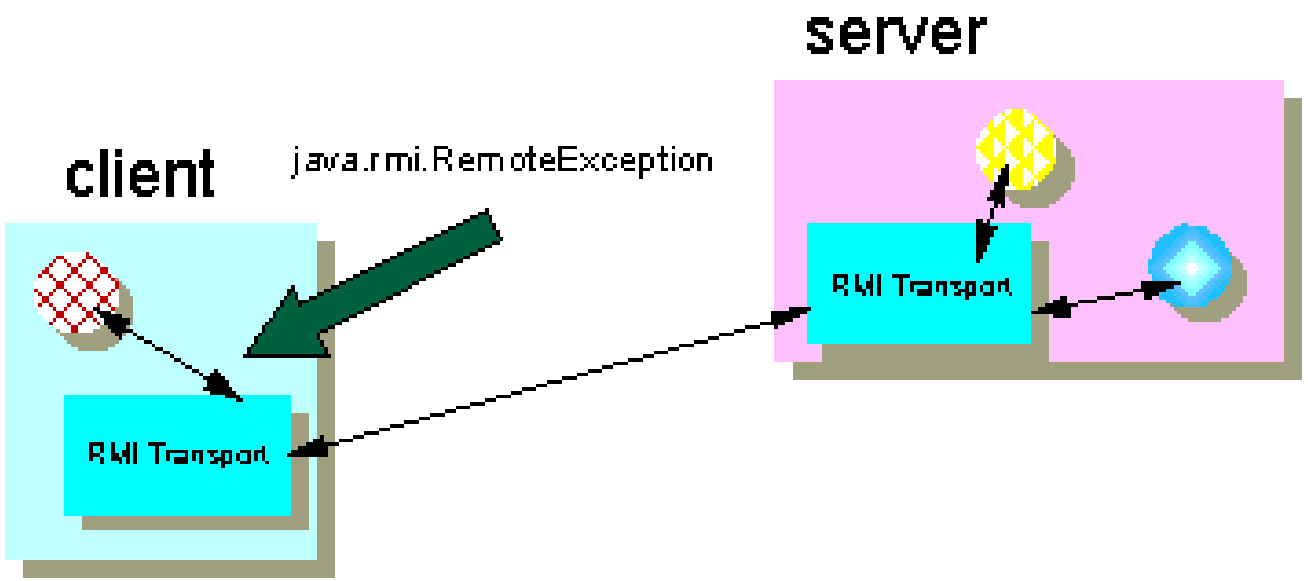
远程异常

RMI 使用 TCP/IP 套接字来传达远程方法请求。尽管套接字是相当可靠的传输，但还是有许多事情可能出错。

服务器计算机在方法请求期间崩溃了；客户机和服务器通过因特网连接时，客户机掉线了

使用远程对象时比使用本地对象时有更多可能出错的机会。因此客户机程序能够完美地从错误中恢复就很重要了。

Remote Exceptions



每个将要被远程调用的方法都必须抛出 RemoteException

实现远程接口

```
import java.rmi.*;
import java.rmi.server.*;

public class HelloImpl implements Hello {
    public HelloImpl() {}
    public String sayHello(String name) {
        return "Hello, "+ name +" !";
    }
}
```

实现Hello接口的类HelloImpl

编写 RMI 服务器概述

除了实现接口之外，还需要编写服务器的主程序。

要么只在实现类中编码一个 main 方法；要么为主程序编码一个单独的 Java 类。

```
import java.rmi.*;
import java.rmi.registry.*;
import java.rmi.server.*;

public class Server{
    public Server() {}
    public static void main(String args[]) {
        System.setSecurityManager(new RMISecurityManager());
        final HelloImpl obj = new HelloImpl();

            Hello stub = (Hello)UnicastRemoteObject.exportObject(obj, 0);
            // Bind the remote object's stub in the registry
            Registry registry = LocateRegistry.createRegistry(3333);
            registry.rebind("Hello", stub);
            for(int i = 0; i < registry.list().length; i++)
                System.out.println(registry.list()[i]);
            System.err.println("Server ready....");
            System.err.println("Listinging on port 3333 ....");
        } catch (Exception e) {
            e.printStackTrace();
        }
}
}
```

设置安全性管理器

```
public class Server{
    public Server() {}
    public static void main(String args[]) {
        System.setSecurityManager(new RMISecurityManager());
……
```

第一步是安装 RMI 安全性管理器。尽管这不是严格必须的，但它确实允许服务器虚拟机下载类文件。

例如，假设客户机调用服务器中的方法，该方法接受对应用程序定义的对象类型（例如 BankAccount ）的引用。通过设置安全性管理器，我们允许 RMI 运行时动态地将 BankAccount 类文件复制到服务器，从而简化了服务器上的配置。

命名远程对象

```
public class Server{
    public Server() {}
    public static void main(String args[]) {
        System.setSecurityManager(new RMISecurityManager());
        final HelloImpl obj = new HelloImpl();

            Hello stub = (Hello)UnicastRemoteObject.exportObject(obj, 0);
            // Bind the remote object's stub in the registry
            Registry registry = LocateRegistry.createRegistry(3333);
            registry.rebind("Hello", stub);
```

服务器的下一步工作是创建服务器对象的初始实例，然后将对象的名称写到 RMI 命名注册表。

命名远程对象

RMI 命名注册表允许您将 URL 名称分配给对象以便客户机查找它们。要注册名称，需调用静态 rebind 方法，它是在 Naming类上定义的。这个方法接受对象的 URL 名称以及对象引用。

名称字符串是很有趣的部分。它包含 rmi:// 前缀、运行 RMI 对象的服务器的计算机主机名和对象本身的名称。

注：可以调用由 java.net.InetAddress 类定义的 getLocalHost 方法，而不必象我们在这里所做的一样硬编码主机名。

实验课的服务器端

```
public class ServerProgram{
      public static void main(String[] args) {
   try {
      StudentService studentService=new StudentServiceImpl();
                        //注册服务的端口
      LocateRegistry.createRegistry(6600);
                        //绑定本地地址和服务的路径
      Naming.rebind("rmi://127.0.0.1:6600/SearchService",
                  studentService);
                        System.out.println("开始服务!");
      } catch (Exception e) {
                        e.printStackTrace();
                }
      }
}
```

客户机开发

首先，确定是想编写客户机独立应用程序还是客户机 applet。应用程序的设置简单些，但 applet 更容易部署，因为 Java RMI 基础结构能够将它们下载到客户机机器。

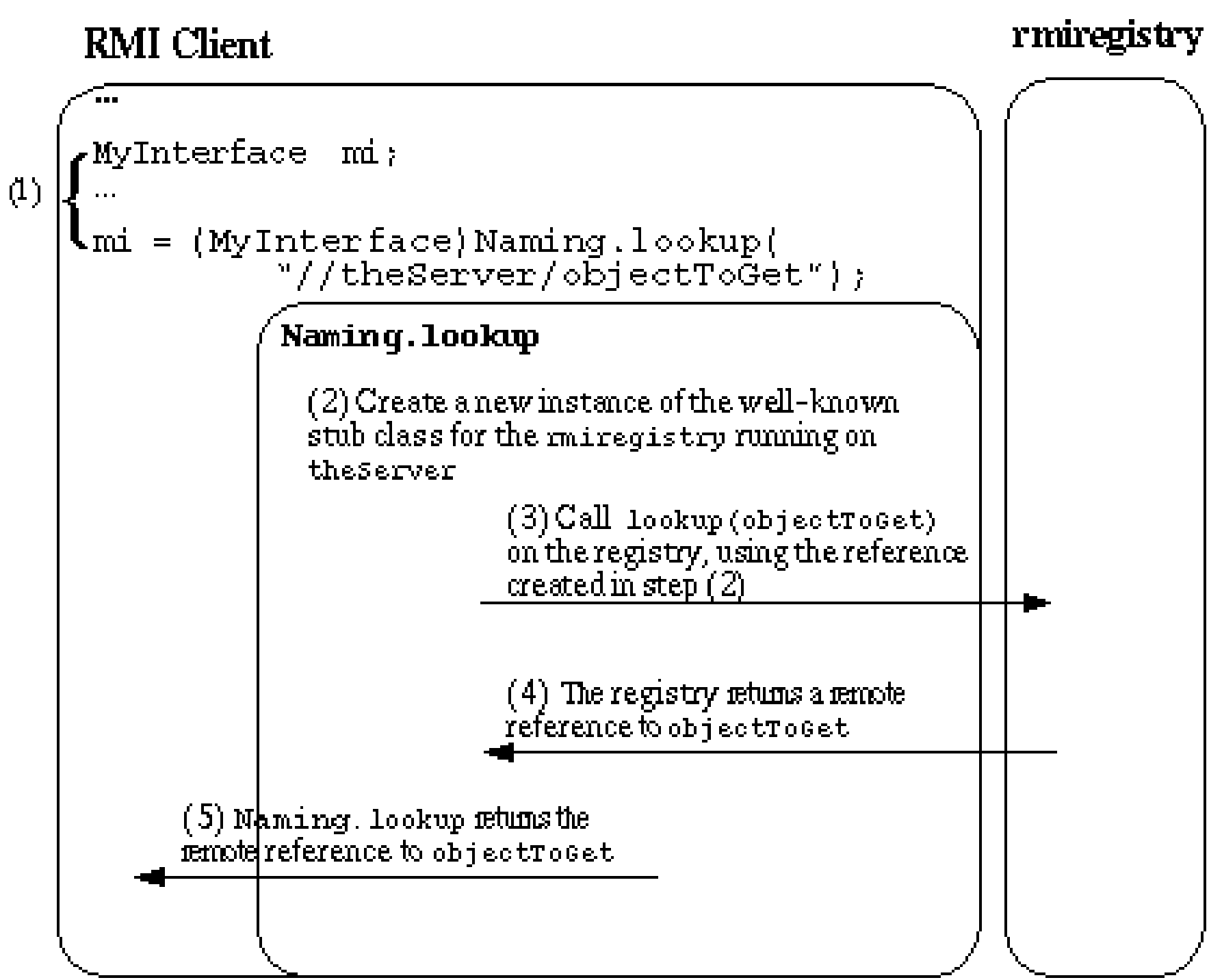
在客户机中，代码需要首先使用 RMI 注册表来查找远程对象。一旦这样做了之后，客户机就可以调用由远程接口定义的方法。

客户端代码

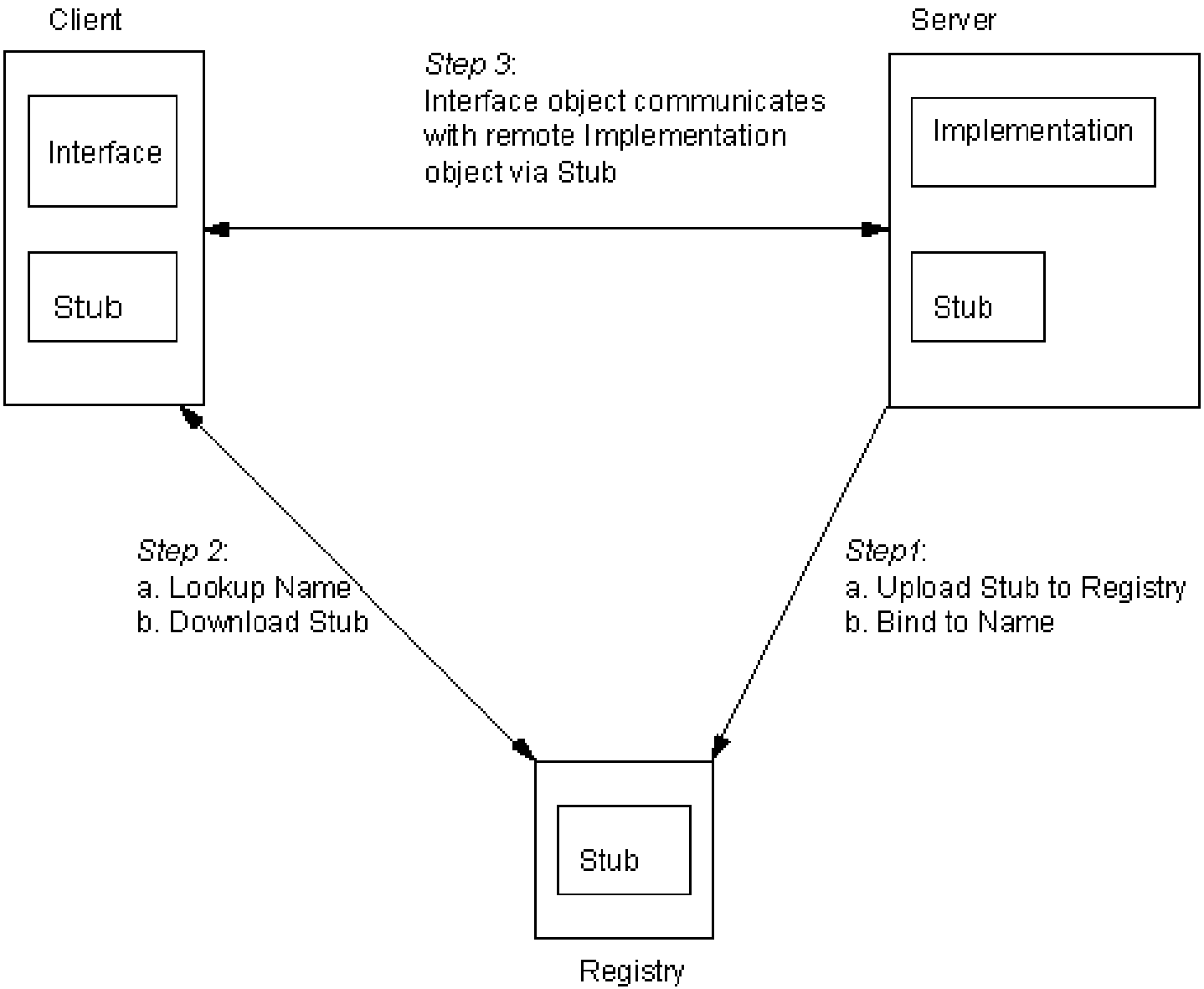
```
import java.rmi.registry.*;
import java.rmi.*;

public class Client {
    private Client() {}
    public static void main(String[] args) {
        String host = (args.length < 1) ? "localhost" : args[0];
        String name = (args.length == 2) ? args[1] : "World";
        try {
            String urlo="rmi://" + host + ":3333/Hello";
            Hello stub = (Hello)Naming.lookup(urlo);

            //Registry registry = LocateRegistry.getRegistry(host);
            //Hello stub = (Hello)registry.lookup("Hello");
            String response = stub.sayHello(name);
            System.out.println("Response: " + response);
        ……
```


RMI Client
rmiregistry
...
MyInterface mi;
...
mi = (MyInterface)Naming.lookup(
"//theServer/objectToGet");
(1)
Naming.lookup
(2) Create a new instance of the well-known stub class for the rmiregistry running on theServer
(3) Call lookup(objectToGet) on the registry, using the reference created in step (2)
(4) The registry returns a remote reference to objectToGet
(5) Naming.lookup returns the remote reference to objectToGet

RMI：注册和查找


Client
Interface
Stub
Server
Implementation
Stub
Step 3:
Interface object communicates with remote Implementation object via Stub
Step 2:
a. Lookup Name
b. Download Stub
Step1:
a. Upload Stub to Registry
b. Bind to Name
Stub
Registry

RMI：远程方法调用

```
import java.rmi.registry.*;
import java.rmi.*;

public class Client {
    private Client() {}
    public static void main(String[] args) {
        String host = (args.length < 1) ? "localhost" : args[0];
        String name = (args.length == 2) ? args[1] : "World";
        try {
            ……
            String response = stub.sayHello(name);
            System.out.println("Response: " + response);
        ……
```

部署和运行

1 编译：

> javac *.java

2 启动服务器：

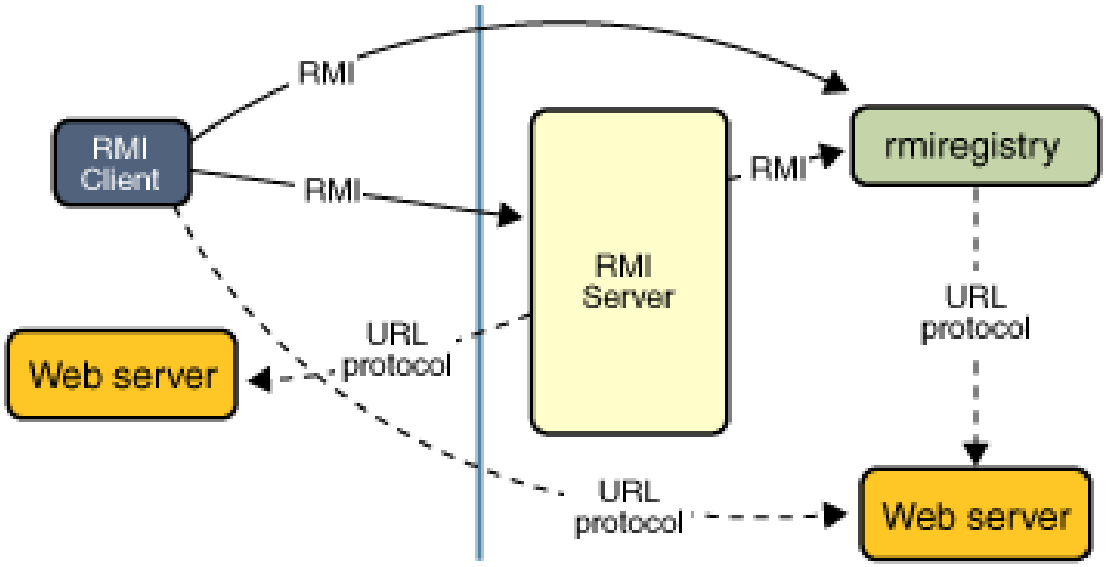
> java -Djava.security.policy=policy.txt Server

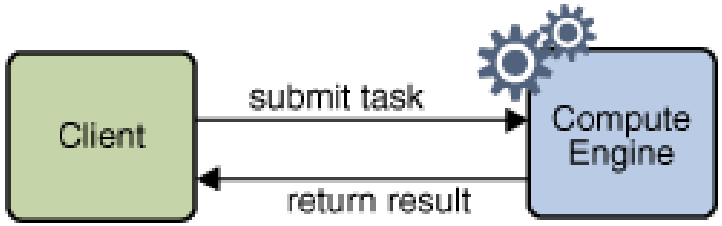
3 运行客户端：

>java Client localhost 同学们

补充1

JAVA 8的RMI编程例子案例讲解





Advantages of Dynamic Code Loading

One of the central and unique features of RMI is its ability to download the definition of an object's class if the class is not defined in the receiver's Java virtual machine.

Advantages of Dynamic Code Loading

All of the types and behavior of an object, previously available only in a single Java virtual machine, can be transmitted to another, possibly remote, Java virtual machine.

RMI passes objects by their actual classes, so the behavior of the objects is not changed when they are sent to another Java virtual machine.

Advantages of Dynamic Code Loading

This capability enables new types and behaviors to be introduced into a remote Java virtual machine,
thus dynamically extending the behavior of an application.
The compute engine example in this trail uses this capability to introduce new behavior to a distributed program.

补充2

Java从应用层提供了安全管理机制——安全管理器，每个Java应用都可以拥有自己的安全管理器，它会在运行阶段检查需要保护的资源的访问权限及其它规定的操作权限，保护系统免受恶意操作攻击，以达到系统的安全策略。

请课后查看文档：

安全管理器和安全策略文件说明.docx

RMI：补充

RMI目前使用Java远程消息交换协议JRMP（Java Remote Messaging Protocol）进行通信。JRMP是专为Java的远程对象制定的协议。因此，Java RMI具有Java的“Write Once，Run Anywhere”的优点，是分布式应用系统的百分之百纯Java解决方案。用Java RMI开发的应用系统可以部署在任何支持JRE（Java Run Environment Java，运行环境）的平台上。

但由于JRMP是专为Java对象制定的，因此，RMI对于用非Java语言开发的应用系统的支持不足。不能与用非Java语言书写的对象进行通信。

小结

从最基本的角度看，RMI是Java的远程过程调用(RPC)机制

通常包括以下几个部分：

远程对象接口、

远程对象实现、

服务程序、

客户程序

RMI与CORBA的关系

RMI 和 CORBA 常被视为相互竞争的技术，因为两者都提供对远程分布式对象的透明访问。但这两种技术实际上是相互补充的，一者的长处正好可以弥补另一者的短处。

RMI 和 CORBA 的结合产生了 RMI-IIOP，RMI-IIOP 是企业服务器端 Java 开发的基础。

小结：RMI的优点

面向对象：RMI可将完整的对象作为参数和返回值进行传递，而不仅仅是预定义的数据类型。

可移动属性：RMI可将属性(类实现程序)从客户机移动到服务器，或者从服务器移到客户机。

设计方式：对象传递功能使您可以在分布式计算中充分利用面向对象技术的强大功能

安全：RMI使用Java内置的安全机制保证下载执行程序时用户系统的安全

便于编写和使用：RMI使得Java远程服务程序和访问这些服务程序的Java客户程序的编写工作变得轻松、简单。

小结：RMI的优点

可连接现有/原有的系统：RMI可通过Java的本机方法接口JNI与现有系统进行进行交互。

编写一次，到处运行：RMI是Java"编写一次，到处运行"方法的一部分。

分布式垃圾收集：RMI采用其分布式垃圾收集功能收集不再被网络中任何客户程序所引用的远程服务对象。

并行计算：RMI采用多线程处理方法，可使您的服务器利用这些Java线程更好地并行处理客户端的请求。

纯Java的网络分布式应用系统的核心解决方案之一

谢谢