INF 560
Calcul Parallèle et Distribué
Cours 5

Eric Goubault

CEA, LIST & Ecole Polytechnique

10 février 2014

Remote Method Invocation

- Permet d'invoquer des méthodes d'un objet distant, c'est à dire appartenant à une autre JVM, sur une autre machine
- Architecture de type client/serveur; similaire aux "Remote Procedure Calls" POSIX
- Se rapproche de plus en plus de CORBA (langage indépendant etc., voir cours suivant)

Références: JAVA, Network Programming and Distributed Computing, D. Reilly et M. Reilly, Addison-Wesley.

Architecture

- Classe qui implémente la méthode distante (serveur):
  - dont les méthodes renvoient ou recoivent des objets `Serializable` (sémantique par copie)
  - ou des objets appartenant à des classes `Remote` (sémantique par référence)
  - méthodes doivent pouvoir lancer l'exception `RemoteException`
- Client qui utilise les méthodes distantes
- Registre d'objets distants qui associe aux noms d'objets l'adresse des machines qui les contiennent

Les classes implémentant `Serializable`

- Objets instances peuvent être transcrits en "stream", c'est-à-dire en flots d'octets.
- ```
  writeObject(ObjectOutputStream aOutputStream)
  readObject(ObjectInputStream aInputStream)
  ```
  responsables respectivement de décrire un objet sous forme de flot d'octets et de reconstituer l'état d'un objet à partir d'un flot d'octets.
- La plupart des classes (et de leurs sous-classes) de base `String`, `HashTable`, `Vector`, `HashSet`, `ArrayList`...sont `Serializable`.


  ```

Serializable

- dans le cas où on passe une classe `Serializable`, il faut que la définition de cette classe soit connue ($\Rightarrow$ copiée sur les différentes machines) des clients et du serveur
- il peut y avoir à gérer la politique de sécurité (sauf pour les objets "simples", comme `String` etc.).

Les classes Remote

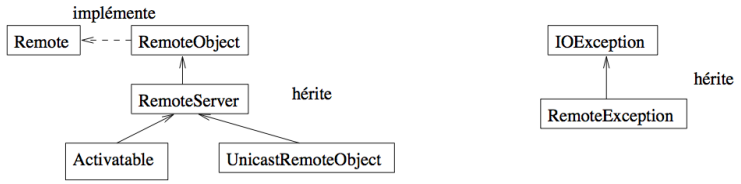
- leurs instances sont des objets ordinaires dans l'espace d'adressage de leur JVM
- des "pointeurs" sur ces objets peuvent être envoyés aux autres espaces d'adressage

Pour en savoir plus: packages RMI

- `java.rmi` définit l'interface `RemoteInterface`, et les exceptions,
- `java.rmi.activation` (depuis JAVA2): permet l'activation à distance des objets,
- `java.rmi.dgc`: s'occupe du ramassage de miettes dans un environnement distribué,
- `java.rmi.registry` fournit l'interface permettant de représenter un `rmiregistry`, d'en créer un, ou d'en trouver un,
- `java.rmi.server` fournit les classes et interfaces pour les serveurs RMI.

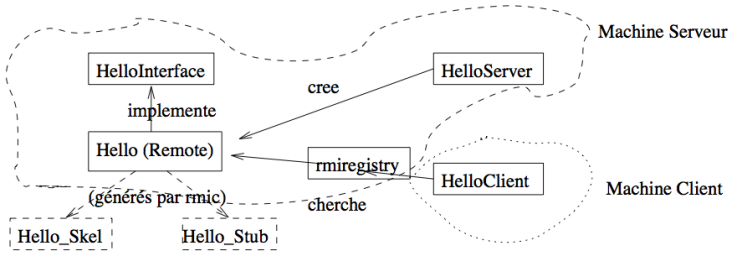
`http://docs.oracle.com/javase/6/docs/technotes/guides/rmi/index.html`

Les différentes classes et interfaces



Exemple - on retourne un `Serializable`

"Hello World" distribué: on va construire les classes:



Stubs (coté client)

Un stub est une sorte de proxy pour le client (cache la sérialization et les communications bas niveau sur le réseau):

- c'est lui qui initie la connection avec la JVM distante contenant l'objet distant
- envoie les arguments à l'objet distant ("marshals")
- attend les résultats
- récupère les résultats ("unmarshals")

Squelettes (coté serveur)

Un squelette est responsable (sur la demande du stub correspondant) d'appeler la méthode sur le serveur:

- lit les paramètres ("unmarshals")
- appelle la méthode de l'objet serveur correspondant
- écrit les paramètres sur le réseau ("marshals")

Interface de l'objet distant

```
import java.rmi.*;

public interface HelloInterface extends Remote {
    public String say() throws RemoteException;
}
```

Hello World: implémentation de l'objet distant

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

public class Hello extends UnicastRemoteObject
  implements HelloInterface {
  private String message;

  public Hello(String msg) throws RemoteException {
    message = msg; }

  public String say() throws RemoteException {
    return message;
  }
}
```

Compilation

```
javac HelloInterface.java
javac Hello.java
```

(crée `HelloInterface.class` et `Hello.class`)

Client

```
import java.rmi.*;
public class HelloClient {
  public static void main(String[] argv) {
    try {
      HelloInterface hello =
      (HelloInterface) Naming.lookup
              ("//cher.polytechnique.fr/Service");
      System.out.println(hello.say());
    } catch(Exception e) {
        System.out.println("HelloClient exception: "+e);
    }
  }
}
```

(le serveur est supposé toujours être sur `cher`, voir plus loin pour d'autres méthodes)

Serveur

```
import java.rmi.*;

public class HelloServer {
  public static void main(String[] argv) {
    try {
      Naming.rebind("Service",new Hello("Hello, world!"));
      System.out.println("Hello Server is ready.");
    } catch(Exception e) {
        System.out.println("Hello Server failed: "+e);
    }
  }
}
```

Compilation et démarrage du serveur

```
javac HelloClient.java
javac HelloServer.java
```

Démarrer le serveur de noms:

```
rmiregistry &
```

(attendre un minimum)

Compilation et démarrage du serveur

Démarrer le serveur (Hello):

```
java HelloServer &
```

(attendre un peu)

Démarrage des clients et exécution

(ici en local)

```
> Hello Server is ready.
> java HelloClient
Hello, world!
```

Installation locale aux salles de TD

- `rmiregistry` doit être démarré avec un numéro de port distinct pour plusieurs utilisateurs sur une même machine (numéros à partir de 1099), voir répartition sur fiche TD. Exemple sur machine serveur:

  ```
  rmiregistry 1100 &
  ```

- Dans ce cas, le serveur devra s'enregistrer par

  ```
  Naming.rebind("rmi://localhost:1100/Service");
  ```

  Et le client devra chercher sur le même port:

  ```
  Naming.lookup("rmi://cher.polytechnique.fr:1100/Service");
  ```

Execution en salle TD

(récupérer les programmes java sur la page web)
Exemple: serveur sur cher,

```
[goubaul1@cher HelloNormal]$ java HelloServer
Hello Server is ready.
```

Client sur loire,

```
[goubaul1@loire HelloNormal]$ java HelloClient
Hello, world!
```

Autre méthode pour le serveur

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

public class HelloServer {
    public static void main(String[] argv) {
try {
        LocateRegistry.createRegistry(1100);
  Registry r = LocateRegistry.getRegistry("oncidium",1100);
  Naming.rebind("//oncidium:1100/Service",new Hello("Hi!"));
  String[] name = r.list();

  for (int i=0; i<name.length;i++)
  System.out.println(name[i]);

  System.out.println("Hello Server is ready.");
} catch(Exception e) {
  System.out.println("Hello Server failed: "+e); }
   }
}
```

Explications

- `LocateRegistry.createRegistry(port number)` crée le démon `rmiregistry` écoutant sur le port `port number`
- `LocateRegistry.getRegistry(server name, port number)` essaie de trouver un démon `rmiregistry` sur la machine `server name` et sur le port `port number`
- Cela donne un objet manipulable... par exemple, on parcourt la liste des services connus du `rmiregistry` par la boucle sur `r.list()`

Ou encore... (accès au `rmiregistry`)

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

public class HelloServer {
    public static void main(String[] argv) {
      try {
        LocateRegistry.createRegistry(1100);
Registry r = LocateRegistry.getRegistry("localhost",1100);
Hello obj = new Hello("Hello, world!");
r.bind("Service", obj);
System.out.println("Hello Server is ready.");
      } catch(Exception e) {
System.out.println("Hello Server failed: "+e); }
    }
}
```

Ou encore... (accès direct au stub crée dynamiquement)

```
(...)

public class HelloServer {
    public static void main(String[] argv) {
try {
          LocateRegistry.createRegistry(1100);
  Registry r = LocateRegistry.getRegistry("localhost",1100);
  Hello obj = new Hello("Hello, world!");
          HelloInterface stub=(HelloInterface)UnicastRemoteObject.
                                exportObject(obj,1100);
                        r.bind("Service", stub);
  System.out.println("Hello Server is ready.");
} catch(Exception e) {
           System.out.println("Failed: "+e); }
    }
}
```

Avec...

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

public class Hello implements HelloInterface, Remote {
    private String message;

    public Hello(String msg) throws RemoteException {
message = msg;
    }

    public String say() throws RemoteException {
return message; } }
```

Et pour le client: (accès au rmiregistry)

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

public class HelloClient {
    public static void main(String[] argv) {
try {
  Registry registry = LocateRegistry.getRegistry("oncidium",1100);
  HelloInterface hello = (HelloInterface) registry.lookup("Service");
  System.out.println(hello.say());
} catch(Exception e) {
    System.out.println("HelloClient exception: "+e); }
    }
}
```

Callback

L'idée est la suivante (programmation "événementielle", typique d'interfaces graphique par exemple Swing):

- les "clients" vont s'enregistrer auprès d'un serveur,
- le "serveur" va les "rappeler" uniquement lorsque certains événements se produisent,
- le client n'a pas ainsi à faire de "l'active polling" (c'est à dire à demander des nouvelles continuellement au serveur) pour être mis au fait des événements.

Principe du "rappel"

Comment notifier un objet (distant) de l'apparition d'un événement?

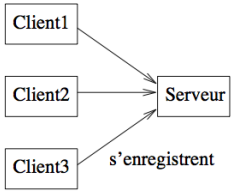
- on passe la référence de l'objet à rappeler, au serveur chargé de suivre (ou source des) les événements,
- à l'apparition de l'événement, le serveur va invoquer la méthode de notification du client.

Ainsi,

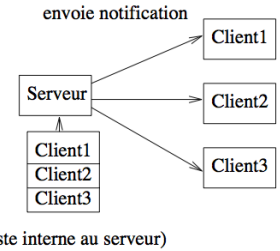
- pour chaque type d'événement, on crée une interface spécifique (pour le client qui veut en être notifié),
- les clients potentiels à notifier doivent s'enregistrer auprès d'une implémentation de cette interface.

Cela implique que "clients" et "serveurs" sont tous à leur tour "serveurs" et "clients".

C'est à dire...



puis



Exemple - interface associée à un évévenement

... ici, changement de température:

```
interface TemperatureListener extends java.rmi.Remote {
    public void temperatureChanged(double temperature)
        throws java.rmi.RemoteException;
}
```

C'est la méthode de notification de tout client intéressé par cet événement. Forcément un objet `Remote`.

Exemple - l'interface du serveur d'événements

... doit au moins pouvoir permettre l'inscription et la désinscription de clients voulant être notifié:

```
interface TemperatureSensor extends java.rmi.Remote {
    public double getTemperature() throws
        java.rmi.RemoteException;
    public void addTemperatureListener
        (TemperatureListener listener)
        throws java.rmi.RemoteException;
    public void removeTemperatureListener
        (TemperatureListener listener)
        throws java.rmi.RemoteException; }
```

Exemple - l'implémentation du serveur

- doit être une sous-classe de `UnicastRemoteObject` (pour être un serveur...).
- doit implémenter l'interface `TemperatureListener` pour pouvoir rappeler les clients en attente,
- implémente également `Runnable` ici pour pouvoir avoir un thread indépendant qui simule les changements de température.

Exemple - implémentation serveur

```
import java.util.*;
import java.rmi.*;
import java.rmi.server.*;
public class TemperatureSensorServer extends UnicastRemoteObject
                                     implements TemperatureSensor, Runnable {

    private volatile double temp;

    private Vector <TemperatureListener> list =
            new Vector <TemperatureListener> ();

    static final long serialVersionUID = 42L;
```

(le vecteur `list` contiendra la liste des clients)

Exemple - implémentation serveur

Constructeur (température initiale) et méthode de récupération de la température:

```
public TemperatureSensorServer()
  throws java.rmi.RemoteException {
    temp = 98.0; }

public double getTemperature()
  throws java.rmi.RemoteException {
    return temp; }
```

Exemple - implémentation serveur

Méthodes d'ajout et de retrait de clients:

```
public void addTemperatureListener
            (TemperatureListener listener)
  throws java.rmi.RemoteException {
  System.out.println("adding␣listener␣-"+listener);
  list.add(listener); }

public void removeTemperatureListener
            (TemperatureListener listener)
  throws java.rmi.RemoteException {
  System.out.println("removing␣listener␣-"+listener);
  list.remove(listener); }
```

Exemple - implémentation serveur

Thread responsable du changement aléatoire de la température:

```
public void run()
{ Random r = new Random();
  for (;;)
    { try {
        int duration = r.nextInt() % 10000 +2000;
        if (duration < 0) duration = duration*(-1);
        Thread.sleep(duration); }
      catch(InterruptedException ie) {}
      int num = r.nextInt();
      if (num < 0)
        temp += .5;
      else
        temp -= .5;
      notifyListeners(); } }
```

(`notifyListeners()` est la méthode suivante, chargée de broadcaster le changement d'événements à tous les clients enregistrés)

Exemple - implémentation du serveur

```
private void notifyListeners() {
  for (Enumeration e = list.elements(); e.hasMoreElements();)
  { TemperatureListener listener =
        (TemperatureListener) e.nextElement();
    try {
      listener.temperatureChanged(temp);
    } catch(RemoteException re) {
        System.out.println("removing listener -"+listener);
        list.remove(listener); } } }
```

(on fait simplement appel, pour chaque client, à la méthode de notification `temperatureChanged`)

Exemple - implémentation du serveur

Enregistrement du service auprès du `rmiregistry` (éventuellement fourni à la ligne de commande):

```
public static void main(String args[]) {
  System.out.println("Loading temperature service");
  try {
    TemperatureSensorServer sensor =
        new TemperatureSensorServer();
    String registry = "localhost";
    if (args.length >= 1)
      registry = args[0];
    String registration = "rmi://"+registry+
                          "/TemperatureSensor";
    Naming.rebind(registration,sensor);
```

Exemple

Démarrage du thread en charge de changer aléatoirement la température, et gestion des exceptions:

```
    Thread thread = new Thread(sensor);
    thread.start(); }
  catch (RemoteException re) {
    System.err.println("Remote Error - "+re); }
  catch (Exception e) {
    System.err.println("Error - "+e); } } }
```

Exemple - implémentation clients

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

public class TemperatureMonitor extends UnicastRemoteObject
    implements TemperatureListener {
    public TemperatureMonitor() throws RemoteException {}
```

(étend `UnicastRemoteObject` car serveur également! De même implémente `TemperatureListener`) Rq: constructeur vide (celui d'`Object` en fait).

Exemple - implémentation clients

Recherche du service serveur d'événements:

```
public static void main(String args[]) {
  System.out.println("Looking␣for␣temperature␣sensor");
  try {
    String registry = "localhost";
    if (args.length >= 1)
    registry = args[0];
    String registration = "rmi://"+registry+
                          "/TemperatureSensor";
    Remote remoteService = Naming.lookup(registration);
    TemperatureSensor sensor = (TemperatureSensor)
                               remoteService;
```

Exemple - implémentation clients

Création d'un moniteur et enregistrement auprès du serveur d'événements:

```
double reading = sensor.getTemperature();
System.out.println("Original␣temp␣:␣"+reading);
TemperatureMonitor monitor = new TemperatureMonitor();
sensor.addTemperatureListener(monitor);
```

Exemple - implémentation clients

Gestion des exceptions:

```
} catch(NotBoundException nbe) {
    System.out.println("No␣sensors␣available"); }
  catch (RemoteException re) {
    System.out.println("RMI␣Error␣-␣"+re); }
  catch (Exception e) {
    System.out.println("Error␣-␣"+e); } }
```

Exemple - implémentation clients

Implémentation de la méthode de rappel:

```
public void temperatureChanged(double temperature)
  throws java.rmi.RemoteException {
  System.out.println("Temperature change event : "
                     +temperature);
}
```

Exécution

```
[goubaul1@cher Ex3]$ javac *.java
```

```
[goubaul1@cher Ex3]$ rmiregistry &
[goubaul1@cher Ex3]$ java TemperatureSensorServer
Loading temperature service
```

Premier client (sur loire):

```
[goubaul1@loire Ex3]$ rmiregistry &
[goubaul1@loire Ex3]$ java TemperatureMonitor cher
Looking for temperature sensor
Original temp : 100.0
Temperature change event : 99.5
Temperature change event : 100.0
Temperature change event : 100.5
```

Exécution

```
Temperature change event : 100.0
Temperature change event : 100.5
Temperature change event : 101.0
Temperature change event : 100.5
Temperature change event : 100.0
Temperature change event : 100.5
Temperature change event : 101.0
Temperature change event : 101.5
```

Exécution

On voit alors sur la console de cher:

```
adding listener -TemperatureMonitor_Stub[RemoteStub
[ref: [endpoint:[129.104.254.64:3224](remote),
objID:[6e1408:f29e197d47:-8000, 0]]]]
```

Rajoutons un moniteur sur doubs:

```
[goubaul1@doubs Ex3]$ rmiregistry &
[goubaul1@doubs Ex3]$ java TemperatureMonitor cher
Looking for temperature sensor
Original temp : 101.5
Temperature change event : 102.0
Temperature change event : 102.5
Temperature change event : 103.0
Temperature change event : 102.5
Temperature change event : 103.0
Temperature change event : 103.5
Temperature change event : 102.5
Temperature change event : 102.0
```

Exécution

Ce qui produit sur cher:

```
adding listener -TemperatureMonitor_Stub[RemoteStub
[ref: [endpoint:[129.104.254.57:3648](remote),
objID:[6e1408:f29de7882e:-8000, 0]]]]
```

On voit bien que les températures et événements sont synchronisés avec l'autre client sur loire:

```
Temperature change event : 102.0
Temperature change event : 102.5
Temperature change event : 103.0
Temperature change event : 102.5
Temperature change event : 103.0
Temperature change event : 103.5
^C
[goubaul1@loire Ex3]$
```

Exécution

On a interrompu sur loire, du coup sur cher:

```
removing listener -TemperatureMonitor_Stub[RemoteStub
[ref: [endpoint:[129.104.254.64:3224](remote),
objID:[6e1408:f29e197d47:-8000, 0]]]]
```

On interrompt par Control-C sur doubs, du coup sur cher:

```
removing listener -TemperatureMonitor_Stub[RemoteStub
[ref: [endpoint:[129.104.254.57:3648](remote),
objID:[6e1408:f29de7882e:-8000, 0]]]]
```