Fernaufruf: Literatur, Untergliederung

3 Fernaufruf

❑ **Literatur**

Nelson, B. J.: Remote Procedure Call. Tech. Rep. CSL-81-9, Xerox Palo Alto Research Center, Palo Alto, Calif., 1981.

Kaiserswerth, M.: Der Fernaufruf als Betriebssystemdienst. Arbeitsberichte des IMMD, Band 22, Nummer 1, Januar 1989.

SUN: Network Programming Guide. 1990.

❑ **Untergliederung**

3.1 Der Begriff, Anwendungsbeispiele

3.2 Überblick über die wesentlichsten Gesichtspunkte

3.3 Ideale Eigenschaften eines transparenten Mechanismus und ihre Realisierung

3.4 Beispiel 1: SUN RPC

3.5 Beispiel 2: Java RMI

Fernaufruf: Der Begriff, Anwendungsbeispiele

3.1 Der Begriff, Anwendungsbeispiele

❑ **Fernaufruf ist der synchrone Transfer von Kontrolle und Daten zwischen Teilen eines über disjunkte Adreßräume verteilten Programms.**

❑ **Um in einer prozeduralen Programmiersprache den gleichförmigen Zugriff auf lokale und nicht-lokale Ressourcen zu ermöglichen, sollte sich der Fernaufruf auf der semantischen (und syntaktischen) Ebene genauso wie ein lokaler Prozeduraufruf verhalten.**

❑ **Koroutinen, Ausnahmen (exceptions):**

- **Sind ebenfalls Arten eines synchronen Kontroll- und Datentransfers**

❑ **Synchroner Transfer und Nebenläufigkeit:**

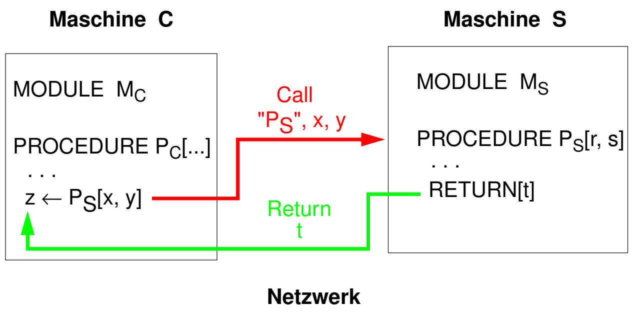
- **Unabhängige Konzepte**

Fernaufruf: Der Begriff, Anwendungsbeispiele

❑ **Anwendungsbeispiele**

- **Nelson (Fig. 2.1): Netzwerk unsichtbar für Client und Server; bei der Programmierung ohne Bedeutung; übliche Programmentwicklungsumgebung benutzbar; Test kann auf Monoprozessor erfolgen**
- **File Server: Für Client irrelevant, welche Teile remote sind**

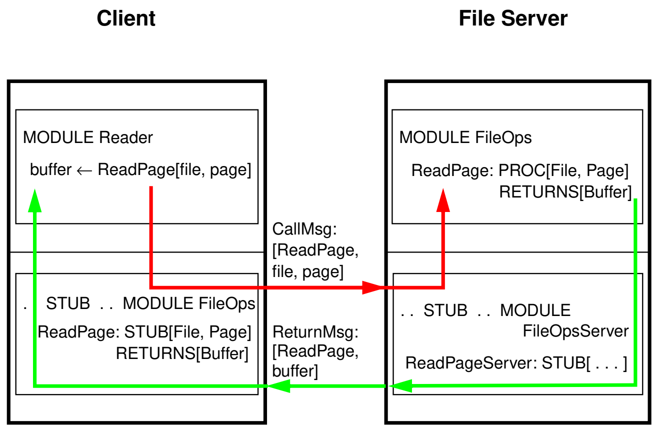
❑ **Ideale Vorstellung**



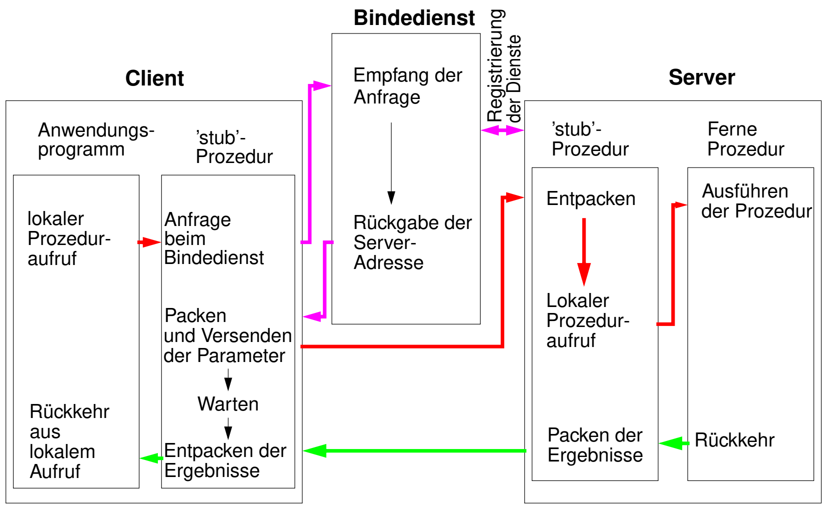
Fernaufruf: Der Begriff, Anwendungsbeispiele

❑ **Grundmechanismus**

- **Stubs; Aufrufender und Aufgerufener bedürfen keiner Änderung**



• Gesamtstruktur



❑ Modellierung des physikalischen Kommunikationssystems einschließlich seines tolerierbaren Fehlverhaltens, Spezifikation Send-Receive

◆ Modellierung des Kommunikationssystems, Zustand M

• Nachrichtenverspätung

M Menge

• Nachrichtenverlust

{}

send(m)

{M = 'M $\vee$ M = 'M $\cup$ {m}}

• Nachrichtenverdopplung, Nachrichtenverfälschung

{}

[status, m] $\leftarrow$ *receive()*

{ status = good $\wedge$ (M = 'M $\vee$ (M = 'M - [m] $\wedge$ m $\in$ 'M)))

$\vee$ status = bad $\wedge$ (M = 'M $\vee$ $\exists$ m_{bad} $\in$ 'M (M = 'M - {m_{bad}})))

}

◆ Zu berücksichtigende Ausfälle

• Einzelrechner: Prozessorausfall
Prozeßzusammenbruch

• Verteiltes System: Zusätzlich Verbindungsausfall

3.2 Überblick über die wesentlichsten Gesichtspunkte

❑ Aufrufsemantik

• Genau-einmal (exactly-once)

• Letzte-Ausführung (last-one)

❑ Nebenläufigkeit, Ausnahmebehandlung

• Ausnahmen wie üblich behandeln

• Ergänzung um netzwerkspezifische Ausnahmeursachen

❑ Gesichtspunkte der Transparenz auf Sprachebene

• Binden und Konfigurieren

gesonderte Konfigurierungsbeschreibung

Schnittstellenbeschreibung

• Typprüfung

heterogene Systeme

• Parameterfunktionalität

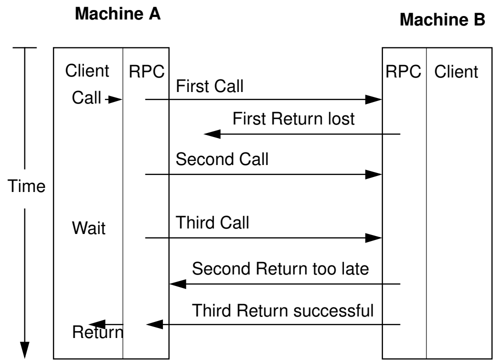
Marshaling

3.3 Ideale Eigenschaften eines transparenten Mechanismus

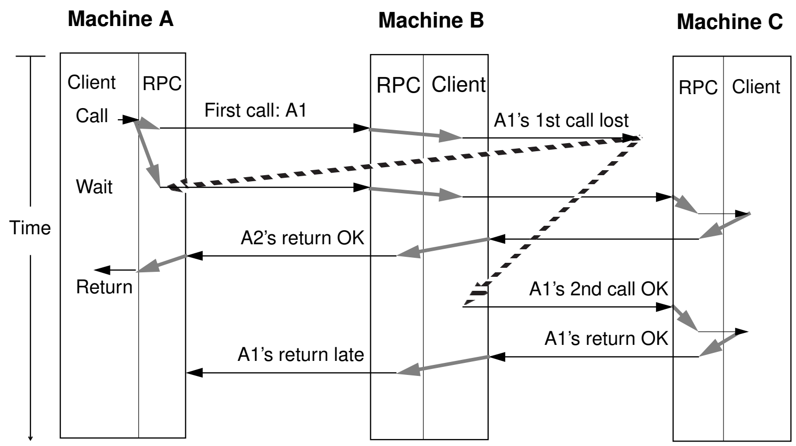
❑ **Aufrufsemantik**

- exactly-once
- at-least-once
- last-of-many

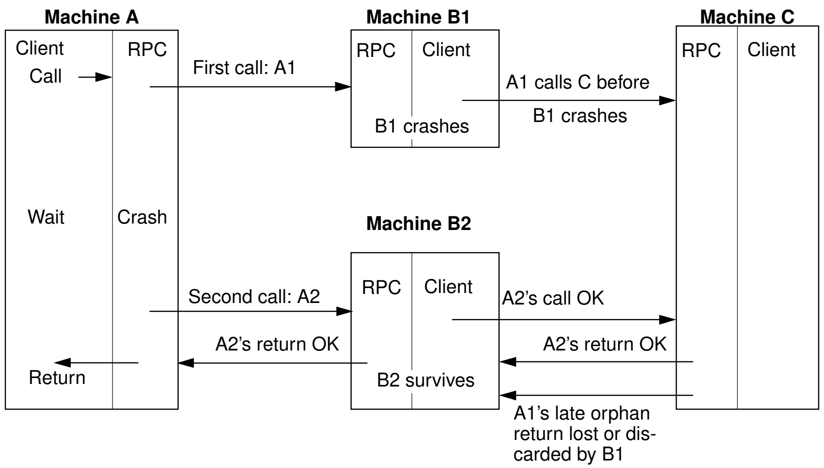
Verwendung von Sequenznummern



Diese einfache Lösung ist nicht transitiv



- **Numerierung der Aufrufe löst Problem, wenn keine Zusammenbrüche auftreten.**
- **Gegenbeispiel im anderen Fall:**



❑ **Ausführungsschema**

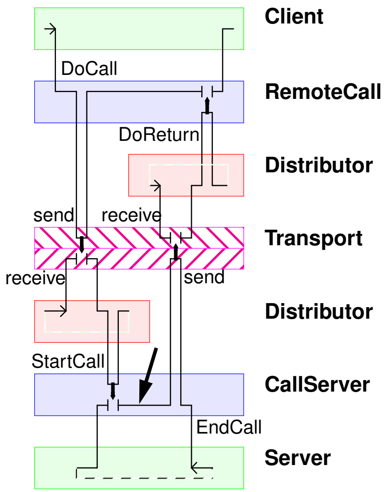
◆ **seriell**

- Einfach zu realisieren durch sogenannten 'Server'-Prozeß
- Kann in nebenläufigen Systemen Verklemmungen einführen!

◆ **nebenläufig**

- Bei jedem Fernaufruf neuer Prozeß auf der 'Server'-Seite
- Fester Vorrat an 'Server'-Prozessen zur Verringerung des dynamischen Aufwands
- Variabler Vorrat an 'Server'-Prozessen mit unterer und oberer Schwelle

- **Algorithmus von Lampson**



- **Koordinierung durch Monitore**
- **Konzept A (Hoare)**
  - **Datenstruktur mit Prozeduren (Funktionen)**
    - **Daten des Monitors können nur durch die Prozeduren (Funktionen) des Monitors manipuliert werden**
  - **Prozeduren (Funktionen) laufen unter gegenseitigem Ausschluß**
  - **zusätzlicher Datentyp condition**
    - **repräsentiert Warteschlange von blockierten Prozessen**
    - **zugehörige Operationen**

wait	zum Blockieren und Einreihen eines Prozesses in die Warteschlange
signal	zum Deblockieren und Entfernen eines Prozesses aus der Warteschlange

Problem: Geschachtelte Monitore

- **Konzept B (Java)**
  - **Jedes Objekt besitzt**
    - **einen Belegungszustand (frei, belegt)**
    - **eine Belegt-Warteschlange**
    - **eine Koordinierungswarteschlange**
  - **Frei wählbare Prozedurabschnitte (Funktionen) laufen unter gegenseitigem Ausschluß**
  - **Belegt-Warteschlange**
    - **Einreihung**
      - bei Betreten eines koordinierten Abschnitts, falls Objekt schon belegt, sonst lediglich belegen des Objektes
    - **Ausreihung**
      - bei Verlassen eines koordinierten Abschnitts; war die Belegt-Warteschlange leer wird das Objekt frei
      - durch Aufruf von wait(); war die Belegt-Warteschlange leer wird das Objekt frei

- **Koordinierungs-Warteschlange**
  - **Einreihung**
    - durch Aufruf von wait();
  - **Ausreihung**
    - eines Fadens durch die Operation notify() angewandt auf das koordinierte Objekt. War das Objekt belegt, wird der Faden in die Belegt-Warteschlange eingereiht. Ansonsten belegt er das Objekt.
    - aller Wartenden durch die Operation notifyAll() angewandt auf das koordinierte Objekt.
      War das Objekt belegt, werden diese Fäden in die Belegt-Warteschlange eingereiht.
      Ansonsten belegt einer das Objekt, die anderen werden in die Belegt-Warteschlange eingereiht
- **Lösung des Problems geschachtelter Monitore**
  - **vorzeitige Belegung**

Fernaufruf: Ideale Eigenschaften eines transparenten Mechanismus

```
class RPC {
   public static final int CALL = 1;
   public static final int RETURN = 2;
   ...
}

class ID {
   long value;
   ...
}

class Message {
   int state;                    // state is CALL or RETURN
   Processor source = null, dest = null;
   ID id, request;
   Object obj;                   // Object whose method should be called
   Method action;                // Method to be called
   Object[] val = new Object[1]; // Argument
   ...
}
```


Fernaufruf: Ideale Eigenschaften eines transparenten Mechanismus

```
class Distributor extends Process {
   HashSet connections = new HashSet();
   // The one Process which receives and distributes messages
   public void run() {
      ResultOfReceive r;
      while (true) {
         r = receive();
         if (r.state) {
            if ((r.message.state == RPC.CALL)
                 && okToAccept(r.message)) {
                  myCallServer.startCall(r.message);
         } else {
            if (r.message.state == RPC.RETURN) {
               myRemoteCall.doReturn(r.message);
            }
         }
      }
   }
```


Fernaufruf: Ideale Eigenschaften eines transparenten Mechanismus

```
 // Make calls
 class RemoteCall {
   class CallOut {
     Message m = new Message(); Condition received;
   }
   HashSet callsOut = new HashSet();
```


Fernaufruf: Ideale Eigenschaften eines transparenten Mechanismus

```
public Object[] doCall(Processor d, Object o, Method a, Object[] args) {
   CallOut c = new CallOut();
   c.m.source = myMachine(); c.m.request = myMachine().uniqueID();
   c.m.dest = d; c.m.action = a; c.m.obj = o; c.m.val = args;
   c.m.state = RPC.CALL; c.received = new Condition();
   synchronized (this) {
      callsOut.add(c);
      c.m.id = myMachine().uniqueID(); c.m.dest.send(c.m);
   }
   do {
      c.received.synchronizeTimed();
      synchronized (this) {
         if (c.m.state == RPC.RETURN) break;
         c.m.id = myMachine().uniqueID(); c.m.dest.send(c.m);
      }
   } while (true);
   synchronized (this) {
      val = c.m.val; return val;
   }
}
```

```
      synchronized public void doReturn(Message m) {
         CallOut c;
         Iterator i = callsOut.iterator();
         while (i.hasNext()) {
            c = (CallOut)i.next();
            if (c.m.id == m.id) {
               c.m = m;
               callsOut.remove(c);
               synchronized (c.received) {
                  c.received.notify();
               }
               return;
            }
         }
      }
   }
```



```
class CallIn {
   Message m = new Message();
   Condition work = new Condition();
}
```



```
// Serialize calls for each process, and assign work to worker processes
class CallServer {
   HashSet callsIn = new HashSet(), pool = new HashSet(initNumberOfWorkers);
   public void startCall(Message m) {
      CallIn w, c;
      synchronized (this) {
         Iterator i; i = callsIn.iterator();
         while (i.hasNext()) {
            c = (CallIn)i.next();
            if (c.m.request == m.request) { c.m.id = m.id; return; }
         }
         i = pool.iterator();
         // wait if the pool is empty
         while (!i.hasNext()) {
            try { wait(); } catch (InterruptedException e) { }
         }
         w = (CallIn)i.next(); pool.remove(w); callsIn.add(w); w.m = m;
      }
      w.work.signal();
   }
```



```
      public void endCall(CallIn w) {
         synchronized (this) {
            if (w.m.source != null) {
               w.m.source.send(w.m);
               callsIn.remove(w);
            }
            pool.add(w);
         }
         w.work.synchronize();
      }
   }
```

Fernaufruf: Ideale Eigenschaften eines transparenten Mechanismus

```
class Worker extends Process {
   CallServer callServer = ...;

   public void run() {
      CallIn c = new CallIn();
      c.m.source = null;
      callServer.endCall(c);
      while (true) {
         try {
            c.m.val = new Object[1];
            c.m.val[0] = c.m.action.invoke(c.m.obj, null);
         } catch (IllegalAccessException e) {}
           catch (InvocationTargetException e) {}
         c.m.state = RPC.RETURN;
         callServer.endCall(c);
      }
   }
}
```


Fernaufruf: Ideale Eigenschaften eines transparenten Mechanismus

```
class Connection {
   Processor from;
   ID lastID;
}

// The following method is part of the class Distributor

   public boolean okToAccept(Message m) {
      Connection c; Iterator i;
      i = connections.iterator();
      while (i.hasNext()) {
         c = (Connection)i.next();
         if (c.from.myName.equals(m.source.myName)) {
            if (c.lastID != null) {
               if (m.id.value <= c.lastID.value) return false;
               c.lastID = m.id; return true;
            } else return false;
         }
      }
      // No record of this processor. Establish connection.
```


Fernaufruf: Ideale Eigenschaften eines transparenten Mechanismus

```
// okToAccept continued

      // No record of this processor. Establish connection.
      if (m.action.getName().equals("uniqueID")) {
         return true;
         // Avoid an infinite loop; OK to duplicate this call.
      }
      c = new Connection();
      c.from = m.source;
      connections.add(c);
      Connector connector = new Connector(myMachine, "connector", c);
      connector.start();
      return false;
   }
}
```


Fernaufruf: Ideale Eigenschaften eines transparenten Mechanismus

```
class Connector extends Process {
   Connection connection = ...;
   Processor myMachine = ...;
   public void run() {
      Class cl = Processor.class;
      try {
         connection.lastID
            = (ID)(((myMachine.remoteCall
                     .doCall(connection.from,
                             connection.from,
                             cl.getMethod("uniqueID", null), null))[0])
      } catch (NoSuchMethodException e) {...}
   }
}
```

Fernaufruf: Ideale Eigenschaften eines transparenten Mechanismus

Übertragung / Prozessoren	keine Fehler	keine Fehler erhöhte Verzögerung	Paketverlust	Paketverlust Server-ausfall	Paketverlust Clientausfall	Paketverlust Client- und Serverausfall
Maybe (No Recovery)	OP = 1 Res = 1	OP = 1 RES ≤ 1	OP ≤ 1 RES = 0	OP ≤ 1 RES = 0	OP ≤ 1 RES = 0	OP ≤ 1 RES = 0
at least once (Regular Server)	OP = 1 Res = 1	OP ≥ 1 RES ≥ 1	OP ≥ 1 RES ≥ 1	OP ≥ 0 RES ≥ 0	OP ≥ 0 RES = 0	OP ≥ 0 RES = 0
at least once (Recov. Server)	OP = 1 Res = 1	OP ≥ 1 RES ≥ 1	OP ≥ 1 RES ≥ 1	OP ≥ 1 RES ≥ 1	OP ≥ 0 RES = 0	OP ≥ 0 RES = 0
last of many (Regular Server)	OP = 1 Res = 1	OP ≥ 1 RES ≤ 1	OP ≥ 1 Res = 1	OP ≥ 0 RES ≤ 1	OP ≥ 0 RES = 0	OP ≥ 0 RES = 0
last of many (Recov. Server)	OP = 1 Res = 1	OP ≥ 1 RES ≥ 1	OP ≥ 1 Res = 1	OP ≥ 1 Res = 1	OP ≥ 0 RES = 0	OP ≥ 0 RES = 0
last one (Recov. C & S)	OP = 1 Res = 1	OP = 1 Res = 1	OP = 1 Res = 1	OP ≥ 1 Res = 1	OP ≥ 1 Res = 1	OP ≥ 1 Res = 1
only once t1 (Regular Server)	OP = 1 Res = 1	OP = 1 Res = 1	OP = 1 Res = 1	OP ≤ 1 RES = 0	OP ≤ 1 RES = 0	OP ≤ 1 RES = 0
only once t2 (Recov. C & S)	OP = 1 Res = 1	OP = 1 Res = 1	OP = 1 Res = 1	OP = 1 Res = 1	OP = 1 Res = 1	OP = 1 Res = 1
all or nothing (Transactions)	OP = 1 Res = 1	OP = 1 Res = 1	OP = 1 Res = 1	OP = 1 Res = 1	OP = 0 RES = 0	OP = 0 RES = 0

Fernaufruf: Ideale Eigenschaften eines transparenten Mechanismus

❑ **Verwaiste Aufrufe (orphans)**

- **Fragestellung**
- **Extermination**

  gezielte Elimination

  Adoption
- **Expiration**

  Zu kurze Intervalle verursachen auch bei Fehlerfreiheit Abweichen von der exactly-once-Semantik

  Problem: Uhrensynchronisation, um Verweilzeit im Kommunikationssystem berücksichtigen zu können
- **Deadlining with postponement**
- **Reincarnation**

  weak last-one

  gentle

Fernaufruf: Ideale Eigenschaften eines transparenten Mechanismus

❑ **Weitere Punkte**

- **wrap around**

  16 Bit, jede msec eine Nachricht: 1,1 min

  32 Bit, jede msec eine Nachricht: 1200 Stunden

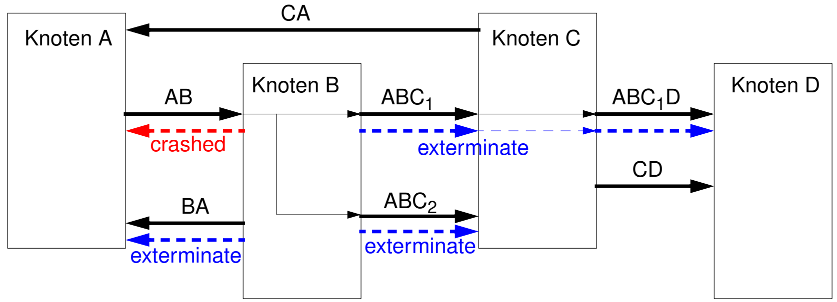
- **Stabilität der Sequenznummern bei Prozessorausfällen**

  Generation zusammen mit Sequenznummer;

  Generation nur geändert bei Recovery

Fernaufruf: Ideale Eigenschaften eines transparenten Mechanismus

Extermination



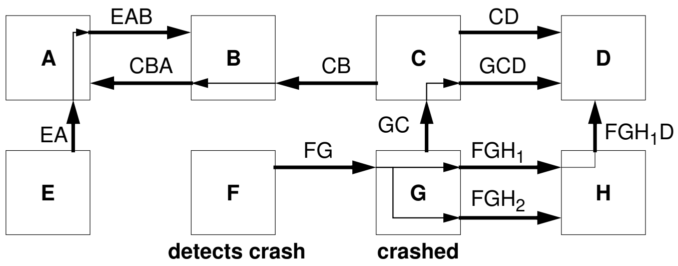
recovering

nodesIn — nodesOut

A — A, C

child crashed — exterminate children

Fernaufruf: Ideale Eigenschaften eines transparenten Mechanismus



Extermination: GC, FGH_1, FGH_2 rekursiv: GCD, FGH_1D crashed: FG

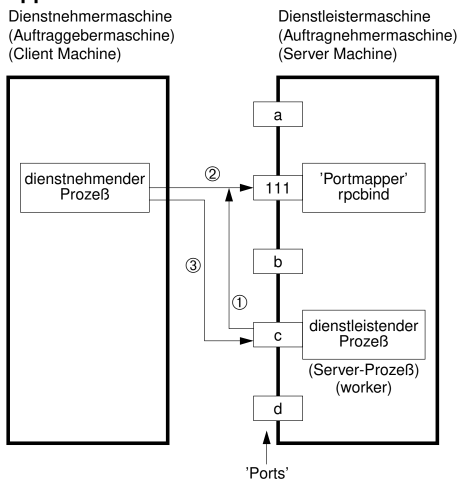
Expiration: GC, GCD, FGH_1, FGH_2, FGH_1D

Reincarnation: regular: alles
gentle: wie bei Expiration

Fernaufruf: SUN RPC

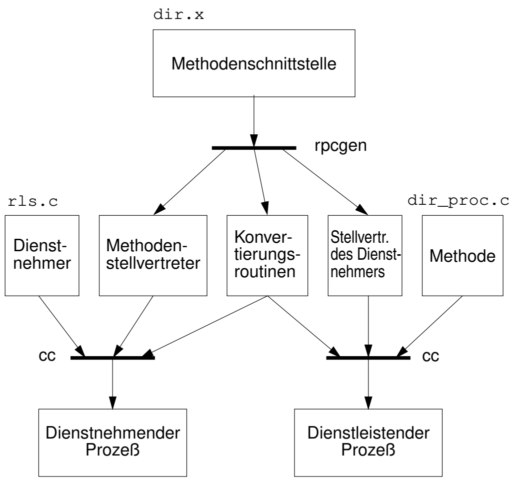
3.4 Der SUN RPC (unter Solaris)

3.4.1 Ports und Portmapper



Fernaufruf: Generierung von Client und Server

3.4.2 Generierung von Client und Server am Beispiel eines Fernaufrufs zur Ermittlung des Inhalts eines Katalogs



Fernaufruf: Generierung von Client und Server

- **Erzeugung der Marshaling-Methoden**

```
faui45a%  rpcgen dir.x
   dir.x   Beschreibung der Methodenschnittstelle und der Einbettung
           in den Server
  Erzeugt verschiedene Hilfsdateien
   dir.h        gemeinsame Typdefinitionen
   dir_svc.c    Rahmenprogramm des Auftragnehmers
   dir_xdr.c    Prozeduren zur Konvertierung (Rückkonvertierung)
                in (aus) der Datendarstellung, die bei der
                Übertragung von Parametern verwendet wird.
   dir_clnt.c   Stellvertreter der Methode.
```

- **Vorübersetzung von dir_xdr.c**

```
faui45a%  cc -c dir_xdr.c
```

Fernaufruf: Generierung von Client und Server

- Erzeugung des Auftraggebers (Client) rls.c

```
faui45a%  cc rls.c dir_clnt.c dir_xdr.o -o rls -lnsl
```

- Erzeugung des Auftragnehmers (Server) mit der Methode dir_proc.c

```
faui45a%  cc dir_svc.c dir_proc.c dir_xdr.o -o dir_svc -lnsl
```

- Ausführung
  - Start des Dienstes (Server):

```
dir_svc&
```

- Start des Dienstnutzers: (Client)

```
rls faui45a ~
```


Fernaufruf: Die beteiligten Klassen

3.4.3 Die beteiligten Klassen

- Datentypen im unverteilten Fall

```
// Datenstrukturen, die in der Methodenschnittstelle benutzt werden
typedef char *nametype;              // Typ der Dateinamen
typedef struct namenode *namelist;// Typ von Verweisen auf Elemente
                                     // der Namensliste
struct namenode {                    // Typ der Listenelemente;
                                     // sie bestehen aus:
   nametype name;                    //   einem Dateinamen name und
   namelist next;                    //   einem Verweis next auf das
                                     //     naechste Listenelement.
};
struct readdir_res {                 // Typ des Methodenergebnisses,
                                     // bestehend aus:
   int errno;                        // einer Fehlerkennung und,
                                     // falls sie den Wert 0 besitzt,
   namelist list;                    // einer Liste von Dateinamen.
};
```


Fernaufruf: Die beteiligten Klassen

- Datentypen im verteilten Fall (Fernaufrufe)

```
const MAXNAMELENGTH = 255;
```

- Typ der Dateinamen

```
typedef string nametype<MAXNAMELENGTH>;
```

- Typ von Verweisen auf Elemente der Namensliste

```
typedef struct namenode *namelist;
```

- Typ der Listenelemente; sie bestehen aus einem Dateinamen name und einem Verweis next auf das nächste Listenelement.

```
struct namenode {
  nametype name;
  namelist next;
};
```


Fernaufruf: Die beteiligten Klassen

- Typ des Methodenergebnisses, bestehend aus einer Fehlerkennung und (falls sie den Wert 0 hat), einer Liste von Dateinamen.

  Anmerkung:

  Bei union wird in den Programmen eine Struktur mit einer zusätzlichen Komponente gebildet. Die Union-Komponente wird durch den Union-Typnamen mit angeschlossener Zeichenfolge _u identifiziert.

```
union readdir_res switch(int errno) {
  case 0:
    namelist list;
  default:    void;
};
```

3.4.4 Die Schnittstellenbeschreibung

```
program DIRPROG {
// Der Dienstleister (Server) erhält den Namen DIRPROG

   version DIRVERS {
      readdir_res READDIR(nametype) = 1;
      // Die Version DIRVERS stellt die Methode READDIR zur
      // Verfügung, die unter der Methodennummer 1 erreicht wird.
      // Dienstnehmer rufen diese Methode mit dem Namen readdir_1 auf
      // (die Zahl nach dem Unterstrich ist die Versionsnummer).

   } = 1;
Die Version DIRVERS wird unter der Kennung 1 registriert.

} = 0x20000076;
// Der Dienstleister (Server) wird unter der Nummer 0x20000076
// registriert.
```


XDR sieht ein Muster zur Konvertierung zwischen C-Datentypen und einer externen Darstellung als Bitfolge vor. Für die Standrdtypen von C sind Bibliotheksroutinen verfügbar. Diese Routinen zusammen mit unterstützenden Routinen bilden die Grundlage, auf der für jeden benutzerdefinierten Datentyp Routinen implemnetiert werden können, die die Konvertierung in beiden Richtungen vornehmen. Für jeden Datentyp wird eine Routine benötigt mit zwei Argumenten:

```
bool_t
xdr_<type>(xdrs, argresp)
   XDR *xdrs;         // Verweis auf ein XDR-Objekt, in das bzw.
                      // aus dem konvertiert werden soll.
                      // Das XDR-Objekt enthält eine Komponente,
                      // die angibt, ob nach XDR konvertiert
                      // (ENCODE) werden soll oder
                      // aus XDR (DECODE)
   <type> *argresp;
```


Struktur eines XDR-Objektes

```
enum xdr_op  {XDR_ENCODE = 0, XDR_DECODE = 1, XDR_FREE = 2 };

typedef struct {
   enum xdr_op  x_op; /* operation; fast additional param */
   struct xdr_ops {
      bool_t  (*x_getlong)();    /* get a long from stream */
      bool_t  (*x_putlong)();    /* put a long to stream */
      bool_t  (*x_getbytes)();   /* get bytes from stream */
      bool_t  (*x_putbytes)();   /* put bytes to stream */
      u_int   (*x_getpostn)();   /* return stream offset */
      bool_t  (*x_setpostn)();   /* reposition offset */
      long *  (*x_inline)();     /* ptr to buffered data */
      void    (*x_destroy)();    /* free private area */
   } *x_ops;
   caddr_t    x_public;          /* users' data */
   caddr_t    x_private;         /* pointer to private data */
   caddr_t    x_base;            /* private for position info */
   int        x_handy;           /* extra private word */
} XDR;
```


Aus den Datenstrukturen für rls werden unter Rückgriff auf die Konversionsroutinen für Standardatentypen folgende Routinen erzeugt;

```
/*
 * Please do not edit this file.
 * It was generated using rpcgen.
 */
#include "dir.h"
bool_t
xdr_nametype(xdrs, objp)
   register XDR *xdrs;
   nametype *objp;
{
   register long *buf;
   if (!xdr_string(xdrs, objp, MAXNAMELENGTH))
      return (FALSE);
   return (TRUE);
}
```

```
bool_t
xdr_namelist(xdrs, objp)
   register XDR *xdrs;
   namelist *objp;
{

   register long *buf;

   if (!xdr_pointer(xdrs, (char **)objp, sizeof (struct namenode),
                     (xdrproc_t) xdr_namenode))
      return (FALSE);
   return (TRUE);
}
```



```
bool_t
xdr_namenode(xdrs, objp)
   register XDR *xdrs;
   namenode *objp;
{

   register long *buf;

   if (!xdr_nametype(xdrs, &objp->name))
      return (FALSE);
   if (!xdr_namelist(xdrs, &objp->next))
      return (FALSE);
   return (TRUE);
}
```



```
bool_t
xdr_readdir_res(xdrs, objp)
   register XDR *xdrs;
   readdir_res *objp;
{
   register long *buf;

   if (!xdr_int(xdrs, &objp->errno))
      return (FALSE);
   switch (objp->errno) {
   case 0:
      if (!xdr_namelist(xdrs, &objp->readdir_res_u.list))
         return (FALSE);
      break;
   }
   return (TRUE);
}
```


3.4.5 Die verschiedenen Routinen

- Die dienstleistende Routine (dir_proc.c)

```
readdir_res * readdir_1(dirname, req)
nametype *dirname;
struct svc_req *req;

// Der Methodenname besteht aus einer symbolischen Bezeichnung
// gefolgt von einem Unterstrich, auf den die Versionsnummer folgt.
// Parameter- und Ergebnistypen werden in der Methodenschnittstelle
// definiert.

{ DIR *dirp;
  struct direct *d;
  namelist *nlp, nl;
  static readdir_res res;
```

```
dirp = opendir(*dirname);
if(dirp == NULL) {
  res.errno = errno;
  return(&res);
}

xdr_free(xdr_readdir_res, (char *)&res);

nlp = &res.readdir_res_u.list;
printf("\n");
while (d = readdir(dirp)) {
  nl = *nlp
     = (namenode *) malloc(sizeof(namenode));
  nl->name = strdup(d->d_name);
  nlp = &nl->next;
}
*nlp = NULL;
```



```
  res.errno = 0;
  closedir(dirp);
  printf("\n");
  return(&res);
}
```


- Zur Unterstützung der Programmierung steht eine Bibliothek spezieller Routinen zu folgenden Themen zur Verfügung:
  - Erzeugung und Manipulation von Identifikatoren für den Dienstzugang
    rpc_clnt_create, 14 Funktionen
  - Funktionsaufrufe durch den Dienstnehmer
    rpc_clnt_calls, 10 Funktionen
  - Asynchrone Fernaufrufe
    rpc_rac, 4 Funktionen
  - Erzeugung von Identifikatoren für Dienstleister
    rpc_svc_create, 9 Funktionen
  - Organisation der Dienstleister
    rpc_svc_calls, 13 Funktionen

- Registrierung von Dienstleistern
  rpc_svc_reg, 6 Funktionen
- Behandlung von Fehlern beim Dienstleister
  rpc_svc_err, 7 Funktionen
- Unterstützung der Konvertierung nach und von XDR
  rpc_xdr, 7 Funktionen
- Authentisierung des Dienstnehmers
  rpc_clnt_auth, 4 Funktionen
- Sicherung des Datentransports
  secure_rpc, 12 Funktionen
- Authentisierung mit dem Kerberos-Protokoll
  kerberos_rpc, 3 Funkltionen

Der Dienstnehmer (rls.c)

```
main(argc, argv)
int argc;
char *argv[];
// Das Programm wird mit zwei Parametern gestartet, nämlich dem
// Namen des Prozessors, auf dem das auszugebende Adreßbuch liegt
// und dem Pfadnamen des auszugebenden Adreßbuchs.

{  CLIENT *cl;
   char *server, *dir;
   readdir_res *result;    // In der Schnittstellenbeschreibung
   namelist nl;            // definierte Typen

   server = argv[1];
   dir = argv[2];
   // Übernahme der Parameter.
```



```
   cl = clnt_create(server, DIRPROG, DIRVERS, "tcp");
   // Erzeugung eines Deskriptors für den Serverzugang

   result = readdir_1(&dir, cl);
   // Aufruf der Methode readdir mit Versionsnummer 1 in dem Server,
   // der durch den Deskriptor cl identifiziert wird.

   for (nl = result->readdir_res_u.list;
     nl != NULL;
     nl = nl->next) {
     printf("%s\n", nl->name);
   }
   // Ausgabe des Ergebnisses aus dem Methodenaufruf

  exit(0);
}
```


Der Stellvertreter des Dienstleisters (generiert)

```
// Default timeout can be changed using clnt_control()
static struct timeval TIMEOUT = { 25, 0 };

readdir_res *
readdir_1(argp, clnt)
   nametype *argp;
   CLIENT *clnt;
{
   static readdir_res clnt_res;

   memset((char *)&clnt_res, 0, sizeof (clnt_res));
   if (clnt_call(clnt, READDIR,
                (xdrproc_t) xdr_nametype, (caddr_t) argp,
                (xdrproc_t) xdr_readdir_res, (caddr_t) &clnt_res,
                TIMEOUT) != RPC_SUCCESS) {
      return (NULL);
   }
   return (&clnt_res);
}
```


Der Stellvertreter des Dienstnehmers (generiert)

```
main()
{  register SVCXPRT *transp;
   struct netconfig *nconf = NULL;
// Deregisters all mappings between the triple
// [DIRPROG, DIRVERS, *] and ports on the local machine's
// triple [DIRPROG, DIRVERS, *] and ports on the local machine's
// portmap service.

   transp = svc_tli_create(0, nconf, NULL, 0, 0))
   // Creates an RPC server handle, and returns a pointer to it.

   svc_reg(transp, DIRPROG, DIRVERS, dirprog_1, 0);
   // Associates DIRPROG and DIRVERS with the service dispatch
   // procedure, dispatch. A mapping of the triple
   // [DIRPROG, DIRVERS, IPPROTO_UDP] to transp is established with
   // the local portmap service.
```

```
    svc_run();
    // Normally, this routine only returns in the case of some errors.
    // It waits for RPC requests to arrive, and calls the appropriate
    // service procedure using svc_getreq() when one arrives.

}
```


- Beschreibung der im Beispiel vom Dienstleister benutzten Routinen
  - SVCXPRT *svc_tli_create(const int fildes,
    const struct netconfig *netconf,
    const struct t_bind *bindaddr, const u_int sendsz,
    const u_int recvsz);

This routine creates an RPC server handle, and returns a pointer to it. fildes is the file descriptor on which the service is listening. If fildes is RPC_ANYFD, it opens a file descriptor on the transport specified by netconf. If the file descriptor is unbound and bindaddr is non-null fildes is bound to the address specified by bindaddr, otherwise fildes is bound to a default address chosen by the transport. In the case where the default address is chosen, the number of outstanding connect requests is set to 8 for connection-oriented transports. The user may specify the size of the send and receive buffers with the parameters sendsz and recvsz ; values of 0 choose suitable defaults. This routine returns NULL if it fails, and an error message is logged. The server is not registered with the rpcbind(1M) service.

- int svc_reg(const SVCXPRT *xprt, const u_long prognum,
  const u_long versnum, const void (*dispatch),
  const struct netconfig *netconf);

Associates prognum and versnum with the service dispatch procedure, dispatch. If netconf is NULL, the service is not registered with the rpcbind service. For example, if a service has already been registered using some other means, such as inetd (see inetd(1M)), it will not need to be registered again. If netconf is non-zero, then a mapping of the triple [prognum, versnum, netconf->nc_netid] to xprt->xp_ltaddr is established with the local rpcbind service.

The svc_reg() routine returns 1 if it succeeds, and 0 otherwise.

- void svc_run(void);

This routine never returns. In single threaded mode, it waits for RPC requests to arrive, and calls the appropriate service procedure using svc_getreq_poll() when one arrives. This procedure is usually waiting for the poll(2) library call to return.

Applications executing in the Automatic or User MT modes should invoke this function exactly once. It the Automatic MT mode, it will create threads to service client requests. In the User MT mode, it will provide a framework for service developers to create and manage their own threads for servicing client requests.

- Der Stellvertreter des Dienstnehmers (generiert)

```
static void
dirprog_1(rqstp, transp)
   struct svc_req *rqstp;
   // Verweis auf Auftragsblock, der Programmnummer, Versionsnummer,
   // Prozedurnummer und Sicherheitsinformationen enthält
   register SVCXPRT *transp;
   // Transportobjekt

{  union {
      nametype readdir_1_arg;
   } argument;
   char *result;
   bool_t (*xdr_argument)(), (*xdr_result)();
   char *(*local)();
```



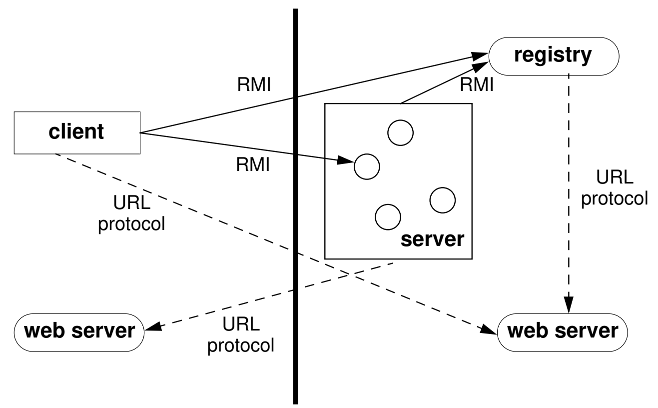
```
switch (rqstp->rq_proc) {
case NULLPROC:
// Returns with no results. Can be used as a simple test for
// detecting if a remote programm is running.
   (void) svc_sendreply(transp, xdr_void,(char *)NULL);
   return;

case READDIR:
// Funktion readdir ist auszuführen
   xdr_argument = xdr_nametype;
   xdr_result = xdr_readdir_res;
   local = (char *(*)()) readdir_1;
   break;

default:
   svcerr_noproc(transp);
   return;
}
```



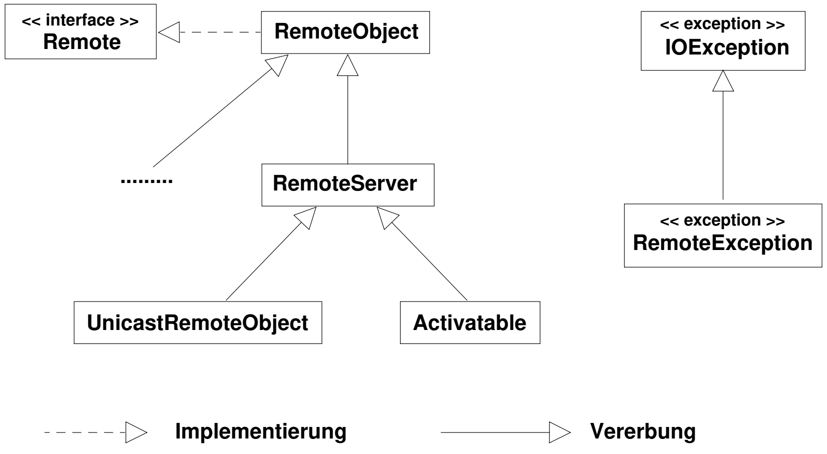
```
   bzero((char *)&argument, sizeof(argument));
   if (!svc_getargs(transp, xdr_argument, &argument)) {
   // Argument konvertieren
      svcerr_decode(transp); return;
   }
   result = (*local)(&argument, rqstp);
   // Gewünschte Funktion ausführen
   if (result != NULL && !svc_sendreply(transp,xdr_result,result)) {
   // Ergebnis zurücksenden
      svcerr_systemerr(transp);
   }
   if (!svc_freeargs(transp, xdr_argument, &argument)) {
      fprintf(stderr, "unable to free arguments");
      exit(1);
   }
   return;
}
```


3.5 Java Remote Method Invocation (RMI)

- Gesamtstruktur



Klassen und Schnittstellen



Vorgehensweise

1. Definition der fernaufrufbaren Funktionen als Java-Interface
2. Schreiben der Klassen des Dienstleisters
3. Schreiben des Dienstnehmers (als Applet)

Beispiel: Hello World

- Der Dienstleister (server) `HelloImpl` gibt nach Aufruf der Methode `sayHello()` die Zeichenkette "`Hello World`" zurück.
- Der Dienstnehmer `HelloApplet` ruft mittels Fernaufruf die Methode `sayHello()` auf und gibt die zurückerhaltene Zeichenkette aus.

1. Definition der fernaufrufbaren Funktionen als Java-Interface

```
package examples.hello;

import java.rmi.Remote;
import java.rmi.RemoteException;

public interface Hello extends Remote {
   String sayHello() throws RemoteException;
}
```

- The remote interface must be declared public. Otherwise, unless a client is in the same package as the remote interface, the client will get an error when attempting to load a remote object that implements the remote interface.
- The remote interface extends the java.rmi.Remote interface.
- Each method must declare java.rmi.RemoteException (or a superclass of RemoteException) in its throws clause, in addition to any application-specific exceptions.
- The data type of any remote object that is passed as an argument or return value (either directly or embedded within a local object) must be declared as the remote interface type (for example, Hello) not the implementation class (HelloImpl).

2. Schreiben der Klassen des Dienstleisters

```
package examples.hello;

import java.rmi.Naming;
import java.rmi.RemoteException;
import java.rmi.RMISecurityManager;
import java.rmi.server.UnicastRemoteObject;

public class HelloImpl extends UnicastRemoteObject
                                implements Hello {

public HelloImpl() throws RemoteException {
   super();
}

public String sayHello() {
   return  "Hello World!";
}
```

```
    public static void main(String args[]) {

       // Create and install a security manager
       if (System.getSecurityManager() == null) {
          System.setSecurityManager(new RMISecurityManager());
       }
       try {
          HelloImpl obj = new HelloImpl();
          // Bind this object instance to the name "HelloServer"
          Naming.rebind("///HelloServer", obj);
       } catch (Exception e) {
          System.out.println("New HelloImpl err: "
                             + e.getMessage());
          e.printStackTrace();
       }
    }
 }
```


3. Schreiben des Dienstnehmers (als Applet)

```
package examples.hello;

import java.applet.Applet;
import java.awt.Graphics;
import java.rmi.Naming;
import java.rmi.RemoteException;

public class HelloApplet extends Applet {
   String message = "blank";

   // "obj" is the identifier that we'll use to refer
   // to the remote object that implements the "Hello"
   // interface
   Hello obj = null;
```



```
    public void init() {
       try {
          obj = (Hello)Naming.lookup("//"
                                + getCodeBase().getHost()
                                + "/HelloServer");
          message = obj.sayHello();
       } catch (Exception e) {
          System.out.println("HelloApplet exception: "
                             + e.getMessage());
          e.printStackTrace();
       }
    }

    public void paint(Graphics g) {
       g.drawString(message, 25, 50);
    }
 }
```


- **Systemerzeugung**
  - **Kompilieren der drei Klassen**
  - **Mittels rmic Stub und Skeleton erzeugen**
  - **Bestandteile verteilen**
  - **Am dienstleistenden Rechner**
    - Registratur starten
    - Dienstleister (server) starten
  - **Am dienstnehmenden Rechner**
    - Applet starten

Fernaufruf: Stub class generated by rmic

```
// Stub class generated by rmic, do not edit.
// Contents subject to change without notice.

package examples.hello;

public final class HelloImpl_Stub
    extends java.rmi.server.RemoteStub
    implements examples.hello.Hello, java.rmi.Remote
{
   private static final java.rmi.server.Operation[] operations = {
      new java.rmi.server.Operation("java.lang.String sayHello()")
   };

   private static final long interfaceHash = 6486744599627128933L;

   private static final long serialVersionUID = 2;

   private static boolean useNewInvoke;
   private static java.lang.reflect.Method $method_sayHello_0;
```


Fernaufruf: Stub class generated by rmic

```
   static {
      try {
         java.rmi.server.RemoteRef.class.getMethod("invoke",
            new java.lang.Class[] {
               java.rmi.Remote.class,
               java.lang.reflect.Method.class,
               java.lang.Object[].class,
               long.class
            });
         useNewInvoke = true;
         $method_sayHello_0 =
            examples.hello.Hello.class.getMethod("sayHello",
               new java.lang.Class[] {});
      } catch (java.lang.NoSuchMethodException e) {
         useNewInvoke = false;
      }
   }
```


Fernaufruf: Stub class generated by rmic

```
   // constructors
   public HelloImpl_Stub() {
      super();
   }

   public HelloImpl_Stub(java.rmi.server.RemoteRef ref) {
      super(ref);
   }
```


Fernaufruf: Stub class generated by rmic

```
   // methods from remote interfaces

   // implementation of sayHello()
   public java.lang.String sayHello()
      throws java.rmi.RemoteException
   {
      try {
         if (useNewInvoke) {
            Object $result
               = ref.invoke(this, $method_sayHello_0,
                            null, 6043973830760146143L);
            return ((java.lang.String) $result);
         } else {
            java.rmi.server.RemoteCall call
               = ref.newCall((java.rmi.server.RemoteObject) this,
                             operations, 0, interfaceHash);
            ref.invoke(call);
            java.lang.String $result;
            try {
               java.io.ObjectInput in = call.getInputStream();
               $result = (java.lang.String) in.readObject();
```

```
            } catch (java.io.IOException e) {
               throw new java.rmi
                  .UnmarshalException
                                 ("error unmarshalling return", e);
            } catch (java.lang.ClassNotFoundException e) {
               throw new java.rmi
                  .UnmarshalException
                                 ("error unmarshalling return", e);
            } finally {
               ref.done(call);
            }
            return $result;
         }
      } catch (java.lang.RuntimeException e) { throw e;
      } catch (java.rmi.RemoteException e) { throw e;
      } catch (java.lang.Exception e) {
         throw new java.rmi
            .UnexpectedException("undeclared checked exception", e);
      }
   }
}
```



```
// Skeleton class generated by rmic, do not edit.
// Contents subject to change without notice.

package examples.hello;

public final class HelloImpl_Skel
   implements java.rmi.server.Skeleton
{
   private static final java.rmi.server.Operation[] operations = {
      new java.rmi.server.Operation("java.lang.String sayHello()")
   };

   private static final long interfaceHash = 6486744599627128933L;

   public java.rmi.server.Operation[] getOperations() {
      return (java.rmi.server.Operation[]) operations.clone();
   }
```



```
   public void dispatch(java.rmi.Remote obj,
                        java.rmi.server.RemoteCall call,
                        int opnum,
                        long hash)
      throws java.lang.Exception
   {
      if (opnum < 0) {
         if (hash == 6043973830760146143L) {
            opnum = 0;
         } else {
            throw new java.rmi
               .UnmarshalException("invalid method hash");
         }
      } else {
         if (hash != interfaceHash)
            throw new java.rmi.server
               .SkeletonMismatchException
                                 ("interface hash mismatch");
      }
      examples.hello.HelloImpl server
         = (examples.hello.HelloImpl) obj;
```



```
      switch (opnum) {
         case 0: // sayHello()
            { call.releaseInputStream();
              java.lang.String $result = server.sayHello();
              try {
                 java.io.ObjectOutput out
                    = call.getResultStream(true);
                 out.writeObject($result);
              } catch (java.io.IOException e) {
                 throw new java.rmi
                    .MarshalException
                                 ("error marshalling return", e);
              }
              break;
            }
         default:
            throw new java.rmi
              .UnmarshalException("invalid method number");
      }
   }
}
```