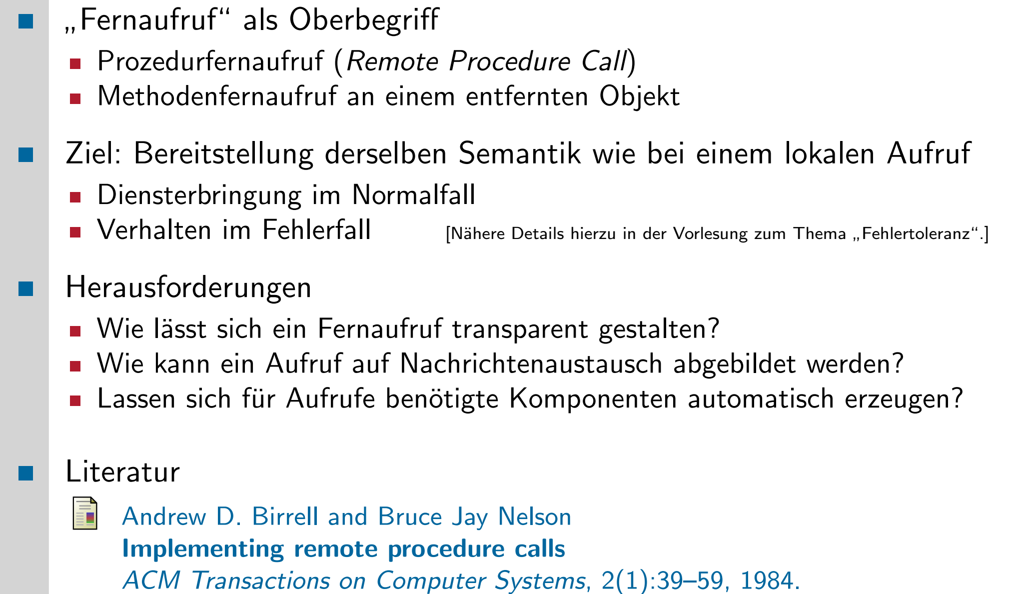
Überblick

Fernaufrufe
- Motivation
- Stubs und Skeletons
- Marshalling und Unmarshalling
- Automatisierung
- XML-RPC

Motivation

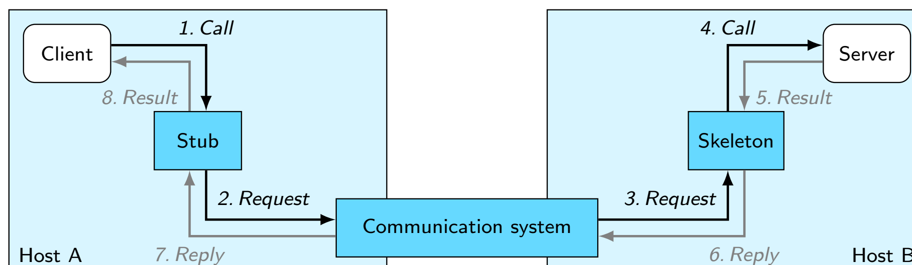


- „Fernaufruf“ als Oberbegriff
  - Prozedurfernaufruf (*Remote Procedure Call*)
  - Methodenfernaufruf an einem entfernten Objekt
- Ziel: Bereitstellung derselben Semantik wie bei einem lokalen Aufruf
  - Diensterbringung im Normalfall
  - Verhalten im Fehlerfall [Nähere Details hierzu in der Vorlesung zum Thema „Fehlertoleranz“.]
- Herausforderungen
  - Wie lässt sich ein Fernaufruf transparent gestalten?
  - Wie kann ein Aufruf auf Nachrichtenaustausch abgebildet werden?
  - Lassen sich für Aufrufe benötigte Komponenten automatisch erzeugen?
- Literatur

Andrew D. Birrell and Bruce Jay Nelson
Implementing remote procedure calls
ACM Transactions on Computer Systems, 2(1):39–59, 1984.

Stub und Skeleton

- *Stub* (*Client Stub*)
  - Stellvertreter des Servers auf Client-Seite
  - Umsetzung des Aufrufs in einen Nachrichtenaustausch
  - Verpacken der Aufrufparameter und Entpacken des Rückgabewerts
- *Skeleton* (*Server Stub*)
  - Stellvertreter des Clients auf Server-Seite
  - Umsetzung der Aufrufrückkehr in einen Nachrichtenaustausch
  - Entpacken der Aufrufparameter und Verpacken des Rückgabewerts

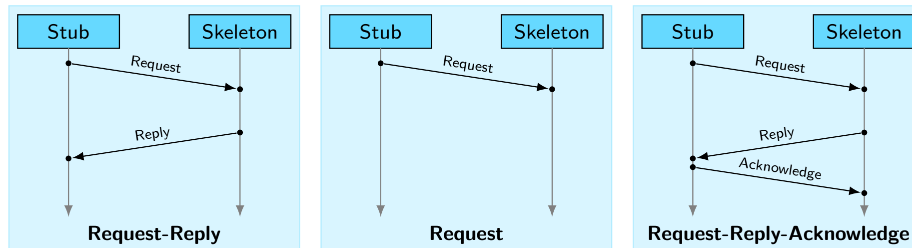


Interprozesskommunikation — Abbildungen

- Abbildung auf Kommunikationsprimitiven
  - *No-wait Send*
    - Explizite Zuordnung der Antwort zur Anfrage erforderlich
    - Im Normalfall keine zusätzlichen Nachrichten im Kommunikationssystem
  - *Synchronization Send*
    - Explizite Zuordnung der Antwort zur Anfrage erforderlich
    - Versand zusätzlicher Bestätigungsnachrichten im Kommunikationssystem
  - *Remote-invocation Send*
    - Implizite Kopplung zwischen Anfrage und Antwort
    - Im Normalfall keine zusätzlichen Nachrichten im Kommunikationssystem
- Alternative Implementierungen für *No-wait Send*
  - Umsetzung mittels UDP
    - Ein Paket pro Nachricht
    - Unzuverlässige Nachrichtenzustellung
  - Umsetzung mittels TCP
    - Nachrichtengrenzen müssen im Datenstrom kenntlich gemacht werden
    - Zuverlässige Nachrichtenzustellung, solange die Verbindung existiert

Interprozesskommunikation — Protokolle

- *Request-Reply*
  - Übliches Verfahren zwischen Stub und Skeleton
  - Antwort liefert Ergebnis und dient als Ausführungsbestätigung
- *Request*
  - Weglassen der Antwort
  - Optimierung, falls Client kein Ergebnis / keine Bestätigung braucht
- *Request-Reply-Acknowledge*
  - Zusätzlichen Bestätigung vom Stub nach Erhalt der Antwort
  - Hinweis an den Skeleton, dass die komplette Interaktion erfolgreich war



Marshalling und Unmarshalling von Nachrichten

- Basis für eine Interaktion per Nachrichtenaustausch
  - *Marshalling*: Serialisierung aller zu sendender Daten in eine Nachricht
  - *Unmarshalling*: Deserialisierung einer Nachricht nach Empfang
- Nachrichteninhalte bei Fernaufrufen
  - Anfrage
    - Bei Methodenfernaufruf: Bezeichner des entfernten Objekts
    - Bezeichner der aufzurufenden Prozedur / Methode
    - Parameter
  - Antwort
    - Normalfall: Rückgabewert
    - Fehlerfall: Informationen zur Fehlersituation (z. B. Exception)
- Häufiges Ziel: Minimierung der Nachrichtengrößen
  - Grundprinzip: Beschränkung auf Informationen, die der jeweils andere noch nicht hat, aber für die Erfüllung seiner Aufgabe braucht
  - Beispiel: Keine Übermittlung von Prozedur- / Methodensignaturen

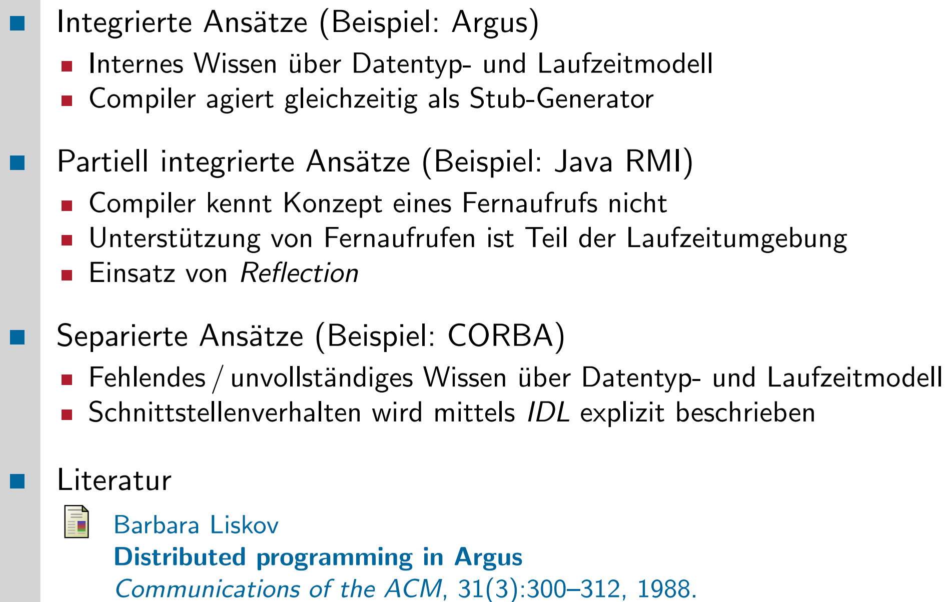
Parameterarten

- Potenzial zur Reduzierung der zu übermittelnden Datenmenge
  - Eingabeparameter
    - Informationsfluss: Client → Server
    - Bestandteil der Anfrage (*Call-by-Value*)
  - Ausgabeparameter
    - Informationsfluss: Client ← Server
    - Bestandteil der Antwort (*Call-by-Result*)
  - Ein-/Ausgabeparameter
    - Informationsfluss: Client ↔ Server
    - Bestandteil beider Nachrichten (*Call-by-Value-Result*)
    - Ersetzen des Werts auf Client-Seite durch den Wert in der Antwort
- Problem
  - Die Art eines Parameters ist nicht in allen Programmiersprachen eindeutig
  - Beispiele für Problemfälle aus C/C++
    - Zeiger: `char*`, `struct Foo*`
    - Referenz: `struct Foo&`

Umgang mit Referenzen

- Problem: Umsetzung von *Call-by-Reference*
  - Client und Server haben im Regelfall keinen gemeinsamen Speicher
  - Konsequenzen
    - Speicheradressen sind nicht systemweit eindeutig
    - Versand von Zeigern in Anfragen / Antworten nicht praktikabel
- Variante 1: Dereferenzierung und Abbildung auf andere Semantiken
  - Übermittlung von Kopien
  - Je nach Parameterart: Einsatz von *Call-by-*{*Value*, *Result*, *Value-Result*}
- Variante 2: Realisierung mittels *Remote-Referenz*
  - Übermittlung eines systemweit eindeutigen Zeigers anstatt des lokalen
  - Zugriff auf Parameter erfolgt per Fernaufruf
- Mögliche Vergleichskriterien für Effizienzabschätzung
  - Aufwand für Parameter, die Referenzen auf andere Objekte enthalten
  - Anteil der vom Empfänger tatsächlich benötigten Daten
  - Häufigkeit des Zugriffs auf den Parameter durch den Empfänger

Automatische Generierung von Stubs und Skeletons



Reflection

- Konzepte
  - Analyse von Systemeigenschaften zur Laufzeit (*Introspection*)
  - Dynamische Modifikation von Strukturen oder Verhalten (*Intercession*)
- Einsatzgebiete im Kontext von Fernaufrufen
  - Dynamische Erzeugung von Proxies aus Schnittstelleninformationen
    - Abfangen von lokalen Methodenaufrufen
    - Ermöglicht die erforderliche Abbildung auf Nachrichtenaustausch
  - Dynamischer Aufruf von Methoden
    - Ermöglicht die Rückabbildung von Anfragenachricht auf Methodenaufruf
    - Beispiel: `invoke`-Methode der Klasse `Method` in Java

```
Method m = PrintStream.class.getMethod("println", String.class);
m.invoke(System.out, "Hallo Welt!");
```

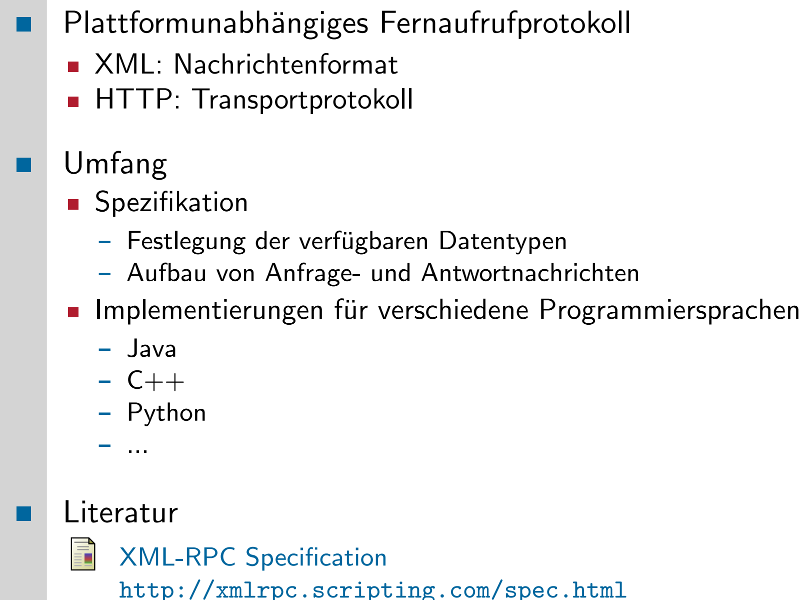
- Beispiel: Java RMI [Näheres in der Tafelübung.]
  - Dynamische Proxies als Basis für Fernaufruf-Stubs
  - Generischer Skeleton auf Server-Seite

Interface Definition Language (IDL)

- Sprache zur Beschreibung von Objektschnittstellen
  - Entwickelt für CORBA
  - Angelehnt an C++
  - Spezifikation eigener Datentypen
- Sprachabbildungen (*Language Mappings*)
  - Sprachenspezifische Übersetzung von IDL-Konstrukten
  - Festlegung für diverse Sprachen (z. B. Ada, C, C++, Java, Lisp, Python)
- Beispiel: Festlegung von Parameterarten (`in`, `out` oder `inout`)

```
module vs {
  interface VSFileMetadataService {
    void getFileInfo(
                 in   string name,   // Eingabeparameter
                 out  long size,     // Ausgabeparameter
                 out  string owner   // Ausgabeparameter
    );
  };
};
```

XML-RPC



Datentypen

- Primitive Datentypen (<value>)

XML-Tag	Wert
i4 bzw. int	32-Bit-Integer
double	Fließkommazahl mit doppelter Genauigkeit
boolean	0 (false), 1 (true)
string	Zeichenkette
base64	Base64-codierte Binärdaten
dateTime.iso8601	Datum und Uhrzeit

- Komplexe Datentypen
  - Liste primitiver und/oder komplexer Datentypen (<array>)

```
<array><data>
  <value>[Wert]</value>
  [Weitere <value>-Elemente]
</data></array>
```

  - Ungeordnete Menge aus Schlüssel-Wert-Paaren (<struct>)

```
<struct>
  <member><name>[Schlüssel]</name><value>[Wert]</value></member>
  [Weitere <member>-Elemente]
</struct>
```

Aufbau einer Anfragenachricht

- HTTP-Header (Ausschnitt)

```
POST [URI: Beliebiger Pfad, potentiell leer] HTTP/1.1
Content-Type: text/xml
User-Agent: [Nutzeranwendung]
Content-Length: [Nachrichtenlänge]
Host: [Zielrechneradresse: z. B. Hostname und Port]
```

- HTTP-Body

```
<?xml version="1.0"?>
<methodCall>
  <methodName>[Methodenname]</methodName>
  <params>
    <param>[Aufrufparameter]</param>[...]
  </params>
</methodCall>
```

  - Kapselung der Aufrufinformationen in einzelnem <methodCall>-Element
  - Methodenname: Beliebige Zeichenkette
  - Aufrufparameter: Primitive oder komplexe Datentypen

Aufbau einer Antwortnachricht — Reguläre Antwort

- HTTP-Header

```
HTTP/1.1 200 OK
Server: [Server-Anwendung]
Content-Type: text/xml
Content-Length: [Nachrichtenlänge]
[...]
```

  - Identisch für beide Antworttypen
  - Status-Code bezieht sich auf HTTP, nicht auf den Methodenaufruf

- Reguläre Antwort: HTTP-Body

```
<?xml version="1.0"?>
<methodResponse>
  <params><param>[Rückgabewert]</param></params>
</methodResponse>
```

  - Kapselung des Rückgabewerts in einzelnem <methodResponse>-Element
  - Rückgabewert: Primitiver oder komplexer Datentyp in <param>-Element

Aufbau einer Antwortnachricht — Fehlermeldung

- Fehlermeldung: HTTP-Body

```
<?xml version="1.0"?>
<methodResponse>
  <fault>
    <value><struct>
      <member>
        <name>faultCode</name>
        <value><i4>[Fehler-Code]</i4></value>
      </member>
      <member>
        <name>faultString</name>
        <value><string>[Fehlerbeschreibung]</string></value>
      </member>
    </struct></value>
  </fault>
</methodResponse>
```

  - Kapselung der Fehlermeldung in einzelnem <fault>-Element
  - Semantik des Fehler-Codes von der Anwendung frei wählbar