Überblick

Verteilte Systeme

Distributed System

- Definition nach Tanenbaum und van Renesse:
  - It looks like an ordinary centralized system.
  - It runs on multiple, independent CPUs.
  - The use of multiple processors should be invisible (transparent).
- Definition nach Mullender
  - Zusätzlich: Not any single points of failures
- Lamport über verteilte Systeme
  - „*A distributed system is one in which the failure of a computer you didn't even know existed can render your own computer unusable.*"

Definitionen sind nicht präzise

- Manchmal ist es schwierig, ein lokales bzw. verteiltes System zu identifizieren
- Definitionen basieren oft auf bestimmten Eigenschaften, die gerade wichtig erscheinen

Literatur

J. Nehmer, P. Sturm
Grundlagen moderner Betriebssysteme.
dpunkt, 1998.

S. Mullender
Distributed Systems (2nd edition).
ACM Press, 1993.

A. S. Tanenbaum, M. van Steen
Distributed Systems.
Prentice Hall, 2002.

A. D. Birrel, B. J. Nelson
Implementing Remote Procedure Calls.
ACM Transactions on Computer Systems, 2(1), pp. 39–59, 1984.

M. J. Flynn
Some Computer Organizations and Their Effectiveness.
IEEE Transactions on Computers , C-21, pp. 948–960, 1972.

Verteilte Systeme

Eigenschaften verteilter Systeme

- Physikalische Verteiltheit der Hardware
- Gemeinsame Nutzung von Ressourcen
- Heterogenität – Hardware (Netzerwerk, Prozessor, etc.) und Software (Betriebssystem, Programmiersaprache)
- Nebenläufigkeit – gemeinsame Nutzung von Betriebsmitteln

Verteilte Systeme

Wünschenswerte Eigenschaften verteilter Systeme

- Offenheit
  - Einheitliche Schnittstellen und Protokolle
- Skalierbarkeit
  - Verschiedene Dimension von Skalierbarkeit: Größe, Ausbreitung und Verwaltbarkeit
- Transparenz
- Sicherheit

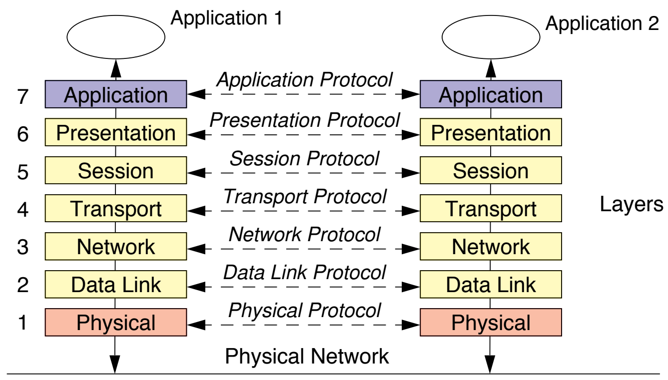
Verteilte Systeme

Transparenz

- Netzwerktransparenz
  - Zugriffstransparenz – Zugriff auf lokale und entfernte Betriebsmittel unter Verwendung identischer Operationen.
  - Ortstransparenz – Zugriff auf Betriebsmittel, ohne ihre Position bzw. ihren Ort kennen zu müssen
- Nebenläufigkeitstransparenz
- Replikationstransparenz
- Fehlertransparenz

Kommunikationsmodelle

Protokollschichten nach dem ISO OSI Referenzmodell



Klassifikation

Synchronität

- Wird der Sender blockiert bis der Empfänger die Nachricht hat, oder nicht?

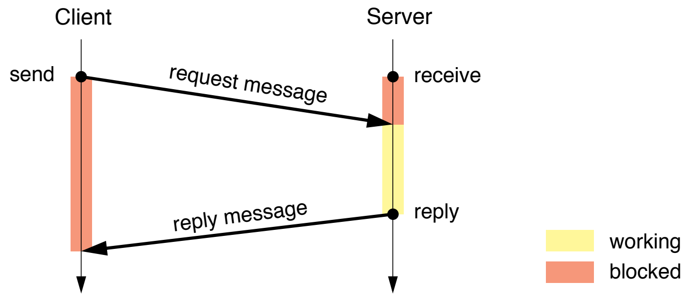
Interaktionsmuster

- **Message Passing** – eine Nachricht wird von einem Teilnehmer an einen anderen gesendet
- **Request-Reply** (Client-Server) Interaktion – Nachricht an einen Empfänger und Nachricht zurück an den ursprünglichen Absender

Adressaten

- Ein Empfänger
- Mehrere Empfänger (Gruppenkommunikation, Multicast, Broadcast)

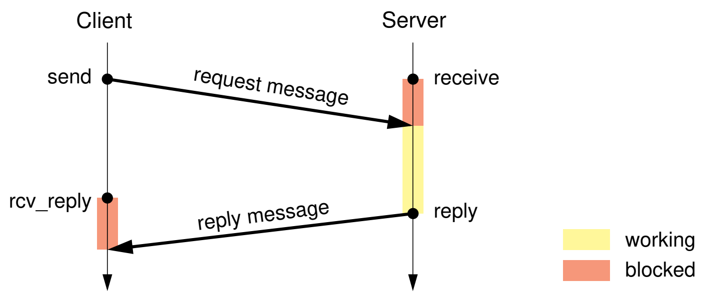
Synchrones Request-Reply Modell



Request-Reply Interaktion bzw. synchrones Senden

- Sender wartet bis Antwort-Nachricht empfangen wurde
- Empfänger ist blockiert bis eine Nachricht eintrifft
- Client und Server arbeiten nicht nebenläufig
- Zum Beispiel: Remote Procedure Call (RPC)

Asynchrones Request-Reply Modell



Request-Reply Interaktion bzw. asynchrones Senden

- Client und Server arbeiten nebenläufig
- Basis für Gruppenkommunikation

Zuverlässigkeit

Nachrichten können verloren gehen wenn keine zuverlässige Verbindung benutzt wird

- zuverlässige Verbindungen benutzen Acknowledge-Nachrichten (ACK)
- für einfache Nachrichtenübertragung großer Overhead

Zuverlässigkeit mit Request-Reply Interaktionsmodell kombinieren

Mögliche Fehler

- Server Crash Fehlermodell: Totalamnesie (Server verliert alle Informationen über frühere Anfragen)
- Anfrage-Nachricht geht verloren
- Antwort-Nachricht geht verloren

Ideale Semantik

- **exactly-once** die Anfrage wird genau einmal auf Serverseite bearbeitet

Zuverlässigkeit

At-Least-Once Semantik

- Anfrage wird einmal oder mehrmals bearbeitet
- Client bekommt nie eine Fehlermeldung aber er erkennt eventuell, dass die Anfrage mehrfach bearbeitet wurde:
  Operationen müssen idempotent sein!

Implementation

- wenn der Client nach einiger Zeit (time-out) keine Antwort erhält, wiederholt er die Anfrage
  - keine zusätzliche Funktionalität auf Server-Seite erforderlich
  - der Server darf wiederholte Anfrage aber ignorieren, wenn er sie erkennen kann

Zuverlässigkeit

At-Most-Once Semantik

- Die Anfrage wird höchstens einmal (oder überhaupt nicht) bearbeitet

Einfache Implementation (nur auf der Client-Seite)

- wenn das Ergebnis innerhalb einer bestimmten Zeit nicht eintrifft wird dem Aufrufer eine Fehlermeldung zurückgegeben
- sonst wird das Ergebnis zurückgegeben (exactly-once Semantik)

Komplexere Implementation

- Client wiederholt Nachricht nach einem Time-out (verdeckt Nachrichtenverlust auf der Verbindung)
- Client muss Server-Abstürze erkennen (Fehlermeldung an den Aufrufer, at-most-once Semantik)
- Server hebt Antworten auf (Wiederholung bei Verlust der Nachricht)
- Server muss alte Anfragen nach einem Absturz erkennen und ignorieren
- wenn das Ergebnis zurückgegeben wird, haben wir exactly-once Semantik

Remote Procedure Calls

Request-Reply-Modell kann für die Implementierung von RPCs genutzt werden [Birrell and Nelson 1984]

- statt eine Anfrage zu senden wird eine Remote-Prozedur aufgerufen
- statt einer Antwort erhält man die Ergebnisse des Aufrufs

Aufruf einer Prozedur ist ortstransparent

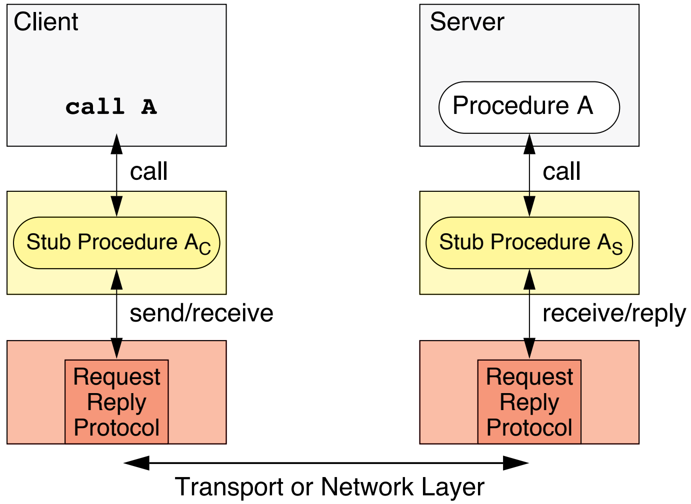
- Syntax für lokale und remote Aufrufe kann identisch sein
- sehr intuitiv
- keine expliziten `send()`- und `receive()`-Anweisungen erforderlich

Implementierung von RPCs

- Stub-Prozeduren auf Client- und Server-Seite

Remote Procedure Calls

Implementierung von RPCs mit Stub-Prozeduren



Remote Procedure Calls

Client-Stub

- Marshalling der Parameter (Zusammenstellen einer Anfrage-Nachricht)
- Senden der Anfrage-Nachricht
- Warten auf die Antwort-Nachricht
- Unmarshalling des Ergebnisses
- Implementierung der Zustell-Semantik

Server-Stub

- Marshalling der Parameter (Zusammenstellen einer Anfrage-Nachricht)
- Senden der Anfrage-Nachricht
- Warten auf die Antwort-Nachricht
- Unmarshalling des Ergebnisses
- Implementierung der Zustell-Semantik

Remote Procedure Calls

Probleme bei RPCs

- Marshalling der Parameter
  - Zahl und Typen sollten bekannt sein sowie ihre Codierung
- Parameter-Übergabe-Semantik
  - **Call-by-value/result**: unproblematisch
  - **Call-by-reference**: wie implementieren?
- keine globalen Variablen
- Semantik – keine exactly-once Semantik
- Performance
  - keine Nebenläufigkeit
  - große Parameter-Daten
  - kurze Prozeduren
  - Antwortzeiten

Remote Procedure Calls

Automatische Erzeugung von Stub-Prozeduren

- Parameter-Marshalling
- Client-Stub
- Server-Stub Prozedur
- Server-Schleife zum Warten auf Anfragen

Binden von Client-Stubs an Server-Stubs

- Server-Stub hat Netzwerk-Adresse, die Client-Stub kennen muss
- Problem: woher kennt der Client den Server?

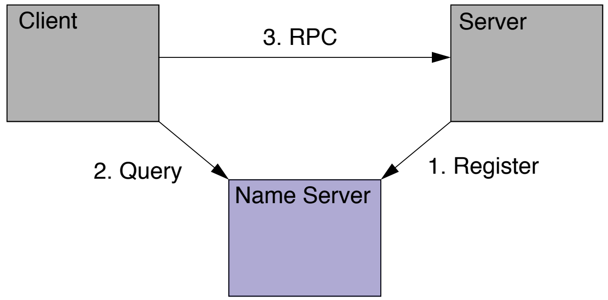
Name-Server

- Symbolische Namen werden in Netzwerk-Adressen umgesetzt

Name-Server und Binden

Bekannter Name-Server wandelt Namen in Adressen um

- Client kennt Namen seines Servers und die Adresse eines Name-Servers
- Name-Server wandelt Namen in eine (dynamische) Netzwerk-Adresse um
- Client kann sich immer an Server binden
- Server muss seine Netzwerkadresse beim Name-Server registrieren



OO Verteilte Anwendungen

Objektorientierte Anwendungen im verteilten System

- Verteilung auf
  - verschiedene Rechner
  - verschiedene Prozessoren
  - verschiedene virtuelle Maschinen
  - verschiedene Adressräume
- Objektinteraktionen zwischen objektorientierten Programmen oder Aufteilung eines Programmes in interagierende Programmteile?

OOP und Verteilung

Formen/Ausprägungen von Objektinteraktion im Verteilten System

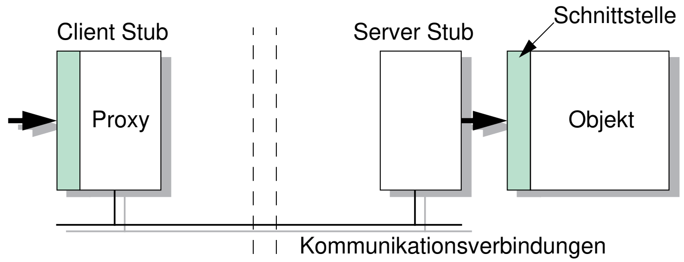
- explizit
- implizit
- orthogonal
- nicht-orthogonal
- uniform
- nicht-uniform
- transparent
- nicht-transparent

explizite, orthogonale Interaktion

- weit verbreitete Vorgehensweise
- von klassischen Interprozesskommunikations-Mechanismen geprägt
  - Nachrichten (Datagramm-Sockets, Messages,)
  - Verbindungen (Stream-Sockets, Pipes,)
- Vorteile
  - meist weit verbreitete, etablierte Infrastruktur vorhanden
  - kein „unsichtbarer“Overhead
- Nachteile
  - Programmierung aufwändig
  - Bruch im objektorientierten Paradigma
    - Serialisierung von Parametern, Verlust von Typ-Information
  - Verteilung wird durch die Programmierung „fest verdrahtet“
    - Software sehr unflexibel in Bezug auf Änderungen

implizite, nicht-orthogonale Interaktion

- Interaktion zwischen lokalen und verteilten Objekten unterscheidet sich prinzipiell nicht
  - nur ein Interaktionsmechanismus: Methodenaufruf
- grundlegendes Konzept: Remote Procedure Call
  - Verteilung wird durch Vermittler- oder Stellvertreterobjekte vor den Kommunikationspartnern (weitgehend) verborgen
  - Proxy/Stub-Prinzip



uniforme / nicht-uniforme Interaktion

nicht-uniforme Interaktion

- unterschiedliche Methodenaufrufe für lokale und remote-Referenzen
- unterschiedliche Semantik bei der Parameterübergabe
  - by reference
  - by value
  - Problem: Übergabe von lokalen Objektreferenzen

uniforme Interaktion

- keinerlei Unterschied zwischen lokalen und remote-Aufrufen

transparente / nicht-transparente Verteilung

volle Transparenz

- Anwendungsentwickler sieht keinerlei Unterschied zwischen lokalen und verteilten Objekten
- Probleme:
  - im verteilten Fall können spezielle Fehler auftreten
    - unabhängiger Objektausfall signalisiert durch Remote Exceptions
  - verteilte Interaktion ist implizit signifikant teurer
    - Transparenz kann zu Ineffizienz führen
  - Verteilung ist häufig ein Entwurfskriterium
    - Verbergen der Verteilung in der Implementierung ist unsinnig
- Fazit:
  - bei der Programmierung sollte zwischen potentiell verteilten und definitiv lokalen Objekten unterschieden werden können

Herausforderungen

- Überwindung heterogener Hardware- und Softwarestrukturen
  - verschiedene Hardware
  - verschiedene Betriebssysteme
  - verschiedene Programmiersprachen
- Ortstransparenz
  - statische Konfiguration
  - Objektmigration
- Globale Dienste
  - z.B. Namensdienste, Transaktionsdienst, Persistenz, Kontrolle der Nebenläufigkeit

Java Remote Method Invocation (Java RMI)

- Erweiterung des Java Programmiermodells für Verteilung
- mehrere JVMs spannen eine verteilte Rechenplattform auf
- Verteilungseinheiten
  - Java Objekte
- Verteilungstransparenz
  - orts- und zugriffstransparente Methodenaufrufe an verteilten Java Objekten

Literatur

Sun Microsystems
Java Remote Method Invocation Specification
http://java.sun.com/javase/6/docs/platform/rmi/spec/rmiTOC.html

J. Waldo
Remote procedure calls and Java Remote Method Invocation
IEEE Concurrency, 6(3):57, 1998.

Java Remote Method Invocation (Java RMI)

Infrastruktur zur Unterstützung von verteilten Java-Anwendungen

- Server-Anwendung
  - erzeugt Objekte
  - macht Objektreferenzen verfügbar
  - wartet auf Methodenaufrufe
- Client-Anwendung
  - besorgt sich Remote-Referenz
  - ruft Methoden an entferntem Objekt auf

Java Remote Method Invocation (Java RMI)

Probleme

- Erzeugen eines verteilten Java Objekts (RMI-Objekts)
- Entfernte Objekte finden
- Methodenauf uf
- Übergabe von Objekten bzw. Aufrufparametern

Verteilte Java Objekte

Schnittstelle

- verteilte RMI-Objekte implementieren spezielle Java-Interfaces
  - mindestens ein Java-Interface, das direkt oder indirekt von `java.rmi.Remote` erbt
  - dient als Marker, enthält keine Methoden
- alle Methoden in von `java.rmi.Remote` erbenden Interfaces müssen die Exception `java.rmi.RemoteException` deklarieren
  - zeigt Fehler bei entfernten Aufrufen an
  - es kann auch eine Basisklasse deklariert werden, z.B. `java.io.IOException` oder `java.lang.Exception`

Verteilte Java Objekte

Beispiel

```
public interface Printer implements java.rmi.Remote{
  public void print( String s )
    throws java.rmi.RemoteException;
}
```

Entfernt ansprechbare Methoden

- entfernt ansprechbar sind nur Methoden von Interfaces welche von `Remote` erben
- andere Methoden und Instanzvariablen sind nur lokal ansprechbar

Referenzen

- Referenzen nur mit dem Namen eines Remote-Interfaces typisieren
- nicht mit dem Klassennamen der Implementierung

Erzeugen eines RMI-Objekts

Zwei Vorgehensweisen

- Implementierungsklasse implementiert mindestens ein Remote-Interface
- Variante A:
  - Implementierungsklasse erbt von `java.rmi.server.UnicastRemoteObject`
    - Objektinstanzen sind sofort nach der Erzeugung exportiert!
- Variante B:
  - manuelles Vorbereiten für entfernte Aufrufe:
    - Aufruf von `java.rmi.server.UnicastRemoteObject.exportObject(obj,...)`
    - Implementierung verschiedener Methoden von Objekt unter Umständen nötig

Erzeugen eines RMI-Objekts

Beispiel für Vererbungsvariante:

```
public class MyPrinter extends java.rmi.UnicastRemoteObject
 implements Printer {
    public void print(String s) throws java.rmi.RemoteExeception{
      ...
    }
  ...
}
```

RMI Compiler

- erzeugt Subklassen für Clientseite
  - ab Java 1.5 nicht mehr nötig da generische Stubs
- erzeugt Skeletonklassen für Serverseite
  - ab Java 1.2 nicht mehr nötig da generische Skeletons
- Kommando: `rmic`
  - wird mit der Implementierungsklasse aufgerufen

Entfernte Objekte finden

Namesdienste zum Registrieren von Objekten

- Klasse `java.rmi.registry.LocateRegistry`
  - erlaubt das Erzeugen einer Namensdienst-Instanz
  - ermöglicht das Erzeugen einer Objektreferenz zu einem Namensdienst
  - benötigt Hostname und Portnummer
- Objektreferenz ist vom Remote-Interface `java.rmi.registry.Registry`
  - `bind(String s, Remote obj)` registriert Objekt `obj` unter Name `s`
  - `lookup(String s)` liefert Objektreferenz für Objekt mir Name `s`

Entfernte Objekte finden

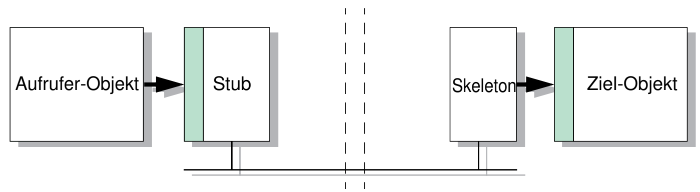
Standard Mechanismen zum Registrieren und Finden von Objekten

- `rmiregistry` einfacher Namensdienst zur Umwandlung von Namen in Remote-Referenzen
- Name = URL, bestehend aus Registry-Host[:Port] und Objektnamen
- Spezielle Klasse `java.rmi.Naming` für transparenten Zugriff auf Nameserver
  - Server meldet Objekt bei seiner Registry an
    - `void Naming.bind(String name, Remote obj)`
    - `void Naming.rebind(String name, Remote obj)`
  - Client bekommt Referenz von Registry
    - `Remote Naming.lookup(String name)`

Alternative

- Ein Objekt erhält Remote-Referenz als Parameter oder als Ergebnis eines Methodenaufrufs

Methodenaufruf



Klassische Stub-/Skeleton-Technik

- Stub-Klasse wird bei Bedarf automatisch vom Server geladen (`RMIClassLoader`)
- Ausführungssemantik: „at most once“
  - bei Fehler wird `RemoteException` ausgelöst

Parameterübergabe

Parameterübergabesemantik bei lokalen Aufrufen

- **Call-By-Value** für Nicht-Objekttypen (z.B. Integer)
- **Call-By-Object-Reference** für Standard-Java-Objekte, lokale und enfernte RMI-Objekte
- entfernte RMI-Objekte
  - Referenz auf Stubobjekt wird übergeben
  - Client verwendet Stubobjekt wie lokales Objekt

Parameterübergabe

Parameterübergabesemantik bei entfernten Aufrufen

- Marshalling der Parameter
  - Parameter werden serialisiert (Java Serialization)
  - Erzeugung eines Bytestroms aus den Parametern
  - Übertragung des Bytestroms
  - Regenerierung der Datentypen und Java-Objekte aus Bytestrom
- **Call-By-Value** für Nicht-Objekttypen (z.B. Integer)
  - Datentypen werden kopiert
- serialisierbare Java-Objekte und lokale, nicht-exportierte RMI-Objekte
  - Serialisierung führt zu vollständiger Kopie eines Objekts und seiner untergeordneten Objekte
  - evtl. große transitive Hülle zu übertragender Daten aber Erhaltung der Objektstruktur über alle Parameter
  - **Call-By-Copy** Semantik

Parameterübergabe

Parameterübergabesemantik bei entfernten Aufrufen (fortges.)

- nicht-serialisierbare Java-Objekte
  - nicht übertragbar: `MarshalException`
- lokale, exportierte RMI-Objekte
  - Einfügung eines geeigneten Stubobjekts in den Bytestrom
  - Regenerierung des Stubobjekts auf der Empfängerseite
  - **Call-By-Object-Reference** Semantik für lokale RMI-Objekte
- entfernte, exportierte RMI-Objekte
  - Einfügung des vorhandenen Stubobjekts in den Bytestrom
  - **Call-By-Object-Reference** Semantik für entfernte RMI-Objekte

Programmiermodell

Erweiterung des Java-Programmiermodells

- Wesentliche Änderungen gegenüber Java
  - Interface obligatorisch
  - Exception-Handling obligatorisch
- veränderte Parameterbergabesemantik bei übergebenen Nicht-RMI-Objekten
  - Zugriffstransparenz verletzt
- Verändertes locking z.B. keine Erkennung von doppelten Object-Locks
  - Deadlock beim Wiedereintritt in das selbe RMI-Objekt

Programmiermodell

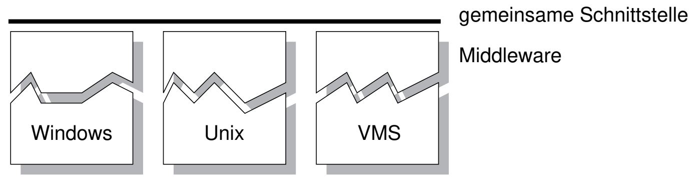
Bewahrte Konzepte aus dem Java-Programmiermodell

- Objekte
  - Methodenaufrufe syntaktisch gleich
- Parameterübergabesemantik für übergebene RMI-Objekte und Nicht-Objekte (primitive Datentypen wie Integer)
- Typisierung
  - volle Typisierung im verteilten Fall
  - (dynamische) Type-Casts auch für RMI-Objekte möglich
    - Stubobjekte besitzen alle Methoden des Originals
- Garbage Collection
  - transparente Speicherbereinigung
  - verteiltes Verfahren zur Speicherbereinigung basierend auf Leases

Resumee

- einfacher, speziell auf Java abgestimmter Fernaufrufmechanismus
- durch dynamisches Laden von Code hohe Flexibilität
- implizite, nicht-orthogonale Interaktion (durch Remote-Referenzen)
- Verteilung nicht transparent

Middleware für verteiltes Programmieren



Middleware – Software zwischen Betriebssystem und Anwendung

- Bereitstellung von Diensten für verteilte Anwendungen
- gesucht: Middleware für verteiltes objektorientiertes Programmieren
- Beispiel: CORBA – Common Object Request Broker Architecture Standard der OMG