

Verteilte Systeme – Übung

Fernaufwurfsemantiken

Sommersemester 2024

Harald Böhm, Laura Lawniczak, Tobias Distler

Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg
Lehrstuhl für Informatik 4 (Systemsoftware)

<https://sys.cs.fau.de>



Lehrstuhl für Informatik 4
Systemsoftware



Friedrich-Alexander-Universität
Technische Fakultät

Übungsaufgabe 3

Fernaufwurfsemantiken

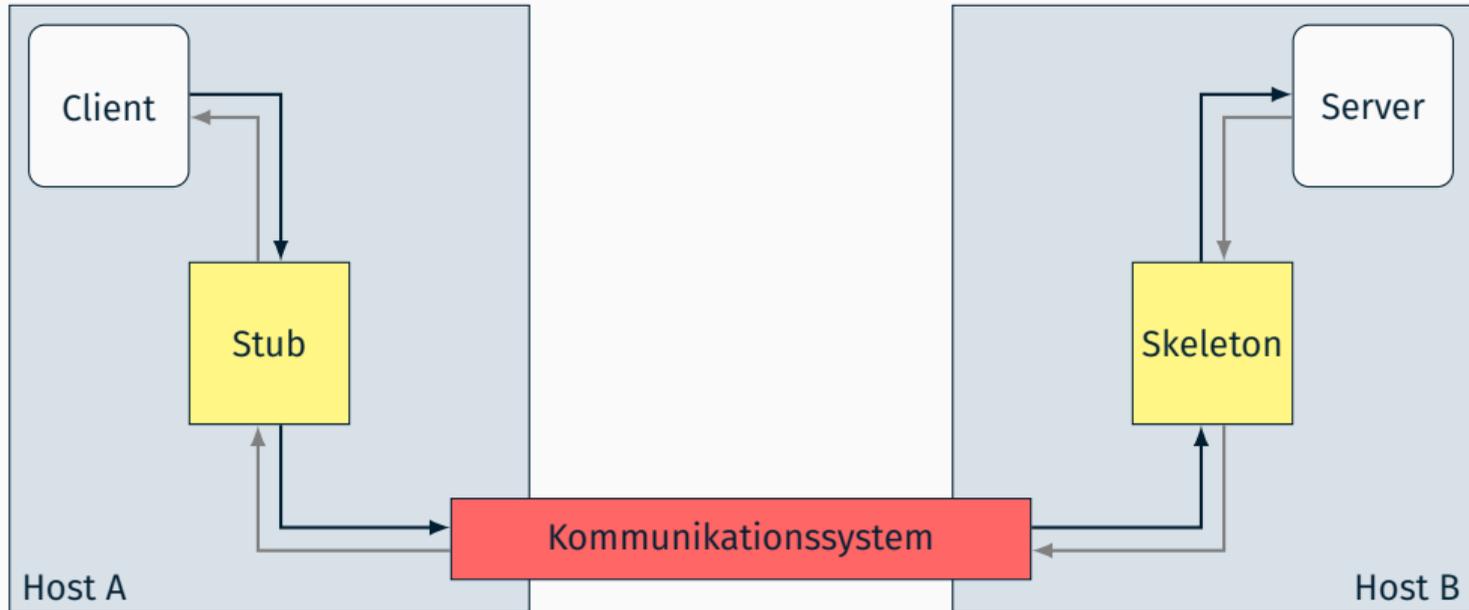
Fehler bei Fernaufrufen

Fehlertolerante Fernaufrufe

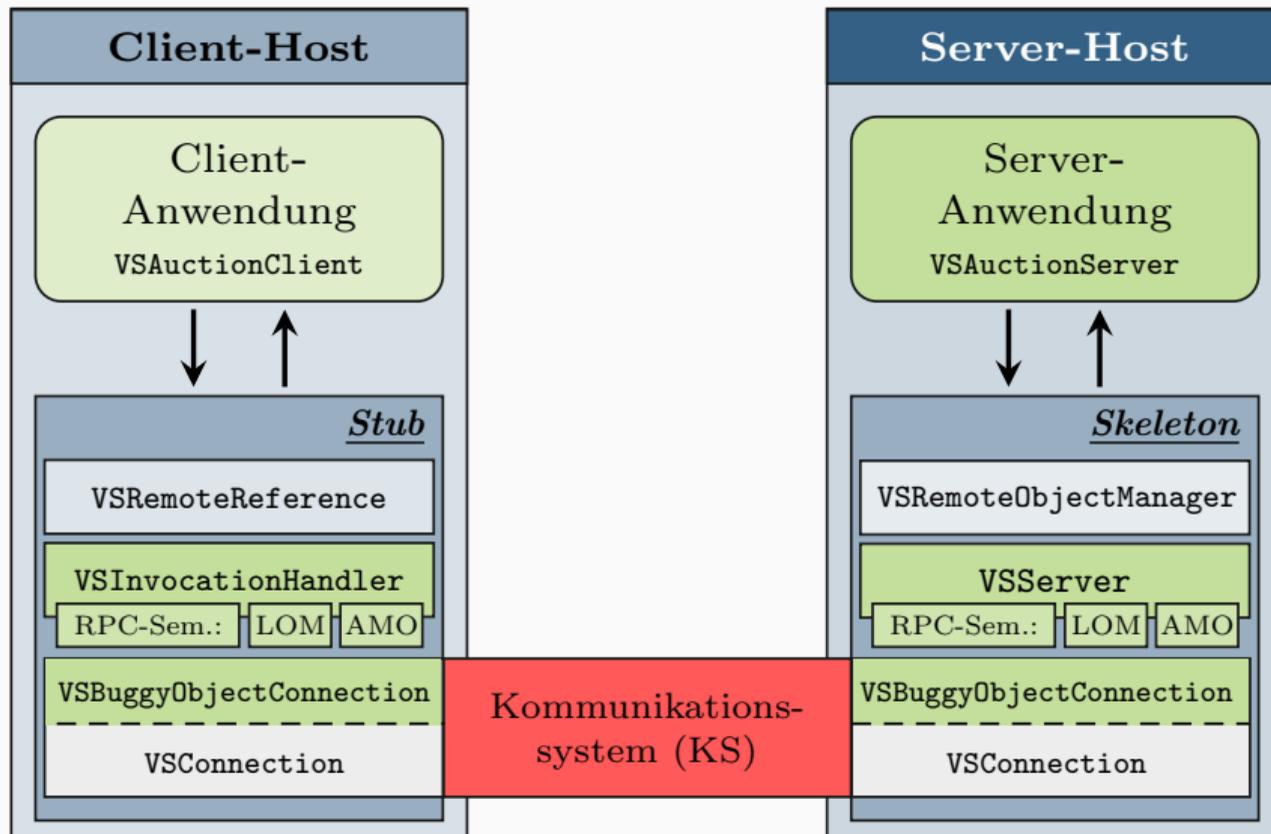
Übungsaufgabe 3

Übungsaufgabe 3

- Bereitstellung von Fehlertoleranzmechanismen
- Simulation von Kommunikationsfehlern



Übungsaufgabe 3



- *Last-of-Many*
 - Fernaufruf-IDs
 - Sequenznummern
 - Timeouts
- *At-Most-Once*
 - Einmalige Ausführung
 - Speicherung der Ergebnisse
 - Garbage-Collection für Ergebnisse
- Auswahl der Fernaufrufsemantik
 - Methodenspezifische Festlegung
 - Annotierung der Anwendungsschnittstelle bei der Entwicklung
 - `@VSRPCSemantic(VSRPCSemanticType.LAST_OF_MANY)` bzw.
 - `@VSRPCSemantic(VSRPCSemanticType.AT_MOST_ONCE)`
 - Analyse der Annotation durch das Fernaufrufsystem zur Laufzeit

- Annotationen: Bereitstellung von Metadaten im Quelltext
- Beispiel: Kennzeichnung von schreibenden bzw. lesenden Methoden
 - Hilfs-enum zur Typunterscheidung

```
public enum VSMethodType {  
    READ_ACCESS, WRITE_ACCESS  
}
```

- Definition der Annotation mittels `@interface` in `VSAnotation.java`

```
@Retention(RetentionPolicy.RUNTIME)  
public @interface VSAnotation {  
    VSMethodType value();  
}
```

- `@Retention`-Annotation: Sichtbarkeit von `VSAnotation` zur Laufzeit
- Spezifizierung des Rückgabetyps der Standardmethode `value()`

- Einsatz der Annotation

```
@VSAnotation(VSMethodType.WRITE_ACCESS)
```

[Hinweis: Sollte der Methodename von „value()“ abweichen, muss beim Einsatz der Annotation der Methodename explizit angegeben werden.
Beispiel: `foo()` → `@VSAnotation(foo = VSMethodType.WRITE_ACCESS)`]

- Beispiel: Schnittstelle eines Speichers für Schlüssel-Wert-Paare

```
public interface VSKeyValueStore {
    @VSAnnotation(VSMethodType.WRITE_ACCESS)
    public void put(String key, String value);

    @VSAnnotation(VSMethodType.READ_ACCESS)
    public String get(String key);
}
```

- Analyse der Schnittstelle `VSKeyValueStore`

- Zugriff auf Annotation mittels `Method.getAnnotation()`

```
for(Method method: VSKeyValueStore.class.getMethods()) {
    VSAnnotation annotation = method.getAnnotation(VSAnnotation.class);
    VSMethodType type = annotation.value();
    System.out.println(method.getName() + " : " + type);
}
```

- Ausgabe

```
get: READ_ACCESS
put: WRITE_ACCESS
```

- Simulation von Kommunikationsfehlern
 - Nachrichtenverlust durch Verbindungsabbruch
 - Verzögerung einzelner Nachrichten
 - Nicht betrachtet
 - Korruption von Nachrichten
 - Verlust von Teilnachrichten
- Tests
 - Variation der Fehlerintensität
 - Kombination verschiedener Fehlerarten
- Implementierungsvorschlag
 - Fehlerhafte `VSObjectConnection` → `VSBuggyObjectConnection`
 - Überschreiben von
 - `sendObject()` oder
 - `receiveObject()`
 - „Verbindungsabbruch“ durch Schließen der Verbindung per `close()`

- Setzen von Socket-Timeouts mittels `setSoTimeout()`
 - Konfigurierung der Maximaldauer, die ein Leseaufruf am Socket blockiert
 - Leseaufruf kehrt bei Timeout-Ablauf mit `SocketTimeoutException` zurück
- Beispiel

```
// Socket-Timeout setzen
Socket socket = [...];
try {
    socket.setSoTimeout(5000);
} catch(IOException ioe) {
    // Fehlerbehandlung
}

// Leseaufruf starten
try {
    socket.getInputStream().read();
} catch(SocketTimeoutException ste) { // -> "Timeout: Read timed out"
    System.err.println("Timeout:␣" + ste.getMessage());
} catch(IOException ioe) {
    System.err.println("I/Oerror:␣" + ioe);
}
```

Fernaufwurfsemantiken

Fehler bei Fernaufrufen

■ In der Anwendung begründete Fehler

- Fehlersituationen treten bei lokalem Methodenaufruf ebenfalls auf
- Beispiele

- Falsche Eingaben
- Programmierfehler in der Anwendung

[Vergleiche: `VSAuctionException` bei `VSAuctionService.registerAuction()`]

▪ Reaktion des Fernaufrufsystems

- Aus Sicht des Fernaufrufsystems: Reguläres Verhalten
- Keine Fehlerbehandlung im Fernaufrufsystem → Transparente Signalisierung

■ Im Fernaufruf begründete Fehler

- Fehlersituationen sind bei lokalem Methodenaufruf nicht relevant
- Beispiele

- Rechner: Prozess-, Programm-, Rechnerabsturz, Verzögerungen (Überlast)
- Nachrichten: Reihenfolgeänderung, Korruption, Verlust
- Verbindung: Verlangsamung, Abbruch

▪ Reaktion des Fernaufrufsystems

- Fehlerbehandlung im Fernaufrufsystem
- Signalisierung nur bei Scheitern der Fehlerbehandlung

■ Rechnerfehler

▪ Lokaler Methodenaufruf

- Aufrufer und Aufgerufener in gleichem Maße betroffen
- Im Fehlerfall sind beide abgestürzt bzw. langsam

▪ Fernaufruf

- Aufrufer und Aufgerufener können unabhängig ausfallen
- Im Fehlerfall ist eventuell nur einer betroffen

■ Kommunikationsfehler

▪ Lokaler Methodenaufruf

- Keine Netzwerkkommunikation
- Fehlerart nicht relevant

▪ Fernaufruf

- Temporäre oder sogar dauerhafte Fehler möglich
- Nicht alle Fehler lassen sich im Fernaufrufsystem tolerieren

⇒ **Komplexeres Fehlermodell macht vollständig transparente Fernaufrufe unmöglich!**

- Fehlertolerierung
 - Einsatz von Fernaufrufsemantiken
 - Problem: Nicht alle Fehler lassen sich tolerieren
- Fehlersignalisierung
 - **Verletzung der Transparenzeigenschaften**
 - Benachrichtigung an den Benutzer des Fernaufrufsystems
 - Benutzer des Fernaufrufsystems muss darauf vorbereitet sein
 - Umsetzung in Java RMI mittels `java.rmi.RemoteException`
 - Muss von jeder Methode einer Remote-Schnittstelle geworfen werden
 - Unterklassen von `RemoteException` (Beispiele)

Exception	Beschreibung
<code>ConnectException</code>	Verbindungsaufbau fehlgeschlagen
<code>ServerError</code>	Auspacken der Anfrage, Ausführung der Methode oder Einpacken der Antwort fehlgeschlagen
<code>NoSuchObjectException</code>	Remote-Objekt nicht (mehr) verfügbar
<code>UnknownHostException</code>	Remote-Host nicht bekannt

- Probleme
 - Keine definitive Fehlererkennung (Liegt überhaupt ein Fehler vor?)
 - Keine exakte Fehlerlokalisierung (Wo liegt der Fehler?)
- Beispielszenario: Ein Client erhält keine Antwort auf seine Anfrage
 - Mögliche Gründe
 - Anfrage ging verloren
 - Antwort ging verloren
 - Server ausgefallen
 - Server überlastet
 - Netzwerk überlastet
 - ...
 - Konsequenz: Mindestens einer der beiden Fernaufruf-Teilnehmer kann nicht erkennen, ob (und wenn ja, wo) ein Fehler vorliegt

⇒ **Eine präzise Fehlererkennung ist in verteilten Systemen im Allgemeinen nicht möglich!**

Fernaufrufsemantiken

Fehlertolerante Fernaufrufe

- Ansatzpunkt
 - Tolerierung von Kommunikationsfehlern
 - Wiederanlaufen nach Rechnerausfällen erfordert zusätzliche Mechanismen
- Semantiken
 - Maybe
 - At-Least-Once
 - At-Most-Once
 - Last-of-Many
- Unterschiede
 - Mehrmaliges Senden von Anfragen
 - Aktualität der Antworten
 - Anzahl der Ausführungen
 - Idempotente Operationen?
 - Duplikaterkennung?
 - Antwortspeicherung → Wie lange wird eine Antwort aufgehoben?

■ At-Least-Once

- Funktionsweise
 - Client wiederholt Anfrage, falls Antwort ausbleibt
 - Client akzeptiert die erste Antwort, die ihn erreicht
- Eigenschaften
 - Client verwendet eventuell veraltete Antwort
 - Anfragen werden eventuell mehrfach ausgeführt

■ At-Most-Once

- Funktionsweise
 - Client wiederholt Anfrage, falls Antwort ausbleibt
 - Server speichert Antwort
 - Server sendet bei Anfragewiederholungen gespeicherte Antwort
- Eigenschaften
 - Anfragen werden höchstens einmal ausgeführt
 - Speichern von Antworten erforderlich

- Last-of-Many
 - Funktionsweise
 - Client wiederholt Anfrage, falls Antwort ausbleibt
 - Client akzeptiert nur Antwort auf seine aktuellste Anfrage
 - Eigenschaften
 - Keine Antwortspeicherung nötig
 - Anfragen werden eventuell mehrfach ausgeführt

- Implementierung der Semantiken
 - Allgemein: Fernaufruf muss eindeutig identifizierbar sein
 - Client
 - Remote-Objekt
 - Remote-Methode
 - Aufrufzähler
 - Zusätzlich bei LOM: Eindeutige Identifizierung jeder Fernaufrufnachricht
 - Anfragezähler
 - Zuordnung: Antwort zu Anfrage

■ Idempotente Funktionen (Mathematik)

▪ Definition

$$f(x) = f(f(x))$$

▪ Beispiele: Operationen auf Mengen

- Konstante Funktion
- Hinzufügen eines bestimmten Elements
- Entfernen eines bestimmten Elements

$$f(S) = \{c\}$$

$$f(S) = S \cup \{c\}$$

$$f(S) = S \setminus \{c\}$$

■ Idempotente Operationen (Informatik)

▪ Charakteristika mehrfacher Ausführungen

- Identische Anwendungszustände
- (*Identische Rückgabewerte*)

▪ Beispiele

- Leseoperationen
- Zustandsmodifikation durch Setzen neuer Daten

▪ Triviale Kombination idempotenter Operationen nicht immer idempotent

- Problem
 - Server stellt eigene Ressourcen für Fernaufrufe bereit (→ Antwort-Cache)
 - Mit jedem neuen Fernaufruf werden zusätzliche Ressourcen belegt
 - Wann können die gespeicherten Antworten verworfen werden?
- Lösungsansätze (Kombinationen möglich bzw. nötig)
 - Explizit
 - Benachrichtigung durch Client oder Nachfrage vom Server
 - **Problem: Nicht alle Clients können oder wollen sich daran halten**
 - Implizit
 - Bei neuem Fernaufruf eines Clients wird die alte Antwort gelöscht
 - **Problem: Letzter Fernaufruf eines Clients**
 - Timeout
 - Antwortlöschung nach Ablauf eines fernaufrufspezifischen Timeout
 - **Als Rückfallposition immer nötig**
- Herausforderung: Aufrechterhaltung der Semantikgarantien