Verteilte Systeme – Übung

Tobias Distler, Michael Gernoth

Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg
Lehrstuhl Informatik 4 (Verteilte Systeme und Betriebssysteme)
www4.informatik.uni-erlangen.de

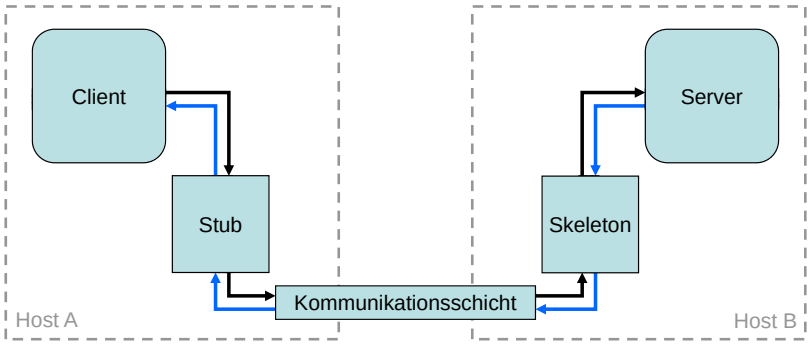
Sommersemester 2010

Überblick

RPC-Semantiken
Fehler bei Fernaufrufen
Fehlertolerante Fernaufrufe
Übungsaufgabe 5

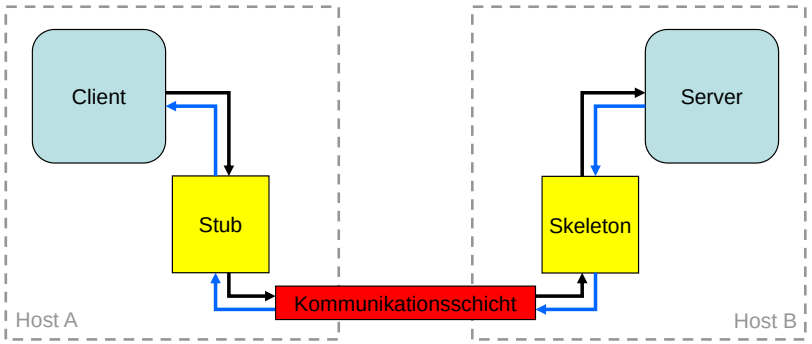
VS-Übung

- Entwicklung eines eigenen Fernaufrufsystems
- Orientierung an Java-RMI



Übungsaufgabe 5

- Bereitstellung von Fehlertoleranzmechanismen
- Simulation von Kommunikationsfehlern



RPC-Semantiken
Fehler bei Fernaufrufen
Fehlertolerante Fernaufrufe
Übungsaufgabe 5

Fehlerquellen

Was kann da schon schief gehen?

- Anwendung (siehe Tafelübung zu Aufgabe 4)
  - Beispiele
    - Falsche Eingaben
    - Programmierfehler in der Anwendung
    - ...
  - Keine im Fernaufruf begründeten Fehler
  - Transparente Signalisierung

→ Aus Sicht des Fernaufrufsystems: ,,reguläres Verhalten"

→ Keine Fehlerbehandlung im Fernaufrufsystem

Fehlerquellen

Was kann da schon schief gehen?

- Rechner (Client und/oder Server)
  - Prozess-, Programm-, Rechnerabsturz
  - Verzögerungen (z. B. aufgrund von Überlast)
- Kommunikation
  - Nachrichten (Anfrage und/oder Antwort)
    - -reihenfolgeänderung
    - -korrumpierung
    - -vervielfachung
    - -verlust
  - Verbindungs
    - -verlangsamung
    - -abbruch

→ Im Fernaufruf begründete Fehler bzw. Ausnahmesituationen

→ Fehlerbehandlung im Fernaufrufsystem

Einordnung

- Rechnerfehler
  - Lokaler Methodenaufruf
    - Aufrufer und Aufgerufener in gleichem Maße betroffen
    - Im Fehlerfall sind beide weg 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

Konsequenz

Das komplexere Fehlermodell macht es unmöglich Fernaufrufe vollständig transparent zu realisieren!

Fehlerbehandlung auf Fernaufrufsystemebene

- Fehlertolerierung
  - Transparente Mechanismen
    - RPC-Semantiken (später mehr)
    - Replikation
    - ...
  - Beliebig komplex
    - Geringer Aufwand → Tolerierung von wenigen (oder nur bestimmten) Fehlern
    - Hoher Aufwand → Tolerierung von vielen Fehlern
  - Trotzdem: Nicht alle Fehler lassen sich tolerieren
- Fehlersignalisierung
  - Benachrichtigung an den Benutzer des Fernaufrufsystems
  - Notwendig wenn Fehler nicht toleriert werden konnten
  - Benutzer des Fernaufrufsystems muss darauf vorbereitet sein
  - Verletzung der Transparenzeigenschaften

Signalisierung von Fernaufruffehlern in Java-RMI

Exception-Klasse `java.rmi.RemoteException`

- Allgemein
  - Oberklasse für alle Fernaufruf-Ausnahmesituationen
  - Muss von jeder Methode einer `Remote`-Schnittstelle geworfen werden → Verletzung der Zugriffstransparenz
  - Beispiel

```
public interface RemoteInterface extends Remote {
    public void foo() throws RemoteException;
}
```

- Unterklassen
  - `ConnectException`: Verbindungsaufbau fehlgeschlagen
  - `NoSuchObjectException`: Remote-Objekt nicht (mehr) verfügbar
  - `ServerError`: Auspacken der Anfrage, Ausführung der Methode oder Einpacken der Antwort fehlgeschlagen
  - `UnknownHostException`: Remote-Host nicht bekannt
  - ...

Fehlererkennung bei Fernaufrufen

- Probleme
  - Keine definitive Fehlererkennung (Liegt überhaupt ein Fehler vor?)
  - Keine exakte Fehlerlokalisierung (Wo liegt der Fehler?)
- Beispiel
  - Szenario: 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!

RPC-Semantiken
Fehler bei Fernaufrufen
Fehlertolerante Fernaufrufe
Übungsaufgabe 5

Was beinhaltet Fehlertoleranz für Fernaufrufe?

- Probleme
  - Unpräzise Fehlererkennung kann zu inkonsistenten Sichtweisen führen, z. B. bei einer verlorenen Antwortnachricht:
    - Client geht von einem Fehler aus, da er keine Antwort erhalten hat
    - Server befindet sich im Normalzustand, da er die Antwort gesendet hat
  - Wiederherstellung einer konsistenten Sichtweise erfordert weitere Kommunikation zwischen Client und Server
    - Diese Nachrichten können ebenfalls Fehlern unterliegen
    - Erneutes Senden und Ausführen einer Anfrage kann zu unerwünschten Zuständen führen
- Allgemeine Hilfsmittel
  - Duplikaterkennung
  - Idempotente Operationen
  - Rollbacks (→ Transaktionen)
  - ...

Kombinierter Ansatz

- Fehlertolerantes Kommunikationsprotokoll
  - Beispiel: TCP (statt UDP)
  - Tolerierung von Nachrichten
    - -reihenfolgeänderung
    - -korrumpierung
    - -vervielfachung
    - -verlust
- Aufrufsemantiken
  - Wiederherstellung konsistenter Sichtweisen von Client und Server
  - Tolerierung von Verzögerungen (Rechner und/oder Netzwerk)
- Hinweise
  - Alle durch das Kommunikationsprotokoll tolerierte Fehler sind ersatzweise durch eine entsprechende Aufrufsemantik tolerierbar
  - Die optimale Kombination von Kommunikationsprotokoll und Aufrufsemantik hängt vom Einzelfall ab

RPC-Semantiken

- Bemerkung
  - Im Folgenden wird die Tolerierung von **Kommunikationsfehlern** betrachtet, Rechnerausfälle werden ausgeklammert
  - Die Tolerierung von Rechneraufällen erfordert Mechanismen zum Wiederanlaufen (z. B. Zustandswiederherstellung)
- Aus der Vorlesung bekannt
  - Maybe
  - At-Least-Once
  - At-Most-Once
  - Last-Of-Many
- Unterschiede
  - Mehrmaliges Senden von Anfragen
  - Aktualität der Antworten
  - Anzahl der Ausführungen → *Idempotente Operationen*?
  - Antwortspeicherung → Wie lange wird eine Antwort aufgehoben?

Idempotenz

- Idempotente Funktionen (Mathematik)
  - Definition
    $$f(x) = f(f(x))$$
  - Beispiele
    - $f(x) = c$ (konstante Funktion)
    - $f(x) = x \cdot 1$ (Multiplikation mit 1)
    - $f(x) = \frac{x}{1}$ (Division durch 1)
- Idempotente Operationen (Informatik)
  - Eigenschaften
    - Mehrfache Ausführung erzeugt stets den selben Rückgabewert
    - Mehrfache Ausführung hinterlässt die Anwendung auf dem Server in stets dem selben Zustand
  - Bankautomat-Beispiel
    - Verwendung absoluter Beträge
    - Achtung: nicht-triviale Implementierung, da zusätzliche Synchronisation und/oder Ausnahmebehandlung nötig

Antwortspeicherung

- (Wiederkehrendes) Problem
  - Server stellt eigene Ressourcen (Antwort-Cache) für (fehlertolerante) Fernaufrufe von Clients bereit
  - Mit jedem neuen Fernaufruf werden zusätzliche Ressourcen belegt
  - → Wann können diese Ressourcen freigegeben, d. h. gespeicherte 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 Client wird die alte Antwort gelöscht
    - Problem: Letzter Fernaufruf eines Client
  - Timeout
    - Antwortlöschung nach Ablauf eines fernaufrufspezifischen Timeout
    - Als Rückfallposition immer nötig

At-{Least,Most}-Once

- At-Least-Once (z. B. SUN-RPC)
  - Funktionsweise
    - Client wiederholt Anfrage, falls Antwort ausbleibt
    - Client akzeptiert die erste Antwort, die ihn erreicht
  - Eigenschaften
    - Anfragen werden evtl. mehrfach ausgeführt
    - Client verwendet evtl. veraltete Antwort
- At-Most-Once (z. B. Java-RMI)
  - Funktionsweise
    - Client wiederholt Anfrage, falls Antwort ausbleibt
    - Server speichert Antworten
    - Server sendet bei Anfragewiederholungen gespeicherte Antworten
  - 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
- Implementierung
  - Fernaufruf muss eindeutig identifizierbar sein
    - Client
    - Remote-Objekt
    - Remote-Methode
    - Aufrufzähler
  - Jede Fernaufrufnachricht muss eindeutig identifizierbar sein
    - Anfragezähler
    - Zuordnung: Antwort zu Anfrage
- Eigenschaften
  - Keine Antwortspeicherung nötig
  - Anfragen werden evtl. mehrfach ausgeführt

Ein paar Worte zu *Exactly-Once* im lokalen Fall...

- Ideale Semantik: Beschreibt den lokalen, fehlerfreien Fall
  - Aufrufer tätigt *genau einen* Aufruf
  - *Genau eine* Methodenausführung
  - Aufgerufener liefert *genau eine* Antwort
- Entscheidende Fragestellung bei Rechnerausfall

  Wurde die Methode vor dem Rechnerausfall noch ausgeführt?
- Idee: Ausführungs-Log (nur 1. & 2. ⇝ At-Most-Once, nur 2. & 3. ⇝ At-Least-Once)
  1. Vor Ausführung: Anfrage in Log schreiben
  2. Methodenausführung
  3. Nach Ausführung: Ausführungsbestätigung in Log schreiben

  → Reicht nicht aus, da Rechnerausfall zwischen 1. und 2., während 2. oder zwischen 2. und 3. stattgefunden haben könnte

→ Die Realisierung von *Exactly-Once* ist (bereits) im lokalen (Fehler-)Fall nicht trivial!

Ein paar Worte zu *Exactly-Once* im lokalen Fall...

Abhilfe: Transaktionale Systeme

- Funktionsweise
  - Jede Operation ist eine Transaktion
  - Transaktion muss explizit oder implizit gestartet (`start`) werden
  - Transaktion muss explizit abgeschlossen (`commit`) werden
  - Falls Transaktion abbricht: `rollback`
- Semantik
  - Annäherung an *Exactly-Once* → *Last-One*-Semantik
  - Achtung: Für seiteneffektfreie Operationen manchmal auch als *Exactly-Once* bezeichnet

→ Je nach Betrachtungsweise erlauben Transaktionen die Implementierung von *Exactly-Once* (oder auch nicht)

Ein paar Worte zu *Exactly-Once* im verteilten Fall...

- Zusätzliches Problem
  - Annahme: *Exactly-Once*/*Last-One* am Server implementiert
  - Trotzdem: Unschärfe am Client
    - Solange der Client-Stub keine Bestätigung vom Server hat, dass die Operation erfolgreich ausgeführt wurde, kann er seinem Aufrufer kein OK geben
    - Diese Bestätigung kommt vielleicht nie... (→ Netzwerkpartition)
- Konsequenz
  - Permanente Kommunikationsfehler → Weder *Exactly-Once* noch *Last-One* lassen sich in verteilten Systemen realisieren
  - Temporäre Kommunikationsfehler → Kommunikationsfehler lassen sich durch entsprechende RPC-Semantiken tolerieren, *Exactly-Once*/*Last-One* analog zum lokalen Fall realisierbar

⇒ Ob die Implementierung von *Exactly-Once* möglich ist, hängt sowohl im lokalen als auch im verteilten Fall von der (leider nicht einheitlichen) Definition ab!

RPC-Semantiken
Fehler bei Fernaufrufen
Fehlertolerante Fernaufrufe
Übungsaufgabe 5

Implementierung der RPC-Semantiken

- *Last-of-Many*
  - Fernaufruf-IDs
  - Sequenznummern
  - Timeouts
- *At-Most-Once*
  - Antwort-Cache
  - Erweiterte Synchronisierung
- Hinweis

  Die zum Einsatz kommende RPC-Semantik
  - *Maybe*
  - *Last-of-Many*
  - *At-Most-Once*

  soll konfigurierbar sein!

Mögliche Timeout-Behandlung in Java — `java.util.Timer`

Klasse `java.util.Timer`

- Allgemein
  - Einfacher Scheduler
  - Unterstützung ein- sowie mehrmaliger Task-Ausführung
  - Task-Objekte: Instanzen von `TimerTask`-Unterklassen
- Methoden
  - Einmalig auszuführenden Task (→ Timeout-Handler) aufsetzen

    ```
    void schedule(TimerTask task, long delay)
    ```
  - Timer beenden

    ```
    void cancel()
    ```
  - ...

Mögliche Timeout-Behandlung in Java — `java.util.TimerTask`

Klasse `java.util.TimerTask`

- Allgemein
  - Basisklasse für von `Timer` eingeplante Tasks
  - Auszuführenden Task-Code in Unterklassen implementieren
- Methoden
  - Task ausführen (→ Timeout behandeln)

    ```
    abstract void run()
    ```
  - Task abbrechen (→ Timeout deaktivieren)

    ```
    boolean cancel()
    ```
  - ...

Mögliche Timeout-Behandlung in Java — Beispiel

```
public class TimerExample {
    public static void main(String[] args) {
        Timer timer = new Timer();
        TimerTask handler = new TimeoutHandler();

        // Timeout auf 5 Sekunden setzen
        timer.schedule(handler, 5000);

        // Zu ueberwachenden Code ausfuehren
        [...]

        // Timeout deaktivieren
        handler.cancel();
    }
}

class TimeoutHandler extends TimerTask {
    public void run() {
        System.err.println("ALARM!");
    }
}
```


Sabotage des Kommunikationssystems

- Simulation von Kommunikationsfehlern
  - Verlust von Nachrichten
  - Verzögerung einzelner Nachrichten
  - Vervielfachung von Nachrichten
- Tests
  - Variation der Fehlerintensität
  - Kombination verschiedener Fehlerarten
- Mögliche Implementierung
  - Fehlerhafte `VSConnection` → `VSBuggyConnection`
  - Überschreiben von
    - `sendMessage(VSMessage msg)` oder
    - `receiveMessage()`