Überblick

Replikation
- Grundlagen der Replikation
- JGroups
- Übungsaufgabe 4

Replikation

- Varianten
  - Aktive Replikation („Hot Standby“)
    - Alle Replikate bearbeiten alle Anfragen
    - Vorteil: Schnelles Tolerieren von Ausfällen möglich
    - Nachteil: Vergleichsweise hoher Ressourcenverbrauch
  - Passive Replikation
    - Ein Replikat bearbeitet alle Anfragen
    - Aktualisierung der anderen Replikate erfolgt über Sicherungspunkte
    - Unterscheidung: „Warm Standby“ vs. „Cold Standby“
    - Vorteil: Minimierung des Aufwands im fehlerfreien Fall
    - Nachteil: Im Fehlerfall schlechtere Reaktionszeit als bei aktiver Replikation
- Replikationstransparenz
  - Nutzer auf Client-Seite merkt nicht, dass der Dienst repliziert ist
  - Replikatausfälle werden dem Nutzer verborgen

Referenzierung von Diensten

- Nichtreplizierter Fall
  - Remote-Referenz auf einzelnen Rechner bzw. einzelnes Objekt
  - Beispiel aus den Übungsaufgaben

```
public class VSRemoteReference {
    private String host;
    private int port;
    private int objectID;
}
```

- Replizierter Fall
  - Gruppenreferenz auf Replikatgruppe [Vergleiche: IOGR in FT-CORBA]
  - Beispiel aus Übungsaufgabe 4

```
public class VSRemoteGroupReference {
    private VSRemoteReference[] references;
}
```

  - Ausfallsicherung auf Client-Seite
    - Verbindung zu einem der in der Gruppenreferenz enthaltenen Replikate
    - Im Fehlerfall: Wechsel zu einem anderen Replikat

Aktive Replikation von Diensten

- Zustandslose Dienste
  - Keine Koordination zwischen Replikaten notwendig
  - Auswahl des ausführenden Replikats z. B. nach Last- oder Ortskriterien
- Zustandsbehaftete Dienste
  - Replikatzustände müssen konsistent gehalten werden
  - Beispiel für inkonsistente Zustände zweier Replikate R_1 und R_2
    - `post()`-Anfragen A_1 („Hallo“) und A_2 („Welt“) von verschiedenen Nutzern
    - Annahme: A_1 erreicht R_1 früher als A_2, bei R_2 ist es umgekehrt

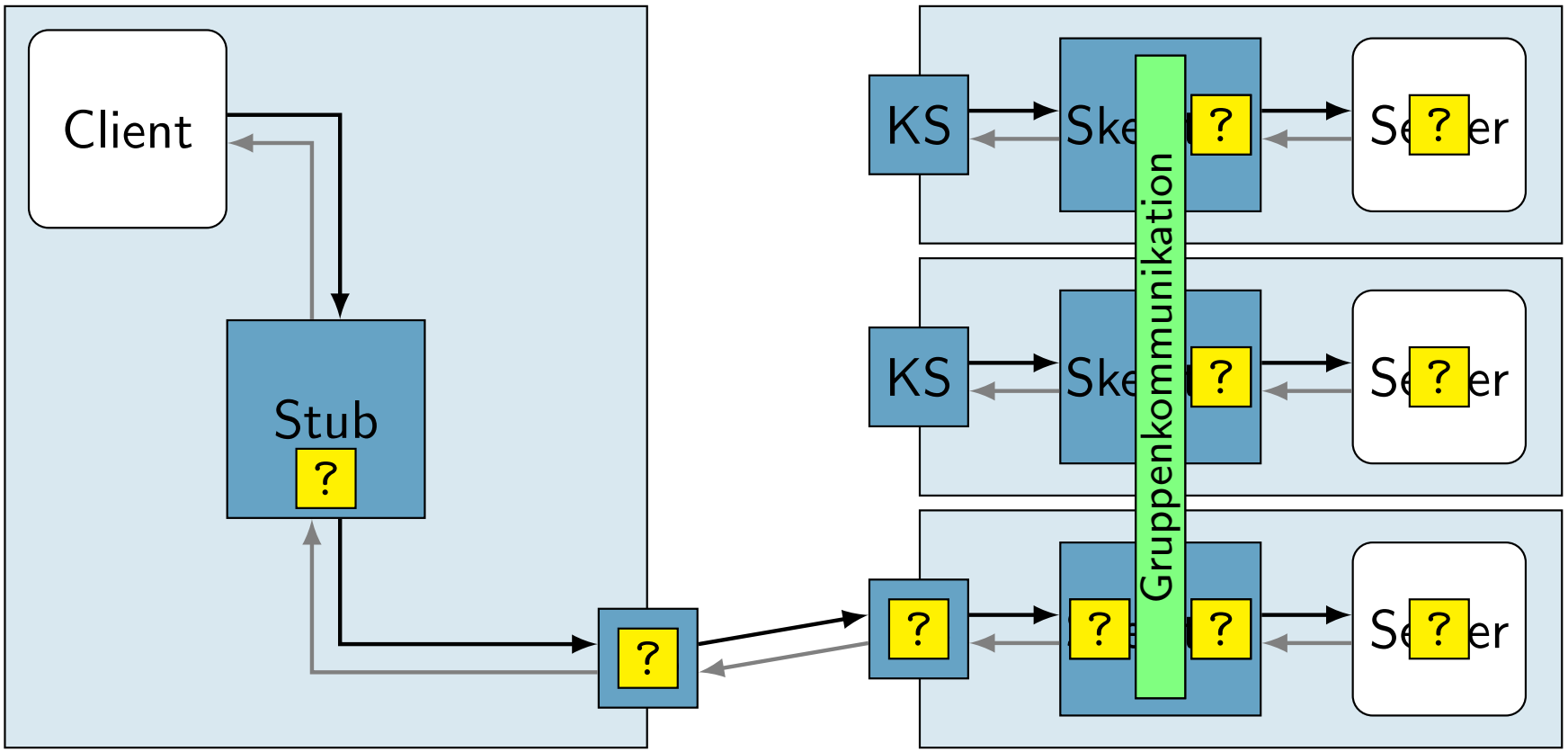
R_1	Schwarzes Brett
$< init >$	[ ]
A_1	[„Hallo“]
A_2	[„Hallo“, „Welt“]

R_2	Schwarzes Brett
$< init >$	[ ]
A_2	[„Welt“]
A_1	[„Welt“, „Hallo“]

  - Sicherstellung der Replikatkonsistenz
    - Alle Replikate müssen Anfragen in derselben Reihenfolge bearbeiten
    - Protokoll/Dienst zur Erstellung einer Anfragenreihenfolge nötig

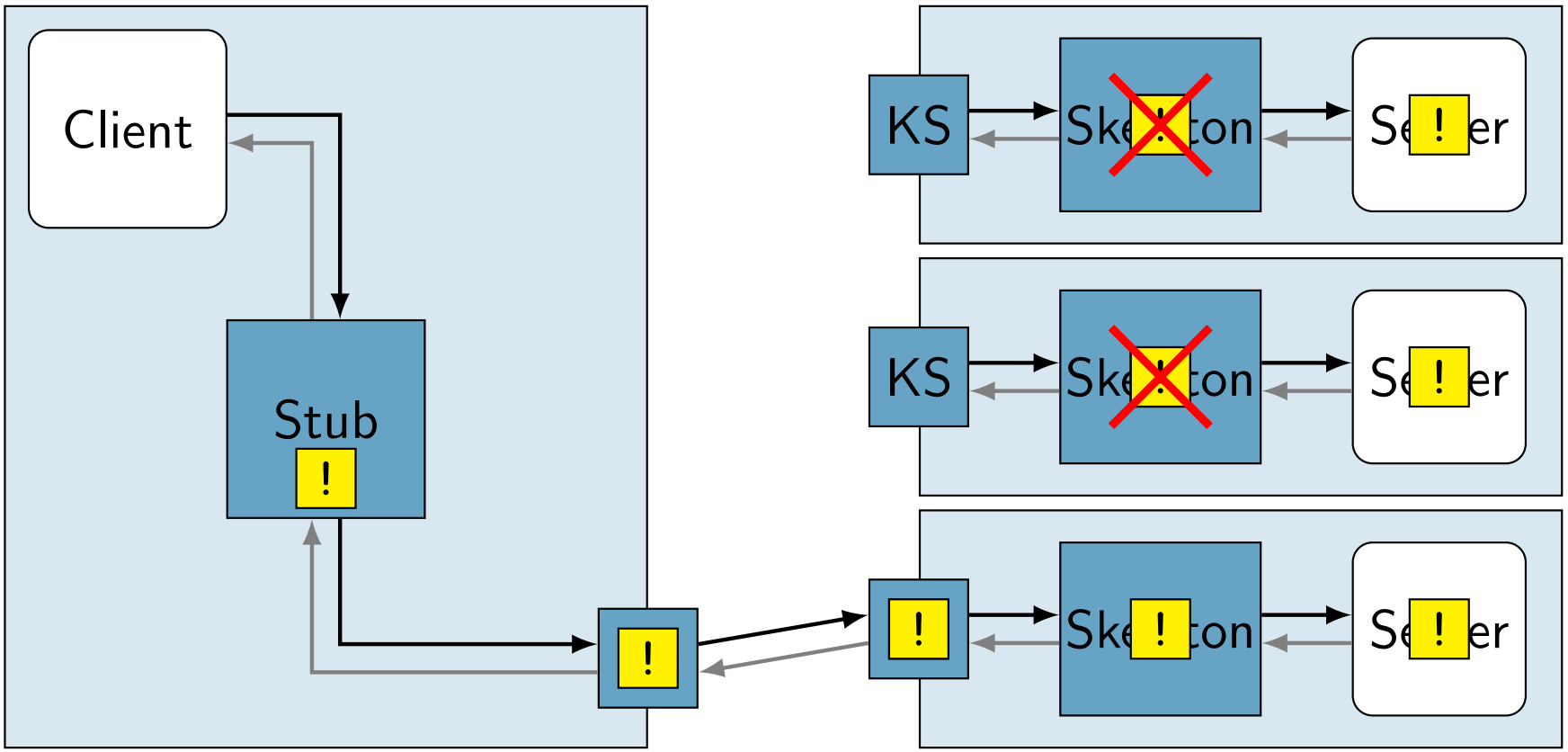
Aktive Replikation von Diensten

- Weg der Anfrage
  - Senden der Anfrage an ein Replikat
  - Verteilen der Anfrage (z. B. durch ein Gruppenkommunikationssystem)
  - Bearbeitung der Anfrage auf allen Replikaten



Aktive Replikation von Diensten

- Weg der Antwort
  - Mit dem Client verbundenes Replikat: Rückgabe der Antwort
  - Alle anderen Replikate: Speichern/Verwerfen der Antwort, abhängig von der Semantik bzw. den Fehlertoleranz-Eigenschaften



Konsistenz von Replikaten

- Voraussetzung für aktive Replikation: Anwendungsreplikate müssen dieselbe *deterministische Zustandsmaschine* realisieren
  - Identische Ausgangszustände
  - Identische Eingaben [→ Anfragen in derselben Reihenfolge.]

  ⇒ Identische Zustandsänderungen

  ⇒ Identische Ausgaben
- Herausforderungen
  - Mehrfädige Programme
    - Zutrittsreihenfolge von kritischen Abschnitten kann unterschiedlich sein
    - Ansatz: Zusätzliche Koordinierung zwischen Replikaten notwendig
  - Nichtdeterministische Systemaufrufe
    - Beispiele: `System.currentTimeMillis()`, `Math.random()`
    - Ansatz: Einigung auf gemeinsamen Wert
  - Seiteneffekte bzw. externalisierte Ereignisse
    - Beispiel: Anwendung greift auf externe Dienste zu [z. B. Rückruf am `VSBoardListener`]
    - Ansatz: Ein Replikat macht Aufruf, Ergebnisweitergabe an die anderen
  - ...

Überblick

Replikation

- Grundlagen der Replikation
- JGroups
- Übungsaufgabe 4

- Bereitstellung von *Virtual Synchrony*
  - Zusammenschluss von Knoten zu Gruppen
  - Senden von Nachrichten an die Gruppe (anstatt an jeden Knoten einzeln)
  - Alle Knoten erhalten jede
    - an die Gruppe versendete Nachricht
    - gruppeninterne Statusmeldung

    in derselben Reihenfolge

  → Alle Knoten einer Gruppe machen (vermeintlich) synchron Fortschritt
- Grundlegende Dienste
  - Membership-Service
  - Total-Ordering-Multicast
  - Zustandstransfer-Mechanismus
- Beispiele
  - **JGroups** [`http://www.jgroups.org/index.html`]
  - Spread
  - ...

Membership-Service

- Problemstellungen
  - Zusammensetzung einer Gruppe kann dynamisch variieren
    - Knoten kommen neu hinzu
    - Knoten verlassen die Gruppe
  - Fehlersituationen
    - Verbindungsabbruch zu einzelnen Knoten
    - Gruppenpartitionierung
- Aufgabe des Membership-Service

  Benachrichtigung aller Gruppenmitglieder über die gegenwärtige Zusammensetzung der Gruppe
- JGroups: Schnittstelle `org.jgroups.MembershipListener`
  - Benachrichtigung über Gruppenänderungen

```
void viewAccepted(View new_view);
```

  - Mitteilung eines Ausfallverdachts

```
void suspect(Address suspected_mbr);
```

View

- Aktuelle Sicht auf die Gruppe

  Liste aller aktiven Gruppenmitglieder
- Problem
  - Keine gemeinsame Zeitbasis
  - Was bedeutet also „aktuell“?
- Lösung
  - Änderung der Gruppenzusammensetzung: Erzeugung einer neuen View
  - Aktuelle Teilnehmer einigen sich auf die neue View

  $\Rightarrow$ Abfolge von Views fungiert als gemeinsame Zeitbasis
- JGroups: Klasse `org.jgroups.View`
  - Ausgabe der Gruppenmitglieder

    ```
    Vector<Address> getMembers();
    ```
  - Ausgabe der Gruppengröße

    ```
    int size();
    ```

Total-Ordering-Multicast

- Problemstellung
  - Clients sollen ihre Anfragen an einen beliebigen Server senden können
  - Alle Server müssen alle Anfragen in derselben Reihenfolge bearbeiten
    - Bewahrung konsistenter Server-Zustände
    - Bereitstellung konsistenter Antworten (z. B. für Fehlertoleranz)
- Total-Ordering-Multicast: Alle aktiven Knoten einer Gruppe bekommen alle Nachrichten in derselben Reihenfolge zugestellt
  - Interne Algorithmen, die
    - jeder Nachricht eine eindeutige Sequenznummer zuweisen → totale Ordnung
    - sicherstellen, dass jeder aktive erreichbare Knoten jede Nachricht erhält
    - dafür sorgen, dass jeder Knoten die Nachrichten in der richtigen Reihenfolge an die Anwendung weiter gibt
  - Hinweis

    Jede Nachricht wird an **alle** Gruppenmitglieder zugestellt; also auch an den Knoten, der die Nachricht ursprünglich gesendet hat

Nachricht

- Klasse `org.jgroups.Message`
  - Kapselung der eigentlichen Nutzdaten
  - Container für Protokoll-Header
  - Konstruktoren

```
Message(Address dst);
Message(Address dst, Address src, Serializable obj);
[...]
```

    - `dst` Zieladresse; falls `null` → alle
    - `src` Ursprungsadresse; falls `null` → durch JGroups ausgefüllt
    - `obj` Nutzdaten als Payload

  - Wichtigste Methoden

```
Object getObject();
Message copy();
```

    - `getObject()` Getter-Methode für Payload
    - `copy()` Erzeugung einer Kopie der Nachricht

Kommunikationskanal

- Klasse `org.jgroups.JChannel`
  - Konstruktoren

```
JChannel()                          // Standardkonfiguration
JChannel(File properties)           // XML-Datei
JChannel(String properties)         // Konfig. als Zeichenkette
```

  - Wichtigste Methoden
    - Verbindungsaufbau zur Gruppe `cluster_name`

```
void connect(String cluster_name);
```

    - Diverse Getter-Methoden

```
Address getLocalAddress()           // Eigene Adresse
String getClusterName()             // Gruppenname
View getView()                      // Aktuelle View
```

    - Nachrichtenversand

```
void send(Message msg)
void send(Address dst, Address src, Serializable obj)
```

      Hinweis: Senden einer Nachricht an alle → `dst = null` setzen

Nachrichtenempfang

- Synchron: am `JChannel`
  - Blockierende Methode (`deprecated`)

```
Object receive(long timeout);
```

  - Beispiel

```
Object object = channel.receive(0); // blockierend
if(object instanceof Message) {
    Message msg = (Message) object;
    [...] // Daten mittels msg.getObject() extrahierern
} else if(object instanceof View) {
    [...] // View behandeln
} else {
    [...] // Ereignis behandeln
}
```

- Asynchron: per `org.jgroups.MessageListener`

```
public interface MessageListener {
    void receive(Message msg);
    [...]
}
```

Kombinierte Listener und Adapter

- Kombinierte Schnittstelle: `org.jgroups.Receiver`

```
public interface Receiver extends MembershipListener,
                                  MessageListener {}
```

- Erweiterte Adapterklasse: `org.jgroups.ExtendedReceiverAdapter`
  - Implementiert (unter anderem) `Receiver`
  - Eigene Receiver-Klasse als Unterklasse von `ExtendedReceiverAdapter`
- Beispiel

```
public class VSReceiver extends ExtendedReceiverAdapter {
    public void receive(Message msg) {
        System.out.println("received message " + msg);
    }

    public void viewAccepted(View newView) {
        System.out.println("received view " + newView);
    }
}
```

- Registrierung am `JChannel`

```
void setReceiver(Receiver r);
```

Zustandstransfer

- Problem
  - Knoten bearbeiten alle Anfragen, um ihre Zustände konsistent zu halten
  - Was ist mit Knoten, die
    - später hinzu kommen, also nicht alle Anfragen kennen
    - mit der Bearbeitung der Anfragen nicht hinterher kommen oder
    - aufgrund eines Fehlers über kaputte Zustandsteile verfügen?
- Lösung: Unterstützung von Zustandstransfers
  - Die Gruppenkommunikation sorgt dafür, dass ein Knoten (z. B. beim Gruppenbeitritt) eine Kopie des aktuellen Zustands erhält
  - Der aktuelle Zustand stammt von einem Knoten aus der Gruppe
- JGroups: zusätzliche Methoden des `MessageListener`
  - Bereitstellung des eigenen Zustands:

```
byte[] getState();
```

  - Setzen des lokalen Zustands auf `state`:

```
void setState(byte[] state);
```

- JGroups: Holen des Zustands eines anderen Replikats (`JChannel`)

```
boolean getState(Address target, long timeout);
```

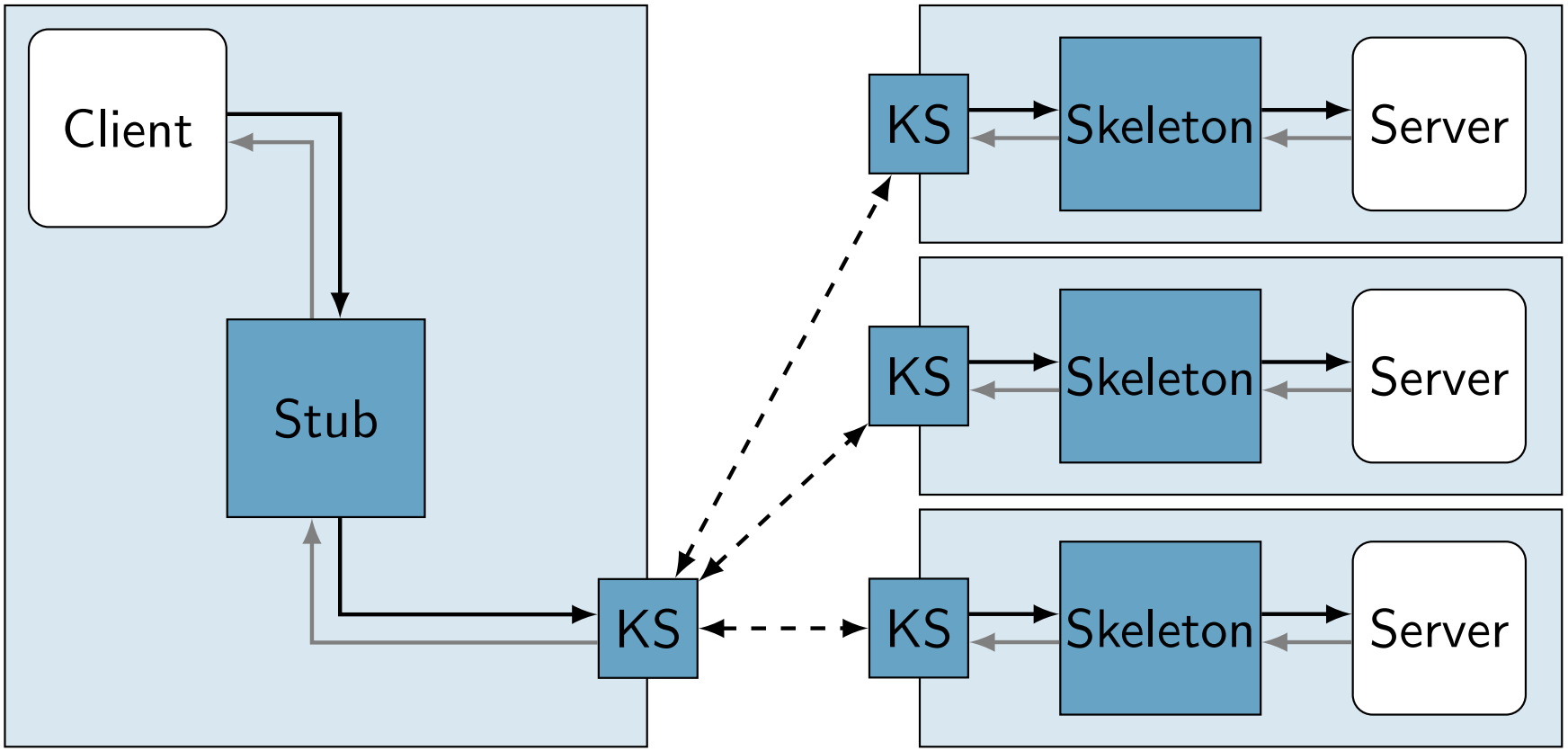
Überblick

Replikation

- Grundlagen der Replikation
- JGroups
- Übungsaufgabe 4

Übungsaufgabe 4

- Replikation des Diensts
- Ausfallsicherung der Client-Seite



Replikation des Diensts

- Aktive Replikation des eigenen Fernaufrufsystems
  - Drei Replikate auf verschiedenen Rechnern
  - Alle Replikate bearbeiten alle Anfragen in derselben Reihenfolge
  - Nur eines der Replikate sendet eine Antwort zum Client
- Replikation mittels JGroups
  - JGroups-Bibliothek im Pub-Verzeichnis (`/proj/i4vs/pub/aufgabe4`)
  - Konfiguration für Total-Ordering-Multicast: Einsatz eines *Sequencer*
    - Zu verteilende Nachrichten werden (intern) an den Sequencer geschickt
    - Sequencer legt Reihenfolge der Nachrichten fest
    - Sequencer verteilt die Nachrichten an alle Replikate

```
// Kanal erstellen
JChannel channel = new JChannel();

// Erweiterung des Standard-Protokoll-Stacks um Sequencer
ProtocolStack protocolStack = channel.getProtocolStack();
protocolStack.addProtocol(new SEQUENCER());

// Receiver registrieren und Verbindung oeffnen
[...]
```

Logging in JGroups

- Konfiguration
  - Granularitätsstufen: `OFF`, `SEVERE`, `WARNING`, `INFO`, `FINE`, `FINER`, `ALL`,...
  - Konfiguration in Datei
  - Programmstart

```
java -Djava.util.logging.config.file=<Datei> <Programm>
```

- Beispiele für Konfigurationsdateien
  - Ausgabe der Log-Meldungen auf der Konsole (Stufe: `FINE`)

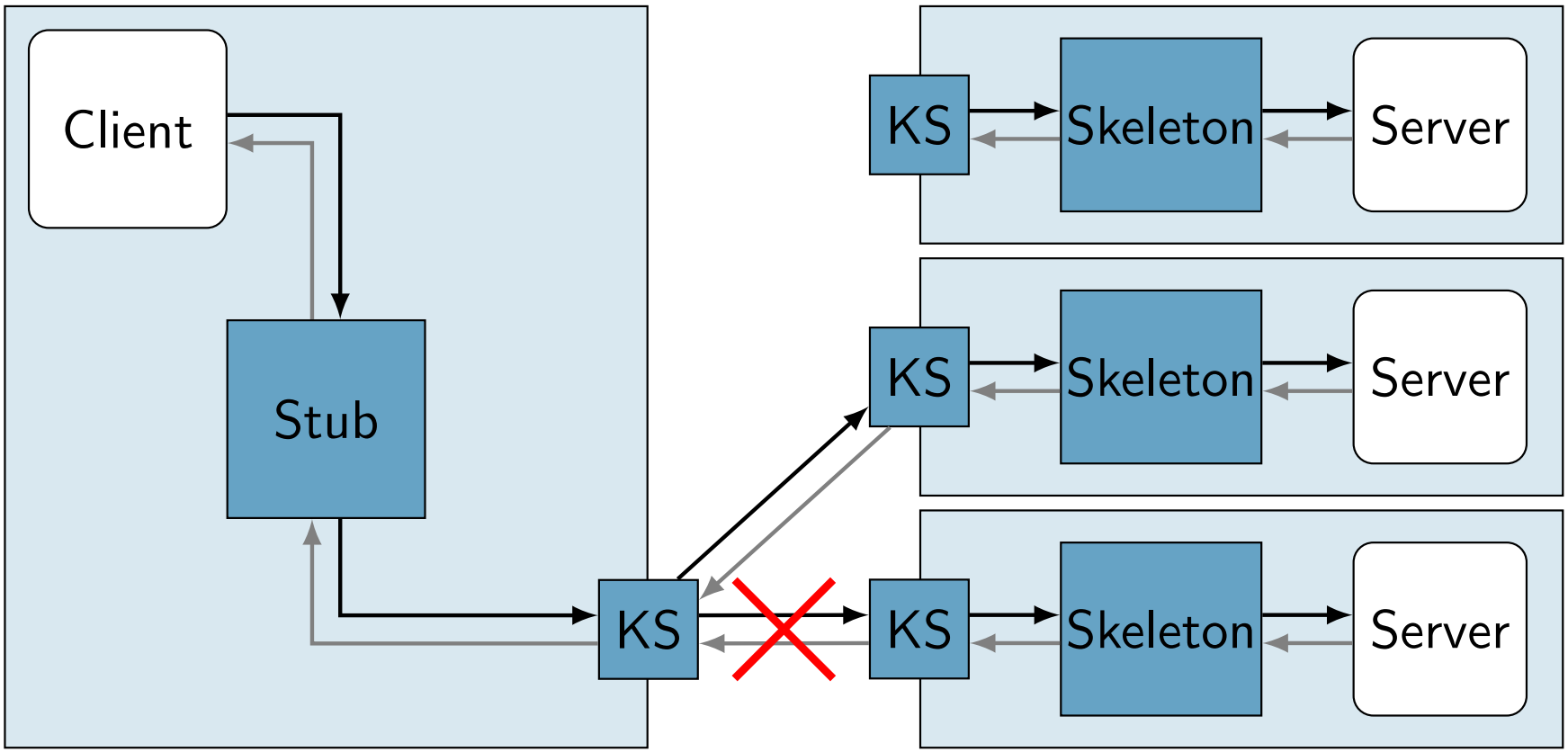
```
handlers=java.util.logging.ConsoleHandler
.level=FINE
```

  - Ausgabe der Log-Meldungen in einer Datei `vs.log` (Stufe: `INFO`)

```
handlers=java.util.logging.FileHandler
.level=INFO
java.util.logging.FileHandler.pattern=vs.log
```

Ausfallsicherung der Client-Seite

- Gruppenreferenz auf replizierten Dienst
  - Zusammenfassung gewöhnlicher Remote-Referenzen
  - Wechsel des Replikats bei Verbindungsabbrüchen



[Im Optimalfall funktionieren die RPC-Semantiken aus Übungsaufgabe 3 weiterhin. Sollte dies nicht gelingen, darf statt der `VSBuggyConnection` wieder auf die fehlerfreie `VSObjectConnection` zurückgegriffen werden.]

Neustart nach Replikatausfall

- Problem
  - `VSBoard`-Implementierung verwaltet ihren Zustand im Hauptspeicher
  - Datenverlust bei Ausfall eines Replikats

  → Kein Neustart des Replikats möglich

- Lösung
  - `VSRemoteObjectStateHandler`: Schnittstelle zum Auslesen/Serialisieren und Setzen/Deserialisieren des Zustands eines Remote-Objekts

```
public interface VSRemoteObjectStateHandler {
    public byte[] getState();
    public void setState(byte[] state);
}
```

  - Verwendung von JGroups für Zustandstransfer
    - Annahme: Zu jeder Zeit ist mindestens ein Replikat verfügbar
    - Neustart: Holen der Remote-Objekt-Zustände von einem anderen Replikat
    - Konsistentes Einspielen der Zustände wird von JGroups gewährleistet

Vereinfachungen in Übungsaufgabe 4

- Transparente Rückrufe
  - Problem
    - Einzelner `post()`-Aufruf führt zu mehreren Rückrufen (einer pro Replikat) am `VSBoardListener` → Verletzung der Replikationstransparenz
    - Rückruf ist externalisiertes Ereignis
  - Möglicher Lösungsansatz
    - Zusätzliche Einigung über Gruppenkommunikation, wer den Aufruf ausführt
    - Offene Fragestellung: Was ist, wenn das ausgewählte Replikat ausfällt?
  - In Übungsaufgabe 4 zu realisierender Ansatz: Problem ignorieren
- Aktualisierung von Replikatreferenzen
  - Problem
    - Adressen neu hinzu kommender Replikate sind eventuell nicht vorab bekannt
    - Veraltete Informationen in Gruppenreferenz
  - Möglicher Lösungsansatz
    - Bekanntgabe der eigenen Adresse per Gruppenkommunikation (z. B. in View)
    - Dynamische Anpassung der Gruppenreferenz
  - Annahme in Aufgabe 4: Adressen sind auf Server-Seite statisch bekannt

Übungsaufgabe 4: Klassenübersicht