

## Replikation

Motivation

Grundlagen

Aktive Replikation

Passive Replikation



- Zielsetzungen
  - Tolerierung permanenter Server-Ausfälle
  - Hohe Verfügbarkeit von Diensten
- Replikation der Server-Seite
  - Gruppe von Replikaten statt einzelner Server
  - Replikatgruppengröße abhängig von der Anzahl zu tolerierender Ausfälle
  - Problem: Redundante Auslegung zustandsbehafteter Dienste
  - Oftmals gewünschte Eigenschaft: *Starke Konsistenz*
    - Zustandsänderung eines Clients ist nach ihrer Bestätigung für alle sichtbar
    - Replikate vollziehen kausal abhängige Änderungen in derselben Reihenfolge
- Herausforderungen
  - Wie interagiert ein Client mit einer Replikatgruppe?
  - Wie kann Fehlerunabhängigkeit zwischen Replikaten erreicht werden?
  - Wie lassen sich die fehlerfreien Replikate einer Gruppe konsistent halten?



# Client-Seite

- Zugriff auf replizierten Dienst per *Gruppenreferenz*
  - Kollektion von Replikatadressen
  - Aktualisierung bei Änderung der Replikatgruppenszusammensetzung
- Kommunikation mit Replikatgruppe (Varianten)
  - Nutzung eines Kontaktreplikats
    - Auswahlmechanismus abhängig von Replikationsarchitektur und -ansatz
    - *Failover* bei (vermutetem) Ausfall des bisherigen Kontaktreplikats
      - \* Kontaktierung eines anderen Replikats
      - \* Replikatwechsel lässt sich für die Client-Anwendung transparent gestalten
  - Interaktion mit mehreren / allen Replikaten
    - Paralleles Senden derselben Anfragen an verschiedene Replikate
    - Reaktion bei eintreffenden Antworten (Alternativen)
      - \* Verwendung der schnellsten Antwort
      - \* Verifizierung des Ergebnisses durch Vergleich von Antworten
  - Vergleichskriterien
    - Kommunikationsaufwand
    - Komplexität bei der Behandlung von Replikatausfällen



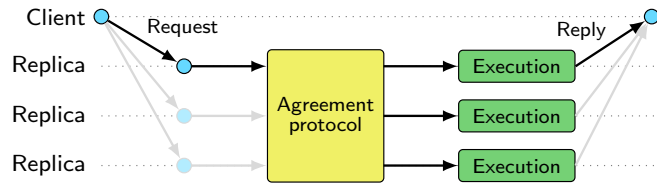
# Server-Seite

- Austausch von Replikaten
  - Rekonfigurierung der Replikatgruppe erforderlich
  - Initialisierung des neuen Replikats mittels Zustandstransfer
- Fehlerunabhängige Replikate
  - Ausfälle verschiedener Replikate dürfen nicht dieselbe Ursache haben
  - Techniken zur Reduzierung des Grads der Fehlerabhängigkeit
    - Platzierung von Replikaten in verschiedenen *Fehlerdomänen*
      - \* Unterschiedliche Stromverbindungen
      - \* Redundante Netzwerkverbindungen
    - Verteilung über mehrere geografische Standorte (*Georeplikation*)
    - Einsatz heterogener Replikatimplementierungen (*N-Version Programming*)
- Literatur
  - [Liming Chen, Algirdas Avižienis](#)  
**N-version programming: A fault-tolerance approach to reliability of software operation**  
*Proceedings of 8th International Symposium on Fault-Tolerant Computing (FTCS-8), S. 3–9, 1978.*



## ■ Grundprinzip

- Bearbeitung aller Anfragen durch alle Replikate
- Erstellung einer totalen Ordnung auf den Anfragen per *Einigungsprotokoll*



## ■ Charakteristika

- Hoher Ressourcenverbrauch zur Wahrung der Replikatkonsistenz
- Geringer Einfluss von Replikatausfällen auf die Verfügbarkeit des Diensts

## ■ Literatur

Fred B. Schneider  
**Implementing fault-tolerant services using the state machine approach: A tutorial**  
*ACM Computer Survey*, 22(4):299–319, 1990.

## ■ Einigungsprotokoll

[Nähere Details in der nächsten Vorlesung.]

- Totale Ordnung von Anfragen aller Clients
- Zuverlässige Übertragung von Anfragen
- Uniforme Einigung

Wird eine Anfrage auf irgendeinem Replikat zugestellt, muss sie letztendlich auf allen fehlerfreien Replikaten zugestellt werden

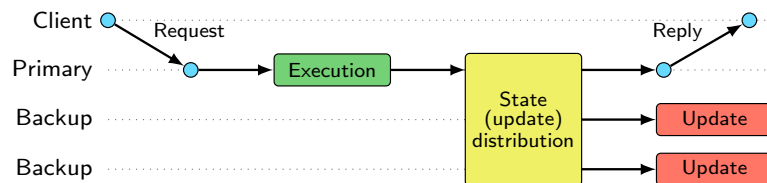
→ *Totalgeordneter, zuverlässiger, uniformer Multicast* erforderlich

## ■ Deterministische Replikate

- Implementierung einer deterministischen Zustandsmaschine
  - Ausgehend vom selben Zustand führt die Ausführung derselben Anfragen in derselben Reihenfolge zu denselben Antworten und Zustandsänderungen
- Quellen von Nichtdeterminismus (Beispiele)
  - Zufallszahlen
  - Zeit
  - Nebenläufigkeit
  - Externe Aufrufe

## ■ Grundprinzip

- Bearbeitung aller Anfragen durch ein Primärreplikat
- Bereitstellung zusätzlicher Replikate zur Behandlung von Ausfällen



## ■ Vergleich zur aktiven Replikation

- Niedrigerer Ressourcenverbrauch im fehlerfreien Fall
- Komplexere Fehlerbehandlung bei Ausfall des Primärreplikats

## ■ Literatur

Navin Budhiraja, Keith Marzullo, Fred B. Schneider, Sam Toueg  
**The primary-backup approach**  
*Distributed Systems (2nd Edition)*, Addison-Wesley, S. 199–216, 1993.

## ■ Bei Zustandsverteilung übertragene Informationen (Alternativen)

- Sicherungspunkt
- Zustandsänderungen
- Sicherungspunkt + neueste Zustandsänderungen

## ■ Zeitpunkt der Zustandsaktualisierung (Alternativen)

- In periodischen Intervallen (*Warm passive replication*)
- Bei Ausfall des Primärreplikats (*Cold passive replication*)

→ Dauer der Ausfallbehandlung ist abhängig vom gewählten Ansatz

## ■ Realisierung starker Konsistenz

- Problem
  - Primärreplikat ist den anderen Replikaten im Allgemeinen voraus
  - Vorsprung darf für Clients nicht unmittelbar sichtbar werden
- Sendezeitpunkt der Antwort ist entscheidend (Beispiele)
  - Ausführung ist durch einen Sicherungspunkt abgedeckt
  - Zustandsänderung wurde per Einigungsprotokoll an andere Replikate verteilt
  - Anfrage ist Bestandteil einer persistenten Log-Datei

[Je nach Ansatz können auch bei passiver Replikation deterministische Replikate erforderlich sein.]