Überblick

Replikation

- Motivation
- Grundlagen
- Aktive Replikation
- Passive Replikation

Motivation

- Zielsetzungen
  - Tolerierung permanenter Server-Ausfälle
  - Hohe Verfügbarkeit von Diensten
- Replikation der Server-Seite
  - Gruppe von Replikaten statt einzelnem 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

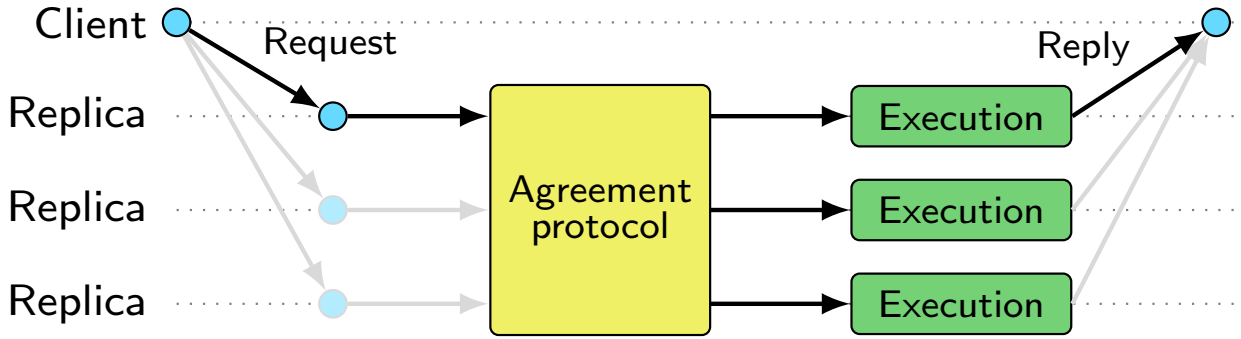
- Zugriff auf replizierten Dienst per *Gruppenreferenz*
  - Kollektion von Replikatadressen
  - Aktualisierung bei Änderung der Replikatgruppenzusammensetzung
- Kommunikation mit Replikatgruppe (Varianten)
  - Nutzung eines Kontaktreplikats
    - Auswahlmechanismus abhängig von Replikationsarchitektur 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 der Fehlerabhängigkeit
    - Platzierung von Replikaten in verschiedenen *Fehlerdomänen*
      - Unterschiedliche Stromanbindungen
      - 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

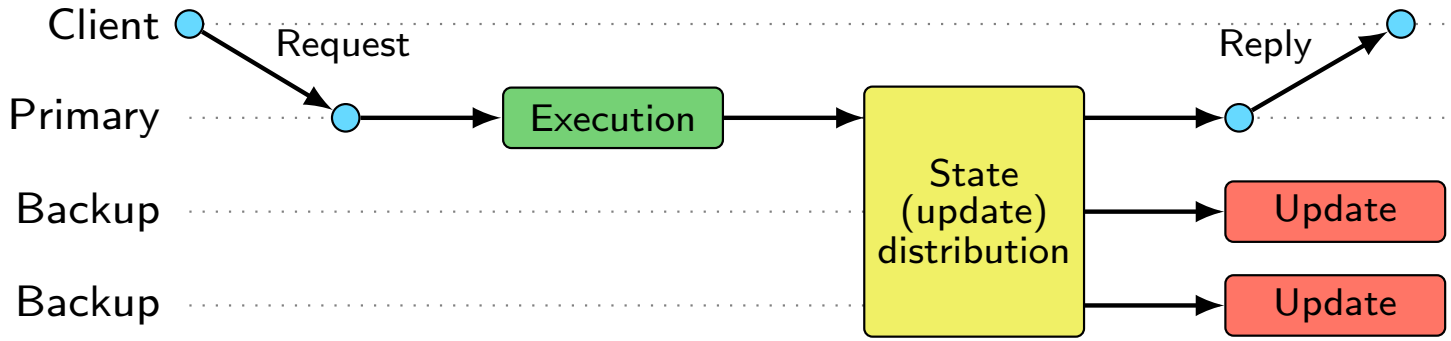
- Deterministische Replikate
  - Implementierung einer deterministischen Zustandsmaschine

    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

Passive Replikation

- 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.]