

Koordinierungsdienste

- Motivation
- Grundkonzept
- Chubby
- ZooKeeper
- Zusammenfassung

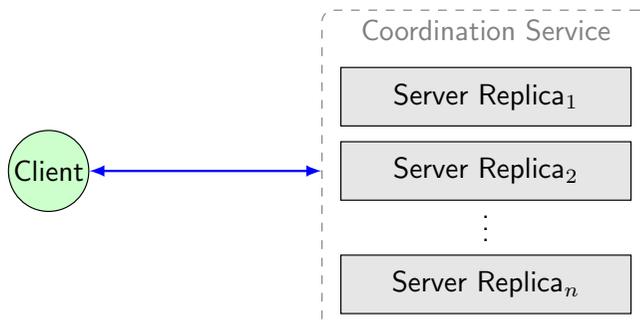


- Charakteristika großer verteilter Cloud-Systeme und -Anwendungen
 - Hohe Anzahl von Komponenten bzw. Prozessen
 - Bereitstellung eines gemeinsamen Diensts durch Kooperation
- Problem: Kooperation erfordert Mechanismen zur Koordinierung
 - Beispiele für Koordinierungsaufgaben
 - Verteilter gegenseitiger Ausschluss
 - Wahl eines Anführers
 - Verteilte (Prioritäts-)Warteschlangen
 - Anforderungen
 - Zuverlässigkeit
 - Verfügbarkeit
- Zur eigentlichen Anwendung orthogonale Problemstellungen
- Herausforderungen
 - Wie lässt sich Koordinierung mittels eines externen Diensts bereitstellen?
 - Wie sehen mögliche Kompromisse zwischen Effizienz und Konsistenz aus?



Koordinierungsdienste

- Speicherung kleiner Datenmengen (< 1 MB)
 - Verwaltung mittels *Knoten* in einer Baumstruktur
 - Dateisystemartiger Zugriff auf Nutz- und Metadaten
- Bereitstellung eines Benachrichtigungsdiensts
 - Clients spezifizieren Ereignisse, über die sie informiert werden möchten
 - Beispiereignisse: Anlegen/Löschen eines Knotens, Änderung von Daten
- Fehlertoleranz durch Replikation



Schnittstelle

Standardoperationen

Operation	Beschreibung
create()	Anlegen eines Knotens
getData()	Auslesen der Nutz- und Metadaten eines Knotens
setData()	Aktualisieren der Nutzdaten eines Knotens
delete()	Löschen eines Knotens

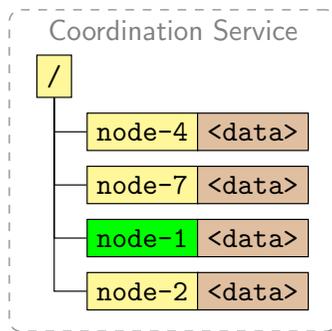
Implementierungsspezifisch: Zusätzliche Hilfsoperationen

getChildren()	Ausgabe der Pfadnamen von Kindknoten
setACL()	Aktualisierung der Zugriffsrechte für einen Knoten
[...]	

Bedingte Ausführung von Operationen

- Problem: Korrektheit vom vorherigen Zustand abhängiger Aktualisierungen
- Lösungsansatz
 - Verwaltung eines Versionszählers für jeden Knoten
 - Bearbeitung einer Operation nur, falls Versionsnummer weiterhin aktuell ist





```
CoordinationService cs = create connection;
```

```
void insert(Object o, Priority p) {
    /* Encode priority in node name. */
    String nodeName = "/node-" + p;

    /* Create node and set its data to o. */
    cs.create(nodeName, o);
}
```

```
Object remove() {
    /* Find node with the highest priority. */
    String[] nodes = cs.getChildren("/");
    String head = node from nodes
        with highest priority according to its name;

    /* Get node data and remove node. */
    Object o = cs.getData(head);
    cs.delete(head);
    return o;
}
```

Client

■ Kategorien

- **Persistente Knoten**
 - Existenz des Knotens unabhängig von Client-Verbindung
 - Explizites Löschen durch einen Client erforderlich
- **Flüchtige Knoten (Ephemeral Nodes)**
 - Existenz des Knotens ist an eine Client-Verbindung gebunden
 - Automatisches Löschen des Knotens bei Verbindungsende bzw. -abbruch
 - Anwendungsbeispiel: Ausfallerkennung
 - * Client C erstellt flüchtigen Knoten k
 - * Andere Clients registrieren sich für Benachrichtigung über Löschung von k
 - * Ausfall von Client C → Koordinierungsdienst löscht Knoten k
 - * Registrierte Clients erhalten Mitteilung über Ausfall von Client C

■ Dienstunterstützte Knotennamen (Sequenzielle Knoten) [Nur in ZooKeeper.]

- Automatisch generierte Sequenznummer als Teil des Knotennamens
- Client spezifiziert beim Anlegen des Knotens den Namenspräfix
- Anwendungsbeispiel: Anführerwahl [Siehe Tafelübung.]

Chubby

■ Anforderungen

- Dienst zur Wahl eines Anführers
- Beispiel: Master-Server im Google File System
- Typisches Nutzungsprofil eines Lock
 - Lock wird einmal angefordert
 - Wechsel des Lock-Halters üblicherweise nur nach Ausfällen

■ Chubby

- Ausrichtung auf *grobgranulare* Locks [→ Haltezeiten von Stunden oder sogar Tagen]
- Bereitstellung starker Konsistenzgarantien
- Unterstützung einer großen Anzahl von Client-Prozessen [z. B. 90.000 [Burrows]]
- Zuverlässigkeit wichtiger als Performanz

■ Literatur



Mike Burrows

The Chubby lock service for loosely-coupled distributed systems
Proceedings of the 7th Symposium on Operating Systems Design and Implementation (OSDI '06), pages 335–350, 2006.

Architektur

■ Client-Bibliothek

- Senden von Anfragen an Chubby
- Verwaltung eines Antwort-Cache für Nutz- und Metadaten

■ Server-Seite: Chubby-Zelle

- Typische Größe: 5 Replikate → Tolerierung von 2 Ausfällen möglich
- Rollenverteilung bei der Bearbeitung von Anfragen
 - Master-Replikat
 - * Ausführung aller (lesenden und schreibenden) Client-Anfragen
 - * Erzeugung und Verteilung von Zustandsaktualisierungen
 - * Invalidierung von Client-Caches
 - * Parallele Verwaltung zentraler Datenstrukturen im Hauptspeicher
 - * Festlegung einer an das Master-Replikat gebundenen *Epochnummer*
 - Andere Replikate
 - * Einspielen von Zustandsaktualisierungen
 - * Keine Aktion bei lesenden Anfragen
 - * Wahl eines neuen Master-Replikats bei Ausfall des vorherigen

Chubby-spezifische Schnittstellenerweiterungen

- Zugriff auf einen Knoten erfolgt mittels *Handle*
 - Vergleiche: Dateideskriptor in UNIX
 - Operationen
 - `Open()`: Erzeugung eines Handle
 - * Festlegung des Zugriffsmodus (z. B. Schreiben, Lesen, Lock-Anforderung)
 - * Spezifizierung der abonnierten Ereignisse
 - `Close()`: Schließen eines Handle
- Locks
 - Verfügbare Modi
 - Exklusives Schreiber-Lock
 - Geteiltes Leser-Lock
 - Vergabe eines Lock unabhängig vom Zugriff auf die Nutz- und Metadaten des korrespondierenden Knoten (*Advisory Locks*)
 - Operationen
 - `Acquire()`: Anfordern eines Lock
 - `Release()`: Rückgabe eines Lock



Verwaltung von Client-Sitzungen

- Grundlegendes Konzept
 - Sitzung: Temporäre Garantie von Chubby an einen Client
 - Vom Client erzeugte Knoten-Handles bleiben gültig
 - Vom Client gehaltene Locks werden nicht neu vergeben
 - Festlegung der Dauer einer Sitzung mittels *Lease*
- Verlängerung einer Sitzung
 - Bei Sitzungsaufbau
 - Client initiiert *KeepAlive*-Fernaufruf zum Master-Replikat
 - Master-Replikat **blockiert** in dem Fernaufruf
 - Bei Ablauf des (ursprünglichen) Sitzungs-Lease
 - Master-Replikat **deblockiert** KeepAlive-Fernaufruf
 - Antwort des Fernaufrufs enthält Dauer der Lease-Verlängerung [Standardwert: 12 s]
 - Client bestätigt Lease-Verlängerung mit erneutem KeepAlive-Fernaufruf
- Vorzeitige Rückkehr aus einem KeepAlive-Fernaufruf
 - Benachrichtigung eines Clients über abonnierte Ereignisse
 - Vorteil: Ansatz funktioniert auch für durch Firewalls geschützte Clients



Caching auf Client-Seite

- Problem: Master-Replikat stellt Flaschenhals dar
 - Bearbeitung schreibender und lesender Anfragen
 - Verwaltung von Sitzungen→ Entlastung des Master-Replikats erforderlich
- Lösungsansatz: Einsatz von Client-Caches für Nutz- und Metadaten
- Invalidierung von Cache-Inhalten
 - Master-Replikat verwaltet eine Liste mit Informationen darüber, welche Daten jeder Client in seinem Cache zwischengespeichert haben könnte
 - Bei jeder modifizierenden Anfrage
 - Master-Replikat sendet *Invalidierungen* an alle betroffenen Clients
 - Clients löschen die entsprechenden Daten aus ihrem Cache
 - Clients bestätigen dem Master-Replikat die Invalidierung
 - Master-Replikat führt Anfrage aus, sobald alle Bestätigungen betroffener Clients vorliegen bzw. deren Leases ausgelaufen sind
 - Realisierung: Ausnutzung des KeepAlive-Fernaufruf-Mechanismus



Verhalten bei Fehlersituationen

- Korrekter Client schafft es nicht, sein Sitzungs-Lease zu verlängern
 - Möglicher Grund: Überlastung bzw. Ausfall des Master-Replikats
 - Vorgehensweise auf Client-Seite
 - Löschen und Deaktivieren des eigenen Cache
 - Eintritt in eine Wartephase (*Grace Period*, Dauer: z. B. 45 s)
 - Nach Ablauf der Wartephase
 - * Abbruch sämtlicher Aufrufe
 - * Fehlermeldung an die Anwendung
 - Bei Wiederherstellung einer Verbindung zu einem Master-Replikat
 - * Verlängerung des Sitzungs-Lease
 - * Reaktivierung des eigenen Cache
- Wechsel des Master-Replikats [z. B. bei Ausfall]: Aktionen des neuen Master
 - Wahl einer neuen *Epochennummer* → Identifikation veralteter Anfragen
 - Rekonstruktion der Master-Datenstrukturen im Hauptspeicher [Soweit möglich.]
 - Senden einer *Fail-Over*-Benachrichtigung an alle bekannten Clients
 - Warten auf Bestätigungen der kontaktierten Clients
 - Wechsel in den Normalzustand



- ZooKeeper [Weitere Details in der Tafelübung.]
 - Apache-Projekt: <http://zookeeper.apache.org/>
 - Produktiveinsatz: Yahoo, Facebook, Twitter,...
 - Bereitstellung von *wartefreien* Datenknoten
 - Verwaltung des Zustands im Hauptspeicher [Periodische Sicherungspunkte auf Festplatte]
- Hauptunterschiede zu Chubby
 - Keine direkte Unterstützung von Locks
 - Keine vom System verwalteten Client-Caches
 - Abgeschwächte Konsistenzgarantien
 - Auf allen Replikaten: Identische Ausführungsreihenfolge für Schreibanfragen
 - Alle Anfragen desselben Client werden in FIFO-Reihenfolge bearbeitet
- Literatur
 -  Patrick Hunt, Mahadev Konar, Flavio P. Junqueira, and Benjamin Reed **ZooKeeper: Wait-free coordination for Internet-scale systems** *Proceedings of the 2010 USENIX Annual Technical Conference (ATC '10)*, pages 145–158, 2010.



- Server-Seite: ZooKeeper-Zelle
 - Typische Größe: 5 Replikate
 - Rollenverteilung
 - Leader-Replikate
 - Follower-Replikate
- Client: Sitzungsaufbau zu beliebigem Replikate
 - Ziel: Verteilung des Kommunikationsaufwands auf alle Replikate
 - Client kommuniziert im Normalfall ausschließlich mit einem Replikate
- Bearbeitung zustandsmodifizierender Anfragen
 1. Client sendet Anfrage an das mit ihm verbundene Replikate R
 2. Replikate R leitet die Anfrage an das Leader-Replikate weiter
 3. Leader bearbeitet die Anfrage und erzeugt eine Zustandsaktualisierung
 4. Ausführung der Zustandsaktualisierung auf allen Replikaten
 5. Replikate R sendet Antwort an den Client



- Bearbeitung lesender Anfragen
 1. Client sendet Anfrage an das mit ihm verbundene Replikate R
 2. Replikate R führt Anfrage direkt aus
 3. Replikate R sendet Antwort an den Client
- Mögliche Konsequenz: Lesen veralteter Zustände
 - Leseanfragen können Schreibanfragen anderer Clients „überholen“
 - Beispiel: Client C_1 ist mit Replikate R_1 verbunden, Client C_2 mit Replikate R_2
 1. Client C_1 legt erfolgreich einen Knoten k an
 2. Client C_1 sendet eine Nachricht an Client C_2 , dass Knoten k angelegt wurde
 3. Client C_2 erhält beim Versuch auf k zuzugreifen eine Fehlermeldung von Replikate R_2 , dass der Knoten nicht existiert
- ZooKeeper-spezifische Schnittstellenerweiterung: `sync`-Operation
 - Bearbeitung aller ausstehenden Schreibanfragen
 - *Langsame Leseanfrage*: Auf `sync`-Aufruf folgende Leseoperation
 - Auswirkung der `sync`-Operation nicht auf einzelne Knoten begrenzt



- Koordinierungsdienste
 - Speicherung kleiner Datenmengen (< 1 MB)
 - Verwaltung von Daten mittels Knoten in einer Baumstruktur
 - Persistente Knoten
 - Flüchtige Knoten
 - Sequenzielle Knoten
 - Bereitstellung eines Benachrichtigungsdiensts
 - Fehlertoleranz durch Replikation
- Chubby
 - Dienst für grobgranulare Locks
 - Bereitstellung starker Konsistenzgarantien
 - Einsatz von Client-Caches
- ZooKeeper
 - Verzicht auf Locks: Wartefreie Datenobjekte
 - Hohe Effizienz für Leseanfragen durch abgeschwächte Konsistenzgarantien

