

Koordinierungsdienste

Motivation

Grundkonzept

Chubby

ZooKeeper

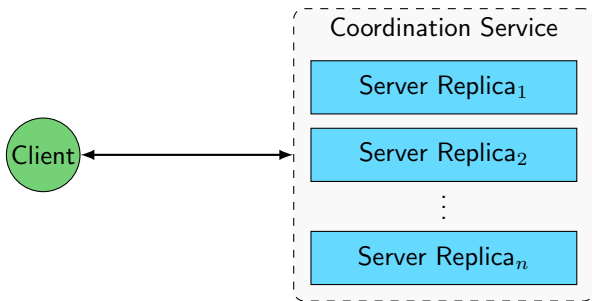


- Charakteristika großer verteilter Cloud-Systeme und -Anwendungen
 - Hohe Anzahl von Komponenten bzw. Prozessen
 - Bereitstellung eines gemeinsamen Diensts durch Kooperation
 - Problem: Kooperation erfordert Mechanismen zur Koordinierung
 - Beispiele für Koordinierungsaufgaben
 - Verteilter gegenseitiger 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



■ 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

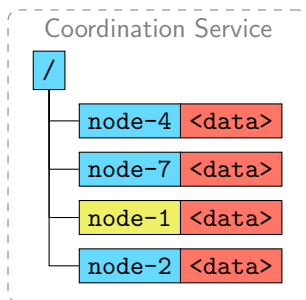
getChildren()	Ausgabe der Pfadnamen von Kindknoten
setACL()	Aktualisierung der Zugriffsrechte für einen Knoten
[...]	

■ 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



Anwendungsbeispiel: Prioritätswarteschlange



```
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;  
}
```



- Kategorien
 - Persistente Knoten
 - Existenz des Knotens unabhängig von Client-Sitzung
 - Explizites Löschen durch einen Client erforderlich
 - Flüchtige Knoten (Ephemeral Nodes)
 - Existenz des Knotens ist an eine Client-Sitzung gebunden
 - Automatisches Löschen des Knotens bei Sitzungsende bzw. -abbruch
 - Anwendungsbeispiel: Ausfallerkennung
 - * Client C erstellt flüchtigen Knoten k
 - * Andere Clients registrieren sich für Benachrichtigung über Löschung von k
 - * Ausfall von Client $C \rightarrow$ 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.]



- 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), S. 335–350, 2006.



- 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
 - Master-Replikat
 - Ausführung aller (lesenden und schreibenden) Client-Anfragen
 - Erzeugung und Verteilung von Zustandsaktualisierungen
 - 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



- 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
 - Lock-Vergabe unabhängig vom Zugriff auf die Nutz- und Metadaten des korrespondierenden Knotens (*Advisory Locks*)
 - Operationen
 - `Acquire()`: Anfordern eines Lock
 - `Release()`: Rückgabe eines Lock



- 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
 - Vor Ablauf eines Sitzungs-Lease
 - Master-Replikat **deblockiert** KeepAlive-Fernaufruf
 - Antwort des Fernaufrufs enthält Dauer der Lease-Verlängerung [Standardwert: 12s]
 - Client startet erneuten KeepAlive-Fernaufruf
- Vorzeitige Rückkehr aus einem KeepAlive-Fernaufruf
 - Benachrichtigung eines Clients über abonnierte Ereignisse
 - Vorteil: Ansatz funktioniert auch für durch Firewalls geschützte Clients




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



- 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 Epochenummer → Identifikation veralteter Anfragen
 - Rekonstruktion der Master-Datenstrukturen
 - 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,...
 - 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 Clients 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), S. 145–158, 2010.



- Server-Seite: ZooKeeper-Zelle
 - Typische Größe: 5 Replikate
 - Rollenverteilung
 - *Leader*-Replikat
 - *Follower*-Replikate

- Client: Sitzungsaufbau zu beliebigem Replikat
 - Ziel: Verteilung des Kommunikationsaufwands auf alle Replikate
 - Client kommuniziert im Normalfall ausschließlich mit einem Replikat

- Bearbeitung zustandsmodifizierender Anfragen
 1. Client sendet Anfrage an das mit ihm verbundene Replikat R
 2. Replikat R leitet die Anfrage an das *Leader*-Replikat weiter
 3. *Leader* bearbeitet die Anfrage und erzeugt eine Zustandsaktualisierung
 4. Ausführung der Zustandsaktualisierung auf allen Replikaten
 5. Nach lokaler Aktualisierung: Replikat R sendet Antwort an den Client



- **Bearbeitung lesender Anfragen**
 1. Client sendet Anfrage an das mit ihm verbundene Replikat R
 2. Replikat R führt Anfrage direkt aus
 3. Replikat R sendet Antwort an den Client
- **Mögliche Konsequenz: Lesen veralteter Zustände**
 - Leseanfragen können Schreibanfragen anderer Clients „überholen“
 - Beispiel: Client C_1 ist mit Replikat R_1 verbunden, Client C_2 mit Replikat 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 Replikat R_2 , dass der Knoten nicht existiert→ Replikat R_2 hatte die Anfrage von Client C_1 noch nicht ausgeführt
- **ZooKeeper-spezifische Schnittstellenerweiterung: sync-Operation**
 - Bearbeitung aller ausstehenden Schreibanfragen
 - *Langsame Leseanfrage*: Auf sync-Aufruf folgende Leseoperation

