

## **Latenzminimierung in Datenzentren**

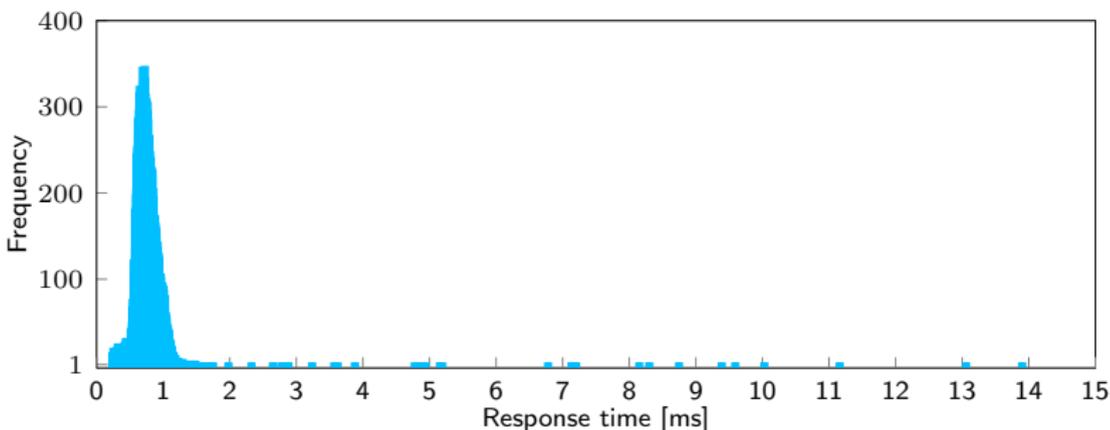
Motivation

Ansätze und Techniken

Zusammenfassung



- Typische Antwortzeitverteilung in der Praxis
  - Mehrheit der Anfragen wird in relativ kurzer Zeit beantwortet
  - Ausreißer mit höherer Antwortzeit
    - Zahlenmäßig geringer Anteil an der Gesamtmenge aller Anfragen
    - Antwortzeiten übersteigen Mittelwert um ein Vielfaches
- „Tail Latency“
- Beispiel: ZooKeeper-Implementierung aus Übungsaufgabe 6



# Gründe für Antwortzeitschwankungen

- Warten beim Zugriff auf geteilte Ressourcen
  - Lokal: CPU, Caches, Speicher, Netzwerk etc.
  - Global: Koordinierungsdienste, verteilte Dateisysteme etc.
- Verzögerungen durch Warteschlangen auf verschiedenen Ebenen
- Zusatzbelastung durch die Aktivierung periodischer Tasks (Beispiele)
  - Garbage-Collection
  - Datenrekonstruktion in Dateisystemen
  - Komprimierung von Log-Dateien
- Variabilität durch Einflüsse unterschiedlicher Energiesparmodi
- ...
- Literatur
  -  Jeffrey Dean and Luiz André Barroso  
**The tail at scale**  
*Communications of the ACM*, 56(2):74–80, 2013.



# Verteilte Bearbeitung von Anfragen

- Bearbeitung von Anfragen durch mehrere Server
  - Aufspaltung in kleine Teilaufgaben
  - Eventuell weitere Aufgliederung der Teilaufgaben
  - Bestimmung der Gesamtantwort auf Basis der Teilergebnisse
- Beispiel: Teilaufgaben bei Ausführung einer Suchmaschinenanfrage
  - Bereitstellung von statischen Elementen der Web-Seite
  - Ermittlung des Suchergebnisses
  - Zusammenstellung von Vorschlägen für verwandte Suchanfragen
  - Aufbereitung von Kontextinformationen
  - Auswahl der eingeblendeten Werbung
  - ...
- Problem
  - Gesamtantwortzeit einer Anfrage hängt von vielen Faktoren ab
  - Schwankungen in einzelnen Servern wirken sich unmittelbar aus

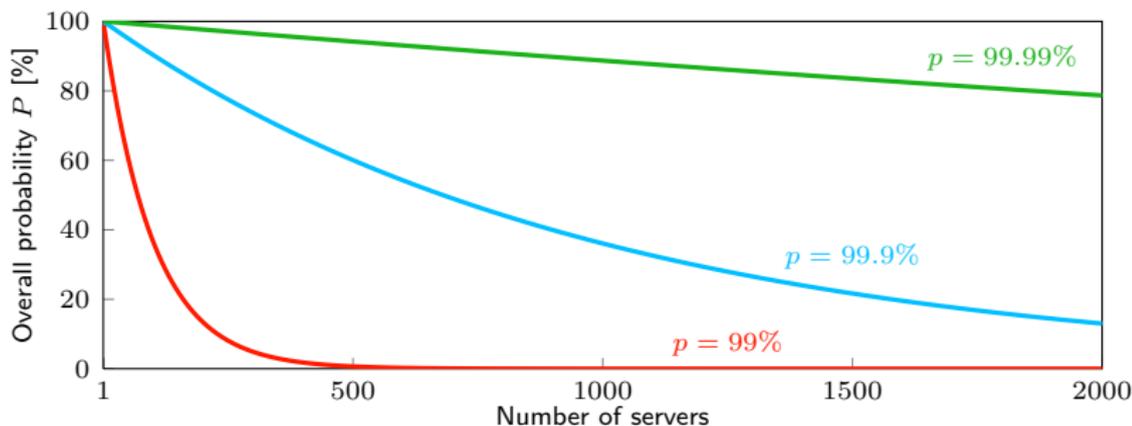


# Auswirkungen langsamer Server

## ■ Vereinfachtes Systemmodell

- An der Bearbeitung einer Anfrage sind parallel  $s$  Server beteiligt
- Bei der Erfüllung seiner Teilaufgabe ist jeder Server
  - mit Wahrscheinlichkeit  $p$ : *schnell*
  - mit Wahrscheinlichkeit  $1 - p$ : *langsam*
- Antwort erfolgt, sobald alle Server mit ihren Teilaufgaben fertig sind

## ■ Wahrscheinlichkeit für die schnelle Ausführung einer Anfrage: $P = p^s$



## ■ Beobachtung

„Systems that respond to user actions quickly (**within 100ms**) **feel more fluid and natural to users** than those that take longer.“ [Dean et al.]

## ■ Kombiniertes Ansatz zur Minimierung von Gesamtantwortzeiten

- Techniken zur Vermeidung von Ausreißern
- Konzipierung von *tail-toleranten* Systemen
- Vergleiche: Vorgehensweise beim Umgang mit Fehlern

## ■ Wahl der Metrik

- Arithmetisches Mittel: Ungeeignet, da kaum Aussage über Ausreißer
- $n\%$ -Quantil ( $n^{\text{th}}$ -percentile)
  - Bedeutung: Antwortzeit für  $n\%$  aller Anfragen ist  $\leq n\%$ -Quantil
  - Typische Werte:  $n = 95$  oder  $n = 99$

## ■ Herausforderungen

- Wie lässt sich die Anzahl bzw. das Ausmaß von Ausreißern reduzieren?
- Wie geht man mit Verzögerungen bei der Bearbeitung von Teilaufgaben um?



- Probleme
  - Zugriffshäufigkeit variiert zwischen Objekten des Anwendungszustands
  - Erhöhte Antwortzeiten als Konsequenz überlasteter Partitionen
  - Zugriffsmuster können sich ändern → statische Partitionierung unwirksam
- Einsatz von Mikropartitionen
  - Anzahl der Partitionen  $\gg$  Anzahl der Server
  - Vorteile
    - Feingranulare Lastverteilung möglich
    - Effizientes Verschieben von Partitionen zwischen Servern
  - Beispiele
    - Verwaltung von Range-Partitions im Windows Azure Storage Partition Layer
    - Aufteilung eines MapReduce-Jobs in Tasks
- Selektive Replikation
  - Replikationsgrad eines Objekts ist abhängig von seiner „Popularität“
  - Beispiel: Dateispezifischer Replikationsfaktor in HDFS



- **Priorisierung zeitsensitiver Anfragen**
  - Einteilung von Anfragen in Dienstklassen
  - Beispiel: BEEMR
    - Interaktive Jobs
    - Batch-Jobs
  - Vorteil: Verzögerungen betreffen vor allem nicht-zeitsensitive Operationen
- **Aufspaltung nicht-zeitsensitiver Aufgaben mit langer Bearbeitungszeit**
  - Ausführung als Sequenz mehrerer kurzer Operationen
  - Bessere Verzahnung mit zeitsensitiven Anfragen möglich
  - Vorteil: Steigerung der Effektivität des Priorisierungsansatzes
- **Optimierte Einplanung von Hintergrundaktivitäten**
  - Ausführung in Zeiten mit geringer Systemlast
  - Abstimmung zwischen unterschiedlichen Servern
  - Vorteil: Störender Einfluss ist auf wenige zeitsensitive Anfragen begrenzt



- Abgesicherte Anfragen (*Hedged Requests*)
  - Aktionen des Clients
    - Senden derselben Anfrage an mehrere Replikate
    - Verwendung der schnellsten Antwort
    - Abbruch der noch ausstehenden Ausführungen
  - Effiziente Implementierung
    - Senden der Anfrage an das vermutlich schnellste Replikate
    - Kontaktierung weiterer Replikate erst nach Timeout
- Verknüpfte Anfragen (*Tied Requests*)
  - Anwendungsfall
    - Größere Schwankungen in den Wartezeiten vor der eigentlichen Ausführung
    - Relativ konstante Bearbeitungszeiten
  - Vorgehensweise
    - Client verschickt dieselbe Anfrage an zwei Replikate
    - Anfrage enthält Replikadressen
    - Bei Ausführungsbeginn: Replikate senden Abbruchnachricht an das andere



- Prüfung mittels Stichproben (*Canary Requests*)
  - Problem
    - Ungewöhnliche Anfrage resultiert in Ausführung ungetesteter Code-Pfade
    - Parallele Verzögerungen oder Fehler auf mehreren Servern
  - Lösung
    - Senden von ein oder zwei Teilaufgaben an die entsprechenden Server
    - Verteilung der restlichen Teilaufgaben an die anderen Server erst bei Erfolg
- Einschränkung der Funktionalität (*Graceful Degradation*)
  - Ausklammern von Teilaufgaben, deren Bearbeitung zu lange dauert
  - Ausliefern der Gesamtantwort, sobald ihre Qualität „gut genug“ ist
  - Beispiele
    - Weglassen der Werbung
    - Ausblenden der Kommentarfunktion
  - Vorteile
    - Reduzierung des Einflusses einzelner Ausreißer auf die Gesamtantwortzeit
    - Im Allgemeinen bemerken die meisten Nutzer den Unterschied nicht



- Problem
  - Bearbeitung von Anfragen auf viele Server verteilt
  - Antwortzeiten einzelner Server unterliegen Schwankungen
  - Ziel: Minimale Auswirkung einzelner Ausreißer auf die Gesamtantwortzeit
- Vermeidung von Ausreißern
  - Einsatz von Mikropartitionen
  - Selektive Replikation
  - Priorisierung zeitsensitiver Anfragen
  - Aufspaltung nicht-zeitsensitiver Aufgaben mit langer Bearbeitungszeit
  - Optimierte Einplanung von Hintergrundaktivitäten
  - Prüfung mittels Stichproben
- Tolerierung von Ausreißern
  - Abgesicherte Anfragen
  - Verknüpfte Anfragen

