

Verarbeitung großer Datenmengen

Motivation


MapReduce



- Problemstellungen (Beispiele)
 - Indexierung des World Wide Web
 - Erstellung von Log-Statistiken
- Alternative Herangehensweisen
 - Trennung zwischen Speicherung von Daten und ihrer Verarbeitung
 - Speicherung und Verarbeitung von Daten auf denselben Rechnern
- Ziele
 - Ausnutzung der im Datenzentrum zur Verfügung stehenden Kapazitäten
 - Einfache Realisierung von Anwendungen
- Herausforderungen
 - Wie lässt sich ein System aufbauen, das es ermöglicht, mit relativ wenigen Code-Zeilen große Datenmengen zu verarbeiten?
 - Wie erspart man einem Anwendungsprogrammierer sich um Aspekte wie Verteilung, Parallelisierung und Fehlertoleranz kümmern zu müssen?
 - Wie lässt sich Wissen über das zugrundeliegende Datenspeichersystem zur Entlastung von Netzwerkverbindungen nutzen?



MapReduce

- Programmiermodell: Implementierung von zwei Methoden
 - Map: Abbildung der Eingabedaten auf Schlüssel-Wert-Paare
 - Reduce: Zusammenführung der von Map erzeugten Schlüssel-Wert-Paare
- Framework
 - Aufgaben
 - Partitionierung der Eingabedaten
 - Parallelisierung und Einplanung von Verarbeitungsschritten
 - Fehlerbehandlung bei Ausfällen
 - Merkmale
 - Automatische Verteilung auf Hunderte bzw. Tausende von Rechnern
 - Verarbeitetes Datenvolumen mitunter viel größer als Hauptspeicherkapazität
- Literatur
 -  Jeffrey Dean and Sanjay Ghemawat
MapReduce: Simplified data processing on large clusters
Proceedings of the 6th Symposium on Operating Systems Design and Implementation (OSDI '04), S. 137–150, 2004.

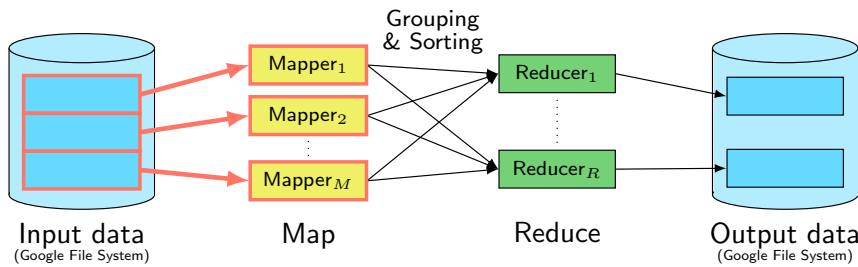


Begrifflichkeiten nach [Dean et al.]

- Rechner im Cluster: Worker-Rechner (*Worker Machine*)
- MapReduce-*Job*
 - Vom Nutzer an das Framework übermittelte Aufgabe
 - Aufspaltung in Teilaufgaben (*Tasks*)
 - *Map-Task*: Aufgabe, einen Teil der Eingabedaten zu verarbeiten
 - *Reduce-Task*: Aufgabe, einen Teil der Zwischenergebnisse zusammenzufassen
- Framework-Prozesse auf Worker-Rechnern
 - *Master-Prozess*
 - Dedizierter Prozess zur Verwaltung des Frameworks
 - Aufgabe: Zuweisung von Map- und Reduce-Tasks zu Worker-Prozessen
 - *Worker-Prozesse*
 - Restliche Prozesse
 - Aufgabe: Ausführung von Map- und Reduce-Tasks
 - Benennung je nach übernommener Aufgabe: *Map-* bzw. *Reduce-Worker*



1. Nutzer übermittelt Job an einen Job-Scheduler
2. Scheduler: Auswahl von Worker-Rechnern zur Bearbeitung des Jobs
3. MapReduce-Bibliothek
 - Annahme: M Map-Tasks, R Reduce-Tasks
 - Partitionierung der Eingabedaten in M etwa gleichgroße Teile (16-64 MB)
 - Verteilung des Programms auf Worker-Rechner
 - Start des Master-Prozesses bzw. der Worker-Prozesse
4. Master: Zuteilung von Map- und Reduce-Tasks zu Worker-Prozessen

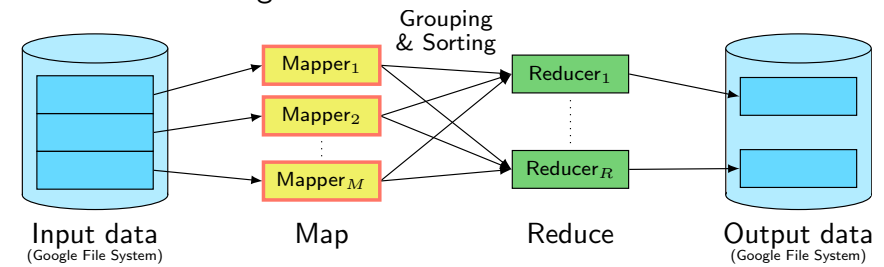


5. Map-Worker
 - Einlesen der Eingabedatenpartition aus dem Google File System
 - Konvertierung der Eingabedaten in Schlüssel-Wert-Paare
 - Aufruf der Map-Funktion für jedes der Schlüssel-Wert-Paare

```
map(KeyM, ValueM) → List<{KeyR, ValueR>>
```

- Puffern der Zwischenergebnisse im Hauptspeicher
- Periodisches Schreiben der Zwischenergebnisse auf die lokale Festplatte
 - Aufteilung in R Partitionen mittels *Partitionierungsfunktion* [z. B. $\text{hash}(\text{Key}_R) \% R$]
 - Meldung der Partitionsadressen an den Master

6. Master: Weiterleitung der Partitionsadressen an die Reduce-Worker

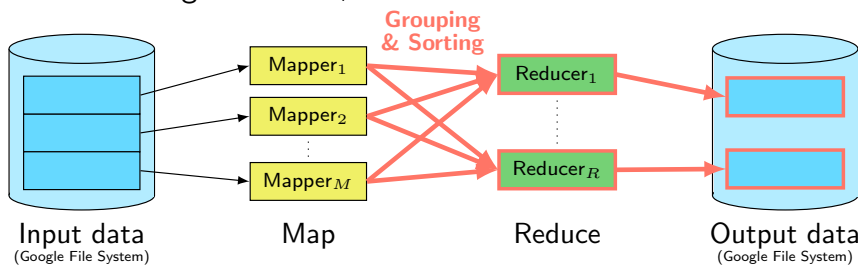


7. Reduce-Worker
 - Holen der Zwischenergebnisse per Fernaufruf
 - Sobald alle benötigten Zwischenergebnisse lokal vorhanden sind
 - Gruppierung aller zum selben Schlüssel gehörigen Werte
 - Sortierung der Zwischenergebnisse nach Schlüssel
 - Aufruf der Reduce-Funktion für jede Schlüssel-Werte-Gruppe

```
reduce(KeyR, List<ValueR>) → List<ValueR>
```

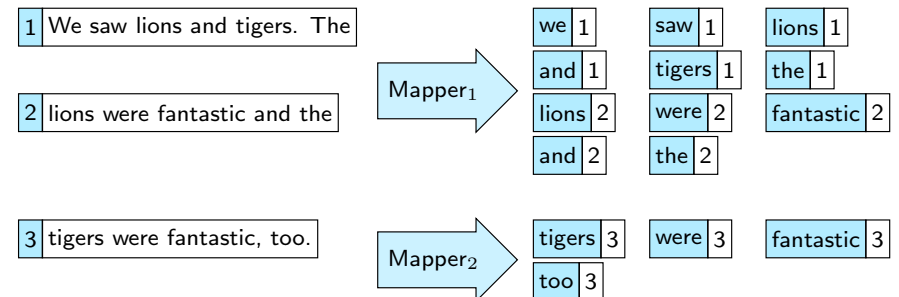
- Sicherung der Ausgabedaten im Google File System
- Eine Ausgabedatei pro Reduce-Task (→ keine Zusammenführung)

8. Master: Meldung an Nutzer, sobald alle Tasks beendet wurden

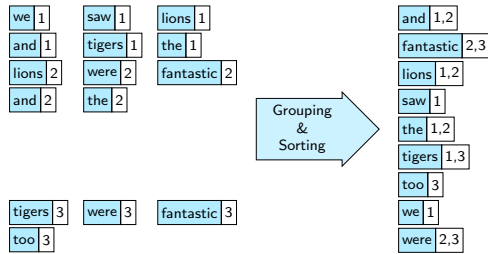


- Anwendungsbeispiele
 - Wörter zählen (→ siehe Übung)
 - Verteiltes grep
 - Verteiltes Sortieren
 - Invertierter Index
- Beispiel: Zeilenindex des ersten Auftretens eines Wortes [case-insensitive]

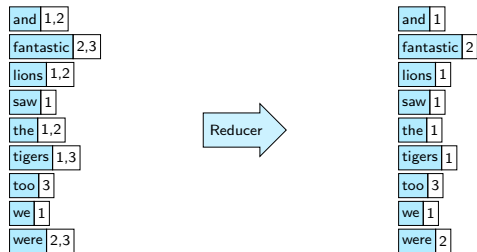
Map-Phase (2 Map-Worker, jeweils 1 Map-Task)



Gruppierung und Sortierung



Reduce-Phase (1 Reduce-Worker, 1 Reduce-Task)



- Master: Maßnahmen zur Tolerierung von Worker-Ausfällen
 - Periodische Ping-Anfragen an Worker-Prozesse
 - Falls Worker w nicht antwortet → w wird als „ausgefallen“ definiert
 - Alle w zugeteilten Map-Tasks werden an andere Worker-Prozesse vergeben
 - Alle w zugeteilten Reduce-Tasks, die dem Master noch nicht als beendet gemeldet wurden, werden an andere Worker-Prozesse vergeben
 - Reduce-Worker werden über die Neuzuteilung benachrichtigt
 - Prinzip: Einfachheit vor Effizienz
 - Kein Versuch eventuell bereits vorhandene Zwischenergebnisse zu retten
 - Redundante Bearbeitung von Tasks wird nicht verhindert
- Ausfall des Master-Prozesses
 - Keine Fehlertoleranzmechanismen
 - Ausfall wird in Kauf genommen
 - Annahme: Nutzer startet seinen MapReduce-Job neu
 - Mögliches Vorgehen: Periodische Sicherungspunkte des Master-Zustands

Optimierungen

- Datenlokalität
 - Ziel: Einsparung der übers Netzwerk zu sendenden Daten
 - Ansatz: MapReduce-Master berücksichtigt Speicherort der Eingabedaten bei der Zuteilung von Tasks zu Worker-Prozessen
 - Beispiel: Ausführung eines Map-Task auf einem Worker-Rechner, auf dem das Google File System ein Replikat der Eingabepartition verwaltet
- Task-Granularität
 - Ziele: Verbesserte Lastbalancierung, beschleunigte Fehlerbehandlung
 - Ansatz: Aufspaltung eines Jobs in viele Tasks
 - Vorteile
 - Feingranulare, dynamische Task-Platzierung nach Lastkriterien möglich
 - Bei Ausfall: Verteilung der Tasks auf viele Worker-Prozesse
 - Nachteile
 - Zusätzliche Scheduling-Entscheidungen für den Master-Prozess
 - Ungünstiger Ansatz für Reduce-Tasks → große Anzahl an Ausgabedateien
 - Beispiel [Dean et al.]: 200.000 Map-, 5.000 Reduce-Tasks (2.000 Rechner)

Optimierungen

- Redundante Task-Ausführung
 - Problem
 - In der Praxis benötigen einige wenige Worker-Prozesse deutlich länger als alle anderen für die Bearbeitung ihrer Tasks → „Nachzügler“ (*Stragglers*)
 - Mögliche Gründe: Überlast auf dem Rechner, Hardware-Fehler, ...
 - Verzögerungen bei der Bearbeitung des MapReduce-Jobs
 - Lösung
 - Sobald ein Großteil aller Tasks beendet ist, vergibt der Master die sich noch in Ausführung befindenden Tasks an weitere Worker-Prozesse → *Backup-Tasks*
 - Verwendung der Ergebnisse des (Original-/Backup-)Task, der zuerst fertig ist
- Zusammenfassen von Zwischenergebnissen
 - Ziel: Reduktion der Zwischenergebnisse → Entlastung des Netzwerks
 - Ansatz: Spezifizierung einer *Combiner*-Funktion
 - Vorverarbeitung der Zwischenergebnisse während der Map-Phase
 - Meist identisch mit der Reduce-Funktion