Index Creation

Sven Fiergolla

9. April 2018

Übersicht

Einführung

„ad hoc retrieval“, effiziente Suche über:

Sammlung von Büchern

das Web

...andere große Datenmengen

Einführung

„ad hoc retrieval“, effiziente Suche über:

Sammlung von Büchern

das Web

...andere große Datenmengen

zu viel für Main Memory!

Einführung

Typische Systemeigenschaften (stand 2018)

- *clock rate* 2-4 GHz, 4-8 Kerne
- *main memory* 4-32 Gb
- *disk space* $\leq$ 1 TB SSD oder $\geq$ 1 TB HDD

Einführung

Typische Systemeigenschaften (stand 2018)

- *clock rate* 2-4 GHz, 4-8 Kerne
- *main memory* 4-32 Gb
- *disk space* $\leq$ 1 TB SSD oder $\geq$ 1 TB HDD
  - HDD (hard disk drive)
    - *average seek time* zwischen 2 und 10 ms
    - *transfer time* 150 - 300 MB/s

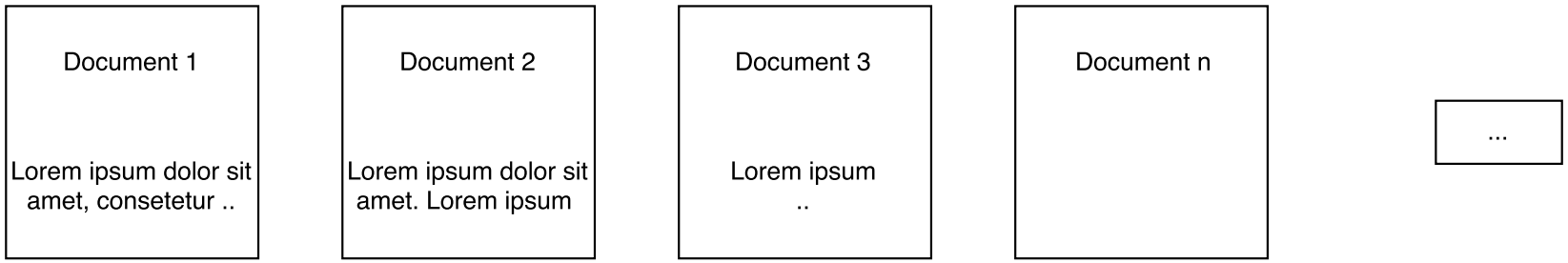
Einführung

Typische Systemeigenschaften (stand 2018)

- *clock rate* 2-4 GHz, 4-8 Kerne
- *main memory* 4-32 Gb
- *disk space* $\leq$ 1 TB SSD oder $\geq$ 1 TB HDD
  - HDD (hard disk drive)
    - *average seek time* zwischen 2 und 10 ms
    - *transfer time* 150 - 300 MB/s
  - SSD (solid state disk)
    - *average seek time* zwischen 0.08 und 0.16 ms
    - *transfer time* Lesen: 545 MB/s, Schreiben: 525 MB/s

hardware constraints

Indizierung einer Sammlung von Daten/Dokumenten auf der Festplatte



Zugriffszeit auf Festplatte als Bottelneck

Index Creation

geeignete Datenstruktur um Zugriff auf die Festplatte zu minimieren

TermID / DocID	
Lorem	1
ipsum	1
consetetur	1
sadipscing	1
amet	1
...	1
Lorem	2
ipsum	2
dolor	2
sit	2
amet	2
...	2

Index Creation

geeignete Datenstruktur um Zugriff auf die Festplatte zu minimieren

TermID / DocID	
Lorem	1
ipsum	1
consetetur	1
sadipscing	1
amet	1
ipsum	1
Lorem	2
ipsum	2
dolor	2
sit	2
amet	2
...	2

TermID / DocID	
amet	1
amet	2
consetetur	1
dolor	2
ipsum	1
ipsum	2
Lorem	1
Lorem	2
sadipscing	1
sit	2
...	...

Index Creation

geeignete Datenstruktur um Zugriff auf die Festplatte zu minimieren

TermID / DocID	
Lorem	1
ipsum	1
consetetur	1
sadipscing	1
amet	1
ipsum	1
Lorem	2
ipsum	2
dolor	2
sit	2
amet	2
...	2

TermID / DocID	
amet	1
amet	2
consetetur	1
dolor	2
ipsum	1
ipsum	2
Lorem	1
Lorem	2
sadipscing	1
sit	2
...	...

TermID, doc Frequenz	Postings
amet	1 → 1, 2
consetetur	1 → 1
dolor	1 → 2
ipsum	2 → 1, 2
Lorem	1 → 1, 2
sadipiscing	1 → 1
sit	1 → 2

Index Creation - hardware constraints

Reuters-RCV1 Modell Sammlung besitzt 100.000.000 Terme...

Sortieren dieser Terme von einer Festplatte:

Index Creation - hardware constraints

Reuters-RCV1 Modell Sammlung besitzt 100.000.000 Terme...

Sortieren dieser Terme von einer Festplatte:

- Annahme
  - $T \cdot log_2(T)$ Vergleiche
  - 2 Zugriffe auf die Hard Drive zum Vergleichen
  - average seek time 5 ms

Index Creation - hardware constraints

Reuters-RCV1 Modell Sammlung besitzt 100.000.000 Terme...

Sortieren dieser Terme von einer Festplatte:

- Annahme
  - $T \cdot log_2(T)$ Vergleiche
  - 2 Zugriffe auf die Hard Drive zum Vergleichen
  - average seek time 5 ms
- $(100.000.000 \cdot log_2(100.000.000)) \cdot 2 \cdot (5 \cdot 10^{-3})$ Sekunden
- $2.6575424759... \cdot 10^7$ Sekunden
- 307.59 Tage

Index Creation - hardware constraints

Reuters-RCV1 Modell Sammlung besitzt 100.000.000 Terme...

Sortieren dieser Terme von einer Festplatte:

- Annahme
  - $T \cdot log_2(T)$ Vergleiche
  - 2 Zugriffe auf die Hard Drive zum Vergleichen
  - average seek time 5 ms
- $(100.000.000 \cdot log_2(100.000.000)) \cdot 2 \cdot (5 \cdot 10^{-3})$ Sekunden
- $2.6575424759... \cdot 10^7$ Sekunden
- 307.59 Tage

Mit einer schnellen SSD mit $0,8$ ms Zugriffszeit:

- $(100.000.000 \cdot log_2(100.000.000)) \cdot 2 \cdot (1 \cdot 10^{-4})$ Sekunden
- 6.15 Tage

Blocked sort-based indexing (BSI)

Lösung:

- Sammlung von Dokumenten in einzelne Blocks unterteilen
- Index über einzelne Blöcke erstellen
- Teilindizes mergen

Blocked sort-based indexing (BSI)

Lösung:

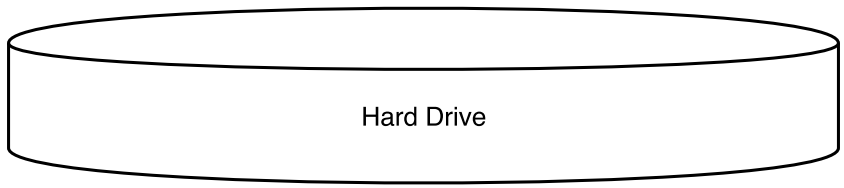
- Sammlung von Dokumenten in einzelne Blocks unterteilen
- Index über einzelne Blöcke erstellen
- Teilindizes mergen

n = 0;
while *all documents have not been processed* **do**
  n = n + 1;
  block = ParseNextBlock();
  BSBI-INVERT(block);
  WriteBlockToDisk(block, f_n);
end
MergeBlocks($f_1, \cdots, f_n; f_{merged}$);

Algorithm 2: BSI Algorithmus

Blocked sort-based indexing (BSI) - merging Blocks

Zusammenführen von Postings Lists bei block sort-based Indexing

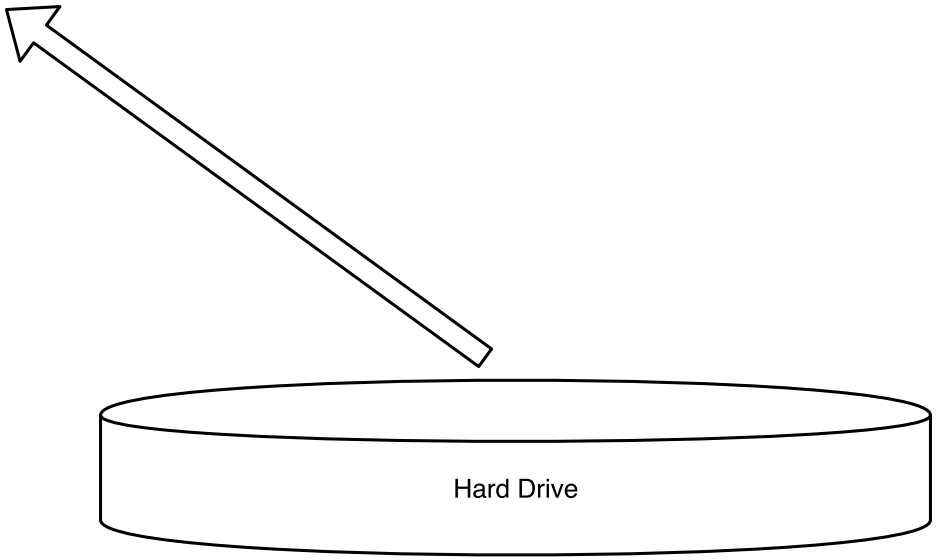


Blocked sort-based indexing (BSI) - merging Blocks

Zusammenführen von Postings Lists bei block sort-based Indexing

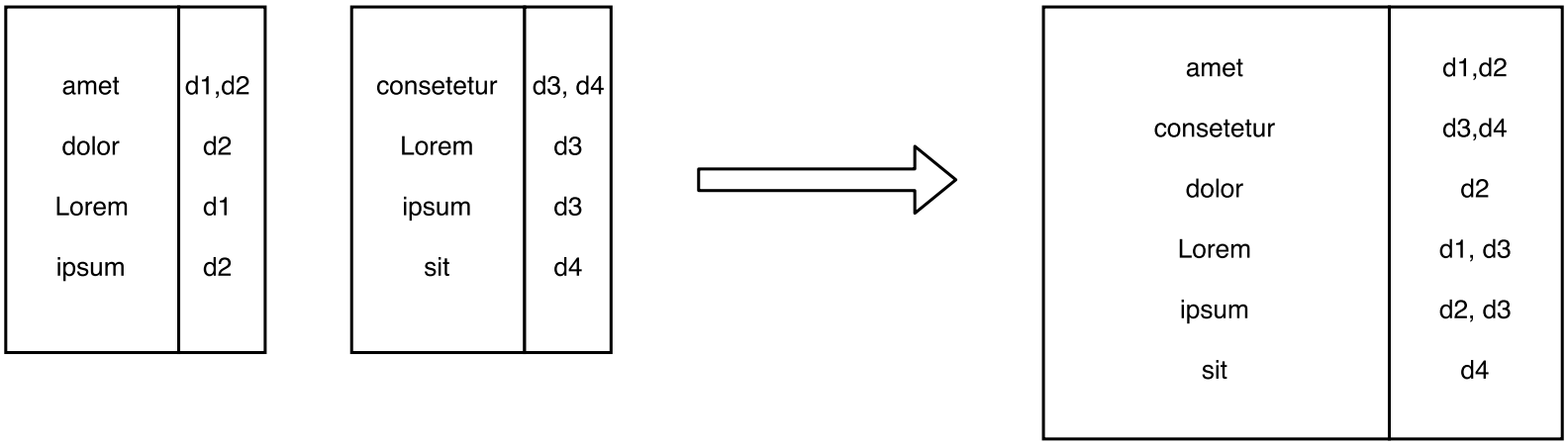
amet	d1,d2
dolor	d2
Lorem	d1
ipsum	d2

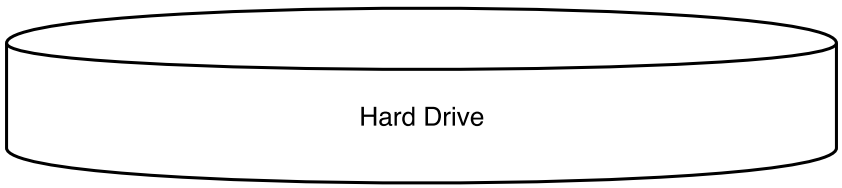
consetetur	d3, d4
Lorem	d3
ipsum	d3
sit	d4



Blocked sort-based indexing (BSI) - merging Blocks

Zusammenführen von Postings Lists bei block sort-based Indexing

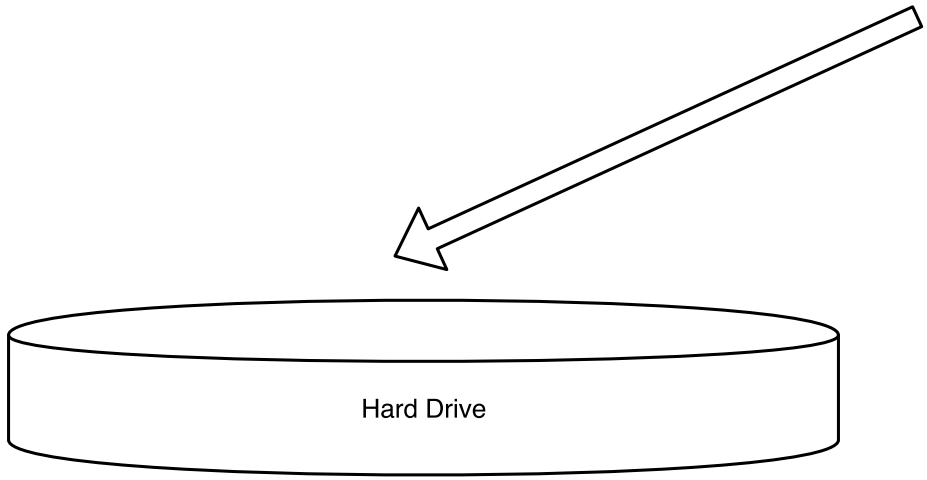




Blocked sort-based indexing (BSI) - merging Blocks

Zusammenführen von Postings Lists bei block sort-based Indexing

amet	d1,d2
consetetur	d3,d4
dolor	d2
Lorem	d1, d3
ipsum	d2, d3
sit	d4



Blocked sort-based indexing (BSI) - Fazit

Fazit zu BSBI:

Blocked sort-based indexing (BSI) - Fazit

Fazit zu BSBI:

- Zeitkompplexität: $\Theta(T \cdot log(T))$
  - das Sortieren hat die höchste Komplexität
  - das Parsen und Mergen der Blocks ist jedoch in der Regel am zeitaufwendigsten

Blocked sort-based indexing (BSI) - Fazit

Fazit zu BSBI:

- Zeitkompplexität: $\Theta(T \cdot log(T))$
  - das Sortieren hat die höchste Komplexität
  - das Parsen und Mergen der Blocks ist jedoch in der Regel am zeitaufwendigsten
- Datenstruktur für Mapping zwischen Termen und termID's muss in Main Memory liegen
  - kann für sehr große Datenmengen auch Server überlasten

Single-pass in-memory indexing (SPIMI)

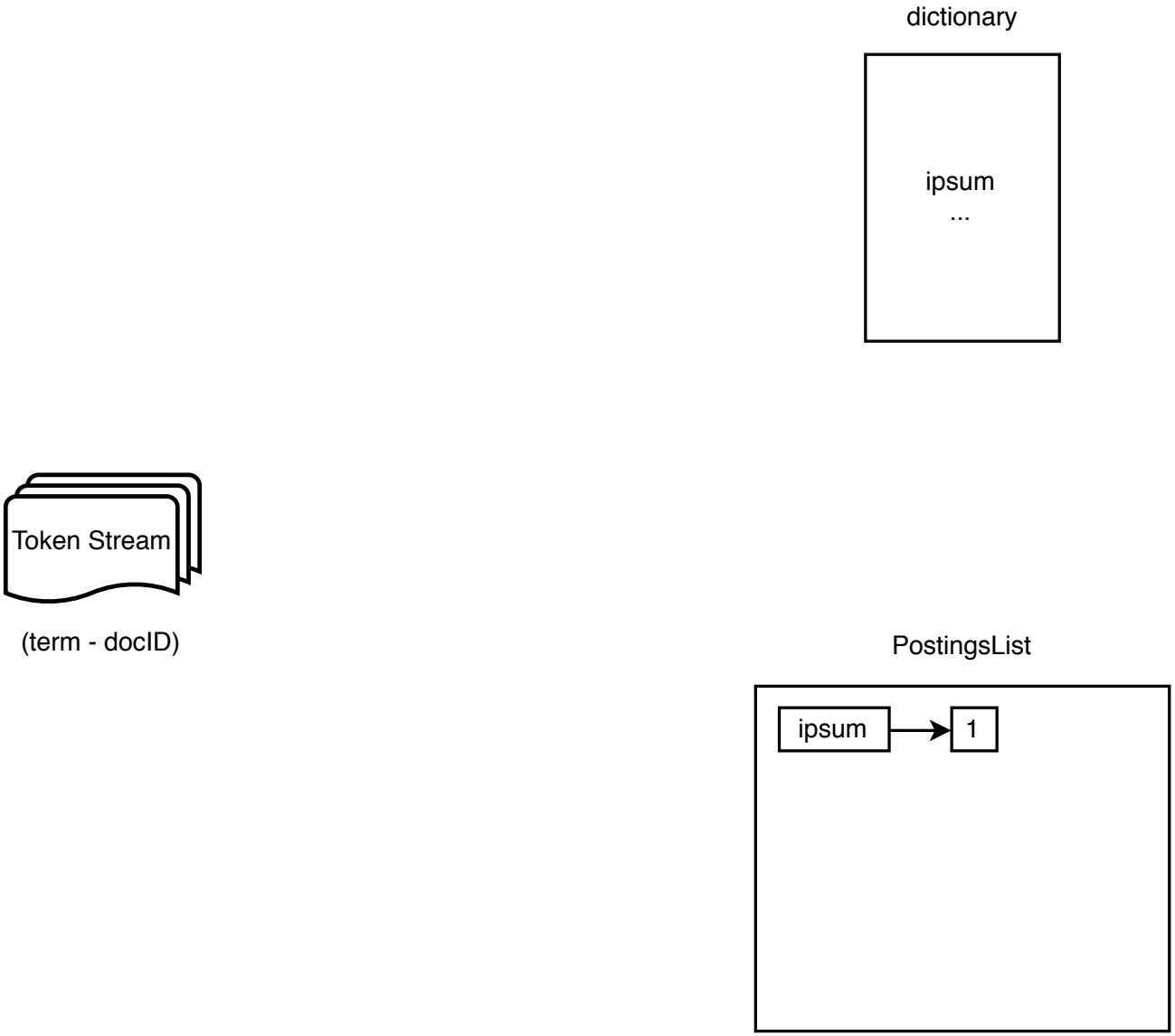
- einzelne dictionaries für jeden Block
  - keine Datenstruktur für das Mapping von termen und termID's
- kein Sortieren der einzelnen Blöcke
  - Postings in der Reihenfolge ihres Vorkommens in die Postingslist aufnehmen

Single-pass in-memory indexing (SPIMI)

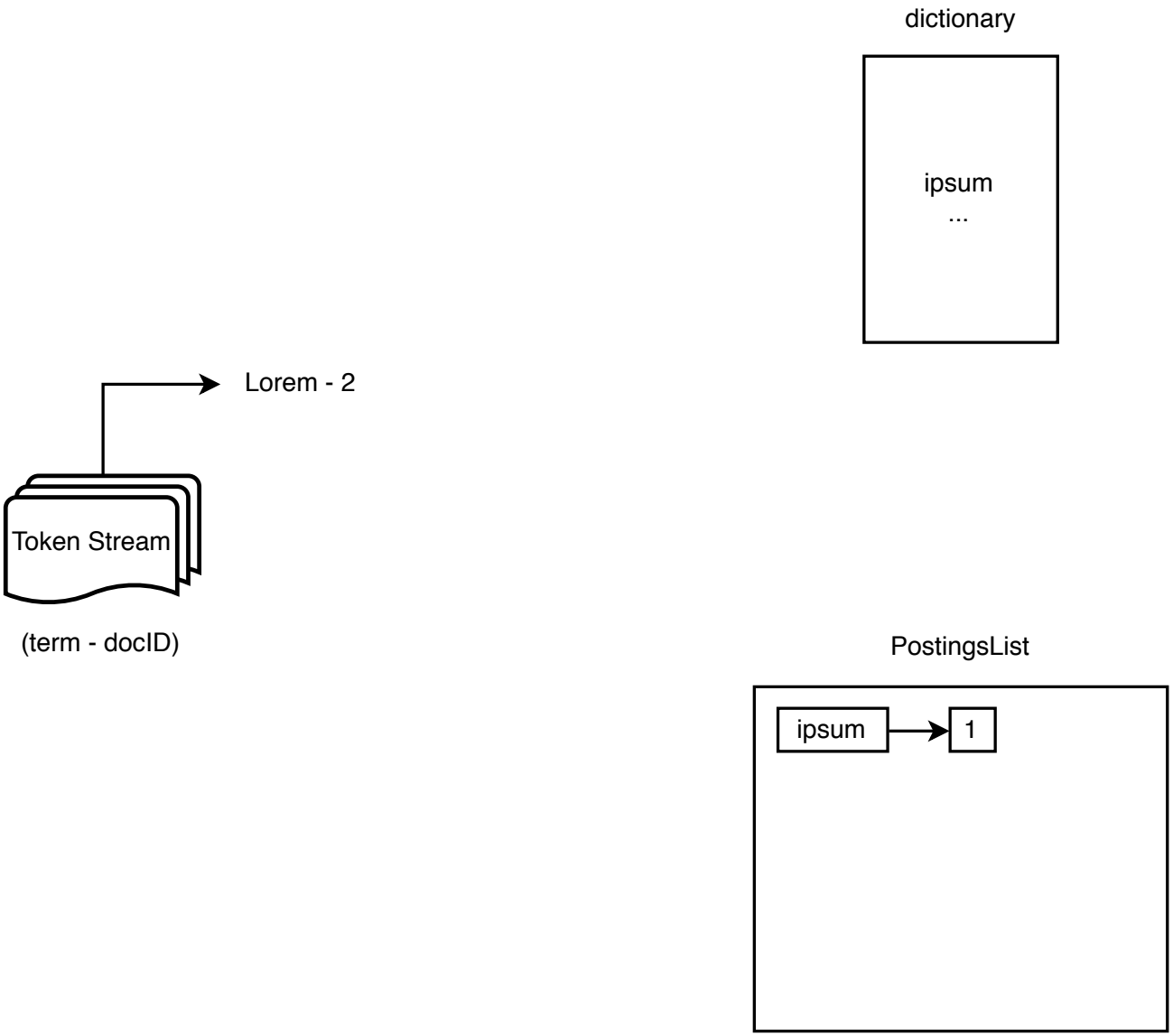
```
SPIMI-invert(TokenStream)
outputFile = new File();
dictionary = new HashFile();
while free memory available do
    token = next(TokenStream);
    if term(token) ∉ dictionary then
        PostingsList = AddToDictionary(dictionary, term(token));
    else
        PostingsList = GetPostingsList(dictionary, term(token));
    end
    if full(PostingsList) then
        PostingsList = DoublePostingsList(dictionary, term(token));
    end
    AddToPostingsList(PostingsList, docID(token));
    SortedTerms = SortTerms(dictionary);
    WriteBlockToDisk(SortedTerms, dictionary, OutputFile);
end
```

Algorithm 3: SPIMI-invert Algorithmus

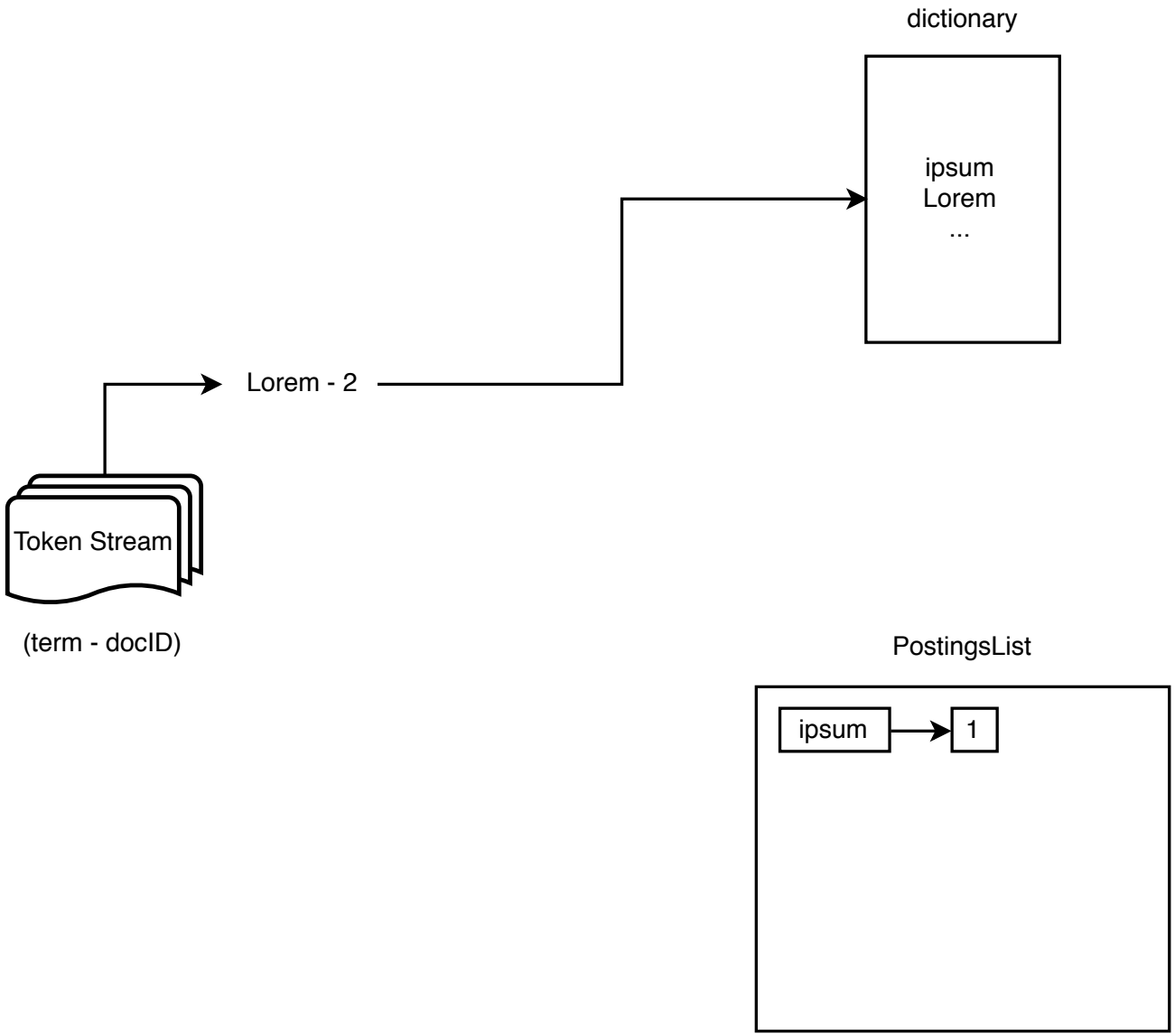
Single-pass in-memory indexing (SPIMI)



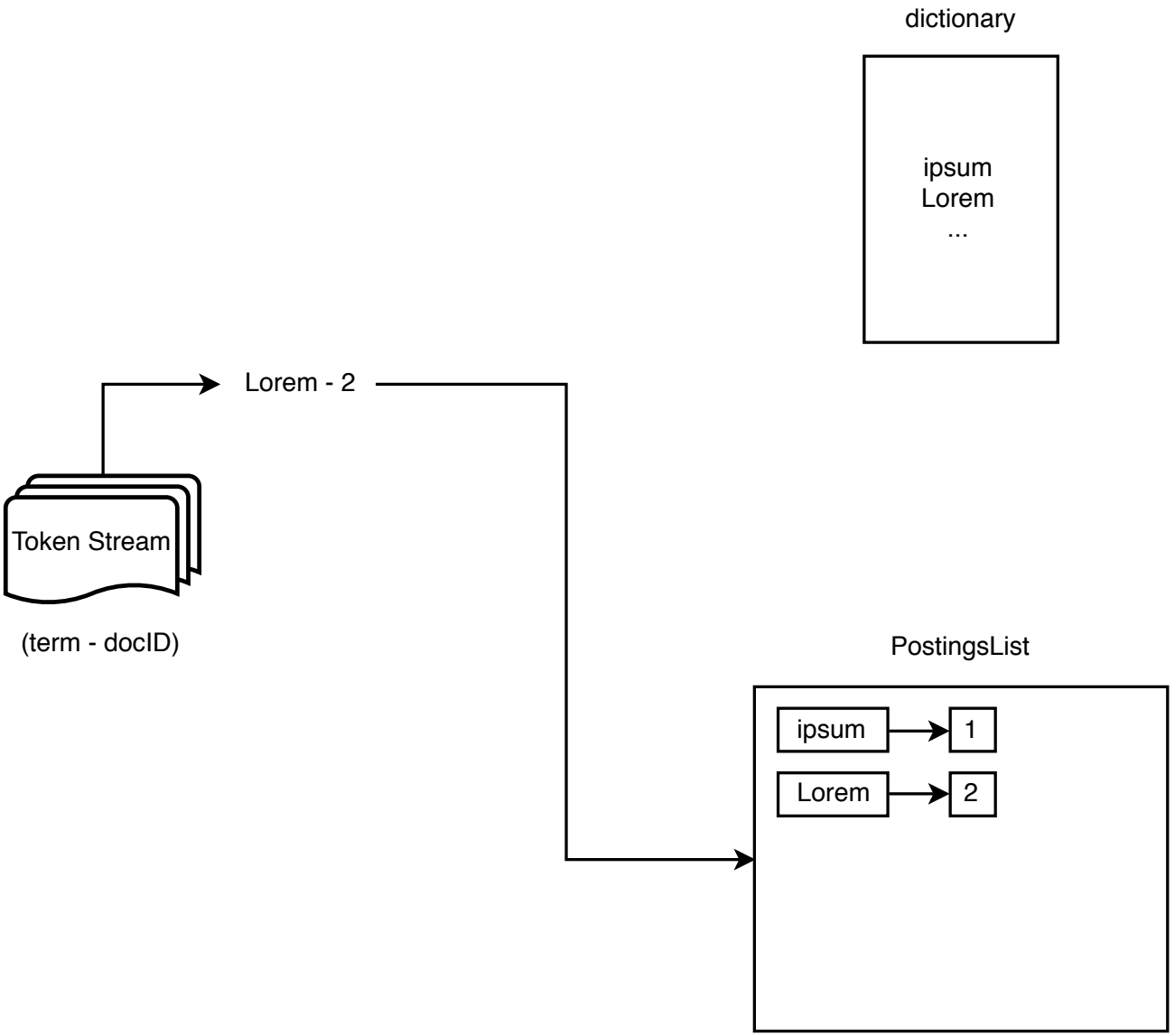
Single-pass in-memory indexing (SPIMI)



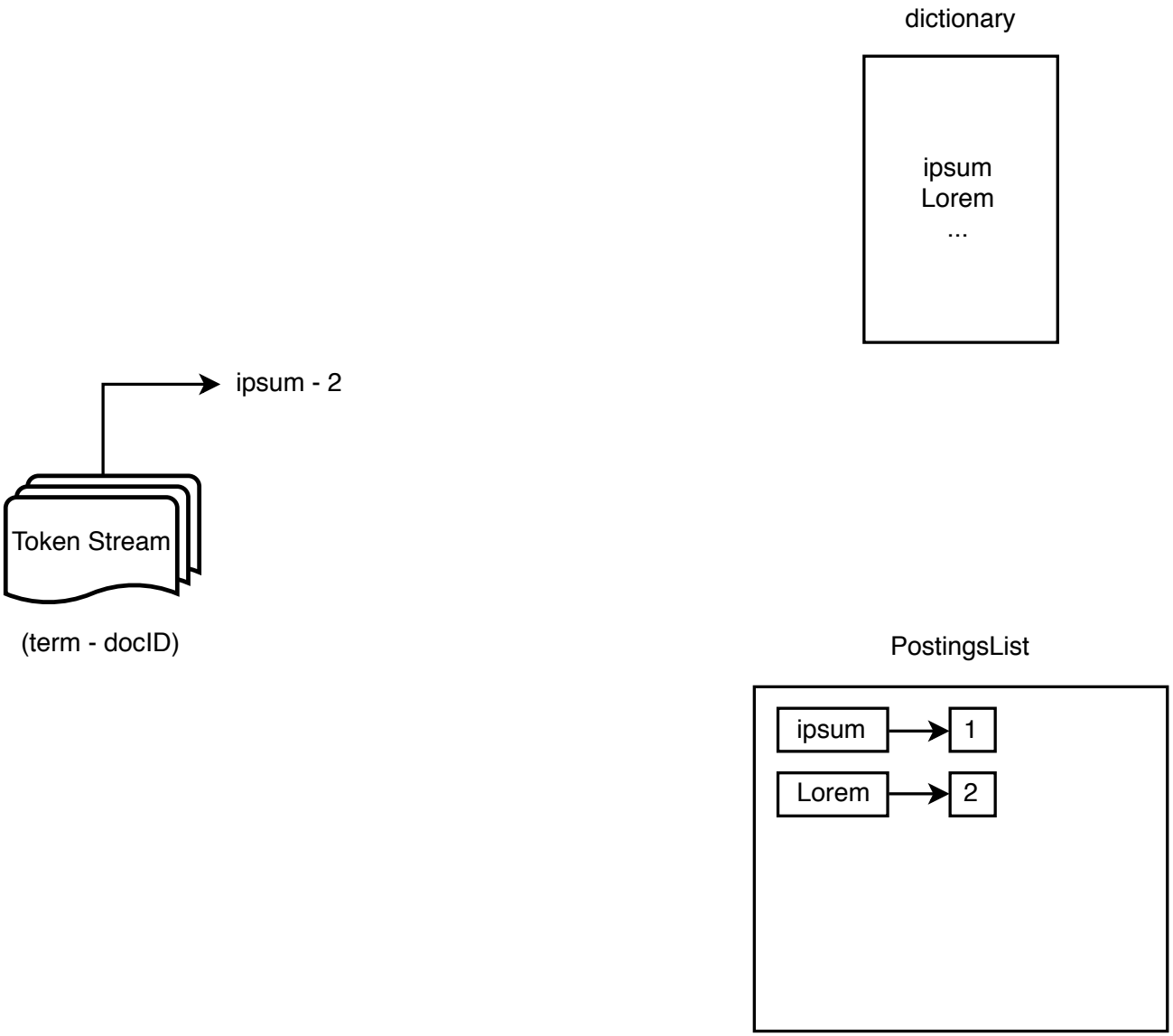
Single-pass in-memory indexing (SPIMI)



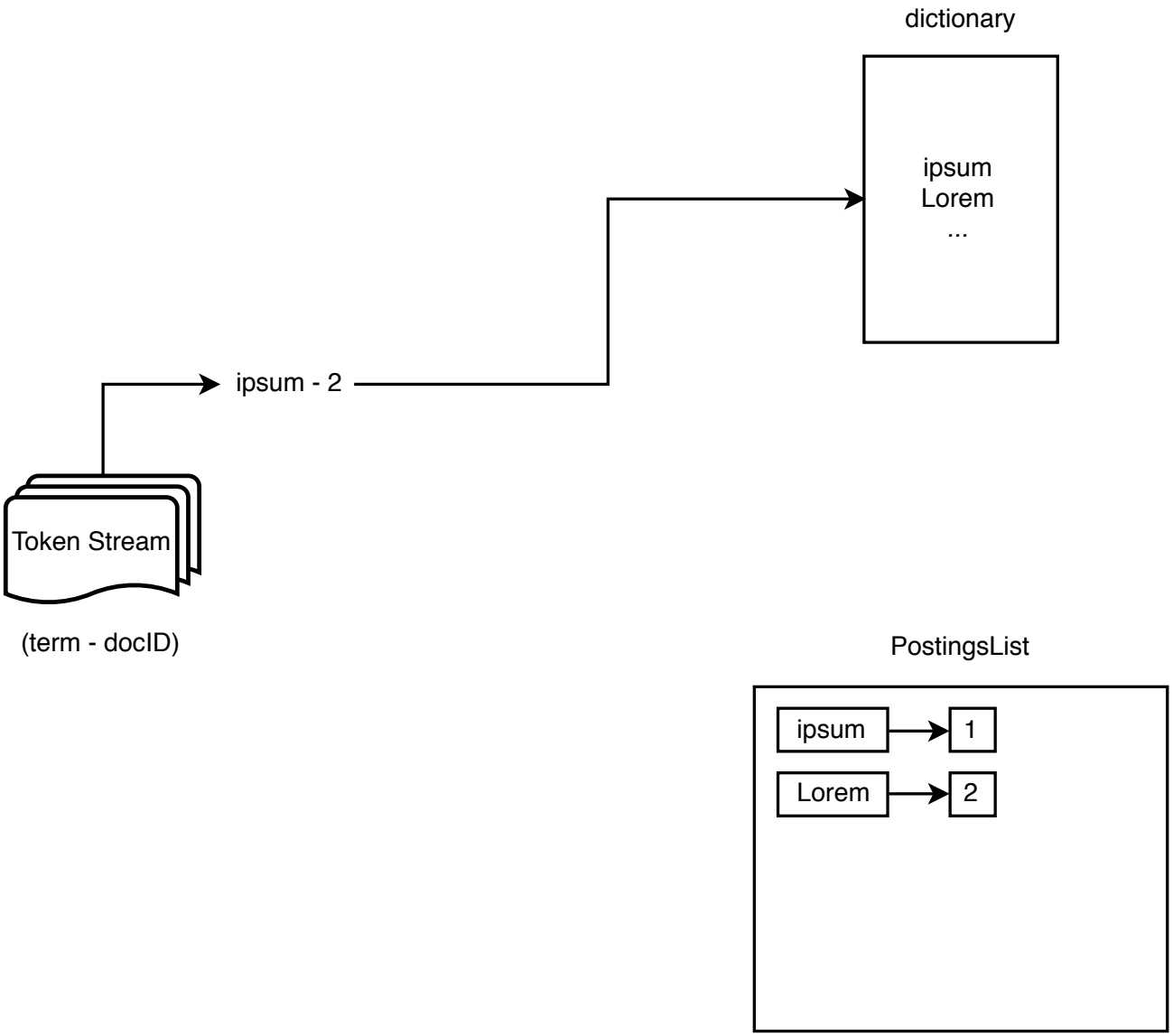
Single-pass in-memory indexing (SPIMI)



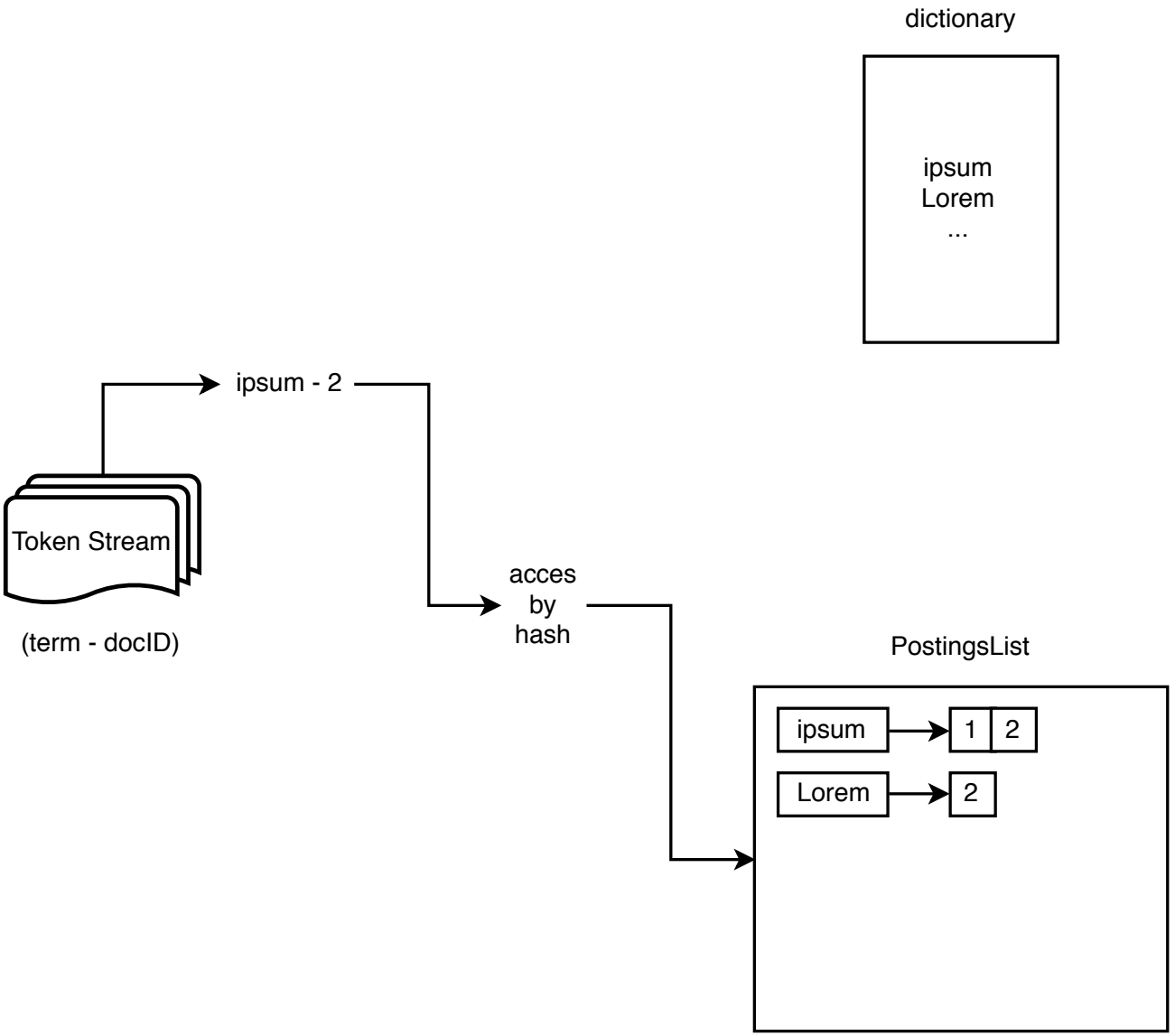
Single-pass in-memory indexing (SPIMI)



Single-pass in-memory indexing (SPIMI)



Single-pass in-memory indexing (SPIMI)



Single-pass in-memory indexing (SPIMI)

Vorteile gegenüber BSI:

- kann für beliebig große Datenmengen einen Index erstellen

Single-pass in-memory indexing (SPIMI)

Vorteile gegenüber BSI:

- kann für beliebig große Datenmengen einen Index erstellen
- einzelne Blocke können größer sein
  - Indexerstelung effizienter

Single-pass in-memory indexing (SPIMI)

Vorteile gegenüber BSI:

- kann für beliebig große Datenmengen einen Index erstellen
- einzelne Blocke können größer sein
  - Indexerstelung effizienter
- dictionaries und die erstellte PostingsList kann komprimiert gespeichert werden

Single-pass in-memory indexing (SPIMI)

Vorteile gegenüber BSI:

- kann für beliebig große Datenmengen einen Index erstellen
- einzelne Blocke können größer sein
  - Indexerstelung effizienter
- dictionaries und die erstellte PostingsList kann komprimiert gespeichert werden
- Zeitkompplexität: $\Theta(T)$, kein Sortieren von TermID-DocID Paaren, alle Operationen linear

Distributed indexing

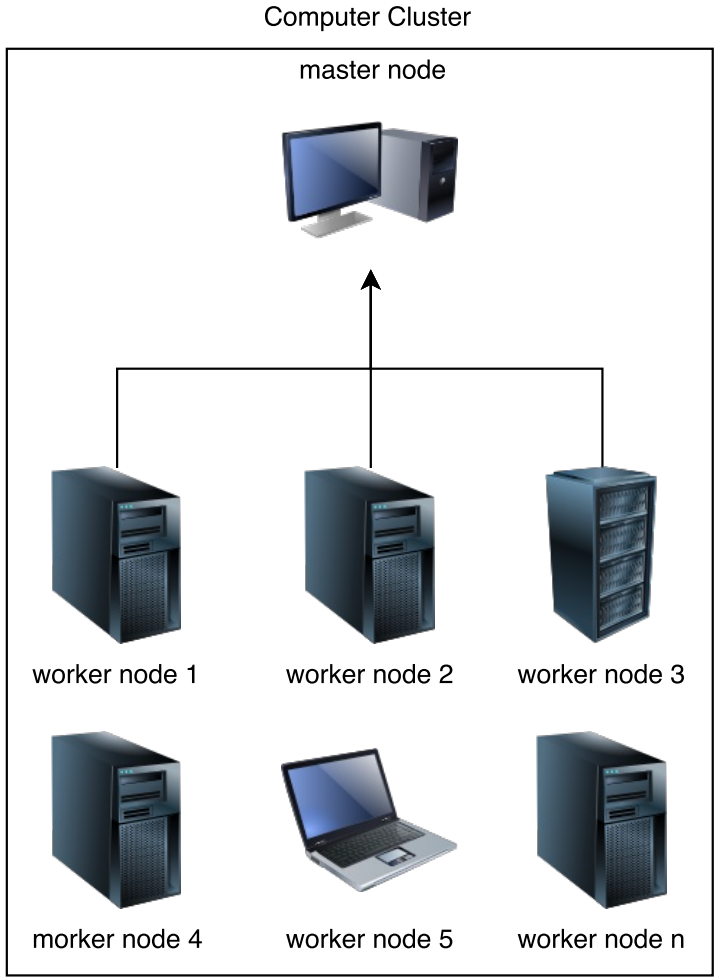
- manche Sammlungen übersteigen die Leistung eines einzelnen Rechners
  - beispielsweise das Web

Distributed indexing

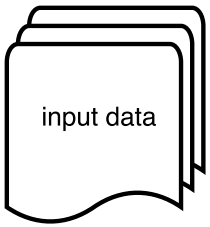
- manche Sammlungen übersteigen die Leistung eines einzelnen Rechners
  - beispielsweise das Web
- um Indizes über solche Sammlungen zu erstellen, muss die Arbeit auf mehrere Rechner verteilt werden

Distributed indexing

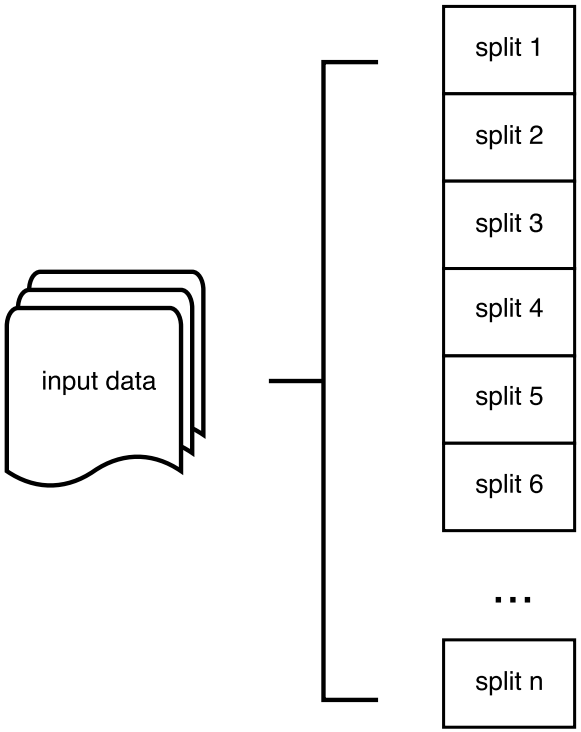
- manche Sammlungen übersteigen die Leistung eines einzelnen Rechners
  - beispielsweise das Web
- um Indizes über solche Sammlungen zu erstellen, muss die Arbeit auf mehrere Rechner verteilt werden



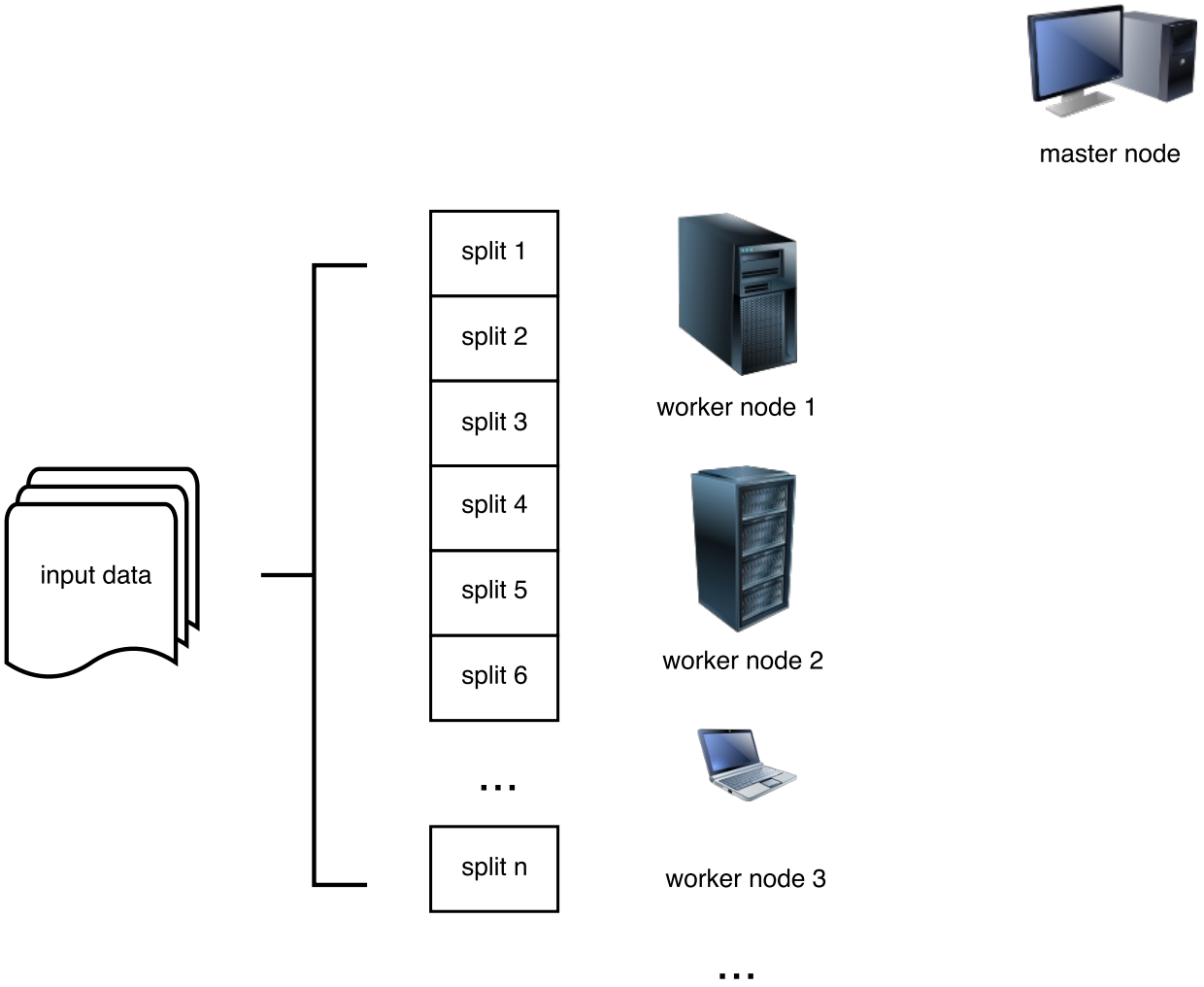
Distributed indexing - MapReduce



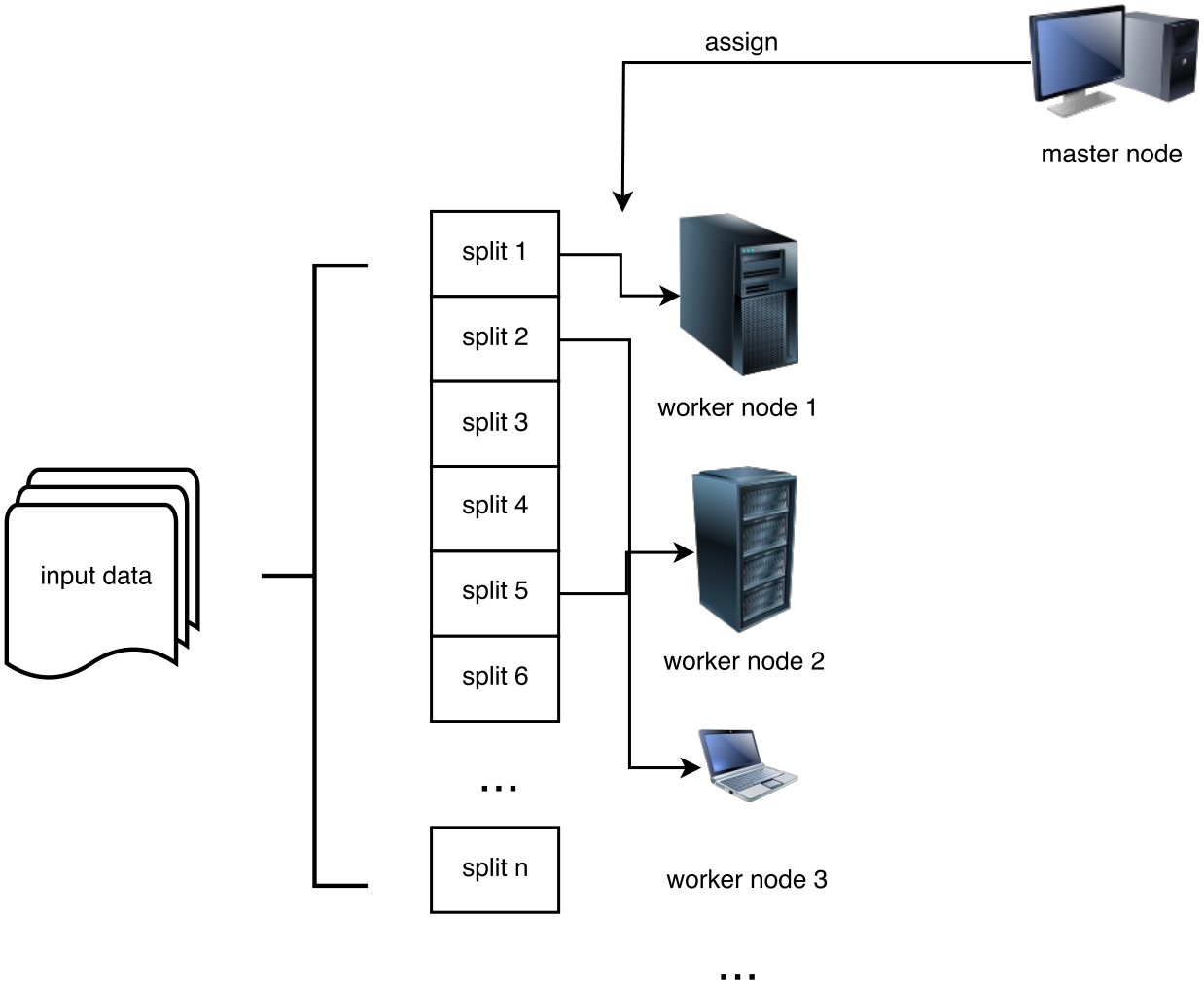
Distributed indexing - MapReduce



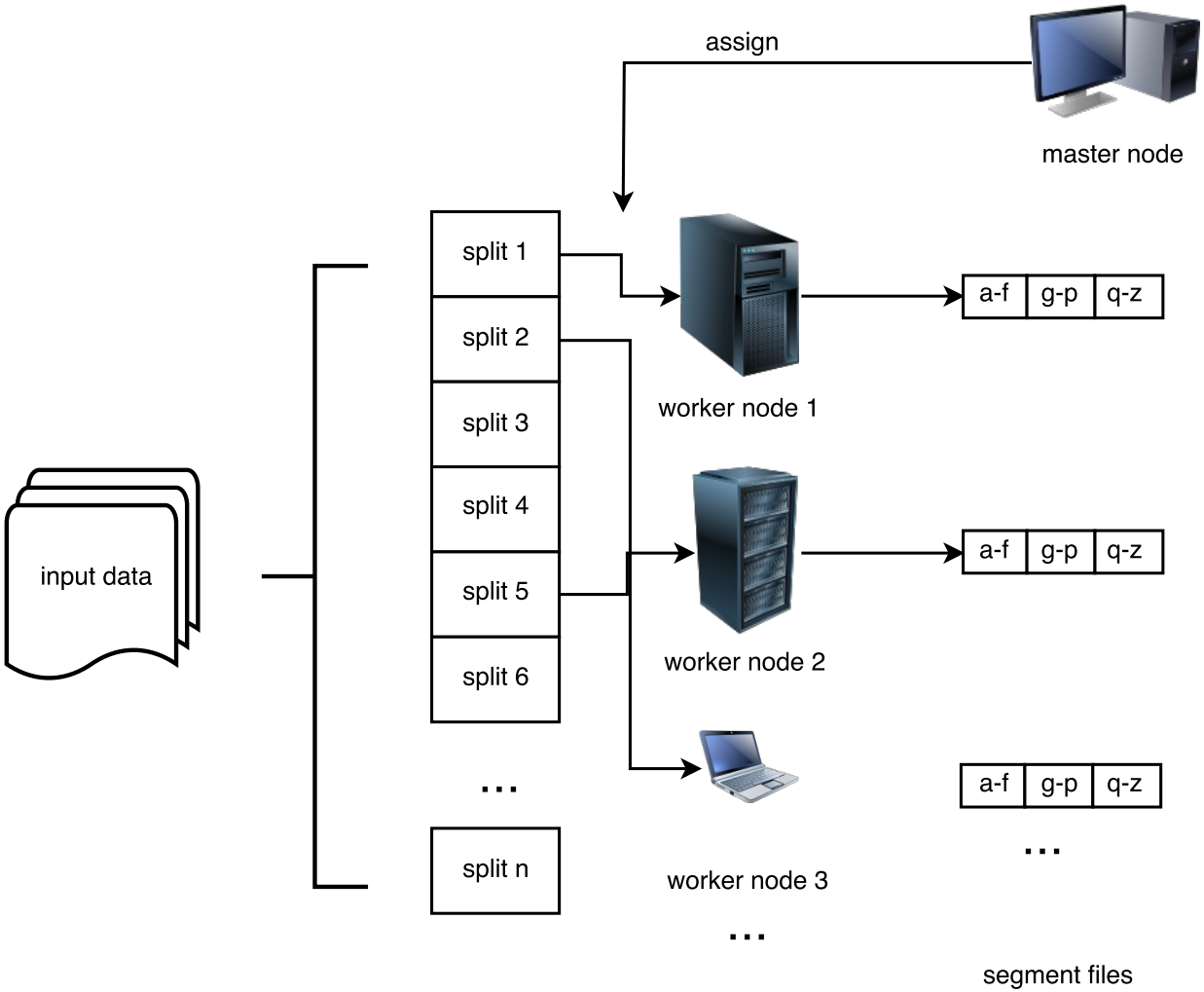
Distributed indexing - MapReduce



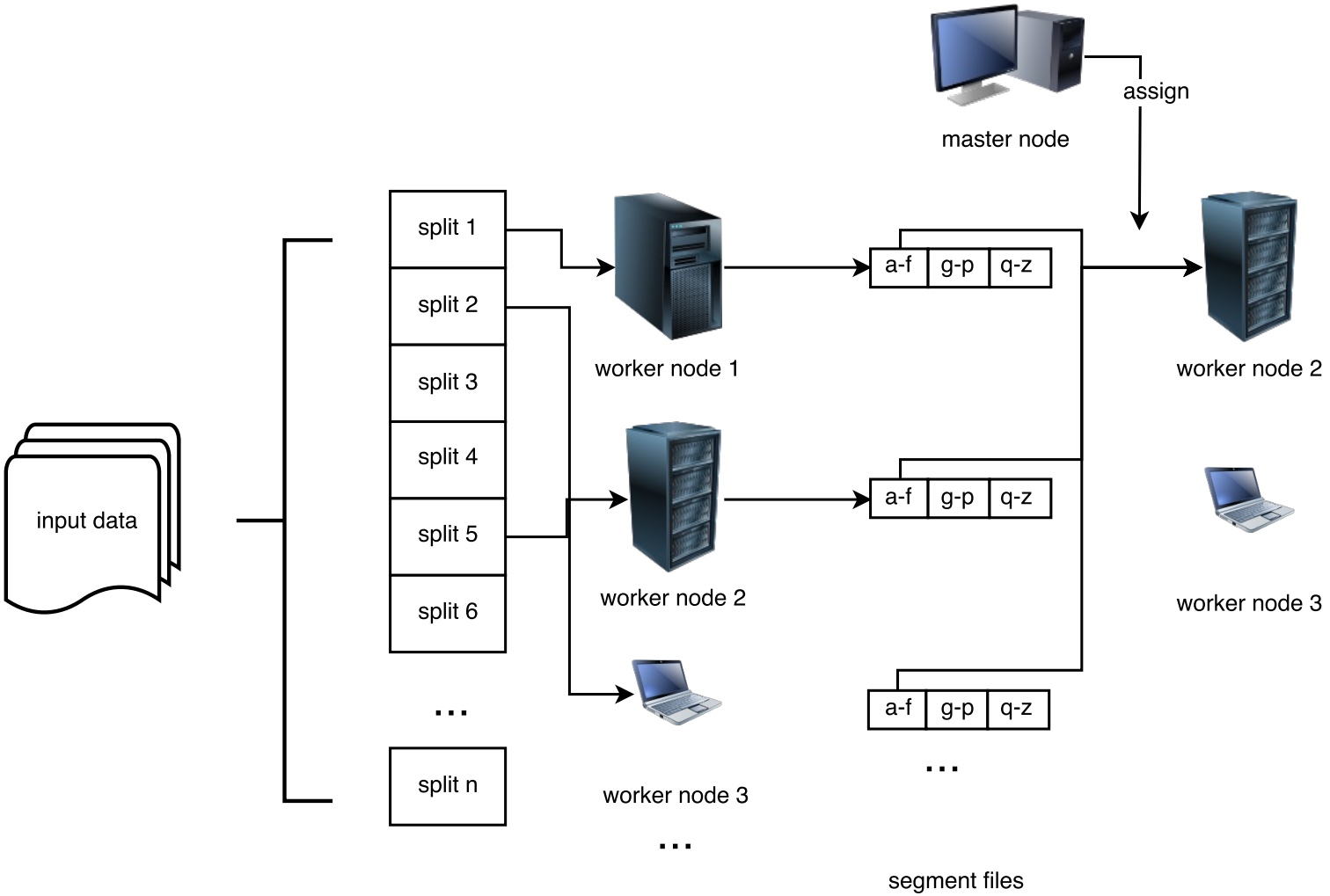
Distributed indexing - MapReduce



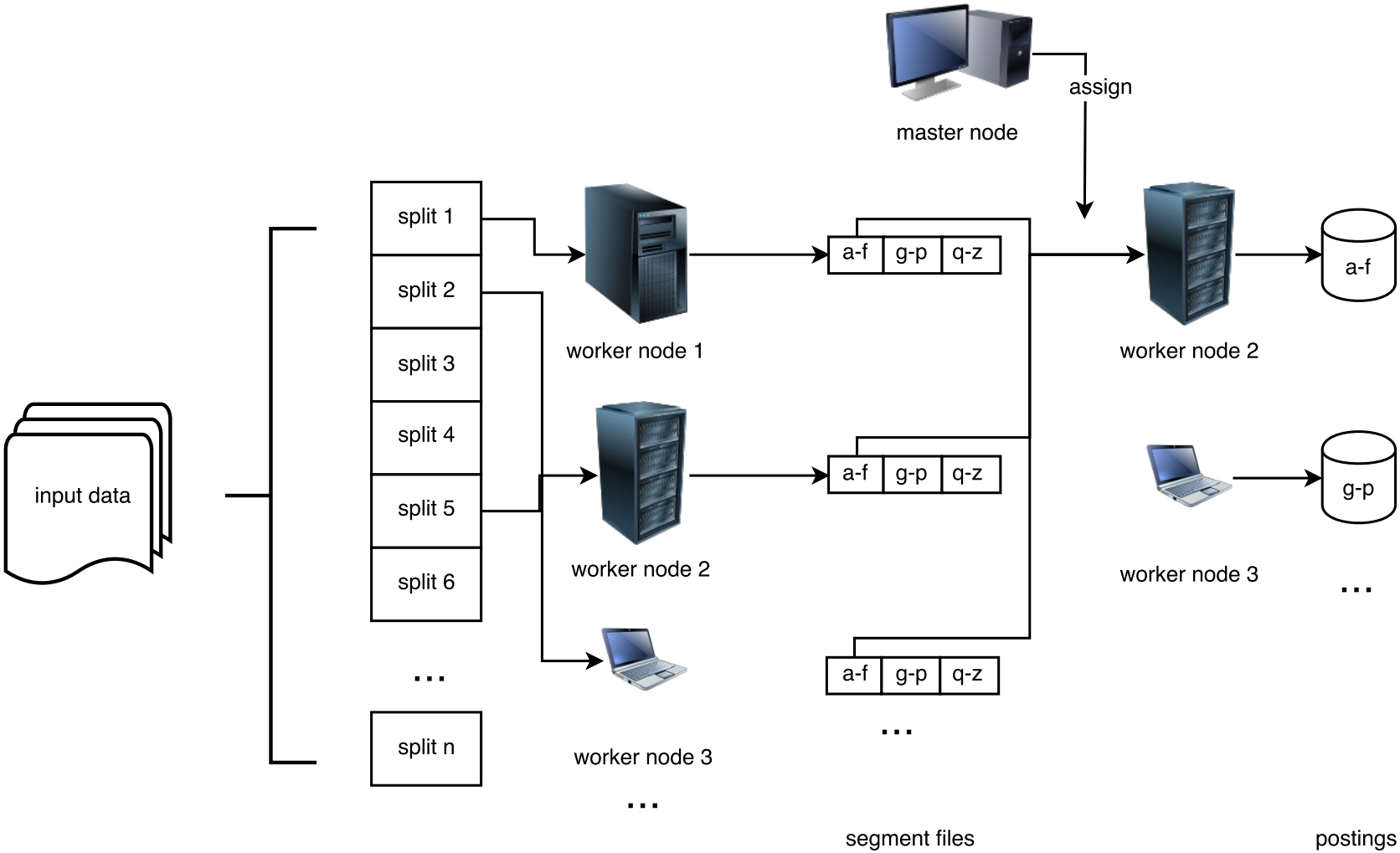
Distributed indexing - MapReduce



Distributed indexing - MapReduce



Distributed indexing - MapReduce



Dynamic indexing

- viele Sammlungen von Dokumenten ändern sich häufig
  - Webseiten werden geändert, gelöscht oder neue hinzugefügt..

Dynamic indexing

- viele Sammlungen von Dokumenten ändern sich häufig
  - Webseiten werden geändert, gelöscht oder neue hinzugefügt..
- Indexerstellung über eine solche Sammlung ebenfalls dynamsich

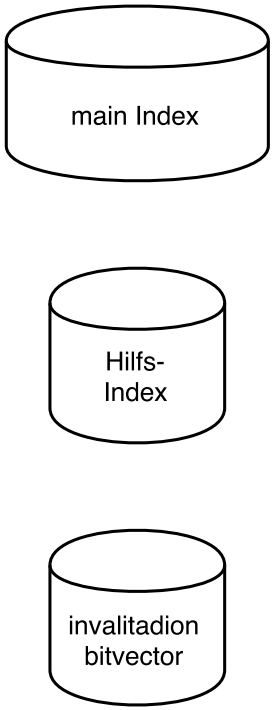
Dynamic indexing

- Index periodisch neu erstellen
  - akzeptabel wenn Änderungen nicht sehr groß
  - wenn Änderungen nicht sofort sichtbar sein müssen
- Hauptindex behalten und neue Dokumente in einen Hilfsindex speichern
  - beide Indizes regemäßig mergen

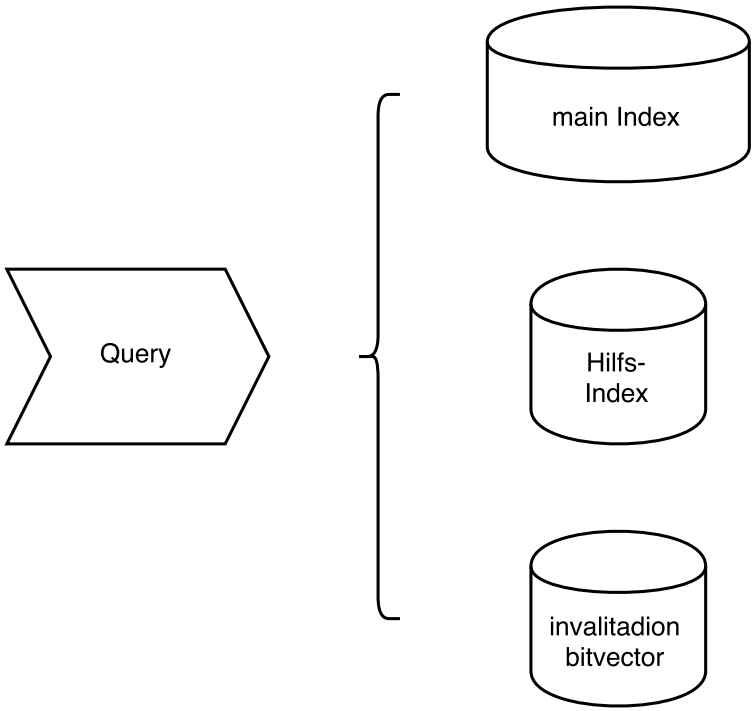
Dynamic indexing

- Index periodisch neu erstellen
  - akzeptabel wenn Änderungen nicht sehr groß
  - wenn Änderungen nicht sofort sichtbar sein müssen
- Hauptindex behalten und neue Dokumente in einen Hilfsindex speichern
  - beide Indizes regemäßig mergen

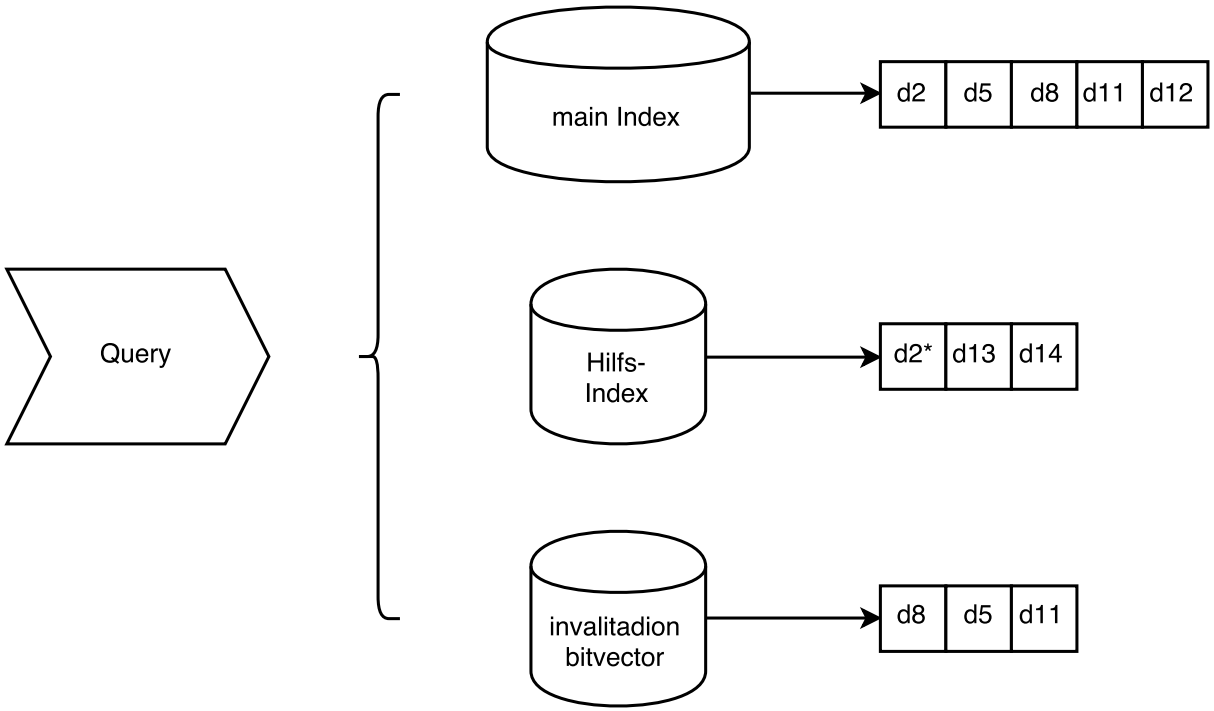
Dynamic indexing



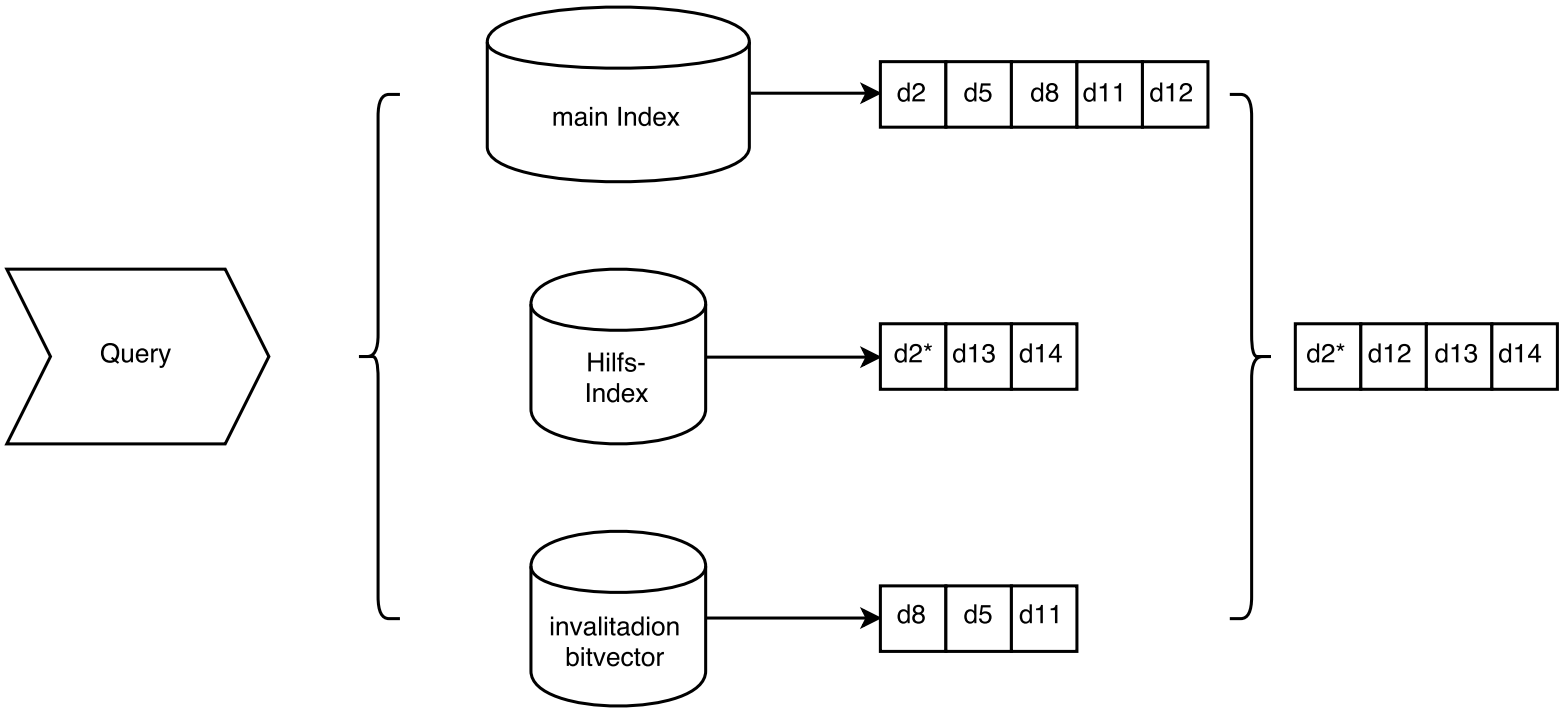
Dynamic indexing



Dynamic indexing



Dynamic indexing



andere Indexierungsverfahren

Alternative Indexverfahren mit unterschiedlichen Vor/Nachteile:

andere Indexierungsverfahren

Alternative Indexverfahren mit unterschiedlichen Vor/Nachteile:

- ranked retrieval systems

andere Indexierungsverfahren

Alternative Indexverfahren mit unterschiedlichen Vor/Nachteile:

- ranked retrieval systems
- zugriffsbeschränkte Indizes

andere Indexierungsverfahren

Alternative Indexverfahren mit unterschiedlichen Vor/Nachteile:

- ranked retrieval systems
- zugriffsbeschränkte Indizes
- „in situ“-Indexerstellung

Indexierung mit Solid State Drives - hardware constraints

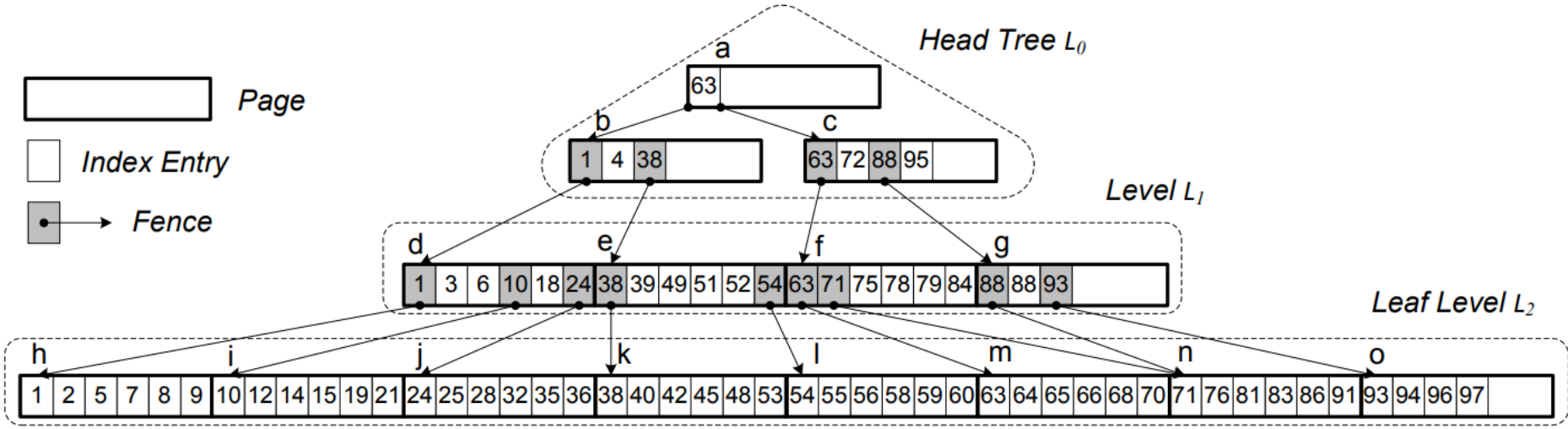
- schneller „random read“-Zugriff

Indexierung mit Solid State Drives - hardware constraints

- schneller „random read“-Zugriff
- „random write“-Zugriff deutlich langsamer
  - wegen dem „erase before write“-Mechanismus

Indexierung mit Solid State Drives

Datenstruktur FD-Baum



Indexierung mit Solid State Drives - Fazit

- abweichende Hardwareeigenschaften $\rightarrow$ andere Algorhythmen
- FD-Baumstruktur eliminiert häufige kleine „random read“-Zugriffe

Fazit

todo

Quellen

- Christopher D. Manning, Prabhakar Raghavan and Hinrich Schütze „Introduction to Information Retrieval“ [1] Cambridge University Press 2008, pp. 1-18 and 67-84.
- Ian H. Witten, Alistair Moffat, Timothy C. Bell „Managing Gigabytes: Compressing and Indexing Documents and Images“ [2] Morgan Kaufman Publishers 1999, pp. 223-261.
- Yinan Li, Bingsheng He, Robin Jun Yang, Qiong Luo, Ke YiTree (Hong Kong University of Science and Technology) „Indexing on Solid State Drives“ [3] The 36th International Conference on Very Large Data Bases, September 13-17, 2010, Singapore.

[1] https://nlp.stanford.edu/IR-book/pdf/04const.pdf

[2] https://books.google.de/books?id=2F74jyPl48EC&dq=Witten+et+al.+index+1999&lr=&hl=de&source=gbs_navlinks_s

[3] http://pages.cs.wisc.edu/~yinan/paper/fdtree_pvldb.pdf