

# 现代信息检索

# Modern Information Retrieval

第1讲 布尔检索

Boolean Retrieval

# 提纲

- ① 信息检索概述
- ② 倒排索引
- ③ 布尔查询的处理

# 提纲

- ① 信息检索概述
- ② 倒排索引
- ③ 布尔查询的处理

# 信息检索(Information Retrieval)

- Information Retrieval (IR) is finding material (usually documents) of an unstructured nature (usually text) that satisfies an information need from within large collections (usually stored on computers).
  - 信息检索是从大规模非结构化数据（通常是文本）的集合（通常保存在计算机上）中找出满足用户信息需求的资料（通常是文档）的过程。
- Document – 文档
  - Unstructured – 非结构化
- Information need – 信息需求
- Collection—文档集、语料库

# Web搜索

---

- 现在提到信息检索，通常会首先想到Web搜索，但是除此之外还有很多其它的搜索应用
  - 电子邮件搜索
  - 笔记本电脑（桌面）搜索
  - 知识库搜索
  - 法律文献搜索
- 等等.....

# 文本检索

本课程主要关注文本检索（Text Retrieval）

- (1) 文本检索是最早的检索应用，也仍然是目前最主要的应用
- (2) 文本检索理论可以用于其他领域
- (3) .....

# IR vs 数据库: 结构化 vs 非结构化数据

- 结构化数据即指“表”中的数据

Employee	Manager	Salary
Smith	Jones	50000
Chang	Smith	60000
Ivy	Smith	50000

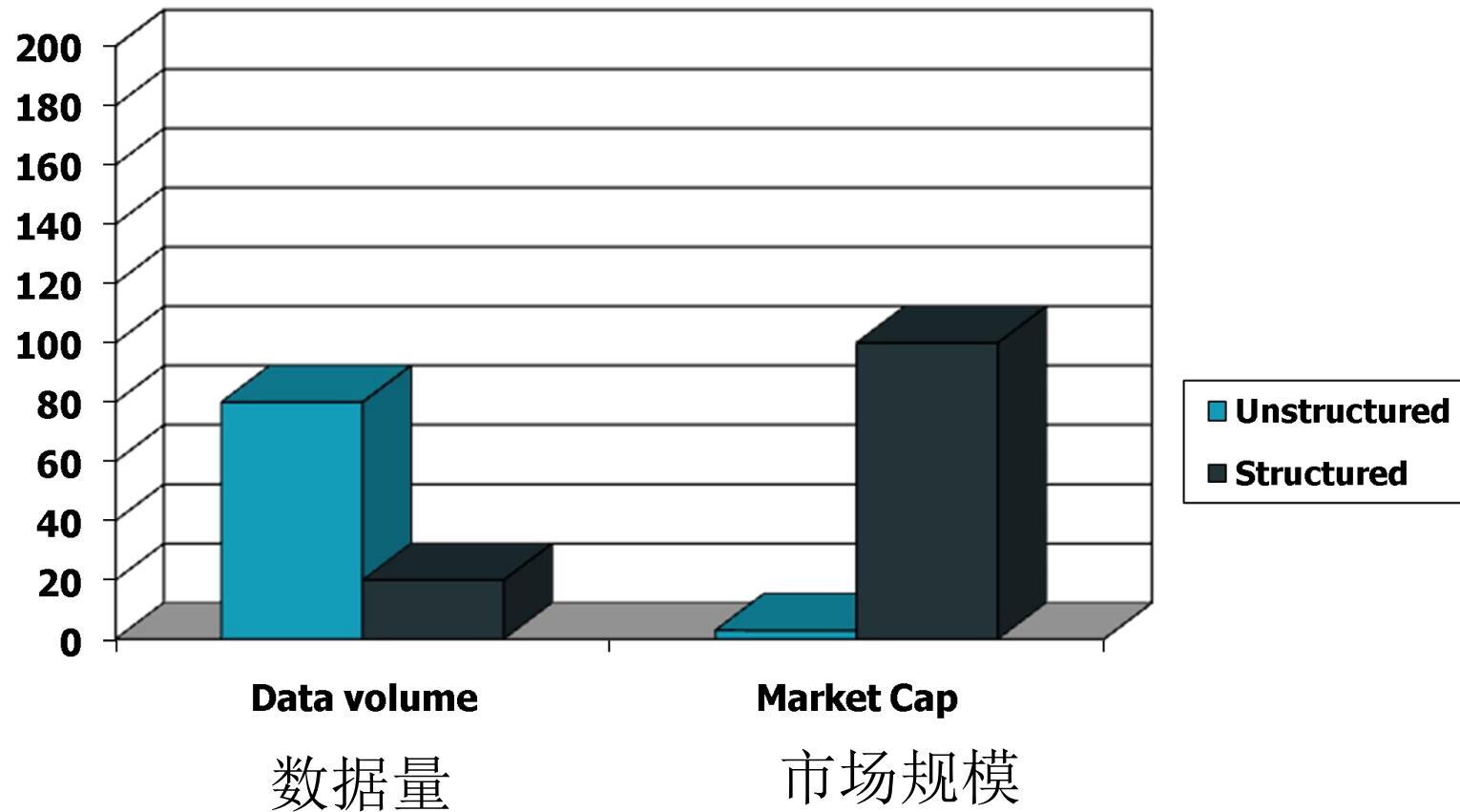
数据库常常支持范围或者精确匹配查询。e.g.,  
 $Salary < 60000 \text{ AND Manager} = Smith.$

# 非结构化数据

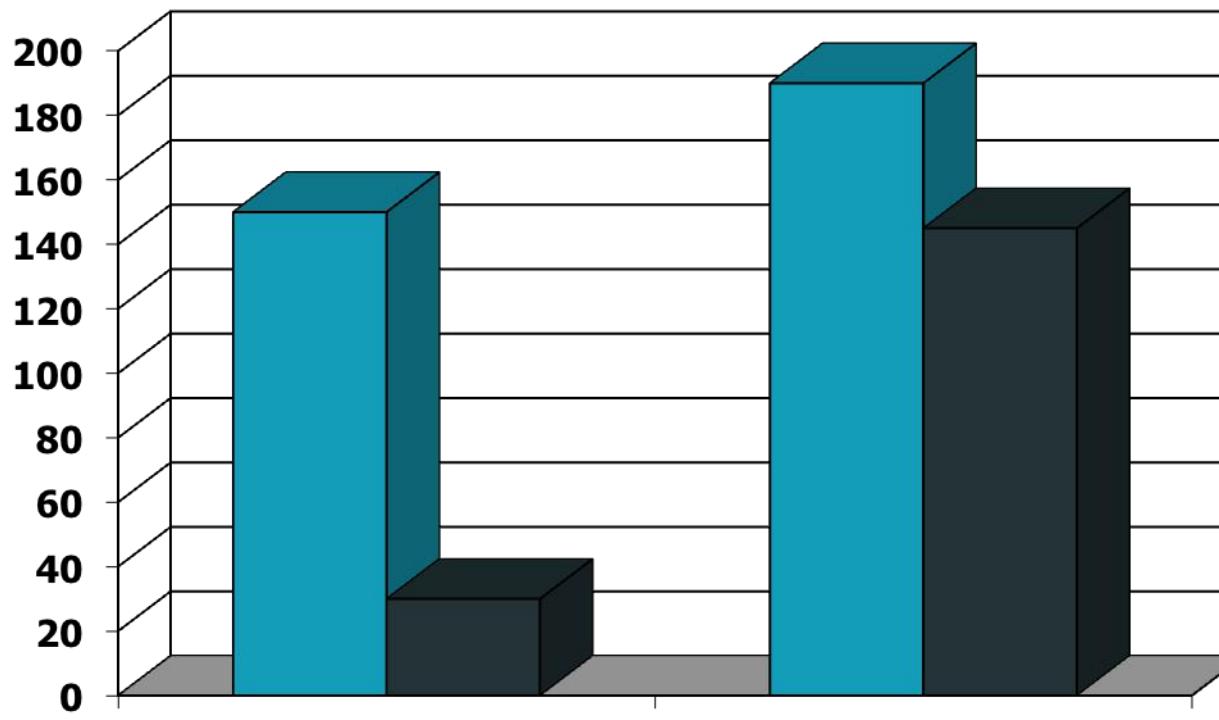
---

- 通常指自由文本(free text)
- 允许
  - 关键词加上操作符号的查询
    - 如 奥运会 AND 游泳
  - 更复杂的 概念性查询
    - 找出所有的有关药物滥用(drug abuse)的网页
- 经典的检索模型一般都针对自由文本进行处理

# 非结构化数据(文本) vs. 结构化数据(数据库) @ 1996年



# 非结构化数据(文本) vs. 结构化数据(数据库) @ 2009年



Google™

YAHOO!®

■ Unstructured  
■ Structured



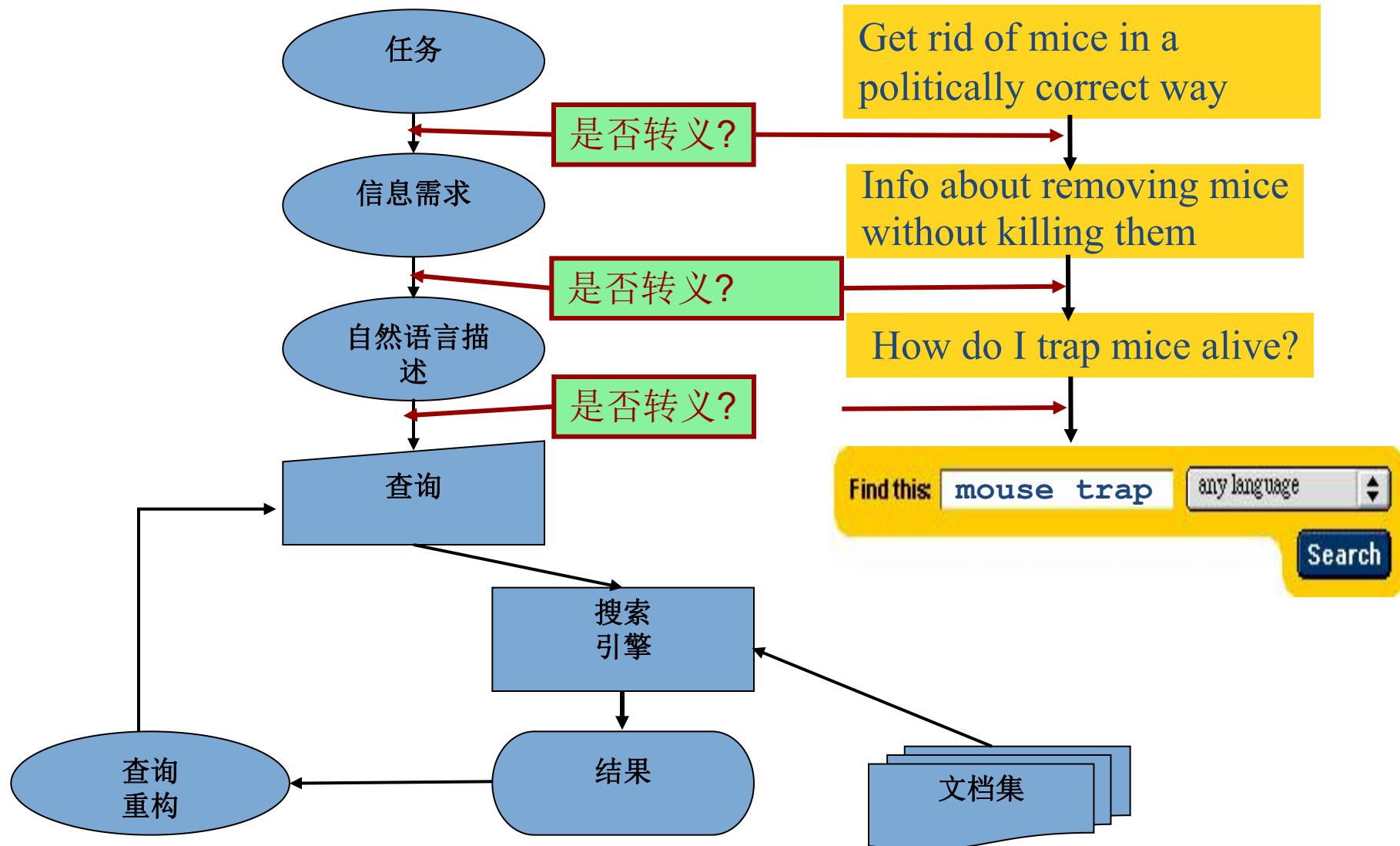
数据量

市场规模

# IR中的基本假设

- 文档集Collection: 由固定数目的文档组成
- 目标: 返回与用户需求相关的文档并辅助用户来完成某项任务
- 相关性Relevance
  - 主观的概念
  - 反映对象的匹配程度
  - 不同应用相关性不同

# 典型的搜索过程



# 检索效果的评价

- 正确率(Precision)：返回结果文档中正确的比例。如返回80篇文档，其中20篇相关，正确率 $1/4$
- 召回率(Recall)：全部相关文档中被返回的比例，如返回80篇文档，其中20篇相关，但是总的应该相关的文档是100篇，召回率 $1/5$
- 正确率和召回率反映检索效果的两个方面，缺一不可。
  - 全部返回，正确率低，召回率100%
  - 只返回一个非常可靠的结果，正确率100%，召回率低

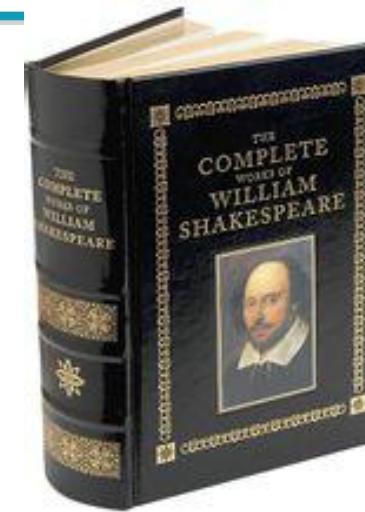
# 布尔检索

- 针对布尔查询的检索，布尔查询是指利用 AND, OR 或者 NOT 操作符将词项 连接起来的查询
  - 信息 AND 检索
  - 信息 OR 检索
  - 信息 AND 检索 AND NOT 教材
- Google 支持上述布尔查询

# 提纲

- ① 信息检索概述
- ② 倒排索引
- ③ 布尔查询的处理

# 一个简单的例子(《莎士比亚全集》)



不到100万单词，假设每个英文单词平均长度为8字节，则整个全集不到10MB

- 需求：莎士比亚的哪部剧本包含Brutus及Caesar但是不包含Calpurnia？
  - 将需求表示为布尔表达式： Brutus AND Caesar AND NOT Calpurnia。

# 一个简单的例子(《莎士比亚全集》)

- 暴力方法：从头到尾扫描所有剧本，对每部剧本判断它是否包含Brutus AND Caesar，同时又不包含Calpurnia
- 暴力方法的优点？
  - 实现简单
  - 很容易支持文档动态变化
- 暴力方法有什么不足？
  - 速度超慢 (特别是大型文档集)
  - 处理NOT Calpurnia 并不容易 (不到末尾不能停止判断)
  - 不太容易支持其他操作 (e.g., 寻找靠近countrymen的单词Romans)
  - 不支持检索结果的(灵活)排序 (排序时只返回较好的结果)

# 词项-文档(term-doc)的关联矩阵

	Antony and Cleopatra	Julius Caesar	The Tempest	Hamlet	Othello	Macbeth
Antony	1	1	0	0	0	1
Brutus	1	1	0	1	0	0
Caesar	1	1	0	1	1	1
Calpurnia	0	1	0	0	0	0
Cleopatra	1	0	0	0	0	0
mercy	1	0	1	1	1	1
worser	1	0	1	1	1	0

*Brutus AND Caesar BUT  
NOT Calpurnia*

若某剧本包含某单词，则该位置上为1，否则为0

# 关联向量(incidence vectors)

- 关联矩阵的每一列(对应一篇文档)都是 0/1 向量，每个 0/1 都对应一个词项。
- 关联矩阵的每一行(对应一个词项)也可以看成一个 0/1 向量，每个 0/1 代表该词项在相应文档中的出现与否
- 给定查询 Brutus AND Caesar AND NOT Calpurnia
  - 取出三个词项对应的行向量，并对 Calpurnia 的行向量求反，最后按位进行与操作
  - $110100 \text{ AND } 110111 \text{ AND } 101111 = 100100.$

# 上述查询的结果文档

## ■ Antony and Cleopatra, Act III, Scene ii

*Agrippa* [Aside to DOMITIUS ENOBARBUS]: Why, Enobarbus,

When Antony found Julius **Caesar** dead,  
He cried almost to roaring; and he wept  
When at Philippi he found **Brutus** slain.

## ■ Hamlet, Act III, Scene ii

*Lord Polonius*: I did enact Julius **Caesar** I was killed i' the  
Capitol; **Brutus** killed me.



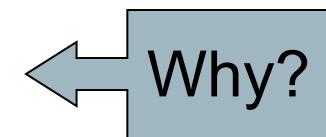
# 更大的文档集

- 假定  $N = 1$  百万篇文档(1M), 每篇有1000个词(1K)
- 假定每个词平均有6个字节(包括空格和标点符号)
  - 那么所有文档将约占6GB 空间.
- 假定 词汇表的大小(即词项个数)  $M = 500K$

	Antony and Cleopatra	Julius Caesar	The Tempest	Hamlet	Othello	Macbeth
Antony	1	1	0	0	0	1
Brutus	1	1	0	1	0	0
Caesar	1	1	0	1	1	1
Calpurnia	0	1	0	0	0	0
Cleopatra	1	0	0	0	0	0
mercy	1	0	1	1	1	1
worser	1	0	1	1	1	0

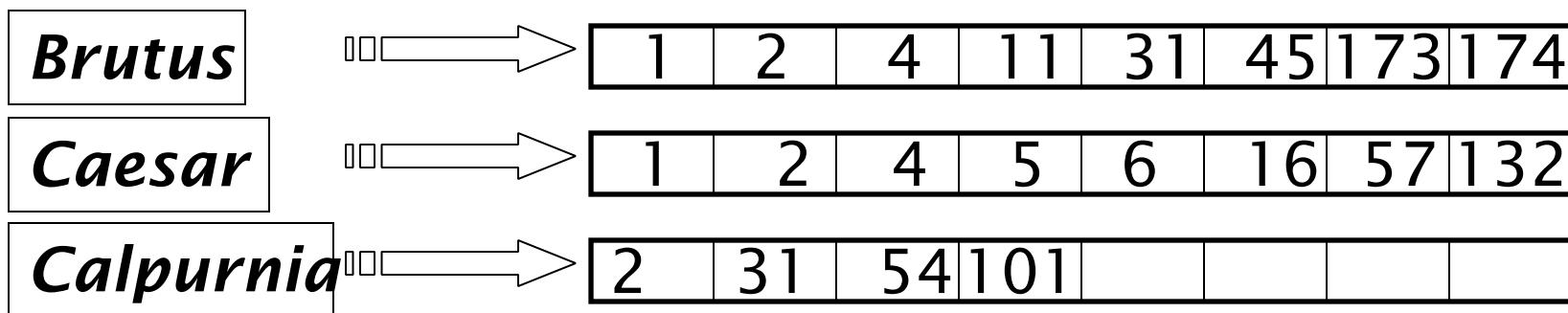
# 词项-文档矩阵将非常大

- 矩阵大小为  $500K \times 1M = 500G$
- 但是该矩阵中最多有10亿(1G)个1
  - 词项-文档矩阵高度稀疏(sparse).
  - 稀疏矩阵
- 应该有更好的表示方式
  - 比如我们仅仅记录所有1的位置



# 倒排索引(Inverted index)

- 对每个词项t, 记录所有包含t的文档列表.
  - 每篇文档用一个唯一的 docID来表示, 通常是正整数,如1,2,3...
- 能否采用定长数组的方式来存储docID列表



文档14中加入单词***Caesar***时该如何处理?

# 倒排索引(续)

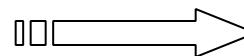
- 通常采用变长表方式

- 磁盘上，顺序存储方式比较好，便于快速读取
- 内存中，采用链表或者可变长数组方式
  - 存储空间/易插入之间需要平衡

倒排记录

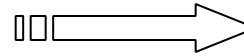
*Posting*

*Brutus*



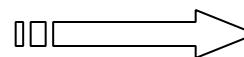
1	2	4	11	31	45	173	174
---	---	---	----	----	----	-----	-----

*Caesar*



1	2	4	5	6	16	57	132
---	---	---	---	---	----	----	-----

*Calpurnia*



2	31	54	101				
---	----	----	-----	--	--	--	--

*Dictionary*

词典

*Postings*

倒排(记录)表

按docID排序 (原因后面再讲)

# 倒排索引构建

待索引文档



Friends, Romans, countrymen.

⋮

Tokenizer

词条化工具

词条流

Friends

Romans

Countrymen

*More on  
these later.*

Linguistic  
modules

语言分析工具

修改后的词条

friend

roman

countryman

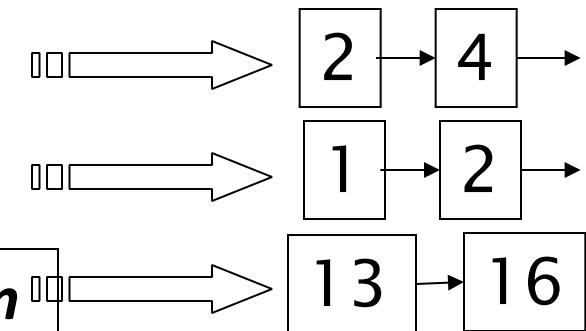
Indexer

*friend*

*roman*

*countryman*

倒排索引



# 文本预处理

- 词条化 (Tokenization)
  - 将字符序列切分为词条
    - 例如将 “You are welcome.” 切分为 you, are, welcome三个词条
    - 也需要解决诸如 “John’ s” ( ‘s怎样处理? ), state-of-the-art (一个还是四个词条? ) 的问题
- 规范化 (Normalization)
  - 将文档和查询中的词项映射到相同的形式
    - 例如 U.S.A. 和 USA
- 词干还原 (Stemming)
  - 将同一词汇的不同形式还原到词根
    - *authorize, authorization*
- 停用词去除 (Stopwords removal)
  - 去除高频词项
    - *the, a, to, of*

以上步骤中，后三个步骤都是可选的。

# 索引构建过程：词条序列

- <词条, docID>二元组

Doc 1

I did enact Julius  
Caesar I was killed  
i' the Capitol;  
Brutus killed me.

Doc 2

So let it be with  
Caesar. The noble  
Brutus hath told you  
Caesar was ambitious



Term	docID
I	1
did	1
enact	1
julius	1
caesar	1
I	1
was	1
killed	1
i'	1
the	1
capitol	1
brutus	1
killed	1
me	1
so	2
let	2
it	2
be	2
with	2
caesar	2
the	2
noble	2
brutus	2
hath	2
told	2
you	2
caesar	2
was	2
ambitious	2

# 索引构建过程: 排序

- 按词项排序
  - 然后每个词项按docID排序

索引构建的核心步骤

Term	docID
I	1
did	1
enact	1
julius	1
caesar	1
I	1
was	1
killed	1
i'	1
the	1
capitol	1
brutus	1
killed	1
me	1
so	2
let	2
it	2
be	2
with	2
caesar	2
the	2
noble	2
brutus	2
hath	2
told	2
you	2
caesar	2
was	2
ambitious	2

Term	docID
ambitious	2
be	2
brutus	1
brutus	2
capitol	1
caesar	1
caesar	2
caesar	2
did	1
enact	1
hath	1
I	1
I	1
i'	1
it	2
julius	1
killed	1
killed	1
let	2
me	1
noble	2
so	2
the	1
the	2
told	2
you	2
was	1
was	2
with	2

# 索引构建过程: 词典 & 倒排记录表

- 某个词项在单篇文档中的多次出现会被合并
- 拆分成词典和倒排记录表两部分
- 每个词项出现的文档数目(doc. frequency, DF)会被加入

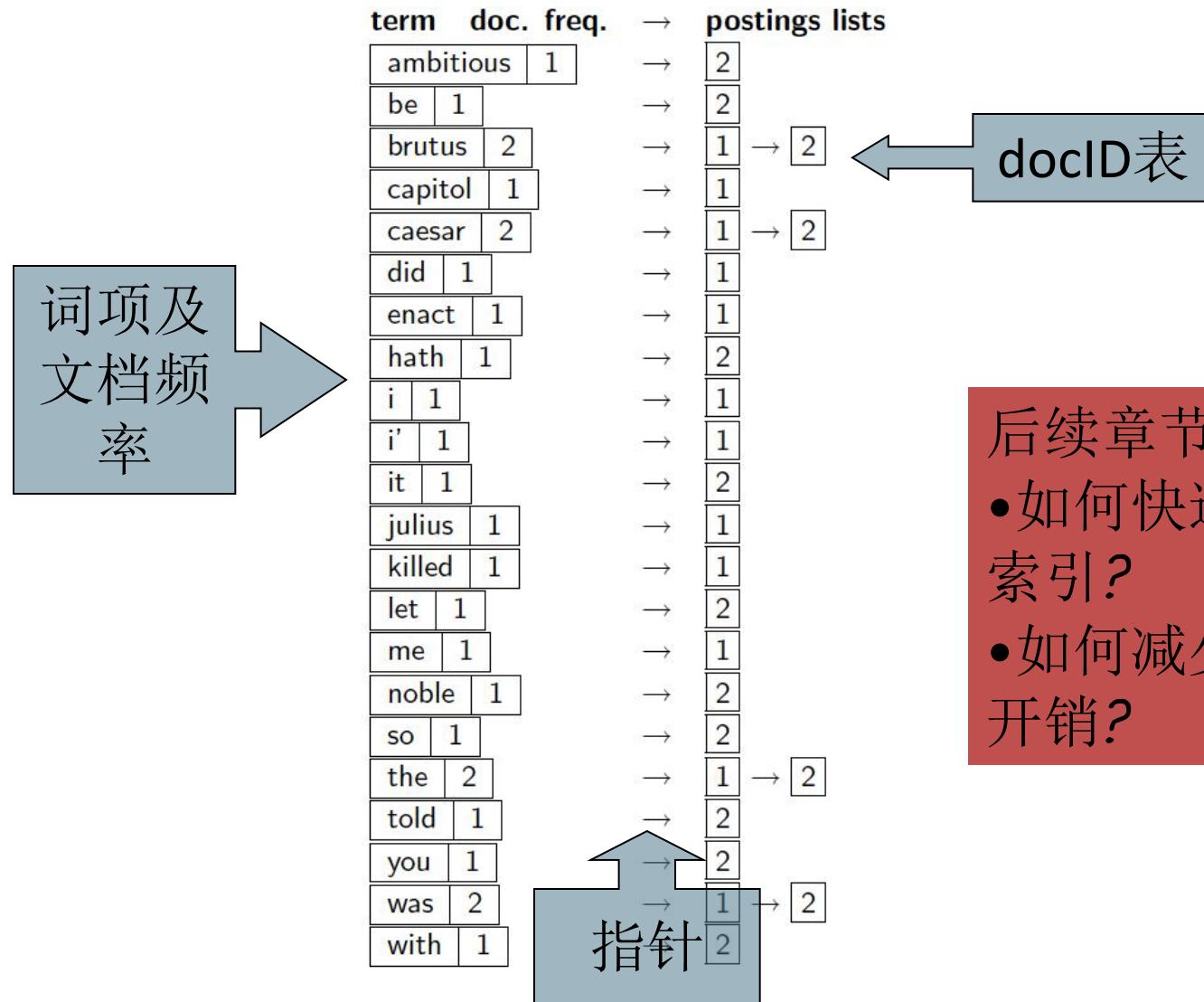
为什么加入? 后面会讲

Term	docID
ambitious	2
be	2
brutus	1
brutus	2
capitol	1
caesar	1
caesar	2
caesar	2
did	1
enact	1
hath	1
I	1
I	1
i'	1
it	2
julius	1
killed	1
killed	1
let	2
me	1
noble	2
so	2
the	1
the	2
told	2
you	2
was	1
was	2
with	2



term	doc.	freq.	→	postings lists
ambitious	1	1	→	2
be	1	1	→	2
brutus	2	1	→	1 → 2
capitol	1	1	→	1
caesar	2	1	→	1 → 2
did	1	1	→	1
enact	1	1	→	1
hath	1	1	→	2
i	1	1	→	1
i'	1	1	→	1
it	1	1	→	2
julius	1	1	→	1
killed	1	1	→	1
let	1	1	→	2
me	1	1	→	1
noble	1	1	→	2
so	1	1	→	2
the	2	1	→	1 → 2
told	1	1	→	2
you	1	1	→	2
was	2	1	→	1 → 2
with	1	1	→	2

# 存储开销计算



- 如何快速构建索引？
- 如何减少存储开销？

# 提纲

- ① 信息检索概述
- ② 倒排索引
- ③ 布尔查询的处理

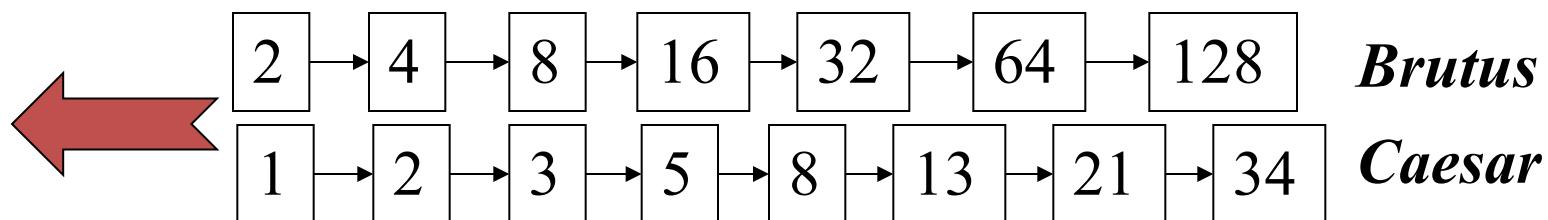
# 假定索引已经构建好

- 如何利用该索引来处理查询？



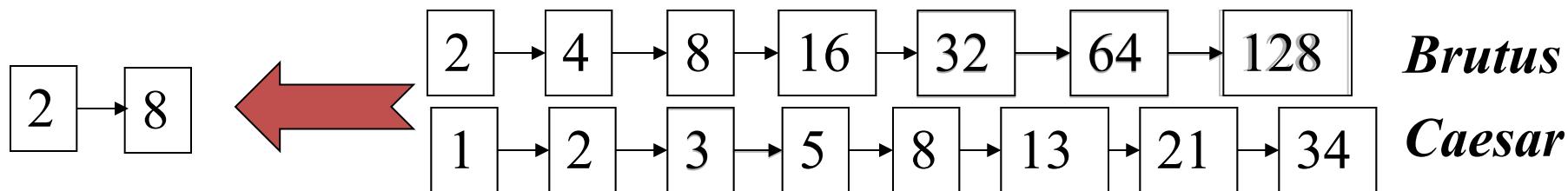
# AND查询的处理

- 考虑如下查询（从简单的布尔表达式入手）：
  - Brutus AND Caesar
  - 在词典中定位 Brutus
    - 返回对应倒排记录表(对应的docID)
  - 在词典中定位Caesar
    - 再返回对应倒排记录表
  - 合并(Merge)两个倒排记录表，即求交集



# 合并过程

- 每个倒排记录表都有一个定位指针，两个指针同时从前往后扫描，每次比较当前指针对应倒排记录，然后移动某个或两个指针。合并时间为两个表长之和的线性时间



假定表长分别为 $x$  和 $y$ , 那么上述合并算法的复杂度为  $O(x+y)$

关键原因: 倒排记录表按照docID排序

# 上述合并算法的伪代码描述

INTERSECT( $p_1, p_2$ )

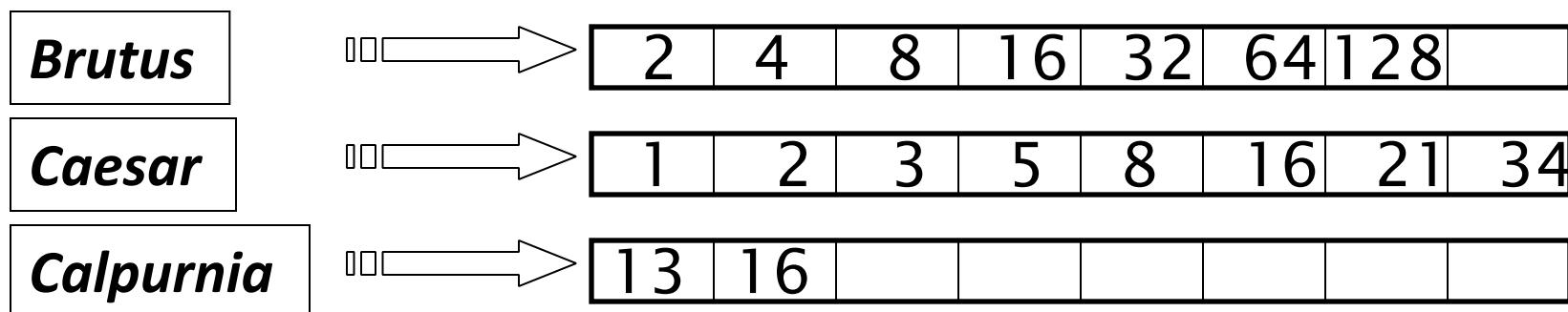
```
1  answer ← < >
2  while  $p_1 \neq \text{NIL}$  and  $p_2 \neq \text{NIL}$ 
3  do if  $\text{docID}(p_1) = \text{docID}(p_2)$ 
4      then ADD(answer,  $\text{docID}(p_1)$ )
5           $p_1 \leftarrow \text{next}(p_1)$ 
6           $p_2 \leftarrow \text{next}(p_2)$ 
7      else if  $\text{docID}(p_1) < \text{docID}(p_2)$ 
8          then  $p_1 \leftarrow \text{next}(p_1)$ 
9      else  $p_2 \leftarrow \text{next}(p_2)$ 
10 return answer
```

# 其它布尔查询的处理

- OR表达式: Brutus OR Caesar
  - 两个倒排记录表的并集
- NOT表达式: Brutus AND NOT Caesar
  - 两个倒排记录表的减
- 一般的布尔表达式
- (Brutus OR Caesar) AND NOT (Antony OR Cleopatra)
- 查询处理的效率问题!

# 查询优化

- 查询处理中是否存在处理的顺序问题？
- 考虑n个词项的 AND
- 对每个词项，取出其倒排记录表，然后两两合并



查询: **Brutus AND Calpurnia AND Caesar**

# 查询优化

- 按照表从小到大(即df从小到大)的顺序进行处理:
  - 每次从最小的开始合并 (这样可以尽量提前结束合并)

这是为什么保存  
df的原因之一

<b>Brutus</b>	⇒	2   4   8   16   32   64   128
<b>Caesar</b>	⇒	1   2   3   5   8   16   21   34
<b>Calpurnia</b>	⇒	13   16

相当于处理查询 (**Calpurnia AND Brutus**) AND **Caesar**.

# 课堂练习

- 以下查询应该采取怎样的处理顺序？语料中词频见右表

*(tangerine OR trees) AND  
(marmalade OR skies) AND  
(kaleidoscope OR eyes)*

- 应该首先合并哪两项？

Term	Freq
eyes	213312
kaleidoscope	87009
marmalade	107913
skies	271658
tangerine	46653
trees	316812

# 课堂练习

*(tangerine OR trees) AND  
(marmalade OR skies) AND  
(kaleidoscope OR eyes)*

Term	Freq
eyes	213312
kaleidoscope	87009
marmalade	107913
skies	271658
tangerine	46653
trees	316812

- 首先估计每一项的df

$(\text{tangerine OR trees})$ :  $46653 + 316812 = 363465$

$(\text{marmalade OR skies})$ :  $107913 + 271658 = 379571$

$(\text{kaleidoscope OR eyes})$ :  $87009 + 213312 = 300321$

按照df从小到大的顺序，应该首先合并

$(\text{kaleidoscope OR eyes}) \text{ AND } (\text{tangerine OR trees})$

# 更通用的合并策略

- e.g., (madding OR crowd) AND (ignoble OR strife)
  - 每个布尔表达式都能转换成上述形式(合取范式)
- 获得每个词项的df
- (保守)通过将词项的df相加， 估计每个OR表达式对应的倒排记录表的大小
- 按照上述估计从小到大依次处理每个OR表达式.

# 布尔检索的优点

---

- 构建简单，或许是构建IR系统的一种最简单方式
- 在30多年中是最主要的检索工具
- 当前许多搜索系统仍然使用布尔检索模型：
  - 电子邮件、文献编目、Mac OS X Spotlight工具

# 布尔检索例子: WestLaw

<http://www.westlaw.com/>

---

- (付费用户数目)最大的商业化法律搜索服务引擎  
(1975年开始提供服务; 1992年加入排序功能)
- 几十T数据, 700,000用户
- 大部分用户仍然使用布尔查询
- 查询的例子:
  - 有关对政府侵权行为进行索赔的诉讼时效(What is the statute of limitations in cases involving the federal tort claims act?)
  - LIMIT! /3 STATUTE ACTION /S FEDERAL /2 TORT /3 CLAIM
    - /3 = within 3 words, /S = in same sentence

# 布尔检索例子: WestLaw

<http://www.westlaw.com/>

---

- 另一个例子:
  - 残疾人士能够进入工作场所的要求 (Requirements for disabled people to be able to access a workplace)
  - disabl! /p access! /s work-site work-place (employment /3 place
- 扩展的布尔操作符
- 很多专业人士喜欢使用布尔搜索
  - 非常清楚想要查什么、能得到什么
- 但是这并不意味着布尔搜索其实际效果就很好....

# 布尔查询：互联网搜索

- 想查关于2016年欧洲杯 8进4 比赛的新闻，用布尔表达式怎么构造查询？
- $(2016 \text{ OR } \text{前年}) \text{ AND } (\text{欧洲杯} \text{ OR } \text{欧锦赛}) \text{ AND } (8 \text{ 进4} \text{ OR } \text{八进四} \text{ OR } \text{四分之一})$
- 表达式相当复杂，构造困难！
- 不严格的话结果过多，而且很多不相关；非常严格的话结果会很少，漏掉很多结果。

# 布尔检索的缺点

---

- 布尔查询构建复杂，不适合普通用户。构建不当，检索结果过多或者过少
- 没有充分利用词项的频率信息
  - 1 vs. 0 次出现
  - 2 vs. 1次出现
  - 3 vs. 2次出现, ...
  - 通常出现的越多越好，需要利用词项在文档中的词项频率(term frequency, tf)信息
- 不能对检索结果进行排序

# 参考资料

---

- 《信息检索导论》, 第一章
- 莎士比亚全集:
  - <http://www.rhymezone.com/shakespeare/>
- Managing Gigabytes(深入搜索引擎), 3.2节
- 《现代信息检索》, 8.2节