

现代信息检索

Modern Information Retrieval

第2讲 词汇表和倒排记录表

The term vocabulary and postings lists

授课人：王斌

<http://ir.ict.ac.cn/~wangbin>

提纲

① 上一讲回顾

② 文档

③ 词项

- 通常做法+非英语处理
- 英语

④ 跳表指针

⑤ 短语查询

提纲

① 上一讲回顾

② 文档

③ 词项

- 通常做法+非英语处理
- 英语

④ 跳表指针

⑤ 短语查询

上一讲回顾

- 倒排索引的基本知识
 - 组成: 词典和倒排记录表

BRUTUS →

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

CAESAR →

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

■ CALPURNIA →

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

- 布尔查询的处理
 - 线性时间内求交集
 - 查询优化

倒排索引

对每个词项 t , 保存所有包含 t 的 文档列表

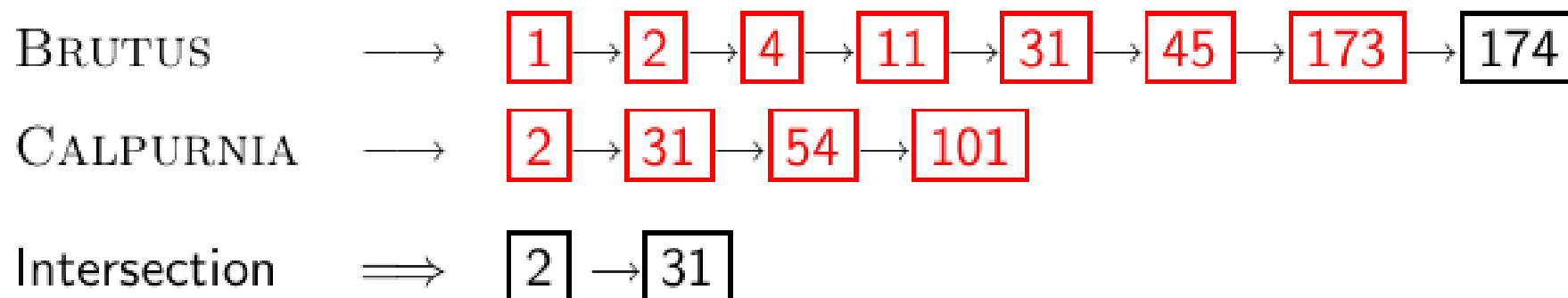
BRUTUS	→	1	2	4	11	31	45	173	174	
CAESAR	→	1	2	4	5	6	16	57	132	...
CALPURNIA	→	2	31	54	101					

⋮

词典(dictionary)

倒排记录表(postings)

倒排记录表的合并

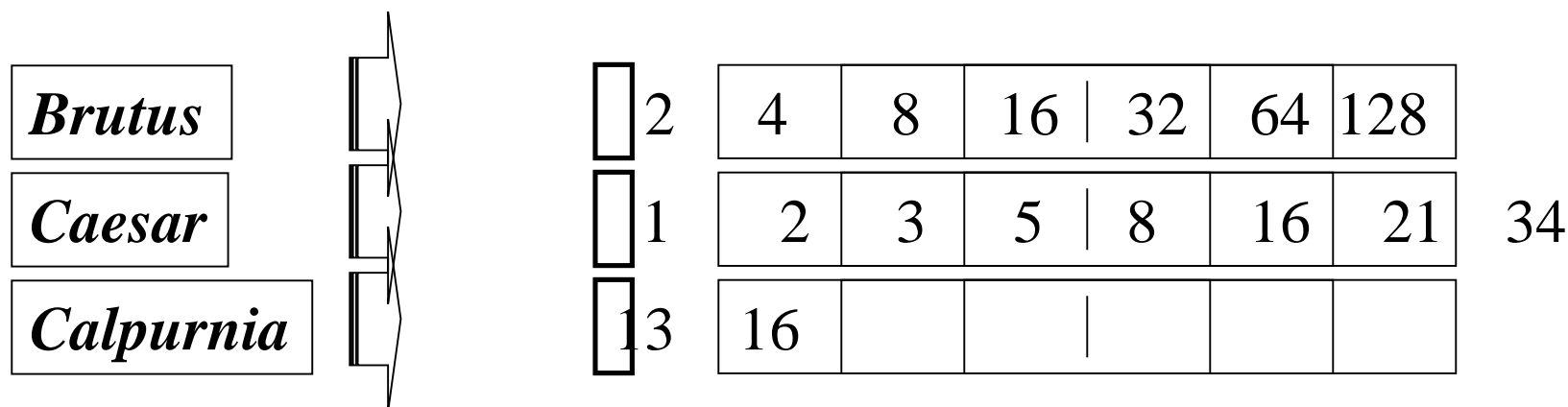


倒排索引构建: 将倒排记录排序

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

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



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

更通用的优化策略

- 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.

一个布尔搜索引擎Westlaw: 例子

需求：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?)

查询： **LIMIT! /3 STATUTE ACTION /S FEDERAL /2
TORT /3 CLAIM**

/3 = within 3 words, /S = in same sentence

Google中是否使用布尔模型？

- Google默认是与(AND)操作，输入查询 $[w_1 w_2 \dots w_n]$ 意味着 $w_1 \text{ AND } w_2 \text{ AND } \dots \text{ AND } w_n$
- 当返回文档不包含某个词 w_i 时，*可能是如下情形*:
 - 指向该页面的锚文本包含 w_i
 - 页面包含 w_i 的变形(不同形态的同一词，拼写校对，同义等等)
 - 长查询 (n large)
 - 布尔表达式返回的结果少
- 简单的布尔检索 vs. 结果的排序
 - 简单的布尔检索只返回匹配上的文档，不考虑结果顺序
 - Google和其他大部分精心设计的布尔引擎均对结果进行排序，以使好的结果排在差的结果的前面

本讲的内容

- 索引构建过程(特别是预处理)
- 如何对索引文档进行处理来得到词典
 - 理解文档(document)的概念
 - 词条化(Tokenization), 理解词条(token)的概念
 - 词项生成, 理解词项(term)的概念
- 倒排记录表
 - 更快的合并算法: 跳表法(skip list)
 - 短语查询的处理及带位置信息的倒排索引

提纲

① 上一讲回顾

② 文档

③ 词项

- 通常做法+非英语处理
- 英语

④ 跳表指针

⑤ 短语查询

回顾倒排索引构建

待索引文档



Friends, Romans, countrymen.

Tokenizer

词条化工具

词条流

Friends Romans Countrymen

Linguistic modules

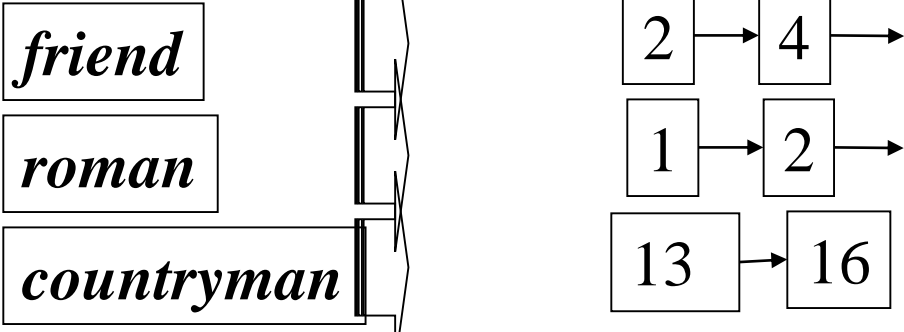
语言分析工具

修改后的词条

friend roman countryman

Indexer

倒排索引



文档分析

- 文档格式处理
 - pdf/word/excel/html?
- 文档语言识别
- 文档编码识别

文档语言识别和编码识别理论上都可以看成分类问题，基于后面章节的分类方法可以处理。但是实际中，常常采用启发式方法.....

多格式/语言并存

- 待索引文档集可能同时包含多种语言的文档
 - 在同一索引中词汇表中包含来自多个语言的词项
- 有时文档或者其部件中包含多种语言/格式
 - 法语邮件中带一个德语的pdf格式附件
- 如何确定索引的单位？
 - 文件为单位？
 - 邮件为单位？
 - 如果邮件带有5个附件，怎么办？
 - 一组文件？（比如采用html格式写的某个PPT文档）

提纲

① 上一讲回顾

② 文档

③ 词项

- 通常做法+非英语处理
- 英语

④ 跳表指针

⑤ 短语查询

词条和词项

TOKENS AND TERMS

词条化(Tokenization)

- 输入: “Friends, Romans and Countrymen”
- 输出: 词条(Token)
 - Friends
 - Romans
 - Countrymen
- 词条 就是一个字符串实例
- 词条在经过进一步处理之后将放入倒排索引中的词典中
 - 后面会讲
- 词条化中的问题-词条如何界定?

词条化

- 一系列问题:
 - Finland's capital →
 - Finland? Finlands? Finland's?
 - Hewlett-Packard → 看成Hewlett 和 Packard 两个词条?
 - state-of-the-art:
 - co-education
 - lowercase, lower-case, lower case ?
 - San Francisco: 到底是一个还是两个词条?
 - 如何判断是一个词条?

词条化中数字的处理

- 3/20/91 Mar. 12, 1991 20/3/91
- 55 B.C.
- B-52
- PGP 密钥: 324a3df234cb23e
- (800) 234-2333
 - 通常中间有空格
 - 早期的IR系统可能不索引数字
 - 但是数字却常常很有用: 比如在Web上查找错误代码
 - (一种处理方法是采用n-gram: 见第三讲)
 - 元数据是分开还是一起索引
 - 创建日期、格式等等

语言问题：法语和德语

■ 法语

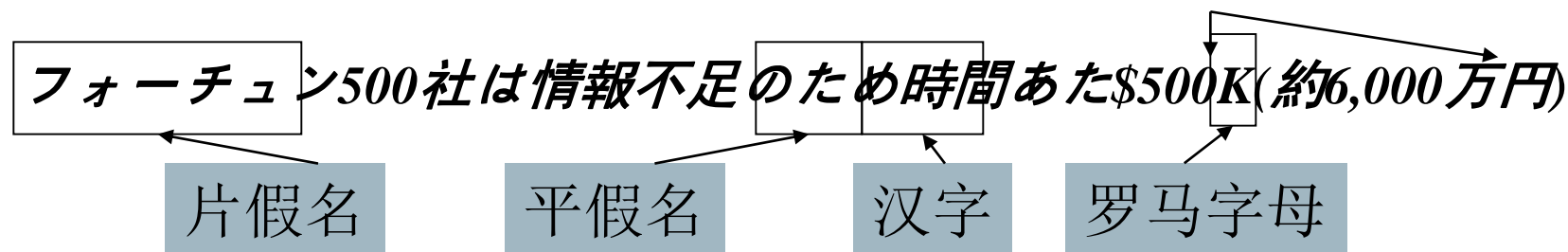
- L'ensemble → 到底是一个还是两个词条？
 - L ? L' ? Le ?
 - 但是常常希望 l'ensemble 能和un ensemble匹配
 - 至少在2003年以前，Google没有这样处理
 - 国际化问题！

■ 德语中复合名词连写

- Lebensversicherungsgesellschaftsangestellter
- 'life insurance company employee'
- 德语检索系统往往要使用一个复合词拆分的模块，而且该模块对检索结果的提高有很大帮助(可以提高15%)

语言问题：中文和日文

- 中文和日文词之间没有间隔：
 - 莎拉波娃现在居住在美国东南部的佛罗里达。
 - 分词结果无法保证百分百正确，“和尚”
- 日文中可以同时使用多种类型的字母表
 - 日期/数字可以采用不同的格式



而终端用户可能完全用平假名方式输入查询！

中文分词(Chinese Word Segmentation)

- 对于中文，分词的作用实际上是要找出一个个的索引单位
- 例子：李明天天都准时上班
- 索引单位
 - 字：李明天天都准时上班
 - 索引量太大，查全率百分百，但是查准率低，比如查“明天”这句话也会出来
 - 词：李明天天都准时上班
 - 索引量大大降低，查准率较高，查全率不是百分百，而且还会受分词错误的影响，比如上面可能会切分成：李 明天 天都 准时 上班，还有：他和服务人员照相
 - 字词混合方式/k-gram/多k-gram混合
 - 一般原则，没把握的情况下细粒度优先

中文分词和检索

- 以下是当前某些研究的结论或猜测，仅供参考
- 并非分词精度高一定检索精度高
 - 评价标准不同
 - 分词规范问题：鸡蛋、鸭蛋、鹌鹑蛋.....
 - 目标不同
- 检索中的分词：
 - 查询和文档切分采用一致的分词系统
 - 速度快
 - 倾向细粒度，保证召回率
 - 多粒度并存
- 搜索引擎中的分词方法
 - 猜想：大词典+统计+启发式规则

语言问题：阿拉伯文

- 阿拉伯文 (或希伯来文) 通常从右到左书写，但是某些部分(如数字)是从左到右书写
- 词之间是分开的，但是单词中的字母形式会构成复杂的连接方式
- استقلت الجزائر في سنة 1962 بعد 132 عاما من الاحتلال الفرنسي.
← → ← → ← 开始
- ‘Algeria achieved its independence in 1962 after 132 years of French occupation.’
- 在Unicode编码方式下，表面的表示方式很复杂，但是存储上倒是十分直接

停用词

- 根据停用词表(stop list), 将那些最常见的词从词典中去掉。比如直观上可以去掉:
 - 一般不包含语义信息的词: the, a, and, to, be
 - 汉语中的 “的”、“得”、“地” 等等。
 - 这些词都是高频词: 前30个词就占了 ~30% 的倒排记录表空间
- 现代信息检索系统中倾向于不去掉停用词:
 - 在保留停用词的情况下, 采用良好的压缩技术(第五章)后, 停用词所占用的空间可以大大压缩, 最终它们在整个倒排记录表中所占的空间比例很小
 - 采用良好的查询优化技术(第七章)基本不会增加查询处理的开销
 - 所谓的停用词并不一定没用, 比如: 短语查询: “King of Denmark”、歌曲名或者台词等等: “Let it be”, “To be or not to be”、“关系型” 查询 “flights to London”

词条归一化(Normalization)成词项

- 将文档和查询中的词归一化成同一形式：
 - U.S.A. 和 USA
- 归一化的结果就是词项，而词项就是我们最终要索引的对象
- 可以采用隐式规则的方法来表示多个词条可以归一成同一词项，比如
 - 剔除句点
 - U.S.A., USA \ USA
 - 剔除连接符
 - anti-discriminatory, antidiscriminatory \ antidiscriminatory

归一化中的语言问题

- 重音符: 如法语中 *résumé* vs. *resume*.
- 日耳曼语系中的元音变化: 如德语中的 *Tuebingen* vs. *Tübingen*
 - 应该是一致的
- 最重要的准则:
 - 用户在输入查询时遇到这些词如何输入?
- 即使在有重音符号的语言中, 用户也往往不输入这些符号
 - 常常归一化成不带重音符号的形式
 - Tuebingen, Tübingen, Tubingen \ Tubingen

归一化中的语言问题

- 时间格式
 - 7月30日 vs. 7/30
 - 日语中用假名或者汉字表示日期
- 词条化和归一化都可能与语言相关，因此必须要做语言识别

是德语的“mit”吗？

Morgen will ich in MIT...

- 另外，谨记要将文档和查询中的同义词归一化成同一形式

提纲

① 上一讲回顾

② 文档

③ 词项

- 通常做法+非英语处理
- 英语

④ 跳表指针

⑤ 短语查询

大小写问题

- 可以将所有字母转换成小写形式
 - 例外: 句中的大写单词?
 - e.g., General Motors (GM, 通用公司)
 - Fed (美联储)vs. fed(饲养)
 - SAIL (印度钢铁管理局) vs. sail(航行)
 - 通常情况下将所有字母转成小写是一种很实用的方法，因为用户倾向于用小写方式输入
- Google的例子:
 - 查询 C.A.T.
 - 排名第一的结果是“cat”而不是 Caterpillar



归一化成词项

- 除了前面互换方式(即能够归一化成同一词项的词条之间完全平等, 可以互换)之外, 另一种方式是非对称扩展 (asymmetric expansion)
- 一个非对称扩展更适合的例子
 - 输入: window 搜索: window, windows
 - 输入: windows 搜索: Windows, windows, window
 - 输入: Windows 搜索: Windows
 - 为什么反过来不行?
- 这种方法可能更强大, 但是效率低一些

同义词词典(Thesauri)及soundex方法

- 同义词和同音/同形异义词的处理
 - E.g., 手动建立词典, 记录这些词对
 - car = automobile color = colour
 - 利用上述词典进行索引
 - 当文档包含 automobile时, 利用car-automobile进行索引
 - 或者对查询进行扩展
 - 当查询包含 automobile时, 同时也查car
- 拼写错误的处理(Clinton→Klinten)
 - 一种解决方法是soundex方法, 基于发音建立词之间的关系(Soundex方法将在后面介绍)

词形归并(Lemmatization)

- 将单词的屈折变体形式还原为原形
- 例子：
 - am, are, is → be
 - car, cars, car's, cars' → car
 - the boy's cars are different colors → the boy car be different color
- 词性归并意味中将单词的变形形式“适当”还原成一般词典中的单词形式
 - found → find? found?

词干还原 (Stemming)

- 将词项归约(reduce)成其词干(stem), 然后再索引
- “词干还原”意味着词缀的截除
 - 与语言相关
 - 比如, 将 automate(s), automatic, automation都还原成 automat

for example compressed and compression are both accepted as equivalent to compress.



for exampl compress and
compress ar both accept
as equival to compress

Porter算法

- 英语词干还原中最常用的算法
 - 结果表明该方法不差于其他的词干还原方法
- 一些规定+ 5 步骤的归约过程
 - 这些步骤有先后顺序
 - 每一步都包含一系列命令
- 一些规定， 比如: 选择可应用规则组中包含最长词缀的规则
 - SSES → SS caresses → caress
 - S → cats → cat

Porter中的典型规则

- `sses` \rightarrow `ss`
- `ies` \rightarrow `i`
- `ational` \rightarrow `ate`
- `tional` \rightarrow `tion`

- 规则适用条件的表达
 - `(m>1) EMENT` \rightarrow
 - `replacement` \rightarrow `replac`
 - `cement` \rightarrow `cement`

Martin Porter

- (应该是)英国人, (应该是)剑桥大学
- 2000年度 Tony Kent Strix award得主
 - 信息检索领域另一个著名的奖项
- Porter's stemmer, 有很多语言的版本
- Snowball 工具, 支持多种语言的stemming(法语、德语、葡萄牙语、西班牙语挪威语等等)



其他词干还原工具(stemmer)


- Lovins: <http://www.comp.lancs.ac.uk/computing/research/stemming/general/lovins.htm>
- 单遍扫描，最长词缀剔除 (大概 250条规则)
- 全部基于词形分析 – 对于检索来说最多只能提供一定的帮助(at most modest benefits for retrieval)
- 词干还原及其它归一化工作对检索的帮助
 - 英语： 结果要一分为二，对某些查询来说提高了召回率，但是对另外一些查询来说降低了正确率
 - 比如, operative (dentistry) ➔ oper
 - 对西班牙语、德语、芬兰语等语言非常有用
 - 其中对于芬兰语有30% 的性能提高!

语言特性

- 上述很多转换处理具体实现时
 - 都与语言本身有关，并且
 - 常常和具体应用有关
- 上述过程可以插件方式植入索引过程
- 存在很多开源和商业插件可用

词典入口示意图

<i>ensemble.french</i>
<i>時間.japanese</i>
<i>MIT.english</i>
<i>mit.german</i>
<i>guaranteed.english</i>
<i>entries.english</i>
<i>sometimes.english</i>
<i>tokenization.english</i>



可以按(或不按)语言分组，后面还会讲到

提纲

① 上一讲回顾

② 文档

③ 词项

- 通常做法+非英语处理
- 英语

④ 跳表指针

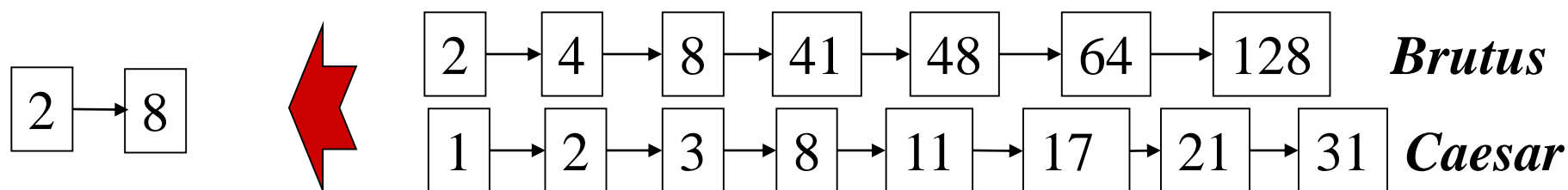
⑤ 短语查询

快速倒排表合并—跳表法

FASTER POSTINGS MERGES: SKIP POINTERS/SKIP LISTS

基本合并算法的回顾

- 两个指针，同步扫描，线性时间

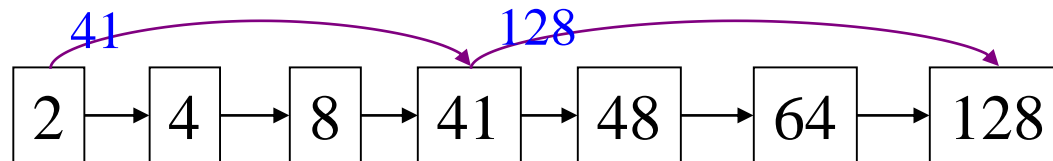


两个表长度为 m 和 n 的话，上述合并时间复杂度为 $O(m+n)$

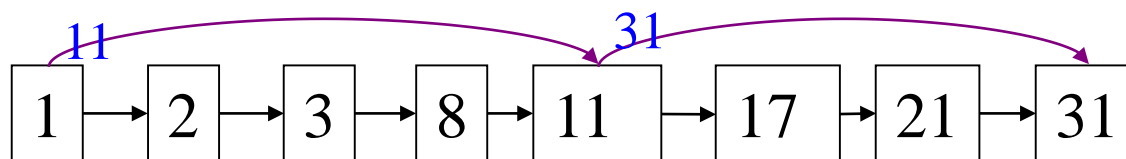
能否做得更好？答案是可以(如果索引不常变化的话)

索引构建时为倒排记录表增加跳表指针

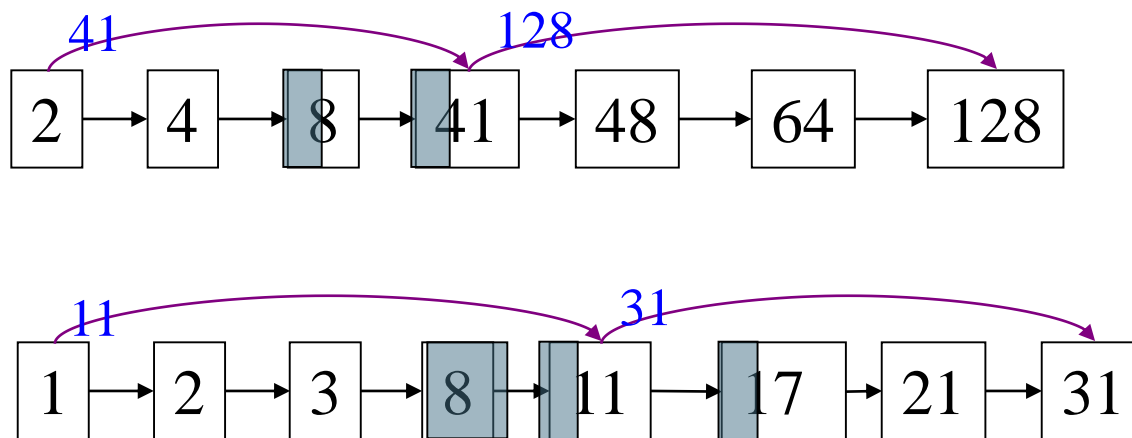
- 为什么可以加快速度?
 - 可以跳过那些不可能的检索结果



- 如何做?也就是在什么地方加跳表指针?



基于跳表指针的查询处理



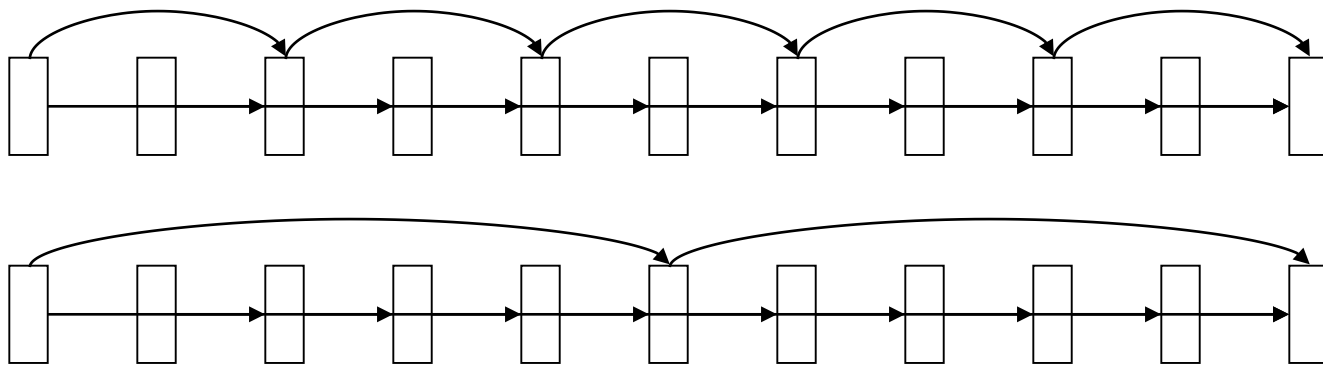
假定匹配到上下的指针都指向8，接下来两个指针都向下移动一位。

比较**41**和**11**，**11**小

此时看11上面的跳表指针，指向31，31仍然比41小，于是下指针可以直接跳过中间的11、17、21、31

跳表指针的位置

- 指针数目过多过少都不合适，要有一个均衡性：
 - 指针越多 → 跳步越短 ⇒ 更容易跳转，但是需要更多的与跳表指针指向记录的比较
 - 指针越少 → 比较次数越少，但是跳步越长 ⇒ 成功跳转的次数少



跳表指针的位置

- 简单的启发式策略：对于长度为 L 的倒排记录表，每 \sqrt{L} 处放一个跳表指针，即均匀放置。均匀放置方法忽略了查询词项的分布情况
- 如果索引相对静态，均匀方式方法是一种很简便的方法，但是如果索引经常更新造成 L 经常变化，均匀方式方式就很不方便
- 跳表方式在过去肯定是有用的，但是对于现代的硬件设备而言，如果合并的倒排记录表不能全部放入内存的话，上述方式不一定有用 (Bahle et al. 2002)
 - 更大的倒排记录表(含跳表)的 I/O开销可能远远超过内存中合并带来的好处

提纲

① 上一讲回顾

② 文档

③ 词项

- 通常做法+非英语处理
- 英语

④ 跳表指针

⑤ 短语查询

短语查询及位置索引

PHRASE QUERIES AND POSITIONAL INDEXES

短语查询

- 输入查询作为一个短语整体，比如 “stanford university” “中国科学院”
- 因此，句子 “I went to university at Stanford” 就不应该是答案 （ “我去了中国 农业 科学院” ）
 - 有证据表明，用户很容易理解短语查询的概念，这也是很多搜索引擎”高级搜索”中比较成功的一个功能。
 - 但是很多查询是隐式短语查询， information retrieval textbook → [information retrieval] textbook
- 这种情况下，倒排索引仅仅采用如下方式是不够的
 - term + docIDs

第一种做法: 双词(Biword)索引

- 每两个连续的词组成词对(作为短语)来索引
- 比如文本片段 “Friends, Romans, Countrymen” 会产生两个词对
 - friends romans
 - romans countrymen
- 索引构建时，将每个词对看成一个词项放到词典中
- 这样的话，两个词组成的短语查询就能直接处理

更长的短语查询处理

- 例子： stanford university palo alto， 处理方法：
将其拆分成基于双词的布尔查询式：
- stanford university AND university palo AND palo alto
- 如果不检查文档，无法确认满足上述表达式的文档是否真正满足上述短语查询。也就是说满足上述布尔表达式只是满足短语查询的充分条件。



很难避免伪正例的出现！

扩展的双词 (Extended Biword)

- 对待索引文档进行词性标注
- 将词项进行组块，每个组块包含名词 (N) 和冠词/介词 (X)
- 称具有NX*N形式的词项序列为扩展双词(extended biword)
 - 将这样扩展词对作为词项放入词典中
- 例子: catcher in the rye (书名: 麦田守望者)
 - N X X N
- 查询处理: 将查询也分析成 N和X序列
 - 将查询切分成扩展双词
 - 在索引中查找: catcher rye

关于双词索引

- 会出现伪正例子
- 由于词典中词项数目剧增，导致索引空间也激增
 - 如果3词索引，那么更是空间巨大，无法忍受
- 双词索引方法并不是一个标准的做法 (即倒排索引中一般不会全部采用双词索引方法)，但是可以和其他方法混合使用

第二种解决方法: 带位置信息索引 (Positional indexes)

- 在倒排记录表中, 对每个term在每篇文档中的每个位置(偏移或者单词序号)进行存储:
 - <term, 出现term的文档篇数;
 - doc1: 位置1, 位置2 ... ;
 - doc2: 位置1, 位置2 ... ;
 - 等等>

位置索引的例子

- 对于输入的短语查询，需要在文档的层次上进行迭代(不同位置上)合并
- 不仅仅简单合并，还要考虑位置匹配

<*be*: 993427;

1: 7, 18, 33, 72, 86, 231;

2: 3, 149;

4: 17, 191, 291, 430, 434;

5: 363, 367, ...>



1,2,4,5这几篇文章
中哪篇包含 “*to be
or not to be*”?

短语查询的处理

- 短语查询：“to be or not to be”
- 对每个词项，抽出其对应的倒排记录表: to, be, or, not.
- 合并<docID:位置>表，考虑 “to be or not to be”.
 - to:
 - 2:1,17,74,222,551; 4:8,16,190,429,433; 7:13,23,191; ...
 - be:
 - 1:17,19; 4:17,191,291,430,434; 5:14,19,101; ...
- 邻近搜索中的搜索策略与此类似，不同的是此时考虑前后位置之间的距离不大于某个值

邻近式查询(Proximity query)

- LIMIT! /3 STATUTE /3 FEDERAL /2 TORT
 - /k 表示“在 k 个词之内”
- 很明显，位置索引可以处理邻近式查询，而双词索引却不能

位置索引的大小

- 位置索引增加了位置信息，因此空间较大，但是可以采用索引压缩技术进行处理(参见第五讲)
- 当然，相对于没有位置信息的索引，位置索引的存储空间明显大于无位置信息的索引
- 另外，位置索引目前是实际检索系统的标配，这是因为实际中需要处理短语(显式和隐式)和邻近式查询

位置索引的大小

- 词项在每篇文档中的每次出现都需要一个存储单元
- 因此索引的大小依赖于文档的平均长度
 - 平均Web页面的长度 <1000 个词项
 - 美国证监会文件(SEC filings), 书籍, 甚至一些史诗 ... 和容易就超过 100,000 个词项
- 假定某个词项的出现频率是0.1%



文档大小	倒排记录表的数目	位置索引存储单元
1000	1	1
100,000	1	100

一些经验规律

- 位置索引的大小大概是无位置信息索引的2-4倍
- 位置索引大概是原始文本容量的35-50%
- 提醒：上述经验规律适用于英语及类英语的语言

混合索引

- 上述两种索引方式可以混合使用
 - 对某些特定的短语 (如“Michael Jackson”, “Britney Spears”), 如果采用位置索引的方式那么效率不高
 - 还有“The Who” (英国一著名摇滚乐队), 采用位置索引, 效率更低
- Williams et al. (2004)对一种混合的索引机制进行了评估
 - 采用混合机制, 那么对于典型的Web查询(比例)来说, 相对于只使用位置索引而言, 仅需要其 $\frac{1}{4}$ 的时间
 - 相对于只使用位置索引, 空间开销只增加了26%

本讲小结

- 索引构建过程(特别是预处理)
- 如何对索引文档进行处理来得到词典
 - 理解文档(document)的概念
 - 词条化(Tokenization), 理解词条(token)的概念
 - 词项生成, 理解词项(term)的概念
- 倒排记录表
 - 更快的合并算法: 跳表法(skip list)
 - 短语查询的处理及带位置信息的倒排索引

参考资料

- 《信息检索导论》第2章
- MG 3.6, 4.3; MIR 7.2
- Porter's stemmer:
<http://www.tartarus.org/~martin/PorterStemmer/>
- 跳表理论: Pugh (1990)
 - Multilevel skip lists give same $O(\log n)$ efficiency as trees
- H.E. Williams, J. Zobel, and D. Bahle. 2004. "Fast Phrase Querying with Combined Indexes", ACM Transactions on Information Systems.
- <http://www.seg.rmit.edu.au/research/research.php?author=4>
- D. Bahle, H. Williams, and J. Zobel. Efficient phrase querying with an auxiliary index. SIGIR 2002, pp. 215-221.

课后练习

- 习题2-1
- 习题2-6
- 习题2-9