

信息组织

-词典及容错式检索

主讲人：张蓉

华东师范大学 数据科学与工程学院

提纲

- ① 上一讲回顾
- ② 词典
- ③ 通配查询
- ④ 编辑距离
- ⑤ 拼写校正
- ⑥ Soundex

提纲

① 上一讲回顾

② 词典

③ 通配查询

④ 编辑距离

⑤ 拼写校正

⑥ Soundex

上一讲内容

- 文档
- 词条/词项？ ← 提问
- 基于跳表指针的合并？
- 短语查询的处理

文档

- 索引的基本单位
 - 与文件不是一回事，严格地说，一篇文档可能包含多个文件，也可能一个文件包含多篇文档
 - 依赖于具体应用
 - 句子级检索：一个句子为一篇文档
 - 段落级检索：一段文本为一篇文档
 -

词项/词条的区别

- **词条 (Token)** – 词或者词项在文档中出现的实例，出现多次算多个词条
- 词条经过一些处理 (去除停用词、归一化) 之后，最后用于索引的称为 **词项 (Term)**
- 例如: I am going to Beijing
 - 词条: I am going to Beijing
 - 词项: I be go to beijing

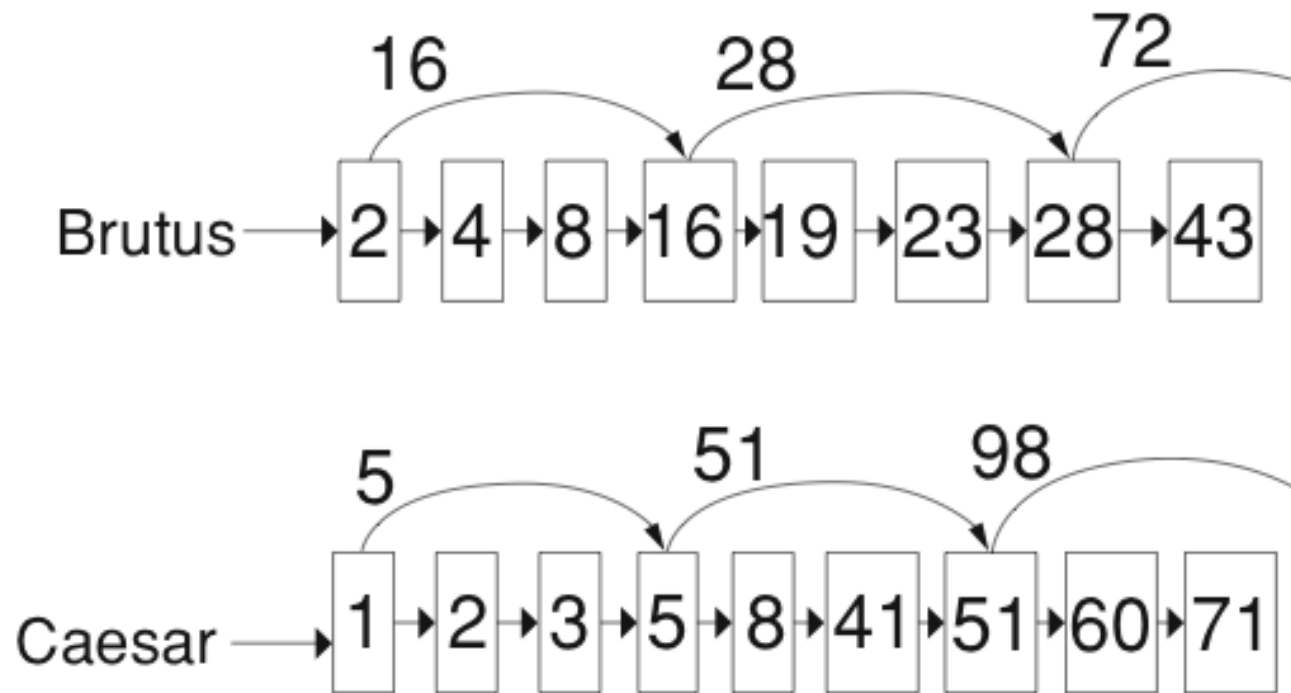
词条化中考虑的问题

- 词之间的边界是什么？空格？撇号还是连接符？
- 上述边界不一定是真正的边界 (比如, 中文)
- 另外荷兰语、德语、瑞典语复合词中间没有空格 (*Lebensversicherungsgesellschaftsangestellter*)

词项归一化中的问题

- 词项实际上是一系列词条组成的等价类
- 如何定义等价类？
 - 数字 (3/20/91 vs. 20/3/91)
 - 大小写问题
 - 词干还原，Porter工具
- 形态分析：屈折 vs. 派生 – fitter vs. fighter
- 其他语言中词项归一化的问题
 - 比英语中形态更复杂
 - 芬兰语：单个动词可能有12,000 个不同的形式different forms
 - 重音符号、元音变音问题（umlauts，由于一个音被另一个音词化而导致的变化，尤其是元音的变化）

跳表指针



太远太远都不好

位置(信息)索引

- 在无位置信息索引中，每条倒排记录只是一个docID
- 在位置信息索引中，每条倒排记录是一个docID加上一个位置信息表
- 一个查询的例子: “ $to_1 be_2 or_3 not_4 to_5 be_6$ ”

TO, 993427:

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

2: <1, 17, 74, 222, 255>;

4: <8, 16, 190, 429, 433>;

5: <363, 367>;

7: <13, 23, 191>; ... >

BE, 178239:

1: <17, 25>;

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

5: <14, 19, 101>; ... >

第4篇文档可能能够与查询匹配!

位置信息索引

- 基于位置信息索引，能够处理短语查询(phrase query)，也能处理邻近式查询(proximity query)

本讲内容

- 词典的数据结构：访问效率和支持查找的方式
- 容错式检索(Tolerant retrieval): 如果查询词项和文档词项不能精确匹配时如何处理？
 - 通配查询：包含通配符*的查询
 - 拼写校正：查询中存在错误时的处理

提纲

① 上一讲回顾

② 词典

③ 通配查询

④ 编辑距离

⑤ 拼写校正

⑥ Soundex

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(posting list)

词典

- **词典**是指存储词项词汇表的**数据结构**
- **词项词汇表(Term vocabulary)**: 指的是具体数据
- **词典(Dictionary)**: 指的是数据结构

vector数据结构 VS vector<int> data 具体数据

采用定长数组的词典结构

- 对每个词项，需要存储：
 - 文档频率
 - 指向倒排记录表的指针
 - ...
- 暂定每条词项的上述信息均采用定长的方式存储
- 假定所有词项的信息采用数组存储

采用定长数组的词典结构

词项	文档频率	指向倒排记录表的指针
a	656 265	→
aachen	65	→
...
zulu	221	→

空间消耗： 20字节

4字节

4字节

词项定位(即查词典)

- 输入“信息”，如何在词典中快速找到这个词？
- 以下介绍支持快速查找的词典数据结构。

18

信息

19

数据

20

21

22

挖掘

在数据结构课里，什么数据结构可以支持比数组更快的查询？

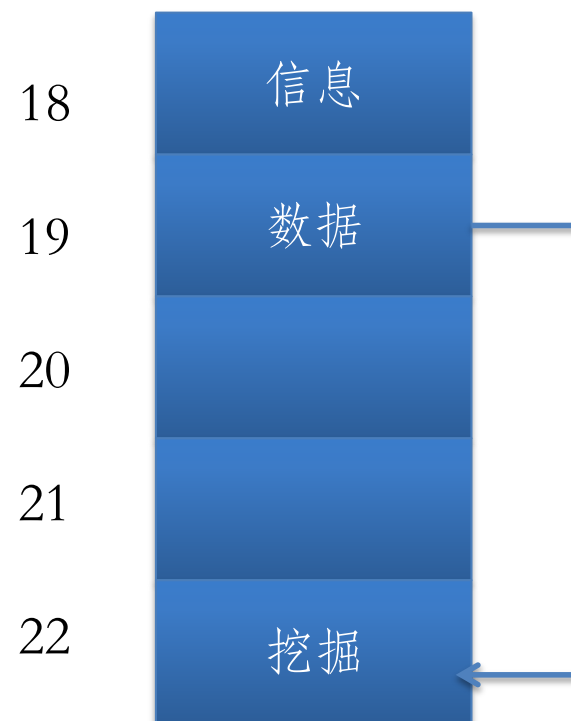
用于词项定位的数据结构

- 主要有两种数据结构: 哈希表和树
- 有些IR系统用哈希表, 有些系统用树结构
- 采用哈希表或树的准则:
 - 词项数目是否固定或者说词项数目是否持续增长?
 - 词项的相对访问频率如何?
 - 词项的数目有多少?
- 究竟采用哪种?

哈希表

哈希函数，输入词项，输出
正整数(通常是地址)

$f(\text{信息})=18$, $f(\text{数据})=19$, $f(\text{挖掘})=19$



当然我们也可以采取其他方式解决冲突

哈希表

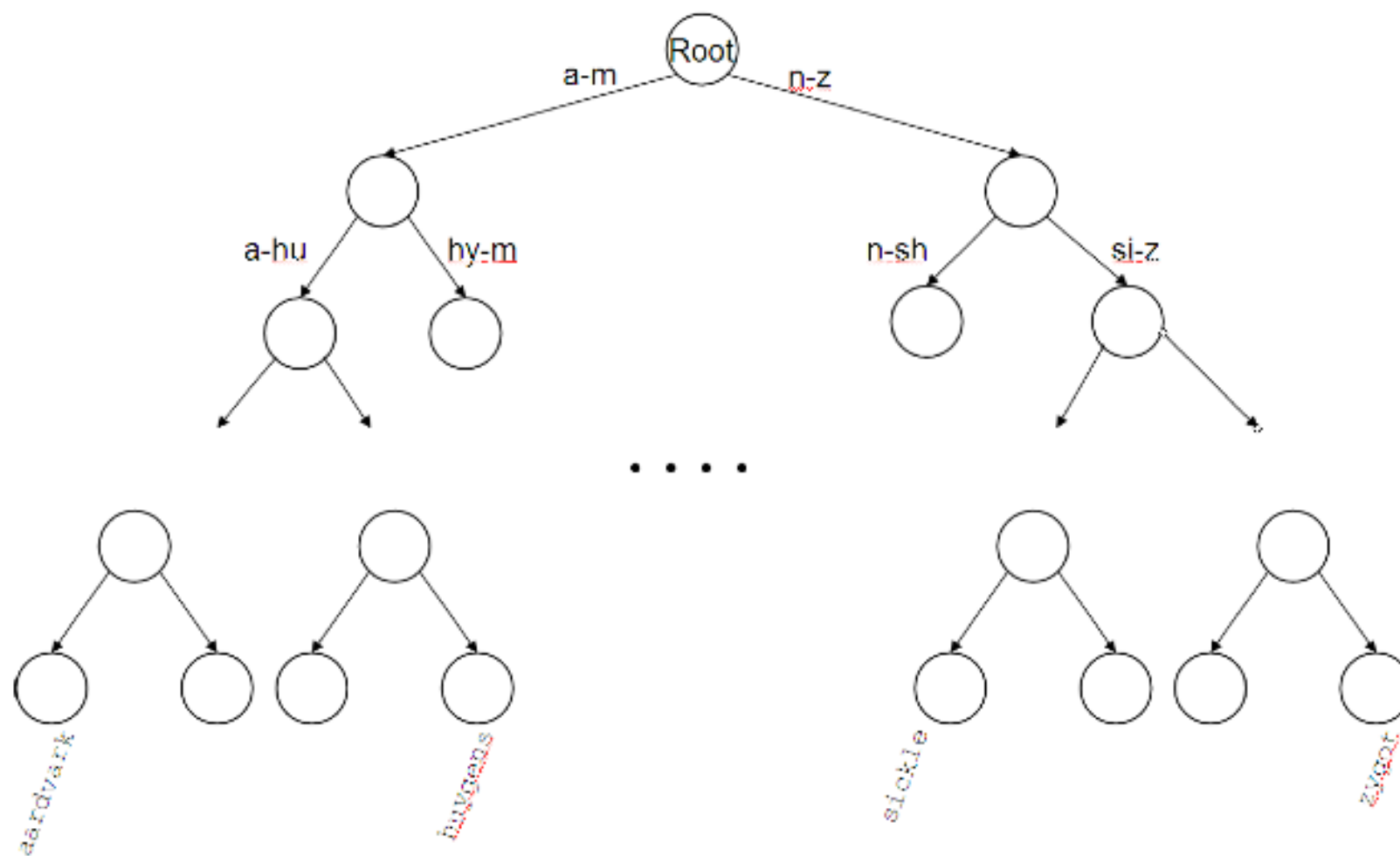
- 每个词项通过哈希函数映射成一个整数
- 尽可能避免冲突
- 查询处理时：对查询词项进行哈希，如果有冲突，则解决冲突，最后在定长数组中定位
- 优点：在哈希表中的定位速度快于树中的定位速度
 - 查询时间是常数
- 缺点：
 - 没办法处理词项的微小变形 (*resume* vs. *résumé*)
 - 不支持前缀搜索 (比如所有以 *automat* 开头的词项)
 - 如果词汇表不断增大，需要定期对所有词项重新哈希。

Why?

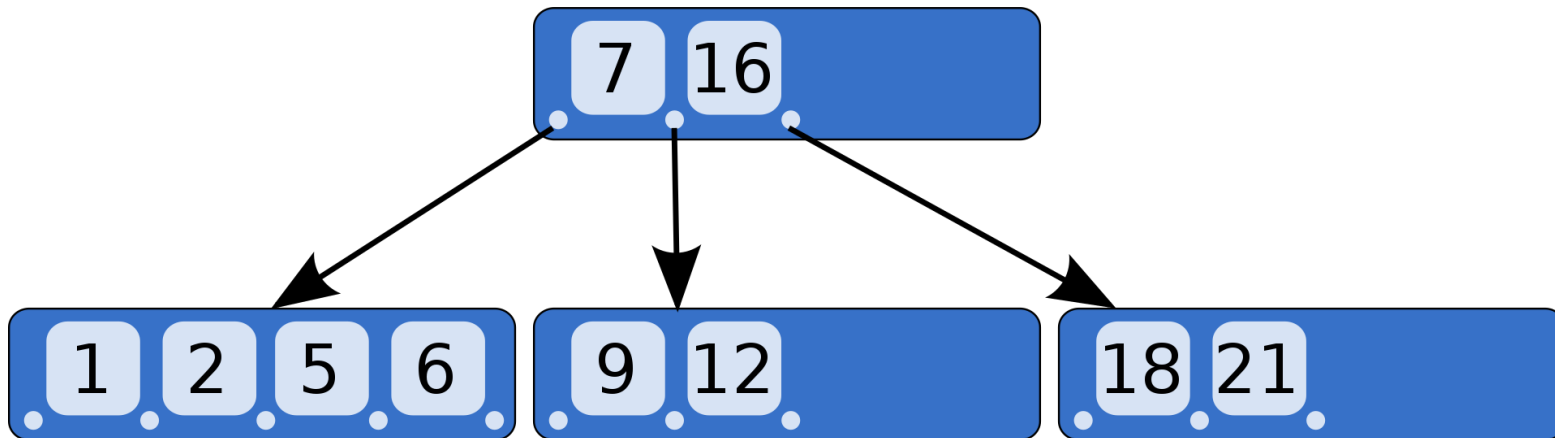
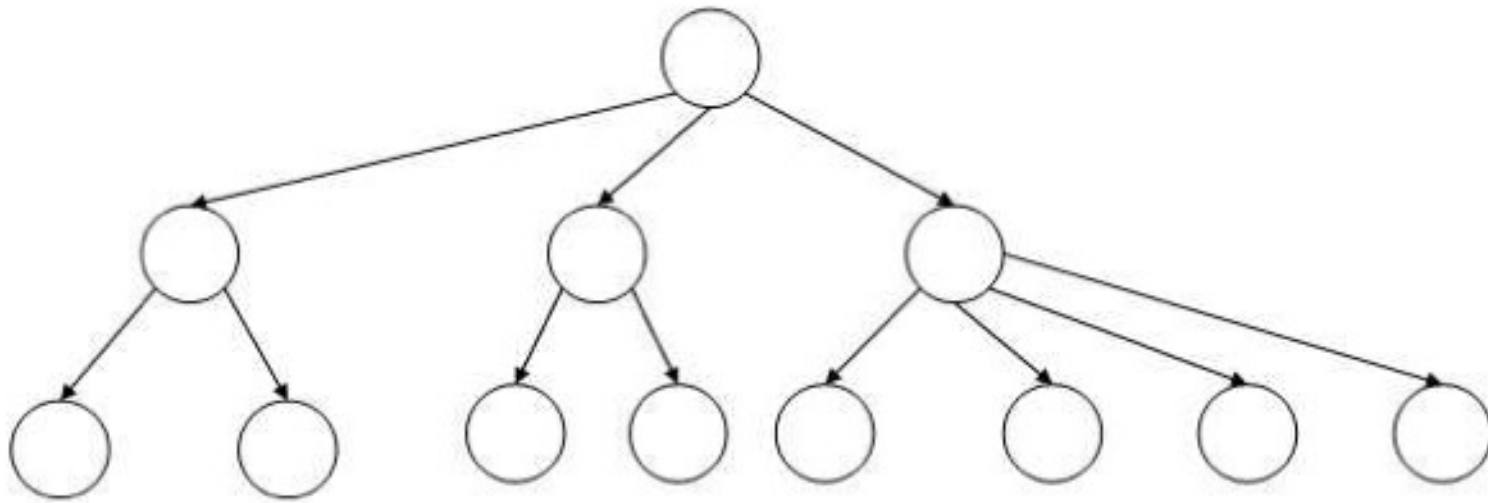
树

- 树可以支持前缀查找
- 最简单的树结构：二叉树
- 搜索速度略低于哈希表方式： $O(\log M)$, 其中 M 是词汇表大小，即所有词项的数目
 - $O(\log M)$ 仅仅对平衡树成立
 - 使二叉树重新保持平衡开销很大
- B-树 能够减轻上述问题
- B-树定义：每个内部节点的子节点数目在 $[a, b]$ 之间，其中 a, b 为合适的正整数, e.g., $[2, 4]$.

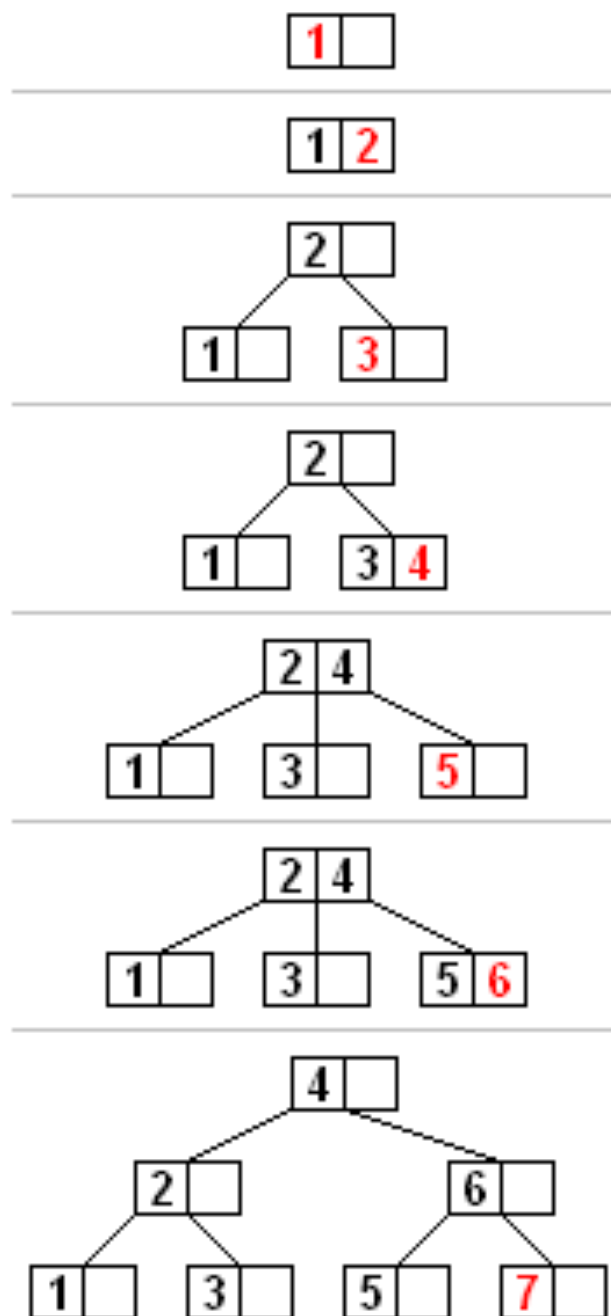
二叉树



B-树



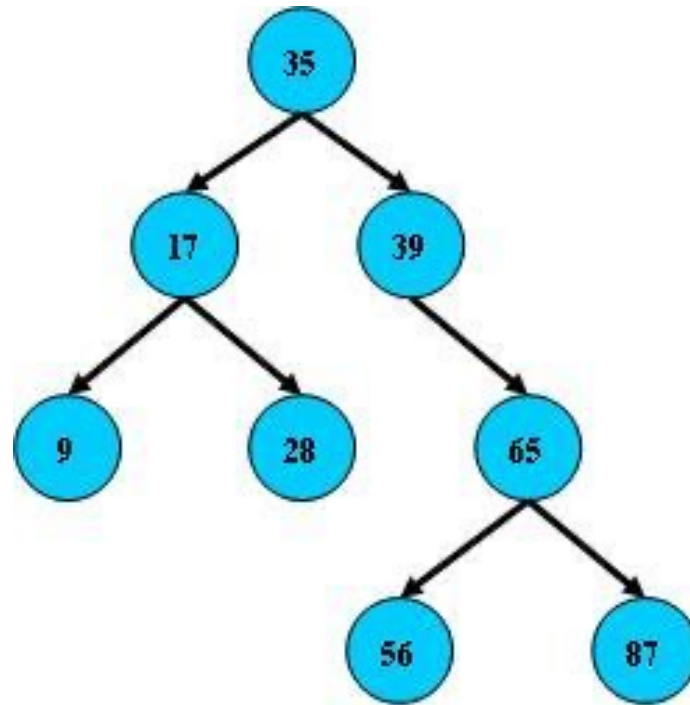
B-树



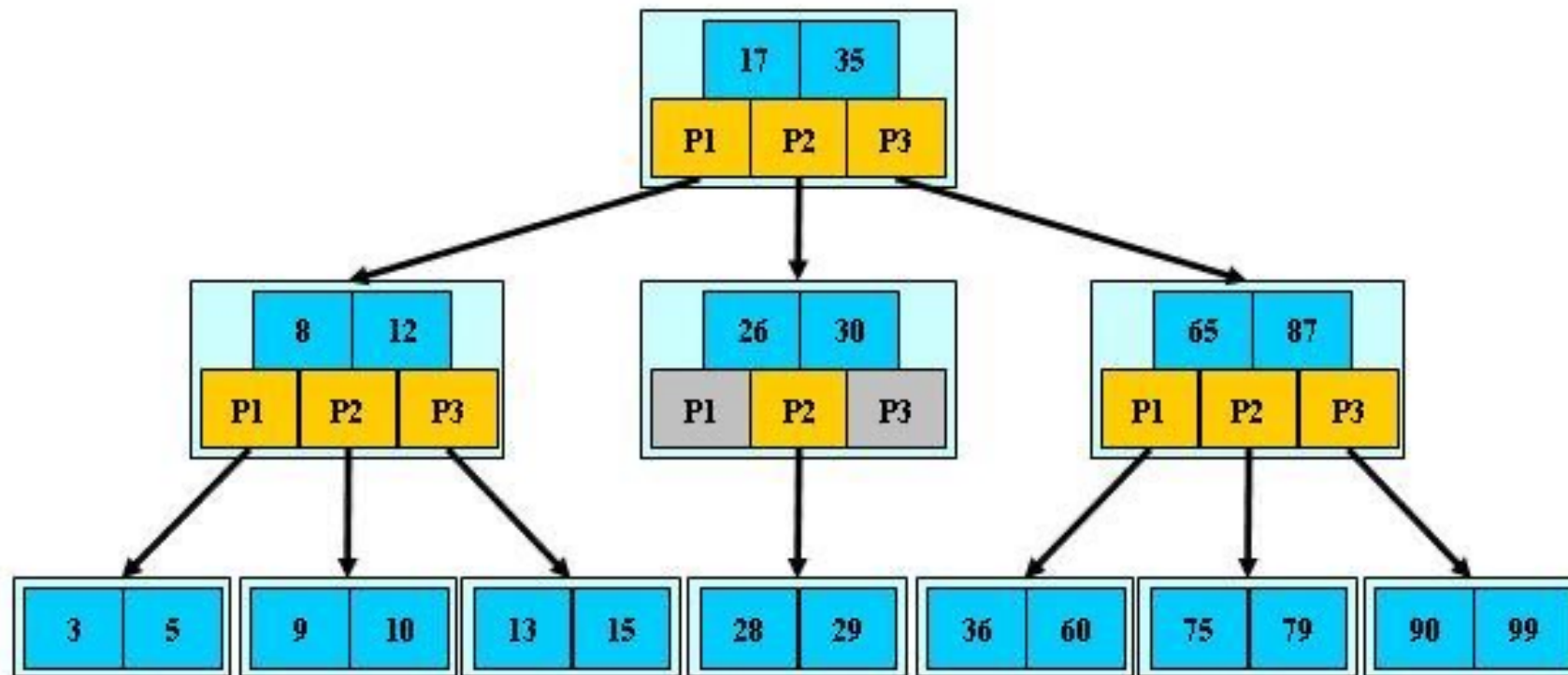
B-树插入过程，order=3
最多不超过3个孩子

B树/B-树/B+树

- 二叉搜索树
- B树=B-树（翻译问题）
 - 一种多路搜索树（并不是二叉的） B-Tree
- B+树： B+树是B-树的变体
 - B+的搜索与B-树也基本相同，区别是B+树只有达到叶子结点才命中（B-树可以在非叶子结点命中）



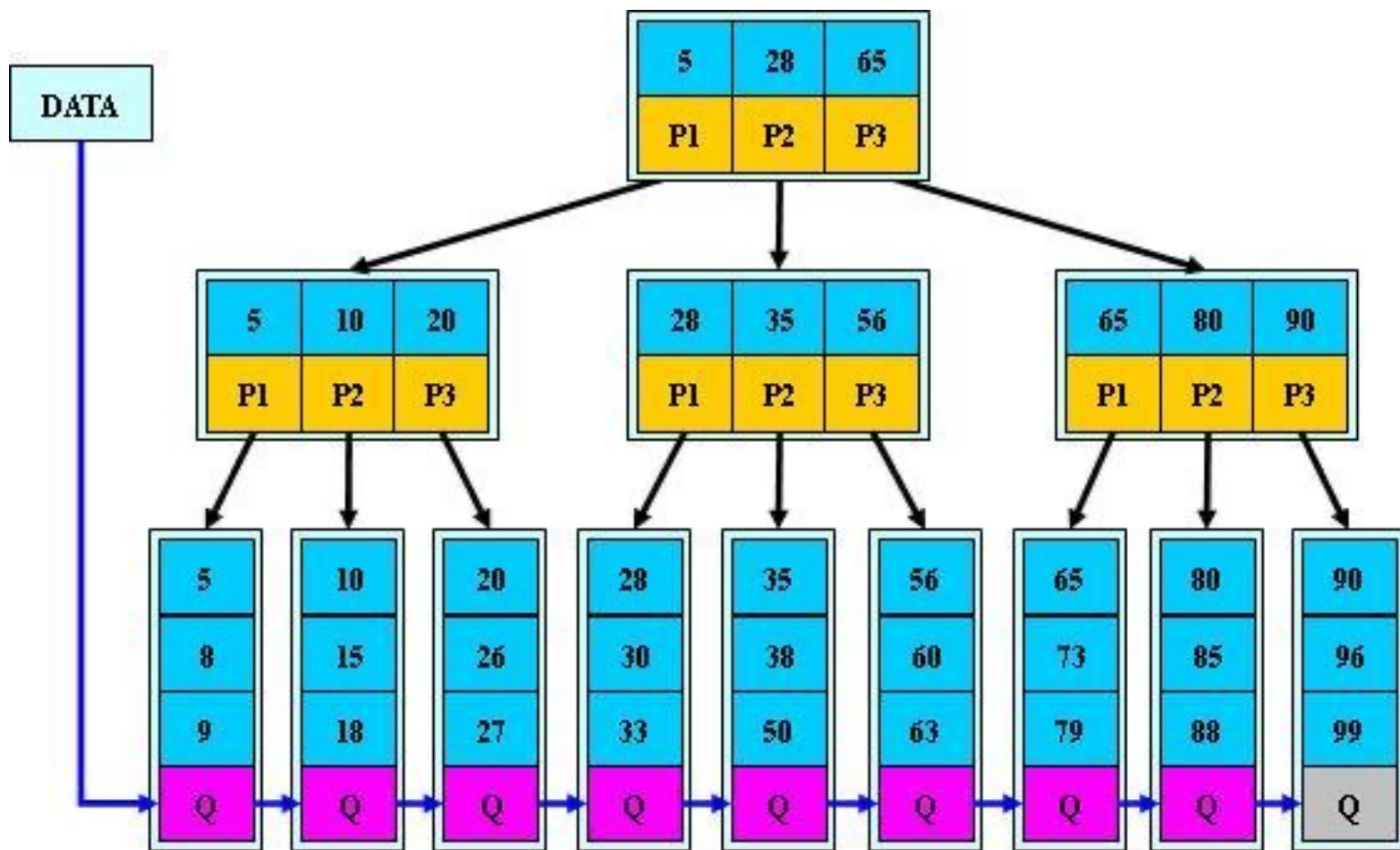
B 树



B-树

B-树的特性：

- 1.关键字集合分布在整颗树中；
- 2.任何一个关键字出现且只出现在一个结点中；
- 3.搜索有可能在非叶子结点结束；
- 4.其搜索性能等价于在关键字全集内做一次二分查找；
- 5.自动层次控制；



B+树

B+的特性:

- 1.所有关键字都出现在叶子结点的链表中（稠密索引），且链表中的关键字恰好是有序的；
- 2.不可能在非叶子结点命中；
- 3.非叶子结点相当于是叶子结点的索引（稀疏索引），叶子结点相当于是存储（关键字）数据的数据层；
- 4.更适合文件索引系统；

提纲

① 上一讲回顾

② 词典

③ 通配查询

④ 编辑距离

⑤ 拼写校正

⑥ Soundex

通配查询的处理

- mon^* : 找出所有包含以 *mon* 开头的词项的文档
- 如果采用B-树词典结构，那么实现起来非常容易，只需要返回区间 $\text{mon} \leq t < \text{moo}$ 上的词项 t
- $^*\text{mon}$: 找出所有包含以 *mon* 结尾的词项的文档
 - 将所有的词项倒转过来，然后基于它们建一棵附加的树
 - 返回区间 $\text{nom} \leq t < \text{non}$ 上的词项 t
- 也就是说，通过上述数据结构，可能得到满足通配查询的一系列词项，然后返回任一词项的文档

通配查询的处理

- 怎么处理: $m \times n$ 矩阵

词项中间的 *号处理

- 例子: $m * n$ chen

- 方法1:

- 在B-树中分别查找满足 $m *$ 和 $*n$ chen的词项集合，然后求交集
- 这种做法开销很大

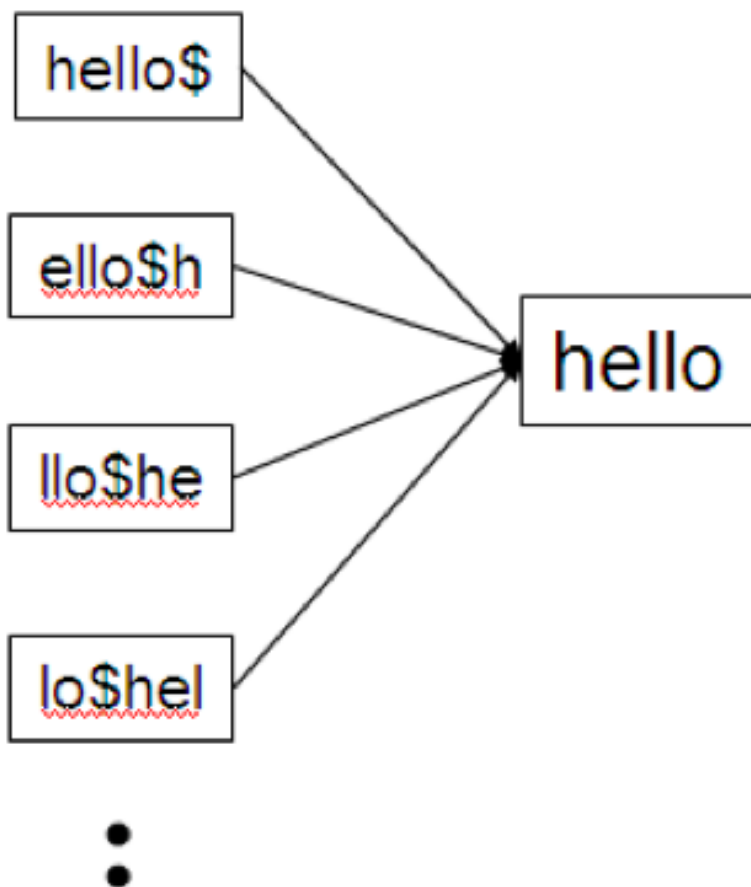
- 方法2:

- 轮排(permuterm) 索引
- 基本思想：将每个通配查询旋转，使*出现在末尾
- 将每个旋转后的结果存放在词典中，即B-树中

轮排索引

- 对于词项hello: 将 *hello\$*, *ello\$h*, *llo\$he*, *lo\$hel*, 和 *o\$hell* 加入到 B-树中, 其中 \$ 是一个特殊符号
- 即在词项前面再加一层索引

轮排结果 → 词项的映射示意图



轮排索引

- 对于hello, 已经存储了 *hello\$, ello\$h, llo\$he, lo\$hel, o\$hell, \$hello*
- 查询
 - 对于 x, 查询 x\$
 - 对于 x*, 查询 \$x*
 - 对于 *x, 查询 x\$*
 - 对于 *x*, 查询 x*
 - 对于 x*y, 查询 y\$x*
 - 例子: 假定通配查询为 hel*o, 那么相当于要查询o\$hel*
- 轮排索引称为轮排树更恰当
- 但是轮排索引已经使用非常普遍

现场例子?

Hello, Hello\$

He*, He*\$, \$He*

*lo, *lo\$, lo\$*

*on, *on\$, on\$*

*lo, *lo\$, lo\$*

X*Y, X*Y\$, Y\$X*

使用轮排索引的查找过程

- 将查询进行旋转，将通配符旋转到右部
- 同以往一样查找B-树
- 问题：相对于通常的B-树，轮排树的空间要大4倍以上 (经验值)

k -gram 索引

- 比轮排索引空间开销要小
- 枚举一个词项中所有连读的 k 个字符构成的 k -gram。
- 2-gram称为二元组(bigram)

例子: *April is the cruelest month : \$a ap pr ri il l\$ \$i is s\$ \$t th he e\$ \$c cr ru ue el le es st t\$ \$m mo on nt h\$*

同前面一样，\$ 是一个特殊字符

- 构建一个倒排索引，此时词典部分是所有的2-gram，倒排记录表部分是包含某个2-gram的所有词项
- 相当于对词项再构建一个倒排索引(二级索引)

3-gram(trigram)索引的例子



k -gram (bigram, trigram, ...) 索引

- 需要注意的是，这里有两个倒排索引
- 词典-文档的倒排索引基于词项返回文档
- 而 k -gram 索引用于查找词项，基于查询包含的 k -gram 查找词项

利用2-gram索引处理通配符查询

- 查询`mon*` 可以先执行布尔查询: `$m AND mo AND on`
- 该布尔查询会返回所有以前缀`mon`开始的词项 ...
 - 当然也可能返回许多伪正例
 - 如MOON

因此，必须要做后续的过滤处理

- 余下的词项将在词项-文档倒排索引中查找文档
- k -gram索引 vs. 轮排索引
 - k -gram索引的空间消耗小
 - 轮排索引不需要进行后过滤

提纲

① 上一讲回顾

② 词典

③ 通配查询

④ 编辑距离

⑤ 拼写校正

⑥ Soundex

拼写校正

- 两个主要用途
 - 纠正待索引文档
 - 纠正用户的查询
- 两种拼写校正的方法
- 词独立(Isolated word)法
 - 只检查每个单词本身的拼写错误
 - 如果某个单词拼写错误后变成另外一个单词，则无法查出, e.g., *an asteroid that fell **form** the sky*
- 上下文敏感(Context-sensitive)法
 - 纠错时要考虑周围的单词
 - 能纠正上例中的错误 *form/from*

关于文档校正

- 本课当中我们不关心文档的拼写校正问题 (e.g., MS Word)
- 在IR领域, 我们主要对OCR处理后的文档进行拼写校正处理. (OCR = optical character recognition, 光学字符识别)
- IR领域的一般做法是: 不改变文档

查询校正

- 第一种方法: 词独立(isolated word)法
- 假设1: 对需要纠错的词存在一系列 “正确单词形式”
- 假设2: 需要提供存在错误拼写的单词和正确单词之间的距离计算方式
- 简单的拼写校正算法: 返回与错误单词具有最小距离的”正确”单词
- 例子: *informaton* \rightarrow *information*
- 可以将词汇表中所有的单词都作为候选的 “正确” 单词

使用词汇表的几种其他方式

- 采用标准词典 (韦伯词典, 牛津词典等等)
- 采用领域词典 (面向特定领域的IR系统)
- 采用文档集上的词项词汇表, 但是每个词项均带有权重

单词间距离的计算

- 编辑距离(Edit distance或者Levenshtein distance)
- 带权重的编辑距离
- k -gram 重叠率

编辑距离

- 两个字符串 s_1 和 s_2 编辑距离是指从 s_1 转换成 s_2 所需要的最短的基本操作数目
- Levenshtein 距离: 采用的基本操作是插入(insert)、删除(delete)和替换(replace)
 - Levenshtein 距离 *dog-do*: 1
 - Levenshtein 距离 *cat-cart*: 1
 - Levenshtein 距离 *cat-cut*: 1
 - Levenshtein 距离 *cat-act*: 2
- Damerau-Levenshtein 还包括两个字符之间的交换(transposition) 操作
 - Damerau-Levenshtein 距离 *cat-act*: 1

带权重的编辑距离

- 思路：对不同的字符进行操作时权重不同
- 希望能更敏锐地捕捉到键盘输入的错误, e.g., m 更可能被输入成 n 而不是 q

QWERTY KEYBOARD

~ `	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	- _	+ =	Delete	
Tab	Q	W	E	R	T	Y	U	I	O	P	{ [}]	 \ ~	
Caps	A	S	D	F	G	H	J	K	L	; :	" '	Enter		
Shift	Z	X	C	V	B	N	M	< ,	> .	? /	Shift			
Ctrl		Alt										Alt		Ctrl

<http://www.computerhope.com>

- 因此，将 m 替换为 n 的编辑距离将低于替换为 q 的距离
- 也就是输入的操作代价矩阵是一个带权重的矩阵
- 对上述动态规划算法进行修改便可以处理权重计算

利用编辑距离进行拼写校正

- 给定查询词，穷举词汇表中和该查询的编辑距离(或带权重的编辑聚类)低于某个预定值的所有单词
- 将结果推荐给用户
- 代价很大，实际当中往往通过启发式策略提高查找效率(如：保证两者之间具有较长公共子串)informaton format

提纲

① 上一讲回顾

② 词典

③ 通配查询

④ 编辑距离

⑤ 拼写校正

⑥ Soundex

拼写校正

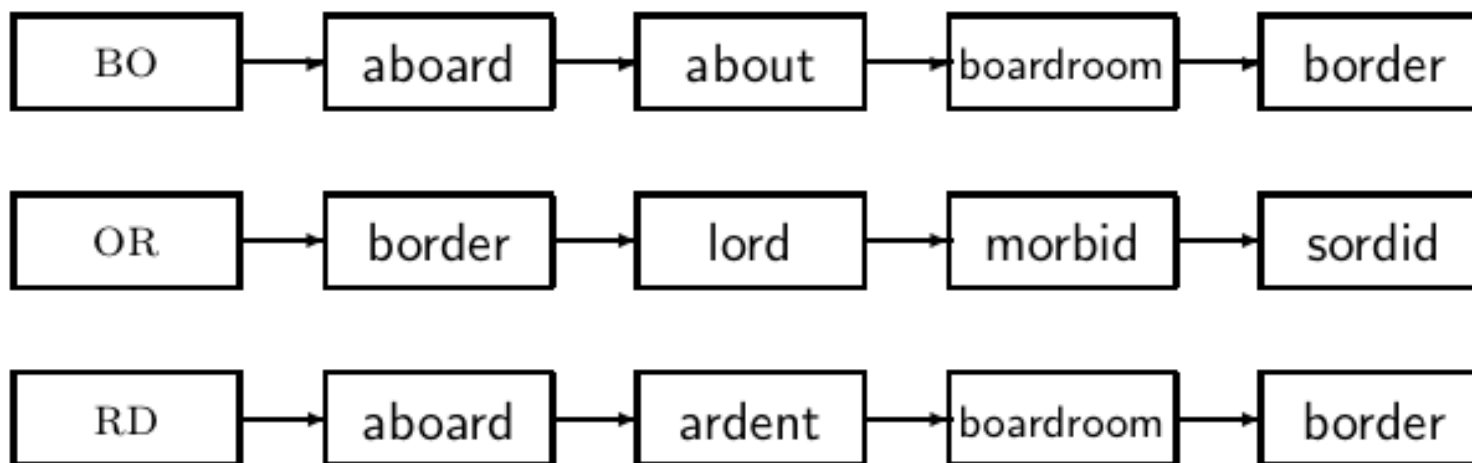
- 刚才已经介绍如何利用编辑距离进行词独立方式下的拼写校正
- 另一种方法： k -gram索引
- 上下文敏感的拼写校正
- 拼写校正中的一般问题

基于 k -gram 索引的拼写校正

- 列举查询词项中的所有 k -gram
 - 例子：采用 2-gram 索引, 错误拼写的单词为 `bordroom`
 - 2-gram: *bo, or, rd, dr, ro, oo, om*
- 利用 k -gram 索引返回和能够匹配很多查询 k -gram 的正确单词
- 匹配程度(数目或者指标)上可以事先设定阈值
- E.g., 比如最多只有 3 个 k -gram 不同

2-gram索引示意图 For Bord

返回至少包括两个 2-gram的单词



Aboard, boardroom, border

上下文敏感的拼写校正

- 例子: *an asteroid that fell **form** the sky*
- 如何对 *form* 纠错?
- 一种方法: 基于命中数(**hit-based**)的拼写校正
 - 对于每个查询词项返回相近的“正确”词项
 - *flew form munich: flea -> flew, from -> form, munch -> munich*
 - 组合所有可能
 - 搜索 “*flea form munich*”
 - 搜索 “*flew from munich*”
 - 搜索 “*flew form munch*”
 - 正确查询 “*flew from munich*” 会有最高的结果命中数
- 假定 *flew* 有7个可能的候选词, *form* 有20个, *munich* 有3个, 那么需要穷举出多少个查询?

上下文敏感的拼写校正

- 刚才提到的基于命中数的算法效率不高
- 一种更高效的做法是：从[查询库](#)(比如历史查询)中搜索而不是从文档库中搜索

拼写校正中的一般问题

- 用户交互界面问题

- 全自动 vs. 推荐式校正方法(Did you mean…?)
- 推荐式校正方法通常只给出一个建议
- 如果有多个可能的正确拼写怎么办?
- 平衡: 交互界面的简洁性 vs. 强大性

- 开销问题

- 拼写校正的开销很大
- 避免对所有查询都运行拼写校正模块
- 只对返回结果很少的查询运行拼写校正模块
- 猜测: 主流搜索引擎的拼写校正模块非常高效, 有能力对每个查询进行拼写校正

提纲

① 上一讲回顾

② 词典

③ 通配查询

④ 编辑距离

⑤ 拼写校正

⑥ Soundex

Soundex

- Soundex是寻找发音相似的单词的方法
- 比如: *chebyshev* / *tchebyscheff*
- 算法:
 - 将词典中每个词项转换成一个4字符缩减形式
 - 对查询词项做同样的处理
 - 基于4-字符缩减形式进行索引和搜索

Soundex 算法

- ① 保留词项的首字母
- ② 将后续所有的A、E、I、O、U、H、W及Y等字母转换为0。
- ③ 按照如下方式将字母转换成数字：
 - B, F, P, V → 1
 - C, G, J, K, Q, S, X, Z → 2
 - D, T → 3
 - L → 4
 - M, N → 5
 - R → 6
- ④ 将连续出现的两个同一字符转换为一个字符直至再没有这种现象出现。
- ⑤ 在结果字符串中剔除0，并在结果字符串尾部补足0，然后返回前四个字符，该字符由1个字母加上3个数字组成。

例子: 采用Soundex算法处理 *HERMAN*

- 保留 H
- *ERMAN* \rightarrow *ORMON*
- *ORMON* \rightarrow *06505*
- *06505* \rightarrow *06505*
- *06505* \rightarrow *655*
- 返回 *H655*
- 注意: *HERMANN* 会产生同样的编码

Soundex的应用情况

- 在IR中并不非常普遍
- 适用于“高召回率”任务 (e.g., 国际刑警组织Interpol在全球范围内追查罪犯)
- Zobel and Dart (1996)提出了一个更好的发音匹配方法