

# Методы поиска в структурированных файлах функции ранжирования

# Содержание

- Векторная модель
- TF-IDF
- Косинусная мера
- Структурированный файл на примере XML
  - Лексические поддеревья
  - Структурные термы
  - Расширение векторной модели на случай структурированных файлов
  - Схожесть контекстов
- Окари BM25
  - BM25F
  - BM25E

# Векторная модель

- **Векторная модель (англ. vector space model)** — представление коллекции документов векторами из одного общего для всей коллекции векторного пространства.
- **Коллекция** - неупорядоченное множество документов.
- **Документ** - неупорядоченное множество термов.
- **Термы (словарные термы)** - слова, из которых состоит текст (определение термина зависит от приложения)
- В векторной модели **термы – это измерения**.  
**Вес термина – координата в данном измерении.**

# Векторная модель

- Более формально

$$\mathbf{d}_j = (w_{1j}, w_{2j}, \dots, w_{nj}), \text{ где}$$

$\mathbf{d}_j$  — векторное представление  $j$ -го документа,

$w_{ij}$  — вес  $i$ -го термина в  $j$ -м документе,

$n$  — общее количество различных терминов во всех документах коллекции.

- Запросы представляются в той же форме, что и документы. Т.е.

$$\mathbf{q} = (w_{1q}, w_{2q}, \dots, w_{tq}), \text{ где}$$

$\mathbf{q}$  — векторное представление запроса,

$w_{iq}$  — вес  $i$ -го термина в запросе

# TF-IDF

- **TF-IDF (от англ. TF — term frequency, IDF — inverse document frequency)** — статистическая мера, используемая для оценки важности слова в контексте документа, являющегося частью коллекции документов. **TF-IDF = TF\*IDF**

$$TF = \frac{n_i}{\sum_k n_k}$$

$n_i$  - число вхождений термина в документ

$k$  – общее число термов в документе

$$IDF = \log \frac{|D|}{|(d_i \supset t_i)|}$$

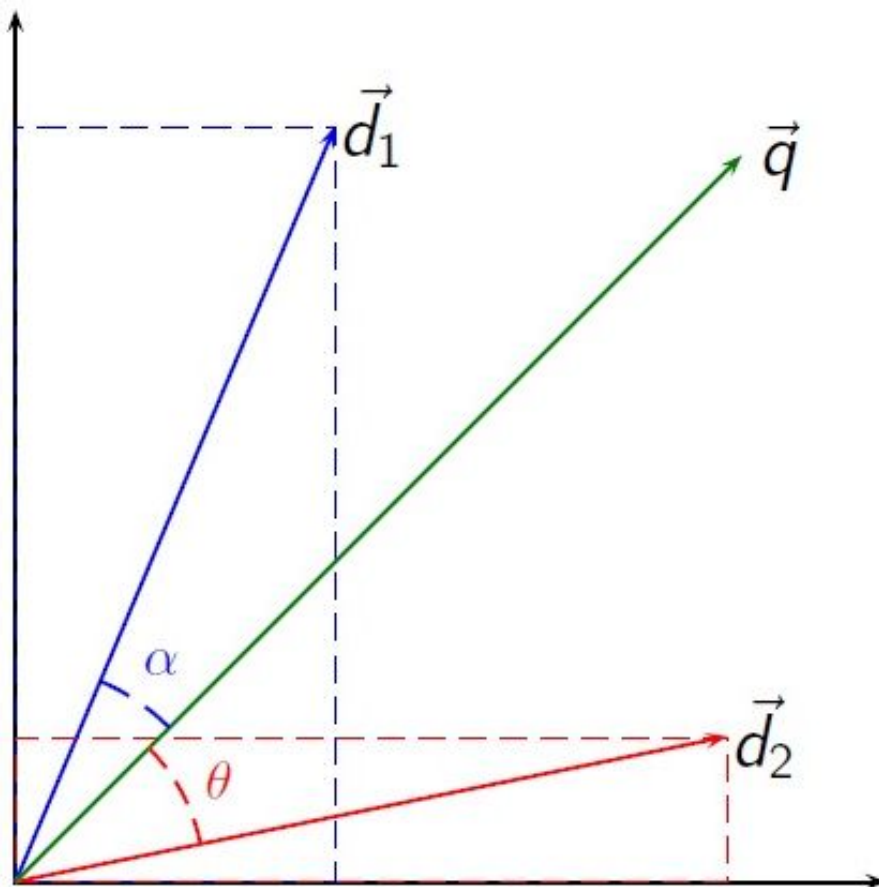
$|D|$  — количество документов в коллекции

$|(d_i \supset t_i)|$  — количество документов, в которых встречается терм  $t_i$   
(когда  $n_i \neq 0$ )

# Косинусная мера

$$\cos \theta = \frac{\mathbf{d}_2 \cdot \mathbf{q}}{\|\mathbf{d}_2\| \|\mathbf{q}\|}$$

$$\|\mathbf{v}\| = \sqrt{\sum_{i=1}^n v_i^2}$$



# Косинусная мера

$$\rho(Q, D) = \frac{\sum_{t_i \in Q \cap D} w_Q(t_i) * w_D(t_i)}{\|Q\| * \|D\|}$$

$\rho(Q, D)$  – соответствие запроса Q документу D

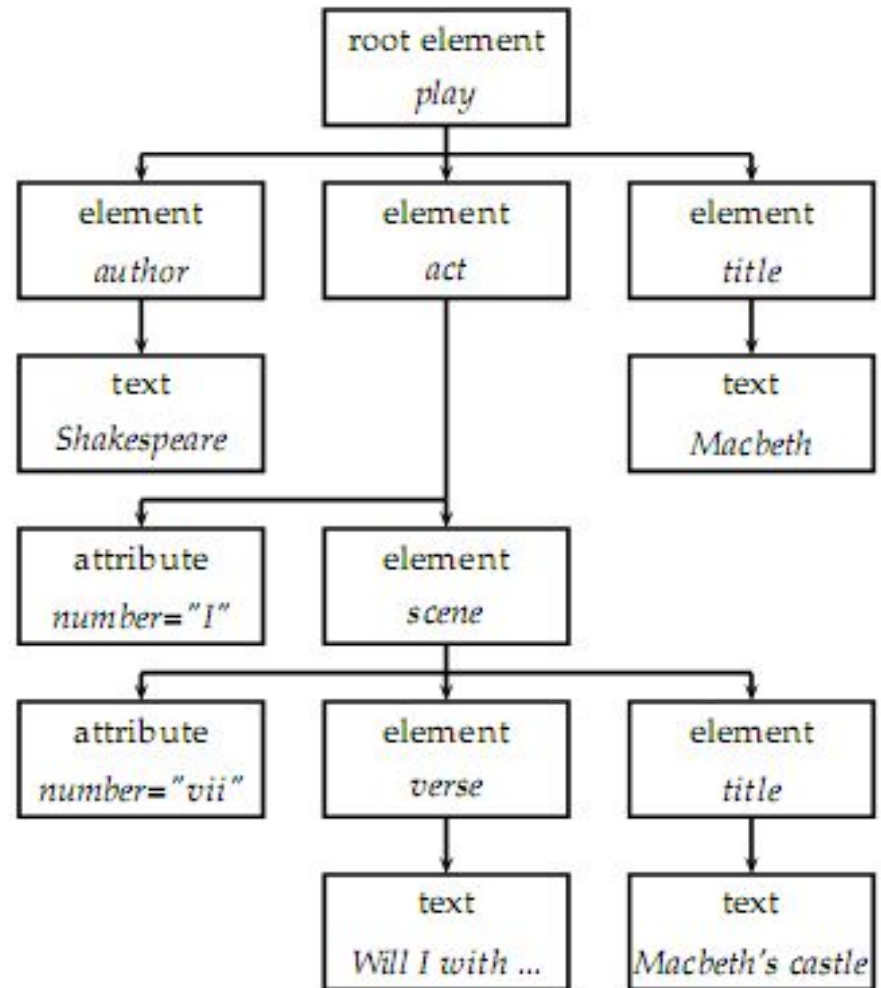
$t_i$  – терм (измерение)

$w_Q(t_i)$  – вес термина  $t_i$  в запросе Q

$w_D(t_i)$  – вес термина  $t_i$  в документе D

# Структурированный файл на примере XML\*

```
<play>
<author>Shakespeare</author>
<title>Macbeth</title>
<act number="1">
<scene number="vii">
<title>Macbeth's castle</title>
<verse>Will I with wine and
    wassail ...</verse>
</scene>
</act>
</play>
```

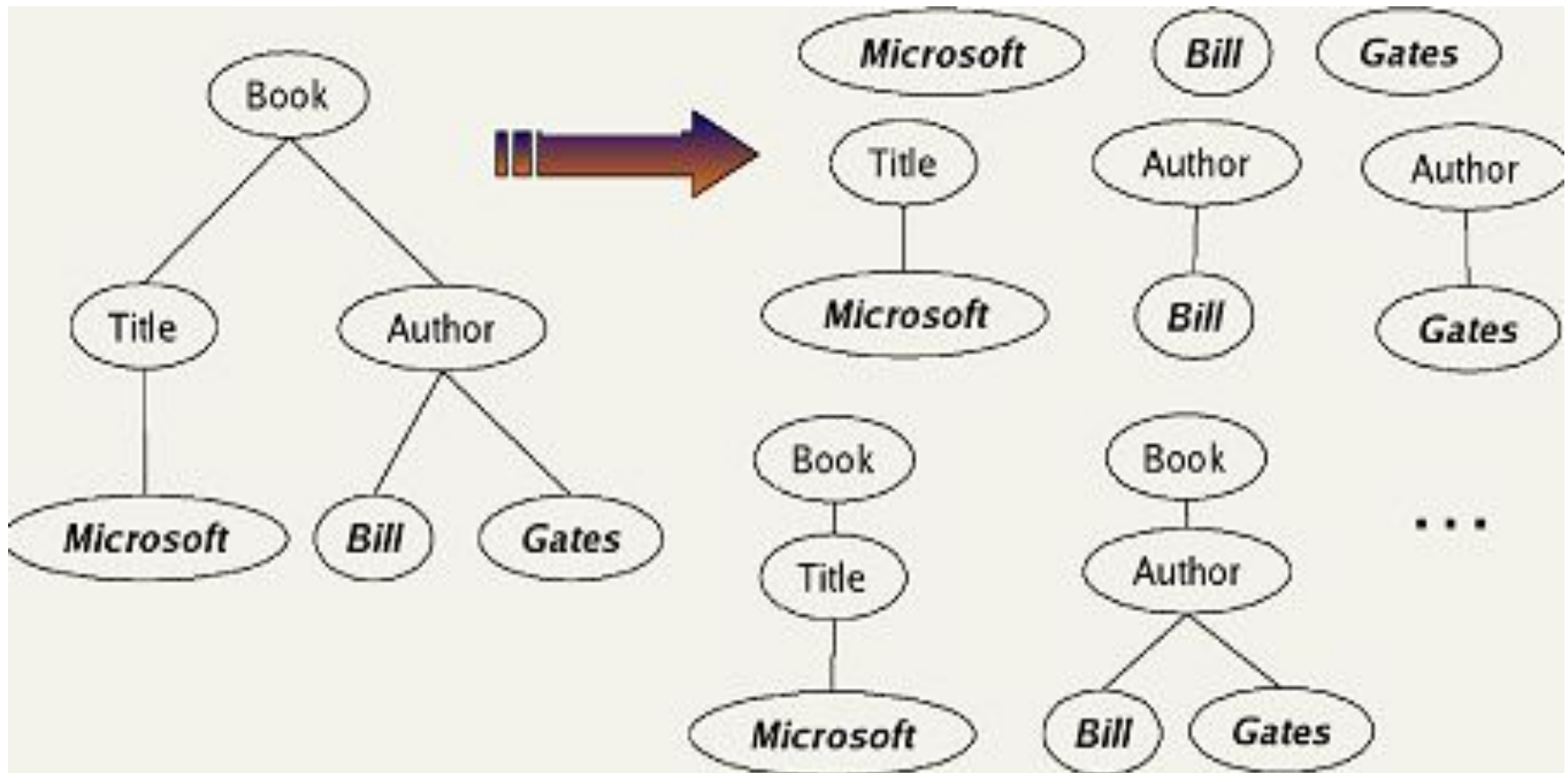


\* Здесь и далее под структурированным файлом подразумевается XML-файл



# Лексические поддеревья

- Деревья, содержащие хотя бы один словарный терм



# Лексические поддеревья

С увеличением количества узлов в дереве растёт число лексических поддеревьев.

# Структурные термы

- Будем рассматривать только такие лексические поддеревья, которые оканчиваются единственным словарным термом
- Такие поддеревья называются **структурными термами** и обозначаются парой **(t,c)**, где **t** – это терм, **c** - его XML-контекст.

# Расширение векторной модели на случай структурированных файлов

$$\rho(Q, D) = \frac{\sum_{(t_i, c_i) \in Q} \sum_{(t_i, c_k) \in D} w_Q(t_i, c_i) * w_D(t_i, c_k) * cr(c_i, c_k)}{\|Q\| * \|D\|}$$

$\rho(Q, D)$  – соответствие запроса  $Q$  документу  $D$

$(t_i, c_i)$  – структурный терм (измерение)

$w_Q(t_i, c_i)$  – вес структурного терма  $(t_i, c_i)$  в запросе  $Q$

$w_D(t_i, c_i)$  – вес структурного терма  $(t_i, c_i)$  в документе  $D$

$cr(c_i, c_k)$  – схожесть контекстов (context resemblance)  $c_i$  и  $c_k$ ,  $0 \leq cr(c_i, c_k) \leq 1$

# Схожесть контекстов

- 1 способ

$$CR(c_q, c_d) = \begin{cases} \frac{1+|c_q|}{1+|c_d|} & \text{если } c_q \text{ соответствует } c_d \\ 0 & \text{иначе} \end{cases}$$

$|c_q|$  - число узлов в контексте, соответствующем терму из запроса

$|c_d|$  - то же, но для документа

# Схожесть контекстов

- 2 способ

Рассмотрим запрос в форме  $\langle q_1 \rangle \langle q_2 \rangle \langle q_3 \rangle T \langle /q_3 \rangle \langle /q_2 \rangle \langle /q_1 \rangle$

$Q = q_1 q_2 q_3$  – контекст появления  $T$  в запросе

$A = a_1 a_2 \dots a_8$  – контекст появления  $T$  в произвольном XML документе

**Пример:**

$Q = \text{language/book/title}$

$A = \text{language/media/book/chapter/section/subsection/title/number}$

a1	a2	a3	a4	a5	a6	a7	a8
language	media	book	chapter	section	subsection	title	number
q1		q2				q3	
language		book				title	

# Схожесть контекстов

- **LCS(Q,A)**

Longest Common Subsequence

$$\mathbf{LCS(Q,A) = lcs(Q,A)/|Q|, \text{ где}}$$

$lcs(Q,A)$  – длина наибольшей общей подпоследовательности Q и A

$$\mathbf{0 \leq LCS(Q,A) \leq 1}$$

## • Критерии оценки

1. Контекст  $A$  включает больше элементов  $q_i$  в правильном порядке. (В примере - 3)
2. Элементы  $q_i$  появляются ближе к началу  $A$ , чем к концу. (В примере – совпадение  $q_1q_2q_3$  с  $a_1a_3a_7$  предпочтительнее, чем с  $a_1a_3a_8$ )
3. Элементы  $q_i$  появляются в  $A$  ближе друг к другу. (В примере – совпадение  $q_1q_2q_3$  с  $a_2a_3a_4$  предпочтительнее, чем с  $a_1a_3a_5$ )
4. Из двух контекстов документа, одинаково совпадающих с контекстом запроса, выше оценивается тот, который имеет меньшую длину.



# Схожесть контекстов

- **POS(Q,A)**

$$\text{POS}(Q,A) = 1 - ((AP - \text{AverOptimalPosition}) / (|A| - 2 * \text{AverOptimalPosition} + 1))$$

**AverOptimalPosition** - среднее положение оптимального совпадения Q и A (если совпадение начинается с первого элемента и продолжается без пробелов)

**AP** - фактическое среднее положение совпадения Q и A

$$0 \leq \text{POS}(Q,A) \leq 1$$

(0 – в случае полного несовпадения, 1 – в случае «самого левого» совпадения)

# Схожесть контекстов

- $GAPS(Q,A)$

$$GAPS(Q,A) = gaps / (gaps + lcs(Q,A))$$

**gaps** - число «пробелов» (в примере  $gaps = 4$ )

$$0 \leq GAPS \leq 1$$

( 0 – полное совпадение)

# Схожесть контекстов

- $LD(Q,A)$

$$LD(Q,A) = (|A| - |cs(Q,A)|) / |A|$$

$$0 \leq LD \leq 1$$

(0 – полное совпадение)

# Схожесть контекстов

$$cr(Q,A) = \alpha LCS(Q,A) + \beta POS(Q,A) - \gamma GAPS(Q,A) - \delta LD(Q,A)$$

$$0 \leq \alpha \leq 1, 0 \leq \beta \leq 1, 0 \leq \gamma \leq 1, 0 \leq \delta \leq 1$$

$$\alpha + \beta = 1 \text{ (т.к. } cr(Q,A) = 1 \text{ в случае полного совпадения)}$$

# Примеры

Показывают, как влияют оценки **LCS(Q,A)** , **POS(Q,A)**, **GAPS(Q,A)**, **LD(Q,A)** на **cr(Q,A)**

**Q = q1q2q3 = book/chapter/title**

Положим  **$\alpha = 0.75$** ,  **$\beta = 0.25$** ,  **$\gamma = 0.25$** ,  **$\delta = 0.2$**

Для простоты будем рассматривать **lcs(Q,A)** вместо **LCS(Q,A)**,  
**AP** вместо **POS**, **gaps** вместо **GAPS**, **ld** вместо **LD**

### Пример А1. Влияние lcs(Q,A) на cr(Q,A)

A	lcs	AP	gaps	ld	cr
media/ <b>book</b> / <b>chapter</b> / <b>title</b> /number	3	3	0	2	0.84
media/ <b>chapter</b> / <b>book</b> / <b>title</b> /number	2	3	0	3	0.53
media/ <b>title</b> / <b>chapter</b> / <b>book</b> /number	1	2	0	4	0.29
magazine/volume/article/ <b>title</b> /number	1	4	0	4	0.19

### Пример А2. Влияние AP(Q,A) на cr(Q,A)

A	lcs	AP	gaps	ld	cr
<b>book</b> / <b>chapter</b> / <b>title</b> /subtitle/number	3	2	0	2	0.92
media/ <b>book</b> / <b>chapter</b> / <b>title</b> / number	3	3	0	2	0.84
media/catalog/ <b>book</b> / <b>chapter</b> / <b>title</b>	3	4	0	2	0.75

Пример А3. Влияние gaps(Q,A) на cr(Q,A)

A	lcs	AP	gaps	ld	cr
media/catalog/ <b>book</b> /chapter/ <b>title</b> /subtitle/number	3	4	0	4	0.78
catalog/ <b>book</b> /chapters/ <b>chapter</b> /section/ <b>title</b> /number	3	4	2	4	0.68

Пример А4. Влияние ld(Q,A) на cr(Q,A)

A	lcs	AP	gaps	ld	cr
<b>book</b> /chapter/ <b>title</b> /subtitle/subtitle/ number/bullet	3	2	0	4	0.88
<b>book</b> /chapter/ <b>title</b> /subtitle	3	2	0	1	0.95

Пример В1. Влияние AP(Q,A) на cr(Q,A)  
при меньшем lcs (Q,A)

A	lcs	AP	gaps	ld	cr
<b>book/section/title/subtitle/number</b>	2	2	1	3	0.51
media/ <b>book/section/title/number</b>	2	3	1	3	0.45
media/catalog, <b>book/section/title</b>	2	4	1	3	0.39



# Окарі BM25

$$W(\bar{d}, q, c) = \sum_j w_j(\bar{d}, C) \cdot q_j$$

**d** - документ

**C** – коллекция документов

**W(d,q,C)** – релевантность документа d из коллекции C запросу q

**w<sub>j</sub>(d,C)** – вес j-го терма в документе d коллекции C

**q<sub>j</sub>** – совпадение терма j из документа с термом запроса

# Окарі ВМ25

$$w_j(\bar{d}, C) = \frac{(k_1 + 1)tf_j}{k_1 \left( (1 - b) + b \frac{dl}{avdl} \right) + tf_j} \log \frac{N - df_j + 0.5}{df_j + 0.5}$$

**d** - документ

**C** – коллекция документов

**w<sub>j</sub>(d, C)** – вес j-го терма в документе d коллекции C

**tf<sub>j</sub>** – частота j-го терма в документе d коллекции C (TF)

**df<sub>j</sub>** – количество документов коллекции, содержащих j-й терм

**dl** – длина документа

**avdl** – средняя длина документов в коллекции

**k<sub>1</sub>, b** – коэффициенты (обычно k<sub>1</sub> = 2, b = 0.75)

# BM25F

- модификация BM25, в которой документ рассматривается как совокупность нескольких полей (таких как, например, заголовки, основной текст, ссылочный текст), длины которых независимо нормализуются, и каждому из которых может быть назначена своя степень значимости в итоговой функции ранжирования.

$$wf_j(\bar{d}, C) = \frac{(k'_1 + 1)tf'_j}{k'_1((1 - b) + b \frac{dl'}{avdl'} + tf'_j)} \log \frac{N - df_j + 0.5}{df_j - 0.5}$$

$tf'_j$  – взвешенная частота  $j$ -го термина в документе  $d$

$dl'$  – взвешенная длина документа

$avdl'$  – взвешенная средняя длина документа

$k'_1$  – взвешенный параметр

# BM25F

Пусть имеется  $nF$  полей  $f = 1, \dots, nF$

В данном поле  $f$  документа  $d$  терм  $t$  имеет частоту  $tf_{d,t,f}$

Пусть  $V$  – это словарь (набор термов). Тогда

Длина поля  $f$  в документе  $d$

$$dl_f = \sum_{t \in V} tf_{d,t,f}$$

Частота термина  $t$  в документе  $d$

$$tf_{d,t} = \sum_f tf_{d,t,f}$$

# BM25F

Пусть имеется  $nF$  полей  $f = 1, \dots, nF$

В данном поле  $f$  документа  $d$  терм  $t$  имеет частоту  $tf_{d,t,f}$

Пусть  $V$  – это словарь (набор термов). Тогда

Длина документа  $d$

$$dl = \sum_f dl_f = \sum_f \sum_t tf_{d,t,f} = \sum_t tf_{d,t}$$

Средняя длина документа

$$avdl = \frac{1}{N} \sum dl$$

# BM25F

Если считать, что полю  $f$  присвоен вес  $w_f$ , получим:

$$tf'_{d,t} = \sum_f w_f tf_{d,t,f}$$

$$dl' = \sum_f w_f dl_f = \sum_f \sum_t w_f tf_{d,t,f} = \sum_t tf'_{d,t}$$

$$avdl' = \frac{1}{N} \sum dl'$$

$$k'_1 = k_1 \frac{atf_{weighted}}{atf_{unweighted}} = k_1 \frac{avdl'}{avdl}$$

**N** – мощность коллекции

**atf** – средняя частота термина

# BM25E

- В BM25F вместо частоты термина в документе используется линейная комбинация взвешенных частот термина в полях
- Этот метод можно применить к поиску элементов.
- Элементы можно обрабатывать так же, как и документы. Но каждый элемент может иметь ещё и дополнительные, унаследованные поля

# BM25E

Пусть имеется  $nE$  элементов  $e = 1, \dots, nE$  в коллекции  $C$

В элементе  $e$  терм  $t$  имеет частоту  $tf_{d,t,e}$

$el$  – длина элемента

$avel$  – средняя длина элемента

Тогда расширение BM25 на случай поиска элементов:

$$w_j(e, \bar{d}, C) = \frac{(k_1 + 1)tf_{e,j}}{k_1((1 - b) + b\frac{el}{avel}) + tf_{e,j}} \log \frac{N - df_j + 0.5}{df_j + 0.5}$$



# BM25E

Соответственно, функция BM25E:

$$wf_j(e, \bar{d}, C) = \frac{(k'_1 + 1)tf'_{e,j}}{k'_1((1-b) + b\frac{el'}{avel'}) + tf'_{e,j}} \log \frac{N - df_j + 0.5}{df_j + 0.5}$$

**tf'**<sub>e,j</sub> – взвешенная частота j-го терма в элементе e

**el'** – взвешенная длина элемента

**avel'** – взвешенная средняя длина элемента в коллекции

**k'**<sub>1</sub> – взвешенный параметр

# BM25E

Соответственно,

$$tf'_{f,t} = \sum_{f \in e} w_f tf_{f,t}$$

$$k'_1 = k_1 \frac{atf_{weighted}}{atf_{unweighted}} = k_1 \frac{avel'}{avel}$$

$$el' = \sum_{f \in e} w_f el = \sum_{f \in e} \sum_t w_f tf_{f,t} = \sum_{f,t} tf'_{f,t}$$

$$k'_1 = k_1 \frac{atf_{weighted}}{atf_{unweighted}} = k_1 \frac{avel'}{avel}$$

**M** – мощность коллекции

**atf** – средняя частота термина

# Литература

- Christopher D. Manning, Prabhakar Raghavan and Hinrich Schütze, Introduction to Information Retrieval, Cambridge University Press. 2008.
- David Carmel, Nadav Efraty, Gad M. Landau, Yoelle S. Maarek, Yosi Mass, An Extension of the Vector Space Model for Querying XML Documents via XML Fragments, ACM SIGIR'2002 Workshop on XML and IR, Tampere, Finland , Aug 2002
- Wei Lu, Stephen Robertson, Andrew Macfarlane, Advances in XML Information Retrieval and Evaluation (INEX 2005). LNCS 3977, Springer 2006 (pp 161-171).

**Спасибо за внимание!**