

Вероятностные тематические модели

Лекция 4. Модальности, иерархии и разведочный информационный поиск

К. В. Воронцов
vokov@forecsys.ru

Этот курс доступен на странице вики-ресурса
<http://www.MachineLearning.ru/wiki>
«Вероятностные тематические модели (курс лекций, К.В.Воронцов)»

МФТИ – ФИЦ ИУ РАН • 28 сентября 2023

1 Модальности и тематические иерархии

- Мультимодальные тематические модели
- Регуляризаторы для разделения тем на подтемы
- Эксперименты с иерархическими моделями

2 Эксперименты с тематическим поиском

- Методика измерения качества поиска
- Тематическая модель для документного поиска
- Оптимизация гиперпараметров

3 Разведочный информационный поиск

- Концепция разведочного поиска
- Концепция «мастерской знаний»
- Тематическое моделирование для разведочного поиска

Напоминание. Задача тематического моделирования

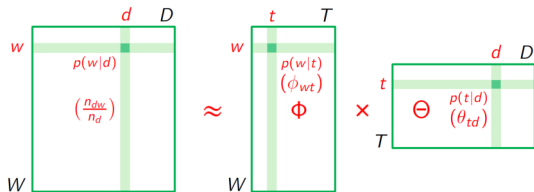
Дано: коллекция текстовых документов, $p(w|d) = \frac{n_{dw}}{n_d}$

Вероятностная тематическая модель:

$$p(w|d) = \sum_{t \in T} p(w|t)p(t|d) = \sum_{t \in T} \phi_{wt}\theta_{td}$$

Найти: параметры модели $\phi_{wt} = p(w|t)$, $\theta_{td} = p(t|d)$

Это задача стохастического матричного разложения:



Hofmann T. Probabilistic Latent Semantic Indexing. ACM SIGIR, 1999.

Blei D., Ng A., Jordan M. Latent Dirichlet Allocation. JMLR, 2003.

Напоминание. ARTM — аддитивная регуляризация

Максимизация \log правдоподобия с регуляризатором R :

$$\sum_{d,w} n_{dw} \ln \sum_t \phi_{wt} \theta_{td} + R(\Phi, \Theta) \rightarrow \max_{\Phi, \Theta}$$

EM-алгоритм: метод простой итерации для системы уравнений

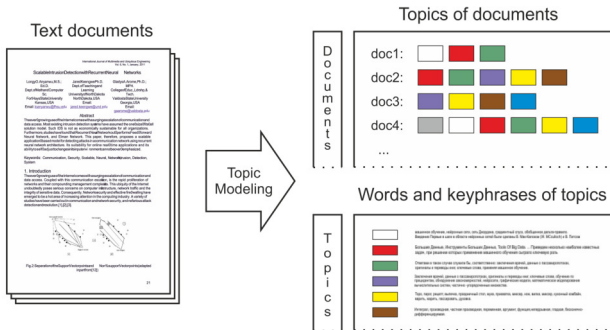
$$\begin{cases} \text{E-шаг:} & p_{tdw} \equiv p(t|d, w) = \mathop{\text{norm}}_{t \in T}(\phi_{wt} \theta_{td}) \\ \text{M-шаг:} & \begin{cases} \phi_{wt} = \mathop{\text{norm}}_{w \in W} \left(n_{wt} + \phi_{wt} \frac{\partial R}{\partial \phi_{wt}} \right), & n_{wt} = \sum_{d \in D} n_{dw} p_{tdw} \\ \theta_{td} = \mathop{\text{norm}}_{t \in T} \left(n_{td} + \theta_{td} \frac{\partial R}{\partial \theta_{td}} \right), & n_{td} = \sum_{w \in D} n_{dw} p_{tdw} \end{cases} \end{cases}$$

где $\mathop{\text{norm}}_{t \in T}(x_t) = \frac{\max\{x_t, 0\}}{\sum_{s \in T} \max\{x_s, 0\}}$ — операция нормирования вектора.

Воронцов К. В. Аддитивная регуляризация тематических моделей коллекций текстовых документов. Доклады РАН, 2014.

Напоминание. Мультимодальная тематическая модель

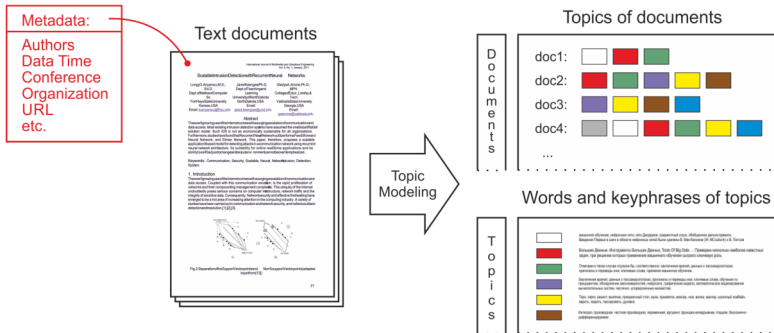
Тема может порождать термины различных *модальностей*:
 $p(\text{слово} | t)$, $p(n\text{-грамма} | t)$,



Напоминание. Мультимодальная тематическая модель

Тема может порождать термины различных *модальностей*:

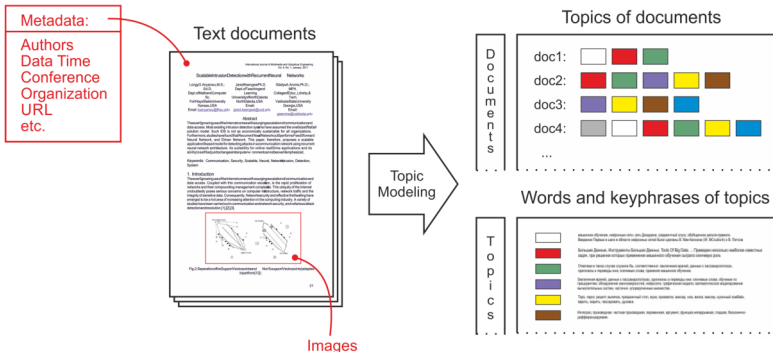
$p(\text{слово} | t)$, $p(n\text{-грамма} | t)$, $p(\text{автор} | t)$, $p(\text{время} | t)$, $p(\text{источник} | t)$,



Напоминание. Мультимодальная тематическая модель

Тема может порождать термины различных *модальностей*:

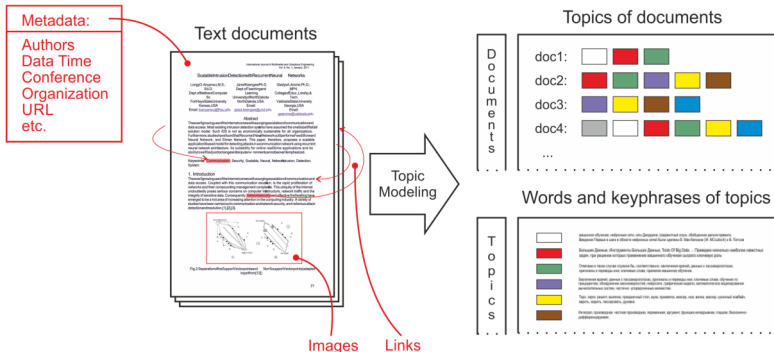
$p(\text{слово} | t)$, $p(n\text{-грамма} | t)$, $p(\text{автор} | t)$, $p(\text{время} | t)$, $p(\text{источник} | t)$,
 $p(\text{объект} | t)$,



Напоминание. Мультимодальная тематическая модель

Тема может порождать термины различных *модальностей*:

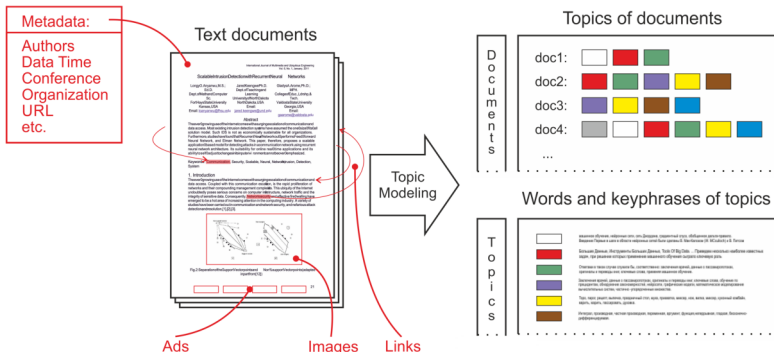
$p(\text{слово} | t)$, $p(n\text{-грамма} | t)$, $p(\text{автор} | t)$, $p(\text{время} | t)$, $p(\text{источник} | t)$,
 $p(\text{объект} | t)$, $p(\text{ссылка} | t)$,



Напоминание. Мультимодальная тематическая модель

Тема может порождать термины различных *модальностей*:

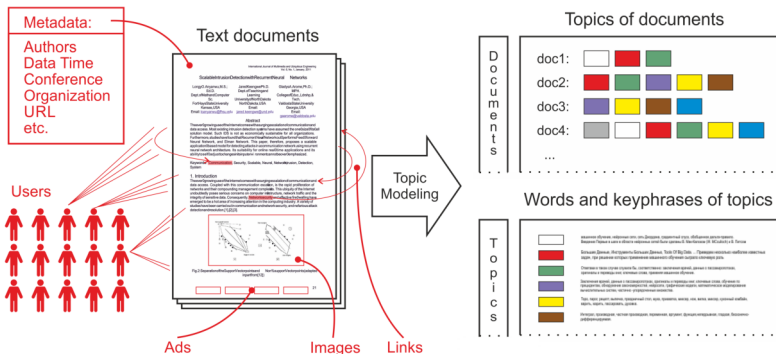
$p(\text{слово} | t)$, $p(n\text{-грамма} | t)$, $p(\text{автор} | t)$, $p(\text{время} | t)$, $p(\text{источник} | t)$,
 $p(\text{объект} | t)$, $p(\text{ссылка} | t)$, $p(\text{баннер} | t)$,



Напоминание. Мультимодальная тематическая модель

Тема может порождать термины различных *модальностей*:

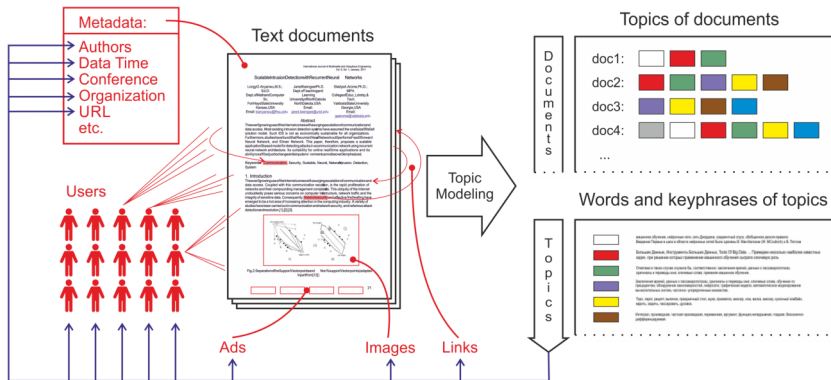
$p(\text{слово} | t)$, $p(n\text{-грамма} | t)$, $p(\text{автор} | t)$, $p(\text{время} | t)$, $p(\text{источник} | t)$,
 $p(\text{объект} | t)$, $p(\text{ссылка} | t)$, $p(\text{баннер} | t)$, $p(\text{пользователь} | t)$



Напоминание. Мультимодальная тематическая модель

Тема может порождать термины различных *модальностей*:

$p(\text{слово} | t)$, $p(n\text{-грамма} | t)$, $p(\text{автор} | t)$, $p(\text{время} | t)$, $p(\text{источник} | t)$,
 $p(\text{объект} | t)$, $p(\text{ссылка} | t)$, $p(\text{баннер} | t)$, $p(\text{пользователь} | t)$



Напоминание. Мультимодальная ARTM

W_m — словарь термов m -й модальности, $m \in M$

Максимизация суммы log-правдоподобий с регуляризацией:

$$\sum_{m \in M} \tau_m \sum_{d \in D} \sum_{w \in W^m} n_{dw} \ln \sum_{t \in T} \phi_{wt} \theta_{td} + R(\Phi, \Theta) \rightarrow \max_{\Phi, \Theta}$$

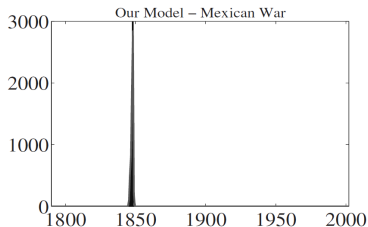
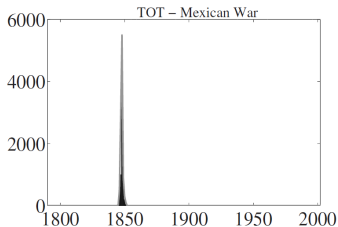
EM-алгоритм: метод простой итерации для системы уравнений

$$\begin{cases} \text{E-шаг:} & p_{tdw} = \mathop{\text{norm}}_{t \in T}(\phi_{wt} \theta_{td}) \\ \text{M-шаг:} & \begin{cases} \phi_{wt} = \mathop{\text{norm}}_{w \in W^m} \left(\sum_{d \in D} \tau_m(w) n_{dw} p_{tdw} + \phi_{wt} \frac{\partial R}{\partial \phi_{wt}} \right) \\ \theta_{td} = \mathop{\text{norm}}_{t \in T} \left(\sum_{w \in W^m} \tau_m(w) n_{dw} p_{tdw} + \theta_{td} \frac{\partial R}{\partial \theta_{td}} \right) \end{cases} \end{cases}$$

K. Vorontsov, O. Freij, M. Apishev et al. Non-Bayesian additive regularization for multimodal topic modeling of large collections. CIKM TM workshop, 2015.

Пример. Использование модальностей времени и n -грамм

По коллекции выступлений президентов США



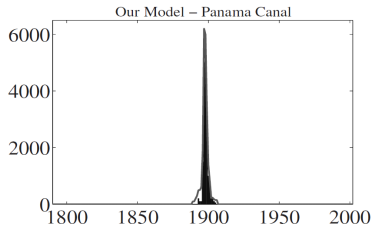
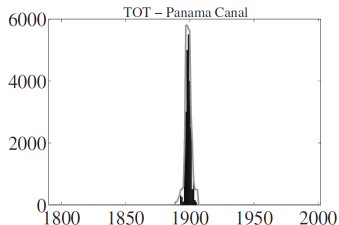
1. mexico	8. territory
2. texas	9. army
3. war	10. peace
4. mexican	11. act
5. united	12. policy
6. country	13. foreign
7. government	14. citizens

1. east bank	8. military
2. american coins	9. general herrera
3. mexican flag	10. foreign coin
4. separate independent	11. military usurper
5. american commonwealth	12. mexican treasury
6. mexican population	13. invaded texas
7. texan troops	14. veteran troops

Shoaib Jameel, Wai Lam. An N-Gram Topic Model for Time-Stamped Documents. ECIR 2013.

Пример. Использование модальностей времени и n -грамм

По коллекции выступлений президентов США

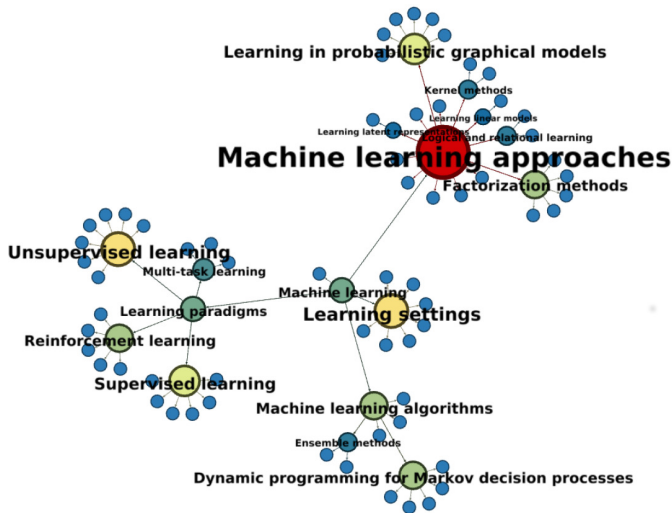


1. government	8. spanish
2. cuba	9. island
3. islands	10. act
4. international	11. commission
5. powers	12. officers
6. gold	13. spain
7. action	14. rico

1. panama canal	8. united states senate
2. isthmian canal	9. french canal company
3. isthmus panama	10. caribbean sea
4. republic panama	11. panama canal bonds
5. united states government	12. panama
6. united states	13. american control
7. state panama	14. canal

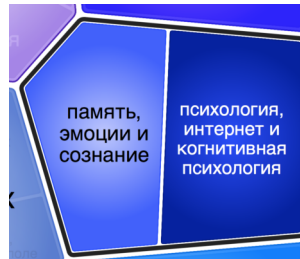
Shoaib Jameel, Wai Lam. An N-Gram Topic Model for Time-Stamped Documents. ECIR 2013.

Пример древовидной тематической иерархии



Пример тематической иерархии с именованием тем

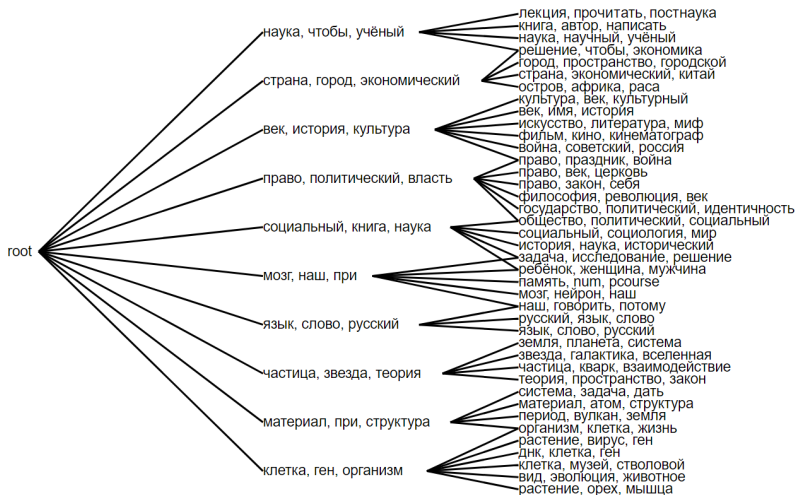
Тексты научно-просветительского ресурса Postnauka.ru:
2976 документов, 43196 слов, 1799 тегов



Chirkova N.A., Vorontsov K.V. Additive regularization for hierarchical multimodal topic modeling. JMLDA, 2016.

Belyy A.V., Seleznova M.S., Sholokhov A.K., Vorontsov K.V. Quality Evaluation and Improvement for Hierarchical Topic Modeling. Dialogue 2018.

Пример иерархического спектра тем (коллекция postnauka.ru)



Дмитрий Федоряка. Технология интерактивной визуализации тематических моделей. Бакалаврская диссертация, МФТИ, 2017.

Иерархические тематические модели

- структура иерархии: дерево / **многодольный граф**
- направление: снизу вверх / **сверху вниз** / одновременно
- наращивание: попершинное / **последное**
- обучение: **без учителя** / по готовым рубрикам

Открытые проблемы:

- “Despite recent activity in the field of HPTMs, determining the hierarchical model that best fits a given data set, in terms of the structure and size of the learned hierarchy, still remains a challenging task and an open issue.”
- “The evaluation of hierarchical PTMs is also an open issue.”

Zavitsanos E., Paliouras G., Vouros G. A. Non-Parametric Estimation of Topic Hierarchies from Texts with Hierarchical Dirichlet Processes. 2011.

Регуляризатор Φ : родительские темы как псевдо-документы

Шаг 1. Строим модель с небольшим числом тем

Шаг k . Пусть модель с множеством тем T уже построена.
Строим множество дочерних тем S (subtopics), $|S| > |T|$

Родительские темы приближаются смесями дочерних тем:

$$\sum_{t \in T} n_t \text{KL}_w \left(p(w|t) \parallel \sum_{s \in S} p(w|s) p(s|t) \right) \rightarrow \min_{\Phi, \Psi}$$

где $\Psi = (\psi_{st})_{S \times T}$ — матрица связей, $\psi_{st} = p(s|t)$

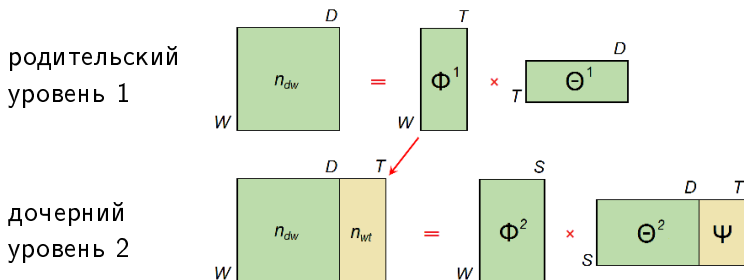
Родительская $\Phi^p \approx \Phi \Psi$, отсюда регуляризатор матрицы Φ :

$$R(\Phi, \Psi) = \tau \sum_{t \in T} \sum_{w \in W} n_{wt} \ln \sum_{s \in S} \phi_{ws} \psi_{st} \rightarrow \max$$

Родительские темы t — «документы» с частотами термов n_{wt}

Регуляризатор Φ : построение второго уровня с подтемами S

Добавим в коллекцию $|T|$ псевдо-документов родительских тем с частотами термов $n_{wt} = \tau n_t \phi_{wt}$, $t \in T$



Матрица связей тем с подтемами $\Psi = (p(s|t))$ образуется в столбцах матрицы Θ , соответствующих псевдо-документам.

Регуляризатор Θ : родительские темы как модальность

Шаг 1. Строим модель с небольшим числом тем

Шаг k . Пусть модель с множеством тем T уже построена.
Строим множество дочерних тем S (subtopics), $|S| > |T|$

Родительские темы приближаются смесями дочерних тем:

$$\sum_{d \in D} n_d \text{KL}_t(p(t|d) \parallel \sum_{s \in S} p(t|s)p(s|d)) \rightarrow \min_{\Theta, \Psi}$$

где $\Psi = (\psi_{ts})_{T \times S}$ — (другая!) матрица связей, $\psi_{ts} = p(t|s)$

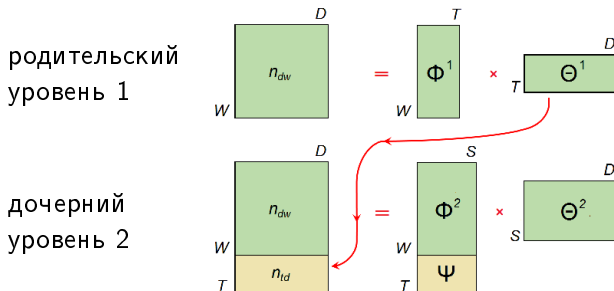
Родительская $\Theta^p \approx \Psi\Theta$, отсюда регуляризатор матрицы Θ :

$$R(\Theta, \Psi) = \tau \sum_{d \in D} \sum_{t \in T} n_{td} \ln \sum_{s \in S} \psi_{ts} \theta_{sd} \rightarrow \max$$

Родительские темы t — модальность с частотами термов n_{td}

Регуляризатор Θ : построение второго уровня с подтемами S

Добавим в каждый документ модальность родительских тем с частотами термов $n_{td} = \tau n_d \theta_{td}$, $t \in T$



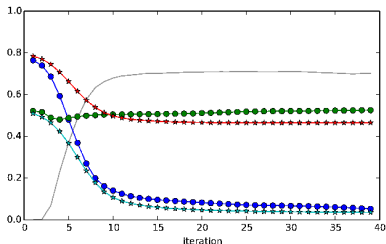
Матрица связей тем с подтемами $\Psi = (p(t|s))$ образуется в строках матрицы Φ , соответствующих родительским темам.

Chirkova N.A., Vorontsov K.V. Additive regularization for hierarchical multimodal topic modeling. JMLDA, 2016.

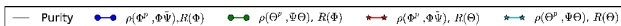
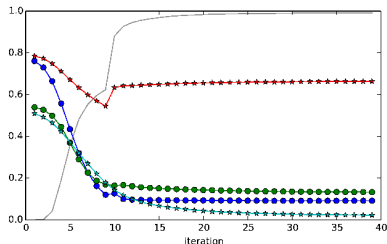
Эксперимент на коллекции ММРО-ИОИ

Среднее расстояние Хеллингера $\rho(\Phi^P, \Phi\tilde{\Psi})$ и $\rho(\Theta^P, \Psi\Theta)$ для регуляризаторов $R(\Phi)$ и $R(\Theta)$ при переходе с уровня 1 на 2:

Разреживание Φ с 1-й итерации



Разреживание Φ с 10-й итерации



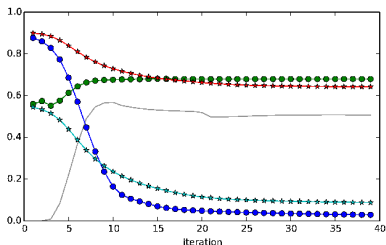
Выводы. $R(\Theta)$ плохо приближает Φ^P . При разреживании Φ с 10-й итерации $R(\Phi)$ хорошо приближает Φ^P и Θ^P

Chirkova N. A., Vorontsov K. V. Additive regularization for hierarchical multimodal topic modeling. JMLDA, 2016.

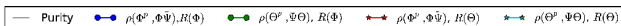
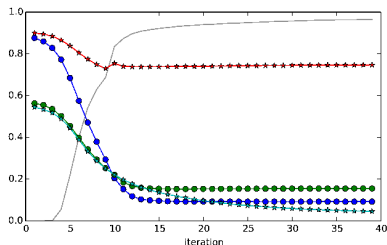
Эксперимент на коллекции ММРО-ИОИ

Среднее расстояние Хеллингера $\rho(\Phi^P, \Phi\tilde{\Psi})$ и $\rho(\Theta^P, \Psi\Theta)$ для регуляризаторов $R(\Phi)$ и $R(\Theta)$ при переходе с уровня 2 на 3:

Разреживание Φ с 1-й итерации



Разреживание Φ с 10-й итерации



Выводы. $R(\Theta)$ плохо приближает Φ^P . При разреживании Φ с 10-й итерации $R(\Phi)$ хорошо приближает Φ^P и Θ^P

Chirkova N. A., Vorontsov K. V. Additive regularization for hierarchical multimodal topic modeling. JMLDA, 2016.

Выводы

- $R(\Phi)$ лучше $R(\Theta)$, т.к. добавлять псевдо-документы удобнее, чем вставлять модальности в каждый документ
- $R(\Phi)$ хорошо приближает $\Phi^P \approx \Phi\tilde{\Psi}$ и $\Theta^P \approx \Psi\Theta$ при осторожном (с 10-й итерации) разреживании Φ
- $R(\Theta)$ приближает только $\Theta^P \approx \Psi\Theta$
- сильное разреживание $\psi_{ts} \in \{0, 1\}$ даёт иерархию-дерево
- нельзя допускать вырождения $\psi_{ts} = p(t|s) \equiv 0$

Трудные и/или открытые проблемы:

- тематические иерархии с ветвлением различной глубины
- автоматическое оценивание качества иерархии
- автоматическое именованье подтем с учётом родительской
- определение типа документа по его следу в иерархии

Иерархическая тематизация коллекции научных публикаций

След документа в глубокой тематической иерархии определяет его тип — степень специализации, назначение, аудиторию:



узко специализированный,
для профессионалов



междисциплинарное исследование,
для профессионалов



обзорный,
для ознакомления с предметной областью



популярный или энциклопедический,
для самообразования, расширения кругозора

Две коллекции новостей про технологии

Habrahabr.ru

175 143 статей на русском
10 552 слов (униграмм)
742 000 биграмм
524 авторов статей
10 000 авторов комментариев
2546 тегов
123 хаба (категории)

TechCrunch.com

759 324 статей на английском
11 523 слов (униграмм)
1.2 млн. биграмм
605 авторов
184 категорий

Предобработка текстов

- отброшены 5% наиболее частотных слов (общая лексика)
- удалена пунктуация, ё→е, лемматизация rymorphy2

Анастасия Янина. Тематические и нейросетевые модели языка для разведочного информационного поиска. Диссертация к.ф.-м.н., МФТИ. 2022.

Методика оценивания качества разведочного поиска

Поисковый запрос

набор ключевых слов или фрагментов текста, около одной страницы A4

Поисковая выдача

документы d с распределением $p(t|d)$, близким к распределению $p(t|q)$ запроса

Два задания асессорам

- 1 найти как можно больше статей, пользуясь любыми средствами поиска (и засечь время)
- 2 оценить релевантность поисковой выдачи на том же запросе

Поиск MapReduce

Поиск MapReduce – программа поиска (библиотека) вычислений распределенных вычислений для больших объемов данных в рамках параллельных шардов, представляющих собой набор Java-классов и исполняемых единиц для создания и обработки данных на параллельную обработку.

Основные компоненты Поиск MapReduce можно сформулировать как:

- обработка вычислений больших объемов данных;
- масштабируемость;
- автоматическое распределение заданий;
- работа по итерационным обработкам;
- автоматическая обработка отказов вычислений заданий.

Поиск – популярная программная платформа (язык Java, библиотека) построена распределенных приложений для массово-параллельной обработки (задачи, работы, процессы, МР) данных.

Поиск включает в себе следующие компоненты:

1. HDFS – распределенная файловая система;

2. **Поиск MapReduce** – программная модель (библиотека) вычислений распределенных вычислений для больших объемов данных в рамках параллельных шардов.

Клиентские приложения в архитектуре **Поиск MapReduce** и структуру HDFS, стали привычной реальностью не только в кластерах, а также и в единичных точках отказа. Это, в конечном итоге, определило ограниченную платформу **Поиск** в целом. К сожалению можно отметить:

Ограничение масштабируемости кластера **Поиск** –4K вычислительных узлов, –40K параллельных заданий.

Сильная связность **Файлоразр** распределенных вычислений и клиентских приложений, реализованных распределенной программой. Как следствие:

Отсутствие поддержки альтернативной программной модели вычислений распределенных вычислений в **Поиск v1.0** поддерживается только модель вычислений шардов.

Многие «единичные точки отказа» как следствие, неспособность масштабирования в средстве с возрастающими требованиями к надежности;

Проблема **взаимосовместимости** требования по единовременному обслуживанию всех вычислительных узлов кластера при обслуживании платформ **Поиск** (установка новых версий или пакета обновлений).

Пример запроса для разведочного поиска

Пример: фрагмент запроса «Система IBM Watson»

IBM Watson — суперкомпьютер фирмы IBM, оснащённый вопросно-ответной системой искусственного интеллекта, созданный группой исследователей под руководством Дэвида Феруччи. Его создание — часть проекта DeepQA. Основная задача Уотсона — понимать вопросы, сформулированные на естественном языке, и находить на них ответы в базе данных. Назван в честь основателя IBM Томаса Уотсона.

IBM Watson представляет собой когнитивную систему, которая способна понимать, делать выводы и обучаться. Она также позволяет преобразовывать целые отрасли, различные направления науки и техники. Например, предсказывать появление эпидемий или возникновения очагов природных катастроф в различных регионах, вести мониторинг состояния атмосферы больших городов, оптимизировать бизнес-процессы, узнавать, какие товары будут в тренде в ближайшее время.

... ..

Релевантные тексты: примеры сервисов и приложений, основа которых — когнитивная платформа IBM Watson, используемые в IBM Watson технологии, вопрос-ответные системы, сопоставление IBM Watson с Wolfram-Alpha.

Нерелевантные тексты: общие вопросы искусственного интеллекта, другие коммерческие решения на рынке бизнес-аналитики.

Тематика запросов разведочного поиска

Примеры заголовков разведочных запросов к Хабру
(объём каждого запроса — около одной страницы A4):

Алгоритмы раскраски графов	Система IBM Watson
Рекомендательная система Netflix	3D-принтеры
Методики быстрого набора текста	CERN-кластер
Космические проекты Илона Маска	АВ-тестирование
Технологии Hadoop MapReduce	Облачные сервисы
Беспилотный автомобиль Google car	Контекстная реклама
Криптосистемы с открытым ключом	Марсоход Curiosity
Обзор платформ онлайн-курсов	Видеокарты NVIDIA
Data Science Meetups в Москве	Распознавание образов
Образовательные проекты mail.ru	Сервисы Google scholar
Межпланетная станция New horizons	MIT MediaLab Research
Языковая модель word2vec	Платформа Microsoft Azure

Векторный поиск тематически близких документов

$\theta_{tq} = p(t|q)$ — тематический вектор запроса q

$\theta_{td} = p(t|d)$ — тематические векторы документов $d \in D$

Косинусная мера близости документа d и запроса q :

$$\text{sim}(q, d) = \frac{\sum_t \theta_{tq} \theta_{td}}{(\sum_t \theta_{tq}^2)^{1/2} (\sum_t \theta_{td}^2)^{1/2}}.$$

Ранжируем документы коллекции $d \in D$ по убыванию $\text{sim}(q, d)$

Выдача тематического поиска — k первых документов.

Реализация: *векторный индекс* для быстрого поиска документов d по каждой из тем t запроса

A.Ianina, L.Golitsyn, K.Vorontsov. Multi-objective topic modeling for exploratory search in tech news. AINL, 2017.

A.Ianina, K.Vorontsov. Regularized multimodal hierarchical topic model for document-by-document exploratory search. FRUCT-ISMW, 2019.

Оценивание качества поиска

Precision — доля релевантных среди найденных

Recall — доля найденных среди релевантных

$$P = \frac{TP}{TP + FP} \text{ — точность (precision)}$$

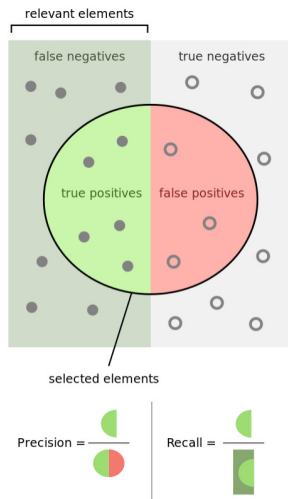
$$R = \frac{TP}{TP + FN} \text{ — полнота, (recall)}$$

$$F_1 = \frac{2PR}{P + R} \text{ — F1-мера}$$

TP (true positive) — найденные релевантные

FP (false positive) — найденные нерелевантные

FN (false negative) — не найденные релевантные



Какие модели поиска сравнивались

- **assessors**: результаты поиска, выполненного ассессорами
- **TF-IDF, BM25**: сравнение документов по частотам слов
- **word2vec**: нетематические векторные представления слов
- **PLSA**: Probabilistic Latent Semantic Analysis (1999)
- **LDA**: Latent Dirichlet Allocation (2001)
- **ARTM**: тематическая модель с тремя регуляризаторами
- **hARTM**: иерархические модели ARTM 2x и 3x уровней

Задачи регуляризаторов в ARTM и hARTM:

- сделать темы как можно более различными
- сделать векторы $p(t|d)$ как можно более разреженными
- не допустить вырожденности распределений $p(w|t)$

Стратегия регуляризации

Последовательное применение трёх регуляризаторов

- 1 декоррелирование тем:

$$R(\Phi) = -\tau \sum_{s,t \in T} \sum_{w \in W} \phi_{wt} \phi_{ws}$$

- 2 разреживание распределений $p(t|d)$:

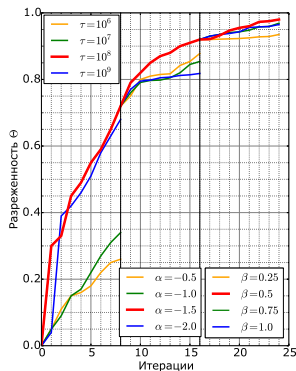
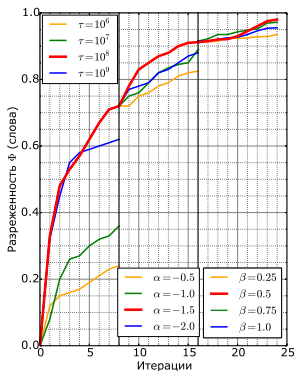
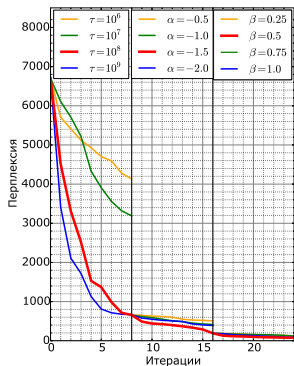
$$R(\Theta) = -\alpha \sum_{d,t} \ln \theta_{td}$$

- 3 сглаживание распределений $p(w|t)$:

$$R(\Phi) = \beta \sum_{t,w} \ln \phi_{wt}$$

Последовательный подбор коэффициентов регуляризации

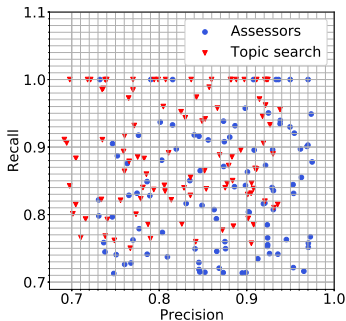
- декоррелирование распределений термов в темах (τ),
- разреживание распределений тем в документах (α),
- сглаживание распределений термов в темах (β).



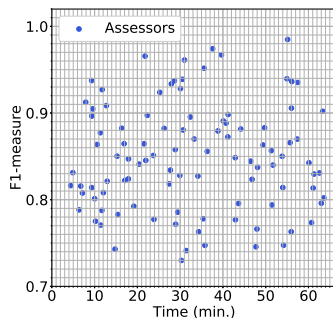
Результаты измерения точности и полноты по запросам

100 запросов, 3 ассессора на запрос

точность и полнота поиска



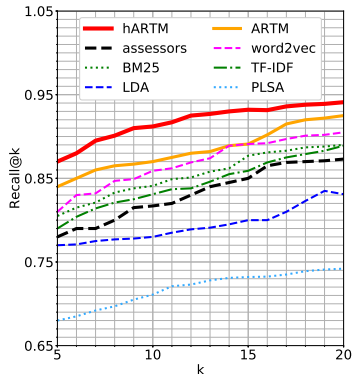
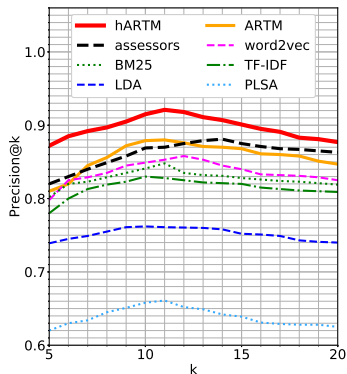
время и F_1 -мера (ассессоры)



- среднее время обработки запроса ассессором — 30 минут
- точность выше у ассессоров, полнота — у поисковика

Сравнение с ассессорами по качеству поиска

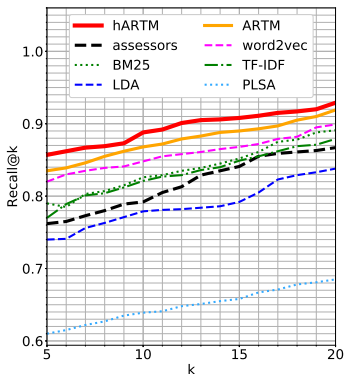
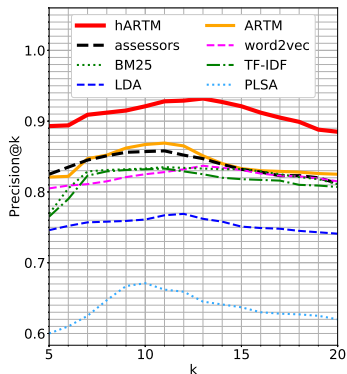
Точность и полнота по первым k позициям поисковой выдачи
(коллекция Habrahabr.ru)



A. Ianina, K. Vorontsov. Regularized multimodal hierarchical topic model for document-by-document exploratory search. 2019.

Сравнение с ассессорами по качеству поиска

Точность и полнота по первым k позициям поисковой выдачи
(коллекция TechCrunch.com)



A. Ianina, K. Vorontsov. Regularized multimodal hierarchical topic model for document-by-document exploratory search. 2019.

Влияние числа тем на качество поиска

Все регуляризаторы и модальности, **плоская модель**

	Habrahabr						TechCrunch					
	асесс	100	150	200	250	400	асесс	350	400	450	475	500
Pr@5	0.821	0.662	0.721	0.810	0.761	0.693	0.822	0.653	0.725	0.752	0.819	0.777
Pr@10	0.869	0.761	0.812	0.879	0.825	0.673	0.851	0.663	0.732	0.762	0.867	0.811
Pr@15	0.875	0.733	0.795	0.868	0.791	0.651	0.835	0.682	0.743	0.787	0.833	0.793
Pr@20	0.863	0.724	0.795	0.847	0.792	0.642	0.813	0.650	0.743	0.773	0.825	0.793
R@5	0.780	0.732	0.807	0.840	0.821	0.721	0.762	0.731	0.762	0.793	0.835	0.817
R@10	0.817	0.771	0.843	0.870	0.851	0.751	0.792	0.763	0.793	0.812	0.868	0.855
R@15	0.850	0.824	0.895	0.891	0.871	0.773	0.835	0.782	0.807	0.855	0.890	0.882
R@20	0.873	0.857	0.905	0.925	0.892	0.771	0.867	0.792	0.823	0.862	0.919	0.903

- существует оптимальное число тем
- чем больше коллекция, тем больше оптимум числа тем

Влияние числа тем на качество поиска

Nabrahabr. Все регуляризаторы и модальности, **два уровня**

$ T_1 $	20		25			30					
$ T_2 $	150	200	250	275	300	400	450				
Pr@5	0.621	0.742	0.839	0.850	0.865	0.869	0.869	0.803	0.769	0.701	0.670
Pr@10	0.645	0.749	0.850	0.861	0.879	0.911	0.895	0.809	0.796	0.719	0.689
Pr@15	0.635	0.751	0.848	0.869	0.873	0.893	0.887	0.807	0.781	0.721	0.701
Pr@20	0.630	0.745	0.841	0.855	0.864	0.874	0.875	0.800	0.775	0.709	0.675
R@5	0.628	0.773	0.843	0.865	0.881	0.881	0.868	0.849	0.839	0.715	0.691
R@10	0.652	0.782	0.855	0.871	0.902	0.918	0.877	0.871	0.845	0.745	0.699
R@15	0.671	0.801	0.870	0.889	0.929	0.939	0.901	0.883	0.861	0.781	0.722
R@20	0.680	0.819	0.886	0.892	0.955	0.955	0.907	0.901	0.872	0.801	0.729

- существует оптимальное число тем на каждом уровне
- два уровня лучше, чем один
- увеличивается оптимальное число тем на нижнем уровне

Влияние числа тем на качество поиска

Nabrahabr. Все регуляризаторы и модальности, **три уровня**

$ T_1 $	20		25					30			
$ T_2 $	150	200	250		275			300		400	450
$ T_3 $	750	800	1200	1300	1300	1400	1500	1500	1600	3000	3500
Pr@5	0.625	0.743	0.840	0.852	0.869	0.872	0.870	0.805	0.771	0.705	0.672
Pr@10	0.648	0.754	0.851	0.867	0.882	0.915	0.901	0.811	0.799	0.722	0.694
Pr@15	0.632	0.752	0.850	0.872	0.878	0.895	0.889	0.809	0.785	0.729	0.703
Pr@20	0.629	0.745	0.845	0.861	0.871	0.877	0.882	0.803	0.778	0.710	0.681
R@5	0.632	0.780	0.845	0.869	0.883	0.889	0.872	0.851	0.841	0.721	0.695
R@10	0.654	0.792	0.859	0.873	0.905	0.922	0.881	0.873	0.850	0.749	0.703
R@15	0.675	0.805	0.874	0.892	0.932	0.942	0.905	0.889	0.863	0.787	0.725
R@20	0.684	0.824	0.889	0.901	0.958	0.961	0.912	0.904	0.878	0.805	0.734

- существует оптимальное число тем на каждом уровне
- три уровня лучше, чем один или два
- увеличивается оптимальное число тем на нижнем уровне

Влияние числа тем на качество поиска

TechCrunch. Все регуляризаторы и модальности, **два уровня**

$ T_1 $	80		100			120					
$ T_2 $	300	350	500	550	600	700	750				
Pr@5	0.651	0.701	0.749	0.789	0.883	0.889	0.889	0.785	0.721	0.701	0.675
Pr@10	0.675	0.709	0.771	0.821	0.891	0.918	0.902	0.803	0.738	0.718	0.691
Pr@15	0.687	0.712	0.773	0.827	0.899	0.919	0.905	0.817	0.741	0.721	0.701
Pr@20	0.683	0.707	0.759	0.815	0.885	0.888	0.895	0.805	0.732	0.716	0.679
R@5	0.749	0.791	0.801	0.854	0.868	0.875	0.861	0.849	0.829	0.731	0.701
R@10	0.765	0.809	0.823	0.873	0.890	0.904	0.875	0.867	0.835	0.745	0.708
R@15	0.771	0.820	0.841	0.882	0.909	0.921	0.895	0.890	0.848	0.769	0.717
R@20	0.778	0.825	0.851	0.887	0.928	0.942	0.929	0.901	0.869	0.785	0.728

- существует оптимальное число тем на каждом уровне
- два уровня лучше, чем один
- увеличивается оптимальное число тем на нижнем уровне

Влияние числа тем на качество поиска

TechCrunch. Все регуляризаторы и модальности, **три уровня**

$ T_1 $	80		100				120				
$ T_2 $	300	350	500		550		600		700	750	
$ T_3 $	1500	1700	2500	2600	2600	2800	3000	3000	3200	4500	4700
Pr@5	0.655	0.707	0.751	0.792	0.887	0.893	0.890	0.789	0.722	0.703	0.678
Pr@10	0.678	0.712	0.773	0.823	0.895	0.922	0.905	0.805	0.741	0.722	0.692
Pr@15	0.692	0.715	0.775	0.831	0.902	0.921	0.907	0.821	0.743	0.725	0.703
Pr@20	0.687	0.709	0.761	0.819	0.889	0.885	0.898	0.809	0.736	0.719	0.683
R@5	0.751	0.795	0.802	0.856	0.871	0.877	0.863	0.852	0.831	0.738	0.705
R@10	0.767	0.812	0.825	0.875	0.892	0.908	0.879	0.871	0.842	0.751	0.711
R@15	0.772	0.824	0.841	0.887	0.912	0.927	0.901	0.893	0.854	0.772	0.721
R@20	0.783	0.830	0.854	0.892	0.931	0.949	0.935	0.905	0.871	0.790	0.732

- существует оптимальное число тем на каждом уровне
- три уровня лучше, чем один или два
- увеличивается оптимальное число тем на нижнем уровне

Влияние модальностей на качество поиска

Все регуляризаторы и модальности, 3 уровня, оптимальное $|T|$

Модальности: Words, Bigrams, Authors, Comments, Tags, Hubs, Categories

	Habrahabr						TechCrunch					
	асесс	W	Com	WB	WBTH	All	асесс	W	C	WB	WBC	All
Pr@5	0.821	0.621	0.558	0.673	0.871	0.872	0.822	0.718	0.569	0.795	0.891	0.893
Pr@10	0.869	0.645	0.567	0.712	0.911	0.915	0.851	0.729	0.592	0.807	0.919	0.922
Pr@15	0.875	0.631	0.532	0.693	0.894	0.895	0.835	0.737	0.603	0.803	0.920	0.921
Pr@20	0.863	0.628	0.531	0.688	0.877	0.877	0.813	0.729	0.594	0.792	0.883	0.885
R@5	0.780	0.725	0.645	0.797	0.888	0.889	0.762	0.754	0.659	0.775	0.874	0.877
R@10	0.817	0.748	0.652	0.812	0.921	0.922	0.792	0.778	0.671	0.808	0.908	0.908
R@15	0.850	0.782	0.679	0.842	0.941	0.942	0.835	0.783	0.679	0.825	0.927	0.927
R@20	0.873	0.789	0.672	0.852	0.960	0.961	0.867	0.785	0.711	0.837	0.949	0.949

- лучше использовать все модальности
- биграммы и категории выигрывают у ассессоров
- авторы и комментаторы наименее важны

Влияние регуляризаторов на качество поиска

Все регуляризаторы и модальности, 3 уровня, оптимальное |T|

Регуляризаторы: Decorrelation, Θ-sparsing, Φ-smoothing, Hierarchy

	Habrahabr					TechCrunch				
	нет	D	DΘ	DΦ	DΘΦ	нет	D	DΘ	DΦ	DΘΦ
Pr@5	0.628	0.772	0.771	0.865	0.872	0.652	0.777	0.779	0.879	0.893
Pr@10	0.653	0.781	0.812	0.883	0.915	0.679	0.788	0.819	0.895	0.922
Pr@15	0.642	0.785	0.792	0.891	0.895	0.669	0.791	0.798	0.901	0.921
Pr@20	0.643	0.771	0.783	0.875	0.877	0.673	0.775	0.792	0.892	0.885
R@5	0.692	0.820	0.805	0.875	0.889	0.673	0.825	0.812	0.869	0.877
R@10	0.714	0.831	0.834	0.905	0.922	0.685	0.856	0.845	0.881	0.908
R@15	0.725	0.847	0.867	0.921	0.942	0.712	0.877	0.869	0.912	0.927
R@20	0.735	0.873	0.891	0.943	0.961	0.723	0.892	0.895	0.934	0.949

- Лучше использовать все регуляризаторы
- Модели со слабой регуляризацией (PLSA, LDA) слабы

Влияние функции близости на качество поиска

Все регуляризаторы и модальности, 3 уровня, оптимальное $|T|$
Функции близости: Euclidean, Cosine, Manhattan, Hellinger, KL-div

	Habrahabr					TechCrunch				
	Eu	cos	Ma	He	KL	Eu	cos	Ma	He	KL
Pr@5	0.652	0.872	0.772	0.725	0.741	0.647	0.893	0.752	0.742	0.735
Pr@10	0.693	0.915	0.798	0.749	0.772	0.658	0.922	0.794	0.758	0.751
Pr@15	0.695	0.895	0.803	0.737	0.751	0.672	0.921	0.801	0.745	0.742
Pr@20	0.671	0.877	0.789	0.731	0.738	0.652	0.885	0.793	0.739	0.738
R@5	0.693	0.889	0.721	0.742	0.833	0.688	0.877	0.708	0.733	0.858
R@10	0.715	0.922	0.732	0.775	0.868	0.692	0.908	0.715	0.753	0.872
R@15	0.732	0.942	0.739	0.791	0.892	0.724	0.927	0.719	0.785	0.895
R@20	0.741	0.961	0.721	0.812	0.902	0.732	0.949	0.711	0.808	0.901

- косинусная функция близости уверенно лидирует

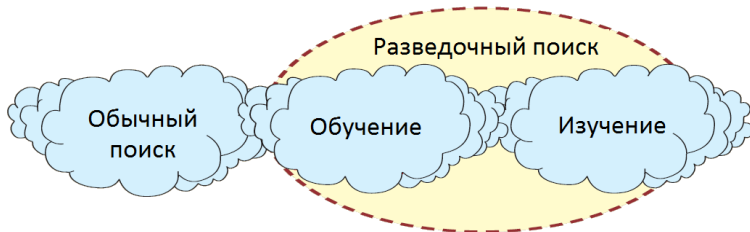
Выводы по результатам экспериментов

- Ассессорские данные относятся не к темам, а к коллекции; поэтому с их помощью можно оценивать новые модели
- Небольших ассессорских данных хватает для оценивания тематических моделей, т.к. они обучаются *без учителя*
- Регуляризаторы, улучшающие интерпретируемость модели, повышают также и качество поиска
- Иерархия улучшает качество поиска (в основном точность) благодаря постепенному сужению области поиска
- Подбор траектории регуляризации и оптимизация коэффициентов регуляризации влияет на качество поиска
- При тщательной оптимизации тематический поиск превосходит как ассессоров, так и конкурирующие модели

A.Ianina, K.Vorontsov. Regularized multimodal hierarchical topic model for document-by-document exploratory search. 2019.

Концепция разведочного поиска (exploratory search)

- пользователь может не знать ключевых терминов
- запросом может быть текст произвольной длины
- информационная потребность — систематизация знаний



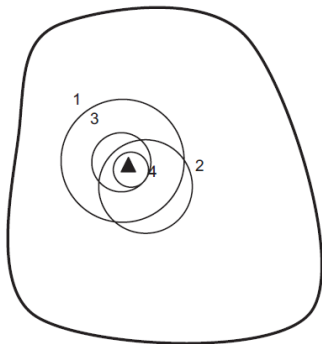
навигация в сети,
поиск фактов,
упоминаний,
конкретных ответов

самообразование,
тематический поиск
систематизация
знаний

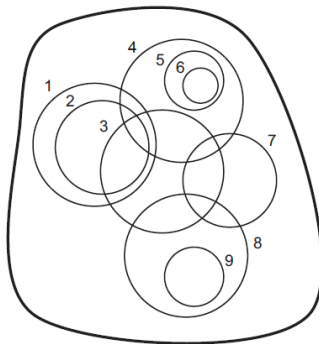
исследование,
экспертиза,
реферирование,
мониторинг тем

От итераций «query-browse-refine» к разведочному поиску

Iterative Search



Exploratory Search



- ▲ Search target ◻ Information space
○ # Result sets (larger = more results, intersection = overlap, # = iteration)

Определения и модели разведочного поиска

Определение *разведочного поиска* через 11 его свойств:

- 1 **An evolving search process**
разведочный поиск – это многошаговый процесс
каждый шаг – переформулировка или дополнение запроса
- 2 **An anomalous state of knowledge**
в начале поиска у пользователя есть лишь мотивации,
но нет знаний и нет определённого плана, как их получить
- 3 **Multiple targets / goals of search**
нет конкретной, точно определённой цели поиска
есть лишь общий интерес и эволюционирующие подцели

Определения и модели разведочного поиска

Свойства *неопределённости* процесса разведочного поиска

- 4 **Multiple possible answers**
возможных правильных ответов может быть много
- 5 **Not an expected exact answer**
не существует единственного правильного ответа
- 6 **A serendipitous attitude**
любой шаг может давать неожиданные новые знания
- 7 **An evolving information need**
на любом шаге цели и стратегии поиска могут измениться
- 8 **Uncertainty is fluctuating**
в процессе поиска неопределённость уменьшается,
но изменение цели может снова её увеличить

Определения и модели разведочного поиска

Свойства *разветвлённости* процесса разведочного поиска

9 **Multifaceted search**

при поиске используются различные фильтры (фасеты), например, по авторам, тематике, свежести, сложности

10 **Several one-off pinpoint searches**

многократные точечные одноразовые ответвления поиска, например, чтобы уточнить понятие, первоисточник, и т.п.

11 **An open-ended search activity which can occur over time**

процесс поиска никогда не заканчивается
пользователь может вернуться после долгого перерыва

Концепция «мастерской знаний»

«Огромное и все возрастающее богатство знаний разбросано сегодня по всему миру. Этих знаний, вероятно, было бы достаточно для решения всего громадного количества трудностей наших дней, но они рассеяны и неорганизованы. Нам необходима очистка мышления в *своеобразной мастерской*, где можно **получать, сортировать, суммировать, усваивать, разъяснять и сравнивать** знания и идеи»
— Герберт Уэллс, 1940

“An immense and ever-increasing wealth of knowledge is scattered about the world today; knowledge that would probably suffice to solve all the mighty difficulties of our age, but it is dispersed and unorganized. We need a sort of mental clearing house for the mind: a depot where knowledge and ideas are **received, sorted, summarized, digested, clarified and compared**”
— *Herbert Wells, 1940*



От поиска информации к «Мастерской знаний»

Недостатки обычного поиска:

- как искать новые знания?
- что делать с найденным?



Мастерская знаний — инструментарий для автоматизации **последующих этапов** работы с профессиональными знаниями:

- ищу – чтобы накапливать
- накапливаю – чтобы анализировать
- анализирую – чтобы понимать
- понимаю – чтобы применять и передавать

Эти задачи связаны с *автоматической обработкой текстов* (только применение знаний остаётся за пределами системы)

Концепция сервисов «Мастерской знаний»

Подборка — долгосрочный поисковый интерес пользователя

Поисково-рекомендательные функции:

- поиск тематически близких документов по *подборке*
- мониторинг новых документов для *подборки*
- контекстные рекомендации по документу из *подборки*

Аналитические функции:

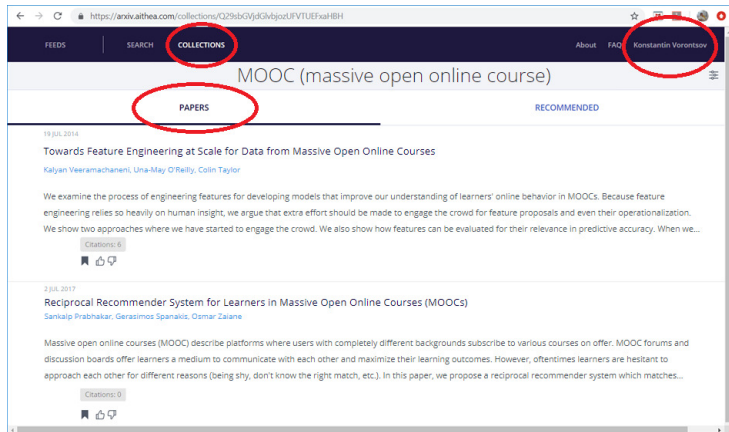
- автоматизация реферирования *подборки*
- кластеризация трендов, аспектов, отношений в *подборке*
- рекомендация порядка чтения внутри *подборки*
- выделение «важных мест» в документе из *подборки*

Коммуникативные функции:

- совместное составление и использование *подборок*
- интерактивная визуализация и инфографика по *подборке*

Поисково-рекомендательная система SciSearch.ai

Тематическая подборка пользователя:



Разработка: <http://aithea.com>, <http://ddecisions.ai>, <http://machine-intelligence.ru>

Поисково-рекомендательная система SciSearch.ai

Список статей, рекомендуемых для добавления в подборку:

The screenshot shows the SciSearch.ai interface. At the top, there are navigation tabs: FEEDS, SEARCH, and COLLECTIONS. Below these, the main heading is 'MOOC (massive open online course)'. Underneath, there are two tabs: 'PAPERS' and 'RECOMMENDED'. A red arrow points from 'PAPERS' to 'RECOMMENDED', which is circled in red. The 'RECOMMENDED' tab is active, displaying a list of articles. The first article is titled 'A Survey of Natural Language Generation Techniques with a Focus on Dialogue Systems - Past, Present and Future Directions' by Sashank Santhanam and Samira Shalikh, dated 2 JUN 2019. The second article is 'Capturing "attrition intensifying" structural traits from didactic interaction sequences of MOOC learners' by Tanmay Sinha, Nan Li, Patrick Jermann, and Pierre Dillenbourg, dated 20 SEP 2014. Each article entry includes a brief abstract and a 'Citations' count.

Разработка: <http://aithea.com>, <http://ddecisions.ai>, <http://machine-intelligence.ru>

Поисково-рекомендательная система SciSearch.ai

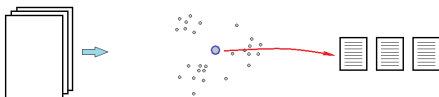
Добавление статьи из списка рекомендаций в подборку:

The screenshot shows a web browser window displaying the SciSearch.ai interface. The main content area is titled "MOOC (massive open online course)" and lists several papers. The first paper, "A Survey of Natural Language Generation Tasks, Past, Present and Future Directions" by Sashank Santhanam and Samira Shaikh, is highlighted. A red circle is drawn around the bookmark icon for this paper. A modal dialog box titled "Add to collections" is open over the paper, showing a list of collection options: "Exploratory Search", "MOOC (massive open online course)", "Opinion Mining and Sentiment Analysis with Topic Modeling", "Textual Complexity and Readability", and "Topic modeling of genomic data". The "MOOC (massive open online course)" option is selected, and a red circle is drawn around it. A red arrow points from the bookmark icon to this option. Below the list, a blue "SAVE CHANGES" button is also circled in red. A red arrow points from the "SAVE CHANGES" button to the "MOOC (massive open online course)" option. In the background, the word "RECOMMENDED" is circled in red in the top right corner of the page.

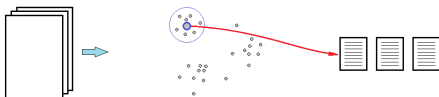
Разработка: <http://aithea.com>, <http://ddecisions.ai>, <http://machine-intelligence.ru>

Стратегии поиска документов по тематическим векторам

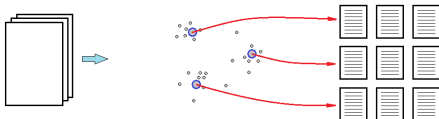
Поиск по среднему вектору **подборки** (неудачная стратегия):



Поиск по части **подборки**, близкой к выбранному документу:

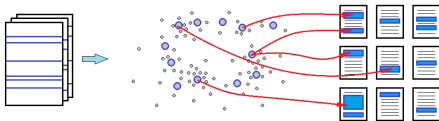


Поиск по тематике кластеров, на которые делится **подборка**:

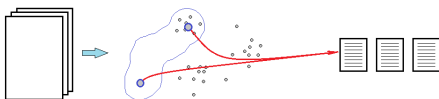


Стратегии поиска документов по тематическим векторам

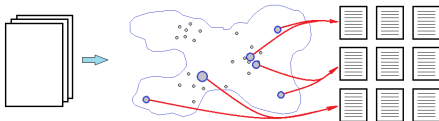
Поиск по тематике сегментов документов подборки:



Поиск по тематике, смежной для части подборки:



Поиск по тематике, смежной для всей подборки:



Тематическая модель для разведочного поиска должна быть...

- 1 **Интерпретируемая**: объяснение смысла каждой темы
- 2 **Иерархическая**: разделение тем на подтемы
- 3 **Динамическая**: развитие каждой темы во времени
- 4 **Мультимодальная**: слова + авторы, категории, связи, теги, ...
- 5 **Мультиграммная**: слова + термины-словосочетания
- 6 **Мультиязычная**: для кросс- и много-языкового поиска
- 7 **Сегментирующая** документ на тематические блоки
- 8 **Обучаемая** по оценкам ассессоров и логам пользователей
- 9 **Определяющая число тем** автоматически
- 10 **Создающая и именующая новые темы** автоматически
- 11 **Онлайновая**: обработка коллекции за один проход
- 12 **Параллельная, распределённая** для больших коллекций

Теоретическое задание №4

1. Для иерархической тематической модели с рег. $R(\Phi, \Psi)$ предложите способ разреживания матрицы связей $\Psi = (p(s|t))$, гарантирующий, что

- 1) у каждой родительской темы будет хотя бы одна дочерняя;
- 2) у каждой дочерней темы будет хотя бы одна родительская.

Подсказка: можно придумывать критерий регуляризации, а можно — формулу М-шага для матрицы Ψ .

2*. Предложите способ гарантировать, что если родительская тема t получает только одну дочернюю s , то она переходит в неё целиком и как распределение: $p(w|s) = p(w|t)$.

3**. Предложите способ согласования вероятностных смесей $p(w|t) \approx \sum_{s \in S} p(w|s)p(s|t)$ и $p(t|d) \approx \sum_{s \in S} p(t|s)p(s|d)$ с учётом тождества $p(s|t)p(t) = p(t|s)p(s)$

Резюме

Разведочный информационный поиск (exploratory search):

- это поиск по смыслу, а не по ключевым словам
- может быть построен на тематическом моделировании
- требует многофункциональности от тематических моделей
- является одной из главных мотиваций для ARTM
- и, в частности, для иерархических моделей

Открытые проблемы:

- измерение качества и оптимизация поиска по логированным данным о пользовательских подборках
- полуавтоматическое реферирование подборки
- автоматическое построение «карты предметной области» по пользовательской подборке