



Министерство науки и высшего образования  
Российской Федерации Федеральное государственное  
бюджетное образовательное учреждение высшего  
образования «Московский государственный  
технический университет имени Н.Э. Баумана  
(национальный исследовательский университет)»  
(МГТУ им. Н.Э. Баумана)

## НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ РАБОТА НА ТЕМУ: «Применение машинного обучения в поисковых системах»

Студент: Волков Г.В.  
Руководитель: Шаповалова М.С.

# Цель и задачи работы

Цель работы - изучить алгоритмы машинного обучения, применяемые в поисковых системах

Для достижения поставленной цели следует решить следующие задачи:

- изучить основные понятия алгоритмов обучения ранжированию
- описать и классифицировать существующие алгоритмы
- произвести сравнительный анализ рассмотренных алгоритмов

# Машинное обучение

Машинное обучение — раздел информатики, посвященный созданию алгоритмов, опирающихся на набор данных о каком-либо явлении.

Алгоритмы формируют статистическую модель на основе специально подобранных обучающих данных, которую потом используют для решения практических задач.

Выделяется три основных способа обучения: с учителем, без учителя и с подкреплением.

# Обучение ранжированию

Существует множество методов подбора формулы для ранжирования, но один из самых популярных – на основе машинного обучения, а именно обучение ранжированию с учителем. Целью этих методов является подбор ранжирующей модели, которая способна наилучшим образом приблизить и обобщить способ ранжирования на новые данные.

Для получения набора примеров используют ассессоров, которые оценивают степень релевантности документа запросу.

# Классификация алгоритмов

Существующие алгоритмы обучения ранжированию делятся на три группы по подходу к обучению :

- поточечный
- попарный
- списочный

# Алгоритмы обучения ранжированию

В данной работе рассмотрено несколько популярных алгоритмов:

- Linear Regression (поточечный)
- Ranking SVM (попарный)
- LambdaRank (попарный)
- ListNet (списочный)

На этапе ранжирования методы имеют схожий алгоритм. Для каждого документа вычисляется рейтинг релевантности, который зависит от вектора признаков документа и параметров метода ранжирования. Затем рейтинги сортируются по убыванию и получается ранжированный список документов.

# Linear Regression

Метод обучения на основе регрессии для решения задачи оптимизации метрик DCG.

Для решения проблемы ранжирования можно использовать простой подход, основанный на регрессии.

$$\hat{f} = \arg \min_{f \in \mathcal{F}} \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n L(f, S_i, \{y_{i,j}\}_j)$$

$$\begin{aligned} & L(f, S, \{y_j\}_j) \\ &= \sum_{j=1}^m w(x_j, S) (f(x_j, S) - y_j)^2 + u \sup_j w'(x_j, S) (f(x_j, S) - \delta(x_j, S))_+^2 \end{aligned}$$

# Ranking SVM

Ключевая идея алгоритма заключается в использовании метода SVM для попарного сравнения документов на то, какой из них более релевантный.

Теперь рассматривая разность векторов как новые объекты, получаем стандартную постановку SVM алгоритма.

$$\begin{cases} \frac{1}{2}\|\omega\|^2 + C \sum_{i=1}^N \xi_i \rightarrow \min_{\omega, \xi} \\ y_i(\omega, x_i^1 - x_i^2) \leq 1 - \xi_i \\ \xi_i \geq 0 \end{cases}$$



# LambdaRank

В поточечных и попарных методах ранжирования итоговый функционал при обучении обычно не дифференцируемый. Алгоритм LambdaRank не определяет непрерывный приближенный функционал, вместо этого он определяет градиент функционала на всем списке документов:

$$\frac{\partial L}{\partial s_i} = -\lambda(s_1, y_1, \dots, s_n, y_n)$$

$$\lambda_i = \frac{\partial L}{\partial s_i} = \frac{1}{G_{max}} \sum_j \left( \frac{1}{1 + \exp(s_j - s_i)} \right) (G(y_j) - G(y_i)) (D(\pi_j) - D(\pi_i))$$

# LambdaRank

$\lambda$  — показывает насколько надо увеличить рейтинг  $i$ -го документа. Для этого надо изменить веса  $\omega$ :

$$\frac{\partial L}{\partial \omega} = \sum_{i=1}^n \frac{\partial s_i}{\partial \omega} \sum_{j \in P_i} \frac{\partial L(s_i, s_j)}{\partial s_i} + \sum_{j=1}^n \frac{\partial s_j}{\partial \omega} \sum_{i \in P_j} \frac{\partial L(s_i, s_j)}{\partial s_j}$$

Таким образом, алгоритм LambdaRank заключается в итерационном пересчете весов:

$$\omega = \omega - \eta \frac{\partial L}{\partial \omega}$$

# ListNet

Цель обучения формализована как минимизация общих потерь в отношении обучающих данных. В данном алгоритме используется вероятностные модели для вычисления функции потерь по списку.

$$P_{z^{(i)}(f_\omega)}(x_j^{(i)}) = \frac{\exp(f_\omega(x_j^{(i)}))}{\sum_{k=1}^{n^{(i)}} \exp(f_\omega(x_k^{(i)}))}$$

$$L(y^{(i)}, z^{(i)}(f_\omega)) = - \sum_{j=1}^{n^{(i)}} P_{y^{(i)}}(x_j^{(i)}) \log(P_{z^{(i)}(f_\omega)}(x_j^{(i)}))$$

# ListNet

Градиент функции потери можно найти по следующей формуле:

$$\Delta\omega = \frac{\partial L(y^{(i)}, z^{(i)}(f_\omega))}{\partial \omega} = - \sum_{j=1}^{n^{(i)}} P_{y^{(i)}}(x_j^{(i)}) \frac{\partial f_\omega(x_j^{(i)})}{\partial \omega} + \frac{1}{\sum_{j=1}^{n^{(i)}} \exp(f_\omega(x_j^{(i)}))} \sum_{j=1}^{n^{(i)}} \exp(f_\omega(x_j^{(i)})) \frac{\partial f_\omega(x_j^{(i)})}{\partial \omega}$$

Для минимизации целевой функции используется градиентный спуск

# Критерии сравнения

В качестве критериев сравнения используются основные метрики оценки качества ранжирования: MAP, NDCG

MAP — метрика средней точности нахождения релевантных документов.

NDCG — мера качества

$$map@N = \frac{1}{K} \sum_{j=1}^K ap@N_j$$

$$DCG@N = \frac{DCG@N}{maxDCG@N}$$

# Сравнение

Для оценки общей эффективности обучения методам ранжирования используется показатель «выигрышное число». Оно определяется как количество алгоритмов, которое алгоритм может превзойти на наборе датасетов

Метод	NDCG@3		NDCG@5		NDCG@10		MAP	
	NWN	к.д.	NWN	к.д.	NWN	к.д.	NWN	к.д.
Linear Regression	0.0754	9	0.1099	9	0.0829	8	0.0650	8
Ranking SVM	0.3014	12	0.3613	11	0.4496	17	0.3400	13
LambdaRank	0.2000	1	0.2000	1	0.5714	2	-	-
ListNet	0.4480	12	0.4911	12	0.5982	12	0.4504	12

# Заключение

Цель, которая была поставлена в начале научно-исследовательской работы, была достигнута: рассмотрены алгоритмы машинного обучения, применяемые в поисковых системах.

Решены все поставленные задачи:

- изучены основные понятия алгоритмов обучения ранжированию
- описаны и классифицированы существующие алгоритмы
- произведён сравнительный анализ рассмотренных алгоритмов