

Введение в обработку ТЕКСТОВ

Лекция 6

Лексическая семантика

Возможные взгляды на семантику

- **Лексическая семантика**
 - значение индивидуальных слов
- **Композиционная семантика**
 - как значения комбинируются и определяют новые значения для словосочетаний
- **Дискурс или прагматика**
 - как значения комбинируются между собой и другими знаниями, чтобы задать значение текста или дискурс

План

- Основные понятия
 - слова и отношения между ними
 - словари и тезаурусы
- Вычислительная семантика
 - Разрешение лексической многозначности
 - Семантическая близость слов
 - Некоторые современные направления

ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ

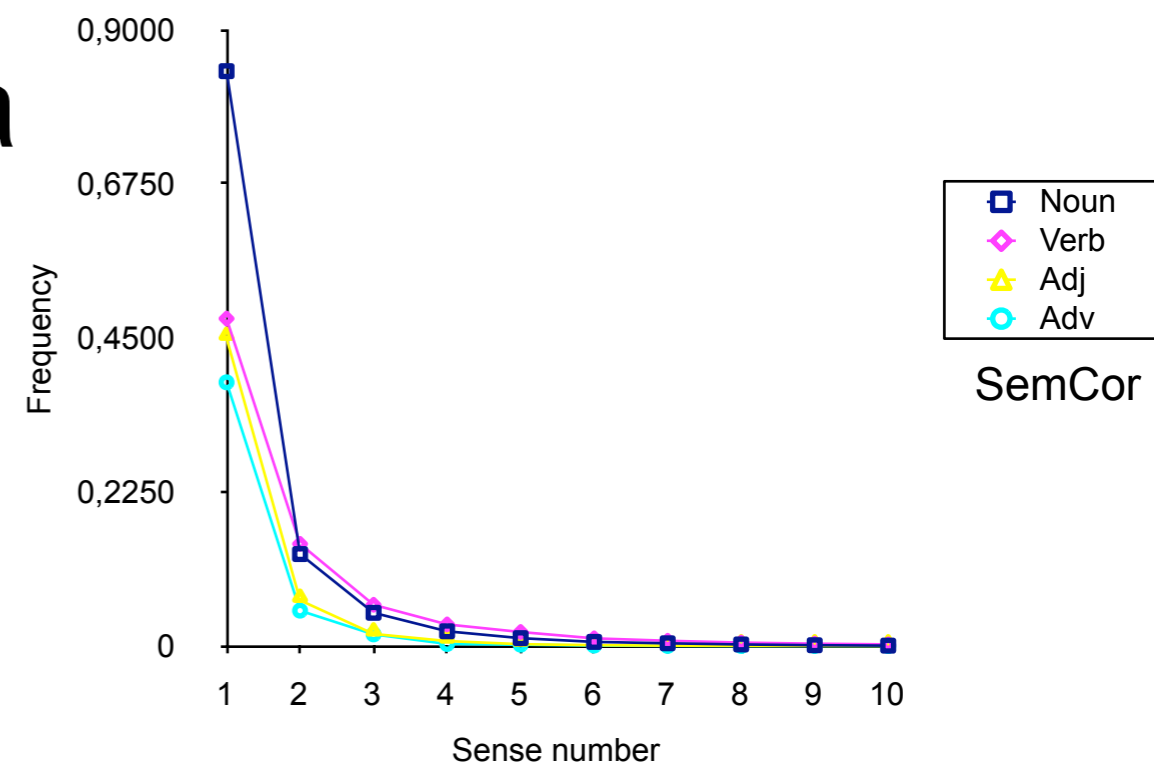
- Значение слова и многозначность
- Омонимия VS многозначность
 - ключ
 - платформа
- Метонимия
 - Я три *тарелки* съел
- Зевгма
 - За окном шел снег и рота красноармейцев
- Типы омонимов
 - омофоны (луг-лук, плод-плот)
 - омографы (м'ука - мук'а, гв'оздик-гвозд'ик)

Отношения между словами

- **Синонимия**
 - Машина / автомобиль
- **Антонимия**
 - большой / маленький, вверх / вниз, ложь / истина
- **Обобщение и детализация (hyponym and hypernym/superordinate)**
 - машина - транспортное средство
 - яблоко - фрукт
- **Меронимы (партонимы) и холонимы**
 - колесо - машина

Многозначность на практике

- Text-to-Speech
 - омографы
- Информационный поиск
- Извлечение информации
- Машинный перевод
- Эмоциональная окраска
- Закон Ципфа (Zipf law)



WordNet

- База лексических отношений
 - содержит иерархии
 - сочетает в себе тезаурус и словарь
 - доступен on-line
 - разрабатываются версии для языков кроме английского (в т.ч. для русского)

Категория	Уникальных форм
Существительные	117,097
Глаголы	11,488
Прилагательные	22,141
Наречия	4,601

- <http://http://wordnet.princeton.edu/>
- <http://wordnet.ru/>

Формат WordNet

The noun “bass” has 8 senses in WordNet.

1. bass¹ - (the lowest part of the musical range)
2. bass², bass part¹ - (the lowest part in polyphonic music)
3. bass³, basso¹ - (an adult male singer with the lowest voice)
4. sea bass¹, bass⁴ - (the lean flesh of a saltwater fish of the family Serranidae)
5. freshwater bass¹, bass⁵ - (any of various North American freshwater fish with lean flesh (especially of the genus *Micropterus*))
6. bass⁶, bass voice¹, basso² - (the lowest adult male singing voice)
7. bass⁷ - (the member with the lowest range of a family of musical instruments)
8. bass⁸ - (nontechnical name for any of numerous edible marine and freshwater spiny-finned fishes)

The adjective “bass” has 1 sense in WordNet.

1. bass¹, deep⁶ - (having or denoting a low vocal or instrumental range)
”a deep voice”; ”a bass voice is lower than a baritone voice”;
”a bass clarinet”

WordNet: отношения между словами

Relation	Also called	Definition	Example
Hypernym	Superordinate	From concepts to superordinates	<i>breakfast</i> ¹ → <i>meal</i> ¹
Hyponym	Subordinate	From concepts to subtypes	<i>meal</i> ¹ → <i>lunch</i> ¹
Member Meronym	Has-Member	From groups to their members	<i>faculty</i> ² → <i>professor</i> ¹
Has-Instance		From concepts to instances of the concept	<i>composer</i> ¹ → <i>Bach</i> ¹
Instance		From instances to their concepts	<i>Austen</i> ¹ → <i>author</i> ¹
Member Holonym	Member-Of	From members to their groups	<i>copilot</i> ¹ → <i>crew</i> ¹
Part Meronym	Has-Part	From wholes to parts	<i>table</i> ² → <i>leg</i> ³
Part Holonym	Part-Of	From parts to wholes	<i>course</i> ⁷ → <i>meal</i> ¹
Antonym		Opposites	<i>leader</i> ¹ → <i>follower</i> ¹

Relation	Definition	Example
Hypernym	From events to superordinate events	<i>fly</i> ⁹ → <i>travel</i> ⁹
Troponym	From a verb (event) to a specific manner elaboration of that verb	<i>walk</i> ¹ → <i>stroll</i> ¹
Entails	From verbs (events) to the verbs (events) they entail	<i>snore</i> ¹ → <i>sleep</i> ¹
Antonym	Opposites	<i>increase</i> ¹ ↔ <i>decrease</i> ¹

Иерархии WordNet

Sense 3

bass, basso --

(an adult male singer with the lowest voice)

=> singer, vocalist, vocalizer, vocaliser

=> musician, instrumentalist, player

=> performer, performing artist

=> entertainer

=> person, individual, someone...

=> organism, being

=> living thing, animate thing,

=> whole, unit

=> object, physical object

=> physical entity

=> entity

=> causal agent, cause, causal agency

=> physical entity

=> entity

Sense 7

bass --

(the member with the lowest range of a family of musical instruments)

=> musical instrument, instrument

=> device

=> instrumentality, instrumentation

=> artifact, artefact

=> whole, unit

=> object, physical object

=> physical entity

=> entity

Как “значение” определяется в WordNet

- Множество синонимов называется **синсет**
- Пример

```
from nltk.corpus import wordnet
for synset in wordnet.synsets('chick'):
    print synset.definition
    print [lemma.name for lemma in synset.lemmas]
```

```
young bird especially of domestic fowl
['chick', 'biddy']
informal terms for a (young) woman
['dame', 'doll', 'wench', 'skirt', 'chick', 'bird']
```

Вычислительная лексическая семантика

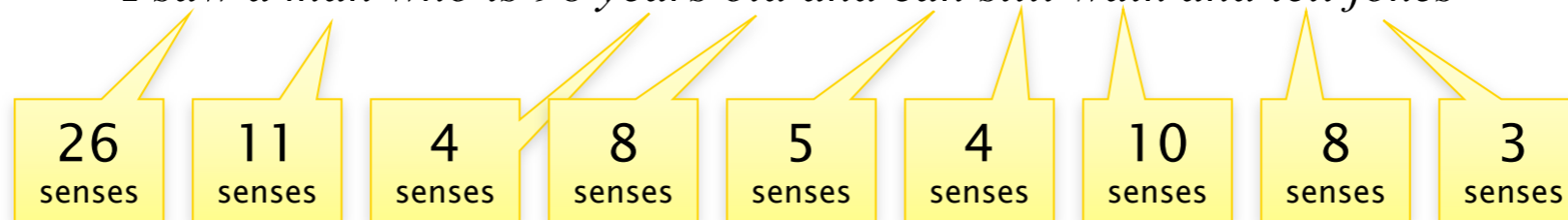
- Разрешение лексической многозначности
- Семантическая близость слов

Трудность разрешения лексической многозначности

I saw a man who is 98 years old and can still walk and tell jokes

Трудность разрешения лексической многозначности

I saw a man who is 98 years old and can still walk and tell jokes



Трудность разрешения лексической многозначности

I saw a man who is 98 years old and can still walk and tell jokes



43,929,600
senses

Разрешение лексической многозначности (РЛМ)

- Word Sense Disambiguation (WSD)
 - определение значения слова в контексте
 - обычно предполагается фиксированный список значений (например WordNet)
- Сводится к задаче классификации
- Отличается от задачи разграничения значений (word sense discrimination)

РЛМ: варианты

- Определение значений только заранее выбранных слов (lexical sample task)
 - line - hard - serve; interest
 - Ранние работы
 - Обучение с учителем
- Определение значений всех слов (all-word task)
 - Проблема разреженности данных
 - Невозможно натренировать отдельный классификатор для каждого слова

Признаки

- Должны описывать **контекст**
- Предварительная обработка текста
 - параграфы, предложения, части речи, леммы, синтаксический разбор?
- Признаки в словосочетаниях с позициями
- Множества соседей

- Проблема разреженности языка
 - Использовать семантическую близость (далее)

Пример

*An electric guitar and **bass** player stand off to one side, not really part of the scene, just as a sort of nod to gringo expectations perhaps.*

Collocational features	
word_L3	electric
POS_L3	JJ
word_L2	guitar
POS_L2	NN
word_L1	and
POS_L1	CC
word_R1	player
POS_R1	NN
word_R2	stand
POS_R2	VB
word_R3	off
POS_R3	RB

Bag-of-words features	
fishing	0
big	0
sound	0
player	1
fly	0
rod	0
pound	0
double	0
runs	0
playing	0
guitar	1
band	0

Алгоритмы

- Наивный байесовский классификатор
- Классификатор на основе списков принятых решений

Наивный байесовский классификатор

- Выбор наиболее вероятного значения

$$\hat{s} = \arg \max_{s \in S} P(s|f)$$

- По правилу Байеса

$$\hat{s} = \arg \max_{s \in S} \frac{P(s)P(f|s)}{P(f)} = \arg \max_{s \in S} P(s)P(f|s)$$

- Наивное предположение об условной независимости признаков

$$\hat{s} = \arg \max_{s \in S} P(s) \prod_{j=1}^n P(f_j|s)$$

Обучение наивного байесовского классификатора

- Метод максимального правдоподобия
- Другими словами, просто считаем

$$P(s_i) = \frac{\text{count}(s_i, w_j)}{\text{count}(w_j)} \quad P(f_j | s) = \frac{\text{count}(f_j, s)}{\text{count}(s)}$$

- Алгоритм прост в реализации, но
 - Исчезновение значащих цифр → использовать сумму логарифмов вместо произведения
 - Нулевые вероятности → сглаживание

Вопрос на засыпку

- Как сделать классификатор для задачи определения значений всех слов (all-word task)?

Списки принятых решений

- Последовательность тестов над признаками
 - аналогично условным выражениям в программировании
 - каждое условие определяет конкретное значение
 - по умолчанию: наиболее частое значение

Rule		Sense
<i>fish</i> within window	⇒	bass¹
<i>striped bass</i>	⇒	bass¹
<i>guitar</i> within window	⇒	bass²
<i>bass player</i>	⇒	bass²
<i>piano</i> within window	⇒	bass²
<i>tenor</i> within window	⇒	bass²
<i>sea bass</i>	⇒	bass¹
<i>play/V bass</i>	⇒	bass²
<i>river</i> within window	⇒	bass¹
<i>violin</i> within window	⇒	bass²
<i>salmon</i> within window	⇒	bass¹
<i>on bass</i>	⇒	bass²
<i>bass are</i>	⇒	bass¹

Обучение списка принятия решений

- Yarowsky (1994) предложил метод:
 - считаем все пары признак-значение
 - сортируем в порядке убывания логарифмического отношения правдоподобия

$$\left| \log \left(\frac{P(\textit{Sense}_1 | f_i)}{P(\textit{Sense}_2 | f_i)} \right) \right|$$

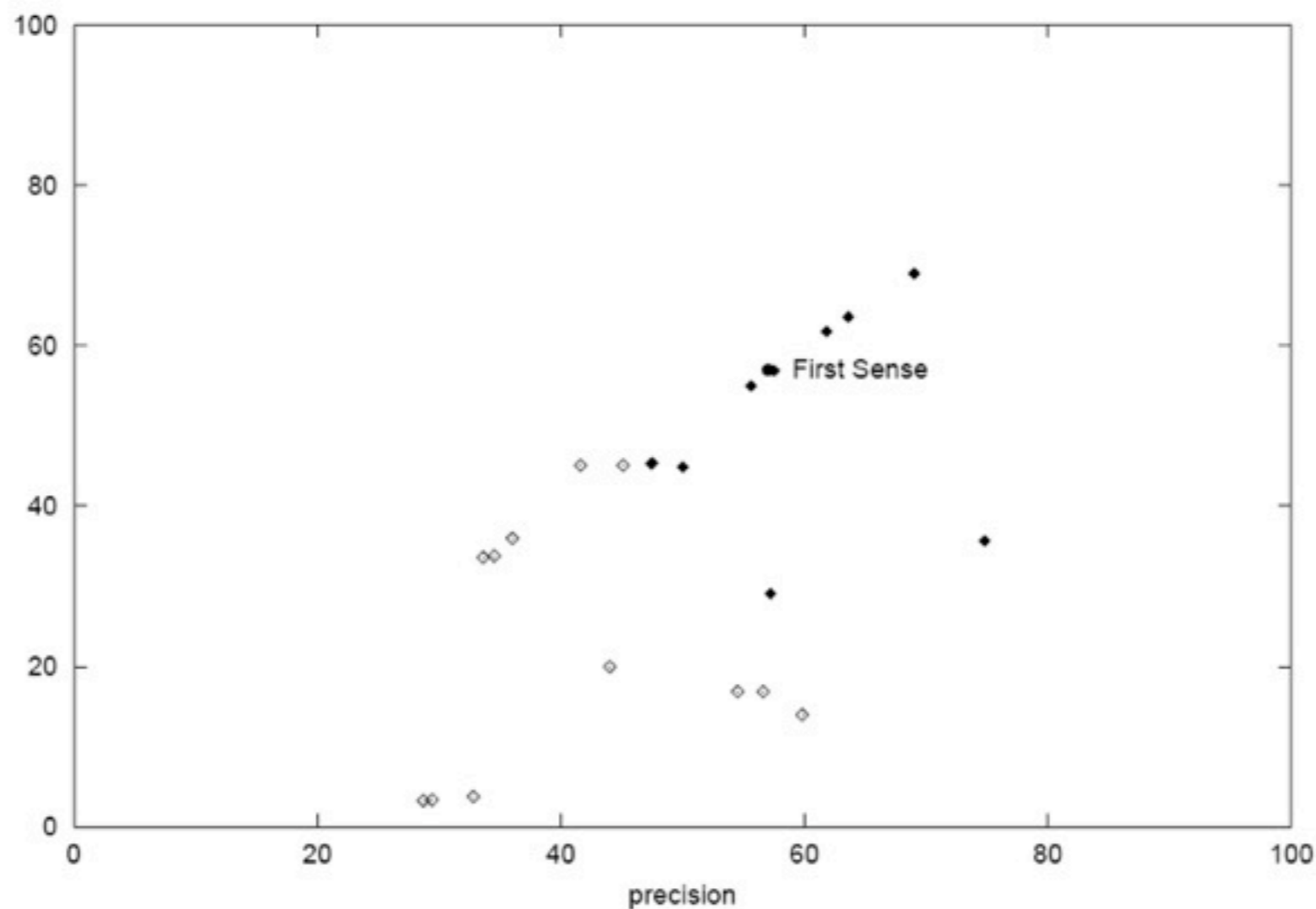
- Отличается от стандартного метода обучения списков принятия решений (Рассел, Норвиг 2006)

Методы оценки

- Внешние (in vivo)
 - Машинный перевод с/без РЛМ
- Внутренние (in vitro)
 - Применение к размеченным данным (SemCor, SENSEVAL, SEMEVAL)
 - Измерение точности и полноты в сравнении со стандартными значениями
- Нижняя граница
 - Выбор случайных значений работает плохо
 - Более сильные границы: наиболее частое значение, алгоритм Леска
- Верхняя граница: согласие экспертов
 - 75-80 для задачи определения значений всех слов со значениями из WordNet
 - до 90% с менее гранулированными значениями

Наиболее частое значение

- Сравнение методов на SENSEVAL-2



- McCarthy et. al. 2004 ACL - поиск наиболее частого значения по неразмеченному корпусу

Методы основанные на словарях и тезаурусах

- Алгоритм Леска (1986)
 - Взять все определения целевого слова из словаря
 - Сравнить с определениями слов в контексте
 - Выбрать значение с максимальным пересечением
- Пример
 - *pine*
 1. a kind of **evergreen tree** with needle-shaped leaves
 2. to waste away through sorrow or illness
 - *cone*
 1. A solid body which narrows to a point
 2. Something of this shape, whether solid or hollow
 3. Fruit of certain **evergreen trees**
 - Определить значение: *pine cone*

Варианты алгоритма Леска

- Упрощенный (Simplified Lesk)
 - Взять все определения целевого слова из словаря
 - Сравнить со ~~определениями~~ словами в контексте
 - Выбрать значение с максимальным пересечением
- Корпусный (Corpus Lesk)
 - Включить предложения из размеченного корпуса в сигнатуру каждого значения
 - Взвесить слова через IDF
 - $IDF(w) = -\log P(w)$
 - Показывает лучшие результаты
 - Использовался как нижняя граница на SENSEVAL

Самонастройка (Bootstrapping)

- Yarowsky (1995)
 - Начать с маленького множества данных, размеченного вручную
 - Натренировать список принятия решений
 - Применить классификатор к неразмеченным данным
 - Переместить примеры в которых мы уверены в тренировочное множество
 - Повторить!
- Требуется хорошей метрики уверенности
 - логарифмическое отношение правдоподобия
- Эвристики для получения начальных данных
 - одно значение на словосочетание
 - одно значение на дискурс

Алгоритм Yarowsky

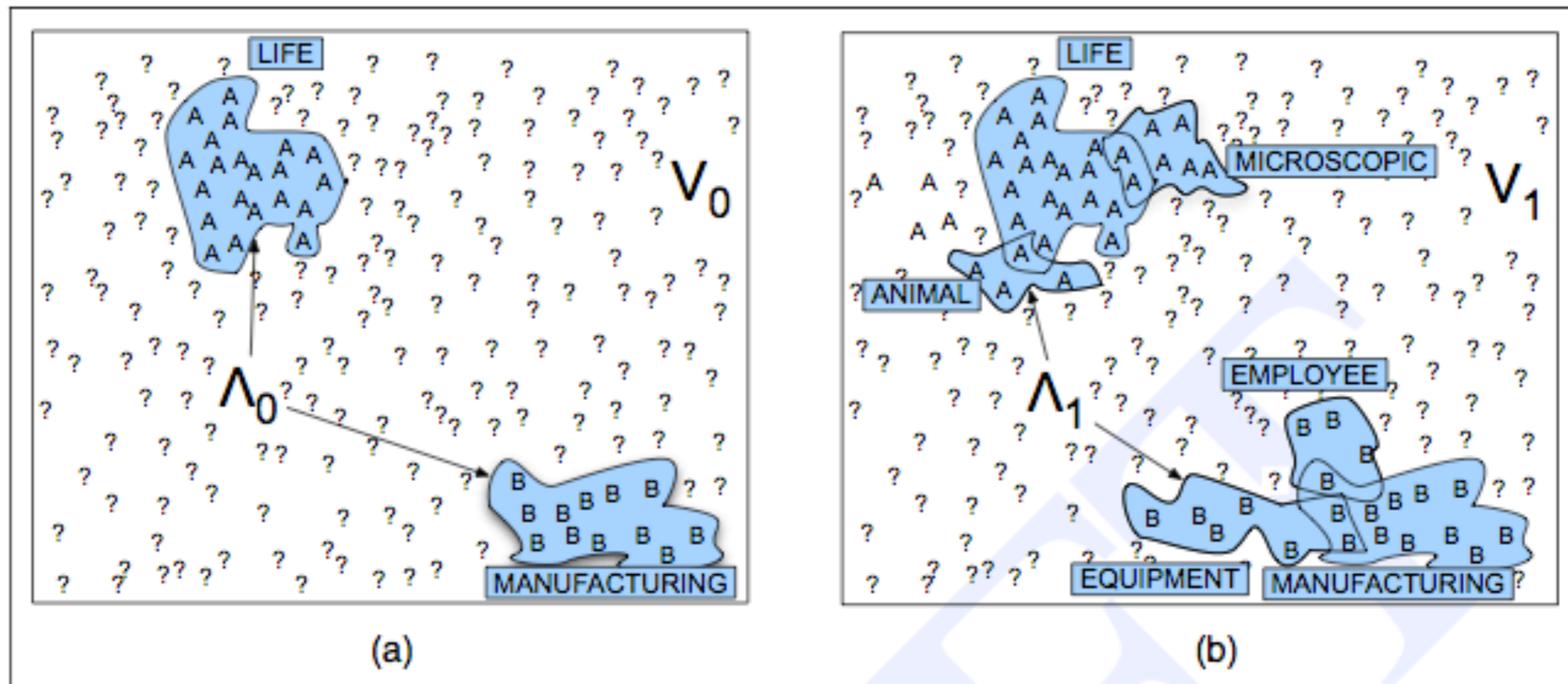


Figure 20.4 The Yarowsky algorithm disambiguating “plant” at two stages; “?” indicates an unlabeled observation, A and B are observations labeled as SENSE-A or SENSE-B. The initial stage (a) shows only seed sentences Λ_0 labeled by collocates (“life” and “manufacturing”). An intermediate stage is shown in (b) where more collocates have been discovered (“equipment”, “microscopic”, etc.) and more instances in V_0 have been moved into Λ_1 , leaving a smaller unlabeled set V_1 . Figure adapted from Yarowsky (1995).

Семантическая близость слов

- Подходы на основе тезаурусов
- Подходы на основе статистики

Мотивация

- Хороший признак для многих задач
- Позволяет бороться с разреженностью языка
- Имеет прикладное применение
 - поиск опечаток (с учетом семантики)
 - поиск плагиата
 - извлечение информации

Подход на основе тезаурусов

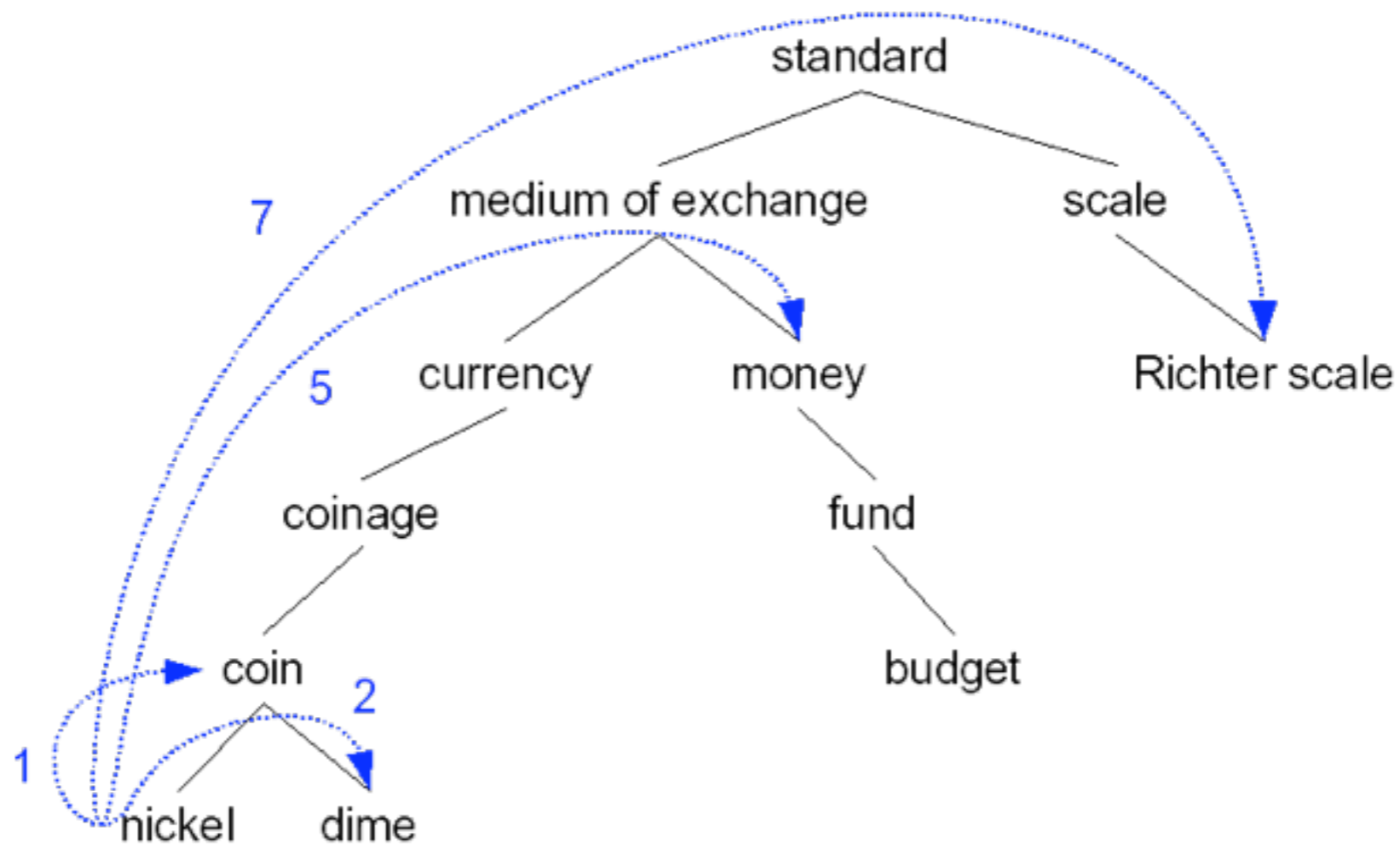
- Близость по пути
- Метод Резника
- Метод Лина
- Расширенный алгоритм Леска

Семантическая близость слов в тезаурусах

- Можно использовать любые отношения между словами
- На практике используется иерархическая структура и иногда описания значений
- Похожесть (similarity) VS связность (relatedness)
 - машина и топливо: не похожи но связаны
 - машина и велосипед: похожи

Близость по пути в иерархии

- Два понятия семантически близки, если они находятся рядом в иерархии



Близость между словами

- Только что мы посчитали близость между понятиями
- Перейдем ко словам
- $\text{simpath}(c1, c2) = -\log(\text{pathlen}(c1, c2))$
- $\text{wordsim}(w1, w2) = \max_{c1 \in \text{senses}(w1), c2 \in \text{senses}(w2)} \text{sim}(c1, c2)$

Другие методы

- Сначала немного определений...
 - Информационное содержимое
 - Наименьший общий предок

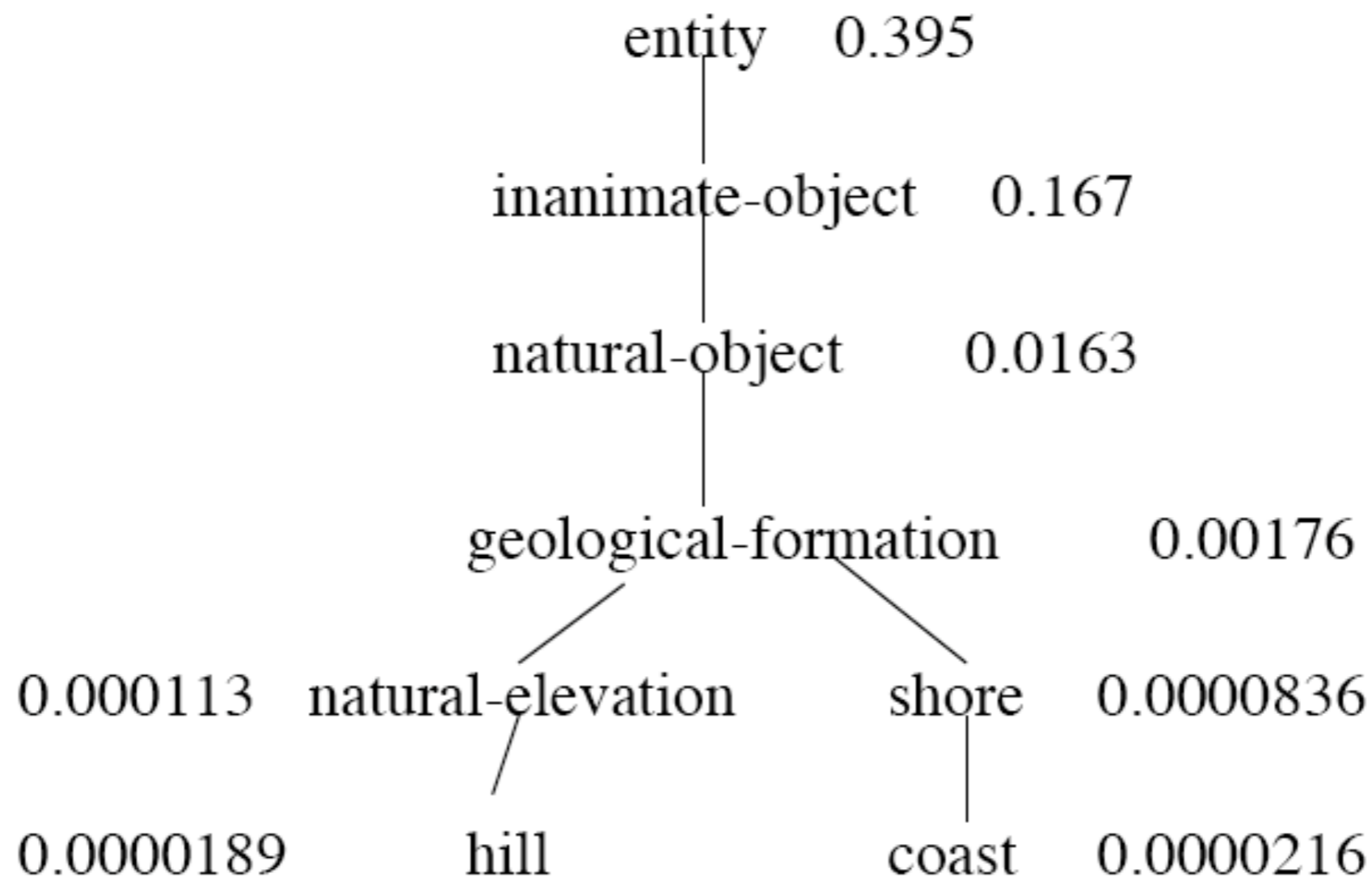
Информационное содержимое

- Information content
- Определим $P(C)$ как:
 - Вероятность, что случайно выбранное слово в корпусе является экземпляром класса C
 - $P(\text{root})=1$
 - Чем ниже узел в иерархии, тем ниже вероятность

$$P(c) = \frac{\sum_{w \in \text{words}(c)} \text{count}(w)}{N}$$

Информационное содержимое

- Расширяем иерархию WordNet вероятностями $P(C)$



Определения

- Информационное содержимое
 - $IC(c) = -\log(P(c))$
- Наименьший общий предок
 - $LCS(c_1, c_2)$

Метод Резника

- Resnik (1995)
 - Чем больше общего между понятиями, тем более они похожи
 - $\text{sim}_{\text{resnik}}(c1, c2) = \text{IC}(\text{LCS}(c1, c2)) =$
 $= -\log P(\text{LCS}(c1, c2))$

Метод Лина

- Dekang Lin (1998)
 - При вычислении близости также надо учитывать различие между концепциями
- Идея может быть выражена как

$$\text{sim}_{Lin}(c_1, c_2) = \frac{2 \times \log(P(LCS(c_1, c_2)))}{\log(P(c_1)) + \log(P(c_2))}$$

$$\text{sim}_{Lin}(\text{hill}, \text{coast}) = \frac{2 \times \log(P(\text{geological_information}))}{\log(P(\text{hill})) + \log(P(\text{coast}))} = 0.59$$

Расширенный алгоритм Леска

- Две концепции похожи, если их описания содержат похожие слова
 - Drawing paper: **paper** that is **especially prepared** for use in drafting
 - Decal: the art of transferring designs from **especially prepared paper** to a wood or glass or metal surface
- Каждому общему словосочетанию длины n назначить вес n^2
- **paper + especially prepared: $1+4 = 5$**

Резюме: методы, основанные на тезаурусах

$$\begin{aligned} \text{sim}_{\text{path}}(c_1, c_2) &= -\log \text{pathlen}(c_1, c_2) \\ \text{sim}_{\text{Resnik}}(c_1, c_2) &= -\log P(\text{LCS}(c_1, c_2)) \\ \text{sim}_{\text{Lin}}(c_1, c_2) &= \frac{2 \times \log P(\text{LCS}(c_1, c_2))}{\log P(c_1) + \log P(c_2)} \\ \text{sim}_{\text{jc}}(c_1, c_2) &= \frac{1}{2 \times \log P(\text{LCS}(c_1, c_2)) - (\log P(c_1) + \log P(c_2))} \\ \text{sim}_{\text{eLesk}}(c_1, c_2) &= \sum_{r, q \in \text{RELS}} \text{overlap}(\text{gloss}(r(c_1)), \text{gloss}(q(c_2))) \end{aligned}$$

Проблемы с подходом, основанном на тезаурусе

- Не доступен для многих языков
- Много слов пропущено
- Используются только обобщения и детализация
 - Хорошо работает для имен существительных
 - Для прилагательных и глаголов намного хуже
- Альтернатива
 - статистические подходы

Статистический подход к оценки близости слов

- Firth (1957): “You shall know a word by the company it keeps!”
- Пример

Бутылка **tezgüino** стоит на столе
Все любят **tezgüino**
Tezgüino делает тебя пьяным
Мы делаем **tezgüino** из кукурузы

- Идея:
 - из контекста можно понять значение слова
 - надо взять контекст и посмотреть, какие еще слова имеют такой же контекст

Векторное представление контекста

- Для каждого слова из словаря определим бинарный признак, показывающий встречаемость вместе с целевым словом w
- $w = (f_1, f_2, f_3, \dots, f_N)$
- $w = \text{tezgüino}$, $v_1 = \text{бутылка}$, $v_2 = \text{кукуруза}$, $v_3 = \text{матрица}$
- $w = (1, 1, 0, \dots)$

Идея

- Задать два слова через разреженный вектор признаков
- Применить метрику близости векторов
- Два слова близки, если векторы близки

	arts	boil	data	function	large	sugar	summarized	water
apricot	0	1	0	0	1	1	0	1
pineapple	0	1	0	0	1	1	0	1
digital	0	0	1	1	1	0	1	0
information	0	0	1	1	1	0	1	0

Статистический подход к оценки близости слов

- Необходимо определить 3 вещи:
 - совместная встречаемость
 - вес термина
 - близость между векторами

Совместная встречаемость

- Проблема разреженности векторов
- Идея решения: использовать только слова, входящие в синтаксические отношения

	subj-of, absorb	subj-of, adapt	subj-of, behave	...	pobj-of, inside	pobj-of, into	...	nmod-of, abnormality	nmod-of, anemia	nmod-of, architecture	...	obj-of, attack	obj-of, call	obj-of, come from	obj-of, decorate	...	nmod, bacteria	nmod, body	nmod, bone marrow
cell	1	1	1		16	30		3	8	1		6	11	3	2		3	2	2

Вес термина

- Manning and Schuetze (1999)

$$\text{assoc}_{\text{prob}}(w, f) = P(f|w)$$

$$\text{assoc}_{\text{PMI}}(w, f) = \log_2 \frac{P(w, f)}{P(w)P(f)}$$

$$\text{assoc}_{\text{Lin}}(w, f) = \log_2 \frac{P(w, f)}{P(w)P(r|w)P(w'|w)}$$

$$\text{assoc}_{\text{t-test}}(w, f) = \frac{P(w, f) - P(w)P(f)}{\sqrt{P(f)P(w)}}$$

Близость между векторами

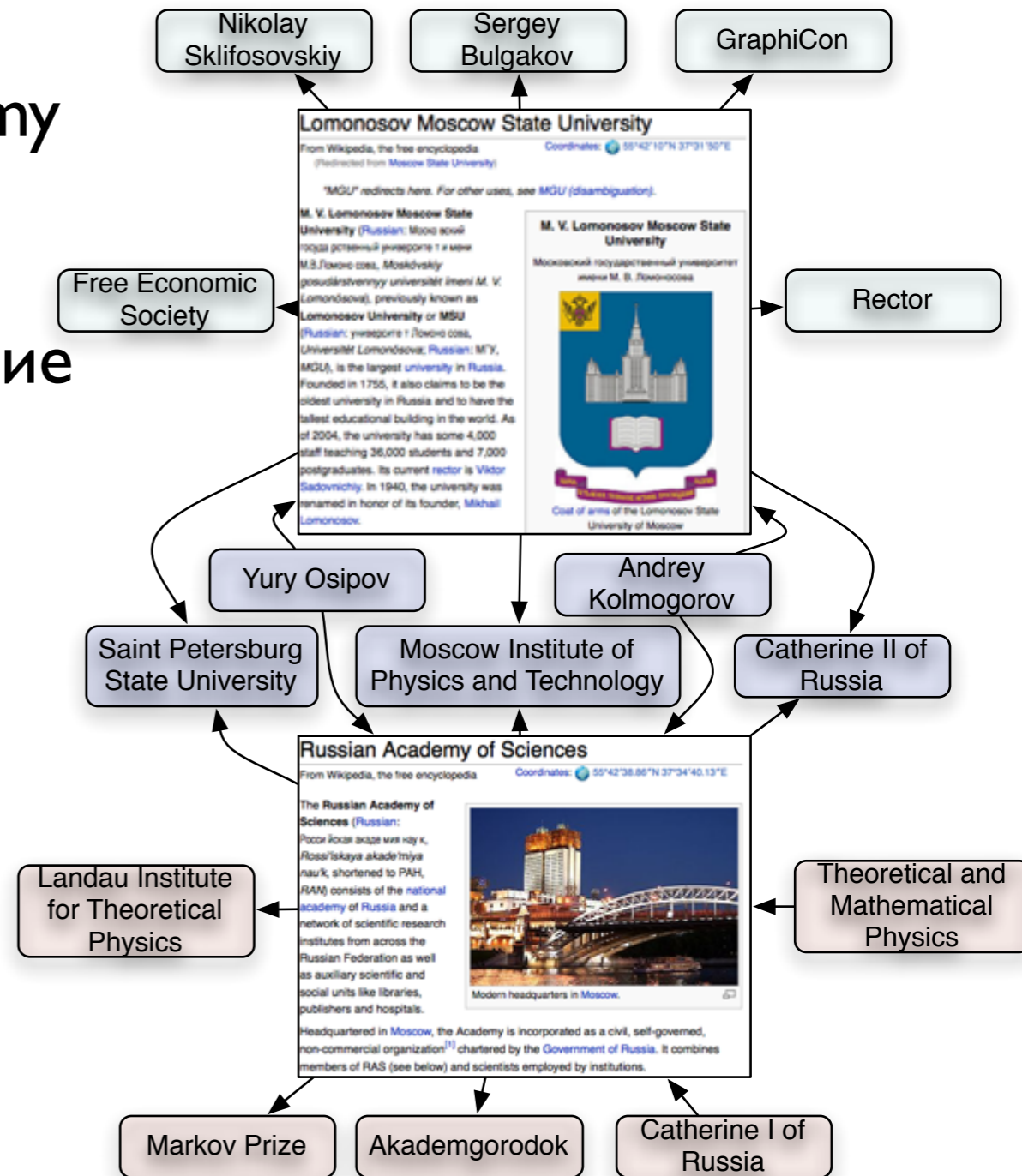
$$\begin{aligned}\text{sim}_{\text{cosine}}(\vec{v}, \vec{w}) &= \frac{\vec{v} \cdot \vec{w}}{|\vec{v}| |\vec{w}|} = \frac{\sum_{i=1}^N v_i \times w_i}{\sqrt{\sum_{i=1}^N v_i^2} \sqrt{\sum_{i=1}^N w_i^2}} \\ \text{sim}_{\text{Jaccard}}(\vec{v}, \vec{w}) &= \frac{\sum_{i=1}^N \min(v_i, w_i)}{\sum_{i=1}^N \max(v_i, w_i)} \\ \text{sim}_{\text{Dice}}(\vec{v}, \vec{w}) &= \frac{2 \times \sum_{i=1}^N \min(v_i, w_i)}{\sum_{i=1}^N (v_i + w_i)} \\ \text{sim}_{\text{JS}}(\vec{v} || \vec{w}) &= D\left(\vec{v} \middle| \frac{\vec{v} + \vec{w}}{2}\right) + D\left(\vec{w} \middle| \frac{\vec{v} + \vec{w}}{2}\right)\end{aligned}$$

Оценка качества

- Внутренняя
 - Коэффициент корреляции между
 - результатами алгоритма и
 - значениями, поставленными людьми
- Внешняя
 - Встроить в приложение
 - Поиск опечаток
 - Поиск плагиата
 - Разрешение лексической многозначности

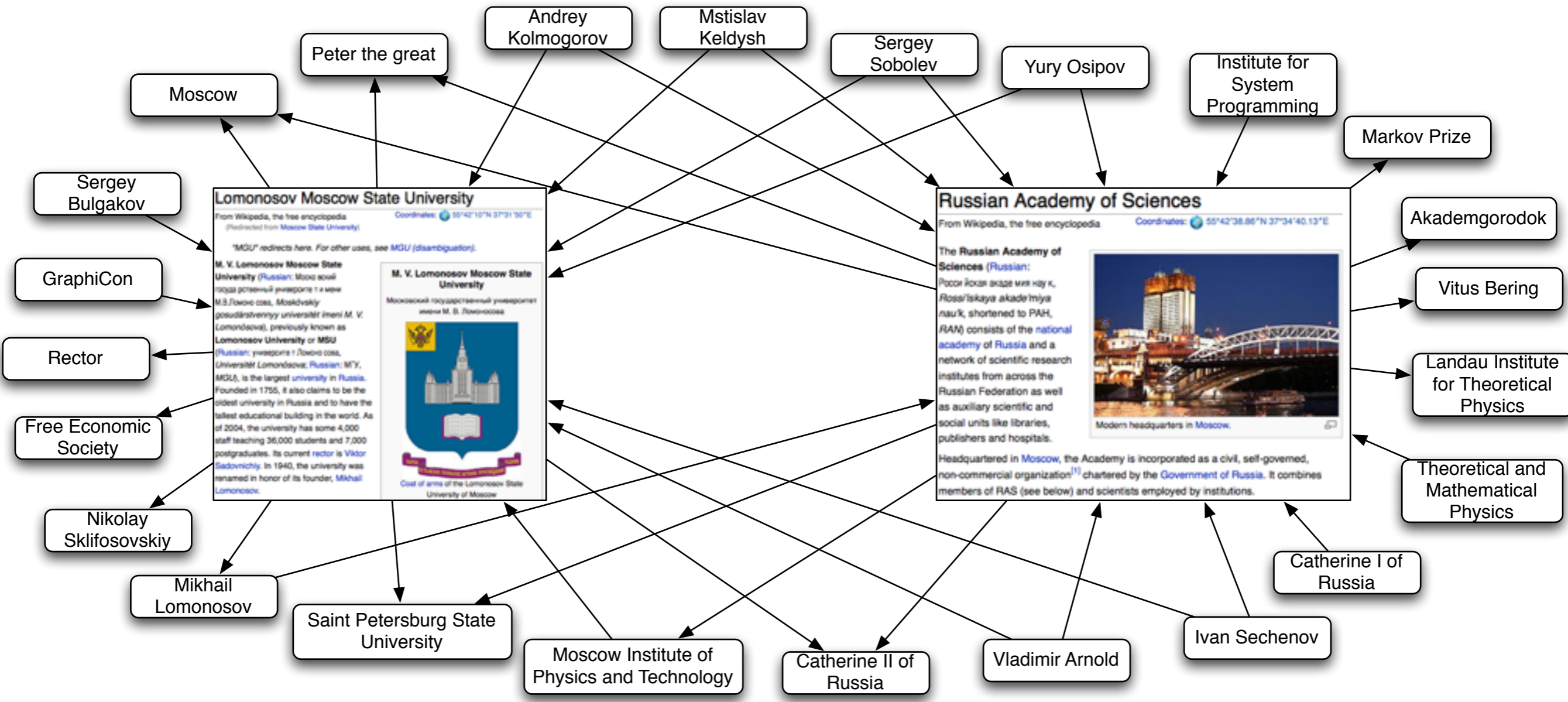
Википедия

- Каждая статья содержит:
 - В заголовке: термин (Russian Academy of Sciences)
 - В теле: описание значения термина
 - Гиперссылки на статьи, описывающие значения используемых терминов
- Специальные страницы:
 - списки значений многозначных терминов
 - синонимы
 - категории
 - и т. д.
- Сеть документов Википедии:
 - безмасштабная - $P(k) \sim k^{-\gamma}$
 - структурно отличается от семантических сетей и тезаурусов, созданных экспертами



Семантическая близость

- Нормализованное количество общих соседей

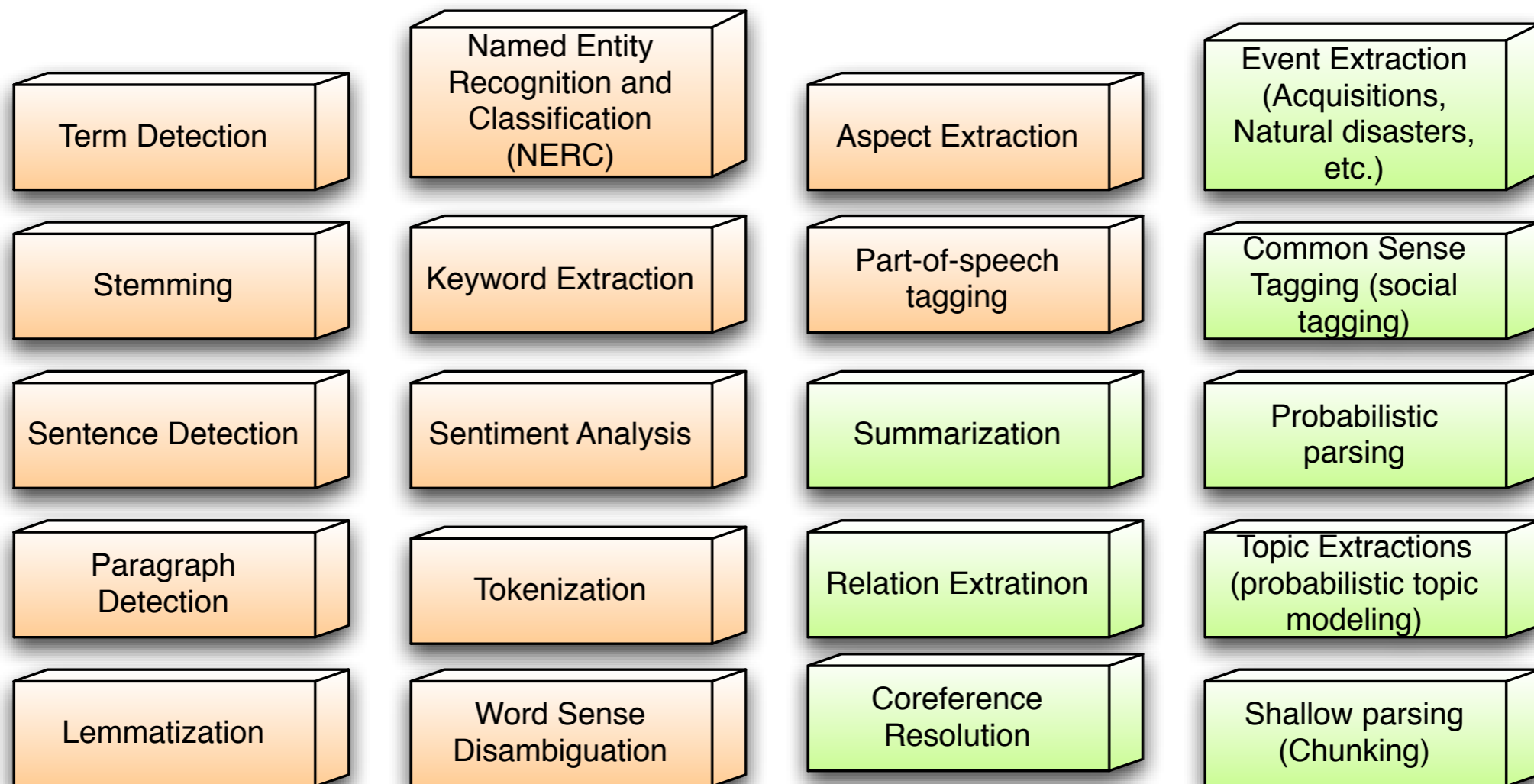


- Близкие концепции чаще встречаются вместе

Texterra

- Система для семантического анализа текстов, разработанная в ИСП РАН
- В качестве основного (одного из) источника знаний используется Википедия
- Поддерживает обработку нескольких языков

Texterra



English

Russian

Korean

Texterra REST API

- <https://api.at.ispras.ru>
- Alpha версия

Clear	Example Text	Example Tweet	Example Review
-------	--------------	---------------	----------------

The United States launches on Tuesday a new \$100 bill that comes with, for the iconic greenback, a new touch of color, as well as special features to foil counterfeiters. In its first remake since 1996, the \$100, which takes a key role in cash transactions for everyone.

Result

The **United States** launches on Tuesday a **new \$100 bill** that comes with, for the iconic **greenback**, a new touch of color, as well as special features to foil **counterfeiters**. In its first **remake** since 1996, the \$100, which takes a key role in cash transactions for everyone.

Key Concept

Disambiguation

Sentiment Analysis

Aspect Extraction

Tweet Normalization

Description

List of found concepts

- United States
- United States one hundred-dollar bill
- United States Note
- Counterfeit
- Remake

Заключение

- **Лексическая семантика** изучает значения отдельных слов
- **WordNet** содержит различные отношения между словами, синсеты задают значения слов
- **Разрешение лексической многозначности** - задача определения значений слов
- **Семантическая близость** между словами - полезный инструмент для многих приложений

Что не было рассказано

- Композиционная семантика
- Представление знаний
- Семантические поля и семантические роли
 - PropBank
 - FrameNet
- Задача разграничения значений
- Автоматическое извлечение отношений между словами
- ...

Следующая лекция

- Вопросно-ответные системы
- Автоматическое реферирование