

ОБРАБОТКА ЕСТЕСТВЕННОГО ЯЗЫКА PYTHON И SPACY

НА ПРАКТИКЕ

ЮЛИЙ ВАСИЛЬЕВ



ББК 81.111
УДК 81.322.2+004.43
В19

Васильев Юлий

В19 Обработка естественного языка. Python и spaCy на практике. — СПб.: Питер, 2021. — 256 с.: ил. — (Серия «Библиотека программиста»).

ISBN 978-5-4461-1506-8

Python и spaCy помогут вам быстро и легко создавать NLP-приложения: чат-боты, сценарии для сокращения текста или инструменты принятия заказов. Вы научитесь использовать spaCy для интеллектуального анализа текста, определять синтаксические связи между словами, идентифицировать части речи, а также определять категории для имен собственных. Ваши приложения даже смогут поддерживать беседу, создавая собственные вопросы на основе разговора.

Прочитав эту книгу, вы можете сами расширить приведенные в книге сценарии, чтобы обрабатывать разнообразные варианты ввода и создавать приложения профессионального уровня.

16+ (В соответствии с Федеральным законом от 29 декабря 2010 г. № 436-ФЗ.)

ББК 81.111
УДК 81.322.2+004.43

Права на издание получены по соглашению с No Starch Press. Все права защищены. Никакая часть данной книги не может быть воспроизведена в какой бы то ни было форме без письменного разрешения владельцев авторских прав.

Информация, содержащаяся в данной книге, получена из источников, рассматриваемых издательством как надежные. Тем не менее, имея в виду возможные человеческие или технические ошибки, издательство не может гарантировать абсолютную точность и полноту приводимых сведений и не несет ответственности за возможные ошибки, связанные с использованием книги. Издательство не несет ответственности за доступность материалов, ссылки на которые вы можете найти в этой книге. На момент подготовки книги к изданию все ссылки на интернет-ресурсы были действующими.

ISBN 978-1718500525 англ.

© 2020 by Yuli Vasiliev.

Natural Language Processing with Python and spaCy: A Practical Introduction
ISBN 978-1-7185-0052-5, published by No Starch Press.

ISBN 978-5-4461-1506-8

© Перевод на русский язык ООО Издательство «Питер», 2021

© Издание на русском языке, оформление ООО Издательство «Питер», 2021

© Серия «Библиотека программиста», 2021

Оглавление

Об авторе	13
О научном редакторе.....	14
Введение	15
Применение языка Python для обработки естественного языка.....	15
Библиотека spaCy	16
Для кого предназначена книга.....	17
Что вы найдете в издании	18
Скачивание примеров кода	20
От издательства	21
Глава 1. Как происходит обработка текстов на естественном языке.....	22
Как компьютеры понимают естественный язык.....	23
Задание соответствий слов и чисел с помощью вложений слов	23
Применение машинного обучения для обработки естественного языка	25
Зачем использовать машинное обучение для обработки естественного языка	28
Что такое статистическая модель в NLP.....	31
Нейросетевые модели.....	33
Использование сверточных нейронных сетей для NLP	35
Какие задачи остаются за вами?.....	36
Ключевые слова	37
Контекст	37
Переход значения.....	38
Резюме	39

Глава 2. Конвейер обработки текста	40
Настройка рабочей среды	40
Установка статистических моделей для библиотеки spaCy	41
Базовые операции NLP в библиотеке spaCy	42
Токенизация	43
Лемматизация	44
Использование лемматизации для распознавания смысла	45
Частеречная разметка	47
Поиск соответствующих глаголов с помощью тегов частей речи	50
Важность контекста	51
Синтаксические отношения	52
Распознавание именованных сущностей	58
Резюме	58
Глава 3. Работа с объектами-контейнерами и настройка spaCy под свои нужды	60
Объекты-контейнеры библиотеки spaCy	60
Получение индекса токена в объекте Doc	61
Обход в цикле синтаксических дочерних элементов токена	62
Контейнер doc.sents	63
Контейнер doc.noun_chunks	65
Объект Span	66
Настройка конвейера обработки текста под свои нужды	68
Отключение компонентов конвейера	69
Пошаговая загрузка модели	70
Настройка компонентов конвейера под свои нужды	72
Использование структур данных уровня языка C библиотеки spaCy	75
Принципы работы	76
Подготовка рабочей среды и получение текстовых файлов	76
Сценарий Cython	77
Сборка модуля Cython	78
Тестирование модуля	79
Резюме	80

Глава 4. Выделение и использование лингвистических признаков	81
Выделение и генерация текста с помощью тегов частей речи.....	81
Теги для чисел, символов и знаков препинания.....	82
Выделение описаний денежных сумм.....	84
Преобразование утвердительных высказываний в вопросительные	85
Использование меток синтаксических зависимостей при обработке текста.....	91
Различаем подлежащие и дополнения	91
Выясняем, какой вопрос должен задать чат-бот	93
Резюме	99
Глава 5. Работа с векторами слов.....	100
Смысл векторов слов	100
Задание смысла с помощью координат	101
Задание смысла по измерениям	102
Метод similarity	104
Выбор ключевых слов для вычисления семантического подобия ...	106
Установка пакетов векторов слов	107
Пользуемся векторами слов, прилагаемыми к моделям spaCy	107
Использование сторонних пакетов векторов слов	107
Сравнение объектов spaCy.....	109
Применение семантического подобия для задач категоризации.....	109
Выделение существительных как шаг предварительной обработки.....	111
Выделение и сравнение именованных сущностей	113
Резюме	115
Глава 6. Поиск паттернов и обход деревьев зависимостей	116
Паттерны последовательностей слов	116
Поиск паттернов лингвистических признаков	117
Проверка высказывания на соответствие паттерну.....	119
Использование утилиты Matcher библиотеки spaCy для поиска паттернов последовательностей слов	120

Применение нескольких паттернов	122
Создание паттернов на основе пользовательских признаков	124
Выбор применяемых паттернов.....	126
Применение паттернов последовательностей слов в чат-ботах для генерации высказываний.....	126
Выделение ключевых слов из деревьев синтаксических зависимостей	130
Выделение информации путем обхода дерева зависимостей	132
Проход в цикле по главным элементам токенов.....	132
Краткое изложение текста с помощью деревьев зависимостей	134
Усовершенствование чат-бота для бронирования билетов с помощью учета контекста	137
Повышаем IQ чат-бота за счет поиска подходящих модификаторов.....	140
Резюме	143
Глава 7. Визуализация	144
Знакомство с встроенными средствами визуализации spaCy	144
Средство визуализации зависимостей displaCy	145
Средство визуализации именованных сущностей displaCy	147
Визуализация из кода spaCy	148
Визуализация разбора зависимостей	148
Визуализация по отдельным предложениям.....	150
Настройка визуализаций под свои задачи с помощью аргумента options	151
Использование аргумента options средства визуализации зависимостей	152
Использование аргумента options средства визуализации именованных сущностей	153
Экспорт визуализации в файл.....	156
Использование displaCy для отображения данных в ручном режиме	157
Форматирование данных.....	158
Резюме	159

Глава 8. Распознавание намерений	160
Распознавание намерений с помощью выделения переходного глагола и прямого дополнения	160
Получение пары «переходный глагол/прямое дополнение»	162
Выделение множественных намерений с помощью token.conjuncts	162
Выделение намерения с помощью списков слов	164
Поиск значений слов с помощью синонимов и семантического подобия	167
Распознавание синонимов с помощью заранее заданных списков	168
Распознавание неявных намерений с помощью семантического подобия	171
Выделение намерения из последовательности предложений	173
Обход структуры зависимостей связного текста	173
Замена местоименных элементов их антецедентами	174
Резюме	178
Глава 9. Сохранение данных, введенных пользователем, в базе данных	179
Преобразование неструктурированных данных в структурированные	179
Выделение данных в формате обмена данными	182
Перенос логики приложения в базу данных	183
Создание чат-бота, использующего базу данных	185
Сбор данных и формирование объекта JSON	185
Преобразование числительных в числа	187
Подготовка среды базы данных	189
Отправка данных в БД	192
Что делать, если запрос пользователя содержит недостаточно информации	193
Резюме	195

Глава 10. Обучение моделей	196
Обучение компонента конвейера модели.....	196
Обучение средства распознавания именованных сущностей.....	198
Определяем, нужно ли обучать средство распознавания именованных сущностей.....	198
Создание обучающих примеров данных.....	199
Автоматизация процесса создания примеров данных.....	200
Отключение лишних компонентов конвейера.....	202
Процесс обучения.....	203
Оценка работы обновленного средства распознавания именованных сущностей.....	205
Создание нового синтаксического анализатора.....	206
Понимание входного текста с помощью нестандартного синтаксического разбора зависимостей.....	207
Выбор используемых типов семантических отношений.....	208
Создание обучающих примеров данных.....	209
Обучение анализатора.....	210
Тестирование нестандартного анализатора.....	212
Резюме.....	213
Глава 11. Развертывание собственного чат-бота	214
Схема реализации и развертывания чат-бота.....	214
Telegram как платформа для бота.....	216
Создание учетной записи Telegram и авторизация чат-бота.....	216
Знакомство с библиотекой python-telegram-bot.....	218
Использование объектов telegram.ext.....	219
Создание чат-бота Telegram с использованием spaCy.....	220
Расширение возможностей чат-бота.....	222
Сохранение состояния текущего чата.....	223
Собираем все части чат-бота вместе.....	225
Резюме.....	229

Глава 12. Реализация веб-данных и обработка изображений	230
Схема работы	230
Учим бота искать ответы на вопросы в «Википедии».....	232
Выясняем, чему посвящен вопрос	233
Ответы на вопросы пользователей с помощью «Википедии»	237
Реагируем на отправляемые в чаты изображения.....	238
Генерация описательных тегов для изображений с помощью Clarifai	239
Генерация текстовых реакций на изображения на основе тегов	241
Собираем все части воедино в боте Telegram.....	242
Импорт библиотек	242
Написание вспомогательных функций	242
Написание функций обратного вызова и main()	244
Тестирование бота.....	246
Резюме	248
Приложение. Начальное руководство по лингвистике.....	249
Грамматика зависимостей и грамматика с фразовой структурой	249
Общие грамматические понятия	252
Переходные глаголы и прямые дополнения	252
Предложные дополнения	252
Вспомогательные модальные глаголы	253
Личные местоимения	253

1

Как происходит обработка текстов на естественном языке



В XIX веке на острове Рапа Нуи (более известном как остров Пасхи) исследователи обнаружили деревянные дощечки с письменами *ронго-ронго* — системой загадочных иероглифов. Ученым пока не удалось их расшифровать и определить, что это — письмо или протописьменность (пиктографические символы, несущие информацию, но не связанные с языком). Известно, что создатели надписей воздвигли моаи — гигантские каменные человекоподобные фигуры, которыми знаменит остров Пасхи: однако предназначение моаи до сих пор неясно, о нем можно лишь догадываться.

Если письменность, то есть способ описания людьми различных вещей, непонятна, то, скорее всего, непонятными останутся и прочие аспекты их жизни, в том числе то, что они делали и почему.

Обработка текстов на естественном языке (Natural Language Processing, NLP) — направление искусственного интеллекта, нацеленное на обработку и анализ данных на естественном языке и обучение машин взаимодействию с людьми на естественном языке (языке, сформировавшемся естественным путем на протяжении истории). Через создание алгоритмов машинного обучения, предназначенных для работы с более объемными в сравнении с двумя десятками табличек, найденных на Рапа Нуи, наборами неизвестных данных, исследователи изучают, как люди используют язык. Таким образом появляется возможность добиться гораздо большего, чем просто расшифровка древних надписей.

Сегодня с помощью алгоритмов можно вести научные наблюдения за языками, семантика и грамматические правила которых хорошо известны (в отличие от надписей на ронго-ронго), создавая затем приложения для программного «понимания» высказываний на этих языках. С помощью таких приложений коммерческие компании могут освободить людей от утомительных и однообразных задач. Например, приложение может принимать заказы на доставку еды или отвечать на постоянно повторяющиеся вопросы пользователей в рамках технической поддержки.

Неудивительно, что генерация и понимание естественного языка — наиболее многообещающие, но в то же время сложные задачи NLP. В этой книге для создания обработчика текстов на естественном языке используется язык программирования Python. Задача решается с помощью библиотеки spaCy — ведущей библиотеки Python для обработки естественного языка с открытым исходным кодом. Но для начала вы узнаете, что происходит «за кулисами» в процессе создания средства обработки естественного языка.

Как компьютеры понимают естественный язык

Как можно научить компьютеры — бесчувственные машины — понимать человеческий язык и должным образом реагировать на высказывания? Конечно, машины не способны понимать естественный язык так, как человек. Чтобы компьютер мог производить вычислительные операции над языковыми данными, необходима система преобразования слов естественного языка в числовую форму.

Задание соответствий слов и чисел с помощью вложений слов

Вложение слов (word embedding) — методика задания соответствий слов числам. Словам при вложении слов в соответствие ставятся векторы вещественных чисел, а значение слова распределяется по координатам соответствующего вектора слов. Слова со схожим значением близки в векторном пространстве, поэтому можно определять значение слова по его соседям.

Вот фрагмент подобного отображения:

```
the 0.0897 0.0160 -0.0571 0.0405 -0.0696 ...
and -0.0314 0.0149 -0.0205 0.0557 0.0205 ...
of -0.0063 -0.0253 -0.0338 0.0178 -0.0966 ...
to 0.0495 0.0411 0.0041 0.0309 -0.0044 ...
in -0.0234 -0.0268 -0.0838 0.0386 -0.0321 ...
```

В этом фрагменте словам *the*, *and*, *of*, *to* и *in* соответствуют следующие за ними координаты. Если отобразить эти координаты визуальнo, то близкие по значению слова окажутся соседями на графике. (Но это не значит, что близкие по значению слова будут сгруппированы и в текстовом представлении так же, как в данном фрагменте. Текстовое представление пространства векторов слов обычно начинается с наиболее распространенных слов, например с *the*, *and* и т. д. Именно таким образом генераторы пространства векторов слов располагают слова.)

ПРИМЕЧАНИЕ

Визуальное представление многомерного векторного пространства можно реализовать в виде двухмерной или трехмерной проекции. Для ее создания используются соответственно первые две или три главные компоненты (координаты) вектора. К этому вопросу мы вернемся в главе 5.

При наличии матрицы соответствий слов числовым векторам над этими векторами можно производить арифметические действия. Среди прочего, можно определять *семантическое подобие* (синонимию) слов, предложений и даже целых документов, а затем использовать эту информацию, чтобы выяснить, например, какой теме посвящен текст.

Математически определение семантического подобия между двумя словами сводится к вычислению косинусного коэффициента между соответствующими векторами, то есть вычислению косинуса угла между ними. И хотя подробное описание вычисления семантического подобия выходит за рамки данной книги, некоторые детали работы с векторами слов описаны в главе 5.

Применение машинного обучения для обработки естественного языка

Вычислить числовые компоненты векторов можно с помощью алгоритмов машинного обучения. *Машинное обучение* (machine learning) — подобласть искусственного интеллекта по созданию компьютерных систем, способных автоматически обучаться на основе передаваемых им данных без необходимости программировать те явным образом. Алгоритмы машинного обучения позволяют предсказывать характеристики новых, не встречавшихся им ранее данных, распознавать изображения и речь, классифицировать фотографии и текстовые документы, автоматизировать управление. Также помогают они и при разработке игр.

Благодаря машинному обучению компьютеры могут решать задачи, которые ранее были им не под силу. Представьте, сколько условных операторов `if...else` пришлось бы написать, чтобы научить машину играть в шахматы, используя традиционный подход — с явным указанием на то, что алгоритм должен делать в той или иной ситуации. Пользователи подобного приложения быстро обнаружили бы слабые места в вашей логике и смогли бы выигрывать проще — пока вы не исправили бы код.

Напротив, приложения, в основе которых лежат алгоритмы машинного обучения, не зависят от заранее описываемой логики, а учатся на своих ошибках. Таким образом, основанная на машинном обучении шахматная программа ищет позиции, встречавшиеся ей в предыдущих партиях, и делает ходы, ведущие к оптимальной позиции. Накопленный опыт она хранит в статистической модели, которую мы рассмотрим в разделе «Что такое статистическая модель в NLP» на с. 31.

Помимо генерации векторов слов, машинное обучение в библиотеке `sraCu` позволяет выполнить три задачи: *разбор синтаксических зависимостей* (определение взаимосвязи между словами в предложении), *частеречную разметку* (выявление существительных, глаголов и иных частей речи) и *распознавание именованных сущностей* (разбиение имен собственных по категориям — люди, организации, местоположения и т. д.). В следующих главах мы поговорим об этом более подробно.

Жизненный цикл обычной системы машинного обучения включает три этапа: обучение модели, контроль и выполнение предсказаний.

Обучение модели

На первом этапе модель обучается путем подачи на вход алгоритма большого массива данных. Чтобы получить результат, заслуживающий доверия, необходимо обеспечить значительный объем входных данных — намного больший, чем количество надписей на табличках ронго-ронго, например. Что касается NLP, такие платформы, как «Википедия» и Google News, содержат достаточно текста для практически любого алгоритма машинного обучения. Но модель, специально предназначенная для вашего конкретного сценария использования, должна обучаться в том числе на действиях пользователей вашего сайта.

На рис. 1.1 приведена общая картина этапа обучения модели.

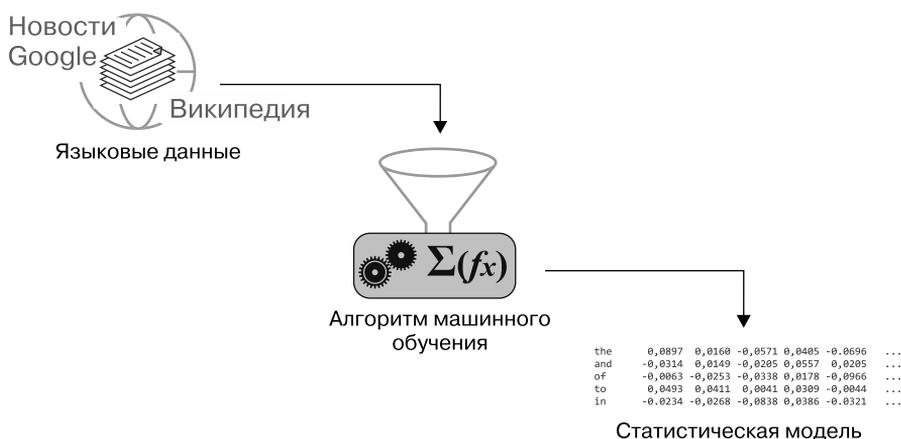


Рис. 1.1. Генерация статистической модели с помощью алгоритма машинного обучения, на основе большого массива текста в качестве входных данных

Чтобы найти слова со схожими характеристиками, модель обрабатывает огромные массивы текстовых данных, а затем создает для этих слов векторы, отражающие общие характеристики.

Из раздела «Что такое статистическая модель в NLP» на с. 31 вы узнаете, что **подобное** пространство векторов слов не единственный компонент статистической модели, предназначенной для NLP. На самом деле ее структура сложнее, что позволяет выделять лингвистические признаки для каждого из слов в зависимости от контекста.

В главе 10 вы узнаете, как обучить и уже существующую (предобученную) модель на новых примерах, и «чистую» модель с самого начала.

Контроль

При желании после обучения модели можно проверить, насколько хорошо она работает. Для контроля работы модели необходимо подать ей на вход текст, который она пока еще не «видела», и проверить, сможет ли она правильно идентифицировать семантические подобиия и другие признаки, усвоенные во время обучения.

Выполнение предсказаний

Если все работает как часы, в приложении NLP можно выполнять предсказания на основе обученной модели. Например, предсказать с ее помощью структуру дерева зависимостей для вводимого текста, как показано на рис. 1.2. Структура дерева зависимостей отражает взаимосвязи между словами в предложении.

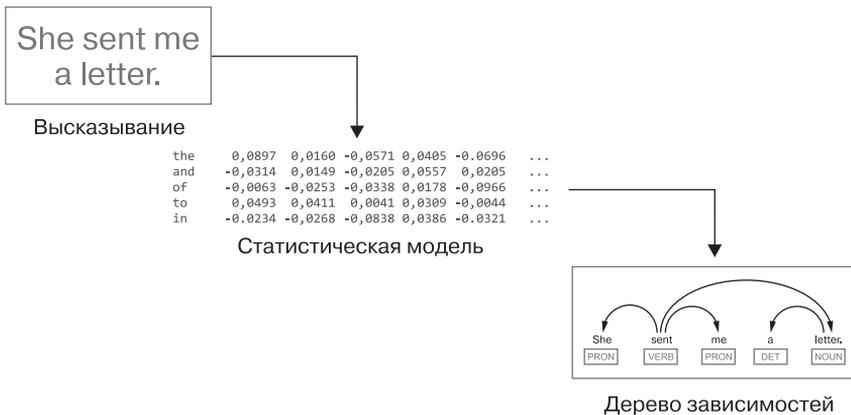


Рис. 1.2. Предсказание структуры дерева зависимостей для высказывания с помощью статистической модели

Наглядно дерево зависимостей можно представить с помощью дуг различной длины, соединяющих синтаксически связанные пары слов. Из приведенного здесь дерева зависимостей видно, что глагол *sent* согласуется с местоимением *she*.

Зачем использовать машинное обучение для обработки естественного языка

Выполняемые алгоритмом предсказания не обычная констатация фактов: предсказания вычисляются с некоторой долей вероятности. Для достижения точности приходится реализовывать все более хитрые алгоритмы, не такие эффективные и менее осуществимые на практике. Обычно стараются достичь разумного баланса безошибочности и быстродействия.

Поскольку идеальное предсказание с помощью моделей машинного обучения недостижимо, может возникнуть вопрос: является ли машинное обучение наилучшим подходом к созданию используемых в приложениях NLP моделей. Другими словами, не существует ли более надежного подхода, в основе которого лежали бы четко заданные правила, аналогичные используемым в компиляторах и интерпретаторах для обработки кода на различных языках программирования? Если коротко: нет. Поясню почему.

Прежде всего, количество слов в языке программирования относительно невелико. Например, в языке Java всего 61 зарезервированное слово, причем смысл каждого из них определен заранее.

Напротив, Оксфордский словарь английского языка, выпущенный в 1989 году, содержит 171 476 словарных статей для используемых в наши дни слов. В 2010 году команда исследователей из Гарвардского университета и Google насчитала около 1 022 000 слов в корпусе оцифрованных текстов, содержащем лишь 4 % когда-либо опубликованных книг. Согласно этому исследованию, словарный состав английского языка ежегодно увеличивается на несколько тысяч слов. Чтобы поставить в соответствие каждому слову число, потребовалось бы очень много времени.

Но даже если попытаться это сделать, существует несколько причин, по которым невозможно определить количество слов естественного языка. Во-первых, непонятно, что именно считать отдельным словом. Например, слово *count* следует считать одним словом, двумя или вообще тремя? В одном контексте оно может обозначать «иметь значение, быть важным», в другом — «произносить числа одно за другим», а в третьем *count* — это существительное.

Следует ли считать различные словоформы — множественное число существительных, времена глаголов и т. д. — отдельными сущностями? Можно ли считать частью языка слова, *заимствованные* из иностранных языков, научные термины, сленг и сокращения? Очевидно, что строгого определения словарного запаса языка не существует, поскольку не так-то просто выяснить, какие группы слов в него нужно включать. В языке программирования наподобие Java попытка включить в код неизвестное слово приведет к ошибке компилятора.

Аналогичная ситуация и с формальными правилами. Как и словарный запас, многие правила любого естественного языка сформулированы достаточно расплывчато и нередко приводят к возникновению неоднозначности. Например, *инфинитивы с отделенной частицей* — грамматическая конструкция, в которой наречие ставится между глаголом в неопределенной форме и его предлогом:

```
spaCy allows you to programmatically extract the meaning of an utterance.
```

В этом примере наречие *programmatically* разделяет предлог и глагол в неопределенной форме *to extract*. Если вы настроены против инфинитивов с отделенной частицей, то можете переписать приведенное предложение следующим образом:

```
spaCy allows you to extract the meaning of an utterance programmatically.
```

Вне зависимости от того, что вы думаете относительно инфинитивов с отделенной частицей, ваше NLP-приложение должно одинаково хорошо понимать оба эти предложения.

Программа же, предназначенная для обработки кода, написанного на каком-либо языке программирования, на решение подобных проблем не рассчитана. Дело в строгой формулировке правил языка программирования, не оставляющей возможности для разночтений. В качестве еще одного примера рассмотрим оператор, написанный на языке программирования SQL, с помощью которого можно вставить данные в таблицу БД:

```
INSERT INTO table1 VALUES(1, 'Maya', 'Silver')
```

Этот оператор говорит сам за себя. Даже если вы не знаете язык SQL, вы легко догадаетесь, что оператор вставляет три значения в таблицу `table1`.

Теперь представьте, что вы изменили его следующим образом:

```
INSERT VALUES(1, 'Maya', 'Silver') INTO table1
```

С точки зрения англоязычного читателя смысл второго оператора не отличается от смысла первого: в конце концов, его можно прочитать как фразу на английском языке и смысл останется прежним. Если же попытаться выполнить второй оператор в SQL-утилите, будет возвращена ошибка `missing INTO keyword` (не найдено ключевое слово `INTO`). Дело в том, что синтаксический анализатор SQL, — как и синтаксический анализатор любого другого языка программирования, — основывается на жестко заданных правилах. Поэтому, чтобы получить желаемое, программист обязан четко описать свои требования. В данном случае синтаксический анализатор SQL ожидает, что ключевое слово `INTO` будет следовать сразу за ключевым словом `INSERT`.

Само собой, в естественном языке подобные ограничения невысказаны. Таким образом, с учетом всех различий совершенно очевидно, что задавать вычислительную модель для естественного языка с помощью набора формальных правил (как это делается с языками программирования) неэффективно или вовсе нереально.

Поэтому наш подход будет основан не на правилах, а на наблюдениях. Вместо кодирования языка путем назначения для каждого слова заранее заданного числа алгоритмы машинного обучения генерируют статистические модели для выявления закономерностей в больших массивах языковых данных и последующего выполнения предсказаний относительно синтаксической структуры новых, еще неизвестных модели текстовых данных.

Рисунок 1.3 резюмирует процессы обработки текстов на естественных языках и языках программирования соответственно.

Система обработки текстов на естественном языке сначала на основе статистической модели выполняет предсказание относительно смысла входного текста, после чего реагирует соответствующим образом. Компилятор же, обрабатывающий код программы, применяет к этому коду набор строго заданных правил.

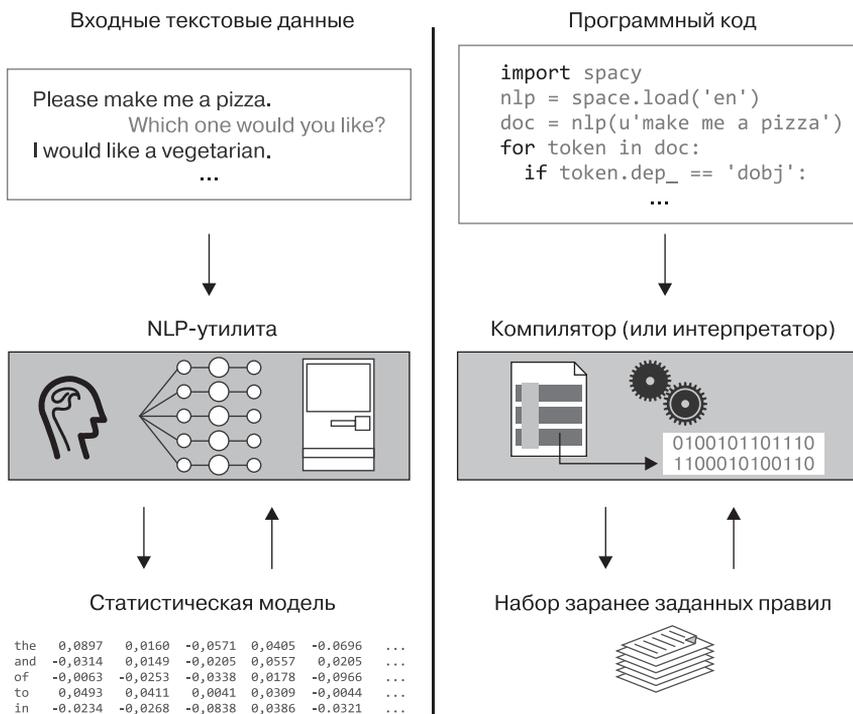


Рис. 1.3. Слева приведен упрощенный технологический процесс обработки текстов на естественном языке, справа — упрощенный технологический процесс обработки кода на языке программирования

Что такое статистическая модель в NLP

В NLP *статистическая модель* (statistical model) содержит оценки распределения вероятностей языковых единиц, например слов или фраз, что позволяет ставить им в соответствие лингвистические признаки. В теории вероятностей и статистике *распределение вероятностей* (probability distribution) для конкретной случайной величины представляет собой таблицу соответствий значений этой величины вероятностям их выпадения (в эксперименте). Таблица 1.1 иллюстрирует пример распределения вероятностей тегов частей речи слова *count* для заданного предложения. (Напомню, что в зависимости от контекста отдельное слово в английском языке может относиться к разным частям речи.)

Таблица 1.1. Пример распределения вероятностей для языковой единицы в конкретном контексте заданного предложения

Глагол	Существительное
78 %	22 %

Конечно, в другом контексте эти числа для слова *count* будут отличаться.

Статистическое моделирование языка играет особо важную роль в решении многих задач обработки естественного языка, в его генерации и понимании. Именно поэтому статистические модели являются краеугольным камнем практически любого NLP-приложения.

На рис. 1.4 в общих чертах показано, как NLP-приложение использует статистическую модель.

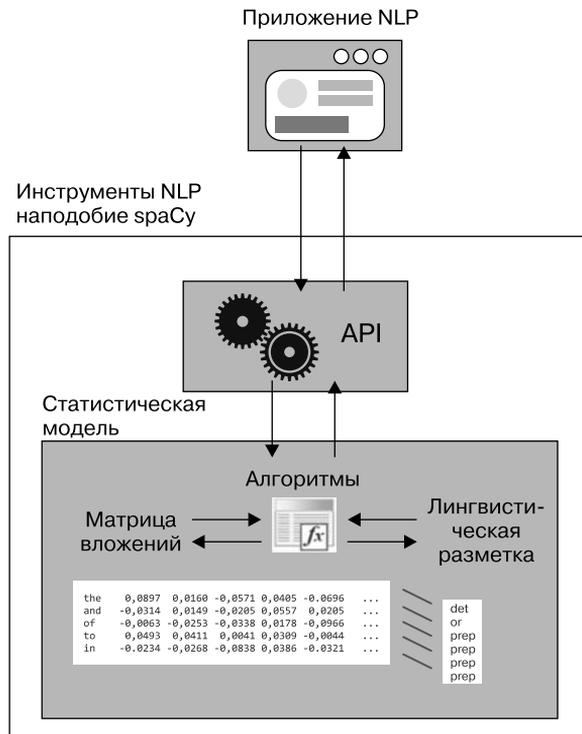


Рис. 1.4. Укрупненный вид архитектуры приложений NLP

Приложение взаимодействует с API spaCy, который абстрагирует статистическую модель, лежащую в его основе. Модель содержит такую информацию, как векторы слов, лингвистическая разметка и т. д. Лингвистическая разметка может иметь различные признаки, например теги частей речи и синтаксическую разметку. В статистической модели также есть набор алгоритмов машинного обучения для извлечения необходимой информации из данных.

На практике данные модели обычно хранятся в двоичном формате. Двоичные данные не рассчитаны на людей, но отлично подходят для машин, так как их можно легко хранить и быстро загружать.

Нейросетевые модели

В таких инструментах NLP, как spaCy, для разбора синтаксических зависимостей, частеречной разметки и распознавания именованных сущностей используются нейросетевые модели. *Нейронная сеть* (neural network) представляет собой набор алгоритмов предсказания. Она состоит из большого числа простых обрабатывающих элементов, подобных нейронам в мозге человека, которые взаимодействуют между собой путем отправки сигналов в соседние узлы и получения встречных сигналов.

Обычно узлы в нейронной сети сгруппированы по слоям: имеются входной и выходной слои, а между ними — один скрытый слой или более. Каждый узел в слое (за исключением выходного слоя) соединяется с каждым узлом из следующего слоя, и каждому соединению соответствует весовой коэффициент. Во время процесса обучения алгоритм подбирает веса таким образом, чтобы минимизировать ошибку предсказаний. Благодаря подобной архитектуре нейронная сеть способна выявлять паттерны даже в сложных входных данных.

По сути, нейронную сеть можно представить так, как на рис. 1.5.

Поступающий сигнал умножается на весовой коэффициент, который представляет собой вещественное число. Источниками передаваемых нейронной сети входных значений и весовых коэффициентов обычно служат векторы слов, сгенерированных во время обучения сети.

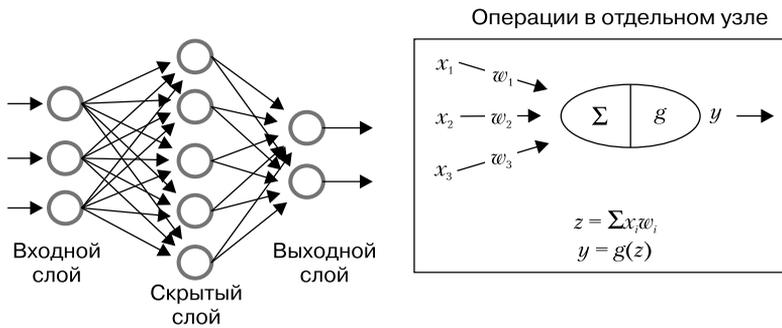


Рис. 1.5. Концептуальная схема нейронной сети и операций, происходящих в отдельном узле

Нейронная сеть складывает результаты этих умножений для всех узлов и передает вычисленную сумму функции активации. Та, в свою очередь, выдает результат (обычно в диапазоне от 0 до 1), генерируя новый сигнал, который затем передается в каждый из узлов последующего слоя, или, в случае выходного слоя, возвращая выходной сигнал. Обычно число узлов выходного слоя равно числу различных возможных исходов для данного алгоритма. Например, количество узлов в нейронной сети, предназначенной для частеречной разметки, должно совпадать с числом поддерживаемых системой тегов частей речи, как показано на рис. 1.6.

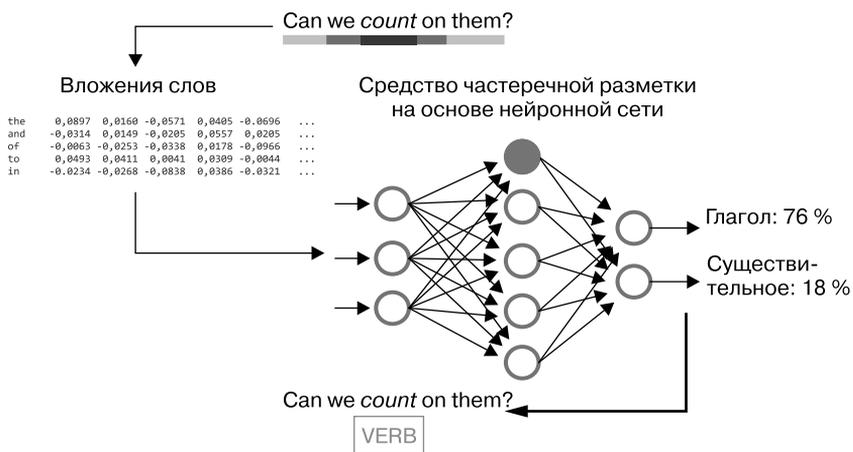


Рис. 1.6. Упрощенная схема процесса частеречной разметки

На выходе частеречной разметки выдается распределение вероятностей по всем возможным частям речи для заданного слова в конкретном контексте.

Использование сверточных нейронных сетей для NLP

Архитектура настоящей нейросетевой модели может быть очень сложной и состоять из большого числа различных слоев. Например, нейросетевая модель, применяемая в `sраСу`, представляет собой так называемую *сверточную нейронную сеть* (convolutional neural network, CNN), имеющую сверточный слой, который используется и при частеречной разметке, и в синтаксическом анализаторе, и при распознавании именованных сущностей. Сверточный слой применяет к отдельным областям входных данных набор фильтров обнаружения, проверяя, присутствуют ли в этих данных определенные признаки.

Посмотрим, как могла бы работать CNN при задаче частеречной разметки предложения из предыдущего примера:

Can we count on them?

Вместо того чтобы анализировать каждое слово по отдельности, сверточный слой сначала разбивает предложение на части. Предложение в NLP можно считать матрицей, каждая строка которой соответствует слову, представленному в виде вектора. Таким образом, если размерность каждого из векторов слов равна 300, а длина предложения — пять слов, получится матрица размером 5×300 . Если размер фильтра обнаружения в сверточном слое равен 3 (то есть он применяется к трем последовательным словам), размер покрывающих входные данные областей составит 3×300 . Такого контекста будет достаточно, чтобы соотнести каждое слово с тегом части речи.

Операция частеречной разметки с помощью сверточного подхода показана на рис. 1.7.

В предыдущем примере самым сложным для средства разметки было определить, к какой части речи относится слово *count*. Проблема в том, что в зависимости от контекста это слово может быть и глаголом, и существительным. Но задача резко упрощается, когда процедура

разметки видит фрагмент с сочетанием слов *we count on*, из которого ясно, что *count* может быть только глаголом.

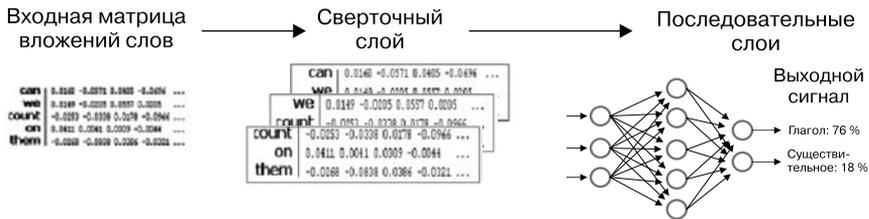


Рис. 1.7. Упрощенная схема применения сверточного подхода к задаче NLP

Подробный рассказ обо всем происходящем «под капотом» сверточной архитектуры выходит за рамки данной книги. Узнать больше об архитектуре нейросетевых статистических моделей spaCy можно из раздела *Neural Network Model Architecture* («Архитектура нейросетевых моделей») документации API spaCy.

Какие задачи остаются за вами?

В предыдущем разделе вы узнали, что библиотека spaCy использует нейросетевые модели для разбора синтаксических зависимостей, для частеречной разметки и для распознавания именованных сущностей. Поскольку spaCy решает эти задачи сама, что же остается вам как разработчику NLP-приложения?

Одна из вещей, которую библиотека spaCy не может сделать за вас, — распознать намерения пользователя. Допустим, вы занимаетесь продажей одежды и онлайн-приложение для приема заказов получило следующий запрос от клиента:

I want to order a pair of jeans.

Ваше приложение должно распознать, что клиент намерен разместить заказ на пару джинсов.

Если воспользоваться spaCy для разбора синтаксических зависимостей приведенной фразы, получится результат, показанный на рис. 1.8.

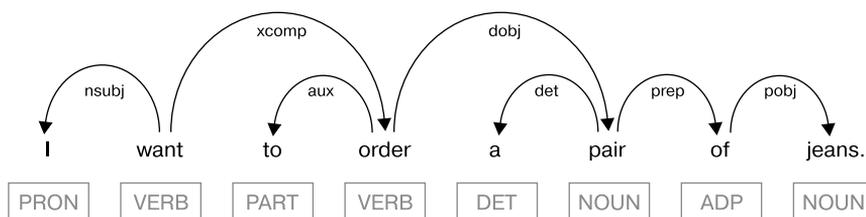


Рис. 1.8. Дерево зависимостей для нашего примера высказывания

Обратите внимание, что spaCy не отмечает элементы сгенерированного дерева как отражающие намерения пользователя. Иное было бы даже странно. Дело в том, что spaCy не знает, как именно вы реализовали логику приложения и какую разновидность намерений хотели бы видеть. Определять ключевые слова для решения задачи по распознаванию намерений можете только вы.

Для распознавания смысла высказывания или текста важны следующие основные аспекты: ключевые слова, контекст и переход значения.

Ключевые слова

Чтобы выбрать наиболее важные слова для распознавания смысла, можно воспользоваться результатами разбора синтаксических зависимостей. В примере с фразой *I want to order a pair of jeans* ключевыми словами, очевидно, являются *order* и *jeans*.

Обычно для формирования намерения вполне достаточно переходного глагола и его прямого дополнения. Но в данном примере ситуация более запутанная. Необходимо пройти по дереву зависимостей и извлечь *order* (переходный глагол) и *jeans* (предложное дополнение, относящееся к прямому дополнению *pair*).

Контекст

Контекст может играть важную роль при выборе ключевых слов, поскольку смысл одной и той же фразы может быть разным в разных контекстах. Допустим, нужно обработать следующее высказывание:

I want the newspaper delivered to my door.