

Школа-семинар для молодых ученых «Основы социоинженерии»
(ИПУ РАН, 21-22 мая 2018)

Области использования машинного интеллекта

Воронцов Константин Вячеславович
(Лаборатория машинного интеллекта МФТИ)

k.v.vorontsov@phystech.edu

Машинный интеллект как основа цифровой экономики

1. Знакомство с машинным обучением

- Основные понятия
- Примеры прикладных задач
- Современный бум искусственного интеллекта

2. Методология машинного обучения

- Процессы: межотраслевой стандарт CRISP-DM
- Данные: сбор, очистка, открытые данные и конкурсы
- Методы: какие они бывают, как в них ориентироваться
- Оценивание: проблемы недообучения и переобучения
- Будущее: какие технологии станут востребованы завтра

«Четвёртая технологическая революция строится на вездесущем и мобильном Интернете, *искусственном интеллекте* и *машинном обучении*» (2016)

Клаус Мартин Шваб,
президент Всемирного
экономического форума

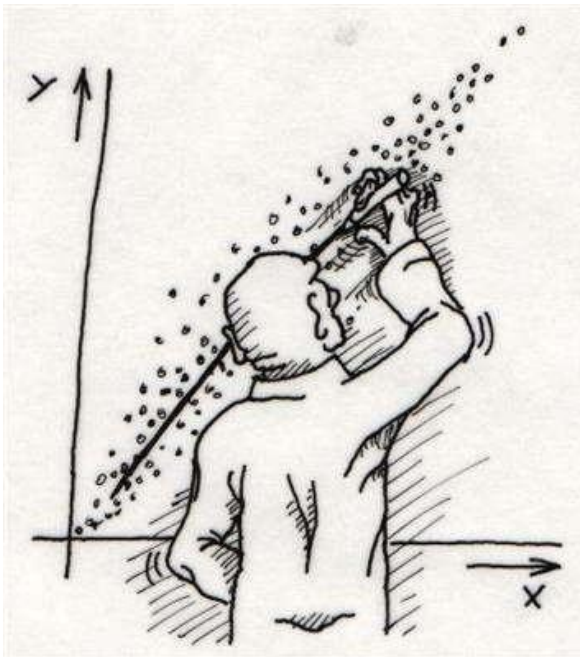


Машинное обучение, большие данные «и много других страшных слов»

- Статистический анализ данных (Statistical Data Analysis)
- Искусственный интеллект (Artificial Intelligence) 1955
- Распознавание образов (Pattern Recognition)
- Машинное обучение (Machine Learning) 1959
- Статистическое обучение (Statistical Learning)
- Интеллектуальный анализ данных (Data Mining) 1989
- Машинный интеллект (Machine Intelligence) 2000
- Бизнес-аналитика (Business Intelligence, Business Analytics)
- Предсказательная аналитика (Predictive Analytics) 2007
- Большие данные (Big Data) 2008
- Аналитика больших данных (Big Data Analytics)
- Наука о данных (Data Science) 2011

Машинное обучение (Machine Learning)

- одна из ключевых информационных технологий будущего
- наиболее успешное направление *искусственного интеллекта*, вытеснившее экспертные системы и инженерию знаний



- *проведение функции через заданные точки в сложно устроенных пространствах*
- математическое моделирование в условиях, когда знаний мало, данных много
- тысячи различных методов и алгоритмов
- около 100 000 научных публикаций в год

Основная задача машинного обучения

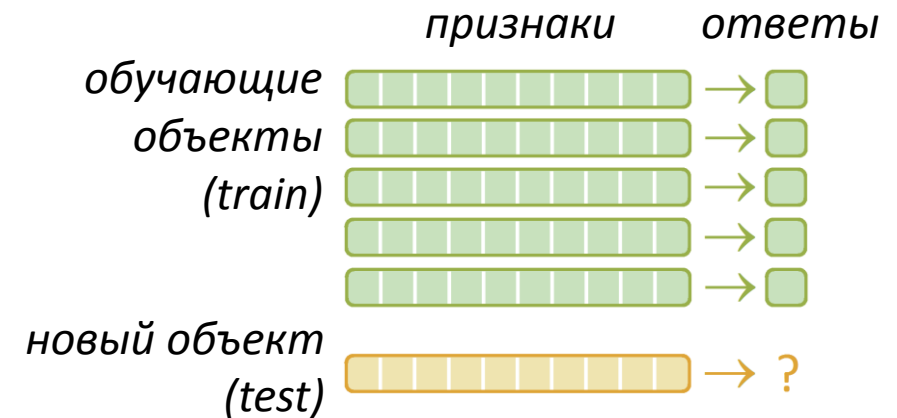
Этап №1 – обучение с учителем

- **На входе:**
данные – выборка прецедентов «объект → ответ»,
каждый объект описывается *вектором признаков*
- **На выходе:**
модель, предсказывающая ответ по объекту

Если нет данных,
то нет
и машинного
обучения

Этап №2 – применение

- **На входе:**
данные – новый объект
- **На выходе:**
предсказание ответа на новом объекте



Примеры задач машинного обучения

- **Медицинская диагностика:**

объект – данные о пациенте на текущий момент

ответ – диагноз / лечение / риск исхода



- **Поиск месторождений полезных ископаемых:**

объект – данные о геологии района

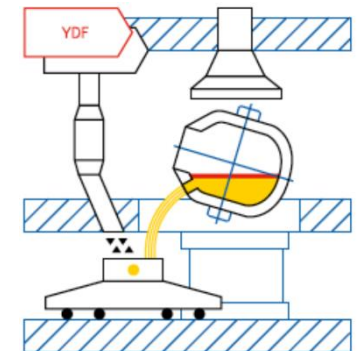
ответ – есть/нет месторождение



- **Управление технологическими процессами:**

объект – данные о сырье и управляющих параметрах

ответ – количество/качество полезного продукта



Примеры задач машинного обучения

- **Кредитный скоринг:**

объект – данные о заёмщике

ответ – решение по кредиту & вероятность дефолта



- **Предсказание оттока клиентов:**

объект – данные о клиенте на момент времени t

ответ – уйдёт ли клиент к моменту времени $t + \Delta$



- **Прогнозирование объёмов продаж:**

объект – данные о продажах на момент времени t

ответ – объём спроса в интервале от t до $t + \Delta$



Примеры задач машинного обучения

- **Информационный поиск в Интернете:**

объект – данные о паре «запрос и документ»

ответ – оценка релевантности документа запросу



- **Продажа рекламы в Интернете:**

объект – данные о тройке «пользователь, страница, баннер»

ответ – оценка вероятности клика

- **Рекомендательные системы в Интернете / TV:**

объект – данные о паре «пользователь, товар / фильм»

ответ – оценка вероятности покупки / просмотра



Примеры задач с не векторными данными

- **Статистический машинный перевод:**

объект – предложение на естественном языке

ответ – его перевод на другой язык

- **Перевод речи в текст:**

объект – аудиозапись речи человека

ответ – текстовая запись речи

- **Компьютерное зрение:**

объект – динамика сцены в видеопоследовательности

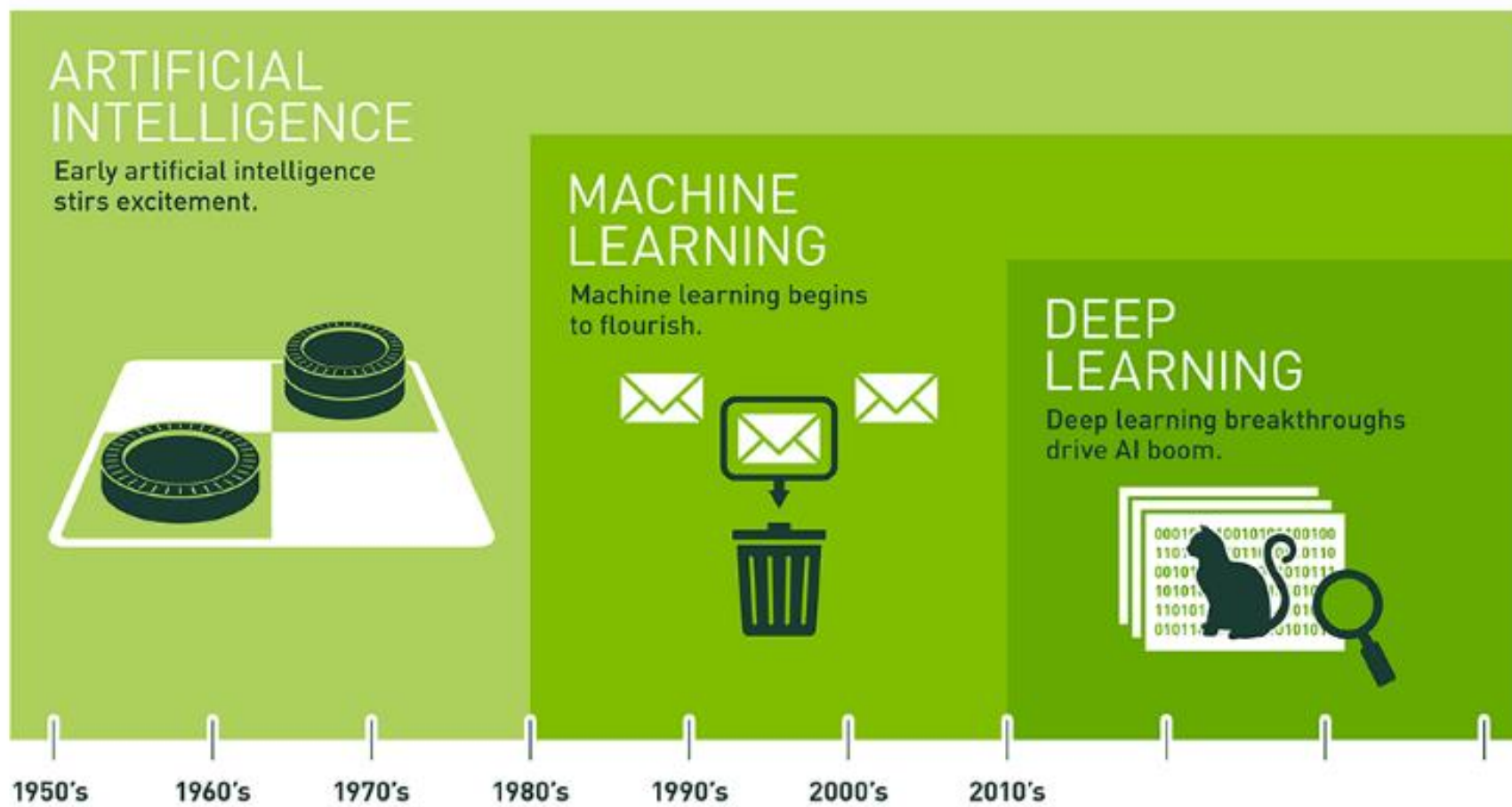
ответ – решение (объехать, остановиться, игнорировать)

*Прогресс в этих
областях связан с
«большими данными»
(англ. «Big Data»)*

...очень важное уточнение:

***с аккуратными
большими данными***

Эволюция искусственного интеллекта



Глубокое обучение – одна из новейших технологий машинного обучения

Пока не ясно, вытеснит ли она все остальные методы

Since an early flush of optimism in the 1950s, smaller subsets of artificial intelligence – first machine learning, then deep learning, a subset of machine learning – have created ever larger disruptions.

Бум искусственного интеллекта

1997: IBM Deep Blue обыграл чемпиона мира по шахматам

2005: Беспилотный автомобиль: DARPA Grand Challenge

2006: Google Translate – статистический машинный перевод

2011: 40 лет DARPA CALO привели к созданию Apple Siri

2011: IBM Watson победил в ТВ-игре «Jeopardy!»

2011–2015: ImageNet: 25% → 3,5% ошибок против 5% у людей

2012: Google X Lab: распознавание видеокадров с котами

2015: Фонд OpenAI в \$1 млрд. Илона Маска и Сэма Альтмана

2016: DeepMind, OpenAI: динамическое обучение играм Atari

2016: Google DeepMind обыграл чемпиона мира по игре го

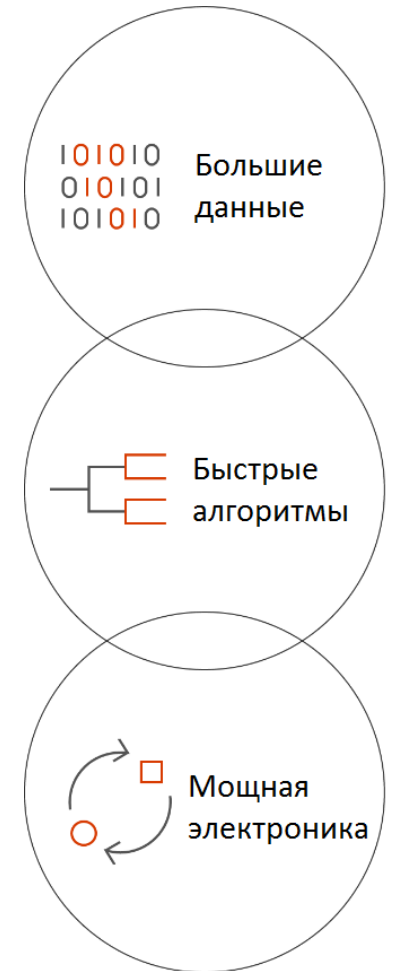
2017: OpenAI обыграл чемпиона мира по компьютерной игре Dota 2



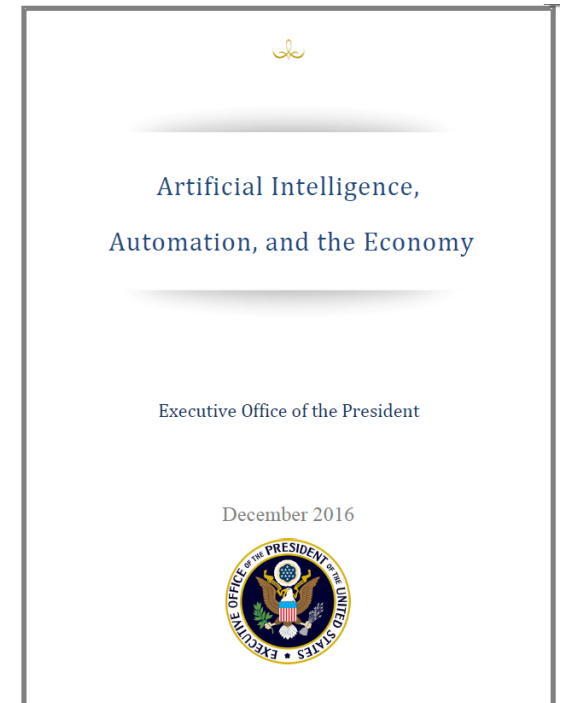
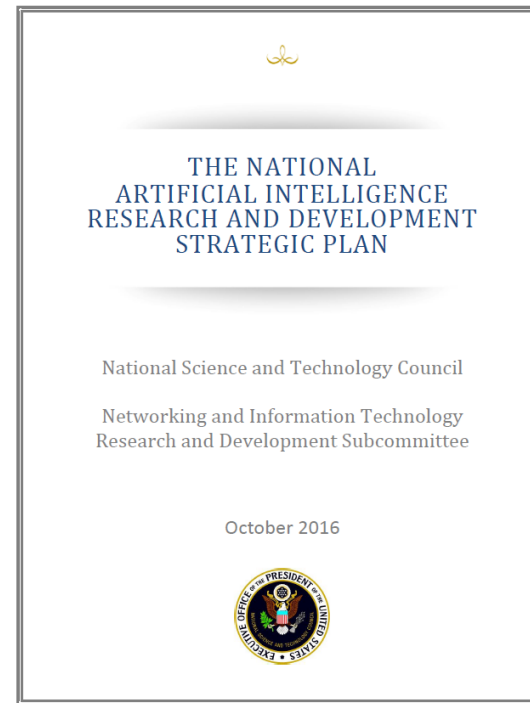
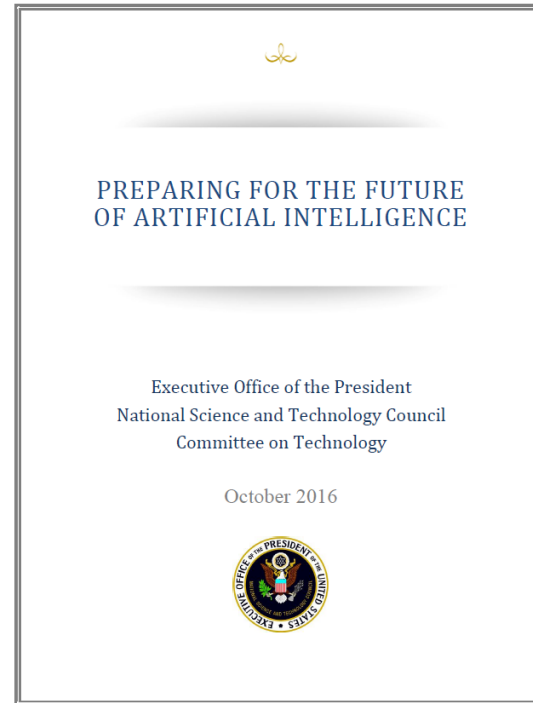
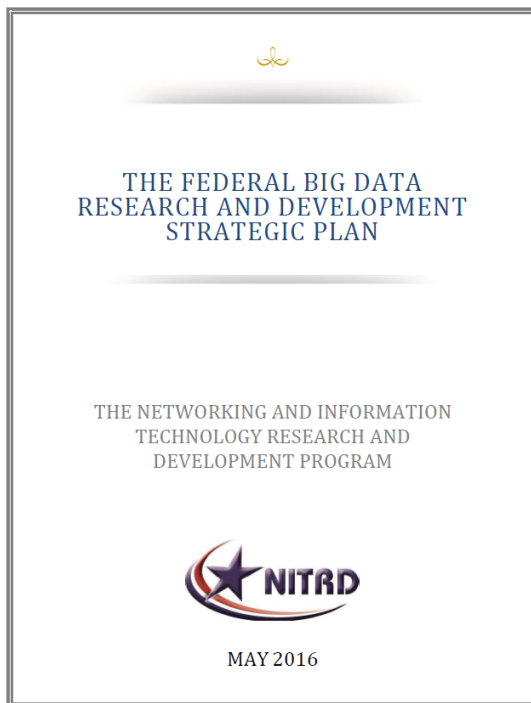
Три предпосылки этого бума

– три перехода количества в качество:

- Повсеместное применение компьютерных технологий
→ *накопление больших выборок данных*
пример: ImageNet
- Развитие математических методов и алгоритмов
→ *накопление критической массы опыта*
пример: Deep Neural Networks
- Достижения микроэлектроники
→ *рост вычислительных мощностей по закону Мура*
пример: GPU



Отчёты Белого дома США, май-октябрь 2016



«Nations with the strongest presence in AI R&D will establish leading positions in the automation of the future»

Основные выгоды ИИ

- **Сокращение издержек и повышение производительности труда**
- Автоматизация банковских и финансовых услуг (FinTech)
- Автоматизация юридических услуг (LegalTech)
- Автоматизация посреднической деятельности, распределённая экономика
- Роботизация производств, автономный транспорт
- Оптимизация логистики и цепей поставок
- Оптимизация энергетических и транспортных сетей
- Сенсорные сети, мониторинг сельского хозяйства
- Персональная медицина, улучшение клинических практик
- Персональные образовательные траектории, социальная инженерия
- Автономные системы вооружений

Некоторые из 23 рекомендаций

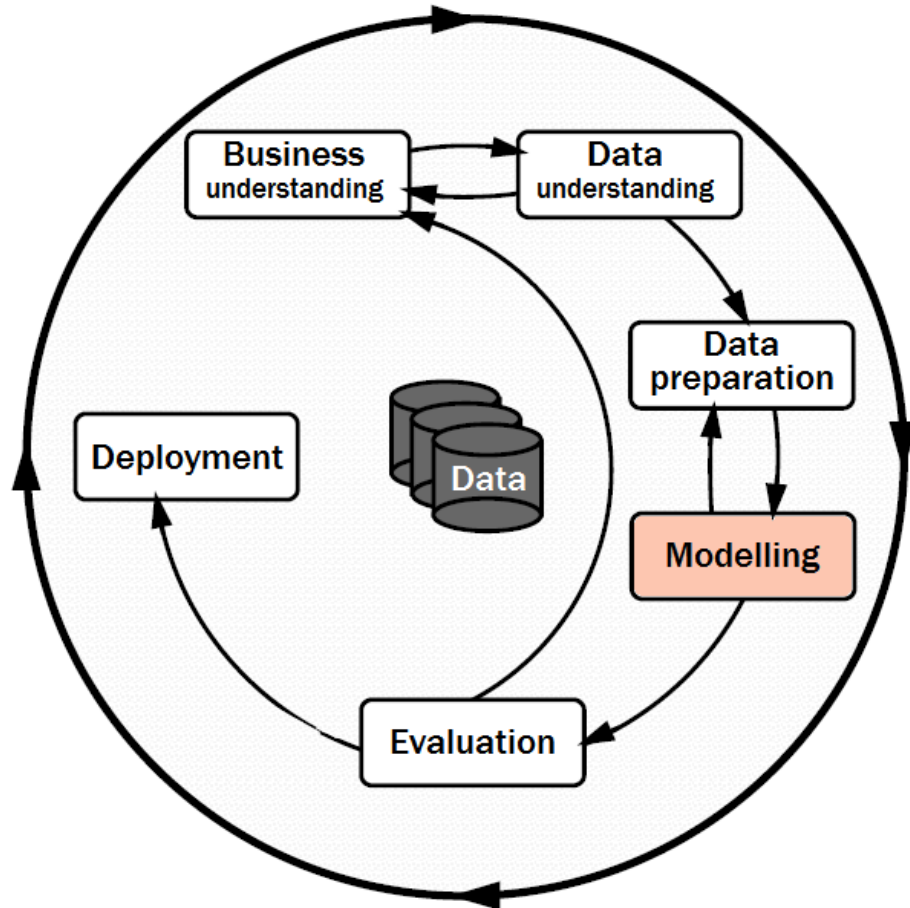
- #1. Организации должны активно развивать партнёрство с научными коллективами для эффективного использования данных.
- #2. В приоритетном порядке развивать стандарты *открытых данных* для привлечения научного сообщества к решению задач.
- #8. Инвестировать в разработку систем автоматического управления воздушным трафиком.
- #11. Вести постоянный мониторинг развития ИИ в других странах.
- #13. Приоритетно поддерживать фундаментальные и долгосрочные исследования в области искусственного интеллекта.
- #14. Развивать образовательные программы по ИИ и курсы повышения квалификации для прикладных специалистов.
- #20. Развивать международную кооперацию по ИИ.
- #22. Учитывать взаимовлияние ИИ и кибербезопасности.

Машинный интеллект как основа цифровой экономики

1. Знакомство с машинным обучением
2. Методология машинного обучения
 - Процессы: межотраслевой стандарт CRISP-DM
 - Данные: сбор, очистка, открытые данные и конкурсы
 - Методы: какие они бывают, как в них ориентироваться
 - Оценивание: проблемы недообучения и переобучения
 - Будущее: какие технологии станут востребованы завтра

Стандартный процесс анализа данных

CRISP-DM: Cross Industry Standard Process for Data Mining (1999)



- понимание бизнес-задач
- понимание данных
- предобработка данных
- инженерия признаков
- построение моделей
- оптимизация параметров
- контроль переобучения
- оценивание качества решения
- внедрение и эксплуатация

Особенности реальных данных

В реальных приложениях данные бывают ...

- разнородные (признаки измерены в разных шкалах)
- неполные (признаки измерены не все, имеются пропуски)
- неточные (признаки измерены с погрешностями)
- противоречивые (объекты одинаковые, ответы разные)
- избыточные (сверхбольшие, не помещаются в память)
- недостаточные (объектов меньше, чем признаков)
- неструктурированные (нет признаков описаний)
- «грязные» (ошибочные, грубо не соответствующие истине)

*со всем этим
можно
работать*



*но только не
с грязными
данными!*



Особенности реальных постановок задач

Особенность текущего момента: заказчик зачастую...

- не знает точно, чего хочет («чтобы было хорошо»)
- не имеет численных критериев качества (KPI)
- не заботится о чистоте данных
- не готов пилотировать новые технологии
- не понимает ограничений готовых методов
- не отличает простые задачи от сложных

Выход есть – становиться цивилизованнее

- кооперация бизнеса и науки
- трансформация бизнес-процессов
- введение контроля качества данных
- проведение открытых конкурсов

*Для внедрения
искусственного
интеллекта
придётся
напрягать
естественный*

Открытые данные для машинного обучения

Выгоды открытых данных

- *для государства:* новые сервисы, кооперация бизнеса и науки
- *для индустрии:* бенчмаркинг, стандартизация, популяризация
- *для компаний:* подбор исполнителей, сокращение издержек и рисков
- *для исследователей:* проверка новых теорий и технологий в деле
- *для студентов:* получение опыта, наработка портфолио

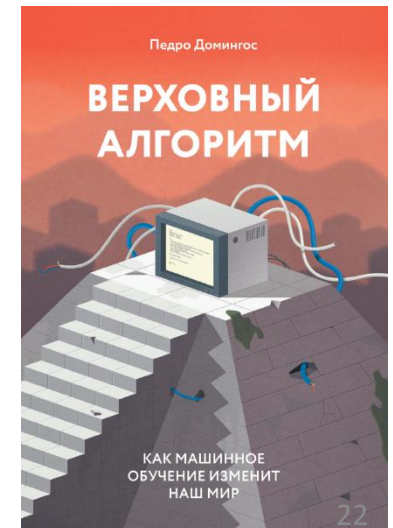
Конкурсы анализа данных

- www.NetflixPrize.com (2006-2009) – первый крупный конкурс, \$1 млн.
- www.kaggle.com – наиболее известная в мире платформа
- DataRing.ru – отечественная конкурсная платформа
(+ консалтинг по подготовке данных и условий конкурса)

Основные школы машинного обучения

- *Символизм* – поиск логических закономерностей
- *Коннекционизм* – обучаемые нейронные сети
- *Эволюционизм* – адаптивная оптимизация сложных моделей
- *Байесионизм* – оценивание распределений над параметрами
- *Аналогизм* – «близким объектам близкие ответы»
- + *Композиционизм* – кооперация моделей

Педро Домингос. «Верховный алгоритм». 2016.

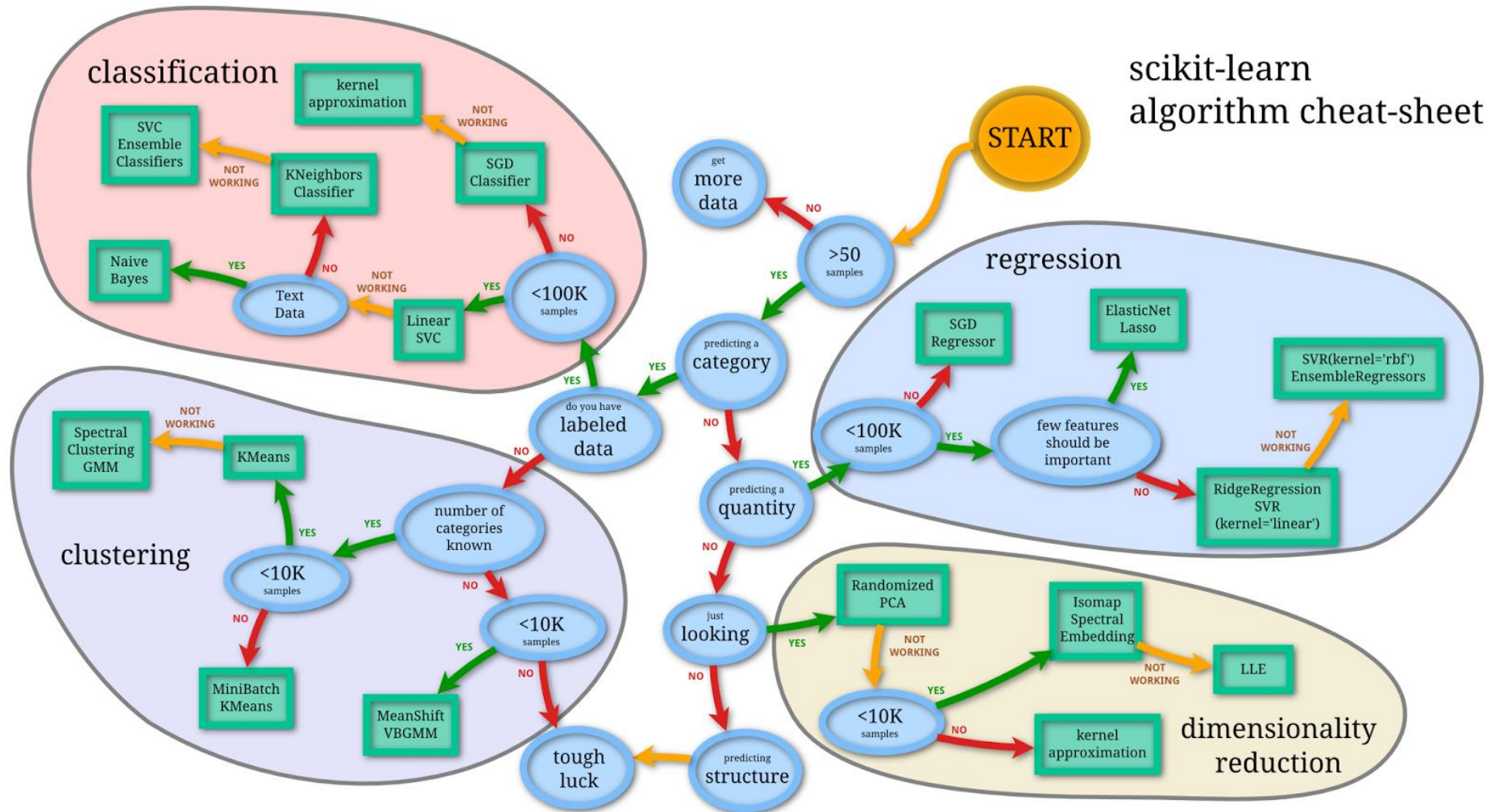


Отличия ML от классического моделирования

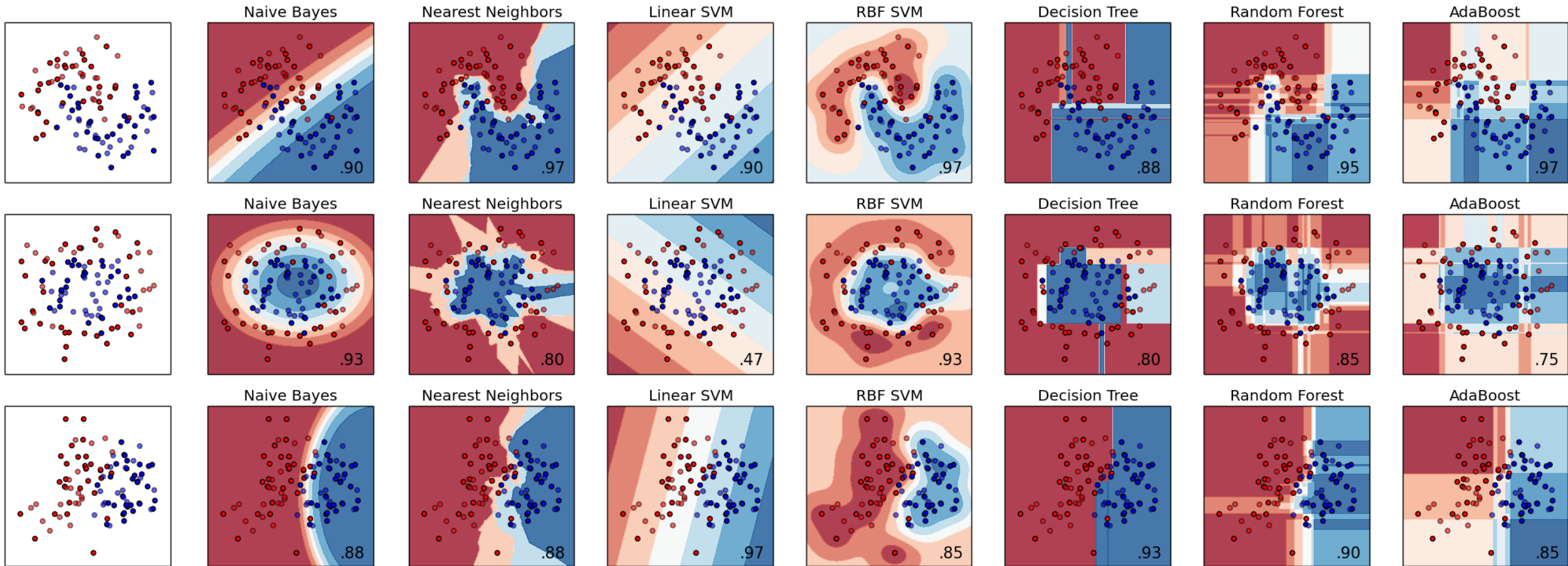
- Обилие данных компенсирует недостаток предметных знаний
- Вместо узких моделей – универсальные аппроксиматоры
- Нет строгих теорий, но нет и сомнительных модельных гипотез
- Многие (но не все) модели машинного обучения – «чёрные ящики»
- **Нет чётких различий! Граница размыта.**

*Машинное обучение
— разновидность
математического
моделирования*

Задачи и методы машинного обучения



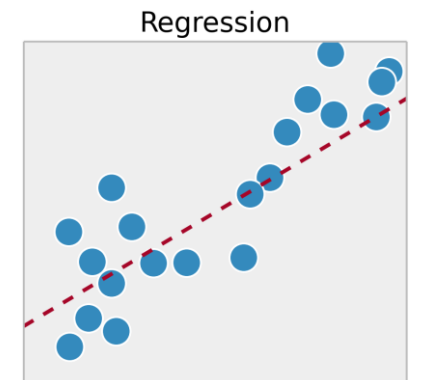
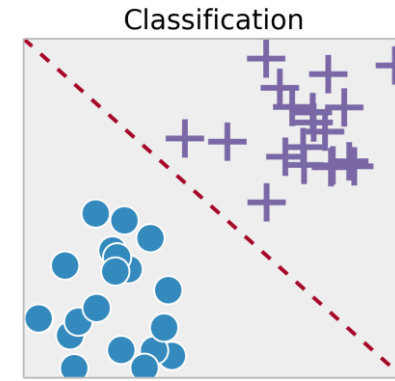
Зоопарк моделей и методов классификации



Типология задач машинного обучения

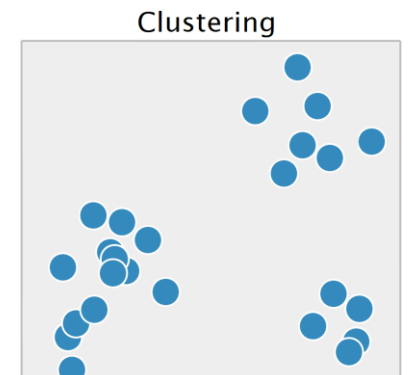
Обучение с учителем (supervised learning)

- классификация (classification)
- регрессия (regression)
- ранжирование (learning to rank)
- прогнозирование (forecasting)



Обучение без учителя (unsupervised learning)

- кластеризация (clustering)
- поиск ассоциативных правил (association rule learning)
- восстановление плотности распределения (density estimation)
- одноклассовая классификация (anomaly detection)



Частичное обучение (semi-supervised learning)

- обучение с положительными примерами (PU-learning)

Типология задач машинного обучения

Предварительная обработка (data preparation)

- извлечение признаков (feature extraction)
- отбор признаков (feature selection)
- восстановление пропусков (missing values)
- обнаружение выбросов (outlier detection)
- уменьшение шума (noise reduction)

Обучение представлений (representation learning)

- обучение признаков (feature learning)
- анализ главных компонент (principal component analysis)
- матричные и тензорные разложения (matrix and tensor factorization)
- обучение многообразий (manifold learning)

Типология задач машинного обучения

Адаптивное обучение

- Онлайнное/инкрементное обучение (online/incremental learning)
- Обучение с подкреплением (reinforcement learning)
- Активное обучение (active learning)

Новые и активно развивающиеся направления

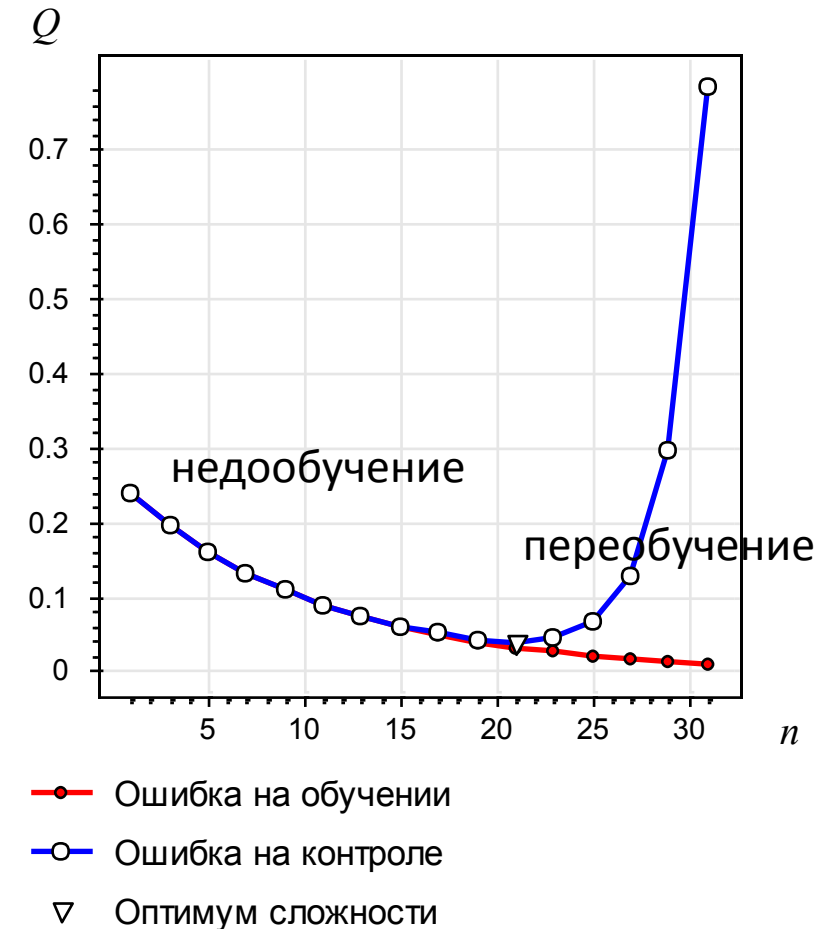
- Обучение глубоких сетей (deep learning)
- Состязательное обучение (adversarial learning)
- Привилегированное обучение (learning with privileged information)
- Обучение выявлению связей (relational learning)
- Обучение с переносом опыта (transfer learning)
- Мета-обучение (meta-learning)

Количественное оценивание моделей

- **Внутренние критерии:**
для оптимизации параметров модели
- **Внешние критерии:**
для оценивания обобщающей способности
и оптимизации сложности модели

Часто используемые внешние критерии:

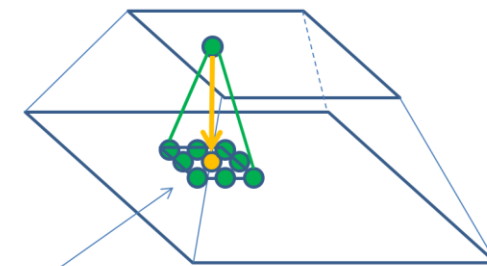
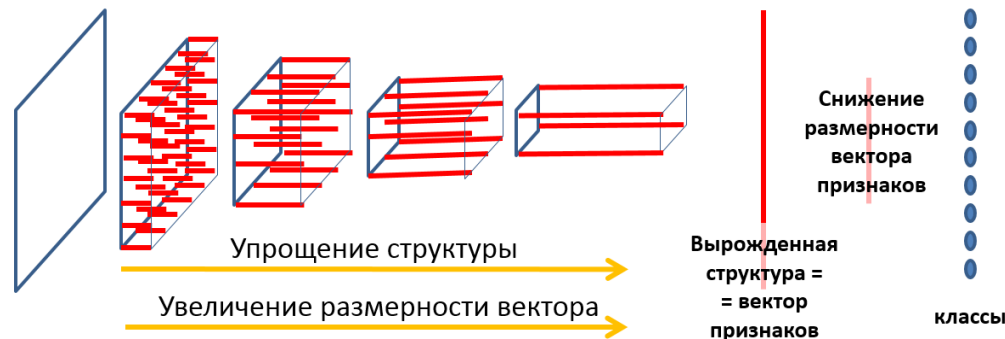
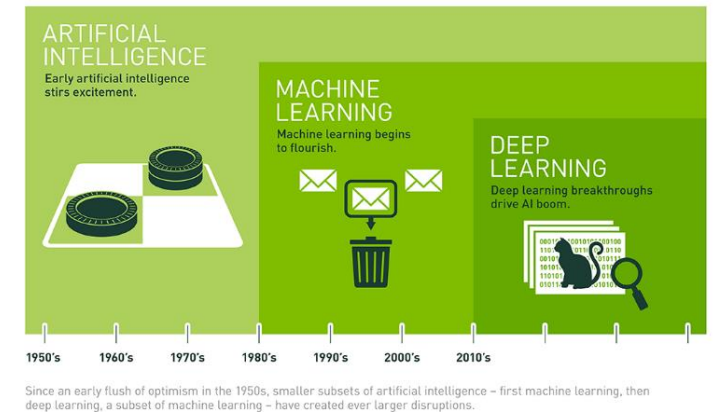
- hold-out
- (q-fold) cross-validation, leave-one-out
- out-of-sample, out-of-time



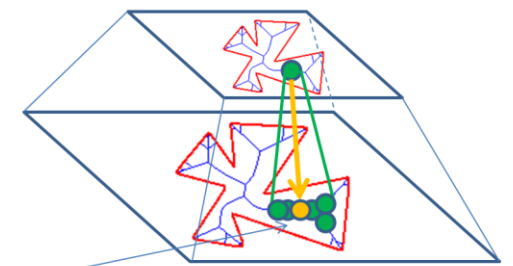
Будущее: вытеснит ли DL всё остальное ML?

Глубокие сети – это инструмент автоматизации извлечения признаков (Feature Extraction).

Ближайшее будущее: свёрточные сети обобщаются на любые данные с локальными структурами.



Прямоугольное окно заданного размера с центром в заданной точке + операция свёртки по окну



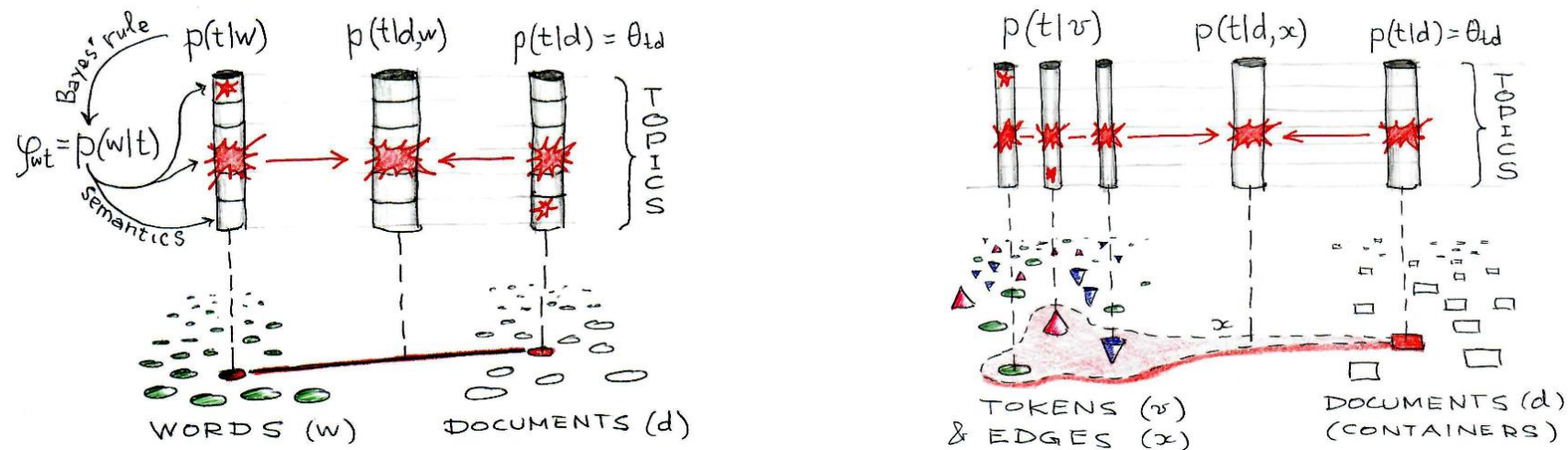
Локальная окрестность, определяемая для любой вершины графа + операция свёртки по окрестности

Визильтер Ю.В., Горбацевич В.С. Структурно-функциональный анализ и синтез глубоких конволюционных нейронных сетей. ММРО-2017.

Будущее: векторизация сложных данных

Сложные данные: тексты, изображения, графы, гиперграфы, транзакции
векторные представления объектов:

- *неинтерпретируемые:* word2vec, doc2vec, node2vec, graph2vec, prod2vec, StarSpace,...
- *интерпретируемые:* тематические модели (Topic Models)



Воронцов К.В. Вероятностное тематическое моделирование: обзор моделей и аддитивная регуляризация. www.MachineLearning.ru. 2018.

Будущее: платформы адаптивного обучения

Обычная схема решения задач DS|ML|AI:

- Забираем данные из промышленной системы (долго!)
- Строим модели, экспериментируем в удобной для нас среде
- Переносим модели обратно в пром (долго!)

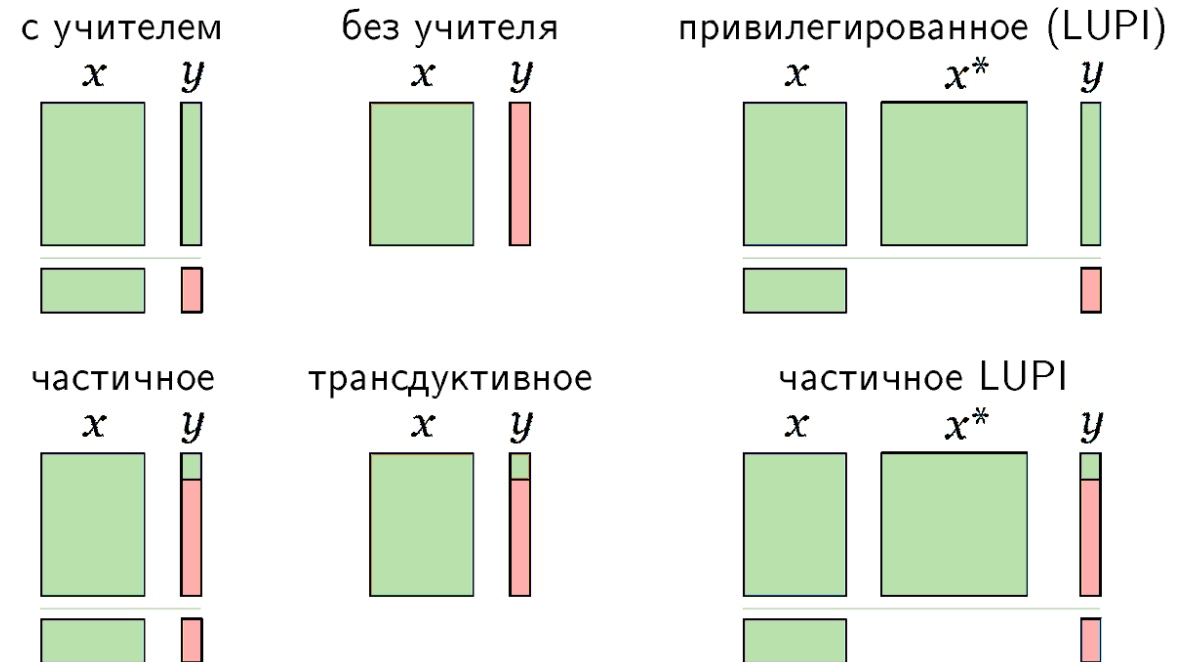
Будущее – за онлайн-машинным обучением:

- Предобработка данных и дообучение моделей – налету
- Модель включается только после периода валидации
- Модели валидируются и отбираются по совокупности критериев
- Работа аналитика – постоянный мониторинг качества моделей

Будущее: привилегированная информация

Более естественная модель обучения с учителем:
LUPI – Learning Using Privileged Information

- На стадии обучения учитель сообщает важную информацию x^* об объектах обучения
- Но на стадии тестирования этой информации не будет



Будущее: роли в профессии анализа данных

Инженер по данным (Data Engineer)

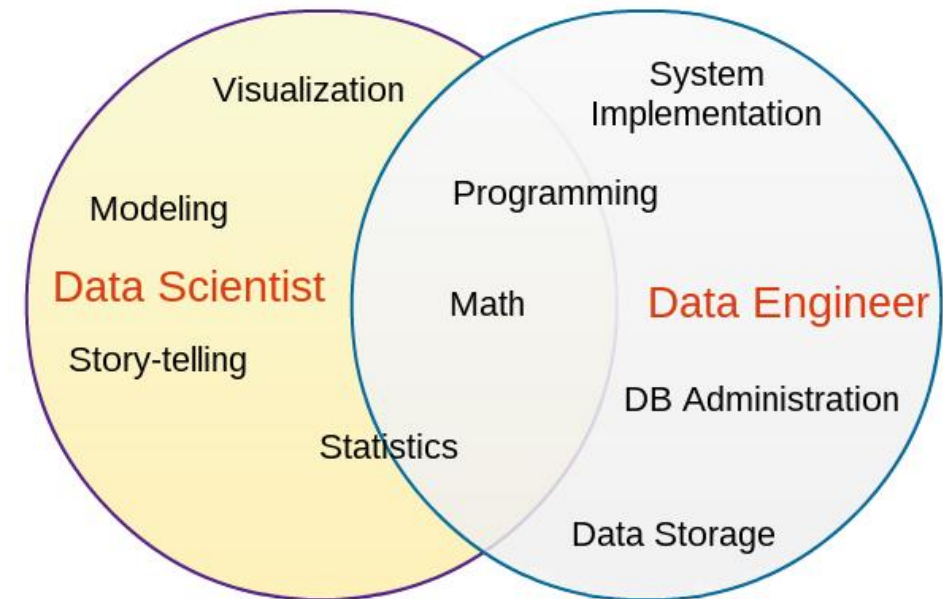
- Понимает бизнес-процессы, порождающие данные
- Работает с сырыми данными в различных форматах
- Визуализирует, понимает, очищает, готовит данные

Исследователь данных (Data Scientist)

- Моделирует, строит признаки (feature engineering)
- Выбирает модели и методы, оценивает решения
- Ходит по кругу CRISP-DM

Менеджер проектов по анализу данных

- Организует бизнес-процессы сбора и очистки данных
- Видит бизнес задачи и формализует их в терминах «Дано-Найти-Критерий»
- Организует открытые конкурсы и пилотные проекты
- Адекватно оценивает сложность задач и трудозатраты



Рекомендуемая литература

- *Домингос П.* Верховный алгоритм. 2016.
- *Коэльо Л. П., Ричарт В.* Построение систем машинного обучения на языке Python. 2016.
- *Мерков А. Б.* Распознавание образов. Введение в методы статистического обучения. 2011.
- *Мерков А. Б.* Распознавание образов. Построение и обучение вероятностных моделей. 2014.
- *Бенджио И., Гудфеллоу Я., Курвилль А.* Глубокое обучение. ДМК-Пресс, 2018.
- *Николенко С., Кадурын А., Архангельская Е.* Глубокое обучение. Питер, 2018.
- *Воронцов К. В.* Лекции по машинному обучению. www.MachineLearning.ru, 2004-2018.
- *Hastie T., Tibshirani R., Friedman J.* The Elements of Statistical Learning. Springer, 2014.
- *Bishop C. M.* Pattern Recognition and Machine Learning. - Springer, 2006.