

Высшая Школа Системного Инжиниринга МФТИ

Искусственный интеллект и машинное обучение

Воронцов Константин Вячеславович

д.ф.-м.н., профессор РАН,
руководитель лаборатории Машинного интеллекта МФТИ

k.v.vorontsov@phystech.edu

Докладчик: *Воронцов Константин Вячеславович*

http://www.MachineLearning.ru/wiki?title=User:Vokov

Участник:Vokov

Файл Правка Вид Избранное Сервис Справка

https--arxiv.org-pdf-1405... Коллекция веб-фрагм...

участник обсуждение править история удалить переименовать защитить не следить

Участник:Vokov

Воронцов Константин Вячеславович
профессор РАН, д.ф.-м.н.
Зав. отделом «Интеллектуальные системы» Вычислительного центра ФИЦ ИУ РАН.
Зав. лабораторией **машинного интеллекта** МФТИ.
Проф. каф. «Интеллектуальные системы» ФУПМ МФТИ.
Доц. каф. «Математические методы прогнозирования» ВМК МГУ.
Преподаватель Школы анализа данных Яндекс.
Зам. директора по науке ЗАО «Форексис», www.forecsys.ru.
Один из идеологов и Администраторов ресурса **MachineLearning.RU**.
Прочие подробности — на подстранице [Curriculum vitae](#).
Мне можно написать письмо.

Содержание [убрать]

- 1 Учебные материалы
 - 1.1 Курсы лекций
 - 1.2 Рекомендации для студентов и аспирантов
- 2 Выступления на конференциях и семинарах
- 3 Научные интересы
 - 3.1 Анализ текстов и информационный поиск
 - 3.2 Диагностика заболеваний по ЭКГ
 - 3.3 Теория обобщающей способности
 - 3.4 Комбинаторная (перестановочная) статистика
 - 3.5 Прогнозирование объёмов продаж
 - 3.6 Другие проекты и семинары
- 4 Публикации
- 5 Софт
- 6 Аспиранты и студенты
 - 6.1 Бакалаврские диссертации
 - 6.2 Магистерские диссертации
 - 6.3 Дипломные работы
 - 6.4 Кандидатские диссертации
- 7 Ссылки

навигация

- Заглавная страница
- Сообщество
- Новости
- Последние правки
- Случайная статья
- Справка
- Инструктаж
- Вопросы и ответы
- ToDo

- Энциклопедия анализа данных
- Популярные и обзорные статьи
- Публикации
- Полезные ссылки

- Профиль ORCID = 0000-0002-4244-4270
- Профиль SCOPUS ID = 6507982932
- Профиль WoS ResearcherID = G-7857-2014
- Профиль Google Scholar
- Профиль DBLP

Искусственный интеллект и машинное обучение

1. Задачи, возможности и ограничения машинного обучения

- Бум искусственного интеллекта и нейронных сетей
- Постановки задач и терминология машинного обучения
- Примеры задач машинного обучения

2. Методология машинного обучения

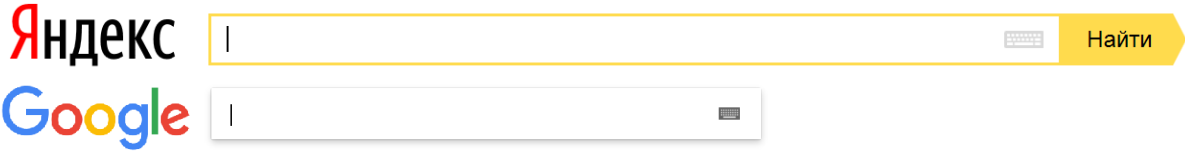
- Особенности данных и прикладных постановок задач
- Промышленное решение задач машинного обучения
- Типология задач машинного обучения
- Перспективные направления машинного обучения

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

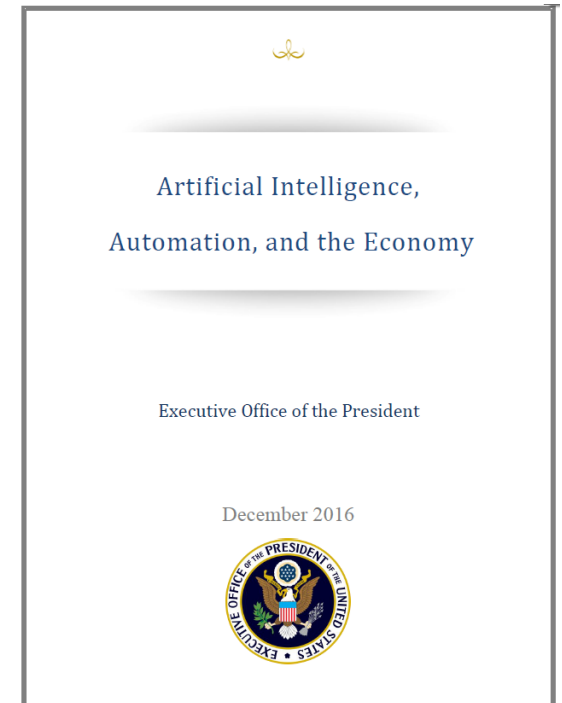
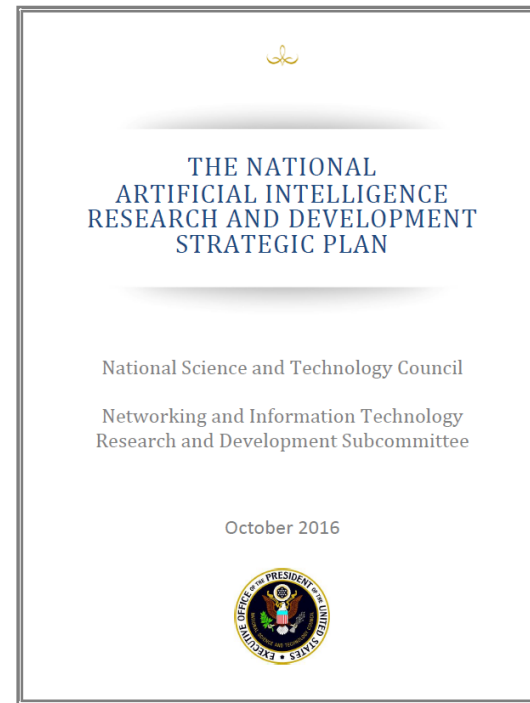
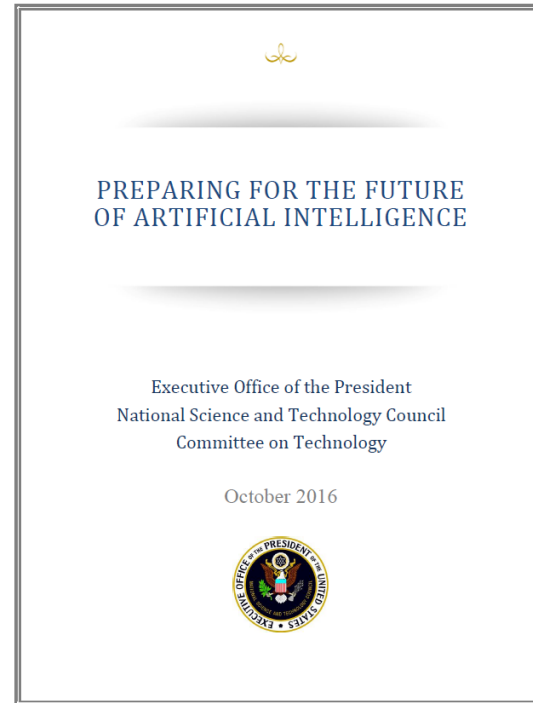
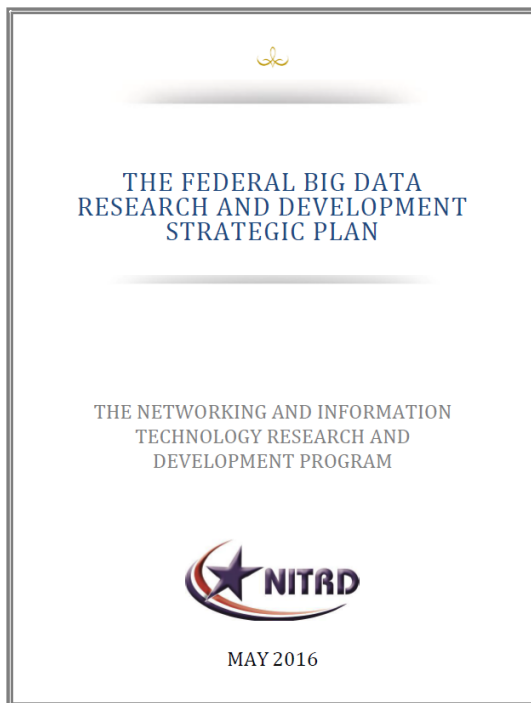
Клаус Мартин Шваб,
президент Всемирного
экономического форума



Технологии ИИ, которые меняют мир



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.

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!»

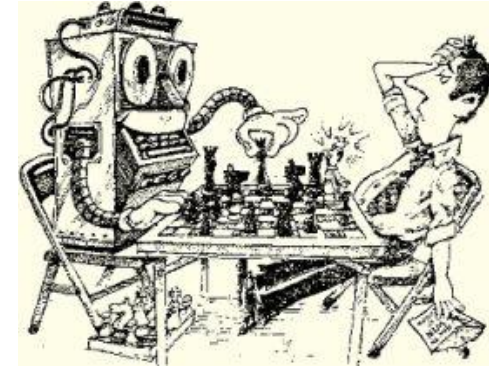
2011–2018: ImageNet: 25% → 2,5% ошибок против 5% у людей

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

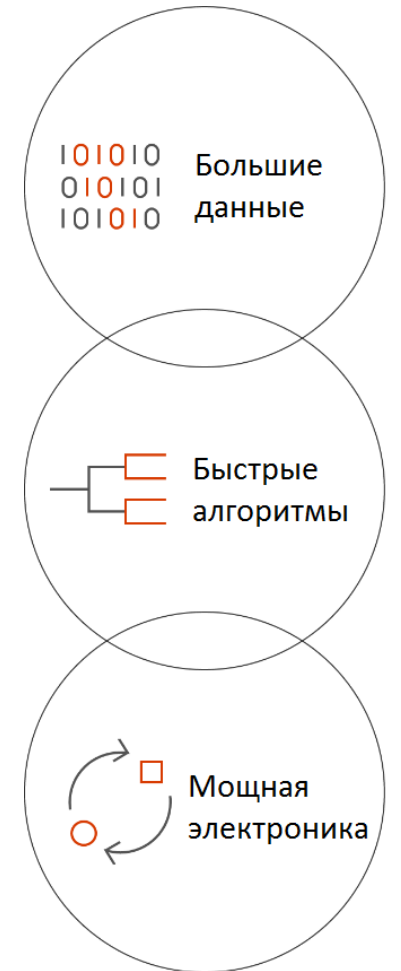
2017: OpenAI обыграл чемпиона мира по компьютерной игре Dota 2



Три предпосылки этого бума

– три перехода количества в качество:

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



Глубокие нейронные сети обеспечили прорыв в компьютерном зрении

ImageNet: открытая выборка 15М размеченных изображений



Google: Распознавание кадров с котами на видео из Youtube

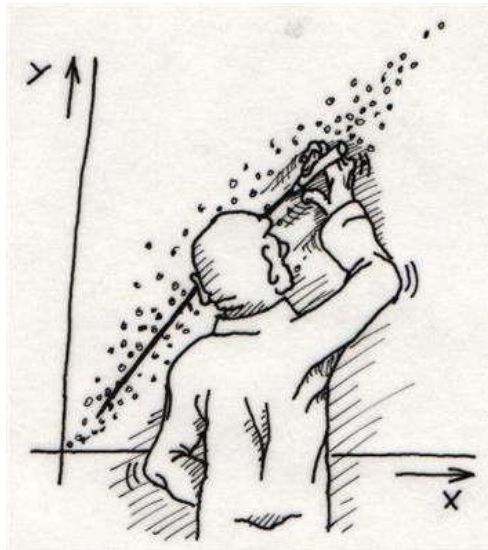
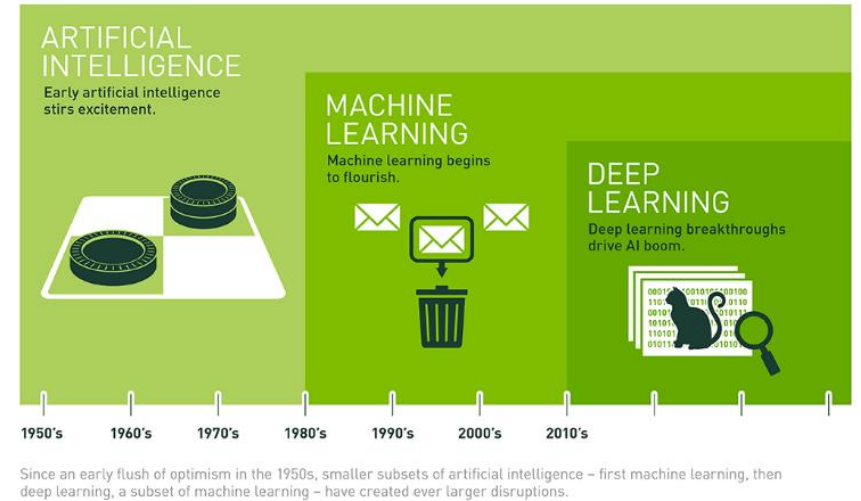


Машинное обучение, большие данные «и много других страшных слов»

- 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, ML)

- одна из ключевых информационных технологий будущего
- наиболее успешное направление ИИ, 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

Задача машинного обучения с учителем

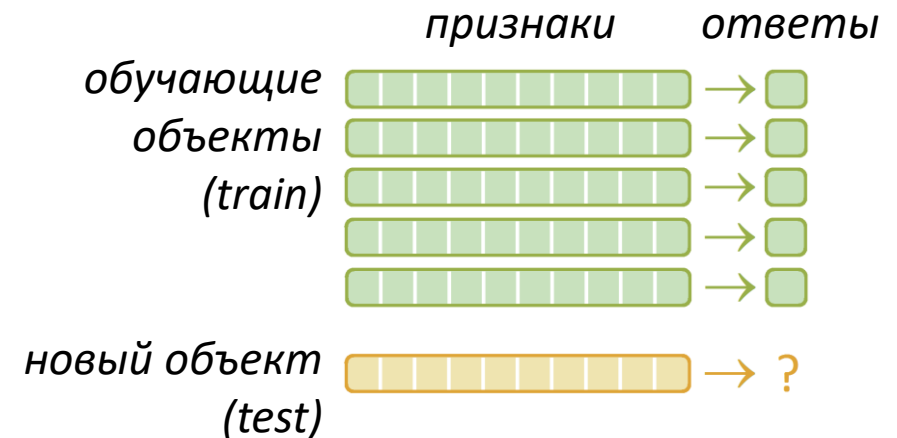
Этап №1 – обучение с учителем

- **На входе:**
данные – выборка прецедентов «*объект* → *ответ*»,
каждый объект описывается набором *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

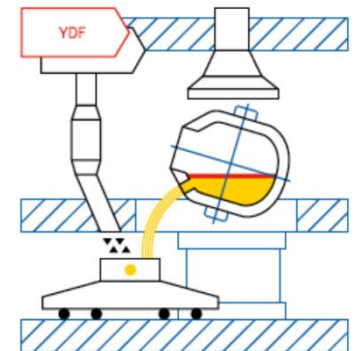
ответ – есть/нет месторождение



- **Управление технологическими процессами:**

объект – данные о сырье и управляющих параметрах

ответ – количество/качество полезного продукта



Примеры задач ML в бизнесе

- **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 ML в интернет-сервисах

- **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 ML в LegalTech

- **Поиск схожей судебной практики:**

объект – текст иска, акта или обращения заявителя

ответ – ранжированный список схожих дел



- **Рекомендательный сервис:**

объект – пара «описание дела, профиль юриста/фирмы»

ответ – ранжированный список консультантов



- **Предсказание судебного решения:**

объект – описание дела, документы по делу

ответ – вероятность выиграть дело



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***

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*

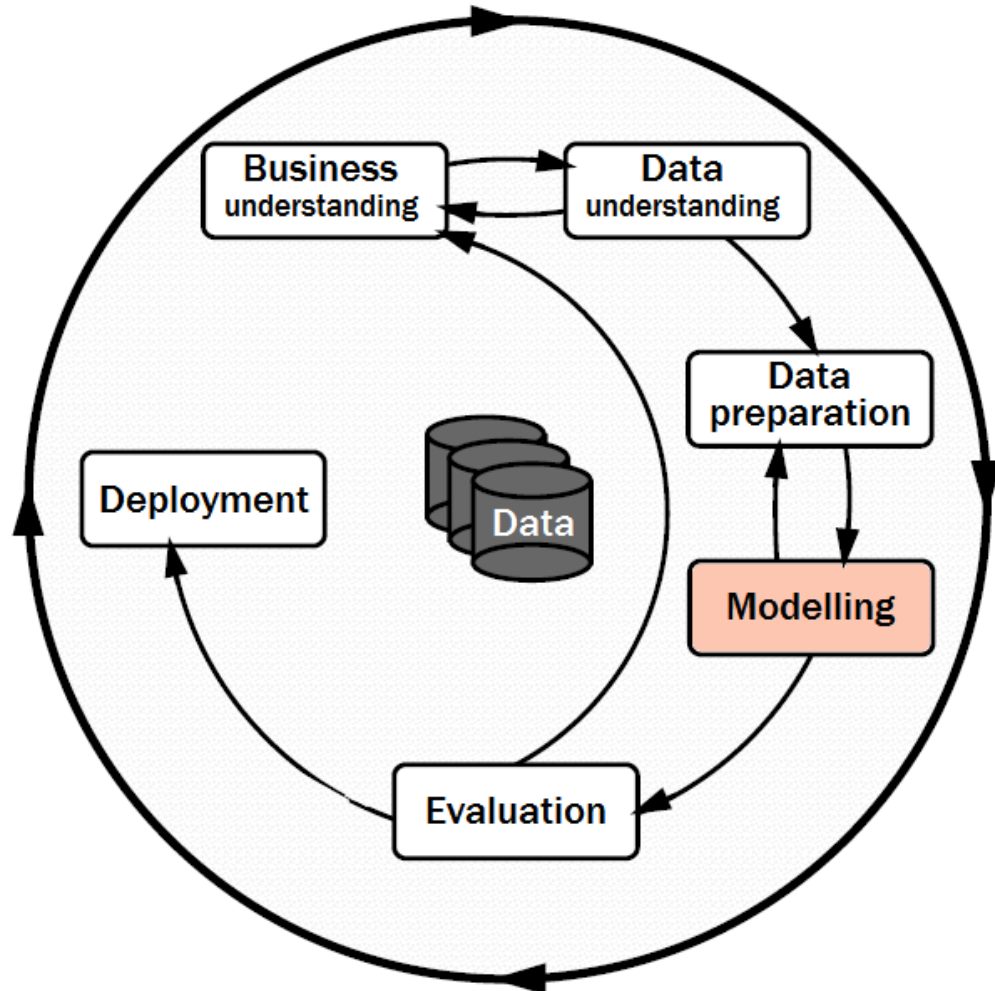


*но только не
с грязными
данными!*



Этапы решения задач ML/DS/AI

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
- (кросс-)валидация решения
- внедрение и эксплуатация

Риски реальных проектов

Проблема №1: некомпетентный исполнитель

- не готов погружаться в предметную область
- не готов аргументировать необходимость изменения постановки задачи
- не способен построить адекватную модель за отведённое время

Проблема №2: некомпетентный заказчик

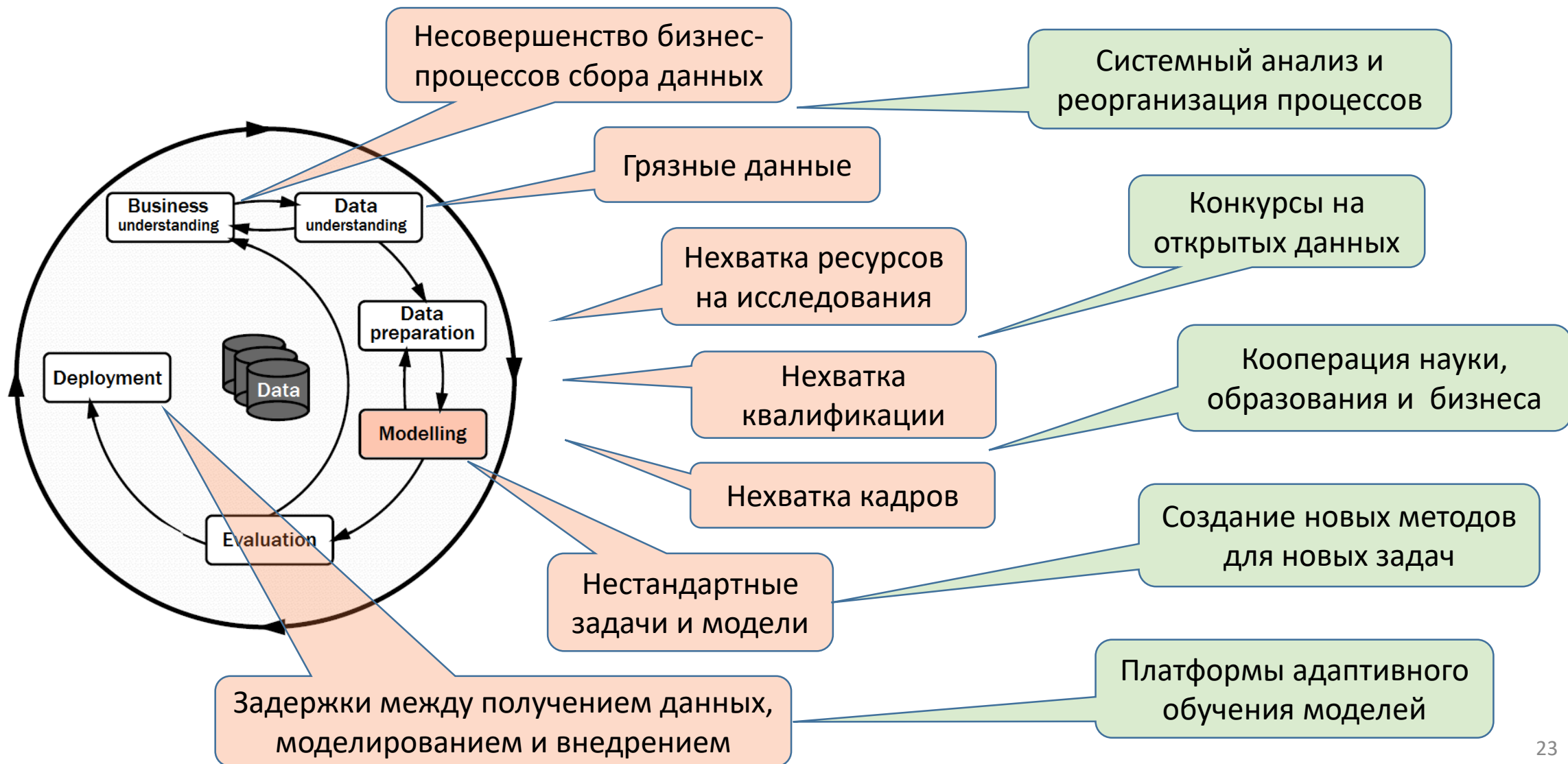
- ждёт чуда от искусственного интеллекта и больших данных
- не в состоянии оценить реальную сложность задачи
- не имеет численных критериев качества (KPI) для оптимизации
- не заботится о чистоте данных
- не готов пилотировать новые технологии

Выходы:

- цифровая трансформация бизнес-процессов
- введение контроля качества данных
- налаживание коммуникации, командная работа исполнителя и заказчика
- конкурсы на открытых данных

*Для внедрения
искусственного
интеллекта
приходится
напрягать
естественный*

Факторы риска и точки приложения силы



Кооперация бизнеса, науки и образования

Проблемы: • различия в целях • «некомпетентность» • дефицит доверия

Опыт кафедры «Интеллектуальные системы» МФТИ

- Практикум В.В.Стрижова (страница на www.MachineLearning.ru) более 1000 индивидуальных студенческих проектов за 15 лет
- Начало сотрудничества – пилотный проект в рамках практикума (ограничение: старт пилота два раза в год, февраль и сентябрь)

Шаги долгосрочного сотрудничества

- НИР/ОКР для университетской лаборатории
- формирование постоянной проектной группы, стажерская программа
- формирование образовательных курсов/модулей по решенным задачам
- открытие собственной лаборатории или кафедры
- тесная кооперация с собственным исследовательским отделом

Открытые данные

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 университетов:* интеграция практических задач в учебный процесс
- *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

Рынок труда в области анализа данных

Инженер по данным (Data Engineer)

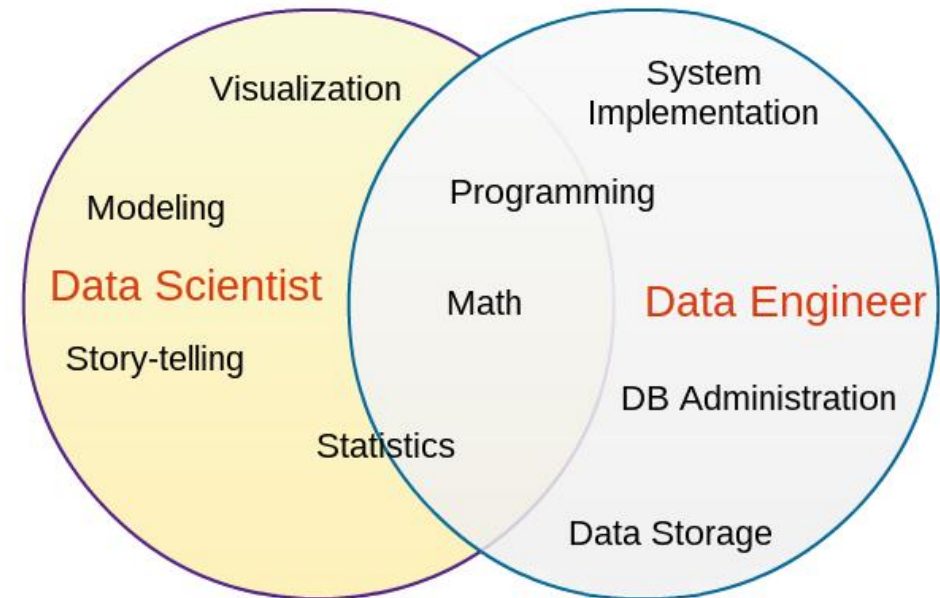
- Понимает бизнес-процессы, порождающие данные
- Работает с данными в различных форматах
- Визуализирует, понимает, очищает, готовит данные

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
- Оценивает сложность задач и трудозатраты



Искусственный интеллект и машинное обучение

1. Задачи, возможности и ограничения машинного интеллекта

- Бум искусственного интеллекта и нейронных сетей
- Постановки задач и терминология машинного обучения
- Примеры задач машинного обучения

2. Методология машинного обучения

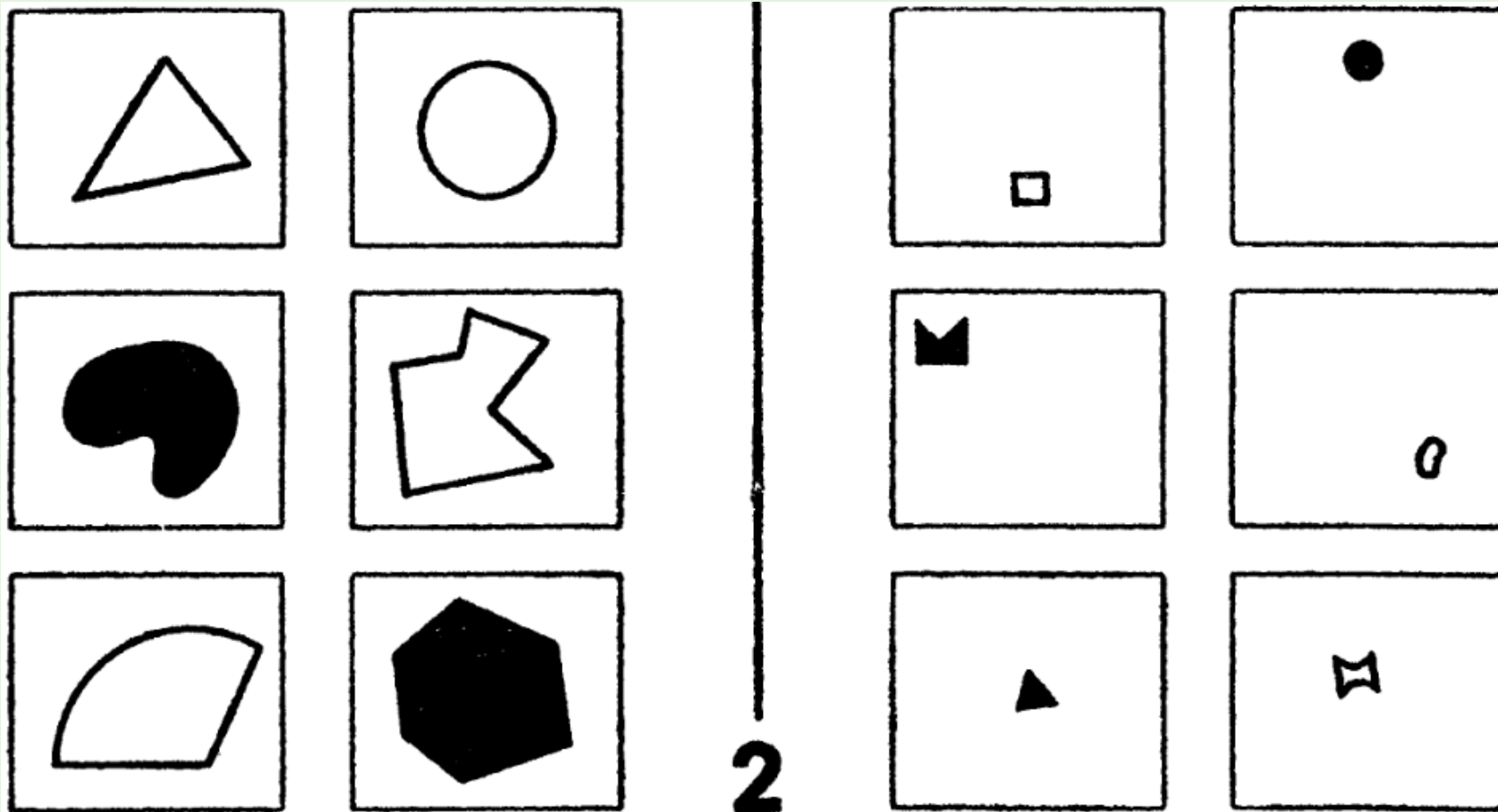
- Особенности данных и прикладных постановок задач
- Промышленное решение задач машинного обучения
- Типология задач машинного обучения
- Перспективные направления машинного обучения

Поиграем в обучение по прецедентам

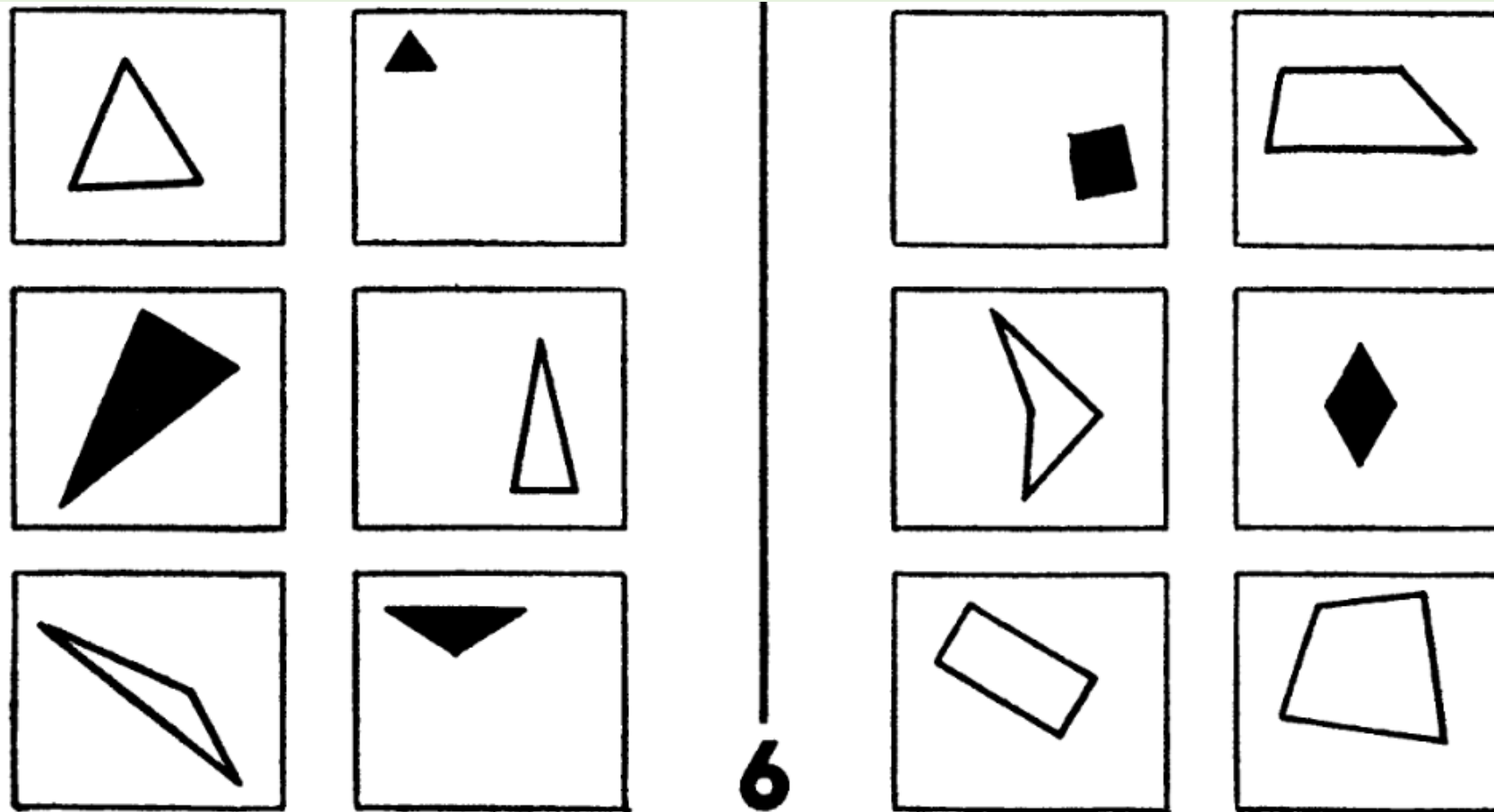
Представим себя на месте
искусственного интеллекта...

М.М.Бонгард. Проблема узнавания. М.: Наука, 1967.

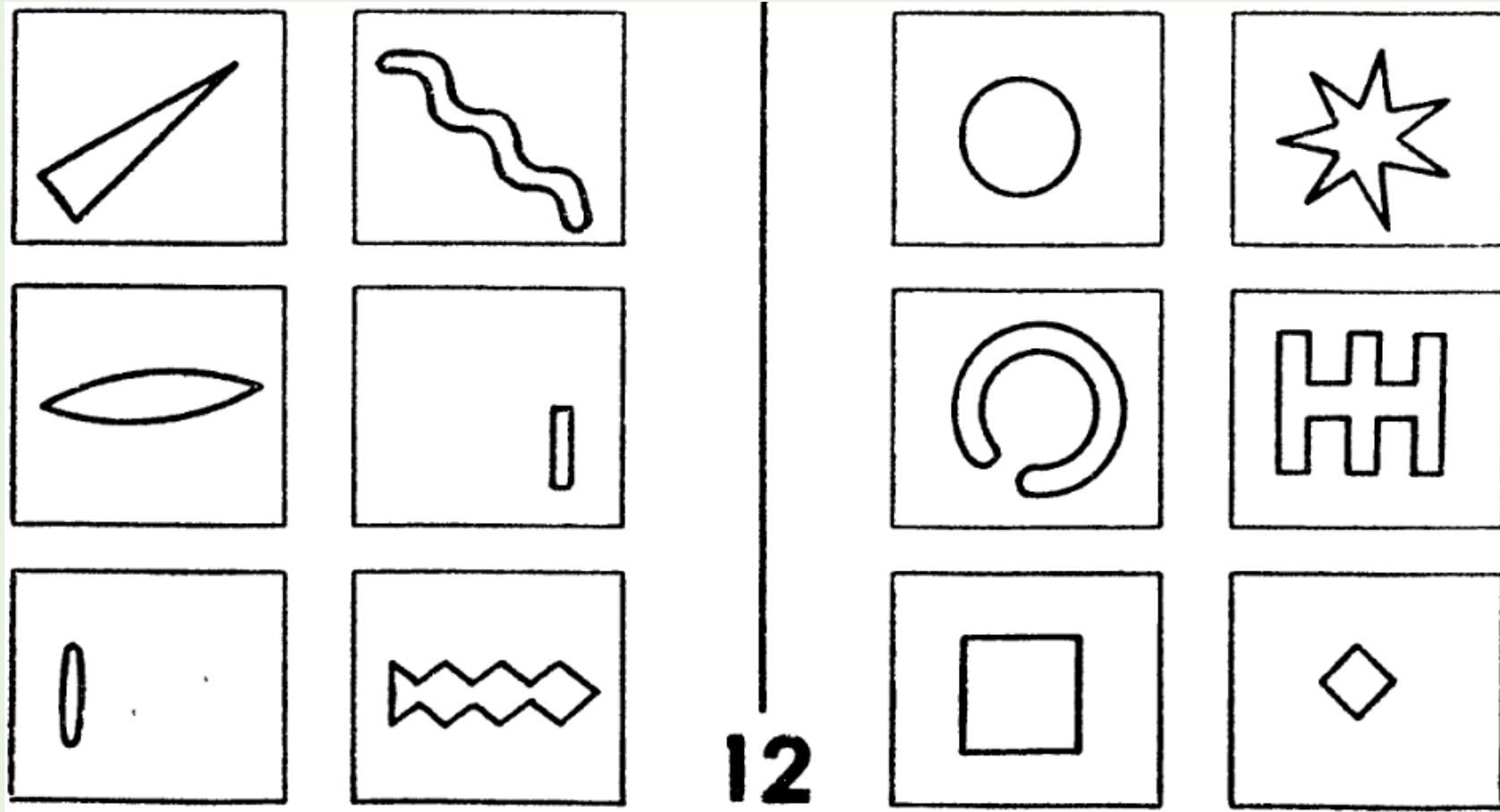
Тесты Бонгарда (1967). Требуется найти правило классификации.
Обучающая выборка: по 6 объектов каждого из двух классов.



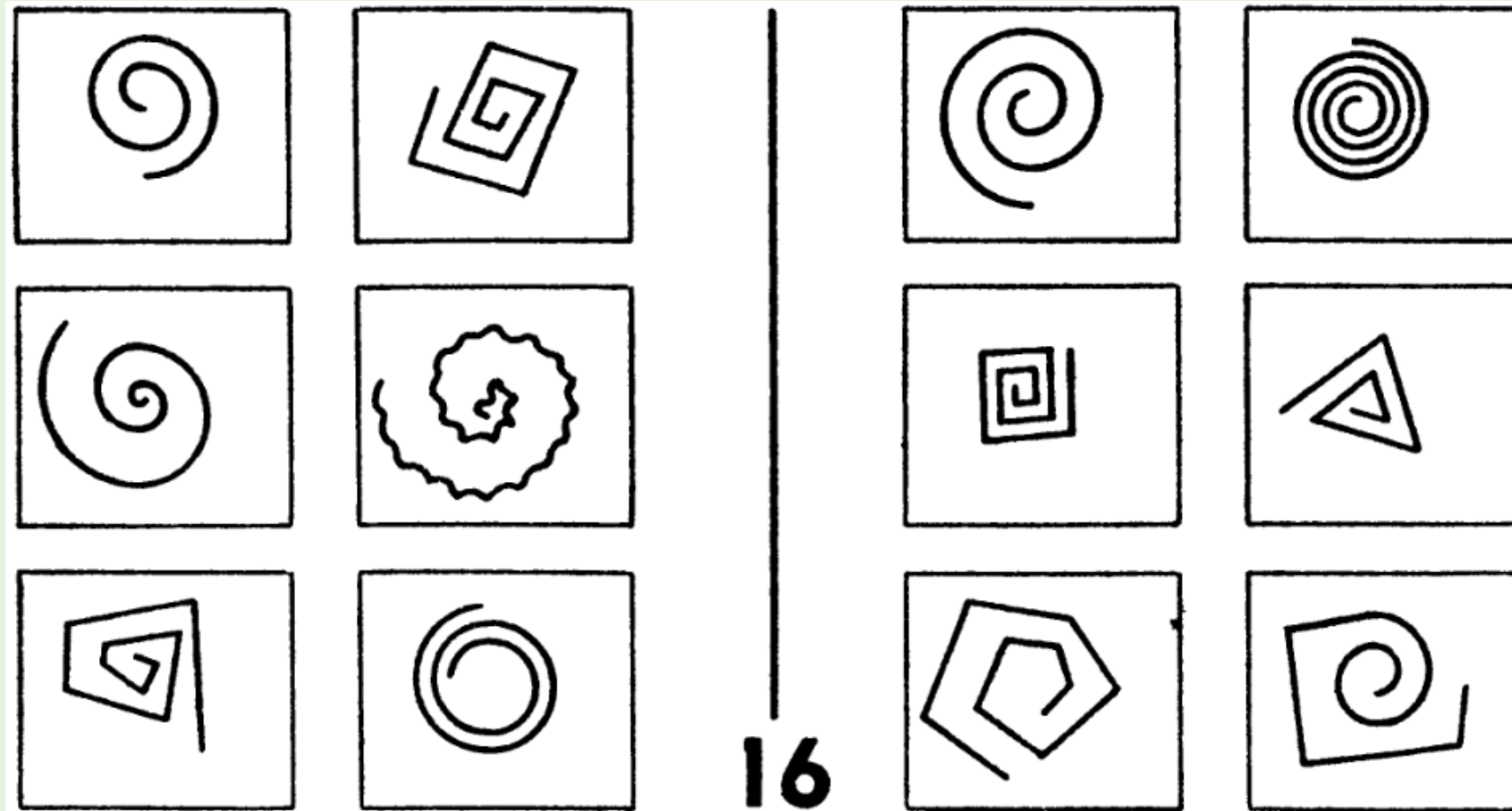
Что даёт нам уверенность, что мы нашли верное правило?
1. Точность классификации известных примеров



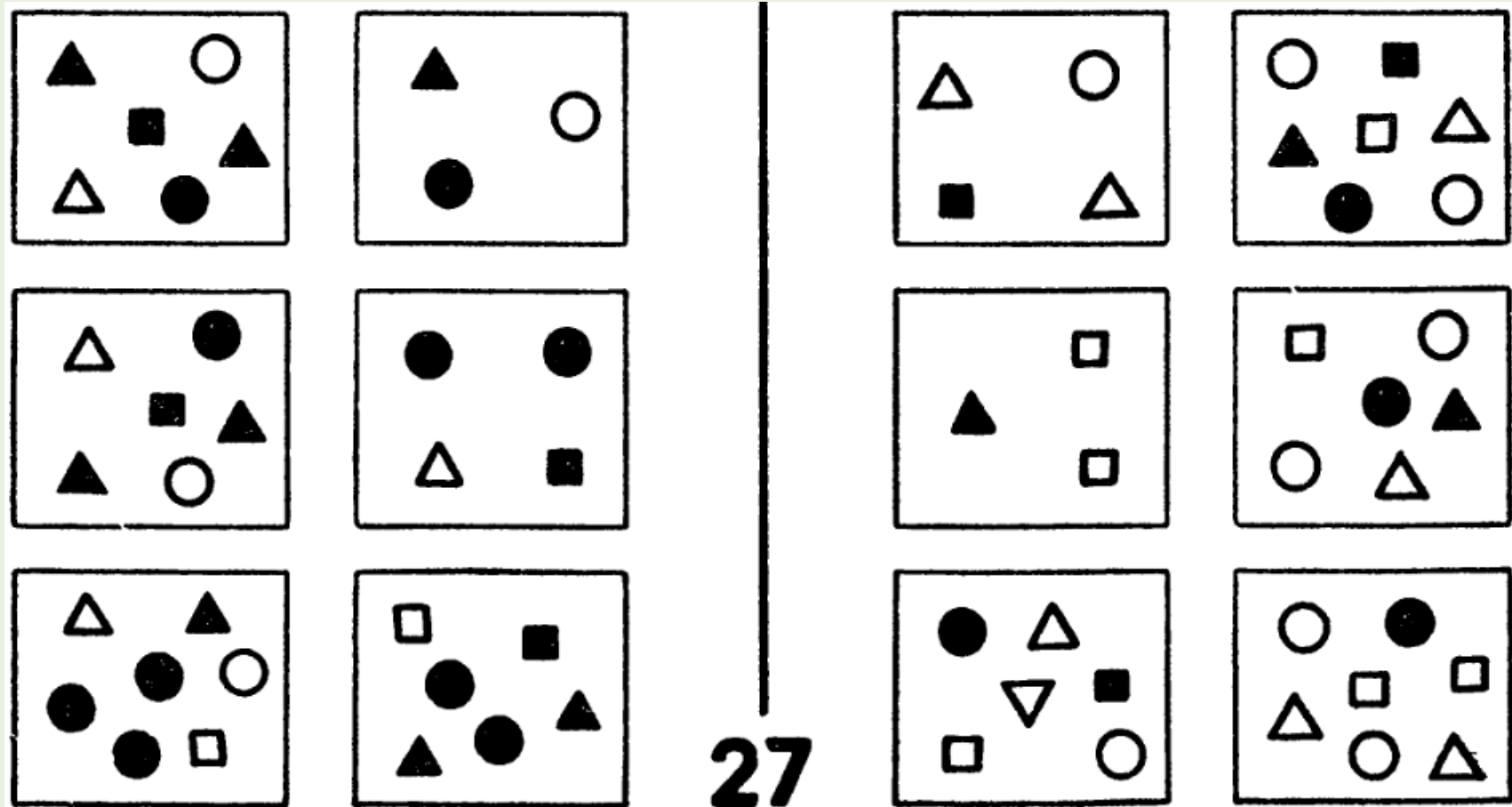
Что ещё даёт нам уверенность, что мы нашли верное правило?
2. Простота и общность правила (модели).



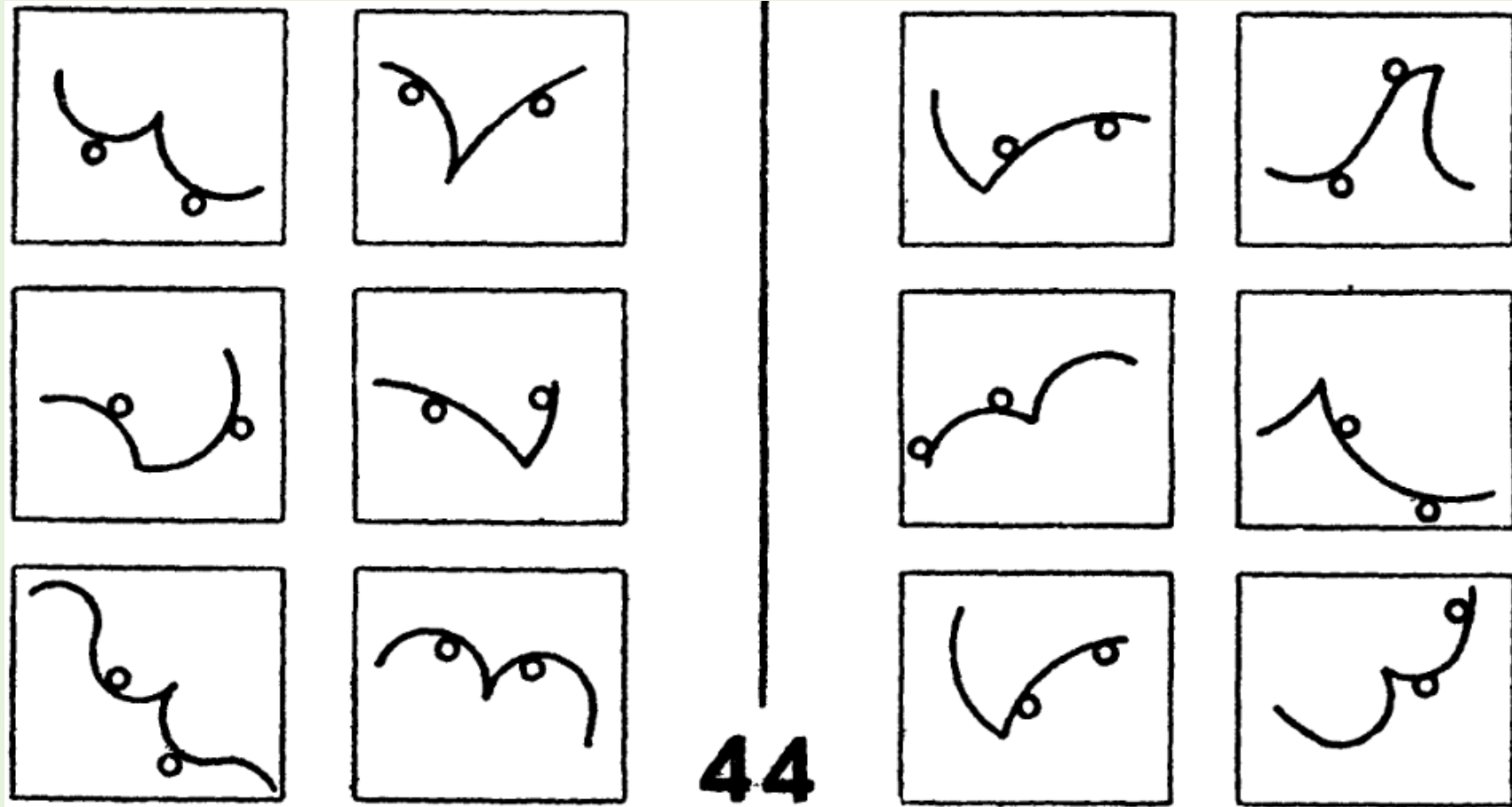
Мы решаем эти задачи почти мгновенно.
Чем мы пользуемся? Почему они сложны для компьютера?



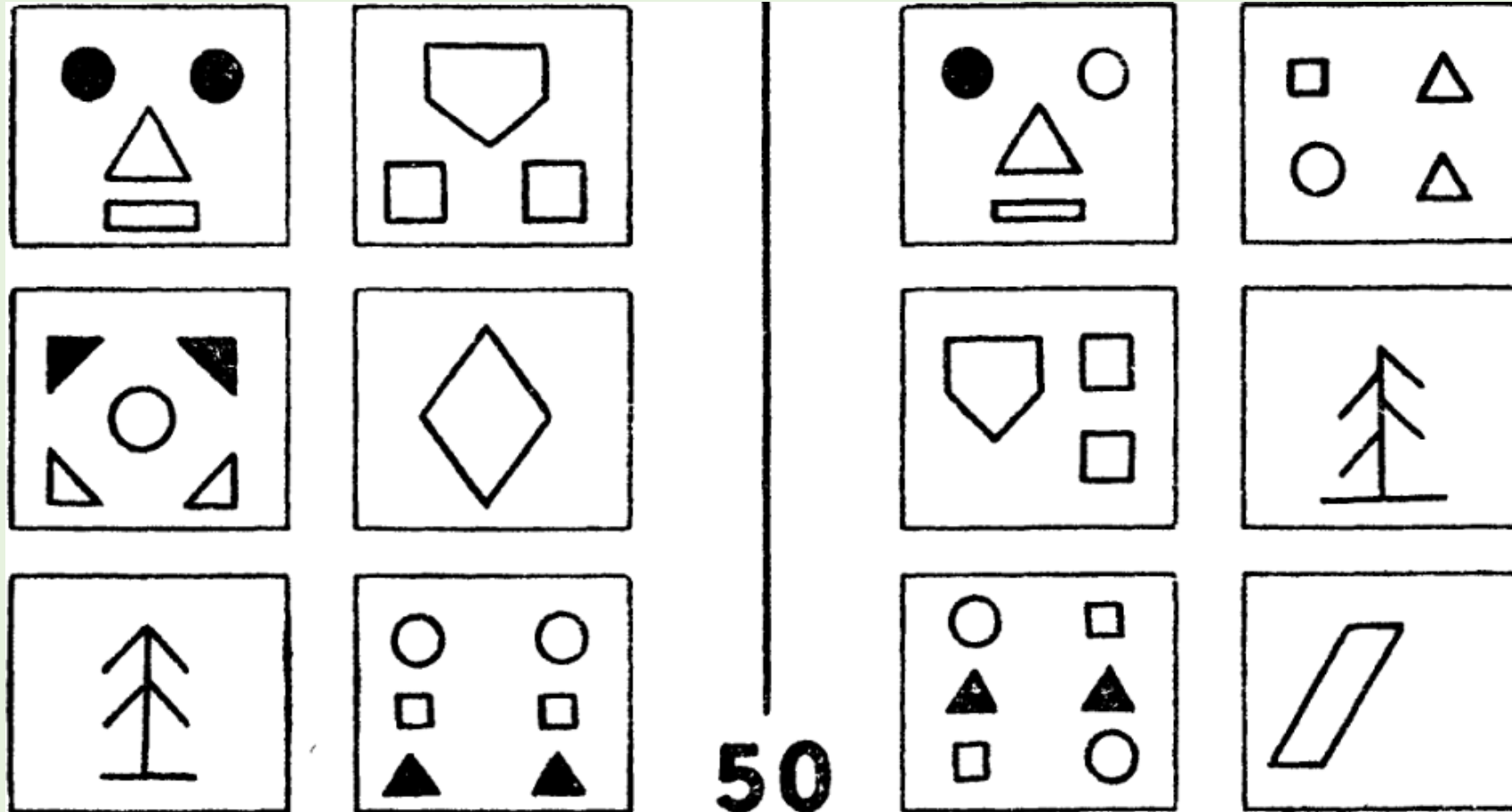
Нужно ли закладывать знания предметной области в явном виде?
Или возможно выработать все нужные понятия на примерах?



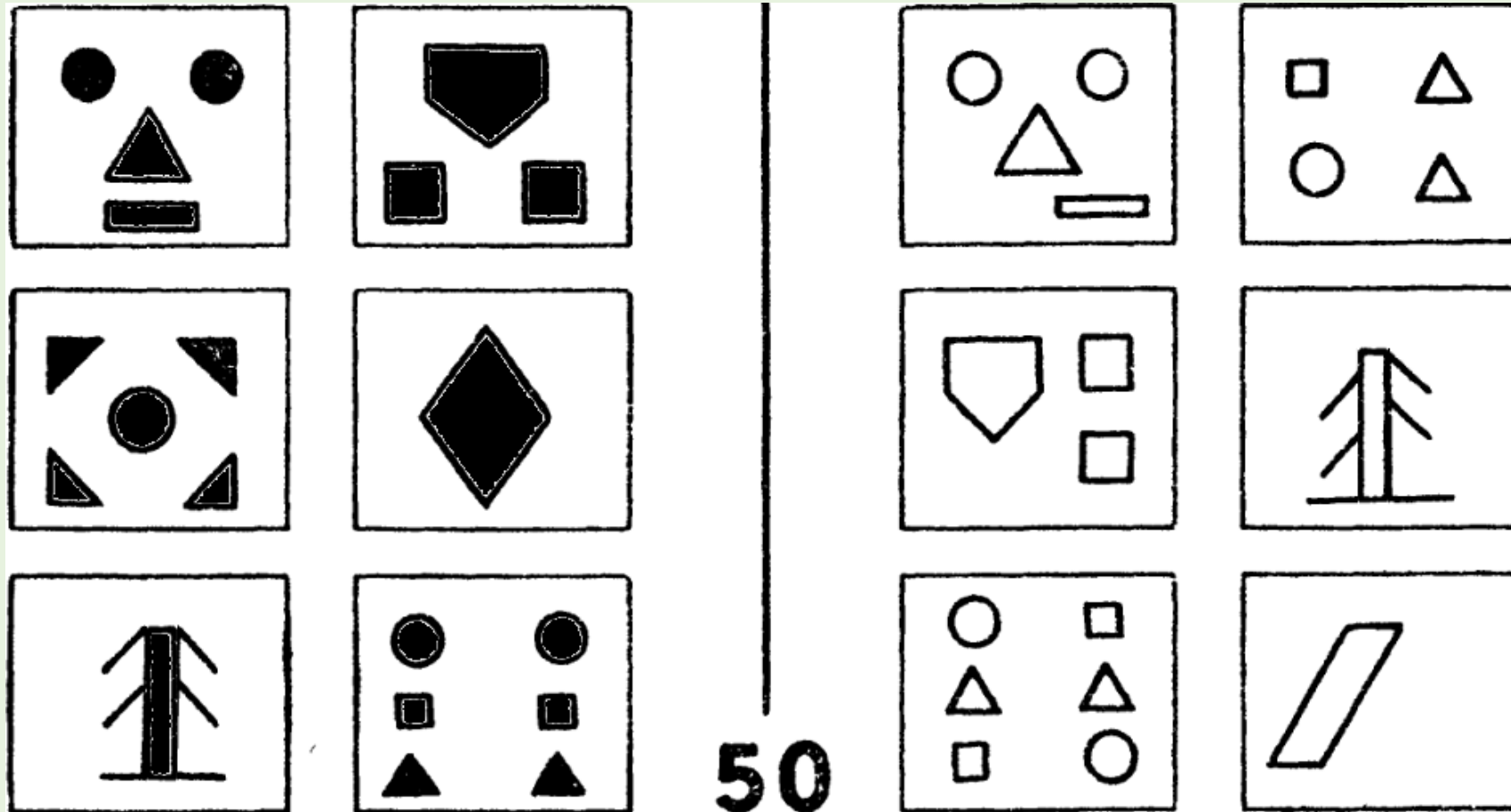
Как вычислять полезные признаки по сложным сырым данным?
Возможно ли поручить перебор признаков и моделей машине?



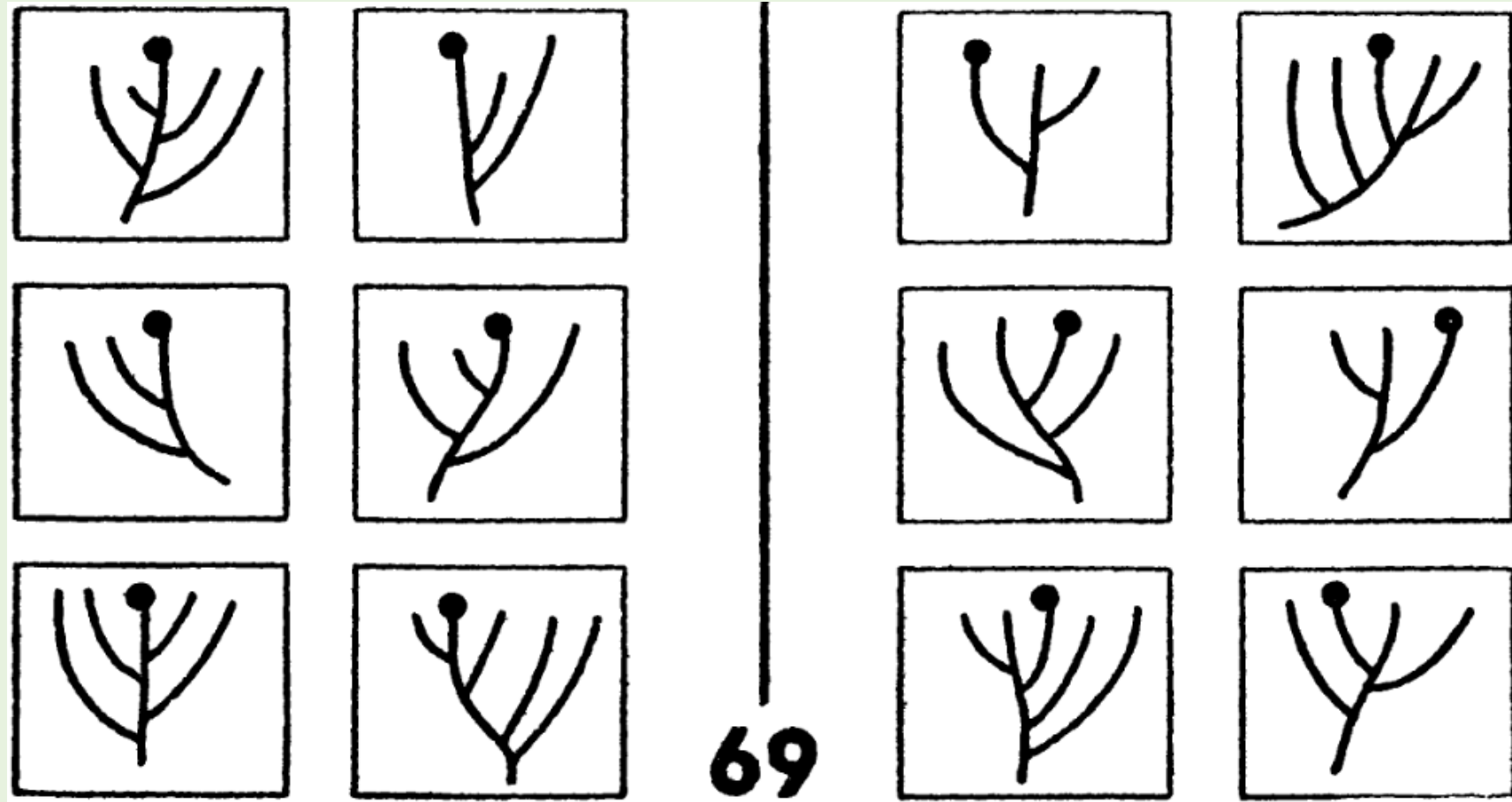
Каков риск выбрать по данным неверное правило, *предвзвешивание*?
Как этот риск зависит от числа примеров и сложности правил?



Что делать, если к выборке подходят сразу несколько правил?
А что если подходящих правил (моделей) бесконечно много?



Эти вопросы составляют основу машинного обучения сегодня.
М.М.Бонгард поставил все эти проблемы в середине 60-х!



Обучение – это оптимизация

x – объекты обучающей выборки

w – параметры модели

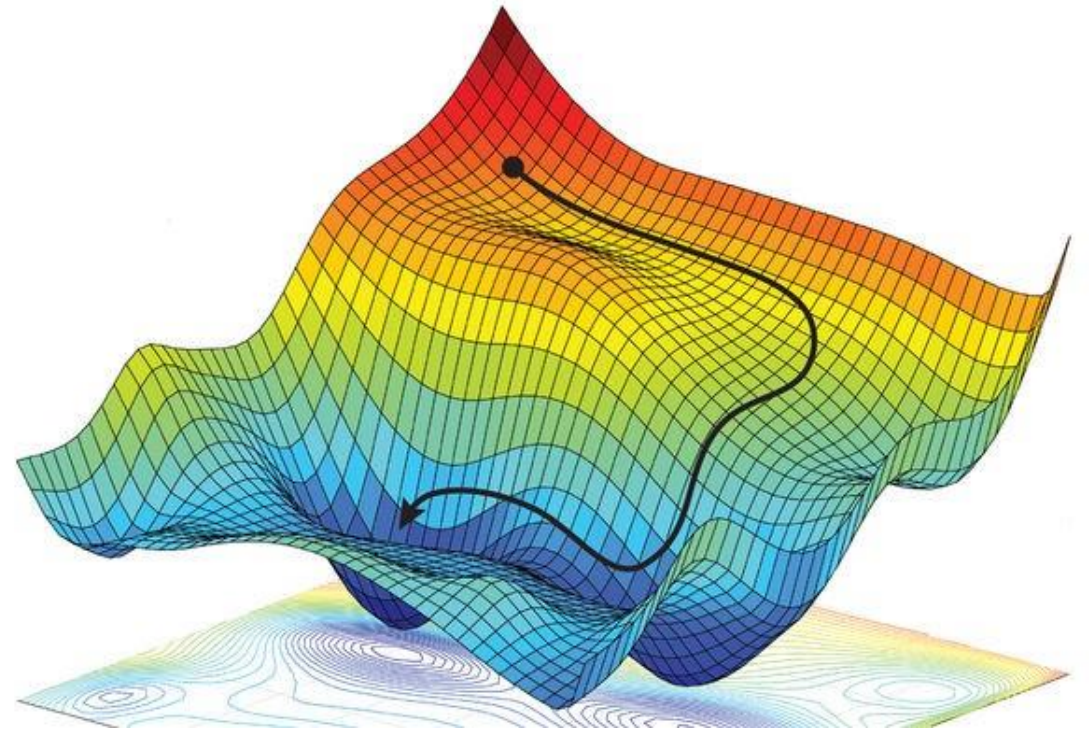
$\text{Loss}(x, w)$ – функция потерь

$Q(w)$ – критерий качества модели

Задача поиска решения:

$$Q(w) = \sum_x \text{Loss}(x, w) \rightarrow \min$$

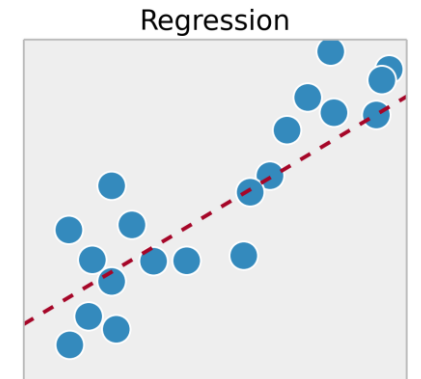
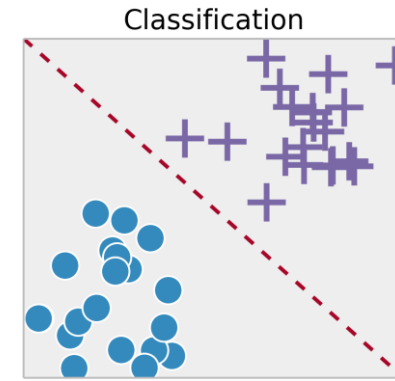
Способ решения – численные методы оптимизации



Типология задач машинного обучения

Обучение с учителем (supervised learning)

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

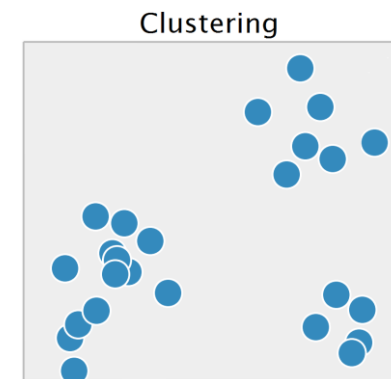


Обучение без учителя (unsupervised learning)

- кластеризация (clustering)
- поиск ассоциативных правил (association rule learning)
- восстановление плотности (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)
- снижение размерности (dimensionality reduction)

Типология задач машинного обучения

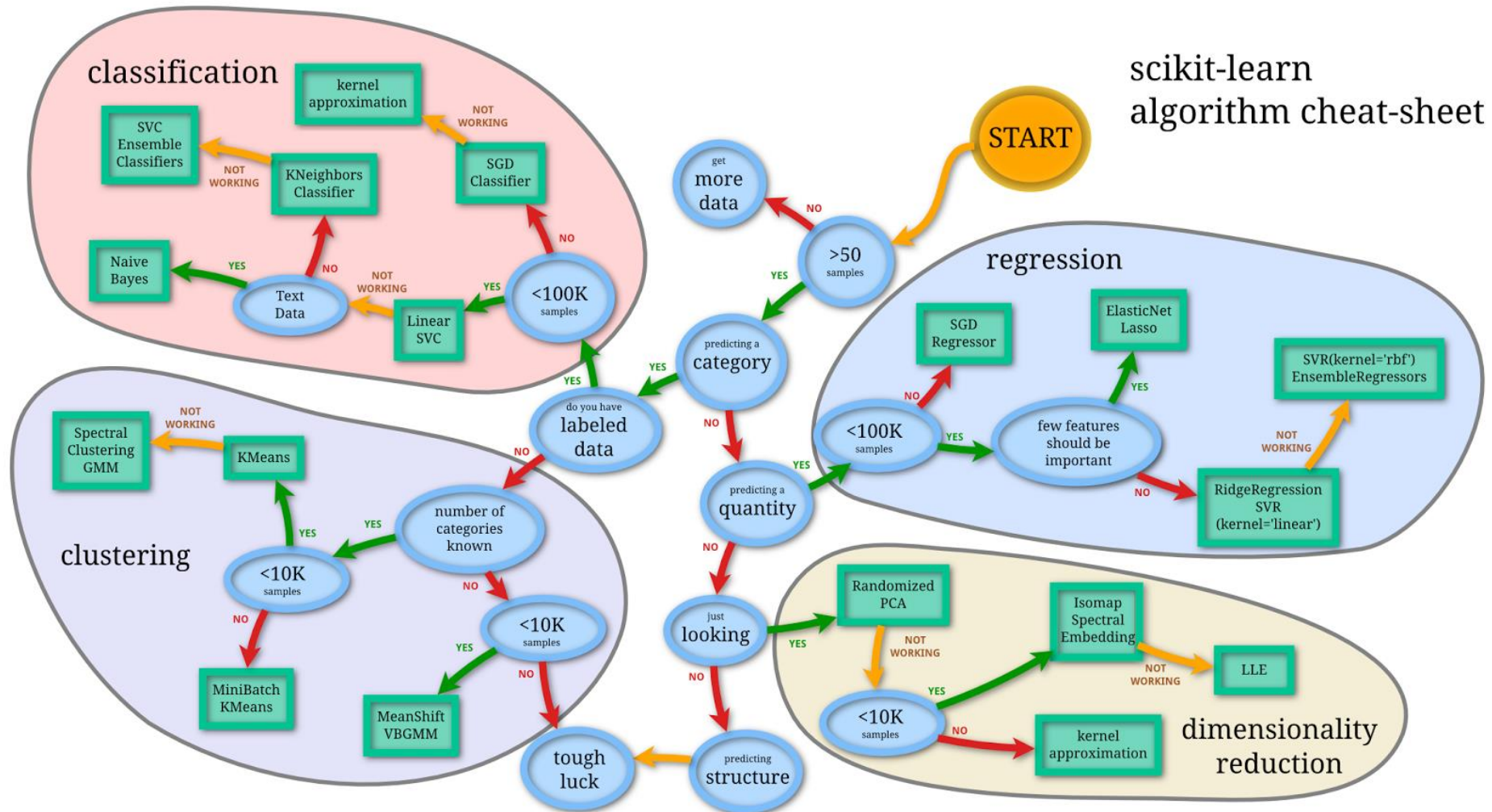
Динамическое обучение (online/incremental learning)

- 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)

Задачи и методы машинного обучения



Основные школы машинного обучения

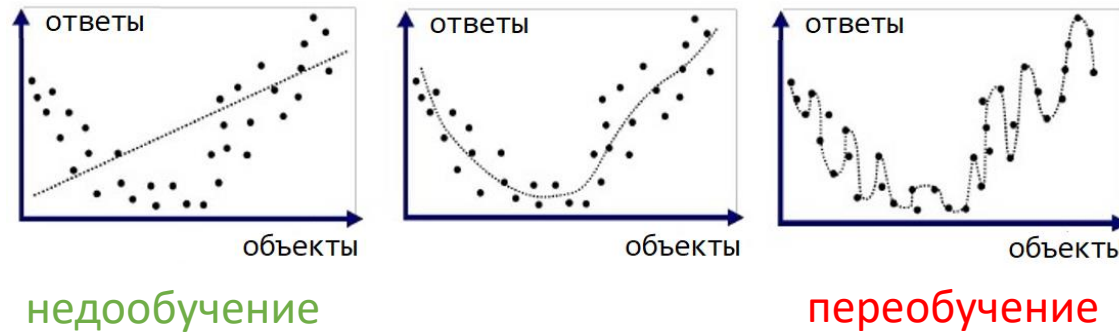
- *Символизм* – поиск логических закономерностей
- *Коннекционизм* – обучаемые нейронные сети
- *Эволюционизм* – адаптивная оптимизация сложных моделей
- *Байесионизм* – оценивание распределений над параметрами
- *Аналогизм* – «близким объектам близкие ответы»
- + *Композиционизм* – кооперация моделей

Педро Домингос. «Верховный алгоритм». 2016.

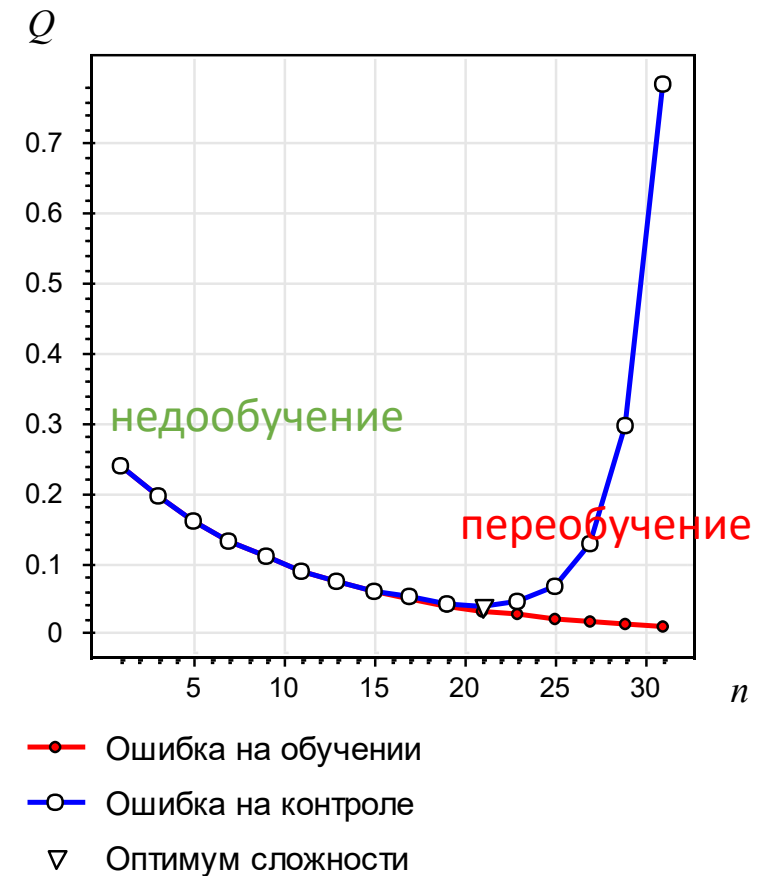


Что такое «переобучение»

Причина переобучения – избыточная сложность модели

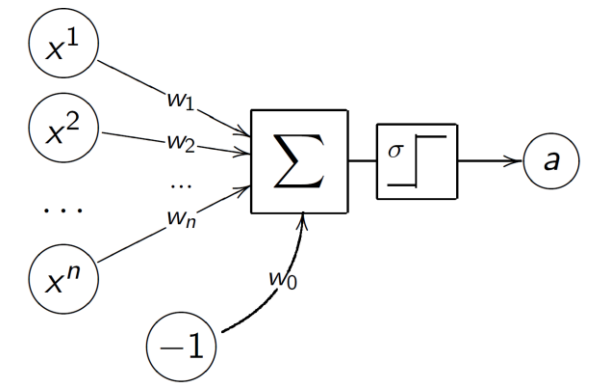
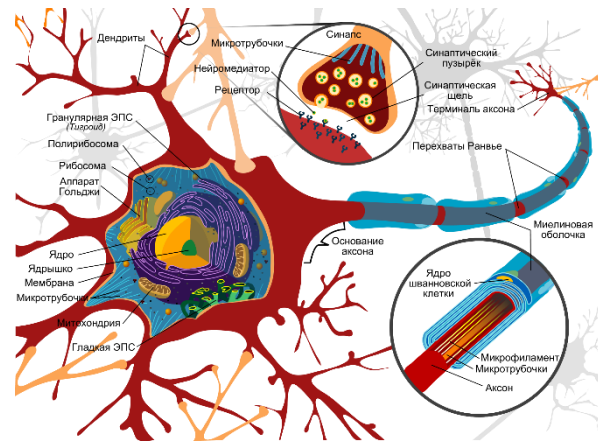
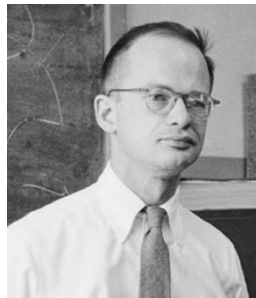
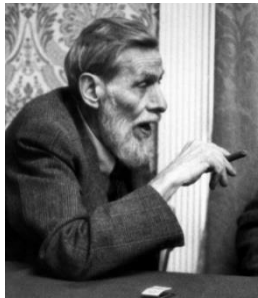


- **Внутренние критерии:**
для оптимизации параметров модели
- **Внешние критерии:**
для оценивания обобщающей способности модели и контроля *переобучения*



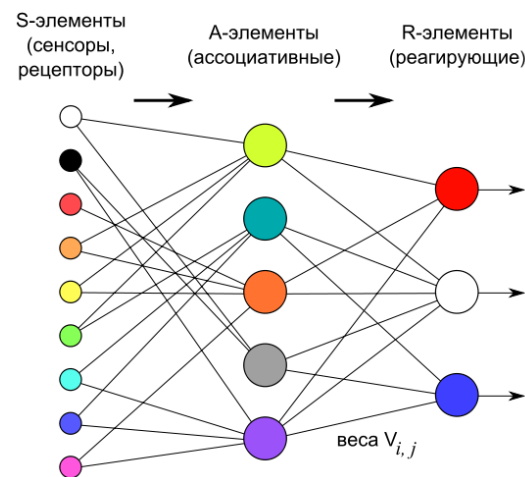
Что такое «искусственные нейронные сети»

Математическая модель нейрона
(МакКаллок и Питтс, 1943)

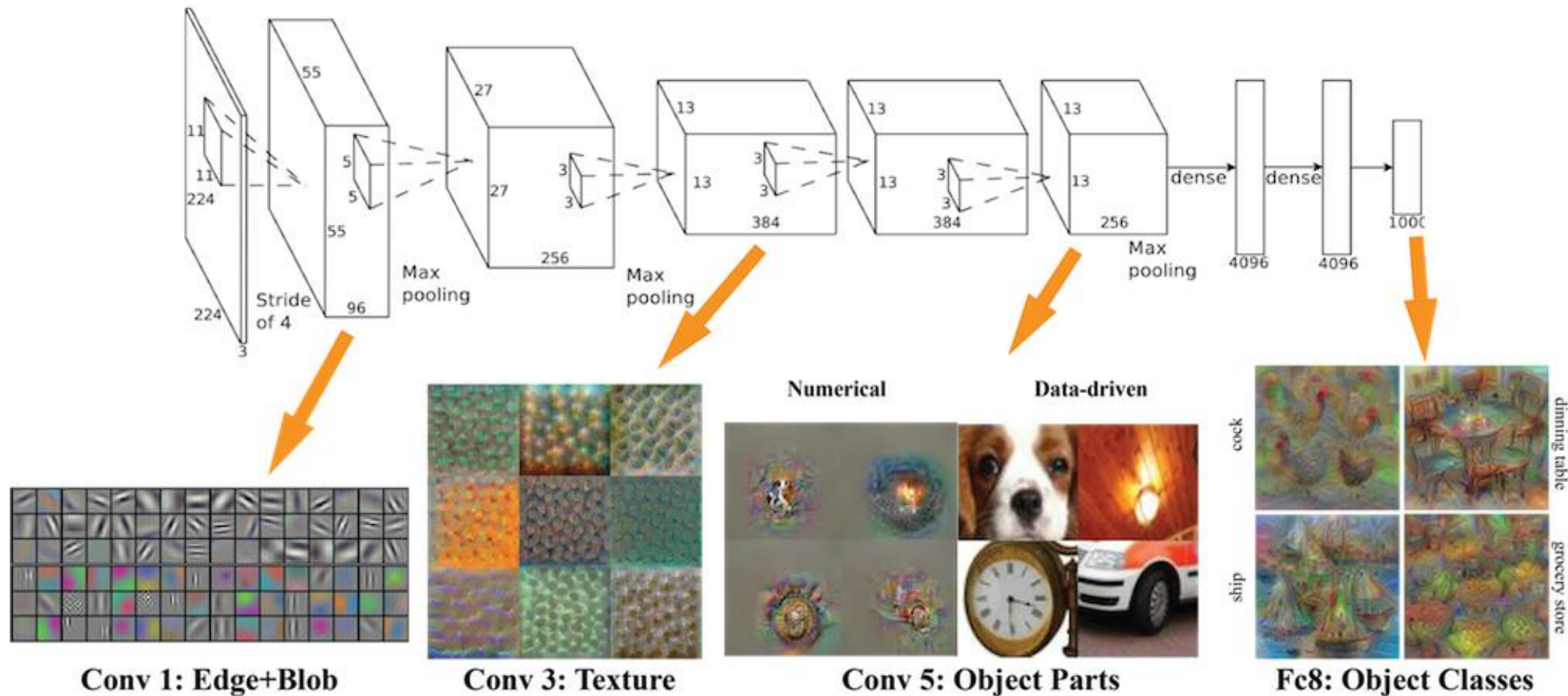


$$a(x, w) = \sigma \left(\sum_{j=1}^n w_j x^j - w_0 \right)$$

Первый нейрокомпьютер Mark-1
(Фрэнк Розенблатт, 1960)



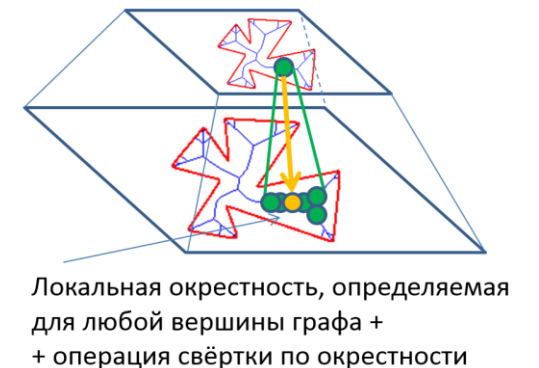
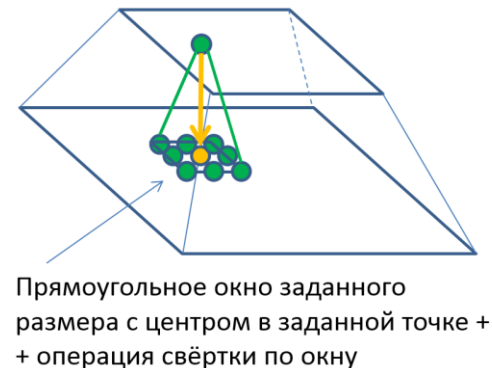
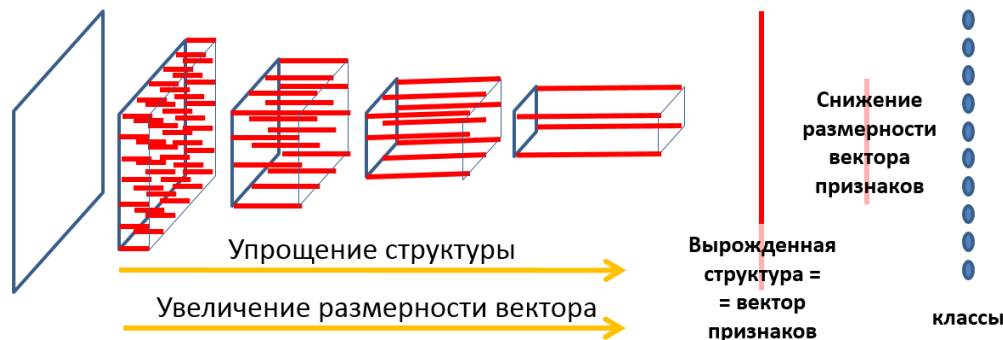
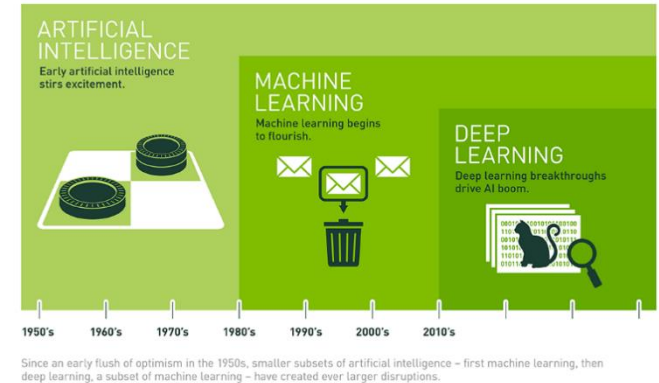
Что такое «глубокие нейронные сети»



Перспективные подходы: Deep Learning – автоматизация извлечения признаков

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

Отдалённое будущее:
вытеснит ли DL всё остальное машинное обучение?



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

Перспективные подходы: адаптивное обучение

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
- Валидация моделей по совокупности критериев
- Адаптивная селекция и композиция моделей
- Работа аналитика – мониторинг, визуализация и доработка моделей

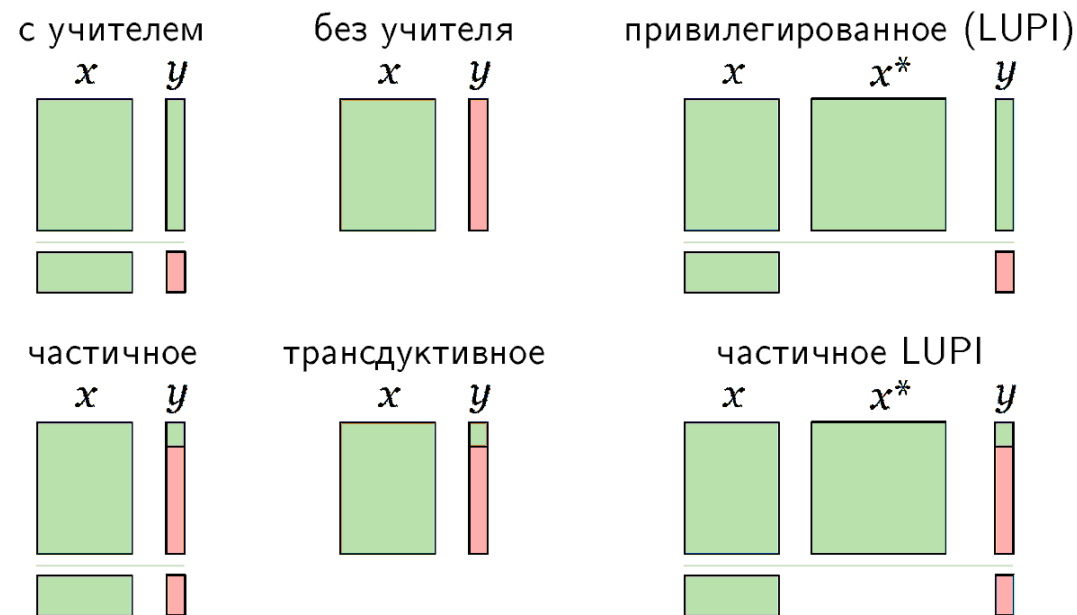
Перспективные подходы: обучение с привилегированной информацией

Естественная модель обучения с учителем:

LUPI – Learning Using Privileged Information

учитель даёт не только правильные ответы, но и объяснения

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



Домашнее задание

- Какую задачу Вы бы хотели решить с помощью ML?
- Сформулируйте задачу в виде «дано, найти, критерий»
- Хватает ли данных? Откуда их взять?
- Как обеспечить качество данных?
- Есть ли готовые решения (платформы, инструменты)?
- Возможно ли сделать конкурс на открытых данных?
- Возможно ли вычистить конфиденциальные данные?
- Возможно ли встроить активное обучение в бизнес-процесс?

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.