

МАШИННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ В ИНЖЕНЕРИИ АКСИОМАТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Содоклад к докладу:

ИДЕЯ ВНУТРЕННЕЙ ЛОГИКИ, АКСИОМАТИЧЕСКИЙ МЕТОД И КОНСТРУКТИВНОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ЗНАНИЙ

Ковалёв С.П.

Институт проблем управления РАН

kovalyov@nm.ru

Проблемы формирования конструктивного аксиоматического предметного знания

- ▶ Требуется строить практически полезные аксиоматические описания прикладных предметных областей с соблюдением заданных сроков и бюджетов
 - ▶ Какие аксиомы (аксиоматические системы) формировать?
 - ▶ Откуда взять аксиомы?
 - ▶ Откуда взять понятия (определения)?
 - ▶ Как оценить степень адекватности аксиоматической системы?
 - ▶ Как эффективно доказывать (опровергать) гипотезы путем вывода из аксиом?
- ▶ Необходимо привлекать мощные компьютерные инструменты

Аксиоматический метод и гомотопическая теория типов

Учебник элементарной геометрии

Окружность (S^1) – геометрическое место точек плоскости, равноудаленных от некоторой точки

Гомотопическая теория типов

Окружность (S^1) – высший индуктивный тип со следующими генераторами:

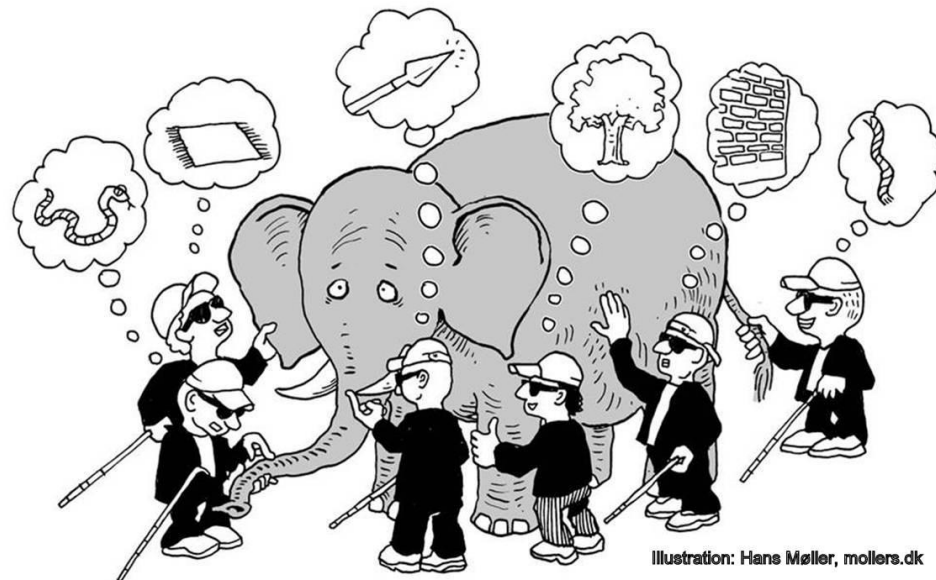
- Точка base : S^1
- Путь loop : base $=_{S^1}$ base

Вопрос 1. Как выглядит гомотопическая группа $\pi_1(S^1)$?

(**Ответ.** \mathbb{Z} .)

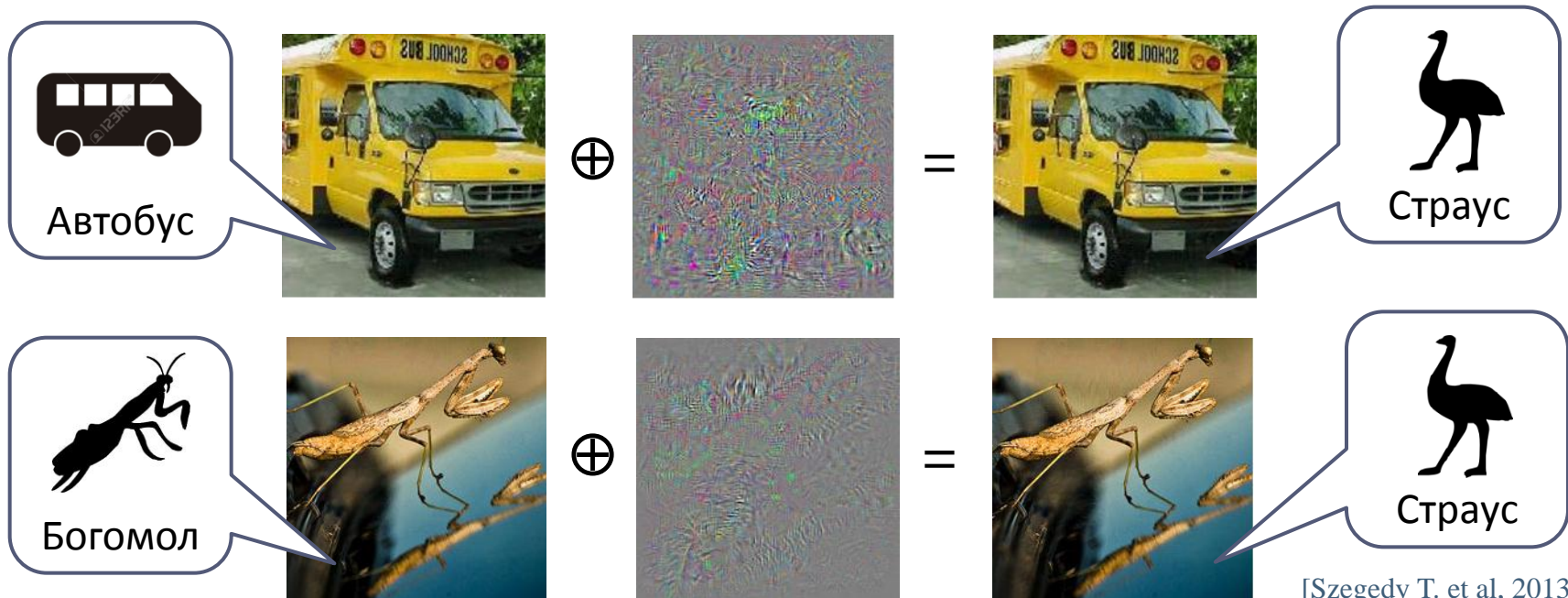
Вопрос 2. Чему равно отношение длины окружности к диаметру?

(**Ответ.** $\pi \approx 3,14$.)



Знание или распознавание

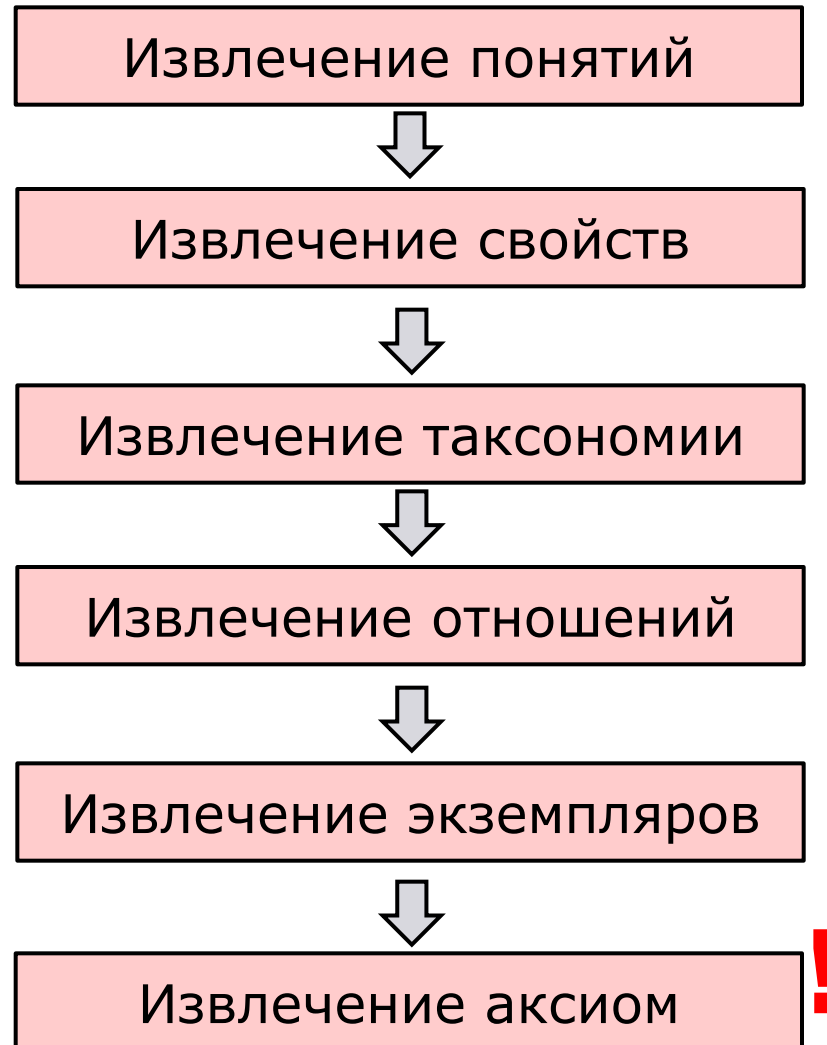
- ▶ Если есть достаточно мощный машинный интеллект, то нужно ли вообще формировать корпус явного символического знания?
 - ▶ Лучше непосредственно получать решения прикладных задач
 - ▶ Однако неявное распределенное знание ненадежно



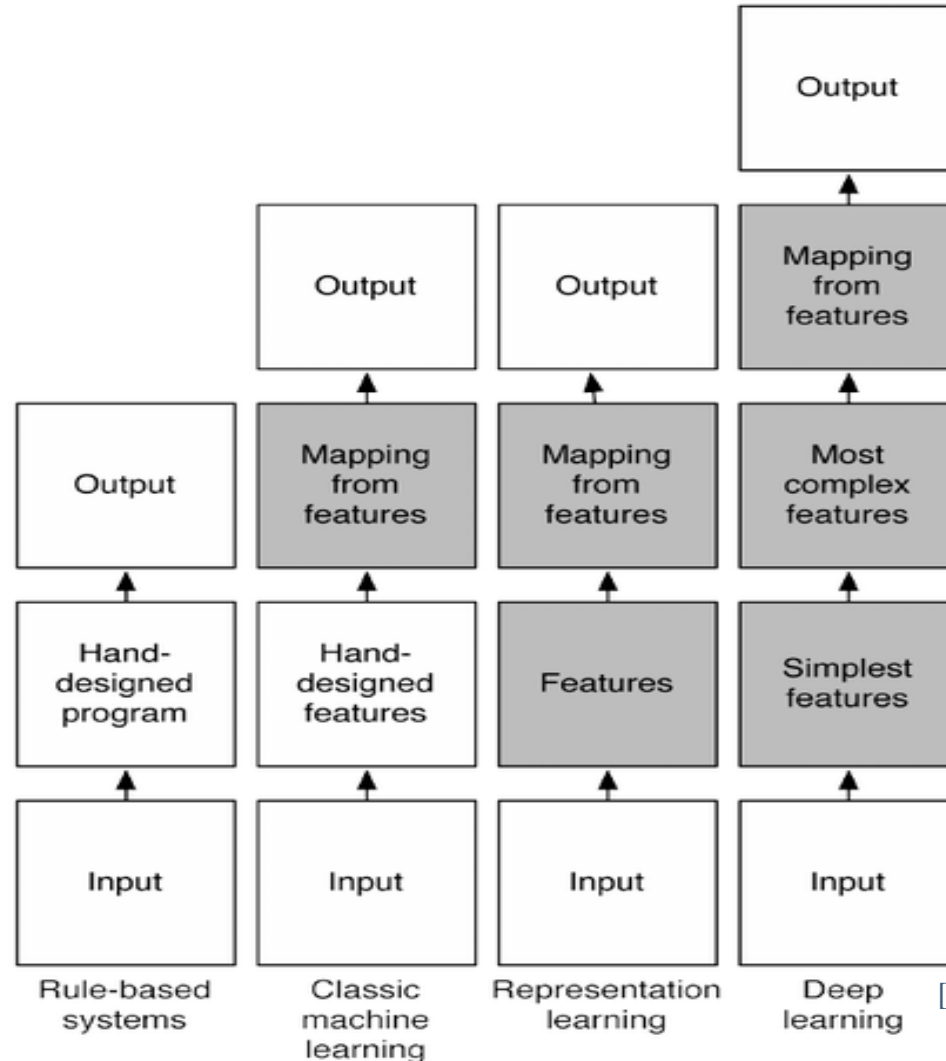
[Szegedy T. et al, 2013]

- ▶ **Необходим логический анализ и вывод свойств**

Инженерия онтологии предметной области



Подходы машинного интеллекта

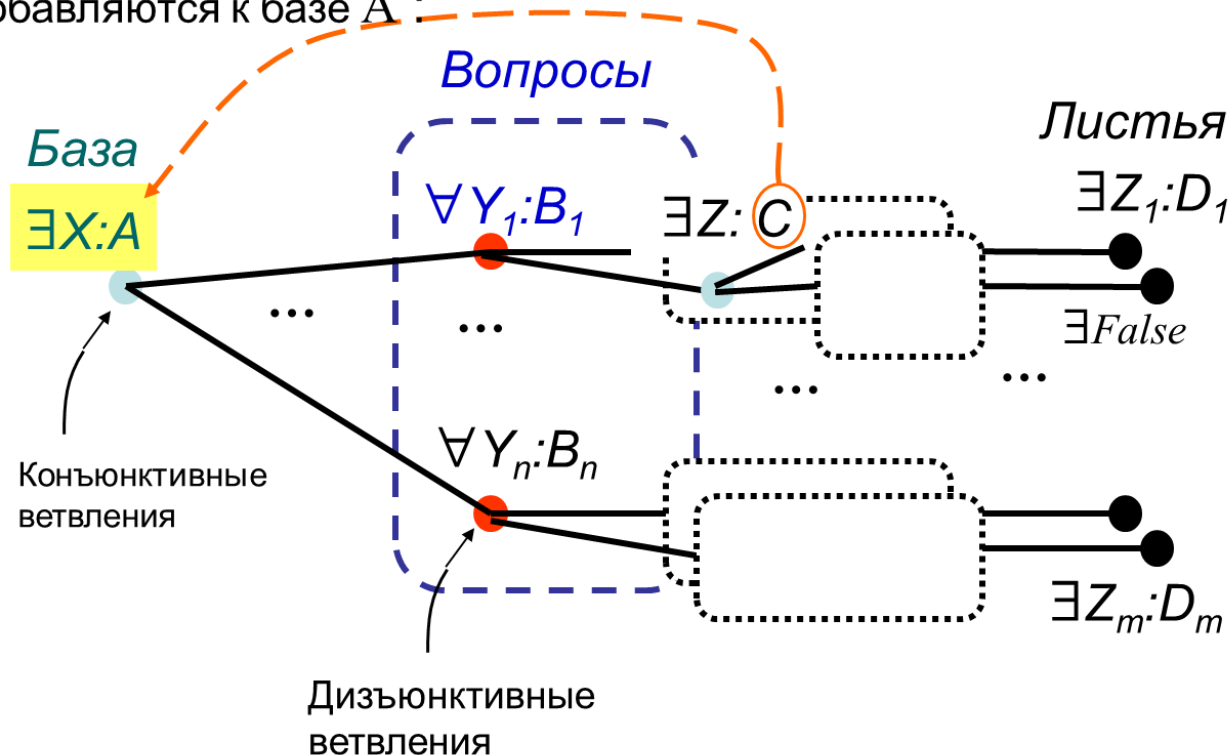


[Bengio Y., 2015]

Восстановление аксиом в ходе автоматизированного логического вывода

Исчисление J с правилом вывода ω

Если $B_1 \Theta \subseteq A$ с подстановкой переменных $\Theta: Y_1 \rightarrow X$, то факты $C \Theta$ добавляются к базе A :



Исчисление J обладает свойствами полноты и непротиворечивости; выделен его конструктивный фрагмент.

[Васильев С.Н., 2008]

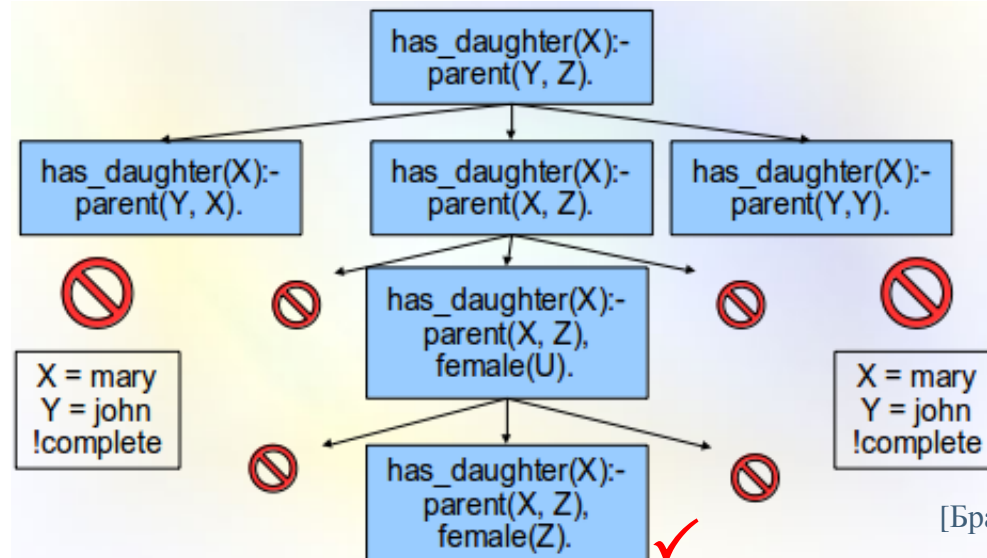
Индуктивное логическое программирование

- Исходя из фоновых знаний и примеров, порождение логической программы, позволяющей вывести все положительные примеры и ни одного отрицательного
- Пример: восстановление предикатов о родственных отношениях из генеалогических деревьев

```
% Положительные примеры  
has_daughter(mary)  
has_daughter(john)
```

```
% Отрицательные примеры  
has_daughter(bill)  
has_daughter(kate)  
has_daughter(paul)
```

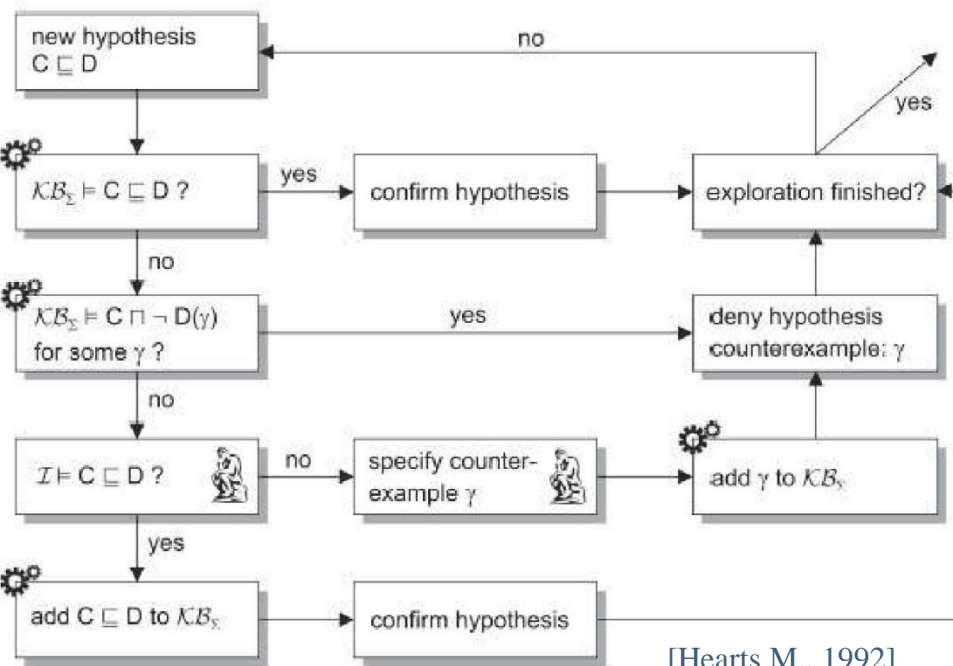
```
% Фоновые знания  
male(john).  
male(bill).  
male(paul).  
parent(john, kate).  
parent(mary, kate).  
parent(bill, paul).  
parent(kate, paul).  
female(mary).  
female(kate).
```



[Братко И., 2004]

Извлечение аксиом из информационных массивов

- Выявление и оценка гипотез, извлекаемых из текстов, баз данных, веб-сайтов и т.д.

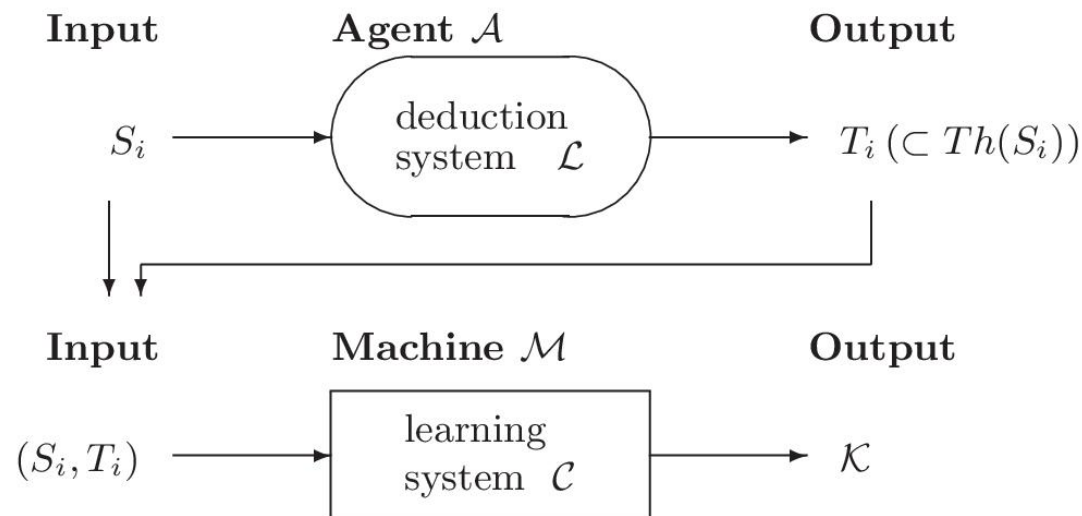


```

AxiomLearning (Domain Ontology DO)
{ AXS_OP /* Results variable */
  AXIOMS /* Constant holding the set of axioms of interest */
  THRESHOLD /* Constant holding the selection threshold */
  RELS ← get_nontaxonomic_relations(DO)
  /* for each relation, analyse each object property axiom */
  for all RELSi ∈ RELS
  {
    for all AXIOMSj ∈ AXIOMS
    {
      QUERY ← generate_query(RELSi, AXIOMSj)
      WEBPAGES ← retrieve_WebPages(QUERY)
      for all WEBPAGESx ∈ WEBPAGES
      { /* for each web page check for matchings */
        TEXT ← extract_matchings(QUERY, WEBPAGESx)
        TEXT ← remove_stopwords(TEXT)
        KEY ← stem_word(TEXT)
        exists ← check_existence(AXS_OP, RELSi, AXIOMSj, KEY)
        if (!exists)
        { /* calculate web scale statistics */
          SCP = calculate_SCP(AXIOMSj, RELSi, TEXT)
          /* add info. to result if SCP > THRESHOLD */
          if (SCP > THRESHOLD)
            AXS_OP ← AXS_OP + (RELSi ∪ AXIOMSj ∪ KEY ∪ TEXT ∪ SCP)
        }
      }
    }
  }
}
Return AXS_OP
  
```

[Terrientes L. et al, 2010]

Обнаружение логики посредством машинного обучения



Пример:

$(S_1, T_1) = (\{\text{hold}(p \vee q), \text{hold}(\neg q), \text{hold}(r)\}, \{\text{hold}(p \vee q), \text{hold}(\neg q), \text{hold}(r), \text{hold}(p)\},$

$(S_2, T_2) = (\{\text{hold}(p \vee q), \text{hold}(\neg q), \text{hold}(\neg r)\}, \{\text{hold}(p \vee q), \text{hold}(\neg q), \text{hold}(\neg r), \text{hold}(p)\})$

\Downarrow

$\text{hold}(p) \leftarrow \text{hold}(p \vee q) \wedge \text{hold}(\neg q) \wedge \text{hold}(r),$

$\text{hold}(p) \leftarrow \text{hold}(p \vee q) \wedge \text{hold}(\neg q) \wedge \text{hold}(\neg r)$

\Downarrow

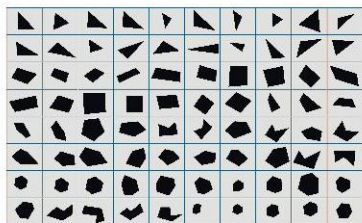
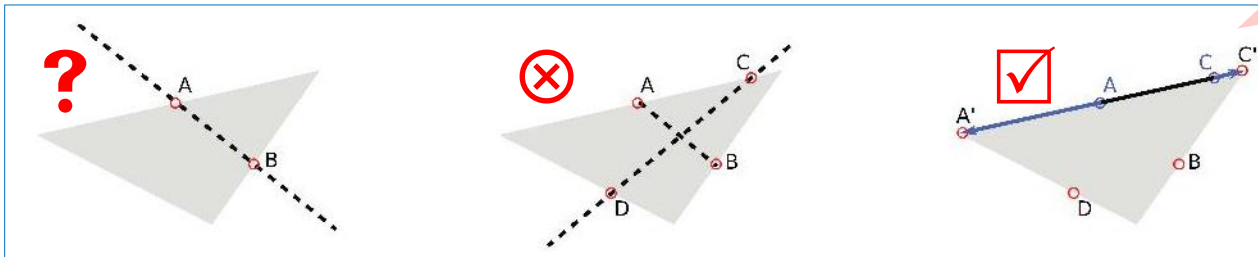
$\text{hold}(p) \leftarrow \text{hold}(p \vee q) \wedge \text{hold}(\neg q) \quad (\textit{Disjunctive Syllogism})$

[Sakama C. et al, 2015]

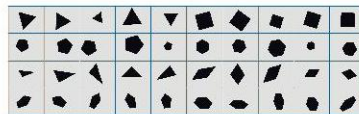
Дистилляция признаков в понятия

- ▶ Выявление понятий путем логического анализа низкоуровневых признаков, обнаруживаемых статистическим распознаванием
- ▶ Пример: «интерпретационное обучение» геометрическим понятиям

```
edge(P1, P2, N) :- midpoint(P1, P2, P),
    edge_point(P1), edge_point(P2),
    N1 is N-1, edge(P1, P, N1), edge(P, P2, N1).
```



(a) Learning triangles, quadrilaterals, etc.



(b) Learning regular polygons

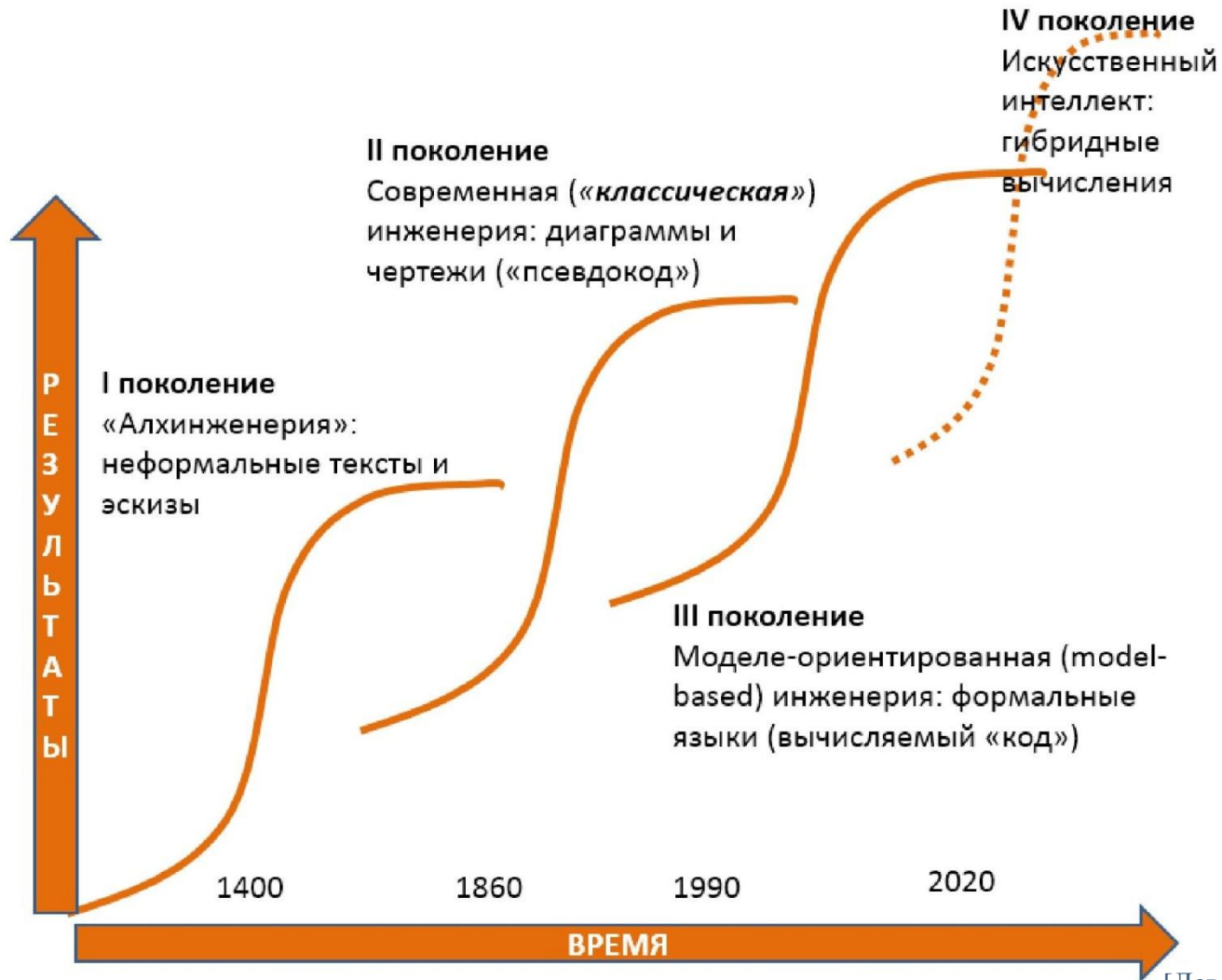


(c) Learning right-angle triangles

	VLFeat		<i>LogicalVisionPoly</i>	
	Acc	F1	Acc	F1
triangle	0.91 ± 0.06	0.82 ± 0.09	1.00 ± 0.00	1.00 ± 0.00
quadrilateral	0.71 ± 0.08	0.41 ± 0.06	0.98 ± 0.03	0.96 ± 0.06
pentagon	0.79 ± 0.09	0.48 ± 0.24	1.00 ± 0.00	1.00 ± 0.00
hexagon	0.94 ± 0.04	0.85 ± 0.12	0.99 ± 0.03	0.97 ± 0.06
regular_poly	0.60 ± 0.10	0.72 ± 0.06	1.00 ± 0.00	1.00 ± 0.00
right_tri	0.75 ± 0.18	0.81 ± 0.11	1.00 ± 0.00	1.00 ± 0.00

[Dai W.-Z. et al, 2015]

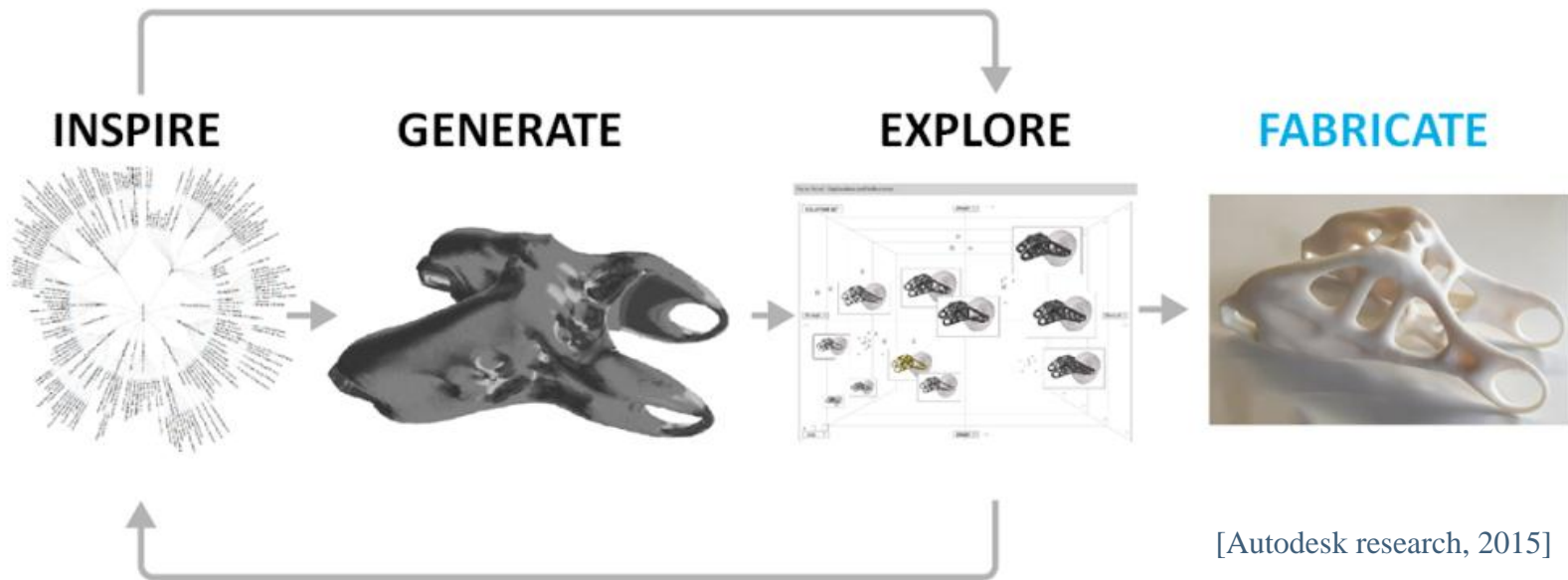
Перспективы машинного интеллекта и управления знаниями в инженерии



[Левенчук А.И., 2014]

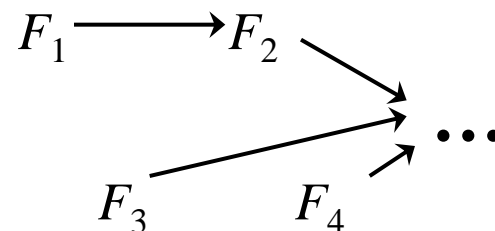
Порождающее проектирование и производство

- ▶ Требования поступают на естественных, графических и специальных языках
- ▶ Оптимальное проектное решение синтезируется и производится автоматически



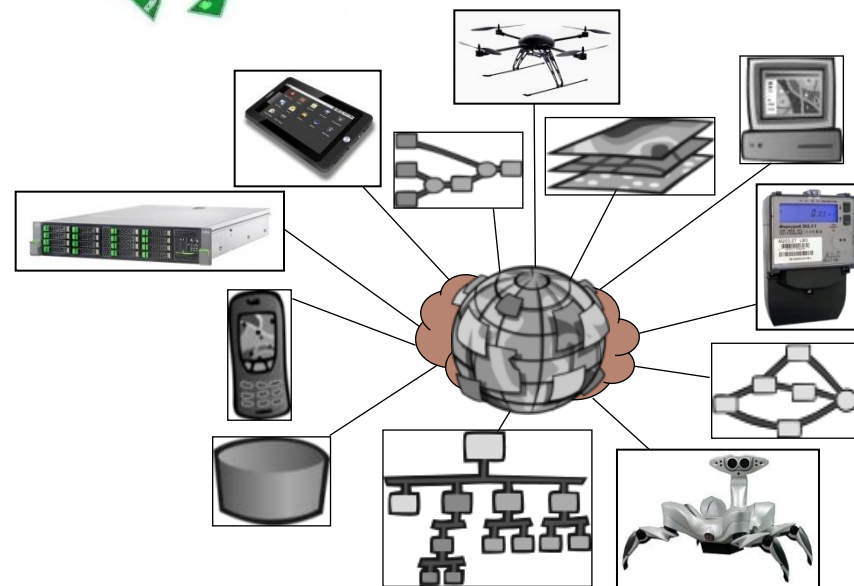
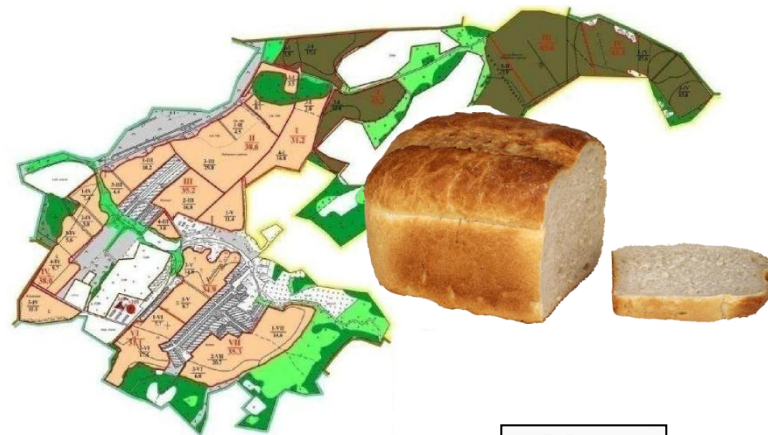
Логико-категорная модель порождающего проектирования сложных систем

- ▶ Пусть C – категория, представляющая аксиоматическое описание некоторого системного аспекта
 - ▶ Геометрия/топология, поведение, переработка сигнала, ...
- ▶ Пусть $F_i : D_i \rightarrow C$ – семейство функторов, выделяющих аспект C из аксиоматических описаний D_i подсистем различных видов
 - ▶ D_1 – кинематика жестких тел,
 - ▶ D_2 – теория упругости,
 - ▶ D_3 – электротехника,
 - ▶ D_4 – программное обеспечение, ...
- ▶ Пусть I – граф, вершины которого помечены функторами F_i
- ▶ Все экземпляры графа I как диаграммы в C и все их индуцированные естественные преобразования образуют категорию гиперзапятой в форме (I, F) (Ковалёв С.П., 2016)
 - ▶ Аксиоматическое описание систем структуры I в аспекте C



Глубокая автоматизация системной деятельности

- ▶ Система – целое, возможности которого превосходят возможности частей



Спасибо за внимание