



Наука будущего – наука молодых

Понятийная модель знаний

Выходанец Валерий Святославович
МГТУ им. Н. Э. Баумана

21 сентября 2023 г.

Что такое знание?

- **Знание** – психическое явление, которое субъективно (идеально) и не может быть непосредственно изучено.
- **Знание** – результат *познавательной деятельности*, который логически или фактически обоснован и допускает эмпирическую или практическую проверку на достоверность.

Приобретение знаний осуществляется в результате педагогического процесса, самообразования и жизненного опыта.

Применение знаний – адекватное отражение окружающего мира.

Представление знаний – отчуждение знания от его носителя во внешней (объективной) форме.

Объективация знаний – признание знаний, представленных в некоторой внешней форме объективно истинными и социально значимыми.

Структура знаний

- **Понятие** – форма мысли, что-либо выделяющая и называющая: субъект s , предикат p , объект o , атрибут a .
- **Суждение** – форма мысли, что-либо утверждающая: $A \sim s p o a$.
- **Умозаключение** – умственное действие, связывающее суждения-посылки с суждениями-следствиями: $A \wedge B \rightarrow A$.
- **Рассуждение** – мыслительная деятельность, направленная на получение из суждений-посылок суждений-следствий.
- **Теория** – суждения-следствия, полученные в процессе рассуждения из некоторых суждений-посылок с помощью умозаключений заданного множества (достоверные, правдоподобные, вероятные).
- **Знание** – результат отражения реальности, представленный в сознании субъекта понятиями и суждениями, утвержденными некоторым множеством умозаключений.

Модели знаний

- **Модель** знаний – средства формального описания знаний (язык) и методы оперирования ими.
- **Модели знаний:**
 - *логические* (язык логики): исчисление предикатов, дескрипционные логики;
 - *сетевые* (язык ориентированных графов): семантические сети, концептуальные графы, фреймы, модель «сущность-связь», объектные;
 - *продукционные* (язык продукций): логические, грамматические;
 - *понятийные* (понятийный язык).

Недостатки моделей знаний

- Невозможность использовать в качестве переменных предикаты.
- Неразрешимость формул (логика первого порядка).
- NP-полнота вывода на знаниях (логика первого порядка)
- Низкая выразительность языка знаний (дескрипционная логика).
- Трудности проверки знаний на непротиворечивость и полноту.
- Недетерминированность процедур вывода на знаниях.
- Необходимость использования эвристик при выводе.
- Вывод не гарантирует достоверность результата и не имеет логического обоснования (сетевые модели).
- Нет средств для представления процедурных знаний.
- Обучение моделей только с учителем.

Нейронные сети и знания

- Искусственные нейронные сети для представления и обработки знаний имеют существенные проблемы:
- невозможность объяснения получаемых результатов,
- отсутствие гарантии верного (полного) решения задачи,
- непредсказуемость прогностической способности сети,
- трудности в решении задач по шагам и вычислительных задач,
- требуется длительное обучение,
- трудность получения обучающей выборки,
- присутствует риск переобучения сети,
- и т. д.

Конкретные понятия

○ **Элементарное понятие** (понятие-знак, понятие-значение) образуется при мысленном *выделении* в предметной области уникального представления (целостного образа) и присвоения ему имени (абстракция *отождествления*).

Примеры: Зеленый, Много, Красиво, Всегда, Движение, Любовь.

В информационных системах: 'с', 12, 1.3e-12, 18.06.2019 15:45, "abc" (значения простых типов данных).

○ **Простое понятие** (понятие-тип, понятие-признак) образуется путем *объединения* элементарных понятий, сходных в некотором смысле (абстракция *типизации*).

Примеры: Цвет (Красный, Зеленый, ...), Целое число (1, 2, 3, ...).

В информационных системах: Символ, Целое, Число с плавающей запятой, Дата и время, Строка (простые типы данных).

Абстрактные понятия

 **Понятие-ассоциация** образуется путем *соединения* нескольких понятий в одно составное (абстракция *ассоциации*).

Пример: понятие-ассоциация Погода как соединение понятий Место, Дата, Температура, Влажность, Ветер, Облачность и т.п.

В информационных системах: массив структур, таблица базы данных.

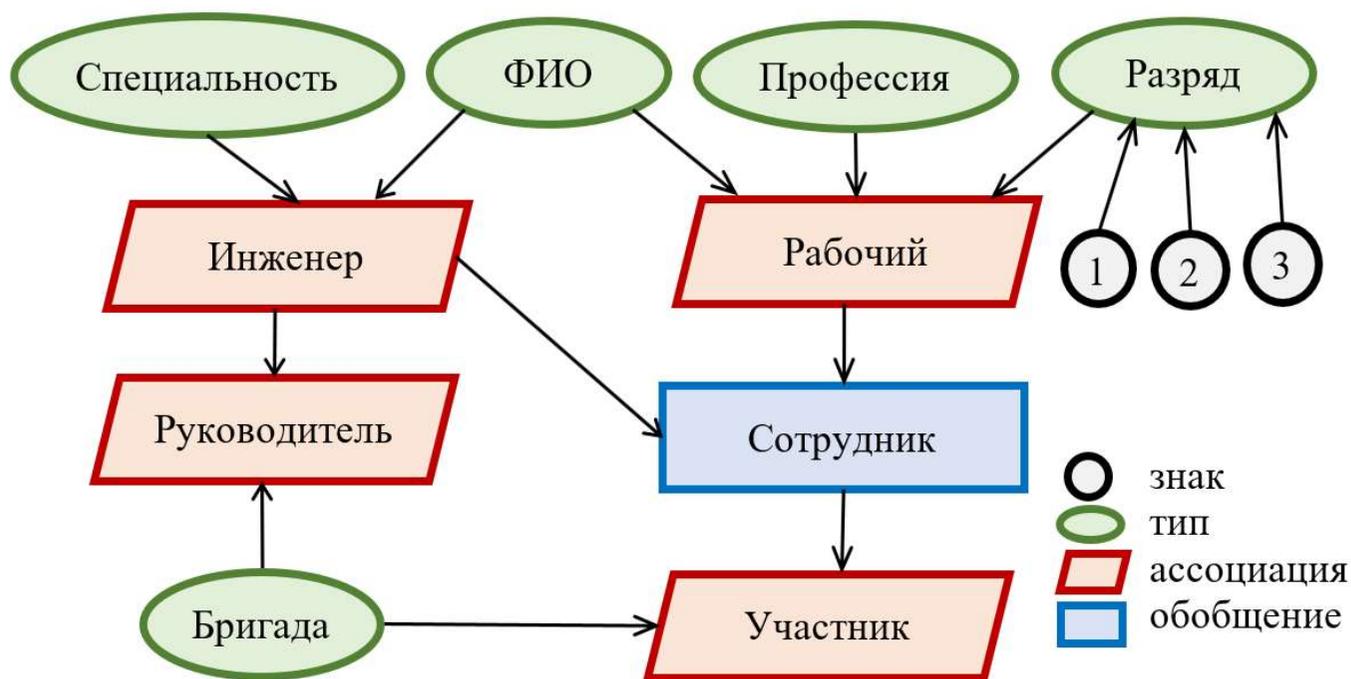
 **Понятие-обобщение** образуются путем *объединения* нескольких понятий в одно общее (абстракция *обобщения*).

Пример: Понятие-обобщение Фрукт как объединение понятий Яблоко, Груша, Персик, Абрикос и др.

В информационных системах: массив базовых объектов, union-запрос к базе данных.

Понятийная модель

- **Понятийная структура** задает способы образования понятий.



- **Виды** понятий:
 - знак (элементарное);
 - тип (простое);
 - ассоциация;
 - обобщение.
- **Связи** понятия – указание понятий, использованных для его образования.

- **Понятийная модель** – понятийная структура и описание сущностей понятий предметной области (задание перечислимых или разрешимых множеств сущностей).

Описание сущностей

- **Факты** - истинные суждения с логическими связями И (\wedge), ИЛИ (\vee), НЕ (\neg), кванторами и двумя видами элементарных выражений:
 - одноместными предикатами принадлежности понятия E понятию N вида $N(E)$;
 - отношениями вида $E[N] \circ V$, где $E[N]$ - функтор, возвращающий значение ассоциированного понятия N сущности E , \circ - знак отношения ($=$, $<$, $>$ и т.п.), некоторая сущность V .
- **Примеры:**
 - Разряд(2) – 2 есть сущность понятия-типа Разряд;
 - Рабочий(X) – X есть сущность понятия-ассоциации Рабочий;
 - $X[\text{Разряд}] = 3$ – Рабочий X имеет Разряд, равный 3;
 - Сотрудник(Y) – Y есть сущность понятия-обобщения Сотрудник;
 - $\neg Y[\text{Рабочий}] = X$ – Сотрудник Y не является Рабочим X .

Правила вывода

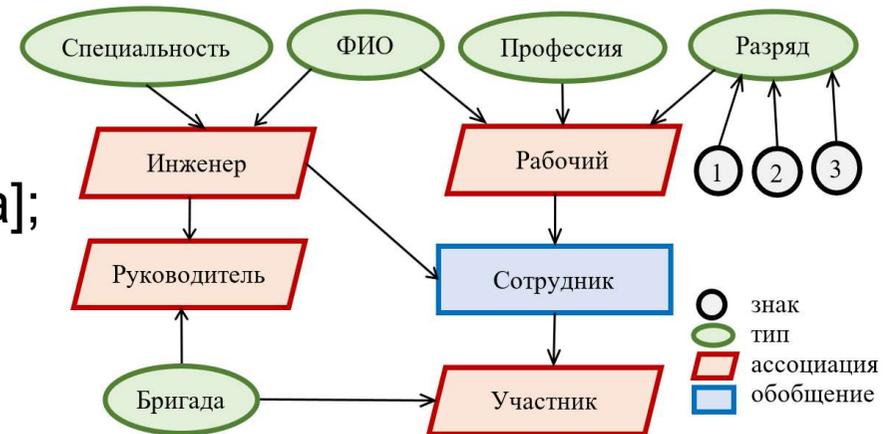
$$g: N_j(E) \leftrightarrow \bigvee_{\forall N_i \in H_j} N_i(E); \quad a: N_j(E) \rightarrow \bigwedge_{\forall N_i \in H_j} E[N_i],$$

где a – правило вывода из понятия-ассоциации N_j , g – правило вывода из понятия-обобщения N_j , H_j - схема понятия N_j .

Схема понятия – набор абстрагируемых понятий (понятий, на которых образовано определяемое понятие).

Примеры правил вывода:

- а: Инженер(X) \rightarrow X [Специальность] \wedge X [ФИО];
- а: Руководитель(X) \rightarrow X [Инженер] \wedge X [Бригада];
- g: Сотрудник(X) \leftrightarrow Инженер(X) \vee Рабочий(X);
- а: Участник(X) \rightarrow X [Сотрудник] \wedge X [Бригада].



Язык запросов

Пример запроса к базе знаний: «Кто из участников бригады В не является рабочим с третьим разрядом?»

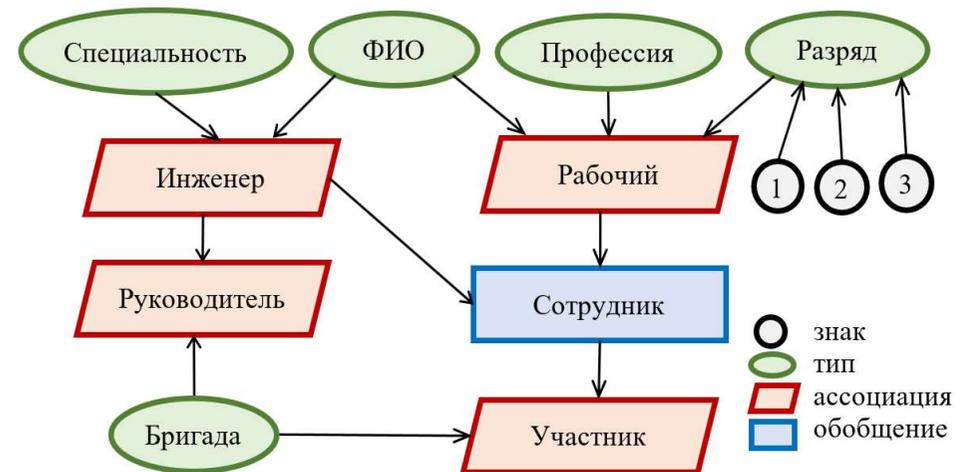
Участник(X) \wedge X [Бригада] = В \wedge

$\forall Y$ (X [Сотрудник] = Y \wedge Рабочий(Y) \wedge \neg Y [Разряд] = 3).

Формулы понятийных моделей –

формулы одноместного исчисления предикатов, которые

- непротиворечивы,
- разрешимы,
- полны на конечных моделях,
- эффективно вычислимы.



Процедурные знания

Для представления процедурных знаний предусмотрены процедуры и функции, которые, как и все в понятийных моделях, являются сущностями соответствующих понятий.

```
// Определение функции повышения разряда
Повышение = (Разряд) → Разряд < 3 ? 1 : 0;
// Создание индексной переменной
Индекс = 0;
// Открытие транзакции с именем Разряды
begin Разряды;
// Запрос сущностей локального понятия Рабочие
Рабочие = (X)(Участник(X) && X[Бригада] == ' В '
    && Рабочий(X[Сотрудник]));
```

```
// Цикл по сущностям понятия Рабочие
while (Индекс < Рабочие{})
{
    // Создание локальной сущности Рабочий
    Рабочий = Рабочие{Индекс};
    // Увеличение атрибута Разряд
    Рабочий[Разряд] += Повышение(Рабочий[Разряд]);
    // Приращение индекса сущности понятия Рабочие
    Индекс = Индекс + 1;
}
// Обновление измененных сущностей
()Рабочие;
// Успешное завершение транзакции
commit Разряды;
```

Обучение понятийной модели

- **Обучение с учителем.** Создание, изменение и удаление понятий и сущностей в базе знаний непосредственно пользователем.
 - **Погода** \subseteq **Место** \otimes **Дата** \otimes **Температура** \otimes **Влажность** \otimes ...
- **Обучение с подкреплением.** Автоматический ввод описаний предметной области от разного рода внешних источников с уже готовыми группировками составляющих понятий, распознавание уже имеющихся сущностей или добавление вновь найденных, создание новых сущностей и понятий в случае необходимости.
 - **{{Орел} {21.09.2023} {23°C} {30 %} ...} {{Москва} {25.09.2023} {19°C} {35 %} ...}**
- **Обучение без учителя.** Автоматический ввод и распознавание последовательности внешних сущностей (понятий-знаков), их соединение для образования понятий-ассоциаций, пополнение экстенсионалов понятий, а если распознанные сущности по составу не обнаружены, создание новых понятий и наполнение их предметным содержанием.
 - **Орел 21.09.2023 23°C 30 % ... Москва 25.09.2023 19°C 35 % ...**

Заключение

- **Трудности** представления и обработки знаний в логических, сетевых и продукционных моделях. Наилучшая модель для представления и обработки знаний – понятийная модель.
- **Понятийная модель** не использует языковую метафору для представления знаний (субъект+предикат+объект), в ней понятиями являются и предикаты.
- **Основа** понятийного моделирования знаний – три предельно общие операции с понятиями (отождествление, ассоциация, обобщение).
- **Семантическая инвариантность** понятийной модели – для ее интерпретации не надо знать семантику предикатов, ролей, помеченных дуг и т.п.: все, что необходимо знать о предметной области, содержится в модели.
- **Обучение с подкреплением и без учителя** – структурирование входного потока данных на основе имеющихся знаний и выделение в нем известных и неизвестных сущностей для подкрепления и пополнения понятийной модели.
- **Представление процедурных знаний** в понятийной модели.
- **Высокая эффективность** обработки знаний: поиск сущности в таблице понятия с n сущностями имеет асимптотику $\ln n$.

Литература

- 1. Baral C. Knowledge Representation, Reasoning and Declarative Problem Solving. – Cambridge: Cambridge University Press, 2004. – 541 p.
- 2. The description Logic Handbook: Theory, Implementation and Applications / Eds. F. Baader, D. Calvanese, D. L. McGuinness, et al. – New York: Cambridge University Press, 2003. – 573 p.
- 3. Chein M., Mugnier M.-L. Graph-based Knowledge Representation: Computational Foundations of Conceptual Graphs. – Springer, 2009. – 425 p.
- 4. Klahr D., Langley P., Neches R. Production System Models of Learning and Development. Cambridge. – Cambridge: The MIT Press, 1987. – 466 p.
- 5. Выхованец В.С. Понятийный анализ и понятийное моделирование // Управление большими системами. Вып. 92. – М.: ИПУ РАН, 2021. – С. 64-109. – <https://doi.org/10.25728/ubs.2021.92.4>.