



# Языки онтологического моделирования

Курс: Концептуальное  
моделирование предметных  
областей



# План лекции

- Онтология
- Примеры на языках KIF, Ontolingua
- Основные сведения о логиках описаний
- Языки OWL и OWL 2
- Место онтологий в семантическом вебе



# Преследуемые цели

- Выработка общего словаря предметной области
  - Взаимодействие с разными исследовательскими группами
  - Взаимодействие специалистов предметных областей и специалистов в информационных технологиях и науке о данных
  - Создание исследовательских сообществ
- Согласование понятий и семантики объектов в предметной области
  - Концептуализация предметной области
  - Формализация определения понятий, ограничений их интерпретации
- Понятные машине спецификации
  - Возможность автоматического вывода
- Пока не говорим о применении



# Определение онтологии

- Онтология
  - Явным образом определённая спецификация концептуализации
  - Формальное представление множества понятий предметной области и связей между этими понятиями
  - Словарь предметной области, содержащий точные определения или аксиомы, ограничивающие смысл терминов
  - Онтология = словарь предметной области + логическая теория



# Назначение онтологий

- Онтологии используются для
  - Определения состава понятий, используемых в предметной области
  - Описания наиболее общих свойств понятий предметной области
  - Соглашение сообщества об интерпретации понятий
  - Определения общедоступной логической теории предметной области
  - Отнесение объектов к понятиям предметной области
- Онтологии изначально не предназначены для
  - Абстрактного представления данных и их структуры
  - Хранения данных об объекте предметной области
  - Внутренних структур информационных систем



# ЯЗЫКИ ОНТОЛОГИЙ

- «Явным образом определённая спецификация»
  - Выраженная в определённой модели данных
- «Понятна машине»
  - Формальная модель
- Разновидности языков онтологий
  - Неформальные
    - Лингвистические (тезаурусы)
    - Связи понятий и указанием силы связи
    - Графические (Семантические сети, RDF, UML)
  - Формальные
    - Логика первого порядка (KIF, Ontolingua)
    - Неклассические логики (F-Logic, модальная логика)
    - Логики описаний (OWL, OWL 2)



# Элементы онтологий

- Индивиды, объекты, экземпляры
  - Константы
- Понятия, концепты, классы, типы, термины
  - Унарные предикаты
- Отношения, свойства, роли, связи
  - Бинарные предикаты или предикаты высших порядков
- Утверждения, определения
  - Аксиомы, теоремы (выведенные знания) в модели, определяемой языком онтологий



# Язык KIF

- Язык обмена знаниями
- Язык для выражения логики предикатов первого порядка

(forall ?W ( $\Rightarrow$  (writer ?W)

(exists (?R ?D) (and

(reader ?R) (document ?D)

(writes ?W ?D) (reads ?R ?D)

(not (understands ?R ?D))))))



# Язык Ontolingua

- Классы, отношения, функции, индивиды  
(define-class class-name (?instance-variable)  
"documentation string"  
:def or :iff-def KIF-sentence  
:constraints KIF-sentence  
:sufficient KIF-sentence  
:equivalence KIF-sentence  
:axioms KIF-sentence)
- Определение класса Plan  
(define-class Plan (?Plan)  
"Plan is the Activity-Spec in the Intended-Purpose Relationship"  
:axioms ((range Sub-Plan-Of Plan) (domain Sub-Plan-Of Plan)  
(instance-of Class Plan) (subclass-of Activity-Spec Plan)  
(subclass-of Qua-Entity Plan))  
:axioms (= (slot-cardinality Plan Intended-Purpose) 1)  
:iff-def (Exists (?Soa) (Intended-Purpose ?Plan ?Soa))  
)



# Логики описаний (Description logics)

- Семейство языков представления знаний
- Ответвление от семантических сетей и логики KL-ONE
- Описывают предметную область в терминах концептов (классов), ролей (отношений) и индивидов
- Определяют формальную семантику утверждений
- Используют разрешимые фрагменты логики первого порядка для определённых задач
- Предоставляют методы и средства логического вывода
  - Проверка непротиворечивости определений (непустая интерпретация)
  - Проверка поглощения между понятиями
  - Классификация понятий и индивидов на основе их описаний
- Процедура вывода корректна и полна
  - Все выводимые факты корректны в рамках теории
  - Выводятся все возможные корректные факты



# Конструкции логик описания

- Элементы дескриптивных логик
  - Атомарные концепты ( $C$ )
  - Атомарные роли ( $\mathcal{R}$ )
  - Индивиды ( $i$ )
- Конструкции
  - Пустой концепт  $\perp$
  - Полный концепт  $\top$
  - Пересечение, объединение концептов  $C_1 \sqcap C_2, C_1 \sqcup C_2$
  - Дополнение концепта  $\neg C$
  - Ограничение существования или всеобщности на значений роли  $\exists \mathcal{R}.C, \forall \mathcal{R}.C$
  - Ограничение множественности ролей  $\leq_n \mathcal{R}.C, \geq_n \mathcal{R}.C$
  - Пересечение и объединение ролей  $\mathcal{R}_1 \sqcap \mathcal{R}_2, \mathcal{R}_1 \sqcup \mathcal{R}_2$
  - Инверсная роль  $\mathcal{R}^-$
  - Принадлежность индивида концепту  $i : C$
  - Вложенность концептов  $C_1 \sqsubseteq C_2$



# Теоретико-множественная интерпретация

- $(\perp)^I : \emptyset$  (пустое множество)
- $(\top)^I : \Delta$  (множество всех возможных объектов)
- $(C)^I : C \subseteq \Delta$  (множество объектов)
- $(\mathcal{R})^I : R \subseteq \Delta \times \Delta$  (бинарное отношение)
- $(C_1 \sqcap C_2)^I : C_1 \cap C_2$  (пересечение множеств)
- $(C_1 \sqcup C_2)^I : C_1 \cup C_2$  (объединение множеств)
- $(\neg C)^I := \Delta \setminus C$  (все объекты, не входящие в множество  $C$ )
- $(\forall \mathcal{R}. C)^I : \{p \mid \forall q . \langle p, q \rangle \in R \rightarrow q \in C\}$  (все значения роли  $R$  принадлежат множеству  $C$ )
- $(\exists \mathcal{R}. C)^I : \{p \mid \exists q . \langle p, q \rangle \in R \rightarrow q \in C\}$  (существует хотя бы одно значение отношения  $R$ , принадлежащее  $C$ )
- $(\leq_n \mathcal{R}. C)^I : \{p \mid \#\{q \mid \langle p, q \rangle \in R\} \geq n\}$  (множество значений отношения  $R$ , принадлежащих  $C$ , не меньше  $n$ )
- $(C_1 \sqsubseteq C_2)^I : C_1 \subseteq C_2$  ( $C_1$  является подмножеством  $C_2$ )
- $(i:C)^I : I \in C$  (объект  $I$  принадлежит множеству  $C$ )



# Примеры определений в логике описаний

- Примеры определений
  - $\text{Male} \sqsubseteq \text{Person}$
  - $\text{Female} \sqsubseteq \text{Person}$
  - $\text{Male} \sqsubseteq \neg \text{Female}$
  - $\text{Person} \sqsubseteq \text{hasFather.Male}$
  - $\text{Person} \sqsubseteq \text{hasMother.Female}$
  - $\text{hasMother} \sqsubseteq \text{hasParent}$
  - $\text{hasFather} \sqsubseteq \text{hasParent}$
  - $\text{Doctor} \sqsubseteq \text{Person}$
  - $\text{Woman} \equiv \text{Person} \sqcap \text{Female}$
  - $\text{Mother} \equiv \text{Woman} \sqcap \exists \text{hasChild.T}$
  - $\text{Person} \sqsubseteq \forall \text{hasChild.Person}$
- Пример с индивидом
  - Mary – женщина, она не доктор, у нее есть дочка
  - $\text{Woman} \sqcap \neg \text{Doctor} \sqcap \exists \text{hasChild.Female}$



# Задачи, решаемые в логиках описаний

- Задачи вывода в дескриптивных логиках
  - Доказательство выполнимости концепта  $C$  (satisfiability)
    - $(C)^I \neq \emptyset$ , существует непустая интерпретация, соответствующая концепту  $C$
  - Доказательство вложенности концептов  $C_1 \sqsubseteq C_2$  (subsumption)
    - сводится к задаче выполнимости концепта  $C_1 \sqcup \neg C_2$
  - Доказательство эквивалентности концептов
    - сводится к задаче обратной вложенности  $C_1 \sqsubseteq C_2$  и  $C_2 \sqsubseteq C_1$
  - Доказательство выполнимости теории
    - проверка всех концептов на выполнимость
  - Классификация концептов
    - вывод всех возможных отношений вложенности и эквивалентности между концептами
  - Классификация экземпляра
    - Нахождение концепта для экземпляра
    - Нахождение отношения для экземпляра
  - Нахождение всех экземпляров концепта
  - Ответы на конъюнктивные запросы и т. д.



# Выбор логики

- Разные дескриптивные логики имеют разные наборы разрешённых конструкций
- Выбор конструкций обусловлен сложностью логического вывода для некоторых задач в данной логике
- От набора конструкций зависит сложность задач вывода
- В определённых дескриптивных логиках разрешим автоматический вывод для определённого набора задач



# Конструкции OWL DL

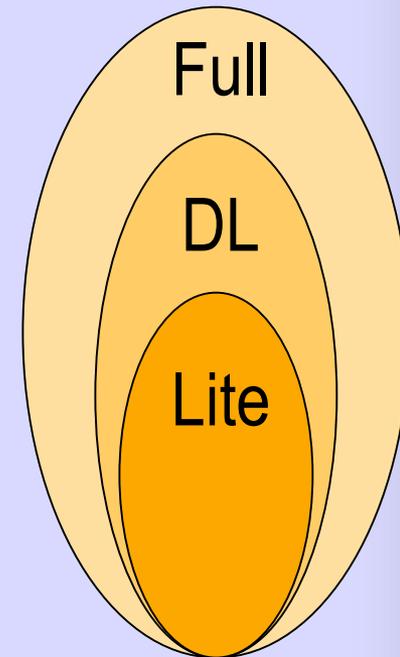
OWL DL	DL
Nothing	$\perp$
Thing	$\top$
Class	$C$
ObjectProperty	$R$
unionOf	$C_3 := C_1 \sqcup C_2$
complementOf	$C_2 := \neg C_1$
oneOf	$C := \{I_1\} \sqcup \{I_2\} \sqcup \dots$
allValuesFrom	$C_2 := \forall R.C_1$
someValuesFrom	$C_2 := \exists R.C_1$
hasValue	$C := \exists R.\{I\}$
minCardinality	$C := \geq_n R$
maxCardinality	$C := \leq_n R$
cardinality	$C := =_n R$
subClassOf	$C_1 \sqsubseteq C_2$
equivalentClass	$C_1 \equiv C_2 \equiv \dots$

OWL DL	DL
subPropertyOf	$R_1 \sqsubseteq R_2$
domain	$\leq_1 R \sqsubseteq C$
range	$\top \sqsubseteq \forall R.C$
inverseOf	$R_1 \equiv R_2^-$
equivalentProperty	$R_1 \equiv R_2 \equiv \dots$
TransitiveProperty	$R^+ \sqsubseteq R$
FunctionalProperty	$\top \sqsubseteq \leq_1 R$
InverseFunctional Property	$\top \sqsubseteq \leq_1 R^-$
SymmetricProperty	$R \equiv R^-$
DatatypeProperty	$A$
type	$I: C$
sameAs	$I_1 = I_2 = \dots$
differentFrom, AllDifferent	$I_1 \neq I_2 \neq \dots$
disjointWith	$C_1 \sqsubseteq \neg C_2$ $C_1 \sqcap C_2 \equiv \perp$



# Профили OWL

- **OWL DL (Description Logic)**
  - Содержит все конструкции OWL, но ограничивает их интерпретацию и совместное использование для гарантированной вычислительной полноты и разрешимости, соответствует логике SHOIQ(D+)
  - Сложность задачи классификации: NExpTime
- **OWL Lite**
  - Подмножество OWL для выражения классификаций и простых отношений, соответствует логике SHIF(D)
  - Декларировалась возможность масштабирования по количеству определений
  - На практике сложность задачи классификации без считающих кванторов ExpTime (не сильно изменилась)
- **OWL Full**
  - Все конструкции OWL без ограничений использования, но без гарантий возможности вывода
  - Например, экземплярами понятий могут быть понятия
- **Совместимость определений**
  - Все корректные онтологии OWL Lite корректны для OWL DL и OWL Full.
  - Все корректные онтологии OWL DL корректны для OWL Full.





# Профили OWL 2

- OWL 2 EL
  - Для большого количества классов
  - Логика EL конструкциями  $\exists R.C$  и  $C_1 \sqcap C_2$
  - и несколько конструкций, не ухудшающих вывод
- OWL 2 QL
  - Коррекции логики описаний для улучшения производительности
  - Некоторые ограничения стали неудобными, зависящими от контекста
- OWL 2 RL
  - приближенный к Datalog
  - продукции вида  $R_1(\vec{x}_1) \wedge \dots \wedge R_n(\vec{x}_n) \rightarrow R(\vec{x})$



# Пример OWL

```
Class (:Person
    SubClassOf(ObjectExactCardinality( 1 :hasParent :Man ))
    SubClassOf(ObjectExactCardinality( 1 :hasParent :Woman ))
)
SubObjectPropertyOf(:hasFather :hasParent)
InverseObjectProperties(:hasParent :hasChild)
DisjointClasses(:Woman :Man)
```



# Примеры определений на языке OWL

- Классы персона, мужчина, женщина
  - Class (person)
  - Class (man  
SubClassOf(person))
  - Class (woman  
SubClassOf(person))
- Свойства быть родителем, матерью, отцом
  - ObjectProperty (hasParent)
  - ObjectProperty (hasMother  
SubPropertyOf(hasParent))
  - ObjectProperty (hasFather  
SubPropertyOf(hasParent))
- Каждая мать женщина
  - SubClassOf(  
SomeValuesFrom(  
InverseOf(hasMother) owl:Thing)  
woman)
- Классы женщин и мужчин не пересекаются
  - DisjointClasses(man woman)
- У человека двое родителей
  - SubClassOf(person  
ExactCardinality(2 hasParent))
- У человека есть мать и отец
  - SubClassOf(  
person  
IntersectionOf(  
  
SomeValuesFrom(hasMother  
owl:Thing)  
  
SomeValuesFrom(hasFather  
owl:Thing)))



# Инструменты

- Редактор онтологий
  - Protégé <http://protege.stanford.edu/>
- Обертки
  - OWL API
  - Apache Jena (Java),
  - owlready (Python)
- Системы вывода
  - Racer
  - Pellet
  - FaCT
  - KAON2



## Место онтологий в Семантическом вебе

- Человеко-читаемый означает, что смысл написанного несёт в себе человек, не компьютер
- Онтология даёт возможность выражения смысла непосредственно с помощью языка
- Онтологии в OWL определены в терминах языков RDF и RDFS (языков описания ресурсов)
- Онтологии в OWL являются основой для выражения правил в их терминах

