



Objectivos

- Adquirir uma noção acerca dos conceitos básicos de lógica de primeira ordem
- Adquirir uma noção acerca da utilização da lógica de primeira ordem para a implementação de uma base de conhecimento



- Sumário:
 - Lógica de primeira ordem



Agentes baseados em conhecimento

- O componente central de um agente baseado em conhecimento é a sua ***base de conhecimento***
- A base de conhecimento é formada por um conjunto de ***sentenças*** que representam afirmações acerca do mundo
- As sentenças se expressam numa ***linguagem de representação de conhecimento***



Limitações da LP

- A LP é simples demais para representar alguns problemas reais
- Se o número de variáveis proposicionais for elevado, o método de verificação de modelo pode ser impraticável
- Ao implementar um sistema de prova, pode ser necessário utilizar um número muito grande de sentenças para criar um agente inteligente
- A LP tem certa falta de generalidade e não permite descrever objectos estruturados
 - “Quadrados adjacentes a poços possuem brisa”
 - $B_{1,1} \Leftrightarrow (P_{1,2} \vee P_{2,1})$ - (Seria necessário declarar uma sentença para cada quadrado!)



Linguagem natural

- A linguagem natural
 - É muito mais expressiva que a lógica proposicional
 - Serve de meio de comunicação
 - Depende fortemente do contexto
 - Pode ser ambígua
- Se pode adaptar a LP associando as vantagens da linguagem natural enquanto se mantém o seu carácter declarativo, a semântica independente do contexto e ausência de ambiguidades



Lógica de primeira ordem (LOP)

- À semelhança da linguagem natural, a LOP se estrutura ao redor de objectos e suas relações



Compromisso ontológico

- O que cada linguagem pressupõe sobre a natureza da realidade
 - Na lógica proposicional o mundo consiste em ***factos***
 - Na lógica de primeira ordem, o mundo consiste em:
 - ***Objectos***: coisas com identidade própria (pessoas, casas, wumpus, ...)
 - ***Relações*** entre os objectos (Pai-de, Parte-de, ...)
 - ***Propriedades*** que distinguem os objectos (vermelho, alto, bonito, ...)
 - ***Funções***: um ou mais objectos se relacionam com um único objecto (dobro, distância, ...)



Compromisso epistemológico

- Possíveis estados de conhecimento que uma lógica permite com relação a um facto
- A LPO tem o mesmo compromisso que a LP
 - Uma sentença representa um facto que um agente crê verdadeiro, falso ou não tem opinião

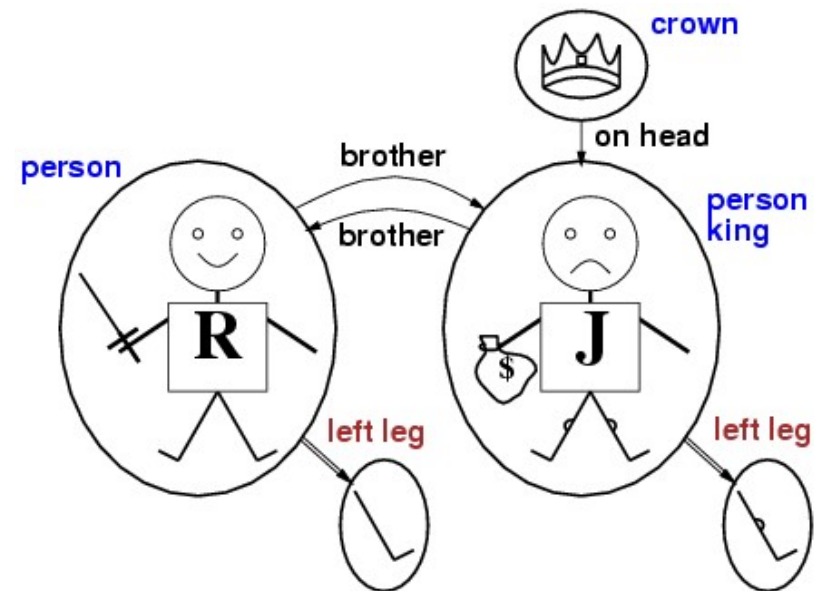


Modelos em LPO

- Um modelo em LPO contém objectos incluídos
- O ***domínio*** de um modelo é o conjunto de objectos contidos no mesmo
 - Designados ***elementos do domínio***

Modelo em LPO: exemplo

- Modelo com 5 objectos
 - Ricardo coração de Leão
 - Seu irmão mais novo João
 - As pernas esquerdas de Ricardo e João
 - Uma coroa





Modelo em LPO: exemplo

- Os objectos podem relacionar-se de diferentes maneiras
 - Relação *Irmão*, conjunto {<Ricardo, João>, <João, Ricardo>}
 - Relação *NaCabeça*, {<coroa, João>}
 - Propriedade *Pessoa* (relação unaria), {<Ricardo>, <João>}
 - Função *PernaEsquerda*
 - <Ricardo> → perna esquerda do Ricardo
 - <João> → perna esquerda do João



Sintaxe e semântica

- Elemento sintáctico básico: símbolo
- Podem ser de três tipos:
 - Símbolos de constantes: representam objectos
 - Ricardo, João
 - Símbolos de predicados: representam relações
 - Irmão, NaCabeça, Pessoa
 - Símbolos de funções: representam funções
 - PernaEsquerda



Sintaxe e semântica

- Cada modelo possui uma interpretação que especifica exactamente que objectos, relações e funções são referidos pelos símbolos utilizados
- Interpretação pretendida:
 - Ricardo se refere a “Ricardo Coração de Leão”
 - João se refere ao “perverso rei João”
 - Irmão se refere à “relação de fraternidade”
 - NaCabeça se refere à relação “na cabeça” que é válida entre a coroa e o rei João
 - Pessoa, Rei e Coroa se referem aos conjuntos de objetos que são pessoas, reis e coroas
 - PernaEsquerda se refere à função “perna esquerda”.



Sintaxe e semântica

Sentença \rightarrow SentençaAtômica | (Sentença Conectivo Sentença)

| Quantificador Variável,... Sentença

| \neg Sentença

SentençaAtômica \rightarrow Predicado(Termo,...) | Termo = Termo

Termo \rightarrow Função(Termo,...) | Constante | Variável

Conectivo $\rightarrow \wedge | \vee | \Rightarrow | \Leftrightarrow$

Quantificador $\rightarrow \forall | \exists$

Constante $\rightarrow A | X | \text{João} | \dots$

Variável $\rightarrow a | x | s | \dots$ (letras minúsculas)

Predicado $\rightarrow \text{Vermelho} | \text{Tem-cor} | \text{IrmãoDe} | \dots$

Função $\rightarrow \text{Mãe} | \text{PernaEsquerda} | \dots$



Termos

- É uma expressão lógica que se refere a um objecto
 - PernaEsquerda(João)



Sentenças atômicas

- Formadas por um símbolo de predicado seguido de uma lista de termos entre parênteses
 - Irmão(Ricardo, João)
 - Casado(Pai(Ricardo), Mãe(João))
- Uma sentença atômica é verdadeira num modelo, sob uma dada interpretação, se a relação referida pelo símbolo de predicado é válida entre os objetos referidos pelos argumentos



Sentenças complexas

- Formadas com uso de conectivos lógicos, da mesma maneira que na lógica proposicional
 - $\neg \text{Irmão}(\text{PernaEsquerda}(\text{Ricardo}), \text{João})$
 - $\text{Irmão}(\text{Ricardo}, \text{João}) \wedge \text{Irmão}(\text{João}, \text{Ricardo})$
 - $\text{Rei}(\text{Ricardo}) \vee \text{Rei}(\text{João})$
 - $\neg \text{Rei}(\text{Ricardo}) \Rightarrow \text{Rei}(\text{João})$



Quantificadores

- Permitem expressar propriedades de coleções inteiras de objectos em vez de enumerá-los pelos seus nomes
 - Universal (\forall): “Para todo...” $\forall x P$, onde P é qualquer expressão lógica, afirma que P é verdadeira para todo objeto x
 - $\forall x \text{Rei}(x) \Rightarrow \text{Pessoa}(x)$
 - Existencial (\exists): “Para algum...” $\exists x P$ afirma que P é verdadeira para pelo menos um x
 - $\exists x \text{Rei}(x)$
 - $\exists x \text{coroa}(x) \wedge \text{NaCabeça}(x, \text{João})$



Quantificadores

- Podem ser aninhados em sentenças complexas
- Mas é importante a ordem em que se colocam
 - $\forall x \forall y \text{ Irmão}(x,y) \Rightarrow \text{Parente}(x,y)$
 - “Irmãos são parentes”
 - $\forall x,y \text{ Parente}(x,y) \Leftrightarrow \text{Parente}(y,x)$
 - “Parente é uma relação simétrica”
 - $\forall x \exists y \text{ Ama}(x,y)$
 - “Todo mundo ama alguém”
 - $\exists y \forall x \text{ Ama}(x,y)$
 - “Existe alguém que é amado por todo mundo”



Quantificadores

- Os dois quantificadores estão conectados um ao outro através da negação
 - $\forall x \neg \text{Gosta}(x, \text{Cenouras}) \equiv \neg \exists x \text{Gosta}(x, \text{Cenouras})$
“todo mundo detesta cenouras” \equiv “não existe alguém que goste de cenouras”
 - $\forall x \text{Gosta}(x, \text{Gelado}) \equiv \neg \exists x \neg \text{Gosta}(x, \text{Gelado})$
“todo mundo gosta de gelado” \equiv “não existe alguém que não goste de gelado”



Igualdade

- O símbolo de igualdade pode ser utilizado para significar que dois termos referem ao mesmo objecto
 - $\text{Pai}(\text{João}) = \text{Henrique}$
- Da mesma forma podemos utilizar para expressar que dois símbolos se referem a diferentes objectos
 - $\exists x \exists y \text{Irmão}(x, \text{Ricardo}) \wedge \text{Irmão}(y, \text{Ricardo}) \wedge \neg(x = y)$



Exemplo: mundo do wumpus

- As percepções são armazenadas na BC junto ao valor do tempo em que ocorrem
 - Percepção ([Cheiro, Brisa, Brilho, Nada, Nada], 5)
- As acções podem ser representadas por termos lógicos
 - Virar(Direita), Virar(Esquerda), Avançar, Atirar, Agarrar, Soltar.
- Para determinar a melhor acção o agente realiza consultas:
 - $\exists x \text{ MelhorAção}(x, 5)$
 - ASK deve retornar uma lista de vinculação como $\{a/\text{Agarrar}\}$



Exemplo: mundo do wumpus

- Os dados brutos da percepção implicam certos factos sobre o estado actual:
 - $\forall_{t,s,g,m,c} \text{Percepção}([s,\text{Brisa},g,m,c],t) \Rightarrow \text{Brisa}(t)$
 - $\forall_{t,s,b,m,c} \text{Percepção}([s,b,\text{Brilho},m,c],t) \Rightarrow \text{Brilho}(t)$
- Comportamentos reflexos simples podem ser implementados por sentenças de implicação quantificadas:
 - $\forall_t \text{Brilho}(t) \Rightarrow \text{MelhorAção}(\text{Agarrar},t)$



Exemplo: mundo do wumpus

- Também se pode formular sentenças para descrever o ambiente
- Os quadrados podem ser identificados pelas suas filas e colunas ($[x, y]$); neste caso:
 - $\forall_{x,y,a,b} \text{Adjacente}([x,y],[a,b]) \Leftrightarrow [a,b] \in \{[x+1,y], [x-1,y], [x,y+1], [x,y-1]\}$
- Os poços podem ser descritos por um predicado unário que seria verdadeiro para as casas que os contém:
 - $\text{Poço}([x, y])$
- Pode-se usar uma função para descrever a localização do Wumpus
 - $\text{Home}(\text{Wumpus})$



Exemplo: mundo do wumpus

- A posição do agente varia com o tempo
 - $\text{Em}(\text{Agente}, s, t) \rightarrow$ significa que o agente se encontra na posição s no momento t
- Dada a sua localização, o agente pode inferir propriedades do local a partir das suas percepções nesse momento
 - Se o agente estiver num quadrado e perceber uma brisa, então esse quadrado é arejado
 - $\forall_{s,t} \text{Em}(\text{Agente}, s, t) \wedge \text{Brisa}(t) \Rightarrow \text{Arejado}(s)$



Exemplo: mundo do wumpus

- Conhecendo os quadrados arejados (ou não) e cheirosos (ou não) o agente pode deduzir onde estão localizados os poços ou o Wumpus
- Existem dois tipos de regras que permitem realizar estas deduções



Exemplo: mundo do wumpus

- Regras de diagnóstico:
 - Partem dos efeitos observados para as causas ocultas
 - $\forall_s \text{Arejado}(s) \Rightarrow \exists_r \text{Adjacente}(r,s) \wedge \text{Poço}(r)$
 - $\forall_s \neg \text{Arejado}(s) \Rightarrow \neg \exists_r \text{Adjacente}(r,s) \wedge \text{Poço}(r)$
 - $\forall_s \text{Arejado}(s) \Leftrightarrow \exists_r \text{Adjacente}(r,s) \wedge \text{Poço}(r)$



Exemplo: mundo do wumpus

- Regras causais:
 - Reflectem o direccionamento assumido para a causalidade no mundo
 - Certas causas ocultas do mundo provocam a geração de algumas percepções
 - $\forall_r \text{Poço}(r) \Rightarrow [\forall_s \text{Adjacente}(r,s) \Rightarrow \text{Arejado}(s)]$
 - $\forall_s [\forall_r \text{Adjacente}(r,s) \Rightarrow \neg \text{Poço}(r)] \Rightarrow \neg \text{Arejado}(s)$



Engenharia do conhecimento em LPO

- Processo de construção de uma base de conhecimento se designa ***engenharia de conhecimento***
- Pode variar em conteúdo, âmbito e dificuldade mas em geral implica os seguintes passos
 - Identificar a tarefa
 - Agregar conhecimento relevante
 - Definir um vocabulário de predicados, funções e constantes
 - Codificar o conhecimento geral sobre o domínio
 - Codificar uma descrição da instância específica do problema
 - Formular consultas ao procedimento de inferência e obter respostas
 - Depurar a base de conhecimento



Bibliografia

- Russell & Norvig, pg. 240 – 266
- Costa & Simões, pg. 146 – 156
- Palma Méndez & Marín Morales, pg. 46 – 57