

# Sistemas de Representação e Raciocínio

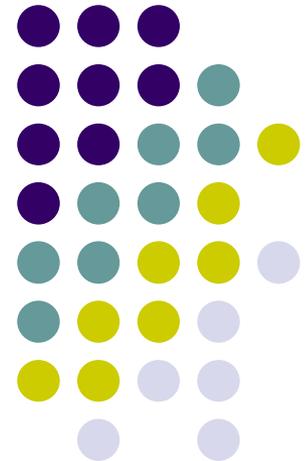
## Parte 2

---

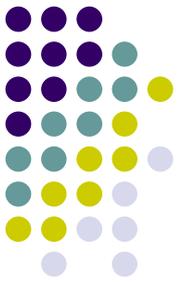
### Introdução à Inteligência Artificial

Profa. Josiane

Baseado no material de David Poole,  
Alan Mackworth e Randy Goebel  
Abril/2007



# Semântica

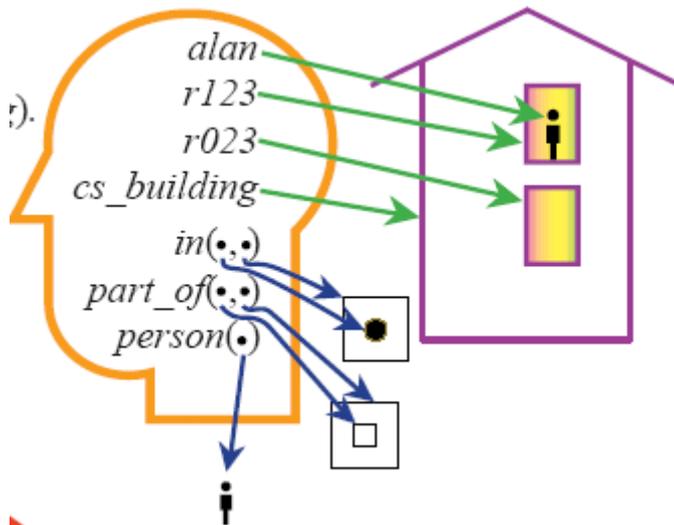


- A semântica está preocupada com:
  - Um conjunto de indivíduos no mundo, o domínio, e as relações entre eles
  - Uma correspondência entre os símbolos da linguagem e estes indivíduos e relações
- A correspondência entre os símbolos da linguagem e os símbolos no mundo definem uma **interpretação** da linguagem



# Semântica - Exemplo

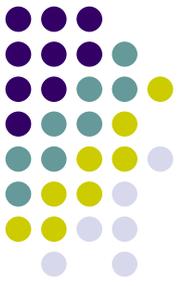
- Considere o domínio:



- A intenção é representar um domínio onde existe uma pessoa que está dentro de um quarto em um prédio

- Nomeamos cada indivíduo que estamos interessados
  - alan – denota a pessoa
  - r123 – denota o quarto
  - cs\_building – denota o prédio
- Predicados nesta interpretação
  - $\text{person}(\text{alan}) \Rightarrow \text{true}$
  - $\text{person}(\text{r123}) \Rightarrow \text{false}$
  - $\text{in}(\text{alan}, \text{r123}) \Rightarrow \text{true}$
  - $\text{in}(\text{alan}, \text{cs\_building}) \Rightarrow \text{true}$
  - $\text{in}(\text{cs\_building}, \text{r123}) \Rightarrow \text{false}$

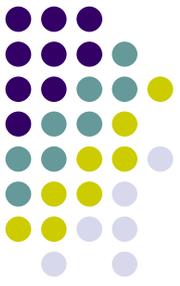
Uma **interpretação** na qual uma cláusula ou conjunto de cláusulas são<sub>3</sub> verdadeiras é conhecida como um **modelo** destas cláusulas



# Semântica formal

- Uma **interpretação** é uma tripla  $I = \langle D, \phi, \pi \rangle$
- Onde:
  - $D$ , é o **domínio**, um conjunto não vazio
    - Elementos de  $D$  são **indivíduos**
  - $\phi$  é um mapeamento que associa para cada constante um elemento de  $D$ 
    - A constante  $c$  **denota** o indivíduo  $\phi(c)$
  - $\pi$  é um mapeamento que associa cada símbolo de predicado  $n$ -ário uma função de  $D^n$  para o conjunto  $\{\text{TRUE}, \text{FALSE}\}$

# Formalizando a interpretação do exemplo



- $D$  é um conjunto com 4 elementos: a pessoa Alan, quarto 123, quarto 023, e o prédio CS
- As constantes são:  $alan$ ,  $r123$ ,  $r023$ ,  $cs\_building$
- O mapeamento  $\Phi$  é definido por:
  - $\phi(alan)$  é a pessoa chamada Alan
  - $\phi(r123)$  é o quarto 123
  - $\phi(r023)$  é o quarto 023
  - $\phi(cs\_building)$  é o prédio
- Os símbolos de predicados são:  $person$ ,  $in$  e  $part\_of$

# Formalizando a interpretação do exemplo



- A extensão do símbolo de predicado *person*
  - $\pi(\textit{person})(\textit{alan}') = \text{TRUE}$                        $\pi(\textit{person})(\textit{r023}') = \text{FALSE}$
  - $\pi(\textit{person})(\textit{cs\_building}') = \text{FALSE}$                        $\pi(\textit{person})(\textit{r123}') = \text{FALSE}$
  - Onde  $\textit{alan}' = \phi(\textit{alan})$
- A extensão do símbolo de predicado *in*
  - $\pi(\textit{in})(\textit{alan}', \textit{cs\_building}') = \text{TRUE}$                        $\pi(\textit{in})(\textit{alan}', \textit{r123}') = \text{TRUE}$
  - $\pi(\textit{in})$  aplicado a qualquer outro par de indivíduos é FALSE
- A extensão do símbolo de predicado *part\_of*
  - $\pi(\textit{part\_of})(\textit{r123}', \textit{cs\_building}') = \text{TRUE}$
  - $\pi(\textit{part\_of})(\textit{r023}', \textit{cs\_building}') = \text{TRUE}$
  - $\pi(\textit{part\_of})$  aplicado a qualquer outro par de indivíduos é FALSE

# Formalizando a interpretação

## Exemplo2



- Constantes: *phone*, *pencil*, *telephone*
- Símbolos de predicados: *noisy*(unário), *left\_of*(binário)

$$D = \{ \langle \text{scissors} \rangle, \langle \text{phone} \rangle, \langle \text{pencil} \rangle \}.$$

$$\phi(\text{phone}) = \langle \text{phone} \rangle, \phi(\text{pencil}) = \langle \text{pencil} \rangle, \phi(\text{telephone}) = \langle \text{phone} \rangle.$$

$$\pi(\text{noisy}):$$

$\langle \text{scissors} \rangle$	<i>FALSE</i>	$\langle \text{phone} \rangle$	<i>TRUE</i>	$\langle \text{pencil} \rangle$	<i>FALSE</i>
-----------------------------------	--------------	--------------------------------	-------------	---------------------------------	--------------

$$\pi(\text{left\_of}):$$

$\langle \text{scissors}, \text{scissors} \rangle$	<i>FALSE</i>	$\langle \text{scissors}, \text{phone} \rangle$	<i>TRUE</i>	$\langle \text{scissors}, \text{pencil} \rangle$	<i>TRUE</i>
$\langle \text{phone}, \text{scissors} \rangle$	<i>FALSE</i>	$\langle \text{phone}, \text{phone} \rangle$	<i>FALSE</i>	$\langle \text{phone}, \text{pencil} \rangle$	<i>TRUE</i>
$\langle \text{pencil}, \text{scissors} \rangle$	<i>FALSE</i>	$\langle \text{pencil}, \text{phone} \rangle$	<i>FALSE</i>	$\langle \text{pencil}, \text{pencil} \rangle$	<i>FALSE</i>



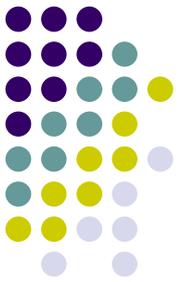
# Pontos importantes a considerar

- O domínio  $D$  pode conter objetos reais (e.g. uma pessoa, um quarto, um curso)
  - $D$  não precisa necessariamente ser armazenado em um computador.
- $\pi(p)$  especifica se a relação denotada pelo símbolo de predicado  $n$ -ário  $p$  é verdadeira ou falsa para cada  $n$ -tupla de indivíduos
- Se o símbolo de predicado  $p$  não tem argumentos, então  $\pi(p)$  é *TRUE* ou *FALSE*



# Verdade em uma interpretação

- Cada **termo fundamental** (sem variáveis) denota um indivíduo em uma interpretação
- A constante  $c$  **denota em  $I$**  o indivíduo  $\phi(c)$
- Um **átomo fundamental** (*ground atom*) (livre de variáveis)  $p(t_1, \dots, t_n)$  é
  - **Verdadeiro na interpretação  $I$**  se  $\pi(p)(t'_1, \dots, t'_n) = \text{TRUE}$ , onde  $t_i$  denota  $t'_i$  na interpretação  $I$  e
  - **Falsa na interpretação  $I$**  se  $\pi(p)(t'_1, \dots, t'_n) = \text{FALSE}$
- Uma **cláusula fundamental** (*ground clause*)  $h \leftarrow b_1 \wedge \dots \wedge b_m$  é falsa na interpretação  $I$  se  $h$  é falsa em  $I$  e cada  $b_i$  é verdadeiro em  $I$ , e é verdadeira na interpretação  $I$  caso contrário



<b>p</b>	<b>Q</b>	<b><math>p \wedge q</math></b>	<b><math>p \leftarrow q</math></b>
TRUE	TRUE	TRUE	TRUE
TRUE	FALSE	FALSE	TRUE
<b>FALSE</b>	<b>TRUE</b>	<b>FALSE</b>	<b>FALSE</b>
FALSE	FALSE	FALSE	TRUE

# Exemplos de verdade no domínio do exemplo 2



$noisy(phone)$	true
$noisy(telephone)$	true
$noisy(pencil)$	false
$left\_of(phone, pencil)$	true
$left\_of(phone, telephone)$	false
$noisy(pencil) \leftarrow left\_of(phone, telephone)$	true
$noisy(pencil) \leftarrow left\_of(phone, pencil)$	false
$noisy(phone) \leftarrow noisy(telephone) \wedge noisy(pencil)$	true



# Semântica para variáveis

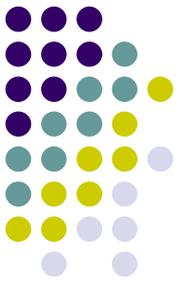
- Uma **atribuição de variável**,  $\rho$ , associa um elemento do domínio para cada variável da cláusula
- Dada uma interpretação e uma atribuição de variável, cada cláusula é TRUE ou FALSE
- Uma **cláusula é verdadeira em uma interpretação** se e somente se ela for verdadeira para **todas** as associações de variáveis no domínio
- Dizemos que as variáveis são **universalmente quantificadas** no escopo da cláusula



# Semântica para variáveis – Exemplo

- $part\_of(X, Y) \leftarrow in(X, Y)$  é falsa na interpretação do exemplo anterior
  - Quando  $X$  denota  $alan'$  e  $Y$  denota  $r123$  o corpo da cláusula é verdadeira, mas a cabeça é falsa
    - $\pi(in)(alan', r123') = \text{TRUE}$
    - $\pi(part\_of)(alan', r123') = \text{FALSE}$
- $in(X, Y) \leftarrow part\_of(Z, Y) \wedge in(X, Z)$  é verdadeira para todas as atribuições de variáveis

# Analizando a verdade da cláusula



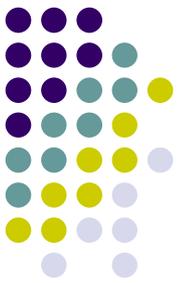
- $in(X, Y) \leftarrow part\_of(Z, Y) \wedge in(X, Z)$ 
  - $X = alan', Y = alan', Z = alan' \Rightarrow F \leftarrow F \wedge F \Rightarrow T$
  - $X = alan', Y = r023', Z = r123' \Rightarrow F \leftarrow F \wedge F \Rightarrow T$
  - $X = alan', Y = r023', Z = cs\_building' \Rightarrow F \leftarrow F \wedge T \Rightarrow T$
  - $X = alan', Y = r123', Z = r023' \Rightarrow T \leftarrow F \wedge F \Rightarrow T$
  - $X = alan', Y = r123', Z = cs\_building' \Rightarrow T \leftarrow F \wedge T \Rightarrow T$
  - $X = alan', Y = cs\_building'', Z = r023' \Rightarrow T \leftarrow T \wedge F \Rightarrow T$
  - $X = alan', Y = cs\_building'', Z = r123' \Rightarrow T \leftarrow T \wedge T \Rightarrow T$
  - $X = r023', Y = r023', Z = 023' \Rightarrow F \leftarrow F \wedge F \Rightarrow T$
  - $X = r023', Y = r123', Z = cs\_building' \Rightarrow F \leftarrow F \wedge F \Rightarrow T$
  - $X = r023', Y = r123', Z = alan' \Rightarrow F \leftarrow F \wedge F \Rightarrow T$
  - $X = r023', Y = cs\_building', Z = r123' \Rightarrow F \leftarrow F \wedge F \Rightarrow T$
  - $X = r023', Y = cs\_building', Z = alan' \Rightarrow F \leftarrow F \wedge F \Rightarrow T$
  - ...

# Modelos e consequências lógicas



- Uma **BC** é verdadeira em uma interpretação  $I$  se, e somente se **toda** cláusula em BC é verdadeira em  $I$
- Um **modelo** de um conjunto de cláusulas é uma interpretação na qual **todas** as cláusulas são verdade
- Seja a BC é um conjunto de cláusulas e  $g$  é uma conjunção de átomos
  - $g$  é um **consequência lógica** da BC, escrita como  $BC \models g$ , se  $g$  é verdade **para todo modelo da BC**
- Isto é,  $BC \models g$  se não existe nenhuma interpretação na qual a BC é verdadeira e  $g$  é falsa

# Modelos – Exemplo



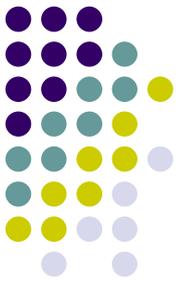
$$KB = \begin{cases} p \leftarrow q. \\ q. \\ r \leftarrow s. \end{cases}$$

	$\pi(p)$	$\pi(q)$	$\pi(r)$	$\pi(s)$	
$I_1$	<i>TRUE</i>	<i>TRUE</i>	<i>TRUE</i>	<i>TRUE</i>	is a model of <i>KB</i>
$I_2$	<i>FALSE</i>	<i>FALSE</i>	<i>FALSE</i>	<i>FALSE</i>	not a model of <i>KB</i>
$I_3$	<i>TRUE</i>	<i>TRUE</i>	<i>FALSE</i>	<i>FALSE</i>	is a model of <i>KB</i>
$I_4$	<i>TRUE</i>	<i>TRUE</i>	<i>TRUE</i>	<i>FALSE</i>	is a model of <i>KB</i>
$I_5$	<i>TRUE</i>	<i>TRUE</i>	<i>FALSE</i>	<i>TRUE</i>	not a model of <i>KB</i>

$KB \models p$ ,  $KB \models q$ ,  $KB \not\models r$ ,  $KB \not\models s$

# Consequências lógicas

## Exemplo



$in(alan, r123).$

$part\_of(r123, cs\_building).$

$in(X, Y) \leftarrow$

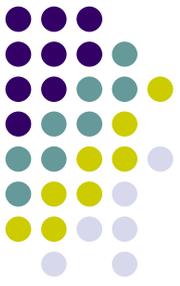
$part\_of(Z, Y) \wedge$

$in(X, Z).$



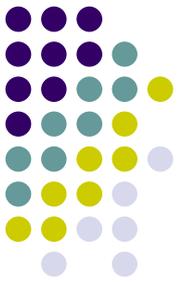
- $BC \models in(alan, r123)$  – fato
- $BC \not\models in(alan, r023)$
- $BC \not\models part\_of(r023, cs\_building)$ 
  - Existe uma interpretação falsa
  - $\pi(part\_of)(\phi(r023), \phi(cs\_building)) = FALSE$
- $BC \models in(alan, cs\_building)$

# A visão semântica do usuário



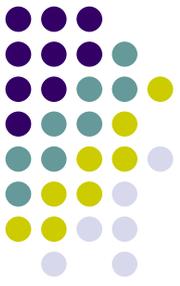
- Escolha o domínio de tarefa – interpretação pretendida
- Associe constantes com indivíduos que você quer manipular
- Para cada relação que você quer representar, associe um símbolo de predicado na linguagem
- Coloque no sistema cláusulas que são verdadeiras na interpretação pretendida – axiomatize o domínio
- Pergunte questões sobre a interpretação pretendida
- Se a BC  $\models g$ , então  $g$  deve ser verdade na interpretação pretendida

# A visão semântica do computador



- O computador não tem acesso à interpretação pretendida
- Tudo que ele sabe está na BC
- O computador pode determinar se uma fórmula é uma consequência lógica da BC
  - Se  $BC \models g$ , então  $g$  deve ser verdade na interpretação pretendida
  - Se  $BC \not\models g$  então existe um modelo de BC na qual  $g$  é falsa
    - Esta pode ser a interpretação pretendida

# Queries, respostas e consequências lógicas



- Uma **query** é uma forma de perguntar se o corpo de uma cláusula é uma consequência lógica da BC
  - $?b_1 \wedge b_2 \wedge \dots \wedge b_m$
- Uma **resposta** é
  - ou uma instância da query que é uma consequência lógica da BC
  - ou “no” se nenhuma instância é uma consequência lógica da BC
- Um átomo  $g$  é uma **consequência lógica** da BC se e somente se:
  - $g$  é um fato da BC, ou
  - existe uma regra  $g \leftarrow b_1 \wedge b_2 \wedge \dots \wedge b_m$  na BC e cada  $b_i$  é uma consequência lógica da BC

# Exemplo de queries e respostas



$$KB = \begin{cases} in(alan, r123). \\ part\_of(r123, cs\_building). \\ in(X, Y) \leftarrow part\_of(Z, Y) \wedge in(X, Z). \end{cases}$$

Query	Answer
? <i>part_of</i> (r123, B).	<i>part_of</i> (r123, cs_building)
? <i>part_of</i> (r023, cs_building).	<i>no</i>
? <i>in</i> (alan, r023).	<i>no</i>
? <i>in</i> (alan, B).	<i>in</i> (alan, r123) <i>in</i> (alan, cs_building)