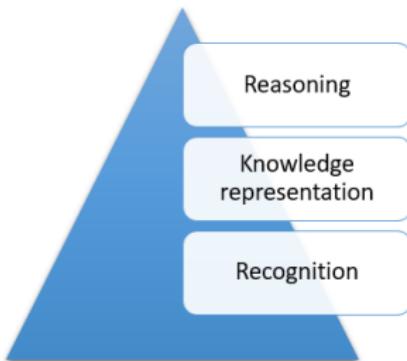


Tema 1: Representación del Conocimiento en IA

Sistemas Inteligentes, Curso 2019–20



Objetivos del curso

Paradigmas en IA

Representación y
razonamiento

Lógica como
herramienta de
representación

Cláusulas como
reglas

Algunas deficiencias y
su reparación

Referencias

J. Borrego Díaz, F. F. Lara Martín
Dpto. Ciencias de la Computación Inteligencia Artificial
UNIVERSIDAD DE SEVILLA

Objetivos del curso

Objetivos del curso

Paradigmas en IA

Paradigmas en IA

Representación y razonamiento

Representación y
razonamiento

Lógica como
herramienta de
representación

Lógica como herramienta de representación

Cláusulas como
reglas

Algunas deficiencias y
su reparación

Cláusulas como reglas

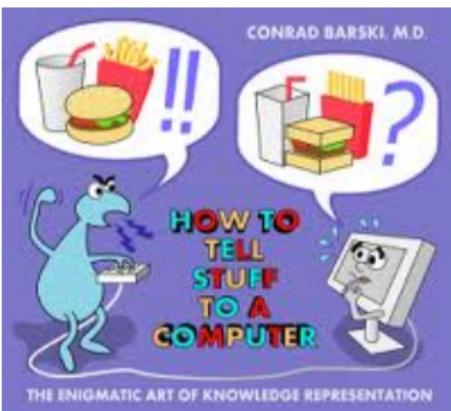
Referencias

Algunas deficiencias y su reparación

Referencias

Objetivo del curso

- ▶ Estudio de la perspectiva simbólica (en el denominado **Knowledge Level**) en Inteligencia Artificial para
 - ▶ La **representación, modelización** y **razonamiento**



- ▶ **Importante:** Debéis repasar la asignatura **Lógica Informática**.

Sus técnicas, métodos y mecanismos de representación **se usarán continuamente**

Objetivos del curso

Paradigmas en IA

Representación y razonamiento

Lógica como herramienta de representación

Cláusulas como reglas

Algunas deficiencias y su reparación

Referencias

Cuatro propiedades de una buena representación en IA

- ▶ **Adecuación** de la representación
- ▶ **Adecuación inferencial**
- ▶ **Eficiencia** inferencial
- ▶ **Eficiencia** en la adquisición (de conocimiento)

No existe un sistema que posea las cuatro propiedades.

Para paliar esta deficiencia se investigan **distintos paradigmas** de Representación del Conocimiento (RC) en IA

Objetivos del curso

Paradigmas en IA

Representación y
razonamiento

Lógica como
herramienta de
representación

Cláusulas como
reglas

Algunas deficiencias y
su reparación

Referencias

Hipótesis de representación del conocimiento

(Brian C. Smith, 1985):

Todo mecanismo inteligente debe poseer ingredientes para que:

- ▶ Nosotros, como observadores externos, podamos **representar todo el conocimiento** que el proceso exhibe, e
- ▶ **independientemente de la atribución (significado)** que el **observador/diseñador** desea asociar a ese **lenguaje**, se pueda generar nuevo conocimiento de manera puramente formal
- ▶ Así, estableceríamos que:

Sistemas = Estructuras (simbólicas) + programas

Objetivos del curso

Paradigmas en IA

Representación y
razonamiento

Lógica como
herramienta de
representación

Cláusulas como
reglas

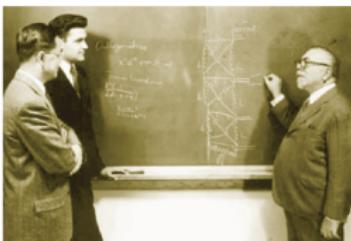
Algunas deficiencias y
su reparación

Referencias

Otra perspectiva:

- **La representación del conocimiento como *Decir-Preguntar***

- Todo sistema de razonamiento debe poseer al menos dos operaciones:
- $TELL(K, f)$: Dada la base K , el hecho f es añadido a K , para obtener una nueva base.
- $ASK(K, f)$: Preguntar a la base K sobre el hecho f . La respuesta depende del *paradigma* del sistema: SI, NO, Desconocido, SI con probabilidad p , etc.

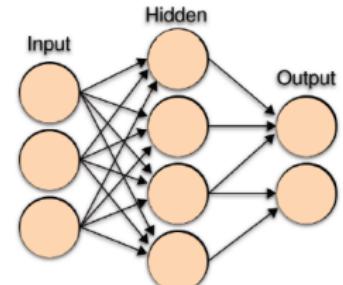
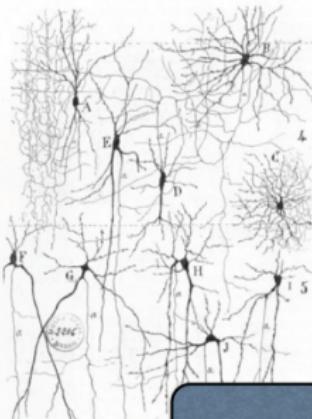
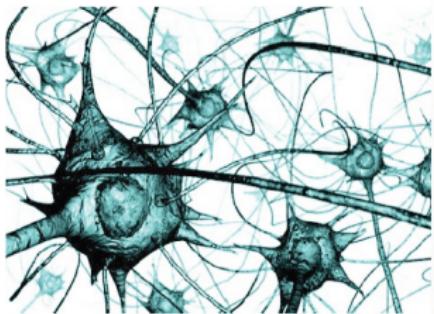


Sistemas expertos

Tercera perspectiva

- Tercera perspectiva: **RC como la encarnación de los sistemas IA**

Entiende el conocimiento como una serie de unidades interconectadas que son colectivamente responsables de la representación de diversos conceptos.



Corriente no simbólica

Sistemas de representación y razonamiento

- ▶ Una componente esencial de un sistema basado en conocimiento es un **sistema de representación y razonamiento (SRR)**. Un SRR consta de:
 1. Un lenguaje formal cuya **sintaxis** especifica qué expresiones son correctas (fórmulas) utilizadas para representar el conocimiento de que dispone el agente (su **base de conocimiento**).
 2. Una **semántica** que especifica el **significado** de las expresiones del lenguaje.
 3. Una **teoría de razonamiento** que especifique cómo **extraer respuestas** a partir de la base de conocimiento. Asociada a esta teoría, cada implementación debe proporcionar un **procedimiento de razonamiento**.

Objetivos del curso

Paradigmas en IA

Representación y
razonamiento

Lógica como
herramienta de
representación

Cláusulas como
reglas

Algunas deficiencias y
su reparación

Referencias

El equilibrio entre expresividad y tratabilidad

- ▶ Existe un estrecha dependencia entre la **potencia expresiva** del lenguaje y el **coste computacional** de los procedimientos de razonamiento disponibles.
 - ▶ Cuanto **mayor es la potencia expresiva** del lenguaje **mayor es la complejidad computacional** de los procedimientos de razonamiento asociados.
Se requiere de un **compromiso** que compense potencia expresiva y complejidad computacional.
 - ▶ Es preciso **desarrollar diferentes lenguajes y formas de razonamiento** que se **ajusten** a las necesidades de cada aplicación.
- ▶ La lógica proposicional es un ejemplo. Otro la lógica de primer orden. No son las únicas

Objetivos del curso

Paradigmas en IA

Representación y razonamiento

Lógica como herramienta de representación

Cláusulas como reglas

Algunas deficiencias y su reparación

Referencias

Interpretando lo especificado en lógica...

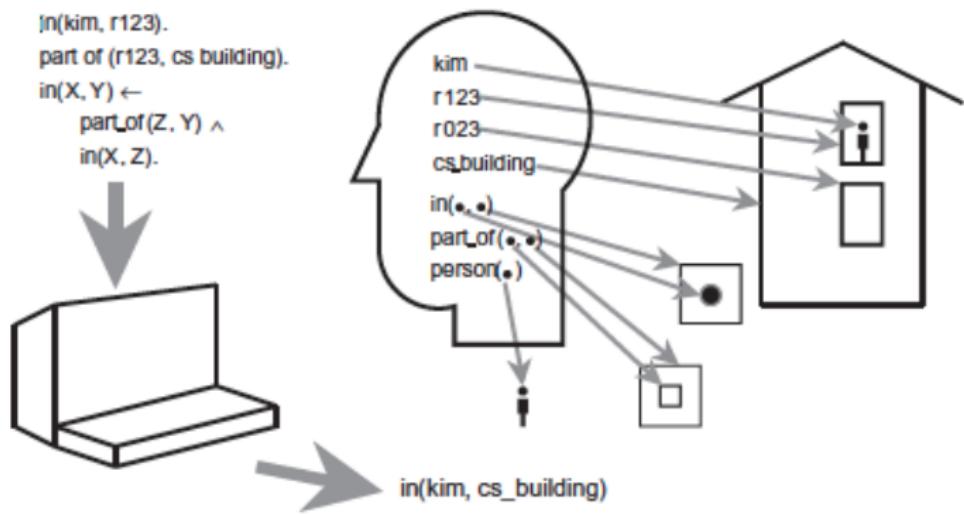


Figure 12.1: The role of semantics. The meaning of the symbols are in the user's head. The computer takes in symbols and outputs symbols. The output can be interpreted by the user according to the meaning the user places on the symbols.

- Objetivos del curso
- Paradigmas en IA
- Representación y razonamiento
- Lógica como herramienta de representación
- Cláusulas como reglas
- Algunas deficiencias y su reparación
- Referencias

Objetivos del curso

Paradigmas en IA

Representación y
razonamiento

Lógica como
herramienta de
representación

Cláusulas como
reglas

Algunas deficiencias y
su reparación

Referencias

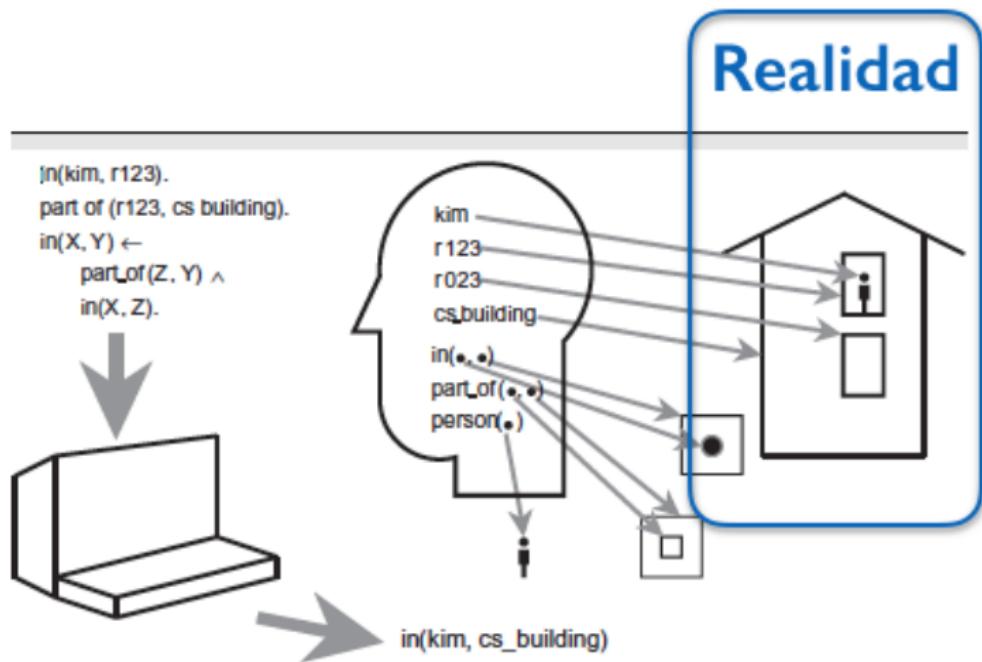


Figure 12.1: The role of semantics. The meaning of the symbols are in the user's head. The computer takes in symbols and outputs symbols. The output can be interpreted by the user according to the meaning the user places on the symbols.

Objetivos del curso

Paradigmas en IA

Representación y
razonamiento

Lógica como
herramienta de
representación

Cláusulas como
reglas

Algunas deficiencias y
su reparación

Referencias

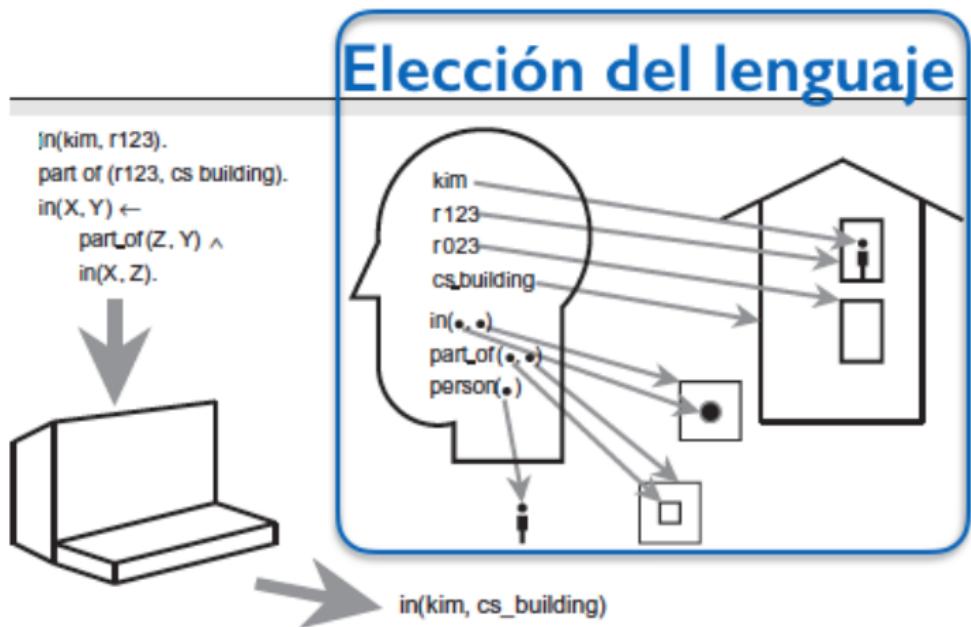


Figure 12.1: The role of semantics. The meaning of the symbols are in the user's head. The computer takes in symbols and outputs symbols. The output can be interpreted by the user according to the meaning the user places on the symbols.

Objetivos del curso

Paradigmas en IA

Representación y
razonamiento

Lógica como
herramienta de
representación

Cláusulas como
reglas

Algunas deficiencias y
su reparación

Referencias

Representación e implementación

```
in(kim, r123).  
part_of(r123, cs_building).  
in(X, Y) ←  
    part_of(Z, Y) ∧  
    in(X, Z).
```

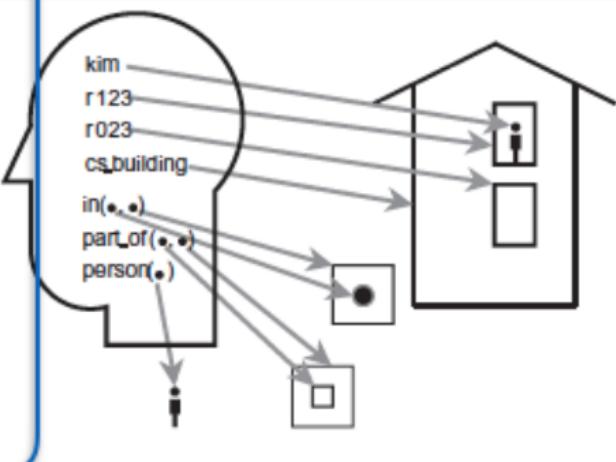
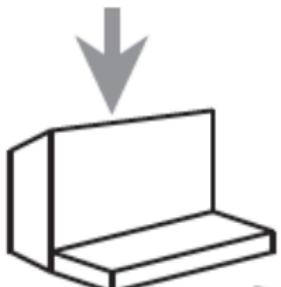


Figure 12.1: The role of semantics. The meaning of the symbols are in the user's head. The computer takes in symbols and outputs symbols. The output can be interpreted by the user according to the meaning the user places on the symbols.

$\text{in}(\text{kim}, \text{r123})$.
 $\text{part_of}(\text{r123}, \text{cs_building})$.
 $\text{in}(X, Y) \leftarrow$
 $\text{part_of}(Z, Y) \wedge$
 $\text{in}(X, Z)$.

Razonamiento y
obtención de
conclusiones

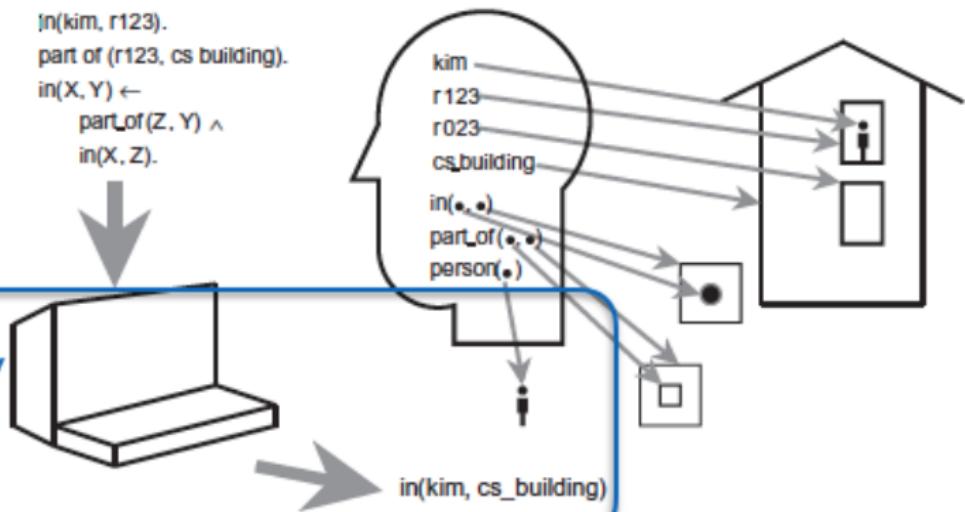


Figure 12.1: The role of semantics. The meaning of the symbols are in the user's head. The computer takes in symbols and outputs symbols. The output can be interpreted by the user according to the meaning the user places on the symbols.



Diagnoses, Syndromes, and Diseases: A Knowledge Representation Problem

Franz Calvo, MD, Bryant T Kawao, MD, [...], and Fred Wolf, PhD

Additional article information

Abstract

Despite their widespread use, the terms "syndrome", "disease" and "diagnosis" are sometimes utilized improperly and ambiguously, compounding the complexities of medical knowledge representation. The definitions and illustrative examples provided here will be useful for developers of diagnostic

expert systems.

Description of the Problem

Representing medical knowledge is a highly complex endeavor. The improper use of the terms "syndrome", "disease" and their relations to "diagnosis" is one of the difficulties with which medical informaticians must deal, especially when developing expert systems to support diagnoses. Although ubiquitous in medical and lay discourse, the term "disease" has no unambiguous, generally accepted definition. However, most of those using this term allow themselves the comfortable delusion that everyone knows what it means.

Only sparse and fragmented literature could be found regarding this issue.

Purpose

The different concepts about "what types of conditions may be said to constitute a disease" will be discussed. The "unorthodox" ways in which terms

Problema de representación del conocimiento en Medicina

<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1480257/>

Conocimiento mal representado

Validez, Consistencia, Consecuencia

Representación del conocimiento en IA

- ▶ F (o un conjunto de fórmulas) es **lógicamente válida** si es válida en toda interpretación de su lenguaje (Notación: $\models F$)
 - ▶ Ejemplo: $\equiv \forall x P(x) \vee \exists x \neg P(x)$
- ▶ F (o un conjunto de fórmulas) es **consistente** si al menos tiene un modelo.
 - ▶ Ejemplo: $F \equiv \exists x \text{Padre_de}(x, x)$
- ▶ F es **consecuencia lógica** de Γ ($\Gamma \models F$), si F es válida en todo modelo de Γ .
 - ▶ Ejemplo $\{P(x) \rightarrow Q(x), P(a)\} \models Q(a)$
- ▶ Los problemas de la consistencia, consecuencia lógica y la validez, para la lógica primer orden, **no** son decidibles
- ▶ Aproximación a estos problemas: Cálculos (sintácticos), como en la lógica proposicional

Objetivos del curso

Paradigmas en IA

Representación y razonamiento

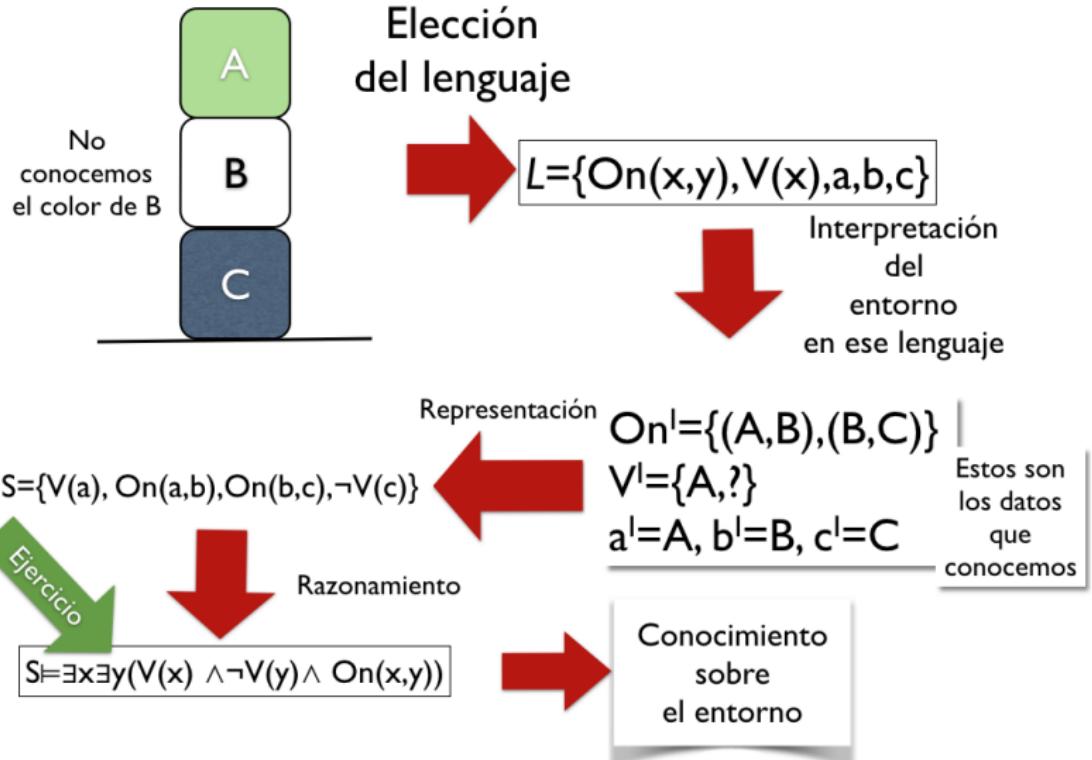
Lógica como herramienta de representación

Cláusulas como reglas

Algunas deficiencias y su reparación

Referencias

Ejemplo del proceso de representación y razonamiento con lo que conocemos



- Objetivos del curso
- Paradigmas en IA
- Representación y razonamiento
- Lógica como herramienta de representación
- Cláusulas como reglas
- Algunas deficiencias y su reparación

Referencias

Ejercicio propuesto

- ▶ Para cada una de las siguientes fórmulas, encontrar una interpretación donde ésta sea falsa y las otras dos verdaderas:

- ▶ $F_1 \equiv \forall x \forall y \forall z [P(x, y) \wedge P(y, z) \rightarrow P(x, z)]$
- ▶ $F_2 \equiv \forall x \forall y [P(x, y) \wedge P(y, x) \rightarrow x = y]$
- ▶ $F_3 \equiv \forall x \forall y [P(a, y) \rightarrow P(x, b)]$

Representación del conocimiento en IA

Objetivos del curso

Paradigmas en IA

Representación y razonamiento

Lógica como herramienta de representación

Cláusulas como reglas

Algunas deficiencias y su reparación

Referencias

Ejemplo

- ▶ Un robot puede mover un objeto si tiene la batería encendida y el objeto es desplazable

Base de conocimiento (conocimiento actual del mundo):

$$U = \left\{ \begin{array}{l} \text{bateria_encendida,} \\ \neg\text{robot_se_mueve,} \\ \text{bateria_encendida} \wedge \text{objeto_desplazable} \rightarrow \text{robot_se_mueve} \end{array} \right.$$

- ▶ ¿Sabemos si el objeto no se puede desplazar?
- $G := \neg\text{objeto_desplazable}$

- ▶ Pasando a FNC

$$U = \left\{ \begin{array}{l} \text{bateria_encendida,} \\ \neg\text{robot_se_mueve,} \\ \neg\text{bateria_encendida} \vee \neg\text{objeto_desplazable} \vee \text{robot_se_mueve} \end{array} \right.$$

- ▶ Negar G y pasar a FNC: $\neg G \equiv \text{objeto_desplazable}$
- ▶ Buscamos una refutación en el conjunto
- ▶ Como obtenemos la cláusula vacía, **demostramos** que sí

Objetivos del curso

Paradigmas en IA

Representación y razonamiento

Lógica como herramienta de representación

Cláusulas como reglas

Algunas deficiencias y su reparación

Referencias

Esqueleto de agente con razonamiento deductivo

- ▶ Supongamos que el agente tiene una base de conocimiento K

- ▶ **Función** Agente-deliberativo
 - Para cada** acción α **hacer**
 - Si** $K \vdash \text{Do}(\alpha)$ **entonces** Devolver α
 - Para cada acción** α **hacer**
 - Si** $K \not\vdash \neg \text{Do}(\alpha)$ **entonces** Devolver α
 - Devolver** acción-nula

- ▶ Necesita de un **demostrador automático**
Está **limitado** por la complejidad de la demostración automática

Objetivos del curso

Paradigmas en IA

Representación y
razonamiento

Lógica como
herramienta de
representación

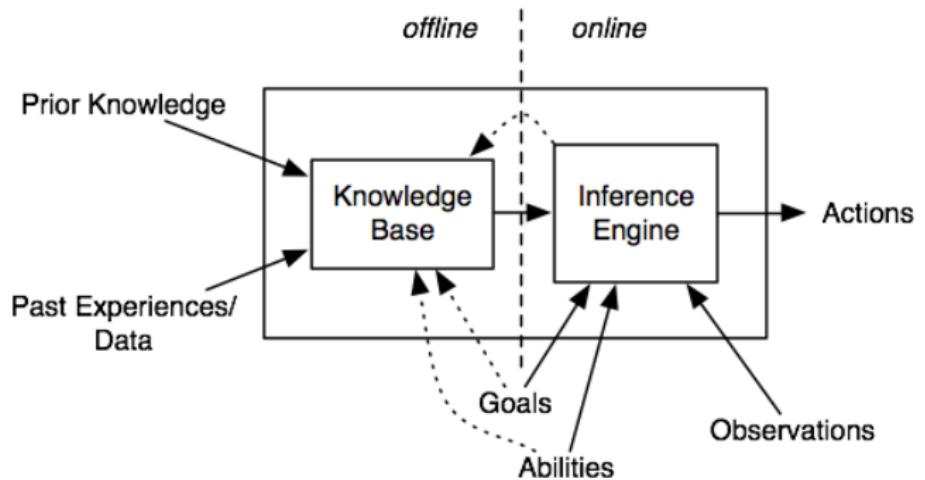
Cláusulas como
reglas

Algunas deficiencias y
su reparación

Referencias

Procesos de representación y deducción

Representación del conocimiento en IA



Objetivos del curso

Paradigmas en IA

Representación y razonamiento

Lógica como herramienta de representación

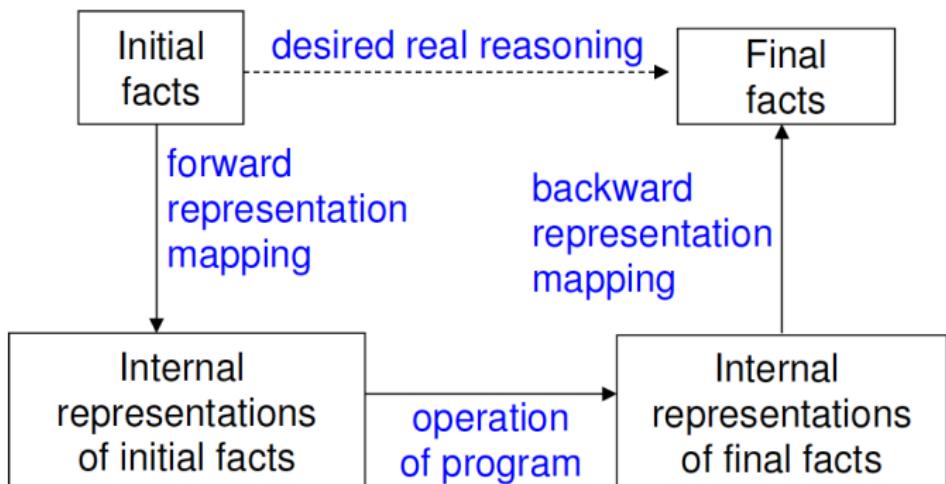
Cláusulas como reglas

Algunas deficiencias y su reparación

Referencias

¿Puede servir para refinar el conocimiento?

En general, el **razonamiento real** es
aproximado por el formal/mecanizado



Objetivos del curso

Paradigmas en IA

Representación y
razonamiento

Lógica como
herramienta de
representación

Cláusulas como
reglas

Algunas deficiencias y
su reparación

Referencias

Simplificando los sistemas restringiendo la sintaxis

- ▶ Podemos considerar las cláusulas de Horn como **reglas**

$$\neg p \vee \neg q \vee r \implies p \wedge q \rightarrow r$$

- ▶ Operacionalmente, las podemos pensar como:

If p and q Then r

Si disponemos de p y q podemos disparar la regla obteniendo r

- ▶ Esta idea se va a estudiar en los siguientes dos temas

Objetivos del curso

Paradigmas en IA

Representación y
razonamiento

Lógica como
herramienta de
representación

Cláusulas como
reglas

Algunas deficiencias y
su reparación

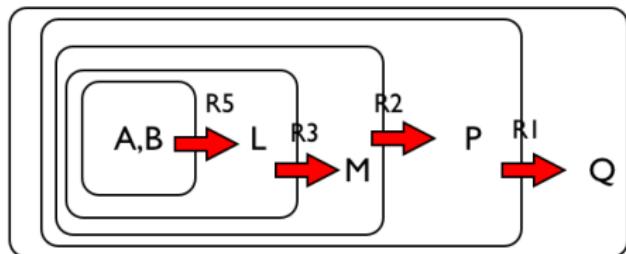
Referencias

Ejemplo sencillo: encadenamiento hacia adelante

Veamos que $\vdash_{EHA(\Sigma)} Q$,

$$\Sigma = \{P \rightarrow Q, L \wedge M \rightarrow P, B \wedge L \rightarrow M, A \wedge P \rightarrow L, A \wedge B \rightarrow L, A, B\}$$

Hechos obtenidos	Reglas usadas
A, B	
A, B, L	$A \wedge B \rightarrow L$
A, B, L, M	$A \wedge B \rightarrow L, B \wedge L \rightarrow M$
A, B, L, M, P	$A \wedge B \rightarrow L, B \wedge L \rightarrow M, L \wedge M \rightarrow P$
A, B, L, M, P, Q	Σ



Reglas $R1: P \rightarrow Q$ $R2: L \wedge M \rightarrow P$ $R3: B \wedge L \rightarrow M$
 $R4: A \wedge P \rightarrow L$ $R5: A \wedge B \rightarrow L$

Objetivos del curso

Paradigmas en IA

Representación y
razonamientoLógica como
herramienta de
representaciónCláusulas como
reglasAlgunas deficiencias y
su reparación

Referencias

Ejemplo sencillo: encadenamiento hacia atrás

Veamos que $\vdash_{\text{EAH}(\Sigma)} Q$,

Objetivos	Reglas usadas
Q	
P	$P \rightarrow Q$
L, M	$L \wedge M \rightarrow P$
A, B, M	$A \wedge B \rightarrow L$
B, M	A
M	B
B, L	$B \wedge L \rightarrow M$
L	B
A, B	$A \wedge B \rightarrow L$
B	A
-	B

$$\Sigma = \{P \rightarrow Q, L \wedge M \rightarrow P, B \wedge L \rightarrow M, A \wedge B \rightarrow L, A \wedge P \rightarrow L, A, B\}$$

Observación: ¡Si cambiamos el orden de las dos últimas reglas (con cabeza L) el procedimiento no para!

Objetivos del curso

Paradigmas en IA

Representación y razonamiento

Lógica como herramienta de representación

Cláusulas como reglas

Algunas deficiencias y su reparación

Referencias

Algoritmo para depurar bases de conocimiento con respuestas incorrectas

- ▶ La depuración de este tipo de errores en reglas es relativamente sencillo porque podemos constatar si en **el entorno real** que deseamos representar es cierto o no:

```
1: procedure Debug( $g, KB$ )
2:   Inputs
3:      $KB$  a knowledge base
4:      $g$  an atom:  $KB \vdash g$  and  $g$  is false in intended interpretation
5:   Output
6:     clause in  $KB$  that is false
7:   Find definite clause  $g \leftarrow a_1 \wedge \dots \wedge a_k \in KB$  used to prove  $g$ 
8:   for each  $a_i$  do
9:     ask user whether  $a_i$  is true
10:    if user specifies  $a_i$  is false then
11:      return Debug( $a_i, KB$ )
12:   return  $g \leftarrow a_1 \wedge \dots \wedge a_k$ 
```

Objetivos del curso
Paradigmas en IA
Representación y razonamiento
Lógica como herramienta de representación
áusulas como cláusulas
Algunas deficiencias y su reparación
Referencias

Figure 5.6: An algorithm to debug incorrect answers

Ausencia de respuesta

- Debemos rastrear qué conocimiento acerca del blueel entorno real no ha quedado bien representado:

```
1: procedure DebugMissing( $g, KB$ )
2:   Inputs
3:      $KB$  a knowledge base
4:      $g$  an atom:  $KB \not\vdash g$  and  $g$  is true in the intended interpretation
5:   Output
6:     atom for which there is a clause missing
7:   if there is a definite clause  $g \leftarrow a_1 \wedge \dots \wedge a_k \in KB$  such that all  $a_i$  are
       true in the intended interpretation then
8:     select  $a_i$  that cannot be proved
9:     DebugMissing( $a_i, KB$ )
10:    else
11:      return  $g$ 
```

Figure 5.7: An algorithm for debugging missing answers

Objetivos del curso

Paradigmas en IA

Representación y razonamiento

Lógica como herramienta de representación

Cláusulas como reglas

Algunas deficiencias y su reparación

Referencias

Referencias

- ▶ M. Ben Ari: Mathematical Logic for Computer Science, Springer 2011.
- ▶ Brachman, R.; Levesque, H.: *Knowledge Representation and Reasoning* (**capítulo 3**), Morgan Kauffman (2004)
- ▶ Grosan, Crina, Abraham, Ajith, Intelligent Systems. A Modern Approach, Springer 2011.
- ▶ D. Poole, A. Mackworth, Artificial Intelligence: Foundations of Computational Agents, Cambridge Univ. Press, 2010
- ▶ S. Russell, P. Norvig, *Artificial Intelligence. A modern approach* (**capítulo 7**),
<http://aima.cs.berkeley.edu/newchap07.pdf>
- ▶ John F. Sowa, Knowledge Representation. Logical, Philosophical, and Computational Foundations
<http://www.jfsowa.com/krbook/index.htm>

Objetivos del curso

Paradigmas en IA

Representación y
razonamiento

Lógica como
herramienta de
representación

Cláusulas como
reglas

Algunas deficiencias y
su reparación

Referencias