TEMA 5: COMPORTAMIENTO INTELIGENTE: REPRESENTACIÓN DEL CONOCIMIENTO E INFERENCIA BASADOS EN LÓGICA

1. REPRESENTACIÓN DEL CONOCIMIENTO EN IA

Hemos estudiado varias formas de modelar el mundo de un agente, entre ellas:
- → Representaciones icónicas: Simulaciones del mundo que el agente podía percibir.
- → Representaciones descriptivas: Valores binarios que describen aspectos ciertos o falsos sobre el mundo.

Las representaciones descriptivas tienen ciertas ventajas sobre las icónicas:
- Son más sencillas.
- Son fáciles de comunicar a otros agentes.
- Se pueden descomponer en piezas más simples.

Además, hay información del entorno del agente que no se puede representar mediante modelos icónicos, tales como:
- Leyes generales. “Todas las cajas azules pueden ser cogidas”.
- Información negativa. “El bloque A no está en el suelo”, sin decir dónde está el bloque A.
- Información incierta. “O bien el bloque A está sobre el bloque C, o bien el bloque A está sobre el bloque B”.

Sin embargo, este tipo de información es fácil de formular como conjunto de restricciones sobre los valores de las características binarias del agente.
Estas restricciones representan conocimiento sobre el mundo.

A menudo, este conocimiento sobre el mundo puede utilizarse para razonar sobre él y hallar nuevas características del mismo. Ejemplo:
- El conocimiento que se tiene es “Todos los pájaros vuelan”; y “Piolín es un pájaro”.
- Se puede razonar, por tanto, que “Piolín vuela”.

Otro Ejemplo: Un robot sólo puede levantar un bloque si tiene suficiente batería y el bloque es elevable. Entonces, el conocimiento sobre el mundo es: “Si el bloque es elevable y hay suficiente batería, entonces es posible levantar el bloque”.
El robot “sabrá” si es capaz de levantar el bloque a partir de este conocimiento sobre su entorno.

Hay 2 tipos básicos para representar el conocimiento y razonar sobre él:
- Cálculo proposicional.
- Cálculo de predicados.

2. EL CÁLCULO PROPOSICIONAL

EL LENGUAJE

Elementos de representación: proposiciones y conectivas

$$\wedge(\text{y}), \vee(\text{o}), \rightarrow(\text{implica}), \neg(\text{no})$$

Inferencia: deducciones con reglas, hechos y Modus Ponens
Ejemplos: llueve, (¬Nieva ∧ llueve) ∨ Hay-hielo
Ventaja: representación de tipo general, y decidible (en tiempo finito es capaz de decidir si una proposición es deducible de la información disponible o no).
Problema: si se quiere razonar sobre conjuntos de cosas. Por ejemplo, grafos, o jerarquías de conceptos.

REGLAS DE INFERENCIA

Las reglas de inferencia nos permiten producir nuevas FBFs a partir de las que ya existen, Algunas de las más comunes son:

- Q puede inferirse a partir de P y P $\supset$ Q (modus ponens)
- P $\wedge$ Q se puede inferir a través de la conjunción de P y Q
- Q $\wedge$ P se puede inferir desde Q $\wedge$ P (conmutatividad)
- P (también Q) se puede inferir desde se puede inferir bien desde P, bien desde Q
- P se puede inferir desde ¬(¬P)

DEFINICIÓN DE DEMOSTRACIÓN

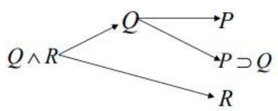
Supongamos Δ un conjunto de FBFs, y una secuencia de n FBFs $\{w_1, w_2, w_3, \ldots, w_n\}$.
Esta secuencia de FBFs se llama demostración o deducción de w_n a partir de Δ si, y sólo si, cada w_i de la secuencia pertenece a Δ o puede inferirse a partir de FBFs en Δ.
Si existe tal demostración, entonces decimos que w_n es un teorema de Δ, y decimos que wn puede demostrarse desde Δ con la siguiente notación: $\Delta \vdash w_n$,
o como $\Delta \vdash_R w_n$ para indicar que w_n se demuestra desde Δ mediante las reglas de inferencia R.

DEMOSTRACIÓN

Ejemplo: Sea el conjunto de FBFs Δ, $\Delta = \{P, R, P \supset Q\}$
Entonces, la siguiente secuencia es una demostración de la Fórmula Bien Formada R $\wedge$ Q:

$$\{P, P \supset Q, Q, R, Q \wedge R\}$$

La demostración se puede llevar a cabo fácilmente a través del siguiente árbol de demostración, utilizando Δ y las reglas de inferencia:



INTERPRETACIÓN

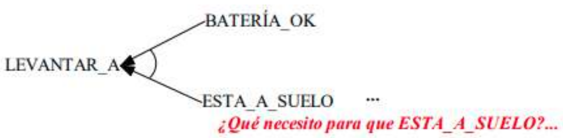
A la hora de resolver problemas con IA, el papel de la semántica es esencial: Hay que hacer una correcta interpretación del sistema lógico subyacente.
Conlleva asociar conceptos del lenguaje lógico con su significado (semántica) en el mundo real o en el mundo del entorno del agente.

Ejemplo: Se desea implantar el conocimiento "Si la batería funciona y el bloque A está en el suelo, entonces se puede levantar" dentro de un agente.

- Definimos los átomos BATERIA_OK, ESTA_A_SUELO, LEVANTAR_A.
- Definimos la FBF: BATERIA_ OK $\wedge$ ESTA_ A_ SUELO $\supset$VANTAR_ A

En un agente cuyo objetivo sea "levantar el bloque A", con este conocimiento puede especificar las acciones que debe llevar a cabo para realizar su acción.
Esta planificación se puede hacer mediante árboles de demostración.
La representación de grafos Y/O es muy útil en este tipo de problemas.

Ejemplo: "Debo levantar el bloque A, ¿qué necesito para poder levantarlo?"



TABLAS DE LA VERDAD

Las tablas de verdad establecen la semántica de las conectivas proposicionales.
Para una representación interna de un agente con n características, el número de combinaciones (formas de ver el mundo) es 2^n.

Para dos características A y B:

A	B	A y B	A o B	No A	A implica B
V	V	V	V	F	V
V	F	F	V	F	F
F	V	F	V	V	V
F	F	F	F	V	V

SATISFACIBILIDAD Y MODELOS

Una interpretación satisface una FBF cuando a la FBF se le asocia el valor V bajo esa interpretación.
A la interpretación que satisface una FBF se le denomina modelo.
Bajo una interpretación una FBF debe indicar una restricción que nos informe sobre algún aspecto del mundo. Ejemplo: $A \wedge B \supset C$

- Para la interpretación A=BATERIA_OK, B=ESTA_A_SUELO, C=LEVANTAR_A, la semántica se corresponde con el entorno y el mundo a modelar.
- Para la interpretación A=TOCA_LOTERIA, B=TENGO_SALUD, C=TIRAR_POR_VENTANA, la semántica es inconsistente con lo que se modela. Esta interpretación no es válida porque no satisface la FBF.

CONSECUENCIA LÓGICA

Si una fbf w tiene el valor verdadero bajo todas aquellas interpretaciones para las cuales cada una de las fbfs del conjunto $\triangle$ tiene el valor verdadero, entonces decimos que $\triangle$ lleva lógicamente a w, que w se sigue lógicamente de $\triangle$, o que w es una consecuencia lógica de $\triangle$.

{P} P

$\{P, P \supset Q\} \models Q$

$P \wedge Q \models P$

La noción de consecuencia lógica es importante ya que nos proporciona un mecanismo para demostrar que si ciertas proposiciones son ciertas entonces otras deben serlo también.

SOLIDEZ Y COMPLETITUD

Si, para el conjunto de fbfs $\triangle$ y para la fbf w, $\Delta \dashv R$ w implica que $\Delta \models w$ decimos que el conjunto de reglas de inferencia R es sólido.
Si, para para el conjunto de fbfs $\triangle$ y para la fbf w, tenemos que siempre que $\Delta \models w$, existe una demostración de w a partir de $\triangle$ utilizando el conjunto de reglas de inferencia R, decimos que R es completo.

RESOLUCIÓN EN EL CÁLCULO PROPOSICIONAL

La refutación es útil para demostrar que la negación de una cláusula es inconsistente en el sistema, quedando así demostrada, por tanto, la veracidad de dicha cláusula.

Ejemplo:

1) Convertir las FBFs de Δ como conjunciones de cláusulas
   a) BATERIA_OK
   b) ¬ ROBOT_SE_MUEVE
   c) ¬BATERIA_OK ¬OBJETO_ELEVABLE v ROBOT_SE_MUEVE
2) Convertir ¬w como conjunción de cláusulas: OBJETO_ELEVABLE
3) Unir el resultado de los pasos 1 y 2 en un único conjunto Γ

$$
\begin{array}{l}
\Gamma = \{ \\
a) BATERIA\_OK \\
b) \neg ROBOT\_SE\_MUEVE \\
c) \neg BATERIA\_OK \vee \neg OBJETO\_ELEVABLE \vee ROBOT\_SE\_MUEVE \\
d) OBJETO\_ELEVABLE \\
\}
\end{array}
$$

4) Aplicar la resolución a las cláusulas de Γ de forma iterativa, hasta que no haya nada más que resolver o se llegue a Nil.
   a) Resolviendo c) y d), tenemos que e) BATERIA_ OK v ROBOT _ SE _ MUEVE
   b) Resolviendo e) y b), tenemos: f) ¬BATERIA_ OK
   c) Resolviendo f) y a), tenemos Nil.
   d) Queda demostrado que ¬OBJETO_ELEVABLE

Como hemos visto, el procedimiento de refutación mediante resolución consiste en "aplicar resoluciones hasta que se genere la cláusula vacía o no se puedan hacer más resoluciones".
La selección de cláusulas para su resolución, de forma manual, es sencilla.
Existen distintas estrategias que permiten determinar la selección de las cláusulas a resolver para conseguir una mayor eficiencia.

3. CÁLCULO DE PREDICADOS

El cálculo proposicional es limitado. Supongamos nuestro mundo de bloques. Para decir que el bloque A está sobre el bloque B, deberíamos establecer una interpretación SOBRE_A_B.
Para representar esta situación con todos los bloques usando cálculo proposicional, necesitaríamos tantos literales como posibilidades.
Además, supongamos dos literales P y Q, con la semántica asociada P≡SOBRE_A_B, Q≡SOBRE_B_C.
En lenguaje natural y mediante el conocimiento que tenemos del problema, nosotros (diseñadores, personas, etc.) sabemos que A está sobre B, y que B está sobre C. Por tanto, C está por debajo de A. Sin embargo, necesitaríamos más proposiciones y más complejas para implementar este conocimiento utilizando únicamente cálculo proposicional.
Sería de gran utilidad un lenguaje que permitiese definir objetos y relaciones entre ellos.
El cálculo de predicados nos permite esta opción y, además solventa los problemas planteados en la diapositiva anterior.
Ejemplo: Para decir que $SOBRE\_B\_C \supset \neg LIBRE\_C$, para cualquier bloque, el cálculo de predicados nos evita tener que reescribir todas las proposiciones del cálculo proposicional de las situaciones que pueden darse. Podemos abstraer los objetos a variables y escribir:

$$SOBRE(x, y) \supset \neg LIBRE(y)$$

El significado sería "*cuando un objeto x está sobre otro y, entonces y no estará libre*".

REGLAS DE INFERENCIA
Inferencia: Todas las de lógica proposicional + instanciación universal
Instanciación universal: si tenemos ∀ X p(X) entonces se puede deducir p(a), p(Y) . . .

Ejemplo: Todos los hombres son mortales, Sócrates es un hombre, por tanto, Sócrates es mortal:
a. R1: ∀ X hombre(X) → mortal(X)
b. hombre(sócrates)
c. R1 y X=sócrates: hombre(sócrates) → mortal(sócrates)
d. (b y c) mortal(sócrates)

CARACTERÍSTICAS DEL CÁLCULO DE PREDICADOS
Ventaja: representación de tipo general más rica que la proposicional
Características de un sistema de razonamiento lógico:
- Solidez: para estar seguro de que una conclusión inferida es cierta.
- Completitud: para estar seguros de que una inferencia tarde o temprano producirá una conclusión verdadera.
- Decidibilidad: para estar seguros de que la inferencia es factible.

La refutación mediante resolución es sólida y completa.
Problema: el cálculo de predicados es semidecidible y además en los casos en que la refutación mediante resolución termina, el procedimiento es NP-duro.

PROLOG

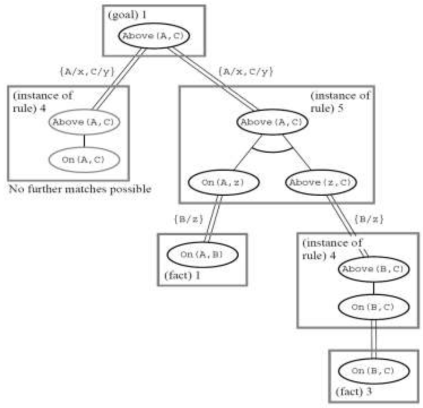
Solución: subconjuntos decidibles de lógica de predicados (cláusulas de Horn)
Existe un lenguaje de programación que permite crear y ejecutar programas en lógica de predicados: PROLOG

```
conectados(X,Y) :- conectados(Y,X).
alcanzable(X,Y) :- conectados(X,Y).
alcanzable(X,Y) :- conectados(X,Z), alcanzable(Z,Y).
```

Ejemplo: $(\forall x,y,z)[Sobre(x,y) \supset Encima(x,y)]$

$(\forall x,y)\{(\exists z)[Sobre(x,z) \wedge Encima(z,y)] \supset Encima(x,y$

1. :- Encima(A,C)
2. Sobre(A,B) :-
3. Sobre(B.C) :-
4. Encima(x,y) :- Sobre(x,y)
5. Encima(x,y) :- Sobre(x,z), Encima(z,y)



ORGANIZACIÓN JERÁRQUICA DEL CONOCIMIENTO

Organización jerárquica del conocimiento
- Snoopy es una impresora láser
- Todas las impresoras láser son impresoras
- Todas las impresoras son máquinas

$Impresora.laser(Snoopy)$

$(\forall x)[Impresora.laser(x) \supset Impresora(x)]$

$(\forall x)[Impresora(x) \supset Maquina.de.oficina(x)]$

Herencia de Propiedades

$$(\forall x)[Maquina.de.oficina(x) \supset [Fuente.de.alimentacion = Toma.de.la.pared]]$$

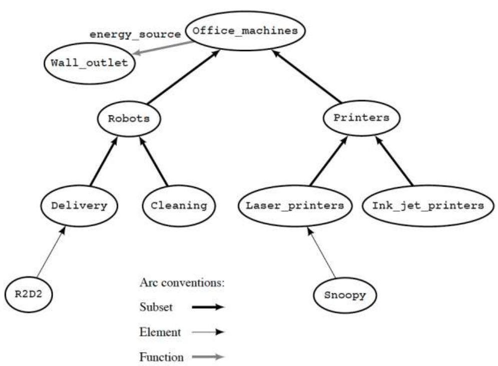
$$(\forall x)[Impresora.laser(x) \supset [Fuente.de.alimentacion = Toma.de.la.pared]]$$

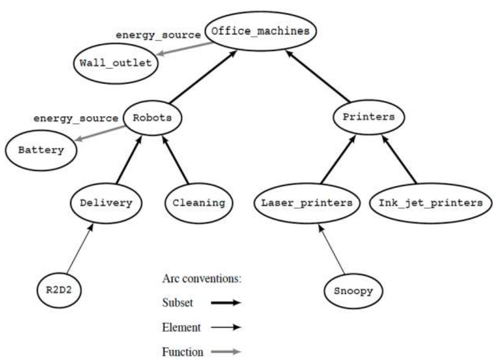
REDES SEMÁNTICAS

Las redes semánticas son estructuras gráficas que codifican el conocimiento taxonómico sobre objetos y propiedades de estos

PROPIEDADES: nodos etiquetados con constantes de relación

OBJETOS: nodos etiquetados con constantes de objetos
- Arcos de jerárquica
- Arcos de pertenencia
- Arcos de función





OTRAS LÓGICAS

Lógicas de segundo orden (o de orden superior)

- tienen dos (o tres) tipos definidos: los objetos y los conjuntos o funciones sobre los mismos (o ambos).
- es equivalente a decir que los predicados pueden tomar otros predicados como argumentos

Lógicas modales y temporales

- necesario y posible

Lógica difusa

- grados de pertenencia

Otras: multi-valuadas, no-monótonas, cuánticas, .

4. INTRODUCCIÓN A LOS SISTEMAS BASADOS EN EL CONOCIMIENTO

Una gran cantidad de aplicaciones reales de la IA se basan en la existencia de una gran masa de conocimiento:

- Diagnóstico médico.
- Diseño de equipos.
- Sistemas de Recomendación.
- Etc.

Este tipo de sistemas se denominan Sistemas Basados en el Conocimiento, ya que este ocupa la parte central de la solución al problema a resolver.

Un Sistema Basado en el Conocimiento (SBC) necesita 3 componentes básicas:

- Una Base de Conocimiento (BC), que contenga el conocimiento experto necesario sobre el problema a resolver. Puede ser:
  - Estática, si la BC no varía a lo largo del tiempo.
  - Dinámica, cuando se añaden nuevos hechos o reglas, o se modifican las existentes a lo largo del tiempo.

Un Motor de Inferencia, que permite razonar sobre el conocimiento de la BC y los datos proporcionados por un usuario.

Una interfaz de usuario para entrada/salida de datos.

SISTEMAS EXPERTOS BASADOS EN REGLAS (SEBR)

Un SEBR es un SBC donde el conocimiento se incluye en forma de reglas y hechos.

Estas reglas y hechos pueden implementarse, por ejemplo, mediante el cálculo de predicados.

El proceso de construcción de un SEBR es el siguiente:

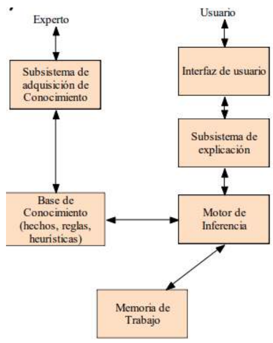
- Se extrae el conocimiento experto (bibliografía, entrevistas a expertos reales, etc.).
- Se modela y se adquiere el conocimiento, utilizando un lenguaje adecuado (cálculo de predicados, otras lógicas más avanzadas, etc.)
- Se crea la Base de Conocimiento con el conocimiento adquirido.

Por otra parte, también se necesita:

- Una interfaz de usuario, para poder utilizar el sistema y adquirir/enviar datos.
- Un subsistema de explicación, para los casos en los que sea necesario indicar al usuario por qué se llega a las conclusiones que se llegan.
- Un Motor de Inferencia, para razonar sobre la Base de Conocimiento y los datos proporcionados por el usuario.

El esquema general de diseño de un SEBR es el siguiente:

→ La memoria de trabajo contiene la información relevante que el Motor de Inferencia está usando para razonar las respuestas para el usuario.



IDEAS FINALES

REPRESENTACIÓN DEL CONOCIMIENTO DE SENTIDO COMÚN

Lógica difusa: Extensión de la lógica clásica diseñada para permitir el razonamiento sobre conceptos imprecisos

- ”la velocidad del motor es muy alta”
- ”el paciente tiene fiebre moderada”
- ”si el paciente tiene fiebre muy alta y es muy joven, entonces la dosis debe de ser moderada”

Ejemplo: control del movimiento de un robot

RAZONAMIENTO TEMPORAL

Allen (1983,1984): El tiempo es algo dinámico, sobre el cual los procesos y los eventos transcurren

- E evento o suceso
- I intervalo de tiempo Ocurre(E,I)

Intervalos temporales: instantes de inicio y final $(\forall x)[inicio(x) \leq fin(x)]$

$$(\forall x, y)[Se.encuentra.con(x, y) \equiv (fin(x) = inicio(y)]$$

$$(\forall x, y)\{Antes.de(x, y) \equiv$$
$$\exists(z)[Se.encuentra.con(x, z) \wedge Se.encuentra.con(z, y)]\}$$

$$(\forall x, y)\{Antes.de(x, y) \equiv [(fin(x) < inicio(y)]\}$$

Ejemplo: representación de hechos de sentido común el evento salir agua de un grifo está precedido por el de abrir una válvula, y seguido por el de cerrarla

$$(\forall y)\{Ocurre(Saleagua, y) \supset$$
$$(\exists x, z)[Ocurre(Abrir.V, x) \wedge Ocurre(Cerrar.V, z) \wedge$$
$$Se.solapa.con(x, y) \wedge Se.solapa.con(y, z)]\}$$