INTRODUCCIÓN A LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL

I. T. en Informática de Sistemas, Plan Antiguo Código carrera: 40 Código asignatura: 2090
I. T. en Informática de Sistemas, Plan Nuevo Código carrera: 53 Código asignatura: 2097

Septiembre 2004-2005 Original DURACIÓN: 2 horas MATERIAL PERMITIDO: ninguno

Importante: Ponga el nombre en todas las hojas. No sólo se valorará que el resultado sea correcto, sino también la claridad en la exposición de los pasos seguidos en la resolución, que el examen esté compensado y que no incluya errores conceptuales importantes.

Ejercicio 1. (Valoración: 10 / 3)
Realice un estudio comparativo de los siguientes métodos de representación de conocimiento: *Redes Bayesianas* y *Marcos*. Haga especial énfasis en los siguientes aspectos:

a) Tipo de conocimiento que permiten modelar
b) Tipo de inferencias que permiten realizar
c) Dominios del mundo real en que aplicaría dichos métodos

SOLUCIÓN

a) Tanto redes bayesianas como marcos (nos referiremos a la versión más actual, no a la desarrollada por Marvin Minsky) son dos tipos de redes formadas por nodos y arcos.

En una red bayesiana, uno nodo es una variable aleatoria, mientras que en una jerarquía de marcos puede ser una clase de objetos o una instancia (ejemplo o elemento) de una clase. En una red bayesiana cada variable puede tomar un conjunto de valores exclusivos y exhaustivos, mientras que un marco está formado por un conjunto de campos o propiedades que pueden tomar valores de muy distinta naturaleza: univaluados, multivaluados, con restricciones, con factores de certeza asociados, etc.

En una red bayesiana, los arcos determinan relaciones de dependencia condicional entre variables, mientras que en una jerarquía de marcos representan relaciones de inclusión de una subclase en una clase, o de pertenencia de una instancia a una clase.

b) Una red bayesiana permite calcular la probabilidad a posteriori de cualquier variable de la red, dada la evidencia. Para ello se pueden utilizar algoritmos de diferente naturaleza, que explotan el hecho de que la probabilidad conjunta de las variables de una red bayesiana factoriza en función de las tablas de probabilidades condicionales asociadas a sus nodos. Por ejemplo, si la red bayesiana tienen formar de árbol, se puede utilizar un algoritmo eficiente basado en el paso de mensajes probabilistas entre nodos vecinos.

En una jerarquía de marcos, cada clase o instancia hereda los campos de sus ascendientes, a falta de información en el propio marco en relación a los campos heredados. De esta forma se realiza una especie de razonamiento por defecto. Por otra parte, los llamados “demonios” son un conjunto de funciones asociadas a campos, que permiten mantener la consistencia del sistema ante cualquier tipo de cambio que se produzca en la jerarquía.

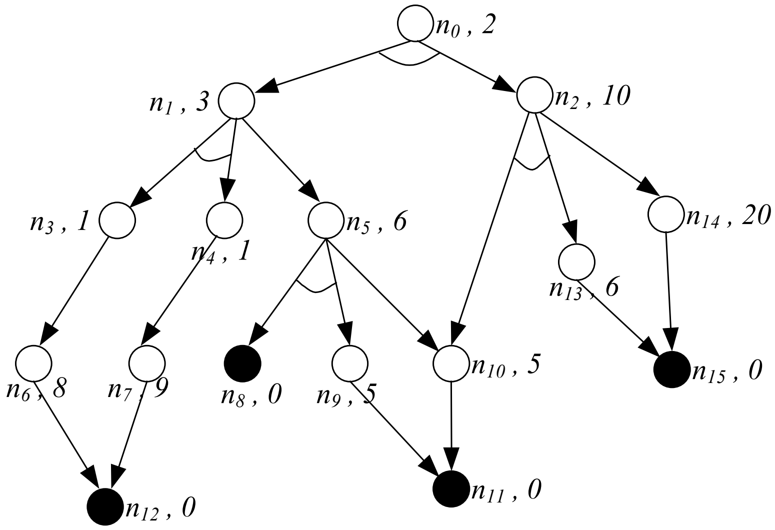
c) Las redes bayesianas se aplican a dominios caracterizados por la existencia de incertidumbre. Se aplican a tareas de diagnóstico o predicción. Un posible campo de aplicación es el diagnóstico médico.

Los marcos sirven para organizar de forma estructurada y eficiente el conocimiento sobre los objetos que aparecen en un dominio. Se pueden utilizar, por ejemplo, en la construcción de la base de afirmaciones de un sistema experto.

Ejercicio 2. (Valoración: 10 / 3)

Considere el grafo A/O de la figura. Describir paso a paso el desarrollo de la exploración de dicho grafo mediante el algoritmo AO*. Para ello supóngase que el coste de cada arco es 1 y que se tienen los siguientes valores para la función heurística "h" de estimación del coste del grafo solución óptimo desde cada nodo:

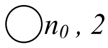
$h(n_0) = 2$	$h(n_3) = 1$	$h(n_6) = 8$	$h(n_9) = 5$	$h(n_{12}) = 0$	$h(n_{15}) = 0$
$h(n_1) = 3$	$h(n_4) = 1$	$h(n_7) = 9$	$h(n_{10}) = 5$	$h(n_{13}) = 6$	
$h(n_2) = 10$	$h(n_5) = 6$	$h(n_8) = 0$	$h(n_{11}) = 0$	$h(n_{14}) = 20$	



Recuerde que n_0 es el nodo inicial y los nodos terminales o meta son n_8, n_{11}, n_{12} y n_{15}.

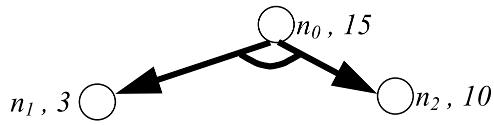
SOLUCIÓN

- **Inicialmente:**



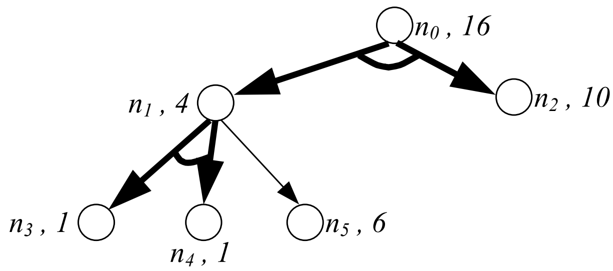
Seguidamente se describe cada ciclo del algoritmo, en cada uno de los cuales primeramente se expande un nodo hoja cualquiera del grafo solución parcial que cuelga de n_0 y a continuación, si es necesario, se actualizan hacia arriba los costes de los grafos solución parciales que cuelgan de los nodos antepasados del nodo expandido. Para ello utilizaremos un conjunto denominado S tal que si sacamos un nodo de S y hay que actualizarlo, entonces introducimos en S los padres del nodo actualizado. Inicialmente, el nodo hoja expandido es el único elemento contenido en S.

- **Ciclo 1:**
  > Se expande n_0.
  > La evolución del conjunto S es la siguiente:
  1) $S = \{n_0\}$
  2) Se saca n_0 de S. Su nuevo coste es 3+1+10+1 = 15.
  3) $S = \{\}$
  > La situación final es la siguiente:

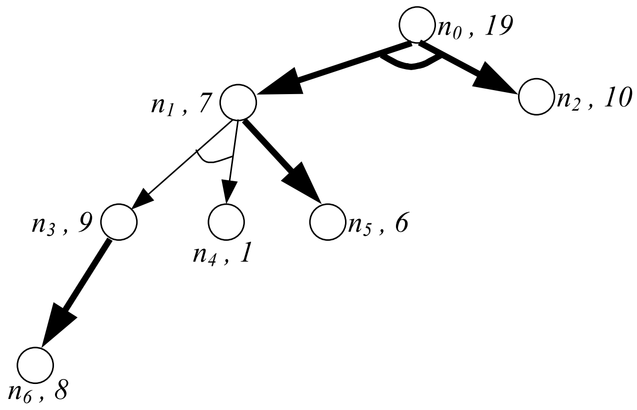


- **Ciclo 2:**

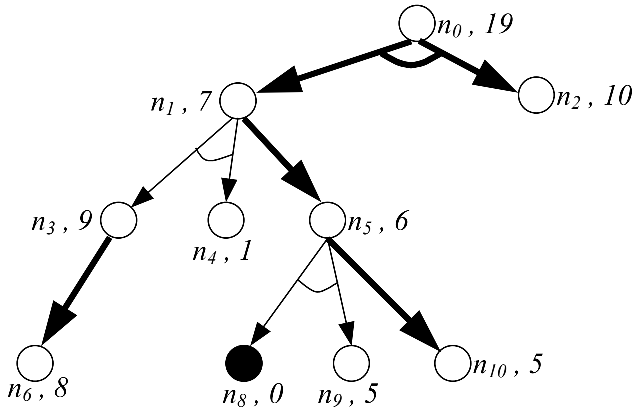
> Se expande n_1, aunque también se podría haber expandido n_2.
> La evolución del conjunto S es la siguiente:
1) $S = \{n_1\}$
2) Se saca n_1 de S. Su nuevo coste es 4. Al haber cambiado este coste respecto al antiguo, se introducen los padres de n_1 en S.
3) $S = \{n_0\}$
4) Se saca n_0 de S. Su nuevo coste es 16.
5) $S = \{\}$
> La situación final es la siguiente:



- **Ciclo 3:**
> Se expande n_3.
> La evolución del conjunto S es la siguiente (no se incluyen las explicaciones realizadas en ciclos anteriores):
1) $S = \{n_3\}$
2) $S = \{n_1\}$
4) $S = \{n_0\}$
> La situación final es la siguiente:

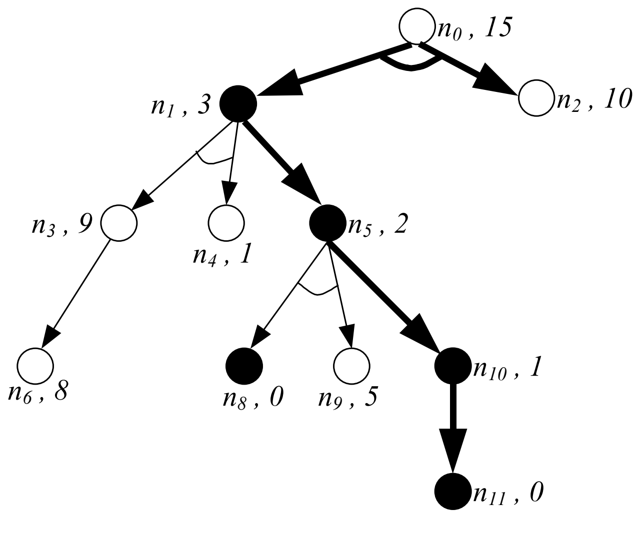


- **Ciclo 4:**
> Se expande n_5.
> La evolución del conjunto S es la siguiente:
1) $S = \{n_5\}$
> La situación final es la siguiente:



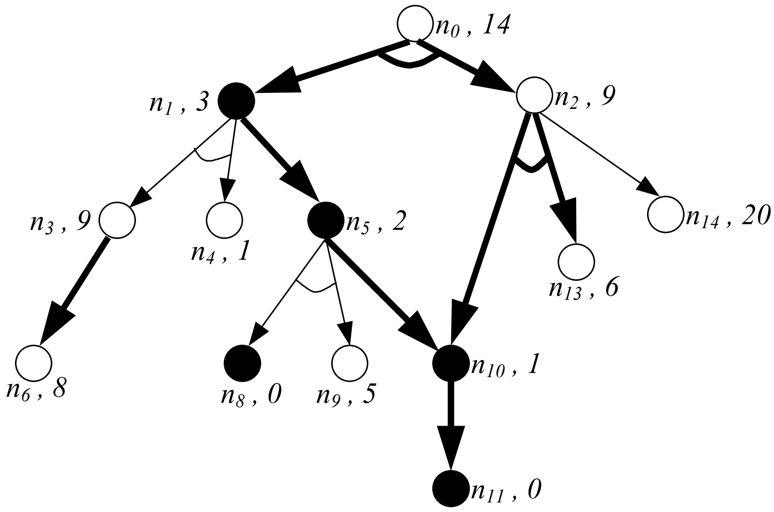
- **Ciclo 5:**
  > Se expande n_{10}.
  > La evolución del conjunto S es la siguiente:
  1) $S = \{n_{10}\}$
  2) $S = \{n_5\}$
  3) $S = \{n_1\}$
  4) $S = \{n_0\}$

  > La situación final es la siguiente:



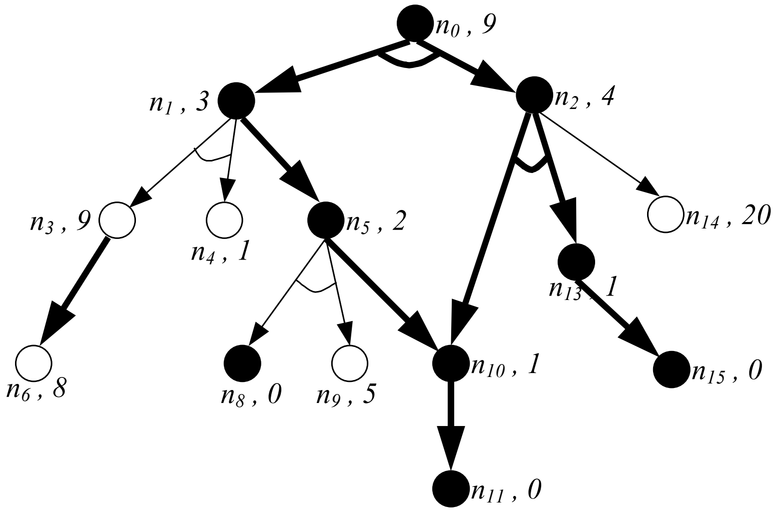
- **Ciclo 6:**
  > Se expande n_2.
  > La evolución del conjunto S es la siguiente:
  1) $S = \{n_2\}$
  2) $S = \{n_0\}$

  > La situación final es la siguiente:



- **Ciclo 7:**
  > Se expande n_{13}.
  > La evolución del conjunto S es la siguiente:
  1) $S = \{n_{13}\}$
  2) $S = \{n_2\}$
  3) $S = \{n_0\}$

  > La situación final es la siguiente:



Al final de este ciclo hemos encontrado un subgrafo solución para el nodo n_0, por lo que el algoritmo finaliza.

Ejercicio 3. (Valoración: 10 / 3)
Enumere las ampliaciones que conozca de la Lógica de Predicados tradicional. Enumere también, para cada lógica ampliada, qué nuevos operadores, predicados y reglas de inferencia se introducen en la misma. Finalmente, para cada lógica ampliada escriba un ejemplo de fórmula válida que ilustre el uso de sus nuevos operadores y predicados.

SOLUCIÓN

1) Lógicas de predicados de orden superior

Respecto a la Lógica de Predicados tradicional, permiten cuantificar predicados (no sólo variables) mediante los operadores universal o existencial, y también permiten utilizar predicados como argumentos de otros predicados. Esto complica la inferencia hasta el punto de provocar que este tipo de lógicas pierdan la propiedad de consistencia de la Lógica de Predicados, es decir, pueden aparecer paradojas.

Ejemplos: 1) $\exists P\ \forall x\ (\text{Hombre}(x) \rightarrow P(x))$

2) Predicado-binario(P)

2) Lógica de predicados con identidad

Introduce el predicado identidad (=), que permite establecer que dos objetos son el mismo.

Nuevas reglas de inferencia: 1) $a = a \quad \forall$ cte. a

2) $\dfrac{\begin{matrix}F(a)\\ a = b\end{matrix}}{F(b)} \quad \forall$ ctes. a, b

Ejemplo: "Hay por lo menos dos entidades que tienen la propiedad P."

$\exists x\ \exists y\ (P(x) \wedge P(y) \wedge x{\neq}y)$

3) Lógicas multivaluadas

Permiten la existencia de más de dos valores de verdad. Por ejemplo, en la Lógica Trivalente de Lukasiewicz hay tres valores de verdad posibles: verdadero (1), falso (0) e indeterminado (1/2). En este tipo de lógica dejan de satisfacerse cierto tipo de leyes de la Lógica de Predicados, por ejemplo, la ley de contradicción: "$p \wedge \neg p$ es falso"

4) Lógica modal

Introduce dos nuevos modos de verdad: la *necesidad* de un predicado (representada mediante el operador $\Box$) y la *posibilidad* de un predicado (representada mediante el operador $\Diamond$). Introduce también la idea de "mundo": descripción consistente y completa de cómo las cosas podrían ser.

Nuevas reglas: 1) $\neg\Diamond A \leftrightarrow \Box\neg A$

2) $\neg\Box A \leftrightarrow \Diamond\neg A$

3) $\Box A \rightarrow A$ (en cualquier mundo)

4) $\Diamond A \rightarrow A$ (en un nuevo mundo)

Ejemplo: "Necesariamente, si no como, muero."

$\Box(\neg C \rightarrow M)$

5) Lógica borrosa

Introduce los predicados borrosos, que definen el grado de pertenencia ---al predicado--- de cada elemento o elementos del universo de discurso mediante un número comprendido entre 0 y 1. Define operadores lingüísticos como “muy”, “algo”, etc. a partir de operaciones matemáticas sobre la función de pertenencia del predicado modificado.

Cada regla de inferencia (principio de herencia, reglas de composición, modus ponens generalizado, modus tollens generalizado o silogismo hipotético, entre otras) consiste en operaciones matemáticas sobre las funciones de pertenencia correspondientes.

Ejemplo: “Ser adinerado” es un predicado borroso al que se le puede asociar la siguiente función de pertenencia:

$$\{0 \mid 0,\quad 1 \mid 0.1,\quad 5 \mid 0.5,\quad 10 \mid 0.8,\quad 50 \mid 1,\quad 100 \mid 1,\quad 500 \mid 1\}$$

donde a la izquierda se representan cantidades en millones de las antiguas pesetas.

6) Lógicas no monótonas

Permiten realizar razonamientos de carácter no monótono en los que una conclusión podría llegar a estar en contradicción con nuestro conocimiento previo. Una forma de llevar esto a cabo es mediante el operador modal “M”, tal que M(p) representaría que “p es cierto si no hay nada que indique lo contrario”. En cuanto a la inferencia, estas lógicas poseen mecanismos para el mantenimiento de la coherencia en el sistema.

Ejemplo: “Si el aire acondicionado está en funcionamiento, no hace calor.” (Si no hay nada que indique lo contrario.)

$$\text{Aire-acondicionado} \rightarrow M(\neg \text{calor})$$