Métodos de Inteligencia Artificial

L. Enrique Sucar (INAOE)
esucar@inaoep.mx
ccc.inaoep.mx/esucar

Tecnologías de Información
UPAEP

Agentes que razonan bajo incertidumbre

- Introducción
- Repaso de probabilidad
- Sistemas basados en reglas
  - Factores de certeza (MYCIN)
- Sistemas expertos probabilistas

Incertidumbre

- En muchas aplicaciones en el “mundo real” existe incertidumbre, por ejemplo:
  - Un sistema de diagnóstico médico no cuenta con toda la información del paciente
  - Un robot tiene sensores con limitaciones y ruidosos
  - Un agente financiero tiene información limitada de las empresas y no puede conocer todos los factores que las afectan
- Un sistema inteligente debe poder tomar decisiones aunque no tenga toda la información o conocimiento necesarios, e incluso cuando existan errores en la información que recibe o en su conocimiento

Ejemplo de Incertidumbre

- Un robot móvil tiene *incertidumbre* respecto a lo que obtiene de sus sensores y de su posición en el mundo

Ejemplos de dominios con incertidumbre

- Diagnóstico médico o industrial
- Predicción financiera
- Exploración minera / petrolera
- Interpretación de imágenes (visión)
- Reconocimiento de voz
- Monitoreo / control de procesos industriales complejos
- Robótica

Introducción

Los sistemas inteligentes deben ser capaces de representar y razonar con *incertidumbre*.

Existen varias causas de incertidumbre que tienen que ver con la información, el conocimiento y la representación.

Información

- Incompleta
- Poco confiable
- Ruido, distorsión

Conocimiento

- Impreciso
- Contradictorio

Representación

- No adecuada
- Falta de poder descriptivo

Efectos de Incertidumbre

Si pierden varias propiedades de los sistemas que no tienen incertidumbre, basados en lógicas o reglas, lo cual hace el manejo de incertidumbre más complejo. Las principales dos características que, en general, ya no aplican son:

1. Modularidad
2. Monotonicidad

Modularidad

Un sistema de reglas es modular, ya que para saber la verdad de una regla sólo tiene que considerarla a ésta, sin importar el resto del conocimiento.

Pero si hay incertidumbre ya no puedo considerar la regla por si sola, debo tomar en cuenta otras reglas

Monotonicidad

Un sistema es monotónico si al agregar nueva información a su base de datos, no se alteran las conclusiones que seguían de la base de datos original.

Si hay incertidumbre ya no puedo considerar que la certeza en una hipótesis ya no puede cambiar, debo tomar en cuenta otras reglas que involucren a dicha hipótesis.

Técnicas

- Se han desarrollado diversas técnicas para manejo de incertidumbre en sistemas inteligentes, que podemos dividir en dos grandes grupos:
  - Técnicas simbólicas (no numéricas)
  - Técnicas numéricas

Técnicas

- No-numéricas
  * Lógicas no-monotónicas
  * Sistemas de mantenimiento de verdad (TMS, ATMS)
  * Teoría de endosos

Técnicas

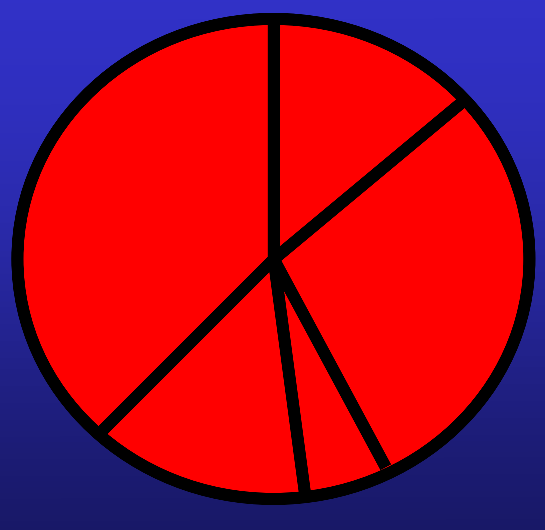
- Numéricas
  * Empíricas (MYCIN, Prospector)
  * Métodos aproximados
  * Lógica difusa
  * Teoría de Dempster-Shafer
  * Probabilísticas - Redes Bayesianas

Conceptos de Probabilidad

Recordaremos algunos conceptos de probabilidad relevantes, en particular:

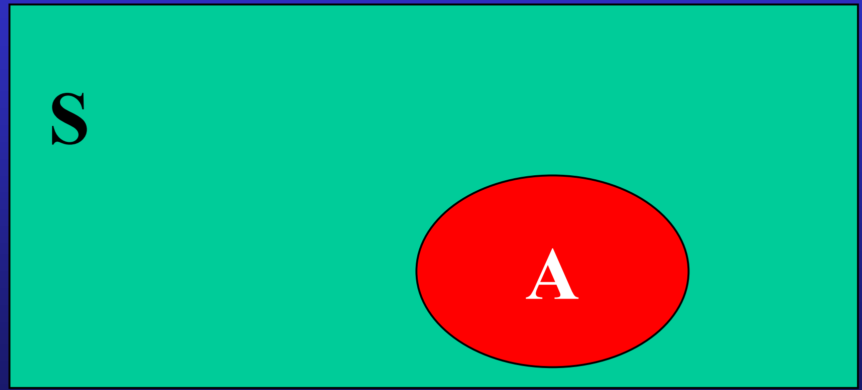
- Probabilidad Condicional
- Independencia
- Teorema de Bayes

¿Qué es probabilidad?



Definición

- Dado un experimento *E* y el espacio de muestreo *S*, a cada evento *A* le asociamos un número real *P(A),* el cual es la probabilidad de *A* y satisface los siguientes axiomas



Axiomas

- $0 <= P(A) <= 1$
- $P(S) = 1$
- $P(A \cup B \cup C \dots) = P(A) + P(B) + P(C) + \dots$

  A, B, C … mutuamente exclusivos

Teoremas

- $P(\emptyset) = 0$
- $P(\neg A) = 1 - P(A)$
- $P(A \cup B) = P(A) + P(B) - P(A \cap B)$

Probabilidad Condicional

$$P(A \mid B) = P(A \cap B) / P(B)$$

- Probabilidad de que ocurra un evento dado que ocurrió otro:
  - Dado que el dado cayó par, cuál es probabilidad de que sea un número primo?
  - Dado que tiene catarro, cuál es la probabilidad de que tenga gripe?

Regla de Bayes

- De la definición de probabilidad condicional se puede deducir:

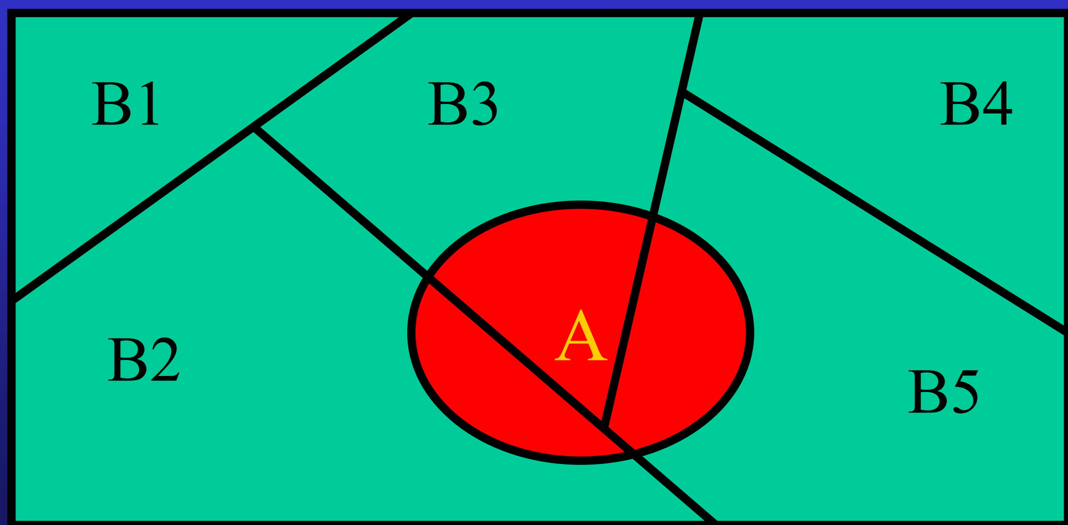
$$P(B \mid A) = P(B)\, P(A \mid B) / P(A), \text{ dado } P(A) > 0$$

- Esto permite "invertir" las probabilidades, por ejemplo obtener la *P* de una enfermedad dado un síntoma, con conocimiento de la *P* de los síntomas dado que alguien tiene cierta enfermedad

Probabilidad Total

- Dada una partición, *B*, de *S*, la probabilidad de un evento *A* se puede obtener como:

$$P(A) = \Sigma_i P(A \mid B_i)\, P(B_i)$$



Teorema de Bayes

- Con la definición de probabilidad total, el teorema de Bayes se puede escribir como:

$$P(B \mid A) = P(B)\, P(A \mid B) \;/\; \Sigma_i\, P(A \mid B_i\,)\, P(B_i)$$

Eventos independientes

- Dos eventos son independientes si la ocurrencia de uno no altera la probabilidad de ocurrencia del otro:

$$P(A \mid B) = P(A) \text{ ó}$$

$$P(B \mid A) = P(B)$$

- Lo que es equivalente a:

$$P(A \cap B) = P(A)\,P(B)$$

- Independientes $\neq$ mutuamente exclusivos

Independencia condicional

- *A* es condicionalmente independiente de *B* dado *C*, si el conocer *C* hace que *A* y *B* sean independientes:

$$P(A \mid B,C) = P(A \mid C)$$

- Ejemplo:
  - A – regar el jardín
  - B – predicción del clima
  - C – lluvia

Regla de la Cadena

- De la definición de probabilidad condicional, se puede evaluar la probabilidad de $A_1 \cap A_2 \cap A_3 \ldots \cap A_N$ (probabilidad conjunta) como:

$$P(A_1, A_2, \ldots, A_N) =$$

$$P(A_1 \mid A_2, \ldots, A_N)\, P(A_2 \mid A_3, \ldots, A_N) \ldots P(A_N)$$

Técnicas numéricas

Las primeras técnicas que surgen, cuando menos dentro del área de sistemas expertos, son técnicas empíricas o *ad-hoc* orientadas a resolver aplicaciones específicas y sin un fuerte fundamento teórico.

Las más conocidas son las que corresponden a dos de los primeros sistemas expertos:

- *PROSPECTOR* (exploración minera)

- *MYCIN* (diagnóstico de nfermedades infecciosas en la sangre)

Sistemas basados en reglas

En sistemas basados en reglas se tiene en general una estructura similar a la siguiente:

Si: se observa cierta evidencia E
Entonces: se concluye cierta hipótesis H con probabilidad (certeza, ...) P

De aquí surgen varias interrogantes:

- **¿Cómo obtener estas medidas?**
- **¿Cómo combinar estas medidas?**
- **¿Cómo interpretar estas medidas?**

MYCIN

Las técnicas desarrolladas en MYCIN y Prospector son similares, ambas consideran sistemas basados en reglas a los que se les adicionan ***Factores de Certeza o Probabilidades Subjetivas***, respectivamente.

Veremos brevemente el método de MYCIN.

MYCIN define un *Factor de Certeza* (CF) que se asocia a cada regla y cada evidencia, y se definen un conjunto de reglas para combinar estos factores.

Los CFs están en el rango de [-1, +1], donde -1 denota que la evidencia es totalmente en contra de la hipótesis y +1 que es totalmente a favor

Reglas de combinación

1. Propagación (f_{prop}) o reglas en serie:

$$CF(h,e') = CF(h,e) \times \max\{0, CF(e,e')\}$$

2. AND (conjunción), OR (disjunción) de evidencias (f_{and}, f_{or}):

$$CF(e_1 \text{ and } e_2, e') = \min\{CF(e_1,e'), CF(e_2,e')\}$$
$$CF(e_1 \text{ or } e_2, e') = \max\{CF(e_1,e'), CF(e_2,e')\}$$

3. Co-Conclusión (f_{co}) o reglas en paralelo:

$$CF(h, e_1' \text{ co } e_2') = \begin{cases} CF(h,e_1') + CF(h,e_2')(1 - CF(h,e_1')) \\ \quad \text{if } CF(h,e_i') > 0, i = 1,2 \\ \dfrac{CF(h,e_1') + CF(h,e_2')}{1 - \min\{|CF(h,e_1')|, |CF(h,e_2')|\}} \\ \quad \text{if } -1 < CF(h,e_1') \times CF(h,e_2') \leq 0 \\ CF(h,e_1') + CF(h,e_2')(1 + CF(h,e_1')) \\ \quad \text{if } CF(h,e_i') < 0, i = 1,2 \end{cases}$$

Ejemplo

R1: IF A and (B or C) Then H cf 0.8

R2: If D and F Then B cf 0.6

R3: If F or G Then H cf 0.4

R4: If A Then D cf 0.75

R5: If I Then G cf 0.3

Se conoce:

CF(A,Ev) = 1,

CF(C,Ev) = 0.5,

CF(F,Ev) = 0.7,

CF(I,Ev) = -0.4

Desventajas:

Aunque pretendía apartarse de probabilidad, se ha demostrado [Heckerman 86] que la técnica de MYCIN corresponde a un subconjunto de probabilidad con una serie de suposiciones implícitas:

- **La evidencia** es condicionalmente independiente de la hipótesis y su negación.

- **La *red de inferencia*** debe corresponder a un árbol para que los resultados sean coherentes.

- **Las fórmulas** para conjunción y disjunción (min y max) sólo son válidas si uno de los términos es subconjunto del otro.

Estas suposiciones no son válidas en muchas aplicaciones por lo que el método de MYCIN no se puede generalizar.

Probabilidad en Sistemas Expertos

Sean $H = \{ h_1, \ldots, h_n \}$ el conjunto de n posibles hipótesis y $E = \{ e_1, \ldots, e_m \}$, m posibles evidencias. Si asuminos que la hipótesis y los eventos son **V** o **F**, lo que queremos encontrar es la **h** más probable dado **e**.

Se tiene que calcular $P(h/e)$ para cada valor de h y seleccionar la de mayor probabilidad utilizando el teorema de Bayes.

Opción 1: Exhaustivo

$$P(h \mid e) = \frac{P(e \mid h)P(h)}{P(e)}$$

$$P(\neg h \mid e) = \frac{P(e \mid \neg h)P(\neg h)}{P(e)}$$

Como:

$$P(h \mid e) + P(\neg h \mid e) = 1$$

$$P(e) = P(e \mid h)P(h) + P(e \mid \neg h)P(\neg h)$$

$$P(h \mid e) = \frac{P(e \mid h)P(h)}{P(e \mid h)P(h) + P(e \mid \neg h)P(\neg h)}$$

A esto se le llama *normalización* ya que $\frac{1}{P(e)}$

se toma como una constante que permite que los términos condicionales sumen 1.

Generalización

En general:

$$P(h_i \mid e_{j1} \ldots e_{jk}) = \frac{P(e_{j1} \ldots e_{jk} \mid h_i) P(h_i)}{\sum_{j=1}^{n} P(e_{j1} \ldots e_{jk} \mid h_j) P(h_j)}$$

Para aplicar Bayes, se requiere calcular las probabilidades condicionales $P(e/h_i)$ para cada combinación de evidencias (en general no se pueden calcular de sus componentes individuales).

Esto implica que se tienen que conocer un número exponencial de probabilidades!

Opción 2: independencia

Las evidencias son condicionalmente independientes.

$$P(h_i \mid e_{j1} \ldots e_{jk}) = \frac{P(e_{j1} \mid h_i) \ldots P(e_{jk} \mid h_i) P(h_i)}{\sum_{l=1}^{n} P(e_{j1} \mid h_l) \ldots P(e_{jk} \mid h_l) P(h_l)}$$

Con ésto, solo se requieren *m* x *n* probabilidades condicionales y *n - 1* probabilidades *a priori.*

Conclusión

En la opción 1 el sistema se vuelve demasiado complejo, mientras que la opción 2 puede no ser realista para muchas aplicaciones.

Una alternativa es buscar un compromiso entre ambos extremos, esto se logra mediante las redes Bayesianas.

Tarea

- Leer sobre manejo de incertidumbre en sistemas expertos (liga en la página)