

Raciocínio sob incerteza

- A maior parte das tarefas “inteligentes” envolvem a manipulação de incerteza
- Espera-se que os KBS exibam comportamento inteligente, sendo por isso espectável que estejam aptos a lidar com incerteza (por exemplo, MYCIN, $CF(\text{condição}) > 0.2$)

Sistemas Periciais com Conhecimento Incerto

1

Raciocínio sob incerteza

- Identificação dos problemas:
 - Dados
 - Indisponíveis, pouco fiáveis, representação imprecisa, inconsistentes, baseados em valores típicos (excepções)
 - Regras heurísticas
 - A conclusão das regras não são garantidamente correctas
 - O raciocínio a partir de sintomas observados com o objectivo de obter as possíveis causas desses sintomas pode falhar
 - **if** o gato acabou de entrar em casa
 - **and** o gato está molhado
 - **then** está a chover

Sistemas Periciais com Conhecimento Incerto

2

Raciocínio sob incerteza

- Considerações a ter no desenvolvimento dos KBS
 - Como representar conhecimento impreciso?
 - Como combinar conhecimento impreciso?
 - Como obter inferência a partir de conhecimento impreciso?
- Diferentes abordagens:
 - Métodos quantitativos
 - **Lógica difusa**
 - **Regra de Bayes**
 - **Factores de certeza**
 - Dempster shafer
 - Métodos qualitativos
 - Raciocínio simbólico

Sistemas Periciais com Conhecimento Incerto

3

Raciocínio sob incerteza

- Vantagens e desvantagens da abordagem bayesiana
 - Vantagens
 - Forte fundamentação teórica – teoria das probabilidades
 - Tomada de decisão facilitada – ordenação das várias hipóteses
 - Desvantagens
 - Requer quantidades significativas de dados estatísticos
 - Devem ser conhecidos todos os dados acerca das relações entre cada evidência e as várias hipóteses
 - Todas as relações entre cada evidências e as hipóteses $P(E|H)$ devem ser independentes
 - Em que se baseiam as probabilidades condicionais e a priori?
 - Ausência de explicações (as relações entre H e E estão reduzidas a simples números)

Sistemas Periciais com Conhecimento Incerto

4

Factores de Certeza – *certainty theory*

- Alternativa à abordagem baseada na teoria de Bayes
- Surgiu a partir do trabalho desenvolvido com os sistema MYCIN
- Baseia-se em medidas de crença em oposição ao uso de estimativas de probabilidades
- Exemplo: Tem uma dor de cabeça forte?
 - Pergunta e resposta subjectivas
 - A resposta será um valor de probabilidade [0..1]
 - Qual é o significado deste valor? Como vamos produzir inferência a partir deste valor?
 - Não existe um suporte estatístico – logo não é possível usar a abordagem bayesiana

Sistemas Periciais com Conhecimento Incerto

5

Factores de Certeza – *certainty theory*

- O sistema MYCIN foi desenvolvido para diagnosticar problemas no sangue e sugerir o respectivo tratamento
- Foi necessário desenvolver um mecanismo para lidar com informação inexacta/incompleta – típico em domínios como a medicina
 - Muitas vezes os pacientes requerem tratamento urgente
 - A informação é frequentemente incompleta/desconhecida (por exemplo, alergia a drogas ou alimentos)
 - Os resultados de exames importantes para o diagnóstico podem requer tempo – tempo para cultura de bactérias
 - O médico tem que actuar com base na informação existente
 - Decidir acerca de que organismos podem estar presentes e a causar a infecção
 - Decidir sobre qual o melhor método para tratamento

Sistemas Periciais com Conhecimento Incerto

6

Factores de Certeza – *certainty theory*

- Abordagem bayesiana não é apropriada – não existe informação estatística
- Sugere um factor de certeza (CF), que assume valores no intervalo [-1 .. +1]
 - Valores negativos indicam um grau de descrença
 - Valores positivos indicam um grau de crença

Sistemas Periciais com Conhecimento Incerto

7

Factores de Certeza – *certainty theory*

- Termos de incerteza e respectiva interpretação no MYCIN

<i>Termo</i>	<i>Factor de certeza</i>
Definitely not	-1.0
Almost certainly not	-0.8
Probably not	-0.6
Maybe not	-0.4
Unknown	-0.2 to +0.2
Maybe	+0.4
Probably	+0.6
Almost certainly	+0.8
Definitely	+1.0

Sistemas Periciais com Conhecimento Incerto

8

Factores de Certeza – *certainty theory*

- Exemplo de uma regra do MYCIN:

IF the stain of the organism is gram pos
AND the morphology of the organism is coccus
AND the growth of the organism is chains
THEN there is evidence that the organism is streptococcus CF 0.7

- Dada a evidência, o médico apenas assume uma crença parcial na conclusão
- Formato geral das regras
IF E_1 And E_2 ... THEN H CF = CF_i
onde E_i são evidências e H é a conclusão

Sistemas Periciais com Conhecimento Incerto

9

Factores de Certeza – *certainty theory*

- Assume-se incerteza na inferência, traduzida pelo factor de certeza atribuído à regra
 - Se a crença na evidência não é certa então o nível de crença na respectiva inferência é diminuído
 - Permite combinar evidências de múltiplas fontes
 - Quando informação de suporte é recebida a partir de várias fontes então o nível de crença pode ser aumentado
- 1) If A And B Then Z CF = 0.8
 - 2) If C And D Then Z CF = 0.7
 - Para a mesma hipótese Z, temos diferentes CF's a partir de diferentes evidências
 - O disparo de ambas as regras conduz a dois níveis de crença

Sistemas Periciais com Conhecimento Incerto

10

Factores de Certeza – *certainty theory*

- Como combinar evidências de diferentes fontes?
 - No exemplo anterior, como combinar os dois níveis de crença na hipótese Z?
 - A equipa do MYCIN decidiu aumentar o nível de crença em direcção a 1 à medida que se vão observando mais evidências
- Rede de crença
 - Durante a observação de evidências para uma hipótese algumas das evidências contribuem para aumentar o nível de crença na hipótese, enquanto que outras contribuem para diminuir esse nível
 - O papel do perito será fornecer o contributo de cada evidência para a hipótese; para cada evidência será necessário quantificar:
 - Suporte da hipótese – medida de crença (MB)
 - Rejeição da hipótese – medida de descrença (MD)
 - $CF = MB - MD$

11

Sistemas Periciais com Conhecimento Incerto

Factores de Certeza – *certainty theory*

- $P(H)$ – probabilidade à priori da hipótese H – reflecte a crença do perito na hipótese
- $P(\sim H)$ – reflecte a descrença do perito na hipótese
- Se o perito observa uma evidência E que contribui para aumentar a probabilidade da hipótese, então a crença do perito na hipótese aumenta de acordo com a expressão:

$$\frac{P(H|E) - P(H)}{1 - P(H)} \text{ (medida de mudança na crença)}$$

- Se o perito observa uma evidência E que contribui para diminuir a probabilidade da hipótese, então a crença do perito na hipótese diminui de acordo com a expressão:

$$\frac{P(H) - P(H|E)}{P(H)} \text{ (medida de mudança na crença)}$$

12

Sistemas Periciais com Conhecimento Incerto

Factores de Certeza – *certainty theory*

- Estas medidas de mudança na crença dão origem a MB e MD
- **Medida de Crença (MB)** – número que reflecte a medida de aumento na crença de uma hipótese H perante uma evidência E

$$MB(H, E) = \begin{cases} 1 & \text{Se } P(H) = 1 \\ \frac{\max(P(H | E), P(H)) - P(H)}{1 - P(H)} & \end{cases}$$

em que :

P(H) é a probabilidade à priori de H ser verdadeiro

P(H | E) é a probabilidade de H ser verdadeiro dada a evidência E

13

Sistemas Periciais com Conhecimento Incerto

Factores de Certeza – *certainty theory*

- **Medida de Descrença (MD)** – número que reflecte a medida de diminuição na crença de uma hipótese H perante uma evidência E

$$MD(H, E) = \begin{cases} 1 & \text{Se } P(H) = 0 \\ \frac{\min(P(H | E), P(H)) - P(H)}{-P(H)} & \end{cases}$$

em que :

P(H) é a probabilidade à priori de H ser verdadeiro

P(H | E) é a probabilidade de H ser verdadeiro dada a evidência E

- Uma vez que diferentes evidências podem ser observadas (algumas contribuindo para o fortalecimento da crença, outras para o enfraquecimento), será necessária uma terceira medida para combinar MB e MD

14

Sistemas Periciais com Conhecimento Incerto

Factores de Certeza – *certainty theory*

- Propagação de certeza em regras com uma única premissa

SE há nuvens CF 0.5

ENTÃO vai chover CF 0.8

$$CF(H,E) = 0.5 * 0.8 = 0.4$$

(Se CF da premissa = -0.5 então CF da hipótese = -0.4)

- Propagação de certeza para regras com várias premissas

- Dois métodos de propagação, dependentes dos operadores lógicos:

- Regras conjuntivas
- Regras disjuntivas

Sistemas Periciais com Conhecimento Incerto

17

Factores de Certeza – *certainty theory*

- Regras conjuntivas

IF o céu está escuro	CF 1.0	} evidências
AND o vento é forte	CF 0.7	
THEN vai chover	CF 0.8	

$$CF(\text{conclusão}) = \min\{CF(\text{evidências})\} * CF(\text{regra})$$

$$CF(\text{vai chover}) = \min\{1.0, 0.7\} * 0.8$$

$$CF(\text{vai chover}) = 0.56$$

Sistemas Periciais com Conhecimento Incerto

18

Factores de Certeza – *certainty theory*

- Regras disjuntivas

IF o céu está escuro	CF 1.0	} evidências
OR o vento é forte	CF 0.7	
THEN vai chover	CF 0.8	

$$CF(\text{conclusão}) = \max\{CF(\text{evidências})\} * CF(\text{regra})$$

$$CF(\text{vai chover}) = \max\{1.0, 0.7\} * 0.8$$

$$CF(\text{vai chover}) = 0.8$$

Factores de Certeza – *certainty theory*

- Propagação de certeza para regras similares

- Por vezes há necessidade de considerar várias regras para uma hipótese particular

IF o serviço de previsão meteorológica anuncia que vai chover
THEN vai chover CF 0.8

IF o agricultor afirma que vai chover
THEN vai chover CF 0.9

- Se recebemos evidências que suportam uma conclusão a partir de duas fontes distintas então ficaremos mais confiantes acerca da hipótese
- É necessário combinar os CF estabelecidos pelas várias regras que concluem a mesma hipótese

Factores de Certeza – *certainty theory*

- Propagação de certeza para regras similares

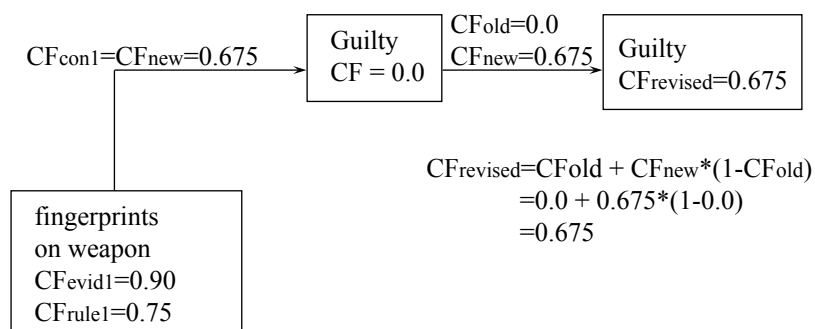
$$CF_{reviso}(CF_{old}, CF_{new}) = \begin{cases} CF_{old} + CF_{new}(1 - CF_{old}) & \text{Se } CF_{old}, CF_{new} \geq 0 \\ CF_{old} + CF_{new}(1 + CF_{old}) & \text{Se } CF_{old}, CF_{new} \leq 0 \\ \frac{CF_{old} + CF_{new}}{1 - \min(|CF_{old}|, |CF_{new}|)} & \text{Se } CF_{old}, CF_{new} \text{ têm sinais contrários} \end{cases}$$

Sistemas Periciais com Conhecimento Incerto

21

Factores de Certeza – *certainty theory*

Exemplo de propagação de CF



*RULE 1. IF the defendant's fingerprints are on the weapon
THEN the defendant is guilty*

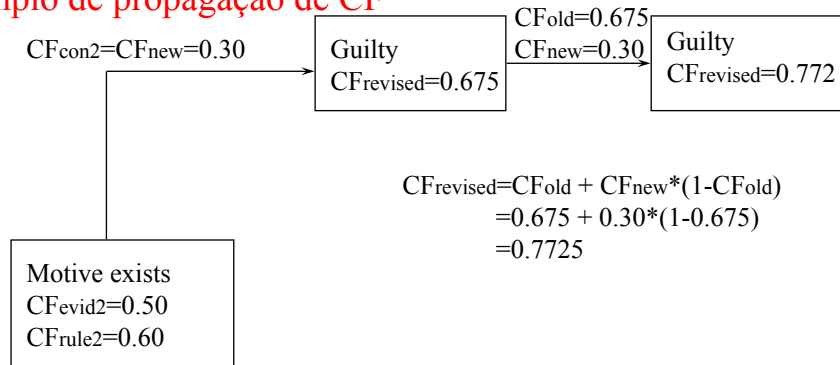
$$\begin{aligned} CF_{con1} &= CF_{evid1} * CF_{rule1} \text{ (single premise rule)} \\ &= 0.9 * 0.75 \\ &= 0.675 \end{aligned}$$

Sistemas Periciais com Conhecimento Incerto

22

Factores de Certeza – *certainty theory*

Exemplo de propagação de CF



*RULE 2. IF the defendant has a motive
THEN the defendant is guilty of the crime*

$$CF_{con2} = CF_{vid2} * CF_{rule2} \text{ (single premise rule)}$$

$$= 0.50 * 0.60$$

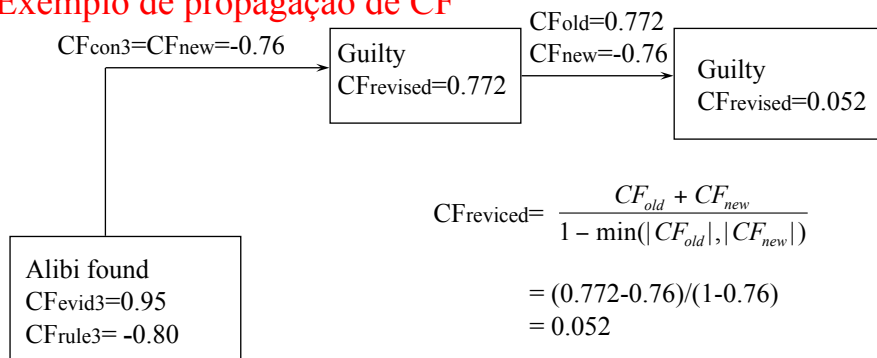
$$= 0.30$$

23

Sistemas Periciais com Conhecimento Incerto

Factores de Certeza – *certainty theory*

Exemplo de propagação de CF



*RULE 3. IF the defendant has an alibi
THEN he is not guilty*

$$CF_{con3} = CF_{vid3} * CF_{rule3}$$

$$= 0.95 * (-0.80)$$

$$= -0.76$$

24

Sistemas Periciais com Conhecimento Incerto

Factores de Certeza – *certainty theory*

Exemplo de propagação de CF

1. IF o serviço de previsão meteorológica anuncia que vai chover
THEN vai chover CF 0.8
2. IF o agricultor afirma que vai chover
THEN vai chover CF 0.8

Caso 1: Tanto o serviço de previsão meteorológica como o agricultor estão certos de que vai chover

$$CF_{old} = 1.0 * 0.8 = 0.8$$

$$CF_{new} = 1.0 * 0.8 = 0.8$$

$$CF_{old} + CF_{new}(1 - CF_{old}) = 0.8 + 0.8(1 - 0.8) = 0.96$$

25

Sistemas Periciais com Conhecimento Incerto

Factores de Certeza – *certainty theory*

Exemplo de propagação de CF

Caso 2: o serviço de previsão meteorológica está certo que vai chover mas o agricultor está certo de que não vai chover

$$CF_{old} = 1.0 * 0.8 = 0.8$$

$$CF_{new} = -1.0 * 0.8 = -0.8$$

$$\frac{CF_{old} + CF_{new}}{1 - \min(|CF_{old}|, |CF_{new}|)}$$

$$= 0.8 - 0.8 / 1 - \min(0.8, -0.8) = 0$$

As regras cancelam-se mutuamente, pelo que a hipótese não é conclusiva

26

Sistemas Periciais com Conhecimento Incerto

Factores de Certeza – *certainty theory*

Exemplo de propagação de CF

Caso 3: ambos estão certos de que não vai chover mas com graus de crença distintos

$$CF_{old} = -0.8 * 0.8 = -0.64$$

$$CF_{new} = -0.6 * 0.8 = -0.48$$

$$CF_{old} + CF_{new} (1 + CF_{old})$$

$$= -0.64 - 0.48 * (1 - 0.64) = -0.81$$

Sistemas Periciais com Conhecimento Incerto

27

Factores de Certeza – *certainty theory*

Vantagens e Desvantagens

- Vantagens
 - Modelo computacional simples
 - Permite aos peritos associarem uma estimativa de confiança às conclusões
 - Permite exprimir crença, descrença e o efeito de existência de múltiplas fontes de evidência
 - O conhecimento adquirido é representado em regras e quantificado em termos de incerteza
 - A obtenção dos CF é fácil – obtidos a partir do perito
- Desvantagens
 - Evidências não independentes devem ser incluídas na mesma regra
 - A modificação das bases de conhecimento é complexa

Sistemas Periciais com Conhecimento Incerto

28

Comparação: Bayes vs FC

- A teoria das probabilidades é uma técnica bem estabelecida e fundamentada, adequada para lidar com conhecimento incerto
- Funciona bem em áreas como a previsão e o planeamento, em que normalmente existe informação estatística a partir da qual se podem estimar valores de probabilidades

Sistemas Periciais com Conhecimento Incerto

29

Comparação: Bayes vs FC

- Contudo, em muitas áreas de aplicação dos KBS, não é possível obter informação estatística fiável ou não é possível assumir independência condicional entre as evidências
- Estas dificuldades podem inviabilizar a utilização da abordagem bayesiana -> motivação para o desenvolvimento da teoria dos factores de certeza
- Apesar da abordagem baseada nos factores de certeza não assentar no rigor matemático sustentado pela teoria das probabilidades, permite ultrapassar o desempenho do raciocínio bayesiano em áreas como a do diagnóstico

Sistemas Periciais com Conhecimento Incerto

30

Comparação: Bayes vs FC

- Os factores de certeza são usados em situações em que não são conhecidos os valores de probabilidades ou estes são difíceis de obter
- O mecanismo de raciocínio permite tratar a observação de múltiplas evidências de forma incremental, a conjunção e disjunção de evidências, assim como evidências com diferentes graus de crença
- A abordagem baseada nos factores de certeza permite melhores explicações acerca da inferência gerada através de um sistema baseado em regras

31

Sistemas Periciais com Conhecimento Incerto

Comparação: Bayes vs FC

- A abordagem bayesiana é mais apropriada :
 - Em domínios ricos do ponto de vista estatístico
 - Situações em que o engenheiro do conhecimento está apto a conduzir o processo
 - O perito está disponível para analisar o conhecimento
- Na ausência de qualquer uma destas condições, a abordagem bayesiana pode ser demasiado arbitrária e até produzir resultados sem significado
- O processo de propagação usado na abordagem bayesiana apresenta uma complexidade exponencial, sendo impraticável para bases de conhecimento extensas

32

Sistemas Periciais com Conhecimento Incerto