

Conhecimento e Raciocínio

Aula 3

Factores de Certeza

Viriato A.P. Marinho Marques

DEIS - ISEC

2019 / 2020



5.1 Métodos de Representação

5.1 Métodos de Representação da Incerteza

Módulo I

1. Factores de Certeza (*Certainty Factors* - CF)

1. MYCIN
2. CLIPS
3. EXSYS

2. Probabilidade

1. Redes Bayesianas
2. Árvores de Decisão Bayesianas (PROSPECTOR)
3. Cadeias de Markov

3. Teoria de Dempster-Shaffer

4. Lógica Difusa

1. Inferência de Mandani e Takagi-Sugeno
2. Regra Composicional de Inferência / *Sistema CADLAG-2*
3. *Fuzzy Pattern Matching* / *Fuzzy CLIPS*

5.2 Factores de Certeza

5.2.1 Porquê Factores de Certeza ?

Basicamente, os Factores de Certeza, *FC*, ou *Certainty Factors* - *CF* - são coeficientes que, aplicados às regras, permitem inferir a sua conclusão somente com um grau de certeza dependente desses factores.

Várias razões levaram ao aparecimento dos Factores de Certeza:

- A fórmula de Bayes, quando estendida a n hipóteses e m evidências, não pode ser aplicada na prática porque não é possível obter dados acerca de todas as combinações de probabilidades e evidências requeridas
- Dada uma hipótese H e uma evidência E , a Probabilidade diz que

$$p(\neg H) = 1 - p(H)$$

$$p(H|E) = 1 - p(\neg H|E)$$

Ora, quando os engenheiros do MYCIN começaram as entrevistas com os médicos, imediatamente concluíram que as suas opiniões não concordavam, minimamente, com estas leis.

5.2.1 Porquê Factores de Certeza?

Seja a regra:

SE o organismo é gram-positivo

E a morfologia é coccus

E o crescimento é em cadeias

ENTÃO

há uma evidência sugestiva (0.7) de que se trata de streptococcus

MYCIN

Esta regra pode ser formalizada assim:

$$p(H \mid E1 \cap E2 \cap E3) = 0.7$$

$$p(\neg H \mid E1 \cap E2 \cap E3) = 1 - 0.7 = 0.3$$

médicos **concordaram** com isto, mas ...

... **não concordaram** com isto

Seja a probabilidade

$$p(\text{Acabar o curso} \mid \text{Média } 18) = 0.9$$

$$p(\text{Não acabar o curso} \mid \text{Média } 18) = 0.1$$

Outro exemplo

10% para alterações de curriculum... -:))

Carece de significado porque:

Ter média 18 nada implica em relação a **não acabar** o curso (implica apenas em relação a **acabar**)

5.2.2 MYCIN: Factores de Certeza

A questão é que

- $p(H/E)$ implica uma relação de Causa \rightarrow Efeito entre H e E

enquanto que para

- $p(\neg H/E)$ esta relação pode não existir

Usando FCs a relação $p(H|E)=1-p(\neg H|E)$ deixa de existir e por isso o grau de certeza acerca de $(\neg H|E)$ nada tem a ver com $p(H|E)$

5.2.2 Factores de Certeza no MYCIN

No MYCIN definiram-se *MB*, *MD* e *CF* da seguinte forma:

- | | |
|-----------------------------|--|
| • MB - Measure of Belief | Crença numa hipótese H dada uma evidência E |
| • MD - Measure of Disbelief | Descrença numa hipótese H dada uma evidência E |
| • CF - Certainty Factors | Grau de certeza acerca de H, conhecida E |

MB, *MD* e *CF* são calculados por fórmulas que proporcionam os seguintes resultados / interpretações:

5.2.2 MYCIN: Factores de Certeza

Características	Valores
Domínios	$0 \leq MB \leq 1$
	$0 \leq MD \leq 1$
	$-1 \leq CF \leq 1$
Hipótese Verdadeira de Certeza $p(H E)=1$	$MB = 1$
	$MD = 0$
	$CF = +1$
Hipótese Falsa de Certeza $p(\neg H E)=1$	$MB = 0$
	$MD = 1$
	$CF = -1$
Ausência de evidências	$MB = 0$
	$MD = 0$
	$CF = 0$

$$MB(H, E) = \begin{cases} 1 & \text{if } p(H) = 1 \\ \frac{\max[p(H|E), p(H)] - p(H)}{\max[1, 0] - p(H)} & \end{cases}$$

$$MD(H, E) = \begin{cases} 1 & \text{if } p(H) = 0 \\ \frac{\min[p(H|E), p(H)] - p(H)}{\min[1, 0] - p(H)} & \end{cases}$$

$$CF = MB - MD$$

Definição original

$$CF = \frac{MB - MD}{1 - \min(MB, MD)}$$

Definição revista (1977)

5.2.2 MYCIN: Factores de Certeza

Tomemos o exemplo do disco marca X ocorrendo ou não *Crash*:

	X	¬X	
Crash	0.6	0.1	0.7
¬Crash	0.2	0.1	0.3
	p(X) = 0.8	p(¬X) = 0.2	1.00

$$P(X \mid \text{Crash}) = 0.8571$$

$$P(\neg X \mid \text{Crash}) = 0.1429$$

$$P(X \mid \neg \text{Crash}) = 0.6667$$

$$P(\neg X \mid \neg \text{Crash}) = 0.3333$$

$$MB(H, E) = \begin{cases} 1 & \text{if } p(H) = 1 \\ \frac{\max[p(H \mid E), p(H)] - p(H)}{\max[1, 0] - p(H)} & \end{cases} \quad MD(H, E) = \begin{cases} 1 & \text{if } p(H) = 0 \\ \frac{\min[p(H \mid E), p(H)] - p(H)}{\min[1, 0] - p(H)} & \end{cases}$$

$$MB(X, C) = \frac{\max[p(0.8571), p(0.8)] - p(0.8)}{\max[1, 0] - p(0.8)} = \frac{0.0571}{0.2} = 0.2855$$

$$MD(X, C) = \frac{\min[p(0.8571), p(0.8)] - p(0.8)}{\min[1, 0] - p(0.8)} = \frac{0}{-0.2} = 0$$

$$CF = MB - MD = 0.2855$$

⇒

SE o disco *crasha*
ENTÃO há uma **evidência positiva** (0.2855) de
que **é da marca X**

$$MB(\neg X, C) = \frac{\max[p(0.1429), p(0.2)] - p(0.2)}{\max[1, 0] - p(0.2)} = \frac{0}{-0.8} = 0$$

$$MD(\neg X, C) = \frac{\min[p(0.1429), p(0.2)] - p(0.2)}{\min[1, 0] - p(0.2)} = \frac{-0.0571}{-0.2} = 0.2855$$

$$CF = MB - MD = -0.2855$$

⇒

SE o disco *crasha*
ENTÃO há uma **evidência negativa** (-0.2855) de
que **não é da marca X** (ou seja, "deve ser" da marca X)

5.2.2 MYCIN: Factores de Certeza

Tomemos o exemplo do disco marca X ocorrendo ou não *Crash*:

	X	¬X	
Crash	0.6	0.1	0.7
¬Crash	0.2	0.1	0.3
	p(X) = 0.8	p(¬X) = 0.2	1.00

$$P(X | Crash) = 0.8571$$

$$P(\neg X | Crash) = 0.1429$$

$$P(X | \neg Crash) = 0.6667$$

$$P(\neg X | \neg Crash) = 0.3333$$

$$MB(H, E) = \begin{cases} 1 & \text{if } p(H) = 1 \\ \frac{\max[p(H|E), p(H)] - p(H)}{\max[1, 0] - p(H)} & \end{cases} \quad MD(H, E) = \begin{cases} 1 & \text{if } p(H) = 0 \\ \frac{\min[p(H|E), p(H)] - p(H)}{\min[1, 0] - p(H)} & \end{cases}$$

$$MB(X, \neg C) = \frac{\max[p(0.6667), p(0.8)] - p(0.8)}{\max[1, 0] - p(0.8)} = \frac{0}{0.2} = 0$$

$$MD(X, \neg C) = \frac{\min[p(0.6667), p(0.8)] - p(0.8)}{\min[1, 0] - p(0.8)} = \frac{-0.1333}{-0.8} = 0.166625$$

$$CF = MB - MD = -0.166625$$

⇒

SE o disco *não crasha*

ENTÃO há uma **evidência negativa** (-0.166625)

de que **é da marca X** (ou seja, "não deve ser" da marca X)

$$MB(\neg X, \neg C) = \frac{\max[p(0.3333), p(0.2)] - p(0.2)}{\max[1, 0] - p(0.2)} = \frac{0.1333}{0.8} = 0.166625$$

$$MD(\neg X, \neg C) = \frac{\min[p(0.3333), p(0.2)] - p(0.2)}{\min[1, 0] - p(0.2)} = \frac{0}{-0.2} = 0$$

$$CF = MB - MD = 0.166625$$

⇒

SE o disco *não crasha*

ENTÃO há uma **evidência positiva** (0.166625)

de que **não é da marca X**

5.2.2 MYCIN: Factores de Certeza

Regras com CFs, como por exemplo

SE o disco *crasha*

ENTÃO há uma evidência (0.2855) de que é da marca X

geram conclusões com um grau de certeza ≤ 1 . Por isso:

- Regras cujas premissas se baseiem nestas conclusões, têm de disparar mesmo que o match entre premissa e facto não seja de 100% (uma vez que o facto só é certo, "verdadeiro", num dado grau)
- Por outro lado, verificou-se que o disparo indiscriminado de regras com *match* das premissas muito baixo não tinha valor prático (hipóteses sugeridas com credibilidade muito pequena) servindo apenas para reduzir a eficiência do sistema

Assim, foi estabelecido um limite (*threshold*) *ad hoc* de valor 0.2 (uma regra só dispara se a sua premissa tiver $CF > 0.2$, interpretado como premissa verdadeira)

Porém, nestas condições a definição $CF=MB-MD$ originava o não disparo de regras em situações em que isso deveria ocorrer (p.e. 10 evidências acumulavam $MB=0.999$ e 1 evidência negativa gerava $MD=0.799 \Rightarrow FC=0.999-0.799=0.2$



5.2.3 MYCIN: Combinando CFs

Por isso, em 1977 a definição de CF foi alterada para $CF = \frac{MB - MD}{1 - \min(MB, MD)}$

Exemplo

$$CF = MB - MD = FC = 0.999 - 0.799 = 0.2 \quad (\text{n\~ao disparava})$$

$$CF = \frac{MB - MD}{1 - \min(MB, MD)} = \frac{0.999 - 0.799}{1 - \min(0.999, 0.799)} = \frac{0.2}{1 - 0.799} = 0.995 \quad (\text{j\~a disparava})$$

5.2.3 MYCIN: Tipos de CFs e sua combinao

No MYCIN os CFs intervêm de 2 formas:

1. No grau de certeza com que é conhecido o antecedente da regra
2. No grau de certeza com que a regra permite asserir o seu consequente

Os cálculos são feitos da seguinte forma:

5.2.3 MYCIN: Combinando CFs

1. Dada a regra uma regra da forma IF E THEN H então

$$CF(H,e) = CF(E,e) \cdot CF(H,E)$$

- $CF(H,e)$ é o CF de H em face de uma evidência incerta, e
- $CF(E,e)$ é o CF da evidência
- $CF(H,E)$ (factor de atenuação / *attenuation factor*) é o CF da hipótese H se E for conhecido com certeza (i.e. $CF(E,e)=1$)

2. Dada uma expressão lógica que combina vários factos

- O CF da conjunção (AND) é o mínimo dos CFs
- O CF da disjunção (OR) é o máximo

3. A certeza de um facto varia entre +1 (certeza) e -1 (certeza do facto contrário). O valor zero significa ausência de evidências sobre o facto.

4. Dadas 2 regras com a mesma conclusão, o CF da conclusão é dado por

$$CF_{combine}(CF_1, CF_2) = \begin{cases} CF_1 + CF_2 - CF_1 \cdot CF_2 & CF_1 \geq 0 \wedge CF_2 \geq 0 \\ \frac{CF_1 + CF_2}{1 - \min(|CF_1|, |CF_2|)} & CF_1 < 0 \text{ ou (exclusivo) } CF_2 < 0 \\ CF_1 + CF_2 + CF_1 \cdot CF_2 & CF_1 < 0 \wedge CF_2 < 0 \end{cases}$$

Estas fórmulas são comutativas, i.e., CF_1 e CF_2 podem "trocar" entre si

5.2.3 MYCIN: Combinando CFs

Exemplo

SE a estirpe do organismo é gram-positiva

E a morfologia do organismo é coccus

E a multiplicação é em cadeias

ENTÃO existe uma evidência sugestiva (0.7) de que se trata de streptococcus

$CF(E1,e)=CF_{\text{estirpe}}=0.5$ (estirpe é conhecida com certeza 0.5)

$CF(E2,e)=CF_{\text{morfologia}}=0.6$ (morfologia é conhecida com certeza 0.6)

$CF(E3,e)=CF_{\text{cadeias}}=0.3$ (multiplicação em cadeias é conhecida com certeza 0.3)

$CF(E,e)=CF_{\text{evidências}}=\min(CF(E1,e), CF(E2,e), CF(E3,e)) = \min(0.5, 0.6, 0.3) = 0.3$

$CF(H,e)=CF_{\text{hipótese}} = CF(E,e) \cdot CF(H,E) = 0.3 \times 0.7 = 0.21$

Suponhamos agora que uma regra R2 também conclui com streptococcus e $CF_2=0.5$. Como ambos os CF são positivos, o CF da conclusão final acerca de se tratar de streptococcus é

$CF_{\text{final}} = CF_1 + CF_2(1-CF_1) = 0.21 + (0.5 \times (1-0.21)) = 0.605$

Como as fórmulas de combinação são comutativas também se poderia fazer

$CF_{\text{final}} = CF_1 + CF_2(1-CF_1) = 0.5 + (0.21 \times (1-0.5)) = 0.605$

5.2.4 CLIPS: Factores de Certeza

5.2.4 Factores de Certeza no CLIPS

O CLIPS não implementa CFs directamente. No entanto:

- Existe uma versão difusa do CLIPS (*fuzzy CLIPS*) do NRC-Canada, que lida com CFs e lógica difusa permitindo conjugar estes dois tipos de incerteza na mesma regra
- No CLIPS standard é possível, através de programação, tratar CFs

Exemplo

IF the stain of the organism is gram negative
AND the morfology of the organism is rod
AND patient is a compromised host
THEN there is a suggestive evidence (0.6) that the organism is pseudomonas

Como implementar esta regra no CLIPS, tratando, além do CF 0.6 da regra, incerteza nos antecedentes, i.e. evidências de que o organismo é *gram negative*, *rod* e *patient is a compromised host*?

5.2.4 CLIPS: Factores de Certeza

; O template OAV (Object-Attribute-Value) servirá para declarar os factos respeitantes às evidê

(deftemplate OAV

(slot object (type SYMBOL))
(slot attribute (type SYMBOL))
(slot value)
(slot CF (type FLOAT) (range -1.0 +1.0)))

Type declara o tipo
Range declara o domínio

05_CFsNoCLIPS_V1.CLP

; Declaração das evidências

(defacts evidencias

(OAV (object organism) (attribute stain) (value gramneg) (CF 0.3))
(OAV (object organism) (attribute morphology) (value rod) (CF 0.7))
(OAV (object patient) (attribute is_a) (value compromised_host) (CF 0.8)))

; Regra do MYCIN com FC=0.6: ; A premissa é um AND e portanto calcula-se o MIN nos CFs dos factos. ; A regra só dispara se CF resultante dos MIN(...) for > 0.2, tal como no MYCIN. ; Se disparar, o CF da conclusão será o produto do MIN(...) pelo CF da regra, que para esta regra é 0.6

(defrule IDENTIFY_PSEUDOMONAS

(OAV (object organism) (attribute stain) (value gramneg) (CF ?C1))
(OAV (object organism) (attribute morphology) (value rod) (CF ?C2))
(OAV (object patient) (attribute is_a) (value compromised_host) (CF ?C3))
(test (> (min ?C1 ?C2 ?C3) 0.2))

=>

(bind ?C4 (* (min ?C1 ?C2 ?C3) 0.6))
(assert (OAV (object organism) (attribute identity) (value pseudomonas) (CF ?C4))))

produto
entre
min(...) e
0.6

A função test(...) só deixa disparar a regra se o teste for não falso

5.2.4 CLIPS: Factores de Certeza

Exemplo

Vamos agora usar 2 regras com a mesma conclusão (pseudomonas) e combinar os CFs das suas conclusões, ambas positivas, através da fórmula do MYCIN $cf1 + cf2 - cf1 * cf2$

IF the stain of the organism is gram negative
AND the morfology of the organism is rod
AND patient is a compromised host
THEN there is a sugestive evidence (0.6) that the organism is pseudomonas

IF the color of test_X is red
THEN there is a sugestive evidence (0.7) that the organism is pseudomonas

(deftemplate)

(deffacts evidencias

...

(OAV (object test_X) (attribute color) (value red) (CF 0.8)))

; Regra 1 do MYCIN com FC=0.6 (igual à anterior)

(defrule IDENTIFY_PSEUDOMONAS

...

(assert (OAV (object organism) (attribute identity) (value pseudomonas) (CF ?C4))))

5.2.4 CLIPS: Factores de Certeza

; Regra 2 para o resultado do test_X com CF=0.7

05 CFsNoCLIPS V2.CLP

(defrule IDENTIFY_PSEUDOMONAS2

(OAV (object test_X) (attribute color) (value red) (CF ?C1))

(test (> ?C1 0.2))

=>

(bind ?C2 (* ?C1 0.7))

(assert (OAV (object organism) (attribute identity) (value pseudomonas) (CF ?C2))))

; Combinar conclusões iguais de regras diferentes ambas >0

(defrule COMBINE_CONCLUSIONS

?fact1 <- (OAV (object ?O) (attribute ?A) (value ?V) (CF ?C4))

?fact2 <- (OAV (object ?O) (attribute ?A) (value ?V) (CF ?C2))

(test(neq ?fact1 ?fact2))

=>

(retract ?fact1)

(bind ?C3 (-(+ ?C4 ?C2) (* ?C4 ?C2)))

(modify ?fact2 (CF ?C3)))

Combinar as
conclusões das
2 regras

Fórmula de combinação
 $cf3 = cf1 + cf2 - cf1 * cf2$

Os factos de endereço ?fact1 e ?fact2 são os resultado do disparo das regras Identify_Pseudomonas1 e 2. A função **neq(...)** (*not equal*) pode ser aplicada a endereços de factos para assegurar que são diferentes e não o mesmo facto.

5.2.5 EXSYS: Factores de Certeza

5.2.5 Factores de Certeza no EXSYS

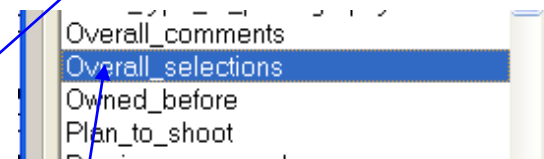
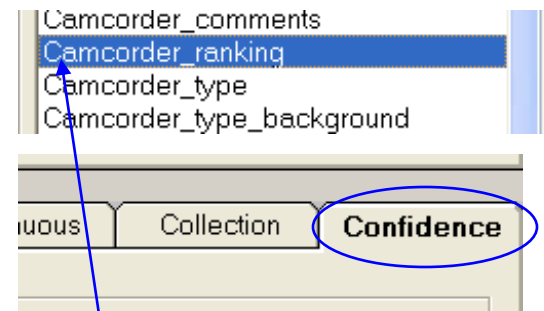
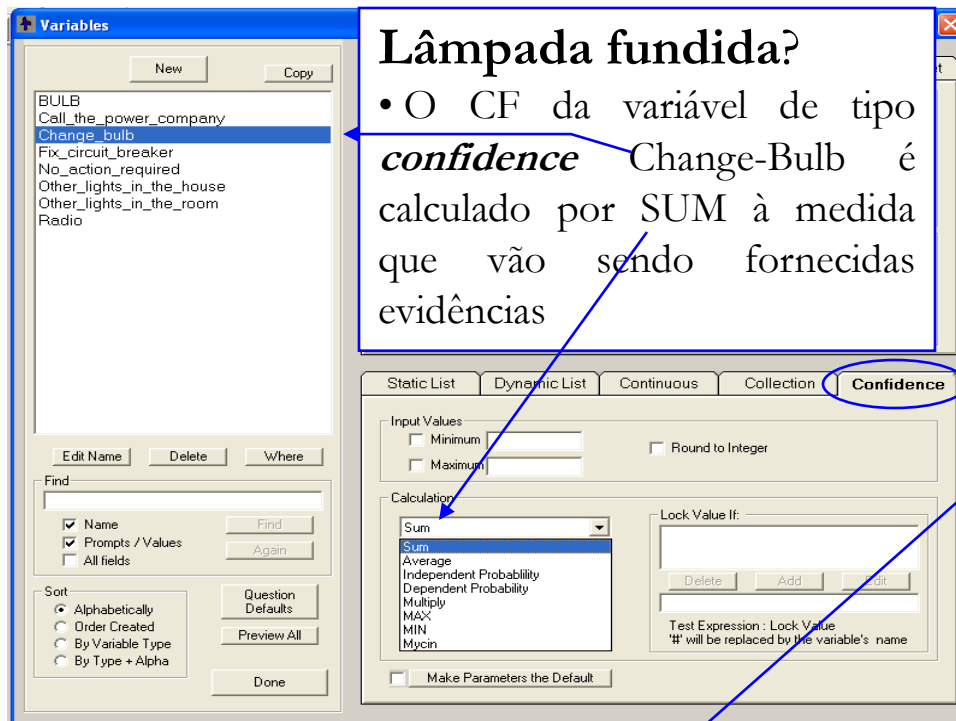
O EXSYS implementa CFs apenas nas regras:

- Variáveis do tipo CONFIDENCE permitem obter conclusões com um certo grau de certeza (chamemos-lhe CF)
- Esse grau de certeza pode variar entre um mínimo e um máximo
- Existem 8 métodos para gerar o CF de uma variável CONFIDENCE
 - Soma (adição algébrica de um valor ao CF actual)
 - Média (média do CF actual com um novo CF da mesma variável)
 - Probabilidade Independente $(1 + (1-x)*(1-y))$
 - Probabilidade Dependente $(x*y)$
 - Multiplicação (multiplicar o CF actual da variável por um dado factor)
 - Máximo (dar à variável o CF máximo até agora obtido)
 - Mínimo (dar à variável o CF mínimo até agora obtido)
 - MYCIN (CFs entre -1 e +1, combinação por $x+y-xy$ para $x>0$ e $y>0$...
- Variáveis do tipo COLLECTION permitem adicionar itens ordenados por pontuação (estas variáveis estão na base da apresentação de resultados se SPs de selecção de produtos)

5.2.5 EXSYS: Factores de Certeza

Lâmpada fundida?

- O CF da variável de tipo **confidence** Change-Bulb é calculado por SUM à medida que vão sendo fornecidas evidências



Seleccionar uma câmara de vídeo:

- A variável tipo **confidence** Camcorder-Ranking é adicionada e subtraída de valores inteiros (para cada modelo de câmara) à medida que o utilizador vai indicando as suas preferências
- No final as câmaras de maior pontuação são colocadas ordenadamente na variável tipo **collection** Overall_Selections, do tipo colecção, para apresentação dos resultados