

Tecnologia para Sistemas Inteligentes
Apontamentos para as aulas sobre

Incerteza: Regras com Factor de Confiança

Luís Miguel Botelho

Departamento de Ciências e Tecnologias da Informação
Instituto Superior de Ciências do Trabalho e da Empresa

Abril de 2012

Tecnologias para Sistemas Inteligentes

Apontamentos para as aulas

Índice

1	NOÇÕES DE LÓGICA PROBABILÍSTICA	3
2	REGRAS COM FACTORES DE CONFIANÇA (CF, “CONFIDENCE FACTOR”)	4
3	IMPLEMENTAÇÃO DE UM SISTEMA COM FACTORES DE CONFIANÇA	6

Incerteza: Regras com Factor de Confiança

Na maioria dos casos, o conhecimento e/ou os dados disponíveis nos sistemas baseados em conhecimento (SBCs) não é absolutamente fiável. Por vezes, as fontes de conhecimento são ambíguas ou contraditórias, outras vezes, o conhecimento é de natureza empírica e resulta de um número limitado de observações, outras vezes ainda, a informação disponível provém de sensores com ruído. Por todas essas razões, poderá ser necessário atribuir um grau de credibilidade ao conhecimento introduzido numa base de conhecimentos (BC).

Existem diversas abordagens para lidar com incerteza, as quais se podem classificar em dois grandes grupos. As abordagens que endereçam a incerteza originada na pouca credibilidade das fontes de conhecimento, e as abordagens que se ocupam da representação de conceitos vagos, muitas vezes designados por conceitos linguísticos (e.g., muito, pouco, alto, velho).

De entre as abordagens destinadas à incerteza originada pela falta de credibilidade, destacam-se a lógica probabilística, os factores de confiança, as redes de crenças, e as lógicas não monótonas, entre outras. A representação e raciocínio com conceitos vagos ou imprecisos é o assunto principal da lógica vaga ou difusa ("fuzzy logic"). Nestes breves apontamentos, trata-se exclusivamente da incerteza devida à pouca credibilidade das fontes de conhecimento e de informação. Serão introduzidos alguns conceitos básicos da lógica probabilística, serão apresentados alguns argumentos contra e a favor da utilização da lógica probabilística para representar e raciocinar com incerteza, e será descrita uma das abordagens possíveis aos factores de confiança.

1 Noções de lógica probabilística

Diversos autores propõem a utilização de lógica probabilística para representar e raciocinar com conhecimento incerto. A lógica probabilística tem a grande vantagem do rigor matemático do seu lado, embora tenham sido apresentados argumentos contra a sua utilização para representar a confiança subjectiva das pessoas no seu próprio conhecimento, ou no conhecimento dos outros.

A lógica probabilística pode ser caracterizada por um conjunto de axiomas que regem as probabilidades. Representando $P(A)$ a probabilidade do evento A (ou a probabilidade com que A é verdade), os axiomas (i) a (iv) representam propriedades básicas das probabilidades.

- (i) $0 \leq P(A) \leq 1$
- (ii) $P(\text{True}) = 1$
- (iii) $P(\text{false}) = 0$
- (iv) $P(A \vee B) = P(A) + P(B) - P(A \wedge B)$, em que $P(A \wedge B)$ é subtraído para que a probabilidade de $A \wedge B$ não seja contabilizada duas vezes.

Usando (ii) a (iv) e a equivalência lógica, podem derivar-se outras propriedades da probabilidade:

$$P(A \vee \neg A) = P(A) + P(\neg A) - P(A \wedge \neg A), \text{ de (iv)}$$

$$P(\text{True}) = P(A) + P(\neg A) - P(\text{false}), \text{ da equivalência lógica}$$

$$1 = P(A) + P(\neg A), \text{ de (ii) e (iii), isto é}$$

$$(v) P(\neg A) = 1 - P(A)$$

Usando (iv) e (v) e a equivalência lógica pode ainda derivar-se a propriedade da implicação:

$$P(A \Rightarrow B) = P(\neg A \vee B), \text{ da equivalência lógica}$$

$$P(A \Rightarrow B) = P(\neg A) + P(B) - P(\neg A \wedge B), \text{ de (iv), isto é}$$

$$(vi) P(A \Rightarrow B) = 1 - P(A) + P(B) - P(\neg A \wedge B), \text{ de (v)}$$

Se a probabilidade for usada para representar incerteza, então, as propriedades (i) a (vi) impõem restrições muito fortes à confiança que uma pessoa pode ter no seu conhecimento (ou no conhecimento de outras pessoas). Por exemplo, se alguém acredita que o fotão é uma partícula, apenas com um grau de confiança de 0.4 porque tem consciência dos seus fracos conhecimentos de física ($P(\text{partícula})=0.4$), acredita que o fotão é uma onda, com um grau de confiança 0.2 ($P(\text{onda})=0.2$), mas está absolutamente convencida de que não existe nenhuma entidade que seja uma partícula e uma onda simultaneamente ($P(\text{partícula} \wedge \text{onda})=0$), então não pode acreditar que o fotão é uma onda ou é uma partícula com confiança absoluta ($P(\text{partícula} \vee \text{onda})=1$), porque a propriedade (iv) obriga que a confiança associada a essa crença seja 0.6. Para muitos autores, este tipo de imposições não faz sentido.

Além de impor fortes restrições à confiança da pessoa no seu conhecimento ou no conhecimento de outros, a abordagem baseada nas probabilidades é criticada também em termos conceptuais. Enquanto que a estimativa da probabilidade pressupõe um número elevado de experimentações, ou a utilização de modelos e processos rigorosos, a confiança pode não se basear nem numa coisa nem noutra. Uma pessoa deve ser livre de ter um certo grau de confiança numa dada proposição, mesmo sem ter recorrido a uma repetição significativa de experiências, nem a uma demonstração teórica rigorosa que suportem esse grau de confiança.

Apesar do rigor formal da lógica probabilística, o excesso de restrições impostas aos graus de confiança de uma pessoa, e as objecções a nível conceptual, têm sido argumentos suficientes para defender outro tipo de abordagens, nomeadamente a abordagem baseada nos factores de confiança usada no Mycin (um sistema pericial desenvolvido na Universidade de Stanford para diagnosticar e prescrever medicação no domínio das doenças infecciosas do sangue).

2 Regras com factores de confiança (CF, “confidence factor”)

Esta secção explica o raciocínio efectuado pela manipulação de regras e de factos com factores de confiança. Este raciocínio consiste num mecanismo usado para determinar o factor de confiança de uma conclusão dados os factores de confiança das premissas. Os mecanismos habitualmente usados têm um carácter *ad hoc*, na medida em que a forma de calcular os factores de confiança, quando se faz inferência reflecte uma intuição possível, mas não resulta de um processo formal rigoroso.

Há que distinguir dois tipos de factores de confiança: factor de confiança local e factor de confiança global. O factor de confiança local está associado a regras e/ou factos concretos. No entanto, quando se usam factores de confiança, uma conclusão poderá ser produzida por vias diferentes, cada uma das quais conduzindo ao seu factor de confiança. O factor de confiança global é o factor de confiança de uma dada conclusão, contabilizando os factores de confiança associados a todas as possíveis vias para a derivação de uma conclusão. Em certas abordagens, o factor de confiança global é o maior dos factores de confiança derivados por todas as vias usadas no sistema para chegar à conclusão.

Por exemplo, supondo que o factor de confiança local do facto “*Lisboa é capital de Portugal*” é 0.6; que o factor de confiança local do facto “*Lisboa fica situada em Portugal*” é 0.9; e que o factor da regra “*Se Lisboa fica situada em Portugal Então Lisboa é capital de Portugal*” é 1, o factor de confiança global na conclusão “*Lisboa é capital de Portugal*” determina-se da seguinte forma:

Computa-se o factor de confiança da conclusão, usando o facto expressamente representado. Por esta via, temos a confiança 0.6.

Computa-se o factor de confiança da conclusão pela combinação do facto “*Lisboa fica situada em Portugal*” com confiança 0.9 e da regra “*Se Lisboa fica situada em Portugal Então Lisboa é capital de Portugal*” com confiança 1. Por esta via temos a confiança $0.9=1 \times 0.9$.

Usando um critério estabelecido, determina-se a confiança global com base nas confianças que resultam das diversas formas pelas quais a conclusão pode ser inferida. Por exemplo assumindo a maior das confianças como a confiança global. No caso do exemplo descrito, teríamos que a confiança global no facto “*Lisboa é capital de Portugal*” é 0.9.

Apresentam-se de seguida diversos critérios para combinar confianças locais de premissas em confianças locais de conclusões.

Se tivermos A com confiança CF_A e B com confiança CF_B , então podemos concluir $A \wedge B$ com confiança $CF = \text{Min}(CF_A, CF_B)$, e podemos concluir $A \vee B$ com confiança $CF = \text{Max}(CF_A, CF_B)$.

Se tivermos P com confiança CF, podemos concluir $\neg P$ com confiança $1 - CF$.

Se tivermos A com confiança CF_A e $A \Rightarrow B$ com confiança $CF_{A \Rightarrow B}$, então podemos concluir B com confiança $CF = CF_A \times CF_{A \Rightarrow B}$.

Estes critérios para a combinação de factores de confiança locais têm duas características: não são aplicáveis em todas as situações, em domínios e objectivos diferentes devem usar-se regras diferentes; dão origem a conclusões inconsistentes com os dados de onde se partiu.

Para dar uma ideia das incorrecções introduzidas por estas regras de combinação de factores de confiança vejamos um exemplo. Mas primeiro, vejamos que $A \Rightarrow B$ é exactamente a mesma coisa que $\neg B \Rightarrow \neg A$ e, portanto o factor de confiança da implicação $A \Rightarrow B$ deve ter o mesmo valor do factor de confiança da implicação $\neg B \Rightarrow \neg A$.

Exemplo

1. $\langle A, 0.7 \rangle$

2. $\langle A \Rightarrow B, 0.6 \rangle$

De 1 e de 2, usando a regra correspondente ao Modus Ponens podemos concluir

3. $\langle B, 0.42 \rangle$

De 3 e usando a relação entre o factor de confiança de uma proposição e o da sua negação, podemos concluir

4. $\langle \neg B, 0.58=1-0.42 \rangle$

De 2, 4 e da regra correspondente ao Modus Tollens podemos obter

5. $\langle \neg A, 0.348=0.6 \times 0.58 \rangle$

Finalmente da regra da negação obtemos

6. $\langle A, 0.652=1-0.348 \rangle$

o que não é o mesmo de onde partimos. Originalmente, a confiança de A era 0.7 e não 0.652.

Exercício

Considera a base de conhecimentos representada na Figura 1 para seleccionar um livro para oferecer à Maria dos Anjos. Determina o factor global de confiança das conclusões “O livro seleccionado é o *Talentoso Mr. Rippley*” e “O livro seleccionado é *Small g*”. Que livro ofereceria à Maria dos Anjos? Porquê?

Diz se o método de combinação de factores de confiança descrito é adequado para este tipo de problema, porquê? Em caso de não ser adequado, que alterações sugeres. Que tipo de encadeamento foi usado?

Regras e Factos	CF
A Maria dos Anjos gosta de suspense	0.7
A Maria dos Anjos gosta de Patricia Highsmith	0.9
O autor do livro “O Talentoso Mr. Rippley” é Patricia Highsmith	1
O tipo do livro “O Talentoso Mr. Rippley” é suspense	0.7
O autor do livro “Small g” é Patricia Highsmith	1
“O Talentoso Mr. Rippley” tem um preço razoável	1
“Small g” tem um preço razoável	1
Se a Maria dos Anjos gosta do livro L, e L tem um preço razoável Então o livro seleccionado é L	1
Se o autor do livro L é X, e A gosta do autor X Então A gosta do livro L	0.8
Se o tipo do livro L é Tipo, e A gosta do tipo Tipo Então A gosta do livro L	0.4

Figura 1 - Base de conhecimentos com incerteza

3 Implementação de um sistema com factores de confiança

Propriedades dos factores de confiança

- (i) $0 \leq cf(A) \leq 1$
- (ii) $cf_local(True) = cf(True) = 1$
- (iii) $cf_local(A \wedge B) = \text{mínimo}(\{cf_local(A), cf_local(B)\})$
- (iv) $cf(A) = \text{máximo}(\{cf_local(B) \times F : \langle A \leftarrow B, F \rangle \in BC\})$

em que BC é a base de conhecimentos, e F é o factor de confiança local da proposição $A \leftarrow B$.

Na Figura 2, apresenta-se a definição do predicado *solve/2* para efectuar raciocínio com incerteza com encadeamento para trás. *solve/2* capta as regras de cálculo expressas nas propriedades (ii) e (iv) dos factores de confiança.

```
% aux_solve(P, Cf): Cf é o factor de confiança local de P
% clause_cf(A, B, C) representa a crença <A←B, C>
aux_solve(True, 1).
aux_solve((A, B), Cf) :-
    aux_solve(A, Cfa),
    aux_solve(B, Cfb),
    minimum(Cfa, Cfb, Cf).
aux_solve(P, Cf) :-
    clause_cf(P, Body, Cf1),
    aux_solve(Body, Cf2),
    Cf is Cf1*Cf2.

% solve/2 determina o factor de confiança de uma proposição
% contabilizando toda a base de conhecimentos.
solve(P, Cf) :-
    bagof(C, aux_solve(P, C), AuxCfs),
    max(Cf, AuxCfs).
```

Figura 2 - Raciocínio com factores de confiança encadeado para trás

Na Figura 2, o predicado *aux_solve/2* determina o factor de confiança local de uma dada proposição, isto é, o factor de confiança que se obtém para essa proposição sem contar com o conteúdo do resto da base de conhecimentos. *solve/2* usa *aux_solve/2* para determinar os factores de confiança locais de uma dada proposição de todas as formas possíveis, e depois escolhe o maior deles.

solve/2 assume a existência do predicado *clause_cf/3* que é o equivalente ao predicado *clause/2* predefinido no Prolog, mas com um terceiro argumento que representa o factor de confiança local da cláusula.

A Figura 3 mostra um exemplo de uma base de conhecimentos com factores de confiança associados a regras e a factos.

```

% Regras com factores de confiança
% clause_cf(A, B, C) representa a crença <A←B, C>
clause_cf(bom_filme(F), (filme(F), boas_refs(F)), 0.8).
clause_cf(boas_refs(F), opiniao('Joao Lopes', F, bom), 0.3).
clause_cf(boas_refs(F), opiniao('Antonio Cabrita', F, bom), 0.7).

% Factos com factores de confiança
belief(opiniao('Joao Lopes', eraser, bom), 1).
belief(opiniao('Antonio Cabrita', eraser, bom), 1).
belief(filme(eraser), 1).
belief(filme(crash), 1).
belief(boas_refs(crash), 0.6).

```

Figura 3 - BC com factores de confiança

Na Figura 3, a base de conhecimentos está representada através do predicado *clause_cf/3* para regras com factores de confiança, e através do predicado *belief/2* para factos com factores de confiança. Para que o predicado *solve/2* (Figura 2) possa usar o predicado *belief/2*, é necessário que o motor de inferência inclua a cláusula

```
clause_cf(P, True, Cf) :- belief(P, Cf).
```

Eventualmente, poderiam ter sido escolhidas formas mais elegantes de representar regras e factos com e sem factores de confiança, através de uma definição mais cuidada de *clause_cf/3*.

A Figura 4 representa uma interacção com o SBC cuja BC está representada na Figura 3 e cujo motor de inferência se apresenta na Figura 2. Nessa interacção, o SBC responde à pergunta *bom_filme(F)* e determina o factor de confiança associado a cada resposta.

```

?- solve(bom_filme(F), Cf).
F=eraser
Cf=0.56 →;

F=crash
Cf=0.48 →;
no

```

Figura 4 - Interacção com um sistema com factores de confiança

A segunda resposta da interacção apresentada na Figura 4, obtém-se da crença *boas_refs(crash)* com factor de confiança 0.6 e da crença *filme(crash)* com factor de confiança 1. Usando a regra do factor de confiança local da conjunção, obtém-se uma crença na conjunção com factor de confiança $0.6 = \text{mínimo}(1, 0.6)$. Usando a regra (iv), o factor de confiança da proposição *bom_filme(crash)* vem $0.48 = \text{máximo}\{0.6 \times 0.8\}$. A explicação do raciocínio que conduz à primeira resposta ($\text{cf}(\text{bom_filme}(\text{eraser})) = 0.56$), fica como exercício.