Tạp chí Tin học và Điều khiển học, T.17, S.3 (2001), 15-24

VỀ MÔ HÌNH HEURISTIC TRÊN CƠ SỞ PHƯƠNG PHÁP TIẾP CẬN NHÂN TỐ CHẮC CHẮN ĐỐI VỚI HỆ CHUYÊN GIA

LÊ HẢI KHÔI

Abstract. This paper deals with a heuristic model of inferences over uncertain information for the expert system, based on the certainty factor approach. We give the algorithms for finding closure of the facts set, removing redundant rules in the rules set and solving a conflict of the expert system imbbeded with uncertain information.

Tóm tắt. Bài báo đề cập mô hình heuristic suy diễn trên các thông tin không chắc chắn đối với hệ chuyên gia, được xây dựng trên cơ sở phương pháp tiếp cận nhân tố chắc chắn. Tiếp theo là các thuật toán tìm bao đóng của tập sự kiện, loại bỏ luật thừa và xử lý mâu thuẫn đối với hệ luật của hệ chuyên gia nhúng thông tin không chắc chắn.

1. MỞ ĐẦU

Thực tế của hệ chuyên gia là phải biểu diễn những tri thức tản mạn, manh mún và không chắc chắn, tức là người ta phải suy diễn trên những thông tin có độ chắc chắn thay đổi. Vì vậy, hầu hết các hệ chuyên gia đều phải xử lý việc suy diễn với các sự kiện không chắc chắn. Có thể chia các suy diễn với những sự kiện không chắc chắn này thành 3 loại: (i) gắn các sự kiện và các luật với tần số xuất hiện hay xác suất của chúng (độ tin cậy); (ii) suy diễn trên các sự kiện và các luật, sử dụng các hệ đo mờ; và (iii) xử lý các suy diễn với các sự kiện và các luật theo các kỹ thuật heuristic. Trong các loại suy diễn này thì loại thứ nhất - dựa trên lý thuyết xác suất và loại thứ hai - sử dụng độ đo mờ, đều tương đối phức tạp và khó cài đặt, còn loại thứ thứ ba - kỹ thuật heuristic - được nhiều người quan tâm. Các kỹ thuật heuristic cũng có nhiều mô hình khác nhau. Trong bài này, chúng tôi đề cập mô hình dựa trên cơ sở nhân tố chắc chắn.

Cách tiếp nhận của mô hình nhân tố chắc chắn (Certainty Factor, CF) nhằm tránh những vấn đề phức tạp của lý thuyết xác suất liên quan đến việc không phân biệt được sự khác nhau giữa *thiếu tin cậy* và *nghi ngờ* hoặc là khả năng biểu diễn việc *bỏ qua* khi thiếu tri thức. Hơn thế nữa, cách tiếp cận này đòi hỏi dung lượng dữ liệu ít hơn so với lý thuyết xác suất.

Mô hình nhân tố chắc chắn được thể hiện rõ trong hệ chuyên gia MYCIN nổi tiếng (xuất hiện trong những năm 70). Như mọi người đều biết, MYCIN là hệ chuyên gia được xây dựng nhằm trợ giúp cho việc điều trị bệnh nhiễm khuẩn. Trong MYCIN đầu vào là dữ liệu về bệnh nhân, còn đầu ra là những gợi ý chẩn đoán và điều trị. Tuy nhiên, cần lưu ý rằng tính "heuristic" của các thuật toán trong MYCIN được sử dụng để làm việc với tri thức không chắc chắn và về mặt cú pháp thì tương tự như xác suất, chứ không phải là sử dụng lý thuyết xác suất.

Độc giả có thể tìm trong [1, 4, 5] những kiến thức cơ sở về mô hình nhân tố chắc chắn cũng như hệ chuyên gia MYCIN.

Trong hai bài báo trước [2, 3] chúng tôi đã trình bày một số vấn đề liên quan đến biểu diễn tri thức bằng hệ luật với những thông tin chắc chắn (thuật toán tìm bao đóng của tập sự kiện, loại bỏ dư thừa của tập luật, làm mịn luật, v.v.). Trong bài này, chúng tôi phát triển những nghiên cứu đó sang suy diễn trên những thông tin không chắc chắn, dựa trên mô hình nhân tố chắc chắn. Cụ thể hơn, chúng tôi cung cấp một công cụ để có thể loại bỏ luật thừa trong hệ luật có nhúng nhân tố chắc chắn. Một điều cần chú ý là khi loại bỏ luật thừa cần cân nhắc đến ngữ cảnh của toàn bộ hệ luật trong quá trình thu thập và suy diễn.

Cấu trúc của bài báo như sau. Mục 2 giới thiệu một số khái niệm cơ bản liên quan đến mô hình nhân tố chắc chắn. Mục 3 trình bày thuật toán tìm bao đóng của tập sự kiện. Thuật toán loại bỏ luật thừa được nêu trong Mục 4. Cuối cùng, Mục 5 liên quan đến việc xử lý mâu thuẫn đối với hệ luật.

2. MỘT SỐ KHÁI NIỆM CƠ BẢN

2.1. Độ đo tin cậy, độ đo bất tin cậy và nhân tố chắc chắn

Nhân tố chắc chắn có thể coi như độ đo đối với sự đúng đắn của mệnh đề hoặc giả thuyết dựa trên hai độ đo khác là độ tin cậy và độ bất tin cậy. Hai độ đo này được hiểu theo nghĩa trực giác và khi nói đến cần sử dụng giá trị số. Giả sử với sự kiện E chúng ta có được giả thuyết H. Khi đó các độ đo được định nghĩa như sau.

Định nghĩa 2.1. - *Độ đo tin cậy* (*Measure of Belief, MB*) là giá trị số phản ánh độ tin cậy vào giả thuyết H trên cơ sở sự kiện E, $0 \leq MB \leq 1$.

- *Độ đo bất tin cậy* (*Measure of Disbelief, MD*) là giá trị số phản ánh độ bất tin cậy vào giả thuyết H trên cơ sở sự kiện E, $0 \leq MD \leq 1$.

Định nghĩa 2.2. *Nhân tố chắc chắn* (*Certainty Factor, CF*) là giá trị số phản ánh mức độ tĩnh (net level) của độ tin cậy vào giả thuyết H trên cơ sở những thông tin cho trước, được tính theo công thức:

$$CF = MB - MD.$$

Như vậy, nhân tố chắc chắn CF có thể coi là độ sai khác giữa MB và MD, thể hiện độ tin cậy thực vào giả thuyết H trên cơ sở sự kiện E. Từ định nghĩa suy ra rằng $-1 \leq CF \leq 1$. Giá trị 1 biểu thị sự "chắc chắn đúng", giá trị -1 - sự "chắc chắn sai", giá trị âm - "mức độ bất tin cậy", giá trị dương - "mức độ tin cậy", còn giá trị 0 - "thông tin không xác định".

Lưu ý rằng các đại lượng "độ đo tin cậy" và "độ đo bất tin cậy" chỉ là các độ đo tương đối, chứ hoàn toàn không phải là tuyệt đối như độ đo trong xác suất. Vì thế, nhân tố chắc chắn cũng mô tả sự thay đổi của độ tin cậy. Vậy thì, đối với các định nghĩa nêu trên, việc $CF > 0$ chứng tỏ rằng dù có tính cả việc tin cậy hay bất tin cậy thì chúng ta vẫn có cơ sở để khẳng định rằng, với sự xuất hiện của sự kiện E, thiên về tin cậy vào giả thuyết hơn là bất tin cậy vào nó.

Nếu kí hiệu $CF(H|E)$ (tương ứng, $P(H|E)$) là nhân tố chắc chắn (tương ứng, xác suất) của giả thuyết H khi có sự kiện E, thì điểm khác biệt rất cơ bản của nhân tố chắc chắn CF với độ đo xác suất P chính là hệ thức:

$$CF(H|E) + CF(\overline{H}|E) \leq 1.$$

(Đối với độ đo xác suất P thì $P(H|E) + P(\overline{H}|E) = 1$). Nhờ có hệ thức này độ đo CF linh hoạt hơn rất nhiều so với độ đo xác suất P.

Ngoài việc biểu thị độ tin cậy thực, CF còn được liên kết với các luật chuyên gia. Nhân tố chắc chắn này đóng vai trò quan trọng đối với việc hình thành những nguyên tắc *kết hợp* trong các kỹ thuật lập luận dựa trên hệ luật của hệ chuyên gia.

2.2. Mô hình toán học

Cấu trúc của luật sử dụng mô hình nhân tố chắc chắn có dạng sau (theo dạng chuẩn Horn):

$$r: \text{ nếu } P_1 \wedge P_2 \wedge \ldots \wedge P_n \text{ thì } H, \text{ với } CF(r). \quad (1)$$

Trong cấu trúc trên, $CF(r)$ biểu thị CF (luật), có nghĩa là mức độ tin vào kết luận H khi có các điều kiện $P_1, \ldots, P_n$. Như vậy, nếu các P_i $(i = 1, \ldots, n)$ là đúng, thì chúng ta có thể tin vào H theo mức độ $CF(H|P_1 \wedge \ldots \wedge P_n) = CF(r)$.

Vấn đề đầu tiên đặt ra ở đây là: nếu như biết các $CF(P_i)$, $i = 1, \ldots, n$, thì làm thế nào tính được $CF(H)$? Sự tính toán này đôi khi người ta còn gọi là sự lan truyền nhân tố chắc chắn. Có hai loại luật là luật đơn và luật phức. Cụ thể như sau:

1) Đối với luật đơn, tức là luật ở vế trái chỉ có một sự kiện

$$r: \text{ nếu } P \text{ thì } H, \text{ với } CF(r).$$

Khi đó, công thức rất đơn giản, chỉ cần nhân giá trị CF của giả thiết với giá trị CF của luật:

$$CF(H) = CF(P) * CF(r).$$

2) Đối với luật phức, tức là luật có dạng (1), công thức được tính như sau:

$$CF(H) = \min\{CF(P_i);\ i = 1, \dots, n\} * CF(r).$$

2.3. Công thức kết hợp

Vấn đề tiếp theo là làm thế nào kết hợp được các luật khác nhau mà có cùng một kết luận? Cụ thể, giả sử có hai luật

$$r_1: \text{ nếu } P_1 \wedge P_2 \wedge \dots \wedge P_n \text{ thì } H, \text{ với } CF(r_1),$$
$$r_2: \text{ nếu } Q_1 \wedge Q_2 \wedge \dots \wedge Q_m \text{ thì } H, \text{ với } CF(r_2).$$

Việc sử dụng luật nào, bỏ luật nào là không thể đặt ra, vì luật này hay luật kia, dù CF có thể khác nhau, cũng đều có những giá trị nhất định (tính chất tiệm cận). Thêm nữa là việc áp dụng luật nào trước, luật nào sau không được ảnh hưởng đến quá trình suy diễn (tính chất giao hoán). Vì thế, để đảm bảo được hai yêu cầu này, người ta đã xây dựng nhiều công thức, giống nhau về nguyên tắc, nhưng khác nhau về chi tiết. Mỗi công thức có một ý nghĩa và đặc trưng riêng của nó. Trong bài này chúng ta xem xét công thức sau:

$$CF_{1,2}(H) = \begin{cases} CF_1(H) + CF_2(H) - CF_1(H) * CF_2(H), & \text{nếu cả hai } CF \text{ cùng dương}, \\ CF_1(H) + CF_2(H) + CF_1(H) * CF_2(H), & \text{nếu cả hai } CF \text{ cùng âm}, \\ \dfrac{CF_1(H) + CF_2(H)}{1 - \min\{|CF_1(H)|, |CF_2(H)|\}}, & \text{nếu } CF_1(H).CF_2(H) \in (-1, 0], \\ \text{không xác định} & \text{nếu } CF_1(H).CF_2(H) = -1, \end{cases}$$

trong đó $CF_k(H)$ là sự tin cậy vào kết luận H trên cơ sở luật thứ k, tức là $CF_1(H) = \min\{CF(P_i);\ i = 1, \dots, n\} * CF(r_1)$ và $CF_2(H) = \min\{CF(Q_j),\ j = 1, \dots, m\} * CF(r_2)$.

Trong suốt phần còn lại của mục này, chúng ta sẽ sử dụng ví dụ minh họa truyền thống về dự báo thời tiết sau:

- Luật thứ nhất:

  r_1 : nếu P_1 (vô tuyến dự báo mưa), thì H (sẽ mưa) với $CF(r_1) = 0{,}8$.

- Luật thứ hai:

  r_2 : nếu P_2 (nông dân dự đoán mưa), thì H (sẽ mưa) với $CF(r_2) = 0{,}6$.

Dưới đây chúng ta đề cập ý nghĩa của cách tiếp cận nêu trên. Để tiện theo dõi, kí hiệu $CF_1(H) = a$, $CF_2(H) = b$, chú ý rằng $-1 \le a, b \le 1$. Khi đó công thức kết hợp được viết như sau:

$$CF_{1,2}(H) = \begin{cases} a + b - ab, & \text{nếu cả } a \text{ và } b \text{ cùng dương}, \\ a + b + ab, & \text{nếu cả } a \text{ và } b \text{ cùng âm}, \\ \dfrac{a+b}{1 - \min\{|a|, |b|\}}, & \text{nếu } a.b \in (-1, 0], \\ \text{không xác định} & \text{nếu } a.b = -1. \end{cases}$$

1) Trường hợp thứ nhất: a, b đều dương, tức là $a, b \in (0, 1]$. Chúng ta có kết quả sau.

Bổ đề 2.3. *Giả sử $a, b \in (0, 1]$. Khi đó*

$$(0 <) \max\{a, b\} \le a + b - ab \le 1.$$

Dấu bằng ở cả hai bất đẳng thức xảy ra (đồng thời) khi hoặc $a = 1$, hoặc $b = 1$.

Chứng minh. (i) $a + b - ab - 1 = -(1-a)(1-b)$ mà $1 - a \geq 0$, $1 - b \geq 0$, suy ra $(1-a)(1-b) \geq 0$, hay $a + b - ab \leq 1$; dấu bằng xảy ra khi $(1-a)(1-b) = 0$, tức là khi hoặc $a = 1$, hoặc $b = 1$.

(ii) Ta có $a + b - ab \geq a$ tương đương với $b(1-a) \geq 0$: điều này luôn đúng vì $b > 0$, $1 - a \geq 0$; dấu bằng xảy ra khi $1 - a = 0$. Tương tự, $a + b - ab \geq b$; dấu bằng xảy ra khi $1 - b = 0$. Vậy $a + b - ab \geq \max\{a, b\}$; dấu bằng xảy ra khi $(1-a)(1-b) = 0$, tức là khi hoặc $a = 1$, hoặc $b = 1$.

Kết quả trên chứng tỏ rằng nếu có nhiều nguồn khẳng định H, thì nhân tố chắc chắn của kết luận H, về nguyên tắc, sẽ tăng lên. Về mặt trực giác thì điều này hoàn toàn có lý, vì nếu có thêm cơ sở để khẳng định kết luận H thì càng thêm tin tưởng vào sự tin cậy đó.

Ví dụ 2.4. Khi cả vô tuyến lẫn người nông dân đều khẳng định sẽ mưa, $CF(P_1) = CF(P_2) = 1$. Khi đó

$$a = CF_1(H) = CF(P_1) * CF(r_1) = 1 * 0{,}8 = 0{,}8$$

và

$$b = CF_2(H) = CF(P_2) * CF(r_2) = 1 * 0{,}6 = 0{,}6$$

nên theo công thức chúng ta có

$$CF_{1,2}(H) = a + b - ab = 0{,}8 + 0{,}6 - 0{,}8 * 0{,}6 = 0{,}92.$$

2) Trường hợp thứ hai: a, b đều âm, tức là $a, b \in [-1, 0)$. Trong trường hợp này chúng ta có kết quả sau.

Bổ đề 2.5. *Giả sử $a, b \in [-1, 0)$. Khi đó*

$$-1 \leq a + b + ab \leq \min\{a, b\} \ (< 0).$$

Dấu bằng ở cả hai bất đẳng thức xảy ra (đồng thời) khi hoặc $a = -1$, hoặc $b = -1$.

Chứng minh. Tương tự như Bổ đề 2.3.

Cũng giống như đối với trường hợp thứ nhất, điều này chứng tỏ rằng nếu có nhiều nguồn khẳng định không xảy ra H, thì nhân tố chắc chắn của kết luận H, về nguyên tắc, sẽ giảm đi. Về mặt trực giác thì điều này cũng hoàn toàn có lý, vì nếu có thêm cơ sở để khẳng định việc không xảy ra kết luận H thì càng giảm sự tin tưởng vào kết luận đó.

Ví dụ 2.6. Khi vô tuyến và người nông dân đều dự báo sẽ không mưa, nhưng với mức độ khác nhau $CF(P_1) = -0{,}8$, $CF(P_2) = -0{,}6$. Khi đó

$$a = CF_1(H) = CF(P_1) * CF(r_1) = -0{,}8 * 0{,}8 = -0{,}64$$

và

$$b = CF_2(H) = CF(P_2) * CF(r_2) = -0{,}6 * 0{,}6 = -0{,}36$$

nên theo công thức chúng ta có

$$CF_{1,2}(H) = a + b + ab = -0{,}64 - 0{,}36 + (-0{,}64) * (-0{,}36) = -0{,}7696.$$

3) Trường hợp thứ ba: $a.b \in (-1, 0]$ tức là hoặc a và b trái dấu, nhưng không cùng đạt giá trị ở hai đầu, hoặc trong hai giá trị a và b có ít nhất một giá trị bằng 0. Nói cách khác, có hai khả năng xảy ra: hoặc a, b trái dấu và nếu $a = 1$ thì $b \neq -1$, còn nếu $a = -1$ thì $b \neq 1$; hoặc $a.b = 0$.

Chúng ta xét giá trị của biểu thức $\dfrac{a+b}{1 - \min\{|a|, |b|\}}$.

- Trong trường hợp a, b trái dấu và nếu $a = 1$ thì $b \neq -1$ hoặc $a = -1$ thì $b \neq 1$, không mất tính tổng quát, có thể coi rằng $a < 0 < b$.

Bổ đề 2.7.

(i) *Nếu $a + b < 0$, thì*

$$(-1 \leq)\, a \leq \frac{a+b}{1-\min\{|a|,|b|\}} < 0.$$

Dấu bằng ở bất đẳng thức bên trái xảy ra khi $a=-1$, còn ở bất đẳng thức bên phải không thể thay 0 bởi số nhỏ hơn.

(ii) *Nếu $a+b>0$, thì*

$$0 < \frac{a+b}{1-\min\{|a|,|b|\}} \leq b\ (\leq 1).$$

Dấu bằng ở bất đẳng thức bên phải xảy ra khi $b=1$, còn ở bất đẳng thức bên trái không thể thay 0 bởi số lớn hơn.

(iii) *Nếu $a+b=0$, thì*

$$\frac{a+b}{1-\min\{|a|,|b|\}} = 0.$$

Chứng minh. (i) Giả sử $a+b<0$, do $b>0$ nên điều này có nghĩa là $|a|>b$. Khi đó

$$\frac{a+b}{1-\min\{|a|,|b|\}} = \frac{a+b}{1-b}.$$

Một mặt, do $a+b<0$ nên $b<1$. Do đó bất đẳng thức $\frac{a+b}{1-b} \geq a$ tương đương với $b(1+a) \geq 0$: luôn đúng. Dấu bằng xảy ra khi $a=-1$.

Điều khẳng định đối với bất đẳng thức bên phải suy ra từ việc $a<-b$ và khi $a \to -b$ thì $\frac{a+b}{1-b} \to 0$.

(ii) Tương tự như (i).

(iii) Hiển nhiên.

Như vậy, đối với trường hợp (i), chúng ta thấy rằng khi khẳng định không xảy ra H "trội" hơn khẳng định xảy ra H, thì nhân tố chắc chắn của kết luận H, về nguyên tắc, sẽ thiên về khẳng định không xảy ra H, nhưng với mức độ thấp hơn (do bị khẳng định xảy ra H làm yếu đi). Đối với (ii) chúng ta có nhận xét tương tự. Còn trường hợp (iii) cho thấy khi nguồn khẳng định và nguồn phủ định đối nhau thì không thể có kết luận gì cả.

Ví dụ 2.8. Vô tuyến dự báo sẽ không mưa với mức độ $CF(P_1) = -0{,}8$, còn người nông dân lại dự đoán có mưa với mức độ $CF(P_2) = 0{,}6$. Khi đó

$$a = CF_1(H) = CF(P_1) * CF(r_1) = -0{,}8 * 0{,}8 = -0{,}64$$

và

$$b = CF_2(H) = CF(P_2) * CF(r_2) = 0{,}6 * 0{,}6 = 0{,}36.$$

Theo công thức chúng ta có

$$CF_{1,2}(H) = \frac{a+b}{1-\min\{|a|,|b|\}} = -0{,}4375.$$

- Trong trường hợp $a.b=0$, thì rõ ràng vấn đề trở nên phức tạp. Chẳng hạn, nếu $a=0$, thì b có thể nhận giá trị bất kỳ trong đoạn $[-1,1]$. Khi đó

$$\frac{a+b}{1-\min\{|a|,|b|\}} = \frac{b}{1-0} = b,$$

nghĩa là nếu như sự tin cậy vào kết luận H trên cơ sở luật thứ nhất không xác định được, thì sự tin cậy vào H bởi việc kết hợp giữa hai luật hoàn toàn do luật thứ hai xác định.

Ví dụ 2.9. Vô tuyến dự báo mưa với mức độ $CF(P_1) = 0{,}8$, còn người nông dân không khẳng định gì $CF(P_2) = 0$. Khi đó

$$a = CF_1(H) = CF(P_1) * CF(r_1) = 0{,}8 * 0{,}8 = 0{,}64$$

và
$$b = CF_2(H) = CF(P_2) * CF(r_2) = 0 * 0{,}6 = 0.$$

Thế thì $CF_{1,2}(H) = a = 0,64$, tức là khả năng mưa là lớn.

4) Trường hợp thứ tư: $a.b = -1$, điều này có nghĩa là hoặc $a = -1$, $b = 1$ hoặc $a = 1$, $b = -1$. Hiển nhiên rằng đây sẽ là điều "không xác định được", vì nguồn khẳng định tuyệt đối kết luận H bị nguồn phủ định tuyệt đối kết luận H làm cho "trung hòa". Trong trường hợp này có thể coi $CF_{1,2} = 0$.

Có thể thấy rằng nguyên tắc kết hợp nêu trên không thể có được từ các định nghĩa xây dựng theo lý thuyết xác suất đối với CF.

3. THUẬT TOÁN TÌM BAO ĐÓNG

3.1. Vấn đề kết hợp nhiều luật có cùng kết luận

Công thức kết hợp ở Mục 2.3. đối với các CF cùng dấu, về nguyên tắc, có thể tổng quát lên cho trường hợp nhiều luật bằng cách áp dụng lần lượt từng luật một. Khi đó dường như là nếu có nhiều nguồn khác nhau khẳng định cùng một kết luận với cùng mức độ tin cậy như nhau, thì giá trị CF sẽ tiến tới 1. Chẳng hạn, nếu $CF(H = \text{mưa}) = 0{,}8$, thì
$$CF_{1,2,\ldots}(H) \to 0{,}999 = CF_c(H),$$
ở đây, $CF_c(H)$ biểu thị độ tin cậy có được sau khi kết hợp các nguồn thông tin cũ đã có. Giả sử có thêm nguồn thông tin mới mà phủ nhận việc mưa $CF_m(H) = -0{,}8$. Khi đó, theo công thức, chúng ta có
$$CF_{c,m} = \frac{CF_c + CF_m}{1 - \min\{|CF_c|, |CF_m|\}} = \frac{0{,}999 - 0{,}8}{1 - \min\{0{,}999, 0{,}8\}} = 0{,}995.$$

Điều này nói lên rằng một nguồn tin phủ nhận kết luận chỉ ảnh hưởng rất không đáng kể đến kết quả do nhiều nguồn tin khác khẳng định kết luận đó tạo nên.

Tuy nhiên, việc kết hợp nhiều nguồn thông tin có cùng kết luận không phải bao giờ cũng tốt. Có những trường hợp có thể gây ra sự phiền phức. Lý do là nếu như các nguồn thông tin đều khẳng định kết luận H với cùng một mức độ tin cậy như nhau $CF_1(H) = CF_2(H) = CF_3(H) = \ldots$, thì nhân tố chắc chắn $CF_{1,2,3,\ldots}(H)$ sẽ tăng lên rất nhiều so với kết luận của chuyên gia. Chẳng hạn, tất cả các chuyên gia đều khẳng định là kết luận *có thể* đúng, thì sau khi kết hợp các nhận định này lại, hệ thống sẽ cho khẳng định là kết luận *chắc chắn* đúng - điều này về nguyên tắc là khó có thể chấp nhận.

Vì thế, việc sử dụng nhiều luật mà cho cùng một kết luận phải được thực hiện hết sức thận trọng.

3.2. Về ngưỡng đối với các CF

Như chúng ta đều biết, để khẳng định sự đúng đắn của một kết luận nào đó, về nguyên tắc, hệ thống sẽ phải tìm kiếm tất cả các luật khẳng định kết luận đó, cho dù CF có giá trị thế nào. Nếu như tập luật R tương đối lớn, thì quá trình tìm kiếm sẽ đòi hỏi rất nhiều thời gian. Vì thế, đôi khi người ta dùng một ngưỡng nhất định để hạn chế thời gian theo nghĩa: trong quá trình tiến tới mục đích đặt ra, nếu như độ tin cậy thấp hơn ngưỡng cho phép thì nên dừng việc tìm kiếm lại và chuyển sang hướng khác. Thông thường hay chọn giá trị của ngưỡng không quá thấp. Ngoài ra, người ta cũng có thể thay đổi giá trị của ngưỡng trong quá trình tìm kiếm.

3.3. Bao đóng của tập sự kiện

Trong mục này, chúng ta xét hệ luật với một số ràng buộc nhất định trên cơ sở những phân tích nêu ở trên.

- Giả thiết rằng trong tập luật đối với mỗi kết luận thì hoặc chỉ có một luật cho kết luận đó, hoặc có nhiều nhất là hai luật cho cùng kết luận đó.

- Qui định một ngưỡng $\alpha \in (0,1)$ cho trước: nếu như $|CF(\text{kết luận})| < \alpha$ thì dừng lại, chuyển sang hướng khác. Nói chung, có thể chọn $\alpha = 0{,}5$, vì với độ tin cậy trong khoảng $(-0{,}5; 0{,}5)$ thì khó có được kết luận gì. Cần lưu ý rằng luôn có

$$|CF(\text{kết luận})| = |CF(\text{luật}) * CF(\text{sự kiện})| \leq |CF(\text{sự kiện})|.$$

Từ đó suy ra rằng để $|CF(\text{kết luận})| \geq \alpha$ thì phải có $|CF(\text{sự kiện})| \geq \alpha$. Nói cách khác, ràng buộc $|CF(f)| \geq \alpha$, $f \in F$ là điều kiện cần để có thể tiếp tục suy diễn.

- Để xét bao đóng của tập sự kiện $F' \subseteq F$, việc giả thiết rằng F' là tập con của tập F^* các sự kiện chỉ có mặt ở vế trái mà không có mặt ở vế phải của các luật (còn gọi là tập các sự kiện gốc) là điều có ý nghĩa.

Như vậy, mỗi một luật trong R có dạng

$$r: \text{ nếu } P_1 \wedge P_2 \wedge \ldots \wedge P_n \text{ thì } H, \text{ với } CF(r),$$

trong đó mỗi một sự kiện P_i ở vế phải của luật r đều có $CF(P_i)$ của nó. Chúng ta kí hiệu $Left(r)$ là tập các sự kiện ở vế trái và $Right(r)$ là sự kiện ở vế phải của luật r. Khi đó, với kí hiệu vừa nêu, có thể biểu diễn luật r như sau: "$r: Left(r) \to Right(r), CF(r)$". Ngoài ra, để cho gọn, chúng ta viết $CF(Left(r)) = \min\{CF(P_i); i = 1, 2, \ldots, n\}$.

Kí pháp $(F'_{R\alpha})^+$ được sử dụng để chỉ tập tất cả các sự kiện được suy diễn từ F' trong hệ luật R với ngưỡng α, có nghĩa là đều có CF với giá trị tuyệt đối bằng hoặc vượt ngưỡng α.

Thuật toán 3.1. (tìm bao đóng $(F'_{R,\alpha})^+$)

Input: $L = \langle F, R \rangle$ với $F = \langle f_1, \ldots, f_p \rangle$, $R = \langle r_1, \ldots, r_q \rangle$, $F' \subseteq F^*$ và ngưỡng $\alpha \in (0,1)$.

Output: $(F'_{R,\alpha})^+$.

- Bước 0: Đặt $K_0 = F'$;

- Bước i:

(a) Nếu có luật $r \in R$ thỏa mãn điều kiện $Left(r) \subseteq K_{i-1}$ mà $Right(r) = H \notin K_{i-1}$, thì tìm xem có còn luật nào cho cùng kết luận H nữa hay không:

+ nếu không có luật nào nữa, thì cho $CF(H) = CF(Left(r)) * CF(r)$;

+ nếu còn luật khác $s \in R$ cũng cho kết luận H và $Left(s) \subseteq K_{i-1}$, thì cho $CF(H) = CF_{r,s}(H)$

(b) Đặt

$$K_i = \begin{cases} K_{i-1} \cup \{H\}, & \text{nếu } |CF(H)| \geq \alpha, \\ K_{i-1}, & \text{nếu ngược lại.} \end{cases}$$

- Quá trình được lặp lại cho đến khi $K_i = K_{i+1}$.

Lúc đó đặt $(F'_{R,\alpha})^+ = K_i$.

Định lý 3.2. *Thuật toán là dừng và cho kết quả là bao đóng $(F'_{R,\alpha})^+$ của tập sự kiện $F' \subseteq F$, trong đó mọi sự kiện $f \in (F'_{R,\alpha})^+$ đều có $|CF(f)| \geq \alpha$, với $\alpha \in (0,1)$ cho trước.*

Chứng minh. Sử dụng phương pháp qui nạp toán học, tương tự như trong [2].

Mệnh đề 3.3. *Thuật toán có độ phức tạp là đa thức theo lực lượng của F và R.*

Ví dụ 3.4. (minh họa thuật toán)

Xét hệ luật $L = \langle F, R \rangle$, trong đó $F = \{A, B, C, D, E, F, G, H, I, J, K\}$, $R = \langle r_1, \ldots, r_6 \rangle$, với ngưỡng $\alpha = 0{,}5$ và

$$r_1 = AB \to C,\ CF(r_1) = 0{,}95;$$
$$r_2 = CD \to E,\ CF(r_2) = 0{,}8;$$
$$r_3 = EF \to G,\ CF(r_3) = 0{,}85;$$
$$r_4 = DH \to I,\ CF(r_4) = -0{,}8;$$
$$r_5 = IJ \to K,\ CF(r_5) = 0{,}7;$$
$$r_6 = AH \to I,\ CF(r_6) = -0{,}75$$

và $F' = \{A, B, D, H\}$. Khi đó $F^* = \{A, B, D, F, H, J\}$ và $F' \subset F^*$. Giả sử đối với các sự kiện trong F' có các giá trị sau: $CF(A) = 0{,}6$; $CF(B) = 0{,}65$; $CF(D) = 0{,}7$; $CF(H) = 0{,}75$.

Theo các bước của thuật toán, chúng ta có:

- Bước 0: $K_0 = F' = \{A, B, D, H\}$.

- Bước 1: Luật r_1 cho thêm sự kiện $C \notin F'$, ngoài ra không còn luật nào cho sự kiện C nữa. Vì thế $CF(C) = CF(Left(r_1)) * CF(r_1) = \min\{CF(A); CF(B)\} * CF(r_1) = 0{,}6 * 0{,}95 = 0{,}57$. Do $CF(C) > 0{,}5$ nên ta có $K_1 = \{A, B, C, D, H\}$.

- Bước 2: Luật r_2 cho thêm sự kiện $E \notin K_1$, ngoài ra không còn luật nào cho sự kiện E nữa. Vì thế $CF(E) = CF(Left(r_2)) * CF(r_2) = \min\{CF(C); CF(D)\} * CF(r_2) = 0{,}57 * 0{,}8 = 0{,}456$. Do $CF(E) < 0{,}5$ nên ta có $K_2 = K_1 = \{A, B, C, D, H\}$.

- Bước 3: Luật r_4 cho thêm sự kiện $I \notin K_2$ và luật r_6 cũng sinh ra sự kiện I. Vì thế, trong trường hợp này ta có: $a = CF_{r_4}(I) = CF(Left(r_4)) * CF(r_4) = \min\{CF(D); CF(H)\} * CF(r_4) = 0{,}7 * (-0{,}8) = -0{,}56$ và $b = CF_{r_6}(I) = CF(Left(r_6)) * CF(r_6) = \min\{CF(A); CF(H)\} * CF(r_6) = 0{,}6 * (-0{,}75) = -0{,}45$. Suy ra

$$CF(I) = CF_{r_4, r_6}(I) = a + b + ab = -0{,}56 - 0{,}45 + (-0{,}56) * (-0{,}45) = -0{,}758.$$

Do $|CF(I)| > 0{,}5$ nên ta có $K_3 = \{A, B, C, D, H, I\}$.

- Bước 4: Do không có luật nào nữa mà cho thêm sự kiện mới không thuộc K_3, nên $K_4 = K_3$. Vậy, $(F'_{R,\alpha})^+ = K_3 = \{A, B, C, D, H, I\}$.

4. LOẠI BỎ LUẬT THỪA

4.1. Khái niệm luật thừa

Giả sử F^* là tập các sự kiện gốc của hệ luật $L = \langle F, R \rangle$ và $\alpha \in (0, 1)$ là ngưỡng cho trước. Khi đó nếu có $r \in R$ sao cho $(F^*_{R,\alpha})^+ = \left(F^*_{R \setminus \{r\}, \alpha}\right)^+$ (ở đây cần phải lưu ý rằng CF của các sự kiện giống nhau trong hai bao đóng này nói chung là khác nhau, điểm chung duy nhất là ngưỡng của chúng đều đạt hoặc vượt ngưỡng α), thì luật r được coi là *luật thừa* và về nguyên tắc, chúng ta có thể loại bỏ luật này đi (trong quá trình suy diễn).

4.2. Thuật toán loại bỏ luật thừa

Các ràng buộc trong mục này như ở Mục 3.3 khi đề cập bao đóng của tập sự kiện.

Thuật toán 4.1. (loại bỏ luật thừa)

Input: $L = \langle F, R \rangle$ với $F = \langle f_1, \ldots, f_p \rangle$, $R = \langle r_1, \ldots, r_q \rangle$ và ngưỡng $\alpha \in (0, 1)$.

Output: R' thỏa mãn $R' \subseteq R$, $\left(F^*_{R',\alpha}\right)^+ = (F^*_{R,\alpha})^+$, $\forall r \in R' : \left(F^*_{R' \setminus \{r\}, \alpha}\right)^+ \neq \left(F^*_{R',\alpha}\right)^+$.

- Bước 0: Đặt $K_0 = R$, tính $\left(F^*_{R,\alpha}\right)^+$.

- Bước i $(1 \leq i \leq q - 1)$:

$$K_i = \begin{cases} K_{i-1} \setminus \{r_i\}, & \text{nếu } \left(F^*_{K_{i-1} \setminus \{r_i\}, \alpha}\right)^+ = (F^*_{R,\alpha})^+, \\ K_{i-1}, & \text{nếu ngược lại.} \end{cases}$$

- Bước q:

Nếu K_{q-1} chỉ còn r_q thì đặt $K_q = K_{q-1}$.

Nếu K_{q-1} chứa không chỉ có r_q, thì đặt

$$K_q = \begin{cases} K_{q-1} \setminus \{r_q\}, & \text{nếu } \left(F^*_{K_{q-1} \setminus \{r_q\}, \alpha}\right)^+ = (F^*_{R,\alpha})^+, \\ K_{q-1}, & \text{nếu ngược lại.} \end{cases}$$

- Bước $q + 1$: đặt $R' = K_q$.

Định lý 4.2. *Thuật toán trên là dừng và cho kết quả là tập luật R' không có luật thừa.*

Chứng minh. Sử dụng phương pháp phản chứng, tương tự như trong [2].

Mệnh đề 4.3. *Thuật toán có độ phức tạp là đa thức theo lực lượng của F và R.*

Ví dụ 4.4. (minh họa thuật toán)

Xét hệ luật $L = \langle F, R\rangle$, trong đó $F = \langle A, B, C, D, E, F, G, H, I, J, K\}$, $R = \langle r_1, \dots, r_6\rangle$, với ngưỡng $\alpha = 0{,}5$ và

$$\begin{aligned}
r_1 &= AB \to C,\ CF(r_1) = 0{,}95;\\
r_2 &= CD \to E,\ CF(r_2) = 0{,}8;\\
r_3 &= EF \to G,\ CF(r_3) = 0{,}85;\\
r_4 &= DH \to I,\ CF(r_4) = -0{,}8;\\
r_5 &= IJ \to K,\ CF(r_5) = 0{,}7;\\
r_6 &= AH \to I,\ CF(r_6) = -0{,}75.
\end{aligned}$$

Khi đó $F^* = \{A, B, D, F, H, J\}$. Giả sử đối với các sự kiện trong F^* có các giá trị sau: $CF(A) = 0{,}6$; $CF(B) = 0{,}65$; $CF(D) = 0{,}7$; $CF(F) = 0{,}51$; $CF(H) = 0{,}75$; $CF(J) = -0{,}8$.

Theo thuật toán chúng ta có:

- Bước 0: Đặt $K_0 = R$, khi đó $(F^*_{R,\alpha})^+ = \{A, B, C, D, F, H, I, J, K\}$.

- Bước 1: Do $\left(F^*_{K_0\setminus\{r_1\},\alpha}\right)^+ = \{A, B, D, F, H, I, J, K\} \neq (F^*_{R,\alpha})^+$, nên $K_1 = K_0$.

- Bước 2: Do $\left(F^*_{K_1\setminus\{r_2\},\alpha}\right)^+ = \left(F^*_{K_0\setminus\{r_2\},\alpha}\right)^+ = \{A, B, C, D, F, H, I, J, K\} = (F^*_{R,\alpha})^+$, nên $K_2 = K_1 \setminus \{r_2\} = K_0 \setminus \{r_2\}$.

- Bước 3: Do $\left(F^*_{K_2\setminus\{r_3\},\alpha}\right)^+ = \left(F^*_{K_0\setminus\{r_2\cup r_3\},\alpha}\right)^+ = \{A, B, C, D, F, H, I, J, K\} = (F^*_{R,\alpha})^+$, nên $K_3 = K_2 \setminus \{r_3\} = K_0 \setminus \{r_2 \cup r_3\}$.

- Bước 4: Do $\left(F^*_{K_3\setminus\{r_4\},\alpha}\right)^+ = \left(F^*_{K_0\setminus\{r_2\cup r_3\cup r_4\},\alpha}\right)^+ = \{A, B, C, D, F, H, J\} \neq (F^*_{R,\alpha})^+$, nên $K_4 = K_3 = K_0 \setminus \{r_2 \cup r_3\}$.

- Bước 5: Do $\left(F^*_{K_4\setminus\{r_5\},\alpha}\right)^+ = \left(F^*_{K_0\setminus\{r_2\cup r_3\cup r_5\},\alpha}\right)^+ = \{A, B, C, D, F, H, I, J\} \neq (F^*_{R,\alpha})^+$, nên $K_5 = K_4 = K_0 \setminus \{r_2 \cup r_3\}$.

- Bước 6: Do $\left(F^*_{K_5\setminus\{r_6\},\alpha}\right)^+ = \left(F^*_{K_0\setminus\{r_2\cup r_3\cup r_6\},\alpha}\right)^+ = \{A, B, C, D, F, H, I, J, K\} = (F^*_{R,\alpha})^+$, nên $K_6 = K_5 \setminus \{r_6\} = K_0 \setminus \{r_2 \cup r_3 \cup r_6\}$.

- Bước 7: Chúng ta được $R' = K_6 = \langle r_1, r_4, r_5\rangle$ và r_2, r_3, r_6 là các luật thừa.

5. XỬ LÝ MÂU THUẪN

5.1. Khái niệm mâu thuẫn

Định nghĩa 5.1. Hệ luật $L = \langle F, R\rangle$ với $F = \langle f_1, \dots, f_p\rangle$, $R = \langle r_1, \dots, r_q\rangle$ và ngưỡng $\alpha \in (0, 1)$, được gọi là mâu thuẫn, nếu $\exists F' \subseteq F$ mà $(F'_{R,\alpha})^+$ chứa cả sự kiện H lẫn sự kiện $\overline{H}$.

Nhờ có thuật toán tìm bao đóng mà chúng ta có thể xác định ngay $L = \langle F, R\rangle$ là mâu thuẫn hay không với ngưỡng α, bằng cách tính $(F^*_{R,\alpha})^+$ và kiểm tra xem $(F^*_{R,\alpha})^+$ có chứa một cặp nào đó các sự kiện đối ngược nhau $H, \overline{H}$ hay không.

5.2. Xử lý mâu thuẫn

Khi hệ luật $L = \langle F, R\rangle$ với ngưỡng α là mâu thuẫn, thì chúng ta phải giải quyết việc mâu thuẫn. Không mất tính tổng quát của bài toán, giả sử rằng có hai luật r_1 và r_2 đưa đến việc xuất hiện cả H lẫn $\overline{H}$, nói cách khác, hai luật r_1 và r_2 dẫn đến hai sự kiện đối nghịch nhau. Để loại trừ một trong hai luật này (trong quá trình suy diễn), có thể làm theo các cách sau:

1) Trọng số: luật nào có trọng số cao hơn thì giữ lại.

2) Tần xuất: luật nào có tần số xuất hiện lớn hơn thì giữ lại.

3)Tầm quan trọng: luật nào quan trọng hơn trong quá trình suy diễn thì giữ lại.

4) Riêng chung: luật là trường hợp riêng thì giữ lại, bỏ luật là trường hợp chung đi.

5) Theo ý kiến chuyên gia: giữ lại luật theo ý kiến của chuyên gia là cần thiết hơn.

Ví dụ 5.2. (minh họa việc xử lý mâu thuẫn)

Xét hệ luật $L = \langle F, R\rangle$, trong đó $F = \langle A, B, C, \overline{C}, D, E, F, H, I, J, K\}$, $R = \langle r_1, ..., r_5\rangle$, với ngưỡng $\alpha = 0{,}5$ và

$$r_1 = AB \to C,\ CF(r_1) = 0{,}95;$$
$$r_2 = CD \to E,\ CF(r_2) = 0{,}9;$$
$$r_3 = EF \to \overline{C},\ CF(r_3) = 0{,}65;$$
$$r_4 = DH \to I,\ CF(r_4) = -0{,}8;$$
$$r_5 = IJ \to K,\ CF(r_5) = -0{,}7.$$

Khi đó $F^* = \{A, B, D, F, H, J\}$. Giả sử đối với các sự kiện trong F^* có các giá trị sau: $CF(A) = 0{,}92$; $CF(B) = 0{,}93$; $CF(D) = 0{,}88$; $CF(F) = 0{,}8$; $CF(H) = 0{,}75$; $CF(J) = -0{,}55$.

Khi đó $(F^*_{R,\alpha})^+ = \{A, B, C, \overline{C}, D, E, F, H, I, J\}$ với nhân tố chắc chắn như sau: $CF(A) = 0{,}92$; $CF(B) = 0{,}93$; $CF(C) = 0{,}87$; $CF(\overline{C}) = 0{,}5$; $CF(D) = 0{,}88$; $CF(E) = 0{,}78$; $CF(F) = 0{,}8$; $CF(H) = 0{,}75$; $CF(I) = -0{,}6$; $CF(J) = -0{,}55$. Vậy là trong bao đóng tìm được có một cặp các sự kiện đối ngược nhau C và $\overline{C}$ do hai luật r_1 và r_3 sinh ra, vì thế cần loại bỏ một luật.

Dựa vào các phương pháp xử lý mâu thuẫn nêu trên, chúng ta thấy rằng có thể loại luật r_3, vì không chỉ $CF(r_3) = 0{,}65 < CF(r_1) = 0{,}95$, mà còn $CF(\overline{C}) = 0{,}5 < CF(C) = 0{,}87$. Như vậy, $R' = \langle r_1, r_2, r_4, r_5\rangle$ sẽ là tập luật không gây ra mâu thuẫn.

Trước khi kết thúc bài báo chúng tôi muốn lưu ý một điều là ở các ví dụ nêu trên, trong số các giá trị CF tính được có thể có trường hợp là giá trị xấp xỉ với độ chính xác rất cao (0,01) và sự sai khác đó không hề ảnh hưởng đến việc đối chiếu với ngưỡng ($\alpha = 0{,}5$).

Lời cảm ơn. Tác giả xin chân thành cảm ơn PGS. TS. Vũ Đức Thi đã đóng góp những ý kiến quí báu trong quá trình hoàn thành bài báo này. Tác giả cũng xin cảm ơn KS. Trần Anh Thư đã đọc và góp ý kiến với bản thảo bài báo.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] Durkin K., *Expert System*, Prentice Hall, 1994.

[2] Lê Hải Khôi, Thuật toán tìm bao đóng của tập sự kiện và loại bỏ luật dư thừa của tập luật trong hệ luật của hệ chuyên gia, *Tạp chí Tin học và Điều khiển học* **16** (4) (2000) 79–84.

[3] Lê Hải Khôi, Thuật toán làm mịn tập luật và xây dựng hệ luật chính qui của hệ chuyên gia, *Tạp chí Tin học và Điều khiển học* **17** (2) (2001) 20–26.

[4] Shortliffe E. & Buchanan B., *Rule - Based Expert Systems: The MYCIN Experiments of the Stanford Heuristic Programming Project*, Addison - Wesley, Massachusetts, 1984.

[5] Sundermcyer K., *Knowledge Based System*, Wissenschafts Verlag, 1991.

Nhận bài ngày 23 tháng 11 năm 2000
Nhận bài sau khi sửa ngày 15 tháng 4 năm 2001

Viện Công nghệ thông tin