*Tạp chí Tin học và Điều khiển học, T. 20, S. 1 (2004), 31–41*

# VỀ MÔ HÌNH HEURISTIC DỰA TRÊN TIẾP CẬN LAN TRUYỀN CÓ CẬN ĐỐI VỚI HỆ CHUYÊN GIA

LÊ HẢI KHÔI, LÊ QUÝ SƠN

*Viện Công nghệ thông tin*

**Abstract.** This paper deals with a heuristic model of inferences over uncertain information for expert systems, based on the bounds propagation approach.

**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 lan truyền có cận.

## 1. MỞ ĐẦU

Chúng ta đều biết rằng hầu hết các hệ chuyên gia đều phải xử lý việc suy diễn với các sự kiện không chắc chắn. Các suy diễn này có thể phân 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 số đó việc xử lý suy diễn (nêu ở (iii)) được nhiều người quan tâm hơn cả, bởi lẽ hai loại suy diễn kia đều tương đối phức tạp và khó cài đặt.

Trong quá trình xử lý các suy diễn với các sự kiện không chắc chắn, việc suy diễn dựa trên mô hình không chắc chắn heuristic là lựa chọn hợp lý hơn cả. Các suy diễn dựa trên mô hình không chắc chắn heuristic này có thể phân thành 3 loại chính sau:

+ Thứ nhất, mô hình suy diễn dựa trên tiếp cận "nhân tố chắc chắn" (*certainty factor - CF*) với đại diện tiêu biểu là hệ MYCIN.
+ Thứ hai, mô hình suy diễn dựa trên tiếp cận "chuẩn tam giác" ($t-norm$ và $t-conorm$), đại diện là hệ RUM.
+ Thứ ba, mô hình suy diễn dựa trên tiếp cận "lan truyền có cận" (*bounds propagation*) với đại diện là hệ INFERNO.

Trong các bài báo trước ([1, 2, 3]) một trong các tác giả đã đề cập một số vấn đề liên quan đến khía cạnh toán học của hai mô hình suy diễn không chắc chắn thứ nhất và thứ hai; trong khuôn khổ bài báo này, các tác giả sẽ trình bày về mô hình không chắc chắn heuristic dựa trên tiếp cận lan truyền có cận trong hệ chuyên gia INFERNO. Cấu trúc của bài báo như sau: Mục 2 đề cập một số nét đặc trưng cơ bản của hệ INFERNO. Tiếp đó, trong Mục 3 trình bày những đánh giá về mặt toán học của mô hình dựa trên tiếp cận lan truyền có cận. Mục 4 đưa ra một số ví dụ minh họa cụ thể. Cuối cùng là kết luận.

Độc giả có thể tìm trong [4, 5] những kiến thức cơ sở về mô hình lan truyền có cận cũng như hệ chuyên gia INFERNO.

## 2. HỆ INFERNO

Hệ INFERNO do Quinlan đề xuất là một hệ thống có kiến trúc không có hướng, trong đó thông tin có thể lan truyền theo "mọi hướng". Cũng như hầu hết các hệ chuyên gia khác, hệ này có thể lập luận tiến từ các quan sát đến các kết luận. Ngoài ra, hệ này còn có thể lập luận lùi từ các tình huống đặt ra để, chẳng hạn, dự đoán các quan sát cần thiết.

Cấu trúc của INFERNO dựa trên nền tảng của xác suất. Chẳng hạn, sự kiện $A$ có miền giá trị $[0.5, 0.8]$ có nghĩa là khả năng sự kiện $A$ đúng ít nhất là 50%. Tuy nhiên, miền giá trị của một sự kiện không được suy diễn thông qua những giả thiết về các phân bố xác suất mà được suy diễn qua các điều kiện lan truyền có cận (chi tiết quá trình này sẽ được đề cập ở phần sau). Vì thế, INFERNO đảm bảo tính chính xác và đúng đắn của quá trình suy diễn. Trong quá trình suy diễn dựa trên tiếp cận lan truyền có cận nếu không có đủ các thông tin cần thiết thì suy diễn có thể là yếu. Trong trường hợp quá trình suy diễn thiếu thông tin, việc thêm các thông tin vào sẽ làm cho suy diễn chính xác hơn. Do mô hình có tính chất "bảo thủ" như vậy nên INFERNO còn được gọi là "cách tiếp cận gần đúng đến suy diễn không chắc chắn". Ngoài ra, INFERNO có thể đưa ra những gợi ý về việc sửa đổi thông tin đưa vào (trong trường hợp thông tin đó là không chắc chắn) để thông tin được chắc chắn hơn.

Trong quá trình thiết kế mô hình suy diễn của INFERNO, có một số yêu cầu được đưa ra:

(i) Suy diễn không chắc chắn phải đạt kết quả tốt hơn khi không có các giả thiết không đáng tin cậy, tức là trong trường hợp mọi thông tin của hệ là đáng tin cậy thì suy diễn sẽ cho kết quả chính xác hơn so với khi hệ có thông tin không đáng tin cậy.

(ii) Không hạn chế hướng của dòng thông tin trong mạng suy diễn.

(iii) Hệ phải có khả năng kiểm tra tính chính xác của thông tin thông qua quá trình suy diễn và có thể tư vấn cách điều chỉnh độ không chắc chắn.

Để đạt được các yêu cầu trên, những người xây dựng hệ chuyên gia INFERNO đã chọn giải pháp sử dụng mô hình suy diễn dựa trên tiếp cận lan truyền có cận. Dưới đây chúng ta sẽ tìm hiểu những nét cơ bản của kiến trúc lan truyền có cận.

## 3. MÔ HÌNH LAN TRUYỀN CÓ CẬN

### 3.1. Một số khái niệm

Mô hình toán học của quá trình lan truyền có cận được đặc trưng bởi hai giá trị sau

(i) $t(A)$ – cận dưới của xác suất $P(A)$ của sự kiện $A$.

(ii) $f(A)$ – cận dưới của xác suất $P(\overline{A})$ của sự kiện $\overline{A}$, với $\overline{A}$ là sự kiện đối của sự kiện $A$.

Vì $t(A)$ là cận dưới của xác suất $P(A)$ nên $t(A) \leq P(A)$. Mặt khác, $P(\overline{A}) = 1 - P(A)$, mà $f(A)$ là cận dưới của $P(\overline{A})$ nên $f(A) \leq P(\overline{A}) \Leftrightarrow f(A) \leq 1 - P(A) \Leftrightarrow P(A) \leq 1 - f(A)$. Như vậy,

$$t(A) \leq P(A) \leq 1 - f(A), \tag{3.1}$$

đây chính là khoảng xác suất được sử dụng trong mô hình lan truyền có cận. Nói cách khác, trong mô hình này, xác suất của sự kiện $A$ không phải là một giá trị $P(A)$ cụ thể mà là một đoạn giá trị $[t(A), 1 - f(A)]$.

*Chú ý:* Từ bây giờ để đơn giản chúng ta sẽ chỉ viết $P(A) = [a, b]$ thay vì diễn tả $P(A) = [t(A), 1 - f(A)]$.

Ban đầu, các mệnh đề có các giá trị cận là $t(A) = 0$ và $f(A) = 0$. Giá trị thật sự của $t(A)$ và $f(A)$ được xác định thông qua các dấu hiệu hoặc xác định $A$ hoặc phủ định $A$. Trong toàn bộ quá trình suy diễn, $t(A)$ và $f(A)$ được lan truyền độc lập với nhau. Từ (3.1) suy ra thông tin về $A$ là đáng tin cậy nếu như

$$t(A) + f(A) \leq 1. \tag{3.2}$$

Trong lan truyền tri thức không chắc chắn, mô hình luật chuyên gia thường có dạng

$$\underline{If}\ A\ \underline{then}\ Q\ \underline{with\ strength}\ x,$$

(điều đó có nghĩa là "nếu $A$ đúng thì xác suất để $Q$ đúng sẽ là $x$") trong đó dữ liệu vào chỉ lan truyền theo một hướng từ quan sát đến kết luận.

Nhưng trong mô hình đang xét này thì mối quan hệ giữa các mệnh đề được coi như các điều kiện ràng buộc về giá trị giữa các mệnh đề tương ứng. Minh họa ý trên, giả sử ban đầu ta có tập các mệnh đề với cận xác định. Khi thay đổi giá trị cận của một mệnh đề và giữ nguyên các ràng buộc (chính là các quan hệ) thì sẽ dẫn tới việc có một số mệnh đề khác cũng có cận thay đổi. Trên quan niệm đó, mô hình lan truyền có cận sử dụng luật chuyên gia gọi là quan hệ suy luận (dẫn xuất) có dạng

$$A \; \underline{enables} \; Q \; \underline{with\ strength} \; x$$

("$A$ khẳng định $Q$ với độ tin cậy là $x$") tức là xác suất có điều kiện $P(Q \mid A) \geq x$. Ta có kết quả sau.

**Mệnh đề 3.1.** *Đối với luật chuyên gia có dạng: "$A$ khẳng định $Q$ với độ tin cậy $x$" có các ràng buộc sau*

$$t(Q) \geq t(A) \times x, \tag{3.3}$$

$$f(A) \geq 1 - \frac{1 - f(Q)}{x}. \tag{3.4}$$

*Chứng minh.* Ta có $Q \cap A \subseteq Q \Rightarrow P(Q) \geq P(Q \cap A) = P(Q \mid A).P(A) \geq x.P(A)$. Vì thế $P(Q) \geq t(A).x$, ta có (3.3).

Mặt khác, biểu thức $P(Q) \geq P(A).x$ còn có thể viết là $P(A) \leq \dfrac{P(Q)}{x}$ nên $P(\overline{A}) = 1 - P(A) \geq 1 - \dfrac{P(Q)}{x} \geq 1 - \dfrac{1 - f(Q)}{x}$ (vì $P(Q) \leq 1 - f(Q)$). Từ đây suy ra (3.4).

Từ hai điều kiện lan truyền trên chúng ta có một số nhận xét sau

(i) Khi $t(A)$ tăng thì $t(Q)$ cũng tăng (theo (3.3)) và khi $f(Q)$ tăng thì $f(A)$ cũng tăng (theo (3.4)). Điều này cho thấy đối với luật "$A$ khẳng định $Q$ với độ tin cậy $x$" khi xác suất đúng của mệnh đề $A$ tăng (ứng với trường hợp $t(A)$ tăng) thì xác suất đúng của mệnh đề $Q$ cũng tăng và ngược lại khi mệnh đề $Q$ không đáng tin cậy thì khả năng có sự kiện $A$ đúng giảm xuống.

(ii) Ban đầu $t(A)$ và $f(A)$ đều bằng 0, sau đó $t(A)$ và $f(A)$ có thể thay đổi trực tiếp bởi người sử dụng hay thay đổi "ngầm" bởi các ràng buộc quan hệ giữa các mệnh đề. Nhưng đoạn giá trị $[t(A), 1 - f(A)]$ của xác suất $P(A)$ chỉ có thể thu hẹp lại khi có thêm thông tin suy diễn.

(iii) Một điều kiện lan truyền được kích hoạt khi có một cận ở vế phải của nó thay đổi. Nếu sự thay đổi này làm cho giá trị cận ở vế trái nhỏ hơn giá trị cận ở vế phải thì cận ở vế trái sẽ tăng lên bằng với giá trị mới này.

Ví dụ, với quan hệ "$A$ khẳng định $Q$ với độ tin cậy $x$", theo điều kiện (3.3) ta phải kiểm tra $t(Q)$ khi $t(A)$ tăng và theo (3.4) ta phải kiểm tra $f(A)$ khi $f(Q)$ tăng (tức là kiểm tra vế phải của hai điều kiện). Nếu thấy vế trái của điều kiện lan truyền cũng tăng thì giá trị mới này phải được lan truyền vì rất có thể nó có ảnh hưởng đến tính đúng đắn của các điều kiện khác.

Hai điều kiện lan truyền (3.3) và (3.4) là hai điều kiện đã được sử dụng phổ biến trong các luật chuyên gia cổ điển. Với mô hình lan truyền có cận, ngoài hai điều kiện lan truyền kể trên còn có một số điều kiện lan truyền khác mà chúng ta sẽ xem xét dưới đây.

### 3.2. Một số mệnh đề về điều kiện lan truyền có cận

**Mệnh đề 3.2.** *Đối với luật chuyên gia có dạng: "A phủ định Q, tức là $A \equiv \overline{Q}$" có các ràng buộc sau*

$$t(A) = f(Q), \tag{3.5}$$

$$f(A) = t(Q). \tag{3.6}$$

*Chứng minh.* Giả sử $P(Q) = [a, b]$ với $0 \leq a, b \leq 1$ khi đó ta có $P(\overline{Q}) = [1 - b, 1 - a]$.

Do $A \equiv \overline{Q}$ nên

$$\begin{cases} P(A) = [1 - b, 1 - a], \\ P(\overline{A}) = [a, b]. \end{cases}$$

Vì thế theo định nghĩa của $t$ và $f$ ta được

$$\begin{cases} t(A) = 1 - b, f(A) = a, \\ t(Q) = a, f(Q) = 1 - b, \end{cases}$$

suy ra (3.5) và (3.6). ■

**Mệnh đề 3.3.** *Đối với luật chuyên gia có dạng: "A là hợp của các tập $\{Q_1, Q_2, ..., Q_n\}$, tức là $A \equiv \bigcup_{i=1}^{n} Q_i$" có các ràng buộc sau:*

$$t(A) \geq t(Q_i), \forall i = \overline{1, n}, \tag{3.7}$$

$$f(A) \geq 1 - \sum_{i=1}^{n} \Big(1 - f(Q_i)\Big), \tag{3.8}$$

$$t(Q_i) \geq t(A) - \sum_{j \neq i, j=1}^{n} \Big(1 - f(Q_j)\Big), \forall i = \overline{1, n}, \tag{3.9}$$

$$f(Q_i) \geq f(A), \forall i = \overline{1, n}. \tag{3.10}$$

*Chứng minh*

• Ta có vì $A \equiv \bigcup_{i=1}^{n} Q_i$ nên $P(Q_i) \leq P(A), \forall i = 1, ..., n \Rightarrow t(Q_i) \leq t(A)\ \forall i = 1, ..., n$ tức ta có (3.7) đúng.

• Từ $P(Q_i) \leq P(A) \forall i = 1, ..., n \Rightarrow 1 - P(Q_i) \geq 1 - P(A)\ \forall i = 1, ..., n \Rightarrow f(Q_i) \geq f(A)\ \forall i = 1, ..., n$ được (3.10).

• Mặt khác với $A \equiv \bigcup_{i=1}^{n} Q_i$ ta có

$$P(A) \leq \sum_{i=1}^{n} P(Q_i)$$

$$\Rightarrow P(\overline{A}) \geq 1 - \sum_{i=1}^{n} P(Q_i)$$

$$\Rightarrow f(A) \geq 1 - \sum_{i=1}^{n} \Big(1 - f(Q_i)\Big), \text{ được (3.8).}$$

• Ta lại có

$$P(A) \leq \sum_{i=1}^{n} P(Q_i)$$

$$\Rightarrow P(Q_i) \geq P(A) - \sum_{j \neq i, j=1}^{n} P(Q_j),\ \forall i = \overline{1,n}$$

$$\Rightarrow t(Q_i) \geq t(A) - \sum_{j \neq i, j=1}^{n} \Big(1 - f(Q_j)\Big),\ \forall i = \overline{1,n},\ \text{được (3.9).}$$

■

**Mệnh đề 3.4.** *Đối với luật chuyên gia có dạng: "A là hợp của* $\{Q_1, Q_2, ..., Q_n\}$ *với* $Q_i$ *độc lập với nhau, tức là* $A \equiv \bigcup\limits_{i=1}^{n} Q_i$, $P(Q_i \cap Q_j) = P(Q_i).P(Q_j)\ \forall i \neq j$*" có các ràng buộc sau*

$$t(A) \geq 1 - \prod_{i=1}^{n} \Big(1 - t(Q_i)\Big), \tag{3.11}$$

$$f(A) \geq \prod_{i=1}^{n} f(Q_i), \tag{3.12}$$

$$t(Q_i) \geq 1 - \frac{1 - t(A)}{\prod\limits_{j \neq i, j=1}^{n} f(Q_j)},\ \forall i = \overline{1,n}, \tag{3.13}$$

$$f(Q_i) \geq \frac{f(A)}{\prod\limits_{j \neq i, j=1}^{n} \Big(1 - t(Q_j)\Big)},\ \forall i = \overline{1,n}. \tag{3.14}$$

*Chứng minh.*

• Xét $A$ là hợp của $\{Q_1, Q_2, ..Q_n\}$ (với $Q_i$ độc lập với nhau) thì $\overline{A}$ sẽ là giao của $\{\overline{Q_1}, \overline{Q_2}, .., \overline{Q_n}\}$ khi đó luật tổ hợp của mệnh đề giao độc lập sẽ có dạng :

$$P(\overline{A}) = \prod_{i=1}^{n} P(\overline{Q_i})$$

$$\Rightarrow P(A) = 1 - \prod_{i=1}^{n} \Big(1 - P(Q_i)\Big)$$

$$\Rightarrow t(A) \geq 1 - \prod_{i=1}^{n} \Big(1 - t(Q_i)\Big)\ \text{(ta được (3.11)).}$$

• Mặt khác do $P(\overline{A}) = \prod\limits_{i=1}^{n} P(\overline{Q_i})$ nên ta có

$$f(\overline{A}) \geq \prod_{i=1}^{n} f(Q_i)\ \text{(ta được (3.12)).}$$

- Ta lại có

$$P(\overline{A}) = \prod_{i=1}^{n} P(\overline{Q_i})$$

$$\Rightarrow P(\overline{Q_i}) = \frac{P(\overline{A})}{\prod\limits_{j\neq i, j=1}^{n} P(\overline{Q_j})}, \ \forall i = \overline{1,n}$$

$$\Rightarrow f(Q_i) \geq \frac{f(A)}{\prod\limits_{j\neq i, j=1}^{n} \Big(1 - t(Q_j)\Big)}, \ \forall i = \overline{1,n} \text{ (ta được (3.14))}.$$

- Lại có

$$P(\overline{Q_i}) = \frac{P(\overline{A})}{\prod\limits_{j\neq i, j=1}^{n} P(\overline{Q_j})}, \forall i = \overline{1,n}$$

$$\Rightarrow 1 - P(Q_i) = \frac{1 - P(A)}{\prod\limits_{j\neq i, j=1}^{n} \Big(1 - P(Q_j)\Big)}, \forall i = \overline{1,n}$$

$$\Rightarrow P(Q_i) = 1 - \frac{1 - P(A)}{\prod\limits_{j\neq i, j=1}^{n} \Big(1 - P(Q_j)\Big)}, \forall i = \overline{1,n}$$

$$\Rightarrow t(Q_i) \geq 1 - \frac{1 - t(A)}{\prod\limits_{j\neq i, j=1}^{n} (f(Q_j))}, \forall i = \overline{1,n} \text{ (ta được (3.13))}.$$

■

**Mệnh đề 3.5.** *Đối với luật chuyên gia có dạng: " A là tập giao của các tập* $\{Q_1, Q_2, ..., Q_n\}$*, tức là* $A \equiv \bigcap\limits_{i=1}^{n} Q_i$*" có các ràng buộc sau*

$$t(A) \geq 1 - \sum_{i=1}^{n} \Big(1 - t(Q_i)\Big), \tag{3.15}$$

$$f(A) \geq f(Q_i), \forall i = \overline{1,n}, \tag{3.16}$$

$$t(Q_i) \geq t(A), \forall i = \overline{1,n}, \tag{3.17}$$

$$f(Q_i) \geq f(A) - \sum_{j\neq i, j=1}^{n} \Big(1 - t(Q_j)\Big), \forall i = \overline{1,n}. \tag{3.18}$$

*Chứng minh.* Chứng minh các điều kiện lan truyền của mệnh đề này có thể dễ dàng trực tiếp suy ra từ chứng minh các điều kiện lan truyền có cận của Mệnh đề 3.3 bằng cách thay $A$ là giao của $\{Q_1, Q_2, ...Q_n\}$ bằng $\overline{A}$ sẽ là hợp của $\{\overline{Q_1}, \overline{Q_2}, ..., \overline{Q_n}\}$. ■

**Mệnh đề 3.6.** *Đối với luật chuyên gia có dạng: "A là giao của* $\{Q_1, Q_2, .., Q_n\}$ *với* $Q_i$ *độc lập với nhau, tức là* $A \equiv \bigcap\limits_{i=1}^{n} Q_i$*,* $P(Q_i \cap Q_j) = P(Q_i) \times P(Q_j)$*,* $\forall i \neq j$*" có các ràng buộc sau*

$$t(A) \geq \prod_{i=1}^{n} t(Q_i), \tag{3.19}$$

$$f(A) \geq 1 - \prod_{i=1}^{n} \Big(1 - f(Q_i)\Big), \tag{3.20}$$

$$t(Q_i) \geq \frac{t(A)}{\prod\limits_{j \neq i, j=1}^{n} \Big(1 - f(Q_j)\Big)}, \forall i = \overline{1, n}, \tag{3.21}$$

$$f(Q_i) \geq 1 - \frac{1 - f(A)}{\prod\limits_{j \neq i, j=1}^{n} t(Q_j)}, \forall i = \overline{1, n}. \tag{3.22}$$

*Chứng minh.* Chứng minh các điều kiện lan truyền của mệnh đề này có thể dễ dàng trực tiếp suy ra từ chứng minh các điều kiện lan truyền có cận của Mệnh đề 3.4 bằng cách thay $A$ là giao của $\{Q_1, Q_2, ..Q_n\}$ bằng $\overline{A}$ sẽ là hợp của $\{\overline{Q_1}, \overline{Q_2}, .., \overline{Q_n}\}$.

**Mệnh đề 3.7.** *Đối với luật chuyên gia có dạng: "A là hợp loại trừ của* $\{Q_1, Q_2, ..., Q_n\}$*, tức là* $A \equiv \bigcup\limits_{i=1}^{n} Q_i$*,* $P(Q_i \cap Q_j) = 0$*" có các ràng buộc sau*

$$t(A) \geq \sum_{i=1}^{n} t(Q_i), \forall i = \overline{1, n}, \tag{3.23}$$

$$f(A) \geq 1 - \sum_{i=1}^{n} \Big(1 - f(Q_i)\Big), \tag{3.24}$$

$$t(Q_i) \geq t(A) - \sum_{j \neq i, j=1}^{n} \Big(1 - f(Q_j)\Big), \forall i = \overline{1, n}, \tag{3.25}$$

$$f(Q_i) \geq f(A) + \sum_{j \neq i, j=1}^{n} t(Q_j), \forall i = \overline{1, n}. \tag{3.26}$$

*Chứng minh.*

- Do $P(A) = \sum\limits_{i=1}^{n} P(Q_i)$

$$\Rightarrow 1 - P(\overline{A}) = \sum_{i=1}^{n} \Big(1 - P(\overline{Q_i})\Big)$$

$$\Rightarrow \begin{cases} t(A) \geq \sum_{i=1}^{n} t(Q_i), \text{ được (3.23)} \\ f(A) \geq 1 - \sum_{i=1}^{n} \Big(1 - f(Q_i)\Big), \text{ được (3.24).} \end{cases}$$

- Từ đẳng thức

$$P(Q_i) = P(A) - \sum_{j \neq i, j=1}^{n} P(Q_j), \forall i = \overline{1, n}$$

$$\Rightarrow t(Q_i) \geq t(A) - \sum_{j \neq i, j=1}^{n} \Big(1 - f(Q_j)\Big), \forall i = \overline{1, n}, \text{ được (3.25).}$$

- Mặt khác do $P(Q_i) = P(A) - \sum\limits_{j \neq i, j=1}^{n} P(Q_j), \forall i = \overline{1, n},$

$$\Rightarrow 1 - P(\overline{Q_i}) = 1 - P(\overline{A}) - \sum_{j \neq i, j=1}^{n} \Big(1 - P(\overline{Q_j})\Big), \forall i = \overline{1, n}$$

$$\Rightarrow P(\overline{Q_i}) = P(\overline{A}) + \sum_{j\neq i, j=1}^{n} \Big(1 - P(\overline{Q_j})\Big), \forall i = \overline{1,n}$$

$$\Rightarrow f(Q_i) \geq f(A) + \sum_{j\neq i, j=1}^{n} t(Q_j), \forall i = \overline{1,n}, \text{ được (3.26).}$$

■

**Mệnh đề 3.8.** *Đối với luật chuyên gia có dạng: "$\{Q_1, Q_2, .., Q_n\}$ loại trừ lẫn nhau, tức là $P(Q_i \cap Q_j) = 0$, với mọi $i \neq j; i, j = \overline{1,n}$" có các ràng buộc sau*

$$f(Q_i) \geq \sum_{j\neq i, j=1}^{n} t(Q_j), \forall i = \overline{1,n}. \tag{3.27}$$

*Chứng minh.*

• Nếu $Q_i, i = \overline{1,n}$ được xác định là không giao nhau, thì phải có

$$\sum_{i=1}^{n} P(Q_i) \leq 1$$

$$\Rightarrow \sum_{j\neq i, j=1}^{n} P(Q_j) \leq 1 - P(Q_i), \forall i = \overline{1,n}$$

$$\Rightarrow \sum_{j\neq i, j=1}^{n} P(Q_j) \leq P(\overline{Q_i}), \forall i = \overline{1,n}$$

$$\Rightarrow \sum_{j\neq i, j=1}^{n} t(Q_j) \leq f(Q_i), \forall i = \overline{1,n}, \text{ được (3.27).}$$

■

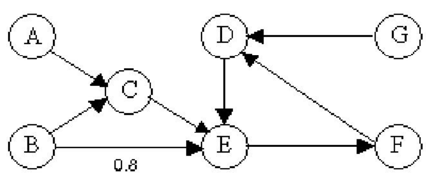
## 4. VÍ DỤ MINH HOẠ

Như ở phần trên đã xét một số mệnh đề về các điều kiện lan truyền trong mô hình lan truyền có cận. Dưới đây sẽ là một số ví dụ minh hoạ cho việc áp dụng các mệnh đề đó trong quá trình lan truyền cận.

**Ví dụ 4.1.** Xem hình minh họa dưới đây.

Xét các mối quan hệ được định nghĩa như sau:

- Quan hệ 1: $C$ là giao của $A$ và $B$.
- Quan hệ 2: $E$ là hợp của $C$ và $D$, với $C$ và $D$ là độc lập.
- Quan hệ 3: $B$ khẳng định $E$ với độ tin cậy 0,8.
- Quan hệ 4: $E$ phủ định $F$.
- Quan hệ 5: $D$ là giao của $F$ và $G$, với $F$ và $G$ là độc lập.



Có thể diễn giải như sau:

- $C$ là giao của hai tập $A$ và $B$ (giả thiết ta không biết gì về tính độc lập hay tính loại trừ của $A$ và $B$).
- $E$ là hợp của $C$ và $D$, với giả thiết $C$ và $D$ độc lập với nhau.
- Xác suất $P(E \mid B)$ nhỏ nhất là 0.8.
- $E$ phủ định $F$.
- $D$ là giao của $G$ và $F$, với $G$ và $F$ là độc lập.

Giả sử $P(C) = [a, b]$ với $a \leq b$, $P(...) = [0, 1]$ với P(...) là xác suất các sự kiện còn lại như $A$, $B$,... Ta có

$$\begin{cases} t(C) = a, \\ f(C) = 1 - b, \\ t(...) = 0, \\ f(...) = 0. \end{cases}$$

Xét quan hệ 1, theo (3.17) ta có

$$\begin{cases} t(A) \geq t(C) \\ t(B) \geq t(C) \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} t(A) \geq a \\ t(B) \geq a. \end{cases}$$

Xét các điều kiện lan truyền (3.15),(3.16),(3.18) ta thấy chúng không thỏa mãn điều kiện kiểm tra lan truyền (tức là không có giá trị vế phải tăng) nên các cận còn lại của các mệnh đề $A$, $B$, $C$ không đổi (ví dụ như điều kiện (3.16) chẳng hạn: ta thấy $f(A) = 0, f(B) = 0$ nên $f(C)$ không đổi). Thêm một minh hoạ cho việc kiểm tra điều kiện lan truyền được thể hiện rõ ở quan hệ 3, nếu không xét đến điều kiện kiểm tra lan truyền theo (3.3) ta có: $t(E) \geq t(B) * P(E \mid B) \Leftrightarrow t(E) \geq a * 0.8$. Nhưng do $a * 0.8 \leq a$ nên (3.3) không thỏa mãn điều kiện lan truyền (do vế phải của điều kiện lan truyền không tăng) và $t(E) \geq a$ được giữ nguyên. Từ các quan hệ sau ta sẽ chỉ xét đến các điều kiện thỏa mãn điều kiện lan truyền, mà không nhắc đến các điều kiện còn lại (các điều kiện không thỏa mãn điều kiện lan truyền).

Xét quan hệ 2, theo (3.11) ta có: $t(E) \geq 1 - (1 - t(C)).(1 - t(D)) \Leftrightarrow t(E) \geq t(C) \Leftrightarrow t(E) \geq a$.

Xét quan hệ 4, theo (3.5) ta có: $t(E) = f(F) \Leftrightarrow f(F) \geq a$.

Xét quan hệ 5, theo (3.20) ta có: $f(D) \geq 1 - (1 - 0) * (1 - f(F)) \Leftrightarrow f(D) \geq f(F) \Leftrightarrow f(D) \geq a$.

Bây giờ ta thử "thêm" thông tin vào hệ, giả sử có $P(B) = [c, d]$ và $P(G) = [e, f]$ tức là ta có thêm thông tin

$$\begin{cases} t(B) = c, \\ f(B) = 1 - d, \\ t(G) = e, \\ f(B) = 1 - f. \end{cases}$$

Khi đó với quan hệ 1, ta có theo (3.18), $f(A) \geq f(C) - (1 - t(B)) \Leftrightarrow f(A) \geq 1 - b - (1 - c) \Leftrightarrow f(A) \geq c - b$, điều này có nghĩa là thông tin của $B$ đưa vào chỉ thực sự có ý nghĩa khi $c \geq b$.

Với quan hệ 3 ta có theo (3.3), $t(E) \geq t(B) * 0.8 \Leftrightarrow t(E) \geq c * 0.8$, điều này có nghĩa là thông tin của $B$ đưa vào chỉ thực sự có ý nghĩa khi $c * 0.8 \geq a$.

Với quan hệ 2 ta có theo (3.13), $t(D) \geq 1 - 1 - \dfrac{t(E)}{f(C)} \Leftrightarrow t(D) \geq 1 - \dfrac{1 - c * 0.8}{1 - b}$.

Mặt khác theo (3.11), $t(E) \geq 1 - (1 - t(C)) * (1 - t(D)) \Leftrightarrow t(E) \geq 1 - (1 - \dfrac{1 - c * 0.8}{1 - b}) * (1 - a) \Leftrightarrow$ $t(E) \geq \dfrac{a + c * 0.8 - a * c * 0.8 - b}{1 - b}$, điều này có nghĩa là các thông tin đưa vào chỉ thực sự có ý nghĩa đến quan hệ 2 khi $\dfrac{a + c * 0.8 - a * c * 0.8 - b}{1 - b} \geq a \Leftrightarrow (c * 0.8 - b) * (1 - a) \geq 0 \Leftrightarrow c * 0.8 \geq b$ (do $1 - a \geq 0$ với mọi a).

Với quan hệ 5 ta có theo (3.21), $t(D) \geq 1 - 1 - \dfrac{t(E)}{f(C)} \Leftrightarrow t(D) \geq 1 - \dfrac{1 - c * 0.8}{1 - d}$.

**Ví dụ 4.2.** Ví dụ sau minh hoạ cho việc thông tin thu được từ nhiều nguồn khác nhau luôn ẩn chứa trong nó khả năng sai sót cao.

Giả sử có mệnh đề $C$ thu được từ hai nguồn thông tin khác nhau:

- Quan hệ 6: $C$ là hợp của $A_1, A_2, .., A_n$ $(C \equiv \bigcup_{i=1}^{n} A_i)$.
- Quan hệ 7: $C$ là giao của $B_1, B_2, .., B_n$ $(C \equiv \bigcap_{i=1}^{n} B_i)$.

Lại giả thiết chúng ta có

$$\begin{cases} \min\limits_i t(A_i) = a, \\ \max\limits_i t(B_i) = b. \end{cases}$$

Khi đó theo ràng buộc lan truyền (3.17) và (3.7) ta có

$$\begin{cases} t(A_i) \geq t(C) \text{ (theo (3.17))} \\ t(C) \geq t(B_i) \text{ (theo (3.9))} \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} a \geq t(C) \\ t(C) \geq b \end{cases} \Leftrightarrow a \geq t(C) \geq b.$$

Xét các trường hợp sau:

\+ $a > b$ ta có $a \geq t(C) \geq b \Rightarrow p(C) \geq b$ khi đó xác suất để $C$ đúng ít nhất là $b$ và trong trường hợp này thì các nguồn thông tin có thể không sai.

\+ $a = b$ ta có $a \geq t(C) \geq b \Leftrightarrow t(C) = a = b$ khi đó xác suất để $C$ đúng ít nhất là $a$ hay $b$ và ta thấy trong trường hợp này thì các nguồn thông tin cũng có thể không sai.

\+ $a < b$ ta có $a \geq t(C) \geq b$ suy ra không tồn tại t(C). Khi đó có thể khẳng định là các nguồn thông tin vào $A_i$ hay chính $C$ là không chính xác. Đây là trường hợp không mong đợi trong khi xét quá trình lan truyền có cận, khi đó ta phải tìm xem sai sót là do đâu và đưa ra các gợi ý để sửa các sai sót.

Trên đây là hai ví dụ minh hoạ đơn giản cho quá trình lan truyền có cận. Từ đó chúng ta có một nhận xét là khi có thông tin đưa vào hệ sử dụng mô hình này thì thông tin đó có thể có ý nghĩa đối với quá trình lan truyền, mà cũng có thể không ảnh hưởng đến quá trình lan truyền, thậm chí có thể là thông tin làm sai lệch quá trình lan truyền. Điều này hoàn toàn phù hợp với thực tế.

## 5. KẾT LUẬN

Kết luận đầu tiên là chúng ta có thể sử dụng mô hình lan truyền có cận trong cả suy diễn tiến và suy diễn lùi. Sở dĩ có kết luận này là vì trong mô hình lan truyền có cận, suy diễn được tiến hành như sau: từ các sự kiện nguồn ban đầu qua các quan hệ và các điều kiện ràng buộc, cận của các sự kiện kết quả có thể thay đổi (suy diễn tiến), ngược lại khi cận của các sự kiện kết quả thay đổi cận của các sự kiện ban đầu có thể cũng bị thay đổi theo (suy diễn lùi).

Mô hình lan truyền có cận là mô hình có tính tin cậy cao. So sánh mô hình toán học không chắc chắn để diễn tả tính không chắc chắn trong mô hình lan truyền có cận với các mô hình lan truyền khác, chúng ta thấy trong hầu hết các mô hình lan truyền khác, mô hình không chắc chắn đều dựa trên các giả thiết phụ thuộc về phân phối xác suất, còn mô hình đang xét thì không. Tại sao mô hình lan truyền có cận lại được coi là mô hình có tính tin cậy cao? Một trong những lý do cơ bản là nếu như các giả thiết đưa vào hệ là không đáng tin cậy trong miền suy luận không chắc chắn thì quá trình suy diễn sẽ có lỗi và mô hình lan truyền có cận dựa trên các điều kiện lan truyền tránh được tình huống này (do có kiểm tra tính đúng đắn của mệnh đề).

Nhận xét về tính chặt chẽ của giá trị cận mà mô hình lan truyền có cận đưa ra, trong một số trường hợp, giá trị cận thu được từ các ràng buộc yếu hơn so với giá trị cận thu được từ suy diễn xác suất. Có thể đưa ra ví dụ minh hoạ sau: Xét quan hệ "$A$ khẳng định $B$ với độ tin cậy $x$" (tức là có $P(B \mid A) \geq x$) và "$Q$ là hợp của $A$,$B$ với $A$ và $B$ là độc lập" (tức $C \equiv A \cap B, P(A \cap B) = P(A).P(B)$). Vì $A$ và $B$ là độc lập nên chúng ta có $P(B) \geq x$, dẫn đến không thể đưa ra các suy diễn từ các điều kiện ràng buộc.

Thêm một nhận xét về mô hình lan truyền có cận, phải chăng mà mô hình này đưa ra là quá rộng. Xét một ví dụ giả sử $P(A) = p$ và $P(B \mid A) = q$ thì cận của $P(B)$ sẽ có miền giá trị: $pq \leq P(B) \leq 1 - p(1-q)$. Nếu lại giả sử $p$ rất nhỏ thì đoạn $[pq, 1-p(1-q)]$ tiến tới giá trị tầm thường là $[0,1]$ tức là suy diễn không mang lại kết quả gì trong trường hợp đó có lẽ mô hình lan truyền có cận không có "ưu thế".

Quá trình lan truyền không chắc chắn dựa trên mô hình lan truyền có cận có thể cho kết luận về cận xác suất của mệnh đề là yếu hơn so với suy luận xác suất trực tiếp của các quan hệ. Nhưng trong từng trường hợp kết luận có thể là hệ quả đúng của thông tin được đưa vào bởi người sử dụng. Xét đến vấn đề kết thúc lan truyền, cũng như các hệ suy diễn khác, mô hình lan truyền có cận không cho phép lan truyền có ảnh hưởng ngược trở về thông tin "tài nguyên" ban đầu.

Từ những nhận xét về ưu và nhược điểm của mô hình lan truyền có cận, chúng ta rút ra một kết luận quan trọng: lan truyền có cận chỉ thực sự thích hợp với các hệ chuyên gia dựa trên tiếp cận heuristic về lan truyền không chắc chắn.

**Lời cảm ơn**

Chúng tôi xin chân thành cảm ơn các phản biện đã có những ý kiến đóng góp quí báu giúp bài báo được hoàn thiện.

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] Lê Hải Khôi, Về mô hình heuristic trên cơ sở phương pháp nhân tố chắc chắn đối với hệ chuyên gia, *Tạp chí Tin học & Điều khiển học* **17** (3) (2001) 15 – 24.

[2] Lê Hải Khôi, Trần Anh Thư, Về sự kết hợp nhiều luật trong hệ chuyên gia dựa trên nhân tố chắc chắn, *Tạp chí Tin học & Điều khiển học* **18** (1) (2002) 65 – 72.

[3] Lê Hải Khôi, Đặng Xuân Hồng, Về mô hình heuristic dựa trên tiếp cận chuẩn tam giác đối với hệ chuyên gia, *Tạp chí Tin học & Điều khiển học* **19** (2) (2003)

[4] J. Pearl, *Probabilistic Reasoning in Intelligent Systems. Networks of Plausible Inference*, Morgan Kaufmann, New York, 1988.

[5] J.R. Quinlan, INFERNO - A cautious approach to uncertain inference, *Comp. J.* **26** (3) (1983) 255 – 269.

*Nhận bài ngày 28 - 2 - 2003*

*Nhận lại sau sửa ngày 20 - 6 - 2003*