

XÂY DỰNG HÀNH VI TƯƠNG TRANH CỦA HỆ MẠNG HỢP THÀNH

HOÀNG CHÍ THÀNH

Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, ĐHQG Hà Nội

Abstract. A behaviour of a system is often presented by the set of the systems processes. A process corresponds to an executable choose of the system. Processes consist of actions, environment and time relations between actions for their execution. The time relation between actions in a sequential process is a total order, whilst in a concurrent process is a partial order. A linearization of a concurrent process is a sequential process. So a concurrent process with maximal concurrent steps points out an optimal way to execute its sequential processes. A net system can control another one to form a composed net system. Using methods to transform sequential processes into concurrent ones, we construct a concurrent behaviour of the composed net system directly from sequential behaviours of net system components. This result indicates an optimal and quick execution of processes occurred on the composed net system.

Tóm tắt. Hành vi của một hệ thống thường được biểu diễn bởi tập các quá trình của hệ thống. Một quá trình tương ứng với một lựa chọn thực hiện của hệ thống. Quá trình của hệ thống được cấu thành bởi các hành động, môi trường và quan hệ thời gian giữa các hành động để hệ thống thực hiện chúng. Quan hệ thời gian giữa các hành động trong một quá trình tuần tự là quan hệ thứ tự tổng thể, còn trong một quá trình tương tranh thì chỉ là quan hệ thứ tự bộ phận. Tuyến tính hoá của quá trình tương tranh là một quá trình tuần tự. Do vậy, quá trình tương tranh với các bước tương tranh cực đại chỉ ra một cách tối ưu để thực hiện các quá trình tuần tự của nó. Một hệ mạng có thể điều khiển một hệ mạng khác và cho ta hệ mạng hợp thành. Sử dụng các phương pháp biến đổi quá trình tuần tự thành tương tranh, chúng tôi xây dựng hành vi tương tranh của hệ mạng hợp thành một cách trực tiếp từ hành vi tuần tự của các hệ mạng thành viên. Kết quả này giúp thực hiện nhanh chóng và tối ưu các quá trình xảy ra trên hệ mạng hợp thành.

1. MỞ ĐẦU

Khi thiết kế một hệ thống chúng ta thường phải mô tả những cái mà hệ thống có thể thực hiện được. Đó chính là hành vi (behaviour) của hệ thống. Hành vi của một hệ thống thường được biểu diễn bởi tập các quá trình của hệ thống này. Một quá trình tương ứng với một lựa chọn thực hiện của hệ thống. Quá trình của hệ thống được cấu thành bởi các hành động, môi trường và quan hệ thời gian giữa các hành động để hệ thống thực hiện chúng.

Quan hệ thời gian giữa các hành động trong một quá trình tuần tự là quan hệ thứ tự tổng thể còn trong một quá trình tương tranh thì chỉ là quan hệ thứ tự bộ phận. Tuyến tính

* Công trình được Đại học Quốc gia Hà Nội hỗ trợ kinh phí (Đề tài QG-09-01).

hoá của quá trình tương tranh là một quá trình tuần tự. Do vậy, quá trình tương tranh với các bước tương tranh cực đại chỉ ra một cách tối ưu để thực hiện các quá trình tuần tự của nó. Ở mức hành vi, chỉ ra một cách đầy đủ hành vi tương tranh của hệ thống tương ứng là một việc làm rất có ý nghĩa.

Trong [7] chúng tôi đã xây dựng ba phương pháp để xây dựng hành vi tương tranh của một hệ mạng. Các phương pháp đó dựa vào: ngôn ngữ vết [1], phép đẩy trái và đồ thị các trường hợp [3]. Hơn nữa, hành vi tương tranh của một hệ thống nhận được qua một trong ba phương pháp trên bao gồm các quá trình tương tranh với các bước tương tranh cực đại.

Chúng tôi nghiên cứu và giải quyết bài toán hợp thành trên các hệ mạng [5, 6]. Bài toán này cũng được L. Alfaro, T. A. Henzinger và F. Y. C. Mang hình thức hoá và gọi là *bài toán điều khiển*, dựa trên khái niệm hợp thành song song như sau [2].

“Cho hệ chuyển M (bộ). Có hay không một hệ chuyển N (điều khiển), sao cho hệ hợp thành $M\|N$ thoả mãn các tính chất định trước”.

Chúng tôi đã xây dựng phép toán hợp thành tương tranh trên các hệ mạng và chỉ ra rằng tập tất cả các hệ mạng là một monoid và khẳng định: một hệ mạng có thể điều khiển một hệ mạng khác để cho ta hệ mạng hợp thành. Hơn nữa, tính an toàn và tính sống của hệ mạng được bảo toàn qua phép hợp thành này. Đồng thời, các nghiên cứu của chúng tôi cũng đã chỉ ra cách xây dựng hành vi tuần tự của hệ mạng hợp thành từ hành vi tuần tự của các hệ mạng thành viên (bộ, điều khiển) nhờ phép tổ hợp song song của các ngôn ngữ. Kết quả này là tiền đề cho việc xây dựng hành vi tương tranh của hệ mạng hợp thành từ hành vi tuần tự của nó đã được xây dựng ở bước trên.

Trong bài báo này, chúng tôi sử dụng các phương pháp biến đổi quá trình tuần tự thành các quá trình tương tranh đã trình bày trong [7] để xây dựng hành vi tương tranh của hệ mạng hợp thành một cách trực tiếp từ hành vi tuần tự của các hệ mạng thành viên. Hành vi tương tranh sẽ giúp thực hiện nhanh chóng các quá trình xảy ra trên hệ mạng hợp thành. Để làm được điều đó, hai công việc cần phải làm là xây dựng quan hệ tách được của hệ mạng hợp thành từ các quan hệ tách được của các hệ mạng thành viên và nghiên cứu sự thay đổi môi trường để kích hoạt các biến cố xảy ra trên hệ mạng hợp thành, từ đó tìm ra hành vi tuần tự của hệ mạng hợp thành.

Bài báo gồm bốn phần. Phần 2 dành cho hệ mạng, các khái niệm liên quan và phép hợp thành tương tranh trên các hệ mạng. Phần 3 dành cho việc xác định hành vi tuần tự và các xấp xỉ cho quan hệ tách được của hệ mạng hợp thành. Phần 4 trình bày việc xây dựng hành vi tương tranh của hệ mạng hợp thành trực tiếp từ hành vi tuần tự của các hệ mạng thành viên. Một số kết luận và hướng phát triển được trình bày ở phần cuối.

2. HỆ MẠNG VÀ HỢP THÀNH CỦA CHÚNG

2.1. Khái niệm hệ mạng

Hệ mạng được xây dựng dựa trên khái niệm mạng Petri đơn giản và được định nghĩa trong [3 – 5] như sau.

Định nghĩa 2.1. Bộ ba $N = (B, E; F)$ được gọi là mạng Petri nếu:

- 1) B, E là hai tập không giao nhau;
- 2) $F \subseteq (B \times E) \cup (E \times B)$ là một quan hệ nhị nguyên, được gọi là lưu đồ của mạng N .

Các phần tử thuộc B thường thể hiện các điều kiện, còn các phần tử của E biểu diễn các biến cố của mạng. Quan hệ lưu đồ F cho mỗi liên hệ trong mạng giữa hai đối tượng này. Ta có thể dùng đồ thị hai phần định hướng để biểu diễn hình học cho mạng N với tập đỉnh $X_N = B \cup E$ là tập tất cả các phần tử của mạng N , còn các cung thể hiện quan hệ lưu đồ F .

Giả sử $N = (B, E; F)$ là một mạng Petri. Với mỗi phần tử $x \in X_N$, ta ký hiệu:

- $\bullet x = \{y | (y, x) \in F\}$ và gọi là tập trước (pre-set) của x ;
- $x^\bullet = \{y | (x, y) \in F\}$ và gọi là tập sau (post-set) của x .

Mạng N được gọi là đơn giản nếu hai phần tử khác nhau không có chung tập trước và tập sau.

Mỗi tập con $c \subseteq B$ được gọi là một trường hợp của mạng N .

Giả sử biến cố $e \in E$ và trường hợp $c \subseteq B$. Biến cố e được trường hợp c kích hoạt nếu $\bullet e \subseteq c \wedge e^\bullet \cap c = \emptyset$. Khi đó, $c' = (c \setminus \bullet e) \cup e^\bullet$ được gọi là trường hợp kế tiếp của c nhờ sự xuất hiện của e và ta viết: $c[e > c']$.

Sự xuất hiện của các biến cố trên mạng N tạo nên quan hệ đạt tới tiến một bước $r_N \subseteq 2^B \times 2^B$, và được định nghĩa như sau

$$\forall c, c' \in 2^B : (c, c') \in r_N \Leftrightarrow \exists e \in E, c[e > c']$$

Bao đóng phản xạ và bắc cầu của quan hệ đạt tới tiến và lùi

$$R_N = (r_N(r_N^{-1}))^*$$

cho ta quan hệ đạt tới trên mạng N . Đó là một quan hệ tương đương trên 2^B .

Định nghĩa 2.2. Hệ mạng là một bộ bốn $\Sigma = (B, E; F, c_0)$, trong đó:

- 1) $N = (B, E; F)$ là một mạng Petri đơn giản với các phần tử của tập B biểu diễn các điều kiện, còn các phần tử của tập E biểu diễn các biến cố của mạng.
- 2) $c_0 \subseteq B$ là trường hợp đầu tiên (hay còn gọi là trạng thái đầu tiên).

Lớp tương đương $C = [c_0]_{R_N}$ được gọi là không gian các trạng thái của hệ mạng Σ .

Một biến cố của hệ mạng có thể xảy ra nếu trạng hệ có trạng thái làm thoả mãn các điều kiện trước (pre-conditions) của biến cố này và khi đó các điều kiện sau (post-conditions) của biến cố này chưa thoả mãn. Khi biến cố xảy ra, các điều kiện trước không thoả mãn nữa và các điều kiện sau được thoả mãn. Trạng thái kế tiếp nhận được sau khi biến cố trên xảy ra phải thuộc không gian các trạng thái để có thể kích hoạt biến cố khác. Không gian các trạng thái của hệ là môi trường để dãy các bước có thể xảy ra trên hệ mạng, tạo nên các quá trình trên hệ. Hệ mạng thường được dùng để mô hình các hệ thống phân tán như các hệ thống truyền tin, các hệ điều hành mạng, các dây chuyền sản xuất, các chương trình tương tranh...

2.2. Hành vi của hệ mạng

Giả sử $\Sigma = (B, E; F, c_0)$ là một hệ mạng và trên hệ này có một dãy các trường hợp $c_1, c_2, \dots, c_n, c_{n+1}$ thuộc C và một dãy các biến cố e_1, e_2, \dots, e_n thuộc E sao cho $c_i[e_i > c_{i+1}, i = 1, 2, \dots, n$.

Khi đó dãy: $c_1[e_1 > c_2[e_2 > c_3 \dots c_n[e_n > c_{n+1}$ thể hiện một quá trình tuần tự xảy ra trên hệ mạng Σ .

Định nghĩa 2.3. Ngôn ngữ sinh bởi hệ mạng Σ được định nghĩa như sau

$$L(\Sigma) = \{e_1 e_2 \dots e_n \mid \exists c_1, c_2, \dots, c_n, c_{n+1} \in C, \exists e_1, e_2, \dots, e_n \in E : c_i[e_i > c_{i+1}, i = 1, 2, \dots, n\}.$$

Ngôn ngữ sinh bởi một hệ mạng mô tả tất cả các dãy các biến cố có thể xảy ra trên hệ này. Nó thường được dùng để mô tả hành vi của hệ thống. Song ngôn ngữ này chỉ cho ta dãy các biến cố xảy ra một cách tuần tự trên hệ. Do đó, ngôn ngữ sinh bởi một hệ mạng biểu diễn hành vi tuần tự của hệ này và mỗi từ thuộc ngôn ngữ biểu diễn một quá trình tuần tự xảy ra trên hệ. Vậy bằng cách nào để nhận ra các hành vi tương tranh của hệ? Trong [7] chúng tôi đã xây dựng ba phương pháp để xây dựng các quá trình tương tranh của một hệ mạng từ ngôn ngữ của hệ. Trong bài báo này, chúng tôi áp dụng các kỹ thuật đó cho hệ mạng hợp thành.

Trước hết, ta nhắc lại khái niệm bước tương tranh trên hệ mạng. Giả sử $\Sigma = (B, E; F, c_0)$ là một hệ mạng.

Định nghĩa 2.4.

- 1) Quan hệ $q \subseteq E \times E$ được gọi là quan hệ tách được nếu
 $\forall e_1, e_2 \in E : (e_1, e_2) \in q \Leftrightarrow e_1 \neq e_2 \wedge e_1 \bullet e_2 = \bullet e_1 \cap \bullet e_2 = e_1 \cap \bullet e_2 = e_1 \cap e_2 = \phi$.
- 2) Tập con $G \subseteq E$ được gọi là tập tách được nếu

$$\forall e_1, e_2 \in G, e_1 \neq e_2 \Rightarrow (e_1, e_2) \in q.$$

3) Giả sử c, c' là các trường hợp và G là một tập tách được. Tập G được gọi là một bước trên hệ mạng Σ từ c tới c' khi và chỉ khi mọi biến cố $e \in G$ đều là c -kích hoạt và $c' = (c \setminus \bullet G) \cup G \bullet$. Khi đó ta ký hiệu: $c[G > c'$.

Quan hệ tách được q là đối xứng và không phản xạ (sự-quan hệ). Nếu G là một bước trên hệ mạng thì tất cả các biến cố trong G có thể xảy ra một cách đồng thời với nhau. Việc xác định nhanh chóng các bước tương tranh mang ý nghĩa quan trọng trong điều khiển hệ thống. Lý thuyết vết của A. Mazurkiewicz là một trong những công cụ tốt và chúng tôi đã sử dụng để làm việc này.

Cặp (E, q) được xem như là một bảng chữ cái tương tranh trên hệ mạng Σ . Ta xây dựng quan hệ nhị nguyên \cong trên E^* như sau

$$\forall u, v \in E^* : u \cong v \Leftrightarrow \exists u_1, u_2 \in E^*, \exists (a, b) \in q : u = u_1 a b u_2 \wedge v = u_1 b a u_2.$$

Quan hệ nhị nguyên \equiv trên E^* được lấy là bao đóng phản xạ và bắc cầu của quan hệ \cong . Đây là một quan hệ tương đương. Quan hệ \equiv được gọi là quan hệ tương đương vết trên E^* . Mỗi lớp tương đương của quan hệ này được gọi là một vết trên E^* . Ngôn ngữ vết trên $L(\Sigma)$, ký hiệu là $V(\Sigma)$ thường được dùng để mô tả hành vi tương tranh trên hệ mạng Σ . Mỗi vết biểu diễn một quá trình tương tranh của hệ mạng và dạng chuẩn của vết [1] xác định cho ta dãy các bước tương tranh cực đại trên quá trình này.

2.3. Hệ mạng an toàn

Trong họ các hệ mạng chúng ta đặc biệt quan tâm đến các hệ mạng an toàn, được định nghĩa như sau.

Định nghĩa 2.5. Hệ mạng $\Sigma = (B, E; F, c_0)$ được gọi là an toàn khi và chỉ khi $\forall e \in E, \forall c \in C$:

- 1) $\bullet e \subseteq c \Rightarrow e \bullet \cap c = \phi$;
- 2) $e \bullet \subseteq c \Rightarrow \bullet e \cap c = \phi$;

Với các hệ mạng an toàn, để xem biến cố e có được trường hợp c kích hoạt hay không ta chỉ cần kiểm tra một điều kiện.

Trong [3] đã chỉ ra rằng: mọi hệ mạng đều có thể làm đầy đủ để trở thành hệ mạng đầy đủ tương đương theo nghĩa: hai hệ mạng này sinh ra cùng một ngôn ngữ. Hơn nữa, mọi hệ mạng đầy đủ luôn luôn là an toàn. Ta nhắc lại kỹ thuật làm đầy đủ một hệ mạng.

Giả sử $\Sigma = (B, E; F, c_0)$ là một hệ mạng. Giả sử b và \bar{b} là hai điều kiện nào đó cùng thuộc B . Điều kiện \bar{b} được gọi là bù của điều kiện b nếu $\bullet b = \bar{b} \bullet$ và $b \bullet = \bullet \bar{b}$. Hệ mạng đầy đủ là hệ mạng mà mọi điều kiện của nó đều có bù. Quá trình làm đầy đủ hệ mạng Σ được tiến hành như sau.

Ký hiệu B_0 là tập các điều kiện không có bù trong B .

Xây dựng quan hệ

$$F' = \{(e, \bar{b}) | b \in B_0 \wedge (b, e) \in F\} \cup \{(b, e) | b \in B_0 \wedge (e, b) \in F\}$$

và với mỗi trường hợp $c \in C$ đặt $\varphi(c) = c \cup \{\bar{b} | b \in B_0 \wedge b \notin c\}$. Khi đó, hệ mạng $\bar{\Sigma}_1 = (B \cup \{\bar{b} | b \in B_0\}, E, F \cup F', \varphi(c_0))$ được gọi là đầy đủ của hệ mạng Σ .

2.4. Hợp thành của các hệ mạng

Trước hết ta xây dựng hợp thành cho các hệ mạng an toàn. Giả sử $\Sigma_1 = (B_1, E_1; F_1, c_{01})$ và $\Sigma_2 = (B_2, E_2; F_2, c_{02})$ là hai hệ mạng an toàn. Ta định nghĩa hợp thành của hai hệ mạng này như sau.

Định nghĩa 2.6. Hệ mạng $\Sigma = (B, E; F, c_0)$ với

$$B = B_1 \cup B_2, \quad E = E_1 \cup E_2, \quad F = F_1 \cup F_2$$

và $c_0 = c_{01} \cap (B_1 \setminus B_2) \cup c_{01} \cap c_{02} \cup c_{02} \cap (B_2 \setminus B_1)$, được gọi là hợp thành của hệ mạng Σ_1 với hệ mạng Σ_2 .

Ký hiệu: $\Sigma = \Sigma_1 \oplus \Sigma_2$.

Sự bảo toàn tính an toàn của phép hợp thành trên đã được chỉ ra nhờ định lý sau.

Định lý 2.1. [5] *Nếu Σ_1 và Σ_2 là các hệ mạng an toàn thì hệ mạng hợp thành Σ cũng an toàn.*

Trong trường hợp Σ_1 và Σ_2 là các hệ mạng tùy ý thì có thể hợp thành chúng được không? Trong trường hợp này thì ta làm đầy đủ Σ_1 và Σ_2 trước khi hợp thành và hợp thành của chúng được thực hiện thông qua các hệ mạng đầy đủ tương ứng: $\Sigma_1 \oplus \Sigma_2 := \overline{\Sigma_1} \oplus \overline{\Sigma_2}$.

Như vậy, một hệ mạng luôn có thể điều khiển một hệ mạng khác và cho ta một hệ mạng an toàn. Hơn nữa, ta có thể chỉ ra rằng ngôn ngữ của hệ mạng hợp thành được xác định một cách dễ dàng thông qua các ngôn ngữ của hai hệ mạng thành viên và phép tổ hợp song song trên ngôn ngữ.

3. HÀNH VI TUẦN TỰ VÀ QUAN HỆ TÁCH BIỆT CỦA HỆ MẠNG HỢP THÀNH

3.1. Phép tổ hợp song song của các ngôn ngữ

Với L là một ngôn ngữ nào đó trên bảng chữ cái A , ta ký hiệu \overline{L} là bảng chữ cái nhỏ nhất sinh ra L . Hay nói một cách khác, \overline{L} là tập tất cả các chữ cái có trong ngôn ngữ L . Giả sử L_1 và L_2 là hai ngôn ngữ nào đó.

Định nghĩa 3.1. Tổ hợp song song của hai ngôn ngữ L_1 và L_2 là ngôn ngữ được ký hiệu là $L_1 \# L_2$ và được định nghĩa như sau

$$L_1 \# L_2 = \{x \mid x \in (\overline{L_1} \cup \overline{L_2})^*, x_{\overline{L_1}} \in L_1, x_{\overline{L_2}} \in L_2\}.$$

Giả sử Σ_1 và Σ_2 là các hệ mạng. Hệ mạng Σ_2 điều khiển hệ mạng Σ_1 và cho ta hệ mạng hợp thành $\Sigma_1 \oplus \Sigma_2$. Ngôn ngữ của hệ mạng hợp thành có thể xác định trực tiếp từ ngôn ngữ của các hệ mạng thành viên và phép tổ hợp song song của hai ngôn ngữ nhờ kết quả sau đây.

Định lý 3.1. [5] $L(\Sigma_1 \oplus \Sigma_2) = L(\Sigma_1) \# L(\Sigma_2)$.

Định lý này cho ta một cách xác định nhanh chóng ngôn ngữ - hành vi tuần tự của hệ mạng hợp thành.

3.2. Xấp xỉ quan hệ tách được của hệ mạng hợp thành

Giả sử $\Sigma = (B, E; F, c_0)$ là một hệ mạng và q là quan hệ tách được của hệ mạng này. Ký hiệu $\overline{q} = E \times E \setminus q$ và gọi nó là quan hệ không tách được của hệ mạng Σ . Hiển nhiên, q và \overline{q} là phần bù của nhau.

Giả sử q_1, q_2, q là quan hệ tách được trên các hệ mạng Σ_1, Σ_2 và $\Sigma_1 \oplus \Sigma_2$ một cách tương ứng. Ba quan hệ tách được này có mối quan hệ gì với nhau hay không? Hay nói chính xác hơn, liệu ta có thể xác định được quan hệ q một cách trực tiếp từ các quan hệ q_1 và q_2 không.

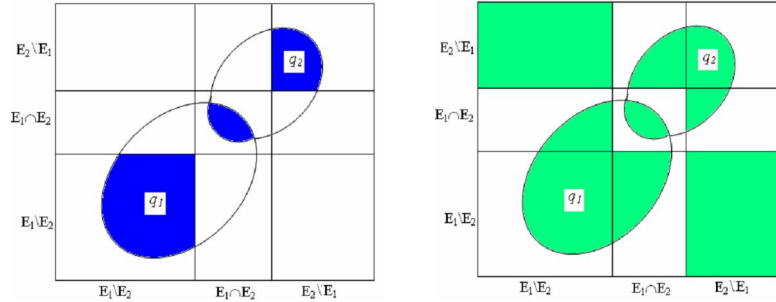
Nếu hai hệ mạng Σ_1 và Σ_2 không giao nhau thì $q = q_1 \cup q_2 \cup (E_1 \setminus E_2) \times (E_2 \setminus E_1)$. Trong

trường hợp ngược lại, khi hai hệ mạng Σ_1 và Σ_2 có chung một số phần tử thì câu hỏi trên vẫn là bài toán mở. Tuy nhiên, trong mọi trường hợp ta vẫn có thể xấp xỉ cho quan hệ tách được q của hệ mạng hợp thành.

Định lý 3.2. Xấp xỉ dưới và xấp xỉ trên cho quan hệ tách được q được xác định như sau

$$q_{\min} = q_1 \cap (E_1 \setminus E_2)^2 \cup q_1 \cap q_2 \cup q_2 \cap (E_2 \setminus E_1)^2 \subseteq q \subseteq \overline{q_1} \cup \overline{q_2} = q_{\max}.$$

Chứng minh. Xấp xỉ dưới và xấp xỉ trên cho quan hệ tách được q được minh họa hình học như sau:



Hình 3.1. a) Xấp xỉ dưới q_{\min}

b) Xấp xỉ trên q_{\max} của quan hệ tách được q

Dễ thấy rằng, $\overline{q_1} \cup \overline{q_2} \subseteq \overline{q}$. Vậy thì, $q \subseteq \overline{q_1} \cup \overline{q_2} = q_{\max}$. Ta đã xác định được xấp xỉ trên q_{\max} của quan hệ tách được q của hệ mạng hợp thành.

Hiển nhiên, $q_1 \cap (E_1 \setminus E_2)^2 \subseteq q$, $q_1 \cap q_2 \subseteq q$ và $q_2 \cap (E_2 \setminus E_1)^2 \subseteq q$. Từ đó suy ra $q_{\min} \subseteq q$. Như vậy, ta cũng đã xác định được xấp xỉ dưới q_{\min} cho quan hệ tách được q . ■

4. HÀNH VI TƯƠNG TRANH CỦA HỆ MẠNG HỢP THÀNH

Bây giờ chúng ta xây dựng hành vi tương tranh của hệ mạng hợp thành. Giả sử $\Sigma_1 = (B_1, E_1; F_1, c_{01})$ và $\Sigma_2 = (B_2, E_2; F_2, c_{02})$ là hai hệ mạng nào đó và $\Sigma = \Sigma_1 \oplus \Sigma_2$ là hệ mạng hợp thành của chúng. Việc tìm hành vi tương tranh theo định nghĩa của hệ mạng Σ và ngay cả của Σ_1 hoặc Σ_2 là một việc làm khó khăn. Ứng dụng lý thuyết vết và các phép biến đổi tương tranh trong [7] ta sẽ tìm được hành vi tương tranh của hệ mạng hợp thành (một cách nhanh chóng). Để làm việc này ta cần phải xác định được ngôn ngữ sinh bởi hệ Σ và quan hệ tách được trên nó. Định lý 3.1 đã cho ta cách xây dựng nhanh ngôn ngữ sinh bởi hệ Σ . Trong trường hợp không xác định được chính xác quan hệ tách được q của hệ mạng hợp thành Σ thì ta sử dụng xấp xỉ dưới q_{\min} của nó. Cặp (E, q) với $E = E_1 \cup E_2$ là một bảng chữ cái tương tranh trên hệ mạng hợp thành Σ . Quan hệ nhị nguyên \cong trên E^* được xây dựng như sau

$$\forall u, v \in E^* : u \cong v \Leftrightarrow \exists u_1, u_2 \in E^*, \exists (a, b) \in q \text{ (hoặc } q_{\min}) : u = u_1 a b u_2 \wedge v = u_1 b a u_2.$$

Quan hệ tương đương vết \equiv trên E^* được lấy là bao đóng phản xạ và bắc cầu của quan hệ \cong . Nghĩa là, $\equiv = (\cong)^*$. Ngôn ngữ vết trên $L(\Sigma)$ sinh bởi quan hệ tương đương \equiv , ký hiệu

bởi $V(\Sigma)$, chính là hành vi tương tranh trên hệ mạng Σ . Mỗi vết biểu diễn một quá trình tương tranh của hệ mạng. Các thuật toán tìm dạng chuẩn của vết [1, 7] trực tiếp từ các từ đại diện của nó sẽ cho ta dãy các bước tương tranh cực đại trên quá trình tương ứng.

Tổng kết lại, ta có thuật toán tìm hành vi tương tranh cho hệ mạng hợp thành $\Sigma = \Sigma_1 \oplus \Sigma_2$ như sau.

Thuật toán 4.1

Dữ liệu: Hai hệ mạng Σ_1, Σ_2 . Các ngôn ngữ $L(\Sigma_1), L(\Sigma_2)$ và các quan hệ tách được q_1, q_2 .

Kết quả: Hành vi tương tranh $V(\Sigma)$ của hệ mạng hợp thành Σ .

Tính toán:

- 1) Xây dựng ngôn ngữ $L(\Sigma) = L(\Sigma_1) \# L(\Sigma_2)$;
- 2) Nếu không xác định đầy đủ được quan hệ tách được q thì chọn xấp xỉ dưới của nó $q_{\min} = q_1 \cap (E_1 E_2)^2 \cup q_1 \cap q_2 \cup q_2 \cap (E_2 E_1)^2$ thay cho q ;
- 3) Tìm dạng chuẩn của mỗi vết với đại diện là các từ trong $L(\Sigma)$ theo Thuật toán 2 hoặc Thuật toán 4 trong [7].

Ví dụ 4.1. Xét hai hệ mạng Σ_1 và Σ_2 được cho như trong Hình 4.1.

Hai hệ mạng trên là an toàn. Hệ mạng Σ_1 có quan hệ tách được và ngôn ngữ như sau:

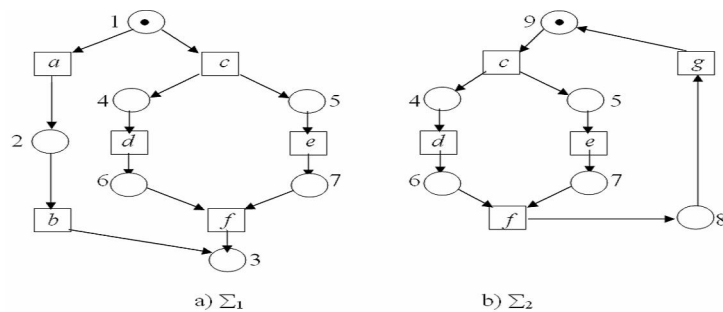
$$q_1 = \{(a, d), (a, e), (a, f), (b, c), (b, d), (b, e), (c, f), (d, e)\};$$

$$L(\Sigma_1) = \{ab, cdef, cdf\}.$$

Hệ mạng Σ_2 có quan hệ tách được và ngôn ngữ là:

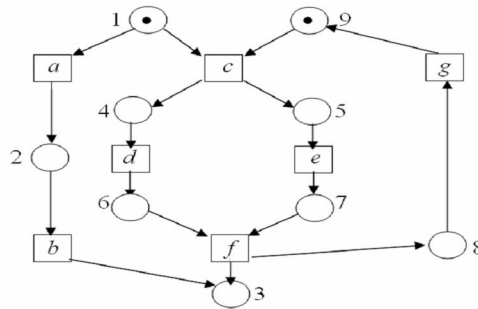
$$q_2 = \{(c, f), (d, e), (d, g), (e, g)\};$$

$$L(\Sigma_2) = \{cdefg, cdfg\}^*.$$



Hình 4.1. Hai hệ mạng Σ_1 và Σ_2

Hợp thành của Σ_1 và Σ_2 là hệ mạng Σ được chỉ ra như trong Hình 4.2 dưới đây.



Hình 4.2. Hệ mạng hợp thành Σ của Σ_1 và Σ_2

Ngôn ngữ sinh bởi hệ mạng hợp thành Σ được xác định theo Định lý 3.1 là $L(\Sigma) = L(\Sigma_1)\sharp L(\Sigma_2) = \{ab, cdefg, cedfg\}$.

Quan hệ tách được q của hệ mạng Σ và các xấp xỉ của nó được xác định nhờ Định lý 3.2 như sau

$$q_{\min} = \{(d, e)\};$$

$$q = \{(a, d), (a, e), (a, f), (a, g), (b, c), (b, d), (b, e), (b, g), (c, f), (d, e), (d, g), (e, g)\};$$

$$q_{\max} = \{(a, d), (a, e), (a, f), (a, g), (b, c), (b, d), (b, e), (b, g), (c, f), (d, e), (d, g), (e, g)\}.$$

Hành vi tương tranh của hệ mạng hợp thành Σ chính là ngôn ngữ vết

$$V(\Sigma) = L(\Sigma)/\equiv = \{[u]_{\equiv} | u \in L(\Sigma)\} = \{[ab]_{\equiv}, [cdefg]_{\equiv}\}.$$

Dạng chuẩn của các vết trong $V(\Sigma)$ là tập hai quá trình tương tranh $\{a; b, c; d||e; g\}$.

Bước tương tranh $\{d, e\}$ được bảo toàn qua phép hợp thành.

Độ phức tạp của Thuật toán 4.1

Sử dụng đồ thị các trường hợp của một hệ mạng Σ để xây dựng ngôn ngữ sinh bởi hệ mạng này, ta thấy $|L(\Sigma)| \leq |C|^2$. Do vậy, bước 1) có độ phức tạp là $O((|C_1| \cdot |C_2|)^2)$. Dễ thấy rằng, bước 2) có độ phức tạp là $O(|E_1 \cup E_2|^2)$.

Bước 3) tìm dạng chuẩn của mỗi vết với đại diện là các từ trong ngôn ngữ $L(\Sigma)$. Mỗi từ (hay chu kỳ hữu hạn của nó) có độ dài không vượt quá $|C_1| \cdot |C_2|$. Vậy bước này có độ phức tạp là $O((|C_1| \cdot |C_2|)^3)$.

Hơn nữa, trong mọi hệ mạng đơn giản thì $|E| \leq |C|$. Do vậy, độ phức tạp tổng thể của Thuật toán 4.1. là $O((|C_1| \cdot |C_2|)^3)$.

5. KẾT LUẬN

Việc xác định đầy đủ hành vi tương tranh của các hệ thống phân tán vẫn là một vấn đề đang được tập trung nghiên cứu. Bài báo trên đã đưa ra một phương pháp xây dựng được một cách nhanh chóng hành vi tương tranh của hệ mạng hợp thành từ hành vi tuần tự của các hệ mạng thành viên. Phương pháp này đã được thuật toán hoá nên dễ dàng cài đặt trên máy tính. Ý tưởng chính của phương pháp là xây dựng ngôn ngữ vết của hệ mạng hợp thành dựa trên ngôn ngữ và quan hệ tách được của các hệ mạng thành viên. Nhờ các thuật toán

biến đổi các quá trình tuần tự thành các quá trình tương tranh đã được đưa ra trong [7], chúng ta đã xây dựng được hành vi tương tranh của hệ mạng hợp thành với các bước tương tranh cực đại một cách trực tiếp từ các hành vi tuần tự của các hệ mạng thành viên.

Quan hệ tách được thể hiện sự độc lập giữa các biến cố của một hệ mạng. Sự độc này là tổng thể đối với mỗi hệ mạng. Trong trường hợp sự độc lập giữa các biến cố mang tính cục bộ thì lý thuyết vết chưa đủ để biểu diễn hành vi. Trong những nghiên cứu tiếp theo, chúng tôi sẽ áp dụng lý thuyết nửa vết mà chúng tôi đang xây dựng để giải quyết cho những tình huống này.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] J. I. Aalbersbeg and G. Rozenberg, Theory of traces, *Theoretical Computer Science* (60) (1988) 1–82.
- [2] L. Alfaro, T. A. Henzinger, and F. Y. C. Mang, *The Control of Synchronous Systems*, LNCS 1877, Springer, 2000 (458–473).
- [3] W. Reisig, *Petri Nets: An Introduction*, Springer-Verlag, 1985.
- [4] Hoàng Chí Thành và P. Proszynski, Sự hợp thành của các quan hệ đồng thời và các mạng đơn được đánh dấu, *Tạp chí Khoa học Tính toán & Điều khiển* **1** (2) (1985) 7–13.
- [5] Hoàng Chí Thành, Behavioural synchronization of net systems, *Proceedings of the India National Seminar on Theoretical Computer Science*, Madras (P. S. Thiagarajan Ed.,) 1991 (136–145).
- [6] Hoàng Chí Thành và Phạm Xuân Đồng, Bài toán điều khiển trên các hệ điều kiện - biến cố có tính thời gian, *Tạp chí Tin học & Điều khiển học* **21** (1) (2005) 84–90.
- [7] Hoàng Chí Thành, Transforming sequential processes of a net system into concurrent ones, *International Journal of Knowledge-based and Intelligent Engineering Systems*, IOS Press, Amsterdam, **11** (6) (2007) 391–397.

Nhận bài ngày 18 - 6 - 2008

Nhận lại sau sửa ngày 10 - 3 - 2009