

TỔNG HỢP HỆ THỐNG ĐIỀU KHIỂN RỜI RẠC ĐIỀU CHẾ HỖN HỢP DỰA TRÊN PHƯƠNG PHÁP TÔPÔ

NGUYỄN CÔNG ĐỊNH

Abstract. This paper introduce dynamic corrersponding graph method based synthesizing optimal discrete controlled systems with combined modulation to fast action criterion. Based on transitional state graphs dynamic graph models describing these systems are formed and algorithm synthesizing the above mentioned systems is also constructed according to the models of these systems in transitional state graphs. The algorithms can be applied on SISO and MIMO discrete systems with combined modulation.

Tóm tắt. Bài báo giới thiệu phương pháp tôpô dựa trên graph động để tổng hợp các hệ thống điều khiển rời rạc điều chế hỗn hợp tối ưu theo tiêu chuẩn tác động nhanh. Các mô hình graph động dựa trên graph các trạng thái quá độ (GTTQĐ) mô tả các hệ thống này được xây dựng và thuật toán tổng hợp tối ưu các hệ thống trên được đưa ra tương ứng với mô hình hệ thống ở dạng GTTQĐ. Thuật toán này có thể áp dụng cho các hệ thống rời rạc một chiều hoặc nhiều chiều điều chế hỗn hợp.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Các hệ thống điều khiển số, các hệ thống có máy tính số trong vòng điều khiển ngày càng được sử dụng nhiều trong các ngành công nghiệp khác nhau như công nghiệp luyện kim, hóa học, chế tạo máy... cũng như trong các khí tài quân sự (thiết bị bay, ra đa). Một lớp hệ thống nhỏ trong lớp các hệ thống đó là hệ thống điều khiển rời rạc với điều chế hỗn hợp.

Đồng thời, các lớp phương pháp đã có (phương pháp biến đổi Z , phương trình sai phân v.v.) không áp dụng được với hệ thống này. Trong tài liệu [3] chúng tôi đã trình bày phương pháp tôpô dựa trên graph động dạng graph các trạng thái quá độ (GTTQĐ) để phân tích động học các hệ thống rời rạc điều chế hỗn hợp có cấu trúc phức tạp. Trong bài báo này chúng tôi trình bày việc phát triển phương pháp graph động để tổng hợp tối ưu hệ thống điều khiển rời rạc điều chế hỗn hợp nhằm góp phần xây dựng công cụ mới để nghiên cứu và thiết kế các hệ thống động học phức tạp.

2. GIẢI BÀI TOÁN TỔNG HỢP TỐI ƯU BẰNG PHƯƠNG PHÁP TÔPÔ

Giả sử cần phải tổng hợp hệ thống điều khiển rời rạc điều chế hỗn hợp tối ưu theo tiêu chuẩn tác động nhanh có đối tượng điều khiển (ĐTĐK) dừng, ổn định và điều kiện ban đầu bằng không. Bài toán tổng hợp tối ưu hệ thống ở đây được đặt ra như sau:

Yêu cầu xác định dãy tín hiệu điều khiển $u^(t)$ trên đầu vào của ĐTĐK dừng, ổn định có khả năng đưa ĐTĐK từ trạng thái ban đầu bằng không vào trạng thái cân bằng mong muốn sau một khoảng thời gian tối thiểu khi có tác động đầu vào dạng hàm bậc thang đơn vị $1(t)$.*

Phương pháp tôpô dựa trên graph động khảo sát các hệ thống điều khiển rời rạc điều chế hỗn hợp có cấu trúc và tham số phức tạp như là các hệ thống có cấu trúc thay đổi [1,3]. Việc nghiên cứu lớp hệ thống kể trên được phân thành nhiều mức (mức macro và mức micro). Hệ thống phức tạp ban đầu được mô tả thành tập hợp hữu hạn các hệ thống con có kích thước nhỏ hơn tương ứng với các trạng thái cấu trúc của hệ thống ban đầu và các hệ thống con này tác động tương hỗ với nhau theo thời gian. Dưới quan điểm hệ thống có cấu trúc động [1] chúng ta có thể phân rã mô hình hệ thống rời rạc phức tạp ban đầu thành tập hợp các phần tử liên hệ riêng biệt. Khi đó bài

toán tổng hợp phức tạp ban đầu trở thành tập hợp các bài toán có kích thước nhỏ hơn tương ứng với các trạng thái cấu trúc của hệ thống ban đầu.

Với bài toán tổng hợp hệ thống rời rạc tối ưu đặt ra ở đây thì hệ thống rời rạc N chiều bậc q điều chế hỗn hợp có thể được đưa từ trạng thái ban đầu bằng không đến trạng thái cân bằng mong muốn sau n chu kỳ rời rạc (với $n = \min$) nhờ luật điều khiển tối ưu cần tìm với giả thiết không có hạn chế biên độ tín hiệu điều khiển. Số lượng chu kỳ rời rạc tối thiểu cần tìm n , theo tài liệu [7], được xác định theo công thức

$$n \geq q/N, \quad (1)$$

trong đó n là số nguyên gần nhất và lớn hơn tỉ số q/N ,

N là kích thước của vector điều khiển,

q là bậc của phương trình vi phân mô tả ĐTĐK.

Đối với các hệ thống có hạn chế biên độ của tín hiệu điều khiển thì số lượng chu kỳ rời rạc tối thiểu sẽ là $n + s$, trong đó s là số chu kỳ rời rạc phát sinh thêm do tín hiệu điều khiển bị hạn chế về biên độ.

Hệ thống rời rạc điều chế hỗn hợp là hệ thống có cấu trúc động và được nghiên cứu trên hai mức động học macro và micro. Để mô tả động học cấu trúc macro của hệ thống chúng ta xây dựng graph động các trạng thái cấu trúc (GTTCT) dựa trên các quan hệ hai vị trí trong lý thuyết tập hợp [3]. GTTCT của hệ thống rời rạc điều chế hỗn hợp được mô tả ở dạng giải tích như sau:

$$\begin{aligned} G &= (S, R_S, R_t), \\ S &= \{S_1, S_2, \dots, S_m\}, \end{aligned} \quad (2)$$

trong đó $R_S : S \rightarrow S$ là tương quan hai vị trí trong tập hợp các trạng thái cấu trúc S ,

$$R_S = \{(S_1, S_2), (S_2, S_3), \dots, (S_m, S_1)\},$$

$$R_t : S \rightarrow t^*, \quad t^* = \bigcup_{i=1}^n t_i,$$

$$t_i = \{\theta_i + kT_i, \theta_i + kT_i + \tau_i\},$$

$$i = \overline{1, p}, \quad k = 0, 1, 2, \dots$$

θ_i là độ vượt pha của phần tử xung (PTX) thứ i ,

T_i là chu kỳ rời rạc của PTX thứ i ,

τ_i là độ dài khoảng thời gian PTX thứ i đóng,

S_k là trạng thái cấu trúc thứ k của hệ thống,

\cup là phép toán hợp trên tập hợp các thời điểm,

p là số lượng các PTX trong hệ thống,

(S_i, S_k) biểu diễn sự chuyển đổi từ trạng thái cấu trúc S_i sang trạng thái S_k .

Các mô hình tô pô của hệ thống điều khiển rời rạc cấu trúc phức tạp điều chế hỗn hợp có cấu trúc nhiều mức. Trên mức micro, để mô tả và nghiên cứu các quá trình động học tương ứng với từng trạng thái cấu trúc chúng ta xây dựng graph động dạng GTTQĐ. GTTQĐ của hệ thống điều khiển rời rạc điều chế hỗn hợp trên mức động học micro dựa trên cơ sở lý thuyết tập hợp tương ứng với trạng thái cấu trúc S_j có dạng giải tích như sau:

$$G_t^{HTj} = G_t^{DVj} \cup G_t^{TDj} \cup G_t^{DCj} \cup G_{tRR}^{LTj} \cup G_{tRK}^{LTj}, \quad (3)$$

trong đó $G_t^{DVj} = G_t^{DVj}(\vec{X}_j, \vec{F}_j, P)$ là mô hình graph của các tác động đầu vào,

$G_t^{TDj} = G_t^{TDj}(\vec{X}_{TD}, \vec{F}_j, P)$ là mô hình graph của các bộ tạo dạng,

$G_t^{DCj} = G_t^{DCj}(\vec{X}_{DC}, \vec{F}_j, P)$ là mô hình graph của các bộ điều chỉnh số,

$G_t^{LTj} = G_t^{LTj}(\vec{X}_{LT}, \vec{F}_j, P)$ là mô hình phần liên tục của hệ thống,

$$= G_{tRR}^{LTj}(\vec{X}^{RR}, \vec{F}_j, P) \cup G_{tRK}^{LTj}(\vec{X}^{RK}, \vec{F}_j, P),$$

\cup là phép toán hợp của tập hợp,

$G_{tRR}^{LT_j}(\bar{X}^{RR}, \bar{F}_j, P)$, $G_{tRK}^{LT_j}(\bar{X}^{RK}, \bar{F}_j, P)$ là graph của các kênh liên hệ trực tiếp và liên hệ chéo nhau tương ứng của ĐTĐK nhiều chiều,

$\bar{X}_f, \bar{X}_{TD}, \bar{X}_{LT}...$ là các tập hợp đỉnh của các graph động tương ứng,

\bar{F}_j là các tập hợp hệ số truyền đạt trên các graph động tương ứng,

P là tập hợp các nhánh trên các graph động tương ứng.

Dựa trên phương pháp bộ khuếch đại có hệ số khuếch đại thay đổi [8] kết hợp với phương pháp tô pô dùng graph động thì các bộ điều chỉnh số cần tổng hợp $D_i(z)$ được mô tả bằng các nhánh graph động dạng GTTQĐ với hệ số truyền đạt thay đổi K_v .

Khi xây dựng xong GTTQĐ của cả hệ thống ở mức động học micro, chúng ta thực hiện chuyển đổi vào vùng thời gian và xây dựng các biểu thức giải tích truy hồi để tính toán các giá trị các biến trạng thái cũng như các giá trị đầu ra của hệ thống tại các thời điểm rời rạc theo giá trị của tín hiệu điều khiển cần tìm trên đầu ra của các bộ điều chỉnh số cần tổng hợp $u'_2(jT^+)$. Các biểu thức giải tích đó có dạng sau

$$\begin{aligned} x_1(jT + t_i) &= \varphi_1[x_1(jT + t_i - T_0), x_2(jT + t_i - T_0), \dots, u'_2(jT + t_i - T_0)] \\ x_2(jT + t_i) &= \varphi_2[x_2(jT + t_i - T_0), x_3(jT + t_i - T_0), \dots, u'_2(jT + t_i - T_0)] \\ &\dots\dots\dots \\ x_m(jT + t_i) &= \varphi_m[x_m(jT + t_i - T_0), u'_2(jT + t_i - T_0)] \end{aligned} \quad (4)$$

Các điều kiện để thỏa mãn tác động nhanh trong hệ thống sẽ có dạng sau:

$$\begin{aligned} y(qT_0) &= x_1(qT_0) = 1, \\ x_2(qT_0) &= x_3(qT_0) = \dots = x_m(qT_0) = 0. \end{aligned} \quad (5)$$

Trong các biểu thức (4) và (5) thì q là bậc phương trình vi phân mô tả phần liên tục của hệ thống, T_0 là chu kỳ lượng tử của PTX dạng một.

Khi $t > qT_0$ thì các tín hiệu sai lệch của hệ thống bằng không và các tín hiệu trên đầu vào các bộ tích phân của hệ thống trong sơ đồ các biến trạng thái cũng bằng không. Tại thời điểm $t = qT_0$ chúng ta có

$$\begin{aligned} x_1(qT_0) &= \psi_1[u'_2(0^+), u'_2(T_0^+), \dots, u'_2(\overline{q-1}T_0^+)] = 1, \\ x_2(qT_0) &= \psi_2[u'_2(0^+), u'_2(T_0^+), \dots, u'_2(\overline{q-1}T_0^+)] = 0, \\ &\dots\dots\dots \\ x_m(qT_0) &= \psi_m[u'_2(0^+), u'_2(T_0^+), \dots, u'_2(\overline{q-1}T_0^+)] = 0, \end{aligned} \quad (6)$$

Giải hệ phương trình (6) chúng ta sẽ nhận được dãy tín hiệu điều khiển tối ưu cần tìm trong hệ thống $u'_2(0^+), u'_2(T_0^+), \dots, u'_2(\overline{q-1}T_0^+)$. Đặt các giá trị của tín hiệu điều khiển tối ưu tìm được vào biểu thức (4) chúng ta sẽ xác định được giá trị đại lượng đầu ra tại các thời điểm rời rạc khác nhau $x_1(T_0), x_1(2T_0), \dots, x_1(\overline{q-1}T_0)$. Trên cơ sở đó hàm truyền đạt $D_i(z)$ của bộ điều chỉnh số cần tổng hợp được xác định ở dạng sau

$$D_i(z) = \frac{u'_2(z)}{u_2(z)} = \frac{\sum_{v=0}^n K_v \cdot u_2(vT_0^+) \cdot z^{-v}}{\sum_{v=0}^n u_2(vT_0^+) \cdot z^{-v}} \quad (7)$$

Các bộ điều chỉnh số tổng hợp được cần phải khả thi về mặt vật lý. Yêu cầu này đặt ra một số điều kiện hạn chế đối với dạng hàm truyền đạt $D(z)$ của bộ điều chỉnh số cần tổng hợp. Hàm truyền đạt $D(z)$ của bộ điều chỉnh số là

$$D(z) = \frac{U(z)}{E(z)} = \frac{u_0 + u_1 z^{-1} + u_2 z^{-2} + \dots + u_m z^{-m}}{e_0 + e_1 z^{-1} + e_2 z^{-2} + \dots + e_n z^{-n}} \quad (8)$$

sẽ khả thi về mặt vật lý, nếu dãy vô hạn

$$D(z) = c_0 + c_1 z^{-1} + c_2 z^{-2} + \dots \quad (9)$$

nhận được do chia đa thức tử số cho đa thức mẫu số không chứa các số hạng có số mũ dương z^{+1} , z^{+2} , z^{+3} , Nói cách khác đi là yêu cầu tín hiệu trên đầu ra của bộ điều chỉnh số được tổng hợp không được vượt trước tín hiệu trên đầu vào của nó.

Với các hệ thống điều khiển rời rạc cấu trúc phức tạp điều chế hỗn hợp sẽ cần giải quyết hai trường hợp sau:

- $qT_0 < \gamma_1 T$: quá trình quá độ (QTQĐ) trong hệ thống kết thúc sau khoảng thời gian nhỏ hơn thời gian đóng của PTX dạng hai $\gamma_1 T$.
- $qT_0 > \gamma_1 T$: QTQĐ trong hệ thống kết thúc sau khoảng thời gian lớn hơn $\gamma_1 T$.

Với trường hợp thứ nhất, việc tổng hợp hệ thống rời rạc với điều chế hỗn hợp được tiến hành giống như quá trình tổng hợp các hệ thống điều khiển rời rạc điều chế dạng một đã trình bày trong các tài liệu [4] và [5]. QTQĐ trong hệ thống sẽ kết thúc trong khoảng thời gian mà PTX dạng hai đóng. Khi PTX này mở ra cũng không phát sinh QTQĐ mới vì khi đó tín hiệu sai lệch cũng như tín hiệu trên đầu vào của các bộ tích phân trong hệ thống bằng không.

Trong trường hợp thứ hai, việc tính toán hệ thống rời rạc với điều chế hỗn hợp có những điểm đặc biệt. QTQĐ trong hệ thống không thể kết thúc trong thời gian đóng của PTX dạng hai. Bởi vậy cần phải nghiên cứu hệ thống khi PTX dạng hai đóng cũng như khi PTX dạng hai mở. Khi đó trên cơ sở GTTQĐ của cả hệ thống chúng ta xây dựng các biểu thức giải tích đối với các khoảng thời gian mà PTX dạng hai mở. Các biểu thức đó có dạng như sau

$$\begin{aligned} x_1(jT + t_k) &= \Phi_1[x_1(jT + t_{k-1}), x_2(jT + t_{k-1}), \dots, x_m(jT + t_{k-1})], \\ x_2(jT + t_k) &= \Phi_2[x_2(jT + t_{k-1}), x_3(jT + t_{k-1}), \dots, x_m(jT + t_{k-1})], \\ &\dots\dots\dots \\ x_m(jT + t_k) &= \Phi_m[x_m(jT + t_{k-1})]. \end{aligned} \quad (10)$$

Khi đó thời gian QTQĐ của hệ thống sẽ tăng lên. Số lượng chu kỳ rời rạc tối thiểu cũng sẽ bằng $q + \gamma$, trong đó γ là số lượng chu kỳ rời rạc phát sinh thêm. Điều kiện đảm bảo tác động nhanh trong hệ thống sẽ có dạng sau

$$\begin{aligned} x_1(\overline{q + \gamma T_0}) &= 1, \\ x_2(\overline{q + \gamma T_0}) &= x_3(\overline{q + \gamma T_0}) = \dots = x_m(\overline{q + \gamma T_0}) = 0. \end{aligned} \quad (11)$$

Chúng ta xây dựng tiếp các biểu thức để tính toán tại thời điểm $t = (q + \gamma)T_0$:

$$\begin{aligned} x_1(\overline{q + \gamma T_0}) &= F_1[u'_2(0^+), u'_2(T_0^+), \dots, u_2(\overline{q + \gamma - 1}T_0^+)] = 1, \\ x_2(\overline{q + \gamma T_0}) &= F_2[u'_2(0^+), u'_2(T_0^+), \dots, u_2(\overline{q + \gamma - 1}T_0^+)] = 0, \\ &\dots\dots\dots \\ x_m(\overline{q + \gamma T_0}) &= F_m[u'_2(0^+), u'_2(T_0^+), \dots, u_2(\overline{q + \gamma - 1}T_0^+)] = 0. \end{aligned} \quad (12)$$

Giải hệ phương trình (12) chúng ta sẽ tìm được dãy tín hiệu điều khiển tối ưu trong hệ thống cần tổng hợp $u'_2(0^+)$, $u'_2(T_0^+)$, ..., $u'_2(\overline{q + \gamma - 1}T_0^+)$. Hàm truyền đạt của bộ điều chỉnh số cần tổng hợp sẽ có dạng (7) với tham số $n = q + \gamma - 1$.

Thuật toán giải bài toán tổng hợp hệ thống rời rạc cấu trúc và tham số phức tạp với điều chế hỗn hợp tối ưu theo tiêu chuẩn tác động nhanh dựa trên phương pháp graph động khi điều kiện ban đầu bằng không và tác động vào dạng hàm bậc thang đơn vị bao gồm các bước sau.

Algorithm:

- Trên quan điểm hệ thống có cấu trúc động xây dựng GTTCT dạng (2) để mô tả động học cấu trúc macro của hệ thống ban đầu.
- Trên mức động học các quá trình trong hệ thống xây dựng GTTQĐ dạng (3) tương ứng với từng trạng thái cấu trúc của hệ thống được khảo sát.

3. Xây dựng GTTQĐ của cả hệ thống gồm cả các bộ điều chỉnh số cần tổng hợp ở dạng các nhánh graph động có hệ số truyền đạt thay đổi có tính đến động học macro của hệ thống được khảo sát.
4. Với trường hợp thứ nhất khi $qT_0 < \gamma_1 T$ tức là QTQĐ trong hệ thống kết thúc sau khoảng thời gian nhỏ hơn thời gian đóng của PTX dạng hai $\gamma_1 T$ thì việc tổng hợp hệ thống rời rạc điều chế hỗn hợp được thực hiện giống như đối với hệ thống rời rạc điều chế dạng một trong các tài liệu [4] và [5].
5. Trong trường hợp thứ hai khi $qT_0 > \gamma_1 T$ nghĩa là QTQĐ trong hệ thống kết thúc sau khoảng thời gian lớn hơn $\gamma_1 T$ thì số lượng chu kỳ rời rạc tối thiểu sẽ bằng $q + \gamma$ với γ là số chu kỳ rời rạc phát sinh thêm. Xây dựng các biểu thức giải tích đối với các khoảng thời gian mà PTX dạng hai mở ở dạng (10). Xây dựng và giải hệ phương trình dạng (12) có tính đến điều kiện đảm bảo tác động nhanh (11) trong hệ thống ta sẽ tìm được dãy điều khiển tối ưu cần tổng hợp $u'_2(0^+)$, $u'_2(T_0^+)$, ..., $u'_2(q + \gamma - 1T_0^+)$.
6. Hàm truyền đạt của bộ điều chỉnh số cần tổng hợp được xác định ở dạng (7) với tham số n tương ứng với từng trường hợp kể trên.

3. KẾT LUẬN

Chúng tôi đã phát triển phương pháp tô pô dựa trên graph động để giải bài toán tổng hợp các hệ thống điều khiển rời rạc điều chế hỗn hợp tối ưu theo tiêu chuẩn tác động nhanh và đề ra các bước cụ thể của thuật toán tổng hợp hệ thống.

Điểm đặc biệt của thuật toán tổng hợp đưa ra ở đây gắn liền với đặc thù của lớp hệ thống được nghiên cứu, đó là trường hợp khi quá trình quá độ trong hệ thống không thể kết thúc trong thời gian đóng của phần tử xung dạng hai. Phương pháp đưa ra ở đây có thể áp dụng cho các hệ thống rời rạc một chiều hoặc nhiều chiều, các hệ thống có chế độ làm việc phức tạp của phần xung.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Emelianov S. V., *Theory of Variable Structure System* (Russian), Moscow, Science, 1967, 590 pp.
- [2] Gene F. Franklin, J. David Powell, Michael L. Workman, *Digital Control of Dynamic System*, Addison-Wesley Publishing Company, Inc. 1990, 841 pp.
- [3] Nguyễn Công Định, Mô hình hóa các hệ thống điều khiển rời rạc với điều chế hỗn hợp trên cơ sở graph động, *Tạp chí Khoa học và Kỹ thuật, Học viện Kỹ thuật quân sự*, số 75 (1996) 27–34.
- [4] Nguyễn Công Định, Tổng hợp các hệ thống điều khiển rời rạc trên cơ sở graph động, *Tuyển tập các báo cáo khoa học của Hội nghị toàn quốc lần thứ hai về Tự động hóa*, Hà Nội 3-1996, 112–121.
- [5] Nguyễn Công Định, Nguyễn Chí Thanh, Một phương pháp tổng hợp tối ưu các hệ thống rời rạc có điều kiện đầu khác không, *Tuyển tập các báo cáo khoa học của Hội nghị quốc tế về ô tô*, Hà Nội, 1999, 181–187.
- [6] Richard C. Dorf, Robert H. Bishop., *Modern Control Systems*, Addison-Wesley Publishing, 1995, 811 pp..
- [7] Satalov A. C., Barkovski B. B., *Method Synthesizing Control System* (Russian), Moscow, Masinoc-troenie, 1981, 280 pp.
- [8] Tu Liuc, *Modern Control Theory* (Russian), Moscow, Masinoc-troenie, 1971, 470 pp.

Nhận bài ngày 22-2-2001