

**CẤU TRÚC CỦA HỆ ĐIỀU KHIỂN TỐI ƯU VÀ VẤN ĐỀ VỀ HỆ THỐNG CÓ PHẢN HỒI -
ỨNG DỤNG TRONG BÀI TOÁN ĐIỀU KHIỂN TÀU TIẾP CẬN**
THE STRUCTURE OF OPTIMAL CONTROL SYSTEM AND THE PROBLEM OF FEEDBACK -
THE APPLICATION FOR SHIP CONTROL IN CLOSED APPROACH

TS. NGUYỄN XUÂN PHƯƠNG, PGS.TS. VŨ NGỌC BÍCH
Trường ĐHGTVT TP Hồ Chí Minh

Tóm tắt

Bài báo trình bày cấu trúc của hệ điều khiển tối ưu và vấn đề về hệ thống có phản hồi và ứng dụng của chúng vào bài toán điều khiển tàu tiếp cận. Cụ thể là cấu trúc “mở” của bài toán tối ưu tác động nhanh và cấu trúc tối ưu tác động nhanh của hệ thống điều khiển có thông tin phản hồi. Các tác giả đã chứng minh quá trình lặp, là quá trình có thể được sử dụng để xác định luật điều khiển tối ưu tác động nhanh.

Từ khóa: cấu trúc “mở”, cấu trúc tối ưu tác động nhanh, quá trình lặp.

Abstract

This paper presents the structure of optimized control system and problems feedback system and their applications for ship control in closed approach. Specifically, the “open” structure of the quick optimization problem and structure of optimal fast impact acting of control system with feedback. The authors have demonstrated the iterative process that can be used to determine the quick impact optimal control.

Key words: “open” structure, structure of optimal fast impact, iterative process.

1. Mở đầu

Để xây dựng luật điều khiển tàu tiếp cận, tại nghiên cứu trước, các tác giả đã trình bày kết quả bài toán về bộ điều tốc tối ưu tác động nhanh đối với hệ thống tuyến tính có tham số không đổi [10]. Còn trong bài báo này các tác giả sẽ xét quá trình lặp, là quá trình có thể được sử dụng để xác định luật điều khiển tối ưu tác động nhanh. Những khó khăn trở ngại có liên quan đến phương pháp lặp đã cho sẽ được xem xét. Tuy nhiên các cách giải bằng phương pháp lặp sẽ không được nghiên cứu sâu, bởi chúng được coi là nằm ngoài phạm vi nghiên cứu của một vấn đề mang tính ứng dụng. Các tác giả sẽ xét ở đây vai trò và công dụng của hệ thống có phản hồi.

2. Cấu trúc của hệ điều khiển tối ưu và vấn đề về hệ thông tin phản hồi và ứng dụng của chúng vào bài toán điều khiển tàu tiếp cận

2.1. Cấu trúc “mở” của bài toán tối ưu tác động nhanh

Khi xét bài toán về bộ điều tốc tối ưu tác động nhanh đối với hệ thống tuyến tính có tham số không đổi, hệ $\dot{x}(t) = Ax(t) + Bu(t)$ được coi là hệ chuẩn tắc và luật điều khiển tối ưu tác động nhanh là có tồn tại (và là trình độ nhất [1÷3], [5]). Dưới đây từng quá trình lặp sẽ được mô tả từng bước, để theo đó ta có thể giải bài toán này.

Cho hệ tuyến tính chuẩn tắc có các hệ số là hằng số như sau:

$$\dot{x}(t) = Ax(t) + Bu(t), \quad x(0) = \xi \tag{1}$$

Với: Trạng thái hệ $x(t)$ là vectơ n chiều; ma trận hệ thống A là ma trận không đổi có thứ nguyên bằng $n \times n$; ma trận các hệ số trong các hàm điều khiển (“tăng cường”) B , là ma trận không đổi có thứ nguyên bằng $n \times r$; luật điều khiển $u(t)$ là vectơ r chiều; trạng thái đầu tiên của hệ thống ξ .

Và cũng cho trước các điều kiện giới hạn đối với luật điều khiển:

$$|u_j(t)| \leq 1, \quad j = 1, 2, \dots, r \text{ đối với mọi } t \tag{2}$$

Để tìm được luật điều khiển tối ưu đưa ξ về 0, ta có thể làm như sau:

Bước 1. Quy ước kí hiệu giá trị ban đầu khác không chưa biết của biến bổ sung bằng η , sao cho:

$$\langle \xi, \eta \rangle \geq 0 \tag{3}$$

Bước 2. Tính vec-tơ bổ sung $p(t)$ theo hệ thức:

$$p(t) = e^{-A't} \eta \quad (4)$$

Bước 3. Tính các biến điều khiển $u_1(t), u_2(t), \dots, u_r(t)$ theo phương trình:

$$u_j(t) = -\text{sign}\{\langle b_j, p(t) \rangle\} \quad (5)$$

Bước 4. Giải phương trình (1) với trạng thái ban đầu ξ và luật điều khiển đã tính được ở bước 3. Do η chỉ xác định duy nhất vec-tơ điều khiển, còn ξ chỉ duy nhất xác định quỹ đạo (trong luật điều khiển đã cho), nên trạng thái ở từng thời điểm sẽ là hàm của cả ξ , và η . Để nhấn mạnh mối liên hệ phụ thuộc đó, nghiệm của phương trình (1) được ký hiệu bằng đại lượng:

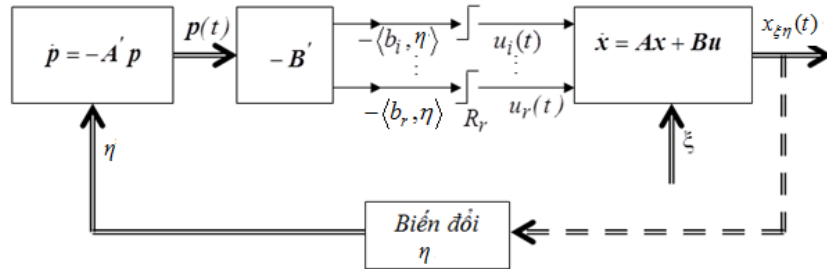
$$x_{\xi, \eta}(t) \quad (6)$$

Bước 5. Tính $x_{\xi, \eta}(t)$. Nếu tồn tại một T là thời gian để đưa ξ về 0, sao cho:

$$x_{\xi, \eta}(T) = 0 \quad (7)$$

thì luật điều khiển tìm được trong bước 3 sẽ cực trị và theo [6, 7] nó cũng sẽ là trình tối ưu tác động nhanh. Nếu điều kiện (7) không được thỏa mãn, thì cần phải thay đổi η trong bước 1 và làm nhắc lại toàn bộ quá trình, cho đến khi thỏa mãn được điều kiện đó mới thôi. Quá trình cuối đó cũng chính là quá trình lặp, bởi vì để tìm được luật điều khiển tối ưu tác động nhanh thì cần phải thay đổi giá trị ban đầu của η rất nhiều lần. Các giá trị đầu tiên và tiếp theo của η cần phải sao cho, để hệ thức (3) có thể thực hiện được [7], [9].

Toàn bộ trình tự tính toán từ bước 1 đến bước 5 đã được thể hiện trên hình 1 dưới dạng biểu đồ - khối. Các mũi tên kép mô tả “bước đi” của các tín hiệu vec-tơ, còn các mũi tên đơn - là chỉ các tín hiệu tích vô hướng. Biểu tượng “role” được dùng để kí hiệu phép toán “sign”. Các đầu ra của “role” R_1, R_2, \dots, R_r chính là những biến điều khiển $u_1(t), u_2(t), \dots, u_r(t)$. Block có kí hiệu “biến đổi η ” sẽ làm nhiệm vụ “đẩy ra” hay loại trừ $x_{\xi, \eta}(t)$ và sau một thời gian “vừa đủ” nào đó nó sẽ quyết định có nên đưa và hệ thống giá trị mới của η hay không.



Hình 1. Cấu trúc “mở” của bài toán tối ưu tác động nhanh

Trong quá trình đó sẽ nảy sinh hai vấn đề là:

1. Cần chờ đợi bao lâu trước khi thay đổi η ?
2. Phải chọn thế nào giá trị mới của η , khi phải dựa vào các giá trị đã sử dụng trước đó và giá trị khẩu độ “trượt” giữa $x_{\xi, \eta}(t)$ và 0?

Câu trả lời cho những câu hỏi đó chính là đối tượng của nhiều nghiên cứu khảo nghiệm dựa trên các phương pháp lặp; các phương pháp cuối đó ta không xét tới, vì chúng đã vượt ra ngoài phạm vi của nghiên cứu. Bởi vì những phương pháp đó rất phức tạp và yêu cầu phải có cả một trung tâm máy tính với dung lượng bộ nhớ rất lớn và tốc độ xử lí cao để phục vụ.

2.2. Cấu trúc tối ưu tác động nhanh của hệ thống điều khiển có phản hồi

Phương pháp đã xét ở trên là phương pháp điều khiển không có thông tin phản hồi. Nói cách khác, với trạng thái ban đầu cho trước, ta cần phải tìm một luật điều khiển tối ưu tác động nhanh $u^*(t)$, phụ thuộc vào trạng thái ban đầu ξ và thời gian t . Đó là luật điều khiển không bị phụ thuộc vào các giá trị

hiện thời của $x(t)$ khi $t > 0$. Nhược điểm về luật điều khiển không có thông tin phản hồi người ta đã biết nhiều. Trở ngại bổ sung liên quan đến dạng tính toán này bao gồm như sau. Giả sử các giá trị riêng của ma trận hệ A có những phần số âm thực tế đáng kể, nghĩa là hệ thống ổn định. Lúc đó hệ động học kèm theo $\dot{p}(t) = -A' p(t)$ sẽ không ổn định, bởi vì các giá trị riêng của ma trận $-A'$ lại có các phần tử đáng kể. Như vậy, “sai lệch” nhỏ trong giá trị ban đầu của tham biến bổ sung của η sẽ “lớn lên” theo chiều tăng thời gian và có thể làm cho luật điều khiển đã tính toán có những sai lệch lớn so với giá trị tối ưu. Do đó điều bổ ích là nên nghiên cứu xem có thể thu được một luật điều khiển tối ưu tác động nhanh $u^*(t)$ (trong khoảng thời gian t) như một hàm trạng thái $x^*(t)$ (trong cùng khoảng thời gian t đó) hay không. Nếu điều đó là có thể, thì lúc đó ta sẽ thu được một hệ tối ưu có thông tin phản hồi, với đặc điểm là nó hoàn toàn có thể được xác định bởi trạng thái của nó ở bất kì thời điểm nào.

Như vậy là có tồn tại một “hàm chuyển vị” $h[x^*(t)]$ như thế [1], [2], sao cho luật điều khiển tối ưu tác động nhanh $u^*(t)$ có thể được biểu diễn bằng công thức:

$$u^*(t) = -SIGN\{h[x^*(t)]\} \quad (8)$$

Và phương trình (8) thường được gọi là định luật điều khiển với thông tin phản hồi. Tiếp theo ta tiến hành khẳng định phương trình (8) bằng phương pháp heuristic [5], [9] sử dụng kinh nghiệm.

Giả sử $x^*(t)$ - Là trạng thái trên quỹ đạo tối ưu đi từ ξ về 0, τ là thời gian cực tiểu, kí hiệu $p^*(t)$ là giá trị của tham biến bổ sung tại cùng thời điểm đó. Lúc đó rõ ràng là hệ thức sau sẽ được thỏa mãn:

$$x^*(T^*) = 0 = e^{A(T^*-t)} \left[x^*(t) - \int_t^{T^*} e^{-A(\tau-t)} B' p^*(\tau) d\tau \right] \quad (9)$$

Bởi vì ma trận $e^{A(T^*-t)}$ không suy biến, cho nên:

$$x^*(t) = \int_t^{T^*} e^{-A(\tau-t)} B' p^*(\tau) d\tau \quad (10)$$

Tuy nhiên

$$p^*(\tau) = e^{-A'(\tau-t)} p^*(t), \quad \tau \geq t \quad (11)$$

Thời gian $T^* - t$, là thời gian cần để chuyển dịch $x^*(t)$ về 0, sẽ phải là một hàm số của $x^*(t)$, nghĩa là:

$$T^* = t - \alpha[x^*(t)] \quad (12)$$

Trên cơ sở của (12) và (11) có thể đi đến kết luận là, biểu thức (10) sẽ quyết định sự tương quan giữa $x^*(t)$ và $p^*(t)$, mà nó có thể viết dưới dạng như sau:

$$p^*(t) = p^*[x^*(t)] \quad (13)$$

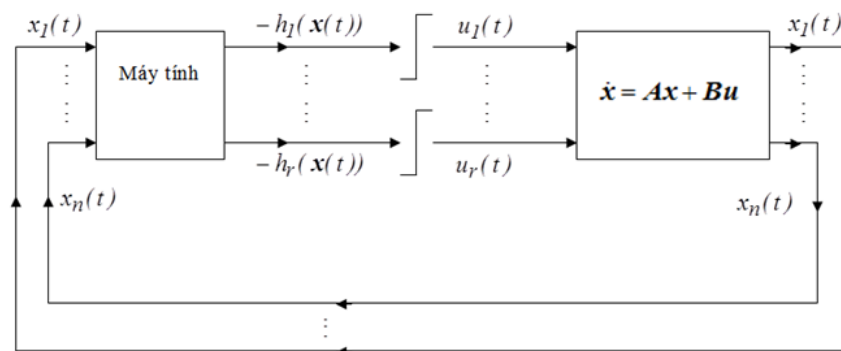
Vì $n^*(t) = -SIGN\{B' p^*(t)\}$, nên từ các công thức (12) và (8) ta được:

$$h[x^*(t)] = B' p^*[x^*(t)] \quad (14)$$

Như vậy, sự tồn tại của hàm chuyển vị đã được chứng minh. Và mọi bài toán đang xét đều liên quan đến vấn đề phải tìm hàm chuyển vị đó. Còn hàm chuyển vị thì luôn được xác định nhờ vào “siêu mặt chuyển vị” trong không gian trạng thái (hay tọa độ pha) của hệ thống [4].

Sơ đồ khối của hệ tối ưu có phản hồi đã được thể hiện hình 2. Các hàm số $x_1(t), x_2(t), \dots, x_n(t)$ luôn được đo tại mỗi thời điểm và được đưa vào máy tính. Đầu ra của máy tính là các hàm chuyển vị

$h_1[x(t)], h_2[x(t)], \dots, h_r[x(t)]$, mà sau đó chúng được đưa tới các role (Ideal relay) R_1, R_2, \dots, R_r để thu nhận các biến điều khiển tối ưu tác động nhanh.



Hình 2. Cấu trúc tối ưu tác động nhanh của hệ thống điều khiển có phản hồi [8]

Việc tiếp nhận các hàm $h_1[x(t)], \dots, h_r[x(t)]$ và khai triển thực hiện chúng sẽ chính là cơ sở của bài toán về luật điều khiển tối ưu tác động nhanh [8].

3. Kết luận

Thông qua giải bài toán về bộ điều tốc tối ưu tác động nhanh đối với hệ thống tuyến tính có tham số không đổi, mà tại đó hệ $\dot{x}(t) = Ax(t) + Bu(t)$ được coi là hệ chuẩn tắc và luật điều khiển tối ưu tác động nhanh là có tồn tại. Quá trình lặp để giải bài toán với năm bước, phương pháp điều khiển không có phản hồi và cấu trúc tối ưu tác động nhanh của điều khiển có phản hồi đã được xem xét. Việc so sánh hai phương pháp đã cho thấy sự tồn tại của hàm chuyển vị, đó chính là ứng dụng vào bài toán điều khiển tàu tiếp cận. Một số phương pháp tìm kiếm các hàm chuyển vị và sự mô tả các dạng hàm phi tuyến cần thiết cho triển khai kĩ thuật các hệ thống tối ưu tác động nhanh sẽ được các tác giả trình bày trong nghiên cứu tiếp theo.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Кулибанов Ю. М. *Оптимизация эксплуатационных режимов работы дизельных энергетических установок судов внутреннего плавания*. Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук. -Л. 1990. с.
- [2] Кулибанов Ю. М. *Основы системотехники*. Учебное пособие. - Л.: ЛИВТ, 1988. - 46 с.
- [3] Кулибанов Ю. М. *Судно как объект многосвязного регулирования при оптимальном управлении главными двигателями*. Тр. ин-та: Экономика и организация перевозок. ЛИВТ. - 1966. часть I. - с. 78 - 88.
- [4] Кулибанов Ю. М., Кулибанов М. Ю. *Групповое поведение в системах человек-машина*. Сб. научных трудов "190 лет транспортного образования" СПб.: СПГУВК, 1999. с.184-188.
- [5] Kose, K. (1982) *On a New Mathematical Model of Maneuvering of A Ship and Its Applications*. International Shipbuilding Progress, 336. pp. 201-219.
- [6] Кулибанов Ю. М., Кулибанов М. Ю. *Особые управления в человеко-машинных системах оптимизации расхода топлива*. Сб. научных трудов "Методы прикладной математики в транспортных системах" выпуск II, СПб.: СПГУВК, 1998. с. 78-83.
- [7] Маслов Ю.В. *Энергосберегающие технологии в управлении движением судов на внутренних водных путях*. СПб.: Судостроение, 2004 г., 245 с.
- [8] Болнокин В.Е., Хо Дак Лок, Данг Ван Уи. *Адаптивные системы управления на базе нечетких регуляторов и нейросетевой технологии*, монография, издание третье, расширенное и дополненное, М.: издательство ИИНТЕЛЛ, 2011, 428 с.
- [9] Сеитов Г. Д. *Задачи о встрече движений. "Математическое и информационное обеспечение автоматизированных систем"*. Сборник научных трудов, выпуск 12, СПб, 2004 г., с. 149-152.

- [10] Nguyen Xuan Phuong, Vu Ngoc Bich. *Objectives of Meeting Movement - Application for Ship in Maneuvering*. *International Journal of Mechanical Engineering and Applications*. Vol. 3, No. 3-1, 2015, pp. 49-56.