

ĐIỀU KHIỂN TỐI ƯU TOÀN PHƯƠNG TUYẾN TÍNH CHUYỂN ĐỘNG TÀU THỦY LINEAR QUADRATIC OPTIMAL SHIP MOTION CONTROL

NCS. NGUYỄN HỮU QUYÊN
PGS.TS. TRẦN ANH DŨNG; PGS.TS. PHẠM KỶ QUANG
Trường ĐHHH Việt Nam

Tóm tắt

Bài báo đề cập tới vấn đề nghiên cứu mô hình toán, đánh giá trạng thái ổn định của tàu thủy trong quá trình chuyển động. Trên cơ sở phương pháp điều khiển tối ưu dạng toàn phương tuyến tính thiết kế bộ điều khiển phản hồi trạng thái nhằm nâng cao ổn định và tối ưu năng lượng cho chuyển động tàu thủy.

Abstract

The article refers to the mathematical model research problems, assess ship stability motion. On the basis of the linear quadratic optimal control method design space feedback controller in order to improve stability and optimal energy ship motion control.

Key words: Ship stability, linear quadratic control, optimal energy ship motion control.

1. Đặt vấn đề

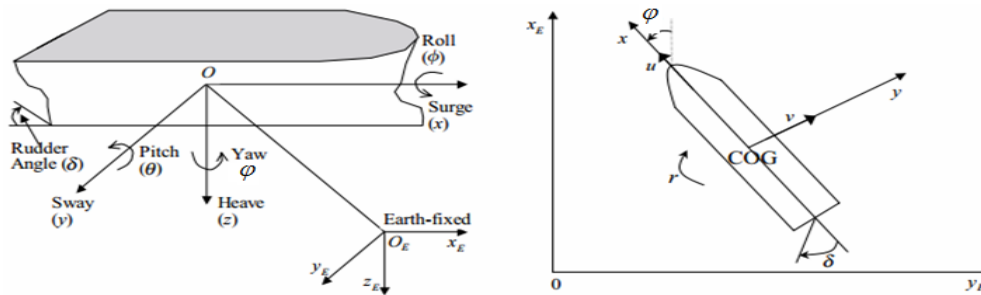
Tàu thủy là đối tượng hoạt động dưới nước, môi trường hoạt động phức tạp, chịu sự tác động của các yếu tố ngẫu nhiên, như: Sóng, gió, dòng chảy,... Động lực học tàu thủy được áp dụng bởi định luật Newton trong đó coi tàu thủy như vật rắn chuyển động trong môi trường chất lỏng và chuyển động của tàu thủy có 6 bậc tự do DOF (*Degree Of Freedom*). Phương trình toán mô tả chuyển động tàu thủy là phương trình vi phân bậc cao, xét về tính chất động học của tàu thủy ta thấy đối tượng có tính chất động học như: Quá trình dao động, thời gian quá độ dài, độ dự trữ ổn định thấp [2]...

Tổng hợp những bài toán nghiên cứu về điều khiển chuyển động tàu thủy cho thấy mục tiêu điều khiển chính của các bài toán là luôn ổn định hướng đi và quỹ đạo cho trước (trong bài toán điều khiển ổn định theo hướng và quỹ đạo). Chưa đặt nhiều mục tiêu đến vấn đề khi ổn định hướng và quỹ đạo như vậy thì chất lượng động học của hệ thống (quá trình quá độ, thời gian quá độ, độ dự trữ ổn định,...) như thế nào. Năng lượng điều khiển bỏ ra là nhiều hay ít và đã tối ưu hay chưa [5]. Nhất là trong điều kiện khai thác tàu thủy hiện nay thì vấn đề tiết kiệm năng lượng ngày càng được quan tâm.

2. Nội dung

2.1. Mô hình toán mô tả chuyển động tàu thủy

Hình 1 mô tả chi tiết thành phần chuyển động và tham số động học tàu thủy trên các trục theo 6 bậc tự do DOF, cụ thể như sau:



Hình 1. Thành phần chuyển động, tham số động học của tàu thủy

Các thành phần chuyển động và tham số động học mô tả trên hệ trục như sau:

- Trượt dọc theo trục x gồm có: x_G - Sự dịch chuyển trọng tâm tàu theo chiều dọc, u - Tốc độ dịch chuyển theo chiều dọc, ϕ - Góc nghiêng, $\dot{\phi} = p$ - Vận tốc góc của lắc ngang.
 - Trượt ngang theo trục y gồm có: y_G - Sự dịch chuyển trọng tâm tàu theo chiều ngang, v - Tốc độ dịch chuyển theo chiều ngang, θ - Góc chênh, $\dot{\theta} = q$ - Vận tốc lắc dọc.
 - Trượt ngang theo trục z gồm có: z_G - Sự dịch chuyển trọng tâm tàu theo chiều thẳng đứng, $\dot{\phi} = r$ - Tốc độ quay trở.
 - x_G, y_G, z_G - Tọa độ điểm trọng tâm của tàu.
- Chuyển động cân bằng tàu thủy ở mọi vị trí được thể hiện theo (1) [2]:

$$M \cdot \dot{v} + C(v)v + D(v)v + g(\eta) = \tau \quad (1)$$

Trong đó: η - Vectơ vị trí, để định hướng với hệ qui chiếu Trái đất (n-frame), V - Vectơ vận tốc hướng, vận tốc góc, M - Ma trận quán tính, $C(v)$ - Ma trận Coriolis, $g(\eta)$ - Véc tơ lực và mômen trọng lực, τ - Vectơ lực và mômen của tín hiệu điều khiển.

Mô hình không gian trạng thái tuyến tính mô tả động học tàu thủy khi không có tác động của nhiễu có dạng sau [4]:

$$\dot{x} = Ax + Bu \quad (2)$$

Trong đó: $x = [u \ v \ r \ p \ \phi \ \varphi]$; A, B - Ma trận hệ số; $u = \delta$ - Tín hiệu điều khiển; δ - Góc quay bánh lái. Phương trình (2) có thể được viết như sau:

$$\begin{bmatrix} \dot{v} \\ \dot{r} \\ \dot{p} \\ \dot{\phi} \\ \dot{\varphi} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & a_{14} & 0 \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & a_{24} & 0 \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} & a_{34} & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v \\ r \\ p \\ \phi \\ \varphi \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \\ b_3 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} [\delta] \quad (3)$$

Trong đó: a_{ij}, b_{ij} là các hệ số phụ thuộc vào động lực tàu, và được xác định theo các thông số của tàu.

Phương trình (3) là phương trình không gian trạng thái dạng tuyến tính của tàu thủy dùng để tổng hợp bộ điều khiển chuyển động tàu thủy khi không có nhiễu tác động. Xét đối tượng tàu có các thông số như sau: Chiều dài $L = 175,0$ (m), chiều rộng ở giữa $B = 25,4$ (m), lượng giãn nước $W = 21222(m^3)$, Tốc độ lớn nhất $u = 14$ Knots. Với các hệ số a_{ij}, b_{ij} được tính có giá trị như bảng 1.

Bảng 1. Giá trị các hệ số a_{ij}, b_{ij} [3]

stt	Hệ số	Giá trị	stt	Hệ số	Giá trị
1	a_{11}	-0,046	9	a_{31}	-0,0010
2	a_{12}	-1,9614	10	a_{32}	0,0147
3	a_{13}	0,2137	11	a_{33}	-0,1163
4	a_{14}	0,1336	12	a_{34}	-0,0006
5	a_{21}	0,0011	13	b_1	-0,0600
6	a_{22}	-0,1326	14	b_2	-0,0035
7	a_{23}	-0,1246	15	b_3	-0,0026
8	a_{24}	-0,0331			

Từ mô hình toán (3) nhận xét rằng: Với các hệ số a_{ij}, b_{ij} như bảng 1 của ma trận đặc tính A xét sự phân bố các điểm cực ta thấy sự phân bố điểm cực trên mặt phẳng phức làm cho đối tượng có chất lượng động học không tốt (dạng số phức $s = a + bi$) nó làm cho đối tượng có quá trình quá độ dao động, thời gian quá độ dài dẫn tới đối tượng ổn định kém. Tất cả các biến trạng thái (đặc trưng cho tính chất động học): Trượt ngang (v), tốc độ quay trở (r), góc nghiêng (ϕ), tốc độ lắc ngang (p), góc hướng (φ) đều phụ thuộc vào độ lớn góc bẻ lái (δ) trong quá trình giữ hướng và truy theo quỹ đạo. Trong đó thông số góc nghiêng và tốc độ lắc ngang là hai thông số ảnh hưởng đến tính ổn định tàu. Mặt khác độ lớn góc bẻ lái (δ) trong quá trình giữ hướng và truy theo quỹ đạo quyết định đến năng lượng bỏ ra điều khiển. Do vậy cần có sự tổng hợp bộ điều khiển để tối ưu năng lượng điều khiển và nâng cao chất động học cho đối tượng.

2.2. Bài toán điều khiển tối ưu dạng toàn phương

Bài toán điều khiển tối ưu dạng toàn phương là thiết kế bộ điều khiển trạng thái dựa trên phương trình trạng thái quen thuộc của đối tượng ở dạng phương trình Cauchy [5]:

$$\dot{x} = Ax + Bu \quad (4)$$

và điều kiện cực tiểu hàm chỉ tiêu chất lượng dạng toàn phương:

$$Q = 0.5 \int_0^{\infty} (x^T Q x + u^T R u) dt \rightarrow \min \quad (5)$$

Trong đó: x - Véc tơ trạng thái ($n \times 1$); u - Véc tơ điều khiển ($m \times 1$); A, B - Các ma trận hệ số không đổi; Q, P - Các ma trận trọng số, được xác định dựa vào hàm chỉ tiêu chất lượng Q .

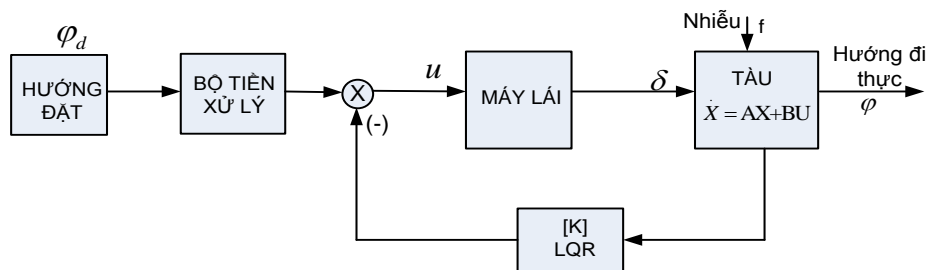
Bộ điều khiển tối ưu được xác định như sau: $K = R^{-1} B^T P$. Trong đó ma trận P được xác định từ phương trình Riccati (6) [1].

$$A^T P + PA + Q - PBR^{-1}B^T P = 0 \quad (6)$$

Luật điều khiển tối ưu sau khi xác định bộ điều khiển có dạng: $u = -Kx$.

2.3. Tổng hợp bộ điều khiển tối ưu hệ điều khiển chuyển động giữ hướng tàu thủy

Hệ điều khiển tối ưu dạng toàn phương tuyến tính LQR (Linear Quadratic Regulator) trong chế độ điều khiển giữ hướng tàu thủy có cấu trúc như hình 2. Với các hệ số của các ma trận A, B đã được xác định phụ thuộc vào thông số của tàu cho như bảng 1.



Hình 2. Cấu trúc hệ thống điều khiển tối ưu giữ hướng sử dụng điều khiển LQR

Trong đó: φ_d - Hướng đi đặt, φ - Hướng đi thực của tàu. Bộ điều khiển tối ưu phản hồi trạng thái LQR được tổng hợp theo phương pháp tối ưu dạng toàn phương tuyến tính (mục 2.2) với ma trận trọng số Q, R như sau:

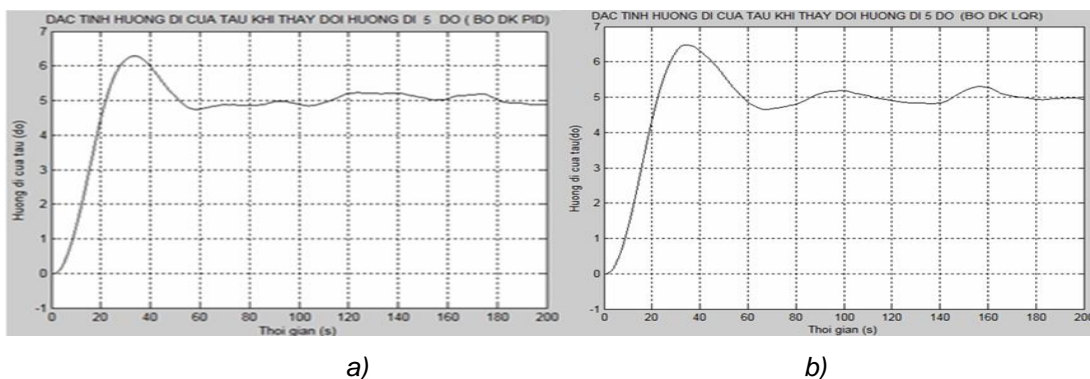
$$Q = \begin{bmatrix} 1000 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 8860 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1830 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 24 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, R = 5$$

Kết quả tính được bộ điều khiển phản hồi K với giá trị các hệ số như sau:

$$K = [-0.1440 \quad 16.1082 \quad 6.7620 \quad 1.1066 \quad 0.4471]$$

2.4. Kết quả mô phỏng

Kết quả mô phỏng quá trình động học tàu thủy trong trường hợp sử dụng bộ điều khiển PID và trường hợp sử dụng bộ điều khiển LQR khi thay đổi hướng đi tàu HT = 05°, tốc độ tàu $V_t = 12.3$ knots.

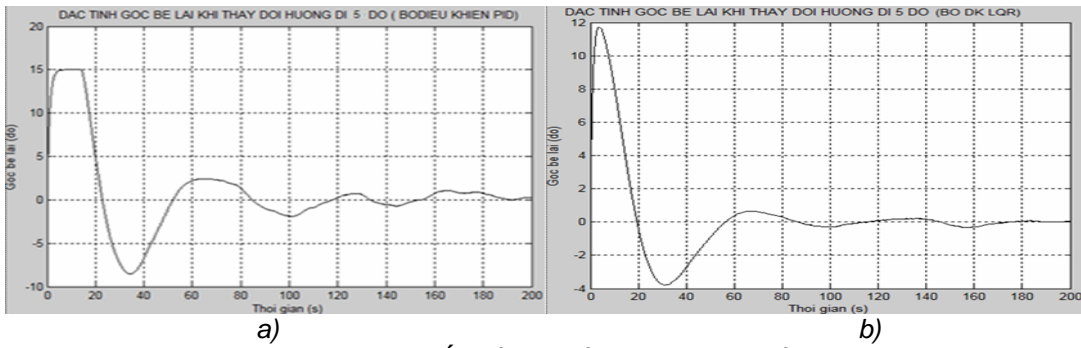


a)

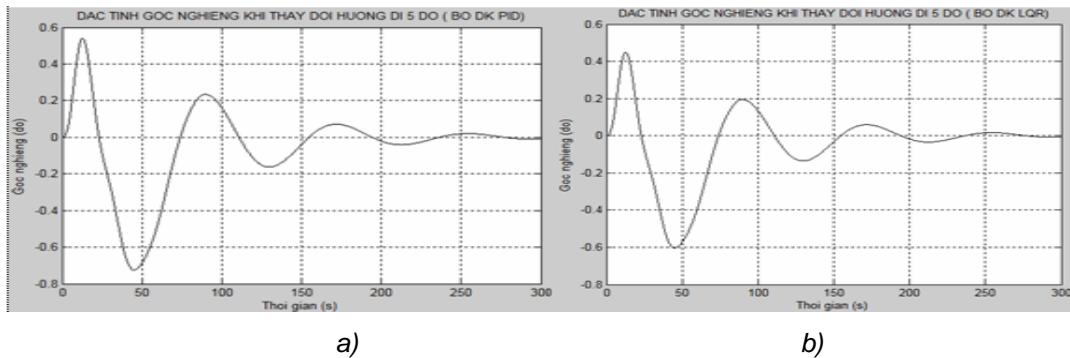
b)

Hình 3. Kết quả mô phỏng so sánh hướng đi

a) Sử dụng bộ điều khiển PID, b) Sử dụng bộ điều khiển LQR



Hình 4. Kết quả mô phỏng so sánh góc bả lái
a) Sử dụng bộ điều khiển PID, b) Sử dụng bộ điều khiển LQR



Hình 5. Kết quả mô phỏng so sánh góc nghiêng
a) Sử dụng bộ điều khiển PID, b) Sử dụng bộ điều khiển LQR

3. Kết luận

Từ kết quả mô phỏng ta thấy khi thay đổi hướng đi của tàu $HT = 05^\circ$, với vận tốc tàu không đổi 12,3 knots, cho ta kết quả khác nhau khi so sánh giữa hai trường hợp khi sử dụng bộ điều khiển thông thường PID và khi sử dụng bộ điều khiển tối ưu phản hồi trạng thái LQR: Góc nghiêng của tàu trong quá trình thay đổi hướng đi nhỏ hơn (chất lượng động học tăng lên). Góc bả lái trong quá trình thay đổi hướng đi nhỏ hơn (giảm năng lượng điều khiển) khi sử dụng bộ điều khiển tối ưu toàn phương tuyến tính LQR.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Nguyễn Doãn Phước, Phan Xuân Minh. *Điều khiển tối ưu và bền vững*. Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật. 2000.
- [2] Fossen, T.I. *Guidance and Control of Ocean Vehicles*. John Wiley and sons, 1994.
- [3] Fossen, T. I, *Marine Control Systems - Guidance, Navigation and Control of Ships, Rigs and Underwater Vehicles Marine Cybernetics*, 3rd edition, 2002.
- [4] Perez, T. and Mogens Blanke, *Mathematical Ship Modeling for Control Applications*. Technical Report Dept. of Electrical and Computer Engineering The University of Newcastle, NSW, 2308, Australia, 2002.
- [5]. Лукомский Ю.А., Пешехонов В.Г., Скороход Д.А. *Навигация и управление движением судов*. - СПб.: Элмор, 2002.