

TRƯỜNG ĐẠI HỌC HÀNG HẢI VIỆT NAM
KHOA ĐIỆN – ĐIỆN TỬ



THUYẾT MINH
ĐỀ TÀI NCKH CẤP TRƯỜNG

ĐỀ TÀI
NÂNG CAO CHẤT LƯỢNG ỔN ĐỊNH HƯỚNG ĐI TÀU THỦY
SỬ DỤNG BỘ QUAN SÁT TRẠNG THÁI

Chủ nhiệm đề tài: TH.S NGUYỄN HỮU QUYỀN
Thành viên tham gia: TH.S PHAN ĐĂNG ĐÀO
TH.S NGUYỄN THANH VÂN

Hải Phòng, tháng 06/2016

MỤC LỤC

MỞ ĐẦU	1
1. Tính cấp thiết của đề tài	1
2. Tổng quan về tình hình nghiên cứu thuộc lĩnh vực đề tài	1
3. Mục tiêu, đối tượng, phạm vi nghiên cứu	2
4. Phương pháp nghiên cứu, kết cấu của công trình nghiên cứu	2
5. Kết quả đạt được của đề tài	2
Chương 1. Mô hình toán chuyển động tàu thủy	3
1.1 Động lực học chuyển động tàu thủy	3
1.2 Phương trình toán mô tả chuyển động tàu thủy có 6 bậc tự do.	4
1.3 Phương trình toán mô tả chuyển động tàu thủy với 4 bậc tự do.	10
1.4 Phương trình toán mô tả chuyển động tàu thủy có 3 bậc tự do (xét trong mặt phẳng ngang).	10
1.5 Mô hình không gian trạng thái mô tả động học tàu thủy	12
1.7 Kết luận	17
Chương 2 Các phương pháp giảm ảnh hưởng của nhiễu tới hướng đi	18
2.1 Ảnh hưởng của nhiễu đến sự thay đổi hướng đi	18
2.2 Các phương pháp giảm thiểu tác động của nhiễu tới hướng đi	19
2.2.1 Sử dụng vùng không nhạy	19
2.2.2 Sử dụng bộ lọc thông thấp thông thường	20
2.2.3 Sử dụng bộ lọc sóng trên cơ sở bộ quan sát trạng thái	20
Chương 3 Ứng dụng bộ quan sát trạng thái để nâng cao chất lượng trong chế độ ổn định hướng đi tàu thủy	26
3.1 Bộ lọc sóng trên cơ sở bộ lọc Kalman	26
3.2 Ứng dụng bộ lọc Kalman trong hệ thống lái tự động giữ hướng PT70	26
3.3 Tổng hợp bộ điều khiển tối ưu phản hồi đầu ra (LQG) dùng quan sát Kalman	28
3.3.1 Mô hình toán bộ quan sát trạng thái Kalman	28
3.3.2 Tổng hợp bộ điều khiển	30
3.4 Điều khiển hướng tàu thủy sử dụng sử dụng bộ quan sát trạng thái kết hợp bộ điều khiển trượt	34
Kết luận	38
Tài liệu tham khảo	39

DANH SÁCH BẢNG BIỂU

Bảng 1.1 Thành phần chuyển động và tham số động học của tàu thủy	4
Bảng 3.1: Giá trị các thông số tàu	30
Bảng 3.2: Giá trị các hệ số a_{ij}, b_{ij} trong mô hình không gian trạng thái	31

DANH SÁCH HÌNH

Hình 1.1. Thành phần chuyển động, tham số động học của chuyển động tàu thủy	3
Hình 1.2. Mô tả góc tương đối bánh lái và dòng chảy	9
Hình 1.3. Thành phần chuyển động, tham số động học của tàu thủy trong mặt phẳng ngang.	11
Hình 1.4 Cấu trúc mô hình động học điều khiển máy lái	17
Hình 1.5 Mô hình mô tả động học điều khiển máy lái	17
Hình 2.1 Cấu trúc xếp chồng tuyến tính của mô hình động học giữa hệ thống lái và nhiễu sóng.	19
Hình 2.2 Cấu trúc sử dụng vùng không nhạy để loại bỏ nhiễu sóng bậc một	20
Hình 2.3 Mô hình con bộ lọc thông thấp (LF) và bộ lọc thông cao (HF)	21
Hình 2.4 Mô hình toán trên cơ sở bộ lọc sóng	22
Hình 3.1 Mô hình toán trên cơ sở bộ quan sát Kalman	26
Hình 3.2 Cấu trúc quan sát Kalman trong hệ thống lái số PT70	27
Hình 3.3 Cấu trúc hệ điều khiển tối ưu với bộ quan sát Kalman	30
Hình 3.4 Cấu trúc hệ thống điều khiển tối ưu phản hồi đầu ra (LQG) dùng quan sát Kalman	32
Hình 3.5 Mô hình mô phỏng hệ thống điều khiển tối ưu phản hồi đầu ra (LQG) dùng quan sát Kalman	33
Hình 3.6 Kết quả đáp ứng góc bẻ lái (hình a), hướng đi hình (b) dùng bộ điều khiển LQR	34
Hình 3.7 Kết quả đáp ứng góc bẻ lái (hình a), hướng đi hình (b) dùng điều khiển tối ưu phản hồi đầu ra (LQG) và bộ quan sát Kalman	34
Hình 3.8. Cấu trúc hệ thống điều khiển giữ hướng sử dụng điều khiển trượt với bộ quan sát nhiễu ngẫu nhiên	35
Hình 3.9. Đáp ứng đầu ra hướng tàu và góc lái khi hướng đi đặt trước cho tàu là 120^0	37
Hình 3.10. Đáp ứng đầu ra hướng tàu và góc lái khi thay đổi hướng đặt.	37

MỞ ĐẦU

1. Tính cấp thiết của vấn đề nghiên cứu

Tàu thủy là đối tượng điều khiển có tính phi tuyến lớn (phi tuyến bậc cao) chuyển động trong môi trường phức tạp, chịu sự tác động của nhiễu là ngẫu nhiên: Sóng, gió, dòng chảy...điều này có ảnh hưởng lớn đến chất lượng điều khiển hướng đi, quỹ đạo của tàu.

Nghiên cứu mô hình toán tàu thủy ta thấy mô hình toán của đối tượng có nhiều biến trạng thái nhiễu và thường xuyên có sự thay đổi về cấu trúc của mô hình đối tượng không thể dự báo do ảnh hưởng của nhiễu ngẫu nhiên, xét về tính chất động học của đối tượng thì đối tượng thường có tính chất động học không tốt: Độ dự trữ ổn định thấp, quá trình dao động, thời gian quá độ dài, [16]...

Việc thiết kế một bộ điều khiển để điều khiển chuyển động tàu thủy đảm bảo chất lượng mong muốn là bài toán gặp nhiều khó khăn, nhất là những bài toán mà ở đó cần phải xác định rõ mô hình đối tượng hay phải biết được các biến trạng thái của đối tượng... Các bài toán về điều khiển chuyển động tàu thủy khá đa dạng từ những bài toán sử dụng điều khiển kinh điển như PID đến những bài toán điều khiển hiện đại sử dụng mờ hay nơron hay bài toán ứng dụng thuyết điều khiển phi tuyến. Tuy nhiên mỗi bài toán đưa ra áp dụng đều có những ưu điểm, nhược điểm. Đối với bài toán sử dụng bộ điều khiển PID có ưu điểm là cấu trúc đơn giản, dễ thực hiện nhưng chất lượng điều khiển chưa cao và có thể làm cho đối tượng điều khiển (tàu thủy) mất ổn định. Bài toán áp dụng bộ điều khiển mờ hay nơron với ưu điểm là không cần phải xác định mô hình toán chính xác của đối tượng điều khiển, việc ổn định hướng đi được nâng cao (sai lệch hướng đi nhỏ), tuy nhiên nhược điểm cho bài toán này là không quan tâm nhiều đến chất lượng động học và tính tối ưu năng lượng điều khiển.

Trong khuôn khổ đề tài này Tác giả đề cập đến bài toán kết hợp giữa việc nâng cao chất lượng động học và ổn định hướng đi (giảm thiểu, loại bỏ ảnh hưởng của nhiễu), tức là xây dựng bài toán có sự kết hợp bộ quan sát kháng nhiễu và bộ điều khiển tối ưu cho điều khiển chuyển động tàu thủy ở chế độ ổn định hướng đi.

2. Tổng quan về tình hình nghiên cứu thuộc lĩnh vực đề tài

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 (giả sử trong bài toán điều khiển ổn định theo hướng và quỹ đạo) là đảm bảo tàu luôn ổn định theo hướng và quỹ đạo đi cho trước, 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 bỏ ra điều khiển là nhiều hay ít và đã tối ưu hay chưa, nhất là trong điều kiện khai thác tàu thủy hiện nay thì vấn đề tiết kiệm năng lượng ngày càng được quan tâm.

3. Mục tiêu, đối tượng, phạm vi nghiên cứu

** Mục tiêu của đề tài*

Mục đích của đề tài là xây dựng bộ điều khiển tối ưu kết hợp với bộ quan sát kháng nhiễu ở chế độ ổn định hướng đi cho tàu thủy

Giảm thiểu ảnh hưởng của nhiễu tác động làm sai lệch hướng đi, nâng cao chất lượng động học cho hệ thống, làm cho hệ thống có chất lượng động học tốt hơn (sự dao động nhỏ, rút ngắn thời gian quá độ, độ dự trữ ổn định cao...).

** Đối tượng, phạm vi*

Đối tượng nghiên cứu là tàu thủy dựa trên cấu trúc và mô hình toán

Trên cơ sở mô hình toán của đối tượng, phân tích đánh giá ảnh hưởng của nhiễu và các phương pháp kháng nhiễu.

Kết hợp xây dựng bộ quan sát kháng nhiễu với bộ điều khiển tối ưu trong chế độ điều khiển giữ hướng tàu thủy, mô phỏng đặc tính trạng thái khi điều khiển hướng

4. Phương pháp nghiên cứu, kết cấu của công trình nghiên cứu

Nghiên cứu phân tích mô hình toán, mô hình không trạng thái mô tả chuyển động tàu thủy

Phân tích ảnh hưởng của nhiễu và các phương pháp kháng nhiễu

Xây dựng mô hình toán bộ quan sát kháng nhiễu

Nghiên cứu xây dựng bài toán điều khiển tối ưu phản hồi đầu ra

Mô phỏng so sánh kết quả

5. Kết quả đạt được của đề tài

Nghiên cứu, phân tích được mô hình toán, mô hình không gian trạng thái chuyển động tàu thủy và mô hình toán hệ truyền động lái

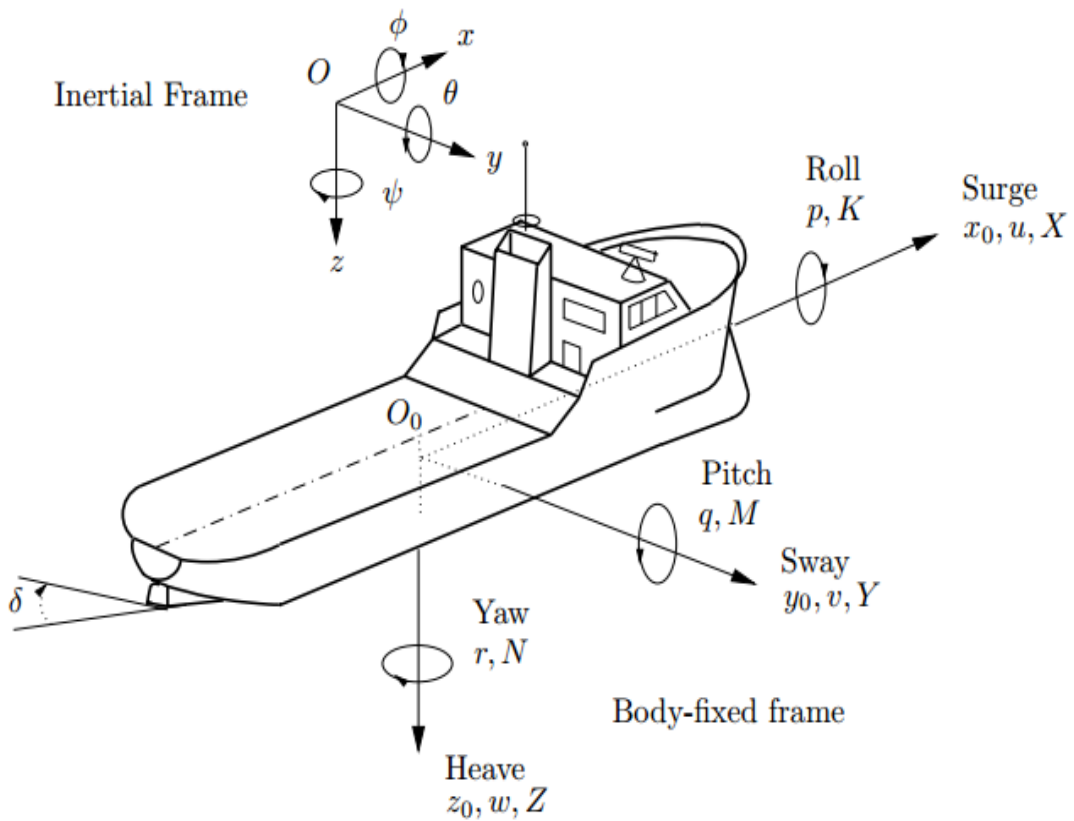
Nghiên cứu phân tích được các phương pháp giảm thiểu ảnh hưởng của nhiễu tới hướng đi

Cơ sở bài toán sử dụng bộ quan sát trạng thái Kalman trong hệ thống lái, ứng dụng mô phỏng bộ điều khiển tối ưu với bộ quan sát Kalman. Phân tích đánh giá chất lượng điều khiển hướng đi khi sử dụng bộ điều khiển trượt với quan sát trạng thái.

CHƯƠNG 1. MÔ HÌNH TOÁN CHUYỂN ĐỘNG TÀU THỦY

1.1 Động lực học chuyển động tàu thủy

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 một vật rắn chuyển động trong môi trường chất lỏng và chuyển động của tàu thủy có 6 bậc tự do DOF (*Degress Of Freedom*) [21, 31]. Các thành phần chuyển động theo hình 1.1 bao gồm: Trượt dọc, trượt ngang, trượt đứng, lắc ngang, lắc dọc, độ lệch hướng đi.



Hình 1.1. Thành phần chuyển động, tham số động học của chuyển động tàu thủy
Các thành phần chuyển động và tham số động học mô tả chi tiết theo bảng 1.1.

Bảng 1.1. Thành phần chuyển động và tham số động học của tàu thủy [17]

TT	Chuyển động chính	Tham số động học			
		Vị trí		Tốc độ	
		Tên gọi	Ký hiệu	Tên gọi	Ký hiệu
1	Trượt dọc - Surge (Chuyển động theo trục X)	Sự dịch chuyển theo chiều dọc (chuyển động tịnh tiến)	x_0	Tốc độ dịch chuyển theo chiều dọc	u
2	Trượt đứng - Heave (Chuyển động theo trục Z)	Sự dịch chuyển thẳng đứng (độ chìm)	z_0	Tốc độ dịch chuyển thẳng đứng	w
3	Trượt ngang - Sway (Chuyển động theo trục Y)	Sự lệch ngang	y_0	Tốc độ dịch chuyển ngang	v
4	Lắc ngang – Roll (Quanh trục X)	Góc lắc ngang	ϕ	Vận tốc góc của lắc ngang	p
5	Lắc dọc – Pitch (Quanh trục Y)	Góc lắc dọc	θ	Vận tốc góc lắc dọc	q
6	Quay trở - Yaw (Quanh trục Z)	Góc lệch lái	ψ	Vận tốc góc quay trở	r

Trong đó: Oxyz - Hệ tọa độ trái đất : NED (North East Down) hay Inertial Frame.

$O_b x_b y_b z_b$ - Hệ tọa độ gắn với vị trí tàu trong đó trọng tâm của tàu trùng với gốc tọa độ : BODY hay body - Fixed Frame

1.2 Phương trình toán mô tả chuyển động tàu thủy có 6 bậc tự do.

Chuyển động cân bằng tàu thủy ở mọi vị trí được thể hiện theo (1.1) [21].

$$M \cdot \dot{v} + C(v)v + D(v)v + g(\eta) = \tau \quad (1.1)$$

Trong đó:

η - Vector vị trí, để định hướng với hệ qui chiếu Trái đất (n-frame) và được xác định gồm các thành phần như sau:

$$\eta = [\eta_1^T, \eta_2^T]^T, \quad \eta_1 = [x, y, z]^T, \quad \eta_2 = [\phi, \theta, \varphi]^T$$

v - Vector vận tốc hướng, vận tốc góc trong hệ toạ độ cố định (body fix), được xác định bằng:

$$v = [v_1^T, v_2^T]^T, \quad v_1 = [u, v, w]^T, \quad v_2 = [p, q, r]^T$$

Mối quan hệ giữa v và η được mô tả theo (1.2):

$$\dot{\eta} = J(\eta)v \quad (1.2)$$

Trong đó: $J(\eta)$ - Ma trận biến đổi phụ thuộc vào các góc Euler (ϕ, θ, ψ) và có dạng [21].

$$J(\eta) = \begin{bmatrix} J_1(\phi, \theta, \varphi) & O_{3 \times 3} \\ O_{3 \times 3} & J_2(\phi, \theta, \varphi) \end{bmatrix} \quad (1.3)$$

Với:

$$J_1(\phi, \theta, \varphi) = \begin{bmatrix} c(\varphi)c(\theta) & -s(\varphi)c(\phi) + c(\varphi)s(\theta)s(\phi) & s(\varphi)s(\phi) + c(\varphi)c(\phi)s(\theta) \\ s(\varphi)c(\theta) & c(\varphi)c(\phi) + s(\varphi)s(\theta)s(\phi) & -c(\varphi)s(\phi) + s(\varphi)c(\phi)s(\theta) \\ -s(\theta) & c(\theta)s(\phi) & c(\theta)c(\phi) \end{bmatrix} \quad (1.4)$$

$$\text{và } J_2(\phi, \theta, \varphi) = \begin{bmatrix} 1 & -s(\phi)t(\theta) & c(\phi)t(\theta) \\ 0 & c(\phi) & -s(\phi) \\ 0 & s(\phi)/c(\theta) & c(\phi)/c(\theta) \end{bmatrix} \quad (1.5)$$

Trong đó: $s(\cdot) = \sin(\cdot)$, $c(\cdot) = \cos(\cdot)$ và $t(\cdot) = \tan(\cdot)$

Ma trận quán tính - M , xác định theo công thức:

$$M = M_{RB} + M_A$$

Trong đó: M_{RB} - Ma trận quán tính do bản thân tàu sinh ra (coi động lực học tàu thuỷ như là động lực học của vật rắn), được tính theo công thức (1.6) [21].

$$M_{RB} = \begin{bmatrix} m & 0 & 0 & 0 & mz_G & -my_G \\ 0 & m & 0 & -mz_G & 0 & mx_G \\ 0 & 0 & -m & my_G & -mx_G & 0 \\ 0 & -mz_G & my_G & I_x & -I_{xy} & -I_{xz} \\ mz_G & 0 & -mx_G & -I_{yx} & I_y & -y_{yz} \\ -my_G & mx_G & 0 & -I_{xx} & -I_{zy} & I_z \end{bmatrix} \quad (1.6)$$

Trong đó: m - Khối lượng của tàu.

I_{xx}, I_{zz} - Mômen quán tính về các trục x_0 và z_0 .

x_G, y_G, z_G - Tọa độ trọng tâm của tàu

u, v - Tốc độ và độ dạt ngang của tàu

M_A - Ma trận quán tính gia tăng khối lượng (Added mass), được tạo ra bởi lực và mômen do quán tính chất lỏng bám (nước). Xung quanh chất lỏng luôn có sự chuyển động, lực tác động này tỷ lệ với tốc độ của tàu. Giá trị M_A được xác định theo (1.7) [14].

$$M_A = \begin{bmatrix} X_u & X_v & X_w & X_p & X_q & X_r \\ Y_u & Y_v & Y_w & Y_p & Y_q & Y_r \\ Z_u & Z_v & Z_w & Z_p & Z_q & Z_r \\ K_u & K_v & K_w & K_p & K_q & K_r \\ M_u & M_v & M_w & M_p & M_q & M_r \\ N_u & N_v & N_w & N_p & N_q & N_r \end{bmatrix} \quad (1.7)$$

$$\text{với } X_u = \frac{\partial X}{\partial u}, Y_u = \frac{\partial Y}{\partial u}, Z_u = \frac{\partial Z}{\partial u}, K_u = \frac{\partial K}{\partial u}, M_u = \frac{\partial M}{\partial u}, N_u = \frac{\partial N}{\partial u}$$

Ma trận Coriolis - $C(v)$, được xác định theo công thức sau:

$$C(v) = C_{RB}(v) + C_A(v)$$

Trong đó: $C_{RB}(v)$ - Ma trận Coriolis hướng tâm, đặc trưng cho thủy động lực học vật rắn và được xác định theo (1.8) [21].

$$C_{RB}(v) = \begin{bmatrix} 0_{3 \times 3} & -mS(v_1) - mS(v_2)S(r_G) \\ -mS(v_1) + mS(r_G)S(v_2) & -S(I_0 v_2) \end{bmatrix}$$

$$C_{RB}(v) = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & m(y_G q + z_G r) \\ 0 & 0 & 0 & -m(y_G p + w) \\ 0 & 0 & 0 & -m(z_G p - v) \\ -m(y_G q + z_G r) & m(y_G p + w) & m(z_G p - v) & 0 \\ m(x_G q - w) & m(z_G r + x_G p) & m(z_G q + u) & I_{yz} q + I_{xz} p - I_{zx} r \\ m(x_G r + v) & m(y_G r - u) & m(x_G p + y_G q) & -I_{yz} r - I_{xy} p + I_{yx} q \\ -m(x_G q - w) & -m(x_G r + v) & & \\ m(z_G r + x_G p) & -m(y_G r - u) & & \\ -m(z_G q + u) & m(x_G p + y_G q) & & \\ -I_{yz} q - I_{xz} p + I_{zx} r & I_{yz} r - I_{xy} p - I_{yx} q & & \\ 0 & -I_{xz} r - I_{xy} q + I_{yx} p & & \\ I_{xz} r - I_{xy} q - I_{yx} p & 0 & & \end{bmatrix} \quad (1.8)$$

$C_A(v)$ - Ma trận Coriolis tạo ra bởi sự tăng thêm về khối lượng, do tác động của lực và mômen quán tính chất lỏng, được xác định theo (1.9) [21].

$$C_A(v) = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & -Z_w \dot{w} & Y_v \dot{v} \\ 0 & 0 & 0 & Z_w \dot{w} & 0 & -X_u \dot{u} \\ 0 & 0 & 0 & -Y_v \dot{v} & X_u \dot{u} & 0 \\ 0 & -Z_w \dot{w} & Y_v \dot{v} & 0 & -N_r \dot{r} & M_q \dot{q} \\ Z_w \dot{w} & 0 & -X_u \dot{u} & N_r \dot{r} & 0 & K_p \dot{p} \\ Y_v \dot{v} & X_u \dot{u} & 0 & -M_q \dot{q} & K_p \dot{p} & 0 \end{bmatrix} \quad (1.9)$$

Ma trận dao động do quán tính - $D(v)$: Thủy động lực học của dao động lắc gây ra bởi quán tính chất lỏng, phụ thuộc chủ yếu vào: Ma sát giữa nước và thân tàu, sự trôi và xoay của nước và được xác theo (1.10) [28, 30].

$$D(v) = \begin{bmatrix} X_D \\ Y_D \\ Z_D \end{bmatrix} v = - \begin{bmatrix} X_u & 0 & 0 \\ 0 & Y_v & Y_r \\ 0 & N_v & N_r \end{bmatrix} v \quad (1.10)$$

Véc tơ lực và mômen trọng lực - $g(\eta)$: Lực này sinh ra do trọng lực và tính nổi của tàu dưới tác động của nước lên thân tàu. Lực do trọng lực và tính nổi sẽ tác động vào trọng tâm của tàu và được xác định theo (1.11) [21].

$$g(\eta) = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ -\overline{BG_Y} W \cos \theta \cos \phi + \overline{BG_Z} W \cos \theta \sin \phi \\ -\overline{BG_Z} W \sin \theta + \overline{BG_X} W \cos \theta \cos \phi \\ -\overline{BG_X} W \cos \theta \sin \phi - \overline{BG_Y} W \sin \theta \end{bmatrix} \quad (1.11)$$

$$\text{với } W = m.g, \quad BG = [\overline{BG_X}, \overline{BG_Y}, \overline{BG_Z}]^T = [x_g - x_b, y_g - y_b, z_g - z_b]^T$$

$g = 9.81 \text{m/s}^2$: Gia tốc trọng trường

Véc tơ lực và mômen của tín hiệu điều khiển: Được mô tả bằng ma trận - τ và được xác định theo công thức sau [31].

$$\tau = [X \ Y \ Z \ K \ M \ N]^T;$$

τ gồm các thành phần như sau:

$$\tau = \tau_{hyd} + \tau_{cs} + \tau_{prop} + \tau_{ext}$$

Trong đó:

τ_{hyd} - Lực và mômen sinh ra do chuyển động giữa thân tàu với nước;

τ_{cs} - Lực và mômen tạo do tác động của bánh lái, bánh lái phụ trợ (Fin);

τ_{prop} - Lực và mômen tạo ra do tác động của lực đẩy máy chính;

τ_{ext} - Lực và mômen tạo ra do tác động của nhiễu loạn môi trường:

sóng, gió, dòng chảy...

Lực và mô men do bánh lái tạo ra: Lực do tác động của bánh lái được tính theo (1.12) [11, 31].

$$\begin{aligned} X_{rud} &= -F(u, V_{av}, v, r, \delta) \sin(\delta) \\ Y_{rud} &= F(u, V_{av}, v, r, \delta) \cos(\delta) \\ Z_{rud} &= 0 \end{aligned} \quad (1.12)$$

δ - góc quay bánh lái, để đảm bảo lực và mô men quay bánh lái thì góc bẻ lái được giới hạn về độ lớn $-\delta_{\max} \leq \delta \leq \delta_{\max}$ với $\delta_{\max} = 35^\circ$ và tốc độ bẻ lái.

Mômen sinh ra do tác động của bánh lái tính theo (1.13).

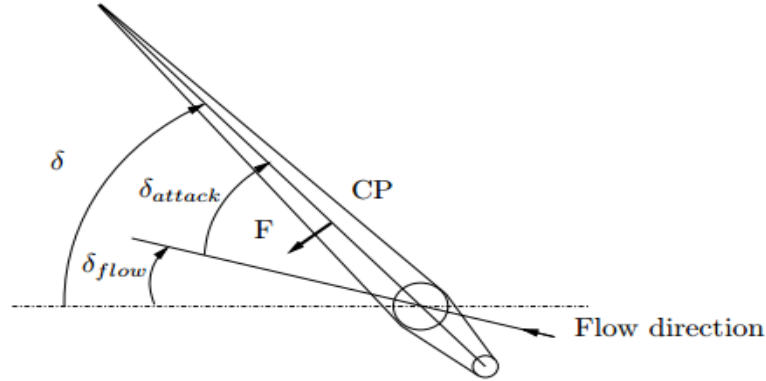
$$[K_{rud} \ M_{rud} \ N_{rud}]^T = (\overline{CP} - \overline{CG}) \cdot [X_{rud} \ Y_{rud} \ Z_{rud}]^T \quad (1.13)$$

Trong đó: $\overline{CG} = [X_G, Y_G, Z_G]^T$ - Toạ độ trọng tâm tàu;

$\overline{CP} = [X_{CP}, Y_{CP}, Z_{CP}]^T$ - Toạ độ trọng tâm của lực tác động lên bánh lái trong hệ toạ độ cố định và tính theo biểu thức (1.13).

$$F = \frac{1}{2} \rho C_F A_r V_{av}^2 \sin(\delta_{attack}) \quad (1.14)$$

C_F - Hệ số nâng, A_r - Diện tích bánh lái, V_{av} - Vận tốc dòng chảy tác động lên bánh lái, δ_{attack} - Góc tương đối giữa bánh lái và dòng chảy.



Hình 1.2. Mô tả góc tương đối bánh lái và dòng chảy

$$\delta_{attack} = \delta - \delta_{flow} = \delta - \arctan\left(\frac{V + (X_{cp} - X_G)r}{U}\right)$$

Lực và mô men do tác động của nhiễu loạn môi trường: Bao gồm sóng, gió, dòng chảy...

Lực và mômen sinh ra do nhiễu loạn của sóng:

Lực và mômen sinh ra do nhiễu loạn của sóng tác động lên tàu được tính theo (1.15) [21, 27].

$$\begin{aligned} X_{wave}(t) &= \sum_{i=1}^N \rho g B L T \cos \beta S_i(t) \\ Y_{wave}(t) &= \sum_{i=1}^N -\rho g B L T \sin \beta S_i(t) \\ N_{wave}(t) &= \sum_{i=1}^N \frac{1}{24} \rho g B L (L^2 - B^2) \sin 2\beta S_i^2(t) \end{aligned} \quad (1.15)$$

Trong đó: L - chiều dài phần mớn nước của tàu; B - chiều rộng phần mớn nước của tàu; T - chiều cao phần choán nước của tàu; β - hướng sóng, S_i - độ dốc của sóng.

Lực và mô men sinh ra do tác động của gió:

Lực và mô men do tác động của gió được tính theo công thức (1.16) [14].

$$\begin{aligned} X_{wind} &= \frac{1}{2} C_X(\gamma_R) \rho_w V_R^2 A_T \\ Y_{wind} &= \frac{1}{2} C_Y(\gamma_R) \rho_w V_R^2 A_L \\ N_{wind} &= \frac{1}{2} C_N(\gamma_R) \rho_w V_R^2 A_L L \end{aligned} \quad (1.16)$$

Trong đó: C_X, C_Y - hệ số lực, C_N - hệ số mômen, ρ_w - mật độ không khí (Kg/m^3), A_T - diện tích mặt ngang (m^2); A_L - diện tích mặt bên (m^2), L - chiều dài tàu (m).

Nhận xét: Việc xây dựng mô hình toán chuyển động tàu thủy ở dạng mô hình trạng thái cho thấy chuyển động tàu thủy giống như chuyển động của vật rắn trong môi trường chất lỏng với 6 bậc tự do. Phương trình này là cơ sở cho việc khảo sát và đưa ra bài toán về điều khiển chuyển động tàu thủy. Tuy nhiên để thuận tiện cho việc khảo sát quá trình động học và đưa ra bài toán điều khiển chúng ta cần giảm số bậc tự do.

1.3 Phương trình toán mô tả chuyển động tàu thủy với 4 bậc tự do.

Khi xét tàu ở chế độ nổi thì chuyển động trượt đứng và lắc dọc thường có thể được bỏ qua và coi $q = w = 0$. Do đó mô hình chuyển động của tàu có thể được coi là chỉ có 4 thành phần tự do chính là: Trượt dọc (u); trượt ngang (v), lắc ngang (p), quay trở (r). Do đó từ biểu thức (1.5) ta có thể xấp xỉ như sau [29]:

$$\dot{\phi} = p, \dot{\psi} = r \cos(\phi) \quad (1.17)$$

và (1.1) được viết thành (1.18)

$$M_{RB} \dot{v} = \tau(v, v, \eta) - C_{RB}(v)v \quad (1.18)$$

Từ (1.1), (1.2), (1.16), (1.17) và (1.18) cho ta mô hình toán mô tả chuyển động tàu thủy với 4 bậc tự do như (1.19) [31].

$$\begin{bmatrix} m & 0 & 0 & 0 \\ 0 & m & -mz_G & mx_G \\ 0 & -mz_G & I_{xx} & 0 \\ 0 & mx_G & 0 & I_{zz} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{u} \\ \dot{v} \\ \dot{p} \\ \dot{r} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X \\ Y \\ K \\ N \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} m(vr + x_G r^2 - z_G pr) \\ -mur \\ mz_G ur \\ -mx_G ur \end{bmatrix} \quad (1.19)$$

Trong đó: m - Khối lượng của tàu

I_{xx} và I_{zz} - Mômen quán tính về các trục x_0 và z_0

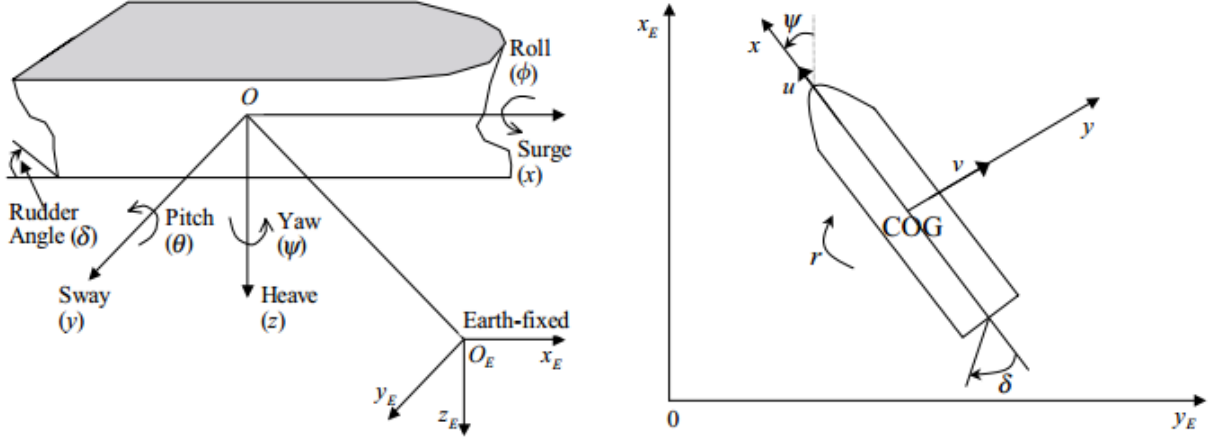
X_G và Z_G - Tọa độ trọng tâm của tàu

u, v - Tốc độ và độ dạt ngang của tàu

r - Tốc độ lệch hướng đi của tàu

1.4 Phương trình toán mô tả chuyển động tàu thủy có 3 bậc tự do (xét trong mặt phẳng ngang).

Chuyển động của tàu thủy xét trong mặt phẳng ngang được đặc trưng bởi các thành phần: Trượt dọc (u), trượt ngang (v), độ lệch hướng đi (ψ), ta coi thành phần lắc ngang, lắc dọc, trượt đứng trong trường hợp này bằng không (hình 1.3).



Hình 1.3. Thành phần chuyển động, tham số động học của tàu thủy trong mặt phẳng ngang.

Do ta bỏ qua các thành phần lắc ngang, lắc dọc, trượt đứng do đó phương trình (1.1) khi đó trở thành [8].

$$M \cdot \dot{v} + C(v)v + D(v)v = \tau \quad (1.20)$$

Khi tối thiểu hoá các thành phần bậc tự do không xét tới trong mặt phẳng ngang ta được (1.21).

$$J(\eta) = \begin{bmatrix} \cos \varphi & -\sin \varphi & 0 \\ \sin \varphi & \cos \varphi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (1.21)$$

Do chỉ xét các thành phần chuyển động trong mặt ngang nên mômen quán tính $I_{xy} = I_{yz} = 0$, do vậy ma trận M_{RB} , M_A và ma trận M được tính như sau [21]:

$$M_{RB} = \begin{bmatrix} m & 0 & 0 \\ 0 & m & mx_g \\ 0 & mx_g & I_z \end{bmatrix}, \quad M_A = \begin{bmatrix} -X_u & 0 & 0 \\ 0 & -Y_u & -Y_r \\ 0 & -Y_r & -N_r \end{bmatrix}$$

$$M = M_{RB} + M_A = \begin{bmatrix} m - X_u & 0 & 0 \\ 0 & m - Y_v & mx_g - Y_r \\ 0 & mx_g - Y_r & I_z - N_r \end{bmatrix} \quad (1.22)$$

Ma trận coriolis khi xét trong mặt phẳng ngang được tính theo (1.23).

$$C(v) = \begin{bmatrix} 0 & 0 & -(m - Y_v)v - (mx_g - Y_r)r \\ 0 & 0 & -(m - Y_u)u \\ (m - Y_v)v + (m - Y_r)r & -(m - Y_u)u & 0 \end{bmatrix} \quad (1.23)$$

Ma trận do quán tính lắc khi xét trong mặt phẳng ngang được tính theo (1.24).

$$D(v) = \begin{bmatrix} -X_u & 0 & 0 \\ 0 & -Y_v & -Y_r \\ 0 & -N_v & -N_r \end{bmatrix} \quad (1.24)$$

Thay công thức từ (1.21) đến (1.24) vào (1.20) ta được phương trình mô tả chuyển động tàu thủy xét trong mặt phẳng ngang như (1.25) [18, 21]:

$$\begin{bmatrix} m - X_u & 0 & 0 \\ 0 & m - Y_v & mx_g - Y_r \\ 0 & mx_g - Y_r & I_z - N_r \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{u} \\ \dot{v} \\ \dot{r} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -X_u & 0 & (m - Y_v)v - (mx_g - Y_r)r \\ 0 & -Y_v & (m - Y_u)u - Y_r \\ (m - Y_v)v + (m - Y_r)r & (m - Y_u)u - N_v & -N_r \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u \\ v \\ r \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} \quad (1.25)$$

Nhận xét: Việc xây dựng mô hình toán chuyển động tàu thủy xét trong mặt phẳng ngang thuận tiện cho việc đưa ra bài toán khảo sát, thiết kế bộ điều khiển chuyển động tàu thủy theo hướng và quỹ đạo.

1.5 Mô hình không gian trạng thái mô tả động học tàu thủy

a. Mô hình phi tuyến mô tả động học tàu thủy

Mô hình không gian trạng thái phi tuyến mô tả động học tàu thủy được viết dưới dạng sau [22, 31]:

$$\dot{x} = H^{-1} f(x, \delta) \quad (1.26)$$

Với $x = [u \ v \ r \ p \ \phi \ \psi]$ và $\dot{\phi} = p$, $\dot{\psi} = r \cdot \cos(\phi)$ phương trình (1.19) được viết lại như sau:

$$\begin{aligned}
(m - X_u) \dot{u} &= X_{hyd}^*(x) + X_{rudder}(x, \delta) + m(vr + x_G r^2 - z_G pr) \\
(m - Y_v) \dot{v} - (mz_G + Y_p) \dot{p} + (mx_G - Y_r) \dot{r} &= Y_{hyd}^*(x) + Y_{rudder}(x, \delta) - mur \\
-(mz_G + K_v) \dot{v} + (I_{xx} - K_p) \dot{p} - K_r \dot{r} &= K_{hyd}^*(x) + K_{rudder}(x, \delta) + mz_G ur \\
(mx_G - N_v) \dot{v} - (I_{zz} - N_r) \dot{r} &= N_{hyd}^*(x) + N_{rudder}(x, \delta) - mx_G ur \\
\dot{\phi} &= p \\
\dot{\psi} &= r \cos(\phi)
\end{aligned} \tag{1.27}$$

Trong đó: $X_{hyd}^*(x)$, $Y_{hyd}^*(x)$, $K_{hyd}^*(x)$, $N_{hyd}^*(x)$ tương ứng là lực và mômen thủy động lực học.

Từ phương trình (1.27) thì ma trận H và $f(x, \delta)$ của (1.26) được xác định như (1.28), (1.29) [31]:

$$H^{-1} = \begin{bmatrix} (m - X_u) & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & (m - Y_v) & -(mz_G + Y_p) & (mx_G - Y_r) & 0 & 0 \\ 0 & (mz_G + K_v) & (I_{xx} - K_p) & -K_r & 0 & 0 \\ 0 & (mx_G - N_v) & -N_p & (I_{zz} - N_r) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \tag{1.28}$$

$$f(x, \delta) = \begin{bmatrix} X_{hyd}^*(x) + X_{rudder}(x, \delta) + m(vr + x_G r^2 - z_G pr) \\ Y_{hyd}^*(x) + Y_{rudder}(x, \delta) - mur \\ K_{hyd}^*(x) + K_{rudder}(x, \delta) + mz_G ur \\ N_{hyd}^*(x) + N_{rudder}(x, \delta) - mx_G ur \\ p \\ r \cos(\phi) \end{bmatrix} \tag{1.29}$$

b. Mô hình tuyến tính mô tả động học tàu thủy.

Mô hình không gian trạng thái tuyến tính mô tả động học tàu thủy được viết dưới dạng sau [31]:

$$\begin{aligned}
\dot{z} &= H_t^{-1} \left[\frac{\partial f(z, u, \delta)}{\partial z} \Big|_{z, u, \delta} z + \frac{\partial f(z, u, \delta)}{\partial z} \Big|_{z, u, \delta} \delta \right] \\
&= H_t^{-1} A_1 z + H_t^{-1} B_1 \delta \\
&= A z + B \delta
\end{aligned} \tag{1.30}$$

Trong đó: z - vector tín hiệu trạng thái, đối với mô hình tuyến tính coi tàu chuyển động với tốc độ không đổi ($u = \text{const}$) do đó số tín hiệu trạng thái $z = [v \ r \ p \ \phi \ \psi]$ và các hệ số trong cột 1, hàng 1 của ma trận H^{-1} được bỏ qua. Các ma trận H_t , A_1 , A , B_1 , B được xác định như sau [31]:

$$\begin{aligned}
A &= H_t^{-1} A_1, \quad B = H_t^{-1} B_1, \\
H_t^{-1} &= \begin{bmatrix} (m - Y_u) & -(mz_G + Y_p) & (mx_G - Y_r) & 0 & 0 \\ (mz_G + K_v) & (I_{xx} - K_p) & -K_r & 0 & 0 \\ (mx_G - N_v) & -N_p & (I_{zz} - N_r) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}
\end{aligned} \tag{1.31}$$

$$A_1 = \begin{bmatrix} Y_v & Y_p + Y_{pu}u & Y_r - mu & Y_\phi & 0 \\ K_v & K_p + K_{pu}u & K_r + mz_Gu & -(\rho g \nabla GM) & 0 \\ N_v & N_p + N_{pu} & N_r + mz_Gu & N_\phi & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix} \tag{1.32}$$

$$B_1 = \begin{bmatrix} Y_\phi \\ K_\phi \\ N_\phi \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \tag{1.33}$$

Trong đó: ρ - tỷ trọng nước biển, g - hệ số trọng lực = 9,81, ∇ - lượng choán nước của tàu, GM - chiều cao tâm nghiêng, u - tốc độ tàu.

$$Y_v = \frac{\partial Y}{\partial v}, \quad Y_{pu} = \frac{\partial Y}{\partial p \partial u}$$

Từ (1.30), (1.31), (1.32), (1.33) ta có mô hình tuyến tính mô tả động học tàu thủy biểu diễn như sau [31]:

$$\begin{bmatrix} \dot{v} \\ \dot{r} \\ \dot{p} \\ \dot{\phi} \\ \dot{\psi} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & a_{14} & 0 \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & a_{24} & 0 \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} & a_{34} & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v \\ r \\ p \\ \phi \\ \psi \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \\ b_3 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} [\delta] \quad (1.34)$$

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.

1.6. Mô hình toán hệ thống truyền động lái tàu thủy.

Phương trình mô tả hệ thống lái tàu thủy được thể hiện qua các biến trạng thái: v, r, ψ tương ứng là: Tốc độ trượt ngang, tốc độ quay trở, góc hướng tàu với tín hiệu điều khiển δ - góc quay bánh lái. Từ (1.25) phương trình mô tả hệ thống lái tàu thủy được viết lại như (1.35) [20, 23]:

$$\begin{bmatrix} m - Y_{\dot{v}} & mx_G - Y_r & 0 \\ mx_G & I_z - N_r & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{v} \\ \dot{r} \\ \dot{\psi} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -Y_v & mu_0 - Y_r & 0 \\ -N_u & mx_G u_0 - N_r & 0 \\ 0 & -1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v \\ r \\ \psi \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_\delta \\ N_\delta \\ 0 \end{bmatrix} \delta \quad (1.35)$$

Phương trình (1.35) được chuyển sang phương trình dạng mô hình không gian trạng thái như sau [10, 13]:

$$\begin{aligned} \dot{x} &= Ax + B\delta \\ y &= Cx \end{aligned}$$

Trong đó tín hiệu trạng thái $x = [v, r, \psi]$, tín hiệu đầu ra $y = \psi$

$$\text{Hay } \begin{bmatrix} \dot{v} \\ \dot{r} \\ \dot{\psi} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & 0 \\ a_{21} & a_{22} & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v \\ r \\ \psi \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \\ 0 \end{bmatrix} \delta \quad (1.36)$$

Trong đó:

$$\begin{aligned}
a_{11} &= \frac{-(I_z - N_r)Y_v + (mx_G - Y_r)N_v}{\det(M)} \\
a_{12} &= \frac{(I_z - N_r)(mu_0 - Y_r) - (mx_G - Y_r)(mx_G u_0 - N_r)}{\det(M)} \\
a_{21} &= \frac{-(m - Y_v)N_v + (mx_G - N_r)Y_v}{\det(M)} \\
a_{22} &= \frac{(m - Y_v)(mx_G u_0 - N_r) - (mx_G - N_r)(mu_0 - Y_r)}{\det(M)} \\
b_1 &= \frac{-(I_z - N_r)Y_\delta + (mx_G - Y_r)N_\delta}{\det(M)} \\
b_2 &= \frac{-(m - Y_v)N_\delta + (mx_G - N_r)Y_\delta}{\det(M)} \\
M &= \begin{bmatrix} m - Y_v & mx_G - Y_r \\ mx_G & I_z - N_r \end{bmatrix}
\end{aligned} \tag{1.37}$$

Phương trình trạng thái (1.36) mô tả mô hình không gian trạng thái hệ thống truyền động lái tàu thủy.

Phương trình (1.35) được chuyển sang dạng hàm truyền như sau [6, 35]:

$$\frac{\psi}{\delta}(s) = C(sI - A)^{-1}B = \frac{(a_{21}b_1 - a_{11}b_2) + b_2s}{s[s^2 - (a_{11} + a_{22})s + a_{11}a_{22} - a_{12}a_{21}]}$$

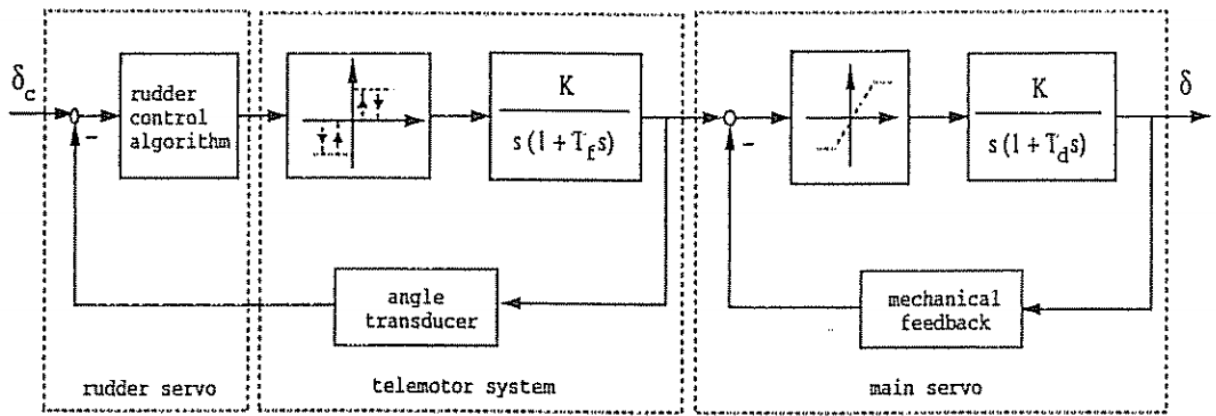
$$\text{Hay } \frac{\psi}{\delta}(s) = \frac{k(1 + T_3s)}{s(1 + T_1s)(1 + T_2s)} \tag{1.38}$$

Trong đó: k, T₁, T₂, T₃ là các hệ số đặc trưng cho động lực của tàu. Phương trình (1.37) có thể được tính xấp xỉ như (1.38) [15].

$$\frac{\psi}{\delta}(s) = \frac{k}{s(1 + Ts)} \tag{1.39}$$

Trong đó: T=T₁ + T₂ - T₃

Mô hình động học của máy lái: Xuất phát từ yêu cầu của hệ thống máy lái về giới hạn của góc bẻ lái và tốc độ bẻ lái, mô hình động học của máy lái được đưa ra như hình 1.4



Hình 1.4 Cấu trúc mô hình động học điều khiển máy lái

Trên thực tế yêu cầu của hệ thống về giới hạn của góc bẻ lái và tốc độ bẻ lái, và được giới hạn như sau:

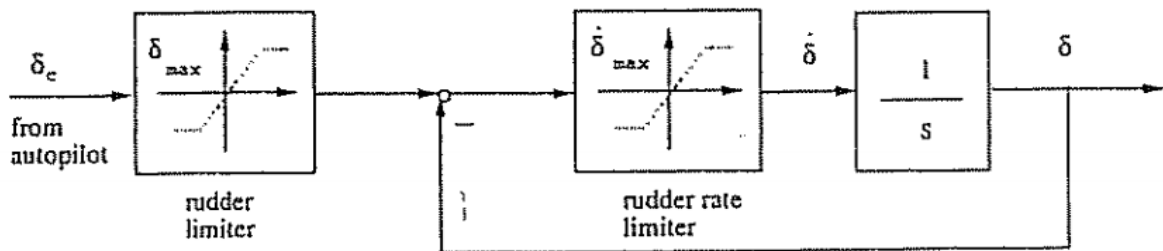
Giới hạn về độ lớn góc bẻ lái:

$$\begin{aligned} \delta_{\max} &= 35(\text{deg}) \\ \delta_{\min} &= 132.9(U / L)(\text{deg/s}) \end{aligned} \quad (1.40)$$

Giới hạn về tốc độ góc bẻ lái:

$$2\frac{1}{3}(\text{deg/s}) \leq \dot{\delta}_{\max} < 7(\text{deg/s}) \quad (1.41)$$

Trong đó, U - là tốc độ của tàu, L - là chiều dài của tàu. Trong mô phỏng, xây dựng đặc tính hệ thống lái tự động cấu trúc của hệ thống máy lái được đơn giản hóa và đưa ra như hình 1.5:



Hình 1.5 Mô hình mô tả động học điều khiển máy lái

1.7 Kết luận

Việc xây dựng mô hình toán tàu thủy dưới dạng mô hình không gian trạng thái và dạng hàm truyền thuận lợi cho việc khảo sát chất lượng động học và đưa ra bài toán điều khiển về chuyển động tàu thủy. Tuy nhiên khi xây dựng mô hình toán cần phải giả định rằng: Đối tượng không có nhiễu tác động hoặc nhiễu tác động là cố định không phải ngẫu nhiên, các tham số của tàu, tốc độ chuyển động của tàu không đổi).

CHƯƠNG 2 CÁC PHƯƠNG PHÁP GIẢM ẢNH HƯỞNG CỦA NHIỄU TỚI HƯỚNG ĐI

2.1 Ảnh hưởng của nhiễu đến sự thay đổi hướng đi

Tàu thủy là đối tượng điều khiển có tính phi tuyến lớn (phi tuyến bậc cao) chuyển động trong môi trường phức tạp, chịu sự tác động của nhiễu là ngẫu nhiên: Sóng, gió, dòng chảy... Các yếu tố nhiễu loạn này là nguyên nhân chính gây ra sự sai lệch hướng đi so với hướng đi đặt trước. Xét về tính chất động học các nhiễu này sẽ được cả cộng và nhân vào phương trình động học của chuyển động (2.1) [21]

$$M \cdot \dot{v} + C(v)v + D(v)v + g(\eta) = \underbrace{\tau_{wave} + \tau_{wind} + \tau_{current}}_{\text{environmental forces}} + \tau_{dk} \quad (2.1)$$

Trong hầu hết các ứng dụng lái tự động tàu thủy, một yếu tố quan trọng là đóng góp vào phương án loại bỏ thành phần chuyển động do sóng (biển) tần số cao. Nếu không xử lý được vấn đề này thì nhiễu sóng sẽ gây ra hiện tượng mài mòn trên các phần tử thực hiện như bánh lái, chân vịt chính và chân vịt mũi. Đồng thời làm tổn hao năng lượng của con tàu. Hiện nay có ba phương pháp loại bỏ thành phần nhiễu sóng tần số cao:

Sử dụng vùng không nhạy (dead – band).

Sử dụng bộ lọc thông thường.

Sử dụng bộ quan sát trạng thái.

Lọc nhiễu sóng bậc một

Theo [21] Chu kỳ sóng nằm trong dải: $5s < T_0 < 20s$, tần số của phổ sóng Pierson_Moskowits sẽ nằm trong dải: $0.05Hz < T_0 < 0.2Hz$. Sóng trong vùng tần số này sẽ sinh ra lực và mô men dao động (lắc) lớn và gọi là lực và mô men sóng bậc một. Ngoài ra, chuyển động còn được tạo ra bởi lực của sóng bậc hai cũng cần được xem xét. Tuy nhiên, thành phần lực sóng trôi dạt bậc hai này có thể không chế tác dụng của nó bằng hệ thống lái tự động. Như vậy, nhiễu sóng bậc một thường thay đổi quanh tần số $0.1Hz$, nó gần tới hoặc nằm ngoài dải thông điều khiển của tàu. Tuy nhiên, nó lại nằm trong dải thông của các phần tử thực hiện, động cơ servo của tàu. Điều này cho thấy rằng một bộ lọc thích hợp cho các tín hiệu phản hồi trạng thái phải được sử dụng để tránh nhiễu sóng bậc một gây ra quá nhiều các tác động điều khiển. Ngoài ra, chúng ta cũng không muốn bánh lái, chân vịt mũi, ... phải hoạt động để bù cho phần chuyển động lắc

do sóng tần số cao tạo ra. Một bộ lọc như vậy gọi là bộ lọc sóng. Để làm được điều này, người ta thường giả định rằng chuyển động tổng hợp của hệ thống gồm tàu và sóng được biểu diễn trong một cấu trúc gồm chuyển động tần số thấp của tàu và chuyển động tần số cao của sóng. Đối với hệ thống lái tự động tàu thủy, giả thiết rằng phương trình động học theo hướng tàu được viết như sau:

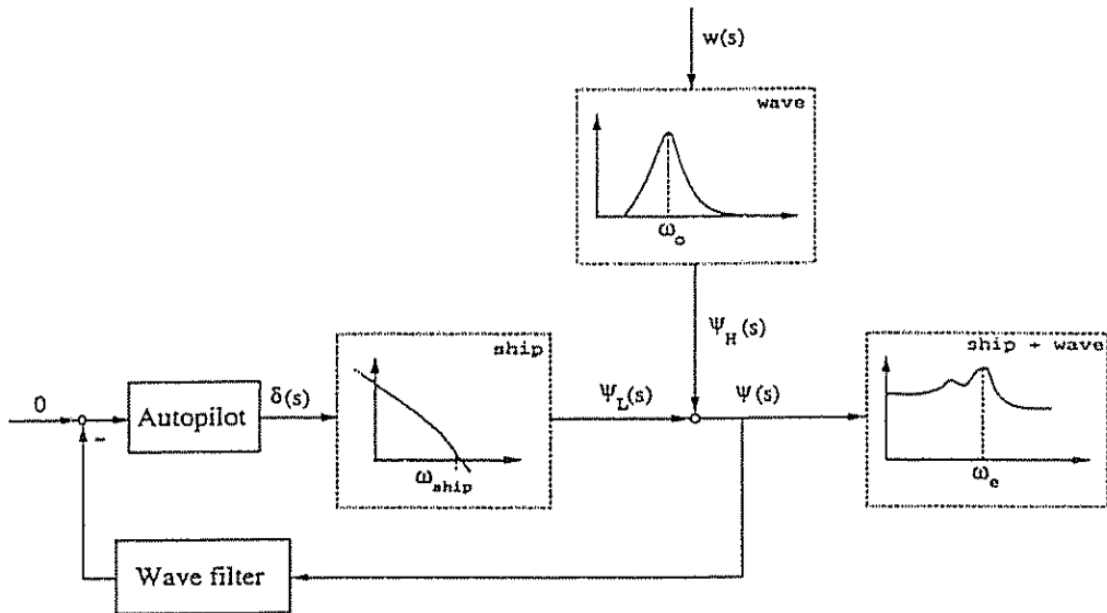
$$\psi(s) = \psi_L(s) + \psi_H(s) = G_{ship}(s)\delta(s) + G_{wave}(s)w_H(s) \quad (2.2)$$

Trong đó: $\psi_L(s)$ là hướng tàu nhận được từ mô hình con tàu khi chưa có nhiễu sóng (mô hình tần số thấp), $\psi_H(s)$ là hướng tàu nhận được từ mô hình tần số cao do sóng tác động, $w_H(s)$ là quá trình nhiễu trắng Gaussian.

$$G_{ship}(s) = \frac{K(1+T_3s)}{s(1+T_1s)(1+T_2s)} \quad (2.3)$$

$$G_{wave}(s) = \frac{K_w s}{s^2 + 2\zeta\omega_0 s + \omega^2} \quad (2.4)$$

Mô hình tàu và mô hình sóng (2.3) và (2.4) được thể hiện trong sơ đồ khối hình 2.1



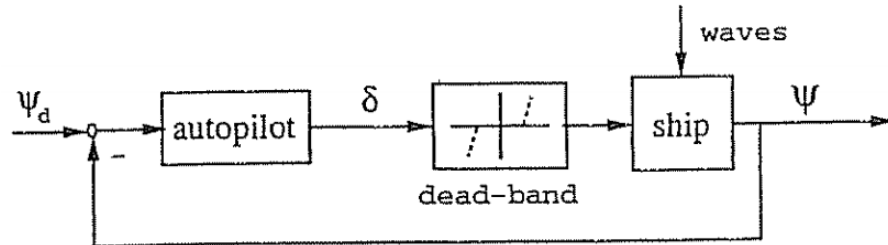
Hình 2.1 Cấu trúc xếp chồng tuyến tính của mô hình động học giữa hệ thống lái và nhiễu sóng.

2.2 Các phương pháp giảm thiểu tác động của nhiễu tới hướng đi

2.2.1 Sử dụng vùng không nhạy [21]

Việc ứng dụng vùng không nhạy để loại bỏ chuyển động tần số cao của bánh lái trong các vòng điều khiển được thực hiện rất rộng rãi, như trong hình 2.2. Tuy nhiên, một điểm bất lợi đối với kỹ thuật này là những chuyển động tần số thấp có biên độ nhỏ cũng bị loại bỏ. Do đó, độ chính xác trong giữ hướng đi

của hệ thống lái cũng sẽ bị ảnh hưởng. Vì vậy một khâu tích phân được xem xét kết hợp trong bộ điều khiển để tăng độ chính xác nhưng sự kết hợp giữa kỹ thuật vùng không nhạy với khâu tích phân lại dẫn đến sự dao động không mong muốn của tàu quanh hướng đi đặt. Điều đó làm tăng lực cản của tàu và dẫn đến việc tăng tiêu thụ nhiên liệu. Do đó, những kỹ thuật lọc tinh vi hơn được đề xuất cho các hệ thống lái tự động hiện đại.



Hình 2.2 Cấu trúc sử dụng vùng không nhạy để loại bỏ nhiễu sóng bậc một

2.2.2 Sử dụng bộ lọc thông thấp thông thường [21]

Nếu dải thông điều khiển nhỏ hơn rất nhiều so với tần số encounter, nghĩa là $\omega_{ship} \ll \omega_e$ thì chuyển động tần số cao của bánh lái có thể loại bỏ bằng bộ lọc thông thấp. Ví dụ một bộ lọc thông thấp bậc một với hằng số thời gian T_f như sau:

$$G_{LP}(s) = \frac{1}{1 + T_f s} \quad \omega_{ship} < \frac{1}{T_f} < \omega_e \text{ (rad/s)} \quad (2.5)$$

Nó sẽ loại bỏ được nhiễu có tần số lớn hơn $1/T_f$. Tiêu chuẩn này phải an toàn cho tàu nhỏ, nhưng đối với tàu dầu cỡ lớn chúng ta phải có dải thông điều khiển tối thiểu $\omega_{ship} < 0.1 \text{ (rad/s)}$. Để đáp ứng điều này bộ lọc trên có thể thay bằng bộ lọc Butterword bậc n để làm giảm chuyển động sóng bậc cao. Bộ lọc Butterword thu được bằng cách chứng minh $p(s)$ thỏa mãn đa thức Butterword như sau:

$$p(s)p(-s) = 1 + (s/j\omega_f)^{2n} \quad (2.6)$$

Trong đó: ω_f là tần số cắt mong muốn. Cuối cùng chúng ta xác định biểu thức của bộ lọc thông thấp như sau:

$$G(s) = \frac{1}{p(s)} \quad (2.7)$$

2.2.3 Sử dụng bộ lọc sóng trên cơ sở bộ quan sát trạng thái [21]

Một thay thế cho bộ lọc nhiễu sóng dạng thông thường là ứng dụng bộ quan sát trạng thái. Ngoài ra, một bộ quan sát được thiết kế có thể tách thành phần chuyển động tần số thấp ra khỏi nhiễu đo lường bằng cách sử dụng mô hình của tàu và mô hình nhiễu sóng. Trên thực tế, thì bộ lọc sóng trên cơ sở mô hình thì rất thích hợp để tách biệt thành phần chuyển động tần số thấp LF và thành phần chuyển động tần số cao HF ra khỏi nhau thậm chí cho cả các tàu mà dải thông điều khiển gần bằng và lớn hơn tần số encounter. Chúng ta sẽ hạn chế ứng dụng cho bộ lọc sóng trên cơ sở lý thuyết tuyến tính.

a. Mô hình toán tàu thủy tần số thấp (NOMOTO) như sau:

$$\begin{aligned}\dot{\delta}_0 &= w_0 \\ \dot{\psi}_L &= r_L \\ \dot{r}_L &= -\frac{1}{T}r_L + \frac{K}{T}(\delta - \delta_0) + w_L\end{aligned}\quad (2.8)$$

b. Mô hình tần số cao

Mô hình tần số cao được đề xuất như sau:

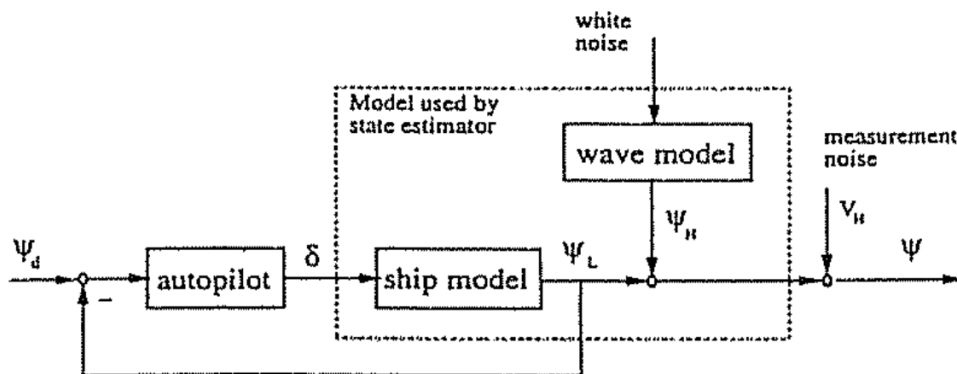
$$\psi_H(s) = \frac{K_w s}{s^2 + 2\zeta\omega_0 s + \omega^2} w_H(s) \quad (2.9)$$

Phương trình dạng hàm truyền trên được mô tả dưới dạng phương trình trạng thái tương đương như sau:

$$\begin{aligned}\dot{\xi}_H &= \psi_H \\ \dot{\psi}_H &= -2\zeta\omega_n\psi_H - \omega_n^2\xi_H + K_w w_H\end{aligned}\quad (2.10)$$

Mô hình của thiết bị đo la bàn là:

$$\psi = \psi_L + \psi_H + v_H \quad (2.11)$$



Hình 2.3 Mô hình con bộ lọc thông thấp (LF) và bộ lọc thông cao (HF)

Tiếp theo chúng ta sẽ sử dụng phương pháp gán điểm cực để thiết kế các bộ tính toán trạng thái LF và HF. Các biểu thức tính toán trạng thái của tàu thủy được viết như sau:

đó, các hệ số K_1, K_2 của bộ tính toán trạng thái LF có thể được chọn độc lập với hệ số K_0 bằng phương trình đặc tính dạng bậc hai của hai biến $\Delta\psi_L$ và Δr_L như sau:

$$\pi(s) = s^2 + (K_1 + 1/T)s + (K_2 + K_1/T) \quad (2.15)$$

Chúng ta có thể xác định hệ số tắt dần ζ và tần số góc tự nhiên ω_n bằng cách đồng nhất phương trình trên với đa thức sau:

$$\pi(s) = s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2 \quad (2.16)$$

Do đó, ta thu được các mối liên hệ của các hệ số bộ lọc trạng thái sau đây:

$$\begin{aligned} K_1 &= 2\zeta\omega_n - 1/T \\ K_2 &= \omega_n^2 - (2\zeta\omega_n)/T + 1/T^2 \end{aligned} \quad (2.17)$$

c. Bộ quan sát trạng thái đầy đủ

Trong mục này ta sẽ tìm cách thiết kế bộ quan sát trạng thái đầy đủ (bao gồm cả mô hình chuyển động tần số cao do sóng bậc một) trên cơ sở cách tiếp cận của Fossen (1993). Chúng ta lại giả thiết rằng giá trị đặt của mạch lặp góc bề bánh lái thay đổi rất chậm so với động học quay trở của tàu, nghĩa là $\delta_0 \approx 0$ và $K_0 \ll 1$. Thực hiện phép trừ giữa $\dot{\psi}_L, \dot{r}_L, \dot{\xi}_H, \dot{\psi}_H$ và $\dot{\psi}_L, \dot{r}_L, \dot{\xi}_H, \dot{\psi}_H$ là các biến trạng thái tính toán, chúng ta sẽ khảo sát động học sai số trong biểu thức sau:

$$\begin{bmatrix} \Delta\dot{\psi}_L \\ \Delta\dot{r}_L \\ \Delta\dot{\xi}_H \\ \Delta\dot{\psi}_H \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -K_1 & 1 & 0 & -K_1 \\ -K_2 & -1/T & 0 & -K_2 \\ -K_3 & 0 & 0 & 1-K_1 \\ -K_4 & 0 & -\omega_n^2 & -\omega_n^2 - 2\zeta\omega_n - K_4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta\psi_L \\ \Delta r_L \\ \Delta\xi_H \\ \Delta\psi_H \end{bmatrix} \quad (2.18)$$

Do đó, phương trình đặc tính của nó có dạng như sau:

$$\pi(s) = s^4 + a_3s^3 + a_2s^2 + a_1s + a_0 \quad (2.19)$$

Trong đó:

$$\begin{aligned} a_3 &= K_1 + K_4 + 2\zeta\omega_n + 1/T \\ a_2 &= (1/T + 2\zeta\omega_n)K_1 + K_2 - \omega_n^2 K_3 + 1/TK_4 + (\omega_n^2 + 2\zeta\omega_n/T) \\ a_1 &= (2\zeta\omega_n/T + \omega_n^2)K_1 + 2\zeta\omega_n K_2 - \omega_n^2/TK_4 + \omega_n^2/T \\ a_0 &= \omega_n^2/TK_1 + \omega_n^2 K_2 \end{aligned} \quad (2.20)$$

Hơn nữa, việc phân bố giá trị riêng có thể đạt được với yêu cầu động học sai số phải thỏa mãn biểu thức sau:

$$\prod_{i=1}^4 (s - p_i) \square \pi(s) \quad (2.21)$$

Trong đó: $p_i (i=1..4)$ là các số thực được xác định từ các điểm cực mong muốn của động học sai số. Biểu thức này được viết tắt như sau:

$$E\underline{k} = \underline{\mu} \text{ hay } \underline{k} = E^{-1} \underline{\mu}$$

Trong đó:

$$\underline{k} = [K_1 \quad K_2 \quad K_3 \quad K_4]^T$$

$$E = \begin{bmatrix} \omega_n^2 / T & \omega_n^2 & 0 & 0 \\ 2\zeta\omega_n / T + \omega_n^2 & 2\zeta\omega_n & -\omega_n^2 / T & 0 \\ 1/T + 2\zeta\omega_n & 1 & \omega_n^2 & -1/T \\ 1 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.22)$$

$$\underline{\mu} = \begin{bmatrix} p_1 p_2 p_3 p_4 \\ -p_1 p_2 p_4 - p_1 p_2 p_3 - p_2 p_3 p_4 - p_1 p_3 p_4 - \omega_n^2 / T \\ p_1 p_2 + p_2 p_4 + p_2 p_3 + p_1 p_4 + p_1 p_3 + p_3 p_4 - (\omega_n^2 + 2\zeta\omega_n / T) \\ -p_1 - p_2 - p_3 - p_4 - (2\zeta\omega_n - 1/T) \end{bmatrix}$$

Ta thấy rằng \underline{k} sẽ tùy thuộc vào hằng số thời gian T của tàu và các tham số của mô hình sóng bậc một ζ, ω_n trong khi $p_i (i=1..4)$ là bốn tham số được xác định từ điểm cực của động học sai số.

Bộ quan sát sẽ rất mạnh cho các tham số không chắc chắn khi chúng ta lựa chọn vị trí cẩn thận. Một khuyến cáo để chọn các điểm cực p_i thích hợp như sau:

$$\begin{aligned} p_1 &< -1/T \\ p_2 &< 0 \\ p_3 &= p_4 = -\zeta\omega_n \end{aligned} \quad (2.23)$$

Một bộ tham số điển hình được sử dụng trong bộ lọc là:

$$p_1 = -1.1/T; p_2 = 10^{-4}; p_3 = p_4 = -15\zeta\omega_n; \zeta = 0.01 - 0.1; \omega_n = 0.5(\text{rad} / s)$$

$$\underline{\hat{x}} = A\underline{\hat{x}} + bu + \underline{k}(y - \underline{c}^T \underline{\hat{x}}) \quad (2.24)$$

Trong đó:

$$\underline{\hat{x}} = [\hat{\delta}_0 \quad \hat{\psi}_L \quad \hat{r}_L \quad \hat{\xi}_L \quad \hat{\psi}_H]^T, u = \delta, \underline{k} = [K_0 \quad K_1 \quad K_2 \quad K_3 \quad K_4]^T \text{ và}$$

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ -K/T & 0 & -1/T & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & -\omega_n^2 & -2\zeta\omega_n \end{bmatrix}; \underline{b} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ K/T \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

Biểu thức của ảnh laplace:

$$\hat{x}(s) = (sI - A + \underline{k}\underline{c}^T)(\underline{k}y(s) + bu(s)) \quad (2.25)$$

Giả sử $u(s) = 0$ thì

$$\underline{g}(s) = [g_1 \quad g_2 \quad g_3 \quad g_4 \quad g_5]^T = (sI - A + \underline{k}\underline{c}^T)^{-1} \underline{k} \quad (2.26)$$

$$\hat{\psi}_L(s) = g_2(s)\psi(s)$$

CHƯƠNG 3 ỨNG DỤNG BỘ QUAN SÁT TRẠNG THÁI ĐỂ NÂNG CAO CHẤT LƯỢNG TRONG CHẾ ĐỘ ỔN ĐỊNH HƯỚNG ĐI TÀU THỦY

3.1 Bộ lọc sóng trên cơ sở bộ lọc Kalman

Một giải pháp thay thế cho kỹ thuật phân bố các điểm cực là sử dụng bộ lọc Kalman để tính toán các hệ số của vectơ \underline{k} . Bộ lọc Kalman cho phép tính toán, ước lượng trạng thái (\underline{x}) của đối tượng thông qua việc đo tín hiệu đầu ra khi có nhiễu tác động vào đối tượng.

Giả sử mô hình tuyến tính của đối tượng có dạng

$$\dot{x}(t) = A(t)x(t) + B(t)u(t) + E(t)w(t) \quad (3.1)$$

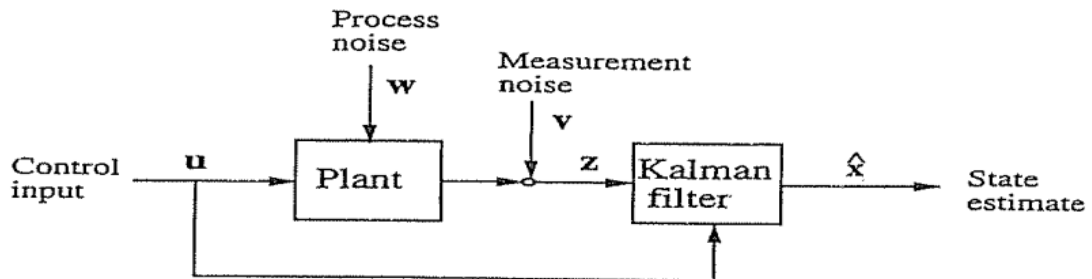
Ở đây quá trình tác động của nhiễu được mô tả bởi $w(t) \sim N(0, Q(t))$ và $x(t) \sim N(m, X(t))$ là vectơ trạng thái ngẫu nhiên với ước lượng trung bình m và ma trận phương sai $X(t)$

Phương trình trạng thái đầu ra được xác định bởi phương trình

$$z(t) = H(t)x(t) + v(t) \quad (3.2)$$

Với $v(t)$ là giá trị của nhiễu, $v(t) \sim N(0, R)$

Mô hình toán trên cơ sở bộ quan sát Kalman được xây dựng như hình 3.1



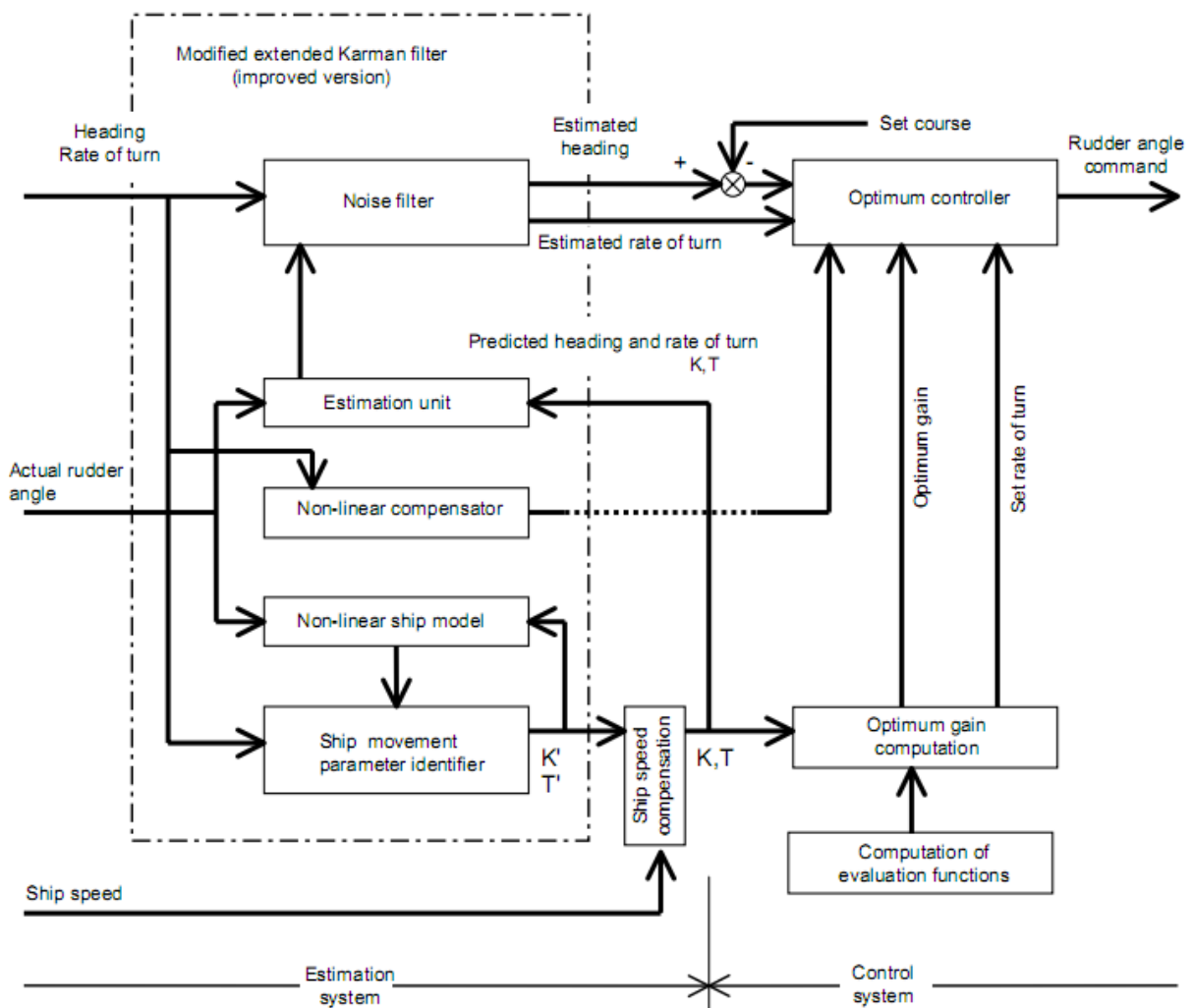
Hình 3.1 Mô hình toán trên cơ sở bộ quan sát Kalman

Trạng thái ước lượng được xác định [21]

$$\begin{aligned} \dot{\hat{x}}(t) &= A(t)\hat{x}(t) + B(t)u(t) + K(t)[z(t) - H(t)\hat{x}(t)] \\ K(t) &= X(t)H^T(t)R^{-1}(t) \end{aligned} \quad (3.3)$$

3.2 Ứng dụng bộ lọc Kalman trong hệ thống lái tự động giữ hướng PT70

Hệ thống lái PT70 là hệ thống lái kỹ thuật số rất hiện đại do hãng YOKOGAWA- Nhật Bản thiết kế chế tạo, nó phát triển trên cơ sở của hệ thống lái PT500. Đây là hệ thống lái số với sự kết hợp giữa bộ điều khiển tối ưu và bộ lọc Kalman mở rộng, cấu trúc hệ thống lái PT70 hình 3.2. [33]



Hình 3.2 Cấu trúc quan sát Kalman trong hệ thống lái số PT70

a. Chức năng được thực hiện từ bộ quan sát trạng thái Kalman

Chức năng lọc và loại bỏ nhiễu tác động bởi khối - **Noise filter** với tín hiệu vào là hướng tàu và tốc độ quay trở. Với chức năng này sẽ loại bỏ được nhiễu tác động gây sai lệch hướng đi của tàu

Chức năng ước lượng, tính toán trạng thái bởi khối - **Estimation unit** với tín hiệu vào góc thực của bánh lái và tín hiệu dự đoán hướng tàu, tốc độ quay từ khối bù tốc độ **Ship speed compensation**. Chức năng này đảm bảo xác định được trạng thái động học tức thời của đối tượng

Chức năng bù không tuyến tính bởi khối **Non-linear compensator**. Chức năng này giảm được sai lệch hướng đi do trong quá trình thiết kế thì thân tàu không hoàn toàn đối xứng qua mặt phẳng trung tính của tàu

Chức năng nhận dạng đối tượng (sự di chuyển của tàu) qua khối **Ship movement parameter identifier**. Như đã phân tích trong chương 1 rằng mô hình toán của tàu là mô hình không tuyến tính (phi tuyến) các thông số động học trong phương trình trạng thái có thể là luôn thay đổi và phụ thuộc vào nhiễu, tốc

độ tàu, tác động lực điều khiển... Do đó với tín hiệu góc quay thực của bánh lái thông qua mô hình mẫu **Non-linear ship model** không tuyến tính sẽ nhận dạng được các thông số trạng thái của tàu từ đó có được phương trình trạng thái chính xác nhất

b. Chức năng các tín hiệu điều khiển tạo ra từ bộ quan sát trạng thái Kalman

Với các khối chức năng đã phân tích ở trên bộ quan sát trạng thái Kalman tạo ra các chức năng điều khiển gửi tới bộ điều khiển tối ưu **Optimum controller**

Tính toán, ước lượng hướng đi của tàu

Tính toán, ước lượng tốc độ quay trở của tàu

Bù tín hiệu từ tình trạng không tuyến tính từ đối tượng điều khiển

Tín hiệu tối ưu hệ số khuếch đại từ việc tính toán ước lượng và nhận dạng tham số của tàu

Từ các chức năng trên hệ thống lái tự động thích nghi PT70 đảm bảo được các chế độ lái: chế độ lái kinh tế, chế độ lái giữ hướng và chế độ lái khi biển động với khả năng thích nghi với tình trạng nhiễu lớn

3.3 Tổng hợp bộ điều khiển tối ưu phản hồi đầu ra (LQG) dùng quan sát Kalman

3.3.1 Mô hình toán bộ quan sát trạng thái Kalman [4].

Xét đối tượng điều khiển có mô hình

$$\begin{cases} \frac{dx}{dt} = Ax + Bu + nx \\ y = Cx + Du + ny \end{cases} \quad (3.4)$$

Trong đó:

A - Ma trận hệ thống

B - Ma trận điều khiển

C, D - Ma trận đầu ra

$nx(t)$ - Nhiễu do tác động bên ngoài

$ny(t)$ - Nhiễu do bản thân hệ thống gây ra

Với giả thiết hai tín hiệu ngẫu nhiên $nx(t)$, $ny(t)$ chúng là tín hiệu ngẫu nhiên egodic. Chúng có kỳ vọng toán học bằng không tức $Mnx(t)=Mny(t)=0$

Ý tưởng của việc xây dựng bộ lọc là thiết kế bộ quan sát là sử dụng khâu có mô hình (3.5)

$$\begin{cases} \frac{d\tilde{x}}{dt} = A\tilde{x} + Bu + L(y - \tilde{y} - Du) \\ \tilde{y} = C\tilde{x} \end{cases} \quad (3.5)$$

Ma trận L tìm được phải thoả mãn:

$$Q = M[e^T e] = \sum_{i=1}^n M[e_i^2] \rightarrow \text{Min} \quad (3.6)$$

Trong đó: $e(t) = x(t) - \tilde{x}(t)$

Từ (3.4) và (3.5) ta có:

$$\begin{aligned} \frac{de}{dt} &= \frac{d(x - \tilde{x})}{dt} = A(x - \tilde{x}) + n_x - LC(x - \tilde{x}) - Ln_y \\ &= (A - LC)(x - \tilde{x}) + n_x - Ln_y \\ &= (A - LC)e + n_x - Ln_y \\ \Rightarrow e(t) &= e^{(A-LC)t} e_0 - \int_0^t e^{(A-LC)(t-\tau)} [n_x(\tau) - Ln_y(\tau)] d\tau \end{aligned} \quad (3.7)$$

Thay (3.7) vào (3.6) và với giả thiết $n_x(t)$, $n_y(t)$ sau đó tìm giá trị L để Q có giá trị nhỏ nhất bằng cách xác định nghiệm của $\frac{\partial Q}{\partial L} = \Theta$ với $\frac{\partial Q}{\partial L}$ là ký hiệu chỉ ma trận Jacobi của Q ta được:

$$L^T = N_y^{-1} C P \quad (3.8)$$

Trong đó P là nghiệm của phương trình Riccati

$$P C^T N_y^{-1} C P - P A^T - A P = N_x \quad (3.9)$$

Việc xác định bộ quan sát Kalman từ (3.8) và (3.9) giống như bài toán thiết kế bộ điều khiển tối ưu phản hồi trạng thái khi không có nhiễu với mô hình đối tượng dạng:

$$\begin{cases} \frac{dx}{dt} = Ax + Bu \\ y = Cx + Du \end{cases}$$

Được thay bằng hệ đối ngẫu (3.10)

$$\frac{dx}{dt} = A^T x + C^T u \quad (3.10)$$

Và hàm mục tiêu sẽ có dạng (3.11)

$$Q_k = \frac{1}{2} \int_0^\infty (x^T N_x x + u^T N_y u) dt \quad (3.11)$$

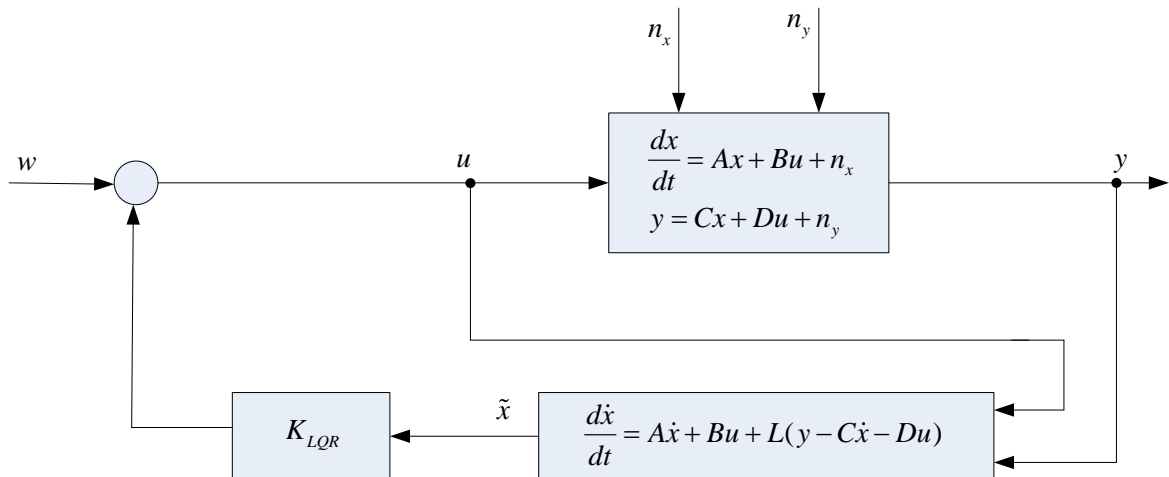
Từ các dẫn dắt trên thì các bước tìm ma trận L^T cho quan sát Kalman theo mô hình (3.4) theo các bước sau:

Xác định hai ma trận N_x, N_y là ma trận hàm hồ tương quan của $n_x(t), n_y(t)$

Thiết kế bộ điều khiển tối ưu phản hồi âm trạng thái cho đối tượng đối ngẫu (3.10) và phiếm hàm mục tiêu (3.11)

Thay L vừa tìm được vào (3.5) để có quan sát Kalman

Cấu trúc hệ thống điều khiển tối ưu với bộ quan sát Kalman hình 3.3



Hình 3.3 Cấu trúc hệ điều khiển tối ưu với bộ quan sát Kalman

3.3.2 Tổng hợp bộ điều khiển

a. Thông số đối tượng điều khiển

Đối tượng mô phỏng là tàu hàng với các thông số cho như bảng 3.1.

Bảng 3.1: Giá trị các thông số tàu [21].

Đặc tính	Đơn vị đo	Giá trị	Ký hiệu
Lượng giãn nước	m ³	21222	∇
Khối lượng	T	21519	m
Chiều dài	m	175,00	L
Chiều rộng ở giữa	m	25,4	B
Chiều cao món nước giữa	m	8.50	d
Chiều cao món nước mũi	m	8.00	d _f
Chiều cao món nước lái	m	9.00	d _A
Hệ số khối lượng liên kết		0.559	C _B
Chiều cao tâm nghiêng	m	0.83	GM
Chiều cao tâm nổi	m	4.6154	KB
Hệ số khối lượng liên kết dọc		0.559	C _B
Hệ số mô men quán tính liên kết dọc trục Ox		0.0000176	I _x
Hệ số mô men quán tính liên kết		0.0313	I _y

đọc trục Oy			
Hệ số mô men quán tính liên kết đọc trục Oz		0.000456	I_z
Diện tích bánh lái	m^2	33.0376	A_R
Góc bẻ lái lớn nhất	độ	35	δ_{max}
Tốc độ bẻ lái lớn nhất	độ/s	2.8	$\dot{\delta}_{max}$
Tốc độ lớn nhất của tàu	Knots	14	u

Từ các thông số của tàu như bảng (3.1) và từ các phương trình (1.26) đến (1.34) xác định mô hình toán đối tượng dạng mô hình không gian trạng thái (ta coi như không có tín hiệu nhiễu tác động. Các tham số của tàu, tốc độ chuyển động của tàu không đổi).

$$\dot{x} = Ax + Bu, \quad y = Cx, \quad x = [v, r, p, \phi, \psi]^T, \quad u = \delta$$

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

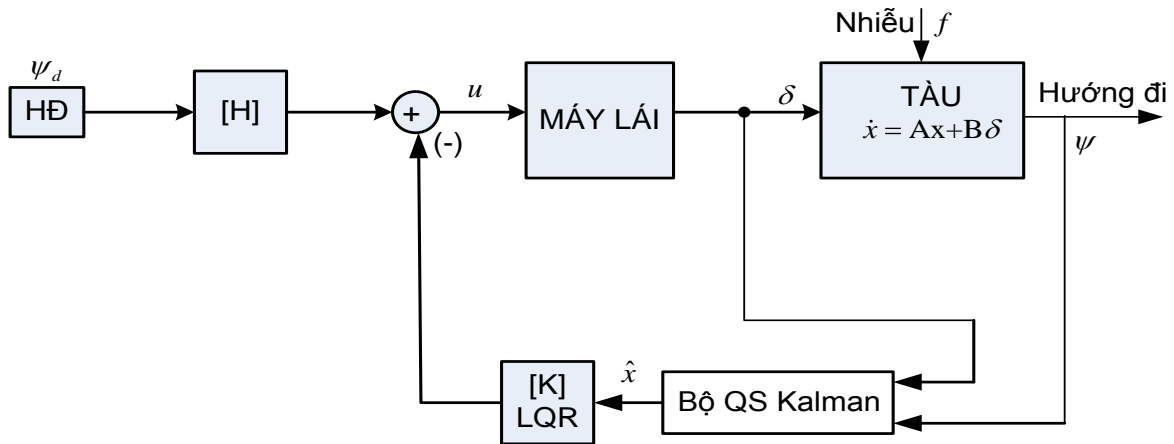
Với các hệ số a_{ij} , b_{ij} của phương trình trạng thái như bảng 3.2

Bảng 3.2: Giá trị các hệ số a_{ij}, b_{ij} trong mô hình không gian trạng thái [21].

Hệ số	Giá trị	Hệ số	Giá trị
a_{11}	-0.046	a_{31}	-0.0010
a_{12}	-1.9614	a_{32}	0.0147
a_{13}	0.2137	a_{33}	-0.1163
a_{14}	0.1336	a_{34}	-0.0006
a_{21}	0.0011	b_1	-0.0600
a_{22}	-0.1326	b_2	-0.0035
a_{23}	-0.1246	b_3	-0.0026
a_{24}	-0.0331		

b. Cấu trúc hệ thống

Hệ thống điều khiển tối ưu phản hồi đầu ra (LQG) dùng quan sát Kalman có cấu trúc như hình 3.4



Hình 3.4 Cấu trúc hệ thống điều khiển tối ưu phản hồi đầu ra (LQG) dùng quan sát Kalman

Trong đó [K] - bộ điều khiển tối ưu được xác định trong bài toán tối ưu phản hồi trạng thái, với thông số đối tượng như bảng 3.2 tính toán được giá trị $K = [-0.1440 \quad 16.1082 \quad 6.7620 \quad 1.1066 \quad 0.4471]$, [H] - bộ tiền xử lý được tính toán theo [K], với $[H] = [0.4471]$

c. Tính toán thông số bộ quan sát Kalman

Mô hình đối tượng khi không có nhiễu với các ma trận hệ số như sau:

$$A = \begin{bmatrix} -0.0406 & -1.9614 & 0.2137 & 0.1336 & 0 \\ 0.0011 & -0.1326 & -0.1246 & -0.0331 & 0 \\ -0.0010 & 0.0147 & -0.1163 & -0.0006 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}, B = \begin{bmatrix} -0.0600 \\ 0.0035 \\ 0.0026 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$C = [0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 1]$$

Mô hình đối tượng khi có ảnh hưởng nhiễu có dạng như (3.12):

$$\begin{cases} \frac{dx}{dt} = Ax + Bu + nx \\ y = Cx + Du + ny \end{cases} \quad (3.12)$$

Mô hình bộ quan sát Kalman có dạng như (3.10)

$$\begin{cases} \frac{d\tilde{x}}{dt} = A\tilde{x} + Bu + L(y - \tilde{y} - Du) \\ \tilde{y} = C\tilde{x} \end{cases} \quad (3.13)$$

Hàm tương quan N_x, N_y của tín hiệu nhiễu $n_x(t), n_y(t)$ được cho như sau:

$$N_x = \text{diag}([0.00001 \quad 0.0025 \quad 0.0012 \quad 0.009 \quad 0.00021]); N_y = 1$$

Mục tiêu của bài toán là xác định ma trận L để hàm mục tiêu (3.14) đạt Min

$$Q_k = \frac{1}{2} \int_0^{\infty} (x^T N_x x + u^T N_y u) dt \quad (3.14)$$

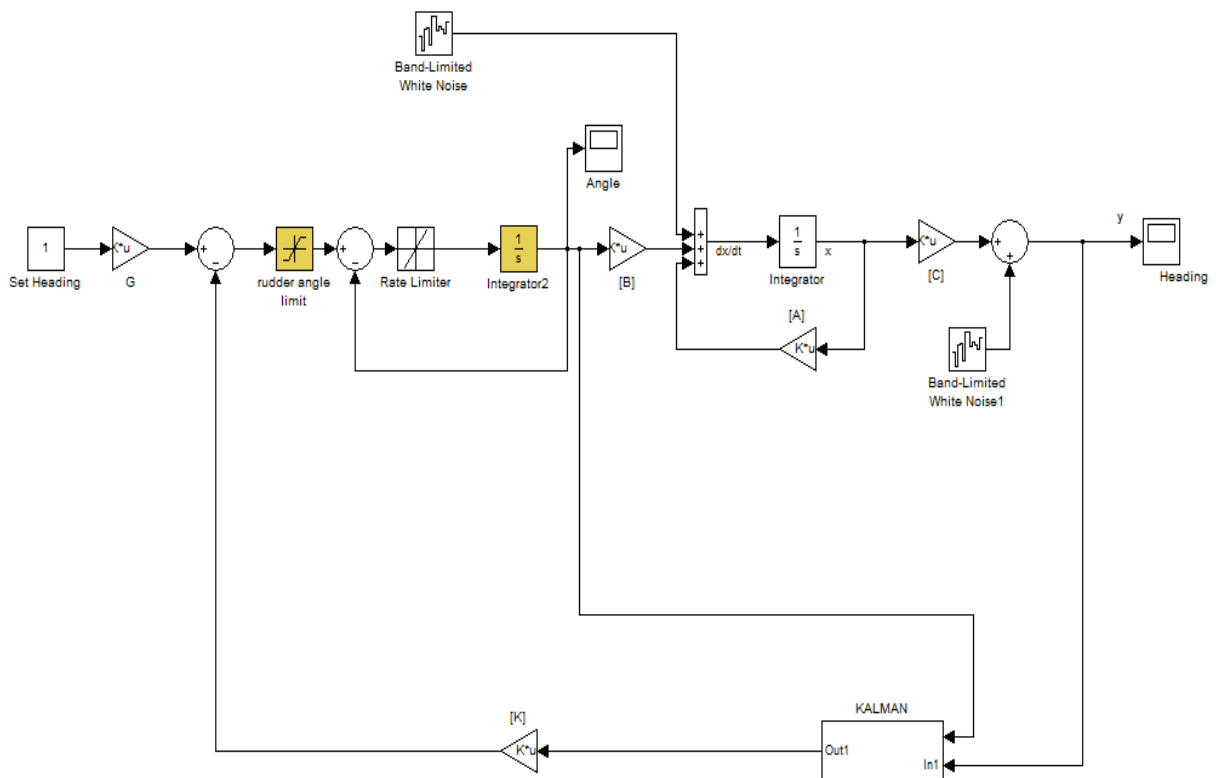
Với các ma trận hệ số như trên, giải phương trình Riccati (3.9) xác định được ma trận P như sau:

$$P = \begin{bmatrix} 2.1125 & -0.0600 & -0.0062 & -0.2288 & 0.0029 \\ -0.0600 & 0.0104 & -0.0006 & -0.0040 & -0.0038 \\ -0.0062 & -0.0006 & 0.0040 & -0.0011 & 0.0117 \\ -0.2288 & -0.0040 & -0.0011 & 0.3218 & -0.0227 \\ 0.0029 & -0.0038 & 0.0117 & -0.0227 & 0.1087 \end{bmatrix}$$

Từ (3.8) xác định được ma trận L như sau:

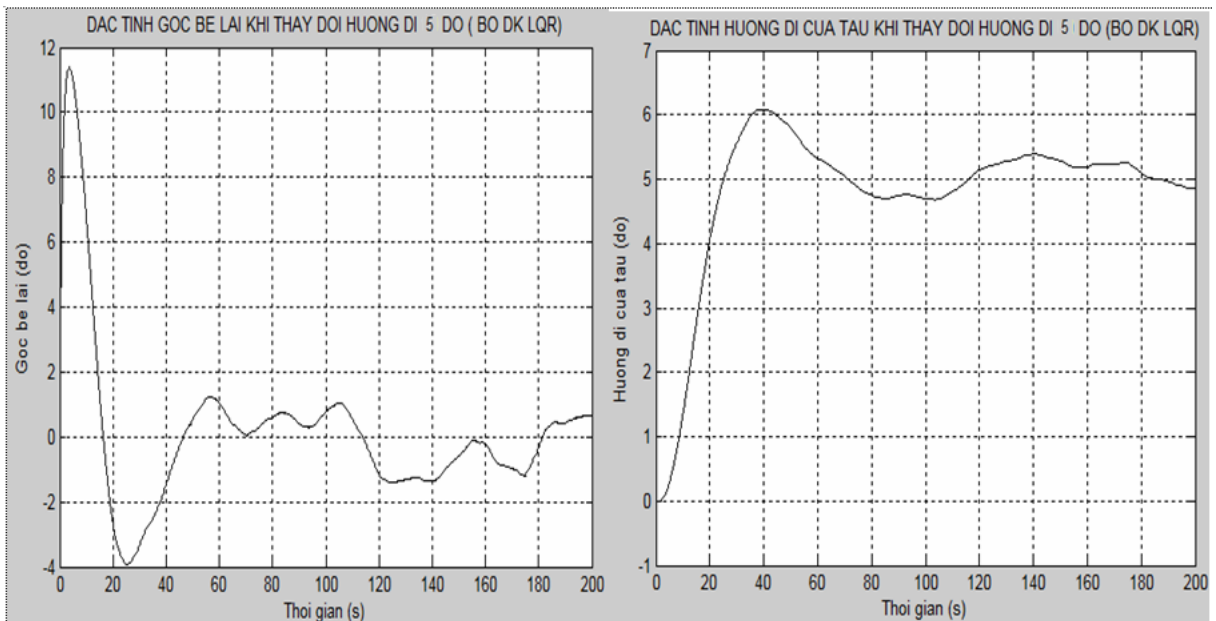
$$L = [0.0006 \quad -0.0008 \quad 0.0023 \quad -0.0045 \quad 0.0217]$$

d. Mô hình mô phỏng hệ thống

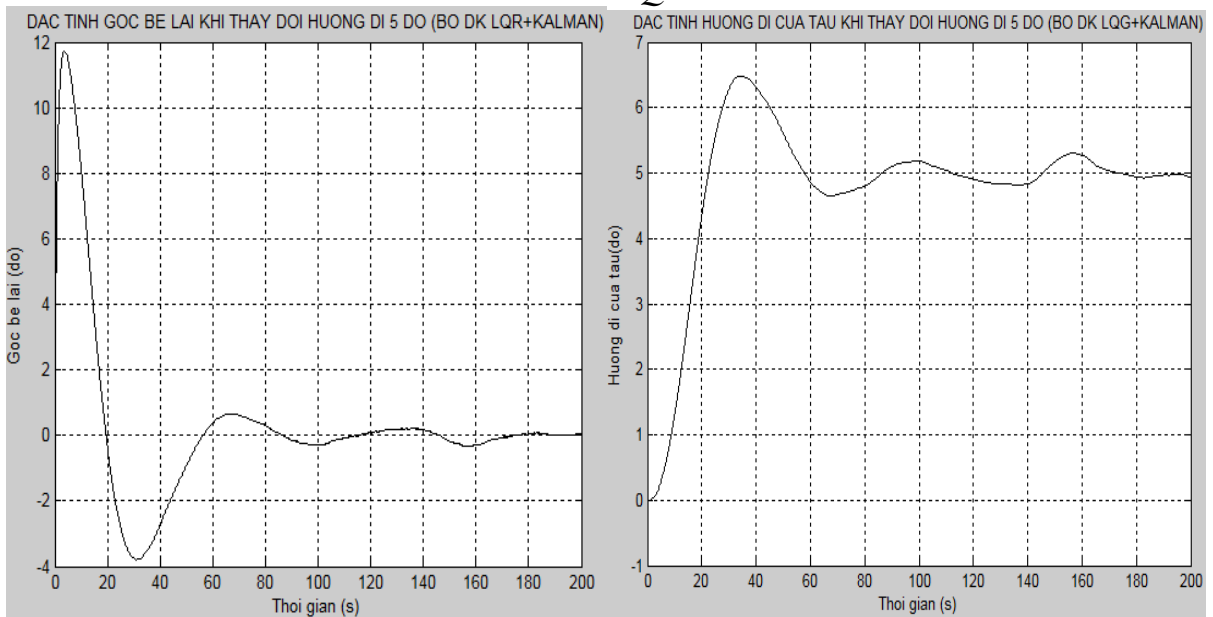


Hình 3.5 Mô hình mô phỏng hệ thống điều khiển tối ưu phản hồi đầu ra (LQG) dùng quan sát Kalman

e. Kết quả mô phỏng (khi thay đổi hướng đi 5 độ)



a) b)
Hình 3.6 Kết quả đáp ứng góc bẻ lái (hình a), hướng đi hình (b) dùng bộ điều khiển LQR

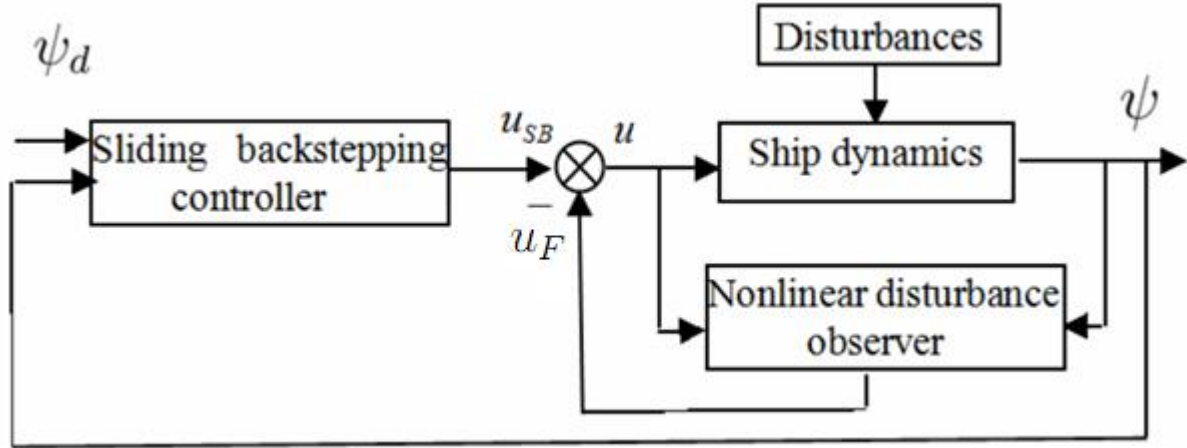


a) b)
Hình 3.7 Kết quả đáp ứng góc bẻ lái (hình a), hướng đi hình (b) dùng điều khiển tối ưu phản hồi đầu ra (LQG) và bộ quan sát Kalman

3.4 Điều khiển hướng tàu thủy sử dụng sử dụng bộ quan sát trạng thái kết hợp bộ điều khiển trượt [23].

Bài toán sử dụng điều khiển cuốn chiếu trượt (*Sliding Backstepping*) cho hướng tàu sử dụng bộ quan sát trạng thái. Do tính phi tuyến lớn của hệ thống lái, cũng như những ảnh hưởng của nhiễu loạn ngẫu nhiên của môi trường: Sóng, gió, dòng chảy...nên việc thiết kế một bộ điều khiển đảm bảo giữ hướng cho tàu có hiệu suất cao luôn luôn khó khăn. Trong cấu trúc này sử dụng một bộ quan sát nhiễu ngẫu nhiên *Nonlinear disturbance Observer- NDO* để quan sát những

những nhiễu ngẫu nhiên tác động vào hệ thống kết hợp bộ điều khiển trượt cuốn chiếu (Sliding Backstepping Controller) cho hệ thống có nhiễu ngẫu nhiên tác động (hình 3.8). Bộ điều khiển được thiết kế có thể đảm bảo sự ổn định của hệ thống vòng kín và nhiễu của chế độ kiểm soát trượt giảm.



Hình 3.8. Cấu trúc hệ thống điều khiển giữ hướng sử dụng bộ điều khiển trượt với bộ quan sát nhiễu ngẫu nhiên

Trong bài toán này mô hình toán của hệ thống chuyển động theo hướng có dạng (Model Norrbín).

$$\begin{aligned} (T + \Delta T)\ddot{\psi} + \dot{\psi} + (a + \Delta a)\psi^3 &= (k + \Delta k)\delta + d \\ \delta_{\max} &= 35[\text{deg}] \\ \dot{\delta}_{\max} &= 3[\text{deg/s}] \end{aligned} \quad (3.15)$$

Trong đó ψ - Góc hướng của tàu, δ - Góc bẻ lái, T - Khoảng thời gian không đổi, k và Δk - Hệ số khuếch đại, d - Nhiễu loạn bên ngoài, a và Δa - Hệ số Norrbín. Chọn biến trạng thái $x_1 = \psi$, $x_2 = \dot{\psi}$, $u = \delta$ - Là tín hiệu điều khiển kết hợp với (3.15) được (3.16).

$$\begin{aligned} \dot{x}_1 &= x_2 \\ \dot{x}_2 &= f(x) + bu + F \\ y &= x_1 \end{aligned} \quad (3.16)$$

Trong đó $f(x) = (-x_2 - ax_2^3)/T$, $b = K/T$, F - Là tất cả các yếu tố không chắc chắn, được tính theo (3.17).

$$F = (\Delta T\ddot{\psi} + \Delta a\dot{\psi}^3 + \Delta k\delta)/T + d \quad (3.17)$$

Mục tiêu điều khiển của bộ điều khiển hướng tàu là làm cho tín hiệu đầu ra (y) của hệ thống (3.16) bám tiệm cận theo hướng ψ_d mong muốn bằng cách thiết kế luật điều khiển của tín hiệu (u), trong khi vẫn giữ được tất cả các tín hiệu giới hạn vòng lặp kín.

Xác định bộ quan sát NDO: Bộ quan sát NDO đưa ra có dạng (3.18).

$$\begin{aligned}\hat{F} &= z + p(x_1, x_2) \\ z &= -L(x_1, x_2)z + L(x_1, x_2)[-p(x_1, x_2) - f(x) - bu]\end{aligned}\quad (3.18)$$

Với $z \in \mathbb{R}^2$, cách tìm $p(x_1, x_2)$ đã được xác định, $L(x_1, x_2)$ khuếch đại NDO được xác định từ phương trình (3.19).

$$L(x_1, x_2)\dot{x}_2 = dp(x_1, x_2) / dt \quad (3.19)$$

$$\text{Sai lệch quan sát} \quad \tilde{F} = F - \hat{F} \quad (3.20)$$

Do yếu tố ngẫu nhiên của nhiễu loạn nên chọn $\dot{F} = 0$ nghĩa là cho rằng các nhiễu loạn biến đổi tương đối chậm để quan sát, từ (3.18), (3.19), (3.20) ta được

$$\begin{aligned}F &= \dot{F} - \hat{F} = -\dot{z} - \dot{p}(x_1, x_2) = L(x_1, x_2)[z + p(x_1, x_2)] - L(x_1, x_2)[\dot{x}_2 - f(x) - bu] \\ &= L(x_1, x_2)\hat{F} - L(x_1, x_2)F = -L(x_1, x_2)\tilde{F}\end{aligned}\quad (3.21)$$

Từ (3.21) ta thấy sai lệch quan sát là tiệm cận ổn định trên toàn miền nếu $L(x_1, x_2) > 0$.

Giả sử chọn $L(x_1, x_2) = a \rightarrow p(x_1, x_2) = a \cdot x_2$ và $\dot{x}_2 = f(x) + b(u + F/b)$. Do đó tín hiệu khuếch đại quan sát nhiễu sẽ là $(1/b)$ và biên điều khiển $u_F = F/b$.

Thiết kế bộ điều khiển cuốn chiếu trượt: Sau khi đưa bộ NDO, khi đó ta có

$$\begin{aligned}\dot{x}_2 &= f(x) + bu + F = f(x) + b(u_{SB} - u_F) + F = f(x) + bu_{SB} - \hat{F} + F \\ &= f(x) + bu_{SB} + \tilde{F}\end{aligned}\quad (3.22)$$

Từ (3.22) rõ ràng là nhiễu loạn đã được thay đổi từ $F \rightarrow \tilde{F}$ và tất cả các nhiễu loạn đã được giảm sau khi sử dụng bộ NDO, lúc này (3.16) được viết theo (3.23)

$$\begin{aligned}\dot{x}_1 &= x_2 \\ \dot{x}_2 &= f(x) + bu_{SB} + \tilde{F} \\ y &= x_1\end{aligned}\quad (3.23)$$

Sai lệch điều khiển của hệ thống có thể được tính theo (3.24).

$$\begin{aligned}e_1 &= y - y_d \\ e_2 &= x_2 - a_1(x_1)\end{aligned}\quad (3.24)$$

Như vậy luật điều khiển được xác định theo (3.25)

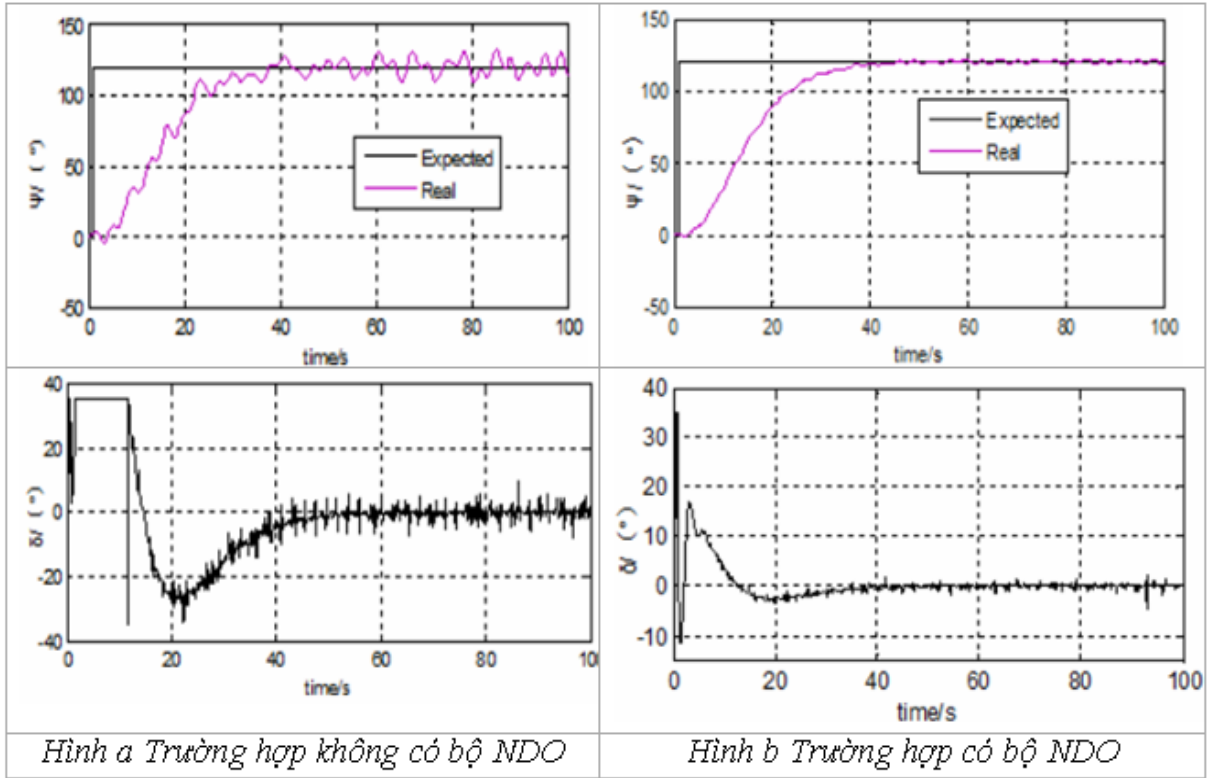
$$u_{SB} = [c_1(k_1 e_1 - e_2) - f(x) + \dot{a}_1(x_1) - e_1 - h s - \delta \text{sgn}(s)] / b \quad (3.25)$$

Trong đó $c_1 > 0$, $k_1 > 0$, $h > 0$ là những thông số thiết kế, δ - Ước lượng của δ .

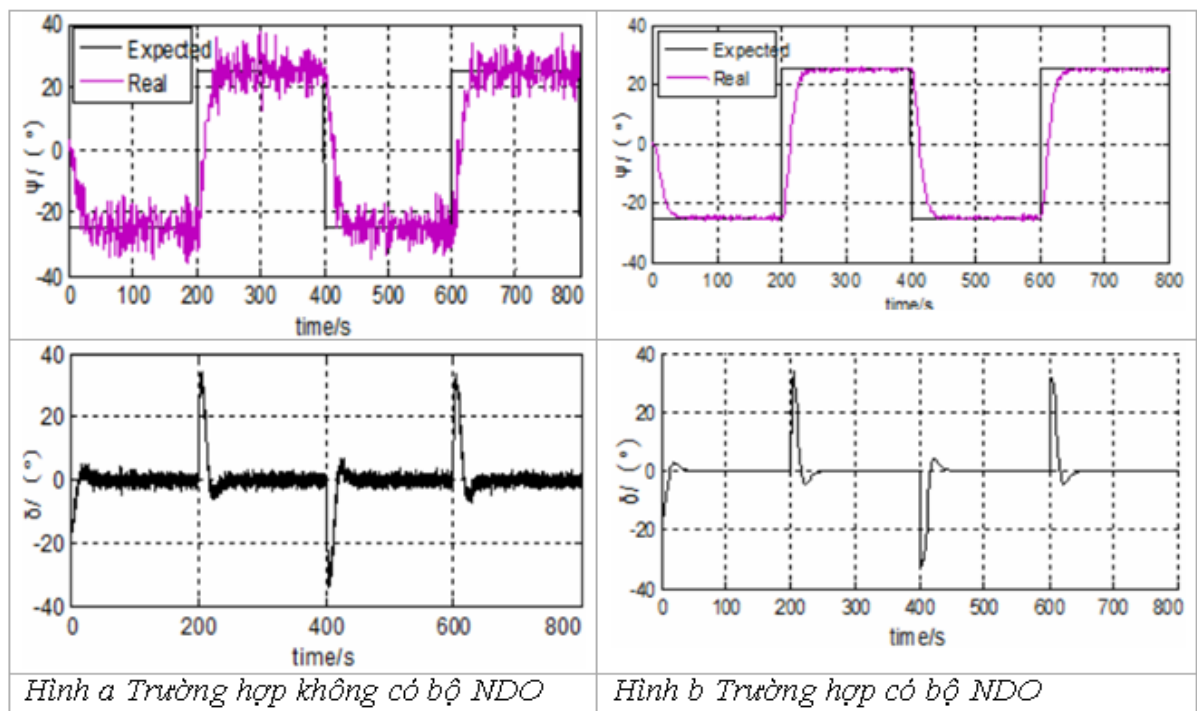
Kết quả mô phỏng hệ thống

Hình 3.9 đáp ứng tín hiệu ra hướng tàu và góc lái khi hướng đặt trước cho tàu là 120° . Hình 3.10 đáp ứng tín hiệu ra hướng tàu và góc lái khi thay đổi hướng đặt. Từ kết quả mô phỏng cho thấy đáp ứng đầu ra hướng tàu và góc bẻ lái khi sử

dụng bộ quan sát NDO tốt hơn khi không sử dụng bộ quan sát NDO. Khi có nhiễu tác động hoặc khi có sự thay đổi hướng thì đáp ứng đầu ra góc hướng, góc bẻ lái thực của tàu có quá trình quá độ nhỏ và góc hướng luôn bám theo hướng đặt của tàu khi sử dụng bộ quan sát NDO.



Hình 3.9. Đáp ứng đầu ra hướng tàu và góc lái khi hướng đi đặt trước cho tàu là 120°



Hình 3.10. Đáp ứng đầu ra hướng tàu và góc lái khi thay đổi hướng đặt.

KẾT LUẬN

Trên đây là toàn bộ nội dung nghiên cứu của đề tài. Đề tài đã giải quyết được các vấn đề sau :

Tìm hiểu, phân tích nghiên cứu được động lực học chuyển động tàu thủy trong 6 bậc tự do. Nghiên cứu phân tích được mô hình toán của chuyển động tàu thủy 6 bậc, 4 bậc, 3 bậc tự do. Phân tích nghiên cứu được mô hình không gian trạng thái mô tả động học tàu thủy, mô hình toán hệ thống truyền động lái tàu thủy. Những mô hình toán này là cơ sở cho việc nghiên cứu các bài toán về điều khiển chuyển động tàu thủy

Nghiên cứu được sự ảnh hưởng của nhiễu tới việc ổn định hướng đi. Nghiên cứu, phân tích được các phương pháp giảm thiểu tác động của nhiễu tới hướng đi. Đưa ra cơ sở cho việc ứng dụng bộ lọc Kalman vào trong hệ thống lái. Đi sâu phân tích cấu trúc, chức năng hệ thống lái số PT70 có tích hợp giữa bộ điều khiển tối ưu và bộ quan sát trạng thái Kalman mở rộng, đây là cơ sở cho việc mở rộng, ứng dụng các bộ quan sát trạng thái nhằm nâng cao chất lượng ổn định hướng đi cho tàu thủy.

Đề tài đã nghiên cứu, đề xuất ứng dụng bộ quan sát trạng thái Kalman kết hợp bộ điều khiển tối ưu cho chức năng ổn định hướng đi tàu thủy, mô phỏng so sánh kết quả khi có và không có sử dụng bộ quan sát trạng thái, kết quả mô phỏng cho thấy có sự nâng cao chất lượng hướng đi khi sử dụng bộ quan sát trạng thái, tuy nhiên kết quả này mới chỉ dừng lại ở bài toán sử dụng bộ quan sát Kalman đơn giản. Bên cạnh đó đề tài đã nghiên cứu, phân tích mô hình toán và chất lượng một bài toán cụ thể về điều khiển hướng tàu thủy sử dụng sử dụng bộ quan sát trạng thái kết hợp bộ điều khiển trượt. Đây cũng là cơ sở cho việc ứng dụng các bộ quan sát trạng thái ngoài việc sử dụng bộ lọc Kalman.

Hạn chế của đề tài là chưa đưa ra được mô hình bộ quan sát trạng thái khi nhiễu tác động là ngẫu nhiên và với các tần số nhiễu khác nhau, bài toán mới chỉ dừng lại ở mức độ mô phỏng khi nhiễu là cố định không biến thiên.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

Tiếng Việt

- [1] Trần Anh Dũng. *Điều khiển hiện đại lý thuyết và ứng dụng*. Nhà xuất bản Giao thông vận tải, 2013.
- [2] Nguyễn Thị Phương Hà. *Lý thuyết điều khiển hiện đại, hệ điều khiển tối ưu*. Nhà xuất bản Đại học Quốc gia thành phố Hồ chí Minh.
- [3] Nguyễn Thương Ngô. *Lý thuyết điều khiển tự động thông thường và hiện đại, quyển 4 Hệ tối ưu – hệ thích nghi*. Nhà xuất bản khoa học kỹ thuật, 2005
- [4] Nguyễn Doãn Phước, Phan Xuân Minh. *Điều khiển tối ưu và bền vững*. Nhà xuất bản khoa học và Kỹ thuật, 2000.
- [5] Nguyễn Doãn Phước. *Lý thuyết điều khiển tuyến tính*. Nhà xuất bản khoa học và Kỹ thuật, 2005.

Tiếng Anh

- [6] Arbab Nighat Khizer, Dai Yaping, M.A. Unar. *Design of Heading Controller for Cargo Ship using Feed Forward Artificial Neural Network*.
- [7] Aulia Siti Aisjah. *An Analysis Nomoto Gain and Norbin Parameter on Ship Turning Maneuver*. The Journal for Technology and Science, Vol. 21, No. 2, May 2010
- [8] Breivik, M. and T.I. Fossen. *Guidance Laws for Autonomous Underwater Vehicles. Chapter 4, In "Intelligent Underwater Vehicles"*. I-Tech Education and Publishing (A. V. Inzartsev, Ed.), Vienna, January 2009.
- [9] Baozhu Jia¹, Hui Cao, Jie Ma. *Design and Stability Analysis of Fuzzy Switched PID Controller for Ship Track-Keeping*. Journal of Transportation Technologies, 2012, 2, 334-338.
- [10] Christensen, A. and M. Blanke (1986). *A Linearized State-Space Model in Steering and Roll of a High-Speed Container Ship*. Technical Report 86-D-574. Servolaboratoriet, Technical University of Denmark. Denmark.
- [11] Christian Holden. *Model ingand Control of Parametric Roll Resonance*. Thesis for the degree of philosophiae doctor Trondheim, June 2011.
- [12] Cristian Toma. *On PID Controller Design by Combining Pole Placement*

Technique with Symmetrical Optimum Criterion. Received 10 April 2013;
Revised 8 July 2013; Accepted 8 July 2013

- [13] Eloy Lopez, Teresa M. Rueda, Fco. J. Velasco. *Marine course – changing control using the pole placement method with a polynomial*. Fecha: 1999
- [14] Fossen, T.I. *Guidance and Control of Ocean Vehicles*. John Wiley and sons, 1994
- [15] Fossen, T.I. and M. Paulsen (1992). *Adaptive Feedback Linearization Applied to Steering of Ships*. In: Proceedings of the 1st IEEE Conference on Control Applications. Dayton, Ohio. pp. 1088-1093.
- [16] Fossen, T.I. and T. Lauvdal (1994). *Nonlinear Stability Analysis of Ship Autopilots in Sway, Roll and Yaw*. Proceedings of the Conference on Marine Craft Maneuvering and Control (MCMC'94), Southampton, UK.
- [17] Fossen, T. I and O.E. Fjellstad (1995). *Nonlinear Modelling of Marine Vehicles in 6 Degrees of Freedom*. International Journal of Mathematical Modelling of Systems JMMS-1(1), pp. 17-28.
- [18] Fossen, T.I. and J.P. Strand (1999). *Passive Nonlinear Observer Design for Ships Using Lyapunov Methods*. Experimental Results with a Supply Vessel. Automatica AUT-35(1), pp. 3-16.
- [19] Fossen, T. I, (2000). *A Survey On Nonlinear Ship Control: From Theory To Practice*. Department Of Engineering Cybernetics Norwegian University Of Science And Technology, N-7491 Trondheim, Norway.
- [20] Fossen, T. I, (2000). Nonlinear Passive Control and Observer Design for Ship. *NO.3 129-184, Modeling, Identification and Control*
- [21] Fossen, T. I. *Marine Control Systems - Guidance, Navigation and Control of Ships, Rigs and Underwater Vehicles Marine Cybernetics*, 3rd edition, 2002.
- [22] Fossen, T. I. *Nonlinear Modeling and Control of Underwater Vehicles*. PhD thesis, Norwegian University of Science and Technology.
- [23] Lauvdal, T. and T. I. Fossen (1997). *Nonlinear Rudder-Roll Damping of Non-Minimum Phase Ships Using Sliding Mode Control*. In: Proceedings of the European Control Conference. Brussels, Belgium.

- [24] Jin Cheng, Jianqiang Yi, Dongbin Zhao. *Neural Network Based Model Reference Adaptive Control for Ship Steering System*. International Journal of Information Technology, Vol. 11 No. 6 2005 .
- [25] Jialu Du, Chen Guo. *Nonlinear Adaptive Ship Course Tracking Control Based on Backstepping and Nussbaum Gain*. Proceeding of the 2004. American Control Conference Boston Massachusetts July 30 - July 2, 2004.
- [26] Jasmin Velagic, Zoran Vukic, Edin Omerdic (2003). *Adaptive fuzzy Ship autopilot for track – keeping*. Control Engineering Practice 11.
- [27] Lundblad, J. G. *Application of the Extended Kalman Filtering Technique to Ship Maneuvering Analysis*. PhD thesis, Massachusetts Institute of Technol-ogy.
- [28] Lauvdal, T. and T. I. Fossen (1998). *Rudder Roll Stabilization of Ships Subject to Input Rate Saturations Using a Gain Scheduled Control Law*. In: Proceedings of the IFAC Conference on Control Applications in Marine Systems (CAMS'98). pp. 121-127. Fukuoka, Japan.
- [29] M. J. Mahjoob and E.Abbasi. *Fuzzy LQR Controller for Heading Control of an Unmanned Surface Vessel*. Center for Mechatronics and Automation, School of Mechanical Engineering College of engineering, University of Tehran Tehran, Iran
- [30] Perez, T. and T. I. Fossen. *Ship Kinetics. Chapter 4, In: "Ship Motion Control: Course Keeping and Roll Stabilisation using Rudder and Fins" (T. Perez)*, Advances in Industrial Control Series, Springer-Verlag, 2005, ISBN 1-85233.
- [31] 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.
- [32] Takezawa, Seiji. Directives for the Design of a Linear Quadratic Autopilot for Minimum Fuel Consumption. The Society of Naval Architects of Japan, Nov. 1999
- [33] Instruction Manual Autopilot PT70 Yokogawa Denshikiki Co., LTD