

**THIẾT KẾ BỘ ĐIỀU KHIỂN LÁI CHO HỆ THỐNG LÁI KHÔNG TRỤ LÁI
(STEER BY WIRE) ĐIỆN TỬ-THỦY LỰC**
STEERING CONTROLLER DESIGN FOR ELECTRO – HYDRAULIC STEER BY
WIRE SYSTEM

**Nguyễn Xuân Tuấn¹, Trần Văn Như², Nguyễn Văn Bang²,
Đinh Thị Thanh Huyền², Lê Văn Anh¹**

¹ Khoa Công Nghệ Ô tô, Trường Đại học Công Nghiệp Hà Nội

² Khoa Cơ khí, Trường Đại học Giao thông Vận tải

[Email:tuannx.dhcn@gmail.com](mailto:tuannx.dhcn@gmail.com)

TÓM TẮT

Steer By Wire là hệ thống lái không có truyền động cơ khí từ vành tay lái đến bánh xe dẫn hướng. Vành tay lái chỉ đóng vai trò tạo tín hiệu đổi hướng chuyển động. Việc dẫn động bánh xe dẫn hướng thực hiện đổi hướng chuyển động do bộ phận chấp hành của bộ điều khiển dẫn hướng thực hiện. Bài báo xây dựng bộ điều khiển dẫn hướng chuyển động ô tô cho hệ thống lái không trụ lái loại điện tử - thủy lực trên cơ sở phương pháp điều khiển trượt. Luật điều khiển được áp dụng mô phỏng trên phần mềm Matlab – Simulink để đánh giá hiệu quả của bộ điều khiển thiết kế.

Từ khoá: điều khiển trượt, SBW, mô hình hóa hệ thống lái.

ABSTRACT

The Steer By Wire (SBW) is a steering system where there is non-mechanical linkages between the steering wheel and direction wheel. The role of the steering wheel is a signal generator, Vehicle direction change is effected by an actuator. The article focuses on developing a controller for the electro-hydraulic steer by wire for changing direction. The controller is developed based on the sliding mode control. Control law is applied and simulated in Matlab - Simulink to show the effectiveness of the designed controller.

Keywords: sliding mode control, electro-hydraulic steer by wire, modeling of steering system.

1. TỔNG QUAN

Hệ thống lái Steer by wire (SBW-Steer By Wire) được hiểu là hệ thống lái không có truyền động cơ khí từ vành tay lái đến bánh xe dẫn hướng. Vành tay lái lúc này chỉ đóng vai trò tạo tín hiệu đổi hướng chuyển động còn việc dẫn động bánh xe dẫn hướng thực hiện đổi hướng chuyển động do bộ phận chấp hành của bộ điều khiển dẫn hướng thực hiện. Để tạo cảm giác cản quay vòng trên vành tay lái, hệ thống lái SBW còn được trang bị bộ tái tạo cảm giác lái. Chính vì không có hệ truyền động cơ khí giữa vành tay lái và bánh xe dẫn hướng giúp cho việc bố trí dễ dàng và tạo điều kiện cho việc thay đổi tỷ số truyền của hệ

thống lái phù hợp với vận tốc chuyển động giúp nâng cao an toàn chuyển động. Bộ phận chấp hành của bộ điều khiển dẫn hướng chuyển động phổ biến hiện nay là bộ phận chấp hành thủy lực và bộ phận chấp hành điện.

Hệ thống lái SBW được các tác giả trong và ngoài nước tập trung nghiên cứu nhiều trong những năm gần đây. Trong [1] các tác giả mô phỏng quỹ đạo chuyển làn của ô tô sử dụng hệ thống lái SBW điện. Các tác giả xây dựng mô hình hệ thống lái SBW và mô phỏng với bộ điều khiển PID. Đối với hệ thống lái SBW thì người lái không trực tiếp nhận được các lực phản hồi từ mặt đường như

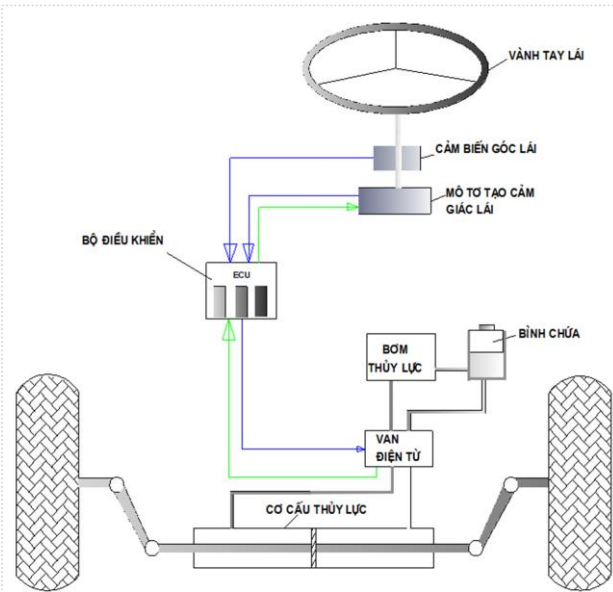
lực cản lái. Trong [2] các tác giả nghiên cứu thiết kế bộ tái tạo cảm giác lái bằng cách đo dòng của động cơ điện dẫn động lái. Trong lĩnh vực máy nông nghiệp, các tác giả đã xây dựng mô hình và điều khiển theo lưu đồ trạng thái để điều khiển hệ thống lái SBW [3]. Các nghiên cứu trên thế giới tập trung nghiên cứu nhiều về hệ thống lái SBW loại điện,

Đối tượng nghiên cứu trong bài báo này là hệ thống lái SBW loại thủy lực, sử dụng bộ trợ lực thủy lực điều khiển điện tử của hệ thống lái trợ lực để thiết kế hệ thống lái SBW. Trong nội dung bài báo này tác giả tập trung nghiên cứu thiết kế bộ điều khiển dẫn hướng chuyển động của ô tô cho hệ thống lái SBW điện tử - thủy lực. Bộ điều khiển được xây dựng trên cơ sở phương pháp điều khiển trượt, bộ điều khiển dừng lại ở mức độ tính toán lực tác dụng lên bộ phận chấp hành thủy lực của cơ cấu lái. Sự không xác định của lực cản quay vòng được xét đến đảm bảo sự bền vững của luật điều khiển.

2. XÂY DỰNG MÔ HÌNH ĐỘNG LỰC HỌC DẪN ĐỘNG LÁI HỆ THỐNG LÁI STEER BY WIRE (SBW) ĐIỆN TỬ - THỦY LỰC

Sơ đồ hệ thống lái SBW điện tử - thủy lực thể hiện trên Hình 1 có thể chia thành 3 phần: vành tay lái và bộ phận tái tạo cảm giác lái; phần dẫn hướng chuyển động; bộ phận điều khiển. Trong bài báo này, các tác giả quan tâm đến phần dẫn hướng chuyển động gồm có: bơm dầu, van điện tử và cơ cấu chấp hành thủy lực. Bộ điều khiển điều khiển van thủy lực để đưa dầu vào bên trái hoặc bên phải để thực hiện đổi hướng chuyển động.

Để xây dựng mô hình động lực học ta đưa ra các giả thiết sau: Dẫn động lái giữa bánh xe bên trái và bên phải là cơ cấu 6 khâu - 6 khớp được đơn giản hóa thành cơ cấu 4 khâu - 4 khớp (hình thang lái); Coi thước lái - piston thủy lực có độ cứng chống nén là vô cùng, có khối lượng tập trung m , lực ma sát và cản nhớt của piston với xy lanh coi là phụ thuộc tuyến tính vào vận tốc và mô hình hóa

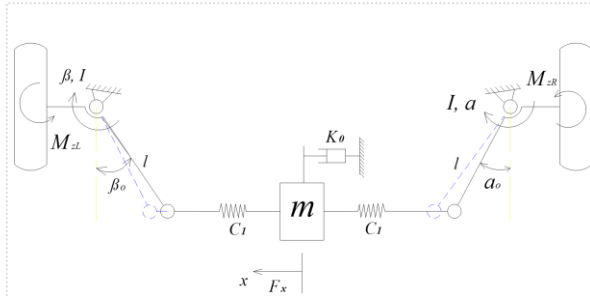


Hình 1 Sơ đồ hệ thống lái SBW điện tử - thủy lực

bằng hệ số cản nhớt K_0 ; Mỗi đòn bên của hình thang lái có độ đàn hồi uốn quanh tâm quay trụ đứng, độ đàn hồi uốn này được quy dẫn thành độ đàn hồi kéo/nén ở vị trí thước lái và giả thiết là tuyến tính có hệ số C_1 , bỏ qua hệ số cản; Mô men cản quay của bánh xe dẫn hướng M_z coi là phụ thuộc tuyến tính vào góc quay của bánh xe dẫn hướng và được mô hình hóa như sau:

$$M_z = C_2\gamma + K_2\varphi \quad (1)$$

Trong đó: γ - góc quay của bánh xe dẫn hướng; C_2 , K_2 - độ cứng và hệ số cản quay của bánh xe dẫn hướng. Mô men quán tính khối của bánh xe dẫn hướng đối với trụ quay đứng ký hiệu I . Từ các giả thiết trên ta xây dựng được mô hình động lực học phần dẫn động thể hiện trên Hình 2 với góc α , β tương ứng là các góc quay của bánh xe dẫn hướng bên trái và bên phải (so với chiều chuyển động của ô tô). M_{zL} và M_{zR} tương ứng là mô men cản quay của bánh xe dẫn hướng bên trái và bên phải được mô hình hóa theo (1):



Hình 2 Mô hình động lực học phân dẫn hướng chuyển động hệ thống lái SBW

$M_{zR} = C_2\alpha + K_2\dot{\alpha}$, $M_{zL} = C_2\beta + K_2\dot{\beta}$; l là chiều dài của đòn bên của hình thang lái. Ở trạng thái chuyển động thẳng đòn này tạo với phương dọc một góc α_0 và β_0 . Mô hình phân dẫn hướng chuyển động có 3 tọa độ suy rộng, dịch chuyển của thước lái x , góc quay của bánh xe dẫn hướng bên trái α , bên phải β . Giả thiết chiều dương của các đại lượng này theo chiều thể hiện như trên hình 2. Giả sử khi đánh lái sang trái hệ thống van điện từ bên trái sẽ điều khiển bơm dầu tạo ra áp suất P tác dụng vào piston, áp suất P này gây ra lực F_x đẩy piston về bên trái một đoạn x , làm cho bánh xe dẫn hướng bên trái và bên phải quay một góc α , β . Giải phóng liên kết đàn hồi và áp dụng nguyên lý D’Alambert ta xây dựng được hệ phương trình

$$\begin{cases} m\ddot{x} = -F_1 - F_2 - K_0x + F_x \\ I\ddot{\alpha} = F_1l \cos(\alpha + \alpha_0) - M_{zR} \\ I\ddot{\beta} = F_2l \cos(\beta + \beta_0) - M_{zL} \end{cases} \quad (2)$$

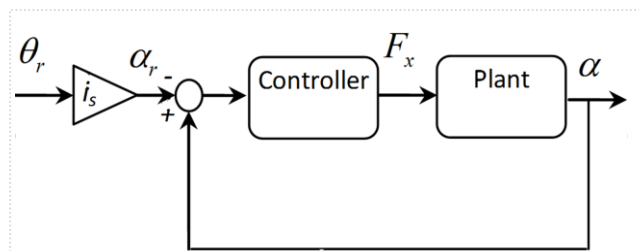
Trong đó F_1 , F_2 là các thành phần lực liên kết đàn hồi bên phải và bên trái

$$F_1 = -C_1(x - l \sin(\alpha + \alpha_0) + l \sin \alpha_0) \quad (3)$$

$$F_2 = -C_1(x - l \sin(\beta + \beta_0) + l \sin \beta_0) \quad (4)$$

3. THIẾT KẾ BỘ ĐIỀU KHIỂN DẪN HƯỚNG CHUYỂN ĐỘNG TRÊN CƠ SỞ PHƯƠNG PHÁP ĐIỀU KHIỂN TRƯỢT

Bộ điều khiển dẫn hướng chuyển động có 3 vai trò: dẫn hướng chuyển động; thay đổi tỷ số truyền của hệ thống lái; điều khiển ổn định quỹ đạo chuyển động của ô tô. Trong nghiên cứu này, các tác giả chỉ tập trung vào vai trò thứ nhất, điều khiển dẫn hướng chuyển động với giả thiết tỷ số truyền của hệ thống lái là không thay đổi. Có nghĩa bộ điều khiển thiết kế điều khiển bánh xe dẫn hướng quay bám theo góc quay mong muốn α_r , phụ thuộc vào góc quay vành tay lái θ_r , $\alpha_r = \theta_r i_s$. Trên hình 3 thể hiện sơ đồ điều khiển dẫn hướng chuyển động hệ thống lái SBW.



Hình 3. Sơ đồ điều khiển dẫn hướng chuyển động hệ thống lái SBW

Từ phương trình thứ 2 của hệ (2) đạo hàm 2 vế và thay phương trình thứ 1 vào ta được phương trình viết dưới dạng

$$\ddot{\alpha} = f(\cdot) + g(\cdot)u \quad (5)$$

Trong đó:

$$f(\cdot) = \left(\begin{array}{c} C_1(\ddot{x} - (l \cos(\alpha + \alpha_0)\ddot{\alpha})) \\ +K_0(-F_1 - F_2)/m \\ -F_2l \sin(\alpha_0 + \alpha)\ddot{\alpha} - (C_2\ddot{\alpha} + K_2\dot{\alpha}) \end{array} \right) / I$$

$$g(\cdot) = \frac{K_0 / ml \cos(\alpha_0 + \alpha)}{I}$$

$$u = F_x$$

Hệ (5) là hệ động lực học bậc 2, ta xét mặt trượt bậc 2 có dạng: $S(t) = \dot{e}(t) + 2\lambda e(t)$, trong đó e là độ sai lệch giữa góc quay của bánh xe thực tế và góc quay mong muốn, $e(t) = \alpha(t) - \alpha_r(t)$, λ

là hằng số dương. Một khi mặt trượt $S = 0$ thì $e(t) \rightarrow 0$ khi $t \rightarrow \infty$. Như vậy luật điều khiển cần thiết kể sao cho $S \rightarrow 0$ khi $t \rightarrow T_r$. Biểu thức $\dot{S} = -k \operatorname{sgn}(S)$ với $k > 0$ thỏa mãn điều kiện này. Ta có

$$\ddot{\theta}_r(t) = \ddot{\theta}_r(t) + 2\lambda\dot{\theta}_r(t) + \lambda^2\theta_r(t) = -k \operatorname{sgn}(S) \quad (6)$$

Thay phương trình (5) vào (6) ta tìm được luật điều khiển

$$u = (-f(\cdot) - 2\lambda\dot{\theta}_r - \lambda^2\theta_r - kS) / g(\cdot) \quad (7)$$

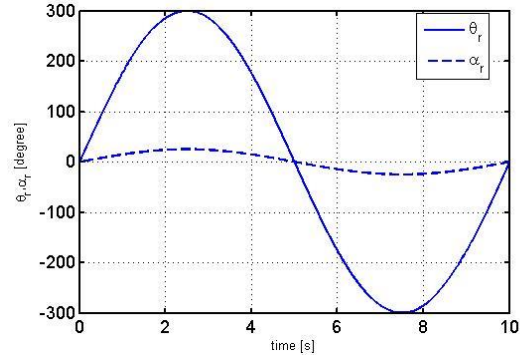
Trong phạm vi giới hạn của góc α , $g(\cdot) \neq 0$ do đó luật điều khiển (7) luôn xác định.

Áp dụng luật điều khiển (7) vào mô phỏng động lực học hệ thống lái SBW với các thông số thể hiện trong bảng 1 [4]

Bảng 1: Thông số của mô hình động lực học phân dẫn hướng chuyển động của hệ thống lái SBW

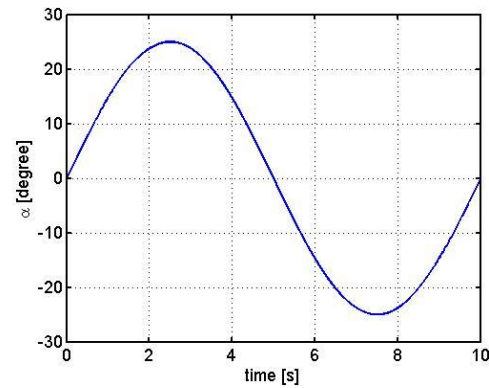
TT	Thông số	Giá trị	Đơn vị
1	m	2	kg
2	I	1.5	kg.m ²
3	K_0	45	N.s/m
4	C_1	1200000	N/m
5	C_2	880	N.m/rad
6	K_2	225	N.m.s/rad
7	l	0.25	m
8	α_0	40	độ
9	β_0	40	độ
10	i_s	12	

Từ hình 5 đến hình 9 thể hiện kết quả mô phỏng với góc đánh lái của vành tay lái θ_r tương ứng với góc quay bánh xe dẫn hướng mong muốn α_r thể hiện trên hình 4.



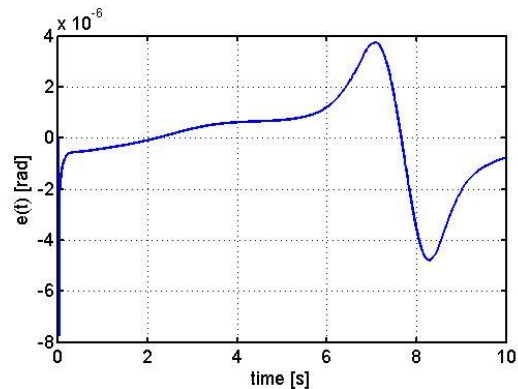
Hình 4. Góc quay vành tay lái và góc quay của bánh xe dẫn hướng mong muốn

Trên hình 5 thể hiện góc quay thực tế của bánh xe dẫn hướng bên phải α



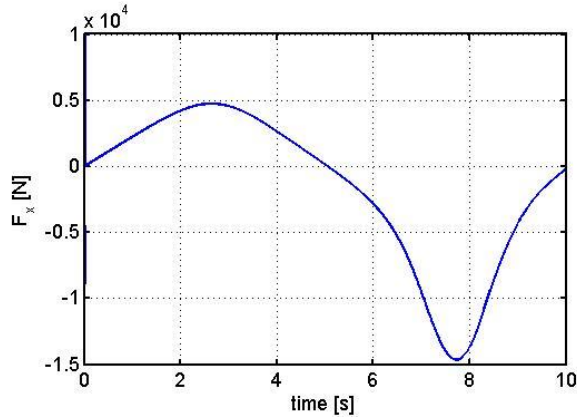
Hình 5. Góc quay thực tế của bánh xe dẫn hướng

Độ sai lệch $e(t)$ giữa góc quay thực tế và góc quay mong muốn rất nhỏ ($< 5 \cdot 10^{-6}$ rad) thể hiện trên hình 6 chứng tỏ sự làm việc hiệu quả của bộ điều khiển thiết kế.



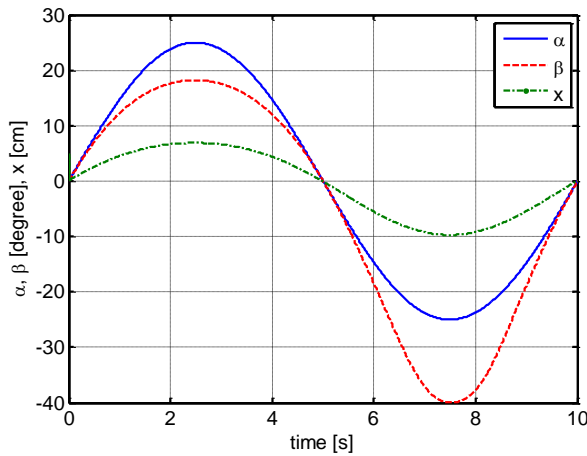
Hình 6. Sai lệch $e(t)$

Lực điều khiển $u = F_x$ thể hiện trên hình 7. Trong trường hợp mô phỏng này, giá trị lực điều khiển lớn nhất vào khoảng $0,5 \cdot 10^{-4}$ N.



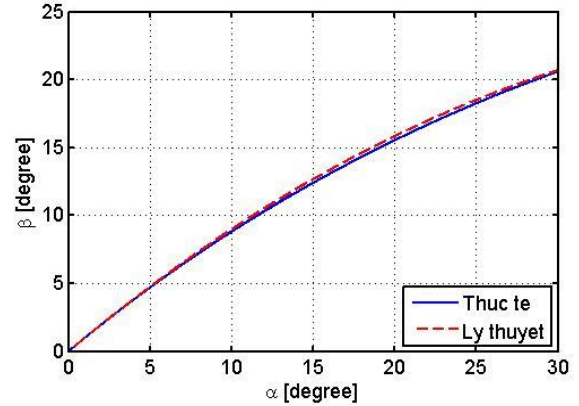
Hình 7. Lực điều khiển F_x

Góc quay của bánh xe dẫn hướng bên phải, bên trái và dịch chuyển của thước lái thể hiện trên hình 8



Hình 8. Góc quay bánh xe dẫn hướng bên trái và bên phải trong mô phỏng

Trên hình 9 thể hiện quan hệ giữa α và β thực tế mô phỏng so với điều kiện quay vòng đúng, $\tan^{-1} \beta - \tan^{-1} \alpha = B/L$, với B là khoảng cách tâm quay trụ đứng, L là chiều dài cơ sở. Sự sai khác giữa điều kiện quay vòng đúng và thực tế mô phỏng không nhiều, đảm bảo điều kiện quay vòng đúng.



Hình 9. Quan hệ giữa góc quay vòng bánh xe dẫn hướng bên trái và bên phải thực tế mô phỏng và điều kiện quay vòng đúng

5. KẾT LUẬN

Các tác giả đã xây dựng mô hình động lực học phần dẫn hướng chuyển động của hệ thống lái SBW loại điện tử - thủy lực. Trên cơ sở mô hình đã xây dựng các tác giả đã xây dựng bộ điều khiển dẫn hướng chuyển động để đảm bảo cho bánh xe dẫn hướng quay bám theo góc quay mong muốn phụ thuộc vào góc quay vành tay lái

Mô hình động lực học phần dẫn hướng chuyển động là mô hình phi tuyến mạnh. Các tác giả lựa chọn phương pháp điều khiển trượt để xây dựng luật điều khiển. Các kết quả mô phỏng cho thấy sự sai lệch giữa góc quay mong muốn và góc quay thực tế của bánh xe dẫn hướng là nhỏ, điều đó khẳng định hiệu quả của luật điều khiển thiết kế. Quan hệ động học quay vòng thực tế mô phỏng và quan hệ động học quay vòng lý thuyết không sai lệch nhiều.

Nhược điểm của phương pháp điều khiển thiết kế là cần một số lượng cảm biến lớn để xác định các thông số đầu vào cho bộ điều khiển tính toán như $x, \dot{x}, \alpha, \dot{\alpha}$ và biết mô hình động lực học chính xác của hệ thống lái SBW.

Tài liệu tham khảo

- [1] Trần Văn Lợi, Trần Văn Như, Nguyễn Xuân Tuấn, và Nguyễn Văn Bang, “Mô phỏng chuyển làn của ô tô sử dụng hệ thống lái Steer by wire”.
- [2] Trần Văn Lợi, “Thí nghiệm điều khiển tạo cảm giác lái hệ thống lái ô tô bằng tín hiệu điện”.
- [3] Salem Haggag, David Alstrom, Sabri Cetinkunt, và Alex Egelja, “Modeling, Control, and Validation of an Electro-Hydraulic Steer-by-Wire System for Articulated Vehicle Applications”, *IEEE/ASME Transactions on mechatronics*, tháng 12-2005.
- [4] Sheikh Muhamad Hafiz fahami, Hairi Zamzuri, Saiful Amri Mazlan, và Muhammad Aizzat Zakaria, “Modeling and Simulation of Vehicle Steer by Wire System”, *IEEE Symp. Humanit. Sci. Eng. Res.*, tr 765–770, 2012.