PHÂN TÍCH TẠO CẢM GIÁC LÁI TRÊN MÔ HÌNH STEER-BY–WIRE

ANALYSIS FOR STEERING FEEL ON STEER-BY-WIRE MODEL

Đỗ Văn Dũng[1], Nguyễn Văn Bang[2], Trần Văn Lợi[2]

[1]Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật TP HCM

[2]Trường Đại học Giao thông Vận tải

Ngày tòa soạn nhận bài 02/10/2014, ngày phản biện đánh giá 15/11/2014, ngày chấp nhận đăng 25/11/2014

TÓM TẮT

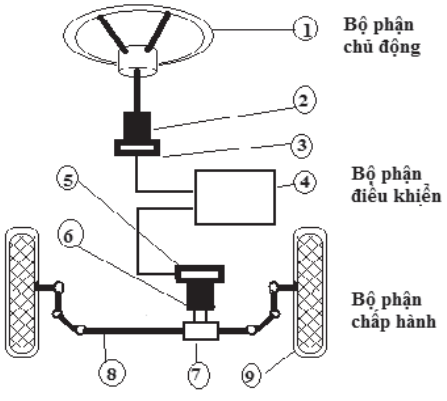
Hệ thống lái không trục lái hay lái điện (Steer-By- Wire) được tập trung nghiên cứu những năm gần đây. Điều khiển tái tạo cảm giác lái hệ thống Steer-By-Wire là một trong những công việc quan trọng khi thiết kế bộ điều khiển. Do người điều khiển không không trực tiếp tiếp nhận phản hồi tác động từ mặt đường nên việc tái tạo cảm giác lái cho người lái được phân tích và tính toán kĩ lưỡng đảm bảo cảm giác lái phù hợp nhất. Bài báo trình bày cơ sở lý luận, cách tạo ra cảm giác lái và kết quả nhận được cảm giác lái khi thí nghiệm trên mô hình hệ thống Steer-By-Wire.

ABSTRACT

In recent year, Steer by Wire is a focus interest of automotive researchers. To Because of the separation, there are some problems which must be solved. The first, it must ensure that the motions of upper part (hand-wheel) and lower part have the same speed. The second, it must ensure that Steer by wire has to produce realistic steering feel. The paper focus on how to produce steering feel and testing on Steer by Wire model.

I. ĐẶT VẤN ĐỀ

Trên hệ thống lái ô tô truyền thống, cảm giác lái chính tạo ra do ma sát, do quán tính và do mômen cản quay các bánh xe dẫn hướng quanh trụ đứng. Trên hệ thống Steer-By-Wire *(hình 1)*, do không có liên kết cứng giữa phần chủ động và bị động nên sẽ không có cảm giác lái tự nhiên mà chúng ta phải tự tái tạo cảm giác lái.



Hình 1. Hệ thống lái điện

1-Vành lái; 2-Mô tơ tạo cảm giác;3-Cảm biến vận tốc; 4-Bộ phận điều khiển; 5-Cảm biến mômen và tốc độ trục lái;6-Mô tơ điều khiển quay vòng;7-Cơ cấu lái; 8-Thước lái; 9-bánh xe chủ động.

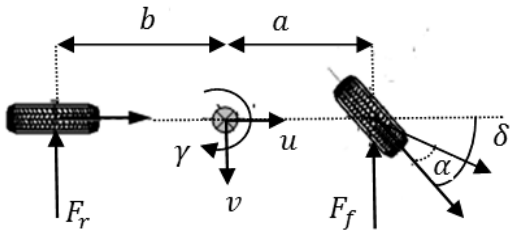
II. NỘI DUNG

1. Cảm giác lái tự nhiên

Môi trường lái xe (nhiệt độ, ánh sáng, âm thanh..) cùng với tác động phản hồi từ mặt đường khi ô tô quay vòng (cảm giác tạo ra bởi ma sát, quán tính, mômen cản quay các bánh xe dẫn hướng quanh trụ đứng) phản ánh lên vành tay lái tạo thành cảm giác lái tự nhiên. Trên hệ thống Steer-By-Wire do không có liên kết cơ khí giữa phần chủ động (vành lái) và phần bị động (cơ cấu lái) nên sẽ không có cảm giác lái tự nhiên. Do vậy, việc tái tạo lại cảm giác lái xác thực phản ánh tình trạng quay vòng là một phần chính trong việc thiết kế bộ điều khiển hệ thống Steer-By-Wire.

a. Động lực học quay vòng ô tô

Trong nghiên cứu này tác giả sử dụng mô hình hai vết để thể hiện chuyển động quay vòng ô tô.



Hình 2. Mô hình hai vết

Theo động lực học mô hình ta có:

$$a_y = \dot{v} + v.\gamma \quad (1)$$

a_y: *gia tốc theo phương ngang tại tọa độ trong tâm*

v: *vận tốc trượt ngang* $\left(\frac{m}{s}\right)$

γ: *vận tốc góc quay thân xe* $\left(\frac{rad}{s}\right)$

Trong trường hợp gia tốc theo phương ngang nhỏ hơn | a_y |< 0.3 g, lực tác dụng theo phương ngang tỷ lệ thuận với biến dạng lốp:

$$F_f = C_f.\alpha \quad (2)$$

C_f, C_r: *độ cứng lốp trước, sau*

α: *góc lệch bên*

Góc lệch bên được xác định thông qua biểu thức:

$$\alpha = \delta - \frac{a.\gamma}{u} (3)$$

δ: *góc đánh lái*(rad)

u: *vận tốc dọc thân xe* $\left(\frac{m}{s}\right)$

Mô hình chuyển động của xe được mô tả theo biểu thức:

$$\begin{bmatrix}\dot{v}\\ \dot{\gamma}\end{bmatrix} = \begin{bmatrix}\frac{-2(C_f+C_r)}{m.u} & -u - \frac{l(a.C_f-b.C_r)}{m.u}\\ \frac{-2(a.C_f-b.C_r)}{I_{ZZ}.u} & \frac{-2(a^2.C_f-b^2.C_r)}{I_{zz}.u}\end{bmatrix} \times \begin{bmatrix}v\\ \gamma\end{bmatrix} + \begin{bmatrix}2.\frac{C_f}{m}\\ 2.\frac{C_f}{I_{ZZ}}\end{bmatrix} \times \delta \quad (4)$$

I_{ZZ}: *mômen quán tính thân xe*

a, b, l: *kích thước cơ sở xe*

Khi góc quay bánh xe dẫn hướng||<40^{o}và vận tốc đánh lái không quá nhanh (vận tốc vành tay lái giới hạn 2.7m/s), giữa vận tốc đánh lái θ và góc quay vòng bánh xe dẫn hướng luôn có một độ trễ nhất định T(s). Mối liên hệ này được xác định bằng biểu thức:

$$\delta(s) = \frac{n}{T(s)+1}.\theta\,(s) (5)$$

b. Cảm giác lái phản hồi tác động từ mặt đường.

Theo Gillespie [6], mômen cản quay vòng do góc kingpin tạo ra dẫn hướng được xác định bằng biểu thức:

$$\tau_k = \tau_V + \tau_L + \tau_A (6)$$

τ_A: *mômen giữ hướng chạy thẳng*

τ_L: *mômen tạo bởi lực bên*

τ_V: *mômen tạo bởi lực dọc*

Trong đó:

$$\tau_V = -F_z.d.sin\lambda.sin\delta (7)$$

$$\tau_L = F_y.r_t.\tan v \quad (8)$$

$$\tau_A = p_t.F_y.cos\sqrt{\lambda^2+v^2} (9)$$

Lực đẩy dọc trục của thước lái được xác định:

$$F_r = \frac{\tau_k}{\{l_0.\cos(\theta_0-\delta)+l_0\cos(\theta_0+\delta)\}} (10)$$

Mômen cản quay vòng tổng cộng tại bánh xe dẫn hướng:

$$\tau_t = F_r.r_p (11)$$

Mômen cản tổng cộng bộ phận chấp hành:

$$\tau_l = \tau_t + \tau_f (20)$$

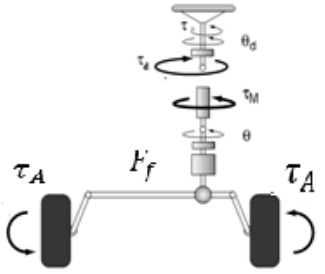
Trong đó:

$$\tau_f = F_f.sgn(\theta) (21)$$

F_f:hệ số ma sát.

Mômen cản này truyền động trực tiếp lên vành tay lái tạo thành cảm giác trên vành tay lái.

2. Động lực học hệ thống Steer-By-Wire



Hình 3. Mô hình phân tích động lực hệ thống Steer-By-Wire

Phân tích lực tác động lên vành tay lái ta có thể viết phương trình chuyển động vành tay lái qua phương trình:

$$J.\ddot{\theta} = \tau_M - \tau_l \quad (22)$$

J: *mômen quán tính bộ phận chấp hành*

Trong đó τ_M mômen mô tơ điện

$$\tau_M = K_t.i_a \quad (23)$$

K_t: *Hệ số từ động cơ*

i_a: *cường độ dòng điện*

Đối với hệ thống lái trợ lực điện, công thức *22* được thể hiện như sau:

$$J.\ddot{\theta} = \tau_a + \tau_d - \tau_l \quad (23)$$

τ_a: *mômen trợ lực lái*

t_d : *mômen đánh lái*

$$\tau_a = K_a.\theta^2 - \text{sign}(\dot{\theta})K_v.u \quad (24)$$

K_a, K_v: *Hệ số phụ thuộc vào đặc tính trợ lực, đặc tính từ môtơ*

Ta có thể thấy ở *22* và *23* mômen do mô tơ sinh bằng với mômen trợ lực và mômen đánh lái:

Phương trình thể hiện động lực học vành tay lái:

$$J_{SW}.\ddot{\theta_d} = \tau_{d1} - \tau_{feedback} \quad (25)$$

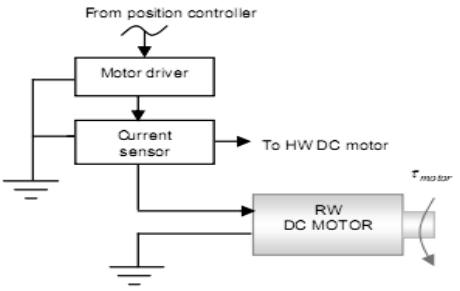
Có thể thấy qua các phân tích trên, cảm giác đánh lái ở hệ thống lái điện chính bằng mômen quán tính hệ thống và lực phản hồi tại mô tơ tạo cảm giác $\tau_{d1} = J_{SW}.\ddot{\theta}d + \tau_{feedback}$. Để cảm giác lái phản hồi trên vành tay láitrên hệ thống Steer-By-Wire giống với hệ thống lái thông thường thì $\tau_{d1}=\tau_d$. .

3. Phương pháp tạo cảm giác lái trên mô hình thí nghiệm

Tái tạo cảm giác lái đã được nhiều nhà nghiên cứu tiến hành. Có thể kể đến phương pháp tạo cảm lái phương pháp sử dụng **Biểu đồ mômen, cảm biến mômen, phương pháp tạo cảm giác thông qua cảm biến dòng.** Trong nghiên này, tác giả giới thiệu phương pháp tạo cảm giác lái thông qua cảm biến dòng của Ba-Hai Nguyen, Jee Hwan Ryu [4]. Khi động cơ điều khiển xoay cơ cấu lái, một tín hiệu điện tương ứng cũng xuất hiện bên trong động cơ. Dòng điện này tỷ lệ tuyến tính với mômen sinh ra của động cơ và mối liên hệ này được biểu diễn qua công thức:

$$\tau_{motor} = i.K_t.\eta \quad (26)$$

Trong đó i, và K_t lần lượt là dòng điện phần ứng của động cơ, hằng số mômen động cơ và hiệu suất của động cơ. Có thể thấy trong công thức trên, giá trị của tín hiệu dòng điện phụ thuộc vào mômen của trục động cơ. Mômen này lại phụ thuộc trực tiếp vào các yếu tố mặt đường, góc đặt bánh xe như đã nêu trên. Do đó, từ công thức trên ta có thể tìm được i để sử dụng cho việc tạo cảm giác lái. Dưới đây là sơ đồ mô tả cách đấu nối cảm biến dòng để đo được tín hiệu điện.



Hình 4. Sơ đồ đấu nối cảm biến dòng điện

Mômen này được xác định để phản hồi lên vành tay lái.

$$\tau_{feedback} = G_{feel}.(K_t.i_a - \tau_a) + \tau_{fc} \quad (27)$$

Trong đó: G_{feel} là hệ số cho phép hiệu chỉnh cảm giác lái.

i_a: là dòng điện trong động cơ xoay cơ cấu lái.

τ_{fc}: là mômen lái tự do (free control).

Mômen này phụ thuộc vào góc quay của vô lăng và hệ số hiệu chỉnh:

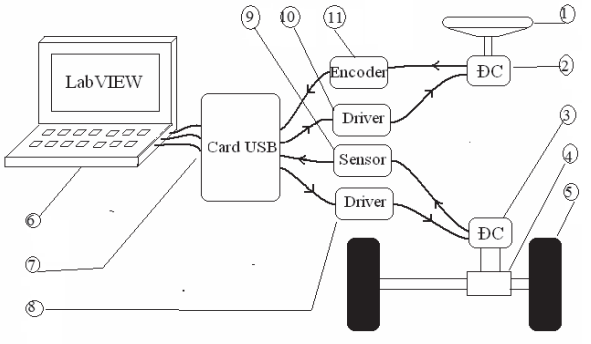
$$\tau_{fc} = K_{fc}.\theta_{hw} \quad (28)$$

Trong hệ thống lái thông thường, do có các liên kết cơ khí nên khi đạt tới vị trí này tay người lái sẽ có cảm giác giật nhẹ. Ở hệ thống lái điện do các liên kết cơ khí đã bị loại bỏ nên người điều khiển xe sẽ không cảm nhận được giới hạn này, dẫn đến lái xe thiếu chính xác. Để giải quyết vấn đề này, một bức tường ảo được tạo ra tại vị trí giới hạn. Bức tường này sẽ tạo ra một độ nặng lớn bằng cách tăng mô-men của động cơ tạo cảm giác lái khi vôlăng gần tới vị trí giới hạn.

$$\tau_{ltl} = \begin{cases} K_{lock}\Delta\emptyset_{hw}, \text{if } \emptyset_{hw} > 0 \text{ và } \emptyset_{hw} > \emptyset_{right} \\ -K_{lock}\Delta\emptyset_{hw}, \text{if } \emptyset_{hw} < 0 \text{ và } \emptyset_{hw} < \emptyset_{left} \end{cases} \quad (29)$$

4. Thí nghiệm trên mô hình

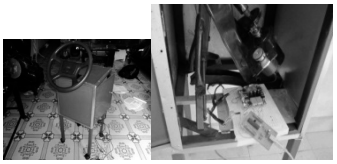
Đề khảo sát đặc tính tái tạo cảm giác lái tác giả cùng nhóm nghiên cứu chế tạo mô hình thực nghiệm đồng thời tiến hành thí nghiệm với các chế độ khác nhau. Do quán tính của các bộ phận bánh xe, cơ cấu lái, kết cấu cơ khí



Hình 5. Nguyên lý mô hình lái không trục lái.

1-Vành lái; 2- Động cơ điện vành lái; 3-Mô tơ điều khiển cơ cấu lái; 4-Cơ cấu lái; 5-Bánh xe dẫn hướng; 6-Máy tính; 7-Card giao tiếp máy tính; 8-Driver điều khiển động cơ; 9-Cảm biến mômen, tốc độ cơ cấu lái; 10-Driver điều khiển động cơ; 11-Cảm biến xác định tốc độ quay vành lái.

Hình 6. Mô hình thí nghiệm



Hình 7. **Vành tay lái thí nghiệm**

Bảng 1*.Thông số* mô hình

STT	Tên thiết bị	Điện áp	Ngõ vào	Ngõ ra
1	Mô tơ tạo cảm giác	*12V*	*0-5A*	
2	Mô tơ chấp hành	*12V*	*0-30A*	
3	Cảm biến dòng	*5V*	*0-30A*	*0-5V*
4	Cảm biến tốc độ	*5V*		*1 2 0 xung*
5	Card giao tiếp	*5V*		*0-5V*

Bảng 2. Thông số cài đặt thí nghiệm

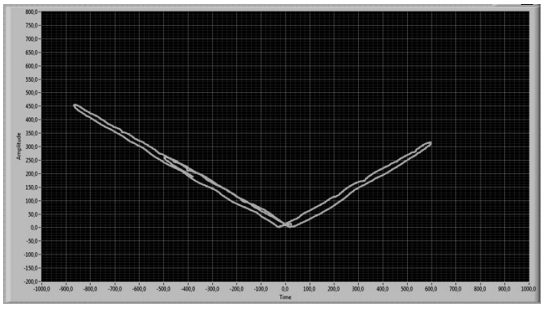
STT	Tên gọi	Kí hiệu	Giá trị
1	Vận tốc chạy xe	V	*30km/h*
2	Hệ số hiệu chỉnh cảm giác		*1*
3	Hệ số đáp ứng PID		*34*

a. Thí nghiệm quan sát mômen quay vòng cơ cấu lái trên mô hình hệ thống.

Thí nghiệm 01: Quan sát mômen trả vành tay lái về vị trí trung hòa*(Free control torque)*

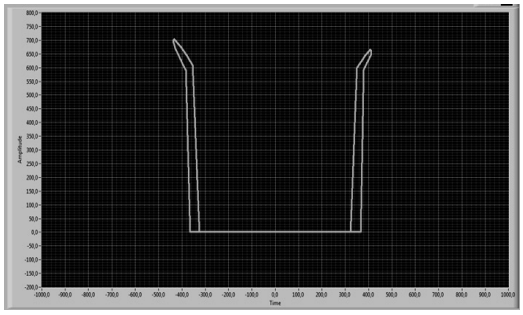
Mômen quay vòng cơ cấu lái được tính theo công thức 20.Ta có thể thấymômen quay vòng này phụ thuộc vào nhiều thành phần như: vận tốc, thông số hình học, hệ số ma sát hệ thống, biến dạng lốp v.v… Do mô hình thí nghiệm là mô hình tĩnh nên các thông số chạy xe được cài đặt cho mô hình.Trên các hệ thống lái truyền thống, bánh xe dẫn hướng luôn có xu hướng ổn định chạy thẳng hay nói các khác

là vành tay lái luôn có xu hướng trả về vị trí trung hòa khi quay vòng.



Hình 8. Đồ thị mômen lái trả vành tay lái về vị trí trung hòa

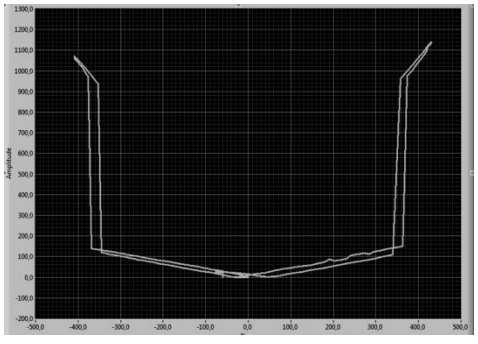
Thí nghiệm 02: Quan sát thay đổi đặc tính mômen giới hạn vành tay lái



Hình 9. Mômen lực sinh ra tại vị trí giới hạn

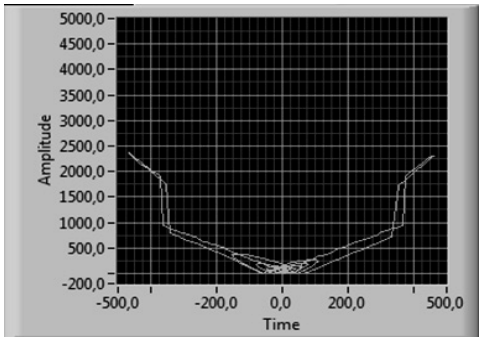
b. Tổng hợp xây dựng đặc tính tạo cảm giác

Tổng hợp các đồ thị trên ta được đồ thị cho mômen lực của hệ thống có dạng như sau:



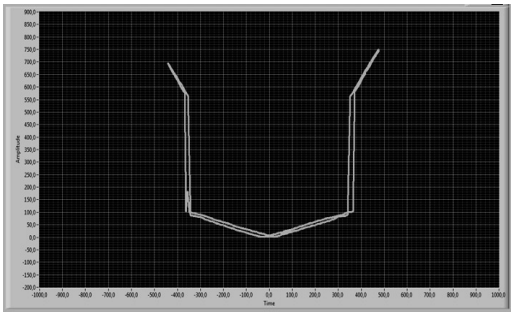
Hình 10. Đồ thị mômen lực tạo cảm giác lái tổng hợp v= 30 km/h.

Khi thông số chạy xe thay đổi, đặc tích cản quay vòng thay đổi theo. Trong các hệ thống lái truyền thống, khi tốc độ chạy xe càng tăng cao, mômen đánh lái càng giảm. Ứng với các vùng tốc độ ta có các đường đặc tính trợ lực khác nhau.



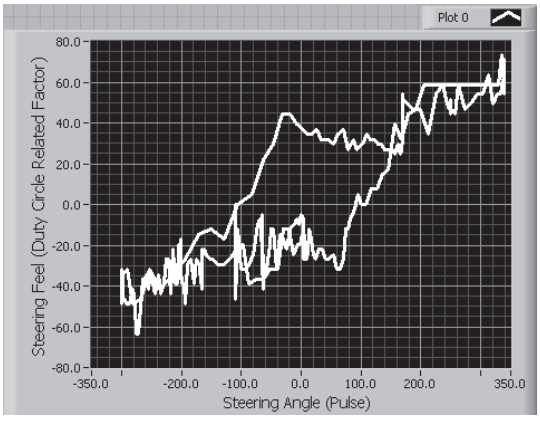
Hình 11. Đồ thị mômen lực tạo cảm giác lái với ở vận tốc chạy xe 45 km/h.

Như vậy sau khi hiểu rõ được chức năng của từng thành phần mômen ta có thể đánh giá dựa trên các đặc tính trợ lực của hệ thống lái kết hợp với tính toán đưa ra lựa chọn phù hợp cho các hệ số, ta tổng hợp lại được đồ thị như sau:



Hình 12. Đồ thị mômen lực tạo cảm giác lái với hệ số phù hợp.

Từ biểu đồ lực tổng hợp trên ta có thể xây dựng được đồ thị phản hồi cảm giác lái trên vành tay lái ứng với từng chế độ tốc độ.*(hình 14)*



Hình 13. Lực tác dụng lên vành tay lái v= 30 km/h

III. KẾT LUẬN

Cảm giác lái là một trong những yếu tố quan trọng nhất trong thiết kế bộ điều khiển hệ thống lái. Cảm giác lái phụ thuộc vào nhiều yếu tố khác nhau trong đó vận tốc và góc đánh lái là yếu tố ảnh hưởng nhiều nhất.Trong phần thí nghiệm trên tập trung chính vào thí nghiệm xây dựng đặc tính cảm giác lái theo tốc độ góc, đánh lái trên mô hình tĩnh. Đây là một trong những bước nghiên cứu để tiến hành thử nghiệm xây dựng bộ điều khiển tạo cảm giác tự nhiên trên xe thật.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] Trần Văn Lợi - *Nghiên cứu chế tạo mô hình hệ thống lái không trục lái Luận văn thạc sĩ khoa học*, Đại học sư phạm kỹ thuật thành phố Hồ Chí Minh, 2010.

[2] Liu, A. Chang, S., *"Force feedback in a stationary driving simulator"*, Systems, Man and Cybernetics Intelligent Systems for the 21st Century.IEEE International Conference, Canada, vol. 2, pp. 1711-1716, 1995.

[3] E.R. Hoffmann and P.N. Joubert, *"The effect of changes in some vehicle handling variables on driver steering performance"*, Human Factors, vol.8, 1966, pp. 245-263.

[4] Ba-Hai Nguyen, Jee-Hwan Ryu *"Semi-Experimental Results on a Measured Current Based Method for Reproducing Realistic Steering Feel of Steer-By-Wire Systems"* School of Mechanical Engineering, Korea University of Technology and Education, Cheonan, Korea, 2009.

[5] Man Hyung Lee, Seung Ki Ha *"Improvement of the Steering Feel of an Electric Power Steering System by Torque Map Modification"* 792 Journal of Mechanical Science and Technology {KSMEInt.J), Vol19, No.3, pp792-801, 200S

[6] Thomas D. Gillespie *"Fundamental of Vehicle Dynamics"*

[7] Junjie He, BEng, Meng *"Integrated Vehicle Dynamics Control Using Active Steering, Driveline and Braking"* The University of Leeds School of Mechanical Engineering