



(12) BẢN MÔ TẢ SÁNG CHẾ THUỘC BẰNG ĐỘC QUYỀN SÁNG CHẾ

(19) Cộng hòa xã hội chủ nghĩa Việt Nam (VN)  
CỤC SỞ HỮU TRÍ TUỆ

(11)



1-0048800

(51)<sup>2021.01</sup> G05D 1/02

(13) B

(21) 1-2022-05480

(22) 20/05/2021

(86) PCT/CN2021/094739 20/05/2021

(87) WO 2021/238747 A1 02/12/2021

(30) 202010456541.0 26/05/2020 CN

(45) 25/07/2025 448

(43) 27/03/2023 420A

(73) SANY SPECIAL PURPOSE VEHICLE CO., LTD. (CN)

No. 318 Shaoyang Avenue, Shuangqing District Shaoyang, Hunan 422000, China

(72) WEN, Bao (CN); HE, Zhiguo (CN).

(74) Công ty TNHH Dịch vụ Sở hữu trí tuệ GREENIP (GREENIP CO., LTD)

(54) PHƯƠNG PHÁP VÀ MÁY ĐIỀU KHIỂN CHUYỂN ĐỘNG BÊN CỦA XE TỰ LÁI, VÀ XE TỰ LÁI

(21) 1-2022-05480

(57) Sáng chế đề cập đến phương pháp và máy điều khiển chuyển động bên của xe tự lái, và xe tự lái. Phương pháp điều khiển chuyển động bên của xe tự lái bao gồm các bước: thiết đặt các thông số điều khiển của bộ điều khiển tuyến tính bậc hai (S102); thu nhận các thông số tổng thể của xe (S104); thu nhận độ khuếch đại thông số điều khiển (S106) theo các thông số điều khiển và các thông số tổng thể của xe; thu nhận độ khuếch đại thông số điều khiển theo thời gian thực (S108) theo độ khuếch đại thông số điều khiển; thu nhận lượng phản hồi lỗi trạng thái, độ cong quỹ đạo, và góc nghiêng của xe (S110); thu nhận lượng điều khiển và lượng bù (S112) theo độ khuếch đại thông số điều khiển theo thời gian thực, lượng phản hồi lỗi trạng thái, độ cong quỹ đạo, và góc nghiêng của xe; và thu nhận góc vô lăng được kỳ vọng, và đưa ra góc vô lăng được kỳ vọng tới hệ thống lái bằng dây (S114) theo lượng điều khiển và lượng bù. Sáng chế có thể đạt được việc điều khiển tối ưu của chuyển động bên của xe tự lái mà không có lỗi tĩnh, làm giảm đáng kể lượng tính toán, và đảm bảo tính hội tụ của độ khuếch đại điều khiển tối ưu, đạt được việc theo dõi có độ chính xác cao và độ tin cậy cao của quỹ đạo lái xe được kỳ vọng.

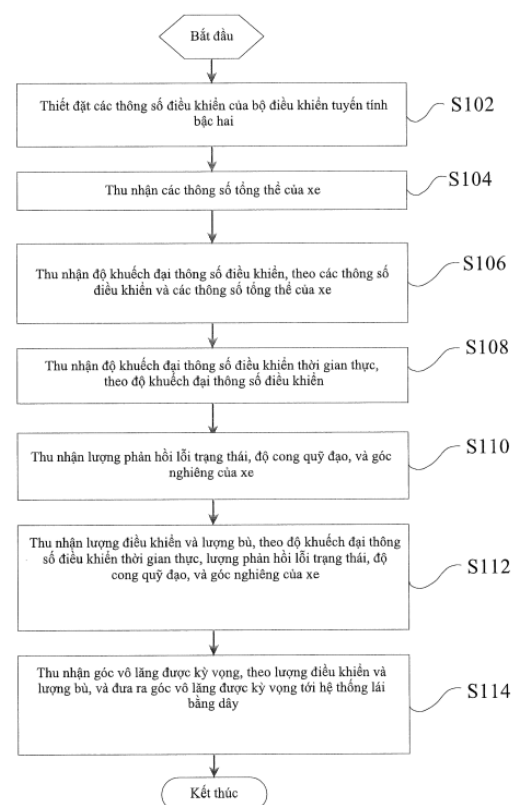


FIG. 2

**Lĩnh vực kỹ thuật được đề cập**

Sáng chế đề cập đến lĩnh vực kỹ thuật của các xe tự lái, cụ thể là, đến phương pháp và máy điều khiển chuyển động bên của xe tự lái, và xe tự lái.

**Tình trạng kỹ thuật của sáng chế**

Phương pháp điều khiển chuyển động bên của xe tự lái tính toán lệnh lái mong muốn trong thời gian thực theo quỹ đạo dự kiến và thông tin định vị xe của lớp trên, và điều khiển xe lái xe dọc quỹ đạo đích. Hiện nay, độ khuếch đại thông số điều khiển tối ưu thường được thu nhận bằng cách giải quyết trực tuyến phương trình Riccati, vốn yêu cầu lượng tính toán lớn và yêu cầu nhiều tài nguyên tính toán hơn.

**Bản chất kỹ thuật của sáng chế**

Sáng chế nhằm giải quyết hoặc cải thiện ít nhất một trong số các vấn đề kỹ thuật nêu trên.

Do đó, mục đích thứ nhất của sáng chế là đề xuất phương pháp điều khiển chuyển động bên của xe tự lái.

Mục đích thứ hai của sáng chế là đề xuất máy điều khiển chuyển động bên của xe tự lái.

Mục đích thứ ba của sáng chế là đề xuất xe tự lái.

Để đạt được mục đích thứ nhất của sáng chế, các phương án của sáng chế đề xuất phương pháp điều khiển chuyển động bên của xe tự lái, bao gồm các bước: thiết đặt các thông số điều khiển của bộ điều khiển tuyến tính bậc hai; thu nhận các thông số tổng thể của xe; thu nhận độ khuếch đại thông số điều khiển, theo các thông số điều khiển và các thông số tổng thể của xe; thu nhận độ khuếch đại thông số điều khiển theo thời gian thực, theo độ khuếch đại thông số điều

khiển; thu nhận lượng phản hồi lỗi trạng thái, độ cong quỹ đạo, và góc nghiêng của xe; thu nhận lượng điều khiển và lượng bù, theo độ khuếch đại thông số điều khiển theo thời gian thực, lượng phản hồi lỗi trạng thái, độ cong quỹ đạo, và góc nghiêng của xe; và thu nhận góc vô lăng được kỳ vọng, theo lượng điều khiển và lượng bù, và đưa ra góc vô lăng được kỳ vọng tới hệ thống lái bằng dây.

Phương án này có thể thực hiện việc điều khiển tối ưu của chuyển động bên của xe tự lái mà không có lỗi tĩnh, làm giảm đáng kể lượng tính toán, đảm bảo tính hội tụ của độ khuếch đại điều khiển tối ưu, và xét đến ảnh hưởng của độ cong đường, độ nghiêng đường và độ bất định của các thông số tổng thể của xe, để đạt được việc theo dõi có độ tin cậy cao và độ chính xác cao của quỹ đạo lái mong muốn.

Ngoài ra, các phương án được đưa ra bởi các phương án nêu trên của sáng chế cũng có thể có các dấu hiệu kỹ thuật bổ sung sau đây.

Theo phương án nêu trên, bước thiết đặt các thông số điều khiển của bộ điều khiển tuyến tính bậc hai bao gồm: các thông số điều khiển bao gồm ma trận trọng số thứ nhất  $Q$  và ma trận trọng số thứ hai  $R$ ,  $Q = \text{diag}[q_1, q_2, q_3, q_4]$ ,  $R = [r]$ , trong đó,  $q_1, q_2, q_3, q_4$  và  $r$  lần lượt là năm thông số điều khiển,  $q_2, q_4$  và  $r$  được thiết đặt tới các trị số cố định, và  $q_1, q_3$  được thu nhận theo công thức sau đây:

$$q_1 = \begin{cases} q_{1\max} & V_x < V_1 \\ q_{1\max} + \frac{q_{1\min} - q_{1\max}}{V_2 - V_1} (V_x - V_1) & V_1 \leq V_x \leq V_2 \\ q_{1\min} & V_x > V_2 \end{cases}$$

$$q_3 = \begin{cases} q_{3\max} & V_x < V_1 \\ q_{3\max} + \frac{q_{3\min} - q_{3\max}}{V_2 - V_1} (V_x - V_1) & V_1 \leq V_x \leq V_2 \\ q_{3\min} & V_x > V_2 \end{cases}$$

Trong đó,  $q_{1\max}$  là trị số lớn nhất của  $q_1$ ,  $q_{1\min}$  là trị số nhỏ nhất của  $q_1$ ,  $q_{3\max}$  là trị số lớn nhất của  $q_3$ ,  $q_{3\min}$  là trị số nhỏ nhất của  $q_3$ ,  $V_x$  là tốc độ dọc của xe,  $V_1$  là ngưỡng tốc độ thứ nhất, và  $V_2$  là ngưỡng tốc độ thứ hai.

Theo phương án này, thiết đặt  $q_2, q_4$ , và  $r$  tới các trị số cố định,  $q_1, q_3$  thực hiện việc điều chỉnh tuyến tính của các thông số theo tốc độ dọc của xe  $V_x$ , nghĩa

là, ma trận trọng số của các thông số điều khiển của bộ điều khiển tuyến tính bậc hai thực hiện phương pháp điều chỉnh tuyến tính tốc độ, điều này có thể làm giảm đáng kể lượng tính toán.

Theo phương án bất kỳ trong số các phương án nêu trên, bước thu nhận độ khuếch đại thông số điều khiển, theo các thông số điều khiển và các thông số tổng thể của xe bao gồm: độ khuếch đại thông số điều khiển được thu nhận theo công thức sau đây:

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & -\frac{2C_f + 2C_r}{mV_x} & \frac{2C_f + 2C_r}{m} & -\frac{2C_f l_f - 2C_r l_r}{mV_x} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & -\frac{2C_f l_f - 2C_r l_r}{I_z V_x} & \frac{2C_f l_f - 2C_r l_r}{I_z} & -\frac{2C_f l_f^2 + 2C_r l_r^2}{I_z V_x} \end{bmatrix}$$

$$B = \begin{bmatrix} 0 \\ \frac{2C_f}{m} \\ 0 \\ \frac{2C_f l_f}{I_z} \end{bmatrix}$$

$$k_{14} = [k_{14(1)}, k_{14(2)}, k_{14(3)}, k_{14(4)}]$$

$$k_{14} = 1_{qr}(A, B, Q, R)$$

$$k_1 = k_{14(1)}$$

$$k_2 = k_{14(2)}$$

$$k_3 = k_{14(3)}$$

$$k_4 = k_{14(4)}$$

Trong đó,  $m$  là khối lượng xe,  $I_z$  là quán tính quay của xe xung quanh hướng thẳng đứng,  $l_f$  là khoảng cách từ trục trước của xe tới tâm tỷ cự,  $l_r$  là khoảng cách từ trục sau của xe tới tâm tỷ cự,  $C_f$  là độ cứng khi vào cua của bánh trước, và  $C_r$  là độ cứng khi vào cua của bánh sau,  $V_x$  là tốc độ dọc của xe,  $k_{14}$  là ma trận hội tụ độ khuếch đại điều khiển,  $k_{14(1)}$ ,  $k_{14(2)}$ ,  $k_{14(3)}$ , và  $k_{14(4)}$  lần lượt là bốn thành phần trong ma trận hội tụ độ khuếch đại điều khiển,  $k_1$ ,  $k_2$ ,  $k_3$ , và  $k_4$  lần lượt là bốn độ khuếch đại thông số điều khiển.

Các thông số tổng thể của xe bao gồm khối lượng xe và/hoặc quán tính quay

của xe xung quanh hướng thẳng đứng và/hoặc khoảng cách từ trục trước của xe tới tâm tỷ cự và/hoặc khoảng cách từ trục sau của xe tới tâm tỷ cự và/hoặc độ cứng khi vào cua của các bánh trước và/hoặc độ cứng khi vào cua của các bánh sau. Theo các thông số tổng thể của xe và mô hình đối tượng được điều khiển, độ khuếch đại thông số điều khiển tối ưu  $k_1$ ,  $k_2$ ,  $k_3$ , và  $k_4$  được tính toán ngoại tuyến qua hàm MATLAB `lqr`, điều này làm giảm đáng kể lượng tính toán so với giải pháp trực tuyến của độ khuếch đại thông số điều khiển.

Theo phương án bất kỳ trong số các phương án nêu trên, bước thu nhận độ khuếch đại thông số điều khiển theo thời gian thực, theo độ khuếch đại thông số điều khiển, bao gồm: lấy tốc độ làm biến độc lập, và thực hiện việc khớp đa thức của độ khuếch đại thông số điều khiển để thu nhận đa thức thứ nhất; và thu nhận độ khuếch đại thông số điều khiển theo thời gian thực, theo đa thức thứ nhất và tốc độ dọc của xe theo thời gian thực.

Dựa vào độ khuếch đại thông số điều khiển được thu nhận ngoại tuyến, phương pháp tính toán của việc khớp đa thức được sử dụng để thu nhận độ khuếch đại thông số điều khiển theo thời gian thực, và lượng tính toán được tối ưu hóa.

Theo phương án bất kỳ trong số các phương án nêu trên, bước thu nhận độ khuếch đại thông số điều khiển theo thời gian thực, theo độ khuếch đại thông số điều khiển, bao gồm: lấy tốc độ làm biến độc lập, và thực hiện việc khớp đa thức bậc ba của độ khuếch đại thông số điều khiển, và đa thức thứ nhất được thu nhận là:

$$\begin{cases} k_1 = a_{31}v^3 + a_{21}v^2 + a_{11}v + a_{01} \\ k_2 = a_{32}v^3 + a_{22}v^2 + a_{12}v + a_{02} \\ k_3 = a_{33}v^3 + a_{23}v^2 + a_{13}v + a_{03} \\ k_4 = a_{34}v^3 + a_{24}v^2 + a_{14}v + a_{04} \end{cases}$$

Trong đó,  $a_{31}$ ,  $a_{21}$ ,  $a_{11}$ , và  $a_{01}$  là các hệ số đa thức bậc ba của các thông số điều khiển  $k_1$ ,  $a_{32}$ ,  $a_{22}$ ,  $a_{12}$ , và  $a_{02}$  là các hệ số đa thức bậc ba của các thông số điều khiển  $k_2$ ,  $a_{33}$ ,  $a_{23}$ ,  $a_{13}$ , và  $a_{03}$  là các hệ số đa thức bậc ba của các thông số điều khiển  $k_3$ ,  $a_{34}$ ,  $a_{24}$ ,  $a_{14}$ , và  $a_{04}$  là các hệ số đa thức bậc ba của các thông số điều khiển  $k_4$ ,  $v$  là tốc độ;

thu nhận độ khuếch đại thông số điều khiển theo thời gian thực  $K$ , theo đa thức thứ nhất và tốc độ dọc của xe theo thời gian thực:

$$\begin{cases} k'_1 = a_{31}V_x^3 + a_{21}V_x^2 + a_{11}V_x + a_{01} \\ k'_2 = a_{32}V_x^3 + a_{22}V_x^2 + a_{12}V_x + a_{02} \\ k'_3 = a_{33}V_x^3 + a_{23}V_x^2 + a_{13}V_x + a_{03} \\ k'_4 = a_{34}V_x^3 + a_{24}V_x^2 + a_{14}V_x + a_{04} \end{cases}$$

$$K = [k'_1, k'_2, k'_3, k'_4]$$

Trong đó,  $V_x$  là tốc độ dọc của xe.

Theo phương án này, việc khớp đa thức bậc ba được thực hiện, và độ khuếch đại thông số điều khiển tối ưu được tính toán trong thời gian thực theo tốc độ thực tế được phản hồi bởi xe, điều này không những làm giảm lượng tính toán của độ khuếch đại thông số điều khiển tối ưu, mà còn đảm bảo tính hội tụ và độ tin cậy của độ khuếch đại thông số điều khiển tối ưu.

Theo phương án bất kỳ trong số các phương án nêu trên, bước thu nhận lượng phản hồi lỗi trạng thái bao gồm:

thu nhận lượng phản hồi lỗi trạng thái theo công thức sau đây:

$$e_y = (y - y_{des}) \cos(\psi_{des}) - (x - x_{des}) \sin(\psi_{des})$$

$$\dot{e}_y = V_y - V_x(\psi - \psi_{des})$$

$$e_\psi = \psi - \psi_{des}$$

$$\dot{e}_\psi = \omega - V_x \rho$$

$$X = \begin{bmatrix} e_y \\ \dot{e}_y \\ e_\psi \\ \dot{e}_\psi \end{bmatrix}$$

Trong đó,  $e_y$  là độ lệch vị trí bên,  $\dot{e}_y$  là tỷ lệ thay đổi của độ lệch vị trí bên,  $e_\psi$  là độ lệch góc đảo lái,  $\dot{e}_\psi$  là tỷ lệ thay đổi của độ lệch góc đảo lái,  $X$  là lượng phản hồi lỗi trạng thái,  $V_x$  là tốc độ dọc của xe,  $V_y$  là tốc độ bên của xe,

$(x, y)$  là vị trí xe ở thời điểm hiện tại,  $(x_{des}, y_{des})$  là vị trí quỹ đạo mong muốn,  $\psi$  là góc đảo lái của xe ở thời điểm hiện tại,  $\psi_{des}$  là góc đảo lái của quỹ đạo mong muốn,  $\omega$  biểu diễn vận tốc góc xoay của xe thông, và  $\rho$  biểu diễn độ cong điểm đích mong muốn.

Bằng cách cập nhật lỗi trạng thái và phản hồi nó tới độ khuếch đại điều khiển, hiệu quả điều khiển bên chính xác hơn.

Theo phương án bất kỳ trong số các phương án nêu trên, bước thu nhận lượng điều khiển và lượng bù, theo độ khuếch đại thông số điều khiển, độ khuếch đại thông số điều khiển theo thời gian thực, lỗi trạng thái, độ cong quỹ đạo, và góc nghiêng của xe, bao gồm:

thu nhận lượng điều khiển phản hồi, theo độ khuếch đại thông số điều khiển theo thời gian thực và lượng phản hồi lỗi trạng thái là:

$$\delta_{sw\_b} = -KX$$

trong đó,  $K$  là độ khuếch đại thông số điều khiển theo thời gian thực,  $X$  là lượng phản hồi lỗi trạng thái;

thu nhận lượng điều khiển tích phân lỗi vị trí, theo tích phân lỗi vị trí là:

$$\delta_{sw\_i} = \delta'_{sw\_i} + k_i e_y T$$

trong đó,  $k_i$  là hệ số tích phân,  $e_y$  là độ lệch vị trí bên,  $T$  là khoảng thời gian điều khiển,  $\delta'_{sw\_i}$  là trị số khoảng thời gian điều khiển của nhịp trước đó của  $\delta_{sw\_i}$ ;

thu nhận lượng bù tiếp thuận độ cong đường, theo độ cong quỹ đạo là:

$$\delta_{sw\_c} = \frac{mV_x^2}{R_{des}L} \left[ \frac{l_r}{2C_f} - \frac{l_f}{2C_r} + \frac{l_f}{2C_r} k'_3 \right] + \frac{L}{R_{des}} - \frac{l_r}{R_{des}} k'_3$$

trong đó,  $m$  là khối lượng xe,  $V_x$  là tốc độ dọc của xe,  $l_f$  là khoảng cách từ trục trước của xe tới tâm tỷ cự,  $l_r$  là khoảng cách từ trục sau của xe tới tâm tỷ cự,  $C_f$  là độ cứng khi vào cua của bánh trước,  $C_r$  là độ cứng khi vào cua của bánh sau,  $R_{des}$  là bán kính quỹ đạo,  $L$  là tổng của  $l_f$  và  $l_r$ ;



thu nhận lượng bù tiếp thuận độ dốc đường, theo góc nghiêng của xe là:

$$\delta_{sw-r} = \frac{A(4, 3) - B(1, 4)k_3}{A(2, 3)B(1, 4) - A(1, 4)B(1, 2)} g \sin(\gamma)$$

trong đó,  $A(i, j)$  là thông số tương ứng với hàng thứ  $i$  và cột thứ  $j$  của ma trận  $A$ ,  $B(i, j)$  là thông số tương ứng với hàng thứ  $i$  và cột thứ  $j$  của ma trận  $B$ ,  $g$  là gia tốc trọng lực,  $\gamma$  là góc nghiêng của xe.

Các phương pháp thu nhận cụ thể của lượng điều khiển phản hồi, lượng điều khiển tích phân lỗi vị trí, lượng bù tiếp thuận độ cong đường, lượng bù tiếp thuận độ dốc đường được đưa ra bởi các công thức nêu trên. Theo phương án này, độ cong đường được đưa ra bởi quỹ đạo mong muốn được sử dụng để thực hiện việc bù tiếp thuận cho độ cong đường, thông tin định vị được sử dụng để thực hiện việc bù tiếp thuận cho độ nghiêng đường, và số hạng tích phân độ lệch hướng vị trí được đưa vào để làm giảm lỗi vị trí. Và xét đến một cách toàn diện ảnh hưởng độ bất định của độ cong đường, độ nghiêng đường và các thông số tổng thể của xe để đạt được việc theo dõi có độ tin cậy cao và độ chính xác cao của quỹ đạo lái mong muốn.

Theo phương án bất kỳ trong số các phương án nêu trên, bước thu nhận góc vô lăng được kỳ vọng, theo lượng điều khiển và lượng bù, và đưa ra góc vô lăng được kỳ vọng tới hệ thống lái bằng dây, bao gồm:

thu nhận góc vô lăng được kỳ vọng, theo công thức sau đây:

$$\delta_{sw} = (\delta_{sw-b} + \delta_{sw-r} + \delta_{sw-c} + \delta_{sw-i})I$$

Trong đó,  $\delta_{sw-b}$  là lượng điều khiển phản hồi,  $\delta_{sw-i}$  là lượng điều khiển tích phân lỗi vị trí,  $\delta_{sw-c}$  là lượng bù tiếp thuận độ cong đường,  $\delta_{sw-r}$  là lượng bù tiếp thuận độ dốc đường,  $I$  là tỷ lệ vô lăng

Theo các kết quả tính toán của lượng điều khiển phản hồi, lượng điều khiển tiếp thuận độ cong đường, lượng bù tiếp thuận độ dốc đường, và lượng điều khiển tích phân vị trí, các kết quả tính toán được cộng lại, và sau đó được nhân với tỷ

lệ vô lăng để thu nhận góc vô lăng được kỳ vọng cuối cùng, mà được đưa ra tới hệ thống lái bằng dây, để đạt được việc theo dõi đường, để đảm bảo rằng lỗi trạng thái ổn định có thể được loại bỏ hoàn toàn khi các thông số tổng thể của xe là bất định.

Để đạt được mục đích thứ hai của sáng chế, các phương án của sáng chế đề xuất máy điều khiển chuyển động bên của xe tự lái, bao gồm: môđun thiết lập; môđun thu nhận thứ nhất; môđun thu nhận thứ hai; môđun thu nhận thứ ba; môđun thu nhận thứ tư; môđun thu nhận thứ năm; và môđun thu nhận thứ sáu, trong đó, các thông số điều khiển của bộ điều khiển tuyến tính bậc hai được thiết đặt bởi môđun thiết lập, môđun thu nhận thứ nhất thu nhận các thông số tổng thể của xe, môđun thu nhận thứ hai thu nhận độ khuếch đại thông số điều khiển theo các thông số điều khiển và các thông số tổng thể của xe, môđun thu nhận thứ hai thu nhận độ khuếch đại thông số điều khiển theo các thông số điều khiển và các thông số tổng thể của xe, môđun thu nhận thứ ba thu nhận độ khuếch đại thông số điều khiển theo thời gian thực theo độ khuếch đại thông số điều khiển, môđun thu nhận thứ tư thu nhận lỗi trạng thái, độ cong quỹ đạo và góc nghiêng của xe, môđun thu nhận thứ năm thu nhận lượng điều khiển và lượng bù theo độ khuếch đại thông số điều khiển, độ khuếch đại thông số điều khiển theo thời gian thực, lỗi trạng thái, độ cong quỹ đạo và góc nghiêng của xe, môđun thu nhận thứ sáu thu nhận góc vô lăng được kỳ vọng theo lượng điều khiển và lượng bù, và đưa ra góc vô lăng được kỳ vọng tới hệ thống lái bằng dây.

Phương án này có thể thực hiện việc điều khiển tối ưu của chuyển động bên của xe tự lái mà không có lỗi tĩnh, làm giảm đáng kể lượng tính toán, đảm bảo tính hội tụ của độ khuếch đại điều khiển tối ưu, và xét đến ảnh hưởng của độ cong đường, độ nghiêng đường và độ bất định của các thông số tổng thể của xe, để đạt được việc theo dõi có độ tin cậy cao và độ chính xác cao của quỹ đạo lái mong muốn.

Để đạt được mục đích thứ ba của sáng chế, phương án của sáng chế đề xuất xe tự lái, bao gồm: thân xe và thiết bị điều khiển; trong đó, thiết bị điều khiển

điều khiển việc chạy của thân xe nhờ sử dụng phương pháp điều khiển chuyển động bên của xe tự lái như được mô tả theo bất kỳ một trong số các phương án của sáng chế.

Xe tự lái được đề xuất bởi các phương án của sáng chế thực hiện các bước của phương pháp điều khiển chuyển động bên của xe tự lái như theo phương án bất kỳ của sáng chế. Do đó, nó có tất cả các hiệu quả có lợi của phương pháp điều khiển chuyển động bên của xe tự lái như theo phương án bất kỳ của sáng chế, mà sẽ không được lặp lại ở đây.

Các khía cạnh và các ưu điểm bổ sung của sáng chế sẽ trở nên rõ ràng trong phần mô tả sau đây hoặc sẽ được nhận biết bởi thực tế của sáng chế.

### **Mô tả vắn tắt các hình vẽ**

Các khía cạnh và các ưu điểm bổ sung của sáng chế sẽ trở nên rõ ràng trong phần mô tả sau đây hoặc sẽ được nhận biết bởi thực tế của sáng chế.

Fig.1 là hình vẽ giản lược về sự điều khiển chuyển động bên của xe tự lái theo lĩnh vực kỹ thuật liên quan;

Fig.2 là lưu đồ của phương pháp điều khiển chuyển động bên của xe tự lái theo phương án của sáng chế;

Fig.3 là lưu đồ phương pháp thu nhận độ khuếch đại thông số điều khiển theo thời gian thực theo phương án của sáng chế;

Fig.4 là lưu đồ phương pháp thu nhận lượng điều khiển và lượng bù theo phương án của sáng chế;

Fig.5 là sơ đồ khối cấu trúc của máy điều khiển chuyển động bên của xe tự lái theo phương án của sáng chế;

Fig.6 là sơ đồ khối cấu trúc của xe tự lái theo phương án của sáng chế;

Fig.7 là hình vẽ giản lược về sự điều khiển chuyển động bên của xe tự lái theo phương án cụ thể của sáng chế; và

Fig.8 là lưu đồ của phương pháp điều khiển chuyển động bên của xe tự lái theo phương án cụ thể của sáng chế.

Mối quan hệ tương ứng giữa các ký hiệu tham chiếu và các tên bộ phận trên Fig.1 đến Fig.8 như sau:

100: máy điều khiển chuyển động bên của xe tự lái, 110: môđun thiết lập, 120: môđun thu nhận thứ nhất, 130: môđun thu nhận thứ hai, 140: môđun thu nhận thứ ba, 150: môđun thu nhận thứ tư, 160: môđun thu nhận thứ năm, 170: môđun thu nhận thứ sáu, 200: xe tự lái, 210: thân xe, 220: thiết bị điều khiển.

### **Mô tả chi tiết sáng chế**

Để các mục đích, các dấu hiệu và các ưu điểm nêu trên của sáng chế có thể được hiểu rõ ràng hơn, phần mô tả chi tiết thêm của sáng chế sẽ được đưa ra dưới đây có dựa vào các hình vẽ và các phương án kèm theo cụ thể. Cần lưu ý rằng các phương án của sáng chế và các dấu hiệu theo các phương án có thể được kết hợp với nhau nếu không có xung đột.

Trong phần mô tả sau đây, nhiều chi tiết cụ thể được đưa ra để cung cấp sự hiểu biết thấu đáo về sáng chế. Tuy nhiên, sáng chế cũng có thể được thực hiện theo các cách thức khác ngoài các cách thức được mô tả ở đây. Do đó, phạm vi bảo hộ của sáng chế không giới hạn ở các phương án cụ thể được bộc lộ dưới đây.

Phương pháp và máy điều khiển chuyển động bên của xe tự lái của một số phương án của sáng chế được mô tả dưới đây dựa vào Fig.1 đến Fig.8.

Phương pháp điều khiển chuyển động bên của xe tự lái tính toán lệnh lái mong muốn trong thời gian thực theo quỹ đạo dự kiến và thông tin định vị xe của lớp trên, và điều khiển xe lái xe dọc quỹ đạo đích. Hiện nay, phương pháp điều khiển tối ưu tuyến tính bậc hai (linear quadratic optimal control, viết tắt là LQR) được sử dụng rộng rãi để điều khiển chuyển động bên của xe tự lái. Như được thể hiện trên Fig.1, chủ yếu có các vấn đề sau đây:

(1) Độ phức tạp điều khiển tối ưu thường được thu nhận bằng cách giải quyết trực tuyến phương trình Riccati, mà yêu cầu nhiều tài nguyên tính toán hơn và không đảm bảo ở mức cần thiết tính hội tụ của độ phức tạp điều khiển.

(2) Hiện nay, hầu hết các hệ thống điều khiển chuyển động bên của xe tự lái

thực hiện việc đưa vào lượng bù tiếp thuận độ cong đường để làm giảm lỗi trạng thái ổn định, và không xét đến lỗi trạng thái ổn định bên được gây ra bởi độ nghiêng đường, điều này làm giảm chất lượng của hệ thống điều khiển bên của xe.

(3) Có độ bất định nhất định trong các thông số tổng thể của xe, và không thể đảm bảo được việc loại bỏ hoàn toàn lỗi trạng thái ổn định của quá trình điều khiển bên của xe.

Kỹ thuật liên quan là phương pháp điều khiển LQP chuyển động bên thích ứng với thông số cho các xe tự động. Chiến lược điều chỉnh các thông số điều khiển LQR dựa vào lỗi theo dõi đường và mối quan hệ vị trí đường-xe xác định các thông số bộ điều khiển ở trạng thái hiện tại. Theo các thông số bộ điều khiển được xác định, lượng điều khiển lái của xe tự động được tính toán, và nó được chuyển tới cơ cấu chấp hành lái cho việc thực thi, mà khác với phương án này ở chỗ:

(1) Các chiến lược điều chỉnh thông số là khác nhau. Công nghệ liên quan này sử dụng chiến lược điều chỉnh thông số của lỗi theo dõi đường và mối quan hệ vị trí đường-xe, và phương án này sử dụng chiến lược điều chỉnh thông số tốc độ.

(2) Quy trình tính toán của độ khuếch đại điều khiển tối ưu là khác nhau. Công nghệ liên quan này giải quyết trực tuyến phương trình Riccati để thu nhận độ khuếch đại điều khiển tối ưu. Theo phương án này, độ khuếch đại điều khiển tối ưu được tính toán ngoại tuyến, và sau đó việc khớp đa thức được sử dụng để điều khiển độ khuếch đại và cập nhật nó trong thời gian thực.

(3) Góc vô lăng là khác nhau. Công nghệ liên quan này chỉ xét đến lượng điều khiển phản hồi lỗi trạng thái. Trên cơ sở của lượng điều khiển phản hồi lỗi trạng thái, phương án này cũng xét đến lượng điều khiển tiếp thuận độ cong đường, lượng bù tiếp thuận độ dốc đường, và lượng điều khiển tích phân lỗi vị trí.

Tóm lại, mục đích của phương án này là để giải quyết ít nhất một trong số các vấn đề sau đây:

(1) Giải quyết trực tuyến phương trình Riccati để thu nhận độ khuếch đại điều khiển tối ưu, vốn yêu cầu lượng tính toán lớn.

(2) Lỗi trạng thái ổn định bên được gây ra bởi độ nghiêng đường không được xét đến.

#### Phương án 1

Như được thể hiện trên Fig.2, phương án này đề xuất phương pháp điều khiển chuyển động bên của xe tự lái, bao gồm:

Bước S102, thiết đặt các thông số điều khiển của bộ điều khiển tuyến tính bậc hai;

Bước S104, thu nhận các thông số tổng thể của xe;

Bước S106, thu nhận độ khuếch đại thông số điều khiển, theo các thông số điều khiển và các thông số tổng thể của xe;

Bước S108, thu nhận độ khuếch đại thông số điều khiển theo thời gian thực, theo độ khuếch đại thông số điều khiển;

Bước S110, thu nhận lượng phản hồi lỗi trạng thái, độ cong quỹ đạo, và góc nghiêng của xe;

Bước S112, thu nhận lượng điều khiển và lượng bù, theo độ khuếch đại thông số điều khiển theo thời gian thực, lượng phản hồi lỗi trạng thái, độ cong quỹ đạo, và góc nghiêng của xe; và

Bước S114, thu nhận góc vô lăng được kỳ vọng, theo lượng điều khiển và lượng bù, và đưa ra góc vô lăng được kỳ vọng tới hệ thống lái bằng dây.

Phương án này có thể thực hiện việc điều khiển tối ưu của chuyển động bên của xe tự lái mà không có lỗi tĩnh, làm giảm đáng kể lượng tính toán, đảm bảo tính hội tụ của độ khuếch đại điều khiển tối ưu, và xét đến ảnh hưởng của độ cong đường, độ nghiêng đường và độ bất định của các thông số tổng thể của xe, để đạt được việc theo dõi có độ tin cậy cao và độ chính xác cao của quỹ đạo lái mong muốn.

#### Phương án 2

Ngoài các dấu hiệu kỹ thuật của các phương án nêu trên, phương án này còn bao gồm các dấu hiệu kỹ thuật sau đây.

Theo phương án nêu trên, bước thiết đặt các thông số điều khiển của bộ điều khiển tuyến tính bậc hai bao gồm: các thông số điều khiển bao gồm ma trận trọng số thứ nhất  $Q$  và ma trận trọng số thứ hai  $R$ ,  $Q = \text{diag}[q_1, q_2, q_3, q_4]$ ,  $R = [r]$ , trong đó,  $q_1, q_2, q_3, q_4$  và  $r$  lần lượt là năm thông số điều khiển,  $q_2, q_4$  và  $r$  được thiết đặt tới các trị số cố định, và  $q_1, q_3$  được thu nhận theo công thức sau đây:

$$q_1 = \begin{cases} q_{1\max} & V_x < V_1 \\ q_{1\max} + \frac{q_{1\min} - q_{1\max}}{V_2 - V_1} (V_x - V_1) & V_1 \leq V_x \leq V_2 \\ q_{1\min} & V_x > V_2 \end{cases}$$

$$q_3 = \begin{cases} q_{3\max} & V_x < V_1 \\ q_{3\max} + \frac{q_{3\min} - q_{3\max}}{V_2 - V_1} (V_x - V_1) & V_1 \leq V_x \leq V_2 \\ q_{3\min} & V_x > V_2 \end{cases}$$

Trong đó,  $q_{1\max}$  là trị số lớn nhất của  $q_1$ ,  $q_{1\min}$  là trị số nhỏ nhất của  $q_1$ ,  $q_{3\max}$  là trị số lớn nhất của  $q_3$ ,  $q_{3\min}$  là trị số nhỏ nhất của  $q_3$ ,  $V_x$  là tốc độ dọc của xe,  $V_1$  là ngưỡng tốc độ thứ nhất, và  $V_2$  là ngưỡng tốc độ thứ hai.

Theo phương án này, thiết đặt  $q_2, q_4$ , và  $r$  tới các trị số cố định, chỉ đối với  $q_1, q_3$ , thực hiện việc điều chỉnh tuyến tính của các thông số theo tốc độ dọc của xe  $V_x$ , nghĩa là, ma trận trọng số của các thông số điều khiển của bộ điều khiển tuyến tính bậc hai thực hiện phương pháp điều chỉnh tuyến tính tốc độ, điều này có thể làm giảm lượng tính toán.

### Phương án 3

Ngoài các dấu hiệu kỹ thuật của các phương án nêu trên, phương án này còn bao gồm các dấu hiệu kỹ thuật sau đây.

Bước thu nhận độ khuếch đại thông số điều khiển, theo các thông số điều khiển và các thông số tổng thể của xe bao gồm: độ khuếch đại thông số điều khiển được thu nhận theo công thức sau đây:

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & -\frac{2C_f + 2C_r}{mV_x} & \frac{2C_f + 2C_r}{m} & -\frac{2C_f l_f - 2C_r l_r}{mV_x} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & -\frac{2C_f l_f - 2C_r l_r}{I_z V_x} & \frac{2C_f l_f - 2C_r l_r}{I_z} & -\frac{2C_f l_f^2 + 2C_r l_r^2}{I_z V_x} \end{bmatrix}$$

$$B = \begin{bmatrix} 0 \\ \frac{2C_f}{m} \\ 0 \\ \frac{2C_f l_f}{I_z} \end{bmatrix}$$

$$k_{14} = [k_{14(1)}, k_{14(2)}, k_{14(3)}, k_{14(4)}]$$

$$k_{14} = \text{qr}(A, B, Q, R)$$

$$k_1 = k_{14(1)}$$

$$k_2 = k_{14(2)}$$

$$k_3 = k_{14(3)}$$

$$k_4 = k_{14(4)}$$

Trong đó,  $m$  là khối lượng xe,  $I_z$  là quán tính quay của xe xung quanh hướng thẳng đứng,  $l_f$  là khoảng cách từ trục trước của xe tới tâm tỷ cự,  $l_r$  là khoảng cách từ trục sau của xe tới tâm tỷ cự,  $C_f$  là độ cứng khi vào cua của bánh trước, và  $C_r$  là độ cứng khi vào cua của bánh sau,  $V_x$  là tốc độ dọc của xe,  $k_{14}$  là ma trận hội tụ độ khuếch đại điều khiển,  $k_{14(1)}$ ,  $k_{14(2)}$ ,  $k_{14(3)}$ , và  $k_{14(4)}$  lần lượt là bốn thành phần trong ma trận hội tụ độ khuếch đại điều khiển,  $k_1$ ,  $k_2$ ,  $k_3$ , và  $k_4$  lần lượt là bốn độ khuếch đại thông số điều khiển.  $k_{14}$  là ma trận hội tụ độ khuếch đại điều khiển tối ưu được tính toán bởi MATLAB, và  $k_1$ ,  $k_2$ ,  $k_3$ , và  $k_4$  lần lượt là bốn độ khuếch đại thông số điều khiển.

Trong đó, các thông số tổng thể của xe bao gồm khối lượng xe và/hoặc quán tính quay của xe xung quanh hướng thẳng đứng và/hoặc khoảng cách từ trục trước của xe tới tâm tỷ cự và/hoặc khoảng cách từ trục sau của xe tới tâm tỷ cự và/hoặc độ cứng khi vào cua của các bánh trước và/hoặc độ cứng khi vào cua của các bánh sau. Thu nhận các thông số tổng thể của xe, thu nhận độ khuếch đại thông số điều



khuyến ngoại tuyến theo các thông số tổng thể của xe, và làm giảm độ phức tạp tính toán của phương pháp về phương án này.

Theo các thông số tổng thể của xe và mô hình đối tượng được điều khiển, độ khuếch đại thông số điều khiển tối ưu  $k_1$ ,  $k_2$ ,  $k_3$ , và  $k_4$  được tính toán ngoại tuyến qua hàm MATLAB lqr, điều này làm giảm đáng kể lượng tính toán so với giải pháp trực tuyến của độ khuếch đại thông số điều khiển.

#### Phương án 4

Như được thể hiện trên Fig.3, ngoài các dấu hiệu kỹ thuật của các phương án nêu trên, phương án này còn bao gồm các dấu hiệu kỹ thuật sau đây.

Bước thu nhận độ khuếch đại thông số điều khiển theo thời gian thực, theo độ khuếch đại thông số điều khiển, bao gồm:

Bước S202, lấy tốc độ làm biến độc lập, và thực hiện việc khớp đa thức của độ khuếch đại thông số điều khiển để thu nhận đa thức thứ nhất; và

Bước S204, thu nhận độ khuếch đại thông số điều khiển theo thời gian thực, theo đa thức thứ nhất và tốc độ dọc của xe theo thời gian thực.

Dựa vào độ khuếch đại thông số điều khiển được thu nhận ngoại tuyến, phương pháp tính toán của việc khớp đa thức được sử dụng để thu nhận độ khuếch đại thông số điều khiển theo thời gian thực, và lượng tính toán được tối ưu hóa.

#### Phương án 5

Ngoài các dấu hiệu kỹ thuật của các phương án nêu trên, phương án này còn bao gồm các dấu hiệu kỹ thuật sau đây.

Bước thu nhận độ khuếch đại thông số điều khiển theo thời gian thực, theo độ khuếch đại thông số điều khiển, bao gồm: lấy tốc độ làm biến độc lập, và thực hiện việc khớp đa thức bậc ba của độ khuếch đại thông số điều khiển, và đa thức thứ nhất được thu nhận là:

$$\begin{cases} k_1 = a_{31}V^3 + a_{21}V^2 + a_{11}V + a_{01} \\ k_2 = a_{32}V^3 + a_{22}V^2 + a_{12}V + a_{02} \\ k_3 = a_{33}V^3 + a_{23}V^2 + a_{13}V + a_{03} \\ k_4 = a_{34}V^3 + a_{24}V^2 + a_{14}V + a_{04} \end{cases}$$

Trong đó,  $a_{31}$ ,  $a_{21}$ ,  $a_{11}$ , và  $a_{01}$  là các hệ số đa thức bậc ba của các thông số điều khiển  $k_1$ ,  $a_{32}$ ,  $a_{22}$ ,  $a_{12}$ , và  $a_{02}$  là các hệ số đa thức bậc ba của các thông số điều khiển  $k_2$ ,  $a_{33}$ ,  $a_{23}$ ,  $a_{13}$ , và  $a_{03}$  là các hệ số đa thức bậc ba của các thông số điều khiển  $k_3$ ,  $a_{34}$ ,  $a_{24}$ ,  $a_{14}$ , và  $a_{04}$  là các hệ số đa thức bậc ba của các thông số điều khiển  $k_4$ ,  $v$  là tốc độ; thu nhận độ khuếch đại thông số điều khiển theo thời gian thực  $K$ , theo đa thức thứ nhất và tốc độ dọc của xe theo thời gian thực:

$$\begin{cases} k'_1 = a_{31}V_x^3 + a_{21}V_x^2 + a_{11}V_x + a_{01} \\ k'_2 = a_{32}V_x^3 + a_{22}V_x^2 + a_{12}V_x + a_{02} \\ k'_3 = a_{33}V_x^3 + a_{23}V_x^2 + a_{13}V_x + a_{03} \\ k'_4 = a_{34}V_x^3 + a_{24}V_x^2 + a_{14}V_x + a_{04} \end{cases}$$

$$K = [k'_1, k'_2, k'_3, k'_4]$$

Trong đó,  $V_x$  là tốc độ dọc của xe.

Theo phương án này, việc khớp đa thức bậc ba được thực hiện, và độ khuếch đại thông số điều khiển tối ưu được tính toán trong thời gian thực theo tốc độ thực tế được phản hồi bởi xe, điều này không những làm giảm lượng tính toán của độ khuếch đại thông số điều khiển tối ưu, mà còn đảm bảo tính hội tụ và độ tin cậy của độ khuếch đại thông số điều khiển tối ưu.

#### Phương án 6

Ngoài các dấu hiệu kỹ thuật của các phương án nêu trên, phương án này còn bao gồm các dấu hiệu kỹ thuật sau đây.

Bước thu nhận lượng phản hồi lỗi trạng thái bao gồm:

thu nhận lượng phản hồi lỗi trạng thái theo công thức sau đây:

$$e_y = (y - y_{des}) \cos(\psi_{des}) - (x - x_{des}) \sin(\psi_{des})$$

$$\dot{e}_y = V_y - V_x(\psi - \psi_{des})$$

$$e_\psi = \psi - \psi_{des}$$

$$\dot{e}_\psi = \omega - V_x \rho$$

$$X = \begin{bmatrix} e_y \\ \dot{e}_y \\ e_\psi \\ \dot{e}_\psi \end{bmatrix}$$

Trong đó,  $e_y$  là độ lệch vị trí bên,  $\dot{e}_y$  là tỷ lệ thay đổi của độ lệch vị trí bên,  $e_\psi$  là độ lệch góc đảo lái,  $\dot{e}_\psi$  là tỷ lệ thay đổi của độ lệch góc đảo lái, X là lượng phản hồi lỗi trạng thái,  $V_x$  là tốc độ dọc của xe,  $V_y$  là tốc độ bên của xe,  $(x, y)$  là vị trí xe ở thời điểm hiện tại,  $(x_{des}, y_{des})$  là vị trí quỹ đạo mong muốn,  $\psi$  là góc đảo lái của xe ở thời điểm hiện tại,  $\psi_{des}$  là góc đảo lái của quỹ đạo mong muốn,  $\omega$  biểu diễn vận tốc góc xoay của xe thông, và  $\rho$  biểu diễn độ cong điểm đích mong muốn.

Bằng cách cập nhật lỗi trạng thái và phản hồi nó tới độ khuếch đại điều khiển, hiệu quả điều khiển bên chính xác hơn.

#### Phương án 7

Như được thể hiện trên Fig.4, ngoài các dấu hiệu kỹ thuật của các phương án nêu trên, phương án này còn bao gồm các dấu hiệu kỹ thuật sau đây.

Bước thu nhận lượng điều khiển và lượng bù, theo độ khuếch đại thông số điều khiển, độ khuếch đại thông số điều khiển theo thời gian thực, lỗi trạng thái, độ cong quỹ đạo, và góc nghiêng của xe, bao gồm:

Bước S302, thu nhận lượng điều khiển phản hồi, theo độ khuếch đại thông số điều khiển theo thời gian thực và lượng phản hồi lỗi trạng thái là:

$$\delta_{sw\_b} = -KX$$

trong đó, K là độ khuếch đại thông số điều khiển theo thời gian thực, X là lượng

phản hồi lỗi trạng thái;

Bước S304, thu nhận lượng điều khiển tích phân lỗi vị trí, theo tích phân lỗi vị trí là:

$$\delta_{sw\_i} = \delta'_{sw\_i} + k_i e_y T$$

trong đó,  $k_i$  là hệ số tích phân,  $e_y$  là độ lệch vị trí bên, T là khoảng thời gian điều khiển,  $\delta'_{sw\_i}$  là trị số khoảng thời gian điều khiển của nhịp trước đó của  $\delta_{sw\_i}$ ;

Bước S306, thu nhận lượng bù tiếp thuận độ cong đường, theo độ cong quỹ đạo là:

$$\delta_{sw\_c} = \frac{mV_x^2}{R_{des}L} \left[ \frac{l_r}{2C_f} - \frac{l_f}{2C_r} + \frac{l_f}{2C_r} k'_3 \right] + \frac{L}{R_{des}} - \frac{l_r}{R_{des}} k'_3$$

trong đó, m là khối lượng xe,  $V_x$  là tốc độ dọc của xe,  $l_f$  là khoảng cách từ trục trước của xe tới tâm tỷ cự,  $l_r$  là khoảng cách từ trục sau của xe tới tâm tỷ cự,  $C_f$  là độ cứng khi vào cua của bánh trước,  $C_r$  là độ cứng khi vào cua của bánh sau,  $R_{des}$  là bán kính quỹ đạo, L là tổng của  $l_f$  và  $l_r$ ;

Bước S308, thu nhận lượng bù tiếp thuận độ dốc đường, theo góc nghiêng của xe là:

$$\delta_{sw\_r} = \frac{A(4, 3) - B(1, 4)k_3}{A(2, 3)B(1, 4) - A(1, 4)B(1, 2)} g \sin(\gamma)$$

trong đó,  $A(i, j)$  là thông số tương ứng với hàng thứ i và cột thứ j của ma trận A,  $B(i, j)$  là thông số tương ứng với hàng thứ i và cột thứ j của ma trận B, g là gia tốc trọng lực,  $\gamma$  là góc nghiêng của xe.

Các phương pháp thu nhận cụ thể của lượng điều khiển phản hồi, lượng điều khiển tích phân lỗi vị trí, lượng bù tiếp thuận độ cong đường, lượng bù tiếp thuận độ dốc đường được đưa ra bởi các công thức nêu trên. Theo phương án này, độ cong đường được cung cấp bởi quỹ đạo mong muốn được sử dụng để thực hiện việc bù tiếp thuận cho độ cong đường, thông tin định vị được sử dụng để thực hiện việc bù

tiếp thuận cho độ nghiêng đường, và số hạng tích phân độ lệch hướng vị trí được đưa vào để làm giảm lỗi vị trí. Và xét đến một cách toàn diện ảnh hưởng độ bất định của độ cong đường, độ nghiêng đường và các thông số tổng thể của xe để đạt được việc theo dõi có độ tin cậy cao và độ chính xác cao của quỹ đạo lái mong muốn.

Phương án này đưa vào số hạng tích phân độ lệch hướng vị trí để làm giảm lỗi vị trí, để đảm bảo rằng lỗi trạng thái ổn định vẫn có thể được loại bỏ hoàn toàn khi các thông số tổng thể của xe là bất định.

#### Phương án 8

Ngoài các dấu hiệu kỹ thuật của các phương án nêu trên, phương án này còn bao gồm các dấu hiệu kỹ thuật sau đây.

Bước thu nhận góc vô lăng được kỳ vọng, theo lượng điều khiển và lượng bù, và đưa ra góc vô lăng được kỳ vọng tới hệ thống lái bằng dây, bao gồm:

thu nhận góc vô lăng được kỳ vọng, theo công thức sau đây:

$$\delta_{sw} = (\delta_{sw\_b} + \delta_{sw\_r} + \delta_{sw\_c} + \delta_{sw\_i})I$$

Trong đó,  $\delta_{sw\_b}$  là lượng điều khiển phản hồi,  $\delta_{sw\_i}$  là lượng điều khiển tích phân lỗi vị trí,  $\delta_{sw\_c}$  là lượng bù tiếp thuận độ cong đường,  $\delta_{sw\_r}$  là lượng bù tiếp thuận độ dốc đường, I là tỷ lệ vô lăng.

Theo các kết quả tính toán của lượng điều khiển phản hồi, lượng điều khiển tiếp thuận độ cong đường, lượng bù tiếp thuận độ dốc đường, và lượng điều khiển tích phân vị trí, các kết quả tính toán được cộng lại, và sau đó được nhân với tỷ lệ vô lăng để thu nhận góc vô lăng được kỳ vọng cuối cùng, mà được đưa ra tới hệ thống lái bằng dây, để đạt được việc theo dõi đường, để đảm bảo rằng lỗi trạng thái ổn định có thể được loại bỏ hoàn toàn khi các thông số tổng thể của xe là bất định.

#### Phương án 9

Như được thể hiện trên Fig.5, phương án này đề xuất máy điều khiển chuyển động bên của xe tự lái 100, bao gồm: môđun thiết lập 110; môđun thu nhận thứ nhất

120; môđun thu nhận thứ hai 130; môđun thu nhận thứ ba 140; môđun thu nhận thứ tư 150; môđun thu nhận thứ năm 160; và môđun thu nhận thứ sáu 170, trong đó, các thông số điều khiển của bộ điều khiển tuyến tính bậc hai được thiết đặt bởi môđun thiết lập 110, môđun thu nhận thứ nhất 120 thu nhận các thông số tổng thể của xe, môđun thu nhận thứ hai 130 thu nhận độ khuếch đại thông số điều khiển theo các thông số điều khiển và các thông số tổng thể của xe, môđun thu nhận thứ hai 130 thu nhận độ khuếch đại thông số điều khiển theo các thông số điều khiển và các thông số tổng thể của xe, môđun thu nhận thứ ba 140 thu nhận độ khuếch đại thông số điều khiển theo thời gian thực theo độ khuếch đại thông số điều khiển, môđun thu nhận thứ tư 150 thu nhận lỗi trạng thái, độ cong quỹ đạo và góc nghiêng của xe, môđun thu nhận thứ năm 160 thu nhận lượng điều khiển và lượng bù theo độ khuếch đại thông số điều khiển, độ khuếch đại thông số điều khiển theo thời gian thực, lỗi trạng thái, độ cong quỹ đạo và góc nghiêng của xe, môđun thu nhận thứ sáu 170 thu nhận góc vô lăng được kỳ vọng theo lượng điều khiển và lượng bù, và đưa ra góc vô lăng được kỳ vọng tới hệ thống lái bằng dây.

Phương án này có thể thực hiện việc điều khiển tối ưu của chuyển động bên của xe tự lái mà không có lỗi tĩnh, làm giảm đáng kể lượng tính toán, đảm bảo tính hội tụ của độ khuếch đại điều khiển tối ưu, và xét đến ảnh hưởng của độ cong đường, độ nghiêng đường và độ bất định của các thông số tổng thể của xe, để đạt được việc theo dõi có độ tin cậy cao và độ chính xác cao của quỹ đạo lái mong muốn.

#### Phương án 10

Như được thể hiện trên Fig.6, phương án này đề xuất xe tự lái 200, bao gồm: thân xe 210 và thiết bị điều khiển 220; trong đó, thiết bị điều khiển điều khiển việc chạy của thân xe 210 nhờ sử dụng phương pháp điều khiển chuyển động bên của xe tự lái như được mô tả theo bất kỳ một trong số các phương án của sáng chế.

#### Phương án cụ thể

Phương án này đề xuất phương pháp điều khiển chuyển động bên của xe tự lái (nghĩa là, phương pháp điều khiển tối ưu mà không có lỗi tĩnh bên), mà có thể làm giảm đầy đủ lượng tính toán của độ khuếch đại điều khiển tối ưu và đảm bảo tính hội

tự của độ khuếch đại điều khiển, và xét đến ảnh hưởng độ bất định của độ cong đường, độ nghiêng đường và thông số tổng thể để đạt được việc theo dõi có độ tin cậy cao và độ chính xác cao của quỹ đạo lái mong muốn.

Như được thể hiện trên Fig.7, phương án này trước tiên tính toán ngoại tuyến độ khuếch đại điều khiển tối ưu, sau đó sử dụng đa thức để khớp độ khuếch đại điều khiển và lưu nó ở bộ phận tính toán, và sau đó cập nhật độ khuếch đại điều khiển tối ưu và lượng lỗi trạng thái trong thời gian thực theo tốc độ được phản hồi bởi xe. Độ cong đường được bù tiếp thuận bởi độ cong đường được cung cấp bởi quỹ đạo mong muốn, và độ nghiêng đường được bù tiếp thuận bởi góc nghiêng của xe được thu nhận từ thông tin định vị. Ngoài ra, số hạng tích phân độ lệch hướng vị trí được đưa vào để làm giảm lỗi vị trí để đảm bảo rằng lỗi trạng thái ổn định vẫn có thể được loại bỏ hoàn toàn khi các thông số tổng thể của xe là bất định. Như được thể hiện trên Fig.8, các bước thực hiện như sau:

Bước S402, tính toán ngoại tuyến độ khuếch đại điều khiển tối ưu và ma trận trọng số, trong đó các thông số điều khiển được bao gồm trong bộ điều khiển chuyển động bên LQR bao gồm ma trận trọng số thứ nhất Q và ma trận trọng số thứ hai R. Cụ thể là, có  $Q = \text{diag}[q_1, q_2, q_3, q_4]$ ,  $R = [r]$ , nghĩa là, tổng của 5 thông số  $q_1, q_2, q_3, q_4$  và  $r$ ; theo số lượng vật lý được kết hợp với các thông số điều khiển, xác định tầm quan trọng của nó, và  $q_2, q_4$ , và  $r$  được thiết đặt là các trị số cố định, chỉ đối với  $q_1, q_3$ , điều chỉnh các thông số theo tốc độ xe.

$$q_1 = \begin{cases} q_{1 \max} & V_x < V_1 \\ q_{1 \max} + \frac{q_{1 \min} - q_{1 \max}}{V_2 - V_1} (V_x - V_1) & V_1 \leq V_x \leq V_2 \\ q_{1 \min} & V_x > V_2 \end{cases}$$

$$q_3 = \begin{cases} q_{3 \max} & V_x < V_1 \\ q_{3 \max} + \frac{q_{3 \min} - q_{3 \max}}{V_2 - V_1} (V_x - V_1) & V_1 \leq V_x \leq V_2 \\ q_{3 \min} & V_x > V_2 \end{cases}$$

Tính toán ngoại tuyến: theo các thông số tổng thể của xe và mô hình đối tượng được điều khiển, tính toán các độ khuếch đại điều khiển tối ưu  $k_1, k_2, k_3$ , và  $k_4$  ngoại

tuyến qua hàm MATLAB lqr.

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & -\frac{2C_f + 2C_r}{mV_x} & \frac{2C_f + 2C_r}{m} & -\frac{2C_f I_f - 2C_r I_r}{mV_x} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & -\frac{2C_f I_f - 2C_r I_r}{I_z V_x} & \frac{2C_f I_f - 2C_r I_r}{I_z} & -\frac{2C_f I_f^2 + 2C_r I_r^2}{I_z V_x} \end{bmatrix}$$

$$B = \begin{bmatrix} 0 \\ \frac{2C_f}{m} \\ 0 \\ \frac{2C_f I_f}{I_z} \end{bmatrix}$$

$$k_{14} = [k_{14(1)}, k_{14(2)}, k_{14(3)}, k_{14(4)}]$$

$$k_{14} = \text{lqr}(A, B, Q, R)$$

$$k_1 = k_{14(1)}$$

$$k_2 = k_{14(2)}$$

$$k_3 = k_{14(3)}$$

$$k_4 = k_{14(4)}$$

Bước S404, khớp đa thức: theo các kết quả độ khuếch đại điều khiển tối ưu được tính toán, thực hiện việc khớp đa thức bậc ba của độ khuếch đại điều khiển tối ưu bởi tốc độ.

$$\begin{cases} k_1 = a_{31}V^3 + a_{21}V^2 + a_{11}V + a_{01} \\ k_2 = a_{32}V^3 + a_{22}V^2 + a_{12}V + a_{02} \\ k_3 = a_{33}V^3 + a_{23}V^2 + a_{13}V + a_{03} \\ k_4 = a_{34}V^3 + a_{24}V^2 + a_{14}V + a_{04} \end{cases}$$

Bước S406, cập nhật độ khuếch đại: tính toán độ khuếch đại điều khiển tối ưu K trong thời gian thực theo tốc độ thực tế được phản hồi bởi đồng hồ bánh xe tốc độ xe.



$$\begin{cases} k'_1 = a_{31}V_x^3 + a_{21}V_x^2 + a_{11}V_x + a_{01} \\ k'_2 = a_{32}V_x^3 + a_{22}V_x^2 + a_{12}V_x + a_{02} \\ k'_3 = a_{33}V_x^3 + a_{23}V_x^2 + a_{13}V_x + a_{03} \\ k'_4 = a_{34}V_x^3 + a_{24}V_x^2 + a_{14}V_x + a_{04} \end{cases}$$

$$K = [k'_1, k'_2, k'_3, k'_4]$$

Bước S408, cập nhật lỗi trạng thái: tính toán độ lệch vị trí bên  $e_y$ , tỷ lệ thay đổi độ lệch vị trí bên  $\dot{e}_y$ , độ lệch góc đảo lái  $e_\psi$ , tỷ lệ thay đổi độ lệch góc đảo lái  $\dot{e}_\psi$ , lượng phản hồi lỗi trạng thái X, theo vị trí xe, thông tin tư thế và tốc độ được đưa ra bởi hệ thống định vị trong thời gian thực, và thông tin quỹ đạo được kỳ vọng của việc quy hoạch.

$$e_y = (y - y_{des}) \cos(\psi_{des}) - (x - x_{des}) \sin(\psi_{des})$$

$$\dot{e}_y = V_y - V_x(\psi - \psi_{des})$$

$$e_\psi = \psi - \psi_{des}$$

$$\dot{e}_\psi = \omega - V_x \rho$$

$$X = \begin{bmatrix} e_y \\ \dot{e}_y \\ e_\psi \\ \dot{e}_\psi \end{bmatrix}$$

Bước S410, tính toán lượng điều khiển phản hồi: nhân độ khuếch đại điều khiển tối ưu và lượng phản hồi lỗi trạng thái để tính toán lượng phản hồi lỗi trạng thái.

$$\delta_{sw\_b} = -KX$$

Bước S412, tính toán lượng bù tiếp thuận độ cong đường: tính toán lượng bù độ cong đường, theo độ cong quỹ đạo được cung cấp bởi hệ thống quy hoạch.

$$\delta_{sw\_c} = \frac{mV_x^2}{R_{des}L} \left[ \frac{I_r}{2C_f} - \frac{I_f}{2C_r} + \frac{I_f}{2C_r} k'_3 \right] + \frac{L}{R_{des}} - \frac{I_r}{R_{des}} k'_3$$

Bước S414, Tính toán lượng bù tiếp thuận độ dốc đường: tính toán lượng bù tiếp thuận độ dốc đường, theo góc nghiêng của xe được cung cấp bởi hệ thống định vị.

$$\delta_{sw\_r} = \frac{A(4, 3) - B(1, 4)k_3}{A(2, 3)B(1, 4) - A(1, 4)B(1, 2)} g \sin(\gamma)$$

Bước S416, Tính toán lượng điều khiển tích phân lỗi vị trí: đưa vào tích phân của lỗi vị trí, và tính toán lượng tích phân do lỗi vị trí nhờ sử dụng phép tích phân tăng.

$$\delta_{sw\_i} = \delta'_{sw\_i} + k_i e_y T$$

Bước S420, Tính toán góc vô lăng: tính tổng các kết quả tính toán của lượng điều khiển tiếp thuận độ cong đường, lượng bù tiếp thuận độ dốc đường, và lượng điều khiển tích phân vị trí, theo lượng điều khiển phản hồi, và sau đó nhân tỷ lệ vô lăng để thu nhận góc vô lăng được kỳ vọng cuối cùng, và đưa ra tới hệ thống lái bằng dây, thực hiện việc theo dõi đường.

$$\delta_{sw} = (\delta_{sw\_b} + \delta_{sw\_r} + \delta_{sw\_c} + \delta_{sw\_i})i$$

Theo công thức nêu trên,  $i$  là tỷ lệ truyền của cơ cấu lái,  $m$  biểu diễn khối lượng xe;  $I_z$  biểu diễn quán tính quay của xe xung quanh hướng thẳng đứng;  $\omega$  biểu diễn vận tốc góc xoay của xe thông;  $l_f$  và  $l_r$  lần lượt biểu diễn khoảng cách từ các trục trước và sau của xe tới tâm tỷ cự;  $C_f$  và  $C_r$  lần lượt là các độ cứng khi vào cua của các bánh trước và sau,  $\gamma$  là góc nghiêng được cung cấp bởi việc định vị,  $\psi$ ,  $\psi_{des}$  lần lượt là góc đảo lái của xe ở thời điểm hiện tại và góc đảo lái của quỹ đạo mong muốn,  $(x, y)$ ,  $(x_{des}, y_{des})$  là vị trí của xe ở thời điểm hiện tại và vị trí của quỹ đạo được kỳ vọng,  $k_i$  là hệ số tích phân,  $T$  là khoảng thời gian điều khiển,  $\delta'_{sw\_i}$  là trị số khoảng thời gian điều khiển của nhịp trước đó của  $\delta_{sw\_i}$ ,  $A(i, j)$ ,  $B(i, j)$  lần lượt là các thông số tương ứng với hàng thứ  $i$  và cột thứ  $j$  của các ma trận  $A$  và  $B$ , và  $g$  là gia tốc trọng lực.

Tóm lại, các hiệu quả có lợi của các phương án về sáng chế là:

1. Phương án này có thể thực hiện việc điều khiển tối ưu của chuyển động bên của xe tự lái mà không có lỗi tĩnh, làm giảm đáng kể lượng tính toán, đảm bảo tính hội tụ của độ khuếch đại điều khiển tối ưu, và xét đến ảnh hưởng của độ cong đường, độ nghiêng đường và độ bất định của các thông số tổng thể của xe, để đạt được việc theo dõi có độ tin cậy cao và độ chính xác cao của quỹ đạo lái mong muốn.

2. Phương án này đề xuất phương pháp không lỗi tĩnh và đưa vào số hạng tích phân độ lệch hướng vị trí để làm giảm lỗi vị trí, để đảm bảo rằng lỗi trạng thái ổn định vẫn có thể được loại bỏ hoàn toàn khi các thông số tổng thể của xe là bất định.

3. Tính toán độ khuếch đại điều khiển tối ưu trong thời gian thực theo tốc độ thực tế được phản hồi bởi xe, điều này không những làm giảm lượng tính toán của độ khuếch đại điều khiển tối ưu, mà còn đảm bảo tính hội tụ và độ tin cậy của độ khuếch đại điều khiển tối ưu.

Theo sáng chế này, các thuật ngữ "thứ nhất", "thứ hai" và "thứ ba" được sử dụng chỉ nhằm mục đích mô tả, và sẽ không được hiểu là chỉ báo hoặc ẩn ý tầm quan trọng liên quan; thuật ngữ "nhiều" đề cập đến hai hoặc nhiều hơn hai, trừ khi được định rõ ràng theo cách khác. Các thuật ngữ "được lắp đặt", "được kết nối", "kết nối", "được cố định", v.v., sẽ được hiểu theo nghĩa rộng. Ví dụ, "được kết nối" có thể là kết nối cố định, kết nối có thể tháo rời, hoặc kết nối liên khối; "kết nối" có thể được kết nối trực tiếp, hoặc được kết nối gián tiếp qua sự kết nối trung gian. Đối với những người có hiểu biết trung bình trong lĩnh vực kỹ thuật tương ứng, các ý nghĩa cụ thể của các thuật ngữ nêu trên theo sáng chế có thể được hiểu theo các tình huống cụ thể.

Trong phần mô tả của sáng chế, thuật ngữ "nhiều" đề cập đến hai hoặc nhiều, trừ khi được định rõ ràng theo cách khác, và cần hiểu rằng các mối quan hệ vị trí hoặc hướng được chỉ báo bởi các thuật ngữ "trên", "dưới", "trái", "phải" và thuật ngữ tương tự là các mối quan hệ vị trí hoặc hướng dựa vào những gì được thể hiện trên các hình vẽ, chỉ nhằm thuận tiện cho việc mô tả sáng chế và đơn giản hóa phần mô tả, và không chỉ báo hoặc ẩn ý rằng thiết bị hoặc bộ phận được đề cập phải có hướng cụ thể và được cấu trúc và được thao tác theo hướng cụ thể, và vì vậy không thể được hiểu là giới hạn của sáng chế.

Trong phần mô tả của bản mô tả, các phần mô tả của các thuật ngữ “một phương án”, “một số phương án” và “các phương án cụ thể” và thuật ngữ tương tự nghĩa là các dấu hiệu, các cấu trúc, các vật liệu hoặc các đặc điểm cụ thể được mô tả kết hợp với (các) phương án hoặc (các) ví dụ được bao gồm trong ít nhất một phương án hoặc ví dụ của sáng chế. Theo bản mô tả, sự biểu diễn giản lược của các thuật ngữ nêu trên không nhất thiết phải đề cập tới cùng phương pháp hoặc ví dụ. Hơn nữa, các dấu hiệu, các cấu trúc, các vật liệu hoặc các đặc điểm cụ thể được mô tả có thể được kết hợp theo cách thức thích hợp theo một hoặc nhiều phương án hoặc nhiều ví dụ bất kỳ.

Các phần mô tả nêu trên chỉ là các phương án ưu tiên của sáng chế, mà không được sử dụng để giới hạn sáng chế. Đối với người có hiểu biết trong lĩnh vực kỹ thuật tương ứng, sáng chế có thể có các sự thay đổi và các biến thể khác nhau. Các sự cải biến, các sự thay thế tương đương, các sự cải tiến bất kỳ, v.v., nằm trong tinh thần và nguyên lý của sáng chế thì đều sẽ được bao gồm trong phạm vi bảo hộ của sáng chế.

## YÊU CẦU BẢO HỘ

1. Phương pháp điều khiển chuyển động bên của xe tự lái bao gồm các bước:

thiết đặt các thông số điều khiển của bộ điều khiển tuyến tính bậc hai;

thu nhận các thông số tổng thể của xe;

thu nhận độ khuếch đại thông số điều khiển, theo các thông số điều khiển và các thông số tổng thể của xe;

thu nhận độ khuếch đại thông số điều khiển theo thời gian thực, theo độ khuếch đại thông số điều khiển;

thu nhận lượng phản hồi lỗi trạng thái, độ cong quỹ đạo, và góc nghiêng của xe;

thu nhận lượng điều khiển và lượng bù, theo độ khuếch đại thông số điều khiển theo thời gian thực, lượng phản hồi lỗi trạng thái, độ cong quỹ đạo, và góc nghiêng của xe; và

thu nhận góc vô lăng được kỳ vọng, theo lượng điều khiển và lượng bù, và đưa ra góc vô lăng được kỳ vọng tới hệ thống lái bằng dây;

trong đó bước thu nhận độ khuếch đại thông số điều khiển theo thời gian thực theo độ khuếch đại thông số điều khiển bao gồm:

lấy tốc độ làm biến độc lập, và thực hiện việc khớp đa thức của độ khuếch đại thông số điều khiển để thu nhận đa thức thứ nhất; và

thu nhận độ khuếch đại thông số điều khiển theo thời gian thực, theo đa thức thứ nhất và tốc độ dọc của xe theo thời gian thực.

2. Phương pháp điều khiển chuyển động bên của xe tự lái theo điểm 1, trong đó bước thiết đặt các thông số điều khiển của bộ điều khiển tuyến tính bậc hai bao gồm:

các thông số điều khiển bao gồm ma trận trọng số thứ nhất  $Q$  và ma trận trọng số thứ hai  $R$ ,  $Q = \text{diag}[q_1, q_2, q_3, q_4]$ ,  $R = [r]$ , trong đó,  $q_1, q_2, q_3, q_4$  và  $r$  lần lượt là năm thông số điều khiển,  $q_2, q_4$  và  $r$  được thiết đặt tới các trị số cố định, và  $q_1, q_3$  được thu nhận theo công thức sau đây;

$$q_1 = \begin{cases} q_{1\max} & V_x < V_1 \\ q_{1\max} + \frac{q_{1\min} - q_{1\max}}{V_2 - V_1} (V_x - V_1) & V_1 \leq V_x \leq V_2 \\ q_{1\min} & V_x > V_2 \end{cases}$$

$$q_3 = \begin{cases} q_{3\max} & V_x < V_1 \\ q_{3\max} + \frac{q_{3\min} - q_{3\max}}{V_2 - V_1} (V_x - V_1) & V_1 \leq V_x \leq V_2 \\ q_{3\min} & V_x > V_2 \end{cases}$$

trong đó,  $q_{1\max}$  là trị số lớn nhất của  $q_1$ ,  $q_{1\min}$  là trị số nhỏ nhất của  $q_1$ ,  $q_{3\max}$  là trị số lớn nhất của  $q_3$ ,  $q_{3\min}$  là trị số nhỏ nhất của  $q_3$ ,  $V_x$  là tốc độ dọc của xe,  $V_1$  là ngưỡng tốc độ thứ nhất, và  $V_2$  là ngưỡng tốc độ thứ hai.

3. Phương pháp điều khiển chuyển động bên của xe tự lái theo điểm 1, trong đó bước thu nhận độ khuếch đại thông số điều khiển, theo các thông số điều khiển và các thông số tổng thể của xe bao gồm:

độ khuếch đại thông số điều khiển được thu nhận theo công thức sau đây:

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & -\frac{2C_f + 2C_r}{mV_x} & \frac{2C_f + 2C_r}{m} & -\frac{2C_f l_f - 2C_r l_r}{mV_x} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & -\frac{2C_f l_f - 2C_r l_r}{I_z V_x} & \frac{2C_f l_f - 2C_r l_r}{I_z} & -\frac{2C_f l_f^2 + 2C_r l_r^2}{I_z V_x} \end{bmatrix}$$

$$B = \begin{bmatrix} 0 \\ \frac{2C_f}{I_z} \\ m \\ 0 \\ \frac{2C_f l_f}{I_z} \end{bmatrix}$$

$$k_{14} = [k_{14(1)}, k_{14(2)}, k_{14(3)}, k_{14(4)}]$$

$$k_{14} = \text{lqr}(A, B, Q, R)$$

$$K_1 = k_{14(1)}$$

$$K_2 = k_{14(2)}$$

$$K_3 = k_{14(3)}$$

$$K_4 = k_{14(4)}$$

trong đó,  $m$  là khối lượng xe,  $I_z$  là quán tính quay của xe xung quanh hướng thẳng đứng,  $l_f$  là khoảng cách từ trục trước của xe tới tâm tỷ cự,  $l_r$  là khoảng cách

từ trục sau của xe tới tâm tỷ cự,  $C_f$  là độ cứng khi vào cua của bánh trước, và  $C_r$  là độ cứng khi vào cua của bánh sau,  $V_x$  là tốc độ dọc của xe,  $k_{14}$  là ma trận hội tụ độ khuếch đại điều khiển,  $k_{14(1)}$ ,  $k_{14(2)}$ ,  $k_{14(3)}$ , và  $k_{14(4)}$  lần lượt là bốn thành phần trong ma trận hội tụ độ khuếch đại điều khiển,  $k_1$ ,  $k_2$ ,  $k_3$ , và  $k_4$  lần lượt là bốn độ khuếch đại thông số điều khiển.

4. Phương pháp điều khiển chuyển động bên của xe tự lái theo điểm 1, trong đó bước thu nhận độ khuếch đại thông số điều khiển theo thời gian thực theo độ khuếch đại thông số điều khiển bao gồm:

lấy tốc độ làm biến độc lập, và thực hiện việc khớp đa thức bậc ba của độ khuếch đại thông số điều khiển, và đa thức thứ nhất được thu nhận là:

$$\begin{cases} k_1 = a_{31}V^3 + a_{21}V^2 + a_{11}V + a_{01} \\ k_2 = a_{32}V^3 + a_{22}V^2 + a_{12}V + a_{02} \\ k_3 = a_{33}V^3 + a_{23}V^2 + a_{13}V + a_{03} \\ k_4 = a_{34}V^3 + a_{24}V^2 + a_{14}V + a_{04} \end{cases}$$

trong đó,  $a_{31}$ ,  $a_{21}$ ,  $a_{11}$ , và  $a_{01}$  là các hệ số đa thức bậc ba của các thông số điều khiển  $k_1$ ,  $a_{32}$ ,  $a_{22}$ ,  $a_{12}$ , và  $a_{02}$  là các hệ số đa thức bậc ba của các thông số điều khiển  $k_2$ ,  $a_{33}$ ,  $a_{23}$ ,  $a_{13}$ , và  $a_{03}$  là các hệ số đa thức bậc ba của các thông số điều khiển  $k_3$ ,  $a_{34}$ ,  $a_{24}$ ,  $a_{14}$ , và  $a_{04}$  là các hệ số đa thức bậc ba của các thông số điều khiển  $k_4$ ,  $v$  là tốc độ;

thu nhận độ khuếch đại thông số điều khiển theo thời gian thực  $K$ , theo đa thức thứ nhất và tốc độ dọc của xe theo thời gian thực:

$$\begin{cases} k'_1 = a_{31}V_x^3 + a_{21}V_x^2 + a_{11}V_x + a_{01} \\ k'_2 = a_{32}V_x^3 + a_{22}V_x^2 + a_{12}V_x + a_{02} \\ k'_3 = a_{33}V_x^3 + a_{23}V_x^2 + a_{13}V_x + a_{03} \\ k'_4 = a_{34}V_x^3 + a_{24}V_x^2 + a_{14}V_x + a_{04} \end{cases}$$

$$K = [k'_1, k'_2, k'_3, k'_4]$$

trong đó,  $V_x$  là tốc độ dọc của xe.

5. Phương pháp điều khiển chuyển động bên của xe tự lái theo điểm 1, trong đó bước thu nhận lượng phản hồi lỗi trạng thái bao gồm:

thu nhận lượng phản hồi lỗi trạng thái theo công thức sau đây:

$$e_y = (y - y_{des}) \cos(\psi_{des}) - (x - x_{des}) \sin(\psi_{des})$$

$$\dot{e}_y = V_y - V_x(\psi - \psi_{des})$$

$$e_\psi = \psi - \psi_{des}$$

$$\dot{e}_\psi = \omega - V_x \rho$$

$$X = \begin{bmatrix} e_y \\ \dot{e}_y \\ e_\psi \\ \dot{e}_\psi \end{bmatrix}$$

trong đó,  $e_y$  là độ lệch vị trí bên,  $\dot{e}_y$  là tỷ lệ thay đổi của độ lệch vị trí bên,  $e_\psi$  là độ lệch góc đảo lái,  $\dot{e}_\psi$  là tỷ lệ thay đổi của độ lệch góc đảo lái,  $X$  là lượng phản hồi lỗi trạng thái,  $V_x$  là tốc độ dọc của xe,  $V_y$  là tốc độ bên của xe,  $(x, y)$  là vị trí xe ở thời điểm hiện tại,  $(x_{des}, y_{des})$  là vị trí quỹ đạo mong muốn,  $\psi$  là góc đảo lái của xe ở thời điểm hiện tại,  $\psi_{des}$  là góc đảo lái của quỹ đạo mong muốn,  $\omega$  biểu diễn vận tốc góc xoay của xe thông, và  $\rho$  biểu diễn độ cong điểm đích mong muốn.

6. Phương pháp điều khiển chuyển động bên của xe tự lái theo điểm 1, trong đó bước thu nhận lượng điều khiển và lượng bù, theo độ khuếch đại thông số điều khiển, độ khuếch đại thông số điều khiển theo thời gian thực, lỗi trạng thái, độ cong quỹ đạo, và góc nghiêng của xe bao gồm:

thu nhận lượng điều khiển phản hồi, theo độ khuếch đại thông số điều khiển theo thời gian thực và lượng phản hồi lỗi trạng thái là:

$$\delta_{sw\_b} = -KX$$

trong đó,  $K$  là độ khuếch đại thông số điều khiển theo thời gian thực,  $X$  là lượng phản hồi lỗi trạng thái;

thu nhận lượng điều khiển tích phân lỗi vị trí, theo tích phân lỗi vị trí là:

$$\delta_{sw\_i} = \delta'_{sw\_i} + k_i e_y T$$



trong đó,  $k_i$  là hệ số tích phân,  $e_y$  là độ lệch vị trí bên, T là khoảng thời gian điều khiển,  $\delta'_{sw-i}$  là trị số khoảng thời gian điều khiển của nhịp trước đó của  $\delta_{sw-i}$ ;

thu nhận lượng bù tiếp thuận độ cong đường, theo độ cong quỹ đạo là:

$$\delta_{sw-c} = \frac{mV_x^2}{R_{des}L} \left[ \frac{I_r}{2C_f} - \frac{I_f}{2C_r} + \frac{I_f}{2C_r} k'_3 \right] + \frac{L}{R_{des}} - \frac{I_r}{R_{des}} k'_3$$

trong đó, m là khối lượng xe,  $V_x$  là tốc độ dọc của xe,  $l_f$  là khoảng cách từ trục trước của xe tới tâm tỷ cự,  $l_r$  là khoảng cách từ trục sau của xe tới tâm tỷ cự,  $C_f$  là độ cứng khi vào cua của bánh trước,  $C_r$  là độ cứng khi vào cua của bánh sau,  $R_{des}$  là bán kính quỹ đạo, L là tổng của  $l_f$  và  $l_r$ ; và

thu nhận lượng bù tiếp thuận độ dốc đường, theo góc nghiêng của xe là: ✓

$$\delta_{sw-r} = \frac{A(4,3) - B(1,4)k_3}{A(2,3)B(1,4) - A(1,4)B(1,2)} g \sin(\gamma)$$

trong đó,  $A(i,j)$  là thông số tương ứng với hàng thứ i và cột thứ j của ma trận A,  $B(i,j)$  là thông số tương ứng với hàng thứ i và cột thứ j của ma trận B, g là gia tốc trọng lực,  $\gamma$  là góc nghiêng của xe.

7. Phương pháp điều khiển chuyển động bên của xe tự lái theo điểm 1, trong đó bước thu nhận góc vô lăng được kỳ vọng, theo lượng điều khiển và lượng bù, và đưa ra góc vô lăng được kỳ vọng tới hệ thống lái bằng dây bao gồm:

thu nhận góc vô lăng được kỳ vọng, theo công thức sau đây:

$$\delta_{sw} = (\delta_{sw-b} + \delta_{sw-r} + \delta_{sw-c} + \delta_{sw-i})I$$

trong đó,  $\delta_{sw-b}$  là lượng điều khiển phản hồi,  $\delta_{sw-i}$  là lượng điều khiển tích phân lỗi vị trí,  $\delta_{sw-c}$  là lượng bù tiếp thuận độ cong đường,  $\delta_{sw-r}$  là lượng bù tiếp thuận độ dốc đường, I là tỷ lệ vô lăng.

8. Máy điều khiển chuyển động bên của xe tự lái (100), bao gồm:

môđun thiết lập (110);

môđun thu nhận thứ nhất (120);  
 môđun thu nhận thứ hai (130);  
 môđun thu nhận thứ ba (140);  
 môđun thu nhận thứ tư (150);  
 môđun thu nhận thứ năm (160); và  
 môđun thu nhận thứ sáu (170),  
 trong đó, các thông số điều khiển của bộ điều khiển tuyến tính bậc hai được  
 thiết đặt bởi môđun thiết lập (110),  
 môđun thu nhận thứ nhất (120) thu nhận các thông số tổng thể của xe;  
 môđun thu nhận thứ hai (130) thu nhận độ khuếch đại thông số điều khiển  
 theo các thông số điều khiển và các thông số tổng thể của xe;  
 môđun thu nhận thứ ba (140) thu nhận độ khuếch đại thông số điều khiển  
 theo thời gian thực theo độ khuếch đại thông số điều khiển;  
 môđun thu nhận thứ tư (150) thu nhận lỗi trạng thái, độ cong quỹ đạo và  
 góc nghiêng của xe;  
 môđun thu nhận thứ năm (160) thu nhận lượng điều khiển và lượng bù theo  
 độ khuếch đại thông số điều khiển, độ khuếch đại thông số điều khiển theo thời  
 gian thực, lỗi trạng thái, độ cong quỹ đạo và góc nghiêng của xe; và  
 môđun thu nhận thứ sáu (170) thu nhận góc vô lăng được kỳ vọng theo  
 lượng điều khiển và lượng bù, và đưa ra góc vô lăng được kỳ vọng tới hệ thống  
 lái bằng dây;  
 trong đó môđun thu nhận thứ ba (140) lấy tốc độ làm biến độc lập, và thực  
 hiện việc khớp đa thức của độ khuếch đại thông số điều khiển để thu nhận đa  
 thức thứ nhất; và  
 thu nhận độ khuếch đại thông số điều khiển theo thời gian thực, theo đa  
 thức thứ nhất và tốc độ dọc của xe theo thời gian thực.

#### 9. Xe tự lái (200), bao gồm:

thân xe (210);  
 thiết bị điều khiển (220); và

trong đó, thiết bị điều khiển (220) điều khiển việc chạy của thân xe (210) nhờ sử dụng phương pháp điều khiển chuyển động bên của xe tự lái như được mô tả theo điểm bất kỳ trong số các điểm từ 1 đến 7.

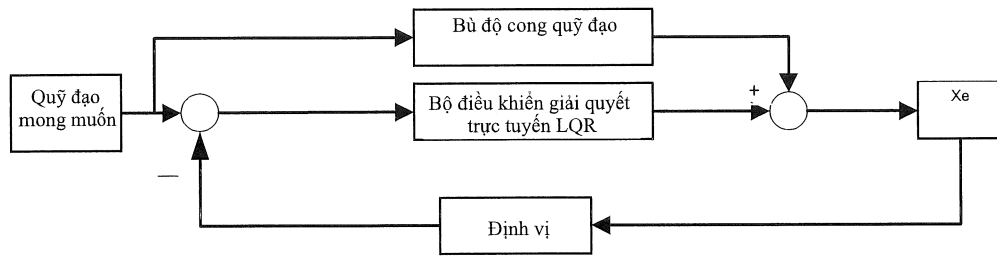


FIG. 1

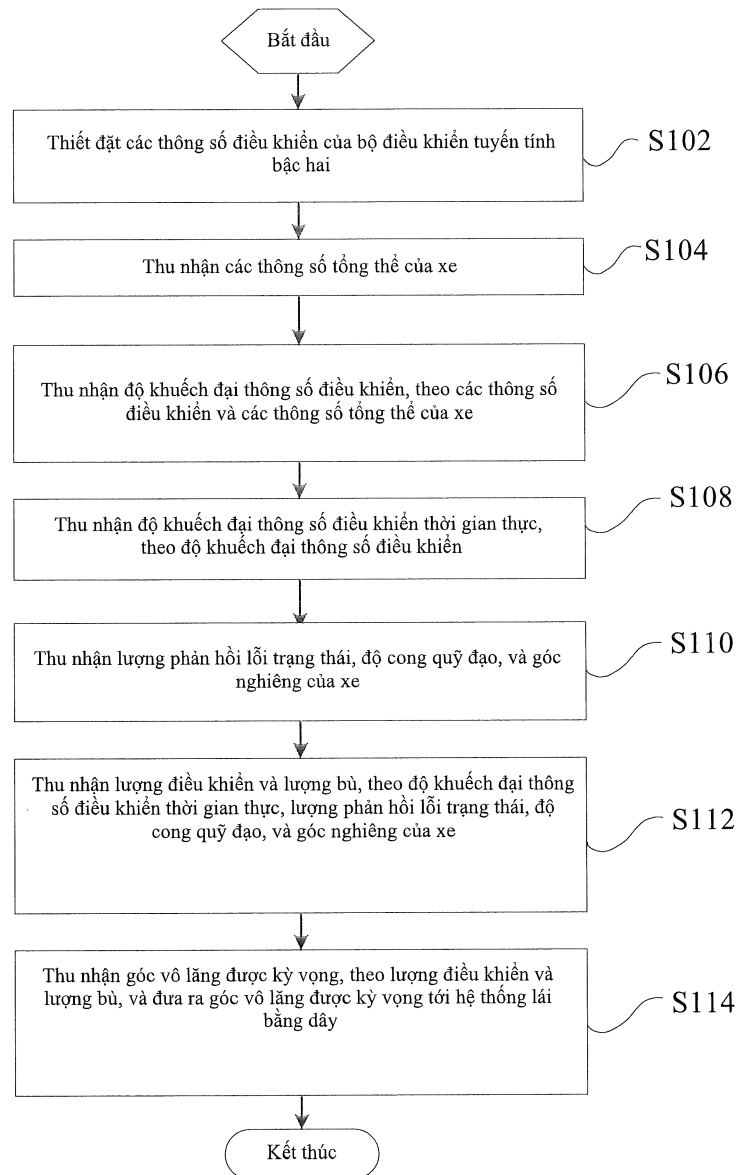


FIG. 2

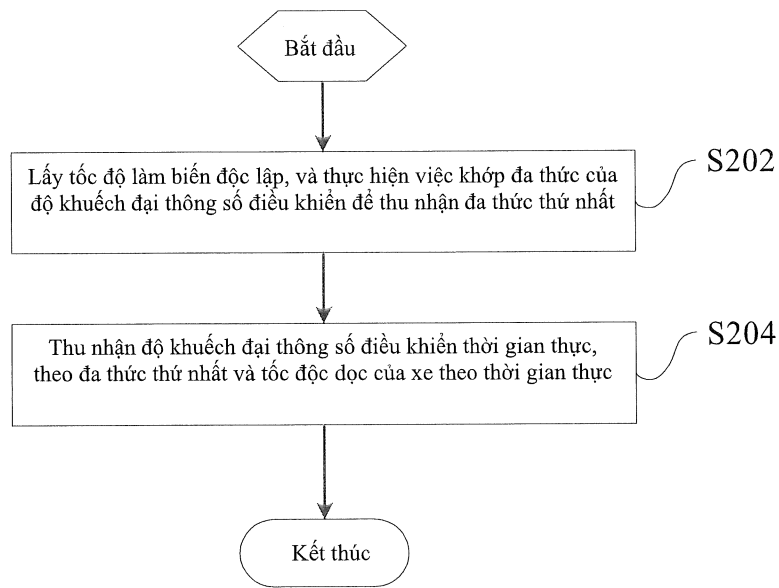


FIG. 3

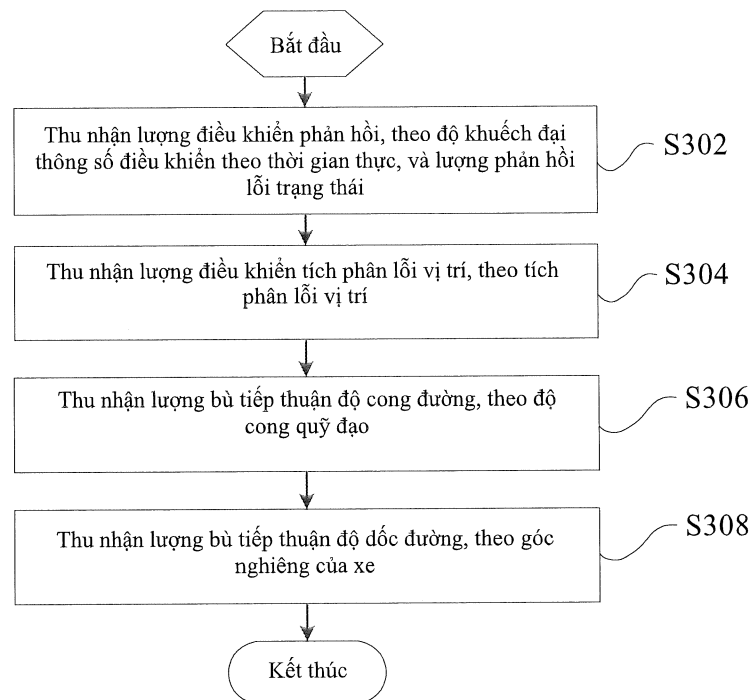


FIG. 4

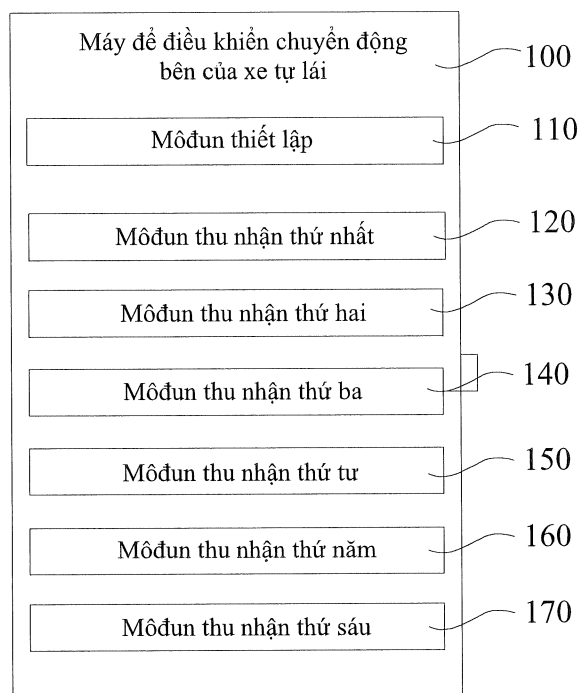


FIG. 5

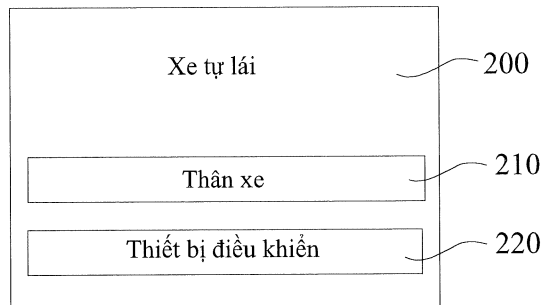


FIG. 6

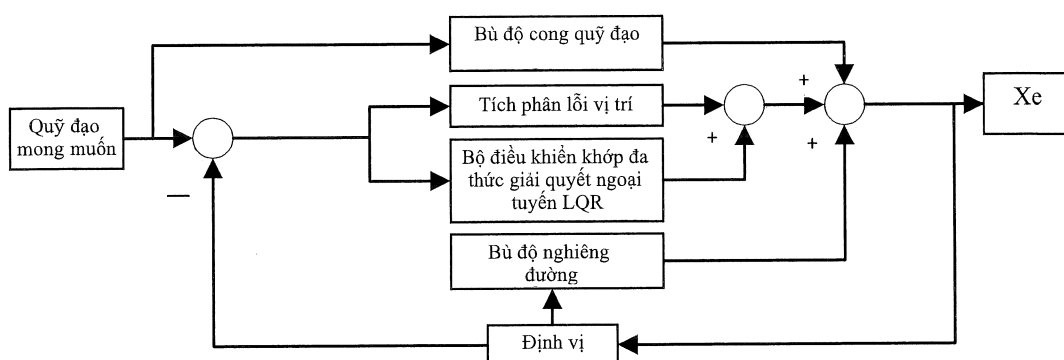


FIG. 7

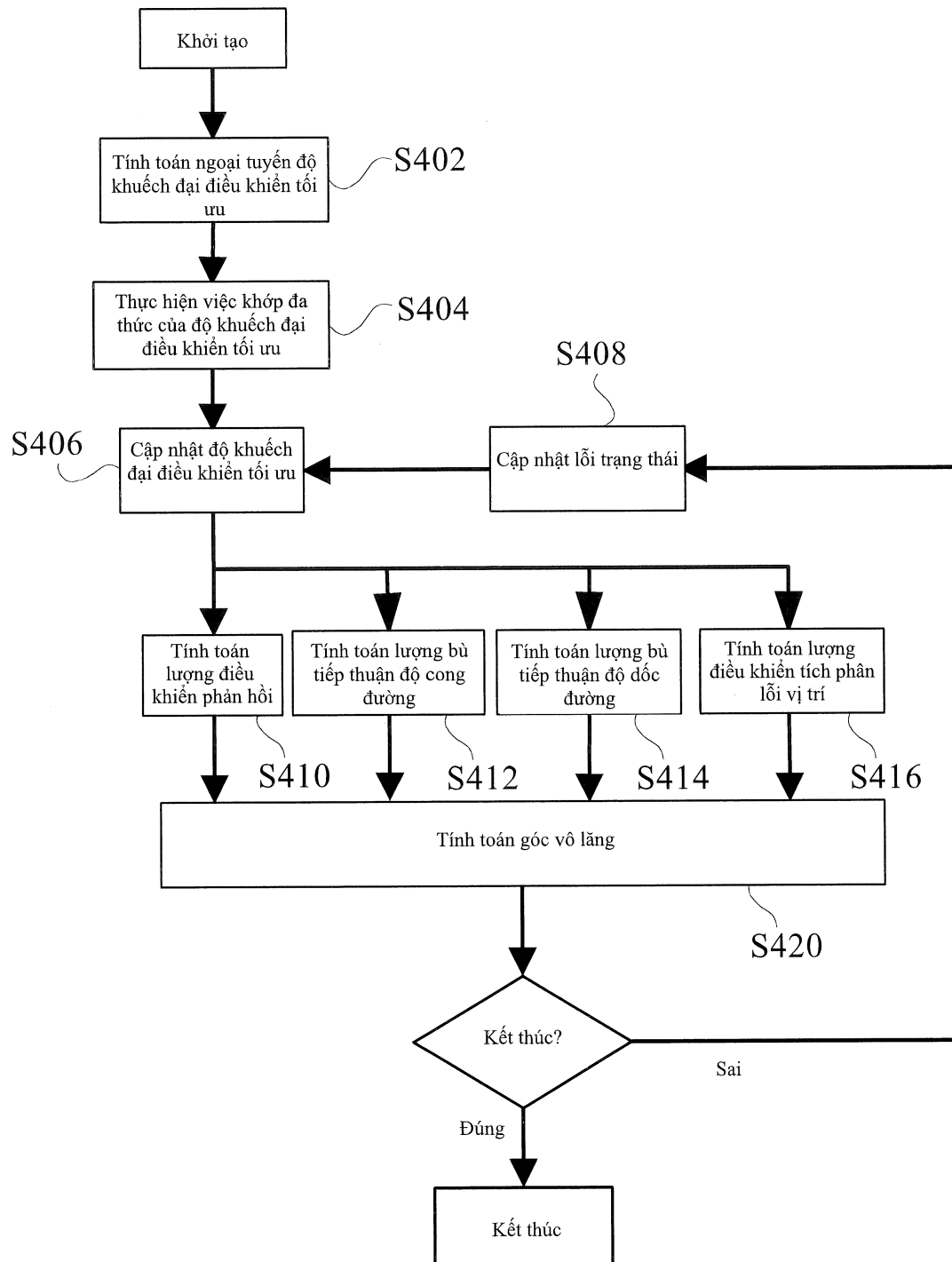


FIG. 8