

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 864 503**

51 Int. Cl.:

A01B 69/04 (2006.01)

B62D 15/02 (2006.01)

G01C 25/00 (2006.01)

G01M 17/06 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **20.06.2017 PCT/CN2017/089132**

87 Fecha y número de publicación internacional: **03.05.2018 WO18076725**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **20.06.2017 E 17864219 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **10.03.2021 EP 3489624**

54 Título: **Procedimiento de calibración automática del sensor de ángulo para el sistema de control de la conducción automática de una máquina agrícola**

30 Prioridad:

27.10.2016 CN 201610956720

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:

13.10.2021

73 Titular/es:

**SHANGHAI HUACE NAVIGATION TECHNOLOGY LTD. (100.0%)
Building C, 599 Gaojing Road, Xujing Town,
Qingpu District
Shanghai 201702, CN**

72 Inventor/es:

**REN, QIANG;
WANG, JIEJUN;
SHEN, XUEFENG;
FENG, SHAOXI y
DONG, GUANGYANG**

74 Agente/Representante:

ISERN JARA, Jorge

ES 2 864 503 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Procedimiento de calibración automática del sensor de ángulo para el sistema de control de la conducción automática de una máquina agrícola

5 Campo técnico

10 La presente invención se refiere al campo de la medición del receptor del Sistema Global de Navegación por Satélite (GNSS), en particular a un procedimiento de calibración automática del sensor de ángulo para el sistema de control de la conducción automática de máquinas agrícolas.

Antecedentes

15 La máquina agrícola (en particular, un tractor, que se usará para representar la máquina agrícola en lo sucesivo) es la fuerza motriz de diversas operaciones de mecanización, que es la máquina motriz más importante en las operaciones de producción agrícola. La máquina o máquinas agrícolas pueden completar la mayoría del trabajo en el campo, junto con implementos agrícolas acoplados, suspendidos o remolcados. La máquina o máquinas agrícolas también pueden arrastrar un remolque para realizar operaciones de transporte. Con el desarrollo continuo de la productividad del trabajo agrícola, es una tendencia inevitable que los tractores agrícolas se desarrollen a mayor escala. Esta tendencia es de particular interés en América del Norte y Europa Occidental. En el noreste de China y la provincia china de Xinjiang, ha habido un fuerte impulso de desarrollo en los últimos años. Como resultado, los usuarios dependen cada vez más de los tractores de alta potencia en el proceso de producción agrícola, por lo que es particularmente urgente mejorar la tasa de utilización de los tractores en el trabajo. Sin embargo, cuando los componentes de la máquina de un tractor están operando en un ambiente relativamente hostil, las condiciones de operación son complicadas y cambiantes, y la mano de obra de los operadores es de diferente nivel, lo que conduce a una baja precisión de operación y una baja tasa de utilización de la tierra. Además, no se puede garantizar la eficiencia de combustible y la eficiencia de producción del tractor en el proceso de operación. Por lo tanto, la conducción de máquinas agrícolas, especialmente máquinas agrícolas a gran escala, se ha convertido en un problema clave que debe resolverse con urgencia en la agricultura de precisión. La solución más eficaz a este problema es la tecnología de conducción automática de navegación GNSS.

20 El sistema de control de conducción automática de navegación GNSS consta principalmente de dos componentes principales: el algoritmo de navegación integrado y el algoritmo de control. El algoritmo de navegación integrado proporciona datos precisos de posición y orientación para el algoritmo de control. El valor de la desviación se calcula en tiempo real mediante el algoritmo de planificación de ruta en función de la posición y la información. Luego, el valor de la desviación se convierte en una cantidad de control del actuador mediante el algoritmo de control, para controlar que el tractor se desplace de acuerdo con la ruta planificada. En estos algoritmos, se debe establecer un modelo cinemático del vehículo, y el ángulo de rotación de la rueda delantera en el modelo cinemático es uno de los parámetros más importantes del modelo. Debido al error de instalación y al error de fabricación, se producirán errores inestables en el cálculo del modelo. Como resultado, el algoritmo de control es inexacto. Peor aún, el control puede ser divergente, de modo que no se pueda realizar la intención de la conducción automática.

25 El estado de la técnica pertinente incluye el documento CN 105 372 078 A (UNIV CAPITAL NORMAL) del 2 de marzo de 2016 y

45 el documento US 2014/074340 A1 (WILSON ERIC KARL Y OTROS) del 13 de marzo de 2014.

Sumario

50 La presente invención proporciona un procedimiento de calibración automática de un sensor de ángulo para un sistema de control de la conducción automática de una máquina agrícola, que incluye las siguientes etapas:

55 Etapa S1: fijar un volante de la máquina agrícola para hacer que las ruedas delanteras del vehículo formen un ángulo fijo;

Etapa S2: recopilar una pluralidad de elementos de información de la posición actual de la máquina agrícola y procesar la pluralidad de elementos de información de la posición actual para obtener un valor medio;

60 Etapa S3: establecer un modelo cinemático de máquina agrícola de dos ruedas basado en el centro de un eje trasero;

Etapa S4: realizar un cálculo del radio para obtener un conjunto de correspondencias de ángulos;

65 Etapa S5: hacer girar la máquina agrícola un ángulo preestablecido a una velocidad constante con el eje trasero de la máquina agrícola como centro, y realizar de la Etapa S1 a la Etapa S4;

Etapa S6: después de realizar la Etapa S5 varias veces, realizar un cálculo del ajuste del valor del ángulo para obtener

un coeficiente de calibración.

5 En el procedimiento de calibración automática mencionado anteriormente del sensor de ángulo para el sistema de control de la conducción automática de la máquina agrícola, en la Etapa S6, los datos de los giros a la izquierda y los giros a la derecha del vehículo se recopilan, respectivamente, al menos 5 veces.

En el procedimiento de calibración automática mencionado anteriormente para el sensor de ángulo del sistema de control de la conducción automática de la máquina agrícola, la etapa S3 incluye específicamente:

10 suponer que el radio de los círculos de las ruedas delanteras y traseras es R, y obtener la Ecuación 1 a continuación:

$$\beta = 2 * \text{asin}\left(\frac{L}{2 * R}\right)$$

$$\alpha = \beta/2$$

15 donde θ es un ángulo de rumbo de un tractor, α es un ángulo de dirección de la rueda delantera del tractor y L es la distancia entre ejes del tractor.

En la Ecuación 1, β es un ángulo central correspondiente de la distancia entre ejes L, y α es un ángulo circunferencial correspondiente de la distancia entre ejes L. La Ecuación 2 a continuación se obtiene de la Ecuación 1:

$$\alpha = \text{asin}\left(\frac{L}{2 * R}\right)$$

20 En el procedimiento de calibración automática mencionado anteriormente para el sensor de ángulo del sistema de control de la conducción automática de la máquina agrícola, las etapas para calcular el radio R incluyen:

$$\begin{aligned} a &= 2 * (x_2 - x_1) \\ b &= 2 * (y_2 - y_1) \\ c &= x_2^2 + y_2^2 - x_1^2 - y_1^2 \\ d &= 2 * (x_3 - x_2) \\ e &= 2 * (y_3 - y_2) \\ f &= x_3^2 + y_3^2 - x_2^2 - y_2^2 \end{aligned} \quad \text{Ecuación 3}$$

$$\begin{aligned} x &= (b * f - e * c) / (b * d - e * a) \\ y &= (d * c - a * f) / (b * d - e * a) \\ R &= ((x - x_1)^2 - (y - y_1)^2)^{0,5} \end{aligned}$$

25 Donde a, b, c, d, e y f son variables de cálculo intermedias;

30 x e y son coordenadas del centro de un círculo;

$x_1, y_1, x_2, y_2, x_3, y_3$ son las coordenadas de tres puntos registrados durante el proceso de conducción de la máquina agrícola.

35 En el procedimiento de calibración automática mencionado anteriormente para el sensor de ángulo del sistema de control de la conducción automática de la máquina agrícola, las etapas del cálculo del ajuste del valor del ángulo incluyen:

40 Suponer que un valor del sensor de ángulo es x_n , un valor correspondiente del sensor de ángulo calculado de acuerdo con los puntos de muestreo de la posición en la Ecuación 3 es y_n , n es la n-ésima correspondencia y los coeficientes cuadráticos de calibración del sensor de ángulo son α_0, α_1 y α_2 .

$$\begin{bmatrix} 1 & x_1 & x_1^2 \\ 1 & x_2 & x_2^2 \\ \dots & \dots & \dots \\ 1 & x_n & x_n^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \alpha_0 \\ \alpha_1 \\ \alpha_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \dots \\ y_n \end{bmatrix} \quad \text{Ecuación 4}$$

α_0 , α_1 y α_2 son resultados de calibración.

5 La presente invención proporciona las ventajas siguientes.

1. Aplicando la técnica de combinar cinemática de vehículos y GNSS de alta precisión en la presente aplicación, se puede realizar una calibración del sensor de ángulo de alta precisión.

10 2. La presente aplicación puede realizar la calibración automática sin el aparato de asistencia externa y la entrada de parámetros experimentales relacionados.

3. La presente aplicación es especialmente adecuada para los precisos sistemas de control de la conducción automática agrícola.

15 Breve descripción de los dibujos

La presente invención y las características, apariencia y ventajas de la misma se aclararán al leer la descripción detallada del modo de realización no limitativo con referencia a los dibujos siguientes. En los dibujos, los números de referencia idénticos representan la misma parte. Los dibujos están dibujados de acuerdo con proporciones específicas, el énfasis de los dibujos es ilustrar el contenido de la presente invención.

20 La Fig. 1 es un diagrama de flujo que muestra un procedimiento de calibración automática para un sensor de ángulo de un sistema de control de la conducción automática de una máquina agrícola de acuerdo con la presente invención;

25 la Fig. 2 es un diagrama esquemático que muestra un modelo cinemático de un tractor de dos ruedas basado en el centro de un eje trasero;

30 la Fig. 3 es un diagrama de flujo de la presente invención de acuerdo con un modo de realización.

Descripción detallada de los modos de realización

35 En la descripción siguiente, se exponen numerosos detalles específicos a fin de proporcionar un entendimiento profundo de la presente invención. Sin embargo, es evidente para los expertos en la técnica que la presente invención puede implementarse sin uno o más de estos detalles. En otros ejemplos, para evitar confusiones con la presente invención, no se describen algunas características técnicas conocidas en la técnica.

40 Para una comprensión completa de la presente invención, se proporcionarán etapas detalladas y estructuras detalladas en las siguientes descripciones con el fin de ilustrar claramente la solución técnica de la presente invención. Los modos de realización preferentes de la presente invención se describirán en detalle a continuación. Sin embargo, además de estas descripciones detalladas, la presente invención puede tener otras implementaciones.

45 La presente invención proporciona un procedimiento de calibración automática de un sensor de ángulo para un sistema de control automático de la conducción de una máquina agrícola, que incluye las siguientes etapas.

Etapa S1: fijar un volante de la máquina agrícola para hacer que las ruedas delanteras del vehículo formen un ángulo fijo;

50 Etapa S2: recopilar una pluralidad de elementos de información de la posición actual de la máquina agrícola y procesar la pluralidad de elementos de información de la posición actual para obtener un valor medio;

Etapa S3: establecer un modelo cinemático de máquina agrícola de dos ruedas basado en el centro de un eje trasero;

55 Etapa S4: realizar un cálculo del radio para obtener un conjunto de correspondencias de ángulos;

Etapa S5: hacer girar la máquina agrícola un ángulo preestablecido a una velocidad constante con el eje trasero de la máquina agrícola como centro, y realizar de la Etapa S1 a la Etapa S4;

60 Etapa S6: después de realizar la Etapa S5 varias veces, realizar un cálculo del ajuste del valor del ángulo para obtener un coeficiente de calibración.

En un modo de realización opcional de la presente invención, los datos de los giros a la izquierda y los giros a la derecha del vehículo se recopilan, respectivamente, al menos 5 veces.

5 La Fig. 1 es un diagrama esquemático que muestra un modelo cinemático de un tractor de dos ruedas basado en el centro de un eje trasero. En la figura, θ es el ángulo de rumbo del tractor, α es el ángulo de dirección de la rueda delantera del tractor, V es la velocidad de la rueda trasera del tractor, V_f es la velocidad de la rueda delantera del tractor, L es la distancia entre ejes (o longitud de la cuerda) del tractor, el punto C es perpendicular a L y está ubicado en la circunferencia de los círculos de las ruedas delanteras y traseras. Es decir, α es el ángulo circunferencial correspondiente a la longitud de la cuerda L .

10 Suponiendo que el radio de los círculos de las ruedas delanteras y traseras es R , entonces

$$\beta = 2 * \text{asin}\left(\frac{L}{2*R}\right) \quad \text{Ecuación 1}$$

$$\alpha = \beta/2$$

15 En la Ecuación 1, β es el ángulo central correspondiente a la longitud de la cuerda L , y α es el ángulo circunferencial correspondiente a la longitud de la cuerda L . Además, α es igual al valor del sensor de ángulo de la rueda delantera. La Ecuación 2 se obtiene de la Ecuación 1, es decir, el ángulo de rotación de la rueda delantera y el radio tienen una correspondencia no lineal. Si se puede conocer el valor del radio, el valor del ángulo de la rueda delantera se puede adquirir mediante derivación inversa:

20

$$\alpha = \text{asin}\left(\frac{L}{2*R}\right) \quad \text{Ecuación 2}$$

25 Para GNSS de alta precisión, mediante el uso de la tecnología de cinemática en tiempo real (RTK), la precisión del posicionamiento se puede mejorar para que esté dentro del rango de 1 cm. En el sistema de control de la conducción automática de una máquina agrícola, el sensor de ángulo es uno de los componentes de todo el sistema y la placa GNSS de alta precisión es otro componente. Dado que la presente patente se centra en la investigación de la calibración del sensor de ángulo, no implica la tecnología RTK. La presente aplicación usa directamente la información de la posición generada por la placa de alta precisión en las implementaciones.

30 La Ecuación 3 incluye fórmulas de cálculo de una ecuación algebraica de un círculo que está determinado por tres puntos. Las coordenadas de tres puntos registrados durante el proceso de conducción del tractor se indican mediante P1 (x_1, y_1), P2 (x_2, y_2) y P3 (x_3, y_3). Las etapas para calcular el radio R incluyen:

$$a = 2 * (x_2 - x_1)$$

$$b = 2 * (y_2 - y_1)$$

$$c = x_2^2 + y_2^2 - x_1^2 - y_1^2$$

$$d = 2 * (x_3 - x_2)$$

$$e = 2 * (y_3 - y_2) \quad \text{Ecuación 3}$$

$$f = x_3^2 + y_3^2 - x_2^2 - y_2^2$$

$$x = (b * f - e * c) / (b * d - e * a)$$

$$y = (d * c - a * f) / (b * d - e * a)$$

$$R = ((x - x_1)^2 - (y - y_1)^2)^{0,5}$$

35 donde a, b, c, d, e y f son variables de cálculo intermedias; x, y son las coordenadas del centro del círculo; x_1, y_1, x_2, y_2, x_3 e y_3 son las coordenadas de tres puntos registrados durante el proceso de conducción de la máquina agrícola.

40 De acuerdo con la Ecuación 2 y la Ecuación 3, se puede adquirir un valor del radio correspondiente al ángulo fijo de rotación de la rueda delantera. Teóricamente, se puede obtener una línea correspondiente de acuerdo con dos valores de ángulo y un valor de radio. Sin embargo, debido a los impactos de varios factores ambientales, el cambio del valor del ángulo puede no ser lineal. Para mejorar la precisión de la calibración, la presente patente usa el procedimiento de mínimos cuadrados de la curva cuadrática para ajustar cuadráticamente una pluralidad de valores de ángulo y

valores de radio.

5 Suponiendo que el valor del sensor de ángulo es X_n , el valor correspondiente del sensor de ángulo que se calcula mediante los puntos de muestreo de posición en la Ecuación 3 es y_n , n es la n -ésima correspondencia (es decir, hacer girar la máquina agrícola la n -ésima vez), y los coeficientes cuadráticos de calibración del sensor de ángulo son a_0 , a_1 y a_2 .

$$\begin{bmatrix} 1 & x_1 & x_1^2 \\ 1 & x_2 & x_2^2 \\ \dots & \dots & \dots \\ 1 & x_n & x_n^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_0 \\ a_1 \\ a_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \dots \\ y_n \end{bmatrix} \quad \text{Ecuación 4}$$

10 α_0 , α_1 y α_2 son los resultados de la calibración.

La presente invención proporciona las ventajas siguientes.

- 15 1. Aplicando la técnica que combina la cinemática del vehículo y GNSS de alta precisión en la presente aplicación, se puede realizar una calibración del sensor de ángulo de alta precisión.
2. La presente aplicación puede realizar la calibración automática sin el aparato de asistencia externa y la entrada de parámetros experimentales relacionados.
- 20 3. La presente aplicación es especialmente adecuada para los precisos sistemas de control de la conducción automática agrícola.

REIVINDICACIONES

1. Un procedimiento de calibración automática de un sensor de ángulo para un sistema de control de la conducción automática de una máquina agrícola, conforme al cual el procedimiento comprende las siguientes etapas:

- 5 Etapa S1: fijar un volante de la máquina agrícola para hacer que las ruedas delanteras de un vehículo se mantengan en un ángulo fijo;
- Etapa S2: recopilar una pluralidad de elementos de información de la posición actual de la máquina agrícola y procesar la pluralidad de elementos de información de la posición actual para obtener un valor medio;
- 10 Etapa S3: establecer un modelo cinemático de una máquina agrícola de dos ruedas basado en el centro de un eje trasero;
- Etapa S4: realizar un cálculo del radio para obtener un conjunto de correspondencias de ángulos;
- Etapa S5: hacer girar la máquina agrícola un ángulo preestablecido a una velocidad constante con el eje trasero de la máquina agrícola como centro, y realizar de la Etapa S1 a la Etapa S4;
- 15 Etapa S6: después de realizar la Etapa S5 varias veces, realizar un cálculo del ajuste del valor del ángulo para obtener un coeficiente de calibración.

2. El procedimiento de calibración automática de un sensor de ángulo para un sistema de control de la conducción automática de una máquina agrícola según la reivindicación 1, **caracterizado por que**, en la Etapa S6, los datos de los giros a la izquierda y los giros a la derecha del vehículo se recopilan, respectivamente, al menos 5 veces.

3. El procedimiento de calibración automática de un sensor de ángulo para un sistema de control de la conducción automática de una máquina agrícola según la reivindicación 1, **caracterizado por que** la Etapa S3 comprende: suponer que el radio del círculo de la rueda delantera y trasera es R, y obtener la Ecuación 1 a continuación:

$$\beta = 2 * a \sin\left(\frac{L}{2 * R}\right)$$

$$\alpha = \beta / 2$$

donde θ es un ángulo de rumbo de un tractor, α es un ángulo de dirección de la rueda delantera del tractor y L es una distancia entre ejes del tractor;

en la Ecuación 1, β es un ángulo central correspondiente de la distancia entre ejes L, y α es un ángulo circunferencial correspondiente de la distancia entre ejes L; una Ecuación 2 a continuación se obtiene de la Ecuación 1:

$$\alpha = a \sin\left(\frac{L}{2 * R}\right) .$$

4. El procedimiento de calibración automática de un sensor de ángulo para un sistema de control de la conducción automática de una máquina agrícola según la reivindicación 3, **caracterizado por que** las etapas para calcular el radio R comprenden:

$$\begin{aligned} a &= 2 * (x_2 - x_1) \\ b &= 2 * (y_2 - y_1) \\ c &= x_2^2 + y_2^2 - x_1^2 - y_1^2 \\ d &= 2 * (x_3 - x_2) \\ e &= 2 * (y_3 - y_2) \\ f &= x_3^2 + y_3^2 - x_2^2 - y_2^2 \end{aligned} \quad \text{Ecuación 3}$$

$$\begin{aligned} x &= (b * f - e * c) / (b * d - e * a) \\ y &= (d * c - a * f) / (b * d - e * a) \\ R &= ((x - x_1)^2 - (y - y_1)^2)^{0,5} \end{aligned}$$

donde a, b, c, d, e y f son variables de cálculo intermedias;
x e y son coordenadas del centro de un círculo;
 $x_1, y_1, x_2, y_2, x_3, y_3$ son las coordenadas de tres puntos registrados durante un proceso de conducción de la máquina

agrícola.

5. El procedimiento de calibración automática de un sensor de ángulo para un sistema de control de la conducción automática de una máquina agrícola según la reivindicación 4, **caracterizado por que** las etapas del cálculo del ajuste del valor del ángulo comprenden:
- 5 suponiendo que un valor del sensor de ángulo es x_n , un valor correspondiente del sensor de ángulo calculado de acuerdo con los puntos de muestreo de la posición en la Ecuación 3 es y_n , n es la n -ésima correspondencia, y los coeficientes cuadráticos de calibración del sensor de ángulo son a_0 , a_1 y a_2 ;

$$\begin{bmatrix} 1 & x_1 & x_1^2 \\ 1 & x_2 & x_2^2 \\ \dots & \dots & \dots \\ 1 & x_n & x_n^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_0 \\ a_1 \\ a_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \dots \\ y_n \end{bmatrix} \quad \text{Ecuación 4}$$

10

y a_0 , a_1 y a_2 son resultados de calibración.

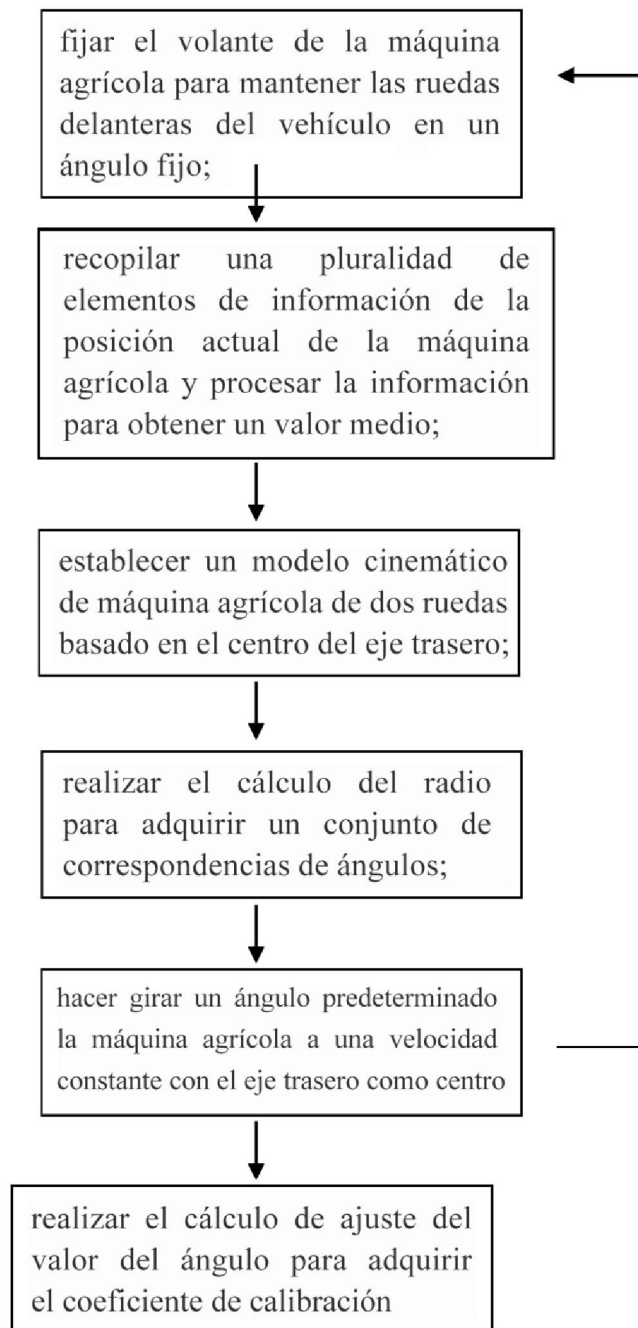


Fig. 1

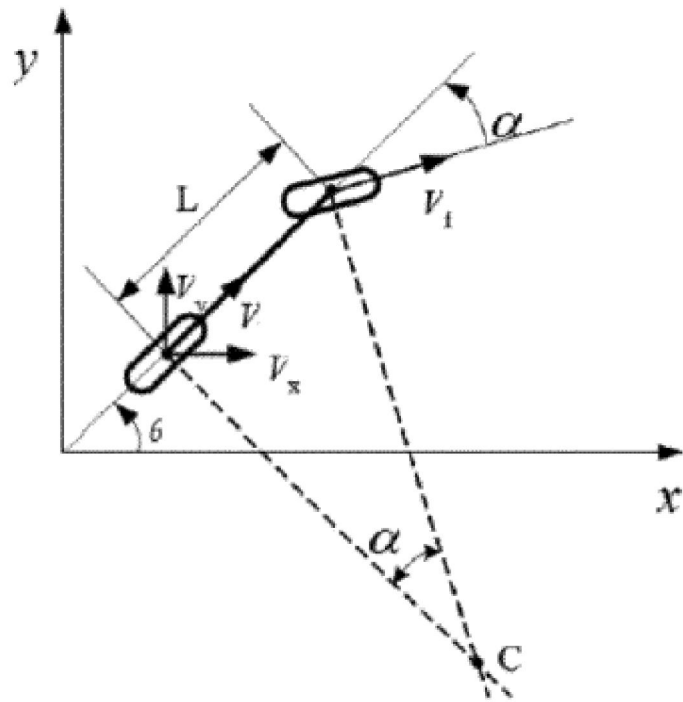


Fig. 2

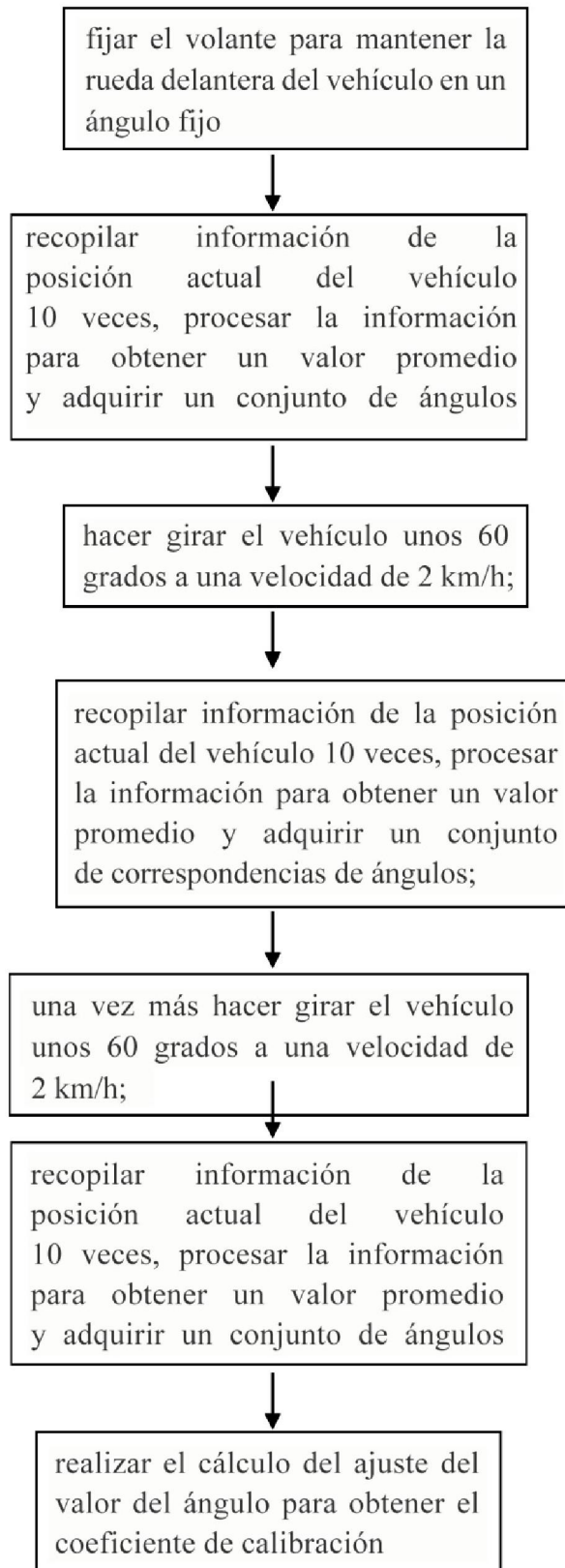


Fig. 3