

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 865 550**

51 Int. Cl.:

**A01B 69/04** (2006.01)

**A01B 79/00** (2006.01)

12

## TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **29.09.2017 PCT/DK2017/050323**
- 87 Fecha y número de publicación internacional: **05.04.2018 WO18059648**
- 96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **29.09.2017 E 17781385 (4)**
- 97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **23.12.2020 EP 3518648**

54 Título: **Un sistema y un método para optimizar la trayectoria a seguir cuando se desmalezan cultivos**

30 Prioridad:

**29.09.2016 DK PA201600574**

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

**15.10.2021**

73 Titular/es:

**AGRO INTELLIGENCE APS (100.0%)**

**Agro Food Park 13**

**8200 Aarhus N, DK**

72 Inventor/es:

**GREEN, OLE y**

**EDWARDS, GARETH THOMAS CHARLES**

74 Agente/Representante:

**ELZABURU, S.L.P**

**ES 2 865 550 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**

Un sistema y un método para optimizar la trayectoria a seguir cuando se desmalezan cultivos

**Campo de la invención**

5 La presente invención se refiere en general al campo de la optimización de trayectorias de trabajo de vehículos de trabajo agrícola para trabajar en un campo.

Más específicamente, la presente invención se refiere en un primer aspecto a un sistema de soporte para determinar una trayectoria a seguir por un vehículo de trabajo agrícola al desmalezar distintas áreas de maleza en un campo de cultivo.

10 En un segundo aspecto, la presente invención se refiere a un método para optimizar una trayectoria que debe seguir un vehículo de trabajo agrícola al desmalezar distintas áreas de maleza en un campo de cultivo.

En un tercer aspecto, la presente invención se refiere a un producto de programa informático, que al ser cargado o al funcionar en un ordenador, se adapta para realizar el método según el segundo aspecto.

En un cuarto aspecto, la presente invención se refiere a un vehículo de trabajo agrícola que comprende un implemento de desmalezado así como un sistema de soporte según el primer aspecto.

15 En un quinto aspecto, la presente invención se refiere al uso de un sistema según el primer aspecto de la presente invención, o de un producto de programa informático según el tercer aspecto de la presente invención, o de un vehículo de trabajo agrícola según el cuarto aspecto de la presente invención para optimizar una trayectoria a seguir por dicho vehículo de trabajo cuando trabaja en un campo.

**Antecedentes de la invención**

20 Dentro del campo específico de la agricultura relacionado con el crecimiento de cultivos, ha sido una práctica durante varias décadas aumentar el rendimiento de los cultivos al suprimir el crecimiento de malezas ubicadas en el campo de cultivo.

25 Tal supresión del crecimiento de maleza se puede realizar mecánicamente mediante un implemento de trabajo agrícola que trabaja mecánicamente el suelo en las áreas de la maleza. Alternativamente, el control de maleza se puede realizar químicamente usando un esparcidor que esparce un herbicida a la maleza.

Muy a menudo, las plantas de maleza tienden a agruparse en grupos de malezas, en lugar de distribuirse uniformemente por toda el área del campo de cultivo.

30 La razón de esto es que el resultado de la competencia en las primeras etapas de crecimiento entre las plántulas de cultivo por un lado y las plántulas de maleza por otro lado, será decisivo en cuanto a qué especie, cultivo o maleza conquistará el suelo y suprimirá el crecimiento de las otras especies. En consecuencia, una vez que una especie, cultivo o maleza domina un área durante la plántula, esa especie podrá suprimir el crecimiento de las otras especies.

La consecuencia de esto es que los campos de cultivo a menudo comprenden áreas distintas de malezas ubicadas dentro del propio campo de cultivo.

35 En la labranza moderna, el control de malezas se realizará típicamente utilizando un vehículo de trabajo agrícola motorizado, como un tractor que transporta o remolca un implemento de desmalezado. Los documentos US 2012/0101725 A1, EP 2 338 322 A2, WO 2016/009688 A1, y US 2016/0146611 A1 se refieren a la planificación del trabajo agrícola en los límites del campo.

40 La mayoría de los agricultores antes de desmalezar un campo de cultivo que comprende distintas áreas de maleza obtendrán información sobre la ubicación de cada área distinta de maleza dentro del campo de cultivo. Esta información se puede obtener fácilmente utilizando un dron que comprenda una cámara. Al sobrevolar el campo de cultivo con un dron, opcionalmente equipado con una cámara sensible a infrarrojos, el agricultor puede obtener información precisa sobre la ubicación de las distintas áreas de maleza. Estos datos también se pueden obtener durante otras operaciones de campo o caminando por el campo para tomar nota de las áreas de malezas.

45 Una vez que esté en posesión de la información sobre la ubicación de las distintas áreas de maleza dentro de un campo de cultivo, el agricultor puede comenzar a desmalezar esas áreas.

50 Sin embargo, como la ubicación de las distintas áreas de malezas dentro de un campo de cultivo específico puede variar de un año a otro, la mayoría de los agricultores cuando desmalezan áreas tan distintas de malezas dentro de un campo de cultivo tienden a cubrir todo el campo de manera indiscriminada para asegurar que todas las áreas de malezas hayan sido eliminadas, en lugar de seguir una ruta más inteligente y, por lo tanto, más eficiente a través del campo de cultivo.

5 Las desventajas de cubrir todo el campo y, por lo tanto, no seguir una ruta óptima a través del campo de cultivo, es que se produce una ineficiencia general. Esta ineficiencia puede estar relacionada con el tiempo excesivo dedicado al desmalezado, el consumo excesivo de combustible utilizado, la distancia recorrida excesiva a través de áreas de cultivo saludables, las excesivas áreas cubiertas más de una vez y el desgaste excesivo del implemento o maquinaria de trabajo

Por consiguiente, existe una necesidad persistente de mejorar la eficiencia al desmalezar distintas áreas de maleza dentro de un campo de cultivo.

10 Un objetivo de la presente invención es proporcionar sistemas, usos y métodos para mejorar la eficiencia al desmalezar distintas áreas de maleza dentro de un campo de cultivo. Específicamente, un objetivo de la presente invención es proporcionar sistemas, usos y métodos para determinar una trayectoria optimizada que debe seguir un implemento de desmalezado agrícola al desmalezar distintas áreas de maleza dentro de un campo de cultivo.

### **Breve descripción de la invención**

Este objetivo se logra mediante la presente invención en sus aspectos primero, segundo, tercero, cuarto y quinto, respectivamente.

15 En consecuencia, en un primer aspecto según la materia de asunto de la reivindicación 1 la presente invención se refiere a un sistema de soporte para determinar una trayectoria a seguir por un vehículo de trabajo agrícola, al desmalezar distintas áreas de maleza dentro de un campo de cultivo, dicho sistema comprende:

una unidad de mapeo configurada para recibir:

- 20 i) coordenadas relativas a los límites de un campo que se tiene que trabajar; y
- ii) coordenadas relativas a los límites de distintas áreas de maleza que se ubican dentro de dicho límite de dicho campo de cultivos;

una unidad de parámetros de capacidad configurada para recibir uno o más parámetros de capacidad relacionados con dicho vehículo de trabajo;

25 una unidad de cálculo de trayectoria configurada para calcular una trayectoria optimizada a seguir por dicho vehículo de trabajo al desmalezar dichas áreas distintas de maleza; en donde dicha trayectoria optimizada se calcula sobre la base de dichas coordenadas recibidas por dicha unidad de mapeo; y uno o más de dicho uno o más parámetros de capacidad recibidos por dicha unidad de parámetros de capacidad.

30 En un segundo aspecto según la materia de asunto de la reivindicación 7 la presente invención se refiere a un método para determinar una trayectoria a seguir por un vehículo de trabajo agrícola, al desmalezar distintas áreas de maleza dentro de un campo de cultivos, dicho método comprende las etapas:

a) proporcionar información relacionada con:

- i) coordenadas relativas a los límites de un campo que se tiene que trabajar; y
- ii) coordenadas relativas a los límites de distintas áreas de maleza que se ubican dentro de dicho límite de dicho campo de cultivos;

35 b) proporcionar información relacionada con:

uno o más parámetros de capacidad relacionados con dicho vehículo de trabajo;

c) realizar un cálculo de una trayectoria optimizada a seguir por dicho vehículo de trabajo; en donde dicha trayectoria optimizada se calcula sobre la base de dichas coordenadas proporcionadas en la etapa a) y b).

40 En un tercer aspecto según la materia de asunto de la reivindicación 13, la presente invención se refiere a un producto de programa informático, que cuando se carga o está funcionando en un ordenador, se adapta para realizar el método según el segundo aspecto de la presente invención.

En un cuarto aspecto según la materia de asunto de la reivindicación 14, la presente invención se refiere a un vehículo de trabajo agrícola que comprende un sistema de soporte según el primer aspecto de la presente invención.

45 En un quinto aspecto según la materia de asunto de la reivindicación 15, la presente invención se refiere al uso de un sistema de soporte según el primer aspecto de la presente invención, o de un producto de programa informático según el tercer aspecto de la presente invención; o de un vehículo de trabajo agrícola según el cuarto aspecto de la presente invención.

La presente invención en sus diversos aspectos permite optimizar una ruta a seguir al desmalezar un campo de cultivo que comprende varias áreas distintas de maleza. La optimización puede ser una optimización en relación con uno o

más de los siguientes: tiempo operativo total para trabajar el campo; tiempo productivo total para desmalezar dichas áreas distintas de maleza; consumo total de combustible para trabajar el campo; distancia total no laborable para trabajar el campo, distancia total de viaje a través de áreas de cultivos sin maleza, área total cubierta más de una vez.

**Breve descripción de las figuras**

5 La figura 1 es una vista superior de un campo que comprende varias áreas distintas de maleza ubicadas dentro de su límite de un campo de cultivo e ilustra los problemas asociados con trabajar dicho campo.

La figura 2 es una ilustración esquemática del modo de trabajo de un sistema de soporte según la presente invención.

10 Las figuras 3-23d son ilustraciones relacionadas con el ejemplo 1 e ilustran cómo gestionar matemáticamente crear posibles caminos de conducción continua en un campo agrícola y cómo encontrar un camino de conducción óptimo entre esos posibles caminos de conducción continua.

Las figuras 24-30 ilustra las etapas individuales asociadas con realizar una realización del método según la presente invención.

La figura 31 es un diagrama de flujo que ilustra un procedimiento iterativo para su uso en una realización del método según la presente invención.

15 **Descripción detallada de la invención**

La presente invención se refiere a un sistema de soporte para determinar una trayectoria a seguir por un vehículo de trabajo agrícola al desmalezar distintas áreas de maleza dentro de un campo de cultivos, dicho sistema comprende:

una unidad de mapeo configurada para recibir:

- i) coordenadas relativas a los límites de un campo que se tiene que trabajar; y
- 20 ii) coordenadas relativas a los límites de distintas áreas de maleza que se ubican dentro de dicho límite de dicho campo de cultivos;

una unidad de parámetros de capacidad configurada para recibir uno o más parámetros de capacidad relacionados con dicho vehículo de trabajo;

25 una unidad de cálculo de trayectoria configurada para calcular una trayectoria optimizada a seguir por dicho vehículo de trabajo al desmalezar dichas áreas distintas de maleza; en donde dicha trayectoria optimizada se calcula sobre la base de dichas coordenadas recibidas por dicha unidad de mapeo; y uno o más de dicho uno o más parámetros de capacidad recibidos por dicha unidad de parámetros de capacidad.

El sistema de soporte se diseña con el fin de ayudar a optimizar la búsqueda de una trayectoria que debe seguir al desmalezar áreas distintas dentro de un campo agrícola con un vehículo o implemento de trabajo.

30 El sistema de soporte puede ser en forma de equipo electrónico configurado para recibir entradas relativas a las coordenadas del campo, las distintas áreas de la maleza y opcionalmente también de los obstáculos ubicados en el mismo. El sistema de soporte se configura además para utilizar estas entradas introducidas para determinar una trayectoria optimizada a seguir.

El sistema de soporte generalmente utiliza un ordenador para realizar cálculos, como cálculos iterativos.

35 Las diversas unidades se pueden conectar entre sí de forma independiente, o al menos ser capaces de comunicarse entre sí. El sistema de soporte puede comprender entidades separadas o estar integrado.

40 Se entenderá por trayectoria optimizada aquella trayectoria que, en comparación con otras trayectorias investigadas, sea la más eficiente en términos de parámetro de coste. Una trayectoria optimizada puede ser o no una trayectoria globalmente optimizada. En algunos casos, una trayectoria optimizada simplemente expresa una sugerencia inteligente y cualificada para un mejor camino que debe seguir cuando se desmaleza un campo de cultivo que comprende distintas áreas de maleza.

En una realización del sistema de soporte de la presente invención, dicha unidad de mapeo se configura además para recibir:

- iii) coordenadas relativas a las posibles puertas de entrada/salida del campo; y/o
- 45 iv) coordenadas relativas a los límites de uno o más obstáculos a evitar por dicho vehículo de trabajo; en donde dichos uno o más obstáculos se ubican dentro de dicho campo.

Esto asegura que la posición o posiciones de las puertas de entrada/salida y los posibles obstáculos se tengan en cuenta al calcular la trayectoria optimizada a seguir.

- 5 En una realización del sistema de soporte de la presente invención, dicha trayectoria optimizada es una trayectoria optimizada en términos de tiempo operativo total para trabajar el campo; tiempo productivo total para trabajar el campo; consumo total de combustible para trabajar el campo; distancia total no laborable para trabajar el campo; distancia total recorrida dos veces o más; distancia total recorrida a través de áreas de cultivos sin maleza; área total cubierta dos veces más.
- Dependiendo sobre qué preocupación se optimice la trayectoria, son posibles varios parámetros de optimización diferentes. Arriba, se enumeran algunos de estos.
- 10 En una realización del sistema de soporte de la presente invención, dicho uno o más parámetros de capacidad se seleccionan del grupo que comprende: anchura de trabajo efectiva del vehículo de trabajo o del implemento de trabajo, carga del vehículo de trabajo en función de la distancia recorrida, consumo de combustible en función de la distancia recorrida, el radio de giro mínimo del vehículo o implemento, o ambos.
- Estos parámetros son parámetros que pueden ser relevantes para encontrar una trayectoria optimizada que debe seguir cuando se desmaleza un campo.
- 15 En una realización del sistema de soporte de la presente invención dicho sistema comprende además una unidad de exposición configurada para poder mostrar, en un mapa de dicho campo, la trayectoria optimizada a seguir por dicho vehículo de trabajo calculada por dicha unidad de cálculo de trayectoria.
- Esto permitirá al conductor del vehículo o implemento de trabajo seguir fácilmente la trayectoria optimizada, una vez que la unidad de cálculo de la trayectoria la haya proporcionado.
- 20 En una realización del sistema de soporte de la presente invención, dicha unidad de mapeo se configura para almacenar, con respecto a uno o más campos específicos, uno o más de: i) coordenadas relativas a los límites de dicho uno o más campos específicos; ii) coordenadas relativas a las posibles puertas de entrada/salida de dicho uno o más campos específicos; iii) coordenadas relativas a límites de obstáculos presentes en dicho campo; iv) coordenadas relacionadas con áreas de infestaciones de malezas del año anterior o años anteriores.
- Esto permitirá minimizar la cantidad de aporte necesario de una vez para otra.
- 25 En una realización del sistema de soporte de la presente invención, dicha unidad de cálculo de trayectoria se configura para calcular analítica o numéricamente una trayectoria optimizada.
- Las estrategias de cálculo analítico o numérico son dos estrategias que son particularmente adecuadas con respecto a la presente invención.
- 30 En una realización del sistema de soporte de la presente invención, dicha unidad de cálculo de trayectoria se configura para encontrar varias trayectorias candidatas, y en donde dicha unidad de cálculo de trayectoria se configura para calcular, con respecto a cada trayectoria candidata, un parámetro de eficiencia, y en donde dicha unidad de cálculo de trayectoria se configura para sugerir al usuario la trayectoria candidata específica que exhibe el parámetro de eficiencia más alta.
- Se prefiere particularmente un modo de funcionamiento de este tipo del sistema de soporte.
- 35 En una realización del sistema de soporte de la presente invención, dicha unidad de cálculo de trayectoria se configura para realizar las siguientes etapas:
- a) aproximar las coordenadas relativas a los límites de dicho campo que se tiene que trabajar a un polígono de límite; y en donde dicho sistema de soporte se configura para determinar la trayectoria a seguir, basándose en esa aproximación;
  - 40 b) aproximar las coordenadas relativas a los límites de cada uno de dichos uno o más obstáculos, si los hay, a los respectivos polígonos de obstáculos; y en donde dicho sistema de soporte se configura para determinar la trayectoria a seguir, basándose en esa aproximación;
  - c) definir una o más cabeceras ubicadas inmediatamente dentro de dicho polígono de límite;
  - 45 d) con respecto a cada polígono de obstáculo, si está presente, definir una o más cabeceras que rodean dicho polígono de obstáculo;
  - e) definir un área de trabajo que corresponda al área dentro de dicho polígono de límite con la exclusión del área correspondiente a cualquier cabecera y con la exclusión del área correspondiente a cualquier polígono de obstáculo;
  - 50 f) con respecto a la orientación de uno o más lados de las cabeceras, definir una serie de hileras de trabajo paralelas ubicadas dentro de dicha área de trabajo;

- g) definir varias hileras de malezas, en donde una hilera de malezas es una cabecera que comprende al menos parte de un área de malezas distinta, o una hilera de trabajo que comprende al menos parte de un área de malezas distinta.
- 5 h) con respecto a una o más series de hileras de trabajo paralelas definidas en la etapa f), definir una serie de posibles caminos de conducción continua al conectar entidades separadas, en donde dichas entidades separadas son cabeceras o partes de una cabecera e hileras de trabajo, o partes de una hilera de trabajo; para definir posibles trayectorias de conducción continua; en donde cada una de dichas posibles trayectorias de conducción continua comprende todas las hileras de maleza;
- 10 i) con respecto a cada una de dichos posibles caminos de conducción continua definidos en la etapa h), calcular un parámetro de coste asociado, siendo dicho parámetro de coste calculado representativo de la eficiencia al seguir ese camino de conducción continua específica;
- j) seleccionar como trayectoria a seguir, la trayectoria de conducción continua específica que presenta la mayor eficiencia.

15 De este modo es posible de una manera inteligente y bien organizada permitir que la unidad de cálculo de trayectoria encuentre una trayectoria optimizada a seguir.

En una realización del sistema de soporte de la presente invención dicha etapa f) se sustituye por la siguiente etapa:

- f') definir una serie de hileras de trabajo paralelas ubicadas dentro de dicha área de trabajo, en donde dicha serie de hileras de trabajo paralelas son hileras de trabajo ya existentes que se han utilizado en dicho campo.

Esto permite utilizar hileras de trabajo existentes, evitando así crear roderas adicionales en el campo de cultivo.

20 En una realización del sistema de soporte de la presente invención, dicha unidad de cálculo de trayectoria se configura para crear un posible camino continuo al elegir primero una puerta de entrada/salida particular.

Como la(s) puerta(s) de entrada/salida es/son restricción/restricciones fija(s), ha resultado ser beneficioso operar el sistema de esta manera.

25 En una realización del sistema de soporte de la presente invención, dicha cabecera que rodea dicho polígono de obstáculo, con respecto a uno o más de dichos polígonos de obstáculos, si hay algún obstáculo presente, incluye un área de desplazamiento de seguridad que rodea dicho polígono de obstáculo.

La inclusión de un área de desplazamiento de seguridad alrededor de dicho polígono de obstáculo mejorará la seguridad al operar el vehículo o implemento de trabajo, ya que de esta manera se reducirán los riesgos de colisión.

30 En una realización del sistema de soporte de la presente invención, cada una de dichas hileras de trabajo y/o cada una de dichas cabeceras tienen independientemente una anchura correspondiente a la anchura de trabajo efectiva del vehículo de trabajo o implemento de trabajo.

Es beneficioso crear caminos de trabajo que tengan anchuras que correspondan a la anchura de trabajo efectiva del vehículo de trabajo o implemento de trabajo.

35 En una realización del sistema de soporte de la presente invención, dicho sistema de soporte se configura para definir varios posibles caminos conducidos continuos, cada uno de los cuales comprende una secuencia de segmentos de línea recta y segmentos de línea arqueada.

De este modo, será posible que el conductor del vehículo o implemento de trabajo siga un camino continuo.

40 En una realización del sistema de soporte de la presente invención dicho sistema de soporte se configura para encontrar dicha trayectoria optimizada por medio de un método heurístico, tal como un método heurístico voraz, un solucionador de búsqueda tabú, un solucionador de colonias de hormigas, un algoritmo genético.

Dicho método heurístico reducirá la cantidad de procesamiento de datos necesario para la unidad de cálculo de trayectoria.

45 En una realización del sistema de soporte de la presente invención, dicho sistema de soporte se configura para crear un número N de posibles caminos conducidos continuos con un parámetro de coste asignado asociado, y en donde dicho número N es un número entero en el intervalo de 1000 – 700000 o más., por ejemplo 2000 – 600000, como 5000 – 500000, p. ej. 10000 – 400000, como 50000 – 300000 o 100000 – 200000 posibles caminos conducidos continuos con un parámetro de coste asignado asociado.

Este número de opciones para elegir mejorará la fiabilidad de la trayectoria encontrada por el sistema.

50 En una realización del sistema de soporte de la presente invención, dicho sistema de soporte se configura para proporcionar automáticamente una señal para suministrar a un implemento de desmalezado de dicho vehículo de

trabajo, estando configurada dicha señal para activar/desactivar dicho implemento de desmalezado al entrar/salir de áreas de maleza a desmalezar.

De este modo se facilitarán las operaciones manuales que debe realizar el conductor.

5 En una realización del sistema de soporte de la presente invención, dicha unidad de mapeo, dicha unidad de parámetro de capacidad y dicha unidad de cálculo de trayectoria independientemente son entidades integradas o son entidades separadas.

En un segundo aspecto de la presente invención se refiere a un método para determinar una trayectoria a seguir por un vehículo de trabajo agrícola, al desmalezar distintas áreas de maleza dentro de un campo de cultivos, comprendiendo dicho método las etapas:

10 a) proporcionar información relacionada con:

- i) coordenadas relativas a los límites de un campo que se tiene que trabajar; y
- ii) coordenadas relativas a los límites de distintas áreas de maleza que se ubican dentro de dicho límite de dicho campo de cultivos;

b) proporcionar información relacionada con:

15 uno o más parámetros de capacidad relacionados con dicho vehículo de trabajo;

c) realizar un cálculo de una trayectoria optimizada a seguir por dicho vehículo de trabajo; en donde dicha trayectoria optimizada se calcula sobre la base de dichas coordenadas proporcionadas en la etapa a) y b).

En una realización del segundo aspecto de la presente invención, la etapa a) implica además proporcionar:

iii) coordenadas relativas a las posibles puertas de entrada/salida del campo; y/o

20 iv) coordenadas relativas a los límites de uno o más obstáculos a evitar por dicho vehículo de trabajo; en donde dichos uno o más obstáculos se ubican dentro de dicho campo.

Esto asegura que la posición o posiciones de las puertas de entrada/salida y los posibles obstáculos se tengan en cuenta al calcular la trayectoria optimizada a seguir.

25 En una realización del segundo aspecto de la presente invención, dicha trayectoria optimizada es una trayectoria optimizada en términos de tiempo operativo total para trabajar el campo; tiempo productivo total para trabajar el campo; consumo total de combustible para trabajar el campo; distancia total no laborable para trabajar el campo; distancia total recorrida dos veces o más; distancia total recorrida a través de áreas de cultivos sin maleza; área total cubierta dos veces o más.

30 Dependiendo sobre qué preocupación se optimice la trayectoria, son posibles varios parámetros de optimización diferentes. Arriba, se enumeran algunos de estos.

En una realización del segundo aspecto de la presente invención, dicho uno o más parámetros de capacidad se seleccionan del grupo que comprende: anchura de trabajo efectiva del vehículo de trabajo o del implemento de trabajo, carga del vehículo de trabajo en función de la distancia recorrida, consumo de combustible en función de la distancia recorrida, el radio de giro mínimo del vehículo o implemento o ambos.

35 Estos parámetros son parámetros que pueden ser relevantes para encontrar una trayectoria optimizada que debe seguir cuando se trabaja un campo.

En una realización del segundo aspecto de la presente invención dicho método implica presentar en una presentación gráfica, tal como mostrar en un mapa electrónico, la trayectoria optimizada a seguir por dicho vehículo de trabajo.

40 Esto permitirá al conductor del vehículo o implemento de trabajo seguir fácilmente la trayectoria optimizada, una vez que la unidad de cálculo de la trayectoria la haya proporcionado.

En una realización del segundo aspecto de la presente invención, dicho método implica el cálculo de dicha trayectoria optimizada analítica o numéricamente.

Las estrategias de cálculo analítico o numérico son dos estrategias que son particularmente adecuadas con respecto a la presente invención.

45 En una realización del segundo aspecto de la presente invención, dicho método implica encontrar varias trayectorias candidatas; cálculo con respecto a cada trayectoria candidata, un parámetro de eficiencia; y sugerir a un usuario esa trayectoria candidata específica, que exhibe el parámetro de eficiencia más alto.

Se prefiere particularmente tal modo de funcionamiento del método.

En una realización del segundo aspecto de la presente invención, dicho método implica realizar las siguientes etapas:

- 5 a) aproximar las coordenadas relativas a los límites de dicho campo que se tiene que trabajar a un polígono de límite; y en donde dicho sistema de soporte se configura para determinar la trayectoria a seguir, basándose en esa aproximación;
- b) aproximar las coordenadas relativas a los límites de cada uno de dichos uno o más obstáculos, si los hay, a los respectivos polígonos de obstáculos; y en donde dicho sistema de soporte se configura para determinar la trayectoria a seguir, basándose en esa aproximación;
- c) definir una o más cabeceras ubicadas inmediatamente dentro de dicho polígono de límite;
- 10 d) con respecto a cada polígono de obstáculo, si está presente, definir una o más cabeceras que rodean dicho polígono de obstáculo;
- e) definir un área de trabajo que corresponda al área dentro de dicho polígono de límite con la exclusión del área correspondiente a cualquier cabecera y con la exclusión del área correspondiente a cualquier polígono de obstáculo;
- 15 f) con respecto a la orientación de uno o más lados de las cabeceras, definir una serie de hileras de trabajo paralelas ubicadas dentro de dicha área de trabajo;
- g) definir varias hileras de malezas, en donde una hilera de malezas es una cabecera que comprende al menos parte de un área de malezas distinta, o una hilera de trabajo que comprende al menos parte de un área de malezas distinta.
- 20 h) con respecto a una o más series de hileras de trabajo paralelas definidas en la etapa f), definir una serie de posibles caminos de conducción continua al conectar entidades separadas, en donde dichas entidades separadas son cabeceras o partes de una cabecera e hileras de trabajo, o partes de una hilera de trabajo; para definir posibles trayectorias de conducción continua; en donde cada una de dichas posibles trayectorias de conducción continua comprende todas las hileras de maleza;
- 25 i) con respecto a cada una de dichos posibles caminos de conducción continua definidos en la etapa h), calcular un parámetro de coste asociado, siendo dicho parámetro de coste calculado representativo de la eficiencia al seguir ese camino de conducción continua específica;
- j) seleccionar como trayectoria a seguir, la trayectoria de conducción continua específica que presenta la mayor eficiencia.

30 De este modo es posible de una manera inteligente y bien organizada permitir que la unidad de cálculo de trayectoria encuentre una trayectoria optimizada a seguir.

En una realización del segundo aspecto de la presente invención, dicho método implica la creación de un posible camino continuo al elegir primero una puerta de entrada/salida particular.

35 Como la(s) puerta(s) de entrada/salida es/son restricción/restricciones fija(s), ha resultado ser beneficioso operar el método de esta manera.

En una realización del segundo aspecto de la presente invención, dicha cabecera que rodea dichos polígonos de obstáculos incluye un área de desplazamiento de seguridad que rodea dicho polígono de obstáculo.

La inclusión de un área de desplazamiento de seguridad alrededor de dicho polígono de obstáculo mejorará la seguridad al operar el vehículo o implemento de trabajo, ya que de esta manera se reducirán los riesgos de colisión.

40 En una realización del segundo aspecto de la presente invención, dicha hilera de trabajo y/o cada una de dichas cabeceras tienen independientemente una anchura correspondiente a la anchura de trabajo efectiva del vehículo de trabajo o implemento de trabajo.

Es beneficioso crear caminos de trabajo que tengan anchuras que correspondan a la anchura de trabajo efectiva del vehículo de trabajo o implemento de trabajo.

45 En una realización del segundo aspecto de la presente invención, dicho método implica definir varios posibles caminos conducidos continuos, cada uno de los cuales comprende una secuencia de segmentos de línea recta y segmentos de línea arqueada.

50 En una realización del segundo aspecto de la presente invención dicho método implica encontrar dicha trayectoria optimizada por medio de un método heurístico, tal como un método heurístico voraz, un solucionador de búsqueda tabú, un solucionador de colonias de hormigas, un algoritmo genético.

Dicho método heurístico reducirá la cantidad de procesamiento de datos necesario involucrado en el método.

5 En una realización del segundo aspecto de la presente invención, dicho método implica la creación de un número N de posibles caminos conducidos continuos con un parámetro de coste asignado asociado, y en donde dicho número N es un número entero en el intervalo de 1000 – 700000 o más, por ejemplo 2000 – 600000, como 5000 – 500000, p. ej. 10000 – 400000, como 50000 -300000 o 100000 – 200000 posibles caminos conducidos continuos con un parámetro de coste asignado asociado.

Este número de opciones para elegir mejorará la fiabilidad de la trayectoria encontrada en el método.

En una realización del segundo aspecto de la presente invención, dicho método se realiza utilizando un sistema de soporte según el primer aspecto de la presente invención.

10 En una realización del segundo aspecto de la presente invención, a dicho método le sigue el desmalezado de dicho campo o parte de dicho campo utilizando un implemento de desmalezado y siguiendo dicha trayectoria optimizada.

En un tercer aspecto, la presente invención se refiere a un producto de programa informático, que cuando se carga o funciona en un ordenador, se adapta para realizar el método según el segundo aspecto de la presente invención.

15 En la presente descripción y en las reivindicaciones adjuntas se entenderá que un producto de programa informático puede presentarse en forma de una pieza de software que se puede almacenar o se almacena en una pieza de hardware. De este modo, el producto de programa informático puede incorporarse en uno o más medios de almacenamiento legibles por ordenador como un código de programa legible por ordenador incorporado en el mismo.

Por consiguiente, el producto de programa informático puede presentarse como un medio de almacenamiento legible por ordenador que tiene incorporado un producto de programa informático.

20 El código del programa informático se configura para realizar las operaciones del método según el primer aspecto de la presente invención y puede escribirse en cualquier combinación de uno o más lenguajes de programación.

En un cuarto aspecto, la presente invención se refiere a un vehículo de trabajo agrícola que comprende un sistema de soporte según el primer aspecto de la presente invención.

25 En un quinto aspecto, la presente invención se refiere al uso de un sistema de soporte según el primer aspecto de la presente invención, o de un producto de programa informático según el tercer aspecto de la presente invención; de un vehículo de trabajo agrícola según el cuarto aspecto de la presente invención.

En una realización del quinto aspecto de la presente invención, dicho uso está relacionado con desmalezar campos de cultivo que comprenden varias áreas distintas de maleza.

30 Con referencia ahora a las figuras con el propósito de ilustrar la presente invención, la figura 1 muestra una vista en planta desde arriba de un campo 500 que será desmalezado por un vehículo o implemento de trabajo agrícola. El campo comprende una puerta de entrada/salida 4 ubicada en el límite 2 del campo. Dentro del campo están presentes varias áreas distintas 6 de maleza junto con un obstáculo 8. También se ilustra en la figura 1 un vehículo de trabajo D en forma de tractor que remolca un esparcidor de herbicidas.

35 Se reconoce fácilmente que el campo 500 con sus muchas áreas distintas 6 de maleza y su puerta de entrada/salida 4 ilustrada en la figura 1 permite un número casi indefinido de trayectorias posibles para el desmalezado de las áreas 6 en todo el campo, y que el cerebro humano no es en sí mismo sin ninguna ayuda tecnológica capaz de decir inmediatamente qué camino de trabajo o trayectoria de trabajo será más eficiente al desmalezar cada área distinta de maleza 6.

40 La figura 2 es un diagrama que ilustra el modo de trabajo de una realización del sistema de soporte para determinar una trayectoria a seguir por un vehículo de trabajo agrícola con un implemento de desmalezado destinado a desmalezar distintas áreas de maleza dentro de un campo de cultivo, según el primer aspecto de la presente invención.

45 La figura 2 muestra el sistema de soporte 100 para determinar una trayectoria a seguir por un vehículo de trabajo agrícola. El sistema de soporte comprende una unidad de mapeo MU configurada para recibir información I<sub>1</sub> en forma de coordenadas relativas a los límites de un campo que se tiene que trabajar; e información I<sub>2</sub> en forma de coordenadas relativas a los límites de una o más áreas distintas de maleza dentro de dicho campo; e información I<sub>3</sub> relativa a la(s) posible(s) entrada(s)/salida(s) de un campo específico a trabajar.

El sistema de soporte comprende además una unidad de parámetro de capacidad CU configurada para recibir información I<sub>4</sub> relativa a uno o más parámetros de capacidad relacionados con dicho vehículo de trabajo.

50 El uno o más parámetros de capacidad pueden relacionarse con la anchura de trabajo efectiva del vehículo de trabajo o el implemento de trabajo, la carga del vehículo de trabajo en función de la distancia recorrida, el consumo de combustible en función de la distancia recorrida.

Basándose en la información  $I_1$ ,  $I_2$  e  $I_3$  proporcionada a dicha unidad de mapeo MU y basándose en la información  $I_4$  proporcionada a dicha unidad de parámetro de capacidad CU, una unidad de cálculo de trayectoria TCU calcula una trayectoria optimizada a seguir por dicho implemento de desmalezado. La trayectoria de trabajo optimizada calculada se muestra en la pantalla M, que también describe el campo en sí.

5 El cálculo puede ser un cálculo analítico o un cálculo numérico.

### Ejemplos

Los siguientes ejemplos ilustran una forma de poner en práctica la presente invención en sus diversos aspectos.

#### Ejemplo 1

10 Este ejemplo está destinado a ilustrar una forma de procesar matemáticamente una situación de tener un límite de un campo que tiene ubicados en el mismo varias obstáculos para crear una serie de posibles hileras de trabajo y cabeceras dentro de ese campo que se pueden conectar de varias maneras con el fin de crear una serie de posibles caminos de trabajo continuo a seguir.

15 Al hacer esto, se puede asignar y calcular un parámetro de eficiencia con respecto al posible camino de trabajo continuo y se puede seleccionar el camino de trabajo continuo más eficiente entre la serie de posibles caminos de trabajo continuo.

El principio establecido en este ejemplo se basa en las siguientes etapas:

1. Definir el límite de campo.
2. Definir el límite de cualquier obstáculo.
3. Aproximar el límite de campo a un polígono de límite.
- 20 4. Opcionalmente, aproximar el límite de cualquier obstáculo a un polígono de obstáculo.
5. Definir una o más cabeceras dispuestas inmediatamente dentro del polígono de límite.
6. Definir una cabecera que rodee cualquier polígono de obstáculo.
7. Definir un área de trabajo que comprenda partes del campo que no pertenezcan a una cabecera u obstáculo.
8. Dentro del área de trabajo, definir diferentes series de hileras de trabajo paralelas, en donde con respecto a cada serie de hileras de trabajo paralelas, estas hileras de trabajo son paralelas a un lado de uno de las cabeceras.
- 25 9. Con respecto a cada serie de hileras de trabajo paralelas, conectar de varias maneras hileras de trabajo y cabeceras para crear una serie de posibles caminos de trabajo continuo.
10. Definir un parámetro de coste y calcule con respecto a todos los posibles caminos de trabajo continuo el coste total de seguir ese camino de trabajo continuo específico.
- 30 11. Presentar como camino de trabajo más óptimo, ese camino de trabajo continuo específico que exhibe el coste total global más bajo.

Este ejemplo se puede adaptar fácilmente al principio de la presente invención.

#### Definición de campo

En el cálculo del presente ejemplo se necesitan las siguientes entradas.

- 35 • Límite de campo definido
- Límite de obstáculo definido
- Puertas de campo definidas
- Anchura de trabajo del vehículo
- Radio de giro del vehículo
- 40 • Número especificado de cabeceras

Etapas de procesamiento

Definición de campo

El campo se describe mediante el límite de campo, que es un polígono que consiste en n puntos. En la figura 3, el polígono P consiste en 6 puntos (P<sub>1</sub>,...,P<sub>6</sub>). Los puntos de P se ordenan de manera que estén en la orientación en sentido horario. P = ([10,43],[48,86],[89,58],[83,18],[42,34],[21,16]). Véase la figura 3.

Dentro del límite hay varias obstáculos. Los obstáculos los obstáculos están descritos por un límite. Este puede ser el borde físico del obstáculo o también puede incluir un "desplazamiento de seguridad" para garantizar que los vehículos de trabajo permanezcan a una distancia segura. En la figura 4 los obstáculos se describen como polígonos (O<sup>1</sup>,O<sup>2</sup>) con puntos (O<sup>1</sup><sub>1</sub>,..., O<sup>1</sup><sub>3</sub>) y (O<sup>2</sup><sub>1</sub>,..., O<sup>2</sup><sub>3</sub>). Los puntos de los obstáculos se ordenan en una orientación en sentido antihorario. O<sup>1</sup> = ([23,34],[21,39],[17,34]) y O<sup>2</sup> = ([60,58],[53,54],[61,53]). Véase la figura 4

Se definen varias puertas para el campo. Estos son puntos de entrada/salida del campo y se ubican en el límite de campo. En este ejemplo hay una puerta G<sup>1</sup> = [83,18].

La anchura de trabajo es la anchura de trabajo efectiva de la máquina o implemento agrícolas. El radio de giro es el radio mínimo que puede girar el vehículo. Para un vehículo estándar de dos ejes con dirección de un eje, se puede calcular dividiendo la distancia entre los ejes delantero y trasero del vehículo por la tangente del ángulo máximo del eje de dirección.

Creación de las cabeceras

Las cabeceras son áreas que abarcan el límite de campo y rodean el obstáculo. El vehículo utiliza estas áreas para maniobrar más fácilmente en el campo. El número de cabeceras necesarios para operar con seguridad en un campo es el número entero mayor que 2 \* radio de giro dividido en anchura de trabajo. Las cabeceras tienen un límite exterior y un límite interior. Para las primeras áreas de cabeceras, el límite exterior es el límite de campo o el obstáculo y el límite interior se traza de manera que el área entre el límite exterior y el límite interior tenga una anchura igual a la anchura de trabajo. Para las cabeceras posteriores, el límite exterior es el límite interior de la cabecera anterior.

Para calcular las áreas de cabecera, el límite de campo y el límite de cada obstáculo se expresan como un conjunto que consiste en 3 series {P, V, A}, donde P es la serie de puntos de esquina del límite, V es la serie de vértices que enlazan las esquinas del límite y A es la serie de vectores en el vértice de cada punto de límite.

$$V_i = P_{i+1} - P_i : i = 1 \dots p - 1$$

$$V_p = P_1 - P_p$$

$$\frac{A_i \cdot -V_{i-1}}{|A_i||V_{i-1}|} = \cos \theta = \frac{A_i \cdot V_i}{|A_i||V_i|}, \quad \frac{A_i \cdot [V_{i,y} \ -V_{i,x}]}{|A_i||V_i|} < \frac{A_i \cdot [-V_{i,y} \ V_{i,x}]}{|A_i||V_i|}$$

$$|A_i| = \frac{1}{\text{sen}\theta}$$

Esto se ilustra en la figura 5.

La restricción de A<sub>i</sub> asegura que el vector A<sub>i</sub> siempre apunte a la derecha del vector V<sub>i</sub>. Véase la figura 5,

En la figura 6, las series P, V y A están etiquetadas para el límite de campo. En el ejemplo del límite de campo V = ([38,43],[41,-28],[-6,-40],[-41,16],[-21,-18],[-11,27]) y A = (([1.16,-0.20],[0.16,-1.32],[-1.08,-0.47],[-0.80,1.39],[-0.2,1.15],[0.40,1.66])).

Para crear el límite interior, las esquinas del límite exterior se proyectan a lo largo del vector de vértice, de modo que mantengan una distancia perpendicular igual de los dos vectores que crean la esquina. Por lo tanto, para una distancia λ se puede crear un nuevo límite como un nuevo conjunto de puntos P'.

$$P'_i = P_i + \lambda * A_i : i = 1, \dots, p$$

A continuación, se pueden crear V' y A' utilizando las ecuaciones anteriores.

Hay 3 casos que deben ser monitorizados al crear el nuevo límite. Los 3 casos son una intercepción de esquina propia, una intercepción de borde propio y una intercepción de 2 polígonos.

Caso 1:

La intercepción de la esquina propia ocurre cuando dos vectores de vértice adyacentes intersecan, lo que resulta en que  $V$  tenga una longitud cero y  $P_i = P_{i+1}$ . Por tanto, para cada  $P$  hay un valor,  $\alpha$ , donde esto sucede.

$$P'_i = P_i + \alpha_i * A_i = P_{i+1} + \alpha_i * A_{i+1} = P'_{i+1} : i = 1 \dots p - 1$$

5

$$P'_1 = P_1 + \alpha_p * A_1 = P_p + \alpha_p * A_p = P'_p$$

$$\alpha_i = \frac{P_{i+1} - P_i}{A_i - A_{i+1}} : i = 1 \dots p - 1$$

$$\alpha_p = \frac{P_1 - P_p}{A_p - A_1}$$

$$\alpha_n = \min\{\alpha_i\} : \alpha_i > 0, \quad i = 1 \dots p$$

Si se produce una intercepción en una esquina propia, se elimina de  $P'$ , y se recalcula  $V'$  y  $A'$ .

10 Para el ejemplo del límite de campo,  $\alpha = [38.34, 36.76, 40.9, 36.89, 160.54, 14.89]$ . Por lo tanto  $\alpha_n = 14.89$ . Dado que O1 y O2 son ambos triángulos con los puntos dispuestos en una orientación en sentido antihorario, es imposible que se produzca una intercepción de esquina propia.

Caso 2:

La intercepción de borde propio se produce cuando un vector de vértice interseca un vértice entre dos puntos.

15

$$P'_i = P'_j + b * V'_j : i, j = 1, \dots, p; i \neq j, 0 < b < 1$$

Por lo tanto, para cada par de puntos  $P_i$  y  $P_j$  hay un valor,  $\beta_{ij}$ , donde esto ocurre.

$$\beta_{ij} = \frac{P_{j+1} - P_j - P_i}{A_i + A_j - A_{j+1}} : i = 1 \dots p, j = 1 \dots p - 1, i \neq j, i \neq j + 1$$

$$\beta_{ip} = \frac{P_1 - P_p - P_i}{A_i + A_p - A_1} : i = 1 \dots p - 1$$

$$\beta_{nm} = \min\left\{\min\{\beta_{ij}\}_j\right\}_i : i = 1 \dots p, j = 1 \dots p, \beta_{ij} > 0$$

20 Si ocurre una interacción de borde propio, entonces  $P'$  se divide en dos subconjuntos,  ${}^1P'$  y  ${}^2P'$  y se recalcula  $V'$  y  $A'$ .

$$P'_i = P_i + \beta_{nm} * A_i : i = 1 \dots p$$

$${}^1P' = \{P'_1, \dots, P'_n, P'_{m+1}, \dots, P'_p\}, \quad {}^2P' = \{P'_n, \dots, P'_m\} \quad \text{if } n < m$$

$${}^1P' = \{P'_1, \dots, P'_m, P'_n, \dots, P'_p\}, \quad {}^2P' = \{P'_{m+1}, \dots, P'_n\} \quad \text{if } n > m$$

Para el campo de ejemplo  $\beta_{ij}$  se describe en la Tabla 1 a continuación.

25

Tabla 1

$i \setminus j$	1	2	3	4	5	6
1	-	38.24	32.79	-4.22	16.76	-
2	-	-	29.96	23.26	19.23	38.18
3	23.21	-	-	41.13	39.04	43.31
4	28.25	21.46	-	-	46.61	47.95
5	18.55	22.46	36.84	-	-	69.48
6	14.50	28.13	47.40	35.48	-	-

Por lo tanto  $\beta_{nm} = 14.50$ ,  $n = 1$ ,  $m = 6$ . Nuevamente, dado que O1 y O2 son ambos triángulos y, por lo tanto, solo tienen 3 puntos, es imposible que ocurra una intercepción de borde propio.

Caso 3:

La intercepción de 2 polígonos se produce cuando se interceptan dos conjuntos de polígonos, como una intercepción de límite de campo y límite de obstáculo. NB si se crean dos polígonos debido al caso 2, estos dos polígonos es imposible que estos dos polígonos puedan interceptarse.

$$5 \quad {}^{gh}\gamma_{ij} = \frac{{}^h P_j - {}^h P_{j+1} - {}^g P_i}{{}^g A_i + {}^h A_j - {}^h A_{j+1}}; \quad i = 1 \dots {}^g p, j = 1 \dots {}^h p - 1, \quad g, h = 1, \dots N, g \neq h$$

Donde N, es el número de conjuntos activos que describen polígonos.

$${}^{kl}\gamma_{nm} = \min \left\{ \min \left\{ \min \left\{ \min \{ {}^{gh}\gamma_{ij} \} \right\} \right\} \right\}_g$$

Si ocurre una intercepción de 2 polígonos, los dos polígonos se fusionan para formar un nuevo polígono, y se eliminan los dos polígonos originales.

$$10 \quad {}^g P'_i = {}^g P_i + {}^{kl}\gamma_{nm} * {}^g A_i; \quad i = 1 \dots {}^g p, g = 1, \dots N$$

$$P = \{ {}^k P_1, \dots, {}^k P_n, {}^l P_{m+1}, \dots, {}^l P_{h_p}, {}^l P_1, \dots, {}^l P_m, \dots, {}^k P_n, \dots, {}^k P_{g_p} \}$$

Para el ejemplo con el campo con el límite de campo que es <sup>1</sup>P, y los obstáculos O<sub>1</sub> y O<sub>2</sub> que son <sup>2</sup>P y <sup>3</sup>P respectivamente entonces <sup>gh</sup>γ<sub>ij</sub> se describe en la Tabla 2

Tabla 2

h\g		1						2			3		
		1	2	3	4	5	6	1	2	3	1	2	3
1	1							2219	5.46	-	-	17.13	525.1
	2							31.77	-	160	13.56	106.3	-
	3							32.19	-	-	-	-	13.20
	4							40.43	124.6	-	76.56	14.05	-
	5							23.38	-	-	125.2	10.02	-
	6							-	-	6.76	70.31	15.43	-
2	1	-	-	-	-	4.54	-				-	123.4	162.5
	2	5.22	-	-	-	-	-				-	-	-
	3	-	-	-	-	-	0.93				-	-	-
3	1	-	6.09	-	-	-	-	-	-	-			
	2	8.56	-	-	-	-	-	8.58	15.10	-			
	3	-	-	11.17	-	-	-	-	-	-			

15 Por lo tanto <sup>kl</sup>γ<sub>nm</sub> = 0.93, k = 1, l = 2, n = 6, m = 3.

Para crear el límite interior de las cabeceras para un límite de campo, con o sin objetos de campo, se utiliza un algoritmo iterativo. El algoritmo limita la distancia acumulada movida para que no sea mayor que la clasificación después de la anchura de trabajo.

W = anchura de trabajo

20 Mientras (W>0)

Calcular α<sub>n</sub>, β<sub>ij</sub>, y <sup>gh</sup>γ<sub>ij</sub>, cuando sea apropiado

$$\lambda = \min\{\alpha_n, \beta_{ij}, \text{ y } {}^{kl}\gamma_{nm}, W\}$$

Calcular P', V' A' usando λ

$$W = W - \lambda$$

25 Fin del mientras

Por ejemplo, si se usa una anchura de trabajo de 3, la iteración del bucle es,

$$\lambda = \min\{\alpha_n, \beta_{nm}, {}^{kl}\gamma_{nm}, W\} = \min\{14.89, 14.50, 0.93, 3\} = 0.93$$

## ES 2 865 550 T3

Esto significa que la primera interceptación que ocurre es la interceptación de 2 polígonos entre el límite de campo y el primer obstáculo. El límite de campo y el primer obstáculo se fusionan y el proceso continúa. Véase la figura 7.

5 En la siguiente iteración del bucle, P es ahora ([24.38,33.07],[21.27,40.84],[15.06,33.07],[11.08,42.82],[48.15,84.76],[87.99,57.56],[82.25,19.30],[41.82,35.07],[21.38,17.55],[15.06,33.07]) y O<sub>2</sub> es ahora ([60.66,59.45],[50.10,53.42],[62.17,51.91]).

Las nuevas intercepciones son las siguientes

$\alpha = [-, -, 4.53, 37.25, 20.58, 66.52, 34.19, 5.83, 915.86]$ . Por lo tanto  $\alpha_n = 4.53$

$\beta_{ij}$

j\i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	-	-	-	-	-	-	-	3.61	-	-
2	-	-	-	4.29	-	-	-	-	-	-
3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4	2219	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5	30.84	-	-	-	-	-	22.36	-	37.25	-
6	31.27	-	35.22	-	-	-	-	-	35.22	-
7	39.51	-	46.73	-	-	-	-	-	46.73	-
8	22.45	-	34.19	14.76	-	-	-	-	-	-
9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

${}^{gh}\gamma_{ij}$

h\g		1			2									
		1	2	3	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	1				-	-	-	-	5.16	-	-	-	-	-
	2				7.65	-	9.78	7.63	-	-	-	-	-	-
	3				-	-	-	-	-	10.24	-	-	-	-
2	1	-	122.50	161.5										
	2	-	-	-										
	3	-	-	-										
	4	-	16.20	524.2										
	5	12.63	105.3	-										
	6	-	-	12.27										
	7	75.63	13.12	-										
	8	124.2	9.09	-										
	9	69.38	14.51	-										
	10	-	127.7	190.2										

10

$$\lambda = \min\{\alpha_n, \beta_{nm}, {}^{kl}\gamma_{nm}, W\} = \min\{4.53, 4.29, 5.16, 2.07\} = 2.07$$

15 Dado que W ahora es más pequeño que los otros parámetros, no es necesario realizar una tercera iteración, ya que  $W = 0$  en la siguiente iteración. Por lo tanto, los polígonos resultantes son {[27.43,31], [21.87,44.89], [15.64,37.1], [13.48,42.41], [48.49,82.03], [85.75,56.58], [80.59,22.16], [41.41,37.45], [22.21,20.99], [18.13,31], [62.12,62.67], [43.70,52.14], [64.76,49.51]}, véase la figura 8.

Si se requieren varias pasadas de cabecera, entonces los polígonos resultantes se utilizan como los límites exteriores del siguiente conjunto de cabeceras. Este método se conocerá como `movePolygonSet` y necesitará un conjunto de polígonos y una distancia para generar un nuevo conjunto de polígonos, tal que.

$$\text{movePolygonSet}(\{ {}^1P, \dots, {}^N P \}, W) \Rightarrow \{ {}^1 P', \dots, {}^M P' \}$$

20 Debe tenerse en cuenta que en caso de que algún obstáculo no esté definido desde el principio por un límite que sea un polígono, ese obstáculo se aproxima a un polígono de obstáculo y la cabecera alrededor de ese obstáculo se define en relación con ese polígono de obstáculo.

### Hileras de trabajo

25 Una vez que se han calculado todas las cabeceras, el área que queda dentro del límite de campo y fuera de los obstáculos restantes se considera el área de trabajo. Véase la figura 9.

Por ejemplo, uno de los obstáculos se integró con la cabecera mientras que el otro permaneció separado. El límite exterior del área de trabajo es  $P = \{[27.43,31],[21.87,44.89],[15.64,37.1],[13.48,42.41],[48.49,82.03],[85.75,56.58],[80.59,22.16],[41.41,37.45],[22.21,20.99],[18.13,31]\}$  y el agujero creado por el obstáculo restante es  $H^1 = \{[62.12,62.67],[43.70,52.14],[64.76, 49.51]\}$

5 Las hileras de trabajo se trazan como rectángulos paralelos a lo largo del área de trabajo, que tienen una anchura igual a la anchura de trabajo del vehículo. Las hileras de trabajo son paralelas al sentido de conducción del campo. En teoría, esta podría ser cualquier dirección, lo que daría un conjunto infinito de direcciones posibles. Sin embargo, para simplificar el cálculo, se utiliza un conjunto limitado de direcciones paralelas a todos los bordes del área de trabajo restante (tanto desde el interior como desde el exterior).

10 Por ejemplo, el conjunto de posibles sentidos de conducción  $D = \{[-0.38,0.93], [-0.62,-0.78], [-0.37,0.93], [0.66,0.75], [0.83,-0.56], [-0.15,-0.99], [-0.93,0.36], [-0.76,-0.65], [-0.38,0.93], [1,0], [-0.87,-0.5], [0.99,-0.12], [-0.2,0.98]\}$ .

Las hileras de trabajo se calculan entre dos líneas paralelas,  $L^i$  y  $R^i$ . Estos son los lados delimitadores izquierdo y derecho, respectivamente, de la hilera de trabajo.  $L^i$  se define como una línea recta entre los puntos  $L_1^i$  y  $L_2^i$ , y  $R^i$  se define como una línea recta entre  $R_1^i$  y  $R_2^i$ . El primer lado izquierdo  $L^1$  comienza en el punto más a la izquierda del límite, con respecto al sentido de conducción, y se extiende desde el punto más atrasado,  $L_1^1$ , al punto más avanzado,  $L_2^1$ , con respecto al sentido de conducción, del límite. El primer lado derecho  $R^1$  es la transposición de  $L^1$  una distancia igual a la anchura de trabajo hacia la derecha, con respecto al sentido de conducción.

$$\alpha_1 = \min\{DD \circ P_j\}_j$$

$$\alpha_2 = \max\{DD \circ P_j\}_j$$

$$\beta = \min\{DD^\perp \circ P_j\}_j$$

$$L_1^1 = \alpha_1 * DD + \beta * DD^\perp$$

$$L_2^1 = \alpha_2 * DD + \beta * DD^\perp$$

$$R_1^1 = \alpha_1 * DD + (\beta + W) * DD^\perp$$

$$R_2^1 = \alpha_2 * DD + (\beta + W) * DD^\perp$$

$$L_1^i = \alpha_1 * DD + ((i - 1) * W + \beta) * DD^\perp$$

$$L_2^i = \alpha_2 * DD + ((i - 1) * W + \beta) * DD^\perp$$

$$R_1^i = \alpha_1 * DD + (\beta + i * W) * DD^\perp$$

$$R_2^i = \alpha_2 * DD + (\beta + i * W) * DD^\perp, \quad 1 \leq i \leq \left\lceil \frac{\max\{DD^\perp \circ P_j\}_j}{W} \right\rceil$$

El área máxima de cada hilera de trabajo, MWR, se define entonces como un polígono tal que  $MWR^i = [L_1^i, L_2^i, R_2^i, R_1^i]$ . El área cubierta por cada hilera, RCA, es entonces la intersección entre el área máxima de cada hilera de trabajo, MWR, y el complemento de cualquier agujero en el área de trabajo, H, y el límite exterior del área de trabajo, P. Si P es no convexo y no hay agujeros en el área de trabajo, entonces la intersección resultará en un solo polígono. Sin embargo, si no se cumplen estas condiciones, puede darse el caso de que la intersección produzca más de un polígono.

$$(P/H) \cap MWR = RCA$$

Para cada intersección resultante, la hilera de trabajo, WR, se traza como tal;

$$\gamma_1 = \min\{DD \circ ({}^iRCA_j^k - L_1^i)\}_j$$

$$\gamma_2 = \max\{DD \circ ({}^iRCA_j^k - L_1^i)\}_j$$

$${}^iWR_1^k = L_1^i + \gamma_1 * DD$$

$${}^iWR_2^k = L_1^i + \gamma_2 * DD$$

$${}^iWR_3^k = L_1^i + \gamma_2 * DD + W * DD^\perp$$

$${}^iWR_4^k = L_1^i + \gamma_1 * DD + W * DD^\perp$$

5 En el ejemplo, para el primer sentido de conducción,  $DD = D_1 = [-0.38, 0.93]$ , por lo tanto  $\alpha_1 = -9.35$ ,  $\alpha_2 = 58.15$ , y  $\beta = 28.26$ . Los cuatro puntos de  $MWR^1$  son como sigue, y se muestra en la figura 10.

$$L_1^1 = -9.35 * [-0.38, 0.93] + 28.26 * [0.93, 0.38] = [29.72, 1.81]$$

$$L_2^1 = 58.15 * [-0.38, 0.93] + 28.26 * [0.93, 0.38] = [4.65, 64.49]$$

$$R_1^1 = -9.35 * [-0.38, 0.93] + (28.26 + 3) * [0.93, 0.38] = [32.5, 2.93]$$

$$10 \quad R_2^1 = 58.15 * [-0.38, 0.93] + (28.26 + 3) * [0.93, 0.38] = [7.43, 65.5]$$

Por lo tanto  $MWR^1 = \{[29.72, 1.81], [4.65, 64.49], [7.43, 65.5], [32.5, 2.93]\}$ . La intersección da como resultado dos polígonos, véase la figura 11,  ${}^1RCA^1 = \{[17.77, 39.76], [15.64, 37.1], [13.48, 42.41], [15.71, 44.93]\}$ ,  ${}^1RCA^2 = \{[24.49, 22.95], [22.21, 20.98], [18.13, 31], [21.27, 31]\}$ .

15 Finalmente las dos hileras de trabajo son,  ${}^1WR^1 = \{[15.61, 37.09], [12.92, 43.81], [15.7, 44.93], [18.39, 38.2]\}$  y  ${}^1WR^2 = \{[22.07, 20.93], [18.06, 30.97], [20.84, 32.09], [24.86, 22.05]\}$ , véase la figura 12.

La figura 13 muestra todas las hileras de trabajo generadas a lo largo del campo con respecto a una posible orientación de las hileras de trabajo.

#### Creación de posibles caminos de conducción

20 Para que un vehículo pueda navegar por las hileras y las cabeceras, es necesario generar caminos conducidos tanto para las cabeceras como para las hileras de trabajo. Los caminos conducidos se trazan en el medio de las hileras de trabajo y cabeceras definidas. Sin embargo, entre el centro de vehículo y el centro de implemento también se puede incluir un desplazamiento,  $IO = [IO_x, IO_y]$ , para que el centro de implemento mantenga una posición central en la hilera de trabajo, véase la figura 14.

25 Para cada hilera de trabajo  $WR$  hay dos,  $DR_+$  y  $DR_-$ , uno en el mismo sentido que el sentido de conducción y otro en sentido opuesto al sentido de conducción. Cada  $DR$  comienza en  $SDR$  y termina en  $EDR$ .

$$\theta = \left( \frac{DD_x}{|DD_x|} \right) * \cos^{-1} \left( \frac{DD_y}{\|DD\|} \right)$$

$${}^iSDR_+^k = L_1^i + \gamma_1 * DD + 0.5 * W * DD^\perp - IO * \begin{bmatrix} \cos(\theta) & -\sin(\theta) \\ \sin(\theta) & \cos(\theta) \end{bmatrix}$$

$${}^iEDR_+^k = L_1^i + \gamma_2 * DD + 0.5 * W * DD^\perp - IO * \begin{bmatrix} \cos(\theta) & -\sin(\theta) \\ \sin(\theta) & \cos(\theta) \end{bmatrix}$$

$${}^iDR_+^k = [{}^iSDR_+^k, {}^iEDR_+^k]$$

$$30 \quad {}^iSDR_-^k = L_1^i + \gamma_2 * DD + 0.5 * W * DD^\perp - IO * \begin{bmatrix} \cos(\theta + \pi) & -\sin(\theta + \pi) \\ \sin(\theta + \pi) & \cos(\theta + \pi) \end{bmatrix}$$

$${}^iEDR_-^k = L_1^i + \gamma_1 * DD + 0.5 * W * DD^\perp - IO * \begin{bmatrix} \cos(\theta + \pi) & -\sin(\theta + \pi) \\ \sin(\theta + \pi) & \cos(\theta + \pi) \end{bmatrix}$$

$${}^iDR_-^k = [{}^iSDR_-^k, {}^iEDR_-^k]$$

En el ejemplo, el vehículo tiene un desplazamiento  $IO = [1, -1]$ , y tomando el ejemplo del primer  $WR$ ,  ${}^1WR^1$ , los dos  $DR$  se pueden encontrar como;

$$\theta = \left(\frac{-0.38}{0.38}\right) * \cos^{-1}\left(\frac{0.93}{1}\right) = -0.376$$

$${}^1SDR_+^1 = [29.72 \quad 1.81] + 37.99 * [-0.38 \quad 0.93] + 0.5 * 3 * [0.93 \quad 0.38] + [1 \quad -1]$$

$$* \begin{bmatrix} 0.93 & 0.37 \\ -0.37 & 0.93 \end{bmatrix} = [15.70 \quad 38.21]$$

$${}^1EDR_+^1 = [29.72 \quad 1.81] + 45.23 * [-0.38 \quad 0.93] + 0.5 * 3 * [0.93 \quad 0.38] + [1 \quad -1]$$

$$* \begin{bmatrix} 0.93 & 0.37 \\ -0.37 & 0.93 \end{bmatrix} = [13.01 \quad 44.93]$$

$${}^1SDR_-^1 = [29.72 \quad 1.81] + 45.23 * [-0.38 \quad 0.93] + 0.5 * 3 * [0.93 \quad 0.38] + [1 \quad -1]$$

$$* \begin{bmatrix} -0.93 & -0.37 \\ 0.37 & -0.93 \end{bmatrix} = [15.61 \quad 43.81]$$

$${}^1EDR_-^1 = [29.72 \quad 1.81] + 37.99 * [-0.38 \quad 0.93] + 0.5 * 3 * [0.93 \quad 0.38] + [1 \quad -1]$$

$$* \begin{bmatrix} -0.93 & -0.37 \\ 0.37 & -0.93 \end{bmatrix} = [18.30 \quad 37.09]$$

5

Véase la figura 15.

Los caminos conducidos también se calculan para las cabeceras, cada cabecera tiene dos caminos conducidos, uno en una orientación en sentido horario y el otro en una orientación en sentido antihorario. Los caminos conducidos de cabecera también deben tener en cuenta cualquier desplazamiento de implemento que se describe anteriormente. Los caminos conducidos de las cabeceras se calculan utilizando el centro de cada cabecera, que a su vez se calcula a partir de los límites interiores. Para encontrar el centro de una cabecera se utiliza la versión simplificada del método movePolygonSet. El método, si se llama movePolygonSetBack, requiere un solo polígono y una distancia para moverse. Como en el método movePolygonSet, el polígono, P, se define como varios puntos y V y A pueden derivarse de P, sin embargo, la restricción impuesta sobre A es diferente, de modo que  $A_i$  siempre está a la izquierda de  $V_i$ .

10

15

$$V_i = P_{i+1} - P_i : i = 1 \dots p - 1$$

$$V_p = P_1 - P_p$$

$$\frac{A_i \cdot -V_{i-1}}{|A_i||V_{i-1}|} = \cos \theta = \frac{A_i \cdot V_i}{|A_i||V_i|}, \quad \frac{A_i \cdot [V_{i,y} \quad -V_{i,x}]}{|A_i||V_i|} > \frac{A_i \cdot [-V_{i,y} \quad V_{i,x}]}{|A_i||V_i|}$$

$$|A_i| = \frac{1}{\text{sen}\theta}$$

$$P'_i = P_i + \lambda * A_i : i = 1, \dots, p$$

20 El proceso iterativo también se simplifica ya que solo hay un polígono, de modo que.

Mientras ( $W > 0$ )

Calcular  $\alpha_n$ , cuando sea apropiado

$$\lambda = \min\{\alpha_n, W\}$$

Calcular  $P'$ ,  $V'$   $A'$  usando  $\lambda$

25

$$W = W - \lambda$$

Fin del mientras

30

Para el ejemplo de la primera cabecera donde  $P = \{[27.43,31], [21.87,44.89], [15.64,37.1], [13.48,42.41], [48.49,82.03], [85.75,56.58], [80.59,22.16], [41.41,37.45], [22.21,20.99], [18.13,31]\}$  y  $W = 1.5$ . Esto crea  $\alpha = [-, -, 2.46, 35.17, 29.88, 18.52, 64.45, 32.12, 3.76, 913.79]$ , y ya que  $\lambda = \min\{\alpha_n, W\}$ , por lo tanto  $\lambda = 1.5$  y el polígono resultante es  $P = \{[25.22,32.5], [21.44,41.95], [15.22,34.17], [11.74,42.70], [48.24,84.01], [87.38,57.29], [81.79,20.08], [41.71,35.72], [21.60,18.49], [15.90,32.50]\}$ .

Dado que las cabeceras necesitan dos caminos conducidos, uno en cada sentido, estas pueden derivarse de  $P^1$ , la resultante del método movePolgonSetBack, y  $P^2$ , que es la inversión  $P^1$ . El desplazamiento, IO, se utiliza de nuevo

para crear el camino conducido recto,  $SD^i$ , para cada dirección alrededor de la cabecera.  $SD^i$  tiene el doble de puntos que el polígono,  $P^i$ , se deriva de tal que.

$$P^j = \{P_1^j, \dots, P_p^j\}, \quad SD^j = \{SD_1^j, \dots, SD_{2*p}^j\}$$

$$V_i = P_{i+1} - P_i : i = 1 \dots p - 1$$

$$V_p = P_1 - P_p$$

$$\theta_i = \left( \frac{V_{i,x}}{|V_{i,x}|} \right) * \cos^{-1} \left( \frac{V_{i,y}}{\|V_i\|} \right)$$

$$SD_{2*i-1}^j = P_i^j - IO * \begin{bmatrix} \cos(\theta_i) & -\text{sen}(\theta_i) \\ \text{sen}(\theta_i) & \cos(\theta_i) \end{bmatrix} : i = 1, \dots, p$$

$$SD_{2*i}^j = P_{i+1}^j - IO * \begin{bmatrix} \cos(\theta_i) & -\text{sen}(\theta_i) \\ \text{sen}(\theta_i) & \cos(\theta_i) \end{bmatrix} : i = 1, \dots, p - 1$$

$$SD_{2*p}^j = P_1^j - IO * \begin{bmatrix} \cos(\theta_p) & -\text{sen}(\theta_p) \\ \text{sen}(\theta_p) & \cos(\theta_p) \end{bmatrix}$$

10 Para el ejemplo de  $P^1$ ,  $\theta = [-0.38, -2.47, -0.39, 0.72, 2.17, -2.99, -1.2, -2.28, -0.39, 1.57]$  y  $SD^1 = \{[23.92, 33.06], [20.14, 42.5], [21.59, 40.54], [15.37, 32.77], [13.91, 34.72], [10.44, 43.25], [11.65, 44.12], [48.16, 85.43], [49.64, 84.28], [88.77, 57.55], [88.22, 56.15], [82.64, 18.94], [80.5, 19.51], [40.41, 35.16], [41.6, 34.31], [21.5, 17.08], [20.3, 19.04], [14.59, 33.05], [16.9, 33.5], [26.22, 33.5]\}$ .

15 Ahora se introduce un tercer método llamado método `movePolygonSetForward`. Este es exactamente igual que el método `movePolygonSetBack` que toma un polígono y una distancia y devuelve otro polígono, sin embargo, la restricción en A es tal que  $A_i$  siempre está a la derecha de  $V_i$ .

$$\frac{A_i \cdot -V_{i-1}}{|A_i| |V_{i-1}|} = \cos \theta = \frac{A_i \cdot V_i}{|A_i| |V_i|}, \quad \frac{A_i \cdot [V_{i,y} \ -V_{i,x}]}{|A_i| |V_i|} < \frac{A_i \cdot [-V_{i,y} \ V_{i,x}]}{|A_i| |V_i|}$$

20 Para que el vehículo pueda conducir en línea recta, se debe tener en cuenta el radio de giro mínimo del vehículo. En primer lugar, el SD debe simplificarse para eliminar las esquinas demasiado pronunciadas para el vehículo. Esto se hace aplicando el método `movePolygonSetBack` y luego el método `movePolygonSetForward` usando el radio de giro mínimo (mtr) en sucesión hasta que los métodos creen cambios.

$P = \text{movePolygonSetBack}(SD, \text{mtr})$

Mientras (verdadero)

$P' = \text{movePolygonSetForward}(P, 2*\text{mtr})$

25  $P'' = \text{movePolygonSetBack}(P', 2*\text{mtr})$

si ( $P==P''$ )

Entonces Interrumpir mientras

si no  $P=P''$

Fin del mientras

30  $CS^1 = P$

$CS^2 = \text{movePolygonSetForward}(P, 2*\text{mtr})$

$CS^3 = P'$

35 Para el ejemplo, el radio de giro mínimo del vehículo (mtr) es 2 y, como se indicó anteriormente,  $SD^1 = \{[23.92, 33.06], [20.14, 42.5], [21.59, 40.54], [15.37, 32.77], [13.91, 34.72], [10.44, 43.25], [11.65, 44.12], [48.16, 85.43], [49.64, 84.28], [88.77, 57.55], [88.22, 56.15], [82.64, 18.94], [80.5, 19.51], [40.41, 35.16], [41.6, 34.31], [21.5, 17.08], [20.3, 19.04], [14.59, 33.05], [16.9, 33.5], [26.22, 33.5]\}$ . El uso de `movePolygonSetBack(SD^1, 2)` genera  $P = \{[26.69, 31.50], [21.72, 43.91], [15.49, 36.12], [12.88, 42.53], [12.99, 42.61], [48.41, 82.69], [48.45, 82.66], [86.32, 56.80], [86.27, 56.67],$

## ES 2 865 550 T3

5 [80.99,21.46], [26.00,42.92], [38.35,34.16], [22.00,20.15], [17.38,31.50]] y luego usando *movePolygonSetForward(P,4)*,  $P' = \{[20.78,35.5], [20.56,36.05], [14.37,28.31], [7.99,43.97], [10.31,45.61], [47.91,88.16], [50.82,85.89], [91.21,58.31], [90.16,55.63], [84.2,15.92], [42.29,32.28], [20.4,13.51], [11.44,35.5]\}$ . Finalmente usando *movePolygonSetBack(P',4)* genera  $P'' = \{[26.69,31.5], [21.73,43.91], [15.5,36.13], [12.89,42.54], [13.42,62], [48.41,82.69], [48.46,82.66], [86.32,56.8], [86.27,56.67], [80.99,21.47], [41.51,36.87], [22.01,20.16], [17.38,31.5]\}$ .

10 Como se puede ver,  $P''$  no es lo mismo que  $P$ , por lo que el bucle debe reformularse con  $P=P''$ , d *movePolygonSetForward(P'',4)* genera  $P' = \{[20.78,35.5], [20.56,36.05], [14.37,28.31], [7.99,43.97], [10.31,45.61], [47.91,88.16], [50.82,85.89], [91.21,58.31], [90.16,55.63], [84.2,15.92], [42.29,32.28], [20.4,13.51], [11.44,35.5]\}$  y *movePolygonSetBack(P',4)* genera  $P'' = \{[26.69,31.5], [21.73,43.91], [15.5,36.13], [12.89,42.54], [13.42,62], [48.41,82.69], [48.46,82.66], [86.32,56.8], [86.27,56.67], [80.99,21.47], [41.51,36.87], [22.01,20.16], [17.38,31.5]\}$ .

15 Ahora se puede ver que  $P'' = P$  por lo que el bucle se puede romper y  $CS^1 = \{[26.69,31.5], [21.73,43.91], [15.5,36.13], [12.89,42.54], [13.42,62], [48.41,82.69], [48.46,82.66], [86.32,56.8], [86.27,56.67], [80.99,21.47], [41.51,36.87], [22.01,20.16], [17.38,31.5]\}$ ,  $CS^2 = \{[23.74,33.5], [21.15,39.98], [14.93,32.22], [10.44,43.25], [11.65,44.12], [48.16,85.43], [49.64,84.28], [88.77,57.55], [88.22,56.15], [82.6,18.69], [41.9,34.57], [21.2,16.83], [14.41,33.5]\}$  y  $CS^3 = \{[20.78,35.5], [20.56,36.05], [14.37,28.31], [7.99,43.97], [10.31,45.61], [47.91,88.16], [50.82,85.89], [91.21,58.31], [90.16,55.63], [84.2,15.92], [42.29,32.28], [20.4,13.51], [11.44,35.5]\}$ .

20 El camino conducido de la cabecera se construye como una secuencia de líneas rectas y de líneas arqueadas. Las líneas rectas están definidas por un punto de inicio, *spi*, una dirección de inicio, *sdi*, *a* y una longitud, *li*, mientras que las líneas arqueadas tienen un centro de rotación definido, *cr*. El centro de rotación de la línea recta también se puede considerar infinitamente alejado del punto de inicio en una dirección perpendicular a la dirección de inicio.

La figura 16 muestra un ejemplo de  $CS^1$ ,  $CS^2$  y  $CS^3$  para definir su relación. Las líneas rectas del camino conducido se definen como paralelas a las líneas en  $CS^1$ . Las esquinas de  $CS^2$  y  $CS^3$  luego se utilizan como centros de las líneas arqueadas para unir las líneas rectas.

25 La figura 17 muestra un ejemplo de cómo se construye el camino conducido.

Para el campo de ejemplo  $CS^1$ ,  $CS^2$  y  $CS^3$  ya se han calculado, por lo tanto, la Tabla 3 a continuación describe la secuencia de líneas rectas y líneas arqueadas, el ejemplo del camino conducido se muestra en la figura 18.

Tabla 3

i	Punto de inicio ( <i>spi</i> )	Dirección de inicio ( <i>sdi</i> )	Longitud ( <i>li</i> )	Centro de rotación ( <i>cr</i> )
1	[22.64,36.24]	[-0.37,0.93]		0.60~
2	[22.42,36.80]	[-0.37,0.93]		4.17[20.56,36.05]
3	[19.00,37.30]	[-0.62,-0.78]		3.11~
4	[17.06,34.88]	[-0.62,-0.78]		4.16[15.50,36.13]
5	[13.65,35.37]	[-0.38,0.93]		6.92~
6	[11.04,41.78]	[-0.38,0.93]		2.36[12.89,42.54]
7	[11.48,43.96]	[0.71,0.70]		0.33~
8	[11.71,44.19]	[0.71,0.70]		0.14[10.31,45.61]
9	[11.81,44.29]	[0.66,0.75]		53.02~
10	[46.92,84.02]	[0.66,0.75]		2.95[48.41,82.69]
11	[49.59,84.31]	[0.81,-0.59]		0.07~
12	[49.64,84.27]	[0.81,-0.59]		0.05[50.82,85.89]
13	[49.69,84.24]	[0.83,-0.56]		45.73~
14	[87.45,58.45]	[0.83,-0.56]		2.38[86.32,56.80]
15	[88.28,56.37]	[-0.21,-0.98]		0.32~
16	[88.21,56.06]	[-0.21,-0.98]		0.13[90.16,55.63]
17	[88.18,55.93]	[-0.15,-0.99]		35.15~
18	[82.97,21.17]	[-0.15,-0.99]		3.59[80.99,21.47]
19	[80.27,19.60]	[-0.93,0.36]		39.98~
20	[43.02,34.14]	[-0.93,0.36]		2.16[42.29,32.28]
21	[40.99,33.79]	[-0.76,-0.65]		23.29~
22	[23.31,18.64]	[-0.76,-0.65]		3.79[22.01,20.16]
23	[20.15,19.40]	[-0.38,0.93]		12.25~
24	[15.53,30.75]	[-0.38,0.93]		3.92[17.38,31.50]
25	[17.38,33.50]	[1.00,0.00]		3.40~
26	[20.78,33.50]	[1.00,0.00]		3.90[20.78,35.50]

Unir caminos de conducción

5 Para poder trazar un camino continuo para que un vehículo negocie todas las cabeceras e hileras de trabajo, se necesitan conexiones entre las entidades separadas. Las conexiones se crean desde los extremos del camino conducido por hilera de trabajo (EDR) hasta los caminos conducidos de las cabeceras, y desde los caminos conducidos hasta la cabecera hasta los inicios de camino conducido de hilera de trabajo (SDR).

Hay tres tipos de conexiones que se utilizan para conectar un punto a un camino, y cada tipo de conexión depende de si se conecta a una parte del camino conducido que sea: una línea recta, una línea arqueada en el mismo sentido que el giro desde el punto, o una línea arqueada en sentido opuesto al giro desde el punto.

10 El primer tipo de conexión implica avanzar desde el punto en el sentido especificado y luego hacer un solo giro para unirse al otro camino conducido, véase la figura 19.

15 Para calcular el centro de un solo giro, se traza una línea paralela al sentido especificado en un desplazamiento del radio de giro perpendicular al sentido especificado en el sentido del giro. El centro de la única giro se define como la intersección entre esta y una segunda línea relacionada con el camino conducido. Al unir la parte del camino que es recta. En la figura 19 (a)) la segunda línea se traza paralela al camino conducido en un desplazamiento del radio de giro perpendicular al camino conducido en el sentido del giro. Al unir la parte del camino que es una línea arqueada en el mismo sentido (Fig. 19 (b)), la segunda línea es de hecho un punto correspondiente al centro de rotación de la línea arqueada. Al unir la parte del camino que es una línea arqueada en sentido opuesto (Fig.19 (c)), la segunda línea es una línea arqueada con el mismo centro que la línea arqueada del camino conducido, pero con un radio que es el doble de grande.

20 El segundo tipo de conexión implica el cálculo de dos giros, en sentidos opuestos, para unir un punto al otro camino conducido, véase la figura 20.

25 El centro del primero se establece a una distancia igual al radio de giro desde el punto perpendicular al sentido especificado en el sentido del primer giro. El segundo giro es entonces en sentido opuesto al sentido del primer giro y su centro se calcula como la intersección de un círculo con el mismo centro que el primer giro pero el doble del radio y una segunda línea. Al unir la parte del camino que es recta (Fig.20 (a)), la segunda línea es una línea trazada paralela al camino conducido en un desplazamiento del radio de giro perpendicular al camino conducido en la dirección del segundo giro. Al unir la parte del camino que es una línea arqueada en el mismo sentido que el primer giro (Fig.20 (b)), la segunda línea es una línea arqueada con el mismo centro que la línea arqueada del camino conducido, pero con un radio que es el doble de grande. Al unir la parte del camino que es una línea arqueada en sentido opuesto al primer giro (Fig. 20 (c)), la segunda línea es de hecho un punto correspondiente al centro de rotación de la línea arqueada.

El tercer tipo de conexión es muy similar al primer tipo de conexión, sin embargo, se permite que la primera línea recta vaya en sentido opuesto al sentido especificado, es decir, el vehículo retrocede.

35 El tercer tipo de conexión está despriorizado, ya que dar marcha atrás en el campo puede provocar problemas adicionales, como tardar más tiempo o provocar daños, por lo tanto, si se puede realizar una conexión de tipo 1 o una conexión de tipo 2 entre un camino conducido por hilera de trabajo y una cabecera, entonces no se intenta una conexión de tipo 3.

40 Descrito anteriormente,  ${}^1EDR_+^1 = [13.01 \quad 44.93]$ , es una salida de un camino conducido por hilera de trabajo que debe unirse a un camino conducido por cabeceras. Utilizando el camino conducido por cabecera también descrito anteriormente, es posible hacer tres conexiones entre el camino conducido por hilera de trabajo y el camino conducido por cabecera, véase la figura 21 (a)-(c). La figura 21 (a) es una conexión de tipo 1, mientras que la figura 21(b) y 21(c) son conexiones de tipo 2.

Los tres caminos se describen por completo en la Tabla 4 a continuación.

Tabla 4

i	Punto de inicio (sp)	Dirección de inicio (sd)	Longitud (li)	Centro de rotación (cr)
a				
1	[13.01,44.93]	[-0.37,0.93]		1.77~
2	[12.36,46.57]	[-0.37,0.93]		10.36[10.50,45.83]
b				
1	[13.01,44.93]	[-0.37,0.93]		1.08[14.87,45.67]
2	[12.90,45.99]	[0.16,0.99]		11.44[10.92,46.31]
c				
1	[13.01,44.93]	[-0.37,0.93]		3.34[14.87,45.67]
2	[14.31,47.59]	[0.96,0.28]		1.02[13.76,49.51]

## ES 2 865 550 T3

Las conexiones desde los caminos conducidos por cabeceras hasta los inicios de caminos conducidos por hileras de trabajo se calculan exactamente de la misma manera, sin embargo, el sentido especificado y los caminos conducidos por cabeceras se invierten primero, luego se calculan las conexiones y finalmente se invierten las conexiones.

- 5 Otra hilera de trabajo se define a una distancia de dos veces la anchura de trabajo, en la dirección perpendicular al sentido de conducción, desde la hilera de trabajo originalmente definida. Tiene dos caminos conducidos, como se explicó anteriormente, con uno de sus caminos conducidos comenzando en  ${}^3SDR^1 = [20.06 \quad 48.84]$ .

Hay 4 conexiones posibles entre el camino conducido por cabecera y el camino conducido por hilera de trabajo, véase la figura 23 (a)-(d). Las figuras 23(a) y 23(b) son conexiones de tipo 1, mientras que 23(c) y 23(d) son conexiones de tipo 2.

- 10 Los caminos también se describen en la Tabla 5 a continuación.

Tabla 5

i	Punto de inicio (sp <sub>i</sub> )	Dirección de inicio (sd <sub>i</sub> )	Longitud (l <sub>i</sub> )	Centro de rotación (cr <sub>i</sub> )
<b>a</b>				
1	[20.89,54.57]	[0.66,0.75]		8.5 [19.39,55.89]
2	[17.53,55.15]	[0.37,-0.93]		6.8~
<b>b</b>				
1	[16.59,49.70]	[0.66,0.75]		4.08 [18.09,48.38]
2	[19.95,49.12]	[0.37,-0.93]		0.6~
<b>c</b>				
1	[21.13,54.84]	[0.66,0.75]		8.34 [22.63,53.52]
2	[22.27,51.55]	[0.98,-0.18]		4.26 [21.92,49.58]
<b>d</b>				
1	[16.60,49.71]	[0.66,0.75]		4.22 [18.10,48.39]
2	[20.01,48.99]	[-0.30,0.95]		0.16 [21.92,49.58]

Las puertas de campo también se conectan hacia y desde los caminos conducidos por cabeceras de la misma manera.

### Matriz de costes

- 15 La conexión desde un camino conducido por hilera de trabajo a otra se puede encontrar si el primer camino conducido por hilera de trabajo se conecta a un camino conducido por cabecera especificada y el camino conducido por cabecera especificada también se conecta al segundo camino conducido por hilera de trabajo. De esta manera, al salir del primer camino conducido por hilera de trabajo, el vehículo puede seguir el camino conducido por cabecera especificada hasta que pueda entrar en el segundo camino conducido por hilera de trabajo. Dado que hay varias formas para que cada camino conducido por hilera de trabajo se conecte y desde donde se conecte a cada camino conducido por cabeceras y dado que existe la posibilidad de múltiples caminos conducidos por cabeceras, hay muchas maneras de poder conectar dos caminos conducidos por hileras de trabajo.
- 20

- 25 Se construye una matriz de costes a partir de la distancia mínima para conectar dos caminos conducidos por hileras de trabajo, las puertas de campo también se incluyen en esta matriz de costes. Los extremos de los caminos conducidos por hileras de trabajo no pueden conectarse entre sí, por lo que la distancia mínima entre ellos se establece en infinito, además, dos caminos conducidos por hileras de trabajo que cubren la misma hilera de trabajo no pueden conectarse (esto no tendría sentido ya que significaría que la hilera de trabajo se trabajó dos veces), por lo tanto, su conexión en la matriz de costes también se establece en infinito

- 30 Los dos extremos de camino conducido por hilera de trabajo, cuyas conexiones se describieron anteriormente, son  ${}^1EDR^1_+$  y  ${}^3SDR^1_+$ . Ambos extremos se conectan hacia y desde, respectivamente, el mismo camino conducido por cabecera, por lo que pueden conectarse. El ajuste de los giros juntos, yendo desde un extremo de camino conducido por hilera de trabajo a lo largo del camino conducido por cabecera y hacia otro camino conducido por hilera de trabajo, se puede hacer de varias maneras. Dado que hay 3 conexiones desde  ${}^1EDR^1_+$  al camino conducido por la cabecera y hay 4 conexiones desde el camino conducido por la cabecera hasta  ${}^3SDR^1_+$ , entonces hay 12 conexiones posibles entre los dos caminos conducidos por hileras de trabajo. La tabla 6 a continuación describe las longitudes de todas las conexiones posibles.
- 35

Tabla 6

		${}^1EDR_+^1$		
		a	b	c
${}^3SDR_-^1$	a	40.84	40.60	28.26
	b	23.44	23.19	10.86
	c	38.52	38.27	25.94
	d	23.46	23.21	10.88

Como puede verse en la Tabla 6, la conexión más corta de  ${}^1EDR_+^1$  a  ${}^3SDR_-^1$  es usando la conexión c y luego la conexión b. El camino de la conexión se muestra en la Figura 22 y se describe en la Tabla 7 a continuación.

Tabla 7

i	Punto de inicio (spi)	Dirección de inicio (sdi)	Longitud (li)	Centro de rotación (cri)
1	[13.01,44.93]	[-0.37,0.93]	1.08	[14.87,45.67]
2	[12.90,45.99]	[0.16,0.99]	11.44	[10.92,46.31]
3	[15.25,48.19]	[0.66,0.75]	2.02	~
4	[16.59,49.70]	[0.66,0.75]	4.08	[18.09,48.38]
5	[19.95,49.12]	[0.37,-0.93]	0.6	~

5 La matriz de costes para una parte del campo se elige a continuación.

	${}^1DR_+^1$	${}^1DR_-^1$	${}^3DR_+^1$	${}^3DR_-^1$	${}^5DR_+^1$	${}^5DR_-^1$	G <sup>1</sup>
${}^1DR_+^1$	~	~	50.59	10.86	43.62	17.59	18.98
${}^1DR_-^1$	~	~	28.57	27.12	25.94	33.84	19.54
${}^3DR_+^1$	26.08	18.43	~	~	36.90	10.87	32.05
${}^3DR_-^1$	45.72	45.41	~	~	17.98	44.95	199.93
${}^5DR_+^1$	32.79	18.02	46.91	18.43	~	~	54.24
${}^5DR_-^1$	52.06	51.75	11.09	46.09	~	~	75.76
G <sup>1</sup>	18.72	18.41	235.60	28.25	76.01	49.97	~

La matriz de costes se puede utilizar para determinar una ruta factible para navegar por el campo. Dado que el problema para encontrar la ruta óptima para navegar por el campo puede considerarse un problema NP-difícil (es decir, puede que no sea posible encontrar una solución en un marco de tiempo nominal), los solucionadores heurísticos pueden usarse para encontrar una ruta casi óptima. El solucionador también debe tener en cuenta el hecho de que los caminos conducidos por hileras de trabajo se asocian entre sí por la hilera de trabajo que cubren.

10

En este ejemplo, se utiliza un método heurístico voraz para encontrar una ruta para navegar por el campo. Este método proporciona una estimación simple de cuál podría ser la solución óptima. Sin embargo, se podrían utilizar diferentes solucionadores, como un solucionador de búsqueda tabú, un solucionador de colonias de hormigas, algoritmos genéticos, etc., para obtener resultados similares.

15 En primer lugar, se elige una puerta de inicio. La puerta se elige considerando todas las conexiones desde las puertas hasta los caminos conducidos por hilera de trabajo. Las conexiones a los caminos conducidos por hilera de trabajo están en las hileras etiquetadas para cada puerta. La puerta que tiene la conexión más corta con cualquier camino conducido por hilera de trabajo se elige como la puerta de inicio y el camino conducido por hilera de trabajo se elige como el primer camino conducido por hilera de trabajo en el ruta. Dado que este camino conducido por hilera de trabajo se ha elegido como "destino", no se puede volver a elegir como destino de otro camino conducido por hilera de trabajo, por lo tanto, todos los valores en la columna asociada con ella se establecen en infinito. Además, el otro camino conducido por hilera de trabajo asociado con la misma hilera de trabajo no se puede elegir como destino o como inicio, por lo que todos los valores en la columna y la hilera asociadas con el otro camino conducido por hilera de trabajo también se establecen en infinito.

20  
25 El primer camino conducido por hilera de trabajo ahora se considera el punto de inicio y ahora se busca la conexión más corta desde él a otro camino conducido por hilera de trabajo. La conexión más corta es la de la hilera asociada con el primer camino conducido por hilera de trabajo con el valor más bajo. El camino conducido por hilera de trabajo con el valor más bajo se considera el segundo camino conducido por hilera de trabajo en la ruta. Nuevamente, todos los valores en la columna asociados con el segundo camino conducido por hilera de trabajo y el del camino conducido por hilera de trabajo asociado con la misma hilera de trabajo se establecen en infinito, al igual que la hilera de valores del camino de trabajo de hilera de trabajo asociado con la misma hilera de trabajo. Este método continúa hasta que solo quedan las puertas como posibles destinos. La suma de todas las conexiones elegidas es la estimación de la distancia no laborable necesaria para navegar por el campo.

30

Además, se podría usar un solucionador heurístico adicional para mejorar la solución ofrecida por la solución voraz y para encontrar una solución más cercana a la solución óptima. El método de búsqueda tabú toma una solución inicial y la manipula con la intención de encontrar mejores soluciones globales sin quedar "encerrado" en soluciones óptimas a nivel local.

5 La búsqueda tabú se configura estableciendo una solución inicial para la solución local actual y la solución global. A continuación, comienza el proceso iterativo y se utilizan varios "movimientos" para determinar una vecindad local de soluciones alrededor de la solución local. Los movimientos utilizados podrían ser cambiar el sentido de una hilera, cambiar la entrada o la salida, o cambiar el orden de dos hileras adyacentes en la solución.

10 Del vecindario generado de soluciones se eligen las mejores soluciones nuevas, no tabú. Esta nueva solución ahora se convierte en la solución local para la próxima iteración. El movimiento utilizado para generar la nueva solución se configura para ser tabú durante varias iteraciones, lo que significa que el mismo movimiento no se volverá a utilizar durante algún tiempo. Esto evita que la solución local se estanque y aumenta la diversidad del algoritmo al mismo tiempo que ayuda a encontrar una solución óptima a nivel mundial. Si la nueva solución es mejor que la solución global actual, la nueva solución también se establece como solución global. Si la nueva solución no es mejor que la solución global durante varias iteraciones, los movimientos se intensifican para encontrar diferentes soluciones. La intensificación altera los movimientos de manera diferente, de modo que pequeños grupos de hileras adyacentes en la solución tienen el movimiento expresado en lugar de una hilera cada vez. Debido a esto, hay un límite en la cantidad de intensificación que se puede aplicar a los movimientos, es decir, si el pequeño grupo de hileras supera la mitad de las hileras disponibles. Como tal, cuando se alcanza el límite de la intensificación, la búsqueda tabú finaliza y se devuelve una solución mejorada.

Parametrización de la función objetivo

Para relacionar la estimación de la distancia no laborable, ENWD (*estimation of the non-working distance*), con las propiedades básicas del campo se desarrolló un modelo simplificado.

25 El conjunto de hileras de trabajo generadas se calcula utilizando los métodos previamente definidos. Para cada posible sentido de conducción del campo, donde  $DD = D_D$ , el conjunto producido de hileras de trabajo se evalúa según los siguientes criterios;

Área del área de trabajo, como se muestra en la figura 9 = WA

Número de hileras =  $NR_D$  = número de WR para  $D_D$

Área total de hileras =  $TWRA_d = \sum_{i=0}^n$

30 Anchura del área si la dirección perpendicular al sentido de conducción =  $OW_d = \max\{DD^\perp \circ P_{jj} - \min\{DD^\perp \circ P_{jj}\}_j$ .

Longitud de hilera promedio =  $AR_d = \frac{1}{NR} \sum_{i=0}^n \max\{DD \circ ({}^iRCA_j^k - L_1^i)\}_j - \min\{DD \circ ({}^iRCA_j^k - L_1^i)\}_j$

Longitud de hilera más larga =  $LR_d = \max\left\{\max\{DD \circ ({}^iRCA_j^k - L_1^i)\}_j - \min\{DD \circ ({}^iRCA_j^k - L_1^i)\}_j\right\}_i$

Longitud de hilera más corta =  $SR_d = \min\left\{\max\{DD \circ ({}^iRCA_j^k - L_1^i)\}_j - \min\{DD \circ ({}^iRCA_j^k - L_1^i)\}_j\right\}_i$

35 El número de hileras producidas por cada sentido de conducción ( $NR_d$ ) se clasifica,  $NRR_d$ , de modo que para el conjunto con el menor número de hileras  $NRR_d = 0$ , y para el conjunto con el mayor número de hileras  $NRR_d =$  número de posibles sentidos de conducción. Luego, la  $NRR$  se normaliza dividiendo cada número por el número de sentidos de conducción posibles de modo que  $0 \leq NRR_d \leq 1$ .

Por lo tanto, el modelo básico para predecir ENWD es el siguiente;

$$ENWD_d = \lambda_1 WA + \lambda_2 NR_d + \lambda_3 TWRA_d + \lambda_4 OW + \lambda_5 AR_d + \lambda_6 LR_d + \lambda_7 SR_d + \lambda_8 NRR_d$$

40  $DD \text{ óptimo} = \min\{ENWD_d\}_d$

Parametrización de la función objetivo

45 Los parámetros de la función objetivo se establecen empíricamente probando numerosos sentidos de conducción en un gran conjunto de campos reales. Los campos reales se tomaron del conjunto de campos daneses registrados con el gobierno. Para cada campo y sentido de conducción se realizó una estimación de la distancia óptima no laborable utilizando los métodos descritos, también se calculó el parámetro del área de función objetivo. Finalmente, se utiliza un algoritmo de regresión para determinar la parametrización de la función objetivo.

Ejemplo 2

Este ejemplo ilustra la presente invención. Este ejemplo ilustra de forma simplificada e idealizada cómo se va a realizar la invención.

5 En este ejemplo, se define un campo de cultivo que comprende varias áreas distintas de malezas. La figura 24 ilustra el campo que se tiene que trabajar. El campo 500 está restringido dentro de un límite de campo 2. En una ubicación específica en el límite de campo 2 se ubica una puerta de entrada/salida 4.

El límite de campo comprende dos pares de líneas paralelas. En la esquina inferior derecha de la Figura 24, dos líneas de límite perpendiculares se conectan por un camino circular.

10 Dentro del límite de campo se encuentran presentes tres áreas distintas 6 de áreas de malezas. Además, un obstáculo 8, que debe evitarse cuando se trabaja en el campo, se encuentra dentro del límite de campo 2.

En este ejemplo de realizar el método de la invención, primero se aproxima el límite de campo a la forma de un polígono. Esto se ilustra en la figura 25.

15 La figura 25 muestra que el límite 2 de la figura 24 se ha aproximado a un polígono. Este polígono se define como el límite de polígono 10. Se ve que el camino circular original en la esquina inferior derecha del campo se ha intercambiado con tres segmentos lineales.

Además, el obstáculo 8 se ha aproximado a un polígono de obstáculo 12. La forma del polígono de obstáculo corresponde a un cuadrado que abarca la forma del propio obstáculo 8.

20 La siguiente etapa del método es definir una o más cabeceras. Esto se ilustra en la figura 26. En la figura 26, se define una cabecera 14 inmediatamente dentro del polígono de límite 10. La cabecera 14 tiene una anchura correspondiente a la anchura de trabajo efectiva del implemento de trabajo para desmalezar las áreas de maleza. En consecuencia, la cabecera 14 tiene una periferia exterior 18 correspondiente al polígono de límite 10. Además, la cabecera 14 define una periferia interior 20 dispuesta a una distancia correspondiente a una anchura de trabajo efectiva desde la periferia exterior 18.

25 Además, se define una cabecera 14' alrededor del obstáculo 8. La cabecera 14' está restringida dentro de una periferia exterior 18' y una periferia interior 20' de la cabecera 14'.

El área del campo 500 que no es una cabecera 14, 14' y que no es un obstáculo 8 se define como el área de trabajo 16. En consecuencia, en el caso general, las distintas áreas de maleza a trabajar pueden ubicarse en una cabecera o en el área de trabajo. En el presente ejemplo, sin embargo, estas áreas distintas de maleza que se van a trabajar están ubicadas únicamente dentro del terreno principal.

30 Se ve en la figura 26 que la aproximación poligonal del polígono de límite y el polígono de obstáculo comprende 11 segmentos lineales diferentes (7 con respecto al polígono de límite y 4 con respecto al polígono de obstáculo).

35 Como algunos de estos 11 segmentos lineales diferentes son paralelos, estos 11 segmentos lineales diferentes definen un total de 6 orientaciones diferentes de segmentos lineales (5 con respecto al polígono de límite y 1 con respecto al polígono de obstáculo (o alternativamente, 2 con respecto al polígono de obstáculo y 4 con respecto al polígono de límite)).

40 En la etapa de nido deseamos crear, dentro del área de trabajo, una serie de posibles hileras de trabajo que deben ser seguidas por el vehículo de trabajo. En aras de la simplicidad, deseamos que las posibles hileras de trabajo sean paralelas a un lado de un polígono de límite o de un polígono de obstáculo. En el presente ejemplo también deseamos que las hileras de trabajo tengan una anchura correspondiente a la anchura de trabajo efectiva del implemento destinado a trabajar en el campo.

Por consiguiente, en el presente ejemplo, las hileras de trabajo del área de trabajo pueden estar orientadas en seis orientaciones diferentes.

La figura 27 ilustra un ejemplo de definición de una serie de posibles hileras de trabajo. La figura 27 muestra que las hileras de trabajo 24 están todas orientadas paralelas al segmento lineal superior del polígono de límite 10.

45 En la figura 28 se muestra otro ejemplo de una definición de una serie de posibles hileras de trabajo. La figura 28 muestra que las hileras de trabajo 24 están todas orientadas paralelamente al segmento lineal izquierdo del polígono de límite 10.

Asimismo, se definirán series similares de posibles hileras de trabajo con respecto a las cuatro restantes de las seis posibles orientaciones que son paralelas a un límite de campo o un límite de obstáculo.

50 En este ejemplo, las etapas adicionales solo se ilustran con referencia a las hileras de trabajo definidas como se muestra en la figura 27.

Ahora, en el área de trabajo solo deseamos conducir por áreas que comprenden maleza. Por lo tanto, la siguiente etapa es eliminar de la serie de hileras de trabajo, aquellas hileras de trabajo que no cubran áreas de maleza.

Esta situación se ilustra en la figura 29. La serie de hileras de trabajo que se muestra en la figura 29 se ha reducido a solo ocho hileras de desmalezado 26.

- 5 La siguiente etapa del método es conectar de varias formas posibles las hileras de malezas con las cabeceras de modo que se generen varios posibles caminos de conducción continua para desmalezar las malezas de las áreas de malezas dentro del campo de cultivo.

En la figura 30 se ilustra un ejemplo de posible camino de conducción continua definido con respecto a la orientación de las hileras de trabajo como se ilustra en la figura 27.

- 10 Con respecto a cada posible camino de conducción continua en la serie de posibles caminos de conducción continua según se define con respecto a cada posible orientación de las hileras de trabajo, se puede definir un parámetro de coste y se puede calcular el coste total de seguir cada posible camino de conducción continua.

El camino de conducción optimizada que debe seguir será el camino de conducción que exhiba el coste total más bajo. El diagrama de flujo que se muestra en la figura 31 ilustra un ejemplo de las etapas individuales del proceso que se deben seguir para encontrar una trayectoria optimizada antes de desmalezar un campo de cultivo agrícola que comprende distintas áreas de infestaciones de malezas.

- 15

**Lista de numerales de referencia**

2	Límite del campo de cultivo
4	Puerta de entrada/salida
6	Área distinta de maleza dentro del campo de cultivo
8	Obstáculo dentro del campo de cultivo
10	Polígono de límite
12	Polígono de obstáculo
14, 14'	Cabecera
16	Área de trabajo
18, 18'	Periferia exterior de la cabecera
20, 20'	Periferia interior de la cabecera
24	Hilera de trabajo dentro del área de trabajo
26	Hilera de malezas
28	Posible camino de conducción continua para desmalezar la maleza dentro del campo de cultivo
100	Sistema de soporte
500	Campo de cultivo
D	Implemento de trabajo
MU	Unidad de mapeo
CU	Unidad de parámetro de capacidad
TCU	Unidad de cálculo de trayectoria
M	Pantalla

**REIVINDICACIONES**

1. Un sistema de soporte para determinar una trayectoria a seguir por un vehículo de trabajo agrícola, al desmalezar distintas áreas de maleza dentro de un campo de cultivos, dicho sistema comprende:

una unidad de mapeo configurada para recibir:

- 5 i) coordenadas relativas a los límites de un campo que va a trabajarse; y
- ii) coordenadas relativas a los límites de distintas áreas de maleza que se ubican dentro de dicho límite de dicho campo de cultivos;

una unidad de parámetros de capacidad configurada para recibir uno o más parámetros de capacidad relacionados con dicho vehículo de trabajo;

- 10 una unidad de cálculo de trayectoria configurada para calcular una trayectoria optimizada a seguir por dicho vehículo de trabajo al desmalezar dichas áreas distintas de maleza; en donde dicha trayectoria optimizada se está calculando basándose en dichas coordenadas recibidas por dicha unidad de mapeo; y uno o más de dicho uno o más parámetros de capacidad recibidos por dicha unidad de parámetro de capacidad;

en donde dicha unidad de cálculo de trayectoria se configura para realizar la siguiente etapa:

- 15 a) aproximar las coordenadas relativas a los límites de dicho campo que va a trabajarse a un polígono de límite; y en donde dicho sistema de soporte se configura para determinar la trayectoria a seguir, basándose en esa aproximación;

en donde el sistema de soporte se caracteriza por que la unidad de cálculo de trayectoria se configura para realizar las siguientes etapas adicionales:

- 20 b) aproximar las coordenadas relativas a los límites de cada uno de dichos uno o más obstáculos, si los hay, a respectivos polígonos de obstáculos; y en donde dicho sistema de soporte se configura para determinar la trayectoria a seguir, basándose en esa aproximación;
- c) definir una o más cabeceras ubicadas inmediatamente dentro de dicho polígono de límite;
- d) con respecto a cada polígono de obstáculo, si está presente, definir una o más cabeceras que rodean dicho polígono de obstáculo;
- 25 e) definir un área de trabajo que corresponda al área dentro de dicho polígono de límite con la exclusión del área correspondiente a cualquier cabecera y con la exclusión del área correspondiente a cualquier polígono de obstáculo;
- f) con respecto a la orientación de uno o más lados de las cabeceras, definir una serie de hileras de trabajo paralelas ubicadas dentro de dicha área de trabajo;
- 30 g) definir varias hileras de malezas, en donde una hilera de malezas es una cabecera que comprende al menos parte de un área de malezas distinta, o es una hilera de trabajo que comprende al menos parte de un área de malezas distinta;
- h) con respecto a una o más series de hileras de trabajo paralelas definidas en la etapa f), definir una serie de posibles caminos de conducción continua al conectar entidades separadas, en donde dichas entidades separadas son cabeceras, o partes de una cabecera, e hileras de trabajo, o partes de una hilera de trabajo; para definir posibles trayectorias de conducción continua; en donde cada una de dichas posibles trayectorias de conducción continua comprende todas las hileras de maleza;
- 35 i) con respecto a cada una de dichos posibles caminos de conducción continua definidos en la etapa h), calcular un parámetro de coste asociado, siendo dicho parámetro de coste calculado representativo de la eficiencia al seguir ese camino de conducción continua específica;
- 40 j) seleccionar como trayectoria a seguir, esa trayectoria de conducción continua específica que presenta la mayor eficiencia.

2. Un sistema de soporte según la reivindicación 1, en donde dicha unidad de mapeo se configura además para recibir:

- 45 iii) coordenadas relativas a las posibles puertas de entrada/salida del campo; y/o
- iv) coordenadas relativas a los límites de uno o más obstáculos a evitar por dicho vehículo de trabajo; en donde dichos uno o más obstáculos se ubican dentro de dicho campo; y/o

- 5 en donde dicha unidad de mapeo se configura para almacenar, con respecto a uno o más campos específicos, uno o más de: i) coordenadas relativas a los límites de dicho uno o más campos específicos; ii) coordenadas relativas a las posibles puertas de entrada/salida de dicho uno o más campos específicos; iii) coordenadas relativas a límites de obstáculos presentes en dicho campo; iv) coordenadas relacionadas con áreas de infestaciones de malezas del año anterior o años anteriores.
- 10 3. Un sistema de soporte según la reivindicación 1 o 2, en donde dicha trayectoria optimizada es una trayectoria optimizada en términos de tiempo operativo total para trabajar el campo; tiempo productivo total para trabajar el campo; consumo total de combustible para trabajar el campo; distancia total no laborable para trabajar el campo; distancia total recorrida dos veces o más; distancia total recorrida a través de áreas de cultivos sin maleza; área total cubierta dos veces más; y/o
- 15 en donde dicha unidad de cálculo de trayectoria se configura para encontrar varias trayectorias candidatas, y en donde dicha unidad de cálculo de trayectoria se configura para calcular, con respecto a cada trayectoria candidata, un parámetro de eficiencia, y en donde dicha unidad de cálculo de trayectoria se configura para sugerir al usuario, esa trayectoria candidata específica, que exhibe el parámetro de eficiencia más alto.
- 20 4. Un sistema de soporte según cualquiera de las reivindicaciones 1 - 3, en donde dicho uno o más parámetros de capacidad se seleccionan del grupo que comprende: anchura de trabajo efectiva del vehículo de trabajo o del implemento de trabajo, carga del vehículo de trabajo en función de la distancia recorrida, el consumo de combustible en función de la distancia recorrida, el radio de giro mínimo del vehículo o implemento, o ambos.
- 25 5. Un sistema de soporte según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde dicho sistema de soporte se configura para definir varios posibles caminos conducidos continuos, comprendiendo cada uno una secuencia de segmentos de línea recta y segmentos de línea arqueada.
- 30 6. Un sistema de soporte según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde dicho sistema es para su uso con un implemento de desmalezado químico que usa un herbicida; o un implemento de desmalezado mecánico que trabaja mecánicamente el suelo de la maleza; y/o
- 35 en donde dicho sistema de soporte se configura para proporcionar automáticamente una señal para suministrar a un implemento de desmalezado de dicho vehículo de trabajo, estando configurada dicha señal para activar/desactivar dicho implemento de desmalezado al entrar/salir de áreas de maleza a desmalezar.
- 40 7. Un método para determinar una trayectoria a seguir por un vehículo de trabajo agrícola, al desmalezar distintas áreas de maleza dentro de un campo de cultivos, comprendiendo dicho método las etapas:
- 30 a) proporcionar información relacionada con:
- i) coordenadas relativas a los límites de un campo que se tiene que trabajar; y
- ii) coordenadas relativas a los límites de distintas áreas de maleza que se ubican dentro de dicho límite de dicho campo de cultivos;
- b) proporcionar información relacionada con:
- 35 uno o más parámetros de capacidad relacionados con dicho vehículo de trabajo;
- c) realizar un cálculo de una trayectoria optimizada a seguir por dicho vehículo de trabajo; en donde dicha trayectoria optimizada se calcula basándose en dichas coordenadas proporcionadas en la etapa a) y b);
- donde dicho método implica realizar la siguiente etapa:
- 40 a) aproximar las coordenadas relativas a los límites de dicho campo que va a trabajarse a un polígono de límite; y en donde dicho sistema de soporte se configura para determinar la trayectoria a seguir, basándose en esa aproximación,
- caracterizado por que el método implica realizar las siguientes etapas adicionales:
- 45 b) aproximar las coordenadas relativas a los límites de cada uno de dichos uno o más obstáculos, si los hay, a los respectivos polígonos de obstáculos; y en donde dicho sistema de soporte se configura para determinar la trayectoria a seguir, basándose en esa aproximación;
- c) definir una o más cabeceras ubicadas inmediatamente dentro de dicho polígono de límite;
- d) con respecto a cada polígono de obstáculo, si está presente, definir una o más cabeceras que rodean dicho polígono de obstáculo;

- e) definir un área de trabajo que corresponda al área dentro de dicho polígono de límite con la exclusión del área correspondiente a cualquier cabecera y con la exclusión del área correspondiente a cualquier polígono de obstáculo;
- 5 f) con respecto a la orientación de uno o más lados de las cabeceras, definir una serie de hileras de trabajo paralelas ubicadas dentro de dicha área de trabajo;
- g) definir varias hileras de malezas, en donde una hilera de malezas es una cabecera que comprende al menos parte de un área de malezas distinta, o una hilera de trabajo que comprende al menos parte de un área de malezas distinta;
- 10 h) con respecto a una o más series de hileras de trabajo paralelas definidas en la etapa f), definir una serie de posibles caminos de conducción continua al conectar entidades separadas, en donde dichas entidades separadas son cabeceras, o partes de una cabecera, e hileras de trabajo, o partes de una hilera de trabajo; para definir posibles trayectorias de conducción continua; en donde cada una de dichas posibles trayectorias de conducción continua comprende todas las hileras de maleza;
- 15 i) con respecto a cada una de dichos posibles caminos de conducción continua definidos en la etapa h), calcular un parámetro de coste asociado, siendo dicho parámetro de coste calculado representativo de la eficiencia al seguir ese camino de conducción continua específica;
- j) seleccionar como trayectoria a seguir, la trayectoria de conducción continua específica que presenta la mayor eficiencia.
8. Un método según la reivindicación 7, en donde la etapa a) implica además proporcionar
- 20 iii) coordenadas relativas a las posibles puertas de entrada/salida del campo; y/o
- iv) coordenadas relativas a los límites de uno o más obstáculos a evitar por dicho vehículo de trabajo; en donde dichos uno o más obstáculos se ubican dentro de dicho campo.
9. Un método según la reivindicación 7 u 8, en donde dicha trayectoria optimizada es una trayectoria optimizada en términos de tiempo operativo total para trabajar el campo; tiempo productivo total para trabajar el campo; consumo total de combustible para trabajar el campo; distancia total no laborable para trabajar el campo; distancia total recorrida dos veces o más; distancia total recorrida a través de áreas de cultivos sin maleza; área total cubierta dos veces o más; y/o
- 25 en donde dicho método implica encontrar varias trayectorias candidatas; calcular con respecto a cada trayectoria candidata, un parámetro de eficiencia; y sugerir a un usuario, esa trayectoria candidata específica, que exhibe el parámetro de eficiencia más alto.
- 30 10. Un método según cualquiera de las reivindicaciones 7 - 9, en donde dicho uno o más parámetros de capacidad se seleccionan del grupo que comprende: anchura de trabajo efectiva del vehículo de trabajo o del implemento de trabajo, carga del vehículo de trabajo en función de la distancia recorrida, consumo de combustible en función de la distancia recorrida, radio de giro mínimo del vehículo o implemento o ambos.
- 35 11. Un método según cualquiera de las reivindicaciones 7 - 10, en donde dicho método implica definir varios posibles caminos conducidos continuos, comprendiendo cada uno una secuencia de segmentos de línea recta y segmentos de línea arqueada.
12. Un método según cualquiera de las reivindicaciones 7 - 11, en donde dicho método se realiza utilizando un sistema de soporte según cualquiera de las reivindicaciones 1 - 6; y o
- 40 en donde dicho método es seguido por desmalezar dicho campo o parte de dicho campo utilizando un implemento de desmalezado y siguiendo dicha trayectoria optimizada.
13. Un producto de programa informático, el cual cuando funciona en un ordenador, que se adapta para realizar el método según cualquiera de las reivindicaciones 7 - 12.
- 45 14. Un vehículo de trabajo agrícola que comprende un sistema de soporte según cualquiera de las reivindicaciones 1 - 6.
15. Uso de un sistema de soporte según cualquiera de las reivindicaciones 1 - 6 o de un producto de programa informático según la reivindicación 13 o de un vehículo de trabajo agrícola según la reivindicación 14 para optimizar una trayectoria a seguir por dicho vehículo de trabajo cuando trabaja en un campo.

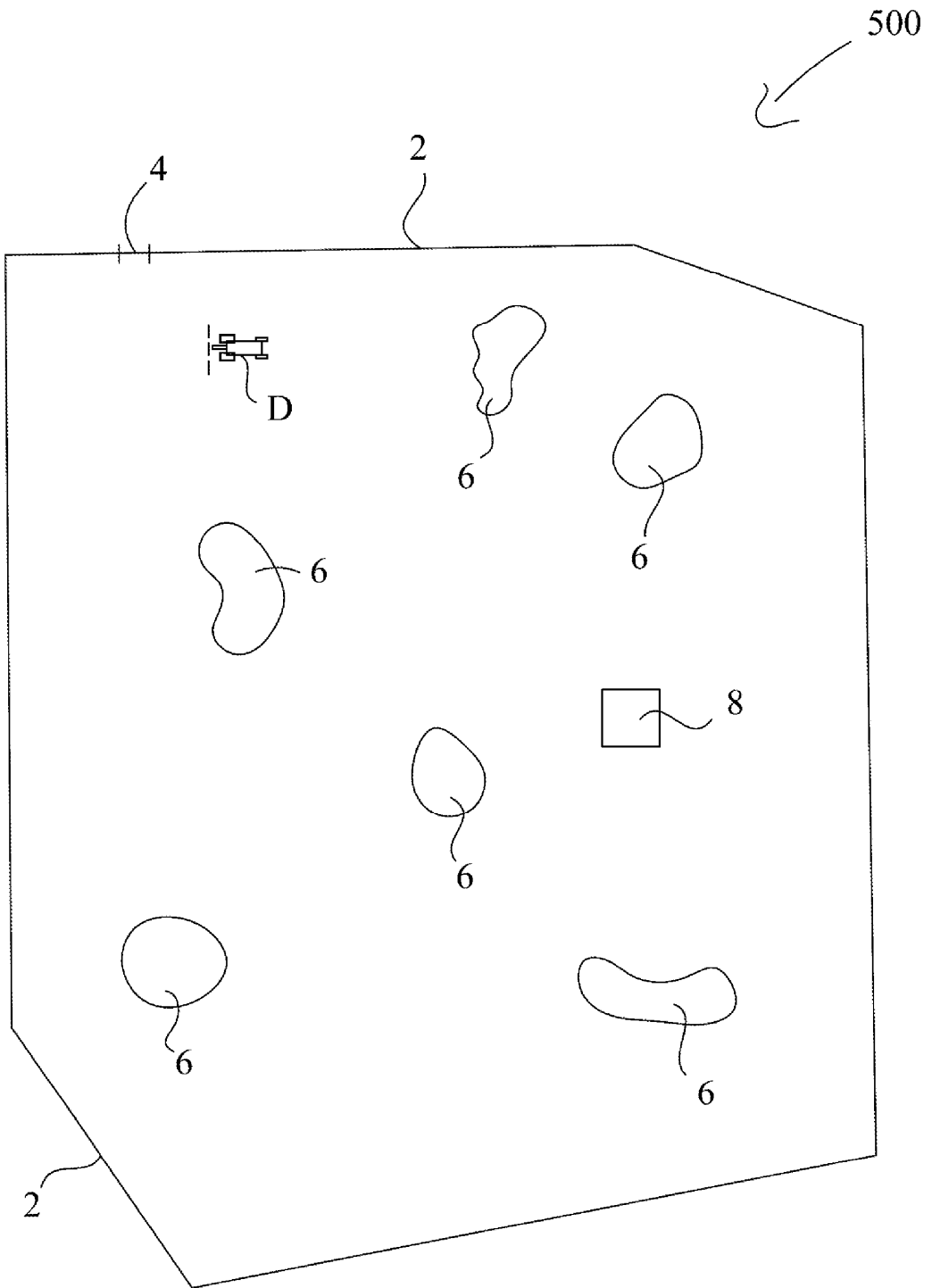


Fig. 1

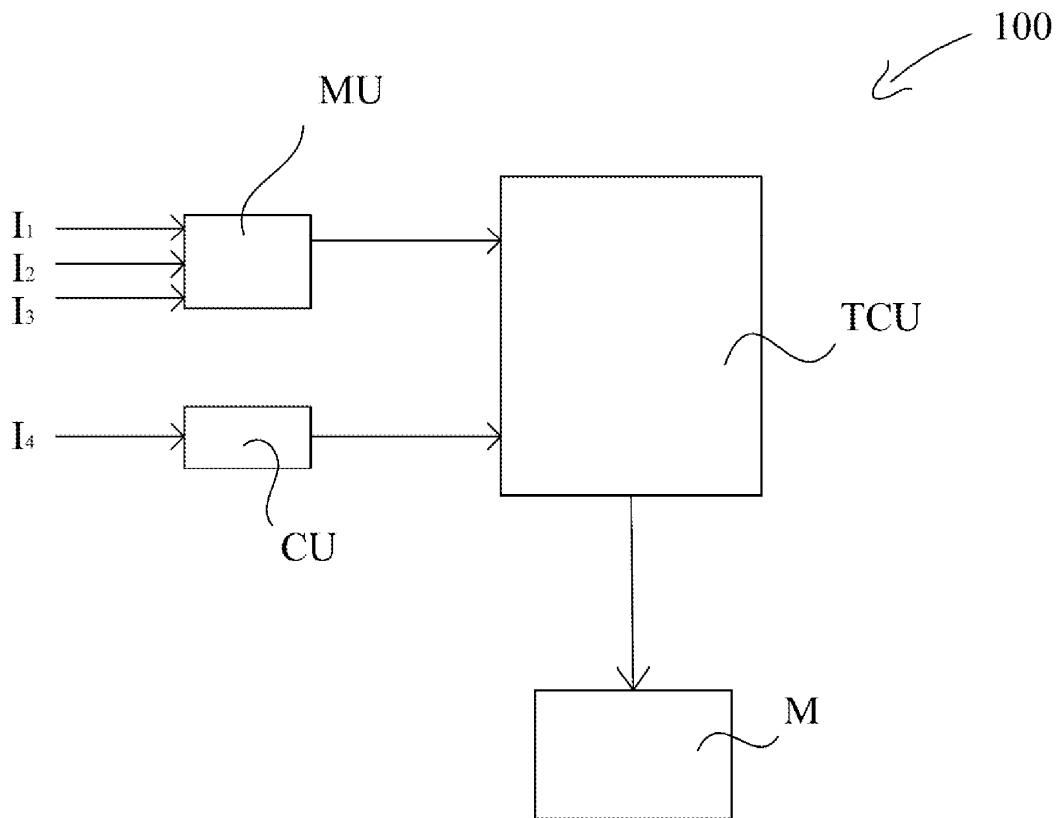


Fig. 2

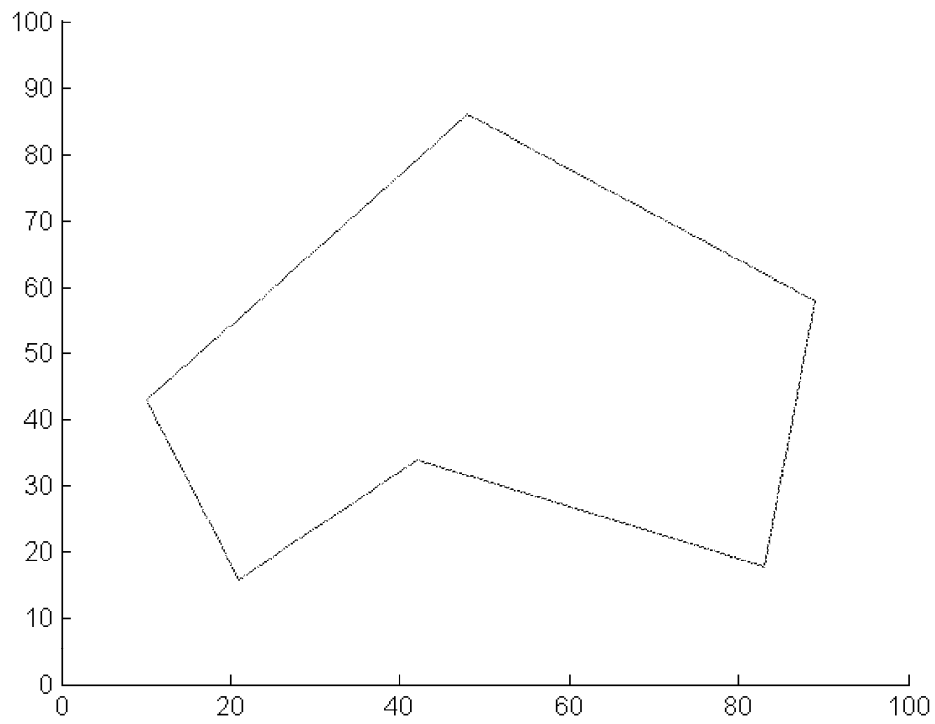


Fig. 3

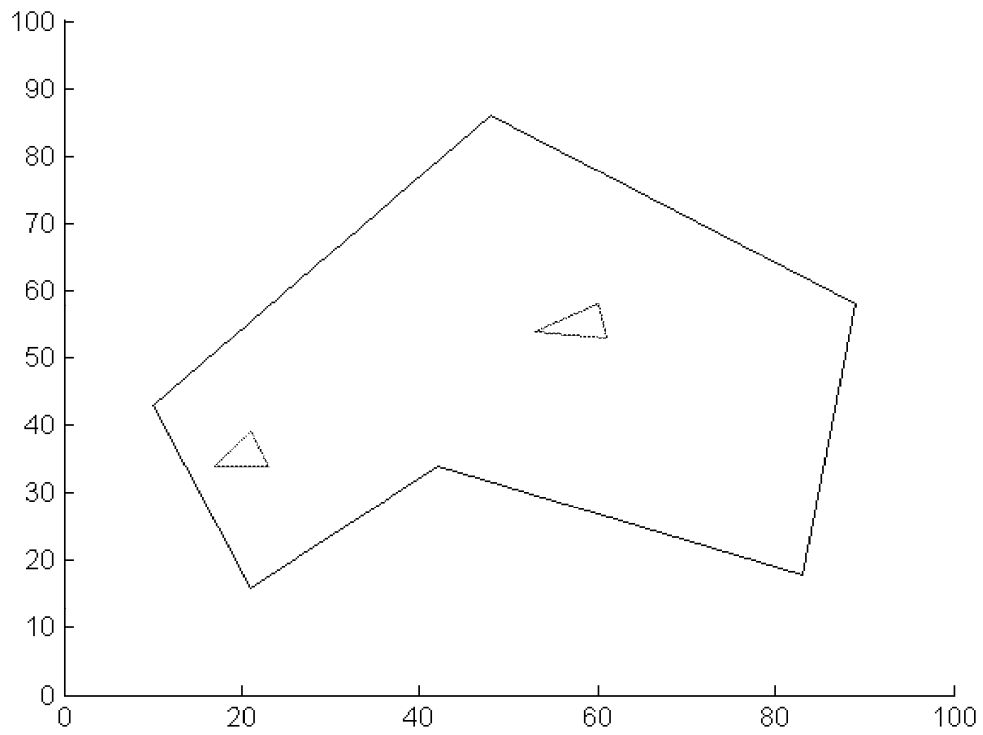


Fig. 4

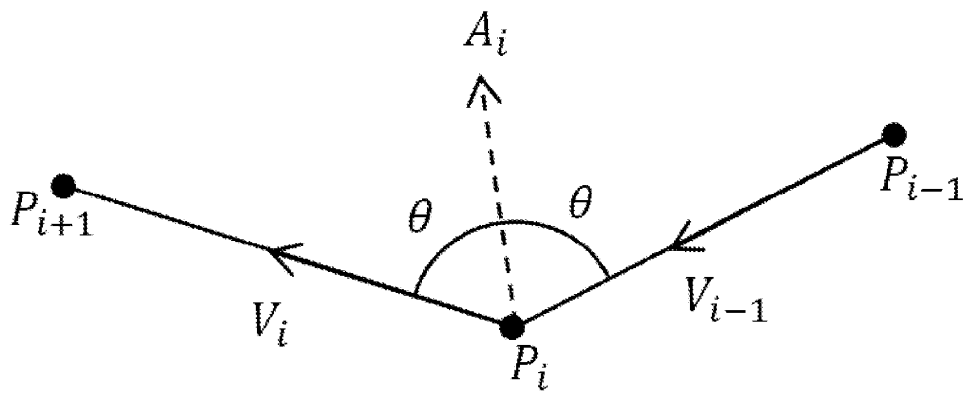


Fig. 5

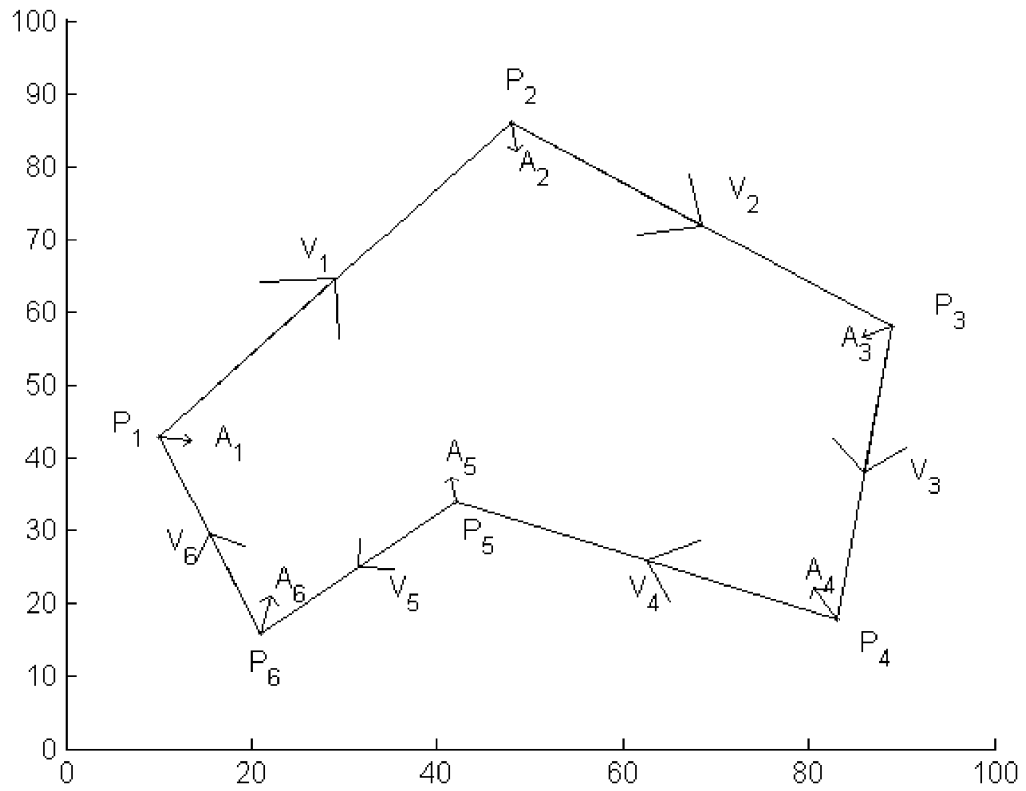


Fig. 6

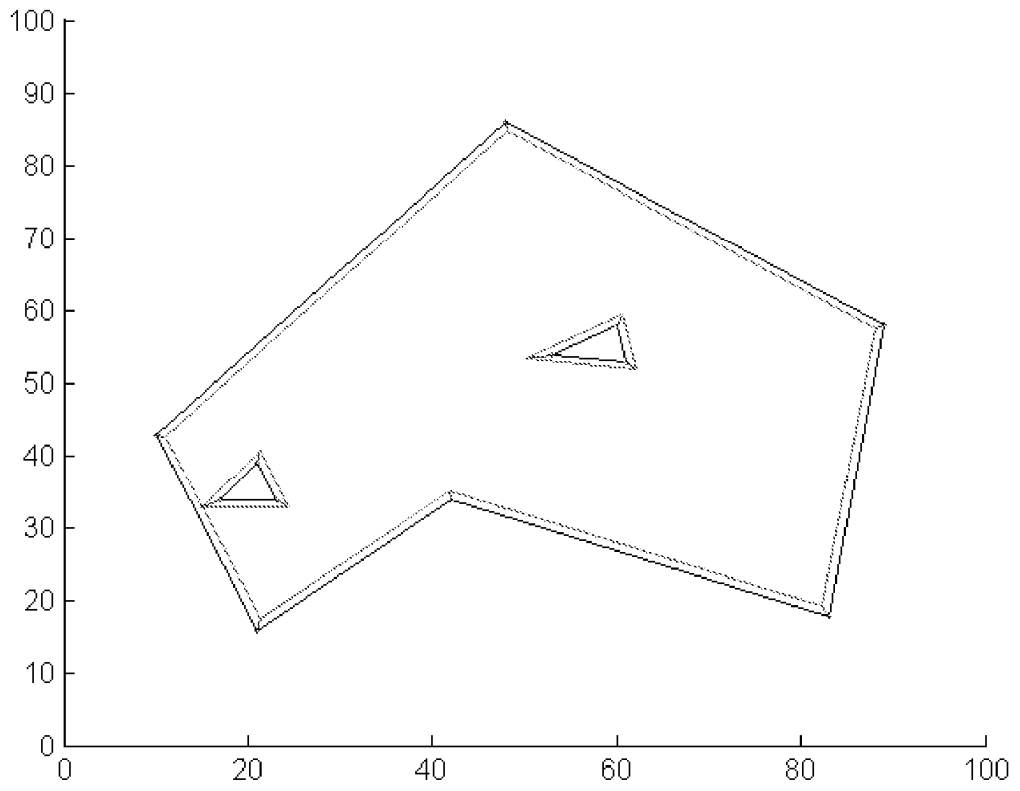


Fig. 7

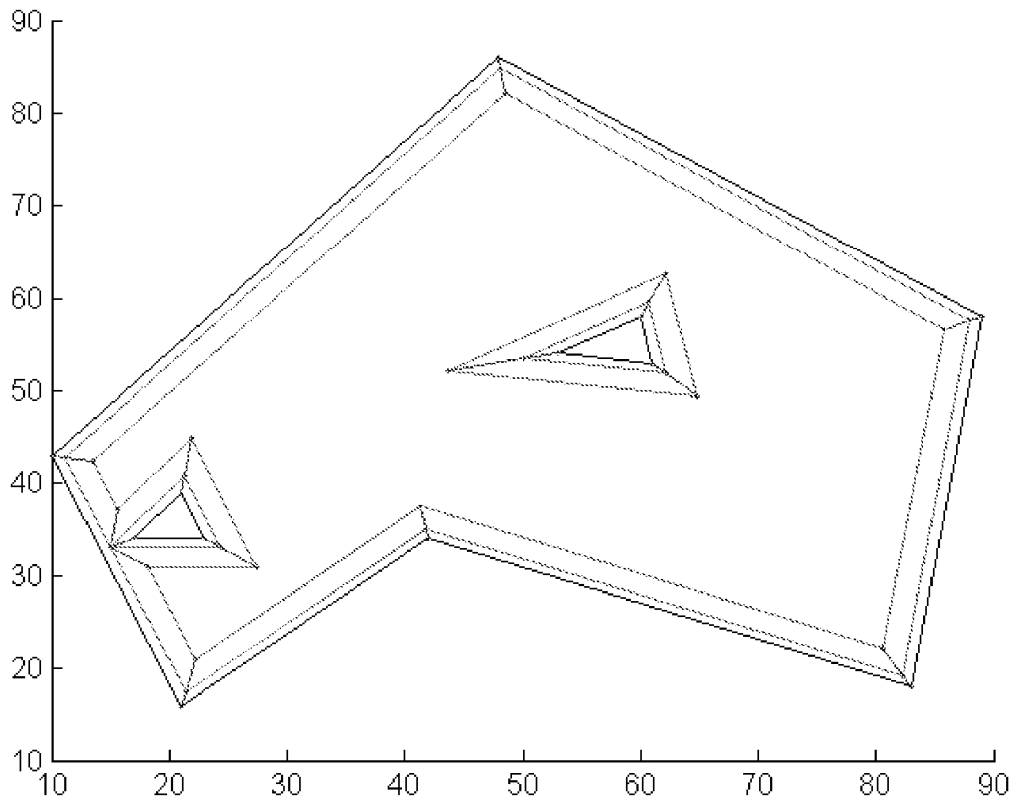


Fig. 8

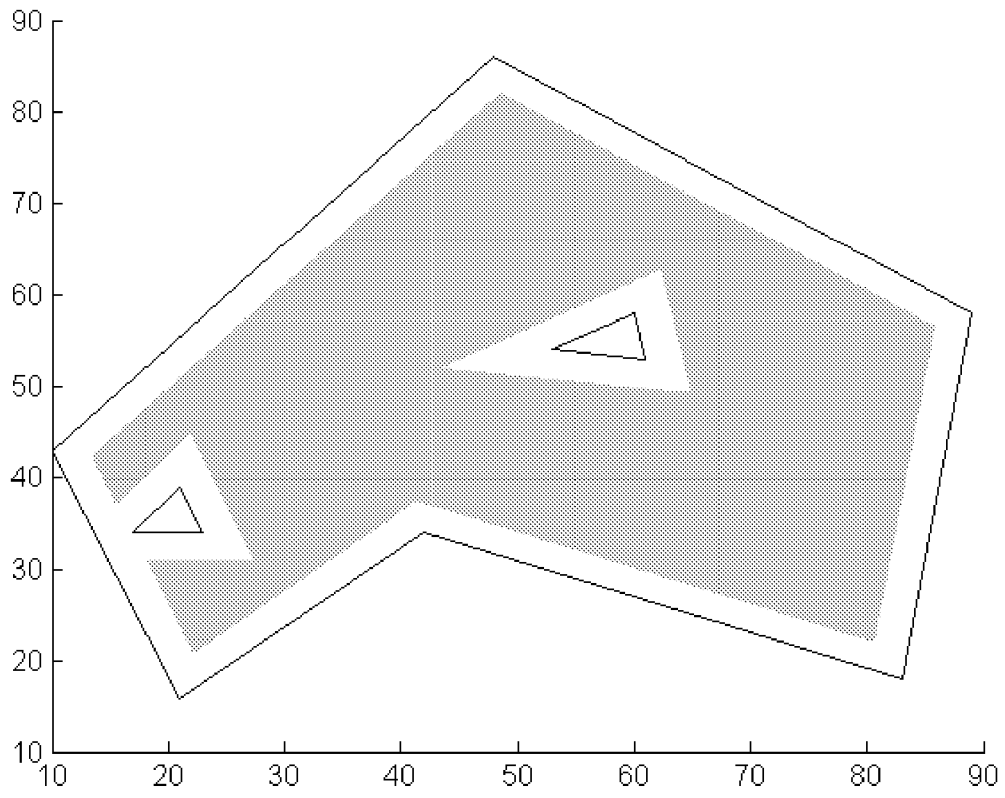


Fig. 9

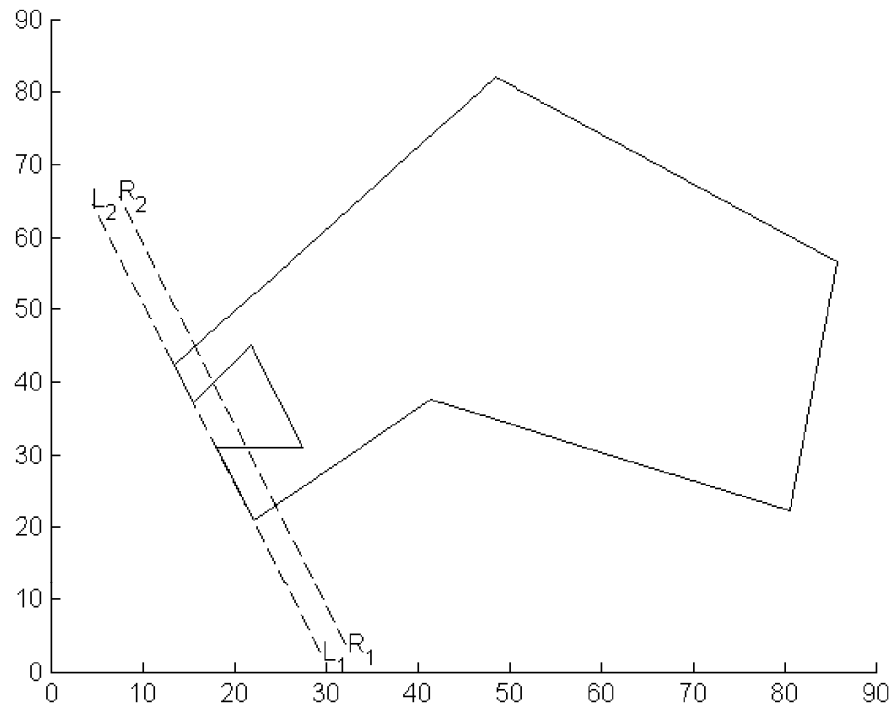


Fig. 10

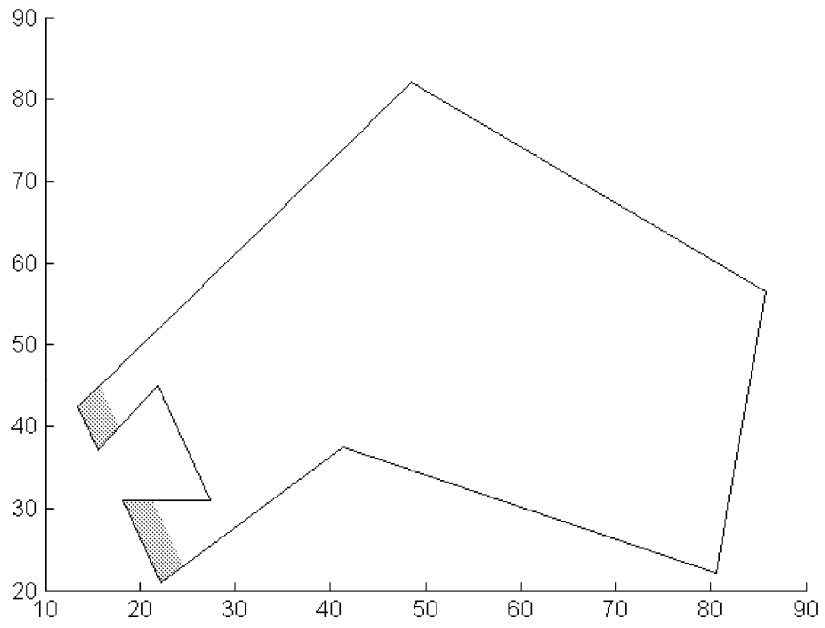


Fig. 11

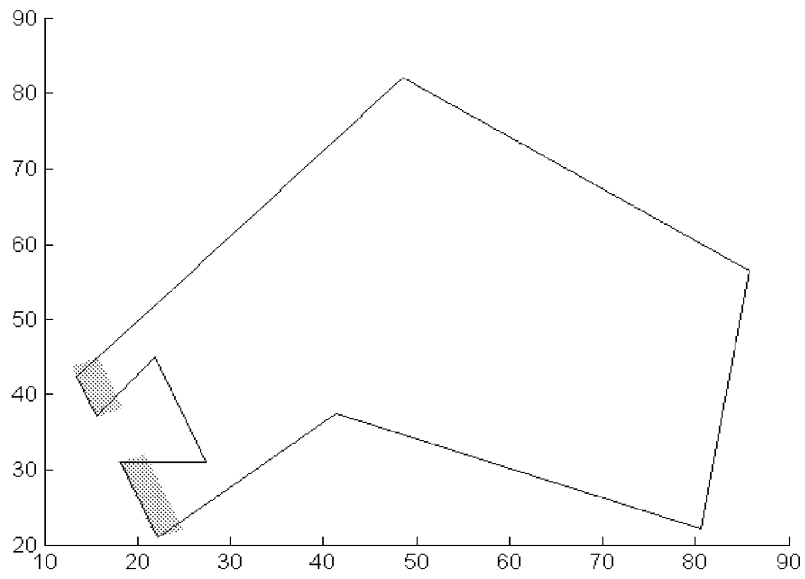


Fig. 12

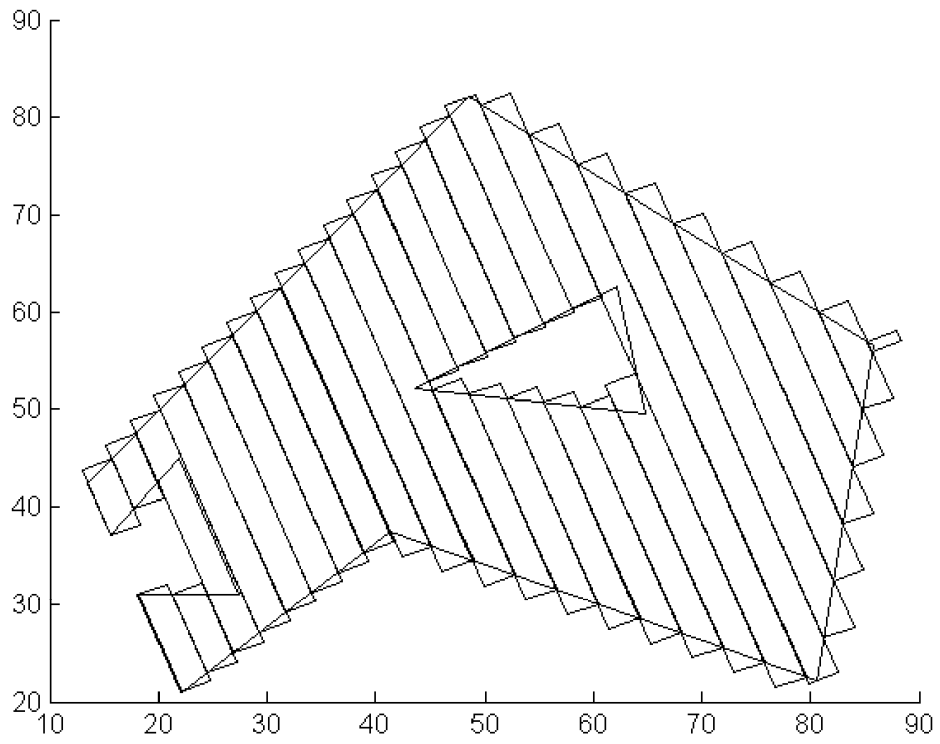


Fig. 13

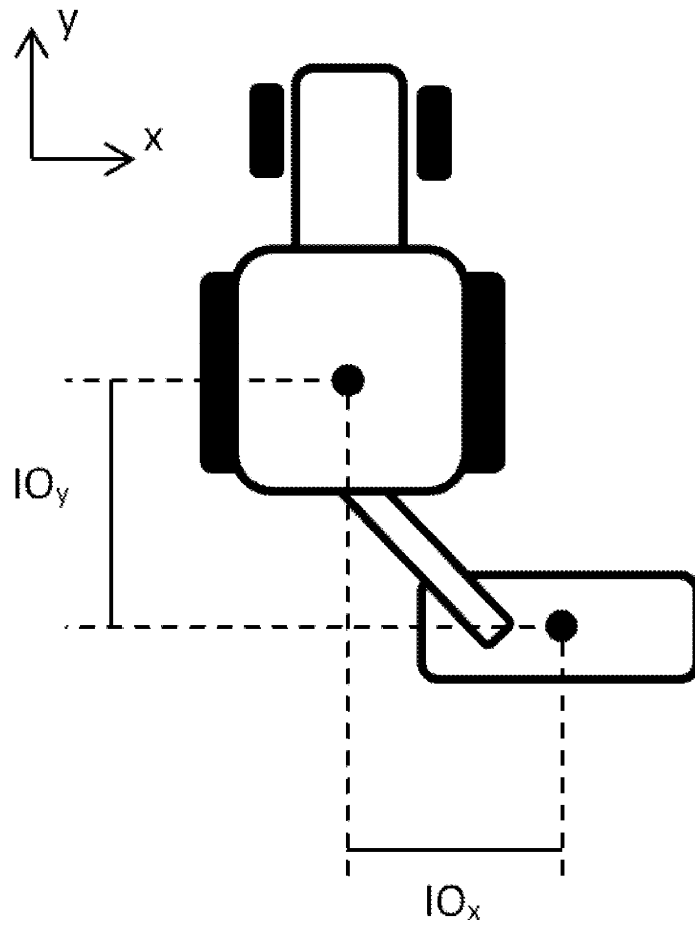


Fig. 14

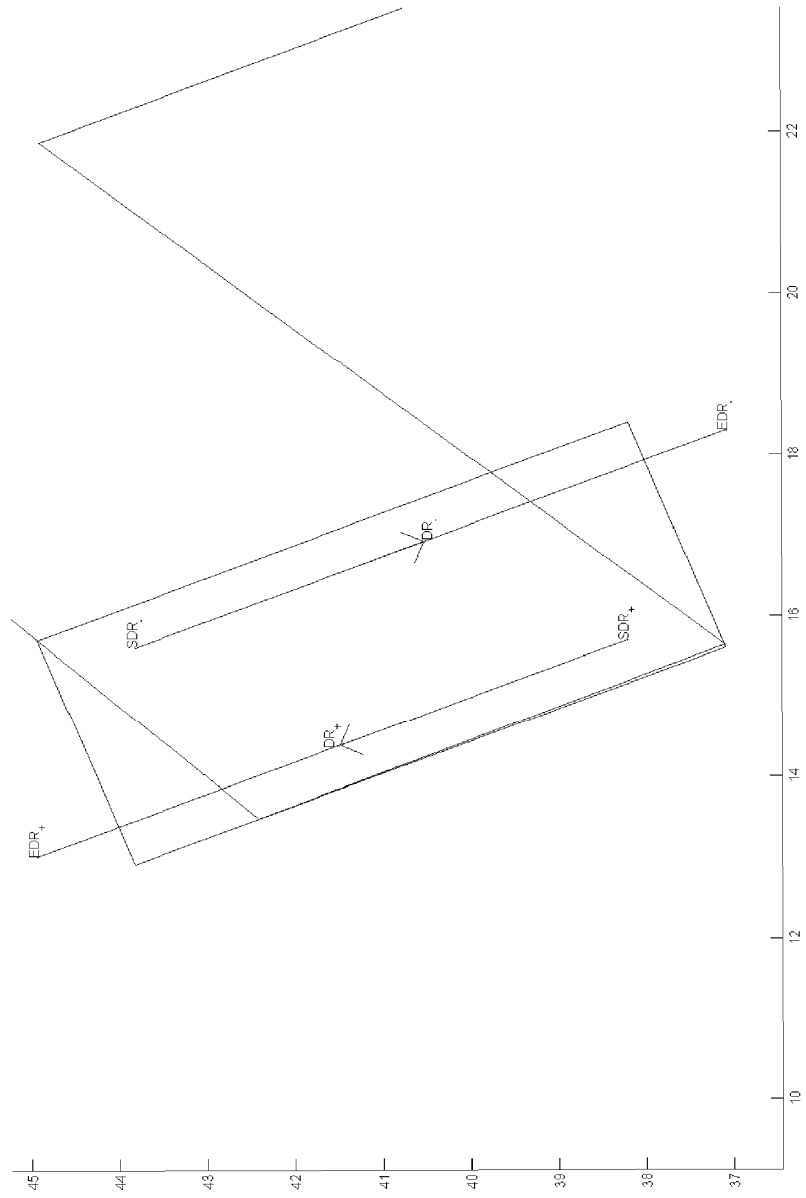


Fig. 15

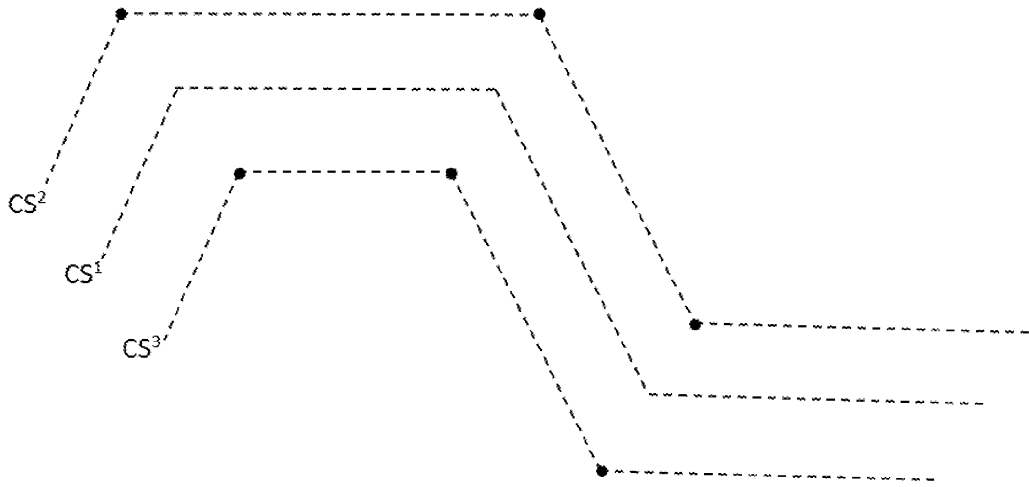


Fig. 16

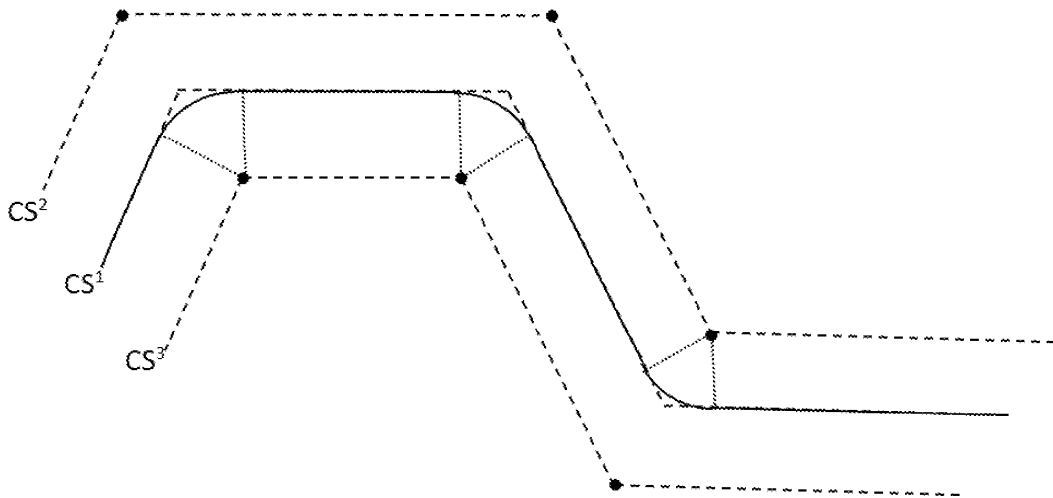


Fig. 17

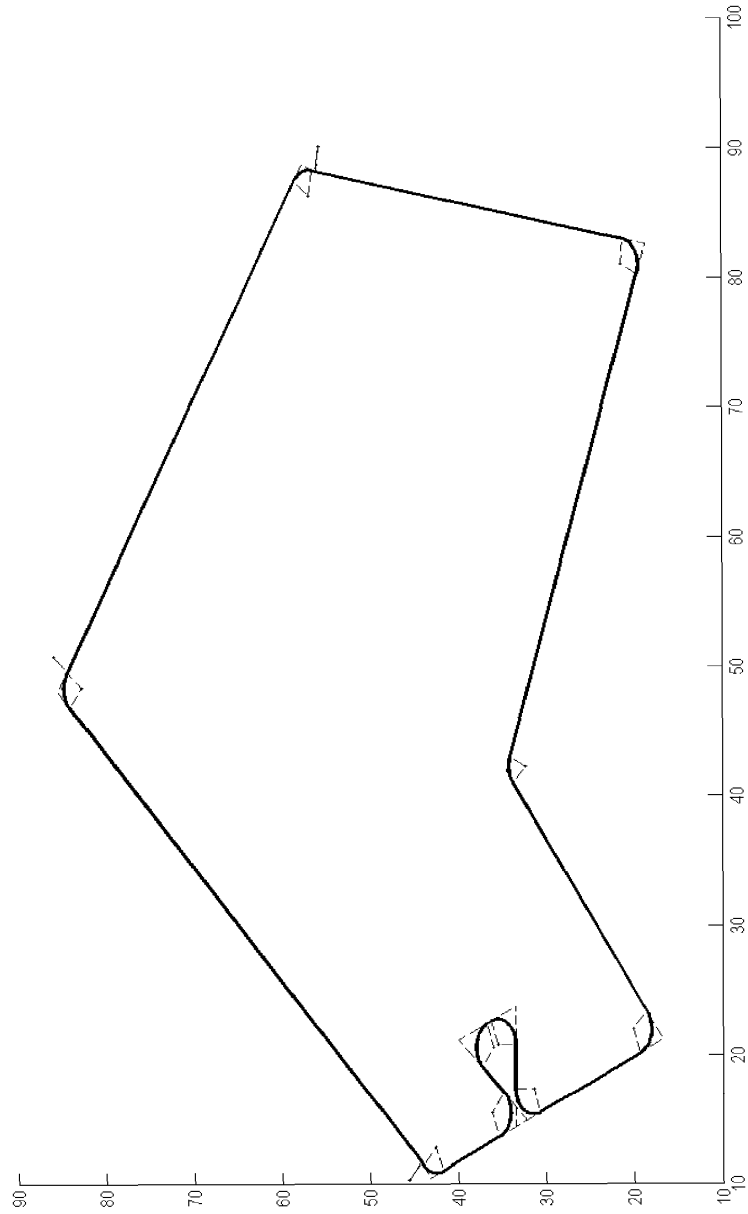


Fig. 18

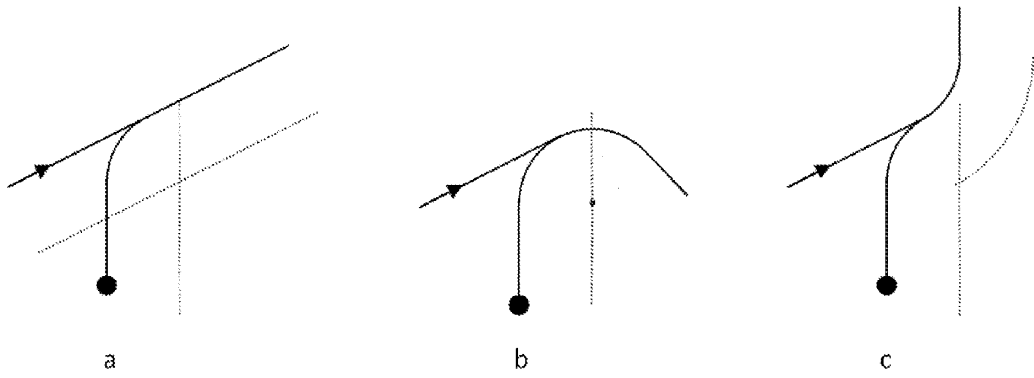


Fig. 19

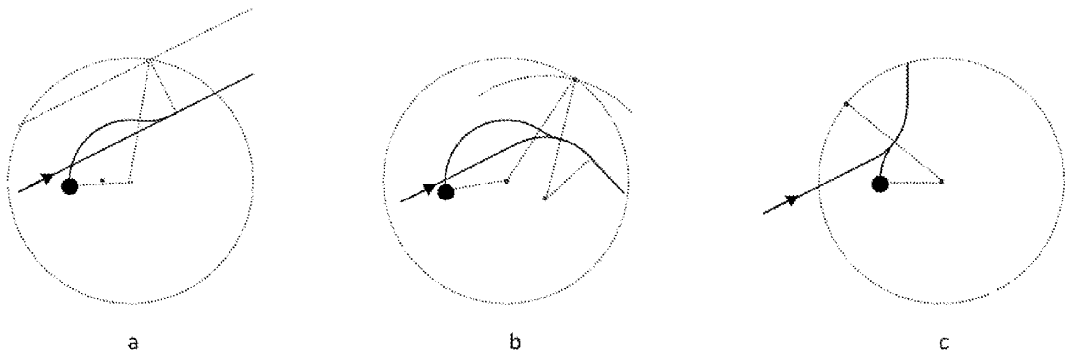


Fig. 20

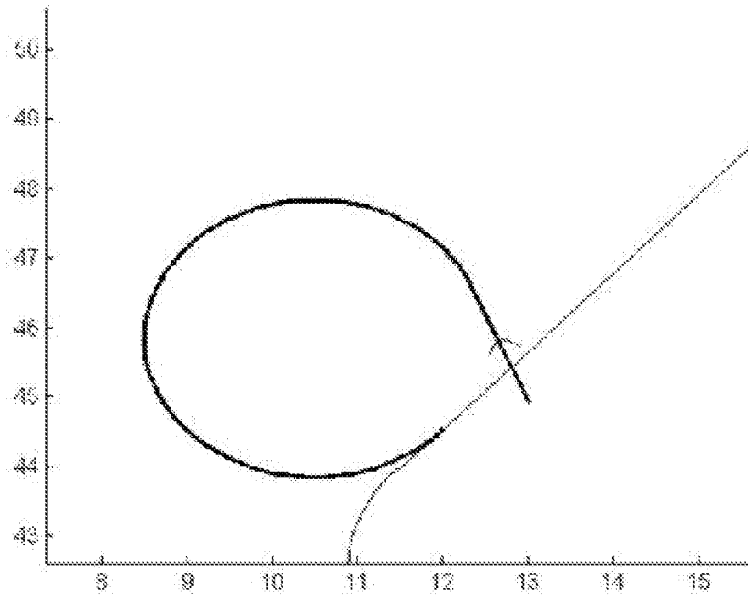


Fig. 21 a

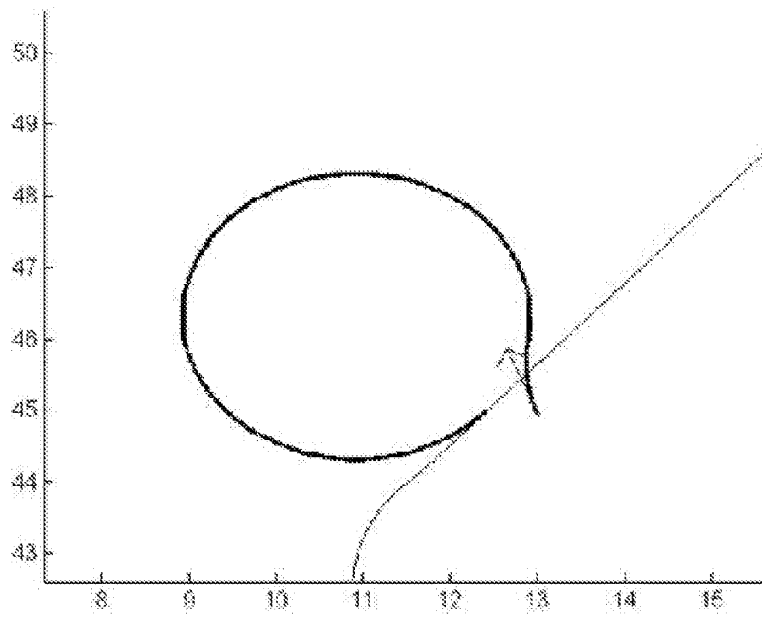
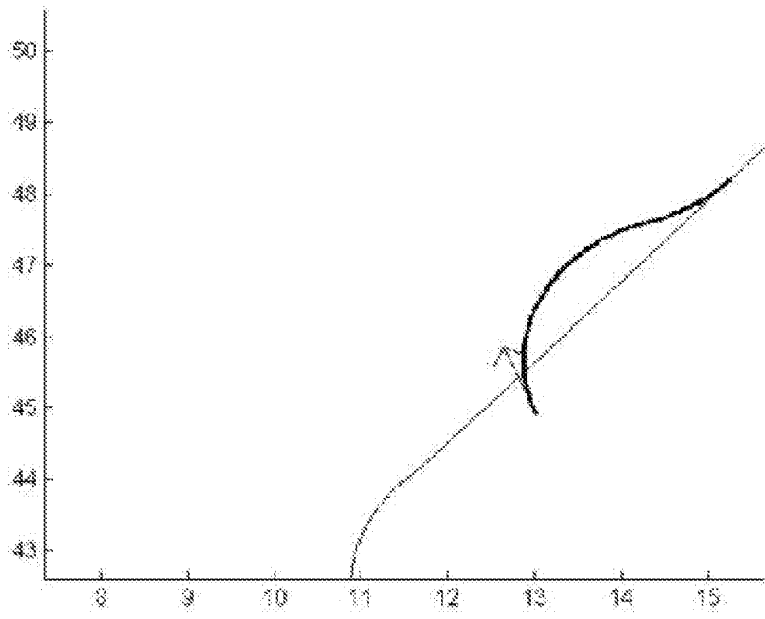


Fig. 21 b



C

Fig. 21

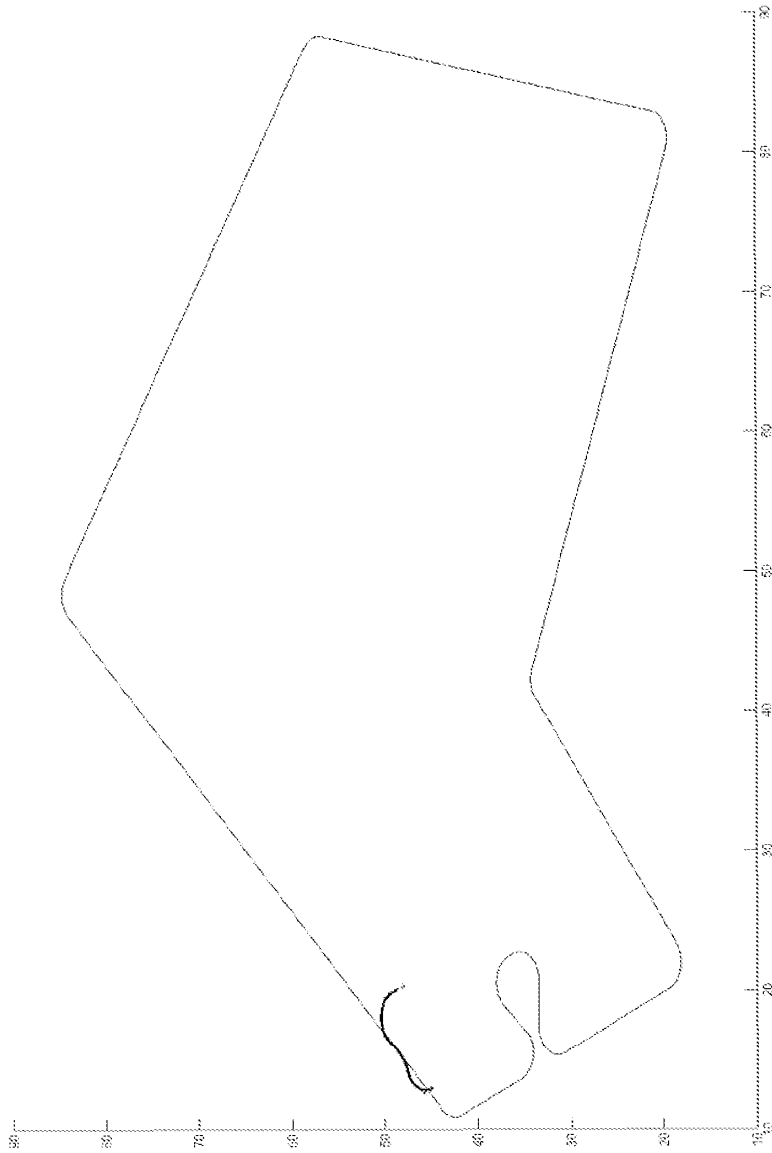


Fig. 22

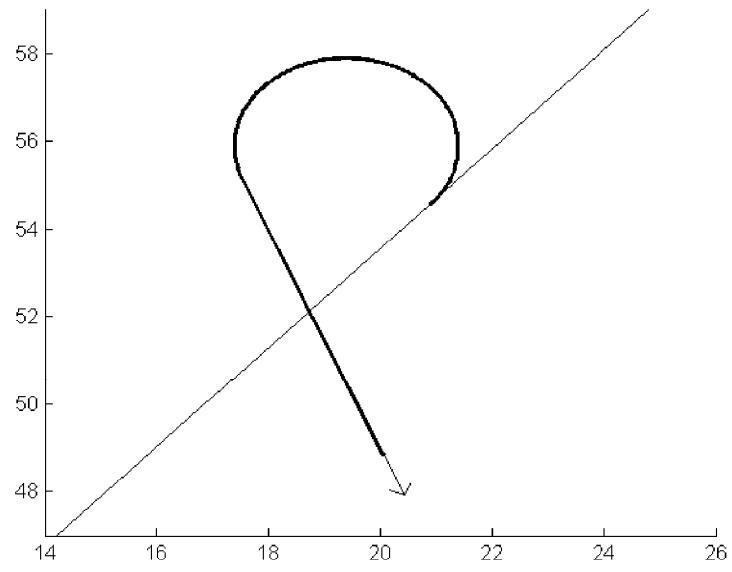


Fig. 23a

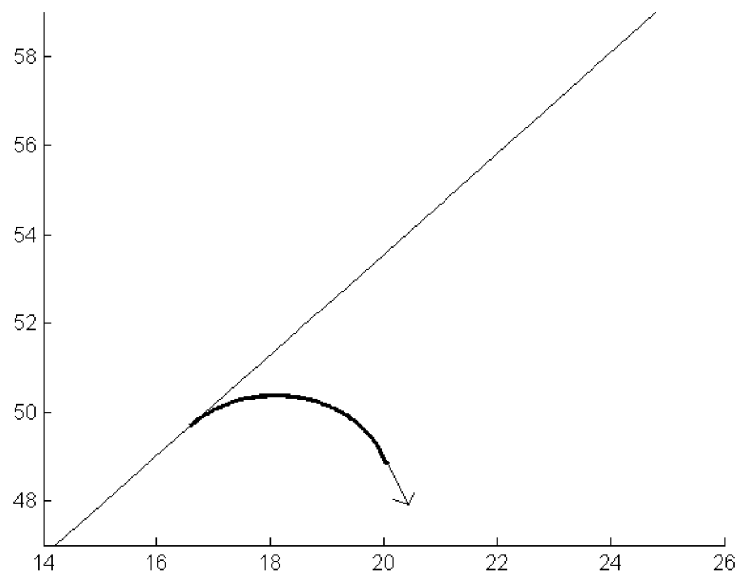


Fig. 23b

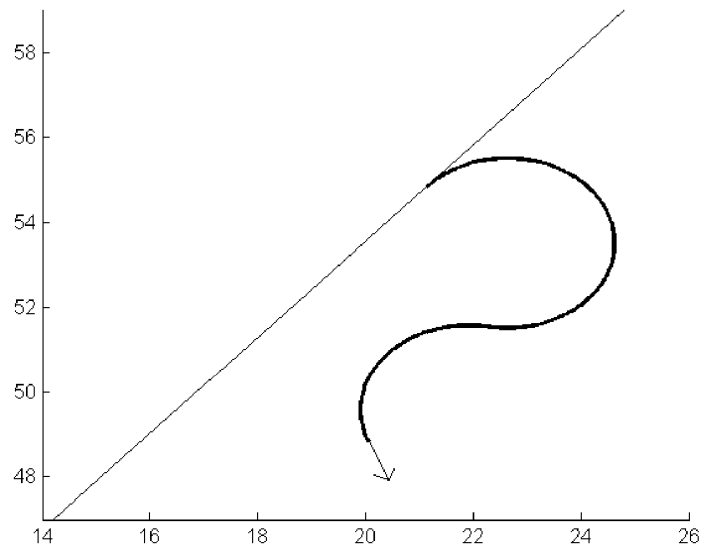


Fig. 23c

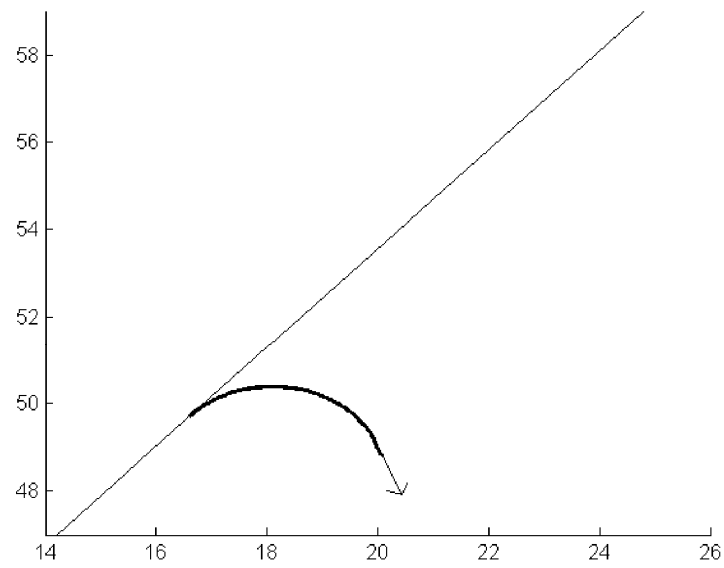


Fig. 23d

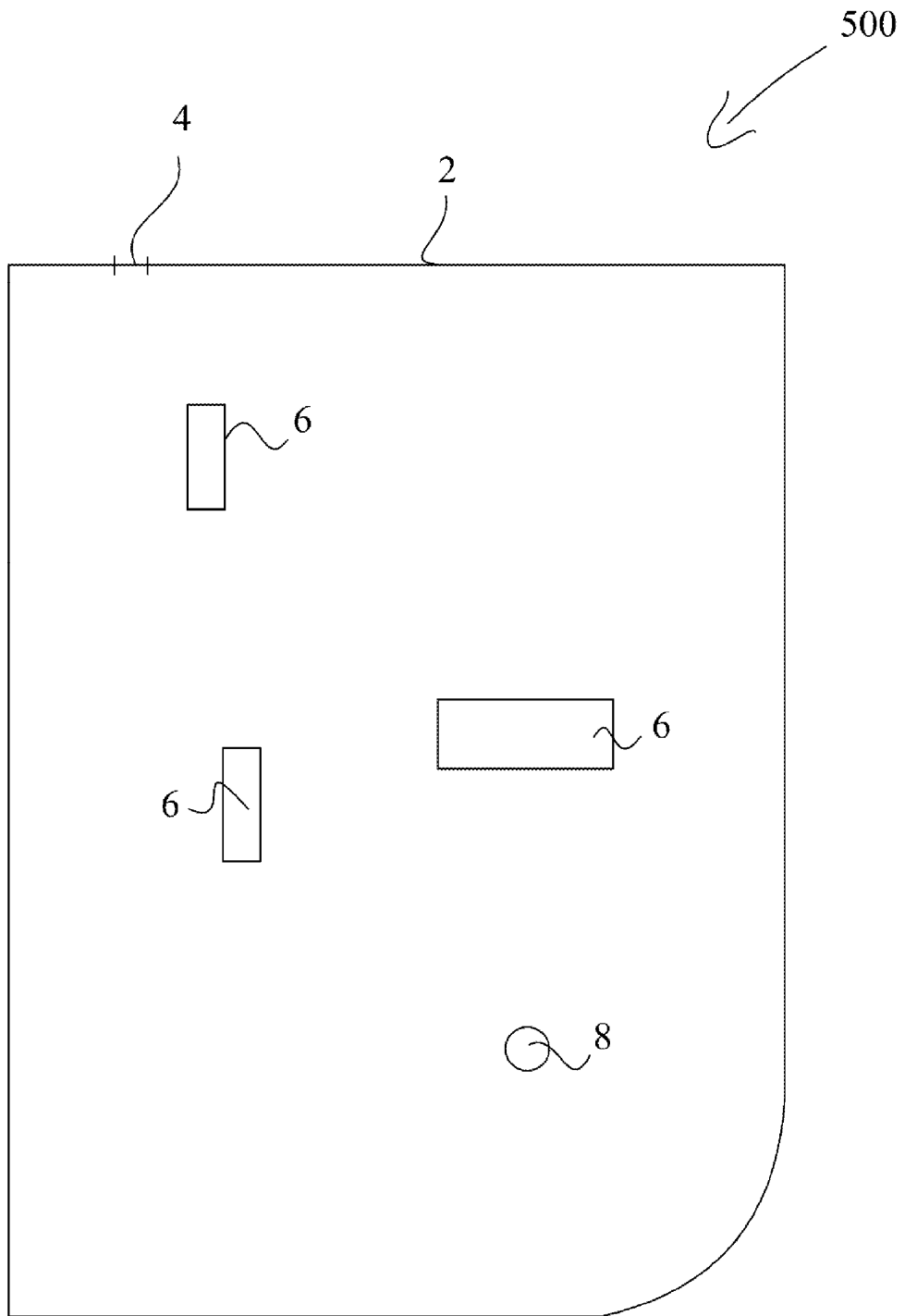


Fig. 24

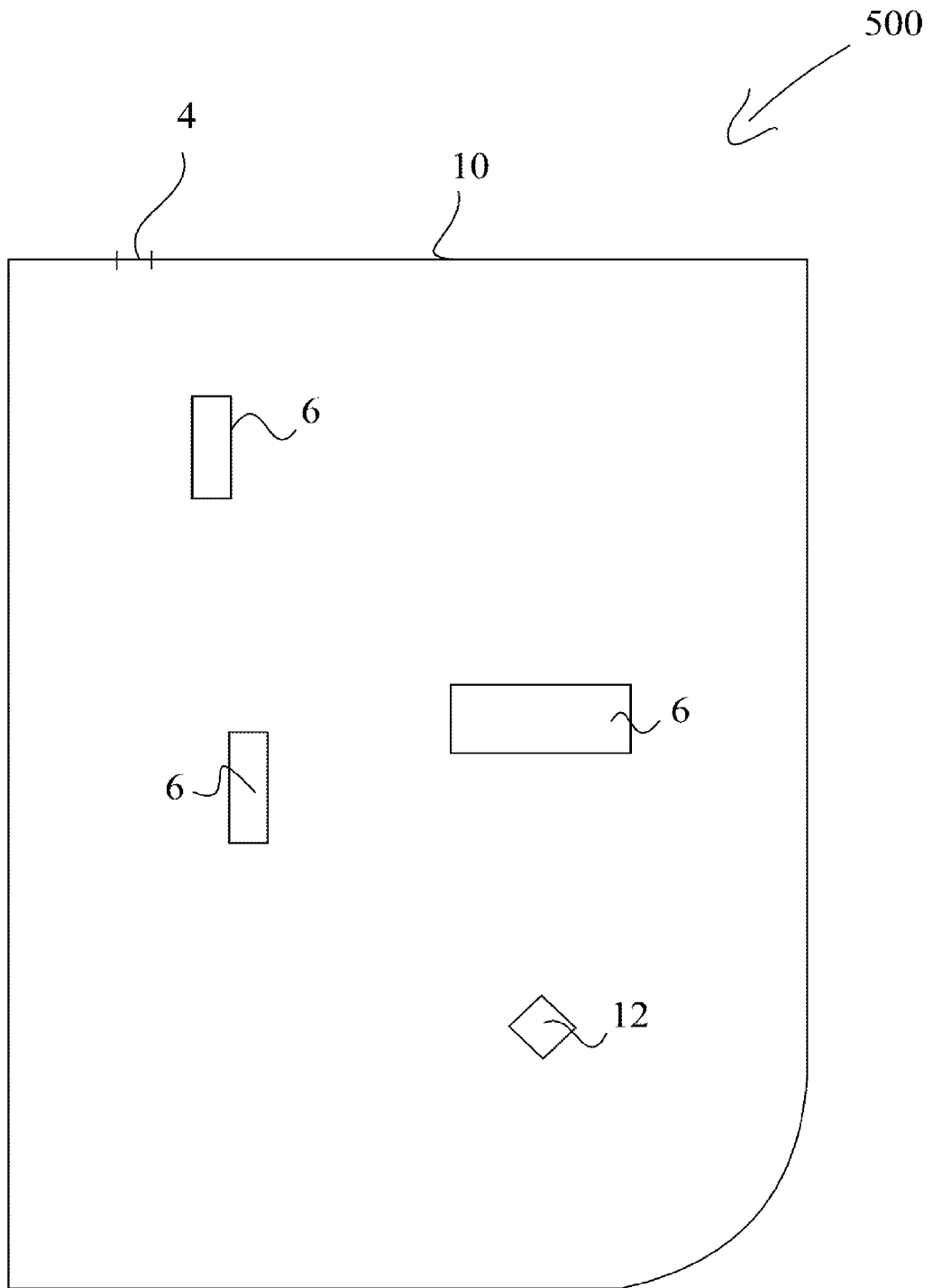
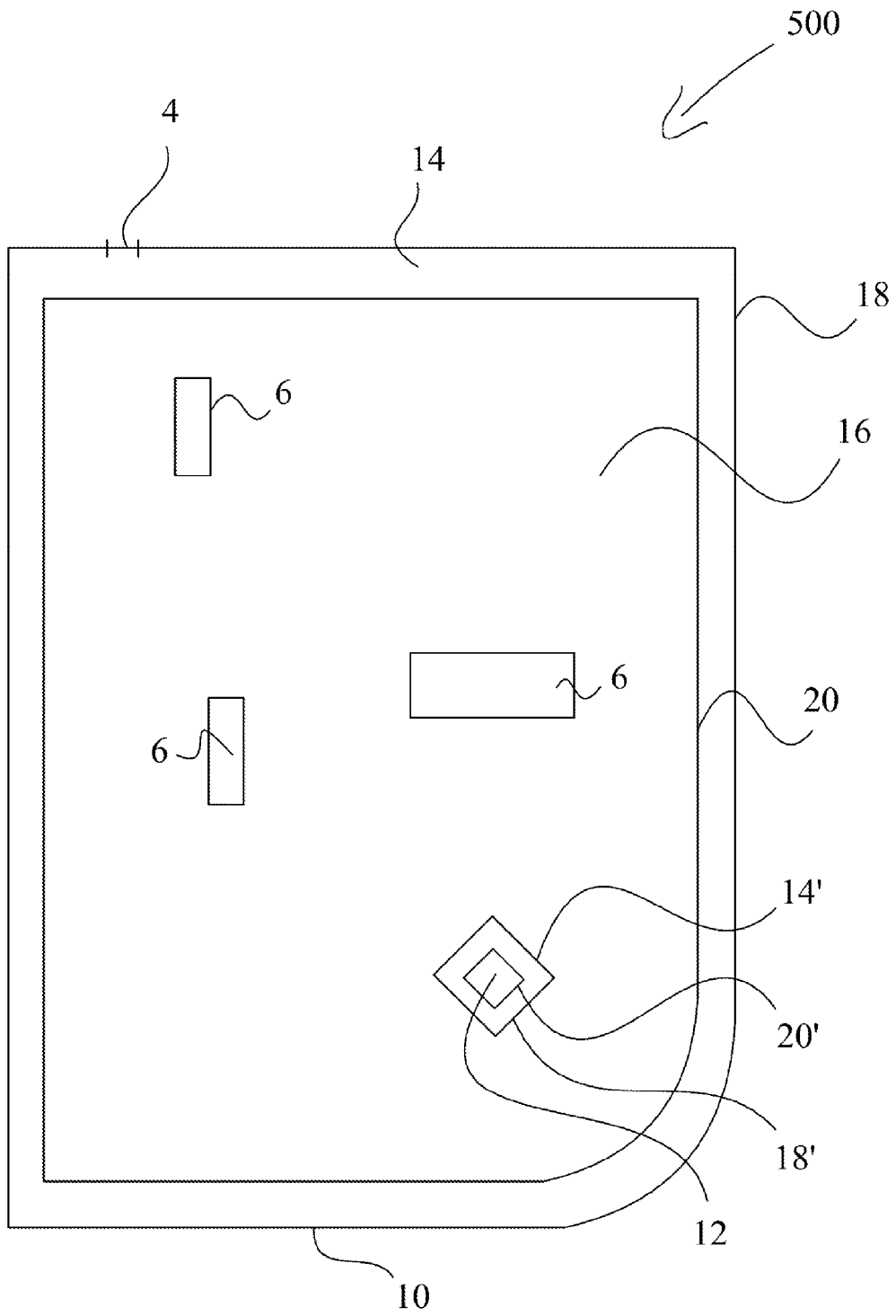


Fig. 25



10  
Fig. 26

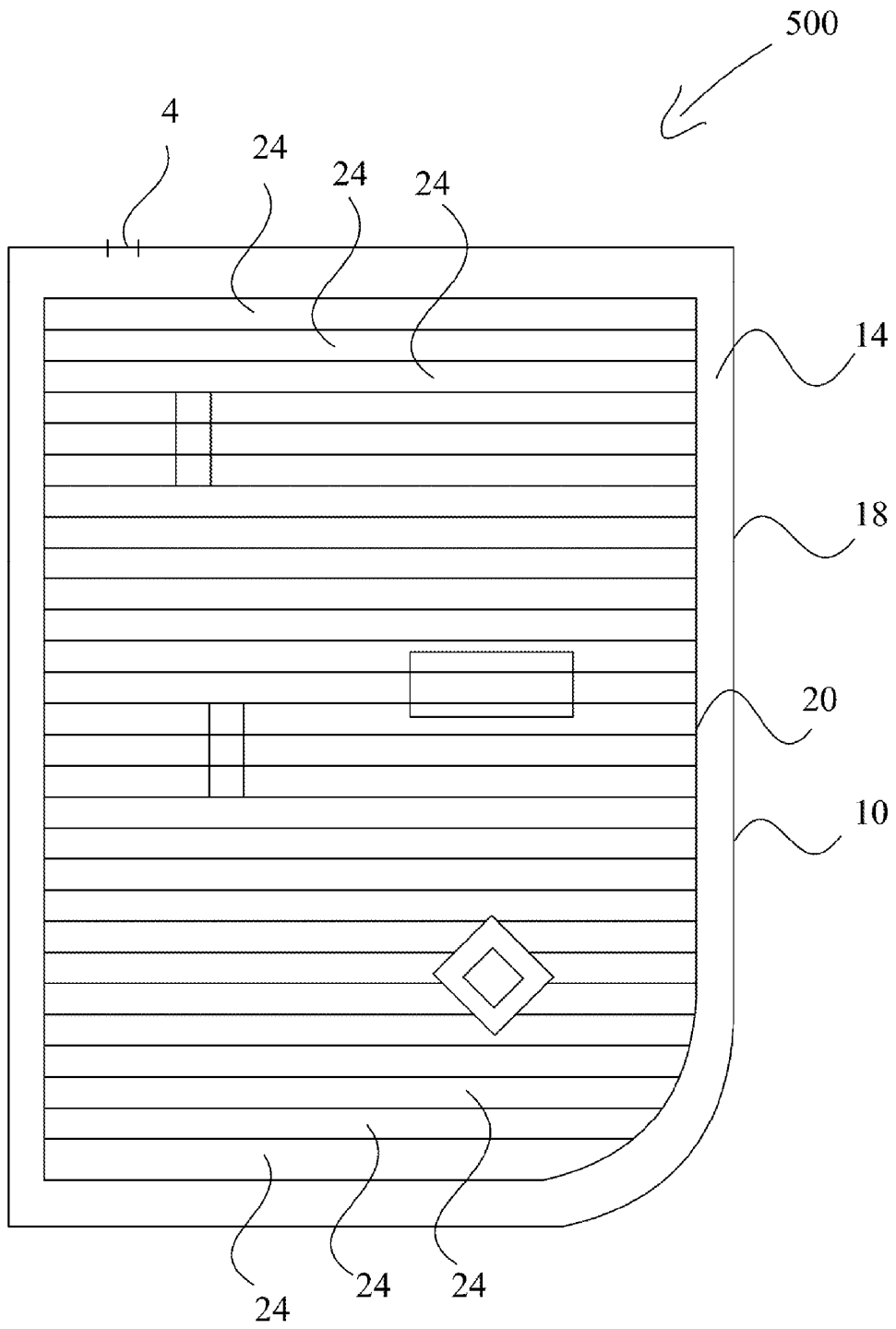


Fig. 27

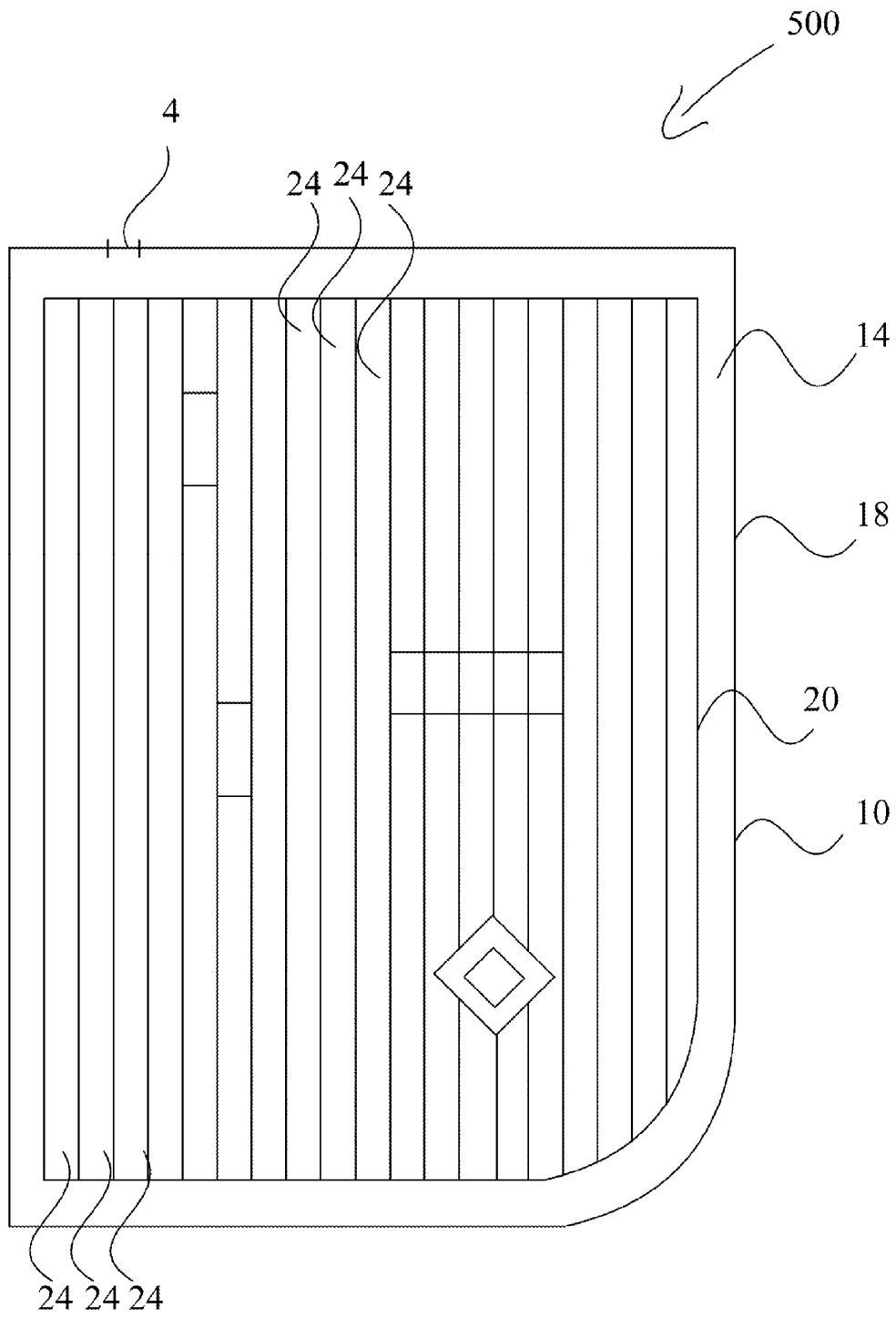


Fig. 28

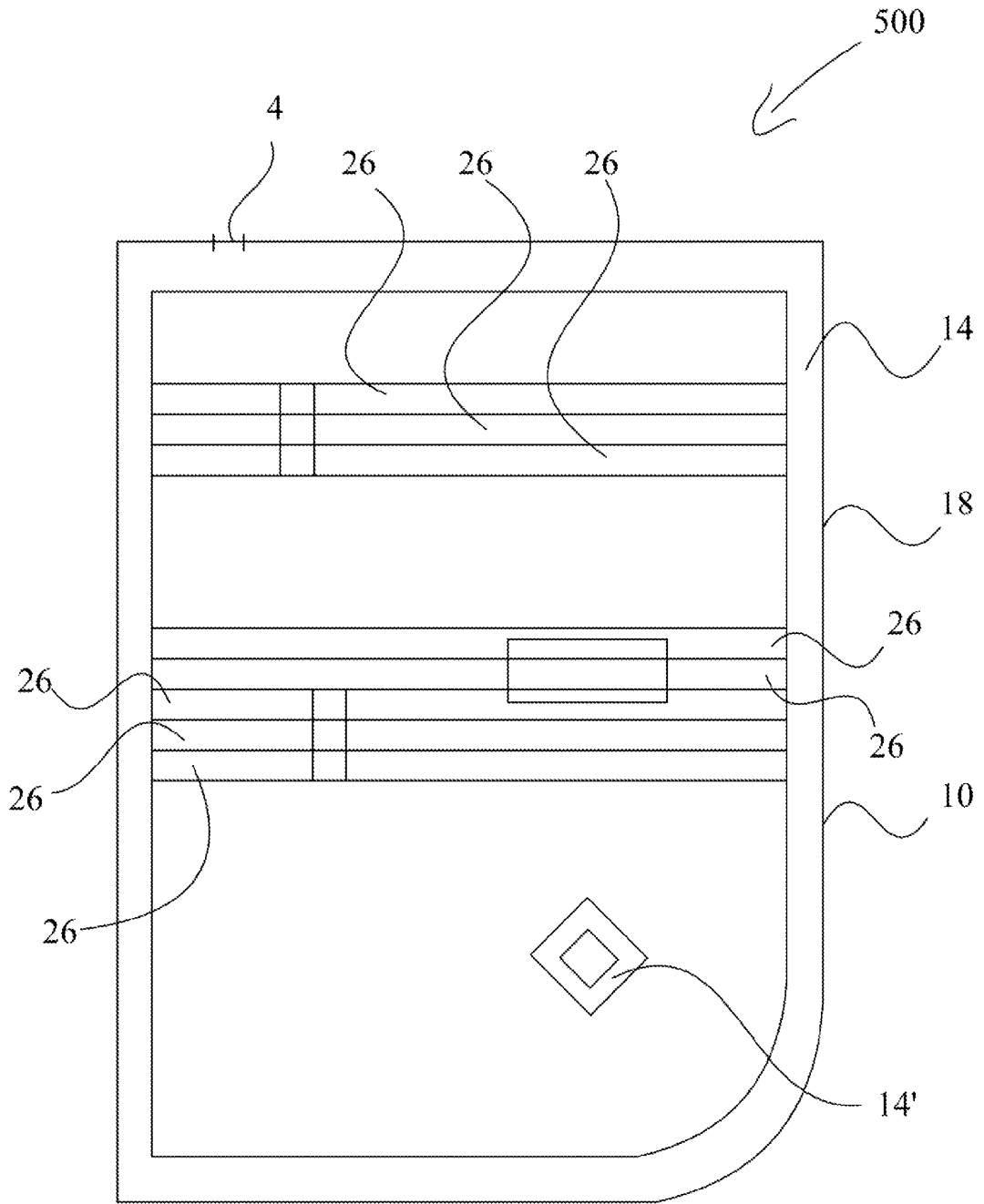


Fig. 29

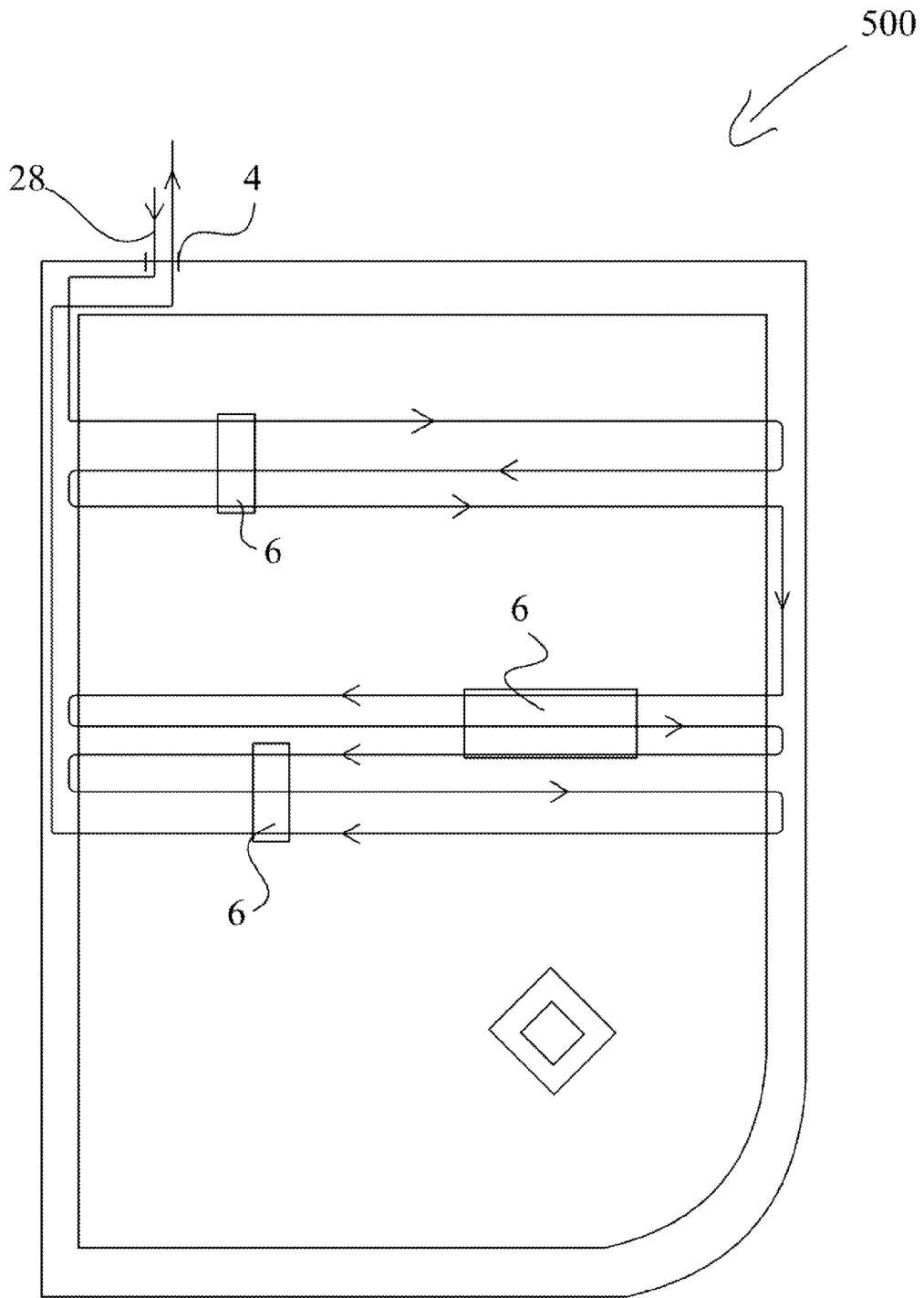


Fig. 30

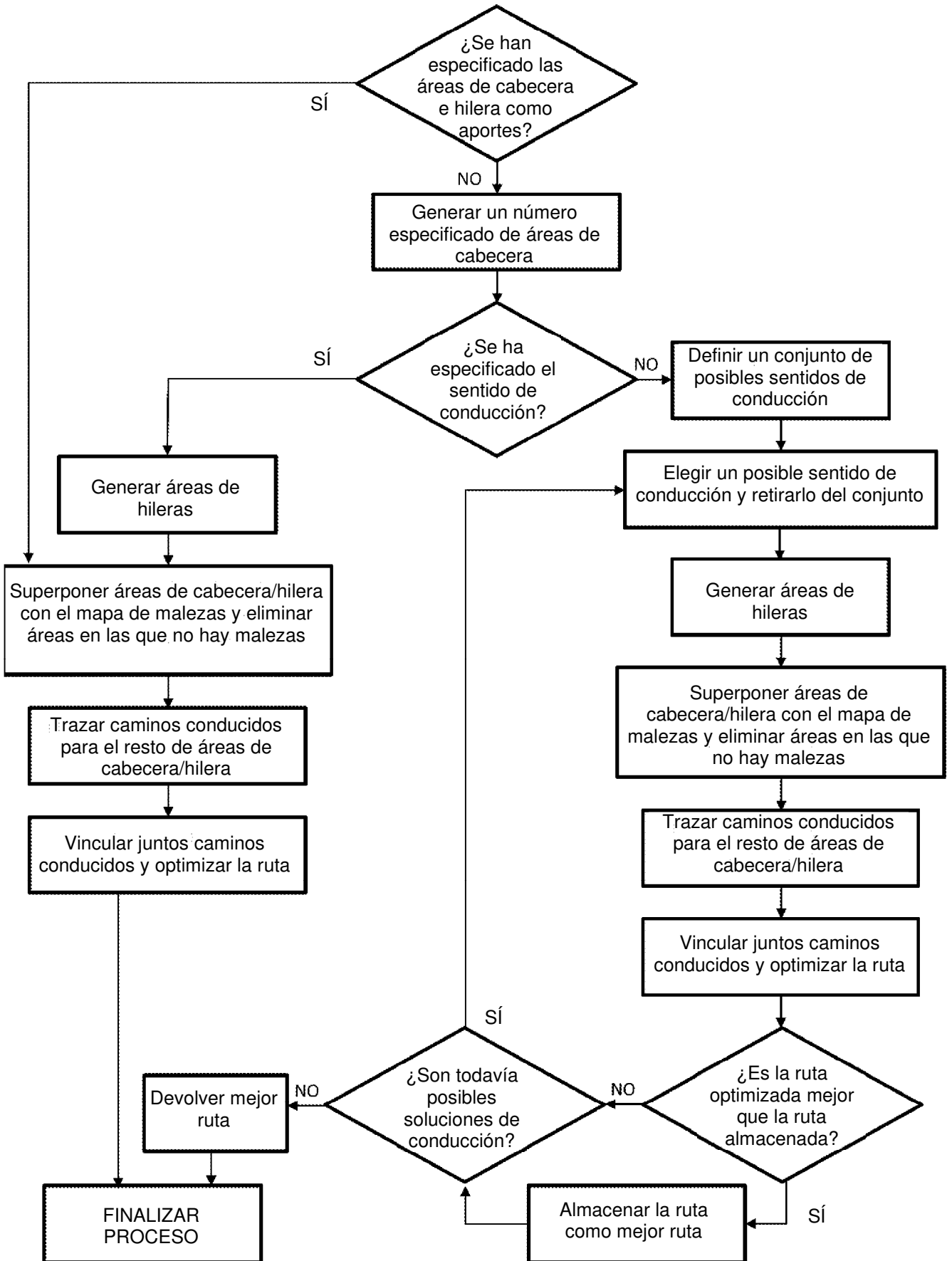


Fig. 31