

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **3 013 131**

51 Int. Cl.:

A01M 7/00 (2006.01)
A01B 79/00 (2006.01)
G06Q 50/02 (2014.01)
G06F 16/587 (2009.01)
G06T 7/11 (2007.01)
G06F 16/29 (2009.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **17.06.2021 PCT/IB2021/055345**
- 87 Fecha y número de publicación internacional: **23.12.2021 WO21255676**
- 96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **17.06.2021 E 21734524 (8)**
- 97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **20.11.2024 EP 4167736**

54 Título: **Un método para tratar selectivamente la vegetación en un campo**

30 Prioridad:

18.06.2020 AU 2020902018

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
11.04.2025

73 Titular/es:

**EXEL INDUSTRIES (100.00%)
54, rue Marcel Paul
51200 Epernay, FR**

72 Inventor/es:

**THOMPSON, HEATH, AARON;
SNOWBALL, ANDREW, DOUGLAS y
LOWE, DAVID, PAUL**

74 Agente/Representante:

CARVAJAL Y URQUIJO, Isabel

ES 3 013 131 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 método para tratar selectivamente la vegetación en un campo

5 Campo Técnico

La presente invención se refiere a un método para tratar selectivamente la vegetación en un campo con un aparato de tratamiento que está configurado para moverse en el campo y para tratar la vegetación en el campo. En particular, el método incluye determinar una ubicación de la vegetación objetivo en el campo y hacer que el aparato de tratamiento, tal como un pulverizador, se mueva a la vegetación objetivo en el campo y trate la vegetación objetivo en el campo con un aplicador de tratamiento dispuesto en el aparato de tratamiento.

Antecedentes de la invención

15 El control de malezas y otros tipos de vegetación en los campos, tal como las empresas agrícolas de gran superficie o a gran escala, puede ser costoso tanto en términos tanto económicos como ambientales. La infestación de malezas, o infestación por cualquier vegetación indeseable en un campo, crea una competencia de nutrientes y humedad que perjudica el desarrollo de cultivos beneficiosos en el campo.

20 En una aplicación de ejemplo existente con respecto a áreas donde se pueden observar prácticas de cultivo con labranza baja o nula y/o de mantenimiento del suelo en interés de la retención de humedad del suelo o la preservación de la estructura del suelo (prevención de la erosión), el control de malezas y/o cualquier forma de vegetación indeseable es de gran preocupación. En las zonas del mundo en las que la labranza (arado y otras formas de perturbación sustancial del suelo) se puede utilizar para controlar las malezas y la vegetación indeseable, el control se logra mediante la inmersión de la vegetación indeseable. En áreas donde se producen prácticas agrícolas de poca o nula labranza, a menudo es necesario usar agroquímicos para lograr y mantener el control de las malezas y las especies de plantas competidoras indeseables.

30 Una práctica existente para controlar las malezas es "pulverización a manta", asegurando que se contacte la vegetación indeseable y, por lo tanto, se controle. Sin embargo, aquellos familiarizados con esta práctica observarán que el proceso es invariablemente ineficiente. La pulverización a manta requiere que se pulverice el 100% de la superficie terrestre del campo para controlar las malezas o la vegetación indeseable que solo puede estar presente en un cierto porcentaje del área total.

35 Otra práctica existente mejora la práctica de "pulverización a manta" al emplear un aparato de pulverización equipado con una cámara que está configurado para atravesar un campo, detectar las malezas o la vegetación objetivo y pulverizar las malezas detectadas con agroquímicos. Sin embargo, esta detección basada en cámaras y medios de pulverización seleccionados pueden ser ineficientes debido a la necesidad de viajar solo a una velocidad que permita que las cámaras que se proyectan hacia adelante (o hacia atrás) tengan tiempo suficiente para detectar malezas u otra vegetación indeseable, procesar la existencia o ausencia de esta maleza o vegetación indeseable y luego ejecutar la acción de tratamiento. Los usuarios de esta práctica a menudo observan que un componente considerable del ahorro económico derivado de la reducción del costo de los agroquímicos se ve compensado por el tiempo adicional asociado con el funcionamiento de este aparato de pulverización.

45 Una desventaja adicional que surge del uso del aparato de pulverización basado en cámara existente es que no es posible determinar el área que necesita ser tratada hasta después del paso de la una o más cámaras sobre la totalidad del área de tierra en cuestión. Habitualmente, la distancia entre los mecanismos de detección y tratamiento es de aproximadamente 1-2 metros. Esta limitación impone más ineficiencias y costos a los productores primarios o a los que prestan servicios a los productores primarios, tal como no poder determinar, de antemano, la cantidad de agroquímicos o medios de tratamiento necesarios para cubrir el área infestada y, como consecuencia, el requisito de llevar más de lo que podría ser necesario para completar la tarea. En este caso, el agroquímico no utilizado también puede requerir su eliminación, lo que resulta en un mayor costo económico e impacto ambiental.

55 Otras desventajas incluyen la incapacidad del operador para tomar decisiones dinámicas, tácticas o estratégicas con respecto a la viabilidad del tratamiento en áreas marginalmente o no infestadas y el consiguiente ahorro de tiempo y costos de funcionamiento del aparato de pulverización y la evitación de la compactación del suelo y otros subproductos adversos de atravesar innecesariamente la tierra. Además, el viento fuerte puede afectar la cobertura objetivo, la guiñada de la pluma entre la detección y la aplicación puede afectar la aplicación objetivo, la pluma en sí misma puede afectar la iluminación del suelo debajo de ella, lo que puede afectar el proceso de detección, se requiere una comunicación de datos intensiva entre los dispositivos en el aparato y se puede requerir que el aparato se mueva más lento para proporcionar tiempo para procesar estos datos, los dispositivos también son caros y sensibles a los golpes, y la cantidad de dispositivos requeridos puede restringir el ancho de la pluma del aparato.

65 Gonzalez de Santons Pablo et al: *"Flotas de robots para el control de plagas ambientalmente seguro en la agricultura"* describen una flota de robots terrestres y aéreos heterogéneos equipados con sensores que cubren una gran variedad de situaciones agrícolas. El documento US2017/0031365 describe un sensor que detecta un

atributo de un lugar de trabajo en una ubicación que está geográficamente separada de una máquina móvil correspondiente. Se realiza una operación en la ubicación, con base en el atributo detectado. Se genera una señal de acción con base en los datos de efecto. Un vehículo aéreo no tripulado comunica datos de efecto, indicativos de un efecto de la operación en la ubicación, a la máquina móvil. La señal de acción se puede utilizar para controlar las operaciones del lugar de trabajo. AU2004202534 describe un método y sistema para la aplicación de tasa espacialmente variable de productos químicos agrícolas con base en datos de vegetación detectados a distancia. Una referencia en este documento a un documento de patente u otra materia que se da como técnica anterior no debe tomarse como una admisión de que ese documento o materia era conocido o que la información que contiene era parte del conocimiento general común en Australia o en otro lugar a la fecha de prioridad de cualquiera de la descripción o reivindicaciones en este documento. Esta discusión de la técnica anterior en esta especificación se incluye para explicar el contexto de la presente invención en términos del conocimiento y la experiencia del inventor.

Sumario de la Invención

De acuerdo con un aspecto de la presente invención, se proporciona un método implementado por computadora para tratar selectivamente vegetación en un campo con un aparato de tratamiento que está configurado para moverse en el campo y para tratar la vegetación en el campo, el método incluye: recibir datos de imagen georreferenciados de un campo, desde uno o más dispositivos de captura de imagen no acoplados al aparato de tratamiento, en donde los datos de imagen georreferenciados incluyen una pluralidad de píxeles y datos de georreferencia asociados con cada uno de los píxeles; analizar información espectral de los píxeles para clasificar píxeles como vegetación objetivo en el campo; determinar una ubicación de la vegetación objetivo en el campo con base en los datos de georreferencia asociados con píxeles clasificados como esta vegetación objetivo; determinar datos de mapa de aplicación georreferenciados con base en la ubicación de la vegetación objetivo en el campo, en donde los píxeles no clasificados como esta vegetación objetivo no se incluyen en los datos de mapa de aplicación georreferenciados; proporcionar los datos de mapa de aplicación georreferenciados al aparato de tratamiento y mover el aparato de tratamiento con base en los datos de mapa de aplicación georreferenciados; recibir datos ambientales del aparato de tratamiento que se mueve en el campo; determinar los datos de instrucción de tratamiento para el accionamiento de al menos un aplicador de tratamiento, dispuesto en el aparato de tratamiento, configurado para tratar la vegetación en el campo, con base en los datos de mapa de aplicación georreferenciados correlacionados con los datos ambientales; proporcionar los datos de instrucción de tratamiento al por lo menos un aplicador de tratamiento; y el al menos un aplicador de tratamiento que trata la vegetación objetivo en el campo con base en los datos de instrucción de tratamiento cuando el aparato de tratamiento se mueve a la vegetación objetivo en el campo.

De acuerdo con otro aspecto de la presente invención, se proporciona un sistema para tratar selectivamente la vegetación en un campo, el sistema incluye: un aparato de tratamiento configurado para moverse en el campo y para tratar la vegetación en el campo con al menos un aplicador de tratamiento dispuesto en el aparato de tratamiento; y uno o más procesadores configurados para: recibir datos de imágenes georreferenciadas de un campo, desde uno o más dispositivos de captura de imágenes no acoplados al aparato de tratamiento, en donde los datos de imagen georreferenciados incluyen una pluralidad de píxeles y datos de georreferencia asociados con cada uno de los píxeles; analizar información espectral de los píxeles para clasificar píxeles como vegetación objetivo en el campo; determinar una ubicación de la vegetación objetivo en el campo con base en los datos de georreferencia asociados con píxeles clasificados como esta vegetación objetivo; determinar datos de mapa de aplicación georreferenciados con base en la ubicación de la vegetación objetivo en el campo, en donde los píxeles no clasificados como esta vegetación objetivo no se incluyen en los datos de mapa de aplicación georreferenciados; proporcionar los datos de mapa de aplicación georreferenciados al aparato de tratamiento y mover el aparato de tratamiento con base en los datos de mapa de aplicación georreferenciados; recibir datos ambientales del aparato de tratamiento que se mueve en el campo; determinar datos de instrucción de tratamiento para el accionamiento del al menos un aplicador de tratamiento con base en los datos de mapa de aplicación georreferenciados correlacionados con los datos ambientales; y proporcionar los datos de instrucción de tratamiento al por menos un aplicador de tratamiento, en donde el al menos un aplicador de tratamiento está configurado para tratar la vegetación objetivo en el campo con base en los datos de instrucción de tratamiento cuando el aparato de tratamiento se mueve a la vegetación objetivo en el campo.

Preferentemente, el aparato de tratamiento es un pulverizador (por ejemplo, un tractor con capacidad de pulverización) que lleva uno o más agroquímicos para que los aplicadores de tratamiento traten la vegetación objetivo en el campo pulverizando los agroquímicos sobre la vegetación objetivo. Los expertos en la técnica apreciarán que se pueden aplicar otros tratamientos que no sean agroquímicos. Por ejemplo, se pueden aplicar agro-nutrientes, oligoelementos y agentes biológicos (tal como *Bacillus thuringiensis*) a la vegetación objetivo.

De manera alternativa, el aparato de tratamiento puede ser un tractor configurado para moverse a la vegetación objetivo y para tratar la vegetación objetivo con otro tipo de aplicador de tratamiento, tal como un aplicador de calor o una labranza para labrar el suelo. Los expertos en la técnica entenderán que, si bien el aparato de tratamiento se describe como un tractor, el aparato de tratamiento también podría operarse a través del aire con un material rociado con antena. Por ejemplo, el pulverizador es un dron aéreo con capacidad de pulverización.

Una función importante del uno o más procesadores es facilitar la integración de los datos de mapa de aplicación georreferenciados y los datos ambientales, o métricas del aparato, en los datos de instrucción de tratamiento al aplicador de tratamiento. Preferentemente, los datos de instrucción de tratamiento se envían a un controlador lógico programable del aparato de tratamiento y/o aplicador de tratamiento con el fin de un accionamiento oportuno y altamente preciso (georreferenciado) del aplicador de tratamiento. Por ejemplo, el aplicador de tratamiento es un aplicador de producto químico líquido accionado implementado en un pulverizador autopropulsado, arrastrado u otra forma de pulverizador de agroquímicos.

Como se mencionó, los píxeles no clasificados como vegetación objetivo no se incluyen en los datos de mapa de aplicación georreferenciados. Por lo tanto, el tamaño de archivo de los datos de mapa de aplicación georreferenciados se reduce, lo cual es ventajoso para la transmisión de los datos de mapa y para el posterior procesamiento de los datos de mapa. Por ejemplo, se puede utilizar un preprocesador para determinar los datos de mapa de aplicación georreferenciados y luego transmitir estos datos de forma inalámbrica a un procesador a bordo de un pulverizador para su procesamiento adicional a fin de proporcionar los datos de instrucción de tratamiento al aplicador de tratamiento en el pulverizador. Por lo tanto, es ventajoso que el procesador a bordo deba procesar solo una masa más pequeña de datos de mapa y poder hacerlo de manera oportuna. Por lo tanto, la reducción del tamaño de archivo supera las barreras de procesamiento que enfrentan uno o más procesadores.

Los dispositivos de captura de imágenes no están acoplados al aparato de tratamiento de manera que el mecanismo de detección esté físicamente desacoplado o separado del aparato de pulverización. Esto podría ser a través de varios medios, por ejemplo, con el mecanismo de detección montado en un mecanismo aéreo (por ejemplo, UAV/dron, aeronave tripulada o satélite). Esto también significa que el mecanismo de detección se puede mover sobre parte o todo el prado antes de que el aparato de tratamiento incluso entre en el prado. Adicionalmente, el rumbo del mecanismo de detección puede ser independiente del aparato de tratamiento. Por ejemplo, el mecanismo de detección puede desplazarse en una dirección este/oeste, mientras que el aparato de tratamiento puede desplazarse en una dirección norte/sur o en cualquier otra dirección si es necesario.

Las ventajas de la detección desacoplada incluyen conocer el requisito químico antes de comenzar la aplicación de pulverización, lo que a su vez puede reducir los llenados de tanques por día y, por lo tanto, mejorar la velocidad de trabajo de pulverización, disminuir el número de viajes sobre prados que reducen la compactación del suelo, la capacidad de "aprender" y crear una base de datos de malezas y expandir la base de datos de malezas, y el costo de compra inicial del aparato de tratamiento puede reducirse.

Las ventajas de la detección desacoplada con drones incluyen la producción de mapas de manera conveniente y según las necesidades. El método y el sistema también pueden aprovechar las rápidas mejoras en la tecnología de drones/sensores. La tecnología de drones/sensores puede producir imágenes de mayor resolución y mapas de prado rápidamente, y se puede elegir entre una variedad de sensores.

La detección desacoplada utilizando aeronaves tripuladas tiene las ventajas adicionales de cubrir áreas mucho más grandes con una resolución espacial y espectral muy alta, y una mayor altura del techo de captura con una mayor huella de imagen. La detección desacoplada mediante satélites tiene la ventaja adicional de ser muy barata por unidad de área, y los mapas satelitales son de calidad controlada para datos, altitud, ángulo y luminosidad.

Preferentemente, el método incluye además determinar una ruta óptima para que el aparato de tratamiento se mueva en el campo con base en la ubicación de la vegetación objetivo en el campo y registrar la ruta óptima en los datos de mapa de aplicación georreferenciados. El método determina la ruta óptima alrededor del campo para el aparato de tratamiento mediante el análisis del mapa de aplicación georreferenciado para las densidades de vegetación objetivo. Si no hay vegetación objetivo en ciertas áreas, por ejemplo, esa área puede retirarse por completo de la ruta óptima. Es decir, como no es necesario pulverizar todo el prado, la ruta óptima ahorra horas de funcionamiento y horas de máquina y efectos adversos para el prado de la maquinaria, tal como la compactación innecesaria del suelo.

En una realización, el análisis de la información espectral de los píxeles incluye la clasificación supervisada usando un clasificador entrenado en una firma espectral de la vegetación objetivo en un campo. Preferentemente, el método incluye además incrustar una firma espectral de clorofila en píxeles seleccionados de los datos de imagen correspondientes a la vegetación en el campo y analizar la firma espectral de clorofila de estos píxeles usando el clasificador.

En una realización, el análisis de la información espectral de los píxeles incluye la clasificación no supervisada y/o supervisada utilizando algoritmos espectrales para clasificar los píxeles como vegetación objetivo en un campo.

En una realización, el análisis de la información espectral de los píxeles incluye el aprendizaje basado en objetos para clasificar los píxeles como vegetación objetivo en un campo.

En una realización, los datos de imagen georreferenciados se registran como datos nativos del uno o más dispositivos de captura de imagen. Es decir, los datos registrados están en el mismo formato que el sensor que los

capturó. La resolución de los datos corresponde a una distancia de muestra de tierra de, por ejemplo, 5 cm o menos. En un ejemplo, los datos de imagen georreferenciados se registran como datos ráster.

Tradicionalmente, los datos de imagen georreferenciados se registran como formatos de archivo llamados shapefiles. Por ejemplo, un mapa de área que se puede producir a partir de múltiples fuentes (análisis de suelo, rendimiento, detección de nitrógeno, etc.) que se formatea en un shapefile y se ingresa en la mayoría de los sistemas de control de aparatos de pulverización actuales. Este shapefile puede ser accionado por el aparato de pulverización habitual. Los shapefiles, sin embargo, pueden no tener suficiente resolución espacial ya que el shapefile debe tener polígonos relativamente grandes, por ejemplo, más grandes que 5m x 5m, de lo contrario se ejecutarán lentamente, se congelarán o incluso perderán el tratamiento en polígonos debido a la falta de procesamiento oportuno. La grabación también puede no estar asegurada dependiendo del tamaño de los polígonos de shapefile.

Puesto que un shapefile está bloqueado en su posición con respecto a un mapa, un aparato de pulverización habitual es libre de acercarse a cualquier rumbo, lo que puede conducir a un tratamiento inexacto y desperdicio. La carga de un shapefile para un prado más grande (por ejemplo, más de 150Ha) puede provocar una operación de congelación y sacudida, ya que se requiere que el formato de datos nativo del dispositivo de captura de imágenes se formatee en datos vectoriales para un shapefile. El formato de shapefile (es decir, basado en vectores), por definición, es menos granular en comparación con otros formatos, tal como un formato basado en ráster binario. Por consiguiente, los shapefiles de procesamiento de aparatos de pulverización habituales generalmente utilizarán más productos químicos que los aparatos que utilizan formatos de datos tal como los nativos de los dispositivos de captura de imágenes.

En una realización, el método incluye además clasificar la vegetación objetivo en el campo como una pluralidad de grados de vegetación objetivo con base en un índice de vegetación.

En una realización, el análisis de la información espectral de los píxeles incluye clasificar los píxeles como áreas del campo que no son vegetación objetivo en el campo y determinar las áreas del campo que permanecen como vegetación objetivo en el campo.

En una realización, los datos de imagen georreferenciados del campo incluyen una pluralidad de canales de datos, y el método incluye además consolidar los canales para formar un canal para los datos de mapa de aplicación georreferenciados al representar la vegetación objetivo como un vector de valores de intensidad. Además, cada uno de los grados de la vegetación objetivo se puede representar como un vector de valores de intensidad.

En una realización, el método incluye además segmentar los datos de mapa de aplicación georreferenciados aplicando uno o más valores umbral a los valores de intensidad.

En una realización, el aparato de tratamiento incluye además una pluralidad de sensores para detectar los datos ambientales. Los datos ambientales pueden incluir métricas estáticas y dinámicas relacionadas con el aparato de tratamiento, tal como la ubicación del aparato de tratamiento y la temperatura que rodea el aparato de tratamiento. En un ejemplo adicional, el método incluye detectar datos de ubicación del al menos un aplicador de tratamiento con un sensor correspondiente y correlacionar los datos de ubicación con la ubicación de la vegetación objetivo en los datos de instrucción de tratamiento.

En una realización, en donde los datos ambientales incluyen además uno o más de: velocidad del al menos un aplicador de tratamiento, rumbo del al menos un aplicador de tratamiento, guiñada del al menos un aplicador de tratamiento, dirección del al menos un aplicador de tratamiento, posición del al menos un aplicador de tratamiento y altura del al menos un aplicador de tratamiento.

La agricultura moderna ha desarrollado progresivamente aparatos de tratamiento más grandes y más amplios para hacer que el proceso de completar los trabajos sea más eficiente. Por ejemplo, un aparato de tratamiento puede tener un ancho de pulverización de hasta 54 m, y se prevé que aumente aún más en el futuro. A medida que los anchos del aparato crecen en tamaño, también lo hace la posibilidad de que ese aparato se guíe por diversas influencias externas (giro, viento ambiental, velocidades de trabajo más altas, etc.). El método correlaciona los datos de mapa de aplicación georreferenciados con los datos ambientales, incluidos, por ejemplo, los datos de guiñada, para garantizar que el aplicador de tratamiento esté tratando con precisión la vegetación objetivo en el campo.

Por el contrario, un aparato de pulverización habitual con un mecanismo de detección acoplado (es decir, enlace físico) experimenta un ángulo de guiñada, que crea un área (Zona de Falla) donde el mecanismo de detección detecta un objetivo pero el mecanismo de tratamiento pierde ese objetivo debido al ángulo del aparato. Si este aparato de pulverización está en ángulo con el rumbo, esto sesga la zona de detección en comparación con la zona de tratamiento, creando una zona de falla donde los objetivos no deseados se detectarán pero no se tratarán. A medida que el ángulo del aparato de pulverización aumenta en comparación con la dirección de desplazamiento, esto aumenta aún más la Zona de Falla, aumentando la cantidad de objetivos perdidos. No solo no se tratan los

objetivos, sino que el aparato de pulverización sigue utilizando productos químicos para rociar una posición incorrecta.

Por ejemplo, si este aparato de pulverización habitual tiene un ancho de pluma de 48 m y cada ala de la pluma está a 22 m desde su punto de pivote hasta la punta de la pluma (sección central rígida no incluida), y la punta de la pluma se había flexionado hacia atrás contra el rumbo en 4 m, esto da un ángulo de guiñada de aproximadamente 10 grados. Si la extensión más lejana de la zona de detección acoplada está a 1 m frente a la zona de tratamiento, entonces la Zona de Falla es de aproximadamente 0,17 m (17 cm). Los aparatos de pulverización habituales tienen un mecanismo de detección cada 1 m, por lo que, en hasta 42 lugares a lo largo del aparato de pulverización (sección central rígida no incluida), el aparato de pulverización puede pasar malezas de hasta 17 cm 42 veces y no ser tratadas en ninguna de las alas de la pluma. Existe la posibilidad de que el siguiente mecanismo de detección a lo largo del aparato de pulverización recoja el objetivo, pero como el objetivo ingresa a la segunda zona de detección más tarde, esto podría reducir la cantidad de tiempo requerida para procesar la detección y luego perder o retrasar el tratamiento. En el mejor de los casos, si 2 mecanismos de detección captan un objetivo, se aplicará el doble de la cantidad de tratamiento necesaria, lo que aumentará el uso total del tratamiento. Además, el área de pulverización registrada no tiene en cuenta ninguna de las desviaciones anteriores del aparato, por lo tanto, recodifica incorrectamente la aplicación de pulverización.

En una realización, el aparato de tratamiento incluye más de un aplicador de tratamiento, y el método incluye seleccionar uno de los aplicadores de tratamiento más cercanos a la vegetación objetivo en el campo para tratar la vegetación objetivo con base en los datos ambientales.

Como se mencionó, el aparato de tratamiento es preferiblemente un pulverizador que lleva uno o más agroquímicos para el al menos un aplicador de tratamiento para tratar la vegetación objetivo en el campo. Los datos de instrucción de tratamiento incluyen preferiblemente instrucciones para aplicar el uno o más de los agroquímicos a la vegetación objetivo en el campo con el por lo menos un aplicador de tratamiento.

En una realización, el aparato de tratamiento incluye una porción rígida y un brazo suspendido flexible que incluye los aplicadores de tratamiento dispuestos sobre este, cada uno tiene una o más boquillas para aplicar el uno o más agroquímicos a la vegetación objetivo en el campo. La pluralidad de sensores está dispuesta en la porción rígida y la pluma suspendida en ubicaciones separadas, y los sensores detectan datos de posición de cada una de las una o más boquillas con respecto a la porción rígida del aparato de tratamiento. El método incluye además seleccionar una de las boquillas del aplicador de tratamiento más cercanas a la vegetación objetivo en el campo para tratar la vegetación objetivo con base en los datos ambientales.

En una realización, los sensores detectan los datos de rumbo de cada una de las una o más boquillas, y el método incluye determinar en tiempo real una posición de cada una de las una o más boquillas en el campo. Por lo tanto, el aparato de tratamiento aborda el problema anterior del ángulo de guiñada para un aparato de pulverización habitual al tener el aparato de tratamiento y el mecanismo de detección desacoplados y completamente libres para moverse en cualquier rumbo de forma independiente.

Los sensores pueden ser además dispositivos de determinación de ubicación montados en la pluma y la parte rígida del aparato de tratamiento que están configurados para detectar el rumbo y la posición del al menos un aplicador de tratamiento dispuesto en el aparato de tratamiento. Estos dispositivos de determinación de ubicación múltiple (LDD) detectan con precisión y exactitud el cambio de rumbo y posición de los aplicadores de tratamiento. Como los LDD están montados en la parte central rígida del aparato de pulverización y las alas flexibles del aparato, el método puede determinar la posición en tiempo real de todas las boquillas de los aplicadores de tratamiento montados en el aparato de tratamiento.

Por ejemplo, si algunos de los aplicadores de tratamiento experimentaban un ángulo de guiñada creciente, o el aparato de tratamiento giraba o se desplazaba en sentido inverso, el método podría detectar esto a través de los LDD. El método podría entonces determinar que el aparato cambia el aplicador de tratamiento al más cercano al objetivo.

Puesto que las realizaciones del aparato de tratamiento tienen un mecanismo de captura de imagen desacoplado y son completamente agnósticas al ángulo de rumbo, seguimiento o guiñada (es decir, pueden tratarse mientras giran, al revés, etc.), el sistema puede ajustarse a un aparato de pulverización convencional. Además, como no hay restricciones de tiempo para el procesamiento en tiempo real, ya que esto se ha hecho antes del tratamiento, se espera que este aparato se trate a cualquier velocidad. El sistema también se puede instalar en cualquier ancho del aparato de pulverización, ya que se conoce la ubicación de cada aplicador de tratamiento.

El conocer las geo-coordenadas precisas de las malezas u otra vegetación indeseable también permite potencialmente a los agricultores, contratistas u otros operativos, rociar solo las áreas infestadas por malezas u otra vegetación indeseable. Además de la ubicación, los datos de instrucción de tratamiento pueden incluir instrucciones para aplicar el uno o más agroquímicos a la vegetación objetivo en el campo con el al menos un aplicador de tratamiento. Es decir, el método anterior también puede controlar la vegetación indeseable en cultivos

beneficiosos mediante la aplicación selectiva de agroquímicos u otros medios de tratamiento.

El potencial de ahorro de agroquímicos derivado de rociar solo áreas infestadas de vegetación objetivo en un campo tiene un atractivo significativo desde cuatro perspectivas distintas:

5 económico: ahorro en el costo de los agroquímicos;

económico: reducir los costos laborales derivados de la reducción del tiempo de pulverización;

10 ambiental: reducir el producto químico liberado al medio ambiente; y

ambiental/económico: reduce el tiempo de funcionamiento de la máquina, ahorrando así los costos asociados con el combustible, la depreciación y el mantenimiento, junto con la reducción de las emisiones ambientales asociadas con la reducción del tiempo de funcionamiento.

15 Es decir, el método y el sistema proporcionan estas ventajas al evaluar de manera dinámica y estratégica todo el campo para el tratamiento, de modo que:

20 el momento óptimo para la pulverización/tratamiento, si la etapa de desarrollo de la vegetación objetivo está en un punto óptimo para la pulverización o el tratamiento;

combinación y concentración óptimas de agroquímicos o medios de tratamiento alternativos;

25 la viabilidad económica de pulverizar/tratar varias áreas dentro de las áreas totales de donde se han tomado imágenes/datos; y

los requisitos de almacenamiento de agroquímicos que se conocen antes de que se comience la tarea (que incluyen, entre otros, cuánto volumen de productos químicos deberá llenarse el pulverizador para completar el área propuesta).

30 Las realizaciones de la presente invención proporcionan que la cantidad de agroquímico necesaria para cubrir el área infestada de la vegetación objetivo se determine de antemano, de modo que solo se requiera la cantidad requerida de agroquímico para ser transportada por el pulverizador para completar una tarea. Por lo tanto, el agroquímico excedente ya no requiere eliminación, lo que resulta en un ahorro económico y una reducción del impacto ambiental de los desechos, y no está sujeto a una eficacia reducida a través de la degradación.

35 En una realización, el método incluye además el modelado cinemático de cada uno de los componentes del aparato de tratamiento en un modelo de aparato dinámico basado en las restricciones físicas del aparato de tratamiento y la comparación del modelo de aparato dinámico con los datos ambientales detectados por los sensores del aparato de tratamiento para resolver las influencias ambientales en los datos ambientales.

40 En una realización, el método incluye además registrar la aplicación del al menos un aplicador de tratamiento que trata la vegetación objetivo en el campo con base en los datos de instrucciones de tratamiento en un dispositivo de almacenamiento. Al registrar la aplicación del al menos un aplicador de tratamiento en tiempo real hasta, en algunos casos, el mismo nivel de granularidad que existe en los datos de mapa de aplicación georreferenciados, el aparato de tratamiento puede utilizar esta información simultáneamente, lo que le permite ajustar correspondientemente el aplicador de tratamiento.

45 En una realización, el método incluye además recibir los datos de imágenes georreferenciadas de un vehículo aéreo no tripulado (UAV), o un vehículo tripulado, que incluye el uno o más dispositivos de captura de imágenes, configurados para volar sobre el campo y generar los datos de imágenes georreferenciadas. De manera alternativa, el método incluye recibir los datos de imágenes georreferenciados de uno o más satélites que incluyen el uno o más dispositivos de captura de imágenes.

50 En una realización, el uno o más procesadores incluyen un preprocesador configurado para recibir los datos de imagen georreferenciados del campo, analizar la información espectral de los píxeles, determinar la ubicación de la vegetación objetivo en el campo y determinar los datos de mapa de aplicación georreferenciados.

55 En una realización, el preprocesador está configurado además para determinar una ruta óptima para que el aparato de tratamiento se mueva en el campo con base en la ubicación de la vegetación objetivo en el campo y para registrar la ruta óptima en los datos de mapa de aplicación georreferenciados.

60 En una realización, el uno o más procesadores incluyen un procesador integrado configurado para recibir los datos de mapa de aplicación georreferenciados del preprocesador, recibir los datos ambientales del aparato de tratamiento, determinar los datos de instrucciones de tratamiento y proporcionar los datos de instrucciones de tratamiento al por lo menos un aplicador de tratamiento.

En una realización, el procesador a bordo está configurado además para recibir métricas de usuario desde una interfaz de usuario y para determinar los datos de instrucciones de tratamiento con base en las métricas de usuario.

- 5 En una realización, algunos o todos los uno o más procesadores están ubicados en el aparato de tratamiento.

Breve Descripción de las Figuras

Las realizaciones de la presente invención se describirán ahora con referencia a los dibujos adjuntos, en donde:

- 10 La figura 1 es un diagrama de flujo que muestra un método para tratar selectivamente la vegetación en un campo de acuerdo con una realización de la presente invención;

- 15 La figura 2 es un diagrama de bloques de un sistema para tratar selectivamente la vegetación en un campo de acuerdo con una realización de la presente invención;

La figura 3 es un diagrama de bloques de un sistema para tratar selectivamente la vegetación en un campo de acuerdo con una realización de la presente invención;

- 20 La figura 4 muestra los componentes de un aparato de tratamiento de acuerdo con una realización de la presente invención;

La figura 5 muestra los componentes de un aparato de tratamiento para el modelado cinemático de los componentes de acuerdo con una realización de la presente invención;

- 25 La figura 6 muestra un diagrama de flujo de funcionamiento de un aparato de tratamiento de acuerdo con una realización de la presente invención;

La figura 7 muestra un aparato de tratamiento en uso de acuerdo con una realización de la presente invención;

- 30 La figura 8 muestra un ejemplo de una "huella" del aparato de tratamiento estático de acuerdo con una realización de la presente invención;

- 35 La figura 9 muestra un ejemplo de una "huella" del aparato de tratamiento dinámico de acuerdo con una realización de la presente invención;

La figura 10 muestra secciones de la "huella" del aparato de tratamiento de la figura 9;

- 40 La figura 11 muestra un ejemplo de detección de sección de un aparato de tratamiento de acuerdo con una realización de la presente invención;

La figura 12 muestra un ejemplo de superposición y rotación de un aparato de tratamiento de acuerdo con una realización de la presente invención; y

- 45 La figura 13 muestra un ejemplo de un arreglo de secciones de un aparato de tratamiento de acuerdo con una realización de la presente invención.

Descripción Detallada

- 50 En la figura 1 se muestra una gráfica de flujo que resume un método implementado por computadora 10 para tratar selectivamente la vegetación en un campo con un aparato de tratamiento que está configurado para moverse en el campo y para tratar la vegetación en el campo. El campo es habitualmente tierra agrícola o de producción primaria, que puede ser una amplia hectárea o tierra de cultivo a gran escala con tierras de cultivo o pastoreo para el ganado. Por lo tanto, el método 10 detecta, localiza y trata las malezas u otra vegetación objetivo en el campo, tal como los casos de hierba de centeno en un campo en barbecho.

- 60 El método 10 incluye los pasos de: recibir 11 datos de imágenes georreferenciados de un campo, desde uno o más dispositivos de captura de imágenes no acoplados al aparato de tratamiento, en donde los datos de imágenes georreferenciadas incluyen una pluralidad de píxeles y datos de georreferencia asociados con cada uno de los píxeles; analizar 12 información espectral de los píxeles para clasificar los píxeles como vegetación objetivo en el campo; determinar 13 una ubicación de la vegetación objetivo en el campo con base en los datos de georreferencia asociados con los píxeles clasificado como esta vegetación objetivo; determinar 14 datos de mapa de aplicación georreferenciados con base en la ubicación de la vegetación objetivo en el campo, en donde los píxeles no clasificados como esta vegetación objetivo no se incluyen en los datos de mapa de aplicación georreferenciados; proporcionar 15 los datos de mapa de aplicación georreferenciados al aparato de tratamiento y mover el aparato

de tratamiento con base en los datos de mapa de aplicación georreferenciados; recibir 16 datos ambientales del aparato de tratamiento que se mueve en el campo; determinar 17 datos de instrucciones de tratamiento para el accionamiento de al menos un aplicador de tratamiento, dispuesto en el aparato de tratamiento, configurado para tratar la vegetación en el campo, con base en los datos de mapa de aplicación georreferenciados correlacionados con los datos ambientales; proporcionar 18 los datos de instrucciones de tratamiento al por lo menos un aplicador de tratamiento; y el al menos un aplicador de tratamiento que trata 19 la vegetación objetivo en el campo con base en los datos de instrucciones de tratamiento cuando el aparato de tratamiento se mueve a la vegetación objetivo en el campo.

La figura 2 muestra una realización del método implementado por computadora 10 que se implementa mediante un sistema informático 20. El sistema 20 recibe datos de imagen georreferenciados de un campo en una computadora 21, que incluye una pluralidad de píxeles y datos georreferenciados asociados con cada uno de los píxeles. Los datos de imágenes georreferenciados se pueden obtener de un vehículo aéreo no tripulado (UAV), que incluye uno o más dispositivos de captura de imágenes y sensores GPS, configurados para volar sobre el campo y generar los datos de imágenes georreferenciados. Por ejemplo, el UAV realiza transectos aéreos sobre el campo para obtener los datos de imagen georreferenciados del campo, y la computadora 21 recibe los datos de imagen georreferenciados de forma inalámbrica desde el UAV. De manera alternativa, los datos de imagen georreferenciados se proporcionan a la computadora en alguna otra memoria, tal como una tarjeta SD. En otra realización, los datos de imágenes georreferenciados se capturan mediante medios terrestres u otros medios no terrestres equipados con capacidad de formación de imágenes y georreferenciación.

La computadora 21 tiene uno o más procesadores 22 configurados para implementar los pasos del método 10 en asociación con un dispositivo de almacenamiento de datos o memoria 23. La computadora 21 puede ser un servidor remoto o puede estar ubicada en un aparato de tratamiento 24. El método 10 puede incorporarse en software (por ejemplo, código de programa) que es implementado por el uno o más procesadores 22. El software para la computadora 21 podría suministrarse de varias maneras al sistema 20, tal como en la memoria 23 en comunicación de datos con el procesador o procesadores 22 o a través de Internet. Los datos de imagen georreferenciados recibidos por la computadora 21 se almacenan luego en la memoria 23 para su procesamiento.

El sistema 20 luego realiza el método 10 para proporcionar instrucciones a un aparato de tratamiento 24 que está configurado para moverse en el campo y para tratar la vegetación en el campo. Para hacerlo, el aparato de tratamiento 24 incluye al menos un aplicador de tratamiento 25, dispuesto en el aparato de tratamiento 24, que está configurado para tratar la vegetación en el campo. Como se mencionó, el aparato de tratamiento 24 es preferiblemente un pulverizador de agroquímicos que tiene una pluma suspendida que incluye una pluralidad de boquillas como aplicadores de tratamiento 25 para aplicar agroquímicos a la vegetación objetivo en el campo. Se apreciará, sin embargo, que el aparato de tratamiento 24 podría tomar la forma de otros dispositivos terrestres o aéreos autónomos. Sin embargo, el aparato de tratamiento 24 está configurado para recibir datos de la computadora 21 y para moverse a la vegetación objetivo determinada en el campo y tratar la vegetación objetivo en el campo con el aplicador de tratamiento de pulverización 25. Los datos transmitidos al aparato de tratamiento 26 pueden transmitirse de forma inalámbrica o con un acoplamiento directo, o algún otro método.

Es decir, el o los procesadores 22 están configurados para analizar la información espectral de los píxeles para clasificar los píxeles como vegetación objetivo en el campo, determinar una ubicación de la vegetación objetivo en el campo con base en los datos georreferenciados asociados con los píxeles clasificados como esta vegetación objetivo, y determinar los datos de mapa de aplicación georreferenciados con base en la ubicación de la vegetación objetivo en el campo. Además, el uno o más procesadores 22 pueden configurarse además para determinar las firmas espectrales de la vegetación deseada en el campo y el suelo en el campo, así como la vegetación objetivo. Esa clasificación se puede realizar utilizando un clasificador que fue entrenado en instancias previas de firmas espectrales de la vegetación deseada, vegetación objetivo y suelo en el campo.

La computadora 21 también recibe datos ambientales de los sensores 26 a bordo del aparato de tratamiento 24. El o los procesadores 22 están configurados además para determinar los datos de instrucción de tratamiento para el accionamiento de cada uno de los aplicadores de tratamiento 25 con base en los datos de mapa de aplicación georreferenciados correlacionados con los datos ambientales y proporcionar los datos de instrucción de tratamiento al aparato de tratamiento 24 y a los aplicadores de tratamiento 25. Al correlacionar los datos de mapa de aplicación georreferenciados correlacionados con los datos ambientales, se pueden anticipar y corregir imprecisiones tal como imprecisiones geoespaciales como la transposición de la franja y/o el movimiento fuera del objetivo provocado como resultado de las condiciones ambientales y/o la desviación estructural de los aplicadores de tratamiento 25.

Los aplicadores de tratamiento 25 se configuran luego para tratar la vegetación objetivo en el campo con base en los datos de instrucción de tratamiento cuando el aparato de tratamiento 24 se mueve a la vegetación objetivo en el campo. Además, los datos de instrucción de tratamiento pueden incluir además instrucciones para que el aparato de tratamiento 24 se mueva a la vegetación objetivo en el campo. Se apreciará que los aplicadores de tratamiento 25 incluyen un accionador de algún tipo para controlar el tratamiento selectivo de la vegetación objetivo.

En una realización, los aplicadores de tratamiento 25 usan un accionamiento modulado por ancho de pulso (PWM) y/o solenoide de fluidos para tratar el área propuesta usando una o más boquillas para suministrar variabilidad de aplicación a través de los aplicadores de tratamiento 25 de acuerdo con una necesidad de aplicación específica en lugar de general.

Los aplicadores de tratamiento 25 incluyen además un sensor para proporcionar retroalimentación electrónica para confirmar que cada boquilla está funcionando según lo previsto. Los medios utilizados para detectar la aplicación de agroquímicos, incluyen:

interruptor de presión (por ejemplo, pero no limitado a aire, fluido);

retroalimentación de accionamiento eléctrico;

medición de flujo (directa o indirecta); cámara;

captura de audio ultrasónico; y

detección de humedad.

En realizaciones adicionales, los aplicadores de tratamiento 25 emplean otros medios de tratamiento para malezas o vegetación indeseable, que incluyen, pero no se limitan a: energía de microondas;

fluido calentado / hirviendo;

chorro/s de fluido de alta presión (por ejemplo, un chorro de agua de presión/flujo suficiente para tratar malezas o vegetación objetivo);

medios mecánicos (por ejemplo, varillas que fuerzan estas malezas o vegetación objetivo debajo del suelo como medio de tratamiento); y

dispositivos láser de alta potencia.

La figura 3 muestra otra realización de un sistema 30 para tratar selectivamente la vegetación en un campo. En esta realización, el o los procesadores 22 para realizar el método 10 no están ubicados en una computadora 21. El sistema 30 incluye un preprocesador 32 configurado para recibir los datos de imagen georreferenciados del campo, analizar la información espectral de los píxeles, determinar la ubicación de la vegetación objetivo en el campo y determinar los datos de mapa de aplicación georreferenciados. El sistema 30 incluye además un procesador integrado 34 configurado para recibir los datos de mapa de aplicación georreferenciados del preprocesador 32, recibir los datos ambientales del aparato de tratamiento 24, determinar los datos de instrucción de tratamiento y proporcionar los datos de instrucción de tratamiento a un controlador lógico programable 38 del aplicador de tratamiento 25. Preferentemente, el procesador a bordo 34 está ubicado en el aparato de tratamiento 24. Además, el procesador a bordo 34 está configurado además para recibir métricas de usuario desde una interfaz de usuario 36 y para determinar los datos de instrucción de tratamiento basados además en las métricas de usuario.

El preprocesador 32 está configurado además para determinar una ruta óptima para que el aparato de tratamiento se mueva en el campo con base en la ubicación de la vegetación objetivo en el campo y para registrar la ruta óptima en los datos de mapa de aplicación georreferenciados.

En una realización, la interfaz de usuario (UI) 36 permite que el agricultor, cultivador, operativo del sistema 20 personalice los datos de instrucción de tratamiento al por lo menos un aplicador de tratamiento 25. Por ejemplo, la superposición alrededor de cada maleza o vegetación indeseable se puede aumentar en el sitio para controlar la vegetación demasiado pequeña para ser detectada.

En una realización, los datos de imagen georreferenciados proporcionados al sistema 30 serán un derivado de un archivo GeoTIFF ortorectificado, una salida estándar informal de sensores que se encuentran comúnmente en vehículos aéreos no tripulados (UAV). Por ejemplo, se proporciona un mapa de imagen habitual de 4 canales de un sensor de cámara RGB con una profundidad de color de 32 bits y un GSD de 2,5 cm. Otras tecnologías de detección, tal como la térmica o LIDAR, comúnmente representan datos que utilizan formatos similares. Es decir, los datos de imagen georreferenciados se registran como datos nativos del uno o más dispositivos de captura de imágenes en el UAV.

El propósito general de clasificar un mapa geográfico es tomar un gran número de observaciones y agruparlas en intervalo de datos discretos. La clasificación de mapas generalmente se producirá antes de cargar el mapa en el procesador a bordo 34, pero también se puede producir en el propio procesador a bordo. Es importante comprender este proceso, ya que el resultado es intrínseco al procesamiento a tiempo.

Hay muchas formas de clasificar sistemáticamente los datos que se pueden agrupar en dos categorías amplias: supervisados y no supervisados. La clasificación supervisada implica el uso de muestras / áreas de capacitación discretas y seleccionadas para construir una firma espectral que represente las regiones de interés (ROI) a clasificar. La clasificación no supervisada utiliza algoritmos espectrales generales.

En los datos de mapa de aplicación georreferenciados, el paso de clasificación logra dos propósitos:

identifica y califica las áreas de tratamiento; y

reduce el alcance espectral del mapa, tanto en profundidad de bits como en número de canales.

Los mapas multicanal se consolidan y reducen a un solo canal utilizando técnicas algorítmicas. Utilizando nuestro sensor RGB de ejemplo, el siguiente algoritmo determina una medición de "Exceso de verde" o "exGR", uno de los muchos índices de color utilizados para identificar datos particulares de una imagen. exGR es un medio para distinguir áreas de vegetación utilizando los canales rojo, verde y azul de un sensor de cámara RGB (consulte la ecuación a continuación).

$$exGr = 2 \cdot (GR + G + B) - (RR + G + B) - (BB + G + R)$$

En este ejemplo, el índice resultante reduce los tres canales de entrada a un canal individual. Cada píxel en el mapa ahora solo está definido por un vector individual de valores de intensidad que, en este caso, corresponde al índice de vegetación derivado, lo que reduce el tamaño de los archivos del mapa.

Sin embargo, como el intervalo tonal o gradiente de estos valores se representa con la misma profundidad espectral que la imagen original, 32 bits en este caso, debe segmentarse y reducirse por medio de una fórmula de umbral antes de que pueda usarse para el procesamiento a tiempo.

En un ejemplo alternativo, se utiliza otro algoritmo para determinar una inversa de la medición de exGR para clasificar áreas del campo que no son vegetación objetivo del campo utilizando los canales rojo, verde y azul de la imagen. Las áreas del campo en la imagen que permanecen son, por lo tanto, las áreas de la vegetación objetivo en el campo. La ubicación de la vegetación objetivo en el campo se puede determinar utilizando los datos de georreferencia asociados con los píxeles clasificados como vegetación objetivo de esta manera.

La capacidad de memoria del procesador a bordo dicta los límites máximos de tamaño de archivo de un mapa. Es decir, el tamaño máximo de los datos de mapa de aplicación georreferenciados. Por lo tanto, el tamaño (área y resolución) de cualquier mapa dado se define por la capacidad de reducir la información superflua y, por lo tanto, "reservar" espacio de archivo para datos críticos (en lugar de superfluos). Uno de esos métodos para reducir el tamaño de archivo de un mapa es mediante segmentación. Mediante el uso de umbrales globales o adaptativos, el intervalo tonal se puede reducir significativamente segmentando las áreas de tratamiento de las áreas sin tratamiento. Es decir, los píxeles no clasificados como vegetación objetivo no se incluyen en los datos de mapa de aplicación georreferenciados para reducir el tamaño de archivo de los datos de mapa.

Dependiendo de la aplicación, las áreas de tratamiento de la vegetación objetivo se identifican utilizando un formato binario (para tratar / no tratar) o en una salida graduada (un gradiente variable de tratamiento). En el caso de un mapa con formato binario, el canal segmentado $j(x)$ se definiría mediante la función de la figura 2.3.1, donde $I(x, y)$ es el canal original.

$$j(x) = \begin{cases} 1, & \text{si } I(x, y) \geq T \\ 0, & \text{de otro modo} \end{cases}$$

En otras palabras, todos los píxeles en, o por encima del valor umbral (T) se establecen en 1 y corresponden a áreas de tratamiento, mientras que todos los píxeles establecidos en 0 corresponden a áreas sin tratamiento. Por ejemplo, en un prado de verano, en una imagen de 8 bits, las áreas de vegetación objetivo fuerte se ven en verde oscuro, las áreas de vegetación objetivo clara se ven en verde claro y el suelo se ve en marrón. En una imagen de 1 bit, la vegetación objetivo se ve en negro y el suelo en blanco. En una imagen de 2 bits, las áreas de vegetación objetivo fuerte se ven en negro, las áreas de vegetación objetivo clara se ven en gris y el suelo se ve en blanco.

En el caso en que sea preferible medir la intensidad de cada píxel para facilitar un tratamiento más discreto o granular (a diferencia del umbral de nivel ilustrado individual en el modelo anterior), se puede aplicar la siguiente función de umbral multinivel.

$$I(x) = \begin{cases} 3, & \text{si } I(x, y) \geq T_C \\ 2, & \text{si } I(x, y) \geq T_B \text{ y } < T_C \\ 1, & \text{si } I(x, y) \geq T_A \text{ y } < T_B \\ 0, & \text{de otro modo} \end{cases}$$

La segmentación en este caso, se define utilizando tres valores umbral T_a , T_b y T_c . Por lo tanto, cada píxel en el mapa ahora se puede definir mediante 4 estados, representados con 2 bits. El procesamiento a tiempo ahora puede aplicar una tasa de aplicación variable de acuerdo con estos estados como para el ejemplo en la figura a continuación.

Estado	Bit 1	Bit 2	Tasa de aplicación
0	0	0	0%
1	0	1	33%
2	1	0	66%
3	1	1	100%

Cabe señalar que los procesos de clasificación anteriores mantienen la resolución espacial del mapa de entrada con suficiente detalle granular para realizar una aplicación precisa. Por el contrario, el proceso elimina los datos espectrales superfluos, reduciendo así la resolución espectral general y, a su vez, el tamaño del archivo. Esto permite optimizar las velocidades de procesamiento y transferencia de datos. Los métodos anteriores generalmente resultan en una reducción del tamaño del archivo en dos órdenes de magnitud.

Si bien la clasificación se describe en la realización anterior como precedente al procesamiento a tiempo por parte del procesador a bordo 34, también se prevé que con la potencia de procesamiento adecuada y el desarrollo futuro, el preprocesamiento utilizando el preprocesador 32 se podría producir simultáneamente con la aplicación del aplicador de tratamiento 25. El preprocesamiento podría estar dentro del alcance del procesador integrado 34, reduciendo así el flujo de trabajo general y permitiendo un mayor grado de flexibilidad en tiempo real.

El software a bordo implementado por el procesador a bordo 34 está diseñado de tal manera que el aparato de tratamiento 24 puede comprender uno o más aplicadores de tratamiento 25. Cada uno de los aplicadores 25 se considera un objeto aplicador en el software. A su vez, cada objeto aplicador se puede dividir en una o más secciones. El uso de una arquitectura jerárquica orientada a objetos permite la escalabilidad del sistema y un amplio alcance para adaptar una variedad de aparatos. La configuración más simple se muestra en la figura 4, que consiste en un aparato individual de tratamiento 24, en forma de un pulverizador 40, con un aplicador de sección individual 25 en forma de una pluma 42. Este pulverizador 40 tendría varios objetos aplicadores, cada uno con múltiples secciones 44 o boquillas para pulverizar agroquímicos.

Como se mencionó, el sistema 30 está configurado para recibir datos ambientales del aparato de tratamiento 24. Los datos ambientales incluyen métricas estáticas y dinámicas relacionadas con el aparato de tratamiento 24, que se almacenan utilizando archivos de configuración con formato YAML. Cada archivo de configuración es específico de un aparato de tratamiento y se puede modificar fácilmente desde dentro de la interfaz de usuario o externamente; es decir, por correo electrónico o servicio en línea (por ejemplo, telemática). Se requiere un proceso guiado para establecer estas métricas, que se realizan después de la instalación. Las métricas utilizadas en el caso de un pulverizador pueden incluir: capacidad del tanque, peso bruto, geometría de la dirección, dimensiones del aplicador, número de aplicadores, restricciones de aplicador a aplicador y aplicador.

Los sensores 26 están configurados para recopilar los datos ambientales asociados con el aparato de tratamiento 24, incluidos los datos relacionados con el campo que rodea el aparato de tratamiento 24, tal como altura de la vegetación, temperatura ambiente y humedad del campo, etc. Estos sensores 26 incluyen: Sistema global de navegación por satélite (GNSS); Velocidad; Almacenamiento real del aplicador; Ángulo de giro del aplicador; Velocidad de la bomba del aplicador (si se utiliza); Presión del aplicador (si se utiliza); Tamaño / tipo de boquilla del aplicador (si se utiliza); Altura de la pluma, para que se conozca el ancho de la aplicación; Ancho de la pluma; y sensores de condiciones climáticas en tiempo real.

La correlación precisa entre los datos de mapa de aplicación georreferenciados y las métricas del aparato de datos ambientales es importante para el rendimiento del aplicador de tratamiento. Una combinación de precisión de georreferenciación y resolución espacial del mapa de entrada es fundamental para determinar la aplicación precisa. Cabe señalar que los datos de medición y resolución consistentes y oportunos también son importantes para garantizar resultados precisos.

La precisión de aplicación de los aplicadores de tratamiento 25 se define por las posiciones relativas de los aplicadores 25 y los objetivos del mapa. En el ejemplo del pulverizador, el mapa puede resolverse a 2,5 cm por píxel (GSD), lo que representa la resolución escaneada de los mapas y una varianza de georreferenciación X / Y conservadora de ± 5 cm.

Por ejemplo, los datos del mapa no contienen datos de altura del aplicador de tratamiento 25 para que el procesador a bordo 34 los considere al determinar los datos de instrucciones de tratamiento para el accionamiento del aplicador de tratamiento 25. El procesador a bordo 34 obtiene los datos de altura de los datos ambientales recibidos de los sensores 26 a bordo del aparato de tratamiento 24. Además, se podría utilizar un modelo de superficie digital (DSM) para modelar la altura del aplicador de tratamiento 25 y estos datos de altura modelados se utilizan para determinar los datos de instrucciones de tratamiento.

Se pueden contabilizar casi todas las fuentes de error si la ubicación, velocidad y orientación del aparato de tratamiento 24 y los aplicadores 25 se pueden medir con precisión.

Preferentemente, el aparato de tratamiento 24 se considera como una colección de objetos dinámicos en el software. En el caso de un pulverizador autopropulsado de las figuras 4 y 5, por ejemplo, una pluma suspendida 42 se mueve independientemente al pulverizador 40 y está sujeta a impulso y flexibilidad. Representar un aparato de este tipo como un objeto estático daría como resultado una pérdida de precisión de aplicación.

La siguiente tabla describe las fuentes de error de importancia y los posibles medios para reducirlas.

Fuente de error	Solución
Posición del aparato (X,Y)	Cinemática en tiempo real (RTK) de GNSS
Rumbo del aparato	Sensores RTK / MEMS de base móvil
Ángulo relativo del aplicador	Base móvil encadenada RTK con modelado cinemático inverso
Interpretación de mapas	Algoritmos de interpolación "sin pérdidas"
Retraso en el accionamiento del tratamiento	Métricas predeterminadas
Variación topográfica	Sensores de medición electrónica de distancia (EDM)
Efectos dinámicos / ambientales en los medios de tratamiento	Modelado de comportamiento dinámico de aparatos y métricas ambientales

A partir de la tabla anterior, queda claro que el Sistema Global de Navegación por Satélite (GNSS) tiene un papel importante en la corrección de errores. Las soluciones cinemáticas en tiempo real (RTK) ya son comunes en la agricultura; sin embargo, las soluciones de base móvil y encadenadas no lo son. Una solución multiconstelación base y móvil estándar puede proporcionar una precisión en tiempo real de ~5 cm; sin embargo, el rumbo es inherentemente inexacto y proporcional a la velocidad. Cuanto más lento se mueva el aparato de tratamiento 24, menor será la precisión con la magnitud del error proporcional a la longitud neta de los aplicadores 25. Por ejemplo, se pueden proporcionar antenas GNSS adicionales en el aparato de tratamiento 24 y estos datos de ubicación ambiental se utilizan en un sistema RTK de base móvil encadenada para mejorar errores, tal como error de posición, dirección o rumbo, en los datos de instrucciones de tratamiento para los aplicadores de tratamiento 25.

El o los aplicadores de tratamiento 25 y sus componentes se modelan como objetos discretos en el software, lo que permite la configuración de diversos mecanismos de tratamiento. Un ejemplo del modelado cinemático de los componentes del aparato de tratamiento 24 se muestra en la figura 5, donde los componentes se modelan en un modelo de aparato dinámico basado en restricciones físicas del aparato de tratamiento 24, y los resultados del modelo de aparato dinámico se comparan con los sensores detectados de datos ambientales 26 del aparato de tratamiento 24 para resolver las influencias ambientales en los datos ambientales. Es decir, el software combina los datos ambientales con el modelado cinemático inverso para resolver errores entre los aplicadores reales 25 y sus instancias en los datos de mapa de aplicación georreferenciados.

En la figura 5, los aplicadores de tratamiento 25 están unidos a un solo aparato de tratamiento 24 y se mueven dinámicamente dentro de las restricciones de los medios de unión, es decir, un pivote o bisagra con un amortiguador. A su vez, también es posible que uno o más aplicadores adicionales estén unidos a los aplicadores 25 y también se muevan dinámicamente dentro de las restricciones de los medios de unión.

El modelado de esta jerarquía de cuerpos físicos y restricciones se conoce como modelado cinemático. El proceso que deriva la posición de un objeto u objetos con base en la posición de otro se conoce como cinemática inversa (IK).

En un modelo de aparato de tratamiento discutido a continuación con referencia a la figura 5, si se conocen la geometría y los límites de restricción de un sistema conectado de aplicadores X, Y y Z, la posición y los ángulos relativos de todos los aplicadores se pueden determinar con precisión conociendo solo la distancia de A a B. En el contexto de este ejemplo, A y B representarían dispositivos GNSS en una configuración de "RTK de base móvil encadenada" donde la distancia entre ellos se puede medir con precisión en tiempo real. Suponiendo un error de posicionamiento medio de 5 cm, un implemento de 54 m (27+27) podría resolver diferenciales angulares de hasta

±0,055 grados, según la ecuación a continuación.

$$\alpha = \cos^{-1} \left(\frac{2700^2 + 2700^2 - 5^2}{2 \cdot 2700 \cdot 2700} \right) = 0.11^\circ \pm 0,055^\circ$$

- 5 Aunque aparentemente insignificante, se deben tener en cuenta las inexactitudes inherentes introducidas al manipular una representación digital (es decir, datos de imagen) del área del mundo real. La pérdida de un píxel individual equivale a una falta de tratamiento de la vegetación objetivo. Al considerar las fuentes de error, tal como la escala de píxeles y la representación de la posición, las superposiciones del aplicador y la pérdida de datos de traducción, el software siempre elegirá concluir un falso positivo. En otras palabras, el costo marginal y el valor
- 10 final de la aplicación excesiva siempre excederá el de la aplicación insuficiente del tratamiento al considerar las consecuencias de la aplicación insuficiente y la resistencia química o la vegetación no rociada que se permite sembrar y agravar la infestación.
- 15 El software permite la histéresis entre la activación de los medios de tratamiento, por ejemplo, boquilla, en el aplicador de tratamiento 25, hasta el momento de la aplicación. Esta información está predeterminada por medición física y se almacena como un conjunto de datos, que cuando se combina con las entradas de velocidad, puede permitir estos retrasos a cualquier velocidad. La figura 6 muestra el diagrama de flujo de un método de accionamiento multisistema que utiliza 3 sistemas: eléctrico, neumático e hidráulico.
- 20 Con respecto a la figura 5, se utiliza un modelo IK para representar la posición del aplicador en el espacio bidimensional (2D). En el caso de que un aplicador de tratamiento 25 tenga un grado de libertad (DOF) que resulte en una traslación (o altura) del eje z, el uso de sensores adicionales permite implementar un modelo cinemático inverso 3D. La figura 7 demuestra el uso de sensores de altura tradicionales (C y D) para medir con mayor precisión la rotación del aplicador X. Estos datos de altura se reciben como datos ambientales y se utilizan para determinar
- 25 los datos de instrucción de tratamiento. En este caso, como los sensores GNSS son inherentemente menos precisos en la resolución de la información de altura, se utilizan dispositivos electrónicos de medición de distancia (EDM) en el aparato de tratamiento 24 para ofrecer un mayor grado de precisión. Por lo tanto, mediante el uso de varios medios o sensores de medición ambiental 26, el software puede obtener un mayor grado de precisión en general.
- 30 Dado el mayor grado de precisión que es posible al combinar todos los elementos del método descritos anteriormente, es posible anticipar y medir las fuerzas externas adicionales ejercidas sobre los medios de tratamiento (por ejemplo, boquilla) en el momento de la activación. La capacidad de modelar la trayectoria de los medios de tratamiento (por ejemplo, boquilla) en concierto con la autocompensación de los efectos ambientales
- 35 dinámicos en este método ofrece así la capacidad de mejorar la precisión general.
- Una vez que se ha establecido un modelo de aparato dinámico (es decir, modelo de software) del aparato de tratamiento 24, es posible usar esto para mitigar las fuentes de error. El modelo permite determinar con precisión el posicionamiento en tiempo real de cada aplicador de tratamiento 25, con respecto al aparato de tratamiento 24.
- 40 La manifestación del software de este modelo se puede considerar como una "huella" que representa la geometría de los aplicadores 25 en relación con una posición en el mapa. La "huella", a través de la asimilación de modelado en tiempo real e información del sensor, representará el movimiento dinámico del aparato de tratamiento 24 y sus aplicadores de tratamiento 25 en el mapa en cualquier situación y momento dado.
- 45 La figura 8 representa un modelo de aparato de 36 m con tres aplicadores de tratamiento discretos. A los aplicadores se les ha aplicado una cuadrícula para indicar la escala. La figura 9 representa el mismo aparato, ahora en movimiento, donde se han introducido descentralizaciones angulares debido al impulso y al viento que ejercen fuerzas sobre los aplicadores externos.
- 50 Usando mediciones predeterminadas, cada aplicador se segmenta en secciones discretas. Cada sección puede contener uno o varios mecanismos de tratamiento. El área de cada sección dictará el grado de granularidad con respecto al mapa de aplicación. En el caso de un pulverizador que se muestra en la figura 10, esto podría ilustrarse como la diferencia entre una sección de boquilla A individual, dos secciones de boquillas B o secciones de boquillas C individuales.
- 55 Con un modelo de aparato dinámico establecido, ahora es posible determinar con precisión qué secciones del mapa de aplicación georreferenciado deben accionarse para el tratamiento y proporcionarse a los aplicadores 25 en los datos de instrucciones de tratamiento. Esto se logra accediendo a datos de píxeles dentro de los límites discretos de cada sección por cada aplicador. Este procesamiento debe realizarse en tiempo real a una tasa de actualización que garantice una precisión óptima. Los datos de mapa de aplicación georreferenciados se cargarán en la memoria de acceso rápido en forma de un conjunto de datos de arreglo para garantizar tiempos de acceso
- 60 que faciliten el requisito de procesamiento en tiempo real por parte del procesador a bordo 34. Las posiciones del aplicador se utilizan para crear subconjuntos a partir de este conjunto de datos que se analizan por sección por píxel.

Los límites del aplicador definidos en el contexto del sistema de coordenadas del aparato de tratamiento deben traducirse con precisión al sistema de referencia de coordenadas (CRF) de los mapas de aplicación. Este proceso debe tener en cuenta las variaciones del mapa, incluida la escala de píxeles y la interpolación provocada por el recorte y la rotación.

Con el fin de compensar la activación y la histéresis de respuesta entre la activación de los medios de tratamiento, por ejemplo, boquilla, en el aplicador de tratamiento 25, y el tiempo de aplicación, es necesario que la señal de accionamiento se inicie antes de alcanzar el objetivo. Por lo tanto, es necesario que la tasa de actualización sea lo suficientemente oportuna como para garantizar que la iniciación se produzca en un punto en el que se pueda hacer un contacto óptimo con el objetivo.

Con referencia a un ejemplo, si el aplicador de tratamiento 25 tiene un retraso de accionamiento inherente de 60-70 ms que se desplaza a una velocidad más rápida de 35 km/h, se debe considerar la frecuencia o tasa con la que se pueden obtener los datos relevantes (en lugar de la precisión) para lograr la resolución requerida. Con tasas de salida habituales del sensor GNSS entre 10-50 Hz, a esta velocidad, se produce una adquisición de posición a intervalos de 97,2-19,44 cm, respectivamente. Por lo tanto, un retardo de accionamiento de 60-70 ms dicta un requisito de resolución de 59-69 cm, y se requiere una tasa de adquisición de posición de al menos MHz del sensor.

Mediante el uso de las técnicas descritas anteriormente para posicionar con precisión los aplicadores de tratamiento 25 en el mapa de aplicación georreferenciado, cada posición del aplicador se utiliza ahora para extraer datos de mapa de esa posición y cargarlos en un arreglo de datos de bits reducida bidimensional optimizada. Uno de estos ejemplos se describe en la figura 11 que describe las métricas y relaciones de geometría utilizadas para la adquisición del aplicador a, y sus secciones, con respecto al aplicador A.

Puesto que el mapa de aplicación georreferenciado está orientado hacia el norte y los píxeles son inherentemente cuadrados, es necesario que se produzca una función de rotación de imagen para cualquier aplicador que no esté orientado hacia el norte verdadero. Además, se deben tener en cuenta los ángulos de rumbo fuera de la perpendicular con el eje principal del mapa. El proceso de rotación de una imagen en ángulos arbitrarios alterará inherentemente los datos dentro de la imagen. Por lo tanto, es necesario implementar un método de interpolación que sea "sin pérdidas", en el sentido de que nunca se pierda un píxel distinto de cero durante este proceso.

En caso de superposición, con referencia a la figura 12, el arreglo de datos final reflejará los datos del mapa dentro del límite del aplicador (A) además de la superposición de datos (B). El límite (C) demuestra una posición del aplicador no perpendicular que ejemplifica los desafíos de traducción inherentes que se presentan. El software debe permitir cualquier pérdida potencial de píxeles distinta de cero debido a la superposición o rotación, por lo que se emplean técnicas de interpolación "sin pérdidas" apropiadas para garantizar que se tenga en cuenta cualquier ambigüedad. Además, el proceso también se aplica en el caso de la sección a los límites de sección (D), donde, en el caso de que un píxel distinto de cero esté presente en más de una sección, ambas secciones se marcan para superponerse.

Después de que se ha rellenado un arreglo de aplicador, la iteración se produce mediante el uso de dimensiones de sección predeterminadas para determinar la presencia de cualquier dato distinto de cero dentro de cada sección. Si se encuentran datos distintos de cero, la sección se marca para actuar y la iteración comienza en la siguiente sección. Tenga en cuenta que, a los efectos de velocidad y eficiencia, no todos los elementos del arreglo de secciones se someten a análisis. En el caso de que se encuentre un distinto de cero, no se requiere ninguna iteración adicional en esa sección como se muestra con respecto a la figura 13. Este proceso de análisis se produce de forma síncrona, a una velocidad prescrita, para todas las secciones del aplicador en cada escaneo de posición del aparato.

Los ajustes compensatorios por efectos dinámicos/ambientales se realizan en el punto de accionamiento. La posición objetivo se registra en la memoria 23 y los datos se almacenan en un arreglo de bits bajo similar con las mismas dimensiones y propiedades que el mapa de imagen georreferenciado y los datos de mapa de aplicación georreferenciados. Los datos en este arreglo se ponen inmediatamente a disposición del flujo de trabajo de procesamiento en tiempo real, lo que permite que un aplicador de tratamiento 25 evalúe si el tratamiento ya se ha aplicado o no a un área particular en el mapa de aplicación georreferenciado. La precisión y la puntualidad son imprescindibles para obtener los beneficios que presenta, donde se elimina la aplicación múltiple involuntaria de los medios de tratamiento.

REIVINDICACIONES

1. Un método implementado por computadora para tratar selectivamente la vegetación en un campo con un aparato de tratamiento (24, 40) que está configurado para moverse en el campo y para tratar la vegetación en el campo, el método incluye:
 - recibir datos de imagen georreferenciados de un campo, desde uno o más dispositivos de captura de imágenes no acoplados al aparato de tratamiento (24, 40), en donde los datos de imagen georreferenciados incluyen una pluralidad de píxeles y datos georreferenciados asociados con cada uno de los píxeles;
 - analizar la información espectral de los píxeles para clasificar los píxeles como vegetación objetivo en el campo;
 - determinar una ubicación de la vegetación objetivo en el campo con base en los datos de georreferencia asociados con los píxeles clasificados como esta vegetación objetivo;
 - determinar datos de mapa de aplicación georreferenciados con base en la ubicación de la vegetación objetivo en el campo, en donde los píxeles no clasificados como esta vegetación objetivo no se incluyen en los datos de mapa de aplicación georreferenciados;
 - proporcionar los datos de mapa de aplicación georreferenciados al aparato de tratamiento (24, 40) y mover el aparato de tratamiento (24, 40) con base en los datos de mapa de aplicación georreferenciados;
 - recibir datos ambientales del aparato de tratamiento (24, 40) que se mueve en el campo;
 - determinar los datos de instrucción de tratamiento para el accionamiento de al menos un aplicador de tratamiento (25), dispuesto en el aparato de tratamiento (24, 40), configurado para tratar la vegetación en el campo, con base en los datos de mapa de aplicación georreferenciados correlacionados con los datos ambientales;
 - proporcionar los datos de instrucción de tratamiento al por lo menos un aplicador de tratamiento (25); y
 - el al menos un aplicador de tratamiento (25) que trata la vegetación objetivo en el campo con base en los datos de instrucción de tratamiento cuando el aparato de tratamiento (24, 40) se mueve a la vegetación objetivo en el campo;
 - en donde los datos de imagen georreferenciados se registran como datos nativos del uno o más dispositivos de captura de imágenes;
 - en donde los datos de imagen georreferenciados del campo incluyen una pluralidad de canales de datos, y el método incluye además consolidar los canales para formar un canal para los datos de mapa de aplicación georreferenciados al representar la vegetación objetivo como un vector de valores de intensidad; y
 - segmentar los datos de mapa de aplicación georreferenciados aplicando uno o más valores umbral a los valores de intensidad.
2. Un método implementado por computadora de acuerdo con la reivindicación 1, que incluye además determinar una ruta óptima para que el aparato de tratamiento (24, 40) se mueva en el campo con base en la ubicación de la vegetación objetivo en el campo y registrar la ruta óptima en los datos de mapa de aplicación georreferenciados.
3. Un método implementado por computadora de acuerdo con la reivindicación 1 o 2, donde el análisis de la información espectral de los píxeles incluye la clasificación no supervisada y/o supervisada usando un clasificador entrenado en una firma espectral de la vegetación objetivo en un campo.
4. Un método implementado por computadora de acuerdo con la reivindicación 1, que incluye además incrustar una firma espectral de clorofila en píxeles seleccionados de los datos de imagen correspondientes a la vegetación en el campo, y analizar la firma espectral de clorofila de estos píxeles usando el clasificador.
5. Un método implementado por computadora de acuerdo con la reivindicación 1, donde los datos tienen una resolución menor o igual a 5 cm.
6. Un método implementado por computadora de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 3 a 5, que incluye además clasificar la vegetación objetivo en el campo como una pluralidad de grados de vegetación objetivo con base en un índice de vegetación.
7. Un método implementado por computadora de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, donde el análisis de la información espectral de los píxeles incluye clasificar los píxeles como áreas del campo que no son vegetación objetivo en el campo, y determinar las áreas del campo que permanecen como la vegetación

objetivo en el campo.

8. Un método implementado por computadora de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7, donde el aparato de tratamiento (24, 40) incluye además una pluralidad de sensores (26) para detectar los datos ambientales.

9. Un método implementado por computadora de acuerdo con la reivindicación 8, que incluye además detectar datos de ubicación del al menos un aplicador de tratamiento (25) con un sensor correspondiente, y el método incluye además correlacionar los datos de ubicación con la ubicación de la vegetación objetivo en los datos de instrucción de tratamiento.

10. Un método implementado por computadora de acuerdo con la reivindicación 9, donde los datos ambientales incluyen además uno o más de: velocidad del al menos un aplicador de tratamiento (25), rumbo del al menos un aplicador de tratamiento (25), guiñada del al menos un aplicador de tratamiento (25), dirección del al menos un aplicador de tratamiento (25), posición del al menos un aplicador de tratamiento (25) y altura del al menos un aplicador de tratamiento (25).

11. Un método implementado por computadora de acuerdo con la reivindicación 1, donde el aparato de tratamiento (24,40) incluye una porción rígida y un brazo suspendido flexible (42) que incluye los aplicadores de tratamiento (25) dispuestos sobre el mismo, cada uno tiene una o más boquillas (44) para aplicar uno o más agroquímicos a la vegetación objetivo en el campo.

12. Un método implementado por computadora de acuerdo con la reivindicación 11, donde la pluralidad de sensores (26) están dispuestos en la porción rígida y la pluma suspendida (42) en ubicaciones separadas, y los sensores (26) detectan los datos de posición de cada una de las una o más boquillas (44) con respecto a la porción rígida del aparato de tratamiento (24, 40).

13. Un método implementado por computadora de acuerdo con la reivindicación 12, donde los sensores (26) detectan datos de rumbo de cada una de las una o más boquillas (44), y el método incluye determinar en tiempo real una posición de cada una de las una o más boquillas (44) en el campo.

14. Un método implementado por computadora de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 13, que incluye además el modelado cinemático de cada uno de los componentes del aparato de tratamiento (24, 40) en un modelo de aparato dinámico basado en las restricciones físicas del aparato de tratamiento (24, 40), y comparar el modelo de aparato dinámico con los datos ambientales detectados por los sensores (26) del aparato de tratamiento (24, 40) para resolver las influencias ambientales en los datos ambientales; y opcionalmente que incluye además recibir los datos de imagen georreferenciados de uno o más satélites que incluyen el uno o más dispositivos de captura de imágenes.

15. Un sistema para tratar selectivamente la vegetación en un campo, el sistema incluye: un aparato de tratamiento (24, 40) configurado para moverse en el campo y para tratar la vegetación en el campo con al menos un aplicador de tratamiento dispuesto en el aparato de tratamiento (24, 40); y

uno o más procesadores (22,34) configurados para:

recibir datos de imagen georreferenciados de un campo, desde uno o más dispositivos de captura de imágenes no acoplados al aparato de tratamiento (24, 40), en donde los datos de imagen georreferenciados incluyen una pluralidad de píxeles y datos georreferenciados asociados con cada uno de los píxeles;

analizar la información espectral de los píxeles para clasificar los píxeles como vegetación objetivo en el campo;

determinar una ubicación de la vegetación objetivo en el campo con base en los datos de georreferencia asociados con los píxeles clasificados como esta vegetación objetivo;

determinar datos de mapa de aplicación georreferenciados con base en la ubicación de la vegetación objetivo en el campo, en donde los píxeles no clasificados como esta vegetación objetivo no se incluyen en los datos de mapa de aplicación georreferenciados;

proporcionar los datos de mapa de aplicación georreferenciados al aparato de tratamiento (24, 40) y mover el aparato de tratamiento (24, 40) con base en los datos de mapa de aplicación georreferenciados;

recibir datos ambientales del aparato de tratamiento (24, 40) que se mueve en el campo;

determinar los datos de instrucción de tratamiento para el accionamiento del al menos un aplicador de tratamiento (25) con base en los datos de mapa de aplicación georreferenciados correlacionados con los datos ambientales; y

proporcionar los datos de instrucción de tratamiento al por lo menos un tratamiento

aplicador (25), en donde

5 el al menos un aplicador de tratamiento (25) está configurado para tratar la vegetación objetivo en el campo con base en los datos de instrucción de tratamiento cuando el aparato de tratamiento se mueve a la vegetación objetivo en el campo;

10 en donde los datos de imagen georreferenciados se registran como datos nativos del uno o más dispositivos de captura de imágenes;

15 en donde los datos de imagen georreferenciados del campo incluyen una pluralidad de canales de datos, y el uno o más procesadores (22, 34) están configurados además para consolidar los canales para formar un canal para los datos de mapa de aplicación georreferenciados al representar la vegetación objetivo como un vector de valores de intensidad; y

segmentar los datos de mapa de aplicación georreferenciados aplicando uno o más valores umbral a los valores de intensidad.

DIBUJOS

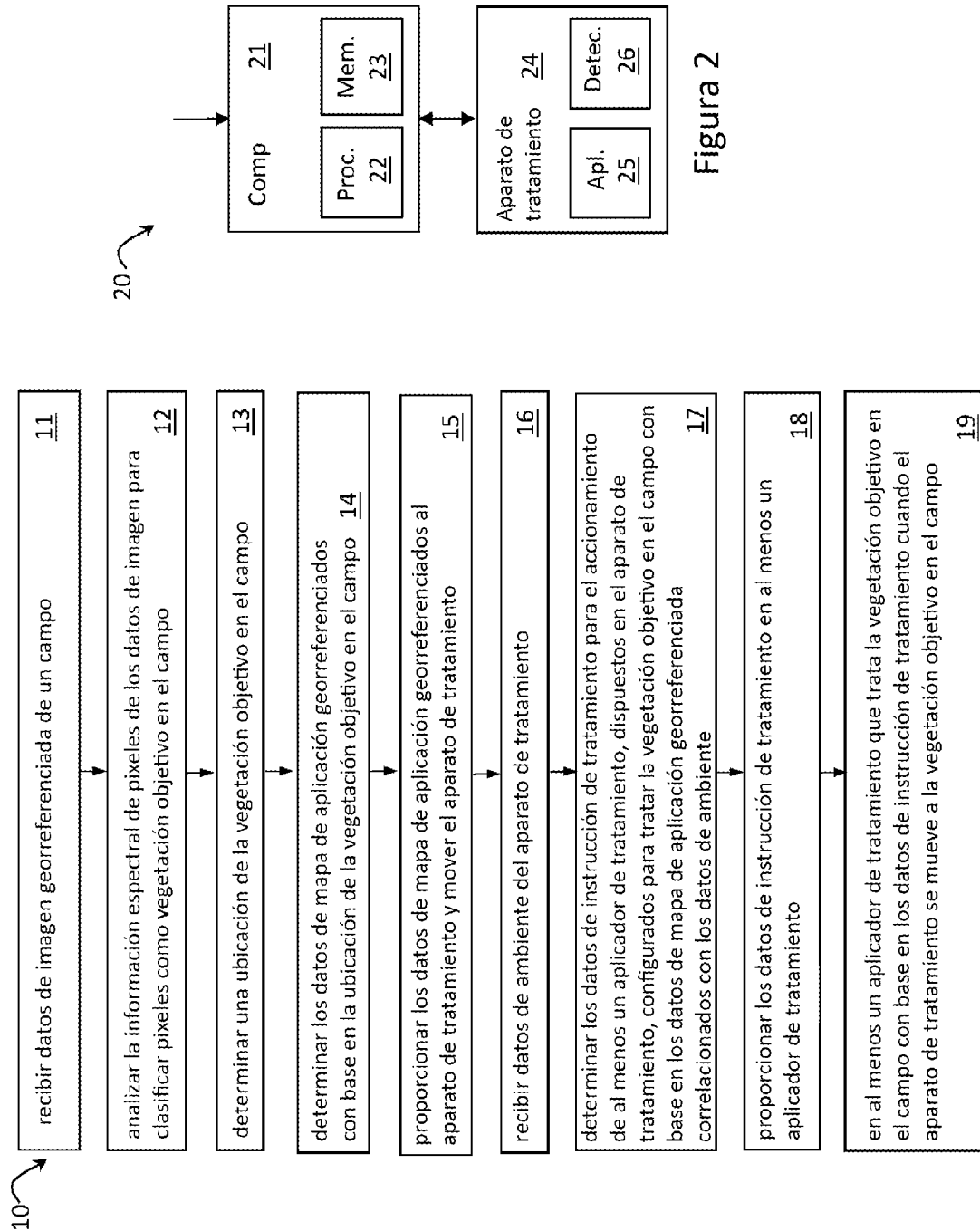


Figura 1

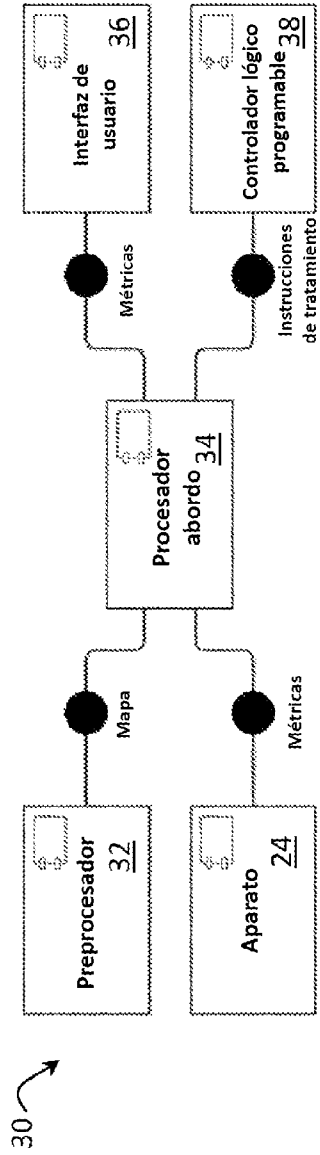


Figura 3

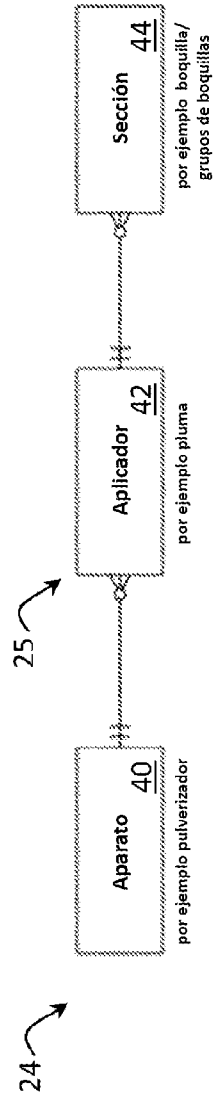


Figura 4

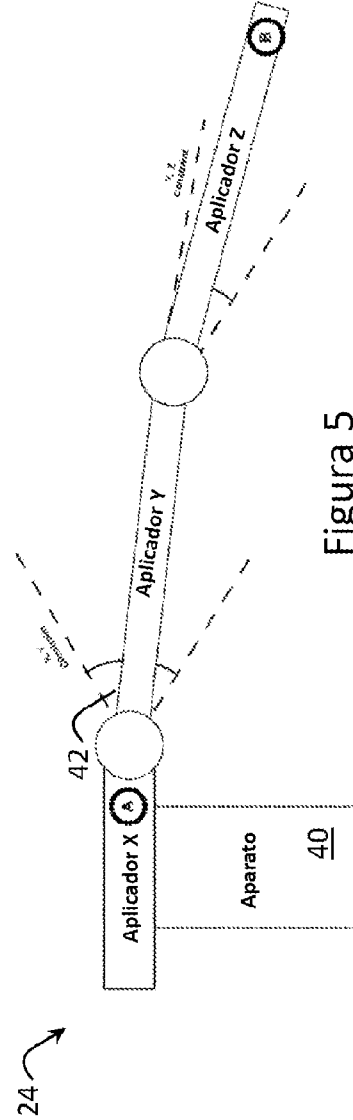


Figura 5

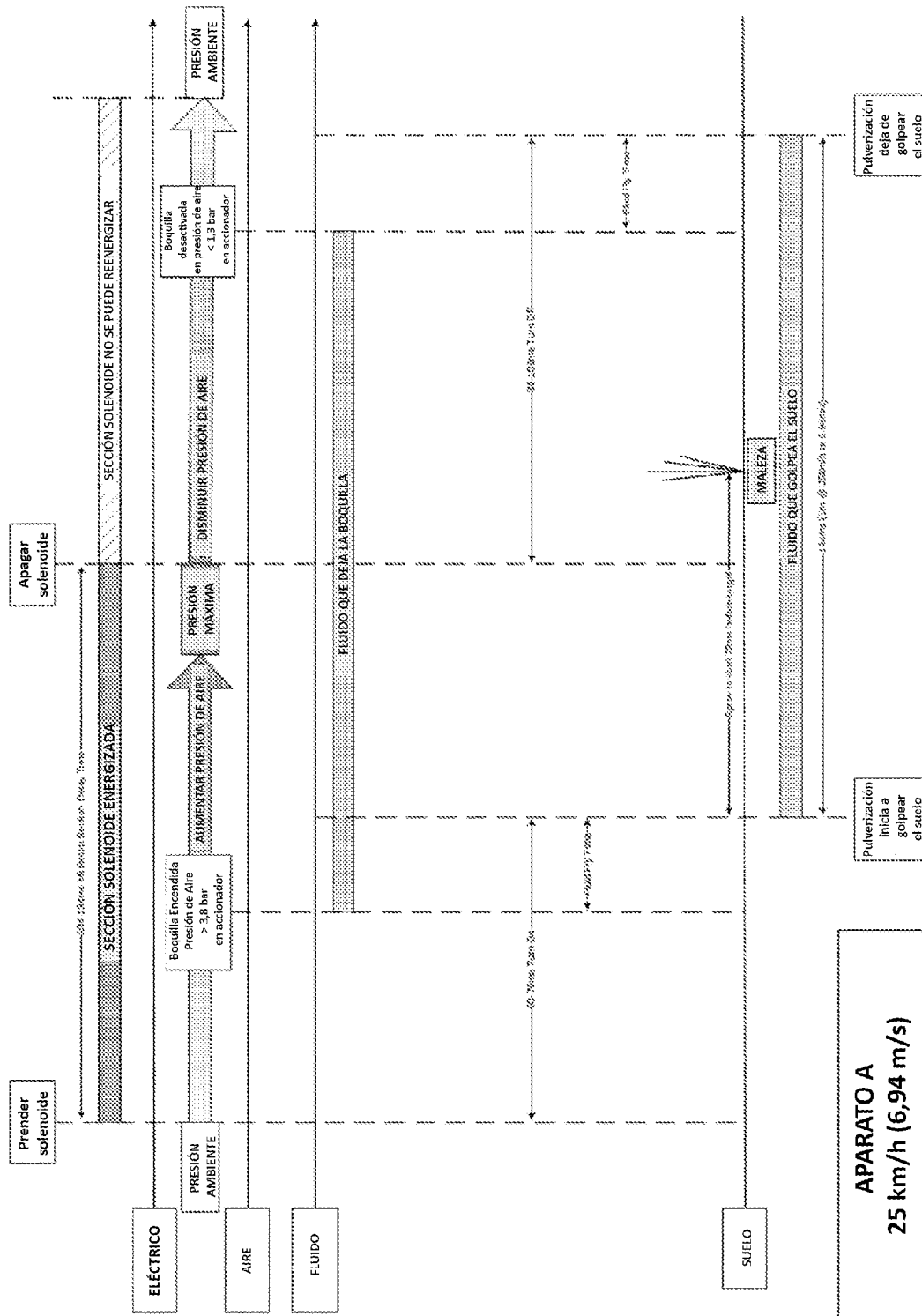


Figura 6

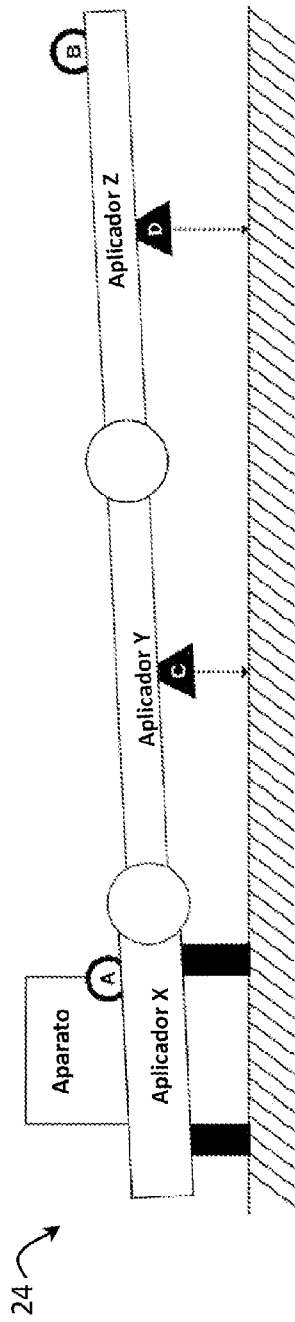


Figura 7

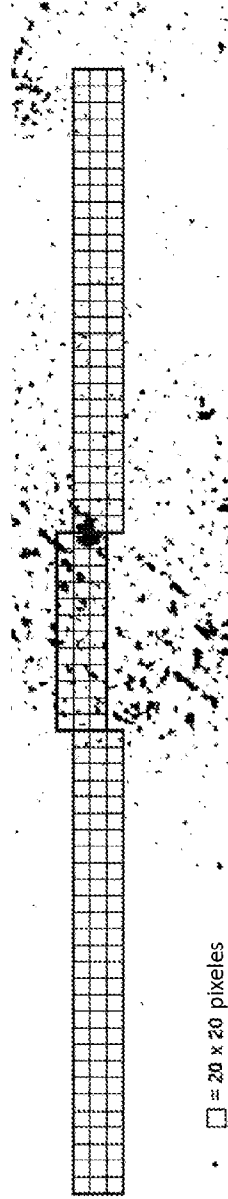


Figura 8

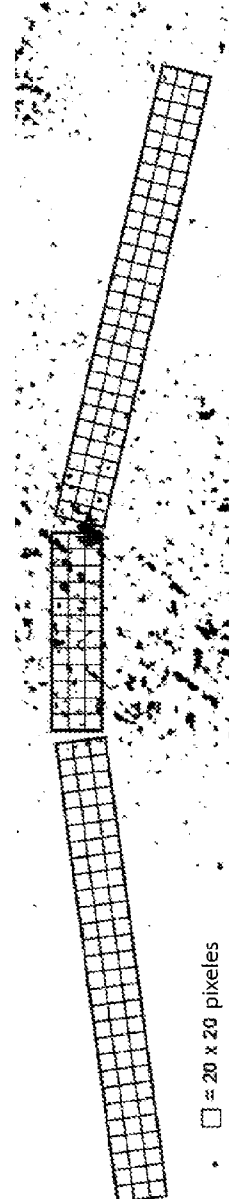


Figura 9

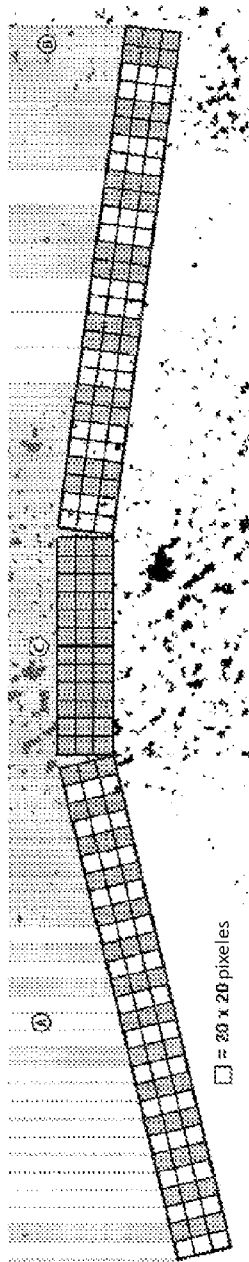


Figura 10

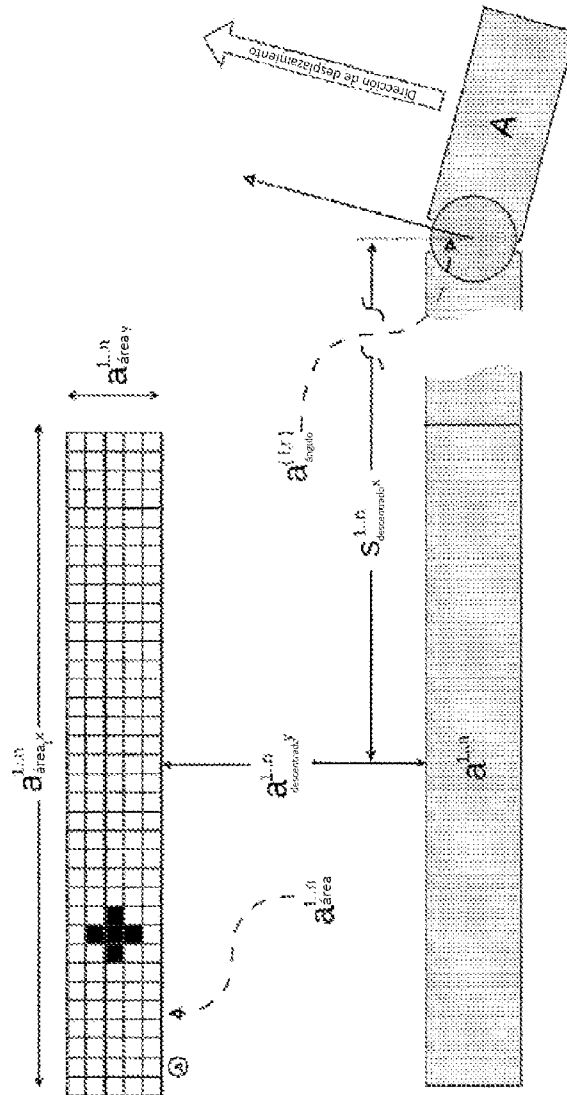


Figura 11

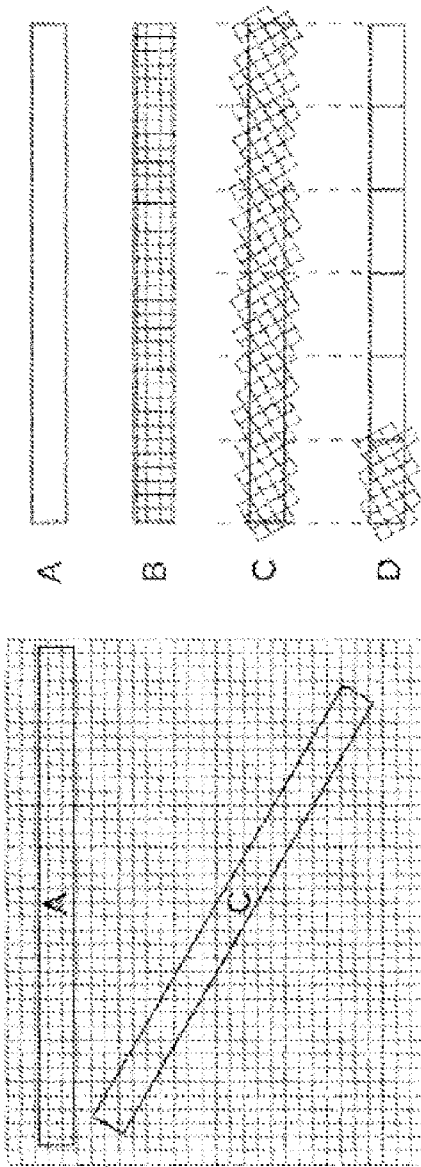


Figura 12



Figura 13