

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 875 349**

51 Int. Cl.:

G06T 7/00	(2007.01) G01J 3/51	(2006.01)
G06T 7/90	(2007.01)	
A01G 7/00	(2006.01)	
A01G 25/16	(2006.01)	
G01J 3/28	(2006.01)	
G01N 33/00	(2006.01)	
G01N 21/84	(2006.01)	
G01J 3/02	(2006.01)	
G01J 3/36	(2006.01)	
G01J 3/50	(2006.01)	

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **27.12.2017** **PCT/EP2017/084614**

87 Fecha y número de publicación internacional: **05.07.2018** **WO18122242**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **27.12.2017** **E 17821659 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **05.05.2021** **EP 3563348**

54 Título: **Dispositivo portátil y método para determinar el estado de una planta**

30 Prioridad:

29.12.2016 EP 16207315
26.05.2017 EP 17173079

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
10.11.2021

73 Titular/es:

YARA INTERNATIONAL ASA (100.0%)
Drammensveien 131
0277 Oslo, NO

72 Inventor/es:

REUSCH, STEFAN

74 Agente/Representante:

VALLEJO LÓPEZ, Juan Pedro

ES 2 875 349 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

Dispositivo portátil y método para determinar el estado de una planta

5 **Campo de la invención**

La invención se refiere a un dispositivo y a un método para determinar el estado de una planta, más en particular, el estado nutricional de una planta.

10 **Antecedentes de la invención**

Se sabe determinar el estado de una planta, tal como el estado nutricional de una planta, con la ayuda del contenido de clorofila. El contenido de clorofila generalmente se determina por medio de mediciones ópticas (por ejemplo, reflectancia o transmitancia). Sin embargo, los dispositivos para determinar el estado de la planta pueden ser grandes, sofisticados, engorrosos de desplegar y/o costosos.

Técnica anterior

El documento WO 2015077493 A1 (Digimarc Corporation, 28 de mayo de 2015) divulga un teléfono inteligente, adaptado para su uso como un espectrómetro de imágenes, mediante la pulsación sincronizada de diferentes fuentes de luz LED a medida que el sensor de imagen CMOS del teléfono captura diferentes fotogramas de imagen. Una implementación particular emplea las funciones de coincidencia de color CIE, y/o sus funciones transformadas ortogonalmente, para habilitar la captura de cromaticidad directa. Las imágenes espectrales se procesan para su uso en la identificación de objetos, la clasificación y otras varias aplicaciones. Las aplicaciones particulares incluyen la identificación de productos (por ejemplo, frutas o verduras).

El documento US 9075008 B2 (Kyle H. Holland, 3 de marzo de 2011) divulga un método y un sistema para tratar una planta, que comprende medir las propiedades ópticas de una planta usando al menos tres bandas espectrales; calcular en un dispositivo computacional al menos dos índices vegetativos diferentes usando las propiedades ópticas, cada uno de los al menos dos índices vegetativos correlacionados con uno o más parámetros de crecimiento de las plantas; calcular en el dispositivo computacional un índice de clorofila invariante en agua a partir de los al menos dos índices vegetativos diferentes usando las al menos tres bandas espectrales; y tratar una o más de las plantas basándose en el índice de clorofila invariante en agua.

El documento EP 1429594 B1 (Norsk Hydro ASA, 3 de abril de 2003) divulga un método para determinar e influir en el estado de las plantas sin contacto, en particular la fertilización de plantas en una zona específica o en un sitio específico, en el que las plantas se iluminan mediante una fuente de luz de xenón o halógeno artificial modulada por medio de un punto de luz o tira de luz durante el recorrido con un portador, las señales de reflexión del follaje de las plantas se capturan en el intervalo espectral visible y/o infrarrojo cercano por medio de detectores y se pasan a una unidad de evaluación y de procesamiento de señales para determinar parámetros biofísicos tales como la biomasa, el contenido de clorofila y/o agua y de los mismos se deriva una medición del nivel de nutrición de las plantas, que un ordenador usa para controlar la cantidad apropiada de fertilizante a aplicar como variable objetivo.

El documento US2016307040 (A1) divulga que los atributos de verduras o productos biológicos se derivan mediante el uso de sensores de imágenes en color y el análisis de banda espectral relativa. Teléfonos inteligentes habilitados o instrumentos dedicados de un solo píxel o plano focal para aplicaciones de cultivos para informar rápidamente la condición biológica de verduras u otros productos orgánicos al proporcionar una vista aumentada o cuantificación relativa de las proporciones RGB de los artículos inspeccionados. Las proporciones RGB se comparan con las proporciones RGB de etiquetas preimpresas. La comparación arroja información sobre la frescura y otros atributos del artículo inspeccionado. Las proporciones de rojo, verde y azul de banda ancha observadas se comparan sobre una base relativa. Mientras compra alimentos, un teléfono inteligente habilitado puede ver un producto agrícola y usar una etiqueta de proporción RGB preimpresa como guía de referencia.

El documento DE102012010912 (B3) divulga un método para la determinación sin contacto del estado nutricional actual de una población de plantas, en el que una imagen digital compuesta por píxeles se captura por medio de un sistema de adquisición de imágenes en al menos dos canales espectrales, el estado nutricional actual se determina a partir de la imagen mediante un análisis de imagen, y de la misma se deriva la recomendación de fertilizante y/o la recomendación de protección de las plantas.

El documento US2014293091 (A1) divulga que un teléfono inteligente está adaptado para su uso como un espectrómetro de imágenes, mediante la pulsación sincronizada de diferentes fuentes de luz LED a medida que el sensor de imagen CMOS del teléfono captura diferentes fotogramas de imagen. Una implementación particular emplea las funciones de coincidencia de color CIE, y/o sus funciones transformadas ortogonalmente, para habilitar la captura de cromaticidad directa.

El documento US2016367135 (A1) divulga un adaptador configurado para acoplarse con un dispositivo informático

portátil para permitir que una cámara en el dispositivo informático portátil tome una imagen de alta calidad de un ojo. El adaptador permite obtener imágenes de alta calidad de la porción anterior y de la porción posterior del ojo. El adaptador puede incluir componentes modulares adicionales, tales como un cerramiento de vía óptica y un módulo divisor de haz.

Sumario de la invención

Es un objetivo proporcionar un sistema simple, fácil de usar, fácil de desplegar y/o económico. Más en general, es un objetivo proporcionar un sistema mejorado para determinar el estado de una planta.

De acuerdo con un aspecto, se proporciona un dispositivo portátil para determinar el estado de las plantas, en particular de acuerdo con la reivindicación 1. El dispositivo portátil proporciona la ventaja de que la determinación puede realizarse fácilmente in situ, por ejemplo, en el campo. El dispositivo incluye una cámara digital de color dispuesta para obtener una imagen en color de plantas dentro de un campo de visión. La imagen en color incluye píxeles, cada uno de los cuales comprende al menos un componente de color rojo (R), verde (G) y azul (B), que forman juntos un conjunto de componentes de color. El dispositivo incluye una fuente de luz dispuesta para proporcionar iluminación de banda ancha al menos a las plantas dentro del campo de visión. La iluminación de banda ancha puede proporcionarse, por ejemplo, mediante una fuente de luz blanca, tal como un LED blanco. El dispositivo incluye una unidad de procesamiento. La unidad de procesamiento está dispuesta para controlar la cámara y la fuente de luz para obtener una primera imagen de las plantas mientras la fuente de luz ilumina las plantas con la iluminación de banda ancha. La unidad de procesamiento está dispuesta para obtener una segunda imagen de las plantas mientras la fuente de luz no ilumina las plantas. La unidad de procesamiento está dispuesta para determinar un primer valor de color representativo de una diferencia en los valores de intensidad en la primera y en la segunda imagen para un primero de los componentes de color. La unidad de procesamiento está dispuesta para determinar un segundo valor de color representativo de una diferencia en los valores de intensidad en la primera y en la segunda imagen para un segundo de los componentes de color. La unidad de procesamiento está dispuesta para calcular un valor representativo del estado de las plantas usando el primer valor de color y el segundo valor de color.

La determinación del valor representativo del estado de las plantas sobre la base de la primera imagen, es decir, con iluminación de la fuente de luz, y en la segunda imagen, es decir, sin iluminación de la fuente de luz, proporciona la ventaja de que se pueden suprimir los efectos de las condiciones de iluminación ambiental. Por lo tanto, la fiabilidad del dispositivo se mejora enormemente. También se puede mejorar la reproducibilidad de la determinación. Se apreciará que, en general, el dispositivo y el método pueden usarse para determinar el valor representativo del estado de un objeto.

La unidad de procesamiento puede disponerse para calcular el valor representativo del estado de las plantas determinando el primer valor de color como la diferencia del valor de intensidad promediado por píxeles (es decir, el valor de intensidad promediado sobre todos los píxeles para el componente de color dado) en la primera imagen y en la segunda imagen para el primero de los componentes de color; determinando el segundo valor de color como la diferencia del valor de intensidad promediado por píxeles (es decir, el valor de intensidad promediado sobre todos los píxeles para el componente de color dado) en la primera y en la segunda imagen para el segundo de los componentes de color; y calculando el valor representativo del estado de las plantas usando el primer valor de color y el segundo valor de color. Por lo tanto, el valor, S , representativo del estado de las plantas es una función, f , del valor de intensidad promedio, $\overline{I_{1,ENCENDIDO}}$, en la primera imagen y, $\overline{I_{1,APAGADO}}$, en la segunda imagen para el primero de los componentes de color y del valor de intensidad promedio, $\overline{I_{2,ENCENDIDO}}$ en la primera y, $\overline{I_{2,APAGADO}}$, en la segunda imagen para el segundo de los componentes del color:

$$S = f((\overline{I_{1,ENCENDIDO}} - \overline{I_{1,APAGADO}}), (\overline{I_{2,ENCENDIDO}} - \overline{I_{2,APAGADO}})) \quad \text{EC1}$$

Aquí el primer valor de color es $V_1 = (\overline{I_{1,ENCENDIDO}} - \overline{I_{1,APAGADO}})$, y el segundo valor de color es $V_2 = (\overline{I_{2,ENCENDIDO}} - \overline{I_{2,APAGADO}})$.

Al utilizar un valor de intensidad promedio para la imagen o parte de la imagen, se descarta la información sobre la distribución espacial del valor de intensidad. Como resultado, se pueden reducir los errores de desajuste, que habitualmente ocurren si el objeto y/o la cámara se mueven entre la toma de la primera y de la segunda imagen. No obstante, de esta manera, los valores de intensidad relacionados con porciones de la imagen mutuamente diferentes, por ejemplo, con diferentes hojas de una o más plantas, en diferentes ubicaciones (por ejemplo, diferentes alturas) en el dosel, se tienen en cuenta simultáneamente para determinar un valor de intensidad promedio. Por lo tanto, se pueden reducir los errores de medición.

La unidad de procesamiento puede disponerse para calcular el valor representativo del estado de las plantas determinando el primer valor de color como un promedio de la diferencia en los valores de intensidad por píxel en la primera y en la segunda imagen para el primero de los componentes de color; determinando el segundo valor de color como un promedio de la diferencia en los valores de intensidad por píxel en la primera y en la segunda imagen para el segundo de los componentes de color; y calculando el valor representativo del estado de las plantas usando el

primer valor de color y el segundo valor de color. Por lo tanto, el valor, S, representativo del estado de las plantas es una función, f, del valor de intensidad, $I_{1, ENCENDIDO, i}$, por píxel, i, en la primera imagen y, $I_{1, APAGADO, i}$, en la segunda imagen para el primero de los componentes de color y de valor de intensidad, $I_{2, ENCENDIDO, i}$, por píxel en la primera y, $I_{2, APAGADO, i}$, en la segunda imagen:

$$S = f\left(\left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n I_{1, ENCENDIDO, i} - I_{1, APAGADO, i}\right), \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n I_{2, ENCENDIDO, i} - I_{2, APAGADO, i}\right)\right). \quad EC2$$

Aquí el primer valor de color es $V_1 = \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n I_{1, ENCENDIDO, i} - I_{1, APAGADO, i}\right)$, y el segundo valor de color es $V_2 = \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n I_{2, ENCENDIDO, i} - I_{2, APAGADO, i}\right)$.

La unidad de procesamiento puede disponerse para calcular el valor representativo del estado de las plantas determinando el primer valor de color como la diferencia en los valores de intensidad en la primera y en la segunda imagen para el primero de los componentes de color por píxel; determinando el segundo valor de color como la diferencia en los valores de intensidad en la primera y en la segunda imagen para el segundo de los componentes de color por píxel; y calculando el valor representativo del estado de las plantas promediando un valor en píxeles representativo del estado de las plantas obtenido usando el primer valor de color por píxel y el segundo valor de color por píxel. Por lo tanto, el valor, S, representativo del estado de las plantas es una función, f, del valor de intensidad, $I_{1, ENCENDIDO, i}$, por píxel, i, en la primera imagen y, $I_{1, APAGADO, i}$, en la segunda imagen para el primero de los componentes de color y de valor de intensidad, $I_{2, ENCENDIDO, i}$, por píxel en la primera y, $I_{2, APAGADO, i}$, en la segunda imagen:

$$S_i = f\left((I_{1, ENCENDIDO, i} - I_{1, APAGADO, i}), (I_{2, ENCENDIDO, i} - I_{2, APAGADO, i})\right), \quad EC3$$

$$S = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n S_i. \quad EC4$$

Aquí el primer valor de color es $V_{1, i} = (I_{1, ENCENDIDO, i} - I_{1, APAGADO, i})$ para el iⁿ píxel, y el segundo valor de color es $V_{2, i} = (I_{2, ENCENDIDO, i} - I_{2, APAGADO, i})$ para el iⁿ píxel.

Se apreciará que es posible realizar los cálculos sobre la base de todos los píxeles de las imágenes. También es posible realizar los cálculos sobre la base de un subconjunto de los píxeles de las imágenes. Es posible que el subconjunto lo determine, por ejemplo, un usuario (por ejemplo, seleccionando una región en una pantalla) o la unidad de procesamiento (por ejemplo, un procedimiento de reconocimiento de imágenes, por ejemplo, seleccionando píxeles que pertenecen a la imagen de una hoja, una pluralidad de hojas, frutos o similares). Es posible que el subconjunto se determine, por ejemplo, automáticamente, seleccionando aquellos píxeles que cumplan un determinado criterio, o determinados criterios (por ejemplo, todos los píxeles identificados como "verdes", lo que provoca que los elementos no verdes como el suelo, las yemas de los dedos, los pies, etc., no se tengan en consideración en los cálculos).

Se apreciará que el promedio se puede realizar usando todos los píxeles de la imagen. También es posible realizar el promedio usando un subconjunto de los píxeles de la imagen. Es posible que el subconjunto lo determine, por ejemplo, un usuario (por ejemplo, seleccionando una región en una pantalla) o la unidad de procesamiento (por ejemplo, un procedimiento de reconocimiento de imágenes, por ejemplo, seleccionando píxeles que pertenecen a la imagen de una hoja, una pluralidad de hojas, frutos o similares). Es posible que el subconjunto se determine, por ejemplo, automáticamente, seleccionando aquellos píxeles que cumplan un determinado criterio, o determinados criterios (por ejemplo, todos los píxeles identificados como "verdes", lo que provoca que los elementos no verdes como el suelo, las yemas de los dedos, los pies, etc., no se tengan en consideración en el promedio).

Las formas anteriores de calcular el valor representativo del estado de las plantas también pueden usarse para cada una de una pluralidad de bloques de píxeles de la primera y de la segunda imagen. Se puede calcular un valor eventual representativo del estado de las plantas promediando dichos valores en bloque representativos del estado de las plantas obtenido.

Opcionalmente, la unidad de procesamiento está dispuesta para, en la etapa (iii), calcular el valor, S, representativo del estado de las plantas basándose en una proporción del primer valor de color y del segundo valor de color. Por lo tanto, S se puede denotar como $S = V_1/V_2$. En el presente documento, V_1 y V_2 se pueden determinar como anteriormente (incluidos $V_{1, i}$ y $V_{2, i}$ y el posterior promedio de los píxeles).

La unidad de procesamiento puede disponerse, por ejemplo, para calcular el valor, S, representativo del estado de las plantas como:

$$S = \frac{I_{1, ENCENDIDO} - I_{1, APAGADO}}{I_{2, ENCENDIDO} - I_{2, APAGADO}} \quad EC5$$

en donde $I_{1, ENCENDIDO}$ es un primer valor de intensidad de componente de color, promediado sobre una pluralidad de píxeles de la primera imagen, $I_{1, APAGADO}$ es un primer valor de intensidad de componente de color, promediado sobre

una pluralidad de píxeles de la segunda imagen de referencia, $\overline{I_{2,ENCENDIDO}}$ es un segundo valor de intensidad de componente de color, promediado sobre una pluralidad de píxeles de la primera imagen de referencia, y $\overline{I_{2,APAGADO}}$ es un segundo valor de intensidad de componente de color, promediado sobre una pluralidad de píxeles de la segunda imagen de referencia.

5 La unidad de procesamiento puede, por ejemplo, disponerse para calcular el valor, S, representativo del estado de las plantas como

$$S = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{I_{1,ENCENDIDO,i} - I_{1,APAGADO,i}}{I_{2,ENCENDIDO,i} - I_{2,APAGADO,i}} \quad \text{EC6}$$

10 en donde $I_{1,ENCENDIDO,i}$ es un primer valor de intensidad de componente de color para un i^{th} píxel de la primera imagen de referencia, $I_{1,APAGADO,i}$ es un primer valor de intensidad de componente de color para el i^{th} píxel de la segunda imagen de referencia, $I_{2,ENCENDIDO,i}$ es un segundo valor de intensidad de componente de color para el i^{th} píxel de la primera imagen de referencia, e $I_{2,APAGADO,i}$ es un segundo valor de intensidad de componente de color para el i^{th} píxel de la segunda imagen de referencia, y n es el número de píxeles.

20 Existe una relación entre el verdor de las hojas y el estado de nitrógeno de la planta. Por lo tanto, los requisitos de nitrógeno de las plantas se pueden determinar basándose en los datos de medición recopilados de las hojas de las plantas. Las hojas de las plantas con niveles elevados de nitrógeno habitualmente tienen más clorofila y mayores tasas de fotosíntesis. Por lo tanto, las plantas que parecen de un verde más oscuro se perciben como más saludables que las plantas deficientes en nitrógeno. Por lo tanto, es posible detectar o medir de forma remota el verdor de las hojas y obtener una indicación de la concentración de clorofila y del estado de nitrógeno de la planta.

25 Asimismo, también se pueden monitorizar otras propiedades, representativas del estado de una planta, basándose en el método de color divulgado, tal como la madurez (por ejemplo, tomates, calabazas, trigo, cebada, maíz, etc.) y para esto, se deben determinar los valores de color apropiados y se debe calcular un valor representativo del estado de las plantas.

30 Opcionalmente, el primero de los componentes de color es verde (G) y el segundo de los componentes de color es rojo (R). Esto proporciona la ventaja de que el valor representativo del estado de las plantas es muy sensible al verde. El componente de imagen verde puede ser representativo del contenido de clorofila. El componente de imagen rojo puede ser en gran parte o totalmente independiente del contenido de clorofila. La proporción entre el componente de imagen verde y el componente de imagen rojo se puede usar para aproximar un valor normalizado relacionado con el contenido de clorofila. Por lo tanto, la fiabilidad del dispositivo se mejora enormemente. El componente de imagen verde puede ser representativo del contenido de clorofila. El componente de imagen rojo puede ser en gran parte o totalmente independiente del contenido de clorofila. Por lo tanto, el componente de imagen rojo se puede usar para suprimir los efectos de la iluminación de fondo no relacionados con el contenido de clorofila. Por lo tanto, la fiabilidad del dispositivo se mejora enormemente.

40 Aunque la intensidad del componente de color verde y del componente de color rojo pueden depender de la distancia de la fuente de luz a la planta, el uso de la proporción del componente de imagen verde y del componente de imagen rojo también se puede usar para hacer que el resultado de la medición, es decir, la proporción, sea independiente de la distancia de medición.

45 Opcionalmente, la unidad de procesamiento está dispuesta además para determinar un tercer valor de color representativo de una diferencia en los valores de intensidad en la primera y en la segunda imagen para un tercero de los componentes de color, y calcular el valor representativo del estado de las plantas usando el primer valor de color, el segundo valor de color y el tercer valor de color.

50 Se apreciará que el tercer valor de color se puede determinar como la diferencia del valor de intensidad promedio en la primera imagen y en la segunda imagen para el tercero de los componentes de color; o como un promedio de la diferencia en los valores de intensidad por píxel en la primera y en la segunda imagen para el tercero de los componentes de color; o como la diferencia en los valores de intensidad en la primera y en la segunda imagen para el tercero de los componentes de color por píxel.

55 Opcionalmente, la unidad de procesamiento está dispuesta para, en la etapa (iii), calcular el valor representativo del estado de las plantas basándose en una proporción del primer valor de color y del segundo valor de color, por ejemplo, como en EC5 o EC6. El uso de una proporción de dos valores de color permite calcular un valor representativo del estado de una planta en donde la sensibilidad para el primer valor de color se incrementa usando el segundo valor de color como referencia.

60 Opcionalmente, la unidad de procesamiento está dispuesta para, en la etapa (iii), calcular dicho valor representativo del estado de las plantas basándose en un valor de matiz usando el primer, el segundo y el tercer valor de color. El valor de matiz h_{RGB} se puede calcular convencionalmente como

65

$$h_{RGB} = \text{atan2}(\sqrt{3}(V_G - V_B), 2V_R - V_G - V_B)$$

EC7

en donde V_R es el primer valor de color, en donde se elige el rojo como el primero de los componentes de color, V_G es el segundo valor de color, en donde se elige el verde como el segundo de los componentes de color, y V_B es el tercer componente de color en donde se elige el azul como el tercero de los componentes del color. La función atan2 es la función arcotangente con dos argumentos. Para cualquier argumento de número real x e y que no sean ambos iguales a cero, $\text{atan2}(y, x)$ es el ángulo en radianes entre el eje x positivo de un plano y el punto dado por las coordenadas (x, y) en él. El ángulo es positivo para los ángulos en sentido antihorario (semiplano superior, $y > 0$) y negativo para los ángulos en sentido horario (semiplano inferior, $y < 0$). El fin de usar dos argumentos en lugar de uno, es decir, simplemente computar un $\text{atan}(y/x)$, es reunir información sobre los signos de las entradas para devolver el cuadrante apropiado del ángulo computado, lo cual no es posible para la función arcotangente de un solo argumento. También evita el problema de la división entre cero, ya que $\text{atan2}(y, 0)$ devolverá una respuesta válida siempre que y no sea cero. El valor de matiz puede ser representativo del contenido de clorofila. Un verde más oscuro puede indicar un contenido de clorofila más alto, un verde más claro puede indicar un contenido de clorofila más bajo. Un verde más claro puede indicar una deficiencia de nitrógeno. El valor de matiz también puede ser representativo de otro estado de la planta, tal como la madurez (por ejemplo, tomates, calabazas, trigo, cebada, etc.).

El valor representativo del estado de las plantas también se puede determinar como otra combinación matemática del primer, el segundo y, opcionalmente, el tercer valor de color, V_1 , V_2 y V_3 . Por ejemplo, $S = (V_1 - V_2)/V_3$, $S = (V_1 + V_2)/2$, $S = V_1/(V_2 - V_3)$, etc. Para que el valor S sea insensible a la distancia de medición, preferentemente se usa una proporción de valores de color.

La unidad de procesamiento puede disponerse para determinar el valor representativo del estado de las plantas a partir del matiz, la saturación y/o el brillo del espacio de color matiz-saturación-brillo (HSB, por sus siglas en inglés, Hue, Saturation, Brightness). En el presente documento, el matiz, la saturación y el brillo se pueden definir como

$$\text{Matiz} = \begin{cases} 60 \times \left(\frac{V_G - V_B}{\max(V_R, V_G, V_B) - \min(V_R, V_G, V_B)} \right), & \max(V_R, V_G, V_B) = V_R \\ 60 \times \left(2 + \frac{V_B - V_R}{\max(V_R, V_G, V_B) - \min(V_R, V_G, V_B)} \right), & \max(V_R, V_G, V_B) = V_G \\ 60 \times \left(4 + \frac{V_G - V_B}{\max(V_R, V_G, V_B) - \min(V_R, V_G, V_B)} \right), & \max(V_R, V_G, V_B) = V_B \end{cases}$$

$$\text{Saturación (Sat)} = \begin{cases} 0, & \max(V_R, V_G, V_B) = 0 \\ \frac{\max(V_R, V_G, V_B) - \min(V_R, V_G, V_B)}{\max(V_R, V_G, V_B)}, & \max(V_R, V_G, V_B) \neq 0 \end{cases}$$

$$\text{Brillo (B')} = \frac{\max(V_R, V_G, V_B)}{255}.$$

El valor representativo del estado de las plantas puede, por ejemplo, ser el matiz, la saturación o el brillo como se ha determinado anteriormente, o una combinación de los mismos.

La unidad de procesamiento puede disponerse para determinar el valor representativo del estado de las plantas a partir de una diferencia entre los valores de color rojo y verde, por ejemplo, $S = V_G - V_R$.

La unidad de procesamiento puede disponerse para determinar el valor representativo del estado de las plantas a partir de una proporción de los valores de color verde y rojo, por ejemplo, $S = V_G/V_R$.

La unidad de procesamiento puede disponerse para determinar el valor representativo del estado de las plantas a partir de un índice de vegetación VI , por ejemplo, $S = VI = (V_G - V_R)/(V_G + V_R)$.

La unidad de procesamiento puede disponerse para determinar el valor representativo del estado de las plantas a partir de un índice de color verde oscuro (DGCI, por sus siglas en inglés, dark green color index), por ejemplo,

$$S = \text{DGCI} = \left[\left(\frac{\text{Matiz}}{60} - 1 \right) + (1 - \text{Sat}) + (1 - B') \right] / 3.$$

Opcionalmente, la unidad de procesamiento está dispuesta para calibrar el primer valor de color, el segundo valor de color y el tercer valor de color opcional. Esto proporciona la ventaja de que se pueden tener en cuenta las desviaciones en la iluminación y/o la cámara. Por lo tanto, por ejemplo, se pueden tener en cuenta las desviaciones en la composición espectral de la fuente de luz y/o la sensibilidad espectral de la cámara.

La calibración puede incluir obtener, con la cámara, una primera imagen de referencia de un objeto de referencia con una reflectancia uniforme, preferentemente conocida, mientras la fuente de luz ilumina el objeto de referencia con la iluminación de banda ancha, y obtener una segunda imagen de referencia del objeto de referencia mientras la fuente de luz no ilumina el objeto de referencia.

La unidad de procesamiento puede disponerse para calibrar el primer, el segundo o el tercer valor de color para ese valor de color multiplicando el valor de color por un valor de calibración, C, determinado como un valor de referencia, K, dividido entre la diferencia del valor de intensidad promedio $I_{C, ENCENDIDO}$ en la primera imagen de referencia y el valor de intensidad promedio $I_{C, APAGADO}$ en la segunda imagen de referencia para ese componente de color:

$$C = \frac{K}{I_{C, ENCENDIDO} - I_{C, APAGADO}} \quad \text{EC8}$$

La unidad de procesamiento puede disponerse para calibrar el primer, el segundo o el tercer valor de color para ese valor de color multiplicando el valor de color por un valor de calibración, C, determinado como un valor de referencia, K, dividido entre un promedio de la diferencia en los valores de intensidad por píxel en la primera imagen de referencia y en la segunda imagen de referencia para ese componente de color:

$$C = \frac{k}{\frac{1}{m} \sum_{i=1}^m (I_{C, ENCENDIDO, i} - I_{C, APAGADO, i})} \quad \text{EC9}$$

En el presente documento, $I_{C, encendido, i}$, es el valor de intensidad para ese componente de color para un i^{th} píxel de la primera imagen de referencia, $I_{C, apagado, i}$ es el valor de intensidad para ese componente de color para el i^{th} píxel de la segunda imagen de referencia, y m es el número de píxeles.

La unidad de procesamiento puede disponerse para calibrar el primer, el segundo o el tercer valor de color para ese valor de color multiplicando por píxel el valor de color por un valor de calibración, C_i determinado como un valor de referencia, K, dividido entre la diferencia en los valores de intensidad en la primera imagen de referencia y en la segunda imagen de referencia para ese componente de color por píxel:

$$C_i = \frac{k}{I_{C, ENCENDIDO, i} - I_{C, APAGADO, i}} \quad \text{EC10}$$

Aquí $I_{C, encendido, i}$ es el valor de intensidad para ese componente de color para un i^{th} píxel de la primera imagen de referencia, e $I_{C, apagado, i}$ es el valor de intensidad para ese componente de color para el i^{th} píxel de la segunda imagen de referencia.

La unidad de procesamiento puede disponerse para calibrar el primer, el segundo o el tercer valor de color por bloque, b, de píxeles para ese valor de color multiplicando el valor de color por un valor de calibración, C_b , determinado como un valor de referencia, K, dividido entre un promedio de la diferencia en los valores de intensidad por píxel en la primera imagen de referencia y en la segunda imagen de referencia para ese componente de color:

$$C_b = \frac{k}{\frac{1}{p} \sum_{i=1}^p (I_{C, ENCENDIDO, i} - I_{C, APAGADO, i})} \quad \text{EC11}$$

En el presente documento, $I_{C, encendido, i}$, es el valor de intensidad para ese componente de color para un i^{th} píxel de la primera imagen de referencia, $I_{C, apagado, i}$ es el valor de intensidad para ese componente de color para el i^{th} píxel de la segunda imagen de referencia, y p es el número de píxeles en el bloque.

El valor de referencia, K, puede ser una constante, tal como un valor de intensidad máximo posible, un valor de intensidad máximo encontrado en la primera imagen de referencia para ese componente de color, una diferencia máxima en los valores de intensidad promedio en la primera imagen de referencia y en la segunda imagen de referencia para ese componente de color, etc. El valor de referencia, K, puede representar la reflectancia del material de referencia en el componente de color respectivo.

Se apreciará que en caso de que la unidad de procesamiento calcule el valor representativo del estado de las plantas basándose en una proporción del primer valor de color y del segundo valor de color, los valores de referencia K para la constante de calibración C_1 para el primer valor de color y la constante de calibración C_2 para el segundo valor de color pueden desaparecer de la ecuación, por ejemplo, si el valor de referencia K es el mismo para todos los componentes de color. Por ejemplo, cuando se usa la forma calibrada de la ecuación EC5:

$$S = \left(\frac{I_{1, ENCENDIDO} - I_{1, APAGADO}}{I_{2, ENCENDIDO} - I_{2, APAGADO}} \right) \cdot \left(\frac{I_{C, 2, ENCENDIDO} - I_{C, 2, APAGADO}}{I_{C, 1, ENCENDIDO} - I_{C, 1, APAGADO}} \right) \quad \text{EQ12}$$

Con $\overline{I_{C,1,ENCENDIDO}}$ el valor de intensidad promedio en la primera imagen de referencia para el primero de los componentes de color, etc.

5 Opcionalmente, al menos un componente de color se elige para que sea menos sensible a los cambios en el estado de la planta que el(los) otro(s) componente(s) de color. Opcionalmente, el primero de los componentes de color se selecciona para que esté relacionado con el color de la planta de la que se va a determinar el estado, y en donde el segundo de los componentes de color se selecciona para que sea menor o para que no esté relacionado con dicho color de la planta.

10 Opcionalmente, la unidad de procesamiento está dispuesta para, en la etapa (iii), calcular un valor representativo del estado de color de un objeto, usando la intensidad de uno o más de los componentes de color.

Opcionalmente, la unidad de procesamiento está dispuesta para controlar la cámara y la fuente de luz para obtener la primera y la segunda imagen en respuesta a un solo comando de usuario. Por lo tanto, un solo comando de usuario inicia una secuencia de medición en la que tanto la primera como la segunda imagen se obtienen automáticamente. Preferentemente, la primera y la segunda imagen se obtienen en sucesión rápida. La primera y la segunda imagen pueden, por ejemplo, obtenerse en 1 segundo, preferentemente en <100 ms, más preferentemente en <10 ms. Por lo tanto, se reducen los errores de medición debidos al movimiento de la cámara y/o de las plantas. Por ejemplo, un tiempo de exposición de la cámara puede ser 1/250 s (4 ms) y un tiempo de retardo entre la primera y la segunda imagen puede ser, por ejemplo, 125 ms.

25 De acuerdo con un aspecto, la cámara está dispuesta para determinar para cada píxel en una imagen un valor de intensidad de rojo, un valor de intensidad de verde y un valor de intensidad de azul. La cámara puede ser una cámara RGB. El componente de imagen verde pueden ser los valores de píxeles verdes para los píxeles en la imagen. El componente de imagen rojo pueden ser los valores de píxeles rojos para los píxeles en la imagen.

De acuerdo con un aspecto, la unidad de procesamiento está dispuesta para determinar el valor representativo del estado de las plantas, G/R, como:

$$30 \quad G/R = 100 * \left(\frac{G1-G0}{R1-R0} * C - 1 \right). \quad \text{EC13}$$

En el presente documento, G1 es un primer valor de intensidad de verde promedio para una pluralidad de píxeles de la primera imagen y G0 es un segundo valor de intensidad de verde promedio para una pluralidad de píxeles de la segunda imagen. En el presente documento, R1 es un primer valor de intensidad de rojo promedio para una pluralidad de píxeles de la primera imagen y R0 es un segundo valor de intensidad de rojo promedio para una pluralidad de píxeles de la segunda imagen. C es una constante de calibración. Se apreciará que G1, G0, R1 y R0 se refieren preferentemente a la misma pluralidad de píxeles. La pluralidad de píxeles puede ser un área predeterminada dentro de las imágenes, por ejemplo, un área central. La pluralidad de píxeles puede ser un área variable dentro de las imágenes, por ejemplo, un área con valores de intensidad superiores a un valor umbral. La pluralidad de píxeles puede ser todos los píxeles dentro de las imágenes.

45 La constante de calibración C se puede determinar obteniendo una primera imagen de referencia de un objeto de referencia que tiene una reflectancia uniforme, mientras la fuente de luz ilumina el objeto de referencia con iluminación de banda ancha, y obteniendo una segunda imagen de referencia del objeto de referencia mientras la fuente de luz no ilumina el objeto de referencia. El objeto de referencia puede, por ejemplo, ser un panel de referencia gris. La constante de calibración se puede definir como:

$$C = \frac{Rr1-Rr0}{Gr1-Gr0} \quad \text{EC14}$$

50 En el presente documento, Gr1 es un primer valor de intensidad de verde promedio para una pluralidad de píxeles de la primera imagen de referencia y Gr0 es un segundo valor de intensidad de verde promedio para una pluralidad de píxeles de la segunda imagen de referencia. En el presente documento, Rr1 es un primer valor de intensidad de rojo promedio para una pluralidad de píxeles de la primera imagen de referencia y Rr0 es un segundo valor de intensidad de rojo promedio para una pluralidad de píxeles de la segunda imagen de referencia. La constante de calibración puede, por ejemplo, compensar las desviaciones específicas de la cámara y/o de la fuente de luz del dispositivo.

60 Se apreciará que la constante de calibración tal como se define anteriormente en el presente documento puede determinarse solo una vez para un dispositivo. Sin embargo, cuando se sospecha que el dispositivo está deteriorado, por ejemplo, debido al deterioro o contaminación de los componentes, la constante de calibración puede determinarse de nuevo. Se apreciará que también es posible que la constante de calibración se determine solo una vez para un tipo específico de dispositivo. Cuando los componentes (opto)electrónicos de todos los dispositivos del tipo son idénticos, una sola determinación de la constante de calibración para todos los dispositivos de ese tipo puede ser suficiente.

De acuerdo con un aspecto, la cámara incluye un primer filtro de polarización y la fuente de luz incluye un segundo

filtro de polarización. Opcionalmente, los filtros de polarización primero y segundo están polarizados en forma cruzada. Esto proporciona la ventaja de que la reflexión especular de la luz en la superficie, por ejemplo la hoja, de la planta puede suprimirse.

- 5 De acuerdo con un aspecto, el dispositivo incluye una unidad de comunicaciones dispuesta para comunicar el estado determinado de las plantas, o un parámetro derivado del mismo, a un sistema aplicador, tal como un sistema de fertilización, un sistema de riego, un sistema de ventilación, un sistema de calefacción o similares.

- 10 Opcionalmente, el dispositivo incluye una unidad de determinación de posición, tal como una unidad GPS, para determinar la información de ubicación del dispositivo. Entonces, el dispositivo puede disponerse para almacenar el estado de las plantas, o un parámetro derivado del mismo, en combinación con la información de ubicación. Alternativa o adicionalmente, el dispositivo puede disponerse para comunicar el estado determinado de las plantas, o un parámetro derivado del mismo, en combinación con la información de ubicación a un sistema aplicador, por ejemplo, un sistema aplicador de tasa variable, tal como un sistema de fertilización de tasa variable. Por lo tanto, el uso de fertilizantes puede reducirse aplicando con precisión productos agrícolas a plantas individuales o ubicaciones a tratar.

- 15 De acuerdo con un aspecto, el dispositivo incluye un teléfono inteligente o tableta. La cámara, la fuente de luz, la unidad de procesamiento y la unidad de comunicaciones y la unidad de determinación de posición opcionales pueden ser parte del teléfono inteligente o tableta. Esto proporciona la ventaja de que se puede proporcionar un dispositivo compacto de manera sencilla.

Opcionalmente, los filtros de polarización se pueden incluir en una carcasa para el teléfono inteligente o tableta. La carcasa puede, por ejemplo, estar dispuesta para hacer clic en el teléfono inteligente o tableta.

- 25 De acuerdo con un aspecto, se proporciona una carcasa para un teléfono inteligente o tableta que incluye un primer filtro de polarización posicionado para cubrir una lente de cámara del teléfono inteligente o tableta, y un segundo filtro de polarización posicionado para cubrir una unidad de iluminación del teléfono inteligente o tableta. Los filtros de polarización primero y segundo pueden ser filtros de polarización lineal, por ejemplo, dispuestos con sus direcciones de polarización orientadas sustancialmente ortogonales.

- 30 De acuerdo con un aspecto, se proporciona un producto de programa informático para determinar el estado de las plantas. El producto de programa informático incluye partes de código de software dispuestas para, cuando se ejecuta en un dispositivo programable, hacer que el dispositivo obtenga una primera imagen de plantas con una cámara digital de color del dispositivo mientras una fuente de luz del dispositivo ilumina las plantas con iluminación de banda ancha, obtenga una segunda imagen de las plantas con la cámara digital de color mientras la fuente de luz no ilumina las plantas, incluyendo las imágenes primera y segunda píxeles, cada uno de los cuales comprende al menos un componente de color rojo (R), verde (G) y azul (B), que forman juntos un conjunto de componentes de color, determine un primer valor de color representativo de una diferencia en los valores de intensidad en la primera y en la segunda imagen para un primero de los componentes de color, determine un segundo valor de color representativo de una diferencia en los valores de intensidad en la primera y en la segunda imagen para un segundo de los componentes de color, y calcule el valor representativo del estado de las plantas usando el primer valor de color y el segundo valor de color. Opcionalmente, el producto de programa informático está incluido en un dispositivo de almacenamiento de datos no transitorio. El producto de programa informático puede, por ejemplo, ser una aplicación para el teléfono inteligente o tableta. Opcionalmente, la aplicación se puede descargar desde una red de comunicaciones, tal como Internet.

- 45 De acuerdo con un aspecto, se proporciona una combinación de dicha carcasa y un testigo para obtener y/o habilitar dicho producto de programa informático. El testigo puede, por ejemplo, ser una indicación de una ubicación donde descargar el producto de programa informático, tal como un URL. El testigo puede ser un código de autorización para autorizar la descarga y/o el uso del producto de programa informático (por ejemplo, habilitar que el producto de programa funcione o funcione completamente), por ejemplo, desde una tienda de aplicaciones.

- 50 De acuerdo con un aspecto, se proporciona un método para determinar el estado de una planta usando un dispositivo que incluye una cámara digital de color, una fuente de luz dispuesta para proporcionar iluminación de banda ancha y una unidad de procesamiento. El método incluye obtener una primera imagen de las plantas con la cámara digital de color mientras la fuente de luz ilumina las plantas con iluminación de banda ancha. El método incluye obtener una segunda imagen de las plantas con la cámara digital de color mientras la fuente de luz no ilumina las plantas. Incluyendo las imágenes primera y segunda píxeles, cada uno de los cuales comprende al menos un componente de color rojo (R), verde (G) y azul (B), que forman juntos un conjunto de componentes de color. El método incluye determinar un primer valor de color representativo de una diferencia en los valores de intensidad en la primera y en la segunda imagen para un primero de los componentes de color. El método incluye determinar un segundo valor de color representativo de una diferencia en los valores de intensidad en la primera y en la segunda imagen para un segundo de los componentes de color. El método incluye calcular un valor representativo del estado de las plantas usando el primer valor de color y el segundo valor de color. El método preferentemente es un método implementado por ordenador.

- 65 Opcionalmente, el método incluye realizar una acción, tal como regar, fertilizar, cosechar, proteger (por ejemplo, del

sol), ventilar y/o calentar, en respuesta al valor representativo calculado del estado de las plantas. El método puede incluir proporcionar una instrucción a un operario o a una máquina para realizar tal acción. El método puede incluir comparar el valor representativo del estado de las plantas con un valor umbral o con una función de referencia, para determinar si se debe realizar la acción o no.

5 Se apreciará que cualquiera de los aspectos, características y opciones descritos a la vista del dispositivo se aplican igualmente al método, producto de programa informático y combinación y viceversa. También quedará claro que se pueden combinar uno cualquiera o más de los aspectos, características y opciones anteriores.

10 Breve descripción del dibujo

La invención se dilucidará además sobre la base de realizaciones a modo de ejemplo que se representan en un dibujo. Las realizaciones a modo de ejemplo se proporcionan a modo de ilustración no limitativa. Cabe destacar que las figuras son solo representaciones esquemáticas de realizaciones de la invención que se proporcionan a modo de ejemplo no limitativo.

En el dibujo:

20 las figuras 1A y 1B muestran una representación esquemática de un dispositivo;
la figura 2 muestra una representación esquemática de un dispositivo; y
la figura 3 muestra una representación esquemática de una carcasa.

Descripción detallada

25 Las figuras 1A y 1B muestran representaciones esquemáticas de un dispositivo 1. La figura 1A muestra una vista frontal del dispositivo 1. La figura 1B muestra una vista posterior del dispositivo 1. El dispositivo 1 incluye una cámara 2 y una fuente de luz 4. La cámara es una cámara en color. En este ejemplo, la cámara 2 es una cámara RGB. La cámara RGB obtiene imágenes que contienen una pluralidad de píxeles. Para cada píxel en la imagen, la cámara 2 determina un valor de intensidad de rojo, un valor de intensidad de verde y un valor de intensidad de azul. En este ejemplo, la cámara es una cámara de 8 bits. Por lo tanto, cada uno de los valores de intensidad de rojo, verde y azul se determina en una escala de 0 a 255. Se apreciará que se puede usar una cámara que proporcione, por ejemplo, un valor de intensidad en bruto sin calibrar de 10 bits para cada píxel. La salida de tal cámara puede relacionarse más linealmente con la intensidad de la luz que la salida de una cámara de 8 bits que puede incluir el preprocesamiento de la señal llevado a cabo por la cámara.

35 En este ejemplo, la fuente de luz es un diodo emisor de luz blanca, LED. Aquí, la fuente de luz 4 se coloca adyacente a la cámara 2.

40 En este ejemplo, el dispositivo 1 incluye un primer filtro de polarización 6 colocado delante de una lente 8 de la cámara 2. El primer filtro de polarización 6 es un filtro de polarización lineal. El dispositivo 1 incluye un segundo filtro de polarización 10 colocado delante de la fuente de luz 4. El segundo filtro de polarización 10 es un filtro de polarización lineal. En este ejemplo, los filtros de polarización primero y segundo 6, 10 se posicionan de tal manera que sus orientaciones de polarización estén orientadas perpendicularmente.

45 Como se muestra en la figura 1B, el dispositivo 1 incluye una interfaz de usuario 12. Aquí, la interfaz de usuario 12 incluye una pantalla táctil. La interfaz de usuario incluye, entre otros, controles 13 para controlar, tal como disparar, la cámara 2 y la fuente de luz 4.

50 En este ejemplo, el dispositivo 1 incluye una unidad de procesamiento 14. La unidad de procesamiento está conectada comunicativamente a la cámara 2, la fuente de luz 4 y la interfaz de usuario 12. Aquí, el dispositivo incluye una unidad de comunicaciones 16. La unidad de comunicaciones 16 está conectada comunicativamente a la unidad de procesamiento 14. En este ejemplo, el dispositivo 1 incluye una unidad de determinación de posición 18, aquí una unidad de sistema de posicionamiento global, GPS. La unidad de determinación de posición 18 está conectada comunicativamente a la unidad de procesamiento 14.

55 El dispositivo 1 como se ha descrito hasta ahora se puede usar como sigue.

60 Antes de que el dispositivo 1 se use para determinar el estado de una planta, se calibra el dispositivo 1. Para ello, el dispositivo 1 se sostiene sobre un panel de referencia, aquí un panel gris, que tiene una reflectancia espectralmente uniforme, de manera que todo el campo de visión 20 del dispositivo 1 está cubierto por el panel de referencia. A través de la interfaz de usuario 12 se inicia una secuencia de medición de calibración, por ejemplo, presionando un botón "calibrar" en la pantalla táctil. Después de la activación de la secuencia de medición de calibración, la unidad de procesamiento 14 ordena a la fuente de luz 4 que se encienda y ordena a la cámara 2 que tome una primera imagen de referencia. A continuación, la unidad de procesamiento 14 ordena a la fuente de luz 4 que se apague y ordena a la cámara 2 que tome una segunda imagen de referencia. Las imágenes de referencia primera y segunda pueden almacenarse, por ejemplo, temporalmente, en una memoria 22 del dispositivo 1.

En este ejemplo, la unidad de procesamiento 14 determina un valor de intensidad promedio Gr1 para todos los valores de intensidad de píxeles verdes de la primera imagen de referencia. En este ejemplo, la unidad de procesamiento 14 determina un valor de intensidad promedio Gr0 para todos los valores de intensidad de píxeles verdes de la segunda imagen de referencia. En este ejemplo, la unidad de procesamiento 14 determina un valor de intensidad promedio R1 para todos los valores de intensidad de píxeles rojos de la primera imagen de referencia. En este ejemplo, la unidad de procesamiento 14 determina un valor de intensidad promedio R0 para todos los valores de intensidad de píxeles rojos de la segunda imagen de referencia.

Entonces, se calcula una constante de calibración C usando la ecuación EC15.

$$C = \frac{Rr1 - Rr0}{Gr1 - Gr0}. \quad \text{EC15}$$

Con referencia ahora a la figura 2, se describe una medición. El dispositivo 1 se sostiene en o por encima de un dosel de cultivo 24. A través de la interfaz de usuario 12 se inicia una secuencia de medición, por ejemplo, presionando un botón en la pantalla táctil. Después de la activación de la secuencia de medición, la unidad de procesamiento 14 ordena a la fuente de luz 4 que se encienda y ordena a la cámara 2 que tome una primera imagen de la parte del dosel de cultivo dentro del campo de visión 20 del dispositivo 1. A continuación, la unidad de procesamiento 14 ordena a la fuente de luz 4 que se apague y ordena a la cámara 2 que tome una segunda imagen de la parte del dosel de cultivo 24 dentro del campo de visión 20 del dispositivo 1. Las imágenes primera y segunda pueden almacenarse, por ejemplo, temporalmente, en la memoria 22 del dispositivo 1.

Aquí, la unidad de procesamiento 14 hace que automáticamente el dispositivo tome las dos imágenes en respuesta a un solo comando de usuario. La unidad de procesamiento 14 hace que las dos imágenes se tomen en sucesión rápida. En este ejemplo, las imágenes se toman con un tiempo de exposición de 1/250 s (4 ms) y un tiempo de retardo entre las imágenes de 125 ms. La fuente de luz 4 se activa para estar encendida durante un período que es igual o más largo que el tiempo de exposición.

En este ejemplo, la unidad de procesamiento 14 determina un valor de intensidad promedio G1 para todos los valores de intensidad de píxeles verdes de la primera imagen. En este ejemplo, la unidad de procesamiento 14 determina un valor de intensidad promedio G0 para todos los valores de intensidad de píxeles verdes de la segunda imagen. En este ejemplo, la unidad de procesamiento 14 determina un valor de intensidad promedio R1 para todos los valores de intensidad de píxeles rojos de la primera imagen. En este ejemplo, la unidad de procesamiento 14 determina un valor de intensidad promedio R0 para todos los valores de intensidad de píxeles rojos de la segunda imagen.

Cuando se sostiene el dispositivo dentro del dosel de cultivo, los valores de intensidad pueden ser representativos de las hojas más viejas dentro del dosel de cultivo. Cuando se sostiene el dispositivo por encima del dosel de cultivo, los valores de intensidad pueden ser representativos de las hojas jóvenes en la parte superior del cultivo. Las hojas más jóvenes pueden representar mejor el estado nutricional actual de la planta.

Cuando se sostiene el dispositivo dentro del dosel de cultivo, los valores de intensidad de verde promedio G0, G1 pueden incluir un valor representativo de las hojas más viejas dentro del dosel de cultivo. Cuando se sostiene el dispositivo por encima del dosel de cultivo, los valores de intensidad de verde promedio G0, G1 pueden incluir un valor representativo de las hojas jóvenes en la parte superior del cultivo. Las hojas más jóvenes pueden representar mejor el estado nutricional actual de la planta.

Entonces, un valor G/R, por ejemplo, representativo de un componente de imagen verde normalizado y compensado por luz ambiental, se calcula usando la ecuación 16.

$$G/R = 100 * \left(\frac{G1 - G0}{R1 - R0} * C - 1 \right). \quad \text{EC16}$$

Este valor G/R es representativo del verdor promedio del dosel de cultivo dentro del campo de visión del dispositivo 1. En el presente documento, G1-G0 es el primer valor de color, aquí el valor de color verde. Este verdor promedio se normaliza con respecto a los componentes de imagen que no son verdes (aquí, rojos). En el presente documento, R1-R0 es el segundo valor de color, aquí el valor de color rojo. Este verdor promedio se compensa con la luz ambiental restando los valores de intensidad de la imagen para la imagen sin iluminación por la fuente de luz 4. Este valor G/R es representativo del contenido de clorofila promedio de la parte del dosel de cultivo dentro del campo de visión del dispositivo 1. El dispositivo 1 puede mostrar el valor determinado al usuario, por ejemplo, en la interfaz de usuario. También es posible que el dispositivo 1 indique información representativa del valor en la interfaz de usuario.

Se apreciará que en este ejemplo la constante de calibración C incluye una primera constante de calibración $\frac{1}{Gr1 - Gr0}$ en vista del valor de color verde y una segunda constante de calibración $\frac{1}{Rr1 - Rr0}$ en vista del valor de color rojo.

Se apreciará que el valor G/R calculado de acuerdo con la ecuación EC16 es solo un ejemplo del estado de una planta. Más en general, el dispositivo puede determinar el estado de una planta, tal como el estado nutricional de una planta, sobre la base de un primer y un segundo valor de color. El dispositivo puede, por ejemplo, determinar el estado de una planta, tal como el estado nutricional de una planta, sobre la base de diversas combinaciones matemáticas de los valores de color disponibles (es decir, R, G y B). Por ejemplo, la unidad de procesamiento puede determinar un valor de matiz sobre la base del primer y del segundo valor de color.

En este ejemplo, el dispositivo 1 almacena información representativa del valor G/R determinado en un registro en la memoria 22.

En este ejemplo, la unidad de determinación de posición 18 determina una posición del dispositivo 1 durante la medición. La información representativa de la posición se almacena en el registro con la información representativa del valor G/R determinado. El registro se puede almacenar para su acceso y análisis.

Alternativa o adicionalmente, el dispositivo 1 puede transmitir el estado determinado de las plantas, o un parámetro derivado del mismo, por ejemplo, en combinación con la información de ubicación a un sistema aplicador, por ejemplo, un sistema aplicador de tasa variable, tal como un sistema de fertilización de tasa variable, usando la unidad de comunicación 16. El sistema aplicador puede entonces ajustar la tasa de aplicación de fertilizante a la información de estado recibida. Por lo tanto, el uso de fertilizantes puede optimizarse, por ejemplo, reducirse, aplicando con precisión productos agrícolas a plantas individuales o ubicaciones a tratar.

En el ejemplo de la figuras 1A, 1B y 2, el dispositivo está incorporado como un teléfono inteligente. El teléfono inteligente incluye la cámara 2, la fuente de luz 4, la unidad de procesamiento 14, la unidad de comunicaciones 16 y la unidad de determinación de posición 18. En este ejemplo, el teléfono inteligente está provisto de un software dedicado, tal como una aplicación, que habilita que el teléfono inteligente realice la funcionalidad como se describe anteriormente en el presente documento.

En el ejemplo, el primer filtro de polarización 6 y el segundo filtro de polarización 10 están incluidos en una carcasa 26 para el teléfono inteligente. La carcasa está dispuesta para fijarse al teléfono inteligente, por ejemplo, haciendo clic. El primer filtro de polarización 6 se posiciona en la carcasa 26 para cubrir una lente de cámara del teléfono inteligente. El segundo filtro de polarización 10 se posiciona en la carcasa 26 para cubrir la fuente de luz 4 del teléfono inteligente. La carcasa 26 se puede proporcionar como una unidad complementaria separada para convertir el teléfono inteligente en el dispositivo con los filtros de polarización. Opcionalmente, la carcasa se proporciona en combinación con un testigo. El testigo permite instalar y/o usar el software dedicado en el teléfono inteligente. El testigo puede, por ejemplo, incluir una indicación de una ubicación, tal como un URL, donde se puede descargar el software dedicado. La ubicación puede ser una ubicación segura. El testigo puede, por ejemplo, incluir una autenticación que permita llegar a la ubicación y/o que permita que el software dedicado se descargue y/o instale, y/o que permita que el software se ejecute en el teléfono inteligente.

En el presente documento, la invención se describe con referencia a ejemplos específicos de realizaciones de la invención. Será, sin embargo, evidente que se pueden realizar diversas modificaciones y cambios en el mismo, sin apartarse de la esencia de la invención. En aras de la claridad y de una descripción concisa, las características se describen en el presente documento como parte de la misma o de realizaciones separadas, sin embargo, también se contemplan realizaciones alternativas que tienen combinaciones de todas o algunas de las características descritas en estas realizaciones separadas.

En el ejemplo, la unidad de procesamiento controla la cámara y la fuente de luz para tomar dos imágenes consecutivas en respuesta a una activación del usuario. Se apreciará que también es posible que la unidad de procesamiento controle la cámara y la fuente de luz para tomar más de dos imágenes en respuesta a una activación del usuario. Por ejemplo, el dispositivo puede tomar imágenes consecutivamente sin-con-sin la fuente de luz activa. Iniciar una secuencia con una imagen sin iluminación puede ayudar a sincronizar la cámara y la fuente de luz para la imagen con iluminación de la fuente de luz, por ejemplo, en dispositivos que pueden tener dificultades para sincronizar, como ciertos teléfonos inteligentes. La imagen inicial sin iluminación puede descartarse en la determinación del estado de las plantas. También es posible que la unidad de proceso controle la cámara y la fuente de luz para tomar una pluralidad de pares de imágenes en respuesta a un solo comando de usuario. Para cada par de imágenes se puede determinar el estado de las plantas. Los estados de las plantas para los pares consecutivos de imágenes pueden, por ejemplo, almacenarse y/o promediarse.

En los ejemplos, el dispositivo está diseñado como un teléfono inteligente. Se apreciará que el dispositivo también puede ser un dispositivo portátil dedicado. También es posible que el dispositivo esté diseñado como otro dispositivo portátil, tal como una tableta, un ordenador portátil, etc.

En los ejemplos, la unidad de procesamiento determina el valor representativo del estado de las plantas para toda la imagen. Se apreciará que la unidad de procesamiento también puede determinar un valor, por ejemplo, de intensidad, representativo del estado de las plantas para una o más partes de la imagen.

En el ejemplo, la unidad de procesamiento determina el valor representativo del estado de las plantas como una proporción de intensidades de píxeles de imagen de verde y de rojo. Se apreciará que también se puede usar otra combinación matemática de las intensidades de píxeles disponibles.

- 5 Sin embargo, también son posibles otras modificaciones, variaciones y alternativas. Por consiguiente, las memorias descriptivas, los dibujos y los ejemplos deben considerarse en un sentido ilustrativo más que en un sentido restrictivo.

- 10 En aras de la claridad y de una descripción concisa, las características se describen en el presente documento como parte de la misma o de realizaciones separadas, sin embargo, se apreciará que el alcance de la invención puede incluir realizaciones que tengan combinaciones de todas o algunas de las características descritas.

- 15 En las reivindicaciones, cualquier signo de referencia colocado entre paréntesis no deberá interpretarse como una limitación de la reivindicación. El término "que comprende" no excluye la presencia de otras características o etapas distintas a las enumeradas en una reivindicación. Asimismo, las palabras "un" y "una" no deben interpretarse como limitadas a "solo uno(a)", sino que se usan para significar "al menos uno(a)" y no excluyen una pluralidad. El mero hecho de que ciertas medidas se mencionen en reivindicaciones mutuamente diferentes no indica que no pueda usarse ventajosamente una combinación de tales medidas.

REIVINDICACIONES

1. Dispositivo portátil (1) para determinar el estado de una o más plantas, que comprende:

- 5 - una cámara digital de color (2) dispuesta para obtener una imagen en color de plantas dentro de un campo de visión, incluyendo la imagen en color píxeles, cada uno de los cuales comprende al menos un componente de color rojo (R), verde (G) y azul (B), que forman juntos un conjunto de componentes de color;
- una fuente de luz (4) dispuesta para proporcionar iluminación de banda ancha al menos a las plantas dentro del campo de visión;
- 10 - una unidad de procesamiento (14) dispuesta para controlar la cámara y la fuente de luz para obtener una primera imagen de las plantas mientras la fuente de luz ilumina las plantas con la iluminación de banda ancha, y para obtener una segunda imagen de las plantas mientras la fuente de luz no ilumina las plantas, en donde la unidad de procesamiento está dispuesta para realizar al menos las siguientes operaciones:
- 15 (i) determinar un primer valor de color representativo de una diferencia en los valores de intensidad en la primera y en la segunda imagen para un primero de los componentes de color;
- (ii) determinar un segundo valor de color representativo de una diferencia en los valores de intensidad en la primera y en la segunda imagen para un segundo de los componentes de color;
- 20 (iii) calcular un valor representativo del estado de las plantas usando el primer valor de color y el segundo valor de color;

en donde el valor representativo del estado de las plantas se calcula:

- 25 a) determinando el primer valor de color como la diferencia del valor de intensidad promedio de píxeles en la primera imagen y en la segunda imagen para el primero de los componentes de color; determinando el segundo valor de color como la diferencia del valor de intensidad de píxeles promedio en la primera y en la segunda imagen para el segundo de los componentes de color; y calculando el valor representativo del estado de las plantas usando el primer valor de color y el segundo valor de color; o
- 30 b) determinando el primer valor de color como un promedio de la diferencia en los valores de intensidad por píxel en la primera y en la segunda imagen para el primero de los componentes de color; determinando el segundo valor de color como un promedio de la diferencia en los valores de intensidad por píxel en la primera y en la segunda imagen para el segundo de los componentes de color; y calculando el valor representativo del estado de las plantas usando el primer valor de color y el segundo valor de color; o
- 35 c) determinando el primer valor de color como la diferencia en los valores de intensidad en la primera y en la segunda imagen para el primero de los componentes de color por píxel; determinando el segundo valor de color como la diferencia en los valores de intensidad en la primera y en la segunda imagen para el segundo de los componentes de color por píxel; y calculando el valor representativo del estado de las plantas promediando un valor en píxeles representativo del estado de las plantas obtenido usando el primer valor de color por píxel y el segundo valor de color por píxel;

40 **caracterizado por que** la unidad de procesamiento está dispuesta además para calibrar el primer valor de color, el segundo valor de color y el tercer valor de color opcional, para ese valor de color:

- 45 a) multiplicando el valor de color por un valor de calibración, C, determinado como un valor de referencia dividido entre la diferencia del valor de intensidad promedio en una primera imagen de referencia, de un objeto de referencia con una reflectancia uniforme mientras la fuente de luz ilumina el objeto de referencia con la iluminación de banda ancha, y el valor de intensidad promedio en una segunda imagen de referencia, del objeto de referencia mientras la fuente de luz no ilumina el objeto de referencia, para ese componente de color; o
- 50 b) multiplicando el valor de color por un valor de calibración, C, determinado como un valor de referencia dividido entre un promedio de la diferencia en los valores de intensidad por píxel en la primera imagen de referencia y en la segunda imagen de referencia para ese componente de color; o
- 55 c) multiplicando por píxel el valor de color por un valor de calibración, C_i, determinado como un valor de referencia dividido entre la diferencia en los valores de intensidad en la primera imagen de referencia y en la segunda imagen de referencia para ese componente de color por píxel; o
- d) multiplicando por bloque de píxeles para ese valor de color el valor de color por un valor de calibración determinado como un valor de referencia dividido entre un promedio de la diferencia en los valores de intensidad por píxel en la primera imagen de referencia y en la segunda imagen de referencia para ese componente de color.

60 2. Dispositivo portátil de acuerdo con la reivindicación 1, en donde la unidad de procesamiento está dispuesta además para determinar un tercer valor de color representativo de una diferencia en los valores de intensidad en la primera y en la segunda imagen para un tercero de los componentes de color; y calcular el valor representativo del estado de las plantas usando el primer valor de color, el segundo valor de color y el tercer valor de color.

65 3. Dispositivo portátil de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 2, en donde la unidad de procesamiento está dispuesta para, en la etapa (iii), calcular dicho valor representativo del estado de las plantas

basándose en una proporción del primer valor de color y del segundo valor de color.

4. Dispositivo portátil de acuerdo con la reivindicación 3, en donde el primero de los componentes de color es verde (G) y el segundo de los componentes de color es rojo (R).

5. Dispositivo portátil de acuerdo con la reivindicación 2, en donde la unidad de procesamiento está dispuesta para, en la etapa (iii), calcular dicho valor representativo del estado de las plantas basándose en un valor de matiz usando el primer, el segundo y el tercer valor de color.

6. Dispositivo portátil de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde el valor de referencia es una constante, tal como:

- a) un valor de intensidad máximo posible;
- b) un valor de intensidad máximo encontrado en la primera imagen de referencia para ese componente de color;
- c) una diferencia máxima en los valores de intensidad promedio en la primera imagen de referencia y en la segunda imagen de referencia para ese componente de color; o
- d) un valor de reflectancia, por ejemplo conocido, del objeto de referencia, por ejemplo, para el componente de color respectivo.

7. Dispositivo portátil de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde al menos un componente de color se selecciona para que sea menos sensible a los cambios en el estado de la planta que el otro de los componentes de color.

8. Dispositivo portátil de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde la unidad de procesamiento está dispuesta para controlar la cámara y la fuente de luz para obtener la primera y la segunda imagen en respuesta a un solo comando de usuario.

9. Dispositivo portátil de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde la cámara incluye un primer filtro de polarización (6) y la fuente de luz incluye un segundo filtro de polarización (10), en donde los filtros de polarización primero y segundo están polarizados en forma cruzada.

10. Dispositivo portátil de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde el dispositivo incluye un teléfono inteligente o una tableta.

11. Dispositivo portátil de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, incluyendo el dispositivo una unidad de comunicaciones (16) dispuesta para comunicar el estado determinado de las plantas, o un parámetro derivado del mismo, a un sistema aplicador, tal como un sistema de fertilización, de fertirrigación, de riego, etc.

12. Dispositivo portátil de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde el estado de las plantas es el estado de nitrógeno de las plantas.

13. Sistema agrícola que incluye un dispositivo de acuerdo con la reivindicación 12 y un sistema aplicador, tal como un sistema de fertilización, de fertirrigación, de riego, etc., en comunicación con dicho dispositivo.

14. Método para determinar el estado de una o más plantas usando un dispositivo portátil (1) que incluye una cámara digital de color (2) dispuesta para obtener una imagen en color de plantas dentro de un campo de visión, incluyendo la imagen en color píxeles, cada uno de los cuales comprende al menos un componente de color rojo (R), verde (G) y azul (B), que forman juntos un conjunto de componentes de color, una fuente de luz (4) dispuesta para proporcionar iluminación de banda ancha al menos a las plantas dentro del campo de visión, y una unidad de procesamiento (14), incluyendo el método:

- obtener, usando la cámara, una primera imagen de las plantas mientras la fuente de luz ilumina las plantas con la iluminación de banda ancha,
- obtener, usando la cámara, una segunda imagen de las plantas mientras la fuente de luz no ilumina las plantas,
- y
- calcular el estado de las plantas haciendo que la unidad de procesamiento:

- (i) determine un primer valor de color representativo de una diferencia en los valores de intensidad en la primera y en la segunda imagen para un primero de los componentes de color;
- (ii) determine un segundo valor de color representativo de una diferencia en los valores de intensidad en la primera y en la segunda imagen para un segundo de los componentes de color; y
- (iii) calcule un valor representativo del estado de las plantas usando el primer valor de color y el segundo valor de color;

en donde el valor representativo del estado de las plantas se calcula:

- 5 a) determinando el primer valor de color como la diferencia del valor de intensidad promedio de píxeles en la primera imagen y en la segunda imagen para el primero de los componentes de color; determinando el segundo valor de color como la diferencia del valor de intensidad de píxeles promedio en la primera y en la segunda imagen para el segundo de los componentes de color; y calculando el valor representativo del estado de las plantas usando el primer valor de color y el segundo valor de color; o
- 10 b) determinando el primer valor de color como un promedio de la diferencia en los valores de intensidad por píxel en la primera y en la segunda imagen para el primero de los componentes de color; determinando el segundo valor de color como un promedio de la diferencia en los valores de intensidad por píxel en la primera y en la segunda imagen para el segundo de los componentes de color; y calculando el valor representativo del estado de las plantas usando el primer valor de color y el segundo valor de color; o
- 15 c) determinando el primer valor de color como la diferencia en los valores de intensidad en la primera y en la segunda imagen para el primero de los componentes de color por píxel; determinando el segundo valor de color como la diferencia en los valores de intensidad en la primera y en la segunda imagen para el segundo de los componentes de color por píxel; y calculando el valor representativo del estado de las plantas promediando un valor en píxeles representativo del estado de las plantas obtenido usando el primer valor de color por píxel y el segundo valor de color por píxel;

20 **caracterizado por que** el método comprende además calibrar el primer, el segundo y el tercer valor de color opcional, para ese valor de color:

- 25 a) multiplicando el valor de color por un valor de calibración, C, determinado como un valor de referencia dividido entre la diferencia del valor de intensidad promedio en una primera imagen de referencia, de un objeto de referencia con una reflectancia uniforme mientras la fuente de luz ilumina el objeto de referencia con la iluminación de banda ancha, y del valor de intensidad promedio en una segunda imagen de referencia, del objeto de referencia mientras la fuente de luz no ilumina el objeto de referencia, para ese componente de color; o
- 30 b) multiplicando el valor de color por un valor de calibración, C, determinado como un valor de referencia dividido entre un promedio de la diferencia en los valores de intensidad por píxel en la primera imagen de referencia y en la segunda imagen de referencia para ese componente de color; o
- 35 c) multiplicando por píxel el valor de color por un valor de calibración, C_i, determinado como un valor de referencia dividido entre la diferencia en los valores de intensidad en la primera imagen de referencia y en la segunda imagen de referencia para ese componente de color por píxel; o
- d) multiplicando por bloque de píxeles para ese valor de color el valor de color por un valor de calibración determinado como un valor de referencia dividido entre un promedio de la diferencia en los valores de intensidad por píxel en la primera imagen de referencia y en la segunda imagen de referencia para ese componente de color.

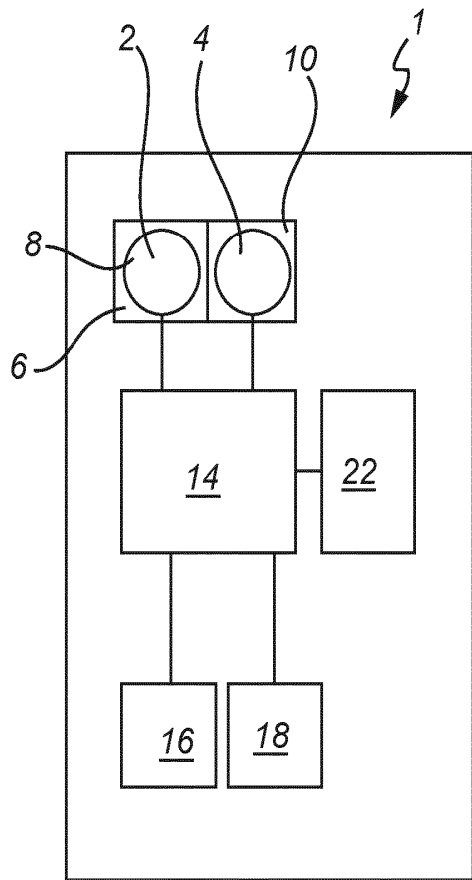


Fig. 1A

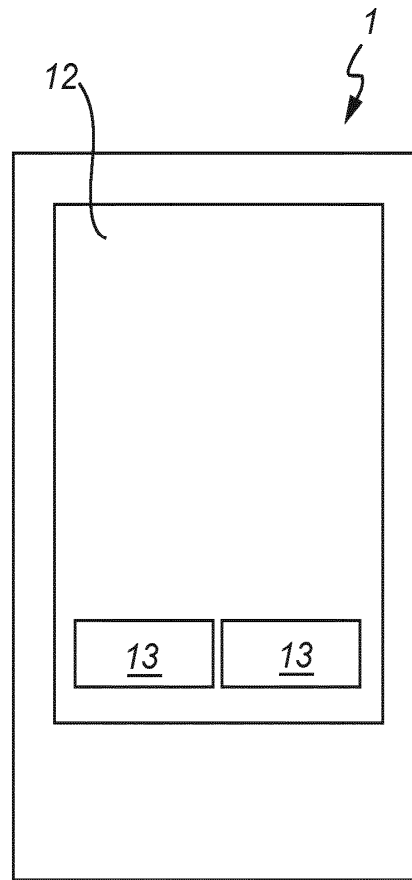


Fig. 1B

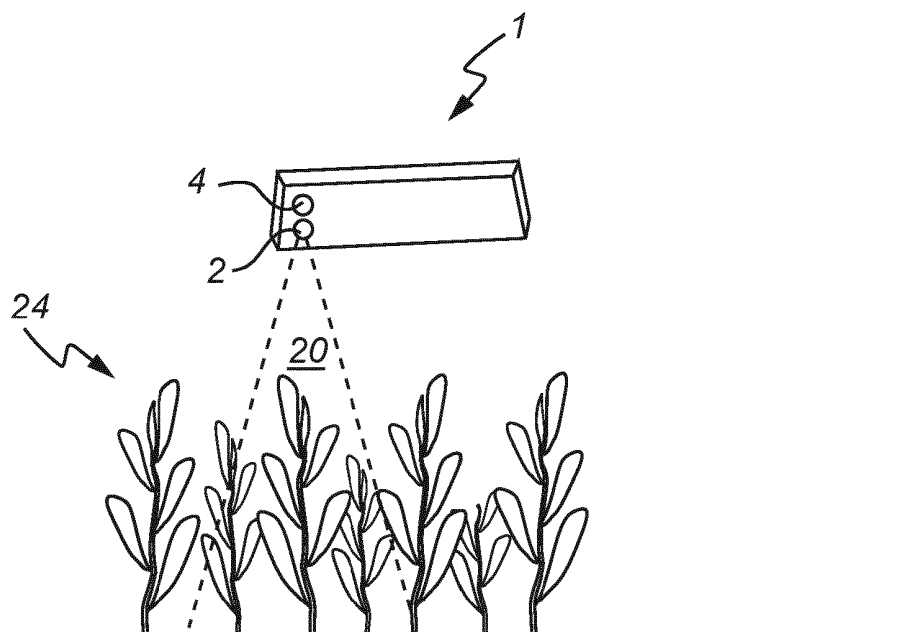


Fig. 2

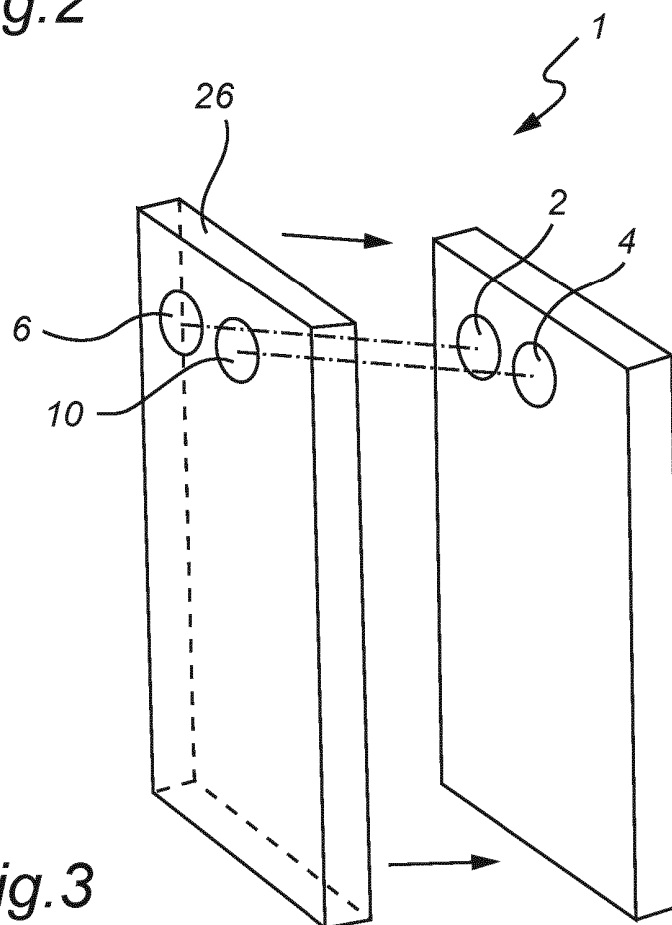


Fig. 3