

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 858 324**

51 Int. Cl.:

A01G 7/04 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **27.12.2017 PCT/EP2017/084607**

87 Fecha y número de publicación internacional: **05.07.2018 WO18122236**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **27.12.2017 E 17825546 (9)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **24.02.2021 EP 3562297**

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

30 Prioridad:

27.12.2016 EP 16206925

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

30.09.2021

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

**REUSCH, STEFAN;
WUNTKE, LARS;
STEPHAN, DANIEL y
MATTOLAT, CHRISTOPH**

74 Agente/Representante:

VALLEJO LÓPEZ, Juan Pedro

ES 2 858 324 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

Sistema y método para determinar el estado de una planta

5 Campo de la invención

La invención se refiere a un sistema y método para determinar un estado de las plantas, tal como uno o más parámetros biofísicos de las plantas, por ejemplo, biomasa y/o captación de nitrógeno.

10 Antecedentes de la invención

Se conoce la determinación de un estado de una planta, tal como un estado nutricional de la planta, con la ayuda del contenido de clorofila. El contenido de clorofila se determina habitualmente por medio de mediciones de reflectancia óptica. A veces se usan fuentes de luz artificial para aumentar la independencia de las condiciones de luz ambiental. Del documento US-A-2005072935, se conoce un aparato para ejecutar un diagnóstico en plantas.

Sumario de la invención

Un objetivo es proporcionar un sistema mejorado para determinar el estado de las plantas.

De acuerdo con la invención, se proporciona un sistema para determinar el estado de las plantas, de acuerdo con la reivindicación 1. El sistema incluye un transmisor de luz dispuesto para transmitir luz de banda ancha a una o más plantas. El sistema incluye un receptor de luz que incluye una pluralidad de canales de receptor, dispuestos los canales de receptor para recibir luz de dichas una o más plantas en bandas de longitud de onda mutuamente diferentes. El sistema incluye una unidad de procesamiento dispuesta para determinar un estado de dichas una o más plantas en función de la luz recibida por la pluralidad de canales de receptor.

De acuerdo con un aspecto, el transmisor de luz está dispuesto para transmitir la luz en ráfagas moduladas. Una ráfaga puede incluir una pluralidad de pulsos de luz. El transmisor de luz se puede disponer para, de forma alterna, transmitir luz modulada durante un primer período y sustancialmente no transmitir luz alguna durante un segundo período. Por lo tanto, el transmisor de luz puede alternar entre transmitir una ráfaga de pulsos de luz y sustancialmente no transmitir luz alguna. El receptor está dispuesto para recibir luz en sincronización con la modulación del transmisor de luz. La transmisión de la luz en ráfagas moduladas o como una señal de luz alterna tiene la ventaja de que, debido a la modulación de la luz, se puede suprimir la luz ambiental. La unidad de procesamiento se puede disponer para suprimir la luz ambiental. Además, durante las ráfagas, se pueden lograr unos niveles altos de iluminación mientras se reduce la carga térmica del transmisor de luz.

De acuerdo con un aspecto, el transmisor de luz incluye una pluralidad de canales de transmisor. Los canales de transmisor se pueden disponer para transmitir luz en bandas de longitud de onda mutuamente diferentes. Cada canal de transmisor puede incluir una o más fuentes de luz individuales. Esto proporciona la ventaja de que la luz de banda ancha puede ser proporcionada por una pluralidad de canales de transmisor. Por lo tanto, el espectro de la luz de banda ancha se puede sintonizar fácilmente. Además, la degradación de las fuentes de luz a lo largo del tiempo se puede compensar midiendo regularmente la intensidad real de cada canal de transmisor a través de un fotodiodo situado dentro del transmisor.

Opcionalmente, el número de canales de transmisor es diferente de, tal como más pequeño o más grande que, el número de canales de receptor. Por lo tanto, no existe una correspondencia uno a uno entre los canales de transmisor y los canales de receptor. Esto proporciona la ventaja de que las longitudes de onda centrales del receptor se pueden adaptar de forma más flexible a las necesidades reales y - al menos hasta cierto punto - no dependen de la disponibilidad física de fuentes de luz con ciertas longitudes de onda centrales. Por ejemplo, la longitud de onda central de un canal de receptor, o el receptor de luz, se puede ajustar usando uno o más filtros, tales como filtros de interferencia. Sin embargo, el número de canales de transmisor también puede ser igual al número de canales de receptor.

Opcionalmente, una longitud de onda central de una banda de longitud de onda de al menos uno de los canales de transmisor es diferente de las longitudes de onda centrales de las bandas de longitud de onda de los canales de receptor. Opcionalmente, una longitud de onda central de una banda de longitud de onda de al menos uno de los canales de receptor es diferente de las longitudes de onda centrales de las bandas de longitud de onda de los canales de transmisor. Por lo tanto, no existe una correspondencia uno a uno entre los canales de transmisor y los canales de receptor.

De acuerdo con un aspecto, los canales de transmisor se mezclan ópticamente a través de ópticas de transmisor dedicadas en un único eje óptico. Esto proporciona la ventaja de que el espectro de la luz de iluminación proporcionada por la pluralidad de canales de transmisor es sustancialmente homogéneo a lo largo de un campo de iluminación alrededor del eje óptico. Además, el sombreado parcial de la óptica (por ejemplo, suciedad o similares) no cambia, o cambia de forma insignificante, la composición espectral de la iluminación.

Opcionalmente, las intensidades de los canales de transmisor individuales se pueden supervisar y/o controlar a través de un receptor óptico situado dentro de la óptica de transmisor. Esto permite corregir, de los canales de transmisor individuales, la degradación, por ejemplo, de las fuentes de luz. Adicionalmente, o como alternativa, esto permite
 5 verificar la funcionalidad de canal de transmisor y, por ejemplo, generar una alarma si un canal de transmisor (por ejemplo, una fuente de luz del mismo) no está funcionando, o no está funcionando apropiadamente.

De acuerdo con un aspecto, cada canal de receptor incluye al menos un detector de luz. El receptor puede incluir un multiplexor para multiplexar señales de medición de los canales de receptor individuales en una única señal de
 10 receptor. El receptor puede incluir uno o más convertidores de analógico a digital, ADC. Opcionalmente, el multiplexor se coloca aguas arriba de un ADC. Esto proporciona la ventaja de que las señales analógicas de los canales de receptor individuales se pueden multiplexar en primer lugar y digitalizarse a continuación. Por lo tanto, se puede construir una única señal digital usando un único ADC.

De acuerdo con un aspecto, cada canal de receptor puede incluir un convertidor de corriente a voltaje acoplado a CA (CV-CA), un amplificador de CA de paso de banda, un rectificador de fase, un integrador y un circuito de retención. Por lo tanto, la luz emitida por el transmisor de luz como una ráfaga modulada, por ejemplo, como pulsos, y reflejada por plantas, puede ser recibida por el al menos un detector de luz, tal como un fotodiodo. Se ha de incluir un convertidor
 15 de corriente a voltaje acoplado a CA para convertir la señal de detector de luz en un voltaje. La señal se amplifica en el amplificador de CA de paso de banda. El convertidor de CV-CA y el amplificador de CA de paso de banda suprimen cualquier componente de CC en la señal recibida. El rectificador de fase rectifica la señal dependiendo de la fase de la señal recibida, para obtener la amplitud de la señal. La rectificación en fase permite discriminar entre señales de amplitud similar pero de fase diferente. Preferiblemente, el rectificador de fase está sincronizado con el transmisor de luz. El integrador integra la luz recibida durante la emisión de (parte de) la ráfaga de luz. Esto es representativo de la
 20 cantidad de luz transmitida reflejada por las plantas. Además, el integrador proporciona una supresión de ruido mejorada. La señal integrada puede ser retenida por el circuito de retención hasta que el multiplexor permite la transferencia de la señal al ADC. Por lo tanto, los múltiples canales de receptor se pueden digitalizar mediante un único ADC.

El sistema puede incluir un generador de señales para generar una frecuencia portadora. La frecuencia portadora puede determinar la frecuencia de pulso del transmisor de luz. Preferiblemente, el generador de señales está conectado tanto al transmisor de luz como al receptor de luz. Por lo tanto, se puede obtener una sincronización entre el transmisor de luz y el receptor de luz.
 30

Además de la frecuencia portadora, el sistema también se puede configurar para establecer una frecuencia de ráfaga y una duración de ráfaga y, opcionalmente, una duración de pulso. Opcionalmente, la frecuencia portadora, la frecuencia de ráfaga, la duración de ráfaga y la duración de pulso opcional son ajustables.
 35

De acuerdo con un aspecto, cada canal de receptor incluye un detector de luz y una óptica dedicada, tal como un filtro de paso de banda y/o una lente. Opcionalmente, las partes mecánicas de todos los canales de receptor están montadas en un bastidor de receptor común. Esto puede ayudar a minimizar la deriva de señal entre canales de receptor, por ejemplo, debido a diferencias de temperatura.
 40

De acuerdo con un aspecto, el sistema incluye un receptor de luz que incluye una pluralidad de canales de receptor, estando dispuestos los canales de receptor para recibir luz en bandas de longitud de onda mutuamente diferentes.
 45

De acuerdo con un aspecto, un primer canal de receptor está dispuesto para recibir luz a una longitud de onda de una banda de reflexión o de absorción conocida de interés. Opcionalmente, un segundo canal de receptor está dispuesto para recibir luz a una longitud de onda diferente. Opcionalmente, el segundo canal de receptor está dispuesto para recibir luz a una longitud de onda adyacente a dicha banda de absorción de interés. La luz recibida por el segundo canal de receptor se puede usar como un valor de referencia en vista de la luz recibida por el primer canal de receptor. La unidad de procesamiento puede estar dispuesta, por ejemplo, para determinar una relación de datos representativos de la luz recibida por el segundo canal de receptor y datos representativos de la luz recibida por el primer canal de receptor. La unidad de procesamiento puede estar dispuesta, por ejemplo, para dividir datos representativos de la luz recibida por el segundo canal de receptor por datos representativos de la luz recibida por el primer canal de receptor.
 50
 55

De acuerdo con una realización, la luz recibida por la pluralidad de canales de receptor es indicativa del contenido de clorofila de las una o más plantas iluminadas por la iluminación de banda ancha.
 60

Opcionalmente, el receptor de luz incluye un canal de receptor de clorofila sintonizado a un borde de la banda de absorción de clorofila, tal como a aproximadamente 730 nm. Dicho canal de receptor de clorofila se puede disponer para tener una sensibilidad en un rango de longitud de onda que incluye la banda de absorción de clorofila. Por lo tanto, dicho canal de receptor de clorofila es sensible a la absorción de la luz transmitida por la clorofila de plantas iluminadas por el transmisor de luz. Por lo tanto, dicho canal de receptor de clorofila puede proporcionar datos representativos de la presencia y de la cantidad de clorofila dentro de un campo de visión de dicho canal de receptor
 65

- de clorofila. Opcionalmente, se incluye un canal de receptor de referencia de clorofila, dispuesto para tener una sensibilidad en un rango de longitud de onda, cerca de la banda de absorción de clorofila, tal como de aproximadamente 760 a 800 nm, que no tiene sensibilidad alguna o que al menos la tiene reducida en la banda de absorción de clorofila. Dicho canal de referencia de clorofila se puede usar como referencia para la determinación de clorofila. Opcionalmente, la unidad de procesamiento se puede disponer para calcular una relación de cantidades de luz recibidas por el canal de receptor de clorofila y el canal de receptor de referencia de clorofila. Opcionalmente, la unidad de procesamiento se puede disponer para calcular una relación de señales representativas de las cantidades de luz recibidas por el canal de receptor de clorofila y el canal de receptor de referencia de clorofila.
- 5
- 10 Opcionalmente, el receptor de luz incluye un canal de receptor de agua sintonizado a la banda de absorción de agua, tal como a aproximadamente 970 nm. Dicho canal de receptor de agua se puede disponer para tener una sensibilidad en un rango de longitud de onda que incluye la banda de absorción de agua. Por lo tanto, dicho canal de receptor de agua es sensible a la absorción de la luz transmitida por el agua en o sobre plantas iluminadas por el transmisor de luz. Por lo tanto, dicho canal de receptor de agua puede proporcionar datos representativos de la presencia y de la cantidad de agua dentro de un campo de visión de dicho canal de receptor de agua. Opcionalmente, se incluye un canal de receptor de referencia de agua, dispuesto para tener una sensibilidad en un rango de longitud de onda, cerca de la banda de absorción de agua, tal como a aproximadamente 900-930 nm, que no tiene sensibilidad alguna o que al menos la tiene reducida en la banda de absorción de agua. Dicho canal de referencia de agua se puede usar como referencia para la determinación de agua. Opcionalmente, la unidad de procesamiento se puede disponer para calcular una relación de cantidades de luz recibidas por el canal de receptor de agua y el canal de receptor de referencia de agua. Opcionalmente, la unidad de procesamiento se puede disponer para calcular una relación de señales representativas de las cantidades de luz recibidas por el canal de receptor de agua y el canal de receptor de referencia de agua.
- 15
- 20
- 25 Opcionalmente, el sistema incluye un tercer canal de receptor dispuesto para recibir luz a una tercera longitud de onda diferente de la primera y la segunda longitudes de onda, en donde el sistema está dispuesto para usar la luz recibida por el tercer canal de receptor como un valor de referencia en vista de la luz recibida por el primer canal de receptor y en vista de la luz recibida por el segundo canal de receptor. Opcionalmente, el tercer canal de receptor es un canal de receptor de referencia sintonizado a una banda de absorción de referencia, tal como aproximadamente 670 nm. Dicho canal de receptor de referencia se puede disponer para tener una sensibilidad en un rango de longitud de onda que incluye la longitud de onda de referencia. Por lo tanto, dicho canal de receptor de referencia puede proporcionar una referencia adicional, por ejemplo, con el fin de suprimir los efectos del rocío y/o el polvo sobre las plantas. La unidad de procesamiento se puede disponer para restar una señal recibida por el canal de receptor de referencia de la señal recibida por el canal de receptor de clorofila y el canal de receptor de referencia de clorofila antes de determinar la relación de las mismas. La unidad de procesamiento se puede disponer para restar una señal recibida por el canal de receptor de referencia de la señal recibida por el canal de receptor de agua y el canal de receptor de referencia de agua antes de determinar la relación de las mismas.
- 30
- 35
- 40 Opcionalmente, el receptor de luz incluye canales de receptor que tienen una sensibilidad en bandas de longitud de onda alrededor de 670, 730, 740, 760, 900 o 970 nm, respectivamente. Opcionalmente, las bandas de longitud de onda tienen un ancho total a media altura (FWHM) de aproximadamente 5-20 nm, tal como aproximadamente 10 nm.
- Opcionalmente, el transmisor de luz tiene un canal de transmisor superpuesto espectralmente que transmite luz en bandas de longitud de onda alrededor de 660, 730, 770, 840, 880 o 950 nm. Opcionalmente, las bandas de longitud de onda tienen un FWHM de aproximadamente 20-50 nm. El transmisor de luz puede incluir, por ejemplo, canales de transmisor alrededor de 660, 730 y 770 nm.
- 45
- 50 De acuerdo con un aspecto, la unidad de procesamiento está dispuesta para calcular un índice vegetativo en función de la luz recibida por la pluralidad de canales de receptor.
- De acuerdo con un aspecto, la unidad de procesamiento está dispuesta para determinar la biomasa y/o la captación de nitrógeno del dosel de cultivo.
- 55 De acuerdo con un aspecto, el sistema incluye una unidad de comunicación dispuesta para comunicar datos representativos del estado de las plantas determinado a un dispositivo de usuario, tal como una unidad de control, una tableta, un teléfono inteligente, un portátil, un ordenador o similar.
- 60 De acuerdo con un aspecto, el sistema está montado en un vehículo o aparato en movimiento. El vehículo puede ser un vehículo de superficie, tal como un tractor, una cortadora de césped, un robot, un vehículo no tripulado, un vehículo autónomo, etc., o un vehículo aéreo, tal como un dron, un helicóptero, un avión, un ala delta, una cometa, un globo, etc. El aparato en movimiento puede ser un irrigador lineal/de pivote central o similar. Como alternativa, el sistema se puede montar de forma estacionaria sobre un área representativa del campo para supervisar continuamente el crecimiento de cultivo durante la temporada. Como alternativa, el sistema puede ser portado por una persona para medir manualmente áreas seleccionadas en el campo durante una caminata por el campo.
- 65 De acuerdo con un aspecto, el sistema está dispuesto para controlar un sistema de aplicación de tasa variable, tal

como un sistema de fertilizante, un sistema de irrigación, un sistema de fertirrigación y, en particular, un distribuidor de fertilizante montado en o tirado por un tractor, o similar.

5 De acuerdo con un aspecto, se proporciona un método para determinar el estado de las plantas, de acuerdo con la reivindicación 17. El método incluye transmitir iluminación de banda ancha a una o más plantas usando un transmisor de luz, recibir luz de dichas una o más plantas en bandas de longitud de onda mutuamente diferentes mediante un receptor de luz que incluye una pluralidad de canales de receptor, y determinar, mediante una unidad de procesamiento, un estado de dichas una o más plantas en función de la luz recibida por la pluralidad de canales de receptor.

10 De acuerdo con un aspecto, la transmisión incluye transmitir luz en ráfagas de luz modulada.

15 De acuerdo con un aspecto, el transmisor de luz incluye una pluralidad de canales de transmisor, estando dispuestos los canales de transmisor para transmitir luz en bandas de longitud de onda mutuamente diferentes, en donde una longitud de onda central de una banda de longitud de onda de al menos uno de los canales de transmisor es diferente de las longitudes de onda centrales de las bandas de longitud de onda del canal de receptor.

20 De acuerdo con un aspecto, el método incluye recibir luz a una primera longitud de onda de una banda de reflexión o de absorción conocida de interés, recibir luz a una segunda longitud de onda adyacente a dicha banda de absorción de interés y usar la luz recibida a la segunda longitud de onda como un valor de referencia en vista de la luz recibida a la primera longitud de onda.

25 La iluminación de banda ancha transmitida se modula y la luz recibida por la pluralidad de canales de receptor se detecta sincronizada con la luz transmitida modulada. Opcionalmente, el método incluye retirar una componente de CC de una señal representativa de la luz recibida por la pluralidad de canales de receptor.

30 De acuerdo con un aspecto, el método incluye controlar un sistema de aplicación de tasa variable, tal como un sistema de fertilizante, un sistema de irrigación, un sistema de fertirrigación y, en particular, un distribuidor de fertilizante montado en o tirado por un tractor, en función del estado determinado de las plantas.

35 Se apreciará que cualquiera de los aspectos, características y opciones descritos en vista del sistema es igualmente de aplicación al método, y viceversa. También quedará claro que se pueden combinar cualesquiera uno o más de los aspectos, características y opciones anteriores.

35 Breve descripción de los dibujos

40 La invención se aclarará además en función de realizaciones ilustrativas que se representan en un dibujo. Las realizaciones ilustrativas se dan a modo de ilustración no limitativa. Se observa que las figuras son solo representaciones esquemáticas de realizaciones de la invención, que se dan a modo de ejemplo no limitativo.

En los dibujos:

45 la figura 1 muestra una representación esquemática de un sistema para determinar un estado de las plantas;
la figura 2 muestra una representación esquemática de un sistema para determinar un estado de las plantas;
la figura 3 muestra un diagrama de temporización esquemático;
la figura 4 muestra una representación esquemática de un receptor;
las figuras 5A y 5B muestran representaciones esquemáticas de un sistema.

50 Descripción detallada

55 La figura 1 muestra una representación esquemática de un sistema 1 para determinar un estado de unas plantas 2. El sistema 1 incluye un transmisor de luz 4 y un receptor de luz 6. El transmisor de luz 4 está dispuesto para proporcionar iluminación de banda ancha. En este ejemplo, el transmisor de luz incluye tres canales de transmisor 8. Cada canal de transmisor de luz 8 incluye al menos una fuente de luz 10. En este ejemplo, cada canal de transmisor 8 incluye más de una fuente de luz 10. En el presente caso, las fuentes de luz son fuentes de luz de LED. El número de fuentes de luz por canal se ha elegido para obtener la iluminación de banda ancha deseada. El número y la longitud de onda de las fuentes de luz por canal se puede elegir para obtener la iluminación de banda ancha deseada. En este ejemplo, las fuentes de luz están dispuestas para transmitir luz en bandas de longitud de onda alrededor de 660, 730 y 770 nm, respectivamente. El transmisor 4 incluye una óptica 12 para colimar, enfocar o hacer divergir la luz emitida por las fuentes de luz 10 hacia plantas en estudio.

65 El receptor de luz 6 incluye una pluralidad de canales de receptor 14. Los canales de receptor 14 están dispuestos para recibir luz en bandas de longitud de onda mutuamente diferentes. En este ejemplo, cada canal de receptor 14 incluye un sensor de luz 16, en el presente caso un fotodiodo. Cada canal de receptor 14 incluye un filtro de paso de banda 18. Los filtros de paso de banda 18 conforman la sensibilidad de los canales de receptor. En este ejemplo, los filtros de paso de banda se centran alrededor de 670, 730, 740 y 760 nm, respectivamente. El FWHM es de

aproximadamente 10 nm. Cada canal de receptor 14 incluye una óptica 20 para enfocar la luz reflejada desde las plantas 2 sobre el sensor de luz 16 respectivo.

5 La figura 2 muestra una representación esquemática del sistema 1. En este ejemplo, el transmisor de luz 4 se muestra como una unidad que tiene la pluralidad de fuentes de luz 10 cerca del eje óptico 102 de la carcasa de transmisor de luz 104. Todas las fuentes de luz 10 se colocan sobre un sustrato común. Por lo tanto, los haces en diferentes bandas de longitud de onda pueden mostrar una superposición óptima en las plantas. En este ejemplo, todos los canales de transmisor de luz 8 comparten una óptica 12 común. Opcionalmente, los canales de transmisor 8 se mezclan ópticamente a través de ópticas de transmisor dedicadas, de tal modo que todos los canales de transmisor 8 se iluminan a lo largo de un único eje óptico. El receptor de luz incluye una carcasa de receptor de luz 106. La carcasa de receptor de luz 106 aloja todos los canales de receptor de luz 14. En este ejemplo, la carcasa de receptor de luz 106 es altamente termoconductora, para minimizar la diferencia de temperatura entre los canales de receptor 14. La carcasa de receptor de luz puede ser, por ejemplo, un único bloque de aluminio.

15 En el ejemplo de la figura 1, el sistema 1 incluye una unidad de control de transmisor de luz 22 dispuesta para controlar los canales de transmisor de luz 8. En este ejemplo, el sistema 1 incluye una unidad de control de receptor de luz 24 dispuesta para controlar los canales de receptor de luz 14. En este ejemplo, el sistema 1 incluye una unidad de procesamiento 26.

20 En el presente caso, la unidad de procesamiento incluye un generador de señales 28 dispuesto para generar una señal portadora que tiene una frecuencia portadora f_c . La señal portadora se alimenta tanto al transmisor de luz 4 como al receptor de luz 6.

25 La unidad de control de transmisor de luz 22 incluye un generador de temporización 30 para generar una señal de temporización. En este ejemplo, la señal de temporización es una señal periódica que incluye una ráfaga B que tiene una frecuencia de repetición de ráfaga (o tiempo de repetición de ráfaga T_B) y una duración de ráfaga L_B . La unidad de control de transmisor de luz 22 está dispuesta para encender y apagar las fuentes de luz 10 entre las ráfagas. Las fuentes de luz 10 se encienden y apagan en una secuencia de tiempo de acuerdo con la frecuencia de repetición de ráfaga y la duración de ráfaga, en donde, durante la ráfaga, las fuentes de luz se modulan variando la intensidad de luz con arreglo a la forma de la frecuencia de modulación. En la figura 3, esto se representa como una onda sinusoidal con una intensidad de luz de un 0 % a un 100 %. El encendido y apagado de las fuentes de luz 10 de acuerdo con la frecuencia portadora se puede hacer a un ciclo de trabajo del 50 %, o a cualquier ciclo de trabajo deseado. El ciclo de trabajo se puede ajustar, por ejemplo, de acuerdo con las necesidades. Por ejemplo, la frecuencia de ráfaga puede ser de 10 Hz (10 ráfagas por segundo). Una duración de ráfaga puede ser, por ejemplo, de 250-1000 μ s. La frecuencia portadora puede ser, por ejemplo, de 100 kHz.

40 Durante la ráfaga, la luz emitida por el transmisor de luz 4 se modula variando la intensidad de luz con arreglo a la forma de la frecuencia de modulación para permitir obtener una señal independientemente de las condiciones de radiación naturales. El receptor de luz 6 recibe de forma sucesiva una señal de fondo pura debido a la irradiación de luz natural y la señal de suma del transmisor de luz y la irradiación natural. Mediante bloqueo de CC (el convertidor de corriente a voltaje acoplado a CA, CV-CA, convierte solo la parte de CA (o parte modulada) de la señal de recepción; por lo tanto, la luz de fondo con su parte de CC es bloqueada por el convertidor de corriente a voltaje acoplado a CA), se puede determinar fácilmente la componente de la luz recibida en respuesta únicamente a la salida del transmisor de luz 4. Por lo tanto, debido a que el transmisor emite luz modulada, las plantas reflejan luz modulada con intensidades específicas de longitud de onda de acuerdo con su respuesta espectral. Los canales de receptor reciben toda la luz (en su banda de longitud de onda respectiva) pero las señales que no se modulan con la misma frecuencia y fase que la frecuencia de modulación no pueden pasar por la electrónica.

50 En este ejemplo, cada canal de receptor 14 tiene su propia electrónica de procesamiento 32. La figura 4 muestra un ejemplo esquemático en el que la electrónica de procesamiento 32 se subdivide en unidades. En este ejemplo, el sensor de luz 16 es un fotodiodo. La corriente generada por el sensor de luz 16 es convertida en voltaje por el convertidor de corriente-voltaje acoplado a CA 34. El voltaje resultante es amplificado por el amplificador de paso de banda 36. En este ejemplo, el ancho de banda del amplificador es de 20 kHz. Preferiblemente, el convertidor de corriente a voltaje de CA y el amplificador de paso de banda eliminan toda componente de CC de la señal. Se apreciará que la componente de CA de la señal corresponde a la diferencia entre la señal ambiental y de fondo sumada (durante un pulso) y la señal de fondo (entre pulsos). Por lo tanto, esto suprime la luz ambiental. En este ejemplo, no hay medición alguna de la señal de fondo. La señal de fondo es eliminada por la electrónica. La señal de fondo es definida principalmente por una componente de CC y la componente de CA es generada por el transmisor de luz. Por lo tanto, la supresión de fondo viene con el bloqueo de CC del CV-CA junto con el amplificador de paso de banda. Por lo tanto, la señal medida que proviene del amplificador de paso de banda no contiene una componente de fondo. Sin embargo, para obtener información acerca de la electrónica de medición (por ejemplo, desviaciones térmicas u otra), puede ser útil obtener datos de medición de un intervalo de tiempo entre las ráfagas. En este intervalo de tiempo, la luz se apaga (la componente de CA es nula) y la señal de medición es solo la respuesta de señal de oscuridad de la electrónica. Sin embargo, debido a que también en este caso la señal de CC se elimina de la señal medida, el término "señal de oscuridad" no implica que tal señal incluya una señal relacionada con la "iluminación de fondo".

A continuación, la señal de CA es rectificadora de fase 38 para obtener la amplitud de la señal. Se observa que el rectificador de fase se puede conectar al generador de señales 28, de tal modo que la señal recibida se puede rectificar en sincronización con los pulsos de luz transmitidos. En este punto, también se elimina toda componente de señal de CA que permaneciera después de la retirada de la componente de CC y que no esté en fase con la señal de modulación (por lo tanto, posiblemente no causada por la iluminación modulada).

La señal rectificadora se alimenta a un integrador y un circuito de retención 40. El integrador integra la señal a lo largo de un período de tiempo predeterminado. Esto ayuda a reducir el ruido. El tiempo de integración se puede adecuar a la duración de las ráfagas. El tiempo de integración puede ser, por ejemplo, de 250 - 1000 μ s.

La unidad de control de receptor de luz 22 incluye un conmutador electrónico o multiplexor 42. Los circuitos de retención 40 retienen los valores integrados determinados hasta que el multiplexor 42 alimenta las señales integradas respectivas a un convertidor de analógico a digital 44.

En este ejemplo, el sistema incluye además un sensor de luz adicional 16' para determinar la intensidad de las fuentes de luz 10. Por lo tanto, se puede compensar cualquier desviación en la salida de luz, por ejemplo, debido a la temperatura, el envejecimiento, etc. Además, el sensor de luz adicional permite supervisar las fuentes de luz 10 en busca de mal funcionamiento. Con este fin, las fuentes de luz individuales 10 se pueden encender, por ejemplo, de forma secuencial, una tras otra, y la señal resultante se mide usando el sensor de luz adicional 16'. Se apreciará que es posible incluir un sensor de luz adicional dedicado 16' para cada fuente de luz 10 o para cada canal de transmisor de luz 8.

En este ejemplo, la unidad de procesamiento 26 recibe los valores digitales representativos de la luz recibida en los canales de receptor respectivos. La unidad de procesamiento 26 está dispuesta para determinar un estado de las plantas 2 en función de los valores recibidos. La unidad de procesamiento 26 puede estar dispuesta, por ejemplo, para determinar un estado nutricional de las plantas 2 en función de los valores recibidos. Los valores determinados por la unidad de procesamiento, representativos de la intensidad de luz recibida por los sensores de luz 26 respectivos, se indican como R_{670} , R_{730} , R_{740} y R_{760} en este ejemplo, haciendo referencia a las longitudes de onda centrales de los filtros de paso de banda de canal de receptor respectivos. Se observa que el borde de la banda de absorción de clorofila se sitúa a aproximadamente 730 nm. Por lo tanto, el valor de R_{730} es representativo de la cantidad de clorofila dentro del campo de visión de ese canal de receptor. Por lo tanto, el canal de receptor que tiene una longitud de onda central de aproximadamente 730 nm se puede clasificar como canal de receptor de clorofila. La transmisión de la luz como las ráfagas moduladas y la rectificación en fase ya cancela efectos de la iluminación ambiental. Por lo tanto, es indiferente si la medición se realiza de día o de noche. Comparar el valor en la banda de absorción de clorofila, R_{730} , con un valor fuera de la banda de absorción de clorofila, en el presente caso R_{760} , permite corregir la cantidad de luz reflejada que no contribuye a la medición de clorofila, tal como la reflexión sobre el suelo. El canal de receptor que tiene una longitud de onda central de aproximadamente 760 nm cumple en el presente caso con los requisitos para ser considerado como un canal de receptor de referencia de clorofila. Se apreciará que, para el canal de receptor de referencia de clorofila, se puede elegir cualquier longitud de onda central fuera de la banda de absorción de clorofila, tal como, pero sin limitarse a, 750, 755, 760, 765, 770, 775, 780 o 785 nm, por ejemplo, los 760 nm mencionados anteriormente. Por lo tanto, la unidad de procesamiento 26 puede determinar, por ejemplo, la relación R_{760} / R_{730} como un índice representativo de la clorofila.

Existe una relación entre la cantidad total de clorofila y la cantidad total de nitrógeno dentro de un dosel de cultivo. Por lo tanto, los requisitos de nitrógeno de cultivo se pueden determinar basándose en los datos de medición recopilados del dosel de cultivo. Las plantas con niveles aumentados de nitrógeno han producido habitualmente más clorofila y más biomasa. 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 dosel y obtener una indicación de la cantidad de clorofila y la captación de nitrógeno. Cuando la absorción determinada en la banda de absorción de clorofila es alta, se puede suponer que la cantidad total de clorofila en las plantas es alta, y se puede suponer que los niveles de nitrógeno de las plantas son altos. Por lo tanto, la unidad de procesamiento puede determinar el estado nutricional de una planta. Después de una calibración apropiada en pruebas de campo dedicadas, la captación de nitrógeno se puede calcular, por ejemplo, a partir de $S_N = 100 * C_c * (R_{760} / R_{730} - 1)$, en donde C_c puede ser una función de calibración o una constante de calibración determinada en la calibración. También es posible que R_{760} y R_{730} se calibren individualmente.

Para suprimir los efectos del rocío y el polvo sobre las plantas, se puede realizar una corrección adicional, usando el valor determinado por un canal de receptor de referencia, en el presente caso el canal de receptor con la longitud de onda central de aproximadamente 670 nm. Esta corrección adicional se puede obtener restando el valor de la intensidad de luz recibida por el canal de receptor de referencia del valor del canal de receptor de clorofila y del valor del canal de receptor de referencia de clorofila. Por lo tanto, la unidad de procesamiento 26 puede determinar, por ejemplo, la relación $(R_{760} - R_{670}) / (R_{730} - R_{670})$ como un índice corregido representativo de la clorofila. De nuevo, la captación de nitrógeno se puede calcular a partir de $S_N' = 100 * C_d * ((R_{760} - R_{670}) / (R_{730} - R_{670}) - 1)$ después de una calibración apropiada. En el presente documento, C_d puede ser una función de calibración o una constante de calibración determinada en la calibración. También es posible que R_{760} , R_{670} y R_{730} se calibren individualmente.

- En lugar o además de determinar la clorofila o la captación de nitrógeno, se puede determinar la biomasa sobre el suelo, por ejemplo, seca. Para ello, se pueden usar diferentes bandas de longitud de onda, por ejemplo, basándose en una banda de absorción de agua tal como a 970 nm. Se puede definir un canal de receptor de agua que tiene una longitud de onda central de aproximadamente 970 nm. Se puede definir un canal de receptor de agua de referencia que tiene una longitud de onda central de aproximadamente 900-930 nm, por ejemplo, 900 nm. La determinación de biomasa puede ser independiente de la clorofila. La masa seca se puede calcular, por ejemplo, a partir de $S_{DM} = 100 * C_w * (R_{900} / R_{970} - 1)$ o a partir de $S_{DM}' = 100 * C_w * ((R_{900} - R_{670}) / (R_{970} - R_{670}) - 1)$, en donde C_w puede ser una función de calibración o una constante de calibración determinada en la calibración. También es posible que R_{900} , R_{670} y R_{970} se calibren individualmente.
- La unidad de procesamiento 26 está dispuesta para hacer que un usuario pueda conocer los resultados de las mediciones. Para ello, la unidad de procesamiento 26 puede incluir una unidad de comunicación 46. La unidad de comunicación 46 está dispuesta para transmitir los resultados de medición, por ejemplo, el estado de las plantas, tales como captación de nitrógeno o biomasa, a un dispositivo de usuario 48. La comunicación puede ser cableada o inalámbrica. El dispositivo de usuario 48 puede incluir un panel de control. El panel de control puede incluir un visualizador y/o controles. El dispositivo de usuario puede ser una tableta. El dispositivo de usuario puede ser un teléfono inteligente.
- La unidad de control de transmisor de luz 22 incluye, en este ejemplo, una unidad de control de temperatura 47. La unidad de control de temperatura 47 está dispuesta para controlar la temperatura de los canales de transmisor 10 para evitar, o al menos reducir, la deriva de longitud de onda y/o de intensidad. En el presente caso, los canales de transmisor se mantienen a una temperatura elevada por encima de la temperatura ambiente. La temperatura se puede mantener, por ejemplo, a aproximadamente 50 ± 1 °C.
- Las figuras 5A y 5B muestran una representación esquemática de un sistema 1. En este ejemplo, el sistema 1 está unido a un tractor 50. En el presente caso, el sistema 1 se coloca en un techo de cabina del tractor 50. El transmisor de luz 4 se apunta al suelo con un ángulo α . En este ejemplo, el ángulo α es de aproximadamente 50°, sin embargo, se pueden seleccionar otros ángulos adecuados. El receptor de luz 6 también se apunta al suelo, en el presente caso con el mismo ángulo α . El receptor de luz 6 recibe luz reflejada de las plantas dentro del campo de visión Cv. Se observa que, en este ejemplo, también está unido un segundo sistema 1' al tractor, para permitir la detección simultánea en ambos lados del vehículo.
- Como se ha explicado anteriormente, los transmisores de luz 4 de los sistemas 1, 1' transmiten la luz en ráfagas a la frecuencia de ráfaga. En este ejemplo, los sistemas 1, 1' están sincronizados. En el presente caso, la sincronización es de tal modo que los transmisores de luz se hacen funcionar fuera de fase, es decir, los sistemas 1 y 1' transmiten de forma alterna una ráfaga. Esto puede ayudar a prevenir picos de consumo de energía.
- Cuando el vehículo se mueve y, por lo tanto, pasa por plantas, la frecuencia de ráfaga es preferiblemente de tal modo que los campos de visión de las mediciones individuales se superponen al menos la mitad del campo de visión.
- En este ejemplo, el tractor 50 está provisto además de una unidad de distribución de fertilizante 52. La unidad de distribución de fertilizante 52 está conectada a una unidad de control 54. La unidad de control 54 recibe tasas de aplicación calculadas a partir del estado de las plantas, tales como, por ejemplo, la captación de nitrógeno, de la unidad de procesamiento 26. La unidad de control 54 controla la distribución de fertilizante en función de los datos recibidos. Debido a que los datos se pueden proporcionar a la unidad de control 54 en tiempo real, o con un retardo mínimo, es posible controlar la distribución del fertilizante en función de cada medición individual para las plantas con el campo de visión durante esa medición.
- En el presente documento, la invención se describe con referencia a ejemplos específicos de realizaciones de la invención. Sin embargo, será evidente que se pueden realizar diversas modificaciones y cambios en la misma, sin apartarse de la esencia de la invención. Con fines de claridad y de una descripción concisa, en el presente documento se describen características como parte de las mismas realizaciones 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.
- Por ejemplo, en el ejemplo de la figura 5 se muestra una unidad de distribución de fertilizante. Alternativa o adicionalmente, el sistema 1, 1' se puede usar para proporcionar datos representativos de un estado de las plantas a una unidad de control de un sistema de riego y/o de irrigación.
- En el ejemplo de la figura 5, el sistema 1, 1' se coloca en un techo del tractor. Quedará claro que el sistema también se puede colocar en cualquier otro lugar, por ejemplo, en un aguilón de pulverización. También quedará claro que el sistema se puede unir a una estructura en movimiento diferente de un tractor, por ejemplo, a una segadora, un irrigador lineal/de pivote central, o similar.
- Sin embargo, también son posibles otras modificaciones, variaciones y alternativas. En consecuencia, las especificaciones, dibujos y ejemplos se han de considerar en un sentido ilustrativo más que en un sentido restrictivo.

Con fines de claridad y de una descripción concisa, en el presente documento se describen características como parte de las mismas realizaciones o de realizaciones separadas, sin embargo, se apreciará que el alcance de la invención puede incluir realizaciones que tienen combinaciones de todas o algunas de las características descritas.

5 En las reivindicaciones, no se ha de interpretar que signo de referencia alguno colocado entre paréntesis limite la reivindicación. La expresión 'que comprende' no excluye la presencia de otras características o etapas distintas de las enumeradas en una reivindicación. Además, no se ha de interpretar que las palabras 'un' y 'una' se limiten a 'solo uno' sino que, en su lugar, se usan para significar 'al menos uno', y no excluyen una pluralidad. El mero hecho de que
10 ciertas medidas se mencionen en reivindicaciones mutuamente diferentes no indica que no se pueda aprovechar una combinación de estas medidas.

REIVINDICACIONES

1. Sistema para determinar el estado de las plantas, que incluye:
 - 5 un transmisor de luz dispuesto para proporcionar iluminación de banda ancha a una o más plantas; un receptor de luz que incluye una pluralidad de canales de receptor, dispuestos los canales de receptor para recibir luz reflejada de dichas una o más plantas en bandas de longitud de onda mutuamente diferentes; y una unidad de procesamiento dispuesta para determinar el estado de dichas una o más plantas en función de la luz reflejada recibida por dicha pluralidad de canales de receptor; en donde una unidad de control de transmisor
 - 10 de luz está dispuesta para hacer que el transmisor de luz transmita ráfagas de luz modulada y en donde el receptor de luz está dispuesto para detectar luz sincronizada con la luz transmitida modulada.
 2. Sistema de acuerdo con la reivindicación 1, en donde el transmisor de luz incluye una pluralidad de canales de transmisor, estando dispuestos los canales de transmisor para transmitir luz en bandas de longitud de onda mutuamente diferentes, en donde el número de canales de transmisor es diferente del número de canales de receptor.
 3. Sistema de acuerdo con las reivindicaciones 1 o 2, en donde los canales de transmisor se mezclan ópticamente, a través de ópticas de transmisor dedicadas, en un único eje óptico.
 - 20 4. Sistema de acuerdo con las reivindicaciones 1, 2 o 3, en donde las intensidades de los canales de transmisor individuales se pueden supervisar a través de un receptor óptico situado dentro de la óptica de transmisor.
 5. Sistema de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde cada canal de receptor incluye un detector de luz, un convertidor de corriente a voltaje acoplado a CA, un amplificador de CA de paso de banda, un rectificador de fase, un integrador, un circuito de retención.
 - 25 6. Sistema de acuerdo con la reivindicación 5, en donde el receptor incluye un multiplexor y un convertidor de analógico a digital.
 - 30 7. Sistema de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde cada canal de receptor incluye un detector de luz y una óptica dedicada, tal como un filtro de paso de banda y/o una lente, en donde, opcionalmente, todos los canales de receptor están montados en un bastidor de receptor común.
 8. Sistema de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde la unidad de procesamiento está dispuesta para calcular un estado de una planta, tal como un estado nutricional de la planta, en función de la luz recibida por la pluralidad de canales de receptor.
 - 35 9. Sistema de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde la luz recibida por la pluralidad de canales de receptor es indicativa del contenido de clorofila de las una o más plantas iluminadas por la iluminación de banda ancha.
 - 40 10. Sistema de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que incluye una unidad de comunicación dispuesta para comunicar datos representativos del estado de planta determinado a un dispositivo de usuario.
 - 45 11. Sistema de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que incluye un primer canal de receptor dispuesto para recibir luz a una primera longitud de onda de una banda de reflexión o de absorción conocida de interés, y un segundo canal de receptor dispuesto para recibir luz a una segunda longitud de onda diferente, en donde el sistema está dispuesto para usar la luz recibida por el segundo canal de receptor como un valor de referencia en vista de la luz recibida por el primer canal de receptor.
 - 50 12. Sistema de acuerdo con la reivindicación 11, en donde el primer canal de receptor está sintonizado a un borde de una banda de absorción de clorofila, tal como a aproximadamente 730 nm, y el segundo canal de receptor está sintonizado a una longitud de onda diferente, tal como a aproximadamente 760-800 nm.
 - 55 13. Sistema de acuerdo con la reivindicación 12, en donde el primer canal de receptor está sintonizado a una banda de absorción de agua, tal como a aproximadamente 970 nm, y el segundo canal de receptor está sintonizado a una longitud de onda diferente, tal como a aproximadamente 900-930 nm.
 - 60 14. Sistema de acuerdo con las reivindicaciones 11, 12 o 13, que incluye un tercer canal de receptor dispuesto para recibir luz a una tercera longitud de onda diferente de la primera y la segunda longitudes de onda, en donde el sistema está dispuesto para usar la luz recibida por el tercer canal de receptor como un valor de referencia en vista de la luz recibida por el primer canal de receptor y en vista de la luz recibida por el segundo canal de receptor.
 - 65 15. Sistema de acuerdo con la reivindicación 14, en donde el sistema está dispuesto para restar una señal recibida por el tercer canal de receptor de la señal recibida por el primer canal de receptor y de la señal recibida por el segundo canal de receptor antes de determinar una relación de las mismas.

16. Sistema de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde el sistema está dispuesto además para controlar un sistema de aplicación de tasa variable, tal como un sistema de fertilizante, un sistema de irrigación, un sistema de fertirrigación y, en particular, un distribuidor de fertilizante montado en o tirado por un tractor.

5 17. Método para determinar un estado de las plantas, que incluye:
transmitir iluminación de banda ancha a una o más plantas usando un transmisor de luz, en donde la luz se transmite en ráfagas de luz modulada;
10 recibir luz en bandas de longitud de onda mutuamente diferentes de dichas una o más plantas mediante un receptor de luz que incluye una pluralidad de canales de receptor, en donde la luz recibida por la pluralidad de canales de receptor se detecta sincronizada con la luz transmitida modulada; y
determinar, mediante una unidad de procesamiento, un estado de dichas una o más plantas en función de la luz recibida por la pluralidad de canales de receptor.

15 18. Método de acuerdo con la reivindicación 17, en donde el transmisor de luz incluye una pluralidad de canales de transmisor, estando dispuestos los canales de transmisor para transmitir luz en bandas de longitud de onda mutuamente diferentes, en donde una longitud de onda central de una banda de longitud de onda de al menos uno de los canales de transmisor es diferente de las longitudes de onda centrales de las bandas de longitud de onda del canal de receptor.

20 19. Método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 17 a 18, que incluye recibir luz a una primera longitud de onda de una banda de reflexión o de absorción conocida de interés, recibir luz a una segunda longitud de onda diferente y usar la luz recibida a la segunda longitud de onda como un valor de referencia en vista de la luz recibida a la primera longitud de onda.

25 20. Método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 17-19, que incluye retirar una componente de CC de una señal representativa de la luz recibida por la pluralidad de canales de receptor.

30 21. Método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 17 a 20, que incluye controlar un sistema de aplicación de tasa variable, tal como un sistema de fertilizante, un sistema de irrigación, un sistema de fertirrigación y, en particular, un distribuidor de fertilizante montado en o tirado por un tractor, en función del estado determinado de las plantas.

35

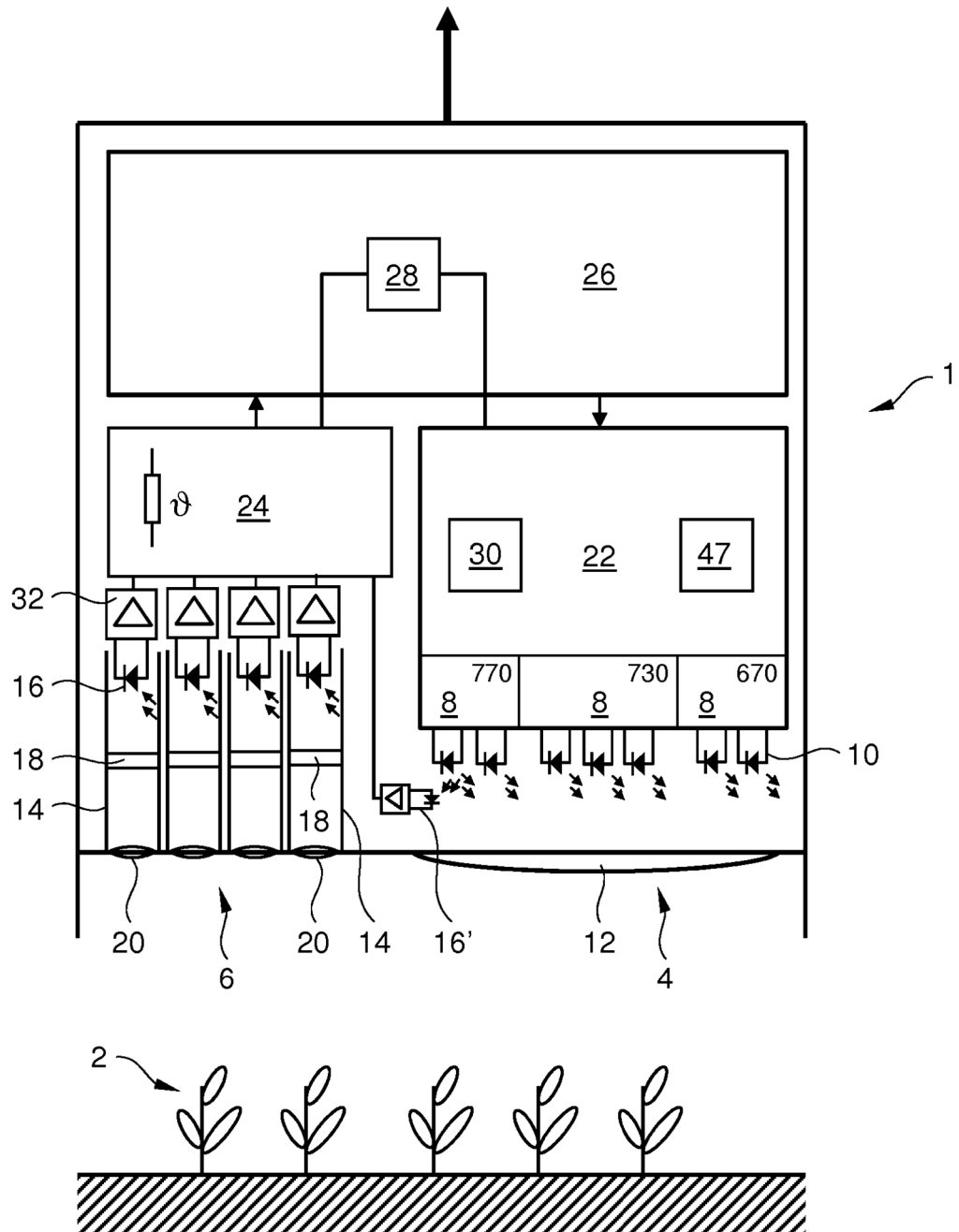


Fig. 1

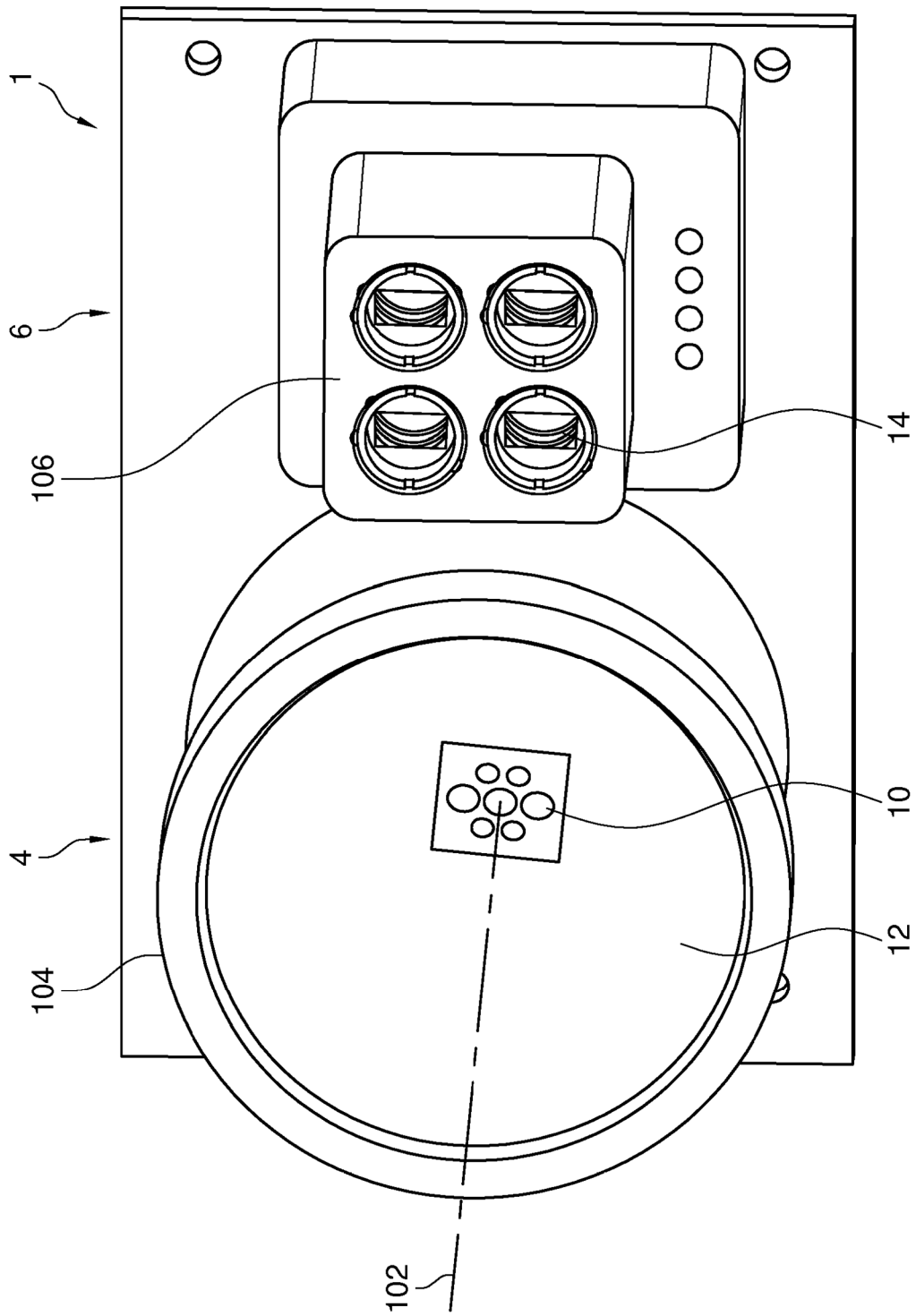


Fig. 2

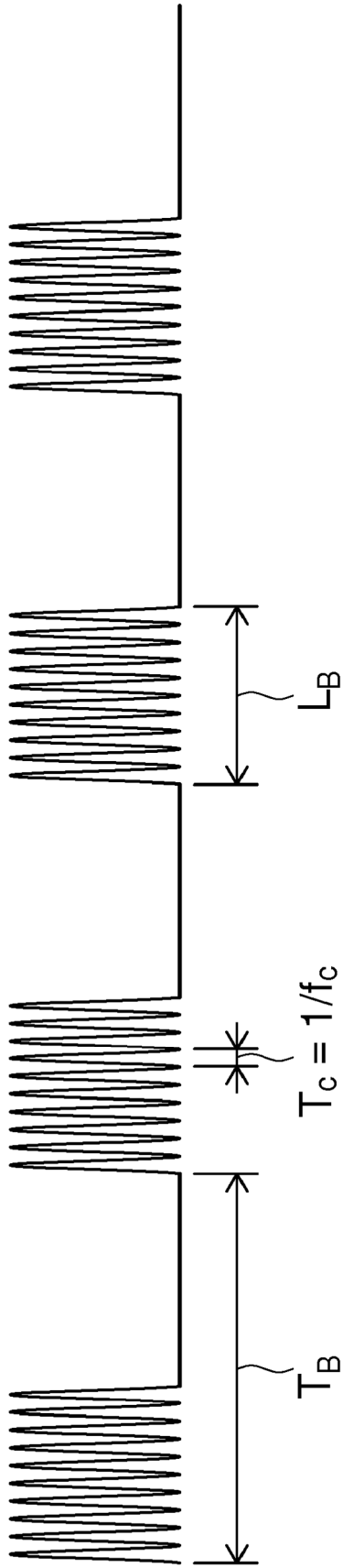


Fig. 3

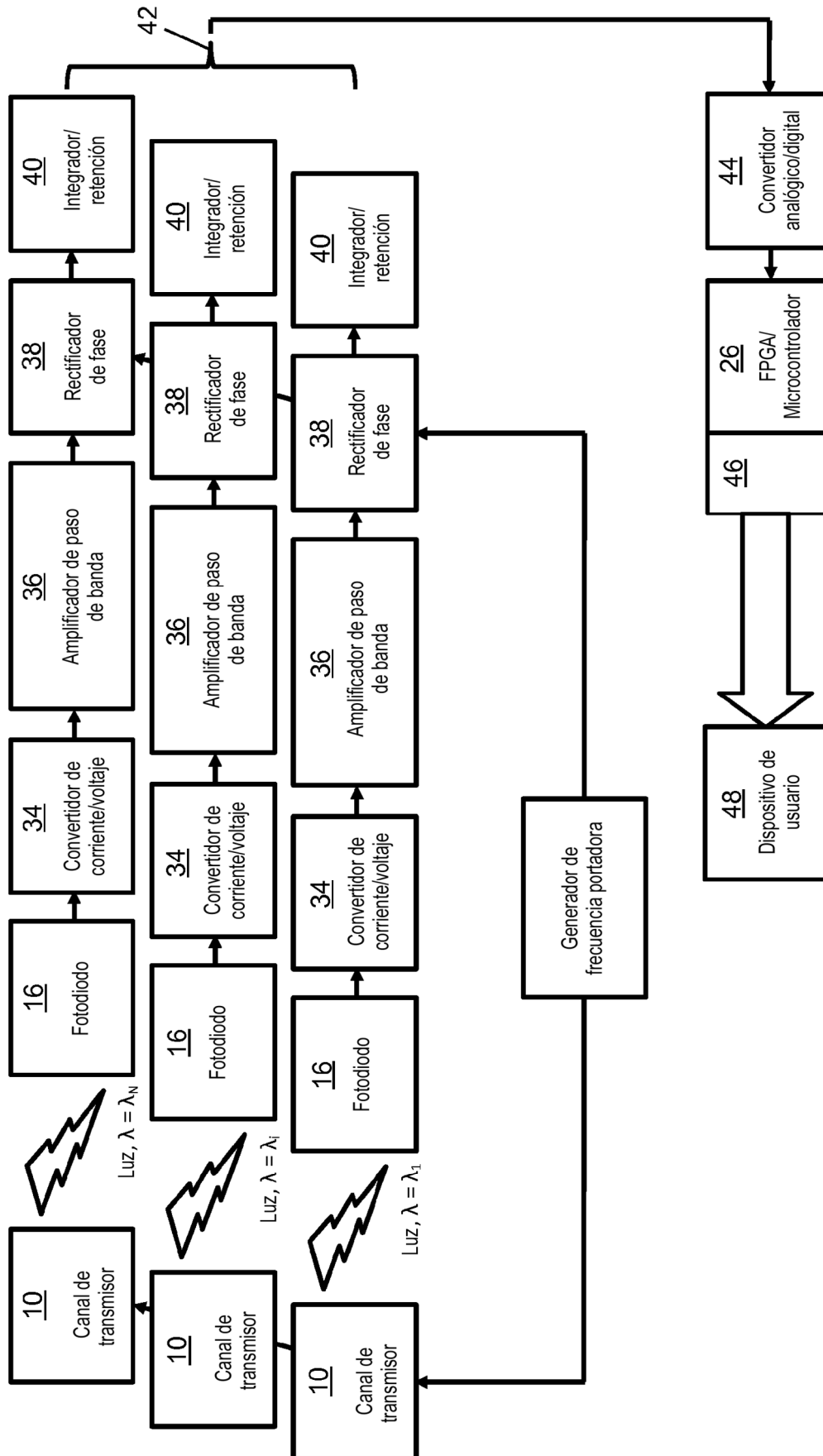


Fig. 4

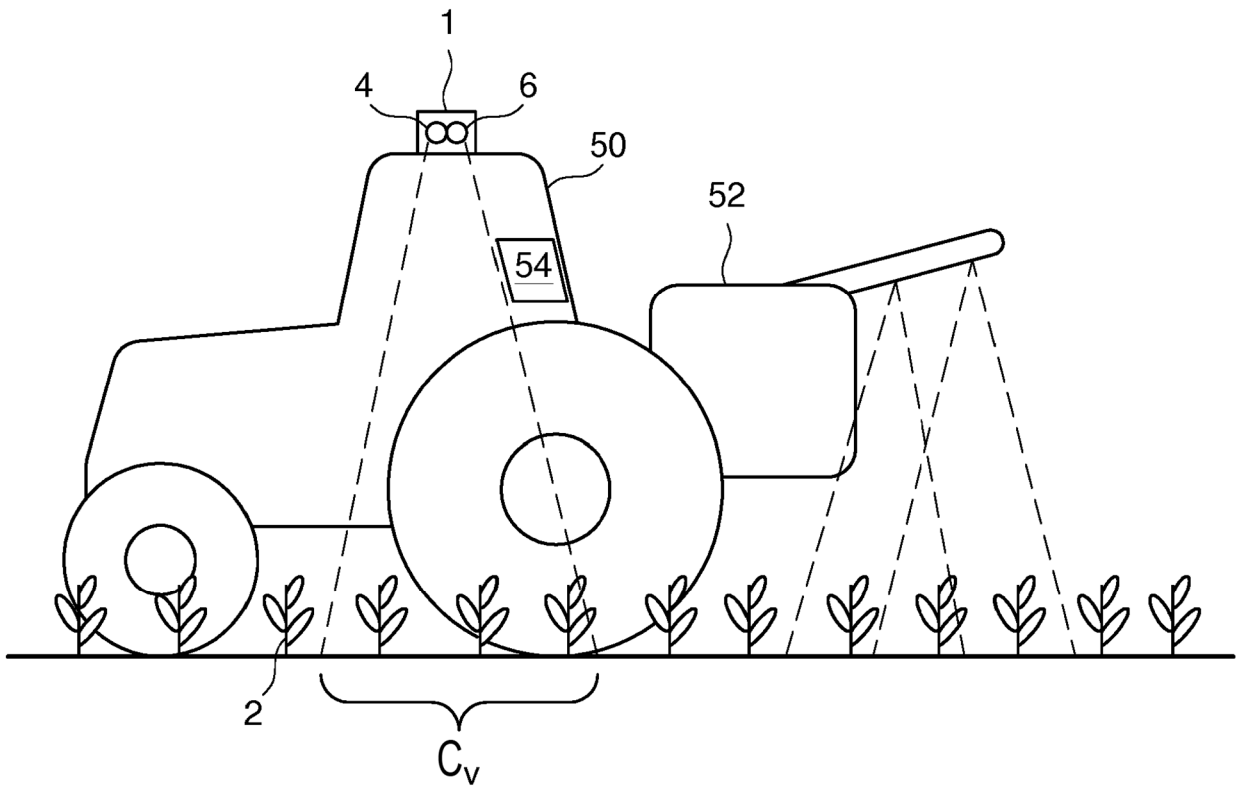


Fig. 5A

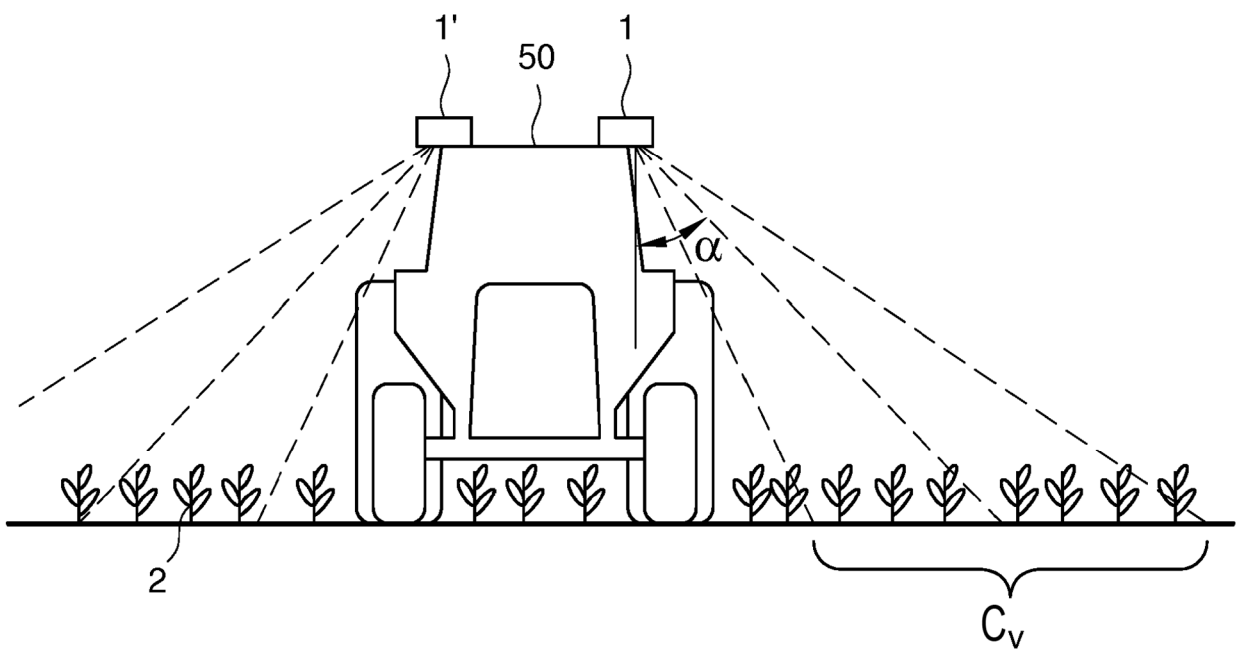


Fig. 5B