

MÉTODOS DE MONITOREO AGRONÓMICO Y AGRÍCOLA USANDO SISTEMAS AÉREOS NO TRIPULADOS

REIVINDICACIÓN DE BENEFICIOS

[0001] Esta solicitud reivindica el beneficio bajo 35 U.S.C. §119 (e) de la solicitud provisional 62/040.859, presentada el 22 de agosto de 2014, y la solicitud provisional 62/046.438, presentada el 5 de septiembre de 2014, cuyos contenidos completos se incorporan aquí por referencia como si estuvieran completamente establecidos en el documento.

CAMPO

[0002] Esta descripción se refiere generalmente a monitoreo agronómico y agrícola, y más específicamente a métodos para monitoreo agronómico y agrícola usando sistemas aéreos no tripulados o drones.

ANTECEDENTES

[0003] Los vehículos aéreos no tripulados (UAV), algunas veces denominados como drones, son aeronaves pilotadas a distancia o auto-pilotadas que pueden llevar sensores, equipos de comunicaciones, cámaras u otras cargas útiles. Los UAV han sido utilizados para el reconocimiento militar y la recolección de información, así como para la captura de imágenes terrestres para aplicaciones civiles. Aunque los UAV también se han utilizado para la vigilancia agrícola, tales sistemas no son enteramente satisfactorios. Se necesita un UAV mejorado para uso agrícola.

[0004] Esta sección de antecedentes pretende introducir al lector en diversos aspectos del arte que pueden estar relacionados con diversos aspectos de la presente descripción, los cuales se describen y/o se reivindican a continuación. Se cree que esta discusión es útil para proporcionar al lector información de antecedentes para facilitar una mejor comprensión de los diversos aspectos de la presente descripción. En consecuencia, debe entenderse que estas declaraciones se deben leer en este sentido, y no como admisiones del estado del arte.

BREVE RESUMEN

[0005] Un aspecto es un método para monitoreo agronómico y agrícola. El método incluye designar un área para formación de imágenes, determinar una trayectoria de vuelo por encima del área designada, operar un vehículo aéreo no tripulado (UAV) a lo largo de la trayectoria de vuelo, adquirir imágenes del área usando un sistema de cámara unido al UAV y procesar las imágenes adquiridas.

[0006] Otro aspecto es un sistema de monitoreo agronómico y agrícola. El sistema incluye un dispositivo de computación configurado para designar un área para formación de imágenes y determinar una trayectoria de vuelo por encima del área designada. El sistema incluye además un vehículo aéreo no tripulado acoplado comunicativamente al dispositivo de cómputo y que tiene un sistema de cámara, el vehículo aéreo no tripulado configurado para viajar a lo largo de la trayectoria de vuelo, adquiere imágenes del área usando el sistema de cámara y procesa las imágenes adquiridas.

[0007] Existen diversos refinamientos de las características anotadas en relación con los aspectos antes mencionados. También se pueden incorporar otras características en los aspectos mencionados anteriormente. Estos refinamientos y

características adicionales pueden existir individualmente o en cualquier combinación. Por ejemplo, pueden incorporarse varias características discutidas más adelante en relación con cualquiera de las implementaciones ilustradas, en cualquiera de los aspectos anteriormente descritos, solos o en cualquier combinación.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

[0008] La FIG. 1 es un diagrama de bloques de un sistema para uso en monitoreo agronómico y agrícola.

[0009] La FIG. 2 es un diagrama de flujo de un método para el funcionamiento de un vehículo aéreo no tripulado para monitoreo agronómico y agrícola que puede usarse con el sistema mostrado en la FIG. 1.

[0010] La FIG. 3 es un diagrama de flujo de una etapa de planificación de una misión del método mostrado en la FIG. 2.

[0011] La Fig. 4 es un diagrama de flujo de una etapa de ejecución de vuelo del método mostrado en la FIG. 2.

[0012] La FIG. 5 es un diagrama de flujo de una etapa de transferencia/procesamiento de datos después del vuelo del método mostrado en la FIG. 2.

[0013] La Fig. 6, la FIG. 7, la FIG. 8, la FIG. 9, la FIG. 10, la FIG. 11 son ejemplos de mapas que pueden ser creados por el sistema mostrado en la FIG. 1.

[0014] Los caracteres de referencia correspondientes indican partes correspondientes a través de las diversas vistas de los dibujos.

DESCRIPCIÓN DETALLADA

[0015] Haciendo referencia inicialmente a la FIG. 1, un ejemplo de un sistema aéreo no tripulado de la presente descripción se indica generalmente con 100. El sistema aéreo no tripulado 100 incluye una pluralidad de componentes que incluyen un vehículo aéreo no tripulado (UAV) 110, una nube 120, una interfaz gráfica de usuario (GUI) 130 (e.g., implementado utilizando una tableta como dispositivo de computación), una estación base 140, un computador personal 150 y un dispositivo de entrada de usuario (UID) 160. Los componentes del sistema 100 se describirán con más detalle a continuación.

[0016] En esta implementación, los componentes del sistema 100 están acoplados comunicativamente entre sí mediante uno o más medios de comunicación (e.g., conexión directa por cable, redes de computación en nube, Internet, redes de área local (LAN), redes aéreas locales inalámbricas (WLAN) (e.g., 802.11ac estándar), o redes de área amplia (WAN)). Por consiguiente, los componentes del sistema 100 pueden incluir un transmisor y receptor inalámbrico (e.g., 118, 135, 143, 151, 165) y/o un módulo de transferencia celular (e.g., 113, 131, 142, 162) para facilitar la comunicación inalámbrica entre los componentes. Además, uno o más de los componentes (110, 120, 120, 140, 150 y 160) pueden incluir un sistema de posicionamiento global (GPS) en el mismo (e.g., 111, 133, 145, 153 y 161) para determinar una posición del componente asociado, la normalización de los datos GPS entre los componentes y la habilitación de los cálculos de triangulación para las determinaciones de posición.

[0017] En esta implementación, el vehículo aéreo no tripulado 110 es un avión remoto pilotado o auto-pilotado que puede ser capaz de volar (e.g., un helicóptero o un giroavión) o puede ser de ala fija. Un ejemplo de un UAV "cuadricopter" tipo "hover-type" se describe en la Publicación de la solicitud de Patente U.S. No. 2013/0176423, que se incorpora aquí como referencia en su totalidad. En los sistemas y métodos descritos en el presente documento, el UAV 110 ayuda a las operaciones agrícolas y de cultivo mediante la cartografía y el control del estado y la evolución de la agricultura.

[0018] En esta implementación, el vehículo aéreo no tripulado (UAV) 110 incluye un sistema de posicionamiento global (GPS) 111 adecuado que proporciona la ubicación del UAV 110 utilizando, e.g., satélites GPS que orbitan a la tierra. Los datos de ubicación y tiempo pueden proporcionarse a un usuario (e.g., operador humano) o a un computador que controla automáticamente el vehículo. Puede ser parte del sistema GPS 111 un sensor de elevación (e.g., sonar) para determinar la elevación del UAV 110 durante el vuelo. El UAV 110 también incluye una o más unidades de medición inercial montadas (IMU) 112 que miden e informan la velocidad, la orientación y las fuerzas gravitatorias del UAV 110 usando una combinación de acelerómetros montados, giroscopios y/o magnetómetros. En cooperación con el GPS 111 y las IMU 112, una capacidad de autopilotaje 115 en el UAV 110 controla las operaciones de despegue, navegación en vuelo y aterrizaje. Para la comunicación durante las operaciones de vuelo de retorno, el UAV 110 tiene un sistema de comunicación 116 de base drone que incluye un transmisor y receptor de radio (e.g., 900 MHz o 1,2 GHz) para comunicarse con un punto de origen, tal como la estación base 140, mientras está en vuelo.

[0019] En el ejemplo de implementación, el UAV 110 incluye también un sistema de cámara 117 montado en su cara inferior para adquirir imágenes durante el

vuelo. El sistema de cámara 117 puede colgarse del UAV 110 por gravedad usando un conjunto de cardanes que permiten la rotación alrededor de una pluralidad de ejes. Los cardan pueden incluir amortiguadores que reducen las reacciones a los cambios de orientación del UAV 110 durante el vuelo. Alternativamente, el sistema de cámara 117 se puede montar directamente en el UAV 110 y se puede controlar por el movimiento de los actuadores. El sistema de cámara 117 puede incluir una cámara fotográfica fija, una cámara de vídeo, una cámara de imagen térmica y/o una cámara infrarroja cercana (NIR) para capturar imágenes de índice de vegetación de diferencias normalizadas (NDVI). Alternativamente, el sistema de cámara 117 puede incluir cualquier dispositivo de adquisición de imagen que permita que el sistema 100 funcione como se describe en el presente documento.

[0020] El sistema de cámara 117 y el posicionamiento del sistema de cámara 117 se controlan por una unidad de procesamiento central (CPU) a bordo y la unidad de almacenamiento de memoria 114. La unidad de procesamiento central (CPU) puede incluir un microprocesador. La CPU y la unidad de almacenamiento de memoria 114 facilitan operaciones aritméticas, lógicas y de entrada/salida de la CPU a bordo. La CPU y la unidad de almacenamiento de memoria 114 también pueden ayudar y/o controlar otros aspectos del UAV 110, como se discute aquí. Por ejemplo, en algunas implementaciones, la CPU y la unidad de almacenamiento de memoria 114 reciben información de las IMU 112 durante las operaciones en vuelo para ayudar con la orientación del sistema de cámara 117 y/o para detectar si las condiciones (e.g. luz, velocidad, ángulo, etc.) son adecuadas o no para capturar imágenes útiles y visibles. El UAV 110 puede incluir también uno o más sensores (e.g., un sensor de luz incidente) acoplados a la CPU y la unidad de almacenamiento de memoria 114 para monitorear las condiciones ambientales.

[0021] En la implementación de ejemplo, la estación base 140 incluye un sistema de comunicación base drone 141 que comprende un transmisor y un receptor de radio (e.g., 900 MHz o 1,2 GHz) para facilitar la comunicación con el UAV 110 mientras está en vuelo. La estación base 140 incluye también un sistema GPS 145 y una CPU y una unidad de almacenamiento de memoria 144 similares a las discutidas anteriormente en relación con el UAV 110.

[0022] En esta implementación, el computador personal (PC) 150 es un dispositivo de cómputo tal como un computador portátil o de escritorio. El PC 150 incluye una CPU y una unidad de almacenamiento de memoria 153, e incluye también software de procesamiento y mapeo de datos espaciales agrícolas (e.g., Farm Works Software® o SST Summit Professional®) instalado en el mismo. En una implementación, el PC 150 puede servir como una interfaz de usuario para el sistema 100.

[0023] El sistema 100 incluye también una interfaz gráfica de usuario (GUI) 130 que sirve como una interfaz de usuario portátil. La GUI 130 puede ser implementada usando una tableta u otro dispositivo de cómputo portátil que permita al usuario u operador controlar el sistema 100. En particular, la GUI 130 puede permitir al usuario designar rutas de vuelo de UAV 110 y/o identificar obstáculos aéreos que pueden de otro modo obstruir la trayectoria de vuelo del UAV 110. En esta implementación, la GUI 130 incluye una aplicación ("app") o software de visualización 136 que permite al usuario acceder de forma remota a mapas espaciales incluyendo datos relativos a cosecha, rendimiento y/o contenido de nitrógeno creado a partir de imágenes tomadas por el UAV 110. Por ejemplo, la GUI 130 puede incluir software similar al descrito en la solicitud de Publicación de Patente Internacional N°. WO 2014/026183, que se incorpora aquí como referencia en su totalidad. Por consiguiente, la GUI 130 incluye una CPU y una

unidad de almacenamiento de memoria 132, y está en comunicación con otros componentes del sistema 100.

[0024] El sistema 100 incluye también el dispositivo de interfaz de usuario (UID) 160 (e.g., una palanca de control (joystick) o teclado) que permite al usuario u operador controlar el sistema 100. En particular, el UID 160 puede permitir al usuario designar trayectorias de vuelo de UAV 110 y/o identificar obstáculos aéreos que de otro modo podrían obstruir la trayectoria de vuelo del UAV 110. En esta implementación, el UID 160 incluye una pantalla 164 que permite al usuario ver imágenes desde el sistema de cámara 117 de forma remota. Por consiguiente, el UID 160 incluye una CPU y unidad de almacenamiento de memoria 163, y está en comunicación con otros componentes del sistema 100. En una implementación, el UID 160 puede permitir que el usuario u operador controle el UAV 110 mientras visualiza imágenes desde el sistema de cámara 117 en el visualizador de pantalla táctil 134 en la GUI 130.

[0025] En esta implementación, la nube 120 es un centro de almacenamiento de datos, procesamiento de imágenes y cálculo para el sistema aéreo no tripulado 100. Más específicamente, la nube 120 es un conjunto de computadoras interconectadas y servidores conectados a través de una red de comunicación para permitir la computación distribuida. Por ejemplo, la nube 120 podría ser un centro de almacenamiento de datos remoto. El módulo celular 113 montado en UAV 110 permite cargar fotografías en la nube 120 mientras que el UAV 110 está en vuelo. La nube 120 puede recibir y almacenar información meteorológica actual y pronosticada incluyendo la temperatura del aire y las cantidades de precipitación. La nube 120 también puede comunicarse con uno o más servicios de análisis y recomendación que proporcionan análisis y/o recomendaciones con base en datos de imagen adquiridos usando UAV 110.

[0026] En una implementación, el UAV 110 transmite imágenes tomadas con el sistema de cámara 117 durante el vuelo a otros componentes (e.g., 130, 140, 150, 160) para almacenamiento y/o procesamiento. Las imágenes y metadatos cargados desde el UAV 110 a la nube 120 pueden orto-rectificarse y asociarse (stitched) para crear una única imagen contigua. Se describen ejemplos de orto-rectificación de imágenes oblicuas a una vista singular, por ejemplo, en la patente U.S. N°. 8.512.266, que se incorpora aquí como referencia en su totalidad.

[0027] En referencia a la FIG. 2, se muestra, un ejemplo de un método de funcionamiento de un sistema aéreo no tripulado, tal como el sistema 100, se indica generalmente con 200. En esta implementación, el método 200 incluye tres etapas: una etapa de planificación de misión 201, una etapa de ejecución de vuelo 202 y una etapa pos-vuelo 203 de transferencia/procesamiento de datos. Las tres etapas del método 200 se describirán con más detalle a continuación.

[0028] Haciendo referencia a la FIG. 3, un ejemplo de la etapa de planificación de misión del método 200 se indica generalmente con 300. La etapa de planificación de misión 300 del método 200 incluye una secuencia de acciones realizadas por el usuario y el sistema 100. En la FIG. 3, las acciones realizadas por el usuario se proporcionan en un círculo y las acciones realizadas por el sistema 100 se proporcionan en un cuadrado.

[0029] En el método de ejemplo 200, después de la activación del sistema 100, el usuario indica primero el área de vuelo 301 para la cartografía. En una implementación, el usuario describe el área de vuelo a cubrir por el UAV 110 en la GUI 130 o el UID 160 usando datos de mapa de Google Maps® u otro software de GPS.

[0030] En una implementación, el sistema 100 analiza la entrada del área de vuelo 301 del usuario, calcula las trayectorias de vuelo posibles para generar una imagen contigua del área de vuelo y proporciona al usuario posibles trayectorias de vuelo UAV 302. El sistema 100 también puede identificar obstáculos potenciales (e.g., postes telefónicos y/o líneas eléctricas) en la trayectoria de vuelo con base en vuelos previos y/o en la entrada del usuario, y en consecuencia puede ajustar la trayectoria de vuelo. En otra implementación, el sistema 100 proporciona al usuario múltiples trayectorias de vuelo UAV posibles a diferentes elevaciones y velocidades dependiendo de la resolución de imagen y duración de vuelo deseadas. Por ejemplo, y con fines de ilustración, el sistema 100 podría proporcionar al usuario dos trayectorias de vuelo UVA opcionales en la GUI 130 o el UID 160 como se proporciona en la Tabla 1 siguiente:

Tabla 1

Ruta #	Elevación (ft)	Resolución	Duración (min)
1	50	Alto	30
2	100	Bajo	15

[0031] En el método de ejemplo 200, una vez provisto de trayectorias de vuelo posibles, el usuario selecciona una trayectoria de vuelo 303 deseada. En una implementación, el usuario puede solicitar al sistema 100 proporcionar opciones de trayecto de vuelo adicionales introduciendo parámetros específicos para la trayectoria de vuelo (i.e., elevación, resolución de imagen, duración, etc.).

[0032] En el método de ejemplo 200, cuando el usuario selecciona una trayectoria de vuelo deseada, el sistema 100 proporciona al usuario una selección de posibles tipos de imagen que ha de tomar el sistema de cámara 117. En una implementación, el usuario tiene la opción seleccionar 305 imágenes fijas,

imágenes térmicas, imágenes de infrarrojo cercano (NIR) y vídeos que visualizan imágenes de luz, térmica y/o NIR. Por ejemplo, la GUI 130 o el UID 160 pueden proporcionar al usuario una lista que permite al usuario seleccionar el tipo de imagen deseado 304 (e.g., mostrando una casilla de verificación u otro mecanismo de selección). Con base en los tipos de imagen seleccionados por el usuario, en algunas implementaciones, la GUI 130 o el UID 160 determinan una elevación optimizada y/o estima un tiempo de vuelo.

[0033] En el método de ejemplo 200, el sistema 100 proporciona al usuario detalles de vuelo y hechos 306 en la GUI 130 o el UID 160. En una implementación, el sistema 100 puede proporcionar al usuario la ruta, la elevación y/o la duración del vuelo UAV, así como la resolución anticipada de las imágenes a tomar en el tipo de imagen seleccionado. En otra implementación, antes de generar rutas de vuelo, el sistema 100 determina si se han identificado anteriormente obstáculos de vuelo (e.g., postes telefónicos o líneas eléctricas) en el área de vuelo aplicable. En otra implementación más, el usuario identifica los obstáculos de vuelo 307 en la GUI 130 o el UID 160 usando imágenes de satélite de Google Earth® u otro proveedor de imágenes. Específicamente, en una implementación, la GUI 130 o el UID 160 permite al usuario dibujar un límite alrededor de cualquier obstáculo de vuelo y entrar en la altura aproximada del obstáculo para evitar que el UAV entre en el área obstruida. Utilizando la entrada del usuario, el sistema 100 recalcula la trayectoria de vuelo para evitar los obstáculos.

[0034] Haciendo referencia a la FIG. 4, se indica generalmente un ejemplo de la etapa de ejecución de vuelo del método 200 con 400. La etapa de ejecución de vuelo 400 del método 200 incluye una secuencia de acciones realizadas por el usuario y el sistema 100. En la FIG. 4, las acciones realizadas por el usuario se

proporcionan en un círculo y las acciones realizadas por el sistema 100 se proporcionan en un cuadrado.

[0035] En el método de ejemplo 200, la etapa de ejecución de vuelo 400 se produce después de la etapa de planificación de misión 201. En una implementación, el usuario dirige el sistema 100 para iniciar la etapa de ejecución de vuelo 400 usando la GUI 130 o el UID 160. En otra implementación, la etapa de ejecución de vuelo 400 comienza automáticamente después de la identificación de los obstáculos, si los hubiera, en la trayectoria del vuelo UAV.

[0036] En el método de ejemplo 200, la etapa de ejecución de vuelo 400 comienza con el sistema 100 comparando la duración y la elevación del vuelo con una duración de la batería 401 del UAV 110. Cuando un nivel de carga de la batería es insuficiente, el sistema 100 proporciona una indicación al usuario (e.g., en la GUI 130 o el UID 160) que requiere carga. Además de una comprobación de potencia, el sistema 100 realiza también una prueba de funcionamiento de los componentes del sistema, particularmente del UAV 110. En una implementación, el sistema 100 lleva a cabo una prueba de funcionamiento 402 para confirmar que las cámaras necesarias en el sistema de cámara 117 están instaladas y operativas, si las condiciones meteorológicas son seguras para el vuelo del UAV, que el área que rodea el UAV 110 es clara y segura para el despegue, y que las coordenadas GPS del UAV 110 son correctas.

[0037] En el método de ejemplo 200, después de la confirmación por el sistema 100 de que el UAV 110 está capacitado y listo para funcionar, el usuario es requerido por el sistema 100, a través de la GUI 130 o el UID 160, para iniciar el vuelo 403. En una implementación, el usuario empuja un botón de "inicio de vuelo" o "ir" en la GUI 130 o el UID 160. Al iniciarse el vuelo, el sistema 100 comienza el

vuelo del UAV y monitorea continuamente los sistemas UAV 404. En Una implementación, el UAV 110 realiza una o más maniobras de prueba. Por ejemplo, el UAV 110 puede despegarse verticalmente desde la estación base 140 y realizar maniobras sencillas (e.g., moverse hacia adelante y hacia atrás, de lado a lado, arriba y abajo, etc.) para comprobar las capacidades de operación y maniobrabilidad. En el caso de un mal funcionamiento del UAV o del sistema en cualquier momento durante el vuelo, el sistema 100 y el usuario tienen la capacidad de terminar el vuelo 405 prematuramente. En tal caso, la ruta de vuelo seleccionada termina y el UAV 110 regresa a la estación base 140 y/o intenta regresar al suelo sin dañar el UAV 110.

[0038] En el método de ejemplo 200, durante el vuelo del UAV 110, el sistema de cámara 117 toma imágenes o vídeo del área de vuelo seleccionada y almacena las imágenes en la CPU a bordo y la unidad de almacenamiento de memoria 114. En una implementación, la CPU de a bordo y la unidad de almacenamiento de memoria 114 orto-rectifica la imagen a una vista singular e identifica áreas con imágenes de baja calidad.

[0039] En algunas implementaciones, el UAV 110 adquiere un conjunto inicial de imágenes y luego vuelve a una o más áreas objetivo para adquirir imágenes adicionales a una resolución más alta después de revisar los mapas de imagen iniciales 406. Por ejemplo, el sistema de cámara 117 puede adquirir imágenes NDVI del área de vuelo seleccionada, identifican áreas con niveles bajos de nitrógeno (u otros problemas) a través del mapa NDVI y muestran estas áreas al usuario a través de la GUI 130 para permitir al usuario instruir al UAV 110 para que adquiera elevaciones adicionales de baja altura (e.g., entre 10 y 50 pies sobre el suelo), imágenes de alta resolución ("scouting"). En una implementación, las imágenes de una población plantada (e.g., maíz, soya, etc.) son capturadas por el

sistema de cámara 117 desde una vista aérea antes de que la población plantada alcance una longitud madura (i.e., en un momento en que las plantas individuales son indistinguibles de las plantas vecinas).

[0040] En otra implementación, el UAV 110 vuela automáticamente una ruta "Go Back and Scout" 407 después de una primera pasada sobre el área de vuelo seleccionada para tomar imágenes adicionales de alta resolución de áreas objetivo (e.g., áreas con niveles bajos de nitrógeno) mostradas en la imágenes NDVI. En otra implementación más, se toman imágenes adicionales de alta resolución de áreas objetivo para eliminar sombras de cultivo. En tales implementaciones, para reducir el tiempo de procesamiento, el procesamiento de imágenes y el análisis se pueden realizar a bordo del UAV 110.

[0041] En el método de ejemplo 200, después de la finalización de la trayectoria de vuelo del UAV, el UAV aterriza (e.g., en la estación base 140) para finalizar el vuelo 408.

[0042] En el método de ejemplo 200, una vez completada la etapa de ejecución de vuelo 400, comienza la etapa de transferencia/procesamiento de datos de vuelo posterior 203. Alternativamente, los datos de la transferencia/procesamiento pueden ocurrir mientras que el UAV 110 sigue en el aire de tal manera que la etapa 203 de transferencia/procesamiento de datos se superpone a la etapa de ejecución de vuelo 400. Por lo tanto, la transferencia y procesamiento de la imagen obtenida por el UAV 110 puede ocurrir en tiempo real a medida que los datos son capturados, o poco después (e.g., dentro de los 10 minutos siguientes a la captura de datos). En una implementación, las imágenes de baja calidad se transmiten constantemente a la GUI 130 o el UID 160 durante el vuelo para mantener al usuario informado del estado del vuelo.

[0043] La transferencia de los datos y las imágenes capturadas por el UAV 110 se puede hacer por comunicación inalámbrica y/o celular entre los componentes del sistema 100. La transferencia se dirige típicamente al componente donde se ejecutará el procesamiento.

[0044] El procesamiento de los datos y las imágenes puede incluir orto-rectificación y asociación de las imágenes aéreas en un solo mapa de área contigua. En particular, el procesamiento de los datos y las imágenes se puede realizar utilizando cualquier componente del sistema 100. Por ejemplo, el procesamiento se puede realizar a bordo del UAV 110, y las imágenes procesadas pueden entonces ser transferidas a la estación base 140, la GUI 130, y/o el UID 160.

[0045] En una implementación, las imágenes adquiridas se superponen (e.g., con una transparencia del 50%) sobre baldosas Google Map® o imágenes geográficas aéreas y se muestran al usuario. Alternativamente, las imágenes aéreas se pueden procesar y visualizar con azulejos Google Map® o imagen geográfica aérea de manera que se muestren en una orientación lado a lado bloqueada, de modo que al mover y/o enfocar una imagen se mueva y/o enfoca la otra imagen en la misma cantidad. Los puntos centrales de las imágenes en la orientación lado a lado se pueden indicar con un icono (e.g., pelos cruzados), similar a las técnicas descritas en la Solicitud de Publicación de Patente Internacional N°. WO 2014/026183. En otra implementación, se procesa una secuencia de imágenes aéreas tomadas en diferentes momentos durante una estación de crecimiento (e.g., diaria, semanal, mensual, etc.) en una animación que pasa a través de las imágenes en secuencia. En algunas implementaciones, la animación se reproduce automáticamente mostrando las imágenes durante periodos de tiempo establecidos; en otras implementaciones, la siguiente imagen secuencial se

muestra en respuesta a una entrada de usuario en una interfaz gráfica (e.g., selección utilizando un icono de flecha o arrastrando un icono de control deslizante a través de una escala). La animación se puede superponer sobre los azulejos de Google Map® o imágenes geográficas aéreas. Las imágenes pueden ser, por ejemplo, imágenes NDVI, mapas aéreos y/o mapas de emergencia.

[0046] El procesamiento de imágenes también puede incluir filtrar las imágenes usando software para filtrar suciedad y sombras que pueden afectar la calidad de imagen. El filtrado crea un contraste de color entre la cubierta de la planta y la suciedad, que pueden ser difíciles de distinguir entre sí en la imagen sin filtrar. Por ejemplo, en una implementación, el procesamiento de imágenes elimina cualquier cosa en la fotografía aérea por debajo de un valor umbral de reflectancia o de color.

[0047] En un ejemplo, se identifica una densidad de verdura esperada con base en una población plantada y/o una etapa de desarrollo de plantas en el área de imagen. La población plantada se puede determinar a partir de un mapa según se plantó, y la etapa de desarrollo se puede determinar, por ejemplo, utilizando un gráfico específico híbrido que relacione el número de días de grado en crecimiento con una etapa de desarrollo esperada. Una vez que se identifica la densidad de verdor esperada, todo en una imagen que está por encima de la densidad de verdura esperada se puede representar en tonos de verde, y todo en la imagen que está por debajo de la densidad de verdura esperada se puede representar en tonos de rojo.

[0048] El sistema 100 también puede utilizar datos de formación de imágenes para generar mapas de emergencia en los que se calcula un número de plantas por área y las áreas desprovistas de plantas o zonas verdes deseadas en las

imágenes se marcan como "blancos". Los espacios en blanco son áreas donde las plantas o las zonas verdes no crecieron o no fueron plantadas inicialmente. En una implementación, el sistema 100 correlaciona los datos en blanco con los datos iniciales de siembra (e.g., el mapa según se plantó) para eliminar los espacios en blanco debido a que no se realizó ninguna siembra inicial, dejando sólo blancos verdaderos que son indicativos de áreas donde se plantaron semillas, pero no brotaron. Este procesamiento se puede aplicar a datos de imagen NDVI u otros datos de imagen adquiridos por el sistema de cámara 117.

[0049] En algunas implementaciones, las decisiones de aplicación espacial pueden hacerse automáticamente con base en las imágenes adquiridas por el UAV 110. Por ejemplo, los niveles de un mapa NDVI pueden estar asociados con una aplicación posterior a la siembra (e.g., recubrimiento circundante o fumigación) para generar un mapa de aplicación con base en el mapa NDVI. El mapa de aplicación generado se puede mostrar al usuario para permitir al usuario rechazar, modificar o aceptar el mapa de aplicación. En algunas implementaciones, el mapa de aplicación generado se transmite a un proveedor de servicios (e.g., un empleado o un contratista de terceros) con instrucciones para aplicar el mapa de aplicación.

[0050] Los datos adquiridos por el UAV 110 también se pueden utilizar para formular recomendaciones agronómicas generales. Por ejemplo, si un mapa NDVI generado usando el sistema 100 tiene un nivel de nitrógeno por debajo de un umbral, el sistema 100 puede recomendar que se aplique nitrógeno mediante recubrimiento circundante para aumentar los niveles de nitrógeno. Por ejemplo, el umbral se puede determinar con base en una etapa de desarrollo del cultivo. En otro ejemplo, si un mapa de salud vegetal indica que un área de plantas sanas está por debajo de un umbral, el sistema 100 puede recomendar que se aplique el

nitrógeno mediante un recubrimiento circundante. En otro ejemplo más, si un mapa de emergencia tiene un área de emergencia por debajo de un umbral antes de un tiempo crítico en desarrollo, el sistema 100 puede recomendar que el campo sea replantado.

[0051] Haciendo referencia a la FIG. 5, un ejemplo de la etapa de transferencia/procesamiento de datos 203 del método 200 se indica generalmente con 500. La etapa de transferencia/procesamiento de datos 500 del método 200 incluye una secuencia de acciones realizadas por el usuario y el sistema 100. En la FIG. 5, las acciones realizadas por el usuario se muestran en un círculo y las acciones realizadas por el sistema 100 se muestran en un cuadrado.

[0052] La etapa de transferencia/procesamiento de datos 500 incluye generalmente las siguientes ocho etapas: obtención de imágenes NDVI desde la etapa de ejecución de vuelo 501; convertir imágenes NDVI en una etapa de mapa 502; filtración de la etapa de la materia no cultivada 503; identificación de la etapa de los surcos de cultivo 504; etapa de partición de plantas individuales 505; identificar la etapa de las características individuales de la planta 506; etapa de estimación del potencial de cultivo 507; y etapa de generación del informe 508.

[0053] En el método de ejemplo 200, la etapa 500 de transferencia /procesamiento de datos posterior al vuelo comienza con el sistema 100 que obtiene imágenes NDVI de la ejecución de vuelo 501. De nuevo, puede ocurrir la transferencia/procesamiento de datos mientras que el UAV 110 sigue en el aire, tal que la etapa 500 de transferencia/procesamiento superpone la etapa 400 de ejecución de vuelo. La etapa 500 de transferencia/procesamiento de datos puede ocurrir en tiempo real cuando los datos son capturados por el UAV 110 o poco después (e.g., dentro de los 10 minutos de captura de datos).

[0054] En este ejemplo, las imágenes obtenidas de la ejecución de vuelo son convertidas por el sistema 100 en un mapa 502 (e.g., un mapa de bits, un mapa de emergencia, etc.). En una implementación, se establece una densidad de verdor esperada con base en una población plantada y/o en una etapa de desarrollo de plantas en el área de imagen. Una vez identificada la densidad de verdor esperada, en el mapa generado, los píxeles en cada imagen que están por encima de la densidad de verdura esperada se representan en blanco y los píxeles en la imagen que están por debajo de la densidad de verdor esperada se representan en negro. Por consiguiente, se crea un mapa con espacios blancos unitarios 601 que se correlacionan aproximadamente con la ubicación y el área de cada planta en las imágenes. En la FIG. 6 se proporciona un mapa de ejemplo 600. En la FIG. 6, las plantas individuales en la población plantada (identificadas usando la densidad de verdor esperada) se representan como espacios en blanco 601. Las características circundantes 602 (e.g., suelo circundante, malezas, etc.) están ligeramente sombreadas. Hasta el procesamiento posterior, el mapa puede incluir espacios blancos simples 601 que incluyen múltiples plantas (e.g., mostradas en el lado derecho del mapa 600) y/o espacios en blanco 601 que son malezas u otra materia vegetal que no son del cultivo (e.g., parte inferior izquierda del mapa 600).

[0055] El filtrado de la etapa 503 de materia no cultivada en el método de ejemplo incluye la identificación de "anomalías" en el mapa generado. Las "anomalías", tal como se usan en este documento, se refieren a áreas del mapa generado que se identifican inicialmente por el sistema 100 como un espacio en blanco 601 (e.g., con base en la densidad de verdor), pero que en realidad no representan una planta deseada de la población plantada. Por ejemplo, una maleza puede ser una anomalía en el mapa generado. La etapa 503 también incluye filtrar estas anomalías del mapa 600. En este ejemplo, el sistema 100

identifica anomalías calculando un tamaño (e.g., área, diámetro, etc.) para cada espacio en blanco 601, y entonces las anomalías se identifican como espacios en blanco con un tamaño sustancialmente diferente de (e.g., 2 desviaciones estándar) del tamaño típico (e.g., media, mediana, promedio, etc.) de los espacios en blanco 601 en el mapa 600. Un ejemplo de anomalía se muestra generalmente en la FIG. 7 como un espacio blanco de anomalía 701. El sistema 100 filtra las anomalías mediante anomalías de sombreado del mismo color que las características circundantes 602 o eliminando anomalías a partir de la consideración adicional en el método 500. La FIG. 8 muestra un mapa de ejemplo 600 con el espacio blanco de anomalía 701 eliminado. En otra implementación, el sistema 100 compara las anomalías con datos iniciales de siembra (e.g., un mapa según se plantó) para eliminar cualquier anomalía que se produzca en áreas donde no hubo sembrado inicial. Por consiguiente, el sistema 100 filtra las anomalías sombreándolas apropiadamente o retirándolas de una consideración adicional. Este procesamiento puede aplicarse a datos de imagen NDVI u otros datos de imagen adquiridos por el sistema de cámara 117.

[0056] La etapa de identificación de surcos de cultivo 504 en el método de ejemplo incluye marcar un centroide 801 para cada espacio en blanco 601 restante. La FIG. 8 muestra un mapa de ejemplo 600 con un surco 802 de espacios en blanco 601 marcados con centroides 801. La FIG. 9 muestra otro mapa de ejemplo 600 con dos surcos 901 y 902 de espacios en blanco 601 marcados con centroides 801. El sistema 100 identifica surcos (e.g., 802, 901, 902) calculando, aproximando y asignando líneas de mejor ajuste a los surcos con base en las posiciones de los centroides 801. Específicamente, el sistema 100 usa una distancia de separación de surcos 805, que puede ser un valor estándar (e.g., 30 pulgadas) o un valor introducido por el usuario, para identificar ubicaciones aproximadas de surcos paralelos a través de espacios en blanco 601 y/o

centroides 801. En otras implementaciones, la etapa 504 puede superponerse u ocurrir al mismo tiempo que la etapa 503 para ayudar al sistema 100 con la identificación de anomalías.

[0057] La etapa de partición de plantas individuales 505 en el método de ejemplo incluye la identificación de dos o más espacios en blanco superpuestos 601 (i.e., dos o más plantas superpuestas). La FIG. 10 muestra un ejemplo de un par superpuesto de espacios blancos 601 dentro del círculo 1000, en el método de ejemplo, para identificar un par superpuesto de espacios blancos 601, el sistema 100 compara primero (i) el espaciado en surco (e.g., 1001 y 1003) entre centroides adyacentes; y (ii) el valor de espaciado en surco (e.g., 1002 y 1004) determinado por (a) un valor nominal del usuario, (b) un valor de espaciado según se plantó de un mapa según se plantó, o (c) la mediana o el espaciado promedio entre las plantas en surco. En el caso de un par superpuesto de espacios en blanco 601, tales como los mostrados en el círculo 1000 en la FIG. 10, una diferencia 1005 entre la separación 1003 y 1004 es notablemente mayor que una diferencia 1006 entre la separación 1001 y 1002. Como etapa separada o como parte de la misma etapa para identificar un par superpuesto de espacios en blanco 601, el sistema 100 también puede calcular y comparar el área mediana de los espacios en blanco 601. Por consiguiente, el sistema 100 es capaz de identificar el par superpuesto de espacios en blanco 601 (e.g., dentro del círculo 1000) usando el análisis descrito anteriormente. Al identificar un par superpuesto de espacios blancos 601, como se muestra, por ejemplo, en la FIG. 11, el sistema 100 divide las plantas individuales reasignando dos centroides 801 para marcar la ubicación de los espacios blancos individuales 601 equidistantes de la ubicación 1100 del centroide 801 suprimido.

[0058] En este ejemplo, el sistema 100 asigna también un "valor de confianza" (e.g., 90%) a cada espacio en blanco 601 que indica la probabilidad estadística o certeza de que cada espacio en blanco 601 se correlaciona con la ubicación y/o el área de una planta distinta en las imágenes. En un ejemplo, el valor de confianza para un espacio en blanco individual 601 es mayor cuando (i) la ubicación de su centroide 801 es aproximadamente igual a un valor de espaciado en surco (e.g., 1002 y 1004); y (ii) su área es aproximadamente igual a la área mediana y/o promedio de los espacios en blanco 601 en el mapa 600. Por consiguiente, el sistema 100 puede almacenar el valor de confianza para cada espacio en blanco 601 en cada mapa 600 para referirse a diversos fines, como se describa más adelante.

[0059] La etapa de identificación de características de las plantas individuales 506 en el método de ejemplo incluye ambas imágenes de corrección capturadas por el sistema de cámara 117 y analiza plantas individuales (e.g., aquellas identificadas dentro de espacios en blanco 601). En este ejemplo, el sistema 100 corrige las imágenes aéreas capturadas por el sistema de cámara 117 considerando un punto de datos de imagen (e.g., la ubicación, elevación y velocidad del UAV 110 cuando se tomó cada imagen, la resolución del sistema de cámara 117, el ángulo y el zoom utilizado por el sistema de cámaras 117, etc.) y las mediciones separadas en surcos y en surcos paralelos identificadas en las etapas 504 y 505 descritas anteriormente. Más específicamente, el sistema 100 asigna una escala a cada píxel en cada imagen comparando las mediciones de espaciado entre surcos o surcos paralelos conocidas (e.g., en pulgadas) con las mediciones de espaciado de imagen en surcos o surcos paralelos conocidas (e.g., en píxeles).

[0060] En otro ejemplo, la corrección de las imágenes capturadas por el sistema de cámara 117 puede incluir una ruta "Go Back and Scout" 407 por el UAV 110 para tomar imágenes adicionales de alta resolución de las áreas objetivo.

[0061] En este ejemplo, el sistema 100 también analiza plantas individuales (e.g., las identificadas dentro de espacios en blanco 601) examinando una o más imágenes de cada planta capturadas por el sistema de cámara 117 a partir de diferentes posiciones y elevaciones. Similar a la etapa 504 en la que cada espacio en blanco 601 está marcado con un centroide 801, el sistema 100 localiza estructuras (e.g., hojas, tallos, espigas, etc.) de cada planta y marca cada estructura con un centroide. En un ejemplo, el sistema 100 localiza estructuras de plantas usando una relación de longitud: anchura para estructuras compatibles con la población plantada. Además, las espigas de las hojas se pueden localizar calculando los puntos medios entre los bordes de la hoja. En este ejemplo, el sistema 100 también localiza un centroide actualizado y más preciso de la planta usando centroides de las estructuras individuales de la planta. En otro ejemplo, el sistema 100 puede usar un punto de intersección de líneas ajustadas a lo largo de la longitud o ancho y a través del centroide de una pluralidad de estructuras de la planta (e.g., espigas de la hoja) para encontrar el centroide actualizado de la planta. Todavía en otras implementaciones, por ejemplo, el sistema 100 puede volver a las etapas previas para mejorar la identificación del espacio en blanco 601 y/o la ubicación del centroide 801.

[0062] En este ejemplo, el sistema 100 utiliza las imágenes y la ubicación de la estructura de la planta para determinar los datos relativos a las características de las plantas en la población plantada. Las características de la planta de interés particular, por ejemplo, incluyen adecuadamente, sin limitación, la longitud de la hoja (e.g., longitud media de la columna), anchura y área (e.g., de toda la planta) y el número de hojas (que puede ser, por ejemplo, el número de espigas

identificadas). De nuevo, el sistema 100 puede usar puntos de datos de imagen para ajustar visiones poco claras o sesgadas de las características de la planta. Por consiguiente, el sistema 100 puede almacenar la información relativa a las características de la planta para cada planta con referencia a diversos fines descritos a continuación.

[0063] La estimación de la etapa de potencial de rendimiento de cultivo 507 en el método de ejemplo incluye el uso de información recogida y calculada por el sistema 100 para estimar un potencial de rendimiento. La información recolectada incluye, por ejemplo, el número de plantas en la población plantada, el valor de confianza para cada espacio en blanco 601, y/o información relativa a las características de la planta. En este ejemplo, el sistema 100 puede no considerar características de la planta cuando un valor de confianza para una planta particular está por debajo de un primer umbral (e.g., 95%). También en este ejemplo, el sistema 100 puede no incluir esa planta particular para el recuento de poblaciones plantadas cuando el valor de confianza está por debajo de un segundo umbral inferior (e.g., 80%).

[0064] En un ejemplo, el sistema 100 puede usar la siguiente ecuación 1 para estimar un potencial de rendimiento de la planta o de la población plantada:

$$\text{Ecuación 1: potencial de rendimiento} = Ax + By + Cz$$

dónde,

x = número de hojas

y = área foliar

z = longitud máxima de hoja o promedio de las dos hojas más largas

A = 0, si x < valor umbral; A > 0, si x > valor umbral

B = 0, si x < valor umbral; B > 0, si x > valor umbral

$C = 0$, si $x < \text{valor umbral}$; $C > 0$, si $x > \text{valor umbral}$

[0065] En un ejemplo, el sistema 100 puede calcular un potencial de espiga utilizando un enfoque Booleano. Por ejemplo, si dos variables (e.g., número de hojas, área foliar, longitud máxima de hoja) están por encima de un umbral predeterminado asociado con cada variable, entonces el potencial de la espiga se establece en 1. De lo contrario, el potencial de espiga se establece en 0. Se debe apreciar que los valores de umbral usados para determinar el rendimiento o el potencial de espiga se pueden seleccionar para requerir una alta confianza (e.g., 99%) que la planta tiene el potencial clasificado, o requiere sólo una confianza relativamente baja (e.g., 80%).

[0066] En otro ejemplo, las características de la planta (número de hojas, área foliar, longitud de hoja, etc.) usadas para calcular el potencial de rendimiento/espiga son relativas a otras plantas en el campo. Puede ser, por ejemplo, relativo a plantas vecinas o cercanas, o relativo a un número medio/promedio para la imagen y/o campo. Por ejemplo, el sistema 100 puede usar la siguiente Ecuación 2 para estimar un potencial de rendimiento de planta o de población plantada, con base en las características de la planta relativa:

$$\text{Ecuación 2: potencial de rendimiento} = A(x-l) + B(y-m) + C(z-n)$$

donde,

x = número de hojas en una planta

y = área foliar en una planta

z = longitud máxima de hoja o promedio de las dos hojas más largas en una planta

l = número promedio de hojas en plantas de la misma imagen o población plantada

m = área foliar promedio de las plantas de la misma imagen o población plantada

n = promedio de la longitud máxima de la hoja o promedio de las dos hojas más largas en las plantas de la misma imagen o población plantada

$A = 0$, si $x < \text{valor umbral}$; $A = 1$, si $x > \text{valor umbral}$

$B = 0$, si $x < \text{valor umbral}$; $B = 1$, si $x > \text{valor umbral}$

$C = 0$, si $x < \text{valor umbral}$; $C = 1$, si $x > \text{valor umbral}$

En ambas Ecuaciones 1 y 2, el valor umbral para determinar A, B y C puede ser (i) un valor nominal del usuario; (ii) un valor esperado con base en poblaciones plantadas previamente; (iii) un valor extrapolado de plantas individuales; o (iv) un valor interpolado de las poblaciones plantadas más grandes.

[0067] Generar la etapa de informe 508 en el método de ejemplo incluye crear un mapa o informe de datos con respecto a la población plantada. En este ejemplo, el mapa generado compara el mapa como se plantó con otro mapa más adelante en el desarrollo de la población plantada. El mapa puede mostrar, por ejemplo, la regularidad del espaciamiento de las plantas, las plantaciones omitidas, las plantas dobles plantadas, etc. También en este ejemplo, el informe generado puede incluir un rendimiento potencial o generado (e.g., número de espigas, semillas, tallos, etc.) de la población plantada.

[0068] En algunas implementaciones se pueden generar y mostrar al usuario una o más mediciones y mapas espaciales con base en la información recogida a partir de imágenes aéreas.

[0069] En una implementación, se determina un valor de presión de malezas para cada ubicación o región en el campo con base en la cantidad relativa de malezas en el cultivo en pie. El valor de la presión de las malezas está relacionado preferiblemente con la cantidad de materia vegetal verde identificada entre los

surcos de un cultivo en surco. Por ejemplo, el valor de la presión de las malezas se puede determinar para una región A en el campo dividiendo el área de "anomalías" identificadas como se ha descrito anteriormente dentro de la región A por el área total de la región A. En algunos de estos métodos, las malezas se distinguen de otras anomalías o de material de cultivo con base en un criterio de forma o tamaño de la maleza; por ejemplo, se pueden ignorar anomalías que tengan un área o anchura total inferior a un umbral para calcular un valor de presión de malezas. El valor de la presión de las malezas determinado para las ubicaciones en todo el campo se puede mostrar como un valor de campo o región o presentarse como un mapa espacial de la presión de las malezas.

[0070] En otra implementación, la anchura de hoja de las plantas de cultivo identificadas en el campo (determinada como se ha descrito anteriormente) se presenta como un promedio de campo o se presenta al usuario como un mapa espacial de la anchura promedio de la hoja en el campo.

[0071] En otra implementación, se determina una fecha de emergencia estimada de plantas de cultivo identificadas para cada planta o región del campo. La fecha estimada de emergencia se puede estimar en función del tamaño de cada planta de cultivo identificada; además, cuando no se observan cultivos en una parte del campo en una fecha determinada, se puede suponer que la fecha de emergencia para esa parte del campo es posterior a esa fecha. La variación espacial en la fecha de emergencia estimada puede presentarse al usuario como un mapa o se puede usar para mejorar las estimaciones de la humedad de la planta o la madurez de la planta más tarde en la estación, e.g., al determinar una fecha de recolección recomendada. Se debe apreciar que para las decisiones operacionales en todo el campo se debe utilizar la última fecha de emergencia; por ejemplo, un retraso de un día en la última fecha de emergencia determinada para

el campo puede resultar en un retraso de un día en la fecha de recolección recomendada.

[0072] En otra implementación, un vigor de planta estimado de las plantas de cultivo identificadas en el campo se reporta como un promedio de campo o se presenta al usuario como un mapa espacial del vigor de la planta en el campo. El valor de vigor de la planta para cada planta o grupo de plantas se determina preferiblemente calculando una suma ponderada o producto de las características de la planta (e.g., el ancho de hoja y el número de hojas). Por ejemplo, el valor de vigor de la planta para una planta de cultivo se puede calcular multiplicando el ancho promedio de hoja por el número de hojas o añadiendo el ancho promedio de hoja a un valor 10 veces el número de hojas. También se puede medir y utilizar una variación estadística (e.g., desviación estándar) del valor de vigor de la planta con respecto al valor del vigor promedio de la planta para el campo (o para una región que incluye múltiples campos) para generar un mapa espacial de la desviación del vigor de la planta.

[0073] En otra implementación, se determina una identificación de la enfermedad vegetal comparando la reflectividad (e.g., el espectro visual, el infrarrojo o el valor de NDVI) de partes de una única planta de cultivo identificada a un valor umbral o al valor de reflectividad promedio de la planta de cultivo. Si una o más partes de una planta de cultivo tiene una reflectividad mayor que el umbral de reflectividad seleccionado (y preferiblemente tiene un área mayor que un umbral de área), el usuario es alertado preferiblemente a una enfermedad potencial y se puede presentar con una imagen fotográfica de la planta de cosecha.

[0074] En otra implementación, se determina una identificación de plagas mediante la comparación de la reflectividad (e.g., espectro visual, infrarrojo o valor de NDVI) de partes de una única planta de cultivo identificada a un valor umbral o

al valor de reflectividad promedio de la planta de cultivo. Si una o más partes de una planta de cultivo tiene una reflectividad mayor que el umbral de reflectividad seleccionado (y preferiblemente tiene un área mayor que un umbral de área), el usuario es alertado preferiblemente a la presencia potencial de plagas y se puede presentar con una imagen fotográfica de la planta de cultivo

[0075] Debido a que los métodos de identificación de plagas y enfermedades descritos anteriormente se pueden mejorar mediante imágenes de mayor resolución, en algunas implementaciones el UAV 110 retorna a áreas que tienen valores NDVI deficientes (ya sea los seleccionados por el usuario o los que tienen valores de NDVI sub-umbral) y captura una imagen de alta resolución, e.g., volando a altitudes más bajas (e.g., 20 pies o menos) sobre el área identificada o flotando (i.e., deteniéndose en una posición estacionaria) sobre el área identificada y tomando una imagen a una resolución más alta y/o mayor nivel de zoom que durante el vuelo de captura de imagen NDVI inicial. Al obtener fotos de baja altitud (e.g., 20 pies o menos), el UAV 110 determina preferentemente su distancia al suelo para evitar colisiones debido a cambios desconocidos en la elevación. En algunas implementaciones, la distancia a tierra se puede determinar usando un dispositivo de sonar en el UAV. En otras implementaciones la distancia a tierra se puede determinar procesando una imagen y determinando el número de píxeles entre surcos de cultivo y calculando la distancia a tierra con base en la distancia conocida entre surcos y configuraciones conocidas de recopilación de imágenes tales como las de la cámara de visión de cultivo y nivel de zoom.

[0076] En algunas implementaciones, el potencial de rendimiento y/o potencial de espiga de plantas (e.g. plantas de plántulas) tal como se ha discutido anteriormente se puede determinar alternativamente tomando imágenes del cultivo en un ángulo significativo (e.g., entre 30 y 60 grados) con respecto a la vertical con

el fin de observar y comparar la altura de las plantas individuales. Las plantas más cortas que las plantas vecinas se identifican preferiblemente mediante un porcentaje de umbral como plantas de última emergencia que tienen un potencial de rendimiento más bajo.

[0077] En algunas implementaciones, la orientación de las plantas de cultivo identificadas se pueden determinar mediante la orientación de la planta (e.g., con respecto al norte) de una línea que se ajuste mejor a través de las espinas de una o más hojas (e.g., una línea que atraviesa dos hojas opuestas separadas por 180 grados sobre el tallo). Se puede determinar una correlación de la orientación de la planta con un rendimiento con base en el último mapa de rendimiento desarrollado para el mismo campo. Se puede generar una predicción de potencial de producción o de espiga con base en parte en la orientación de la planta de cada planta; por ejemplo, el potencial de rendimiento se puede reducir en 1 bushel por acre por cada disminución de 5 grados en la orientación media de la planta con respecto al norte (i.e., en el desplazamiento angular de las hojas respecto al norte) por acre. Además, se puede mejorar una medición de diámetro de tallo tomada de una imagen aérea (preferiblemente en un ángulo significativo desde la vertical, por ejemplo, 45 grados) o por una cámara terrestre al lado del tallo, determinando la orientación de la base de tallo en la orientación de la planta. Por ejemplo, la imagen aérea o terrestre tomada para la medición del diámetro del tallo se puede tomar en un ángulo de medición deseada del tallo, e.g., normal a la orientación de la planta. En otras implementaciones, la medición del diámetro del tallo se puede reducir por un factor relacionado con la diferencia entre el ángulo de la imagen con respecto al tallo y el ángulo de medición deseado del tallo. La medición del diámetro del tallo se puede usar para modificar el rendimiento predicho o el potencial de espiga; por ejemplo, el rendimiento predicho puede aumentarse en 1 bushel por acre por cada 5 cm de aumento en el diámetro promedio del tallo.

[0078] En algunas implementaciones de los métodos descritos en el presente documento, una medida con base en una imagen de una primera parte del campo se puede generalizar a una parte más grande del campo con el fin de generar un mapa de la medida a través del campo. En algunas implementaciones, la parte más grande del campo puede comprender un área que rodea y/o adyacente a la primera parte del campo. En otras implementaciones, la parte más grande del campo puede comprender un área de manejo (e.g., una región adyacente o circundante del campo que tiene un tipo de suelo común, un rango de rendimiento, un tipo híbrido plantado u otra práctica agrícola característica o aplicada).

[0079] Cuando se introducen elementos de la presente invención o las implementaciones de las mismas, se pretende que los artículos "un", "una", "el" y "dicho" signifiquen que hay uno o más de los elementos. Los términos "que comprende", "que incluye" y "que tiene" están destinados a ser inclusivos y significan que pueden existir elementos adicionales distintos de los elementos enumerados. El uso de términos que indican una orientación particular (e.g., "superior", "inferior", "lado", etc.) es por conveniencia de descripción y no requiere ninguna orientación particular del elemento descrito.

[0080] Puesto que se pueden hacer varios cambios en las construcciones y métodos anteriores sin apartarse del alcance de la invención, se pretende que toda la materia contenida en la descripción anterior y mostrada en las figuras de los dibujos adjuntos se interprete como ilustrativa y no en un sentido limitante.