

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 435 541**

51 Int. Cl.:

G01S 1/70 (2006.01)

G06T 5/50 (2006.01)

G08G 5/02 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **13.02.2007 E 07750714 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **25.09.2013 EP 1989681**

54 Título: **Sistema y procedimiento de captación sincrónica de luz de fuente pulsada para realizar la monitorización de una operación de vuelo de una aeronave**

30 Prioridad:

13.02.2006 US 772956 P

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

20.12.2013

73 Titular/es:

**MAX-VIZ, INC. (100.0%)
15940 SW 72nd Avenue
Portland, OR 97224, US**

72 Inventor/es:

**KERR, J. RICHARD;
ZURO, GREGORY A. y
FOSSEY, MICHAEL E.**

74 Agente/Representante:

CURELL AGUILÁ, Mireia

ES 2 435 541 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 procedimiento de captación sincrónica de luz de fuente pulsada para realizar la monitorización de una operación de vuelo de una aeronave.

Campo técnico

La presente exposición se refiere a la monitorización de operaciones de vuelo de aeronaves y, en particular, a la captación temprana de luz emitida por una fuente de destino situada a una distancia de una cámara de formación de imágenes para la realización de la monitorización de operaciones de vuelo de aeronaves.

Antecedentes de la técnica

En Estados Unidos, así como en otras partes del mundo, los diodos emisores de luz (LED) se utilizan como sustitutos de las luces de aeropuerto convencionales, que comprenden luces de aproximación, de pista y de calle de rodaje. Las razones de ello es que los LED de color y los LED de color azul intenso con fósforo blanco ("LED blancos") tienen una vida útil prolongada, precisan poco mantenimiento y permiten ahorrar energía. Estos LED de sustitución carecen de signatura infrarroja.

Las luces convencionales tienden a mostrar un máximo rendimiento en las longitudes de onda infrarroja de onda corta (SWIR), comprendidas entre las longitudes de onda de luz visible y de 2 micras o más, y son, por consiguiente, mejores emisores de luz SWIR que de luz visible. El rendimiento de las luces convencionales en las longitudes de onda infrarroja de onda larga (LWIR), (de 8 a 14 micras), es bajo, debido a que las lentes de cristal no transmiten energía LWIR desde dentro de la bombilla y el globo externo no está particularmente caliente con respecto a la temperatura ambiental. Como consecuencia, el sistema EVS de infrarrojos pretende conseguir el rendimiento SWIR. Los modelos de instrumento EVS nº EVS 2000 y nº EVS 2500, fabricados por Max-Viz, Inc., el cesionario de la presente solicitud de patente, se implementan cada uno con una cámara SWIR dedicada separada, que se procesa para las luces, y la información de imagen procesada resultante a su vez se superpone o fusiona con las imágenes de "fondo térmico" LWIR. Los sistemas EVS "All Weather Window" fabricados por Kollsman, Inc. y los sistemas EVS SureSight fabricados por CMC Electronics se implementan cada uno con una cámara combinada SWIR e infrarroja de onda media (MWIR), (de 3 a 5 micras), configurada en un solo conjunto de plano focal (FPA) criorefrigerado.

Debido a que las luces LED de sustitución carecen de signatura infrarroja, la detección de estas por un sistema EVS precisará el uso de una cámara visible (televisión) separada y la fusión con las imágenes obtenidas mediante termografía IR. Las patentes US nº 6.806.469, nº 6.373.055 y nº 6.232.602 se refieren a la utilización de dicha fusión de la imagen de las luces. La Administración Federal de Aviación (FAA) propone el uso de modulación por anchura de impulso (ciclo de trabajo) para controlar la intensidad media de las luces LED de sustitución (especialmente, LED de luz blanca y brillante). Si se pudiera implementar funcionalmente una cámara visible con dichas luces, su uso redundaría en ventajas significativas. Podría ser preciso aplicar dichos conceptos a los LED de espectro visible y SWIR ubicados en el mismo lugar. Los LED SWIR serían beneficiosos para determinados sistemas EVS de infrarrojos, por las razones explicadas anteriormente. Por otra parte, cuando en lugar de trabajar en las longitudes de onda visibles se trabaja en las SWIR, se obtienen beneficios de rendimiento, tales como la disponibilidad de cámaras sumamente sensibles, determinadas ventajas de penetración en niebla limitadas con respecto a las longitudes de onda de luz visible y una menor reflexión del fondo solar.

El documento GB 2 224 613 A describe un sistema de aterrizaje automático que realiza, mediante un único sensor autónomo, una medición precisa de los seis grados de libertad (posición y orientación) durante el control de una aeronave. Basándose en las mediciones que realiza, el sistema evalúa las influencias perturbadoras del vuelo de la aeronave, tales como las turbulencias atmosféricas o las ráfagas de viento, y las tiene en cuenta para ofrecer una orientación precisa de la aeronave a lo largo de una trayectoria deseada y la toma instantánea de cualquier medida correctiva necesaria.

La patente US nº 6.806.469 describe un sistema de visión que genera una pantalla basada en la fusión de las imágenes de los dos reproductores de imágenes. Uno de los reproductores de imágenes detecta la radiación infrarroja de longitud de onda corta (SWIR) para generar una primera señal que representa las señales de luz eléctrica detectadas, y el otro detecta la radiación infrarroja de longitud de onda larga o mediana (LWIR o MWIR) para generar una segunda señal que representa el fondo detectado. Cada reproductor de imágenes comprende un detector y la electrónica para procesar la señal generada por el detector. El acondicionamiento y el procesamiento de señales por cada reproductor de imágenes genera una primera y una segunda señales acondicionadas y procesadas que se ajustan una en relación con la otra, de tal forma que la imagen de las fuentes de radiación de los dos rangos de longitudes de onda IR detectados se fusionen para la visualización sin pérdida de detalle de la imagen de sendos rangos de longitudes de onda IR.

Sumario de la exposición

Uno de los problemas de interés es el uso de sistemas de visión mejorada (EVS) para la captación temprana de la

iluminación de pista/aproximación en condiciones adversas de atenuación por niebla. Esas condiciones se agravan en horas diurnas debido a la influencia del fondo de niebla iluminado por el sol. En cualquier caso, uno de los objetivos de esta aplicación es sobrepasar con creces el rendimiento del sentido de la vista del piloto de una aeronave ofreciendo instrumentos en los que las luces aparecen en una pantalla (y en otras operaciones de procesamiento informático para la captación/identificación de pista, tales como, por ejemplo, el reconocimiento de patrones de luces de pista y la renderización de una imagen de estos) mucho antes de que el piloto pueda ver las luces "desde su ventanilla".

Una situación relacionada es la captación de aeronaves provistas de balizas pulsadas por cámaras situadas en tierra sincronizadas con las balizas pulsadas. Esta aplicación se plantea en la captación e identificación de aeronaves no tripuladas (UAV) a su regreso a sus controladores.

Otro de los problemas de interés es el uso de tecnología de fuentes y sensores que ofrece la capacidad de ver o la de detectar y evitar para las aeronaves tripuladas o UAV en presencia de un fondo celeste diurno y terrestre. Uno de los objetivos de esta aplicación es permitir a una aeronave que utiliza balizas pulsadas ver en vuelo otra aeronave equipada con cámaras sincronizadas. Esto evita colisiones de aeronaves y se aplica sobre todo a las aeronaves UAV para la detección de otras aeronaves con mucha antelación a fin de superar la deficiente maniobrabilidad de las aeronaves UAV.

Las soluciones a estos problemas conllevan la utilización de equipos de vídeo de espectro visible o infrarrojo cercano controlados en una modalidad de detección sincrónica con emisiones de luz pulsada compatibles, denominadas a veces balizas pulsadas. Las formas de realización preferidas implementan la "apertura" de la cámara sincrónicamente con fuentes de iluminación por diodo moduladas, tales como los impulsos LED de aproximación/aterrizaje visibles propuestos por la FAA, o las emisiones de diodo láser infrarrojo pulsadas para evitar colisiones. Esto se consigue con una razón de fotogramas de la cámara que es dos veces la frecuencia de impulsos del LED o el diodo láser, de tal forma que los fotogramas alternen entre una escena de fondo con luces y una escena de fondo sin luces. A continuación, con ayuda de un procesador de vídeo en tiempo real, cada fotograma alternativo se sustrae de tal forma que la escena de fondo se anula. Las ventajas que se derivan de esta estrategia son la anulación de las luces irrelevantes durante la noche y de la iluminación solar de fondo durante el día.

La diferenciación de los fotogramas de vídeo, por consiguiente, causa la eliminación de la escena de fondo, así como de todas las luces que no sean de interés. Aplicando una operación de umbralización adecuada al patrón de diferencias de píxeles resultante del conjunto de detectores de la cámara, las luces deseadas se captan y representan como símbolos puntuales en una pantalla. En una forma de realización de un sistema de aterrizaje de visión mejorada, las luces deseadas (símbolos) se superponen a una imagen térmica de la escena o se "fusionan" con ésta; como alternativa, los símbolos pueden superponerse a una imagen de una escena visible (TV).

En contextos de luz diurna con altos niveles de fondo celeste y terrestre, el tiempo de integración de fotogramas se reduce automáticamente para prevenir la saturación de los pozos de píxel. Tras la sustracción de fotogramas, los fotoelectrones de la señal compiten solo con el ruido de agitación térmica de fondo, que se obtiene mediante la raíz cuadrada del número de fotoelectrones de fondo de cada pozo de píxel. Como consecuencia, las luces deseadas pueden captarse cuando son de una magnitud muy inferior al fondo. Por la noche, el tiempo de integración de fotogramas se incrementa y el mecanismo de captación está limitado solo por la lectura básica de la cámara y el ruido de la corriente oscura.

Además de la detección sincrónica para la captación de una pista o una aeronave, mediante una técnica de submodulación adecuada, las emisiones de luz pulsada pueden transmitir información que representa, por ejemplo, un identificador de pista o aeronave. Unas de las técnicas de submodulación adecuadas es, por ejemplo, la modulación por posición de impulso o por código de impulso.

Otros aspectos y ventajas se pondrán de manifiesto a partir de la siguiente descripción detallada de las formas de realización preferidas, en la que se hace referencia a los dibujos adjuntos.

Breve descripción de los dibujos

La figura 1 es un diagrama de bloques de una forma de realización de un sistema de formación de imágenes que se implementa para procesar impulsos LED modulados a fin de componer una escena con las luces del sistema de tierra en ausencia de iluminación de fondo.

La figura 2 es un diagrama de bloques de una forma de realización de un sistema de formación de imágenes en el que un sistema de tierra efectúa el seguimiento de una aeronave equipada con una baliza de luz pulsada.

La figura 3 representa una forma de realización de un sistema de formación de imágenes, en el que una aeronave equipada con una baliza de fuente de luz pulsada y una cámara de imágenes controlada efectúa el seguimiento de aeronaves con equipamiento similar para evitar colisiones.

La figura 4 representa una variante de la forma de realización de la figura 3, en la que una de las aeronaves es un vehículo no tripulado equipado con una baliza de fuente de luz pulsada, que permite a las aeronaves tripuladas monitorizar y evitar la aeronave no tripulada, y un procesador de visión y un sistema de guiado de aeronaves no tripuladas, que permiten el repostaje de combustible autónomo.

5

Descripción detallada de las formas de realización preferidas

La figura 1 representa una forma de realización de un sistema de formación de imágenes 10, en el cual un sistema embarcado en una aeronave extrae información de posición detectando las luces de pista. En esta aplicación aire-tierra, un sistema de tierra 12 comprende un receptor GPS 14 que facilita una señal de sincronización a un circuito de modulación por anchura de impulso (PWM) 16 que se utiliza para alimentar y ajustar la intensidad de las luces de LED de pista 18. El circuito PWM 16 puede estar equipado para submodular las luces de LED de pista pulsadas 18 a fin de superponer a estas datos de baja velocidad de transferencia de datos que facilitan información de identificación de aeropuerto y pista para el aterrizaje de las aeronaves. Las luces de LED de pista 18 se componen de conjuntos de LED de alta intensidad, por lo general LED blancos para las luces de pista y LED de color para la iluminación de calles de rodaje.

10

15

Un sistema de aeronave 30 comprende también un receptor GPS 32. En este caso, el receptor GPS 32 facilita una señal de sincronización y la posición de la aeronave. La señal de sincronización se utiliza para controlar la electrónica de lectura 34 y captar la señal de vídeo de forma sincronizada con el funcionamiento de las luces de LED sometidas a modulación por anchura de impulso 18 del sistema de tierra 12. La información de posición, combinada con la información que se dispone acerca de la posición de la pista, se utiliza para corregir pequeñas diferencias de hora de vuelo entre la temporización PWM y la temporización de la electrónica de lectura.

20

La electrónica de lectura 34, que lee la información de las imágenes captadas por un conjunto de detectores de una cámara de formación de imágenes 36, están diseñados para captar un fotograma de vídeo (o varios fotogramas de vídeo) durante un intervalo de tiempo en el que se sabe que las luces de LED de pista 18 están encendidas, captar un fotograma de vídeo (o varios fotogramas de vídeo) durante un intervalo de tiempo en el que se sabe que las luces de LED de pista 18 no están encendidas y, a continuación, sustraer los dos fotogramas para obtener una imagen que comprende solo una imagen de las luces de LED de pista 18. En esta imagen, la reflexión del fondo, tal como la del alumbrado público y los faros de los automóviles y el ruido del detector, se ha reducido o eliminado en gran medida.

25

30

La imagen se combina con otro tipo de información de los sensores en un procesador de visión 38 y se presenta en una pantalla de la cabina del piloto 40 para que este la vea. El otro tipo de información de los sensores comprende imágenes térmicas, imágenes de radar de ondas milimétricas o ambas cosas. La pantalla de la cabina del piloto 40 es una pantalla de visualización frontal o inferior. Los componentes del sistema contenidos en el recuadro en línea discontinua constituyen un sistema de visión mejorada (EVS) 42.

35

Para ofrecer la ventaja de relación señal-ruido inherente a la detección sincrónica de las señales de luz de LED, el equipo está configurado para sincronizar el funcionamiento de la cámara con la temporización de modulación por anchura de impulso (PWM) de las luces de LED. En la aplicación de la captación de luces de pista, una primera estrategia preferida consiste en utilizar la modulación PWM de las luces de pista 18 y la cámara de formación de imágenes 36 sincrónicamente con la señal de sincronización obtenida del receptor del sistema de posicionamiento global (GPS) 32. Los receptores que generan una señal de 1 pps junto con impulsos de reloj de frecuencia superior procedentes de las señales de GPS se pueden obtener fácilmente en el mercado a través de varias fuentes. Mediante estas señales, es muy sencillo obtener, en el rango de 50 Hz a 1000 Hz, señales con fase sincrónica que son útiles para los propósitos de sincronización. Una segunda estrategia preferida consiste en utilizar un receptor óptico separado con una apertura bastante grande y un único fotodiodo para detectar la luz de LED y enviar una señal de temporización a la cámara de formación de imágenes 36. La ventaja de esta estrategia es que impone menos limitaciones al diseño del sistema de iluminación de LED. Una tercera estrategia preferida es la de "sincronizarse" con las imágenes de las luces detectadas por la cámara de formación de imágenes 36 y ajustar la temporización de detección para mejorar la relación señal-ruido. Desde el punto de vista de un sistema, esta es la estrategia de coste más bajo, pero tal vez no sea tan sólida como las dos estrategias descritas anteriormente.

40

45

50

55

Para evitar que el piloto vea luces de pista 18 con una apariencia "pulsante", los LED se modulan a 50 Hz o más.

Si se utiliza radiación SWIR, se dispone de la opción de fusión de cámaras duales de radiación visible/SWIR para ver ambos tipos de LED. Las ventajas y desventajas asociadas a la longitud de onda se resumen a continuación. En las longitudes de onda SWIR (por ejemplo, aproximadamente 1,5 micras), el resplandor del sol a través de la niebla se reduce ventajosamente unas diez veces más que en las longitudes de onda de la luz visible. En comparación con las fuentes de luz de pista operativas en las longitudes de onda de la luz visible, las potentes fuentes de luz de pista SWIR (que quizá necesiten ser láseres diodo en lugar de LED) son más caras. Las cámaras SWIR también son caras. Los láseres poseen una menor anchura espectral (por ejemplo, de 15 nm) que la de los LED, con lo cual los láseres permiten un mayor filtrado espectral del fondo solar. La emisión de las luces de pista en el rango de 1,5 micras experimenta una atenuación en neblina o partículas oscurecedoras finas algo menor que en las longitudes de

60

65

onda de luz visible. No hay mucha diferencia en agua y niebla, aunque se experimenta alrededor de un 5% menos de atenuación con respecto a las longitudes de onda de la luz visible. Esto constituye un incremento significativo en el nivel de luz, ya que es una función exponencial de la distancia. En el rango de las 1,5 micras, la FAA carga con la responsabilidad de elegir cuidadosamente la longitud de onda LED o láser precisa para evitar la estructura de los espectros de absorción atmosférica (molecular). Es más fácil encontrar en el mercado cámaras de alta frecuencia de 5 fotogramas en las longitudes de onda de la luz visible.

Aunque la técnica de línea de base de monitorización de las operaciones de vuelo de las aeronaves implica el uso de emisiones de luz intermitente para la captación con diferenciación de fotogramas de vídeo, otras opciones de codificación, aparte de las PWM descritas anteriormente, comprenden modulación por código de impulso, modulación por posición de impulso, codificación pseudoaleatoria y códigos de corrección de errores. La implementación de la tecnología de sistemas de comunicación por fibra óptica puede ofrecer otras técnicas de codificación ventajosas.

En el caso particular de interés, es decir, la niebla, las limitaciones sobre la captación de los LED comprenden el ruido de cámara (lectura de plano focal) y el ruido de agitación térmica de la escena de fondo diurno.

Las cámaras de imágenes sensibles a la luz visible, tales como las cámaras de sensores CCD o CMOS, permiten el funcionamiento a unas frecuencias de fotogramas más altas que las de las cámaras de televisión convencionales (es decir, de 30 Hz a 60 Hz). Por otra parte, los últimos avances en la tecnología de lectura también permiten frecuencias de fotogramas más altas en las cámaras SWIR. Por lo tanto, existe una opción de incrementar la pulsación de las luces a una frecuencia significativamente superior a 50 Hz y añadir las señales de un número N de pares de fotogramas secuenciales sustraídos. Esto provoca un incremento adicional de valor \sqrt{N} en la relación señal-ruido (SNR). Una vez se alcanza el número N de pares, se extraen los píxeles (de imágenes LED) deseados mediante una operación de umbralización o una operación de procesamiento de detección diferente. Aunque los píxeles de la cámara no permiten la resolución geométrica, un LED determinado puede iluminar en realidad varios píxeles, debido a la pérdida de definición o la pérdida de la función de transferencia de modulación (MTF) causadas por la dispersión múltiple en la niebla.

Una estrategia preferida es el uso de una cámara que integra la señal óptica para todos los píxeles a la vez. Los diferentes fabricantes describen con diferentes términos esta capacidad. Algunos fabricantes de cámaras IR se refieren a las cámaras que presentan esta característica como cámaras de "modalidad instantánea". Otros fabricantes de cámaras CCD de luz visible las describen como cámaras de "captura de fotograma completo". La característica común es que todos los píxeles acumulan electrones durante el mismo período de tiempo y, a continuación, los extraen y sincronizan en secuencia como una señal de vídeo tras el período de captación.

Más comúnmente, las cámaras funcionan en "modalidad de barrido lineal". En esta modalidad, cada línea del conjunto comienza a acumular electrones justo después de que se haya leído la línea. La acumulación se detiene cuando llega el momento de leer esa línea otra vez. El uso de este tipo de cámara implica el funcionamiento de la cámara a una frecuencia de fotogramas que es muy superior a la frecuencia del LED PWM. En cada ciclo PWM, se captan muchos fotogramas (del orden de 10 a 20). Los fotogramas se procesan entonces línea por línea en el procesador de visión 38, combinando las líneas que se obtienen cuando se sabe que los LED están encendidos para crear una imagen de "encendido", y combinando las líneas que se obtienen cuando se sabe que los LED están apagados para crear una imagen de "apagado". La diferencia entre estas dos imágenes se utiliza para crear la mejor imagen para cada ciclo PWM. En esta modalidad, la cámara funciona a una frecuencia del rango de 500 a 2000 fotogramas por segundo.

Una vez que se han captado las luces deseadas mediante este sistema, los datos forman, para cada fotograma, un conjunto de puntos (píxeles), cada uno de los cuales representa un LED. Este, a su vez, se transmite al procesador de visión 38, que relaciona las luces con una base de datos de pista y, posteriormente, desempeña funciones de monitorización de integridad y de navegación basada en EVS y, asimismo, genera una pantalla de pista simbólica para el piloto. Esto constituye asimismo una "verificación de la integridad de la pantalla de visión sintética" (fusión de las imágenes de la base de datos con las imágenes en tiempo real).

Las frecuencias de fotogramas más elevadas pueden requerir una menor resolución, es decir, la lectura de un número inferior de píxeles. El uso de solo una parte del conjunto de plano focal limita el campo de visión (FOV), lo cual no es adecuado para la captación de pista, o bien implica menos resolución, es decir, un mayor FOV angular instantáneo (IFOV) con el mismo FOV. Lo último no es deseable, puesto que puede disminuir el rendimiento del subsiguiente procesamiento de correlación con la base de datos, y durante el día implica un recuento de fotones de ruido de fondo superior para cada píxel. Por consiguiente, si es necesario el uso de dicho FPA parcial, pueden ser aconsejables las técnicas de división dinámica de la pantalla en ventanas. Aunque se requiere una resolución reducida, particularmente en las cámaras SWIR, son posibles frecuencias desde cientos de Hz hasta un par de KHz. El modelo anterior presupone que la imagen de un LED determinado se mantendrá en el mismo píxel durante los N impulsos, lo cual, a su vez, presenta dos aspectos. El primero es que la actitud transitoria de la aeronave cambia. Para aeronaves de transporte, esto probablemente no constituya un problema importante, en particular en condiciones de turbulencia ligera, como ocurre en caso de niebla. El segundo es el alcance y la distribución

cambiantes de la imagen de perspectiva de las luces durante la aproximación de aterrizaje. Este es un factor mucho menos importante en los alcances más amplios que se aplican a la fase temprana de aproximación, en la que la captación en la niebla impone una dificultad.

5 El sistema de sincronización anterior permite la captación de los LED a una distancia que es varias veces el "alcance visual en la pista" (RVR), es decir, muy por encima de la capacidad visual del piloto. A título de ilustración simple, para captar a una distancia de tres veces el RVR, un sistema de LED-cámara funciona con un factor de transmisión (niebla) de $(0,05)^3 = 1,25 E(-4)$. En un contexto de día soleado con niebla, el fondo solar que interfiere es un fondo gris indiferenciado.

10 Si se utilizan tanto LED visibles como SWIR (ubicados en el mismo lugar), se dispone de una opción de aplicar tanto cámaras visibles como SWIR y fusionar los resultados antes de la detección de captación final para el campo de luces. Como se ha descrito anteriormente, las primeras son mucho menos caras, aunque las últimas tienen un rendimiento muy superior.

15 La determinación definitiva de si una imagen de LED está presente en un píxel determinado puede ser mucho más compleja que la simple detección de umbral y puede comprender el procesamiento en el dominio temporal, el dominio espacial o el dominio espacio-temporal. En el dominio temporal, es aplicable todo el rango de herramientas teóricas de comunicaciones para la detección de impulsos. Pueden utilizarse medios estadísticos, que comprenden, por ejemplo, la estimación del fondo y/o los niveles de ruido de cámara durante los períodos de "LED apagados". En el dominio espacial, en la decisión también pueden intervenir determinaciones locales (máximos) y/o espaciales globales a través del FPA. En el dominio espacio-temporal, se utiliza el seguimiento y la predicción del movimiento.

20 Otras aplicaciones que amplían la aplicación de luces de pista comprenden la colocación manual de un conjunto de balizas de LED pulsadas o de diodo láser para definir una zona de aterrizaje en una área selvática o táctica de una operación de una fuerza armada especial y el despliegue de balizas pulsadas personales individuales por el personal que ha sido derribado, que facilitan información de posición a los efectos del rescate. Dichas aplicaciones serían más susceptibles de ser utilizadas en aeronaves de ala giratoria.

25 La figura 2 es una forma de realización de un sistema de formación de imágenes 100, en el que un sistema de tierra efectúa el seguimiento de una aeronave equipada con una baliza de luz pulsada. En esta aplicación tierra-aire, un sistema de tierra 102 comprende un receptor GPS 104 que facilita una señal de sincronización para un circuito PWM 106 utilizada para modular la intensidad de una baliza de LED 108. El circuito PWM 106 puede ser operativo para submodular la baliza de LED pulsada 108 a fin de superponer a esta datos de baja velocidad de transferencia que facilitan información de identificación de aeronave o vuelo que el sistema de control de tráfico aéreo captará automáticamente cuando la aeronave empiece la aproximación final. La baliza de LED 108 se compone de conjuntos de LED de alta intensidad, normalmente LED blancos.

30 Un sistema de tierra 130 comprende también un receptor GPS 132. En este caso, el receptor GPS 132 facilita una señal de sincronización, que se utiliza para controlar la electrónica de lectura 134 y captar la señal de vídeo de forma sincronizada con el funcionamiento de la baliza de LED con modulación por anchura de impulso 108 del sistema de la aeronave 102. Los datos facilitados por los receptores GPS 104 y 134 de las posiciones relativas entre la aeronave balizada y el sistema de tierra 130 se utilizan para corregir pequeñas diferencias de hora de vuelo entre la temporización PWM y la temporización de la electrónica de lectura.

35 La electrónica de lectura 134, que lee la información de las imágenes captadas por un conjunto de detectores de una cámara de formación de imágenes 136, están diseñados para captar un fotograma de vídeo (o varios fotogramas de vídeo) durante un intervalo de tiempo en el que se sabe que la baliza de LED 108 está encendida, captar un fotograma de vídeo (o varios fotogramas de vídeo) durante un intervalo de tiempo en el que se sabe que la baliza de LED 108 no está encendida y, a continuación, sustraer los dos fotogramas para obtener una imagen que comprende solo una imagen de la baliza de LED 108. En esta imagen, la reflexión del fondo, tal como la iluminación solar y el ruido del detector, se ha reducido o eliminado en gran medida. Esta imagen se presenta en una pantalla 140 de un observador ubicado en tierra. Después de la captación de la aeronave balizada, puede realizarse la detección sincrónica en la cámara de formación de imágenes 136 para seguir el avión. Para aeronaves UAV balizadas, la cámara de formación de imágenes 136 puede utilizarse para seguir una aeronave UAV que regresa a su controlador.

40 La figura 3 representa una forma de realización de un sistema de formación de imágenes 200, en el que una aeronave equipada con una baliza de fuente de luz pulsada y una cámara de imagen controlada efectúa el seguimiento de aeronaves con equipamiento similar para evitar colisiones. En esta aplicación aire-aire, cada uno de los dos sistemas de aeronaves pilotadas 202₁ y 202₂ dispuestos en diferentes aeronaves comprende un receptor GPS 204 que facilita una señal de sincronización para un circuito PWM 206 utilizada para modular la intensidad de una baliza de fuente de diodo láser 208. El circuito PWM 206 puede estar equipado para submodular la baliza de fuente de diodo láser pulsado 208 a fin de superponer a ésta datos de baja velocidad de transferencia que facilitan información de identificación de la aeronave al sistema de la aeronave de destino. Para la presente aplicación aire-aire, la longitud de onda SWIR de 1550 nm es particularmente ventajosa en términos de la disponibilidad de fuentes

de diodo láser, el rendimiento de cámaras de formación de imágenes basadas en InGaAs, la reducción de los niveles del fondo ambiental y la seguridad ocular.

5 El receptor GPS 204 también facilita la señal de sincronización para controlar la electrónica de lectura 234 y captar la señal de vídeo sincrónicamente con el funcionamiento de la baliza de fuente de diodo láser modulada por anchura de pulso 208 del sistema de la aeronave de destino. Los datos facilitados por los dos receptores GPS 204 de las posiciones relativas entre las dos aeronaves balizadas se utilizan para corregir pequeñas diferencias de hora de vuelo entre la temporización PWM y la temporización de la electrónica de lectura.

10 La electrónica de lectura 234, que lee la información de las imágenes captadas por un conjunto de detectores de una cámara de formación de imágenes 236 del sistema de la aeronave de captación, están diseñados para captar un fotograma de vídeo (o varios fotogramas de vídeo) durante un intervalo de tiempo en el que se sabe que la baliza de fuente de diodo láser 208 del sistema de la aeronave de destino está encendida, captar un fotograma de vídeo (o varios fotogramas de vídeo) durante un intervalo de tiempo en el que se sabe que la baliza de fuente de diodo láser 208 del sistema de la aeronave de destino no está encendida y, a continuación, sustraer los dos fotogramas para obtener una imagen que comprende solo una imagen de la baliza de fuente de diodo láser 208. En esta imagen, la reflexión del fondo, tal como la iluminación solar y el ruido del detector, se ha reducido o eliminado en gran medida. Esta imagen se combina con otro tipo de información de los sensores en un procesador de visión 238 y se visualiza en una pantalla de la cabina del piloto 240 para presentar a éste información de la escena de fondo además de las luces de baliza. Los componentes del sistema contenidos en el recuadro en línea discontinua constituyen un EVS 242. Después de la captación de la aeronave balizada de destino, puede realizarse la detección sincrónica en la cámara de formación de imágenes 236 de la aeronave de captación para seguir el avión de destino.

25 La figura 4 representa un sistema de formación de imágenes 300 que difiere del sistema de formación de imágenes 200 representado en la figura 3, en la medida en que el primero comprende una aeronave tripulada y una aeronave no tripulada. En esta aplicación aire-aire, la aeronave tripulada de los sistemas de formación de imágenes 200 y 300 está equipada con el mismo sistema de aeronave 202₁ descrito anteriormente, pero la aeronave no tripulada está equipada con un sistema de aeronave 302₂ que difiere del sistema de aeronave 202₂. Las aeronaves están equipadas con balizas de fuente de luz pulsada y cámaras de imágenes controladas para evitar colisiones. La diferencia es que, en el sistema de aeronave 302₂, la salida del procesador de visión 238 se transmite a un sistema de guiado de aeronaves no tripuladas 340. Los componentes del sistema contenidos en el recuadro en línea discontinua constituyen un EVS 342. El sistema de aeronaves 302₂ equipado con el procesador de visión 238 y el sistema de guiado de aeronaves no tripuladas 340 permite el repostaje autónomo.

35 Un campo de visión representativo del sensor de cámara de formación de imágenes de la aeronave de captación es de 180 grados de azimut por 96 grados de ángulo vertical. El campo de visión se basa en cálculos de rendimiento heurístico, en los que se presupone una resolución de píxeles de 1,6 miliradianes. Este sensor puede obtenerse con seis cámaras pequeñas de InGaAs no refrigeradas con resoluciones individuales de 640 x 512 píxeles, que están disponibles en el mercado. Las cámaras están distribuidas formando un mosaico de 3 cámaras en sentido horizontal y 2 cámaras en sentido vertical.

45 Para la captación aire-aire, una baliza de fuente representativa irradia luz a través de un rango angular sólido de 360 grados de azimut por 150 grados de elevación. Una aeronave de destino equipada con un sistema correctamente diseñado e implementado con una unidad muy simple y compacta de diodo láser pulsado puede captarse fácilmente a 5 millas en condiciones de fondo diurno y aire moderadamente claro. El funcionamiento con una atenuación atmosférica significativa entrañaría la provisión de un conjunto de varios emisores de diodo en la aeronave de destino.

50 La sincronización de las balizas de fuente instaladas en la aeronave 208 y las cámaras de formación de imágenes controladas 236 se obtiene a partir de las señales GPS. Puesto que los tiempos de integración de las cámaras de formación de imágenes comunes son del orden de milisegundos o superiores, la velocidad finita de la luz no crea problemas significativos con respecto a la sincronización fuente-cámara relativa a través de distancias de 5 millas. En distancias extremas superiores a las 5 millas, la información de las posiciones relativas puede utilizarse para corregir pequeñas diferencias de hora de vuelo entre la temporización PWM y la temporización de la electrónica de lectura.

60 Las características técnicas de los equipos descritos anteriormente hacen hincapié en la importancia de una implementación óptima para la detección aire-aire automática de una aeronave arbitraria, por ejemplo, de una aeronave UAV. Sin embargo, existe la opción de implementar el sistema anterior a las longitudes de onda visibles, utilizando LED como iluminadores de origen y cámaras de televisión adecuadas. Aunque esta opción permite la captación automatizada más allá de la capacidad del ojo humano, particularmente en presencia de un fondo, la alternativa de la combinación LED controlado-cámara ofrece también al piloto visibilidad directa de las balizas de la aeronave de destino en una pantalla 240 de información suministrada por el EVS 238.

65 Las aplicaciones e implementaciones presentadas anteriormente se aplican por igual, tanto si el emisor del diodo es un LED como si es un diodo láser. Los LED se utilizan normalmente en aplicaciones que exigen máximo ahorro en balizas y cámaras o visibilidad directa por el ojo humano o ambas cosas. Los diodos SWIR y láser se utilizan

normalmente para obtener el máximo rendimiento operativo.

5 Como resultará obvio a las personas expertas en la materia, es posible realizar muchos cambios en los detalles de las formas de realización descritas anteriormente sin apartarse de los principios subyacentes a la presente invención. El alcance de la presente invención, por consiguiente, debería determinarse conforme a las reivindicaciones adjuntas.

REIVINDICACIONES

- 5 1. Procedimiento para la captación temprana de luz emitida por una fuente objetivo situada a una distancia de una cámara de formación de imágenes que funciona en asociación con un procesador para realizar la monitorización de una operación de vuelo de una aeronave, caracterizado porque comprende las etapas siguientes:
- 10 utilizar la cámara de formación de imágenes que funciona en respuesta a una señal de temporización producida por un sistema de navegación global para captar una secuencia de fotogramas de imágenes de una escena, en la que la fuente objetivo está contenida, emitiendo la fuente objetivo una luz que es modulada en respuesta a la señal de temporización para producir una emisión de luz de fuente objetivo modulada con una razón de modulación, y permitiendo la señal de temporización la captación de la secuencia de fotogramas de imágenes con una razón que está sincronizada con la razón de modulación y es un múltiplo conocido de la misma;
- 15 aplicar el múltiplo conocido al cual se establece un valor que hace que la secuencia de fotogramas de imágenes incluya un primer y segundo conjuntos de imágenes que representan, respectivamente, información de la escena de fondo que incluye la emisión de luz de la fuente objetivo modulada e información de escena de fondo que no incluye la emisión de luz de la fuente objetivo modulada; y
- 20 utilizar una electrónica de lectura para procesar el primer y segundo conjuntos de imágenes para extraer la información de escena de fondo a partir de imágenes temporalmente correspondientes del primer y segundo conjuntos y obtener, de este modo, información de imágenes procesadas a partir de la cual la captación de la emisión de luz de la fuente objetivo modulada puede ser llevada a cabo por un procesador para permitir la monitorización de la operación de vuelo de una aeronave.
- 25 2. Procedimiento según la reivindicación 1, en el que la emisión de luz de la fuente objetivo modulada:
- 30 a. se propaga desde un sistema de tierra, y en el que está incluida la cámara de formación de imágenes y el primer y segundo conjuntos de imágenes son procesados en un sistema embarcado en una aeronave, permitiendo, de este modo, la monitorización de la operación de vuelo de una aeronave por la aeronave, o
- 35 b. se propaga desde un sistema embarcado en una aeronave, y en el que está incluida la cámara de formación de imágenes y el primer y segundo conjuntos de imágenes son procesadas en un sistema de tierra, permitiendo de este modo que el sistema de tierra monitorice la operación de vuelo de la aeronave,
- 40 c. se propaga desde un primer sistema embarcado en una aeronave, y en el que está incluida la cámara de formación de imágenes y el primer y segundo conjuntos de imágenes son procesados en un segundo sistema embarcado en una aeronave, permitiendo de este modo la monitorización de la operación de vuelo de la primera aeronave por la segunda aeronave, o
- 45 d. se propaga desde un LED que emite longitudes de onda de luz visible y la cámara de formación de imágenes es sensible a la luz visible, o
- e. se propaga desde una fuente de luz objetivo que emite luz SWIR infrarroja de onda corta, y la cámara de formación de imágenes es sensible a la luz SWIR, o
- f. incluye una baliza de luz pulsada de tipo portátil.
- 50 3. Procedimiento según la reivindicación 2, en el que cuando la emisión de luz de la fuente objetivo modulada se propaga desde un primer sistema embarcado en una aeronave, uno de entre el primer y segundo sistemas embarcados en una aeronave:
- 55 a. se halla en una aeronave tripulada y el otro de entre el primer y segundo sistemas embarcados en una aeronave, se halla en una aeronave no tripulada, o
- b. se halla en aeronaves tripuladas diferentes.
- 60 4. Procedimiento según la reivindicación 2, en el que cuando la emisión de luz de la fuente objetivo modulada se propaga desde un sistema de tierra, el sistema de tierra incluye una iluminación de zona de aterrizaje como la emisión de luz de fuente objetivo modulada.
- 65 5. Procedimiento según la reivindicación 4, en el que la visión del piloto de la iluminación de la zona de aterrizaje está entorpecida debido a unas condiciones atmosféricas que atenúan la luz visible.
6. Procedimiento según la reivindicación 4, en el que la iluminación de la zona de aterrizaje incluye:
- a. un campo de luces de aeropuerto, o

- b. una baliza de luz pulsada, o
- c. una baliza de luz pulsada de tipo portátil.

5 7. Procedimiento según la reivindicación 1, que comprende además la submodulación de la emisión de luz de fuente objetivo modulada con una razón de submodulación, que facilita información de identificación acerca de la emisión de luz de fuente objetivo modulada.

10 8. Procedimiento según la reivindicación 7, en el que la emisión de luz de fuente objetivo modulada es la iluminación de una zona de aterrizaje, y la información de identificación identifica un aeropuerto.

9. Procedimiento según la reivindicación 1, en el que los fotogramas de imágenes son captados con una razón que es el doble de la razón de modulación.

15 10. Procedimiento según la reivindicación 1, en el que la emisión de luz de fuente destino es modulada mediante modulación por anchura de impulso.

20 11. Procedimiento según la reivindicación 1, en el que el procesamiento de imágenes correspondientes incluye la sustracción de imágenes temporalmente correspondientes del primer y segundo conjuntos para proporcionar una escena modificada.

12. Procedimiento según la reivindicación 1, en el que la emisión de luz de fuente objetivo es modulada haciendo que la emisión de luz de fuente objetivo sea pulsada con una razón de impulsos, y que comprende además las etapas siguientes:

25 hacer funcionar la cámara de formación de imágenes con una razón de captación para captar la secuencia de fotogramas de imágenes de una escena, sobrepasando las razones de pulsación y captación la razón de fotogramas de una cámara de televisión convencional;

30 realizar el procesamiento del primer y segundo conjuntos de imágenes formando un número N de pares de imágenes temporalmente correspondientes del primer y segundo conjuntos; y

35 integrar el número N de pares a una frecuencia de integración que sobrepasa la razón de fotogramas de una cámara de televisión convencional para establecer una relación señal-ruido que se incrementa con una frecuencia de integración creciente.

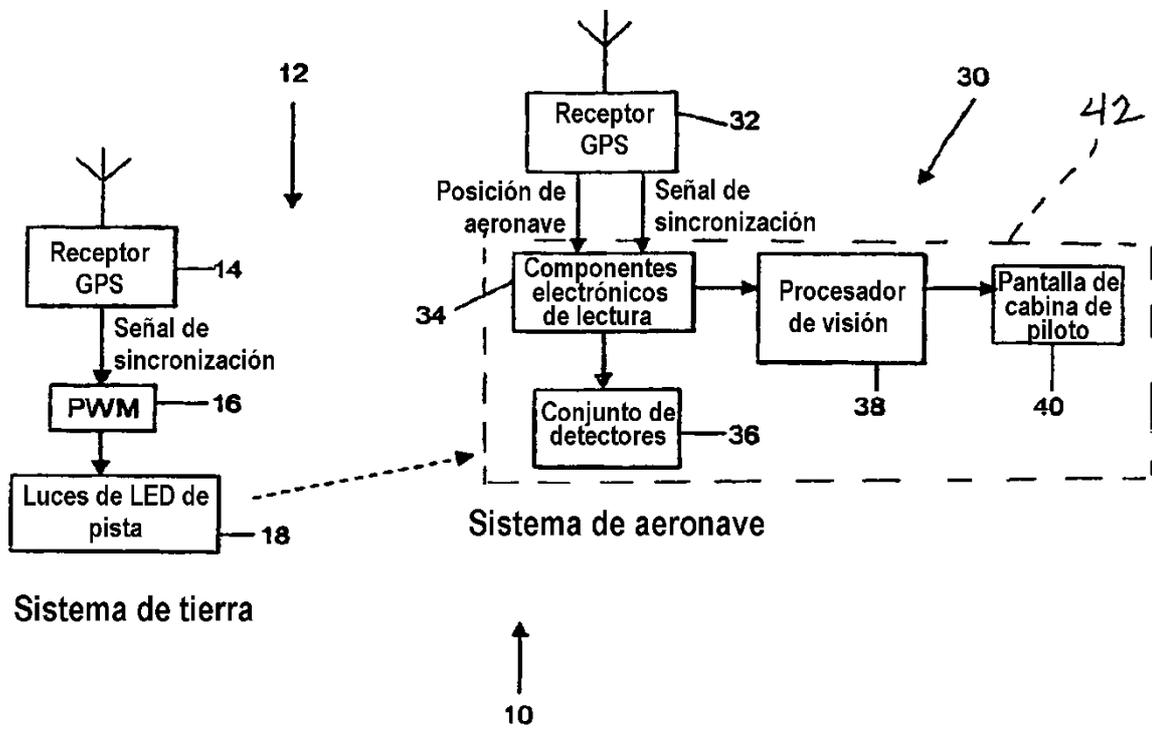
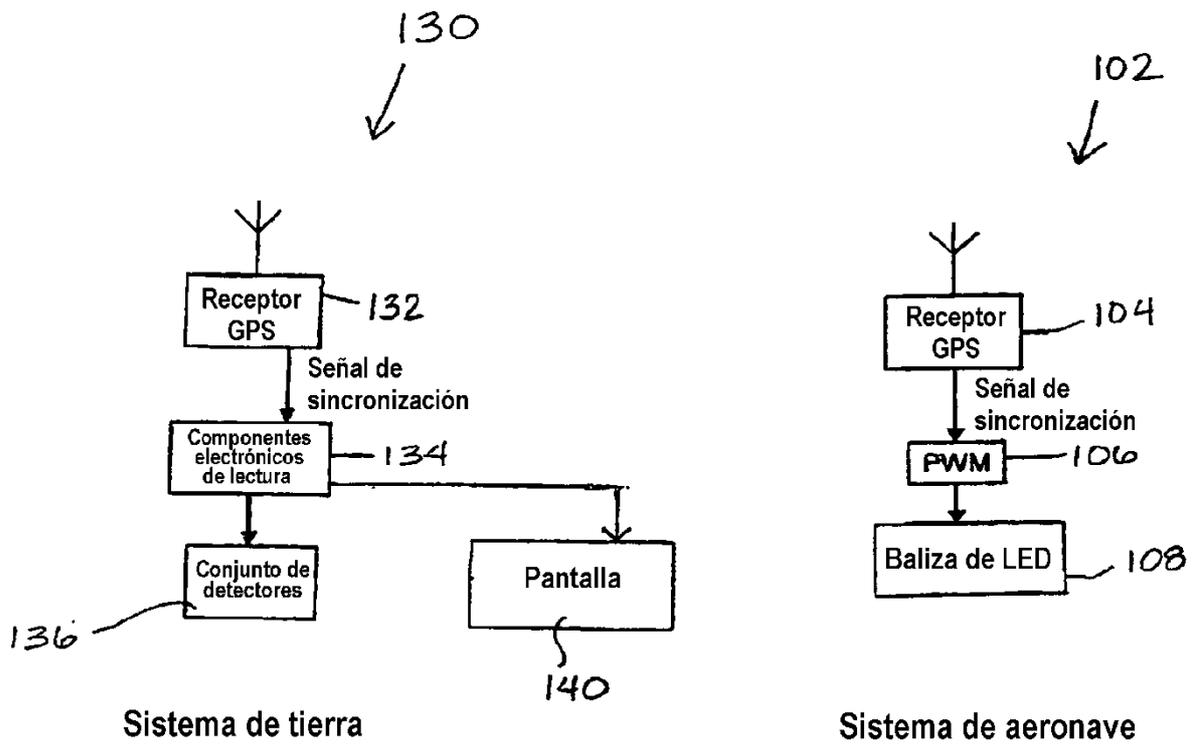


Fig. 1



100 ↗

Fig. 2

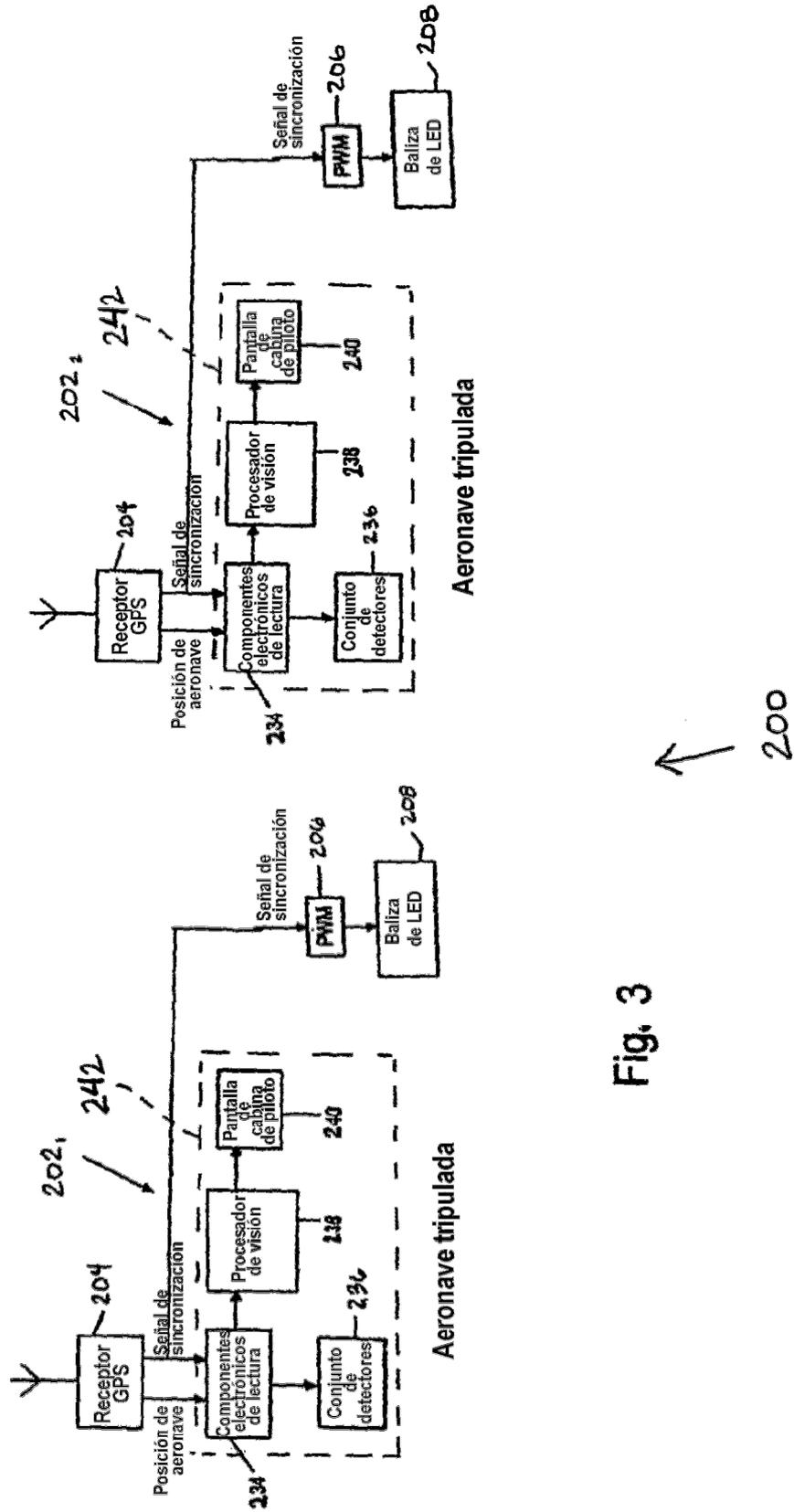


Fig. 3

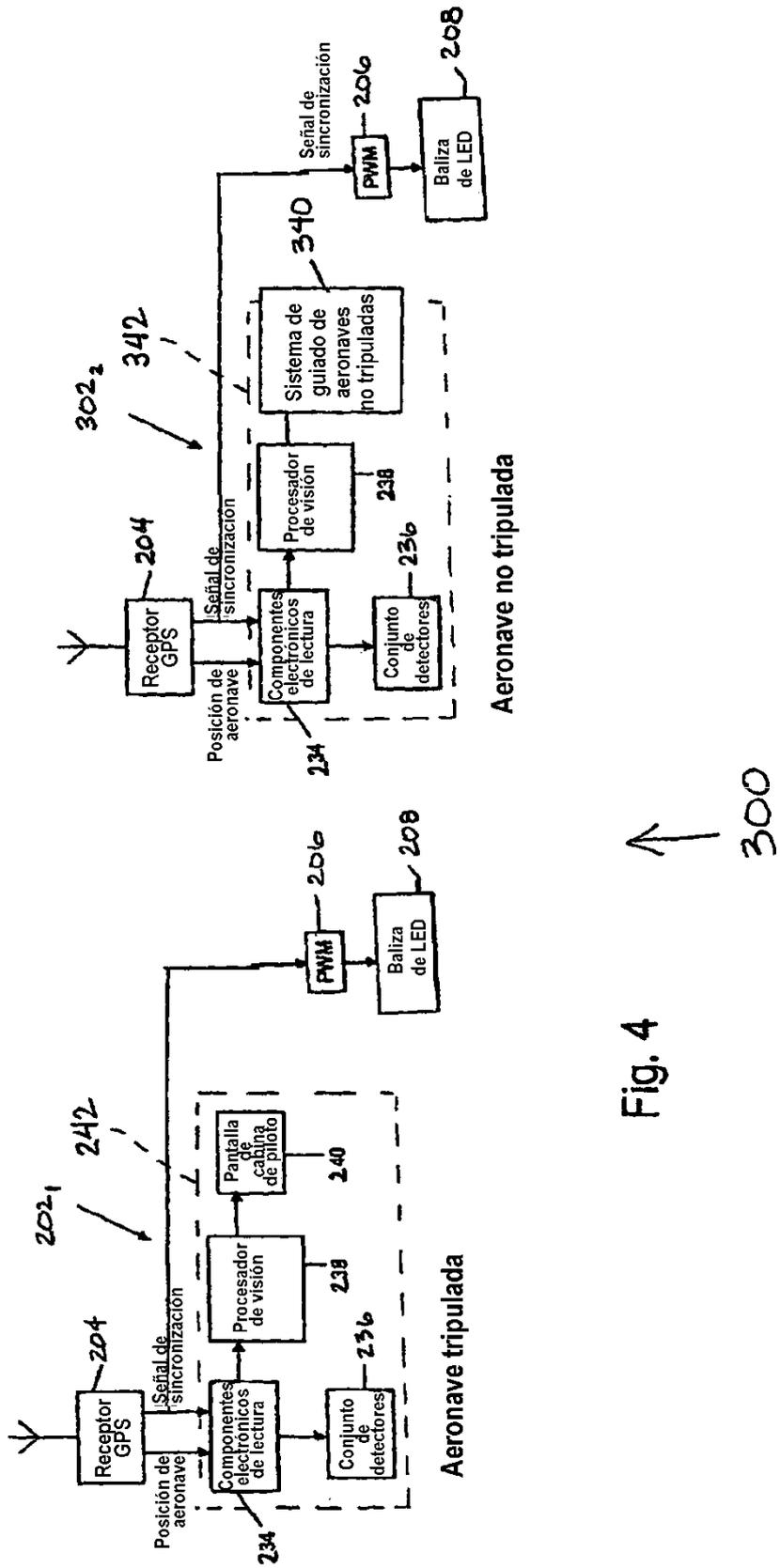


Fig. 4