

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 606 568**

51 Int. Cl.:

G01C 23/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **25.10.2010 PCT/US2010/053947**

87 Fecha y número de publicación internacional: **05.05.2011 WO2011053552**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **25.10.2010 E 10827367 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **16.11.2016 EP 2494311**

54 Título: **Sistema y procedimiento para visualizar pistas de aterrizaje y el terreno en sistemas de visión sintética**

30 Prioridad:

26.10.2009 US 254787 P

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

24.03.2017

73 Titular/es:

**L-3 COMMUNICATIONS AVIONICS SYSTEMS,
INC. (100.0%)
5353 52nd Street SE
Grand Rapids, MI 49512-9704, US**

72 Inventor/es:

**PAINTER, BRETT y
SEABLOOM, JOSHUA**

74 Agente/Representante:

PONS ARIÑO, Ángel

ES 2 606 568 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 para visualizar pistas de aterrizaje y el terreno en sistemas de visión sintética

5 ANTECEDENTES DE LA INVENCION

La presente solicitud se refiere a sistemas de visualización de aviónica, y más en particular a sistemas de visualización de aviónica que usan sistemas de visión sintética donde las pistas de aterrizaje, el terreno y otros objetos pueden visualizarse de una forma tridimensional.

10 Las pantallas de cabina de los aviones incluyen a menudo una pantalla de vuelo primaria (PVP) que visualiza, entre otras cosas, una línea de horizonte artificial que indica la inclinación longitudinal y lateral de la aeronave con respecto al horizonte real. La PVP visualiza también normalmente la orientación actual de la aeronave. En algunas PVP, la línea de horizonte artificial se visualiza con un color sólido por encima de la línea de horizonte (normalmente un tono de azul para representar el cielo) y un color sólido por debajo de la línea de horizonte (normalmente un tono de marrón para indicar la tierra). Estas pantallas no proporcionan ninguna indicación sobre los contornos del suelo sobre el que vuela la aeronave.

20 Las PVP más avanzadas pueden incluir la característica de visión sintética, que proporciona imágenes que indican los contornos del suelo. Con estas pantallas, el suelo se visualiza de una forma tridimensional de manera que en general se corresponde con lo que vería el piloto cuando mirara al otro lado del parabrisas delantero de la cabina en el terreno delante de la aeronave. Para que la PVP visualice de forma apropiada los contornos del terreno de una forma tridimensional, la PVP accede a datos que definen la elevación del suelo en las zonas que se visualizan. Dichos datos están disponibles comercialmente en varias fuentes y pueden cargarse en la PVP de múltiples formas. 25 Dichos datos incluyen la altura del suelo en miles, si no millones, de puntos de datos distribuidos en una o varias zonas geográficas. Dichos datos pueden proceder de una o más medidas de satélites, de una o más misiones de los transbordadores espaciales de EE.UU. o de otras fuentes.

30 Con independencia de la fuente de los datos de altura del terreno, dichos datos pueden incluir, por ejemplo, la altura del terreno terrestre para aproximadamente cada seis segundos de arco de latitud y longitud en una zona geográfica en concreto, tal como Norteamérica u otra área. A partir de estos datos, la PVP es capaz de recrear visualmente en su pantalla una reproducción del terreno terrestre que se aproxima al terreno real de la Tierra sobre el cual vuela actualmente la aeronave.

35 Además de los contornos del terreno, las pantallas de visión sintética también pueden visualizar otras referencias situadas en el suelo, tales como, por ejemplo, las pistas de aterrizaje en los aeropuertos. Para poder visualizar en la PVP las pistas de aterrizaje en sus posiciones y elevaciones apropiadas, la PVP a menudo consulta una base de datos adicional que incluye datos de aeropuertos que definen la posición, la elevación y otras características de aeropuertos y sus pistas de aterrizaje asociadas. La PVP usa estos datos para reproducir imágenes en la pantalla de 40 PVP que se aproximan al aspecto real de las pistas de aterrizaje que ve el piloto cuando el piloto mira a través del parabrisas delantero. Los datos de las pistas de aterrizaje normalmente proceden de una fuente diferente a los datos del terreno. Por ejemplo, los datos de las pistas de aterrizaje pueden ser el resultado de un reconocimiento cartográfico manual de cada pista de aterrizaje de un aeropuerto. Con independencia de la fuente de los datos de las pistas de aterrizaje, los datos de las pistas de aterrizaje pueden incluir información de elevación de las pistas de aterrizaje que no se corresponda con los datos de altura del terreno, o que se midió en lugares diferentes que las 45 medidas de los datos de altura del terreno.

El documento US-2007/0.005.199 divulga un sistema de visualización de una aeronave que incluye una unidad de procesamiento, un sistema de navegación, una base de datos para almacenar datos del terreno de alta resolución, un generador de visualización gráfica y una pantalla de visualización. A bordo hay una o más bases de datos de alta 50 precisión independientes con datos de posición localizados, tales como datos de navegación o datos de posición. Antes de visualizar los objetos del terreno y de navegación (por ejemplo, pistas de aterrizaje) se realiza una corrección y un aumento en tiempo real de los datos del terreno basándose en datos a bordo de alta precisión, aunque localizados, tales como datos de los objetos de navegación, datos de sensores o datos cargados desde 55 estaciones terrestres. Cuando existan discrepancias, los datos del terreno que tienen menor integridad pueden corregirse en tiempo real usando datos de una fuente que tiene datos de mayor integridad.

RESUMEN DE LA INVENCION

60 La presente invención proporciona un procedimiento y un sistema para reproducir pistas de aterrizaje en una pantalla de aeronave equipada con visión sintética, tal como, pero sin limitarse a, una pantalla de vuelo primaria, de una forma que proporciona una imagen en tres dimensiones de la pista de aterrizaje sin artefactos visuales sustanciales. El sistema y el procedimiento fusionan los datos de una base de datos del terreno y una base de datos

del aeropuerto de manera que las imágenes resultantes generadas de los datos del terreno y el aeropuerto muestran la pista de aterrizaje que se corresponde con el terreno. Dicha fusión puede implicar una conciliación de datos contradictorios y/o la generación de datos nuevos, y dicha fusión permite a la PVP visualizar representaciones en tres dimensiones de la pista de aterrizaje y el terreno adyacente de una forma que refleja mejor el terreno y la pista de aterrizaje reales.

5
10 Un aspecto de la invención proporciona un procedimiento de visualización de una pista de aterrizaje en la pantalla de una aeronave de una forma tridimensional de acuerdo con la reivindicación 1. El procedimiento incluye la recepción de información sobre la altura de la pista de aterrizaje; la recepción de información sobre la altura de al menos un punto del terreno cerca de la pista de aterrizaje; el uso de la altura de la pista de aterrizaje para determinar un plano; el uso del plano para determinar una altura ajustada para el punto del terreno cerca de la pista de aterrizaje; la visualización de la pista de aterrizaje; y la visualización del terreno en el al menos un punto del terreno para que tenga la altura ajustada.

15 Se proporciona un procedimiento de visualización de una pluralidad de pistas de aterrizaje de forma tridimensional en la pantalla de una aeronave. El procedimiento incluye la recepción de información sobre la posición de una primera pista de aterrizaje en un aeropuerto; la recepción de información sobre la posición de una segunda pista de aterrizaje en el aeropuerto; la determinación de si las pistas de aterrizaje primera y segunda están situadas a una distancia umbral entre sí; y la visualización de las dos pistas de aterrizaje primera y segunda en la pantalla de la aeronave como situadas en un plano común si están dentro de la distancia umbral entre sí.

20 Se proporciona un sistema para visualizar imágenes en tres dimensiones del terreno y las pistas de aterrizaje en la pantalla de una aeronave. El sistema incluye una pantalla, una memoria y un controlador. La pantalla visualiza imágenes que puede ver el piloto. La memoria incluye datos que definen una primera altura de una pista de aterrizaje en una primera posición y una segunda altura de la pista de aterrizaje en una segunda posición. La memoria también incluye datos que definen una pluralidad de alturas para una pluralidad de puntos del terreno. El controlador está en comunicación con la pantalla y la memoria y está adaptado para determinar un plano que usa las alturas primera y segunda de la pista de aterrizaje. El controlador proyecta el plano en un conjunto de la pluralidad de puntos del terreno y genera imágenes en tres dimensiones de la pista de aterrizaje y del conjunto de puntos del terreno para su visualización en la pantalla. Las imágenes representan la pista de aterrizaje y el conjunto de puntos del terreno como coplanarios.

25 Un segundo aspecto de la invención proporciona un sistema para visualizar imágenes en tres dimensiones del terreno y las pistas de aterrizaje en la pantalla de una aeronave de acuerdo con la reivindicación 13. El sistema incluye una pantalla para visualizar imágenes, una memoria y un controlador. La memoria contiene primeros datos que definen la posición de una primera pista de aterrizaje y segundos datos que definen la posición de una segunda pista de aterrizaje. El controlador está en comunicación con la pantalla y la memoria. El controlador determina si la primera pista de aterrizaje y la segunda pista de aterrizaje están situadas a una distancia umbral entre sí. El controlador genera también imágenes en tres dimensiones de las pistas de aterrizaje primera y segunda para su visualización en la pantalla. Las imágenes representan las pistas de aterrizaje primera y segunda como situadas en un plano común si las pistas de aterrizaje primera y segunda están dentro de la distancia umbral entre sí.

30 La información de altura recibida para cada pista de aterrizaje puede incluir al menos dos valores de altura, uno para una primera posición en la pista de aterrizaje, y otro para una segunda posición en la pista de aterrizaje. Si hay múltiples pistas de aterrizaje dentro de la distancia umbral entre sí, todos los múltiples valores de altura para cada pista de aterrizaje pueden usarse en la determinación del plano. La determinación del plano puede realizarse usando un método de mínimos cuadrados que se basa en los valores de altura para cada una de las pistas de aterrizaje. Alternativamente pueden usarse otros métodos matemáticos para determinar un plano de la pluralidad de valores de altura de las pistas de aterrizaje. El sistema puede recibir valores de altura del terreno para una pluralidad de puntos del terreno y ajustar al menos algunos de los valores de altura de estos puntos del terreno usando una proyección del plano. El sistema puede definir también una pluralidad de triángulos usando los puntos del terreno como vértices de los triángulos, determinar si alguna de las pistas de aterrizaje está situada dentro de alguno de los triángulos, y para aquellos triángulos en los que se sitúa la pista de aterrizaje, usar el plano para definir alturas ajustadas para los tres vértices de aquellos triángulos en los que se encuentra la pista de aterrizaje. A continuación se visualiza el terreno que tiene las alturas ajustadas en la pantalla de forma tridimensional.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

60 La FIG. 1 es un diagrama de bloques de un sistema de visualización de aviónica de acuerdo con una primera realización; la FIG. 2 es una imagen de visión sintética ilustrativa que muestra el terreno y una pista de aterrizaje que puede visualizarse en la pantalla del sistema de visualización de la FIG. 1; la FIG. 3 es un diagrama de vista en planta de un conjunto ilustrativo de puntos de datos del terreno y una pista de

aterrizaje;

la FIG. 4 es un diagrama de vista en planta de otro conjunto ilustrativo de puntos de datos del terreno y una pluralidad de pistas de aterrizaje;

5 la FIG. 5 es un diagrama en perspectiva de una pluralidad de pistas de aterrizaje ilustradas con respecto a un plano que se calcula a partir de múltiples puntos de datos de pistas de aterrizaje;

la FIG. 6 es un organigrama que ilustra una realización de un procedimiento para visualizar una o más pistas de aterrizaje en la pantalla de una aeronave; y

las FIG. 7A-7C son vistas en planta de varias disposiciones ilustrativas de pistas de aterrizaje que muestran el modo en que el sistema de visualización puede agrupar las pistas de aterrizaje.

10

DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LAS REALIZACIONES

En la FIG. 1 se representa en un formato de diagrama de bloques un sistema de visualización de aviónica (20) de acuerdo con una primera realización. En la realización aquí mostrada, el sistema de visualización (20) incluye una unidad de visualización (22) dentro de la cual se contiene un controlador (24), un procesador gráfico (26), una pantalla (28) y una memoria (30). La unidad de visualización (22) puede tomar una amplia variedad de formas diferentes. En al menos una realización, la unidad de visualización (22) es una pantalla de vuelo primaria. En otras realizaciones, la unidad de visualización (22) puede ser una pantalla multifunción, una bolsa de vuelo electrónica o cualquiera de entre una diversidad de otros tipos de pantallas de aviónica en las que es conveniente visualizar imágenes en tres dimensiones de las pistas de aterrizaje y del terreno. Los expertos en la técnica entenderán también que los componentes mostrados en la FIG. 1 como situados físicamente dentro de la unidad de visualización (22) pueden cambiarse a posiciones físicas diferentes. Por ejemplo, la memoria (30) puede estar situada fuera de la unidad de visualización (22) en cualquier posición conveniente siempre que el controlador (24) tenga acceso al contenido de la memoria (30). De forma similar, el controlador (24) puede estar situado parcial o totalmente fuera de la unidad de visualización (22). Pueden implementarse también otras variaciones a la posición física de los componentes de la unidad de visualización (22).

La unidad de visualización (22) está adaptada generalmente para visualizar en la pantalla (28) imágenes de visión sintética del terreno y diversas referencias en torno a la posición actual de la aeronave. Por ejemplo, la FIG. 2 ilustra una parte de una captura de pantalla (32) que puede visualizarse en la pantalla (28) de la unidad de visualización (22). Como puede verse en la FIG. 2, la captura de pantalla (32) incluye una imagen en tres dimensiones de una pista de aterrizaje (34) y el terreno circundante (36). La pista de aterrizaje (34) y el terreno (36) se visualizan en la pantalla (28) de tal forma que la vista presentada en la pantalla (28) tiene un aspecto en tres dimensiones. Además, como se sabe en la técnica, la vista en tres dimensiones del terreno (36) y la pista de aterrizaje (34) se actualiza repetitivamente varias veces en un segundo con el fin de tener en cuenta el movimiento de la aeronave. Así, la reproducción del terreno (36) en la pantalla (28) se actualiza continuamente con el fin de proporcionar imágenes que en general se corresponden con las visiones reales del terreno que vería un piloto si mirara al otro lado del parabrisas delantero de la aeronave a medida que la aeronave se mueve. Por ejemplo, si el piloto estuviera volando sobre una región montañosa, el terreno (36) de la captura de pantalla (32) se reproduciría en la pantalla (28) de una forma que se correspondería generalmente con los contornos de las montañas reales sobre las cuales estaba volando la aeronave. Por otra parte, si la aeronave estuviera volando en la actualidad sobre un terreno generalmente llano, la imagen del terreno (36) en la captura de pantalla (32) se reproduciría de tal forma que el terreno aparecería llano.

El controlador (24) del sistema de visualización (20) puede comprender uno o más microprocesadores, matrices de puertas programables de campo, microcontroladores, sistemas en chip y/o cualesquiera otros circuitos electrónicos capaces de realizar las funciones descritas en la presente memoria descriptiva, tal como conocerían los expertos en la técnica. Si el controlador (24) comprende dos o más componentes discretos, la posición física de los componentes respectivamente entre sí es insustancial. Es decir, por ejemplo, las partes del controlador (24) (como un primer microprocesador) podrían estar contenidas dentro de la unidad de visualización (22) mientras que otras partes (como un segundo procesador) podrían estar situadas fuera de la unidad de visualización (22). Alternativamente, el controlador (24) podría estar situado completamente fuera de la unidad de visualización (22). El término "controlador" pretende referirse por tanto a cualquier tipo diferente de circuitos electrónicos que sea capaz de efectuar los algoritmos descritos en la presente memoria descriptiva, ya sea implementado como un componente individual o como múltiples componentes.

Tal como se ilustra también en la FIG. 1, la unidad de visualización (22) incluye un procesador gráfico (26), que puede ser un procesador gráfico convencional ya preparado capaz de generar imágenes en la pantalla (28) en respuesta a las instrucciones recibidas del controlador (24). Aunque el procesador gráfico (26) se representa en la FIG. 1 como una entidad físicamente separada del controlador (24), los expertos en la técnica entenderán que el término "controlador," tal como se usa en la presente memoria descriptiva, es suficientemente amplio para que, en al menos una realización, el procesador gráfico (26) pueda considerarse un componente del controlador (24). Así, si bien la FIG. 1 ilustra el controlador (24) como separado físicamente del procesador gráfico (26), se trata solamente

60

de una ilustración de un ejemplo de la configuración de sistema de visualización (20). De hecho, un procesador gráfico separado (26) no es un componente necesario de la unidad de visualización (22). En al menos algunas realizaciones, el controlador (24) podría manipular la imagen visualizada en la pantalla (28) sin el uso de un procesador gráfico separado (26). Alternativamente, podría programarse un único microprocesador para ejecutar tanto los algoritmos de cómputo como los procesos de visualización descritos en la presente memoria descriptiva. Son posibles también otras variantes.

La pantalla (28) puede ser un dispositivo de visualización convencional de pantalla de cristal líquido (LCD), pantalla de plasma o cualquier otro tipo de pantalla en el que pueden visualizarse imágenes gráficas. La memoria (30) puede almacenar las instrucciones usadas por el controlador (24) en la ejecución de los algoritmos descritos en la presente memoria descriptiva. Alternativamente, las instrucciones seguidas por el controlador (24) podrían almacenarse en una memoria separada. La memoria (30) puede comprender memoria de acceso aleatorio (RAM), memoria de sólo lectura (ROM), memoria flash o uno o más tipos diferentes de memoria electrónica portátil, tales como discos, DVD, CD-ROM, etc., o cualquier combinación adecuada de estos tipos de memoria. La memoria (30) está en comunicación electrónica con el controlador (24) de manera que el controlador (24) puede leer los datos contenidos en la memoria (30) así como escribir datos en la memoria (30), si se desea. El controlador (24) está también en comunicación con el procesador gráfico (26) que, a su vez, está en comunicación con la pantalla (28). El controlador (24) es capaz por tanto de dictar las imágenes que se visualizan en la pantalla (28) a través de las instrucciones emitidas desde el controlador (24) al procesador gráfico (26). Tal como se describirá en más detalle más adelante, las instrucciones desde el controlador (24) al procesador gráfico (26) en relación con las imágenes que se visualizarán en la pantalla (28) pueden basarse en la información contenida en la memoria (30).

Tal como se ilustra en la FIG. 1, la memoria (30) incluye una base de datos del terreno (38) y una base de datos de pistas de aterrizaje (40). La base de datos del terreno (38) incluye un conjunto de datos que identifica la altura del terreno terrestre para una pluralidad de puntos. Dichas bases de datos del terreno (38) están disponibles comercialmente en múltiples fuentes. En algunas realizaciones, la base de datos del terreno (38) puede estar contenida en un dispositivo portátil de memoria flash, tal como una tarjeta Secure Data (SD), una tarjeta Compact Flash u otro dispositivo portátil de memoria flash. En tal caso, la unidad de visualización (22) puede incluir un puerto para recibir el dispositivo portátil de memoria flash. Dicho puerto estaría en comunicación electrónica con el controlador (24) de manera que el controlador (24) sea capaz de leer el contenido del dispositivo portátil de memoria flash. Alternativamente, el contenido de la base de datos del terreno (38) puede almacenarse internamente en la unidad de visualización (22),

Con independencia de la posición física de la base de datos del terreno (38), el contenido de la base de datos del terreno incluye valores de altura correspondientes a una pluralidad de diferentes posiciones en la tierra. Por ejemplo, la base de datos del terreno (38) puede incluir valores de altura en cada una de una pluralidad de coordenadas de latitud y longitud. Se ilustra un ejemplo de ello en la FIG. 3. La FIG. 3 muestra una pluralidad de puntos del terreno (42) representados como pequeños círculos. Cada punto del terreno (42) está definido por un valor de latitud, un valor de longitud y un valor de altura. Así, por ejemplo, punto del terreno (42a) podría estar situado a 45° de latitud norte, 45° de longitud oeste y a una altura de 500 pies. El punto del terreno (42b) identifica la altura del terreno a una latitud y longitud diferentes. En al menos una realización, la separación entre los puntos del terreno (42) puede ser de aproximadamente seis segundos de arco. Así, el punto del terreno (42b) podría estar situado seis segundos de arco al norte del punto del terreno (42a). De forma similar, el punto del terreno (42c) podría estar situado aproximadamente seis segundos de arco al oeste del punto del terreno (42b). La separación entre los puntos del terreno (42) dependerá de la resolución de los datos contenida en la base de datos (38), y puede variar de una fuente comercial a otra. Los expertos en la técnica entenderán, naturalmente, que la separación entre los puntos del terreno (42) puede modificarse sin cambiar los principios de funcionamiento descritos en la presente memoria descriptiva.

La altura almacenada para cada uno de los puntos del terreno (42) en la base de datos del terreno (38) puede ser un valor de altura que se especifica con respecto a cualquier referencia conocida. En una realización, el valor de altura puede corresponderse con una altura por encima del geoide, el elipsoide de referencia, el nivel medio del mar, el centro de la Tierra, un marco de referencia definido de acuerdo con el Sistema Geodésico Mundial (por ejemplo, WGS84, EGM 1996, EGM 2008, etc.), o cualquier otro marco de referencia de coordenadas útil. La base de datos del terreno (38) puede incluir además una indicación para cada punto del terreno (42) de manera que dicho punto se corresponda o no con una posición en la tierra que normalmente está bajo el agua. Esto permite que el sistema de visualización de visión sintética visualice lagos, ríos, océanos y similares de una forma diferente al terreno no ribereño. También pueden usarse otras modalidades para distinguir entre un terreno terrestre y un terreno acuático en conjunción con la base de datos del terreno (38).

La base de datos de pistas de aterrizaje (40) contiene múltiples fragmentos de información sobre las pistas de aterrizaje sobre una región geográfica en particular. Por ejemplo, la base de datos de pistas de aterrizaje (40) puede contener información de pistas de aterrizaje para toda Norteamérica, una parte de Norteamérica, todo el mundo u

5 otras zonas geográficas. La información en la base de datos de pistas de aterrizaje (40) está disponible comercialmente en distintas fuentes. A menudo, pueden realizarse actualizaciones en la base de datos (40) de una forma periódica, por ejemplo, una vez al mes, o con otras frecuencias, con el fin de tener en cuenta los cambios y/o añadidos en las pistas de aterrizaje existentes. Al igual que la base de datos del terreno (38), la base de datos de pistas de aterrizaje (40) puede almacenarse en la memoria interna de la unidad de visualización (22) o

10 Con independencia de la forma en que se almacene la base de datos de pistas de aterrizaje (40), la base de datos de pistas de aterrizaje (40) incluye generalmente múltiples fragmentos de información sobre cada una de las pistas de aterrizaje almacenados en la misma. Dicha información puede incluir las coordenadas de latitud y longitud de uno o más puntos de contacto (44), así como la elevación para cada uno de los puntos de contacto (44) (FIG. 3). La base de datos de pistas de aterrizaje (40) incluye además datos que identifican la anchura de la pista de aterrizaje, la longitud de la pista de aterrizaje, el rodamiento de la pista de aterrizaje, y cualquier distancia de desplazamiento (48) de los puntos de contacto (44) con respecto al punto de extremo más cercano (60) de la pista de aterrizaje.

15 Tal como se indicó anteriormente, la fuente de los datos de elevación en la base de datos de pistas de aterrizaje (40) pueden proceder de reconocimiento cartográfico manual de las pistas de aterrizaje. Como también se indicó anteriormente, la información de elevación contenida en la base de datos del terreno (38) puede proceder de medidas realizadas por uno o más satélites, y/o uno o más vuelos de transbordadores espaciales. Con independencia de la fuente concreta de estas dos bases de datos, los datos de elevación de las pistas de aterrizaje de base de datos (40) y los datos del terreno de la base de datos (38) pueden no coincidir. Esto puede deberse a varios factores. En primer lugar, las diferentes formas en que se miden los datos de elevación para las dos bases de datos pueden conducir a resultados diferentes. En segundo lugar, las coordenadas de latitud y longitud de los puntos de contacto de las pistas de aterrizaje (44) raramente coincidirán, si es que lo hacen, con las coordenadas de latitud y longitud de los puntos del terreno (42). Así, los datos de elevación almacenados en la base de datos (40) se referirán normalmente a la elevación en posiciones específicas (coordenadas de latitud y longitud) que son diferentes de las posiciones específicas (coordenadas de latitud y longitud) de la base de datos del terreno (38). Otros factores más pueden producir una discrepancia o falta de correspondencia entre los datos de elevación de la base de datos (40) y los datos de elevación de la base de datos (38).

20 A no ser que se adopten pasos preventivos, las diferencias en los datos de elevación almacenados en las bases de datos (38) y (40), así como las diferencias en las posiciones de los valores de elevación, pueden producir artefactos visuales que se crean en la pantalla (28) cuando se visualiza una o más pistas de aterrizaje (34) y el terreno circundante (36). Un ejemplo de dicha posible discrepancia puede comprenderse mejor con respecto a la FIG. 3. Supóngase, por ejemplo, que los dos puntos de contacto (44) de la pista de aterrizaje (34) tenían una elevación de 50 (las unidades pueden ser arbitrarias) de acuerdo con los datos contenidos en la base de datos de pistas de aterrizaje (40). Supóngase además que el punto del terreno (42e) tenía una elevación de 30 (en las mismas unidades) de acuerdo con los datos contenidos en la base de datos del terreno (38). Si el sistema de visualización de aviónica tuviera que visualizar el terreno en el punto (42e) a una altura de (30), mientras visualiza también toda la pista de aterrizaje (34) a una altura de 50, la pista de aterrizaje parecería tener 20 unidades por encima del terreno en el punto (42e). Claramente, se trataría de un artefacto visual no deseable. El sistema de visualización de aviónica (20) procesa los datos de las bases de datos (38) y (40) de tal manera que los artefactos visuales, como el descrito anteriormente, se reducen o se eliminan.

25 La forma en que el sistema de visualización de aviónica (20) evita la posibilidad de artefactos visuales puede entenderse mejor con referencia a la FIG. 4. La FIG. 4 ilustra una disposición arbitraria de tres pistas de aterrizaje (34) en un aeropuerto. En general, el sistema de visualización (20) asegura que las pistas de aterrizaje se visualicen en la pantalla (28) como coplanarias con el terreno subyacente y adyacente. En general, el sistema de visualización (20) usará la información de elevación para las pistas de aterrizaje para calcular un plano, y después ajustar las alturas, si fuera necesario, del terreno adyacente de manera que las elevaciones del terreno adyacente sean coplanarias con el plano calculado. A continuación se describirán detalles adicionales de las etapas adoptadas para conseguir este resultado en relación con las FIG. 4-6.

30 El procedimiento de visualización (46) incluye múltiples etapas que son realizadas por el controlador (24), y la forma en que el procesador, u otra u otras estructuras, del controlador (24) podría programarse para realizar estas etapas estará comprendido en el nivel de conocimientos del programador experto en la técnica conjuntamente con las descripciones proporcionadas en la presente memoria descriptiva. La FIG. 6 ilustra un procedimiento de visualización (46) que puede ser implementado por el sistema de visualización (20). El procedimiento de visualización (46) comienza en una primera etapa A en la que controlador (22) lee la información de la pista de aterrizaje de la base de datos de pistas de aterrizaje (40) para cualquier pista de aterrizaje que debe visualizarse en la pantalla (28). Como se observó anteriormente, esta información de pistas de aterrizaje incluirá normalmente las

- 5 coordenadas de latitud y longitud de dos puntos de contacto (44) para cada pista de aterrizaje (34). Además, esta información incluirá la elevación de cada uno de los puntos de contacto (44). Adicionalmente, la información de pistas de aterrizaje incluirá también la anchura de la pista de aterrizaje, la dirección de la pista de aterrizaje y cualquier desplazamiento (48) de los puntos de contacto (44) desde el extremo más cercano (60) de la pista de aterrizaje. La información leída por el controlador (24) en la etapa A del procedimiento (46) es suficiente para que el controlador (24) calcule la forma y el tamaño de la pista de aterrizaje (34) correspondiente. El controlador (24) realiza estos cálculos en la etapa B. El resultado de estos cálculos es la definición de un rectángulo que tiene las dimensiones de la pista de aterrizaje real y que tiene la posición geográfica correcta como pista de aterrizaje real.
- 10 En la etapa C, el controlador (24) determina si en la actualidad se mostrará alguna pista de aterrizaje adicional en la pantalla (28) del sistema de visualización (20). Esta determinación se realiza basándose en la posición actual de la aeronave, la orientación actual de la aeronave y la elección del diseñador de para cuánta distancia delante de la aeronave representará el sistema sintéticamente las imágenes de terreno y/o las pistas de aterrizaje. Estos factores definirán el tamaño y la posición de la zona geográfica que se visualizará en la pantalla (28). Después de la determinación de esta zona geográfica, el controlador (24) busca en la base de datos de pistas de aterrizaje (40) todas las pistas de aterrizaje dentro de esta zona geográfica. En algunas realizaciones, el controlador (24) puede buscar en un área mayor que la zona geográfica mostrada actualmente con el fin de permitir, si fuera conveniente, un procesamiento anticipado que se realizará para reproducir la pista de aterrizaje en la pantalla (28) antes de que la pista de aterrizaje entre en la visión de la pantalla (28). En la captura de pantalla de ejemplo de la FIG. 2, existe una única pista de aterrizaje (34) visible. Así, para la situación representada en la FIG. 2, el controlador (24) determinaría en la etapa C que no había más pistas de aterrizaje para representar, y entonces avanzaría a la etapa F del procedimiento (46). En cambio, si la aeronave estuviera en una posición y orientación en la que se visualizaran múltiples pistas de aterrizaje en la pantalla (28), el controlador (24) avanzaría de la etapa C a la etapa D.
- 25 En la etapa D, el controlador (24) determina si para todas las múltiples pistas de aterrizaje que se visualizarán en la pantalla (28) se habían calculado la forma rectangular y los tamaños en las etapas A y B. Si no fuera así, el control se devolvería a las etapas A y B y el controlador (24) procedería a calcular el tamaño y la forma de una de las pistas de aterrizaje cuyo tamaño y cuya forma no hubieran sido calculados todavía. A partir de este momento, el controlador (24) avanza de la etapa C a la etapa D y determina de nuevo si los tamaños y formas de todas las pistas de aterrizaje han sido calculados en las etapas A y B. Si no fuera así, las etapas A y B se repiten una y otra vez, si fuera necesario, hasta que se hayan determinado los tamaños y formas de todas las múltiples pistas de aterrizaje para visualizar. Una vez que se han determinado estos tamaños y formas, el controlador (24) avanza a la etapa E.
- 30 En la etapa E del procedimiento de visualización (46) (FIG. 6), el controlador (24) determina si existen pistas de aterrizaje adyacentes entre sí. En otras palabras, después del controlador (24) calcula la forma y el tamaño de las múltiples pistas de aterrizaje, el controlador (24) determina si alguna de estas múltiples pistas de aterrizaje se encuentra dentro de una distancia umbral (66) con respecto a otra (FIG. 7A-7C). La distancia umbral puede variar de una realización a otra. Además, en la distancia umbral (66) puede influir la magnitud de la distancia entre los puntos del terreno (42) en la base de datos del terreno (38). Más específicamente, si la distancia entre los puntos del terreno (42) es menor, la distancia umbral puede ser menor, y a la inversa. En términos generales, la distancia umbral puede elegirse de manera que algunas pistas de aterrizaje fuera de la distancia umbral tengan al menos un triángulo completo (62) (definido por tres puntos del terreno (42) adyacentes como vértices) entre las pistas de aterrizaje, como se abordará más adelante. En al menos una realización, donde los puntos del terreno (42) se proporcionan aproximadamente cada seis segundos de arco, lo que corresponde a aproximadamente 600 pies, la distancia umbral podría establecerse en al menos 800 pies (esta distancia se escoge ligeramente mayor que la longitud de la hipotenusa, 848 pies, de los triángulos rectángulos (62) definidos por lados de 600 pies). Por supuesto, pueden usarse otras distancias umbral.
- 35 La referencia a la distancia umbral (66) se refiere a la distancia entre las periferias rectangulares de un par de pistas de aterrizaje. En otras palabras, si algún punto a lo largo del borde rectangular de una primera pista de aterrizaje (34) se encuentra dentro de la distancia umbral de cualquier punto a lo largo del borde rectangular de una segunda pista de aterrizaje (34), entonces se considera que las dos pistas de aterrizaje están dentro de la distancia umbral entre sí. La determinación de si dos o más pistas de aterrizaje se encuentran dentro de la distancia umbral entre sí puede realizarse usando técnicas matemáticas y algoritmos conocidos.
- 40 Después de la determinación de si un par de pistas de aterrizaje se encuentra dentro de la distancia umbral entre sí en la etapa E, el controlador (24) asignará también estas dos pistas de aterrizaje a un primer grupo en la etapa E si están dentro de la distancia umbral entre sí. Si sucede así, el controlador (24) determinará si alguna de las otras pistas de aterrizaje procesadas en las etapas A y B se encuentra dentro de la distancia umbral de este primer grupo. Se considera que una pista de aterrizaje está dentro de una distancia umbral de un grupo de pistas de aterrizaje si la pista de aterrizaje se encuentra dentro de la distancia umbral de al menos una de las pistas de aterrizaje dentro del grupo. Si alguna pista de aterrizaje se encuentra dentro de la distancia umbral del primer grupo, dicha pista de aterrizaje se añade también al primer grupo. El resultado es que el primer grupo estará formado por el conjunto

completo de pistas de aterrizaje en el que cada pista de aterrizaje dentro del conjunto se encuentra dentro de la distancia umbral de al menos otra pista de aterrizaje en el conjunto.

En las FIG: 7A-7C se muestran varios ejemplos que ilustran la forma en que el controlador (24) agrupa las pistas de aterrizaje. Cada una de estas figuras ilustra una disposición arbitraria de pistas de aterrizaje (34). Para cada pista de aterrizaje (34), se muestra una línea de frontera (64) correspondiente alrededor de la pista de aterrizaje (34). La línea de frontera (64) delimita la distancia umbral (66) desde el borde más cercano de la pista de aterrizaje (34) correspondiente. La línea de frontera (64) define y confina por tanto toda el área situada dentro de la distancia umbral de su pista de aterrizaje correspondiente. El controlador (24) agrupará por tanto dos pistas de aterrizaje si la línea de fronteras de una de las pistas de aterrizaje se superpone con al menos una parte de la otra pista de aterrizaje. Por ejemplo, en la FIG. 7A, el controlador (24) agrupará la pista de aterrizaje (34a) con la pista de aterrizaje (34c) dado que la línea de frontera (64) que rodea a la pista de aterrizaje (34a) se superpone con una parte de pista de aterrizaje (34c). Mirado desde otro punto de vista, el controlador (24) agrupará la pista de aterrizaje (34a) y la pista de aterrizaje (34c) dado que la línea de frontera (64) de pista de aterrizaje (34c) se superpone con una parte de pista de aterrizaje (34a). El controlador (24) agrupará también la pista de aterrizaje (34b) junto con las pistas de aterrizaje (34a) y (34c) dado que la frontera (64) alrededor de la pista de aterrizaje (34b) se superpone con la pista de aterrizaje (34c). Aunque las pistas de aterrizaje (34a) y (34b) no se superponen entre sí, ni sus fronteras respectivas (64) se superponen una con otra, siguen formando parte del mismo grupo dado que están agrupadas con la pista de aterrizaje (34c).

La FIG. 7B ilustra otro ejemplo ilustrativo de una configuración arbitraria de pistas de aterrizaje (34) de aeropuerto. En este ejemplo, el controlador (24) no agrupará ninguna de las pistas de aterrizaje (34d, 34e o 34f) dado que ninguna de las pistas de aterrizaje se encuentra dentro de la distancia umbral (66) de otra. Dicho de otra forma, aunque la frontera (64) de pista de aterrizaje (34e) se superpone con la frontera (64) de la pista de aterrizaje (34f), ninguna de las fronteras se superpone con ninguna de las pistas de aterrizaje en sí. Así, en el ejemplo de la FIG. 7B, el controlador (24) asignaría cada una de las pistas de aterrizaje (34d-f) a un grupo separado, donde cada grupo consistía en una única pista de aterrizaje.

En el ejemplo mostrado en la FIG. 7C, el controlador (24) agruparía las cuatro pistas de aterrizaje (34g), (34h), (34i), y (34j) en un único grupo dado que todas estas pistas de aterrizaje están relacionadas conjuntamente entre sí. Es decir, todas y cada una de las pistas de aterrizaje del grupo están situadas dentro de la distancia umbral del subgrupo que contiene el resto de las pistas de aterrizaje en el grupo.

La FIG. 4 ilustra otro ejemplo de la agrupación de pistas de aterrizaje. En este ejemplo, las pistas de aterrizaje #1 y #2 se agrupan conjuntamente. Estas dos pistas de aterrizaje se agrupan conjuntamente debido a que se superponen, y por tanto están dentro de la distancia umbral entre sí. La pista de aterrizaje #3 de la FIG. 4 se asigna a su propio grupo (grupo 2 en la FIG. 4) dado que se encuentra fuera de la distancia umbral de las pistas de aterrizaje #1 y #2, y no se sitúa dentro de la distancia umbral de ninguna otra pista de aterrizaje. Como se expondrá en más detalle más adelante, las pistas de aterrizaje del grupo 1 se procesarán de forma separada de las pistas de aterrizaje del grupo 2.

Al realizar los cálculos de la distancia umbral y la posterior agrupación de las pistas de aterrizaje en la etapa E del procedimiento (46), el controlador (24) puede programarse, al menos en algunas realizaciones, de manera que funcione con la suposición de que las pistas de aterrizaje en diferentes aeropuertos se sitúen siempre fuera de la distancia umbral de las pistas de aterrizaje de otros aeropuertos. Por tanto, para evitar cargar al controlador (24) con cálculos innecesarios, el controlador (24) puede programarse de manera que no realice cálculos de la distancia umbral de pistas de aterrizaje entre aeropuertos, sino sólo cálculos de distancia umbral de pistas de aterrizaje dentro de un aeropuerto. Así, por ejemplo, si un piloto estuvieran volando en una posición y orientación en la que, por ejemplo, el aeropuerto O'Hare de Chicago y el aeropuerto de Midway se mostraran en la pantalla (28), el controlador (24) podría programarse de manera que no verificara si alguna de las pistas de aterrizaje del aeropuerto de Midway estuviera dentro de la distancia umbral (66) de alguna de las pistas de aterrizaje del aeropuerto de O'Hare. En su lugar, el controlador (24) podría programarse para determinar la agrupación de pistas de aterrizaje en O'Hare y después, de forma separada, determinar la agrupación de pistas de aterrizaje en Midway, o a la inversa.

En una realización alternativa, el sistema de visualización (20) podría configurarse para preprocesar los datos en la base de datos de pistas de aterrizaje (40) de tal forma que la agrupación de pistas de aterrizaje se determinara antes del vuelo. Así se reduciría la carga computacional en el controlador (24) y se permitiría al controlador (24) omitir la etapa E. El sistema de visualización (20) podría modificarse adicionalmente para precalcular también las formas y tamaños de las pistas de aterrizaje antes del vuelo, con lo que se eliminaría la etapa B del procedimiento (46). Los resultados de alguno o de todos estos cálculos antes del vuelo podrían almacenarse en la memoria (30) para su uso a lo largo de la vida del sistema de visualización (20), o al menos durante el periodo de tiempo en el cual la base de datos de pistas de aterrizaje (40) sigue siendo válida (es decir, no caduca). Alternativamente, la base de datos (40) podría alterarse para incluir estos cálculos de antes de vuelo.

En la etapa F, el controlador (24) procesa cada uno de los grupos de pistas de aterrizaje calculando un plano (50). El plano calculado puede ser un plano de ajuste óptimo, o puede ser otro tipo de plano. El plano se calcula basándose en la información de pistas de aterrizaje proporcionada por la base de datos de pistas de aterrizaje (40). Un ejemplo de dicho plano (50) se ilustra en la FIG. 5.

La FIG. 5 ilustra tres pistas de aterrizaje (34) que se superponen y que por tanto son agrupadas conjuntamente por el controlador (24) en la etapa E. En cada extremo de cada una de las pistas de aterrizaje (34) se define un punto de datos de elevación (52). Los puntos de datos de elevación (52) pueden proceder de varias fuentes. En una realización, los puntos de datos de elevación (52) pueden proporcionarse directamente desde la base de datos de pistas de aterrizaje (40). En una realización alternativa, la base de datos de pistas de aterrizaje (40) puede proporcionar las elevaciones de los puntos de contacto (44) y el controlador (24) puede calcular los puntos de datos de elevación (52) en los extremos de las pistas de aterrizaje usando la elevación de puntos de contacto (44) y las distancias de desplazamiento (48), si existieran. En otra realización más, los puntos de datos de elevación (52) pueden ser los mismos que los puntos de contacto (44) y pueden ser proporcionados por la base de datos de pistas de aterrizaje (40) (es decir, los desplazamientos (48) pueden ser cero en el ejemplo de la FIG. 5). Los puntos de datos de elevación (52) pueden proceder también de otras fuentes.

Cada punto de datos de elevación (52) en la FIG. 5 incluye al menos tres coordenadas que son definidas por un marco de referencia (54). Como puede verse en la misma, los puntos de datos (52) se definen en un marco de referencia (54) que tiene un eje x, un eje y y un eje z. En una realización, el eje x y el eje y pueden corresponder a líneas de latitud y longitud, respectivamente, o a la inversa. En otras realizaciones, los ejes x e y pueden estar correlacionados con otras referencias geográficas. Con independencia de la definición precisa de los ejes x e y, pueden definirse de manera que el controlador (24) puede correlacionarlos en una posición específica sobre la Tierra.

Tal como puede observarse adicionalmente en la FIG. 5, el marco de referencia de coordenadas (54) incluye un eje z. El eje z se extiende en la dirección vertical. Así, el valor de la coordenada z proporciona una indicación de la elevación de cada uno de los puntos de datos (52). Como se expuso anteriormente, esta elevación puede definirse según cualquiera de varias formas diferentes. A modo de ejemplo, la elevación puede definirse con respecto al nivel medio del mar. En otra realización, las elevaciones pueden definirse como una altura sobre la superficie del geode. En otras realizaciones más, las elevaciones pueden definirse de acuerdo con el Sistema Geodésico Mundial (WGS) 84 estándar, o cualquiera de los estándares WGS pasados o futuros. En otras realizaciones más, esta elevación puede definirse en otros marcos de referencia, o con respecto a otros estándares. En al menos una realización, el controlador (24) puede usar cualquier de marco de referencia de elevación que use la base de datos (40). En la medida en que la base de datos del terreno (38) y la base de datos de pistas de aterrizaje (40) usen diferentes marcos de referencia de coordenadas, diferentes unidades o diferentes estándares para definir las elevaciones, el controlador (24) está programado para convertir una o las dos elevaciones en las bases de datos (38) y (40) en un marco de referencia común o un estándar común con unidades comunes.

Con referencia aún a la FIG. 5, el controlador (24) usa los puntos de datos de elevación (52) para calcular el plano (50) en la etapa F. En al menos una realización, el controlador (24) calcula el plano usando un algoritmo matemático de ajuste óptimo. Dichos algoritmos son conocidos en la técnica y no es necesario describirlos en la presente memoria descriptiva. En un ejemplo, el cálculo del plano puede producir una definición matemática de plano (50) de acuerdo con la fórmula siguiente:

$$z = ax + by + c, \quad (\text{Ec. 1})$$

donde z, x e y se refieren a los valores a lo largo de los ejes z, x e y, respectivamente. El término "ajuste óptimo" se refiere al hecho de que el plano calculado (50) se define de manera que la suma de los errores cuadráticos (70) en la dirección vertical entre el plano y los puntos de datos de elevación (52) se reduce al mínimo (véase FIG. 5). Dicho de otro modo, el cálculo del plano (50) puede usar un algoritmo matemático de mínimos cuadrados. En otras realizaciones, pueden usarse algoritmos diferentes para calcular un plano basándose en los puntos de datos de elevación (52). Dichos algoritmos de cálculo del plano pueden permitir ponderar uno o más de los puntos de datos de elevación (52) con mayor o menor peso que algunos de los otros puntos de datos de elevación (52). Otras realizaciones más pueden usar otras fórmulas para calcular un plano (50) a partir de puntos de datos de elevación (52).

Tal como se observó anteriormente, el controlador (24) calcula un plano (50) para cada grupo de pistas de aterrizaje que se definieron en la etapa F de procedimiento (46) (FIG. 6). En el ejemplo ilustrado en la FIG. 5, existe un único grupo de pistas de aterrizaje. Por tanto, el controlador (24) calculará un único plano (50). En el ejemplo de la FIG. 4, existen dos grupos de pistas de aterrizaje. El primer grupo comprende las pistas de aterrizaje #1 y #2. El segundo grupo incluye la pista de aterrizaje #3. Para el ejemplo ilustrado en la FIG. 4, por tanto, el controlador (24) calculará un primer plano (50) para las pistas de aterrizaje uno y dos y un segundo plano (50) para la pista de aterrizaje tres.

El controlador (24) calculará tantos planos (50) como grupos de pistas de aterrizaje haya que visualizar en la pantalla (28). En otras palabras, dependiendo de la posición y la orientación actuales de la aeronave, el controlador (24) determinará el número de pistas de aterrizaje que se visualizarán en las imágenes de visión sintética en la pantalla (28). A partir del conjunto de pistas de aterrizaje que se visualizarán, el controlador (24) determinará el número de grupos de pistas de aterrizaje de acuerdo con la etapa F del procedimiento (46). Para cada grupo de pistas de aterrizaje, el controlador (24) calculará un plano (50) correspondiente.

En la etapa G del procedimiento de visualización (46), el controlador (24) usa el plano (50) para determinar las elevaciones de los vértices de la pista de aterrizaje (58). El controlador (24) lleva a cabo esta acción primero determinando las dos coordenadas horizontales (por ejemplo x e y) que definen cada uno de los vértices de la pista de aterrizaje (58). Estas coordenadas pueden calcularse a partir de la información almacenada en la base de datos de pistas de aterrizaje (40). Tal como se menciona anteriormente, por ejemplo, la base de datos de pistas de aterrizaje (40) puede definir la posición de puntos de contacto (44), cualquier desplazamiento (48) desde los puntos de contacto (44) a los extremos (60) de la pista de aterrizaje, así como la anchura de la pista de aterrizaje. Usando esta información, las coordenadas horizontales de los vértices (58) pueden determinarse fácilmente usando cálculos matemáticos conocidos. Para determinar las elevaciones en cada uno de los vértices de la pista de aterrizaje (58), el controlador (24) usa la fórmula matemática que define el plano (50). Así, por ejemplo, el controlador (24) introducirá los valores x e y para un vértice de la pista de aterrizaje (58) en particular en la fórmula del plano (como la ecuación 1 anterior), que a continuación producirá una elevación correspondiente para ese vértice (58). La elevación de ese vértice estará situada en el plano (50). El controlador (24) realizará esta tarea para todos los vértices de la pista de aterrizaje (58) dentro de un grupo dado.

En la etapa H del procedimiento de visualización (46), el controlador (24) proyecta cada plano calculado en un subconjunto (56) de puntos del terreno (42). La forma detallada en que el controlador (24) determina qué puntos del terreno (42) están situados en un subconjunto (56) particular se describirá más adelante. Sin embargo, en general, el controlador (24) visualizará todos los puntos del terreno en el subconjunto (56) como situados en el plano (50). Es decir, el controlador (24) ajustará, si fuera necesario, la elevación de los puntos del terreno (42) del subconjunto (56) de manera que se encuentren en el plano (50). Así, todas las pistas de aterrizaje (34) dentro de un grupo dado, junto con todos los puntos del terreno (42) dentro del subconjunto (56) correspondiente, se visualizarán como situadas en un plano común. Por tanto, no habrá discrepancias entre las elevaciones de las pistas de aterrizaje y el terreno adyacente, y las imágenes globales mostradas tendrán las pistas de aterrizaje y el terreno interpretados conjuntamente de una forma ininterrumpida. Así, cuando el controlador (24) visualiza las pistas de aterrizaje y el terreno adyacente en la pantalla (28), no aparecerán artefactos visuales. En su lugar, el piloto verá la pista de aterrizaje y el terreno adyacente como situados dentro de un plano común. Por tanto, aunque la visualización de la visión sintética en la pista de aterrizaje se basará en una información que puede ser ligeramente diferente de las elevaciones reales de una pista de aterrizaje en particular, cualquiera de dichas discrepancias entre los datos de visualización y los datos reales será insignificante. En otras palabras, aunque el procedimiento de visualización (46) puede producir la visualización de una pista de aterrizaje en particular a una altura que difiera de la altura real de la pista de aterrizaje real en tierra, esta diferencia será insignificante, sobre todo cuando se manifiesta en la pantalla (28). El controlador (24) continuará mostrando el terreno (36) de acuerdo con la información de la base de datos del terreno (38) para todos aquellos puntos del terreno (42) que se encuentran fuera de los subconjuntos (56).

Si un grupo en particular de pistas de aterrizaje incluye una única pista de aterrizaje, en cuyo caso se omitieron las etapas D y E del procedimiento (46), entonces el controlador (24) sólo puede tener dos puntos de datos de elevación (52) para la pista de aterrizaje con los que calcular el plano (50). Con el fin de calcular la definición matemática de un plano a partir de sólo dos puntos de datos (52), el controlador (24) puede seleccionar una tercera posición horizontal arbitraria (72) (FIG. 4) para su uso en el cálculo del plano (50). Por ejemplo, para calcular el plano (50) correspondiente a la pista de aterrizaje #3 en la FIG. 4, el controlador (24) podría seleccionar una tercera posición (72) para su uso en la definición de un plano. Las coordenadas horizontales del tercer punto (72) pueden determinarse a partir de los datos suministrados por la base de datos de pistas de aterrizaje (40). Por ejemplo, las coordenadas horizontales del tercer punto (72) podrían determinarse a partir de las coordenadas horizontales del punto de contacto (44), la dirección de pista de aterrizaje #3, y la anchura de pista de aterrizaje #3. Dicha información podría producir las coordenadas horizontales del tercer punto (72) añadiendo un vector horizontal a las coordenadas del punto de contacto adyacente (44), donde la longitud del vector era la mitad de la anchura de la pista de aterrizaje, y la dirección horizontal del vector era perpendicular a la dirección de la pista de aterrizaje (que puede almacenarse en la base de datos (40), o alternativamente podría determinarse a partir de una línea recta que une los puntos de contacto (44)). En una realización, la elevación del tercer punto (72) podría fijarse de manera que fuera la misma que la del punto de contacto adyacente basándose en la suposición de que la pista de aterrizaje real tiene una cantidad insignificante de pendiente desde el lado izquierdo de la pista de aterrizaje al lado derecho. Provisto de dos coordenadas horizontales y una coordenada vertical para el tercer punto (72), junto con información similar para los dos puntos de contacto (44), el controlador (24) tendría suficiente información para calcular el plano (50).

- En la etapa I, el controlador (24) visualiza las pistas de aterrizaje y el terreno que se encuentra en la parte delantera de la posición actual de la aeronave en la pantalla (28) de una forma tridimensional. En la visualización de las pistas de aterrizaje y el terreno en la pantalla (28), el controlador (24) usará las elevaciones del terreno a partir de la base de datos del terreno (38) para todos los puntos del terreno (42) que se encuentran fuera de los subconjuntos (56). En otras palabras, excepto para los puntos del terreno (42) que se encuentran dentro de un subconjunto (56), el controlador (24) visualizará todo el terreno de acuerdo con la información recibida de la base de datos del terreno (42). Para aquellos puntos del terreno (42) situados dentro de un subconjunto (56), el controlador (24) visualizará aquellos puntos del terreno en la pantalla (28) de manera que los puntos del terreno se encuentren dentro de su plano (50) correspondiente. Además, las pistas de aterrizaje (34) se visualizarán en la pantalla (28) de manera que también se encuentren dentro del plano (50) correspondiente. De esta forma, todas las pistas de aterrizaje dentro de un grupo, así como los puntos del terreno del subconjunto (56) correspondiente, se visualizarán como coplanarias. Así se evita cualquier artefacto visual que en caso contrario podría producirse a partir de la información diferente contenida en la base de datos del terreno (38) y la base de datos de pistas de aterrizaje (40).
- La forma en que el controlador (24) crea imágenes en tres dimensiones para su visualización en la pantalla (28) de los datos a partir de las bases de datos (38) y (40), así como las generadas en el procedimiento (46), puede adoptar cualquiera de la diversidad de los diferentes procedimientos conocidos. Dado que dichos procedimientos para la creación imágenes de visión sintética para su visualización en la pantalla (28) son conocidos, no se describirán con mayor detalle en la presente memoria descriptiva. A medida que la aeronave en la que se posiciona el sistema de visualización (20) se mueve, el controlador (24), que está en comunicación con un sistema de navegación (no mostrado), actualizará las imágenes en la pantalla (28) para que se correspondan en general con el paisaje que es visible fuera del parabrisas delantero de la cabina de la aeronave. Si, mientras la aeronave sigue moviéndose, en el ámbito de visualización entran nuevas pistas de aterrizaje (34), el controlador (24) usará el procedimiento de visualización (46) para crear las imágenes que muestran la pista de aterrizaje. Tal como se observó anteriormente, si una pista de aterrizaje que entra en visualización está dentro de una distancia umbral de otra, o si hay más de una pista de aterrizaje, el grupo de pistas de aterrizaje se visualizará de manera que sean coplanarias. Además, como se describió anteriormente, el subconjunto de puntos del terreno inmediatamente adyacente a la pista de aterrizaje, o el grupo de pistas de aterrizaje, también se visualizará como coplanario con la pista de aterrizaje, o el grupo de pistas de aterrizaje.
- A continuación se describirá la forma en que el controlador (24) define los puntos del terreno (42) que están contenidos dentro de un subconjunto (56). El controlador (24) calcula el subconjunto (56) usando cada punto del terreno (42) como un vértice para una pluralidad de triángulos. Se muestran ejemplos de triángulos (62) en las FIG. 2 y 4. Debe observarse que, por motivos de claridad, no todos los puntos del terreno (42) están marcados ni se muestran en las FIG. 2 y 4. Sin embargo, se define un punto del terreno (42) en cada vértice de cada uno de los triángulos (62) mostrados en las mismas. Los triángulos (62) son definidos por puntos del terreno vecinos. Es decir, ninguno de los triángulos (62) comprende ningún punto del terreno (42) en su interior. Al contrario, los únicos puntos del terreno (42) para cada triángulo (62) son aquellos que definen los tres vértices.
- Tal como se observa en la FIG. 4, cada punto del terreno (42) define un vértice para seis triángulos. El controlador (24) calcula el subconjunto (56) para una pista de aterrizaje dada, o un grupo de pistas de aterrizaje, mediante la determinación de todos los triángulos (62) que contienen al menos una superposición parcial con la pista de aterrizaje, o el grupo de pistas de aterrizaje. Así, en la FIG. 4, un primer subconjunto (56a) de puntos del terreno (42) es definido por todos los puntos del terreno (42) dentro de los triángulos sombreados vecinos a las pistas de aterrizaje #1 y #2. Como puede verse en la misma, por ejemplo, el punto del terreno (42f) en la FIG. 4 forma parte del subconjunto (56a) correspondiente al grupo #1 de pistas de aterrizaje dado que conforma el vértice para al menos un triángulo que tiene al menos una superposición parcial con la pista de aterrizaje #2. En cambio, el punto del terreno (42g) de la FIG. 4 no forma parte de ningún subconjunto (56) dado que no es el vértice de ningún triángulo (62) que tiene una superposición parcial con ninguna pista de aterrizaje. La FIG. 4 también ilustra el subconjunto (56b) de los puntos del terreno (42) que corresponden al grupo #2 de pistas de aterrizaje.
- El controlador (24) visualizará los dos grupos de pistas de aterrizaje ilustrados en la FIG. 4 siguiendo el procedimiento de visualización (46) para el grupo #1 y el grupo #2. El resultado de esta acción serán imágenes en las que las pistas de aterrizaje #1 y #2, así como todos los puntos del terreno (42) dentro del subconjunto (56a), se visualizan como coplanarios entre sí. La pista de aterrizaje #3, así como todos los puntos del terreno (42) en el subconjunto (56b), también se visualizarán como coplanarios. El plano en el que se visualiza la pista de aterrizaje #3 no está relacionado con el plano en el que se visualizan las pistas de aterrizaje #1 y #2, y los dos planos pueden ser diferentes o pueden ser el mismo, dependiendo de los datos de elevación para las pistas de aterrizaje.
- Todos los puntos del terreno (42) en la FIG. 4 que están fuera de los subconjuntos (56a o b) se visualizarán de manera que tengan las elevaciones indicadas en la base de datos del terreno (38). Así, por ejemplo, el triángulo (62a) de la FIG. 4 puede visualizarse o no como coplanario con el grupo #1 de pistas de aterrizaje, dependiendo del valor de elevación del punto del terreno (42h) en la FIG. 4. Si el plano (50) en el que se visualiza el grupo #1 de

5 pistas de aterrizaje llega a coincidir con la elevación del punto del terreno (42h), entonces el triángulo (62a) será coplanario con el grupo #1 de pistas de aterrizaje. Sin embargo, si la elevación en el punto (42h), tal como se define en la base de datos del terreno (38), no coincide con una proyección del plano (50) del grupo #1 de pistas de aterrizaje, entonces el triángulo (62a) no se visualizará como coplanario con las pistas de aterrizaje y los puntos del terreno en el grupo #1 de pistas de aterrizaje. Se aplica un razonamiento similar a todos los demás puntos del terreno (42) mostrados en la FIG. 4.

10 Como otro ejemplo ilustrativo, los puntos del terreno (42i-q) de la FIG. 2 formarán parte del subconjunto (56) que corresponde a la pista de aterrizaje (34) de la FIG. 2. Esta lista de puntos del terreno (42) no es un listado completo de todos los puntos del terreno del subconjunto (56). En su lugar, este listado es representativo de sólo una fracción de los puntos que definen el subconjunto (56). Varios de los puntos del terreno (42) en el subconjunto (56) son no visibles en la FIG. 2, y muchos de los que aparecen en la distancia lejana de la imagen de la FIG. 2 no han sido etiquetados para facilitar la claridad. Sin embargo, tal como se ha descrito anteriormente con respecto al procedimiento de visualización (46), el controlador (24) visualizará la imagen en la FIG. 2 de manera que la pista de aterrizaje (34) y todos los puntos del terreno (42) dentro del subconjunto (56) son coplanarios entre sí. Los restantes puntos del terreno (42) se visualizarán de acuerdo con la información de elevación encontrada en la base de datos del terreno (38).

20 Los expertos en la técnica entenderán que, aunque la FIG. 2 ilustra el terreno (36) de tal forma que los bordes de los triángulos (62) están marcados por líneas, esta no es necesariamente la forma en que el controlador (24) generará imágenes para su visualización en la pantalla (28). En al menos una realización, las líneas que definen los triángulos (62) no serán visibles en la pantalla (28). Al contrario, cada uno de los triángulos estará sombreado de tal manera que refleje visualmente el plano definido por los tres vértices para cada triángulo (62). También puede añadirse color a los triángulos con el fin de distinguir entre diferentes tipos de topografía, como montañas y/o lugares ribereños. Así, las líneas reales que definen los bordes del triángulo (62) pueden no estar indicadas por ninguna línea en la pantalla (28).

30 Aunque los ejemplos y la exposición contenidos en la presente memoria descriptiva han hecho referencia principalmente al uso de un sistema de coordenadas cartesianas para realizar los cálculos y algoritmos descritos en la presente memoria descriptiva, los expertos en la técnica entenderán que todos los cálculos y algoritmos descritos en la presente memoria descriptiva podrían realizarse usando otros tipos de marcos de referencia, tales como un marco de referencia de coordenadas esféricas, u otro tipo de marco de referencia.

35 Los expertos en la técnica entenderán también que pueden realizarse otras modificaciones. A modo de ejemplo, la distancia umbral podría tomar un valor de cero en al menos una realización. En dicha realización, el controlador (24) sólo agruparía las pistas de aterrizaje que se superponen en realidad.

40 Es posible realizar cambios y modificaciones adicionales en las realizaciones descritas específicamente sin apartarse de los principios de la presente invención, para los que se pretende estar limitados sólo por el alcance de las reivindicaciones adjuntas, tal como se interpretan de acuerdo con los principios de la legislación sobre patentes.

REIVINDICACIONES

1. Un procedimiento de visualización de una pista de aterrizaje (34) en la pantalla de una aeronave (22) de una forma tridimensional, comprendiendo dicho procedimiento:
- 5 la recepción de información sobre la altura de la pista de aterrizaje (34);
la recepción de información sobre la altura de al menos un punto del terreno (42) cerca de la pista de aterrizaje;
la visualización de la pista de aterrizaje;
la visualización del terreno (36) en dicho al menos un punto del terreno para que tenga la altura ajustada,
10 caracterizado por
el uso de la altura de la pista de aterrizaje para determinar un plano (50);
el uso de dicho plano para determinar dicha altura ajustada para el punto del terreno cerca de la pista de aterrizaje;
la recepción de información sobre la altura de una segunda pista de aterrizaje (34);
la determinación de si dicha segunda pista de aterrizaje se encuentra dentro de una distancia predeterminada con
15 respecto a dicha pista de aterrizaje;
si dicha segunda pista de aterrizaje se encuentra dentro de la distancia predeterminada, el uso de dicha información de altura sobre dicha segunda pista de aterrizaje en la determinación de dicho plano; y
si dicha segunda pista de aterrizaje se encuentra fuera de la distancia predeterminada, el uso de dicha información de altura sobre dicha segunda pista de aterrizaje para determinar un segundo plano, y el uso además de dicho
20 segundo para determinar una segunda altura ajustada para un segundo punto del terreno cerca de la segunda pista de aterrizaje, y la visualización de dicho segundo punto del terreno en la segunda altura ajustada.
2. El procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1 que incluye además:
- 25 si dicha segunda pista de aterrizaje (34) se encuentra dentro de la distancia predeterminada, la visualización de dicha pista de aterrizaje (34) y dicha segunda pista de aterrizaje como situadas en un plano común (50) en dicha visualización.
3. El procedimiento de acuerdo con la reivindicación 2 donde dicho plano común (50) se determina usando valores de altura primero y segundo para la pista de aterrizaje (34) y valores de altura primero y segundo para la segunda pista de aterrizaje (34).
- 30 4. El procedimiento de acuerdo con la reivindicación 3 donde dicho plano común (50) se define usando un método de mínimos cuadrados que tiene en cuenta los valores de altura primero y segundo para la pista de aterrizaje (34) y los valores de altura primero y segundo para la segunda pista de aterrizaje (34).
5. El procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1 donde el uso de dicho plano (50) para determinar una altura ajustada para el punto del terreno (42) incluye la determinación de una fórmula matemática para dicho plano y el cálculo de la altura ajustada en el punto del terreno usando la fórmula matemática.
- 40 6. El procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1 que incluye además:
- la recepción de información sobre alturas de una pluralidad de puntos del terreno adicionales (42) cerca de la pista de aterrizaje (34);
45 la definición de una pluralidad de triángulos (62) usando dicha pluralidad de puntos del terreno adicionales como vértices de dichos triángulos;
la determinación de si alguna de dichas pistas de aterrizaje está situada dentro de alguno de los triángulos;
para aquellos triángulos en los que se encuentra situada dicha pista de aterrizaje, el uso de dicho plano (50) para definir alturas ajustadas para los tres vértices de aquellos triángulos en los que se encuentra situada dicha pista de
50 aterrizaje; y
la visualización de todos aquellos triángulos en los que se encuentra situada dicha pista de aterrizaje como coplanarios con dicha pista de aterrizaje.
7. El procedimiento de acuerdo con la reivindicación 6 que incluye además:
- 55 si dicha segunda pista de aterrizaje (34) se encuentra fuera de la distancia predeterminada, el uso de dicha información de altura sobre dicha segunda pista de aterrizaje para determinar un segundo plano y la visualización de dicha segunda pista de aterrizaje como coplanarios con dicho segundo plano.
8. El procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1 donde dicha recepción de información sobre la altura de la pista de aterrizaje (34) incluye la recepción de información sobre la posición de una primera pista de aterrizaje (34) en un aeropuerto; la recepción de información sobre la posición de una segunda pista de aterrizaje (34) en dicho aeropuerto; y la determinación de si dichas pistas de aterrizaje primera y segunda están situadas a una

distancia umbral entre sí; y
 donde dicha visualización de la pista de aterrizaje incluye la visualización de una forma tridimensional de dichas
 pistas de aterrizaje primera y segunda en la pantalla de dicha aeronave como situadas en un plano común si están
 dentro de la distancia umbral entre sí.

5 9. El procedimiento de acuerdo con la reivindicación 8 que incluye además, si dichas pistas de aterrizaje
 primera y segunda (34) están dentro de la distancia umbral, el cálculo del plano común basándose en la información
 de altura para la primera pista de aterrizaje y para la segunda pista de aterrizaje.

10 10. El procedimiento de acuerdo con la reivindicación 9 donde dicha información de altura incluye al
 menos dos valores de altura para dicha primera pista de aterrizaje (34) y al menos dos valores de altura para dicha
 segunda pista de aterrizaje (34), y dicho cálculo del plano común usa un método de mínimos cuadrados para la
 determinación del plano.

15 11. El procedimiento de acuerdo con la reivindicación 9 que incluye además:
 la recepción de información de altura sobre una pluralidad de puntos del terreno (42) en la proximidad de dicho
 aeropuerto;
 20 la definición de una pluralidad de triángulos (62) usando dicha pluralidad de puntos del terreno como vértices de
 dichos triángulos;
 la determinación de un primer conjunto de triángulos donde cada triángulo de dicho primer conjunto comprende al
 menos una parte de dicha primera pista de aterrizaje (34);
 la determinación de un segundo conjunto de triángulos donde cada triángulo de dicho segundo conjunto comprende
 al menos una parte de dicha segunda pista de aterrizaje (34);
 25 si dichas pistas de aterrizaje primera y segunda están dentro de dicha distancia umbral, la visualización de todos los
 puntos del terreno dentro de dichos conjuntos primero y segundo como coplanarios con dichas pistas de aterrizaje
 primera y segunda.

30 12. El procedimiento de acuerdo con la reivindicación 11 donde, si dichas pistas de aterrizaje primera y
 segunda (34) están fuera de dicha distancia umbral, dicho procedimiento incluye además la visualización de todos
 los puntos del terreno (42) dentro de dicho primer conjunto como coplanarios con dicha primera pista de aterrizaje, y
 la visualización de todos los puntos del terreno dentro de dicho segundo conjunto como coplanarios con dicha
 segunda pista de aterrizaje.

35 13. Un sistema para visualizar imágenes en tres dimensiones del terreno (36) y las pistas de aterrizaje
 (34) en la pantalla de una aeronave (22), incluyendo dicho sistema:

una pantalla (28) para visualizar las imágenes;
 una memoria (30) que contiene datos que definen la posición de la primera pista de aterrizaje (34) y segundos datos
 40 que definen la posición de una segunda pista de aterrizaje (34);
 un controlador (24) en comunicación con la pantalla y la memoria, con dicho controlador adaptado para recibir
 información sobre la altura de la primera pista de aterrizaje e información sobre la altura de al menos un primer punto
 del terreno (42) cerca de la primera pista de aterrizaje,
 45 caracterizado porque dicho controlador está adaptado para determinar un primer plano (50) usando la altura de la
 primera pista de aterrizaje y usando el primer plano para determinar una altura ajustada para el primer punto del
 terreno cerca de la primera pista de aterrizaje;
 con dicho controlador adaptado además para generar imágenes en tres dimensiones para la visualización en dicha
 pantalla de la primera pista de aterrizaje en el primer plano y el al menos un primer punto del terreno de manera que
 tenga la altura ajustada;
 50 con dicho controlador adaptado además para recibir información sobre la altura de una segunda pista de aterrizaje
 (34), determinar si dicha segunda pista de aterrizaje se encuentra dentro de una distancia predeterminada con
 respecto a dicha pista de aterrizaje, y usar dicha información de altura sobre dicha segunda pista de aterrizaje en la
 determinación de dicho primer plano si dicha segunda pista de aterrizaje se encuentra dentro de la distancia
 predeterminada y visualizar dicha segunda pista de aterrizaje en dicho primer plano; y
 55 con dicho controlador adaptado además para usar dicha información de altura sobre dicha segunda pista de
 aterrizaje para determinar un segundo plano si dicha segunda pista de aterrizaje se encuentra fuera de la distancia
 predeterminada, y para usar dicho segundo plano para determinar una segunda altura ajustada para un segundo
 punto del terreno cerca de la segunda pista de aterrizaje, y visualizar dicha segunda pista de aterrizaje en dicho
 segundo plano y dicho segundo punto del terreno en la segunda altura ajustada.

60

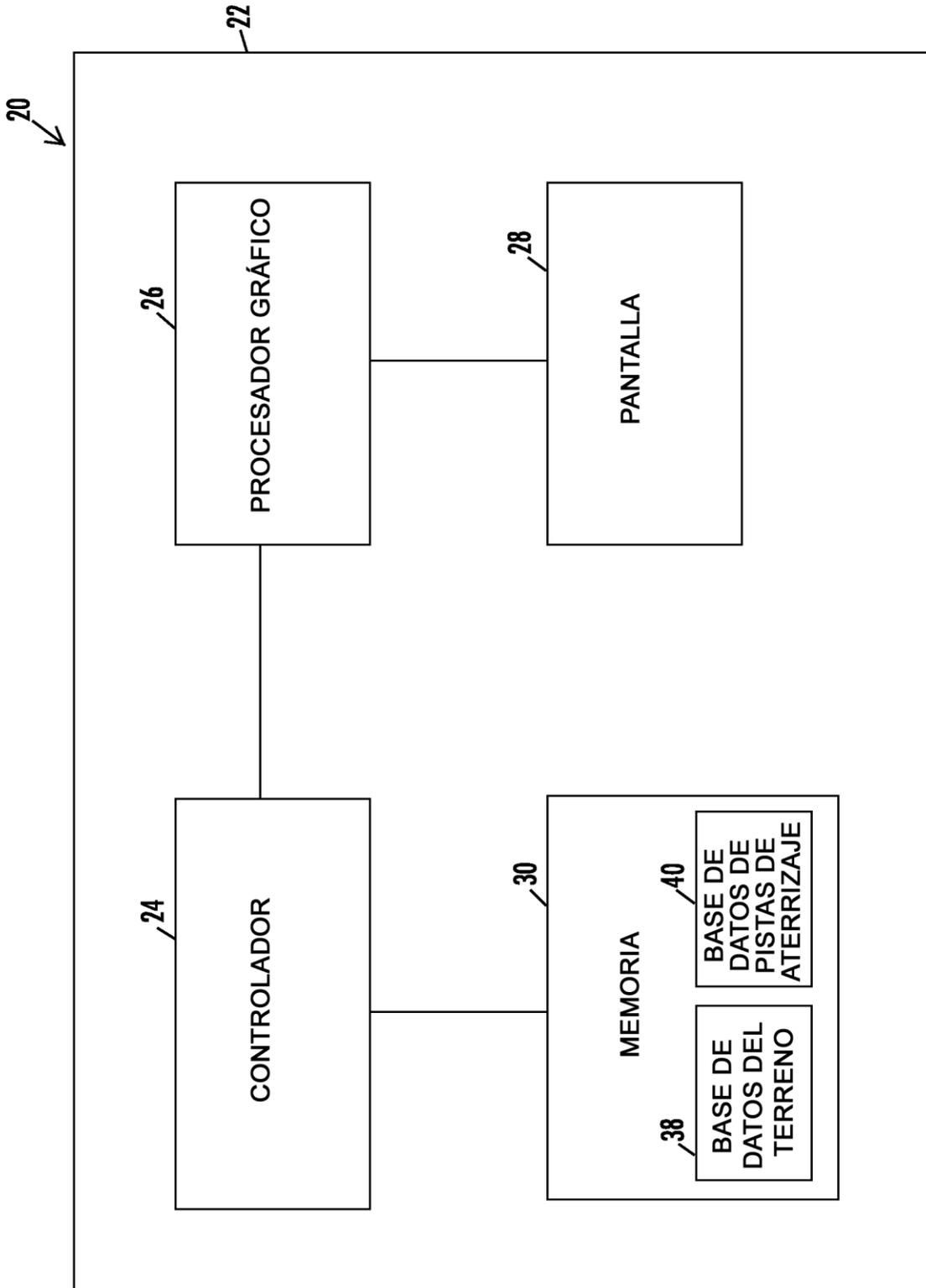


FIG. 1

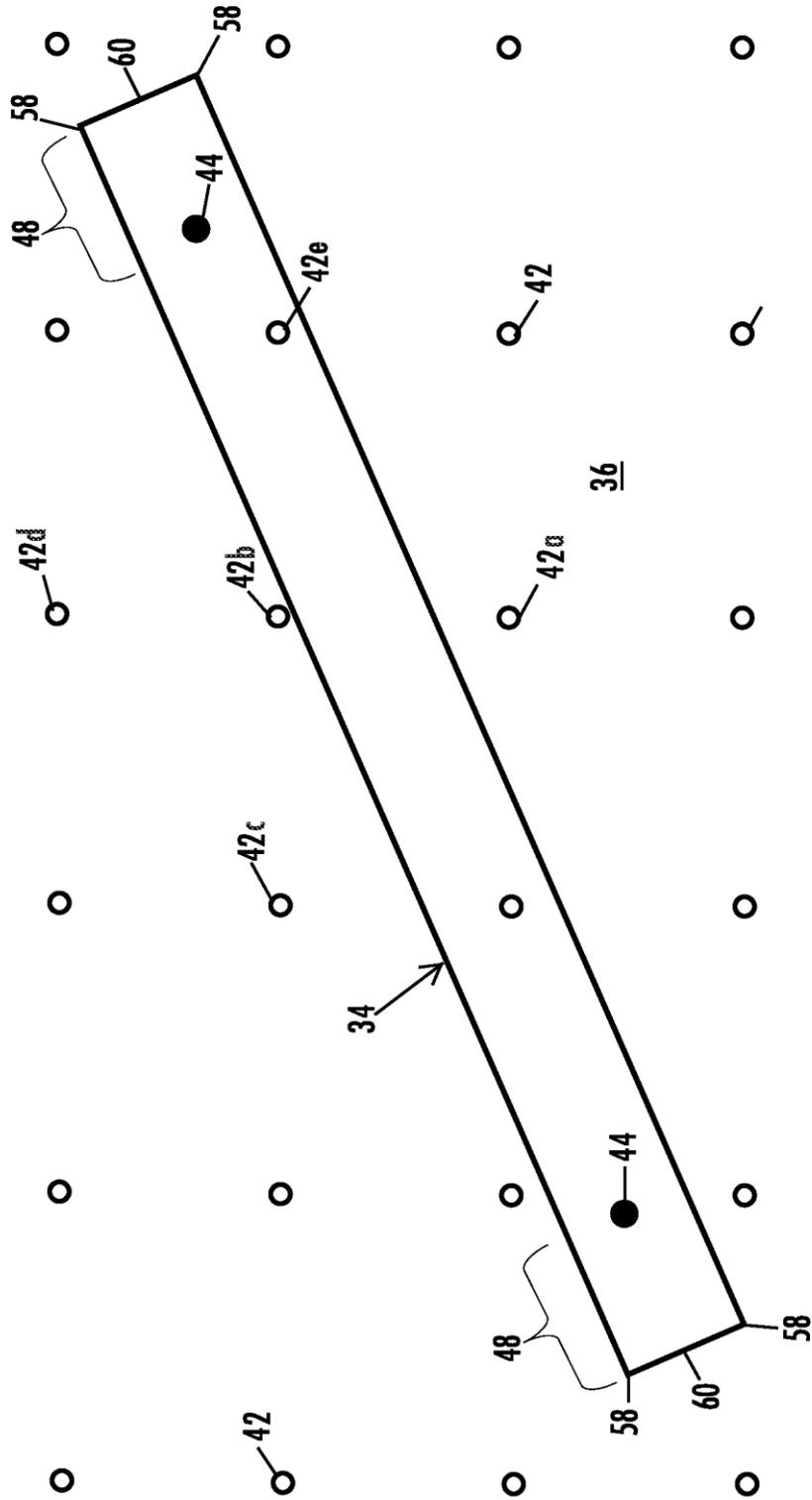


FIG. 3

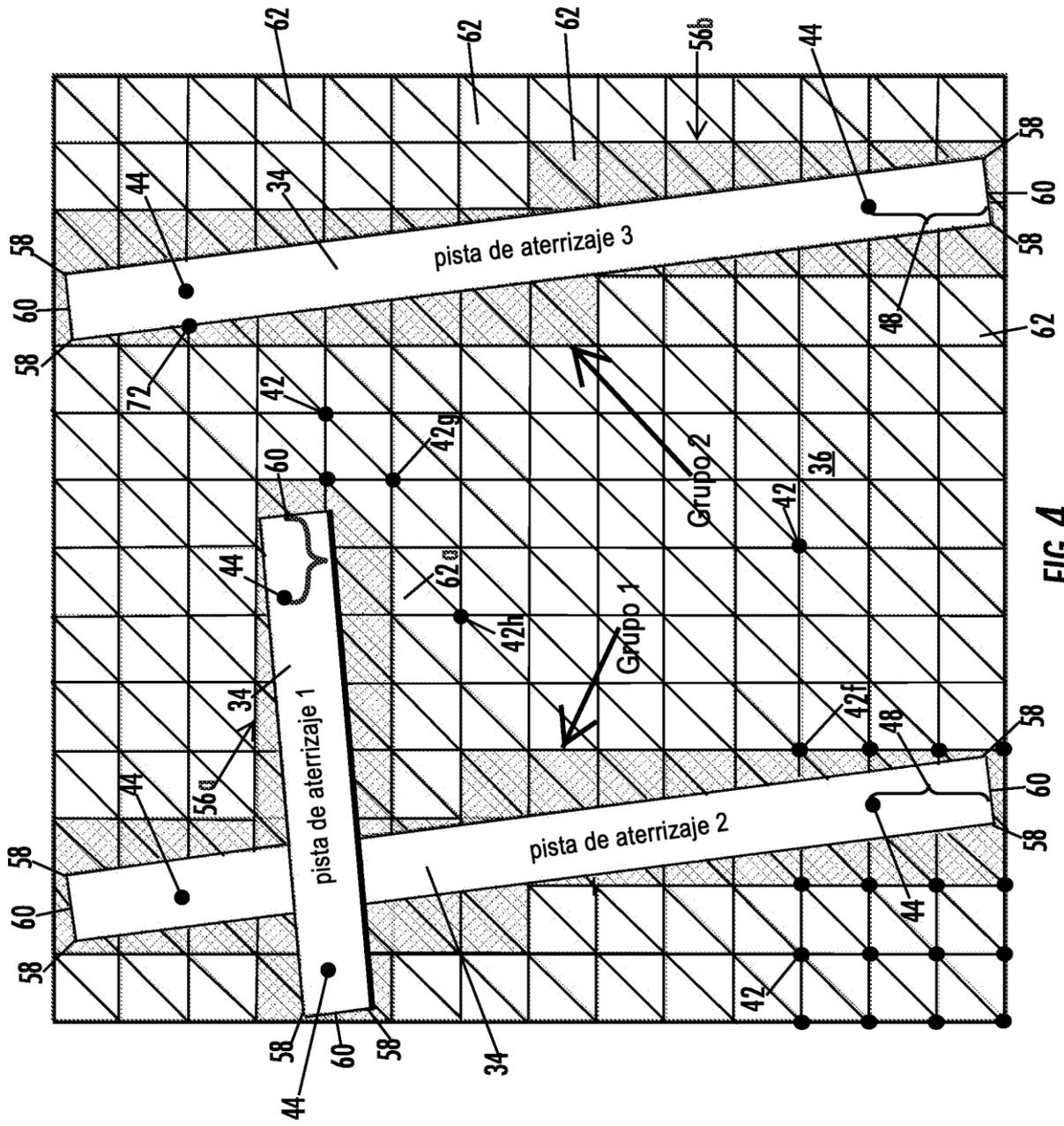


FIG. 4

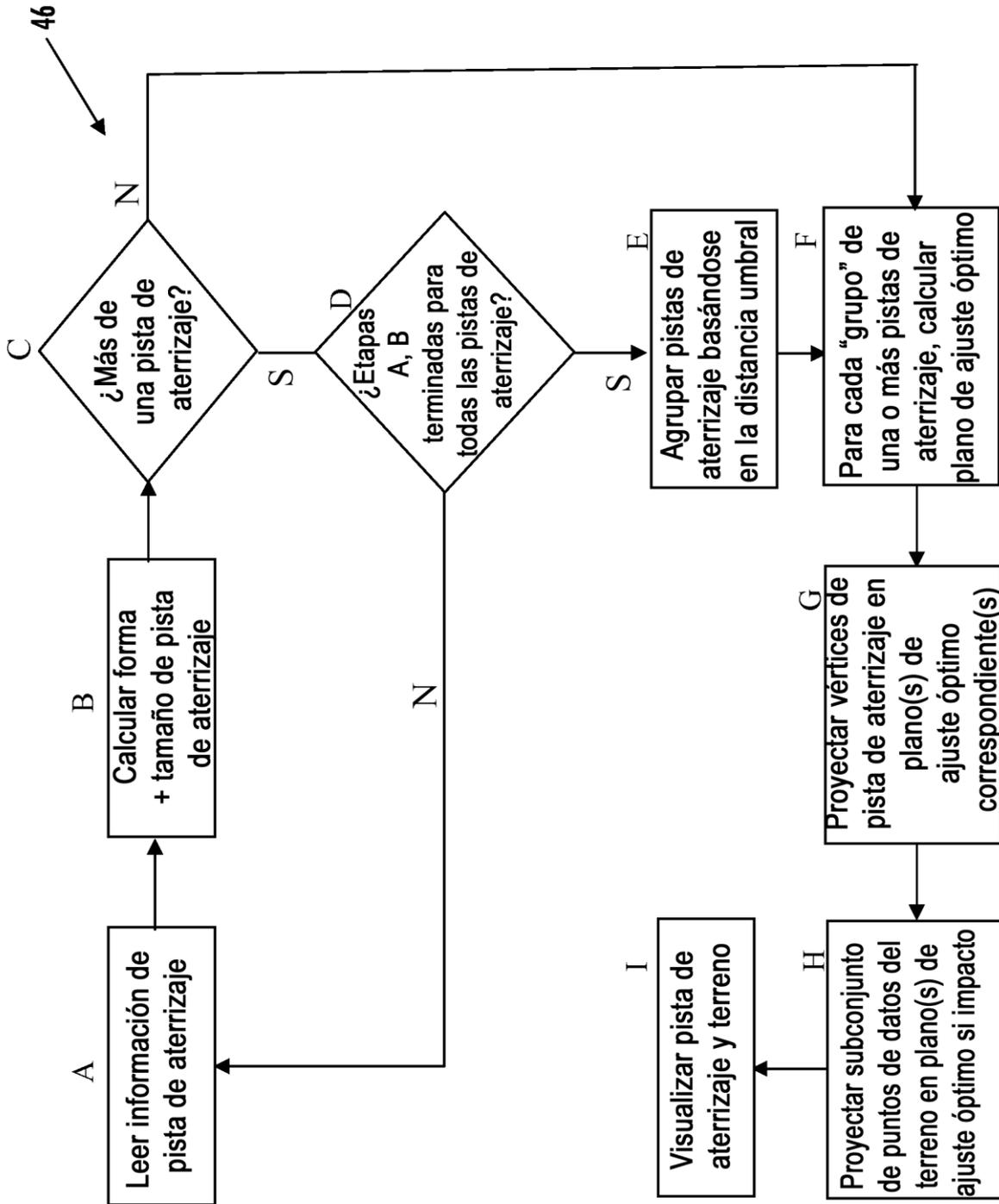


FIG. 6

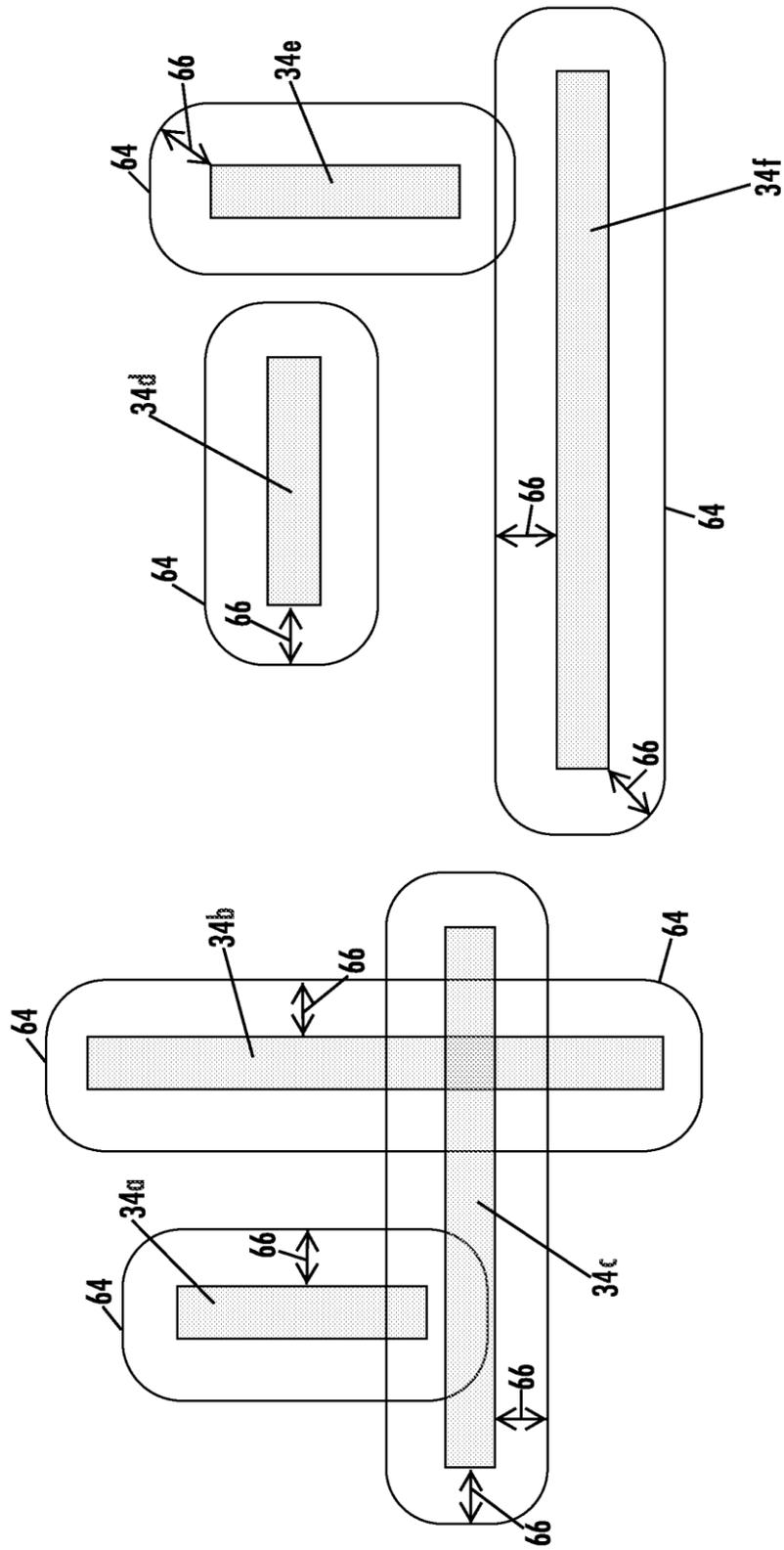


FIG. 7A

FIG. 7B

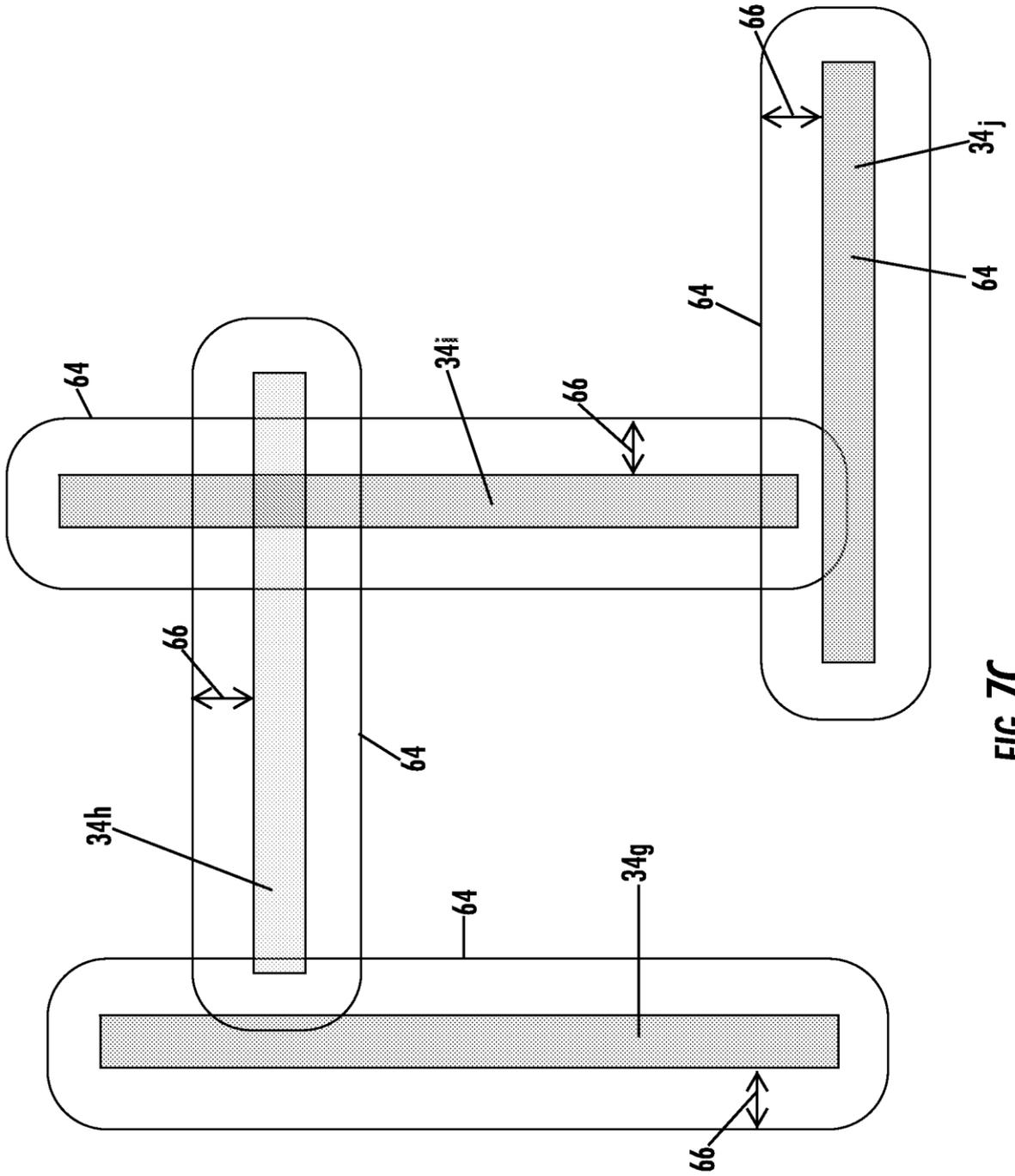


FIG. 7C