

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 458 790**

51 Int. Cl.:

**G01S 13/89** (2006.01)

**G01S 17/89** (2006.01)

**G01S 7/41** (2006.01)

**G01S 7/48** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **30.07.2010 E 10007989 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **29.01.2014 EP 2418510**

54 Título: **Procedimiento para dictaminar sobre la idoneidad de una superficie del suelo como zona de aterrizaje o superficie de rodadura para aeronaves**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**07.05.2014**

73 Titular/es:

**EADS DEUTSCHLAND GMBH (100.0%)  
Willy-Messerschmidt-Strasse 1  
85521 Ottobrunn, DE**

72 Inventor/es:

**MÜNSTERER, THOMAS, DR. y  
WEGNER, MATTHIAS**

74 Agente/Representante:

**LEHMANN NOVO, María Isabel**

ES 2 458 790 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

Procedimiento para dictaminar sobre la idoneidad de una superficie del suelo como zona de aterrizaje o superficie de rodadura para aeronaves.

5 La invención concierne a un procedimiento para dictaminar sobre la idoneidad de una superficie del terreno como superficie de aterrizaje o de rodadura para aeronaves.

10 En los aterrizajes en condiciones de visibilidad limitada se emplean crecientemente sistemas de visión sintética. Éstos deberán ofrecer una representación lo más próxima posible a la realidad de las condiciones reales de la zona de aterrizaje y con ello especialmente de la superficie del suelo. Como fuentes de datos sirven bancos de datos con material de mapas (por ejemplo, bancos de datos de elevación DTED) y/o sensores 3D activos que acotan la zona de aterrizaje antes y/o durante el proceso de aterrizaje. Estos datos se procesan y visualizan después en forma numérica. La aplicación de tales sistemas de visión sintética se ha propuesto, por ejemplo para aterrizajes de helicópteros en condiciones brownout/whiteout o en otras condiciones de visibilidad fuertemente reducida. En este caso, es decisivo que, aparte de las propiedades geométricas puras lo más precisas posible de la zona de aterrizaje, como, por ejemplo, su inclinación con respecto al plano del horizonte, se representen también eventuales obstáculos en forma correcta y con precisión de posición.

Rigen requisitos semejantes para sistemas de aterrizaje automáticos, tanto para helicópteros como para aviones de alas fijas. Existe aquí también la necesidad de obtener informaciones precisas sobre la zona de aterrizaje o sobre la pista de aterrizaje (posición en el espacio y naturaleza), así como garantizar una ausencia de obstáculos.

En particular, se conoce el siguiente estado concreto de la técnica sobre este tema:

20 Documento DE 10 2004 051 625 B4: En esta patente se esboza un enfoque general para la solución universal del problema del brownout. Este concepto incluye el empleo de un sensor 3D de alta resolución para generar una representación 3D de la zona de aterrizaje durante el vuelo de aproximación para el aterrizaje. Después de la aparición de la situación de brownout ya no reciben datos nuevos. Por el contrario, se representa los datos existentes como visión sintética de la zona de aterrizaje con el movimiento del helicóptero.

25 En "Beyond Brownout", Aviation Week & Space Technology, 6 de abril de 2009, páginas 44, 45, se informa sobre un proyecto en el que se ha materializado un aterrizaje total y parcialmente automático en condiciones de brownout. En el marco de este proyecto se desarrolló y probó como sensor un radar explorador de ondas milimétricas. Para la visión sintética generada se combinaron datos de un banco de datos del terreno con los datos del radar de ondas milimétricas (el procedimiento correspondiente está descrito en el documento EP 2 182 326 A1). Si se reconocían obstáculos por el sensor en la zona de aterrizaje, el helicóptero podía variar su lugar de aterrizaje de manera automática o con la asistencia del piloto.

30 En el documento WO 2008/018906 A2 se describe otro procedimiento para generar una visión sintética de asistencia al piloto. En este caso, un banco de datos del terreno forma la base de la visión sintética. Este banco de datos del terreno es verificado y eventualmente modificado en sus puntos de apoyo por datos en tiempo real de uno o varios sensores de distancia.

35 Los procedimientos conocidos adolecen del inconveniente de que los sensores 3D disponibles no están en condiciones de conseguir una resolución espacial suficientemente precisa de la superficie de aterrizaje. Actúan aquí con efecto limitador, por un lado, la divergencia de los rayos de los sensores activos empleados (radares o ladares) y, por otro lado, la precisión de la telemetría. A esto se añaden también errores de la instalación de navegación cuyos datos son empleados para la georreferenciación de los datos 3D. A diferencia de lo que ocurre en los vuelos de medición topográfica, en los que, debido al ensamble de los rayos de medición y los ángulos de medición verticales, la resolución viene determinada exclusivamente por la resolución de distancia del sensor 3D empleado, en la aplicación aquí considerada ocurre que, a causa del ángulo de medición agudo rasante durante el vuelo de aproximación final, la divergencia de los rayos influye también sensiblemente en la resolución espacial que puede conseguirse.

40 En los llamados sistemas de radar de alta resolución disponibles en el mercado se puede fijar el límite de resolución para la detección de objetos en el dominio cercano en aproximadamente 1 m, mientras que en sistemas de radar disponibles en el mercado este límite está entre 30 cm y 50 cm a causa de la menor divergencia de los rayos. Sin embargo, ambas resoluciones parecen ser críticas para un aterrizaje sin peligro. Un obstáculo no reconocido de escasamente un metro conduciría con alta probabilidad, en un helicóptero que esté aterrizando, a una colisión catastrófica. Incluso una piedra de 40 cm de tamaño o una zanja de 40 cm de profundidad podría conducir al vuelco de un helicóptero que esté aterrizando.

45 Los sistemas conocidos se basan en que se genera analíticamente por aproximación o interpolación la superficie del suelo de la zona de aterrizaje a partir de los valores de medición individuales de los sensores 3D y se procede después a representar dicha superficie. A causa de las imprecisiones de medición anteriormente descritas como

consecuencia de la resolución espacial de los sensores 3D se tiene que, para la representación sintética de la superficie del suelo por medio de elementos de superficie individuales, se deben promediar los valores de medición dentro de un elemento de superficie local discreto o bien se deben aproximar convenientemente estos valores por medio de otros filtros o procedimientos. Se origina entonces, por un lado, un aumento de los datos medidos, pero, por otro lado, solo así resulta suficientemente exenta de ruido la superficie de suelo representada. La problemática depende ampliamente de la forma que tengan los elementos de superficie. En general, se emplean elementos de superficie rectangulares o triangulares que pueden ser tanto regulares, es decir, con un tamaño de rejilla constante, como irregulares, es decir, con un tamaño de rejilla cambiante. Otro problema reside en el tamaño de tales elementos de superficie locales, el cual determina decisivamente la potencia de cálculo necesaria de los procesadores de gráficos en tiempo real que se precisan para la representación. Los tamaños típicos de elementos de superficie locales se mueven en el intervalo entre un metro y algunos metros de longitud de arista en el dominio cercano por debajo de una distancia de 200 m a la aeronave. La representación de obstáculos e irregularidades del terreno más pequeños podría materializarse solamente con elementos de superficie locales considerablemente más pequeños. Sin embargo, esto significaría una coste de cálculo considerablemente mayor que viene limitado por la capacidad en tiempo real del hardware disponible.

En DYLAN KLOMPARENS: "AUTOMATED LANDING SITE EVALUATION FOR SEMI-AUTONOMOUS UNMANNED AERIAL VEHICLES", INTERNET CITATION, 20 de AGOSTO de 2008 (20-08-2008), páginas 1-129, XP002569083, encontrado en Internet: URL: <http://scholar.lib.vt.edu/theses/available/etd-08192008231631/unrestricted/Thesis.pdf>, se describe un procedimiento en el que se examina, por medio de un sensor 3D en forma de una estereocámara, la idoneidad como superficie de aterrizaje de la zona de aterrizaje de un dron de despegue y aterrizaje vertical (VTOL UAV). Se derivan de los valores de medición tridimensionales unos elementos de superficie individuales de la zona de aterrizaje examinada y se determina la orientación de la misma en el espacio. Las diferencias en la orientación espacial de elementos de superficie contiguos sirven de medida de la rugosidad del terreno, combinándose adicionalmente la medida así obtenida de la rugosidad en el marco de una comprobación de plausibilidad con otras propiedades estadísticas de los valores de medición tridimensionales.

La invención se basa en el problema de crear un procedimiento del género expuesto con el cual se puedan obtener informaciones actuales y altamente precisas sobre la posición y la naturaleza de la zona de aterrizaje o de la superficie de rodadura de la aeronave.

Este problema se resuelve con las reivindicaciones 1 y 9. Realizaciones ventajosas son objetos de las reivindicaciones subordinadas.

Con el procedimiento según la invención es posible que, a pesar de la limitada resolución espacial de los sensores 3D, se obtengan conocimientos sobre las propiedades locales de la zona de aterrizaje o la superficie de rodadura acotada por sobreexploración (es decir, generación de datos 3D que se captan repetidamente en varios ciclos de medición, por ejemplo varias exploraciones o, en el caso de un ladar flash, en varias fotografías del terreno a acotar) y valoración estadística. Estas propiedades locales sobre la naturaleza del suelo conducen después a una clasificación que decide si la superficie es adecuada o no para el aterrizaje o como superficie de rodadura. El resultado puede incrustarse como característica adicional – como marcación, como textura o como codificación en color – de cada elemento de superficie local correspondiente en una vista sintética de la zona de aterrizaje o superficie de rodadura acotada. La propiedad así obtenida de cada elemento de superficie local puede retransmitirse también a un sistema de aterrizaje automatizado que aproveche esta información para planear el aterrizaje.

El procedimiento según la invención es adecuado en medida especial para su aplicación en aviones de alas giratorias, sobre todo para dominar los estados críticos de los llamados brown-outs o white-outs durante el despegue o el aterrizaje en suelos arenosos o cubiertos de nieve.

Sin embargo, el principio que sirve de base a la invención es generalmente válido y puede utilizarse también para aviones de alas fijas. En este caso, la pista de aterrizaje prevista del avión de alas fijas es analizada y valorada de manera análoga respecto de su naturaleza y especialmente respecto de la presencia de un obstáculo. La distancia generalmente mayor en comparación con el avión de alas giratorias entre la aeronave y la superficie del suelo a acotar no tiene ninguna influencia sobre el modo de proceder según la invención.

Además, el procedimiento aquí presentado puede utilizarse no solo en el vuelo de aproximación final de una aeronave para valorar la zona de aterrizaje o la pista de aterrizaje, sino también para valorar vías de rodadura y superficies de aparcamiento en aeropuertos, así como también mientras la aeronave se mueve sobre el suelo antes del despegue o después del aterrizaje.

Como sensor 3D pueden emplearse todos los tipos de sensores conocidos asistidos por radar o por láser. Especialmente adecuados son los radares de láser y los radares de alta resolución, especialmente los radares de ondas milimétricas.

En lo que sigue se explica la invención con más detalle ayudándose de ejemplos de realización concretos con

referencia a las figuras. Éstas muestran:

5 La figura 1, una simulación de Monte Carlo de los valores de medición de una superficie de suelo idealmente plana con un obstáculo de forma paralelepípedica (longitud de arista 0,3 m) a 150 m, generada durante un vuelo de aproximación para el aterrizaje. Se tuvieron en cuenta en este caso los errores de medición debidos a imprecisiones de la unidad de navegación, precisión limitada de la telemetría y divergencia del rayo de medición del sensor 3D. La cantidad de puntos de medición en forma de rombos son el resultado de varias exploraciones consecutivas de la superficie del suelo realizadas durante el vuelo de aproximación para el aterrizaje, mientras que los puntos de medición de forma circular provienen de la misma exploración. Las indicaciones de alejamiento del eje horizontal se refieren a la distancia entre el sensor 3D y el punto correspondiente de la superficie del suelo en el momento del comienzo de la acumulación de datos.

La figura 2, una simulación de Monte Carlo de los valores de medición de la misma superficie idealmente plana que en la figura 1, pero sin obstáculo de forma paralelepípedica, generada durante un vuelo de aproximación para el aterrizaje. Al igual que en la figura 1, se han tenido en cuenta los errores de medición ocasionados por impresiones de la unidad de navegación, precisión limitada de la telemetría y divergencia del rayo de medición.

15 La figura 3, una representación esquemática de los valores de medición de una superficie de suelo ideal con un obstáculo de forma paralelepípedica y con una precisión de medición finita del sensor 3D. Están dibujados todos los rayos individuales correspondientes (ideales) del sensor 3D. La precisión de medición está insinuada por la representación de un valor de medición en forma de un rectángulo H, pretendiendo representar la longitud del rectángulo la precisión de medición en la telemetría y pretendiendo representar la anchura del rectángulo la precisión de medición en base a la divergencia finita de los rayos.

20 La figura 4, una simulación de Monte Carlo de los valores de medición de una superficie de suelo ideal con un obstáculo de forma paralelepípedica (30 cm de longitud de arista) a una distancia de 100 m, generada durante un vuelo de aproximación para el aterrizaje. La línea de trazos representa el trazado ideal del obstáculo sin imprecisiones de medición ni errores de medición. Se ha marcado con flechas la zona de una acumulación de valores de medición y una reducción de valores de medición por la proyección de sombra en el obstáculo.

La figura 5, una simulación de Monte Carlo de los valores de medición de una superficie de suelo ideal con una depresión (zanja) de forma paralelepípedica a una distancia de 100 m, generada durante un vuelo de aproximación para el aterrizaje. La línea de trazos representa el trazado ideal del obstáculo sin imprecisiones de medición ni errores de medición. Se ha marcado con una flecha la zona de una reducción de valores de medición por proyección de sombra.

La figura 6, la densidad local de valores de medición en presencia de un obstáculo realizado simulado (por ejemplo, una caja de madera) a una distancia de 100 m.

La figura 7, la desviación estándar (diagrama superior), la oblicuidad y la curtosis (diagrama inferior) en presencia de un obstáculo realizado simulado (por ejemplo, una caja de madera) a 100 m de distancia.

35 La figura 8, la rugosidad de la superficie de suelo considerada obtenida según la invención en presencia de un obstáculo realizado simulado (por ejemplo, una caja de madera) a una distancia de 100 m.

La figura 9, la representación de una superficie de suelo con áreas marcadas de elevada rugosidad que no son adecuadas para el aterrizaje con una aeronave.

40 La figura 10, la representación de una superficie de suelo con áreas marcadas que son adecuadas para el aterrizaje con una aeronave, ya que la rugosidad medida en los elementos de superficie correspondientes está por debajo de un valor determinado.

Como ilustran las figuras 1 y 2, los procedimientos clásicos de aproximación o interpolación de la superficie del suelo fallan en la identificación de obstáculos pequeños, ya que los valores de medición se dispersan fuertemente alrededor del valor ideal debido a las resoluciones finitas y a las imprecisiones de medición de los sensores 3D.

45 Debido a la incidencia rasante en ángulo agudo de los rayos de medición en el vuelo de aproximación final (típicamente entre 10° y 20° con relación a la superficie del suelo) se producen efectos especiales que se aprovechan según la invención. Se calcula en este caso una medida de caracterización de la rugosidad del suelo que se explica en lo que sigue con más detalle.

50 El procedimiento aquí propuesto emplea, para la obtención de dicha rugosidad del suelo, una combinación de características estadísticas localmente limitadas de los valores de medición. La incidencia rasante de los rayos de medición con relación a la superficie del suelo y a las lagunas de datos de medición así generadas a consecuencia de efectos de sombra arrojada por objetos existentes que no son suelo (por ejemplo, piedras o zanjas) genera una variación de las densidades de valores de medición locales y una variación de las características estadísticas de orden superior, como varianza, oblicuidad y curtosis. Por tanto, estas características estadísticas son adecuadas

para caracterizar la superficie del suelo respecto de su idoneidad como lugar de aterrizaje.

Las figuras 3 y 4 se basan cada una de ellas en una superficie de suelo idealmente plana con un obstáculo realizado (por ejemplo, una caja de madera) (en la representación de la figura 4 el obstáculo se encuentra en un valor de coordenada sobre el eje horizontal de 100 m). Al presentarse un obstáculo realizado sigue forzosamente a un aumento de la densidad de valores de medición locales una reducción correspondiente debido a las lagunas de valores de medición en la "zona de sombra" del obstáculo explorado. La representación de principio de la figura 3 ilustra esta proyección de sombra de los datos del sensor debido al obstáculo.

La figura 4 muestra los valores de medición del sensor para la misma situación en un vuelo de aproximación simulado hacia la superficie del suelo. En contraste con la figura 3, los valores de medición representados de la superficie del suelo se generaron por reiteradas exploraciones consecutivas de la superficie del suelo por el sensor 3D a fin de obtener una base de datos mejorada para las siguientes evaluaciones estadísticas. Se aprecia que se establece detrás del obstáculo realizado una zona de sombra con ausencia de valores de medición. Por el contrario, la densidad de valores de medición aumenta en el lado frontal del obstáculo realizado.

Este principio de la densidad incrementada de valores de medición en el caso de un obstáculo realizado rige a la inversa también en el caso de la presencia de una zanja. En el lugar de ubicación de la zanja se produce una reducción de la densidad de valores de medición debido a la proyección de sombra en el flanco de la zanja. No obstante, el tamaño de la proyección de sombra es en general más pequeño. La figura 5 muestra la distribución de los valores de medición del sensor para esta situación.

En base a estas propiedades se obtiene según la invención la densidad local de valores de medición, por ejemplo mediante una suma flotante de los puntos de medición por cada elemento de superficie. Indicios de objetos realizados sobre la superficie de aterrizaje se desprenden de estos valores por efecto de la secuencia típica de una acumulación local de valores de medición con una reducción local subsiguiente de valores de medición. Indicios de zanjas se desprenden de la manera indicada en base al efecto inverso.

Por vinculación con otras propiedades estadísticas de los datos tridimensionales del terreno, por ejemplo varianza, oblicuidad, curtosis, se obtiene según la invención una medida de la rugosidad local de la superficie del terreno que proporciona un indicador fiable para la presencia de obstáculos.

Ventajosamente, se calcula el valor de rugosidad local  $R(x)$  en la forma  $R(x) = \sum_i^p w_i \cdot S_i(x)$  o

$R(x) = \prod_i^p w_i \cdot S_i(x)$  en función de las  $p$  características seleccionadas  $S_i$  (densidad de valores de medición y otras propiedades estadísticas, como varianza, oblicuidad, curtosis, etc.), describiendo  $w_i$  un factor de ponderación para la propiedad estadística  $S_i$ . En principio, son posibles también combinaciones de los dos métodos de cálculo propuestos (aditivo y multiplicativo). El valor de rugosidad así obtenido sirve como magnitud de entrada para un clasificador numérico que gradúa el correspondiente elemento de superficie local en base a la rugosidad como adecuado o inadecuado para el aterrizaje. En el presente procedimiento de cálculo según la invención son imaginables también valores intermedios correspondientes que tengan en cuenta escalonamientos discretos entre los dos valores extremos (a) "adecuado para el aterrizaje" y (b) "inadecuado para el aterrizaje".

Aparte de las propiedades estadísticas citadas, otras propiedades locales de un juego de datos estocásticos pueden proporcionar también magnitudes de entrada para dictaminar sobre la rugosidad del suelo y, por tanto, pueden emplearse para la clasificación de la superficie de aterrizaje según la invención.

Los criterios correspondientes deberán ajustarse ventajosamente a las propiedades del respectivo sensor, es decir, a las imprecisiones de la medición y, por tanto, a los procesos estocásticos subyacentes.

Los momentos estadísticos de orden superior, varianza, oblicuidad y curtosis, adecuados para el procedimiento según la invención, se definen en general por medio de  $m_n = \langle (h - \langle h \rangle)^n \rangle$ , en donde  $n$  representa el orden del momento (por ejemplo,  $n = 2$  para la varianza) y los paréntesis angulares, como es en general usual, designan el valor medio o el valor esperado. La variable  $h$  representa en nuestro caso el componente  $z$  de los valores de medición 3D. Para valores de medición discretos se sigue de esto para el problema unidimensional planteado, sin

limitación de la generalidad, que:  $m_n = \sum_{i=a}^b (h_i - \langle h \rangle)^n$ , en donde  $\langle h \rangle = \frac{\sum_{i=a}^b h_i}{b - a}$  es el valor medio entre los índices

$a$  y  $b$  en función de los valores de altura discretos  $h_i$ .

En la práctica, se manifiesta como ventajoso que la ventana de promediado y de cálculo no venga limitada por el número de valores de medición, sino por criterios espaciales, es decir, distancias.

5 Dado que en el planteamiento del problema descrito se tienen que encontrar perturbaciones locales fuertemente limitadas sobre una superficie verdaderamente plana, el procedimiento según la invención prefiere intervalos de promediado diferentes para, por un lado, el cálculo del valor medio de la distribución de altura y, por otro lado, el

cálculo de los momentos estadísticos correspondientes:  $m_n = \sum_{i=a+x}^{b-x} (h_i - \langle h \rangle)^n$  con  $\langle h \rangle = \frac{\sum_{i=a}^b h_i}{b-a}$ , en donde se

elige para las magnitudes estadísticas de orden superior un intervalo de promediado  $2 \cdot x$  más pequeño que para el valor esperado.

10 Se mostrará como ejemplo el modo de obtención de la rugosidad  $R(x)$ , que forma la magnitud de entrada para la clasificación, con ayuda del ejemplo de la simulación (representada en la figura 4) de una caja de madera a una distancia de 100 m. Como medida de la densidad de valores de medición sirve la secuencia de cálculo siguiente:

1. Se calcula el número de puntos de medición en una zona local,  $\hat{d}_i$
2. Se buscan picos en el número local de puntos de medición, seguidos por valores cero en este número de puntos de medición

$$d_i = \begin{cases} \hat{d}_i, & \text{si } \hat{d}_i > \text{umbral}_{\text{pico}} \wedge \hat{d}_{i+1} < \text{umbral}_s \\ 0 & \text{en caso contrario} \end{cases},$$

15 en donde  $\text{umbral}_{\text{pico}}$  representa un valor mínimo (valor umbral) para un pico en la arista delantera de un obstáculo y  $\text{umbral}_s$  representa un valor máximo (valor umbral) para valores de medición en la zona de sombra del obstáculo.

La figura 6 muestra la densidad local de puntos de medición así obtenida en función de la coordenada de distancia.

20 La figura 7 siguiente muestra los momentos estadísticos superiores para el mismo intervalo de coordenadas simulado.

Si se calcula ahora a partir de estas magnitudes la rugosidad anteriormente definida como producto de las magnitudes individuales estadísticas de la densidad local de valores de medición, la desviación estándar local y la oblicuidad local, se obtienen entonces los valores representados en la figura 8. Se aprecia el acusado pico en el lugar de ubicación del obstáculo en la coordenada 100 m.

25 En lugar del cálculo de una medida de rugosidad compleja, que se valora después por medio de un clasificador clásico, se tiene alternativamente que, para los distintos elementos de superficie de la superficie del suelo seleccionada para el aterrizaje, la densidad local de valores de medición y las propiedades estadísticas pueden emplearse también directamente como magnitudes de entrada para un red neuronal o un clasificador de lógica difusa.

30 El resultado del procedimiento según la invención, tanto en el caso del empleo de un clasificador clásico como en el caso últimamente citado del empleo de una red neuronal o un clasificador de lógica difusa, es una graduación o clasificación local de la superficie del suelo. Así, en el caso más sencillo se pueden admitir solamente dos clases para cada elemento de superficie, es decir, "adecuado" o "inadecuado". En otra realización se admiten también escalones intermedios para clasificar el grado de idoneidad desde "completamente inadecuado" hasta "muy adecuado", pasando por varios escalones intermedios.

35 Esta graduación de cada elemento de superficie puede emplearse en un sistema de visión sintética para la representación intuitiva de la superficie de suelo o de aterrizaje completa en función de la naturaleza local del suelo.

40 Según el caso de aplicación, son convenientes aquí realizaciones diferentes. Así, un único elemento de superficie calificado como "inadecuado" puede conducir a que en la representación se marque como "inadecuada" toda la superficie de suelo o de aterrizaje. Por el contrario, para otras aplicaciones puede ser conveniente elegir la indicación de toda la superficie de suelo o de aterrizaje como "inadecuada" únicamente cuando un número suficiente de elementos de superficie hayan sido calificados como "inadecuados" o "potencialmente inadecuados" por el procedimiento de clasificación según la invención.

5 La idoneidad para el aterrizaje se superpone después como marcación, texturación, coloración u otra forma de distinción a la representación del elemento de superficie correspondiente. La figura 9 muestra un ejemplo de esto. El terreno representado está ilustrado en este ejemplo en forma de elementos de superficie cuadrangulares individuales FE con marcación de color cambiante gris/blanco a la manera de un dibujo de tablero de ajedrez. Los elementos de superficie FEu clasificados según la invención como "inadecuados" están identificados con un rayado, estando superpuesto este rayado al dibujo de tablero de ajedrez.

10 Una representación invertida en comparación con la figura 9 puede ser también ventajosa. Una realización de esta clase se representa en la figura 10. En este caso, se marcan especialmente tan solo los elementos de superficie FE que, debido a su pequeña rugosidad calculada según la invención, se han clasificado como adecuados para un aterrizaje. En el ejemplo de la figura 10 los elementos de superficie FEg clasificados como "adecuados" se han identificado por medio de un rayado.

15 En contra de la tendencia actual para las representaciones gráficas sobre "monitores de visión sintética" en aeronaves, el procedimiento según la invención no se ha enfocado en el sentido de indicar cada vez más particularidades y detalles, y éstos con la más alta resolución posible. Por el contrario, la invención sigue la dirección contraria, es decir que se propone una visión simbólica fuertemente simplificada con una marcación unívoca de superficies parciales adecuadas, exentas de obstáculos o inadecuadas. Por consiguiente, la invención sigue en lo esencial al concepto de una abstracción y reducción reforzada de las informaciones que se deben representar.

20 Los valores de clasificación generados según la invención para los elementos de superficie pueden transferirse también, en una realización especialmente ventajosa, a un sistema de aterrizaje automático.

**REIVINDICACIONES**

1. Procedimiento para dictaminar sobre la idoneidad de una superficie del suelo como zona de aterrizaje o superficie de rodadura para aeronaves, **caracterizado** por los siguientes pasos de procedimiento:

5 - generar datos tridimensionales de la superficie del suelo en varios ciclos de medición de un sensor 3D asistido por radar o por láser, teniendo lugar las mediciones bajo una incidencia en ángulo agudo de los rayos de medición, de modo que la incidencia rasante de los rayos de medición con relación a la superficie del suelo y a las lagunas de datos de medición generadas por ello debido a efectos de sombra proyectada por objetos existentes que no son suelo, por ejemplo piedras o zanjas, genere una variación de las densidades locales de valores de medición y una variación de la propiedad estadística de orden superior, como varianza, oblicuidad y curtosis,

10 - generar la densidad espacial de valores de medición de los datos tridimensionales y al menos una propiedad estadística de orden superior de los datos tridimensionales y generar a partir de ello una medida de la rugosidad local de la superficie del suelo mediante una vinculación de la densidad de valores de medición con la al menos una propiedad estadística de orden superior de los datos tridimensionales, siendo la vinculación una adición o una multiplicación o bien una combinación de adición y multiplicación,

15 - clasificar los distintos elementos de superficie de un modelo sintético de la superficie del suelo que se basa en los datos tridimensionales medidos por medio de un clasificador numérico en base a los valores de rugosidad generados según el grado de su idoneidad como superficie de aterrizaje o de rodadura.

2. Procedimiento según la reivindicación 1, **caracterizado** por que se utiliza como propiedades estadísticas de orden superior de los datos tridimensionales un momento estadístico con  $n > 2$  correspondiente a la fórmula siguiente:

20 
$$m_n = \langle (h - \langle h \rangle)^n \rangle$$
, en donde  $\langle h \rangle$  es el valor medio de los datos tridimensionales  $h$ .

3. Procedimiento según la reivindicación 2, **caracterizado** por que el intervalo de valores de los datos tridimensionales  $h$  para el cálculo del valor medio  $\langle h \rangle$  se elige más pequeño que para el cálculo del momento estadístico correspondiente  $m_n$ .

25 4. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado** por que los valores de clasificación de los distintos elementos de superficie se emplean para la generación de una vista sintética de la superficie del suelo.

5. Procedimiento según la reivindicación 4, **caracterizado** por que en la vista sintéticamente generada de la superficie del suelo se hacen reconocibles los elementos de superficie adecuados como superficie de aterrizaje o de rodadura.

30 6. Procedimiento según la reivindicación 4, **caracterizado** por que en la vista sintéticamente generada de la superficie del suelo se hacen reconocibles los elementos de superficie no adecuados como superficie de aterrizaje o de rodadura.

35 7. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 4 a 6, **caracterizado** por que en la vista sintéticamente generada de la superficie del suelo se hace reconocible como no adecuada toda la superficie del suelo en caso de que se alcance o se sobrepase un número mínimo determinado  $n$  de elementos de superficie, con  $n \geq 1$ , que se hayan clasificado como no adecuados para servir de superficie de aterrizaje o de rodadura.

8. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado** por que se transfieren los valores de clasificación de los elementos de superficie a un sistema de aterrizaje automático.

40 9. Procedimiento para dictaminar sobre la idoneidad de una superficie del suelo como superficie de aterrizaje o de rodadura para aeronaves, **caracterizado** por los pasos de procedimiento siguientes:

45 - generar datos tridimensionales de la superficie del suelo en varios ciclos de medición de un sensor 3D asistido por radar o por láser, teniendo lugar las mediciones bajo una incidencia en ángulo agudo de los rayos de medición, de modo que la incidencia rasante de los rayos de medición con relación a la superficie del suelo y a las lagunas de datos de medición generadas por ello debido a efectos de sombra proyectada por objetos existentes que no son suelo, por ejemplo piedras o zanjas, genere una variación de las densidades locales de valores de medición y una variación de la propiedad estadística de orden superior, como varianza, oblicuidad y curtosis,

- obtener la densidad espacial de valores de medición de los datos tridimensionales y de al menos una propiedad estadística de orden superior de los datos tridimensionales,

50 - ingresar la densidad obtenida de valores de medición y la al menos una propiedad estadística obtenida de orden superior de los datos tridimensionales en una red neuronal o en un clasificador de lógica difusa para clasificar los



distintos elementos de superficie de un modelo sintético – basado en los datos tridimensionales medido – de la superficie del suelo según el grado de su idoneidad como superficie de aterrizaje o de rodadura.

Fig. 1

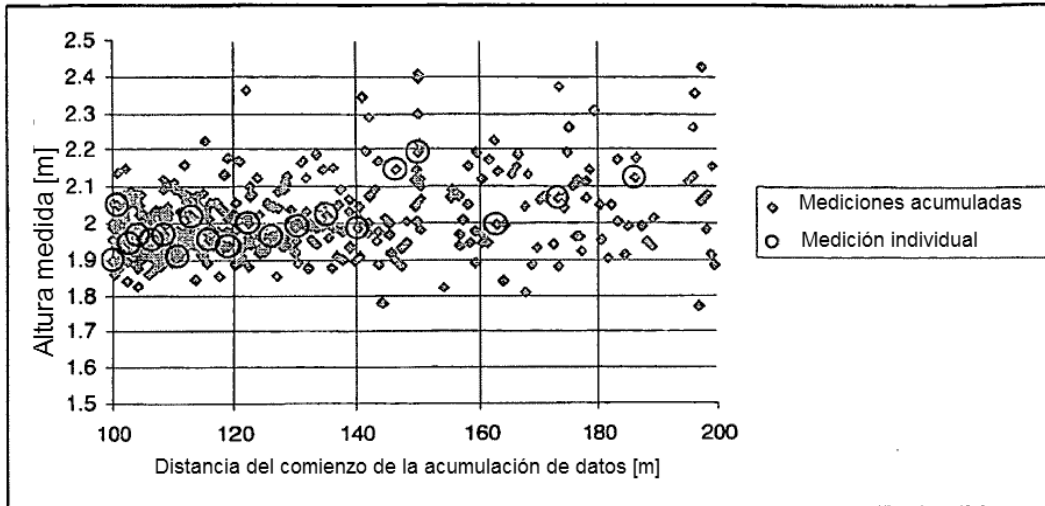


Fig. 2

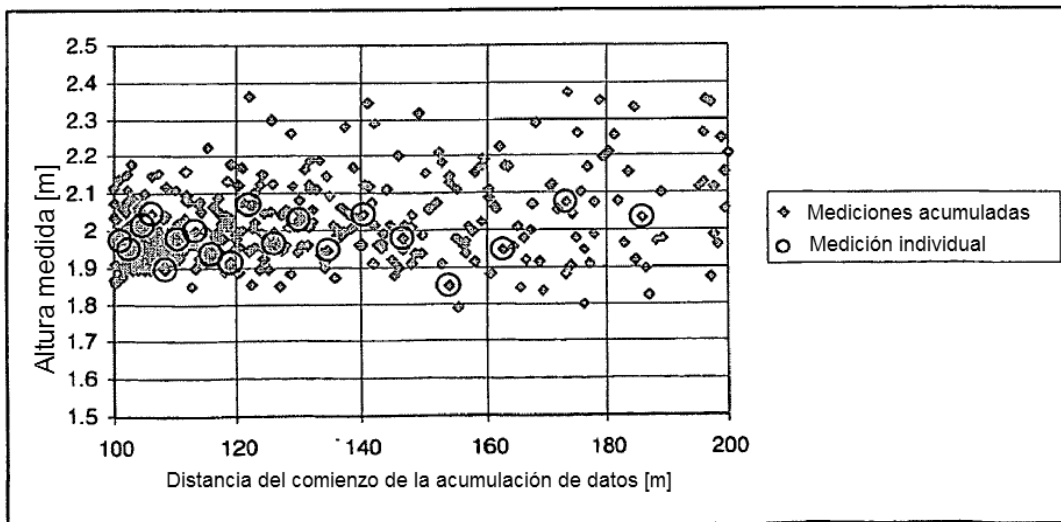


Fig. 3

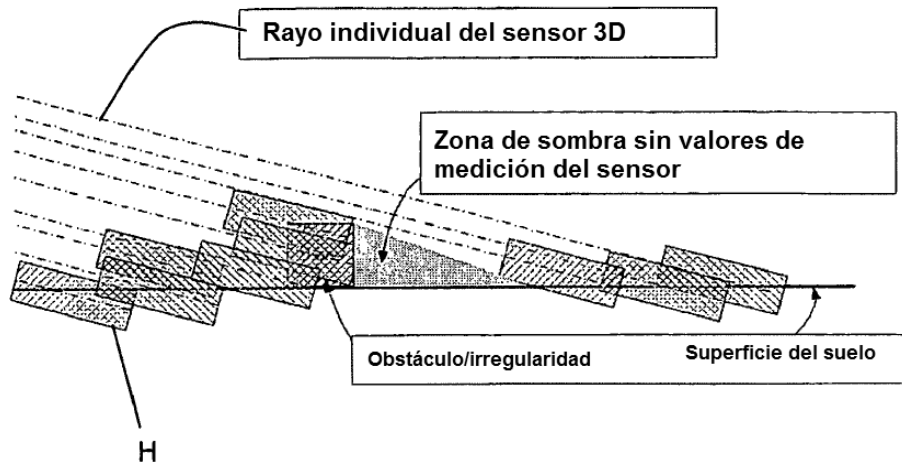


Fig. 4

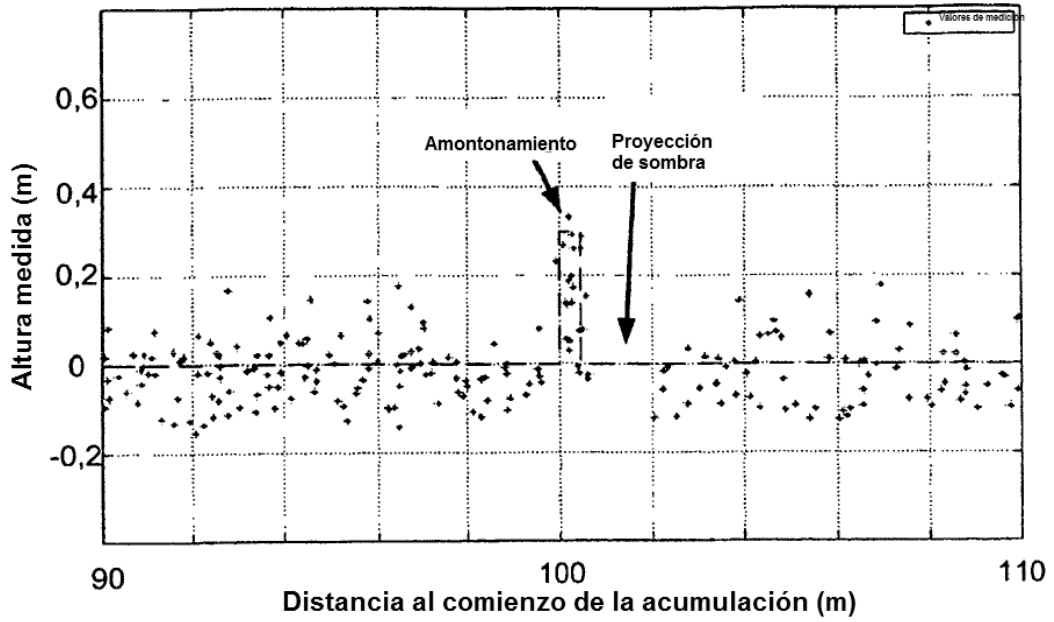
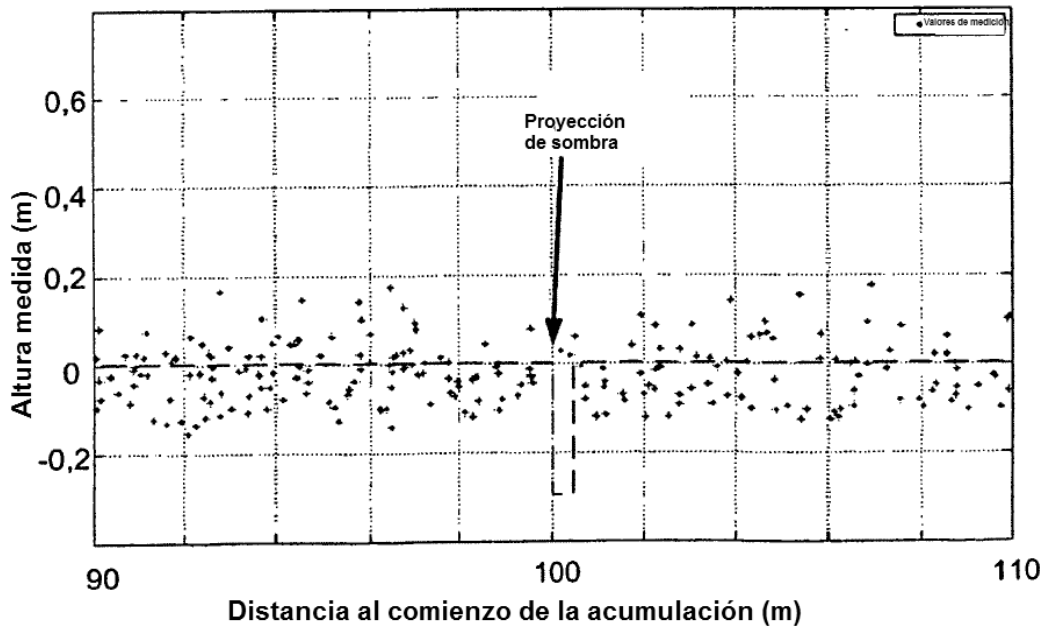


Fig. 5



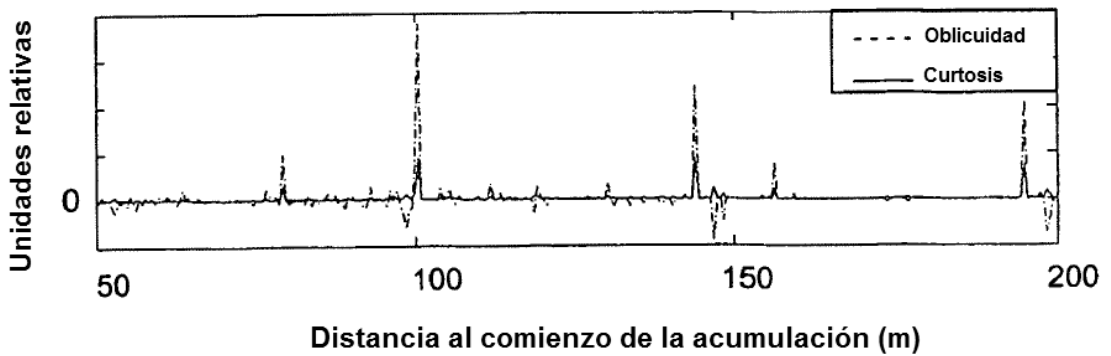
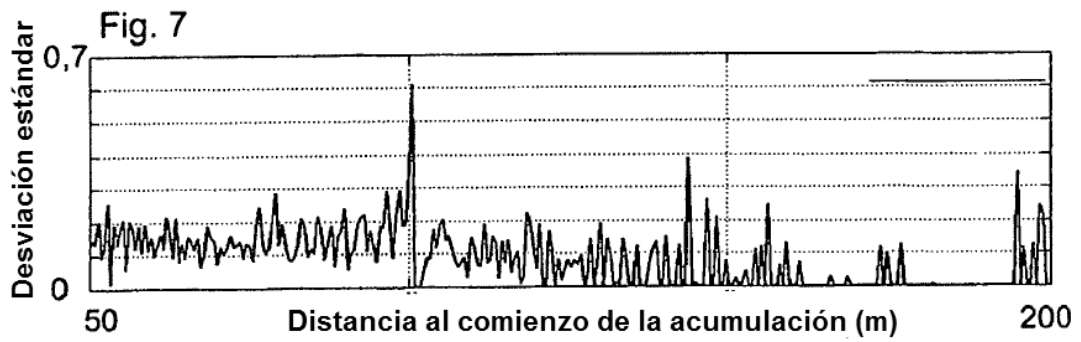
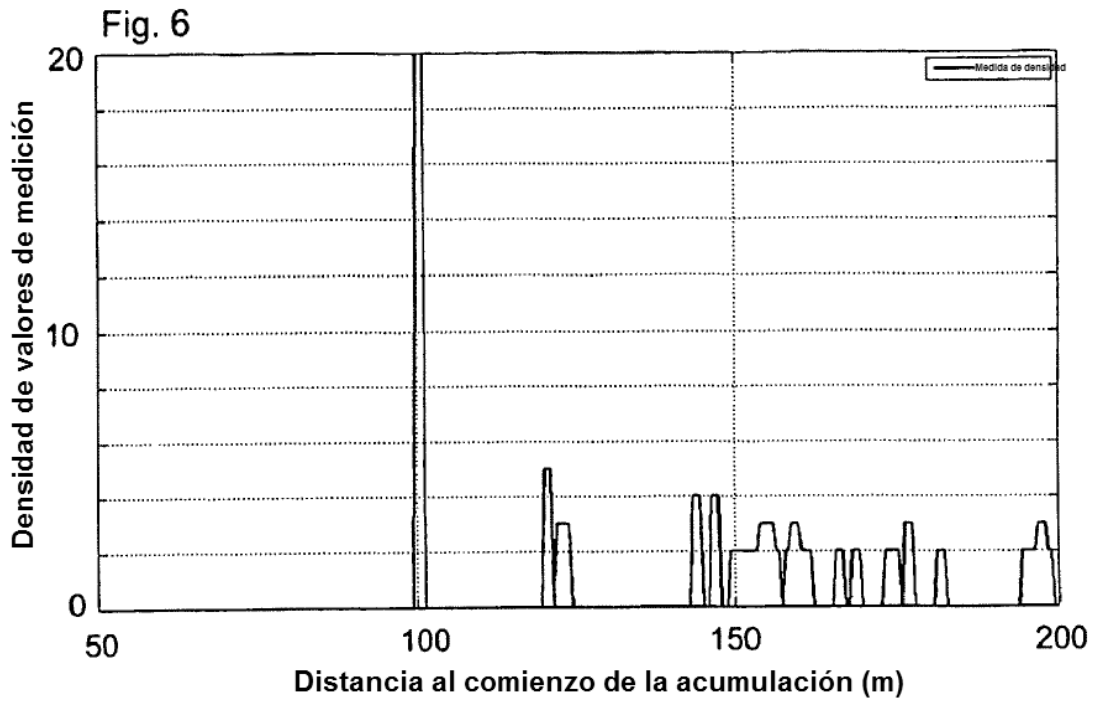


Fig. 8

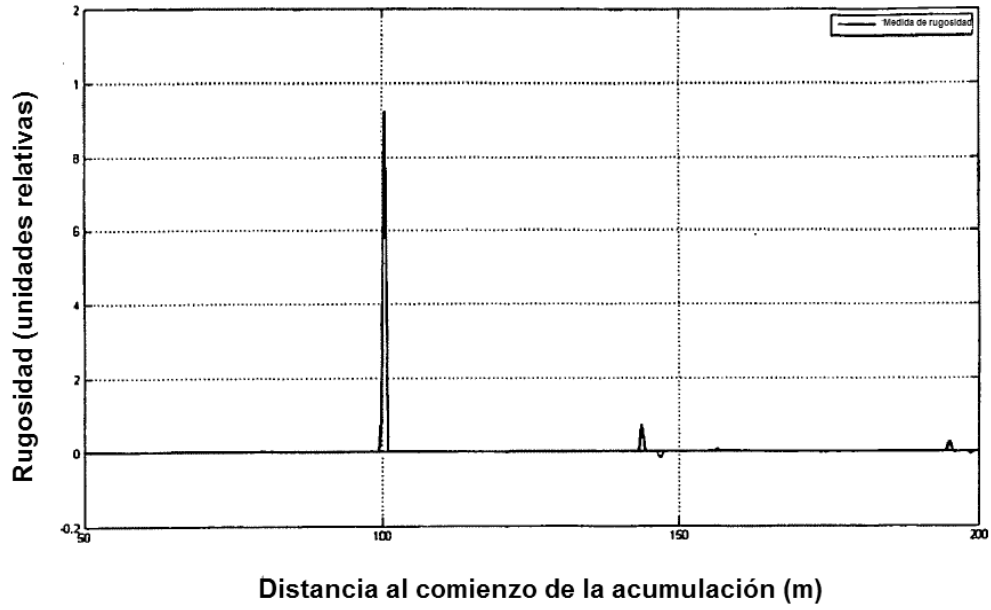


Fig. 9

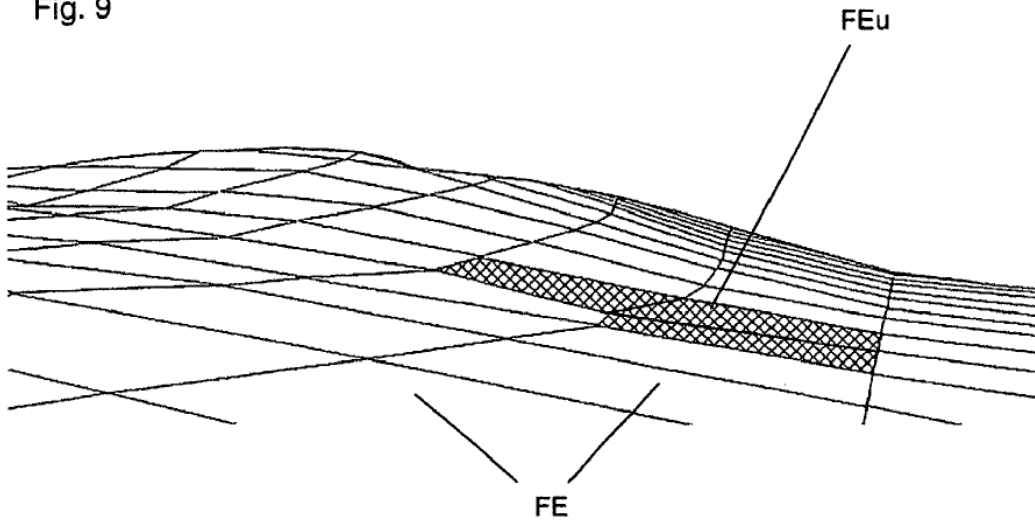


Fig. 10

