

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 390 448**

51 Int. Cl.:
F41G 9/00

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **02736533 .7**

96 Fecha de presentación: **03.04.2002**

97 Número de publicación de la solicitud: **1373822**

97 Fecha de publicación de la solicitud: **02.01.2004**

54 Título: **Método y sistema para corregir por la curvatura de la onda de presión en la determinación de la trayectoria de un proyectil**

30 Prioridad:
03.04.2001 US 280740 P

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
13.11.2012

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
13.11.2012

73 Titular/es:
**AAI CORPORATION (100.0%)
P.O. BOX 126
HUNT VALLEY, MD 21030-0126, US**

72 Inventor/es:
MCNELIS, NIALL, B.

74 Agente/Representante:
DE ELZABURU MÁRQUEZ, Alberto

ES 2 390 448 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

Método y sistema para corregir por la curvatura de la onda de presión en la determinación de la trayectoria de un proyectil

Antecedentes de la invención.

5 En la técnica se ha reconocido durante mucho tiempo que se podrían utilizar medios acústicos para determinar una parte de la trayectoria de un proyectil, y la técnica, en general, ha utilizado dichos medios acústicos para localizar el punto en el que un proyectil pasa en o cerca de un blanco de adiestramiento para evaluar la precisión de las pequeñas armas de fuego en lugar de los blancos de papel más convencionales. Un ejemplo de lo anterior es la patente de EE.UU. número 4.514.621. Básicamente, estos dispositivos funcionan por medio de una rejilla de
10 sensores acústicos en la que el plano de los sensores es normal a la trayectoria del proyectil, por ejemplo, una bala de rifle. Cuando la bala de rifle pasa a través de la rejilla de sensores, los sensores pueden localizar el paso de la bala a través de esa rejilla de sensores mediante un cálculo de los retardos de tiempo de los sensores.

15 En lugar de usar una rejilla de sensores acústicos para determinar la trayectoria de un proyectil, se podrían utilizar aros alargados curvos con transductores acústicos en sus extremos. Cuando una bala pasa por las proximidades de los aros curvos, se puede calcular la posición de la bala que pasa por dichos aros curvos, y la patente de EE.UU. nº 4.351.026 es representativa de tales cálculos. Se podrían usar también aros curvos donde el blanco se esté moviendo dentro de un campo definido normal a los aros, y la patente de EE.UU. Nº 5.025.424 es representativa de dicha técnica.

20 De un modo algo similar, la patente de EE.UU. nº 4.885.725 sugiere una pluralidad de transductores acústicos conectados mecánicamente y agrupados triangularmente en lugar de aros curvos, para determinar el punto en que la bala pasa por la zona del blanco y para proporcionar alguna indicación de la velocidad de esa bala.

25 Las patentes anteriores están dirigidas principalmente a evaluar el fuego de un aprendiz. Algunas patentes están orientadas a determinar la dirección general del fuego enemigo hacia un dispositivo militar, tal como un helicóptero. Por ejemplo, la patente de EE.UU.4.659.034 sugiere el uso de una pluralidad de transductores dispuestos sobre un blanco móvil (remolcado), y, mediante el uso de dichos transductores, determinar la precisión del fuego hacia ese blanco. Esa precisión del fuego incluye lo cerca que el proyectil llega a la zona del blanco remolcado (a la que se denomina "distancia de aproximación al blanco") La patente de EE.UU. Nº 4.323.993 determina similarmente una distancia de aproximación al blanco mediante transductores acústicos, y, en particular, en esta patente la distancia de aproximación al blanco es calculable incluso aunque el proyectil falle conjuntamente al blanco remolcado.

30 La patente de EE.UU. número 4.805.159 provee un método para estimar la distancia de aproximación entre un proyectil y un blanco móvil de adiestramiento. En la realización de esta estimación, se estima también al menos una fracción de la trayectoria del proyectil. Sin embargo, como señala esta patente, las estimaciones de al menos una fracción de la trayectoria del proyectil sí implican una serie de posibles estimados de la trayectoria real del proyectil, y para eliminar estimados erróneos, se usan transductores adicionales para seleccionar consecutivamente
35 estimados verdaderos de entre estimados erróneos.

40 En desarrollos adicionales, la patente de EE.UU. Nº 5.544.129 y los documentos DE 3524753 A1, GB 2105464, GB 2181240, y GB 2246861 tratan de la detección de fenómenos acústicos para la detección de disparos. Estas patentes tratan de la detección de de la onda expansiva de hocio en lugar de la onda de choque del proyectil para determinar la trayectoria del proyectil, tal como una bala. Se realiza la aproximación de una onda plana para la onda expansiva para la detección de los tiempos.

45 La patente de EE.UU. Nº 5.930.202 divulga un sistema básico de dos sensores cada uno con al menos 3 elementos de detección para la determinación de trayectorias. El sistema detecta la onda de choque del proyectil. El sistema tiene una longitud de base muy amplia (separación entre sensores). Como resultado, se supone que el proyectil se desplaza paralelamente al suelo. Por consiguiente, el sistema no es capaz de distinguir elevación, a no ser que se detecte una explosión de hocio adicional.

50 Por tanto, en general, la técnica anterior principalmente usa sensores, especialmente transductores acústicos, en diversas disposiciones espaciales para determinar la distancia de aproximación de un proyectil que pase a través de o cerca de un blanco. Algunos de estos sistemas de la técnica podrían proveer una dirección general de una trayectoria local del proyectil, pero estos sistemas no son capaces de proporcionar una información precisa en cuanto a la totalidad de la trayectoria del proyectil y por tanto, de la posición de la fuente de ese proyectil. Adicionalmente, estos sistemas de la técnica anterior, cualquiera que sea su configuración, deben tener un conocimiento previo de la dirección o de la velocidad del proyectil, con el fin de determinar la trayectoria local del proyectil.

55 Recientemente, se han hecho varios intentos para proporcionar una solución completa en la determinación de la trayectoria de un proyectil. Por ejemplo, las patentes de EE.UU. números 5.258.962, 5.241.518, 4.885.725 y 4.323.993; y las patentes extranjeras números EP 0.259.428, EP 0064477 A, EP 0684485 y WO 91/108876

proporcionan todas una solución completa suponiendo que la fracción de la onda de choque cónica que impacta con un sensor tiene forma plana. Esto conduce a un error en la obtención de la dirección de llegada del proyectil que se hace más grave a medida que disminuye la distancia de aproximación de la trayectoria, como se describe con más detalle más adelante.

5 Cuando un proyectil supersónico atraviesa el aire a lo largo de su trayectoria, crea una onda de choque cónica. La onda de choque cónica se extiende hacia afuera desde la parte trasera del proyectil. Cuando la onda de choque se expande fuera de la trayectoria del proyectil, se encuentra con los sensores. Con el fin de localizar la trayectoria en un espacio tridimensional, todos los sistemas acústicos relevantes hacen la misma hipótesis fundamental; suponen que los elementos de detección dentro de cada sensor están espaciados muy cerca unos de otros en comparación con la distancia entre el sensor y la trayectoria. Esto permite la hipótesis subsiguiente de que el segmento de la onda de choque que impacta contra un sensor individual (y sus elementos en relación de asociación con él) es una onda plana lisa. Como la trayectoria tiene una distancia de aproximación menor a un sensor, esta hipótesis plana conduce a un error creciente en la determinación de la aproximación y ubicación de la trayectoria. Si el sensor es parte de un sistema de blanco, esto conducirá a errores crecientes del punto de impacto del blanco. Este error surge porque el segmento real del cono de choque que impacta con el sensor es curvo. Esta discrepancia entre las formas de onda de choque curvas y lisas conduce a la generación de un vector de apuntamiento unitario que está desalineado con respecto al vector de apuntamiento unitario real. Esto, a su vez, causa una desalineación de la trayectoria deducida y de cualquier punto de impacto proyectado.

20 De acuerdo con lo anterior, existe actualmente una práctica general en suponer que una onda de choque plana impacta con el sensor. La normal a este plano supuesto se puede calcular entonces a partir de las diferencias de tiempos de llegada en los elementos de sensor. Esto funciona bien cuando la aproximación al segmento de la onda de choque está más próxima a un plano en cuanto a su forma que a un cono. Ello, por tanto, es una buena aproximación cuando la fuente de choque (trayectoria) esté lejos del sensor. Pero cuando se requiera mayor precisión, es necesario eliminar esta aproximación plana y calcular a partir de la geometría cónica exacta de la onda de choque, con independencia de cualesquiera otros errores.

Por tanto, existe una necesidad de eliminar los errores anteriormente descritos creados por la aproximación plana de la onda de choque. Además se necesita lograr un ajuste óptimo para todos los datos del sensor; minimizando de ese modo los errores de temporización intrínsecos, de alineación mecánica y de construcción mecánica (errores basados en la carencia de curvatura.)

30 Sumario de la invención

La presente invención puede proveer un método y un aparato para determinar la trayectoria de un proyectil. A medida que un proyectil se mueve a través del aire, se crea una onda de presión. La onda de presión se detecta, y basándose en esta detección, se pueden determinar diversos parámetros.

35 Se puede determinar una trayectoria incorrecta a partir de estos parámetros usando una aproximación plana para la onda de presión. En una realización ejemplar de la invención, la trayectoria correcta del proyectil se puede generar basándose en la trayectoria incorrecta y en los parámetros medidos. Los vectores de apuntamiento unitario utilizados para generar la trayectoria incorrecta se pueden perturbar para minimizar una diferencia entre los parámetros medidos realmente y los parámetros calculados usando una geometría correcta para la onda de presión y la trayectoria incorrecta. Cuando la diferencia entre los parámetros medidos y los parámetros calculados cae dentro de un intervalo aceptable, se puede determinar una trayectoria más precisa para el proyectil.

40 Dada una trayectoria y unos vectores de apuntamiento unitario determinados basándose en una aproximación plana o en otra aproximación de una onda de choque, un método y un aparato de acuerdo con una realización de la invención podrían calcular parámetros, tales como tiempos, que los sensores deberían haber detectado, basados en esta trayectoria y en una geometría cónica para la onda de choque. Se podría minimizar una diferencia entre los tiempos calculados y los tiempos reales medidos por los sensores. La minimización se podría realizar mediante la perturbación de los vectores de apuntamiento unitario. Cuando la perturbación de los vectores de apuntamiento unitario resulte en una diferencia aceptable entre los tiempos calculados y los tiempos medidos, se puede generar una trayectoria precisa del proyectil a partir de los vectores de apuntamiento unitario perturbados.

50 En un primer aspecto, la invención consiste en un método de determinar una trayectoria de un proyectil, que comprende:

- a) medir parámetros de una onda de presión;
- b) determinar los vectores de apuntamiento unitario basándose en los parámetros medidos;
- c) determinar una trayectoria basándose en los vectores de apuntamiento unitario;
- d) generar los parámetros calculados basándose en la trayectoria;

e) perturbar los vectores de apuntamiento unitario para minimizar la diferencia entre los parámetros medidos y los parámetros calculados; y

f) determinar una nueva trayectoria basándose en los vectores de apuntamiento unitario perturbados.

5 En un segundo aspecto, la invención consiste en un aparato para determinar una trayectoria de un proyectil, que comprende:

como mínimo dos sensores espaciados capaces de encontrar una onda de presión generada por el proyectil y capaces de generar señales en respuesta a la onda de presión, cuyas señales se refieren a un ángulo de azimut y a un ángulo de elevación de un vector de apuntamiento unitario;

10 medios para calcular, a partir de las señales, los vectores de apuntamiento unitario para cada uno de los sensores;

medios para calcular una primera trayectoria del proyectil basándose en los vectores de apuntamiento unitario; y

medios para retrocalcular tiempos a partir de la primera trayectoria basándose en una geometría cónica de la onda de presión.

15 En un tercer aspecto, la invención consiste en un medio de almacenamiento de información utilizable con un ordenador que guarda medios de código de programa legible por ordenador para causar que un ordenador realice el método de determinación de la trayectoria de acuerdo con el primer aspecto.

Breve descripción de las figuras.

La figura 1 ilustra un proyectil que pasa a través del aire y su onda de presión;

20 La figura 2 ilustra una disposición genérica de sensores utilizada para detectar la onda de presión;

La figura 3 ilustra un segmento de onda plana de una onda de presión llegando a un sensor;

La figura 4 ilustra una onda de presión cónica llegando a un sensor;

La figura 5 es un diagrama de flujo de un método según una realización de la invención;

La figura 6 es una ilustración de una disposición de sensor adecuada;

25 La figura 7 es una ilustración de una disposición adecuada de aparato;

La figura 8 es un diagrama de flujo de un método para generar una aproximación inicial para la trayectoria de acuerdo con una realización de la invención; y

La figura 9 es una ilustración de un diagrama de flujo de una rutina de minimización según una realización de la invención.

Descripción detallada de la invención

30 La presente invención puede proveer un método y un aparato para determinar con precisión una trayectoria de un proyectil. Como se ha indicado anteriormente, la mayoría de los métodos para determinar la trayectoria asumen una onda de presión generada por el proyectil que es de forma plana, cuando, de hecho, la onda de presión es cónica. La presente invención podría corregir por esta suposición y proveer una solución corregida por curvatura para mayor

35 precisión en la determinación de la trayectoria del proyectil.

A medida que un proyectil se mueve a través del aire, típicamente genera una onda de presión. La onda de presión se puede detectar y utilizar para determinar una trayectoria del proyectil. Se puede usar cualquier método para detectar la onda de presión y determinar una trayectoria inicial. Por ejemplo, se puede determinar la trayectoria basándose en una técnica de medida de densidad fotométrica, tal como una fotografía Schlieren, o a partir de parámetros generados por transductores acústicos que detectan la onda de presión. Basándose en los parámetros generados por el método de detección (parámetros medidos), se pueden determinar los vectores de apuntamiento unitario. A partir de estos vectores de apuntamiento unitario, es un procedimiento sencillo determinar la trayectoria del proyectil. Sin embargo, como la onda de presión es realmente de forma cónica, esta trayectoria será incorrecta. Basándose en esta trayectoria incorrecta, se pueden calcular los parámetros que deberían haberse detectado

40 usando una geometría cónica correcta para la onda de presión (parámetros calculados). La diferencia entre los parámetros medidos y calculados se puede usar para determinar una trayectoria más precisa. Por ejemplo, se podrían perturbar los vectores de apuntamiento unitario para minimizar la diferencia entre los parámetros medidos y

los parámetros calculados. Cuando esta diferencia esté dentro de un margen aceptable, se puede determinar una trayectoria precisa para el proyectil basándose en los vectores unitarios perturbados.

5 A continuación se describe la invención con más detalle, en el contexto de transductores acústicos que registran los tiempos en que la onda de presión encuentra a los transductores. Esos tiempos se usan entonces para determinar la trayectoria del proyectil. Sin embargo, como se ha indicado anteriormente, se puede usar cualquier modalidad de detectar la onda de presión y cualquier parámetro obtenido de la detección en conjunción con la presente invención.

10 Usualmente, en los métodos y aparatos para determinar la trayectoria de un proyectil supersónico, se usan sensores de algún tipo para detectar la onda de choque creada por el proyectil. Basándose en la detección de la onda de choque, se pueden recoger o medir diversos parámetros relacionados con la onda de choque, por ejemplo, los tiempos en que diferentes sensores encuentran a la onda de choque. Estos parámetros medidos se pueden usar entonces para obtener una información relacionada con la trayectoria del proyectil. Típicamente, a partir de los parámetros se determinan los vectores de apuntamiento unitario. Los vectores de apuntamiento unitario se pueden usar para determinar una elevación y un azimut hacia una trayectoria del proyectil. Basándose en estos vectores de apuntamiento unitario, se puede obtener la trayectoria del proyectil. Hay varios modos bien conocidos para determinar la trayectoria a partir de los vectores de apuntamiento unitario. Como se ha descrito anteriormente, estas operaciones para determinar la trayectoria se realizan usualmente suponiendo que la onda de choque es plana o de otra forma distinta a la forma cónica real con el fin de simplificar los cálculos. La presente invención podría utilizar los parámetros medidos de la onda de choque y los vectores de apuntamiento unitario determinados a partir de los mismos para corregir por la curvatura de la onda de choque, según se describe más adelante.

20 Típicamente, los sensores registran los tiempos cuando la onda de choque es encontrada por ese sensor particular. A partir de estos tiempos se podrían generar una trayectoria y unos vectores de apuntamiento unitario basándose en una aproximación plana de la onda de choque. Como la onda de choque realmente tiene una geometría cónica, esta trayectoria es incorrecta. Dadas esta trayectoria incorrecta y los vectores de apuntamiento unitario, un método y un aparato de acuerdo con una realización de la invención podrían calcular los tiempos que los sensores deberían haber detectado, basándose en una geometría cónica de la onda de choque para la trayectoria incorrecta. Se podría minimizar una diferencia de los tiempos calculados a partir de la trayectoria incorrecta y los tiempos reales medidos por los sensores. Esta minimización se podría realizar perturbando los vectores unitarios. Cuando la perturbación de los vectores unitarios resulte en una diferencia aceptable entre los tiempos calculados y los tiempos medidos, se puede generar una trayectoria precisa del proyectil a partir de los vectores de apuntamiento unitario perturbados. Por supuesto, si se usan otros parámetros distintos del tiempo para generar los vectores de apuntamiento unitario y la trayectoria, las diferencias entre los parámetros medidos y calculados se podrían minimizar utilizando la presente invención para corregir por la curvatura de la onda de choque.

35 Refiriéndose ahora a la figura 5, se describe una visión de conjunto de un método según una realización ejemplar de la invención. Como se ha mencionado anteriormente, se podrían medir los tiempos en que la onda de choque es encontrada por diferentes sensores. Basándose en estos tiempos medidos, se puede generar para los sensores una aproximación plana al vector normal de la onda de choque. Estos vectores son usualmente vectores de apuntamiento unitario para cada uno de los sensores. Los vectores de apuntamiento unitario se podrían usar para generar una solución completa para el proyectil, es decir, vectores de apuntamiento completos, incluyendo la magnitud, a partir de los sensores hasta la trayectoria para el proyectil, según la etapa 100. Sin embargo, como esta trayectoria se genera típicamente usando una aproximación plana para la onda de choque y la onda de choque es realmente cónica, esta trayectoria es imprecisa. Para compensar por la aproximación plana, se puede realizar un proceso iterativo.

45 Comenzando en la etapa 102, se podría perturbar uno de los vectores de apuntamiento unitario obtenidos en la etapa 100. Preferiblemente, la perturbación se realiza en dos planos que sean perpendiculares entre sí. Una selección juiciosa de los planos puede aumentar la velocidad en la que se alcanza un resultado preciso. A continuación en la etapa 104, el vector de apuntamiento unitario generado en la etapa 102 y los otros vectores de apuntamiento unitario que no han sido perturbados se podrían usar para generar una nueva trayectoria. La nueva trayectoria de la etapa 104 se podría usar entonces para retrocalcular los tiempos en que las ondas de choque deberían haber llegado a los sensores en la etapa 106. El retrocálculo debería realizarse usando una geometría cónica para la onda de choque. Los tiempos retrocalculados se pueden comparar con los tiempos medidos, según la etapa 108. Si la diferencia entre los tiempos reales y los tiempos retrocalculados es aceptable, el proceso podría terminar, etapa 112. De lo contrario, el proceso debería volver a la etapa 102 y repetirse para otros vectores de apuntamiento unitario, según la etapa 110. El proceso se podría repetir para un número predeterminado de iteraciones, un período de tiempo predeterminado o hasta que se obtenga un resultado aceptable.

55 Volviendo ahora a las figuras 6 y 7, se describirá un aparato que se podría usar para detectar una onda de choque de un proyectil supersónico. Aunque el invento se describe más adelante en un entorno particular, debe hacerse notar que el invento se puede modificar por los expertos en la técnica para que funcione en diferentes entornos, por ejemplo, usando diferentes tipos de sensores o usando un diferente número de sensores o de elementos de sensor.

La figura 6 ilustra un sensor capaz de detectar una onda de choque. Preferiblemente, como mínimo dos de dichos sensores se disponen para encontrar la onda de choque del proyectil. Cada sensor podría incluir un número de elementos de sensor, por ejemplo transductores. En la figura 6 se muestra una relación específica típica de sensor preferido, pero el sensor puede ser de cualquier configuración que se desee que sea coherente con los requisitos, según se ha descrito anteriormente y se explicará con más detalle más adelante. Se deberían usar al menos dos sensores y como mínimo dos elementos de sensor. En el ejemplo mostrado en la figura 6, cada elemento de sensor 60, 61, 62 (se han mostrado tres en la figura 6) está montado sobre un soporte 63 (que se describe con más detalle posteriormente en la presente memoria). Los elementos de sensor podrían ser cualquier transductor capaz de generar una señal en respuesta a la presión sobre el traductor creada por la onda de choque que encuentra al transductor y no se limita a transductores acústicos. Los transductores podrían generar una señal luminosa, una señal de tono acústico, una señal eléctrica, u otras, pero son bastante convenientes en este sentido los cristales piezoeléctricos disponibles en el comercio. Por ejemplo, los transductores mostrados en la figura 6 pueden ser cristales piezoeléctricos fabricados por Electro-Ceramics. Un hilo 64 está soldado a cada lado de los cristales después de haber preparado la superficie del cristal con un material abrasivo. La polaridad de cada cristal se anota para que cada entrada al cristal tenga la misma polaridad que va a los sistemas electrónicos de detección, explicado más adelante. Se produce una salida de tensión positiva durante la compresión del cristal por la onda de choque. Los cristales se podrían pegar al soporte 63 con un adhesivo, tal como un adhesivo basado en silicona, y, preferiblemente, el soporte es un material convencional absorbente de choques convencionales, por ejemplo Isodamp. Este material debería tener una propiedad de amortiguamiento acústico. Cada uno de los cristales del transductor está posicionado sobre un soporte 63 en una geometría conocida. Preferiblemente se usa un triángulo equilátero con longitudes de lado de 7,62 cm (3 pulgadas), aunque se podrían usar cualquier geometría conocida y cualquier longitud de distancias entre los cristales. Sin embargo, el triángulo equilátero simplifica los cálculos y por esa razón es preferido.

Los seis hilos 64, dos de cada uno de los tres elementos de sensor 60, 61y 62, se introducen como entrada a un módulo colector de datos como se muestra en la figura 7, con un módulo colector de datos para cada transductor. Estos módulos determinan qué elemento de sensor tiene el primer impacto por una onda principal de choque, con más preferencia por el frente principal de choque, cuyo elemento sensor tiene un segundo impacto por esa onda de choque, y el tiempo entre el primer impacto y el segundo impacto, así como el tiempo entre el primer impacto y el último impacto. Esta información se alimenta a un ordenador para realizar los cálculos requeridos, a lo que se hace referencia más adelante, por cualquier dispositivo convencional, tal como un multiplexador de puerto paralelo a un adaptador paralelo-serie, con las fuentes de alimentación correspondientes requeridas, también como se muestra en la figura 7. Por ejemplo esta disposición puede acomodar doce puertos de entrada paralelos de 8 bits y conmutar cada uno, a su vez, a un solo puerto paralelo de salida de 8 bits. La salida se alimenta a través de un adaptador de paralelo a serie al ordenador. Todos los componentes de esta disposición, con excepción de los sensores, están disponibles en el comercio y son bien conocidos en la técnica. Por tanto, no es necesaria ninguna descripción adicional de los mismos.

Una vez en el ordenador, los datos se usan en cálculos para convertir esos datos a una información de azimut y elevación para cada transductor de un sensor. Estos cálculos se podrían realizar usando un software que realice el método descrito en la patente de EE.UU. N° 5.241.518. Además, según se ha indicado anteriormente deberían existir al menos tres sensores, y una disposición similar a la descrita anteriormente se usa para cada sensor. El ordenador toma los datos de cada sensor y hace el cálculo matemático, descrito anteriormente, para el azimut y la elevación del vector de avistamiento total generado por parte de cada sensor. Por ejemplo, en la disposición mostrada en la figura 6, el origen del vector será el punto central 66 de los tres transductores, con el vector de avistamiento total de los transductores extendiéndose a la trayectoria del proyectil. Este cálculo, por tanto, obtiene la posición, el azimut y la elevación de la trayectoria local del proyectil, en la vecindad de los sensores, así como la velocidad del proyectil.

De acuerdo con lo anterior, los vectores de apuntamiento unitario y, a partir de los vectores de apuntamiento unitario, los vectores de apuntamiento total y una trayectoria del proyectil se pueden calcular usando una aproximación plana de la onda de choque. La trayectoria determinada a partir de la aproximación plana debería modificarse para obtener un resultado más preciso. Las figuras 8 y 9 son diagramas de flujo de un método de acuerdo con una realización ejemplar de la invención. La figura 8 se refiere a un método para proporcionar una aproximación inicial para iniciar el proceso de la figura 9. El ordenador indicado anteriormente se podría usar también para realizar estos métodos. Usando los tiempos detectados por los sensores, se pueden calcular los vectores de apuntamiento unitario en la etapa 200. Esto vectores unitarios se podrían usar para calcular una solución total, incluyendo vectores de apuntamiento total y una primera trayectoria para el proyectil según la etapa 202. Las etapas 200 y 202 se podrían realizar usando una aproximación plana para la onda de choque, por ejemplo, usando el método descrito en la patente de EE.UU.N° 5.241.518. Según se ha mencionado anteriormente, el método de esa patente podría usar diferencias de tiempos entre la onda de choque que encuentra a diferentes elementos de sensor. Por tanto, estos son los tiempos que los sensores deberían adaptarse para recogerlos. Basándose en la primera trayectoria determinada usando la aproximación plana para la onda de choque en las etapas 200 y 202, se podrían calcular los tiempos (tiempos calculados) en que la onda de choque debería haber llegado a los diferentes elementos de sensor, según la etapa 204. Los tiempos calculados deberían retrocalcularse,

basándose en una geometría cónica para la onda de choque, desde la primera trayectoria determinada en la etapa 202. La primera trayectoria se genera basándose en una aproximación plana para los vectores unitarios. Como los tiempos calculados se generan a partir de la primera trayectoria, pero usan una geometría cónica para la onda de choque, los tiempos calculados deberían diferir de los tiempos medidos por el sensor.

5 En una realización ejemplar, el retrocálculo puede generar los tiempos calculados para una trayectoria y unos vectores de apuntamiento total determinados. Por ejemplo, se puede usar un proceso de seguimiento de velocidad para el retrocálculo. Este proceso asume una forma cónica para la onda de choque.

10 A continuación, en la etapa 206, se podría generar una nueva trayectoria usando los tiempos calculados determinados en la etapa 204. La nueva trayectoria se podría calcular usando una ecuación, tal como la descrita en la patente de EE.UU. N° 5.241.518, todavía usando una aproximación plana. La nueva trayectoria de la etapa 206 se podría usar como una aproximación inicial para iniciar la rutina de minimización, etapa 208. La rutina de minimización se describe con más detalle más adelante en relación con la figura 9.

15 Una vez que se ha determinado la aproximación inicial, se puede determinar una solución más precisa usando una rutina de minimización. El diagrama de flujo de la figura 9 ilustra un ejemplo de una rutina de minimización iterativa según una realización de la invención. Se podría seleccionar como punto de partida uno de los vectores de apuntamiento unitario de la aproximación inicial. Se podría usar cualquiera de los vectores de apuntamiento unitario utilizados para generar la aproximación inicial, y al vector de apuntamiento unitario seleccionado se hará referencia en la presente memoria como el primer vector de apuntamiento unitario. Según la etapa 300, el primer vector de apuntamiento unitario se podría perturbar en un primer plano. La selección del plano debería hacerse con cuidado, ya que puede afectar al número de iteraciones requerido para llegar a un resultado preciso. Mientras se perturba el primer vector de apuntamiento unitario, debería minimizarse una diferencia entre los tiempos medidos y los tiempos calculados para el sensor correspondientes al primer vector de apuntamiento unitario, según la etapa 302. La minimización se podría realizar basándose en métodos bien conocidos tal como el método de interpolación polinómica de Brents o cualquier otro método de minimización.

25 A continuación, en la etapa 304, se podrían usar el nuevo primer vector de apuntamiento unitario de las etapas 300 y 302 y los últimos valores para los otros vectores de apuntamiento unitario que no hayan sido perturbados para generar una nueva solución completa para el proyectil, incluyendo vectores de apuntamiento total y una trayectoria.

30 En la etapa 306, se podría repetir el proceso de perturbación para el mismo primer vector de apuntamiento unitario que en la etapa 300. Sin embargo, en este caso, el primer vector de apuntamiento unitario se podría perturbar en un segundo plano que sea perpendicular al primer plano. De nuevo en este caso, mientras se perturba el primer vector de apuntamiento unitario en el segundo plano, debería minimizarse la diferencia entre los tiempos medidos y los tiempos calculados para el sensor correspondiente al primer vector de apuntamiento unitario, según la etapa 308.

35 Según una realización ejemplar, simplemente moviendo el vector de apuntamiento unitario una cantidad diminuta en el plano deseado se puede realizar la perturbación. Por ejemplo, el vector de apuntamiento unitario se puede rotar unos pocos grados en el plano. Se determina el efecto de la rotación sobre la diferencia entre los tiempos medidos y los tiempos calculados. La rotación se lleva a cabo hasta que se minimiza la diferencia entre tiempos.

40 Volviendo ahora a la etapa 310, se podría generar luego otra solución completa usando los últimos vectores de apuntamiento unitario, incluyendo el vector de apuntamiento unitario generado en las etapas 306 y 308, para actualizar las longitudes de los vectores de apuntamiento unitario, resultando en nuevos vectores de apuntamiento total, y conseguir una nueva trayectoria. Usando la trayectoria de la etapa 310, se podrían retrocalcular los tiempos calculados que el sensor debería haber detectado basándose en esa trayectoria. Este cálculo debería realizarse usando una geometría cónica para la onda de choque, y se podría llevar a cabo usando el proceso de retrocálculo descrito anteriormente con respecto a la figura 8. Los tiempos calculados se pueden comparar con los tiempos reales medidos para el sensor. El proceso de perturbación se podría repetir otra vez para los otros vectores de apuntamiento y para el primer vector de apuntamiento unitario vez hasta que se obtenga una diferencia aceptable de tiempo, según la etapa 312. Si la diferencia entre los tiempos está dentro de un intervalo aceptable, el proceso se podría detener según la etapa 314. Alternativamente, el proceso se podría repetir para un número seleccionado de repeticiones o para un periodo especificado de tiempo.

50 De acuerdo con lo anterior, se ha provisto un método y un sistema para determinar la trayectoria de un proyectil. El sistema y el método pueden corregir por la aproximación plana de la onda de choque y generar una trayectoria precisa para el proyectil. Por tanto, la fuente del proyectil se puede determinar con más precisión, basándose en esta trayectoria.

Las realizaciones ilustradas y descritas en esta memoria están destinadas únicamente a enseñar a los expertos en la técnica la mejor forma conocida para hacer y utilizar el invento.

55

REIVINDICACIONES

1. Un método de determinar una trayectoria (2) de un proyectil (1) que comprende:
 - a) medir los parámetros de una onda de presión (3);
 - b) determinar (200) vectores de apuntamiento unitario basándose en los parámetros medidos;
 - 5 c) determinar (202) una trayectoria basándose en los vectores de apuntamiento unitario;
 - d) generar (204) parámetros calculados basados en la trayectoria, y caracterizado por comprender
 - e) perturbar (300; 306) los vectores de apuntamiento unitario para minimizar (302, 308) la diferencia entre los parámetros medidos y los parámetros calculados; y
 - 10 f) determinar (304; 310) una nueva trayectoria basada en los vectores de apuntamiento unitario perturbados.
2. El método de la reivindicación 1, en el que la etapa (a) comprende detectar la onda de presión (3) creada por el proyectil (1) con un número de elementos de sensor (60, 61, 62) y medir los tiempos que los elementos de sensor tardan en encontrar a la onda de presión, la etapa (d) comprende generar los tiempos calculados basados en la trayectoria, y que comprende además:
 - 15 g) determinar una diferencia entre los tiempos medidos y los tiempos calculados;
 - h) determinar (314) si la diferencia entre los tiempos está dentro de un intervalo aceptable; y
 - i) si la diferencia está fuera del intervalo aceptable, repetir las etapas e)-h), de otro modo localizar una fuente del proyectil basándose en la nueva trayectoria.
- 20 3. El método de la reivindicación 1 o de la reivindicación 2, en donde la etapa b) (200) se realiza basándose en una aproximación plana para la onda de presión (3).
4. El método de una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que la etapa d) (204) se realiza basándose en una onda de presión cónica.
5. El método de una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en donde los vectores de apuntamiento unitario se perturban en dos planos.
- 25 6. El método de la reivindicación 5, en donde los dos planos son perpendiculares entre sí.
7. El método de la reivindicación 2, que comprende además:
 - determinar (206, 208) una trayectoria inicial para el proyectil (1) basada en los vectores de apuntamiento unitario;
 - 30 en el que la etapa d) comprende calcular los tiempos en que la onda de presión debería haber sido detectada por los elementos de sensor (60, 61, 62) basándose en la trayectoria inicial;
 - que comprende además, después de la etapa f), recalcular los tiempos calculados basándose en la nueva trayectoria;
 - 35 en donde las etapas e)-h) se repiten para un período predeterminado de tiempo, hasta que la diferencia de tiempos esté dentro de un intervalo aceptable o hasta que se hayan realizado un número predeterminado de iteraciones.
8. El método de una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en donde la diferencia se minimiza (302; 308) usando un método de interpolación polinómica.
9. El método de la reivindicación 7 o de la reivindicación 8, en donde la trayectoria inicial se calcula usando una geometría plana para la onda de presión (3).
- 40 10. El método de la reivindicación 7, en el que la etapa de recalcular se realiza usando una geometría cónica para la onda de presión (3).
11. El método de la reivindicación 8, en el que la trayectoria inicial se determina basándose en los tiempos calculados de la etapa d).
12. Un aparato para determinar una trayectoria de un proyectil (1) que comprende:

como mínimo dos sensores espaciados cada uno de los cuales comprende al menos dos elementos de sensor (60, 61, 62) capaces de encontrar una onda de presión (3) generada por el proyectil y capaces de generar señales en respuesta a la onda de presión, estando relacionadas las señales con un ángulo de azimut y de elevación de un vector de apuntamiento unitario;

5 medios para calcular, a partir de las señales, los vectores de apuntamiento unitario para cada uno de los sensores;

medios para calcular una primera trayectoria del proyectil basándose en los vectores de apuntamiento unitario, y caracterizado porque comprende

10 medios para retrocalcular los tiempos de la primera trayectoria basándose en una geometría cónica de la onda de presión.

13. Un medio de almacenamiento de información utilizable por ordenador que guarda los medios de código del programa legibles por ordenador para causar que un ordenador realice el método de determinar una trayectoria según la reivindicación 1.

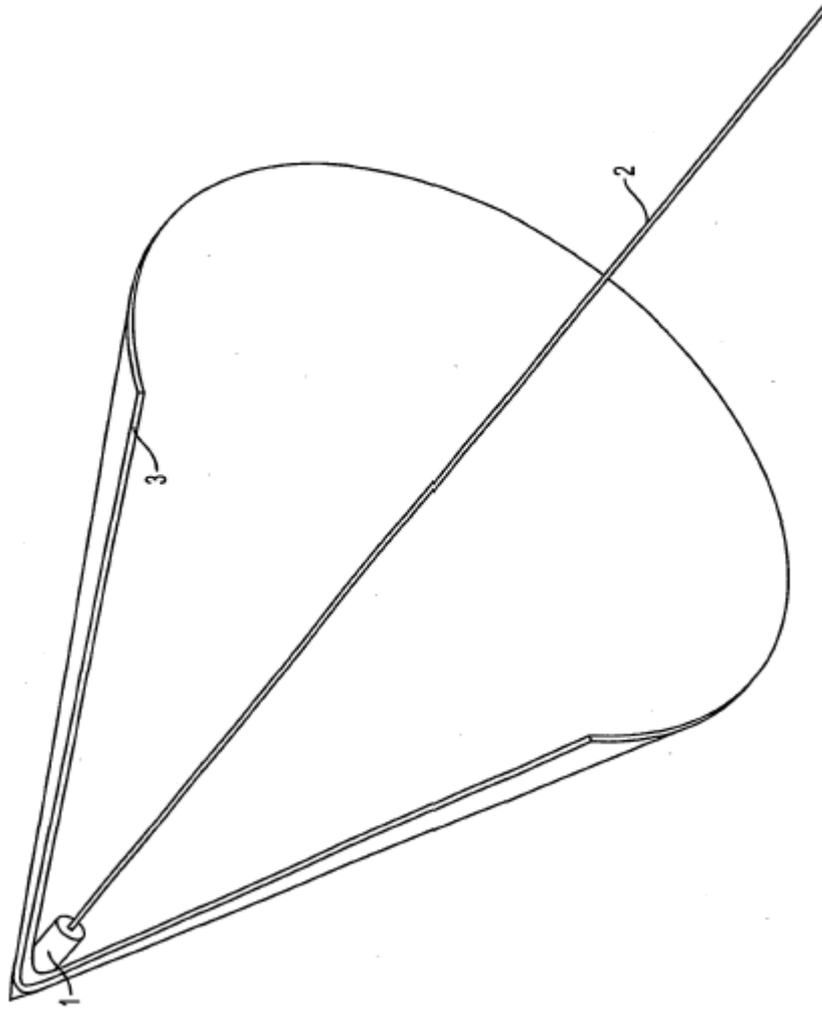


FIG.1

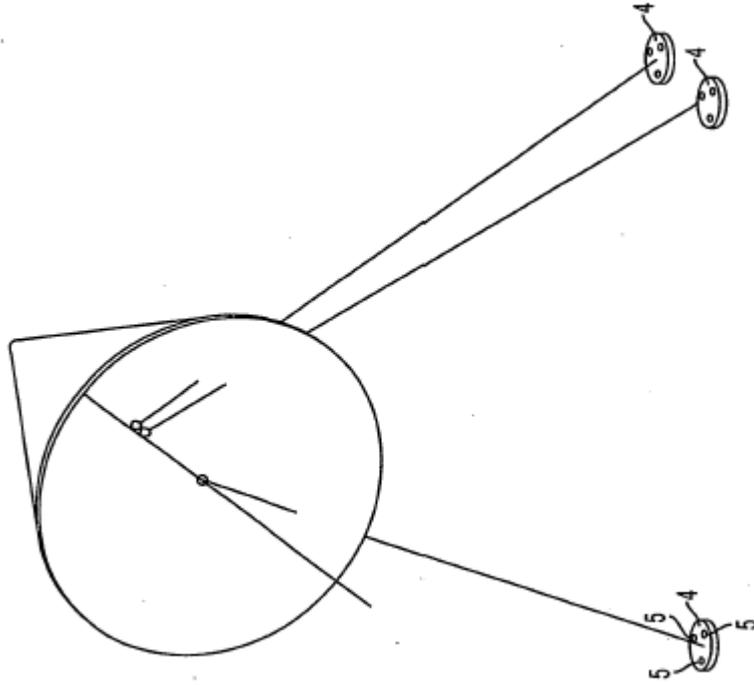


FIG. 2

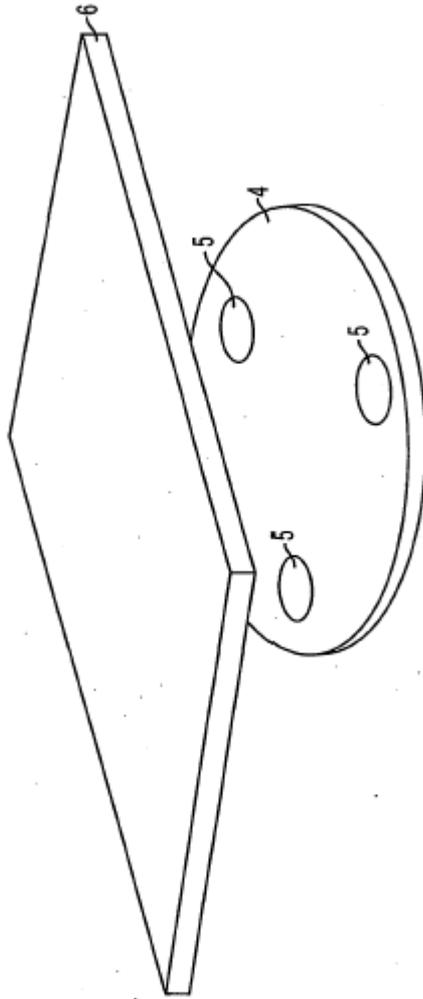


FIG. 3

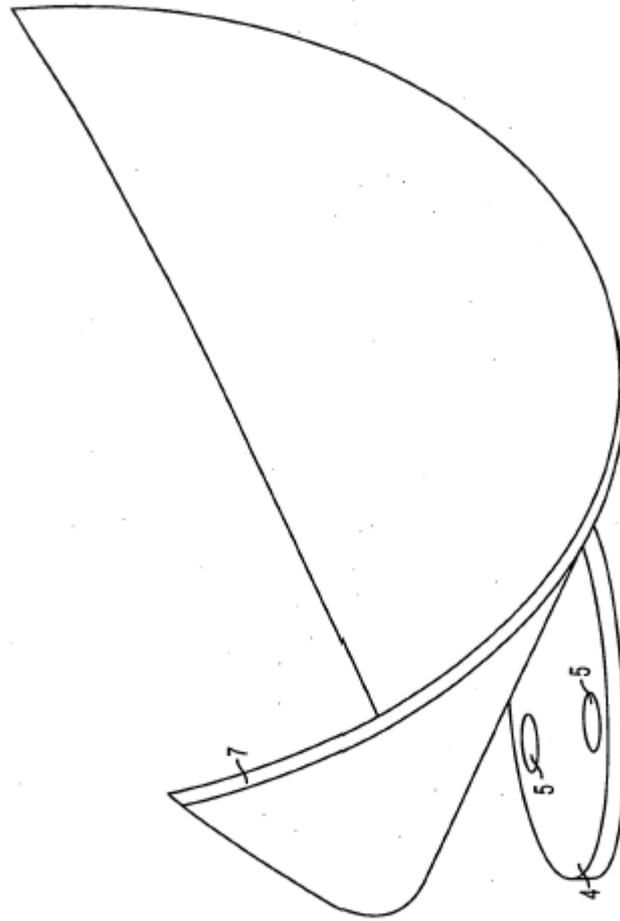


FIG. 4

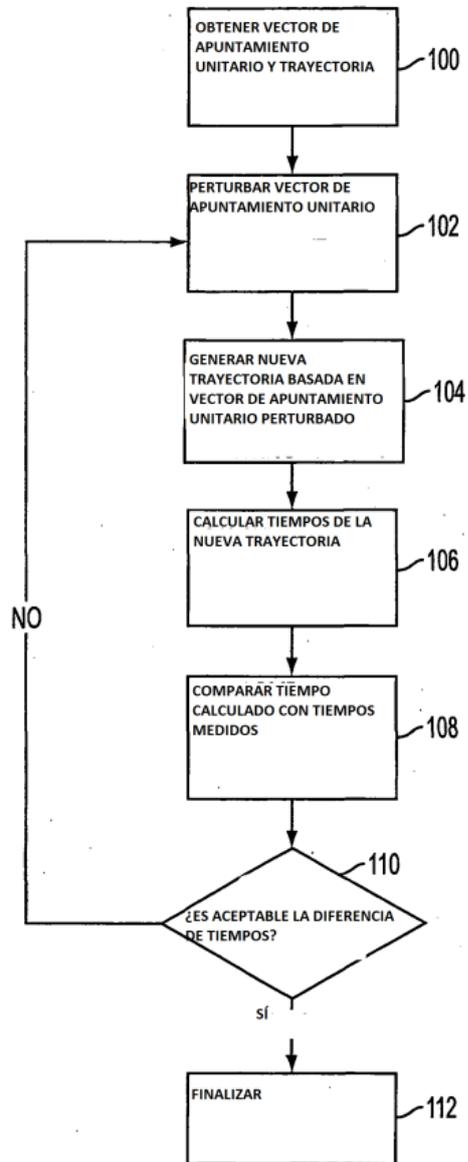


FIG. 5

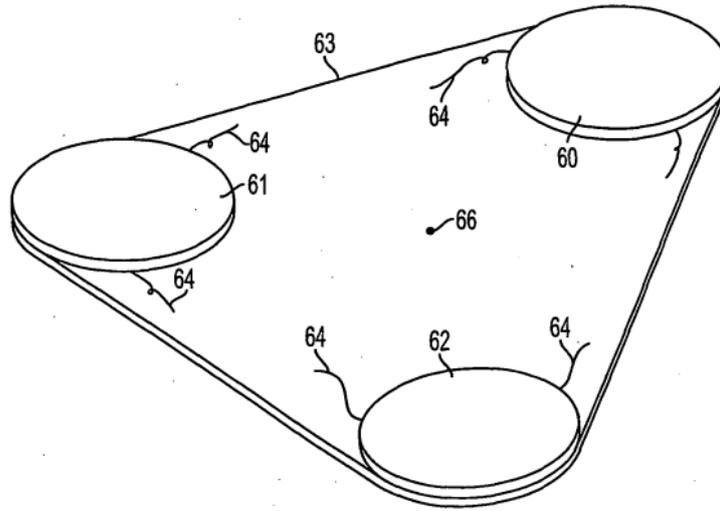


FIG. 6

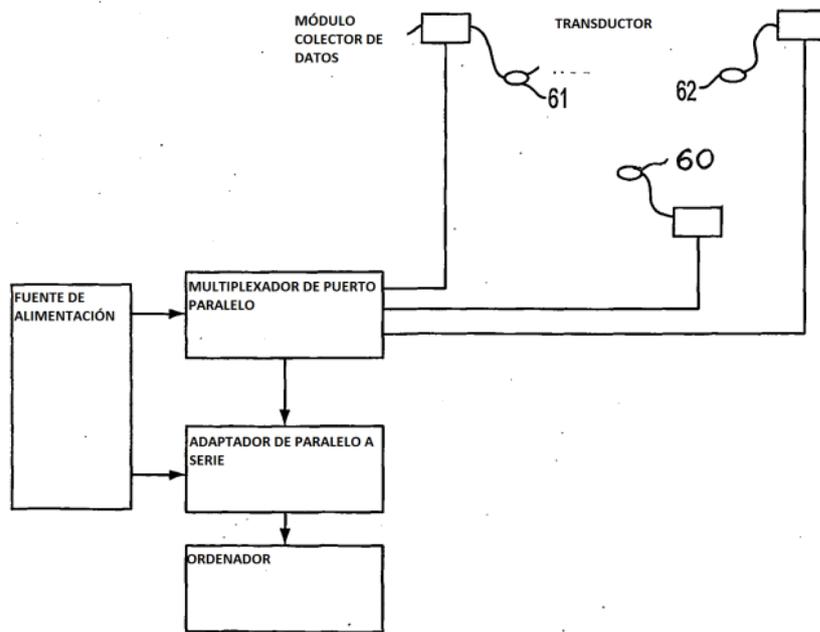


FIG. 7

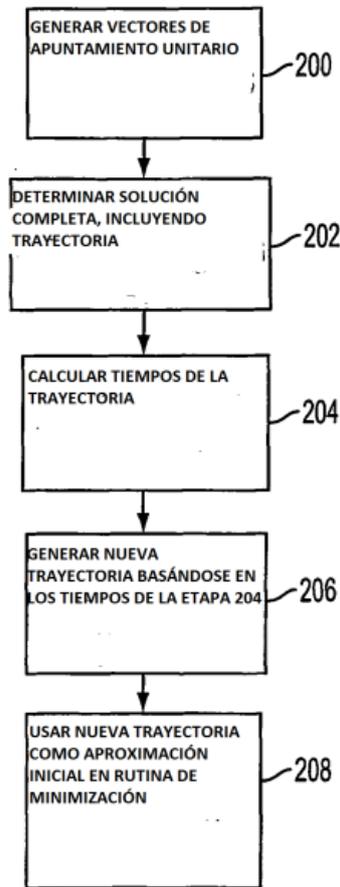


FIG. 8

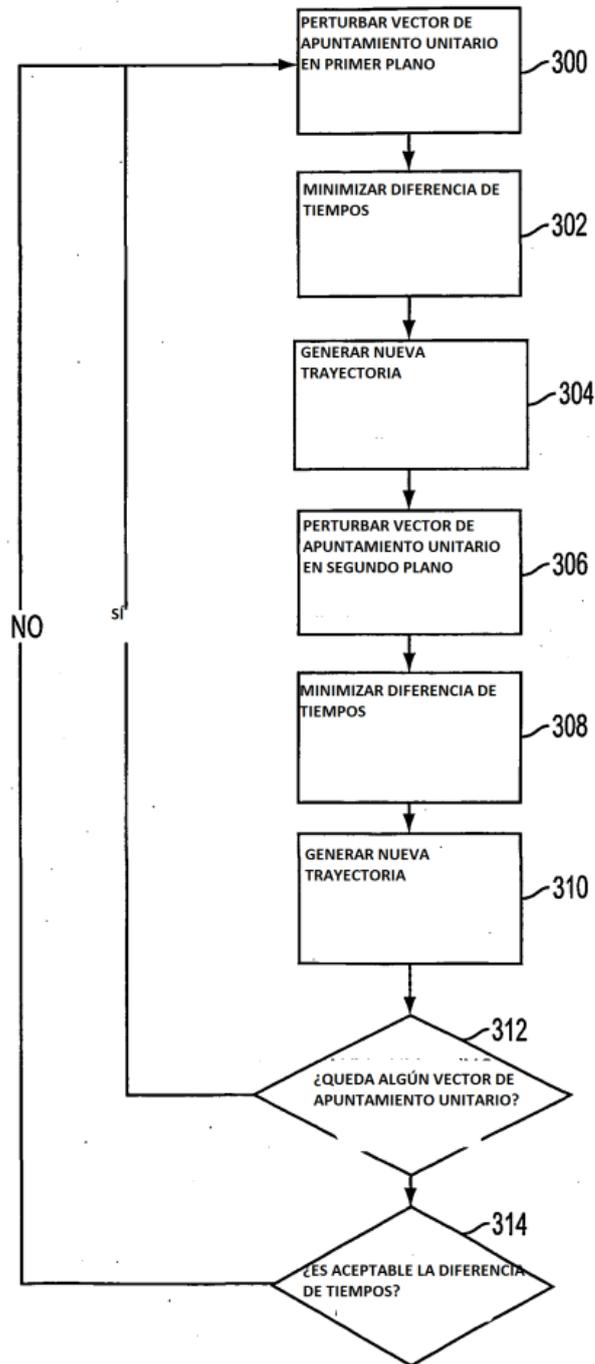


FIG. 9