

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **3 023 851**

51 Int. Cl.:

G06F 18/2132 (2013.01)

G06F 18/2433 (2013.01)

G01V 5/26 (2014.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **06.07.2012 PCT/AU2012/000818**

87 Fecha y número de publicación internacional: **17.01.2013 WO13006898**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **06.07.2012 E 12810784 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **12.02.2025 EP 2729829**

54 Título: **Detección e identificación de radionucleidos**

30 Prioridad:

08.07.2011 AU 2011902731

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

03.06.2025

73 Titular/es:

**AUSTRALIAN NUCLEAR SCIENCE AND
TECHNOLOGY ORGANISATION (100.00%)
New Illawarra Road
Lucas Heights New South Wales 2234, AU**

72 Inventor/es:

BOARDMAN, DAVID

74 Agente/Representante:

UNGRÍA LÓPEZ, Javier

ES 3 023 851 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

Detección e identificación de radionucleidos

Campo

5 La presente invención se refiere a la detección e identificación de materiales radiactivos, y en particular al procesamiento de espectros de rayos gamma para este fin.

Antecedentes

10 Existen muchas aplicaciones que requieren detectar la presencia de, y si es posible, materiales radiactivos en objetos o regiones objetivo. Una de esas aplicaciones es impedir de la etapa no autorizado de ciertos materiales de ese tipo a través de fronteras hacia naciones o regiones en las que dichos materiales están prohibidos. Un método adecuado en esta aplicación de control de fronteras sería capaz de realizar la detección/identificación cuando un vehículo pasa por una zona de detección, preferiblemente sin detenerse en la zona, para no obstaculizar excesivamente el flujo de tráfico. Por lo tanto, el método preferiblemente sería capaz de detectar la presencia de materiales prohibidos rápidamente, por ejemplo, en un período de aproximadamente 10 segundos o menos. El método debe tener preferiblemente una alta sensibilidad, es decir, un bajo nivel de falsos negativos (que no detecten la presencia de material prohibido) y una alta especificidad, es decir, un bajo número de falsos positivos (que indiquen una detección cuando no hay material prohibido presente).

20 La detección de radionucleidos prohibidos se complica por el hecho de que los radionucleidos no prohibidos, como los radionucleidos prohibidos, pueden emitir un cierto nivel de radiación ionizante, por ejemplo, debido a la presencia de concentraciones elevadas de materiales radiactivos naturales (NORMs), o de productos farmacéuticos radioactivos legítimos, etc. Algunos sistemas existentes, que utilizan detectores de centelleo de plástico simples, miden únicamente el nivel bruto de radiación, en forma de rayos gamma, emitido por un objetivo. Dichos sistemas son propensos a una alta tasa de alarmas molestas si el nivel umbral de detección de radiación se establece demasiado bajo o una alta tasa de falsos negativos si el nivel umbral de detección de radiación se establece demasiado alto. Además, dichos sistemas no pueden distinguir los bienes comercializados legítimamente que contienen concentraciones elevadas de NORMs de los bienes ilícitos o inadvertidos y sin licencia que contienen materiales radiactivos prohibidos.

30 Una segunda generación de sistemas, conocidos como monitores de portal espectroscópico (SPMs), basados en detectores de NaI y HPGe, buscan adquirir el espectro de rayos gamma del objetivo. Dichos sistemas contienen procesamiento para comparar el espectro de rayos gamma adquirido con los espectros de radionucleidos de interés. Los métodos de procesamiento del espectro han incluido, pero no se han limitado a, aquellos basados en detección y coincidencia de picos, redes neuronales artificiales, ajuste de función de respuesta, coincidencia de plantillas y onduladas.

35 El equipo espectroscópico de alta resolución del tipo que se encuentra en los SPMs es muy costoso y está sujeto a una confiabilidad deficiente en el despliegue en el campo debido a las difíciles condiciones de operación. El equipo espectroscópico de menor resolución es menos costoso y más robusto, pero ofrece un rendimiento más bajo con respecto a la detección de radionucleidos, es decir, tasas más altas de falsos positivos y falsos negativos. Un ejemplo de un método conocido para determinar la presencia o ausencia de materiales radioactivos anómalos se divulga en el documento WO 2011/057339 A1.

Resumen de la invención

40 Un objetivo de la presente invención es superar sustancialmente, o al menos mejorar, una o más desventajas de las disposiciones existentes.

45 La invención se define por medio de las reivindicaciones adjuntas. En esta memoria descriptiva, se toma una "clase" para referirse a un "conjunto" de espectros de rayos gamma con una propiedad común, tal como ser espectros de rayos gamma de una o más fuentes de radionucleidos de interés. "Fuentes de interés" incluye la fuente "nula" a la que se hace referencia en el presente documento como "fondo". Los espectros de rayos gamma de "referencia" son espectros de rayos gamma que pertenecen a un conjunto o "biblioteca" de espectros adquiridos previamente. Una clase puede contener espectros de rayos gamma de referencia, así como otros espectros de rayos gamma, como el espectro de rayos gamma adquirido del objetivo. En este contexto, se considera que una "pluralidad" de clases se refiere a dos o más clases, por ejemplo, dos, tres, cuatro...

Breve descripción de los dibujos

50 A continuación, se describirán una o más realizaciones de la presente invención, a modo de ejemplo únicamente, con referencia a los dibujos adjuntos en los que:

La Fig. 1 es un diagrama de bloques de un aparato dentro del cual se pueden poner en práctica realizaciones de la invención;

La Fig. 1a es un diagrama de bloques de un aparato alternativo dentro del cual se pueden poner en práctica

realizaciones de la invención;

La Fig. 2a es un diagrama de flujo que ilustra un método de procesamiento de una biblioteca de datos de entrenamiento de espectros de referencia dentro del aparato de la Fig. 1 de acuerdo con una realización no reivindicada;

5 La Fig. 2b es un diagrama de flujo que ilustra un método de procesamiento de un espectro objetivo dentro del aparato de la Fig. 1 de acuerdo con la realización no reivindicada; y

Las Figs. 3a y 3b forman un diagrama de bloques esquemático de un sistema informático de propósito general que puede utilizarse como sistema informático en el aparato de las Figs. 1 o 1a.

Descripción de realizaciones

10 La presente divulgación está relacionada con una solicitud PCT anterior, numerada PCT/AU2010/001509, realizada por el presente solicitante y titulada "Detección de anomalías de firmas radiológicas".

15 El enfoque actualmente divulgado para la detección e identificación de radionucleidos consiste en adquirir espectros de rayos gamma de referencia de fuentes de radionucleidos y comparar un espectro de rayos gamma adquirido del objetivo (el espectro del objetivo) con los espectros de referencia. Si se determina que el espectro del objetivo pertenece a una primera clase que contiene los espectros de rayos gamma de referencia de una fuente de radionucleidos de interés, se considera que el objetivo contiene la fuente de radionucleidos de interés. El enfoque divulgado utiliza el análisis discriminante lineal de Fisher (FLDA) para determinar si el espectro del objetivo pertenece a la primera clase que contiene los espectros de rayos gamma de referencia de la fuente de radionucleidos de interés. Además, permite que esta determinación se realice rápidamente, por ejemplo, cuando el objetivo pasa por un punto de control. Esto permite tomar decisiones rápidas sobre si el objetivo es aceptable y, por ejemplo, si se le debe permitir pasar por el punto de control. Los métodos que emplean el análisis de componentes principales (PCA) producen coeficientes de carga ordenados en términos de la varianza más alta en los datos. Aunque los primeros coeficientes de carga pueden explicar una gran proporción de la variación en los datos, pueden no representar la separación optimizada entre clases. El beneficio de la técnica de FLDA es que permite la determinación de coeficientes de carga optimizados, que maximizan la separación entre clases.

25 Una característica del enfoque divulgado es que cada espectro objetivo puede ser preprocesado por funciones que manipulan el espectro para mejorar el rendimiento de la clasificación. Estas funciones pueden incluir, pero no limitarse a, la normalización de la intensidad y la estandarización del espectro.

30 El enfoque divulgado puede incluir la calibración del dispositivo utilizado para adquirir los espectros de rayos gamma. Con el tiempo, los picos de fotones de los espectros pueden desviarse, y la calibración restaura los valores de energía correctos de los picos de fotones. La calibración puede aplicarse al espectro de rayos gamma objetivo y/o a los espectros de rayos gamma de referencia. La calibración, ya sea del espectro de rayos gamma objetivo o de los espectros de rayos gamma de referencia, o de ambos, puede tener como finalidad estandarizar el dispositivo utilizado para adquirir los espectros de rayos gamma. La calibración puede realizarse de forma regular, por ejemplo, cada vez que se adquiere un espectro, o cada 5 espectros, o cada 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45 o 50 espectros. Como alternativa, la calibración puede realizarse a intervalos de tiempo regulares, por ejemplo, cada hora, o cada 2, 3, 4, 5, 6, 12, 24 o 48 horas.

40 Un espectro de rayos gamma puede adquirirse mediante un detector de rayos gamma. Este puede ser, por ejemplo, un detector de rayos gamma basado en yoduro de sodio dopado con talio (NaI(Tl)). El detector de rayos gamma puede estar basado alternativamente en otros materiales como germanio de alta pureza (HPGe), telurio de cadmio (CdTe), telurio de cadmio y zinc (CZT) y bromuro de lantano (LaBr). Un detector basado en NaI(Tl) puede utilizarse en un monitor de portal de radiación (RPM) espectroscópica basado en yoduro de sodio dopado con talio en una aplicación de monitoreo de fronteras. El detector basado en NaI(Tl) puede utilizarse en una configuración portátil, en una configuración de mochila o en alguna otra configuración portátil del sistema de detección de radionucleidos divulgado. Las señales de rayos gamma adquiridas en bruto (ya sea del objetivo o de muestras de referencia) pueden pasarse a un amplificador de señal para amplificar las señales. Las señales de rayos gamma (amplificadas) (ya sea del objetivo o de muestras de referencia) pueden pasarse a un analizador multicanal, que divide las señales en una serie de intervalos (o intervalos de energía). Los valores de los intervalos se denominan colectivamente como un espectro. Los intervalos representan el incremento más pequeño del intervalo de energía del espectro de rayos gamma al que se atribuyen los recuentos. Normalmente, el analizador multicanal generará valores en aproximadamente 1024 intervalos de datos, aunque puede haber más o menos que este número dependiendo del analizador, por ejemplo, entre 128 y 16384 intervalos, entre 128 y 512 intervalos, entre 512 y 2048 intervalos, entre 2048 y 8192 intervalos, entre 8192 y 16384 intervalos, entre 512 y 4096 intervalos, o entre 256 y 8192 intervalos. El número de intervalos es ventajosamente igual a una potencia integral de dos. Normalmente, los intervalos cubren valores de energía en el intervalo de 40 keV a 3000 keV, aunque estos puntos finales pueden ser mayores o menores dependiendo del analizador, por ejemplo, 30 keV y 2700 keV respectivamente. El intervalo puede ser de 30 keV a 2700 keV, de 35 keV a 2700 keV, de 40 keV a 2700 keV, de 30 keV a 3000 keV, de 35 keV a 3000 keV, de 40 keV a 3000 keV, de 30 keV a 4000 keV, de 35 keV a 4000 keV y de 40 keV a 4000 keV.

El número de valores en un espectro puede reducirse, es decir, el espectro puede volver a agruparse. La reagrupación

puede mejorar la velocidad de cálculo. En general, cada intervalo, o compartimiento, en el espectro adquirido tiene un ancho idéntico. La reagrupación del espectro puede implicar aumentar uniformemente el ancho de cada compartimiento de energía, disminuyendo así el número total de intervalos en todo el intervalo de energía y aumentando el número de recuentos dentro de los intervalos recientemente definidos. Sin embargo, la reagrupación no se limita necesariamente a funciones lineales. El espectro reagrupado puede contener anchos de compartimiento no uniformes que pueden, por ejemplo, ser proporcionales al cuadrado de la energía o a alguna otra función adecuada de la energía. Los intervalos de energía a energías más altas pueden ser más grandes que los intervalos de energía más bajas, con el fin de garantizar que los intervalos de energía más altas tengan recuentos suficientes. El espectro reagrupado también puede contener anchos de compartimiento definidos por el usuario, que pueden variar en el intervalo de energía. El número de intervalos de energía del espectro reagrupado es el número de variables en cada espectro. Cuanto mayor sea el número de variables en un espectro, mayor será el tiempo de cálculo del método de procesamiento. Los espectros pueden reagruparse de acuerdo con diferentes funciones. Esto puede permitir que se combinen espectros de diferentes detectores (del mismo tipo, por ejemplo, basados en NaI). La reagrupación de los espectros de referencia y el espectro objetivo puede ser tal que todos los espectros utilicen los mismos contenedores de energía.

Como se mencionó anteriormente, el espectro objetivo (reagrupado) puede procesarse previamente. El procesamiento previo puede implicar una o ambas de la normalización de intensidad y la estandarización del espectro.

Para la normalización de intensidad, un espectro objetivo se normaliza por el valor en el contenedor de energía con el mayor número de recuentos. La normalización de intensidad elimina los efectos de la amplia gama de tiempos de adquisición del detector, que pueden ocurrir, por ejemplo, en los puertos de entrada en una aplicación de monitoreo de fronteras, y el efecto de la variación de la velocidad de paso de un objetivo a través de la zona de detección de un RPM en una aplicación de monitoreo de fronteras.

Para la estandarización del espectro, un espectro objetivo se traduce y se escala para tener una media cero y una varianza unitaria en todos los intervalos de energía.

Una biblioteca de datos de entrenamiento comprende espectros de rayos gamma de referencia que se adquieren a partir de muestras conocidas de fuentes de radionucleidos de interés. Estas fuentes pueden ser materiales radiactivos de origen natural (NORM), o radionucleidos artificiales que se sabe que son benignos (aceptables), o representan una amenaza (inaceptables). Los espectros de referencia también pueden comprender mezclas de dichos radionucleidos, radionucleidos protegidos o enmascarados, y combinaciones de los mismos que representan una amenaza.

Los espectros de rayos gamma de referencia en la biblioteca de datos de entrenamiento pueden haber sido procesados previamente de una manera similar a los espectros objetivo. Esto puede proporcionar comparaciones más significativas con los espectros objetivo.

El enfoque divulgado permite una determinación relativamente rápida de si un objetivo contiene un radionucleido particular. En una aplicación de vigilancia de fronteras, el objetivo puede ser, o puede ser transportado por, una persona, un camión o un coche o un vagón de tren o algún otro vehículo o parte del mismo. Por lo tanto, si el método divulgado determina que el objetivo contiene el radionucleido en particular, se puede generar una señal de salida. Si ese radionucleido es anómalo (preocupante), se puede activar una alarma. En algunos casos, puede ser útil generar una señal de salida que indique que el objetivo no contiene el radionucleido en particular en el caso de que el método así lo determine. En algunos casos, la salida generada puede indicar cuál de un grupo de radionucleidos está presente en el objetivo. Se puede activar una alarma adecuada en respuesta a la presencia de un radionucleido de interés particular, por ejemplo, una alarma audible (por ejemplo, una bocina, sirena o similar), una alarma visual (por ejemplo, una luz, opcionalmente una luz intermitente), la activación de una barrera (por ejemplo, bajar una barrera, levantar púas de carretera, cerrar una barrera) para impedir de la etapa del objetivo, la activación de una instrucción a un conductor del objetivo (por ejemplo, la iluminación de una señal de PARE, la activación de instrucciones audibles a dicho conductor) o algún otro tipo de alarma. La señal generada también puede ser un estado lógico proporcionado a otro sistema con el fin de reconocer la señal y responder. Se puede activar más de uno de estos tipos de alarma. Pueden activarse simultáneamente. Pueden activarse de forma no simultánea. Pueden activarse secuencialmente. Por lo tanto, el aparato divulgado puede comprender uno o más de un dispositivo de alarma audible, un dispositivo de alarma visual y un dispositivo de alarma físico, tal como una barrera activable. El método divulgado puede comprender correspondientemente la activación de la barrera activable cuando se identifica un objetivo como un radionucleido anómalo.

Un modo de funcionamiento alternativo es que se genere una señal solo cuando el objetivo no contiene un radionucleido anómalo (es decir, solo para radionucleidos normales o aceptables). En este caso, se puede retirar o retraer una barrera activable en respuesta a la señal, lo que permite que pase un vehículo que no transporta materiales anómalos.

La Fig. 1 es un diagrama de bloques de un aparato 1 dentro del cual se pueden poner en práctica realizaciones de la presente invención. El detector 10 es un detector de portal espectroscópico, por ejemplo, un detector basado en NaI(Tl), desplegado para adquirir un espectro de rayos gamma de un objetivo, por ejemplo, un vehículo 20 que pasa a través de una zona 30 de detección. El aparato 1 también puede comprender un detector 40 de referencia para

adquirir espectros de referencia, aunque esto puede omitirse en algunas realizaciones. En dichas realizaciones, el detector principal (detector 10) es capaz de adquirir tanto los espectros de referencia como los espectros del objetivo. Por ejemplo, los espectros de referencia de "fondo" pueden adquirirse cuando no hay ningún objetivo dentro de la zona 30 de detección. Si se utiliza un detector 40 de referencia, puede estar alejado del detector 10 de portal. El detector 40 de referencia, si está presente, puede estar protegido de la zona 30 de detección.

Un amplificador 50 está acoplado al detector 10 para amplificar los datos del detector 10 y, si está presente, del detector 40 de referencia. El amplificador 50 está acoplado a su vez a un analizador 60 multicanal para proporcionar una clasificación inicial de los datos amplificados del amplificador 50. El analizador 60 multicanal está acoplado a la memoria 70 del sistema 80 informático de modo que los espectros del analizador 60 puedan almacenarse en la memoria 70. La memoria 70 también contiene una biblioteca de datos de entrenamiento de espectros de referencia. La memoria 70 está acoplada a un procesador 90, que también forma parte del sistema 80 informático, para procesar los datos almacenados en la memoria 70 con el fin de determinar si el objetivo contiene una fuente de radionucleidos dada. Se genera una señal 100 de salida si se determina que el objetivo 20 contiene uno o más radionucleidos anómalos. La señal 100 de salida es un estado lógico proporcionado a otro sistema (no mostrado) que está configurado para reconocer la señal 100 de salida y tomar la acción apropiada, tal como activar una alarma. La alarma puede adoptar una o más de las siguientes formas, de manera simultánea o secuencial: salida visual (por ejemplo, una luz, opcionalmente una luz intermitente, o la iluminación de una señal de PARE); salida audible (por ejemplo, una bocina, sirena o similar, o instrucciones verbales al conductor).

La Fig. 1a es un diagrama de bloques de un aparato 1a alternativo dentro del cual se pueden poner en práctica las realizaciones de la invención. El aparato 1a es similar al aparato 1 de la Fig. 1, con la adición de una barrera 110 activable que puede impedir de la etapa del vehículo 20 en el caso de que se determine que el objetivo contiene uno o más radionucleidos anómalos. La barrera 110 activable está en un estado normalmente abierto (es decir, en un estado en el que se permite de la etapa del vehículo 20), y la activación de la barrera 110 cierra la barrera 110 de manera que impide o evita de la etapa del vehículo 20. En el aparato 1a, la señal 100 de salida hace que la barrera 110 se active para impedir de la etapa del vehículo 20 a través de la zona 30 de detección. La activación de la barrera 110 podría adoptar una o más de las siguientes formas: bajar una barrera de protección; levantar púas de carretera; cerrar una barrera.

En funcionamiento, el vehículo 20 pasa a través de la zona 30 de detección. Esto normalmente no implica que el vehículo 20 detenga su movimiento hacia delante, y normalmente lleva aproximadamente entre 5 y 80 segundos. El detector 10 adquiere fotones de rayos gamma del vehículo 20 durante este período y genera una señal resultante que se pasa al amplificador 50, que amplifica la señal. La señal amplificada se pasa luego al analizador 60 multicanal que realiza una clasificación inicial de la señal objetivo amplificada y pasa un espectro objetivo agrupado a la memoria 70 para su almacenamiento. El detector 10 también se puede utilizar para adquirir espectros de referencia para su uso en la creación de la biblioteca de datos de entrenamiento. En cualquier caso, los espectros de referencia se procesan previamente como se describió anteriormente para el espectro objetivo, y luego se almacenan en la memoria 70.

Los espectros procesados previamente almacenados en la memoria 70 son procesados por el procesador 90 como se describe a continuación para obtener un criterio de decisión. El procesador 90 determina entonces a partir de este criterio de decisión si el objetivo contiene un radionucleido anómalo y, si es así, genera una señal 100 de salida. A continuación, se puede tomar la acción apropiada en respuesta a la señal 100 de salida, por ejemplo, se puede desviar el vehículo 20 para realizar una investigación adicional, se puede activar una alarma o, en el aparato 1a de la Fig. 1a, se puede activar la barrera 110 activable para evitar de la etapa del vehículo 20.

Como se mencionó anteriormente, un modo alternativo de funcionamiento del aparato 1 o 1a es generar la señal 100 de salida solamente cuando se determina que el objetivo no contiene un radionucleido anómalo. En este modo de funcionamiento, la barrera 110 activable normalmente estaría en un estado cerrado (es decir, en un estado en el que se impide o dificulta de la etapa del vehículo 20), y la activación de la barrera 110 abre la barrera para permitir o facilitar de la etapa del vehículo 20. La barrera 110 se activaría en respuesta a la señal 100 de salida, permitiendo que pase un vehículo 20 que no transporta radionucleidos anómalos. De este modo, el funcionamiento del aparato 1a puede comprender la generación de la señal 100 de salida a la barrera 110 que impide o dificulta de la etapa del vehículo 20 cuando se identifica que el vehículo 20 contiene radionucleidos anómalos y que permite de la etapa del vehículo 20 cuando se identifica que el vehículo 20 no contiene un radionucleido anómalo.

El aparato 1 puede comprender también una cámara o un dispositivo de grabación fotográfica similar (no mostrado). Dicho dispositivo puede utilizarse para grabar imágenes de todos los vehículos que pasan por la zona de detección, o para grabar imágenes de vehículos que pasan por la zona de detección únicamente cuando se detecta una fuente de radionucleido anómalo. La cámara puede utilizarse para transmitir a un operador una imagen de todos los vehículos que pasan por la zona de detección, o para transmitir a dicho operador imágenes de vehículos que pasan por la zona de detección únicamente cuando se detecta una fuente anómala. En este caso, la señal de la cámara puede transmitirse a una pantalla de vídeo para mostrar la o las imágenes al operador. El método divulgado puede comprender detectar, registrar y/o transmitir una imagen del vehículo o de una parte (por ejemplo, una matrícula del mismo), ya sea para cada vehículo que pasa a través de la zona de detección o para cada vehículo que pasa a través de la zona de detección que se identifica como una fuente anómala o que contiene una fuente anómala.

Al adquirir el espectro de rayos gamma objetivo, el vehículo 20 pasa a través de una zona 30 de detección, sobre la cual el detector 10 es capaz de adquirir el espectro de rayos gamma. El vehículo 20 puede pasar a través de la zona 30 de detección a una velocidad media de aproximadamente 1 a aproximadamente 12 km/h, o aproximadamente 1 a 8, 1 a 5, 5 a 10, 1 a 3, 3 a 5 o 2 a 4 km/h, por ejemplo. aproximadamente 1, 1.5, 2, 2.5, 3, 3.5, 4, 4.5, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11 o 12 km/h. El tiempo de paso del vehículo 20 a través de la zona 30 de detección puede ser de aproximadamente 5 a aproximadamente 80 segundos, o de aproximadamente 5 a 50, 5 a 20, 5 a 15, 10 a 80, 50 a 80, 20 a 50 o 5, 5 a 15, 15 a 20, 5 a 10, 10 a 15 o de 7 a 12 segundos, p. ej. aproximadamente 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55, 60, 65, 70, 75 u 80 segundos. La zona de detección puede tener una longitud de aproximadamente 5 a aproximadamente 25 metros, o de aproximadamente 5 a 20, 5 a 15, 5 a 10, 10 a 25, 15 a 25 o 10 a 10 metros, por ejemplo, aproximadamente 5, 10, 15, 20 o 25 metros. El vehículo 20 puede ser un camión o un automóvil o un vagón de tren o algún otro vehículo o parte del mismo.

El método de procesamiento llevado a cabo por el procesador 90 del sistema 80 informático hace uso del análisis discriminante lineal de Fisher (FLDA). Para un conjunto de N observaciones (X_1, X_2, \dots, X_N) , siendo cada observación un vector de longitud n , y para un problema de dos clases donde cada observación pertenece a una de dos clases c_0 y c_1 , el FLDA se formula de la siguiente manera.

Las medias de las dos clases se etiquetan como μ_0 y μ_1 y la clase de las covarianzas como Σ_0 y Σ_1 . La matriz de dispersión dentro de la clase S_w se define como

$$S_w = \sum_{i=0}^1 \sum_{x_k \in c_i} (x_k - \mu_i)(x_k - \mu_i)^T \quad \text{Ecuación 1}$$

mientras que la matriz de dispersión entre clases S_B se define como

$$S_B = \sum_{i=0}^1 N_i (\mu_i - \mu)(\mu_i - \mu)^T \quad \text{Ecuación 2}$$

donde N_i es el número de observaciones en la clase c_i , y μ es la media de todas las N observaciones.

La proyección de cada observación x utilizando un n por 1 vector de proyección w de "coeficientes de carga" transforma las medias de las dos clases en escalares $w^T \mu_0$ y $w^T \mu_1$. Las matrices de dispersión dentro de la clase y entre clases S_w y S_B se transforman respectivamente en escalares $w^T S_w w$ y $w^T S_B w$.

La "separación" J entre las dos clases proyectadas como una función del vector de proyección w se define como la relación de la matriz de dispersión proyectada entre clases y la matriz de dispersión proyectada dentro de clases:

$$J(w) = \frac{w^T S_B w}{w^T S_w w} \quad \text{Ecuación 3}$$

De acuerdo con el FLDA, el vector de proyección "óptimo" w_{opt} es el vector de proyección que maximiza la separación J entre las dos clases proyectadas. Se puede demostrar que el vector de proyección óptimo w_{opt} es el vector propio generalizado de S_B y S_w correspondiente al valor propio generalizado más grande (no infinito) λ de S_B y S_w . Siempre que S_w no sea singular, esto es equivalente a encontrar el vector propio de $S_w^{-1} S_B$ correspondiente al valor propio más grande (no infinito) λ de $S_w^{-1} S_B$:

$$S_w^{-1} S_B w_{opt} = \lambda w_{opt} \quad \text{Ecuación 4}$$

En una implementación, las siguientes fuentes de radionucleidos son de interés: ^{241}Am , ^{133}Ba , ^{57}Co , ^{60}Co , ^{137}Cs , uranio altamente enriquecido (HEU), ^{237}Np , plutonio de grado armamentístico (WGPu), ^{232}Th , ^{40}K , ^{226}Ra y uranio empobrecido (DU), y el "fondo". Otras implementaciones contienen muchas más fuentes de interés, o pueden contener menos fuentes de interés. Se sabe que cada fuente de interés es benigna o anómala. La biblioteca de datos de entrenamiento contiene múltiples espectros de referencia de cada una de las fuentes de interés: los espectros de referencia son adquiridos por el o los detectores de rayos gamma. Cada espectro de referencia es procesado previamente antes de su almacenamiento en la biblioteca de datos de entrenamiento como se describió anteriormente.

En una implementación, cada una de un conjunto de fuentes de interés representadas en la biblioteca de datos de entrenamiento se toma a su vez como la fuente actual. Los espectros de referencia en la biblioteca de datos de entrenamiento se asignan entre dos clases de manera que los espectros de referencia correspondientes a la fuente actual se asignan a la primera clase (clase 0), y los espectros de referencia correspondientes a otras fuentes se asignan a la segunda clase (clase 1). Se determina la media μ_i y la covarianza Σ_i , de cada clase, al igual que las matrices de dispersión dentro de la clase y entre clases. Luego se utiliza la ecuación 4 para determinar el vector de proyección óptimo w_{opt} que maximiza la separación J entre las dos clases proyectadas. Luego, el vector de proyección óptimo determinado w_{opt} se almacena en asociación con la fuente actual.

Para determinar si un espectro objetivo pertenece a la clase 0 (la fuente de interés actual) o a la clase 1 (no la fuente actual de interés), el espectro objetivo procesado previamente x se proyecta mediante el vector de proyección óptimo w_{opt} asociado con la fuente de interés actual para obtener un espectro objetivo proyectado $w_{opt}^T x$. A continuación, se calcula una distancia entre el espectro objetivo proyectado y la clase 1 proyectada. Si la distancia es mayor que una distancia umbral, se determina que el espectro objetivo pertenece a la clase 0 y se considera que el objetivo contiene una muestra de la fuente de interés actual. De lo contrario, se determina que el espectro objetivo pertenece a la clase 1.

Después de que se han considerado todas las fuentes de interés, se genera la señal 100 de salida dependiendo de si se consideró que el objetivo contenía al menos una fuente de interés anómala.

La Fig. 2a es un diagrama de flujo que ilustra un método 200 de procesamiento de una biblioteca de datos de entrenamiento de espectros de referencia de acuerdo con una realización no reivindicada. En una implementación, el método 200 se lleva a cabo una vez antes de procesar cualquier espectro objetivo adquirido, y su ejecución es controlada por el procesador 90 del sistema 80 informático en conjunto con la memoria 70, como se describe a continuación.

El método 200 comienza en la etapa 210, donde el procesador 90 procesa previamente cada espectro de referencia en la biblioteca de datos de entrenamiento, reagrupado en 440 intervalos, como se describió anteriormente. En la siguiente etapa 215, el procesador 90 elige una fuente del conjunto de fuentes de interés que aún no se ha elegido fuente actual. Se construyen nocionalmente dos clases, una que contiene solo espectros de referencia correspondientes a la fuente actual (clase 0), y una que contiene espectros de referencia correspondientes a todas las demás fuentes (clase 1). En la siguiente etapa 220, el procesador 90 calcula la media μ_i y la Σ_i de la covarianza de cada clase, y las matrices de dispersión dentro de la clase y entre clases S_w y S_B . A continuación, viene de la etapa 225, en el que el procesador 90 determina el vector de proyección óptimo (también denominado en este documento coeficientes de carga óptimos) w_{opt} que maximiza la separación entre las dos clases utilizando la ecuación 4. A continuación, el método 200 procede a la etapa 230, en el que el procesador 90 almacena los coeficientes de carga óptimos determinados w_{opt} , y la μ_1 media y la Σ_1 de la covarianza de clase 1, en asociación con la fuente actual. El método 200 continúa en la etapa 235, en el que el procesador 90 determina si hay alguna fuente en el conjunto de fuentes de interés que aún no se haya elegido. Si es así ("Y"), el método 200 vuelve a la etapa 215. Si no es así ("N"), el método 200 concluye en la etapa 240.

En una variación del método 200, el procesador 90 realiza los cálculos de las etapas 220 y 225 no en la totalidad de cada espectro de referencia, sino en una parte de cada espectro de referencia conocida como la "región de interés". En una implementación, la región de interés es la parte del espectro que rodea el pico principal en el espectro de la fuente actual. Por ejemplo, para un radionucleido con un pico principal a 662 keV, la región de interés es el intervalo entre 620 keV y 700 keV. En otras implementaciones, la región de interés comprende múltiples secciones desarticuladas de cada espectro. En de la etapa 230 de la variación, el procesador 90 almacena los puntos finales de la región de interés junto con los otros parámetros para la fuente actual.

La Fig. 2b es un diagrama de flujo que ilustra un método 250 de procesamiento de un espectro objetivo de acuerdo con una realización no reivindicada. El método 250 se controla en su ejecución por el procesador 90 del sistema 80 informático junto con la memoria 70, como se describe a continuación.

El método 250 comienza en la etapa 260, donde el procesador 90 procesa previamente el espectro objetivo, reagrupado en 440 intervalos, como se describió anteriormente. En la siguiente etapa 265, el procesador 90 elige una fuente del conjunto de fuentes de interés que aún no se ha elegido como fuente actual. En la siguiente etapa 270, el procesador 90 carga los coeficientes de carga óptimos w_{opt} y la μ_1 media y la Σ_1 de la covarianza de la clase 1 asociada con la fuente actual que se almacenaron en la etapa 230 del método 200. Sigue la etapa 275, en la que el procesador 90 determina si el espectro objetivo pertenece a la clase 0 (la fuente actual de interés) o a la clase 1 (no la fuente actual de interés) utilizando los coeficientes de carga óptimos w_{opt} . Si se determina que el espectro objetivo pertenece a la clase 0, se considera que el objetivo contiene una muestra de la fuente actual.

Una implementación de la etapa 275 es que el procesador 90 calcule la distancia D de Mahalanobis entre el espectro objetivo proyectado $w_{opt}^T x$ y la clase proyectada 1, utilizando la μ_1 media y la Σ_1 de la covarianza de la clase 1 que se almacenaron en asociación con la fuente actual en la etapa 230 del método 200:

$$D^2 = (w_{opt}^T x - w_{opt}^T \mu_1)^T (w_{opt}^T \Sigma_1 w_{opt})^{-1} (w_{opt}^T x - w_{opt}^T \mu_1) \quad \text{Ecuación 5}$$

A continuación, se determina que el espectro objetivo x pertenece a la clase 0 si la distancia D de Mahalanobis está por encima de una distancia umbral desde la clase proyectada 1.

En una implementación alternativa de la etapa 275, el procesador 90 calcula la distancia d euclidiana entre el espectro objetivo proyectado $w_{opt}^T x$ y la clase 1 proyectada utilizando la μ_1 media de clase 1:

$$d^2 = (w_{opt}^T x - w_{opt}^T \mu_1)^T (w_{opt}^T x - w_{opt}^T \mu_1) \quad \text{Ecuación 6}$$

A continuación, se determina que el espectro objetivo x pertenece a la clase 0 si la distancia d euclidiana está por encima de una distancia umbral desde la clase 1 proyectada.

La distancia umbral utilizada en la etapa 275 se puede obtener de la biblioteca de datos de entrenamiento o de un conjunto separado de espectros de referencia de la clase 1. En una implementación de la etapa 275, la distancia umbral se define mediante una relación de ley de potencia con los recuentos brutos medios en la clase 1, es decir, la media de la suma de todos los recuentos en todos los intervalos de todos los espectros de referencia en la clase 1. Por ejemplo, la desviación y estándar de una clase se puede relacionar con los recuentos g brutos medios mediante la siguiente ecuación:

$$y = Ag^{-B}$$

Ecuación 7

En la ecuación 7, A es un número positivo y B es un número entre 0 y 1. Para la clase 0, B es típicamente alrededor de 0.5. Para la clase 1, B es típicamente entre 0.4 y 0.9. En esta implementación, la distancia umbral se establece en un número, típicamente entre uno y diez, por ejemplo, cinco, de desviaciones estándar de la clase 1. En otra implementación de la etapa 275, la distancia umbral es un valor definido por el usuario.

El método 250 continúa en la etapa 280, donde el procesador 90 determina si hay alguna fuente en el conjunto de fuentes de interés que aún no se haya elegido. Si es así ("Y"), el método 250 vuelve a la etapa 265. Si no es así ("N"), el procesador 90 en la etapa 285 genera la señal 100 de salida dependiendo del contenido determinado del objetivo como se describió anteriormente. El método 250 luego concluye. El método 250 puede clasificarse como un método de "identificación".

Si se utilizó la variación del método 200 para procesar los espectros de referencia, entonces una variación complementaria del método 250 carga los puntos finales de la región de interés asociada con la fuente actual en la etapa 270 junto con los coeficientes de carga óptimos y otros parámetros asociados con la fuente actual, y realiza los cálculos de la etapa 275 dentro de la "región de interés".

Si una de las fuentes de interés es "de fondo", y el método 250 no da como resultado una indicación de que el objetivo contiene alguna de las fuentes de interés, este resultado puede tomarse como una indicación de que el objetivo contiene una fuente de radionucleidos que no se encuentra actualmente en la biblioteca de datos de entrenamiento.

En una realización alternativa no reivindicada, las dos clases para fines de FLDA están predefinidas por un usuario. En un ejemplo, la primera clase comprende espectros de referencia correspondientes a materiales nucleares especiales (radionucleidos fisionables) y la segunda clase comprende espectros de referencia correspondientes a NORMs. Para procesar la biblioteca de datos de entrenamiento de acuerdo con la realización alternativa, se puede utilizar el método 200, excepto que se forman dos clases en la etapa 215 de acuerdo con la definición del usuario. Las etapas 220, 225 y 230 solo se realizan una vez, y la etapa 235 no es necesaria. Para procesar el espectro objetivo de acuerdo con la realización alternativa, se puede utilizar el método 250, excepto que las etapas 270 y 275 se realizan solo una vez, y no hay necesidad de las etapas 265 y 280. En el ejemplo, el resultado del procesamiento del espectro objetivo de acuerdo con la realización alternativa es una señal que indica si un espectro objetivo es un Material Nuclear Especial o un NORM. Esta realización alternativa se puede categorizar como un método de "clasificación" o "detección de anomalías".

Un segundo ejemplo (de acuerdo con la invención reivindicada) es similar al primer ejemplo, excepto que la primera clase (que corresponde a una amenaza) comprende al menos un espectro de rayos gamma "artificial". El espectro artificial en una implementación es un valor constante con un componente de ruido gaussiano aditivo. En otra implementación, el espectro artificial es un espectro cuasi lineal con un componente de ruido gaussiano aditivo. La segunda clase comprende espectros de referencia que corresponden a NORMs. El segundo ejemplo tiene la ventaja sobre el primer ejemplo de que no se necesita ningún conocimiento previo de los espectros de amenaza (o no NORM) para concluir que un objetivo contiene una amenaza en una amplia gama de condiciones, tal como diferentes intensidades o materiales de protección.

El análisis discriminante lineal de Fisher, tal como se formuló anteriormente, se puede generalizar fácilmente de un problema de dos clases a un problema de múltiples clases. En otro ejemplo de la realización alternativa, cada clase se define para que contenga solo espectros de referencia correspondientes a un radionucleido único. El número de clases puede ser entonces tanto como el número de radionucleidos representados en la biblioteca de datos de entrenamiento. La etapa 275 devuelve entonces el número de la clase a la que se determina que pertenece el espectro objetivo.

Si se considera que el objetivo contiene una muestra de la fuente actual de interés, la distancia del espectro del objetivo desde la clase 1 proyectada, calculada en la etapa 275 del método 250, muestra una relación con la intensidad de la fuente actual de interés dentro del objetivo que es aproximadamente lineal sobre valores pequeños de intensidad, y tiende a ser logarítmica sobre valores mayores de intensidad. Por lo tanto, la distancia calculada del espectro del objetivo desde la clase 1 puede usarse en una etapa de procesamiento opcional en el método 250 para estimar la intensidad de la fuente actual de interés dentro del objetivo. La desviación estándar y calculada a partir de los recuentos brutos medios en la clase 1 usando la ecuación 7 puede usarse para proporcionar una estimación de error para la

intensidad estimada de la fuente actual de interés dentro del objetivo.

Las Figs. 3a y 3b forman en conjunto un diagrama de bloques esquemático de un sistema 300 informático de propósito general, que puede utilizarse como sistema 80 informático en el aparato 1 de la Fig. 1 o en el aparato 1a de la Fig. 1a, para llevar a cabo los métodos 200 y 250 de procesamiento de las Figs. 2a y 2b.

5 Como se observa en la Fig. 3a, el sistema 300 informático está formado por un módulo 301 informático, dispositivos de entrada tales como un teclado 302, un dispositivo 303 de puntero de ratón, un escáner 326, una cámara 327 y un micrófono 380 y dispositivos de salida que incluyen una impresora 315, un dispositivo 314 de visualización y altavoces 317. El módulo 301 informático puede utilizar un dispositivo 316 transceptor modulador-demodulador (módem) externo para comunicarse con y desde una red 320 de comunicaciones a través de una conexión 321. La red 320 puede ser una red de área amplia (WAN), tal como la Internet o una WAN privada. Cuando la conexión 321 es una línea telefónica, el módem 316 puede ser un módem de "acceso telefónico" tradicional.

Como alternativa, cuando la conexión 321 es una conexión de alta capacidad (por ejemplo, por cable), el módem 316 puede ser un módem de banda ancha. También se puede utilizar un módem inalámbrico para la conexión inalámbrica a la red 320.

15 El módulo 301 de ordenador incluye típicamente al menos una unidad 305 de procesador y una unidad 306 de memoria formada, por ejemplo, a partir de una memoria de acceso aleatoria (RAM) de semiconductores y memoria de solo lectura (ROM) de semiconductores. La unidad 306 de memoria puede identificarse con la memoria 70 del sistema 80 informático, y la unidad 305 de procesador puede identificarse con el procesador 90 del sistema 80 informático.

20 El módulo 301 también incluye una serie de interfaces de entrada/salida (I/O) que incluyen una interfaz 307 de audio-video que se acopla a la pantalla 314 de video, altavoces 317 y micrófono 380, una interfaz 313 de I/O para el teclado 302, ratón 303, escáner 326, cámara 327 y opcionalmente una palanca de mando (no ilustrada), y una interfaz 308 para el módem 316 externo y la impresora 315. En algunas implementaciones, el módem 316 puede estar incorporado dentro del módulo 301 informático, por ejemplo, dentro de la interfaz 308. El módulo 301 informático también tiene una red local, interfaz 311 que, a través de una conexión 323, permite acoplar el sistema 300 informático a una red 322 informática local, conocida como red de área local (LAN). Como también se ilustra, la red 322 local también puede acoplarse a la red 320 amplia a través de una conexión 324, que típicamente incluiría un dispositivo denominado "cortafuegos" o un dispositivo de funcionalidad similar. La interfaz 311 puede estar formada por una tarjeta de circuito EthernetMR, una disposición inalámbrica Bluetooth™ o una disposición inalámbrica IEEE 802.11.

30 Las interfaces 308 y 313 pueden proporcionar una o ambas de conectividad en serie y en paralelo, la primera típicamente se implementa de acuerdo con los estándares de bus universal en serie (USB) y tiene conectores USB correspondientes (no ilustrados). Se proporcionan dispositivos 309 de almacenamiento y típicamente incluyen una unidad 310 de disco duro (HDD). También se pueden utilizar otros dispositivos de almacenamiento tales como una unidad de disquete y una unidad de cinta magnética (no ilustradas). Se proporciona típicamente una unidad 312 de disco óptico para actuar como una fuente no volátil de datos. Los dispositivos de memoria portátiles, tales como discos ópticos (por ejemplo, CD-ROM, DVD), USB-RAM y disquetes, por ejemplo, pueden usarse entonces como fuentes apropiadas de datos para el sistema 300.

35 Los componentes 305 a 313 del módulo 301 informático se comunican típicamente a través de un bus 304 interconectado y de una manera que da como resultado un modo convencional de operación del sistema 300 informático conocido por aquellos en la técnica relevante. Ejemplos de computadoras en las que se pueden practicar las disposiciones descritas incluyen los PC de IBM y compatibles, Sun Sparcstations, Apple MacMR o sistemas informáticos similares desarrollados a partir de los mismos.

40 Los métodos 200 y 250, descritos anteriormente, pueden implementarse como uno o más programas 333 de aplicación de software ejecutables dentro del sistema 300 informático. En particular, las etapas de los métodos 200 y 250 se efectúan mediante instrucciones 331 en el software 333 que se llevan a cabo dentro del sistema 300 informático. Las instrucciones 331 de software pueden formarse como uno o más módulos de código, cada uno para realizar una o más tareas particulares. El software también puede dividirse en dos partes separadas, en las que una primera parte y los módulos de código correspondientes realizan los métodos 200 y 250 y una segunda parte y los módulos de código correspondientes gestionan una interfaz de usuario entre la primera parte y el usuario.

45 El software 333 se carga generalmente en el sistema 300 informático desde un medio legible por ordenador, y luego se almacena típicamente en el HDD 310, como se ilustra en la Fig. 3a, o en la memoria 306, después de lo cual el software 333 puede ser ejecutado por el sistema 300 informático. En algunos casos, los programas 333 de aplicación pueden suministrarse al usuario codificados en uno o más CD-ROM 325 y leerse a través de la unidad 312 correspondiente antes del almacenamiento en la memoria 310 o 306. Alternativamente, el software 333 puede ser leído por el sistema 300 informático desde las redes 320 o 322 o cargado en el sistema 300 informático desde otros medios legibles por ordenador. Adicional o alternativamente, los datos, por ejemplo, la biblioteca de datos de entrenamiento o los espectros de referencia utilizados para preparar la biblioteca de datos de entrenamiento, pueden almacenarse en la memoria 310 o 306 o pueden cargarse en dicha memoria desde un CD u otro medio legible por ordenador, o a través de Internet o por algún otro medio. Medio de almacenamiento legible por ordenador se refiere a

cualquier medio de almacenamiento que participa en el suministro de instrucciones y/o datos al sistema 300 informático para su ejecución y/o procesamiento. Entre los ejemplos de dichos medios de almacenamiento se incluyen disquetes, cintas magnéticas, CD-ROM, una unidad de disco duro, una ROM o circuito integrado, una memoria USB, un disco óptico magnético o una tarjeta legible por ordenador, tal como una tarjeta PCMCIA y similares, independientemente de que dichos dispositivos sean internos o externos al módulo 301 informático. Entre los ejemplos de medios de transmisión legibles por ordenador que también pueden participar en la provisión de software, programas de aplicación, instrucciones y/o datos al módulo 301 informático se incluyen canales de transmisión de radio o infrarrojos, así como una conexión de red a otro ordenador o dispositivo en red, e Internet o Intranets, incluidas las transmisiones de correo electrónico y la información registrada en sitios web y similares.

La segunda parte de los programas 333 de aplicación y los módulos de código correspondientes mencionados anteriormente pueden ejecutarse para implementar una o más interfaces gráficas de usuario (GUIs) que se van a mostrar o representar de otro modo en la pantalla 314. A través de la manipulación, típicamente del teclado 302 y del ratón 303, un usuario del sistema 300 informático y la aplicación pueden manipular la interfaz de una manera funcionalmente adaptable para proporcionar comandos de control y/o entrada a las aplicaciones asociadas con la o las GUI(s). También se pueden implementar otras formas de interfaces de usuario funcionalmente adaptables, como una interfaz de audio que utilice indicaciones de voz emitidas a través de los altavoces 317 y comandos de voz de usuario introducidos a través del micrófono 380.

La Fig. 3b es un diagrama de bloques esquemático detallado del procesador 305 y una "memoria" 334. La memoria 334 representa una agregación lógica de todos los dispositivos de memoria (incluido el HDD 310 y la memoria 306 de semiconductores) a los que puede acceder el módulo 301 informático en la Fig. 3a.

Cuando se enciende inicialmente el módulo 301 informático, se ejecuta un programa 350 de reconocimiento propio de encendido (POST). El programa 350 POST se almacena normalmente en una ROM 349 de la memoria 306 de semiconductores. Un programa almacenado permanentemente en un dispositivo de hardware como la ROM 349 a veces se denomina firmware. El programa 350 POST examina el hardware dentro del módulo 301 informático para asegurar su correcto funcionamiento, y normalmente comprueba el procesador 305, la memoria (309, 306) y un módulo 351 de software de sistemas básicos de entrada y salida (BIOS), también almacenado normalmente en la ROM 349, para comprobar su correcto funcionamiento. Una vez que el programa 350 POST se ha ejecutado correctamente, el BIOS 351 activa la unidad 310 de disco duro. La activación de la unidad 310 de disco duro hace que un programa 352 de carga de arranque que reside en la unidad 310 de disco duro se ejecute a través del procesador 305. Esto carga un sistema 353 operativo en la memoria 306 RAM sobre la que el sistema 353 operativo comienza a funcionar. El sistema 353 operativo es una aplicación de nivel de sistema, ejecutable por el procesador 305, para cumplir diversas funciones de alto nivel, incluyendo la gestión del procesador, la gestión de la memoria, la gestión de dispositivos, la gestión del almacenamiento, la interfaz de la aplicación de software y la interfaz de usuario genérica.

El sistema 353 operativo gestiona la memoria (309, 306) para garantizar que cada proceso o aplicación que se ejecuta en el módulo 301 informático tenga suficiente memoria para ejecutarse sin colisionar con la memoria asignada a otro proceso. Además, los diferentes tipos de memoria disponibles en el sistema 300 deben utilizarse adecuadamente para que cada proceso pueda ejecutarse de forma eficaz. En consecuencia, la memoria 334 agregada no pretende ilustrar cómo se asignan segmentos particulares de memoria (a menos que se indique lo contrario), sino proporcionar una vista general de la memoria a la que tiene acceso el sistema 300 informático y cómo se utiliza.

El procesador 305 incluye una serie de módulos funcionales que incluyen una unidad 339 de control, una unidad 340 lógica aritmética (ALU) y una memoria 348 local o interna, a veces denominada memoria caché. La memoria 348 caché incluye típicamente una serie de registros 344-346 de almacenamiento en una sección de registros. Uno o más buses 341 internos interconectan funcionalmente estos módulos funcionales. El procesador 305 normalmente también tiene una o más interfaces 342 para comunicarse con dispositivos externos a través del bus 304 del sistema, utilizando una conexión 318.

El programa 333 de aplicación incluye una secuencia de instrucciones 331 que puede incluir instrucciones de bucle y de ramificación condicional. El programa 333 también puede incluir datos 332 que se utilizan en la ejecución del programa 333. Las instrucciones 331 y los datos 332 se almacenan en las posiciones 328-330 y 335-337 de memoria respectivamente. Dependiendo del tamaño relativo de las instrucciones 331 y de las posiciones 328-330 de memoria, una instrucción particular puede almacenarse en una única posición de memoria, como se muestra mediante la instrucción que se muestra en la posición 330 de memoria. Alternativamente, una instrucción puede segmentarse en varias partes, cada una de las cuales se almacena en una posición de memoria separada, como se muestra mediante los segmentos de instrucción que se muestran en las posiciones 328-329 de memoria.

En general, al procesador 305 se le proporciona un conjunto de instrucciones que se ejecutan en el mismo. El procesador 305 espera entonces una entrada posterior, a la que reacciona ejecutando otro conjunto de instrucciones. Cada entrada puede ser proporcionada por una o más de varias fuentes, incluyendo datos generados por uno o más de los dispositivos 302, 303 de entrada, datos recibidos de una fuente externa a través de una de las redes 320, 322, datos recuperados de uno de los dispositivos 306, 309 de almacenamiento o datos recuperados de un medio 325 de almacenamiento insertado en el lector 312 correspondiente. La ejecución de un conjunto de instrucciones puede en algunos casos dar como resultado la salida de datos. La ejecución también puede implicar el almacenamiento de datos

o variables en la memoria 334.

5 Las disposiciones divulgadas utilizan variables 354 de entrada, que se almacenan en la memoria 334 en las ubicaciones 355-357 de memoria correspondientes. Las disposiciones producen variables 361 de salida, que se almacenan en la memoria 334 en las ubicaciones 362-364 de memoria correspondientes. Las variables 358 intermedias pueden almacenarse en las posiciones 359, 360, 366 y 367 de memoria.

La sección 344-346 de registro, la unidad 340 lógica aritmética (ALU) y la unidad 339 de control del procesador 305 trabajan juntas para realizar secuencias de microoperaciones necesarias para realizar ciclos de "búsqueda, decodificación y ejecución" para cada instrucción en el conjunto de instrucciones que compone el programa 333. Cada ciclo de búsqueda, decodificación y ejecución comprende:

- 10 (a) una operación de búsqueda, que busca o lee una instrucción 331 desde una posición 328 de memoria;
- (b) una operación de decodificación en la que la unidad 339 de control determina qué instrucción se ha buscado; y
- (c) una operación de ejecución en la que la unidad 339 de control y/o la ALU 340 ejecutan la instrucción.

15 A continuación, se puede ejecutar un ciclo adicional de búsqueda, decodificación y ejecución para la siguiente instrucción. De manera similar, se puede realizar un ciclo de almacenamiento mediante el cual la unidad 339 de control almacena o escribe un valor en una ubicación 332 de memoria.

Cada etapa o subproceso en los procesos de la Fig. 2 está asociado con uno o más segmentos del programa 333, y se realiza mediante la sección 344-347 de registro, la ALU 340 y la unidad 339 de control en el procesador 305 trabajando juntos para realizar los ciclos de búsqueda, decodificación y ejecución para cada instrucción en el conjunto de instrucciones para los segmentos anotados del programa 333.

20 Los métodos 200 y 250 se pueden implementar alternativamente en hardware dedicado, tal como uno o más circuitos integrados que realizan las funciones o subfunciones del método. Dicho hardware dedicado puede incluir procesadores gráficos, procesadores de señales digitales, matrices de puertas programables de campo (FPGA) o uno o más microprocesadores y memorias asociadas.

25 Lo anterior describe solo algunas realizaciones de la presente invención, y se pueden realizar modificaciones y/o cambios a la misma sin alejarse del alcance y espíritu de la invención, siendo las realizaciones ilustrativas y no restrictivas.

En el contexto de esta memoria descriptiva, la palabra "que comprende" significa "que incluye principalmente pero no necesariamente de manera exclusiva" o "que tiene" o "que incluye", y no "que consiste solo en". Las variaciones de la palabra "que comprende", tal como "comprende" tienen significados correspondientemente variados.

REIVINDICACIONES

1. Un método para detectar e identificar materiales radioactivos por medio del procesamiento de un espectro de rayos gamma adquirido de un objetivo, comprendiendo el método:
- adquirir el espectro de rayos gamma del objetivo a medida que el objetivo pasa a través de una zona de detección;
- 5 determinar si el espectro de rayos gamma del objetivo pertenece a una primera clase o a una segunda clase de un espectro de rayos gamma usando coeficientes de carga óptimos, en el que los coeficientes de carga óptimos han sido obtenidos usando análisis discriminante lineal de Fisher mediante:
- el cálculo de una matriz de dispersión entre clases y una matriz de dispersión dentro de clases para los espectros de rayos gamma en la primera clase y la segunda clase; y
- 10 el cálculo de los coeficientes de carga óptimos del vector propio generalizado correspondiente al valor propio generalizado más grande de las matrices de dispersión entre clases y dentro de clases,
- en el que la determinación de si el espectro de rayos gamma del objetivo pertenece a la primera clase o a la segunda clase comprende, además:
- 15 - calcular una distancia entre el espectro de rayos gamma del objetivo proyectado por los coeficientes de carga óptimos y el espectro de rayos gamma de la segunda clase proyectada por los coeficientes de carga óptimos; y
- determinar que el espectro de rayos gamma del objetivo pertenece a la primera clase cuando la distancia calculada está por encima de una distancia umbral:
- en el que la primera clase comprende al menos un espectro de rayos gamma artificial que es uno de
- (i) un valor constante con un componente de ruido gaussiano aditivo, y
- 20 (ii) un espectro cuasi lineal con un componente de ruido gaussiano aditivo
- en el que la segunda clase comprende espectros de rayos gamma de materiales radioactivos naturales, NORM;
- y
- generar una señal de salida dependiente de la determinación.
- 25 2. El método de acuerdo con la reivindicación 1, en el que la determinación de si el espectro de rayos gamma del objetivo pertenece a la primera clase se lleva a cabo dentro de una región de interés de los espectros de rayos gamma pertenecientes a la primera clase.
3. El método de acuerdo con la reivindicación 1, que comprende además determinar si la distancia umbral usando las etapas de:
- a. determinar recuentos brutos medios en la segunda clase;
- 30 b. estimar la desviación estándar de la segunda clase usando una relación de ley de potencia con los recuentos brutos medios; y
- c. determinar la distancia umbral como un número predeterminado de desviaciones estándar de la segunda clase.
4. El método de acuerdo con la reivindicación 1, que comprende además el procesamiento previo del espectro de rayos gamma del objetivo antes de determinar si el espectro de rayos gamma del objetivo pertenece a la primera
- 35 clase, en el que el procesamiento previo comprende uno o más de los siguientes:
- a. normalización de la intensidad; y
- b. estandarización del espectro.
5. El método de acuerdo con la reivindicación 1, que comprende además el procesamiento previo de los espectros de rayos gamma en cada clase antes de calcular las matrices de dispersión entre clases y dentro de clases, en el que el
- 40 procesamiento previo comprende uno o más de los siguientes:
- a. normalización de la intensidad; y
- b. estandarización del espectro.
6. El método de acuerdo con la reivindicación 1, en el que la generación comprende generar la señal de salida si el espectro de rayos gamma del objetivo se determina que pertenece a la primera clase.

7. El método de acuerdo con la reivindicación 1, que comprende además activar una alarma en respuesta a la señal de salida generada.
8. El método de la reivindicación 1, en el que la zona de detección es de un primer punto a un segundo punto, y el método comprende además operar una barrera en el que la barrera se ubica en o antes del segundo punto en la zona de detección.
9. El método de la reivindicación 1, en el que el objetivo se mueve a través de la zona de detección entre un primer punto y un segundo punto.
10. Un aparato para detección e identificación de materiales radiactivos de un objetivo a medida que el objetivo pasa a través de una zona de detección, comprendiendo el aparato:
- 10 un detector de rayos gamma configurado para adquirir una señal de rayos gamma desde el objetivo mientras el objetivo pasa a través de la zona de detección;
- un amplificador configurado para amplificar la señal de rayos gamma adquirida por el detector de rayos gamma para formar así una señal de rayos gamma amplificada;
- 15 un analizador multicanal configurado para dividir la señal de rayos gamma amplificada en intervalos de energía, generando así un espectro de rayos gamma;
- una memoria configurada para almacenar el espectro de rayos gamma generado, y
- un procesador configurado para ejecutar un código de programa informático para hacer que el procesador realice un método para detectar e identificar materiales radioactivos mediante el procesamiento del espectro de rayos gamma del objetivo mientras el objetivo pasa a través de la zona de detección de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores.
- 20 11. Un medio para almacenamiento legible por ordenador tangible no transitorio que tiene un programa informático registrado en él, siendo ejecutable el programa informático por un ordenador para hacer que el ordenador ejecute un método para detectar e identificar materiales radioactivos mediante el procesamiento de un espectro de rayos gamma adquirido de un objetivo mientras el objetivo pasa a través de la zona de detección de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1-9 usando un aparato de acuerdo con la reivindicación 10.
- 25

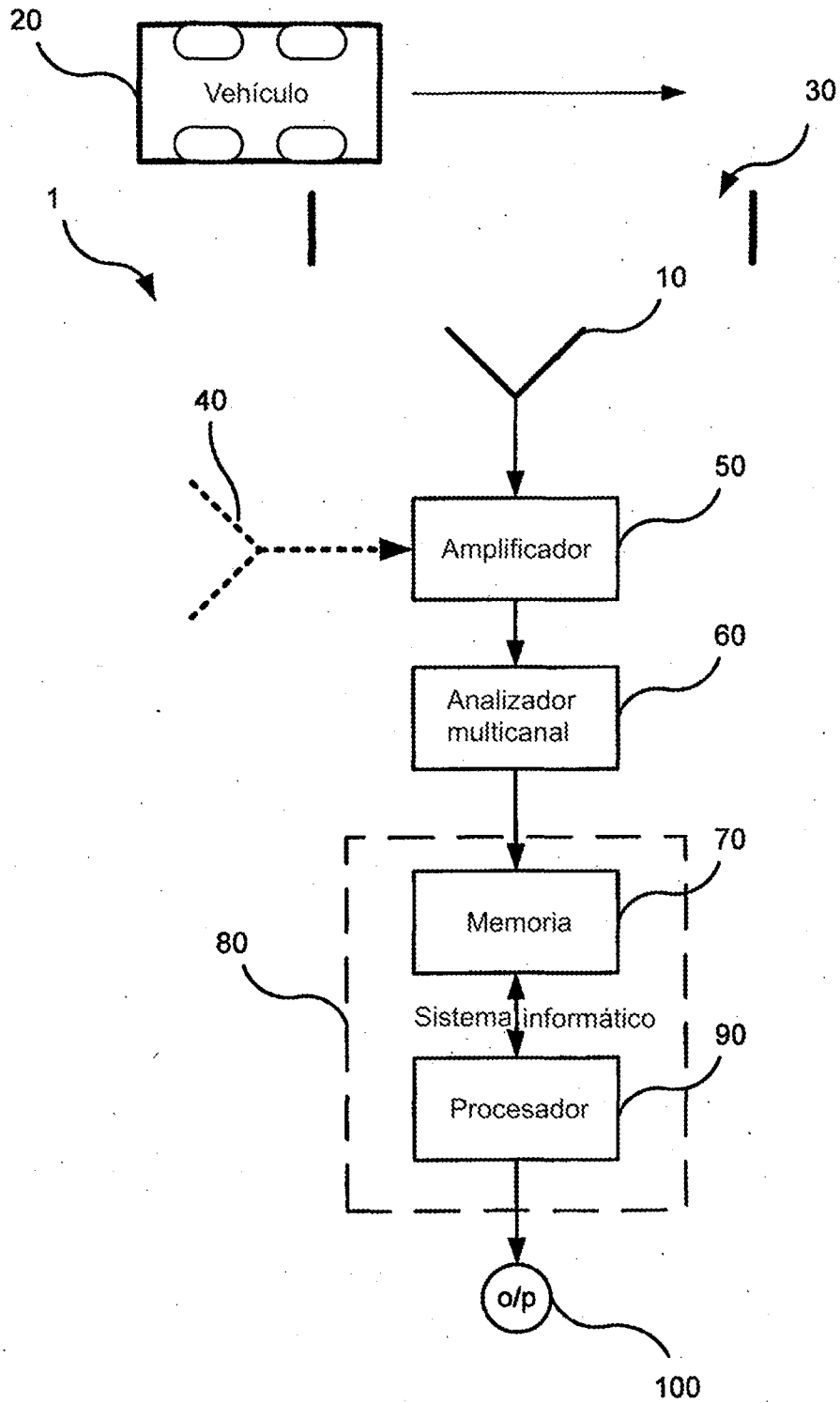


Fig. 1

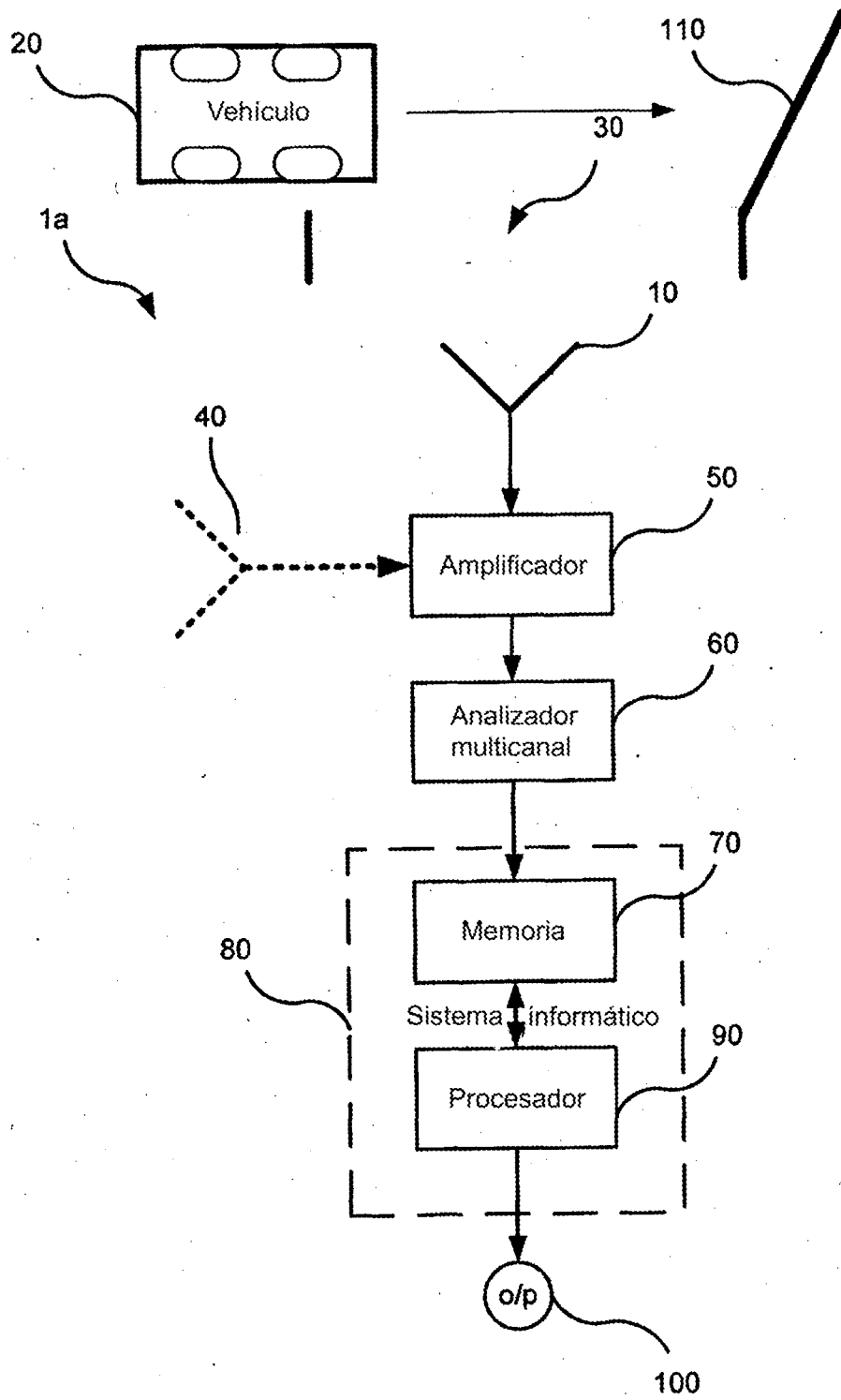


Fig. 1a

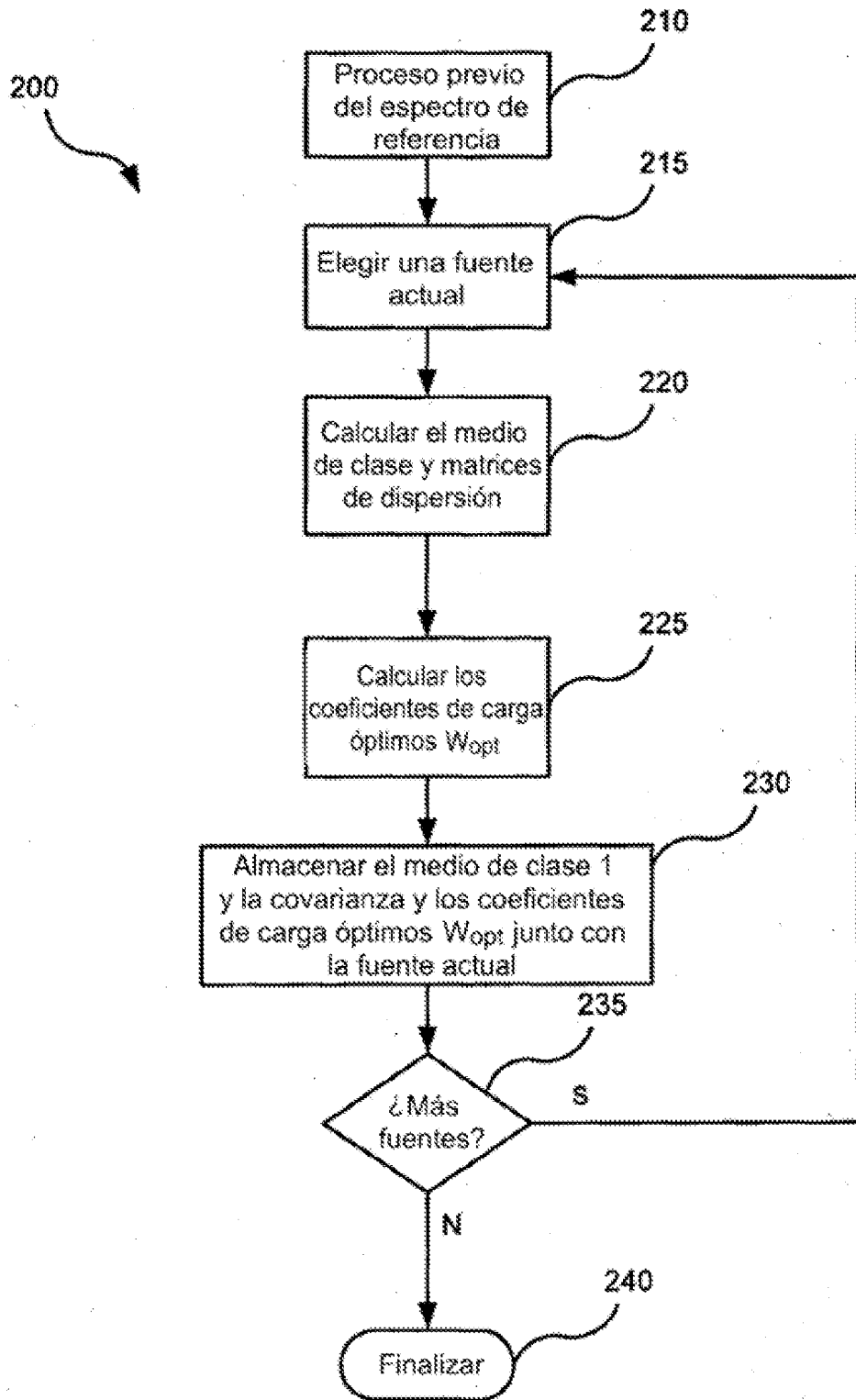


Fig. 2a

250

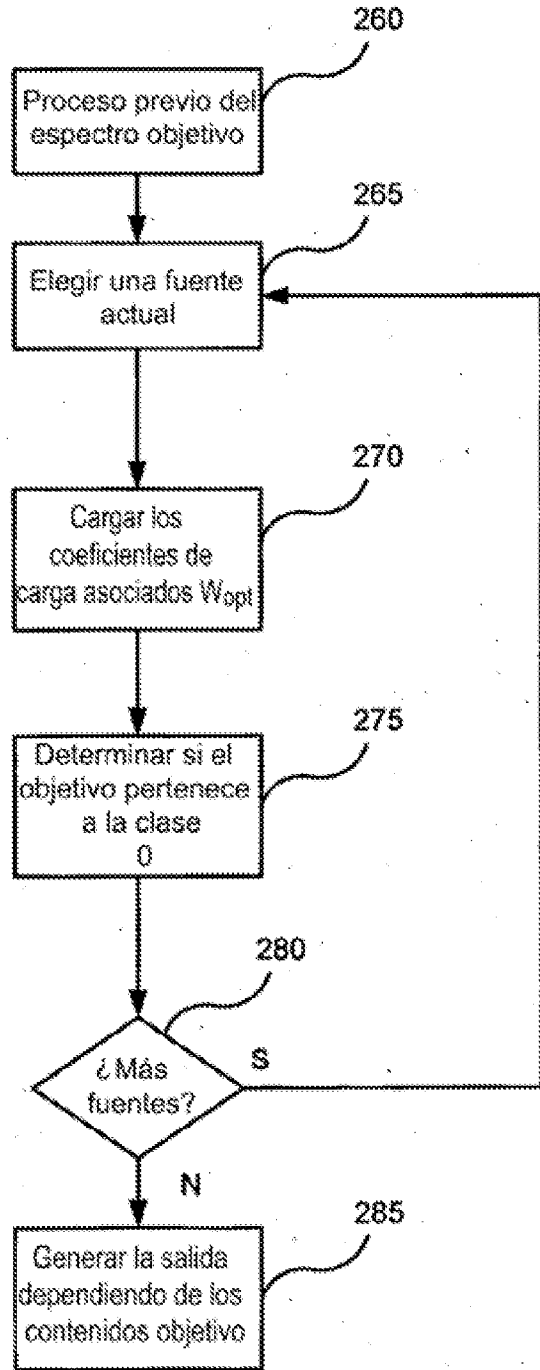


Fig. 2b

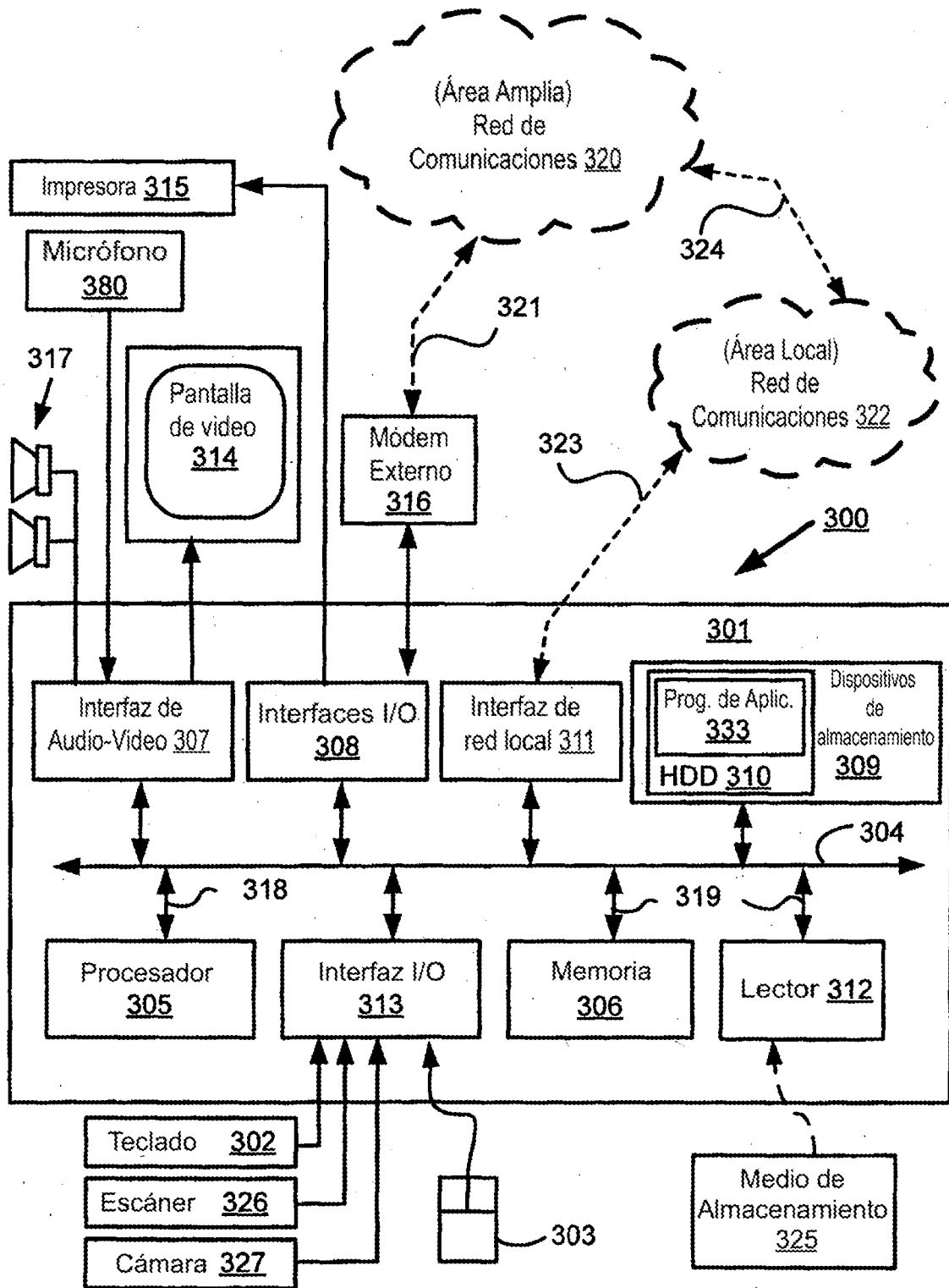


Fig. 3a

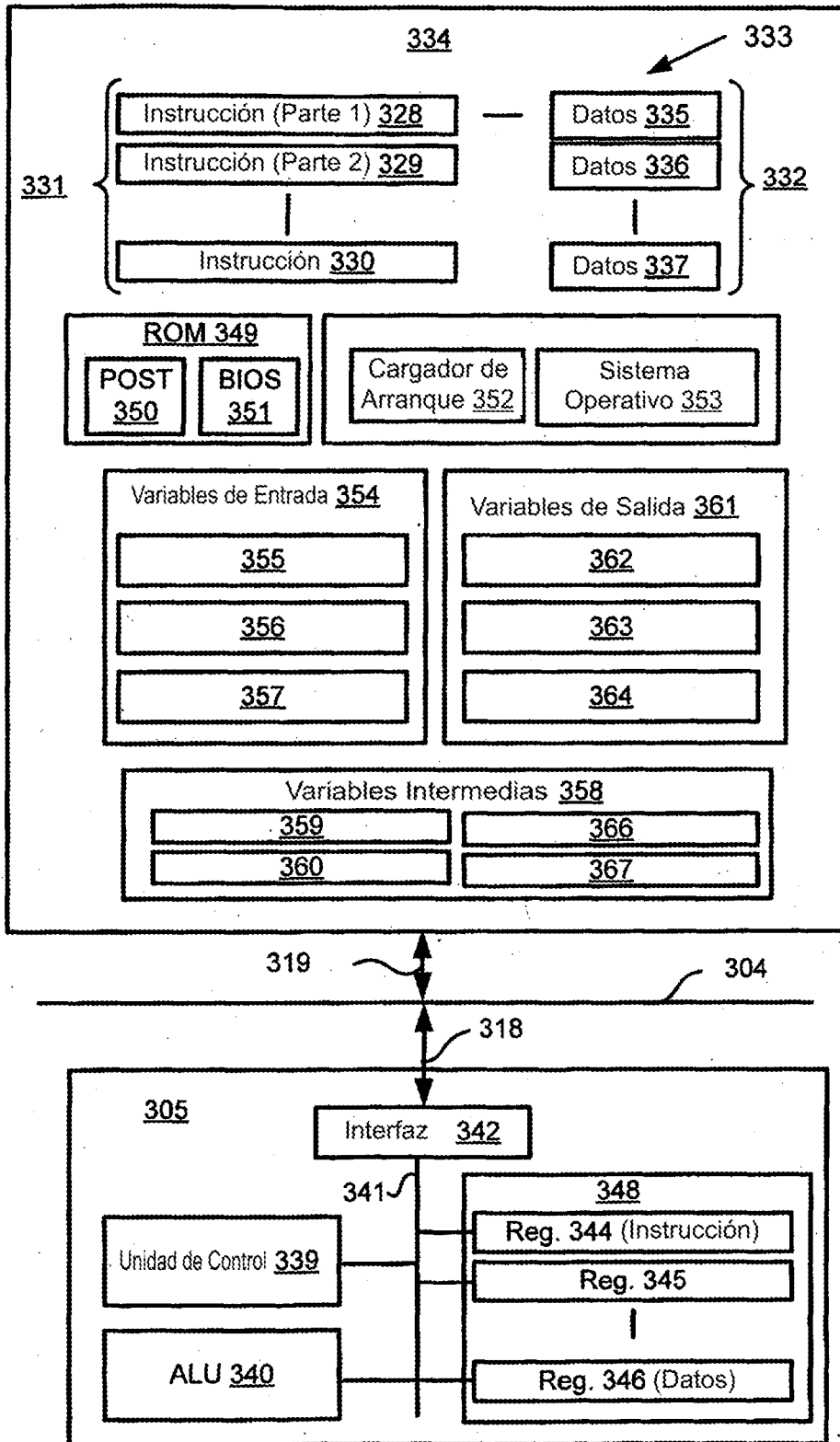


Fig. 3b