

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 645 587**

51 Int. Cl.:

G01N 23/04 (2006.01)

G01V 5/00 (2006.01)

G01T 1/29 (2006.01)

G01N 23/20 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **15.12.2006 E 09177217 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **30.08.2017 EP 2151681**

54 Título: **Sistemas de inspección de tomografía de rayos X**

30 Prioridad:

16.12.2005 GB 0525593

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

05.12.2017

73 Titular/es:

**CXR LIMITED (100.0%)
SEVEN GABLES HOUSE 30 LETCHMORE ROAD
RADLETT HERTFORDSHIRE WD7 8HT, GB**

72 Inventor/es:

MORTON, EDWARD JAMES

74 Agente/Representante:

LINAGE GONZÁLEZ, Rafael

ES 2 645 587 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

Sistemas de inspección de tomografía de rayos X

- 5 La presente invención se refiere al escaneado de rayos X. Tiene una aplicación particular en el control de seguridad de equipaje, paquetes y otros objetos sospechosos, aunque se podría utilizar igualmente en otras aplicaciones adecuadas.
- 10 Los escáneres de tomografía computarizada (TC) de rayos X se han utilizado en el control de seguridad en los aeropuertos durante varios años. Un sistema convencional comprende un tubo de rayos X que gira alrededor de un eje con un detector de rayos X arqueado también girado a la misma velocidad alrededor del mismo eje. La cinta transportadora sobre la que se transporta el equipaje se coloca dentro de una abertura adecuada alrededor del eje central de rotación, y se mueve a lo largo del eje a medida que se gira el tubo. Un haz en abanico de radiación X pasa desde la fuente a través del objeto que se va a inspeccionar al conjunto de detectores de rayos X.
- 15 El conjunto de detectores de rayos X registra la intensidad de los rayos X que pasan a través del objeto que se va a inspección en varias ubicaciones a lo largo de su longitud. Un conjunto de datos de proyección se registra en cada uno de una serie de ángulos fuente. A partir de estas intensidades de rayos X registradas, es posible formar una imagen tomográfica (de corte transversal), típicamente por medio de un algoritmo de proyección de retorno filtrado.
- 20 Para producir una imagen tomográfica precisa de un objeto, como una bolsa o paquete, se puede mostrar que existe un requisito de que la fuente de rayos X pase a través de cada plano a través del objeto. En la disposición descrita anteriormente, esto se consigue mediante el escaneado rotacional de la fuente de rayos X, y el movimiento longitudinal de la cinta transportadora sobre el que se transporta el objeto.
- 25 En este tipo de sistema, la velocidad a la que se pueden recoger los escaneos tomográficos de rayos X depende de la velocidad de rotación del pórtico que contiene la fuente de rayos X y el conjunto de detectores. En un pórtico CT moderno, todo el conjunto del detector de tubos y el pórtico completarán de dos a cuatro revoluciones por segundo. Esto permite que se obtengan hasta cuatro u ocho escaneos tomográficos por segundo, respectivamente.
- 30 A medida que el estado de la técnica se ha desarrollado, el anillo único de detectores de rayos X ha sido reemplazado por múltiples anillos de detectores. Esto permite escanear muchos cortes (generalmente 8) simultáneamente y reconstruirlos utilizando métodos de proyección de retorno filtrada adaptados de las máquinas de escaneo único. Con un movimiento continuo de la cinta transportadora a través del sistema de imágenes, la fuente describe un movimiento de escaneado helicoidal sobre el objeto. Esto permite aplicar un método más sofisticado de reconstrucción de imagen de haz cónico que, en principio, puede ofrecer una reconstrucción de imágenes volumétrica más precisa.
- 35 En un desarrollo adicional, los escáneres de haz de electrones barridos se han demostrado en aplicaciones médicas por lo que se elimina el movimiento de escaneado mecánico de la fuente de rayos X y los detectores, siendo reemplazado por un anillo continuo (o anillos) de detectores de rayos X que rodean el objeto bajo inspección con una fuente de rayos X en movimiento que se genera como resultado de barrer un haz de electrones alrededor de un ánodo arqueado. Esto permite que las imágenes se obtengan más rápidamente que en los escáneres convencionales. Sin embargo, debido a que la fuente de electrones se encuentra en el eje de rotación, tales escáneres de haz barrido no son compatibles con los sistemas de cinta transportadora que pasan cerca, y paralelos,
- 40 al eje de rotación.
- El documento US 2005/0190882 A1 se refiere a un generador de rayos X capaz de generar múltiples espectros seleccionados de rayos X.
- 50 El documento WO 02/31857 A1 se refiere a un dispositivo de generación de rayos X que incluye un cátodo de emisión de campo formado al menos parcialmente desde una nanoestructura. La radiación de rayos X pulsada con energía variable puede ser generada desde un dispositivo único.
- El documento US 5570403 se refiere a una máquina CT de rayos X que puede conseguir escaneado de energía múltiple en tiempo real. Además, el documento US 2003/0072407 A1 divulga en la figura 1 un aparato CT de rayos X de tipo multifuente convencional, que incluye una pluralidad de detectores y fuentes.
- 55 La presente invención proporciona un sistema de escaneado de rayos X que comprende un escáner y medios de procesamiento, comprendiendo el escáner: una fuente de rayos X que tiene una pluralidad de unidades de fuente que están espaciadas alrededor de una región de escaneado en una disposición substancialmente circular y se pueden activar individualmente, en el que cada unidad de fuente comprende una fuente de electrón y dos áreas de destino de diferentes materiales dispuestos para producir rayos X de dos espectros de energía diferentes; y detectores dispuestos para detectar los rayos X desde cada una de las áreas de destino para producir dos salidas de escáner respectivas, en el que el escáner está dispuesto para escanear una pluralidad de regiones de un objeto,
- 60 y los medios de procesamiento están dispuestos para procesar señales desde los detectores para generar una pluralidad de conjuntos de datos de imágenes tomográficas y para combinar los conjuntos de datos para generar
- 65

una imagen tridimensional del objeto, en el que los medios de procesamiento están dispuestos para combinar dos salidas de escáner para producir los conjuntos de datos de imágenes.

5 Características opcionales del sistema de escaneado de rayos X son nombradas en las reivindicaciones dependientes.

Las realizaciones preferidas de la presente invención se describirán ahora a modo de ejemplo solo con referencia a los dibujos que se acompañan en los que:

10 la figura 1 es un corte longitudinal de un sistema de escaneado de seguridad de tomografía en tiempo real de acuerdo con una primera realización de la invención;

la figura 1a es una vista en perspectiva de una fuente de rayos X del sistema de la figura 1;

15 segundo conjunto de detectores para generar datos de dispersión, y para asociar partes de los datos de dispersión con el objeto.

20 La presente invención proporciona además un sistema de recopilación de datos para recopilar datos de un escáner de rayos X, comprendiendo el sistema una memoria que tiene una pluralidad de áreas, cada una de las cuales está asociada a un área respectiva de una imagen, medios de entrada de datos dispuestos para recibir datos de entrada de una pluralidad de detectores de rayos X en una secuencia predeterminada, medios de procesamiento dispuestos para generar a partir de los datos de entrada datos de transmisión de rayos X y datos de dispersión de rayos X asociados con cada una de las áreas de la imagen, y almacenar los datos de transmisión de rayos X y los datos de dispersión de rayos X en las áreas de memoria apropiadas.

25 La presente invención proporciona además un sistema de escaneado de rayos X que comprende un escáner dispuesto para escanear un objeto para generar datos de escaneado que definen una imagen tomográfica de rayos X del objeto, y medios de procesamiento dispuestos para analizar los datos de escaneado para extraer al menos un parámetro de los datos de imagen y para asignar el objeto a una de una pluralidad de categorías en base a al menos un parámetro.

30 Las realizaciones preferidas de la presente invención se describirán ahora a modo de ejemplo solo con referencia a los dibujos que se acompañan en los que:

35 la figura 1 es un corte longitudinal de un sistema de escaneado de seguridad de tomografía en tiempo real de acuerdo con una primera realización de la invención;

la figura 1a es una vista en perspectiva de una fuente de rayos X del sistema de la figura 1;

40 la figura 2 es una vista en planta del sistema de la figura 1;

la figura 3 es una vista lateral esquemática del sistema de la figura 1;

45 la figura 4 es un diagrama esquemático de un sistema de adquisición de datos que forma parte del sistema de la figura 1;

la figura 5 es un diagrama esquemático de un sistema de detección de amenazas que forma parte del sistema de la figura 1;

50 la figura 6 es un diagrama esquemático de un sistema de clasificación de equipaje que incluye el sistema de escaneado de la figura 1;

la figura 7 es un diagrama esquemático de un sistema de clasificación de equipaje;

55 las figuras 8a, 8b y 8c son diagramas esquemáticos de sistemas de clasificación de equipaje;

la figura 9 es un diagrama esquemático de un sistema de clasificación de equipaje en red;

la figura 10 es una vista en planta esquemática de un sistema de escaneado autónomo;

60 la figura 11 es una vista lateral esquemática del sistema de la figura 10;

la figura 12 es una vista lateral esquemática de un sistema de escaneado modular;

65 la figura 13 es un diagrama de un evento de dispersión de rayos X;

la figura 14 es un corte longitudinal a través de un sistema de escaneado de seguridad;

la figura 15 es un corte longitudinal adicional a través del sistema de la figura 14 que muestra cómo se detectan diferentes eventos de dispersión;

5 la figura 16 es un corte transversal a través del sistema de la figura 14;

la figura 17 es un diagrama esquemático de un sistema de adquisición de datos del sistema de escaneado de la figura 14;

10 la figura 18 es una vista parcial de un escáner de energía dual de acuerdo con una realización adicional;

la figura 19 es una vista parcial adicional del escáner de la figura 18;

15 la figura 20 es una vista esquemática de una fuente de rayos X de energía dual de una realización adicional de la invención;

la figura 21 es una vista esquemática de un conjunto de detectores de un escáner de acuerdo con una realización adicional de la invención;

20 la figura 22 es una vista esquemática de un conjunto de detectores de un escáner de acuerdo con una realización adicional de la invención;

la figura 23 es un diagrama de circuito de un circuito de adquisición de datos de la realización de la figura 21; y

25 la figura 24 es un diagrama de circuito de un circuito de adquisición de datos de una realización adicional de la invención.

30 Haciendo referencia a las figuras 1 a 3, un sistema 6 de escaneado de equipaje de vestíbulo comprende una unidad 8 de escaneado que comprende una fuente 10 de rayos X multifocal y un conjunto 12 de detectores de rayos X. La fuente 10 comprende una gran cantidad de puntos 14 de fuente en ubicaciones espaciadas respectivas en la fuente, y está dispuesta en un conjunto circular completo de 360 ° alrededor del eje X-X del sistema. Se apreciará que también se pueden utilizar conjuntos que cubren menos del ángulo completo de 360 °.

35 Haciendo referencia a la figura 1a, la fuente 10 de rayos X está compuesta de varias unidades 11 de fuente que están espaciadas alrededor de la región 16 de escaneado en una disposición sustancialmente circular, en un plano perpendicular a la dirección de movimiento de la cinta transportadora. Cada unidad 11 de fuente comprende un supresor metálico conductor 13 que tiene dos lados y un elemento emisor 15 que se extiende a lo largo entre los lados del supresor. Una serie de elementos de rejilla en forma de alambres 17 de rejilla están soportados por encima del supresor 13 perpendicular al elemento emisor 15. Un número de elementos de enfoque en forma de alambres 19 de enfoque están soportados en otro plano en el lado opuesto de los alambres de rejilla al elemento emisor. Los alambres 19 de enfoque son paralelos a los alambres 17 de rejilla y están separados entre sí con el mismo espaciado que los alambres de rejilla, estando cada alambre 19 de enfoque alineado con uno de los respectivos alambres 17 de rejilla.

45 Los alambres 19 de enfoque están soportados sobre dos carriles 21 de soporte que se extienden paralelos al elemento emisor 15, y están espaciados del supresor 13. Los carriles 21 de soporte son eléctricamente conductores de modo que todos los alambres 19 de enfoque están conectados eléctricamente entre sí. Uno de los carriles 21 de soporte está conectado a un conector 23 para proporcionar una conexión eléctrica para los alambres 19 de enfoque. Cada uno de los alambres 17 de rejilla se extiende hacia abajo por un lado del supresor 12 y está conectado a un respectivo conector eléctrico 25 que proporciona conexiones eléctricas separadas para cada uno de los alambres 17 de rejilla.

50 Un ánodo 27 está soportado por encima de los alambres 17 de rejilla y los alambres 19 de enfoque. El ánodo 27 está formado como una varilla, típicamente de cobre con tungsteno o recubrimiento en plata, y se extiende paralelamente al elemento emisor 15. Los alambres 17, 19 de rejilla y de enfoque se extienden, por lo tanto, entre el elemento emisor 15 y el ánodo 27. Un conector eléctrico 29 proporciona una conexión eléctrica al ánodo 27.

60 Los alambres 17 de rejilla están todos conectados a un potencial negativo, aparte de dos que están conectados a un potencial positivo. Estos alambres de rejilla positivos extraen un haz de electrones de un área del elemento emisor 15 y, enfocando por los alambres 19 de enfoque, dirigen el haz de electrones en un punto del ánodo 27, que forma el punto de fuente de rayos X para ese par de alambres de rejilla. Por lo tanto, el potencial de los alambres de rejilla puede cambiarse para seleccionar qué par de alambres de rejilla está activo en un momento dado y, por lo tanto, para seleccionar qué punto en el ánodo 27 es el punto de fuente de rayos X activo en cualquier momento.

65 Por lo tanto, la fuente 10 puede controlarse para producir rayos X desde cada uno de los puntos 14 de fuente en

cada una de las unidades fuente 11 individualmente y, refiriéndose de nuevo a la figura 1, los rayos X de cada punto 14 de fuente se dirigen hacia adentro a través de la región 16 de escaneado dentro de la fuente circular 10. La fuente 10 está controlada por una unidad 18 de control que controla los potenciales eléctricos aplicados a los alambres 17 de rejilla y por lo tanto controla la emisión de rayos X desde cada uno de los puntos 14 de fuente.

5 Otros diseños de fuente de rayos X adecuados se describen en el documento WO 2004/097889.

10 La fuente 10 de rayos X multifocal permite que el circuito 18 de control electrónico se utilice para seleccionar cuál de los muchos puntos 14 de fuente de rayos X individuales dentro de la fuente de rayos X multifocal está activo en cualquier momento en el tiempo. Por lo tanto, al escanear electrónicamente el tubo de rayos X multifocal, se crea la ilusión del movimiento de fuente de rayos X sin partes mecánicas que se muevan físicamente. En este caso, la velocidad angular de la rotación de fuente se puede aumentar a niveles que simplemente no se pueden lograr cuando se utilizan conjuntos de tubos de rayos X giratorios convencionales. Este escaneado giratorio rápido se traduce en un proceso de adquisición de datos acelerado de forma equivalente y, a continuación, una reconstrucción de imágenes rápida.

15 El conjunto 12 de detectores también es circular y está dispuesto alrededor del eje X-X en una posición que está ligeramente desplazada en la dirección axial desde la fuente 10. La fuente 10 está dispuesta para dirigir los rayos X que produce a través de la región 16 de escaneado hacia el conjunto 12 de detectores en el lado opuesto de la región de escaneado. Las trayectorias 18 de los haces de rayos X pasan, por lo tanto, a través de la región 16 de escaneado en una dirección que es sustancialmente, o casi, perpendicular al eje X-X del escáner, cruzándose entre sí cerca del eje. El volumen de la región de escaneado que se escanea y se toman imágenes tiene, por lo tanto, la forma de un corte delgado perpendicular al eje del escáner. La fuente se escanea de modo que cada punto de fuente emite rayos X durante un período respectivo, estando los periodos de emisión dispuestos en un orden predeterminado. Cuando cada punto 14 de fuente emite rayos X, las señales de los detectores 12, que dependen de la intensidad de los rayos X que inciden en el detector, se producen y los datos de intensidad que proporcionan las señales se registran en la memoria. Cuando la fuente ha completado su escaneo, las señales del detector pueden procesarse para formar una imagen del volumen escaneado.

20 Una cinta transportadora 20 se mueve a través del volumen de formación de imágenes, de izquierda a derecha, como se ve en la figura 1, paralela al eje X-X del escáner. Las pantallas 22 de dispersión de rayos X están situadas alrededor de la cinta transportadora 20 aguas arriba y aguas abajo del sistema de rayos X principal para evitar la dosis del operador debido a los rayos X dispersos. Las pantallas 22 de dispersión de rayos X incluyen cortinas 24 de tiras de caucho de plomo en sus extremos abiertos de manera que el artículo 26 bajo inspección es arrastrado a través de una cortina al entrar, y una al salir, de la región de inspección. En el sistema integrado mostrado, el sistema 18 de control electrónico principal, un sistema 30 de procesamiento, un suministro 32 de potencia y soportes 34 de refrigeración se muestran montados debajo de la cinta transportadora 20. La cinta transportadora 20 está dispuesta para funcionar normalmente con un movimiento de barrido continuo a velocidad constante de la cinta transportadora, y típicamente tiene un conjunto de bastidor de fibra de carbono dentro del volumen de formación de imágenes.

30 Haciendo referencia a la figura 4, el sistema 30 de procesamiento incluye un sistema de adquisición de datos electrónico y un sistema de reconstrucción de imágenes en tiempo real. El conjunto 12 de detectores de rayos X comprende bancos de detectores 50 de rayos X individuales configurados en un patrón lineal simple (por ejemplo, 1 x 16). Múltiples patrones de anillo (por ejemplo, 8 x 16) también son posibles. Cada detector 50 emite una señal que depende de la intensidad de los rayos X que detecta. Un bloque 52 de multiplexación multiplexa las señales de datos de salida de cada uno de los detectores 50 de rayos X de entrada, realiza el filtrado de datos, las correcciones de ganancia y desplazamiento y formatea los datos en un flujo en serie de alta velocidad. Un bloque 53 de selección toma la entrada de todos los bloques 52 de multiplexación y selecciona solo la parte de los datos de rayos X completos que se requieren para la reconstrucción de la imagen. El bloque 53 de selección también determina la intensidad del haz de rayos X atenuado, lo, para el punto de fuente de rayos X apropiado (que variará para cada punto de fuente de rayos X dentro del tubo de rayos X multifocal), procesa los datos de intensidad de rayos X, I_x , del bloque 52 de multiplexación formando el registro de resultados, (I_x/I_0) y luego lo combina con un filtro 1-D adecuado. Los datos de proyección resultantes se registran como una ecografía, en la que los datos se organizan en un conjunto con un número de píxeles a lo largo de un eje, en este caso horizontal, y un ángulo fuente a lo largo de otro eje, en este caso verticalmente.

45 A continuación, los datos se pasan desde el bloque 53 de selección en paralelo a un conjunto de elementos 54 de procesador de suma de retroproyección. Los elementos 54 de procesador se mapean en el hardware, utilizando tablas de consulta con coeficientes precalculados para seleccionar los datos de rayos X convolucionados necesarios y los factores de ponderación para la retroproyección y suma rápidas. Un bloque 55 de formateo toma los datos que representan azulejos de imagen reconstruidos individuales de los múltiples elementos 54 de procesador y formatea los datos de imagen de salida final a una forma adecuada para generar una imagen tridimensional adecuadamente formateada en una pantalla de visualización. Esta salida se puede generar lo suficientemente rápido para que las imágenes se generen en tiempo real, para verlas en tiempo real o fuera de línea, por lo que el sistema se denomina sistema de tomografía en tiempo real (RTT).

En esta realización, el bloque 52 de multiplexación está codificado en el software, el bloque 53 de selección y el bloque 55 de formateo están codificados en el firmware, y los elementos de procesador mapeados en el hardware. Sin embargo, cada uno de estos componentes podría ser hardware o software dependiendo de los requisitos del sistema particular.

Haciendo referencia a la figura 5, cada imagen de salida final para cada artículo de equipaje es procesada por un procesador 60 de detección de amenaza dentro del sistema 30 de procesamiento que está dispuesto para determinar si el artículo de equipaje visualizado representa una amenaza. En el procesador 60 de detección de amenazas, los datos 62 de imagen tomográfica de rayos X de entrada se pasan a un conjunto de extractores 63 de parámetros de bajo nivel (nivel 1). Los extractores 63 de parámetros identifican características en la imagen tales como áreas de nivel de gris constante, textura y estadísticas. Algunos de los extractores trabajan en los datos de imágenes o cortes bidimensionales individuales, algunos trabajan en las imágenes tridimensionales y algunos trabajan en los datos de la ecografía. Siempre que sea posible, cada extractor funciona en paralelo en el mismo conjunto de datos de entrada, y cada extractor está dispuesto para realizar una operación de procesamiento diferente y para determinar un parámetro diferente. Al final del procesamiento, los parámetros determinados por los extractores 63 de parámetros pasan a un conjunto de árboles 64 de decisión (nivel 2). Los detalles de los parámetros extraídos se dan a continuación. Los árboles 64 de decisión toman cada uno un número (típicamente todos) de los parámetros de bajo nivel y construyen información de nivel superior respectiva, tal como información con respecto a volúmenes contiguos, con estadísticas asociadas. En el nivel superior (nivel 3), un buscador 65 de bases de datos mapea los parámetros de nivel superior producidos en el nivel 2 en una probabilidad 'roja' Pr (amenaza) de que haya una amenaza presente y una probabilidad 'verde' Pr (segura) de que el artículo bajo inspección sea seguro. Estas probabilidades son utilizadas por el sistema 30 de procesamiento para asignar el artículo escaneado a una categoría de seguridad apropiada, y para producir una salida de control de clasificación automática. Esta salida de control de clasificación automática puede ser una primera salida 'verde' que indica que el artículo está asignado a una categoría segura, una segunda salida 'roja' que indica que el artículo está asignado a una categoría 'no segura o una tercera salida 'ámbar' que indica que la clasificación automática no puede llevarse a cabo con suficiente fiabilidad para asignar el artículo a la categoría 'segura o 'no segura. Específicamente si Pr (segura) está por encima de un valor predeterminado, (o Pr (amenaza) está por debajo de un valor predeterminado), la salida de clasificación automática se producirá con una primera señal, lo que indica que el artículo debe asignarse al canal verde. Si Pr (amenaza) está por encima de un valor predeterminado, (o Pr (segura) está por debajo de un valor predeterminado), la salida de clasificación automática se producirá con una segunda señal, lo que indica que el artículo debe asignarse al canal rojo. Si Pr (amenaza) (o Pr (segura)) está entre los dos valores predeterminados, la salida de clasificación automática se produce con una tercera forma de señal, lo que indica que el artículo no se puede asignar al canal rojo o verde. Las probabilidades también se pueden emitir como señales de salida adicionales.

Los parámetros que serán determinados por los extractores 63 de parámetros se refieren generalmente al análisis estadístico de píxeles dentro de regiones separadas de la imagen bidimensional o tridimensional. Para identificar regiones separadas en la imagen, se utiliza un método de detección de borde estadístico. Esto comienza en un píxel y luego verifica si los píxeles adyacentes son parte de la misma región, moviéndose hacia afuera a medida que la región crece. En cada paso se determina una intensidad media de la región, calculando la intensidad media de los píxeles dentro de la región, y se compara la intensidad del siguiente píxel adyacente a la región con ese valor medio, para determinar si está lo suficientemente cerca como para que el píxel se agregue a la región. En este caso, se determina la desviación estándar de la intensidad del píxel dentro de la región, y si la intensidad del nuevo píxel está dentro de la desviación estándar, entonces se agrega a la región. Si no es así, no se agrega a la región, y esto define el borde de la región como el límite entre los píxeles de la región y los píxeles que se han comprobado y no se han agregado a la región.

Una vez que la imagen se ha dividido en regiones, se pueden medir los parámetros de la región. Uno de esos parámetros es una medida de la varianza de la intensidad del píxel dentro de la región. Si es alto, esto podría ser indicativo de un material apelmazado, que podría encontrarse, por ejemplo, en una bomba casera, mientras que si la varianza es baja, esto sería indicativo de un material uniforme como un líquido.

Otro parámetro que se mide es la distorsión de la distribución del valor de píxel dentro de la región, que se determina midiendo la inclinación de un histograma de valores de píxel. Una distribución gaussiana, es decir no sesgada, indica que el material dentro de la región es uniforme, mientras que una distribución más sesgada indica falta de uniformidad en la región.

Como se describió anteriormente, estos parámetros de bajo nivel se pasan a los árboles 64 de decisión, donde se construye información de nivel superior y se determinan parámetros de nivel más alto. Uno de tales parámetros de nivel superior es la relación entre el área de superficie y el volumen de la región identificada. Otra es una medida de similitud, en este caso, correlación cruzada, entre la forma de la región y las formas de la plantilla almacenadas en el sistema. Las formas de las plantillas están dispuestas para corresponderse con la forma de los artículos que representan una amenaza a la seguridad, como pistolas o detonadores. Estos parámetros de alto nivel se utilizan como se describió anteriormente para determinar un nivel si represente una amenaza el objeto representado.

Haciendo referencia a la figura 6, un sistema de clasificación de equipaje de tomografía en línea en tiempo real comprende el sistema 6 de escaneo de la figura 1 con la cinta transportadora 20 que pasa a través de él. Aguas abajo del sistema 6 de escaneo, se dispone un dispositivo 40 de clasificación para recibir artículos de equipaje de la cinta transportadora 20 y moverlos sobre una cinta transportadora 42 de canal seguro o "verde" o una cinta transportadora 44 de canal no seguro o "rojo". El dispositivo 40 de clasificación es controlado por las señales de salida de clasificación automática a través de una línea 46 de control desde el sistema 30 de procesamiento, que son indicativas de la decisión del sistema 30 de procesamiento sobre si el artículo es seguro o no, y también mediante señales de un estación 48 de trabajo a la que está conectado a través de la línea 45. Las imágenes del sistema 6 de escaneo y las señales del sistema 30 de procesamiento, indicativas de las probabilidades rojas y verdes y la decisión nominal del sistema 30 de procesamiento, también se distribuyen a la estación 48 de trabajo. La estación de trabajo está dispuesta para mostrar las imágenes en una pantalla 47 de modo que puedan ser vistas por un operador humano, y también para proporcionar una visualización indicativa de las probabilidades verde y roja y la decisión de clasificación automática nominal. El usuario en la estación de trabajo puede revisar las imágenes y las probabilidades, y la salida de clasificación automática, y decidir si acepta o anula la decisión del sistema de escaneo, si fue para asignar el artículo a la categoría roja o verde, o para introducir una decisión si la decisión del sistema de escaneo fue asignar el artículo a la categoría 'ámbar'. La estación 48 de trabajo tiene una entrada 49 de usuario que permite al usuario enviar una señal al dispositivo 40 de clasificación que puede identificarse por el dispositivo de clasificación como una excepción a la decisión del sistema de escaneo. Si el dispositivo de clasificación recibe la señal de anulación, entonces el dispositivo de clasificación anula la decisión del sistema de escaneo. Si no se recibe una señal de anulación, o si se recibe una señal de confirmación de la estación de trabajo confirmando la decisión del sistema de escaneo, entonces el dispositivo de clasificación clasifica el artículo en función de la decisión del sistema de escaneo. Si el sistema de clasificación recibe una señal 'ámbar' del sistema de escaneo en relación con un artículo, inicialmente asigna ese artículo a la categoría 'roja' para colocarlo en el canal rojo. Sin embargo, si recibe una señal de entrada de la estación de trabajo antes de clasificar el artículo que indica que debe estar en la categoría 'verde', clasifica el artículo en el canal verde.

En una modificación del sistema de la figura 6, la clasificación puede ser totalmente automática, con el sistema de procesamiento dando una de las dos salidas de clasificación, "segura" y "no segura", asignando el artículo al canal verde o rojo. También sería posible para el sistema de procesamiento determinar solo una probabilidad Pr (amenaza) con un valor de umbral y asignar el artículo a una de las dos categorías dependiendo de si la probabilidad está por encima o por debajo del umbral. En este caso, la asignación seguiría siendo provisional y el operador todavía tendría la opción de anular la clasificación automática. En una modificación adicional, la asignación automática de categorías del sistema de escaneo se utiliza como la asignación final, sin ninguna entrada por parte del usuario. Esto proporciona un sistema de clasificación completamente automatizado.

En el sistema de la figura 6, la velocidad de escaneo se corresponde con la velocidad de la cinta transportadora, de modo que el equipaje se puede mover a una velocidad constante desde un área de carga donde se carga en la cinta transportadora 20, a través del sistema 6 de escaneo, y hacia el dispositivo 40 de clasificación. La cinta transportadora 20 se extiende por una distancia L, entre la salida del sistema 6 de escaneo y el dispositivo 40 de clasificación. Durante el tiempo que tarda un artículo de equipaje en recorrer la distancia L en la cinta transportadora 20, un operador puede ver los datos de imagen del artículo bajo inspección y la asignación de categoría inicial determinada por el sistema de escaneo, y confirmar o rechazar la decisión automatizada del sistema RTT. Por lo general, el equipaje sería aceptado en el canal seguro y pasado hacia listo para el transporte o rechazado en el canal no seguro para una mayor investigación.

En este sistema de enfoque múltiple RTT, la unidad 8 de escaneo RTT puede funcionar a la velocidad máxima de la cinta de equipaje, y por lo tanto no se requiere ninguna cola de equipaje u otro mecanismo de desvío para el funcionamiento óptimo del sistema. En sistemas integrados como este, la capacidad de rendimiento limitada de los sistemas de fuentes giratorias convencionales es una limitación importante. A menudo, esto significa colocar varias máquinas convencionales de TC en paralelo y utilizar sistemas sofisticados de manejo de equipaje para cambiar el artículo para su inspección a la siguiente máquina disponible. Esta complejidad se puede evitar con la disposición de la figura 6.

Haciendo referencia a la figura 7, una segunda realización de la invención comprende un sistema redundante en el que dos sistemas 70, 72 de escaneo RTT están situados en serie en la misma cinta transportadora 74 de modo que si un sistema fuera retirado del servicio, el otro podría continuar para escanear el equipaje. En cualquier caso, la cinta transportadora 74 continuaría pasando a través de ambos sistemas 70, 72 de escaneo a la velocidad de la cinta de funcionamiento estándar.

Haciendo referencia a la figura 8a en una tercera realización, se proporciona un sistema redundante más complejo en el que dos sistemas RTT 82, 84 funcionan en paralelo. Una cinta transportadora 86 de entrada principal primera lleva todos los artículos a clasificar a un dispositivo 88 de clasificación primero que puede transferir artículos a cualquiera de las otras dos cintas transportadoras 90, 92. Cada una de estas dos cintas transportadoras 90, 92 pasa a través de uno de los sistemas 82, 84 de escaneo respectivo, que escaneará los artículos y permitirá que se tome una decisión respecto a si declarar seguro el artículo o no. Se proporciona un dispositivo 94, 96 de clasificación

adicional en cada una de las dos cintas transportadoras 90, 92 que está dispuesta para clasificar el equipaje en una cinta transportadora 98 de "canal verde" común para el transporte posterior, o una cinta transportadora 100 de "canal rojo" si no es seguro, donde puede someterse a una mayor investigación. En esta configuración, es posible hacer funcionar la cinta transportadora 86 de entrada y la cinta transportadora de "canal verde" a una velocidad más alta que la velocidad de la cinta transportadora RTT, típicamente hasta dos veces su velocidad. Por ejemplo, en este caso, la cinta transportadora 86 de entrada principal y la cinta transportadora de "canal verde" común se mueven a una velocidad de 1 m/s, mientras que las cintas transportadoras 82, 84 de escaneado se desplazan a la mitad de esa velocidad, es decir, 0,5 m/s. Por supuesto, el sistema puede expandirse con más sistemas RTT paralelos, con la relación de la velocidad de la cinta transportadora principal entrante con la de las cintas transportadoras del escáner siendo iguales, o sustancialmente iguales, al número de escáneres paralelos, aunque los dispositivos de clasificación pueden no ser fiables a más de una velocidad de la cinta transportadora de 1 m/s principal.

Haciendo referencia a la figura 8b, en una realización adicional, un sistema de clasificación de equipaje comprende una serie de escáneres RTT 81b, 82b, 83b, típicamente hasta aproximadamente 60 en un sistema, cada uno asociado con un mostrador de facturación respectivo. Un dispositivo 84b, 85b, 86b de clasificación está asociado a cada escáner RTT, y el equipaje se transporta en una cinta transportadora desde cada escáner RTT a su dispositivo de clasificación asociado. Cada dispositivo 84b, 85b, 86b de clasificación clasifica el equipaje, en respuesta a las señales de su escáner, sobre una cinta transportadora 88b de canal seguro común, o una cinta transportadora 87b de canal de rechazo común. Se proporciona un escáner RTT 89b de apoyo adicional en la cinta transportadora 87b de canal de rechazo, con un dispositivo 90b de clasificación asociado, que puede dejar el equipaje en la cinta transportadora 87b de canal de rechazo, o transferirlo a la cinta transportadora 88b de canal seguro.

Con un funcionamiento normal, cada uno de los escáneres primarios 81b, 82b, 83b clasifica el equipaje, y el escáner 89b de apoyo o redundante simplemente proporciona una verificación adicional de los artículos clasificados en el canal de rechazo. Si ese escáner determina que un artículo de equipaje no representa amenaza, o una amenaza suficientemente baja, entonces lo transfiere al canal seguro. Si uno de los escáneres primarios no está funcionando o tiene un defecto, entonces su dispositivo de clasificación asociado está dispuesto para clasificar todo el equipaje de ese escáner al canal de rechazo. Luego, el escáner 89b de apoyo escanea todo ese equipaje y controla la clasificación del mismo entre los canales seguro y de rechazo. Esto permite que todos los mostradores de facturación sigan funcionando mientras se repara o reemplaza el escáner defectuoso.

Haciendo referencia a la figura 8c, en una realización adicional, el equipaje de cada uno de los mostradores de facturación se transfiere a través de una pluralidad de cintas transportadoras separadas a un circuito o carrusel central 81c, en el que circula continuamente. Un número de dispositivos 82c, 83c, 84c de clasificación están dispuestos cada uno para transferir artículos de equipaje desde el circuito 81c a una cinta transportadora respectiva que conduce a un escáner RTT respectivo 85c, 86c, 87c. Los dispositivos 82c, 83c, 84c de clasificación son controlados por los escáneres para controlar la velocidad a la que los artículos de equipaje se distribuyen a cada uno de los escáneres. Desde los escáneres, las cintas transportadoras transfieren todos los artículos de equipaje a una cinta transportadora 88c de salida común que conduce a un dispositivo 89c de clasificación adicional. Esto es controlado por todos los escáneres para clasificar cada uno de los artículos de equipaje entre un canal seguro 90c y un canal 91c de rechazo.

Para rastrear el movimiento de cada artículo de equipaje, cada artículo recibe una identificación de 6 dígitos y su posición en la cinta transportadora se registra cuando entra en el sistema por primera vez. Por lo tanto, los escáneres pueden identificar qué artículo de equipaje se está escaneando a la vez y asociar los resultados del escaneado con el artículo correspondiente. Por lo tanto, los dispositivos de clasificación también pueden identificar los artículos de equipaje individuales y clasificarlos en función de sus resultados de escaneado.

El número de escáneres y las velocidades de las cintas transportadoras en este sistema están dispuestos de tal manera que, si uno de los escáneres no está funcionando, los escáneres restantes pueden procesar todo el equipaje que se está distribuyendo al circuito 81c desde los mostradores de facturación.

En una modificación de esta realización, los dispositivos 82c, 83c, 84c de clasificación que seleccionan qué artículos se transfieren a cada escáner no son controlados por los escáneres, sino que están dispuestos para seleccionar artículos desde el circuito 81c para distribuirlos a los respectivos escáneres a una velocidad predeterminada.

Haciendo referencia a la figura 9, un sistema en red de acuerdo con una realización adicional comprende tres sistemas 108 de escaneado similares a los de la figura 6, y cuatro estaciones 148 de trabajo de operador. Las salidas de imágenes de video de los tres sistemas 108 de escaneado RTT están conectadas a través de respectivos enlaces de video punto a punto de ancho de banda alto a conjuntos 109 de discos en tiempo real que proporcionan almacenamiento transitorio para los datos de imágenes brutos, a un conmutador 110 de video redundante. Los conjuntos 109 de discos están a su vez conectados a cada una de las estaciones 148 de trabajo. El conmutador 110 de video es por lo tanto capaz de transmitir la salida de imagen de video sin formato desde cada uno de los sistemas 108 de escaneado desde su almacenamiento temporal a cualquiera de las estaciones 148 de trabajo, donde puede utilizarse para crear imágenes de video tridimensionales que pueden verse sin estar conectado. Las salidas del sistema de escaneado para las señales de probabilidad roja/verde y las señales de asignación de clasificación

automática están conectadas a un conmutador Ethernet convencional redundante 112, que también está conectado a cada una de las estaciones de trabajo. El conmutador Ethernet está dispuesto para conmutar cada una de las señales de probabilidad y las señales de asignación de clasificación a la misma estación 148 de trabajo que la señal de video asociada. Esto permite que los datos de imagen de las máquinas múltiples junto con la asignación automática y las probabilidades asignadas a la asignación, se conmuten al banco de estaciones 148 de trabajo del operador donde un operador puede monitorizar el rendimiento del sistema de inspección de equipaje y determinar el destino del equipaje asignado a un nivel de amenaza ámbra.

Alternativamente, un sistema en red comprende un único sistema 108 de escaneado conectado a un servidor y a una estación 148 de trabajo. La salida de la imagen de video del sistema 108 de escaneado está conectada a un conjunto 109 de discos en tiempo real, que proporciona almacenamiento transitorio para los datos de imágenes en bruto. El conjunto 109 de discos está a su vez conectado a la estación 148 de trabajo. La señal de probabilidad y las salidas de señal de asignación se envían a la estación 148 de trabajo junto con la salida de imagen de video asociada para ser monitorizada por un operador. El sistema de escaneado único en red puede ser parte de un sistema en red con múltiples sistemas de escaneado.

Haciendo referencia a las figuras 10 y 11, en una realización adicional, un escáner en línea tiene una cinta transportadora 160 tan larga como las pantallas 162 de dispersión principal. En tales configuraciones de sistema independientes, el artículo para inspección se coloca sobre la cinta transportadora 160 y el artículo es cargado en el sistema. El artículo se escanea luego a través de la máquina 164 de escáner y se generan las imágenes. A menudo, en los sistemas convencionales, el artículo se somete a un control previo con un sistema de rayos X de transmisión simple para identificar áreas de amenaza probables antes del control por tomografía computarizada de planos seleccionados en el objeto. Tales aplicaciones son simples para un sistema de enfoque múltiple en tiempo real. Aquí, no se utilizaría ningún control previo y se obtendría una verdadera imagen tridimensional del ítem completo.

En algunas realizaciones, el lugar geométrico de los puntos de fuente en la fuente de rayos X multifocal se extenderá en un arco sobre un intervalo angular de solo 180 grados más el ángulo del haz en abanico (típicamente en el intervalo de 40 a 90 grados). El número de puntos de fuente discretos se selecciona ventajosamente para satisfacer el teorema de muestreo de Nyquist. En algunas realizaciones, como en la de la figura 1, se utiliza un anillo completo de 360 puntos de fuente. En este caso, el tiempo de permanencia por punto de fuente aumenta en una configuración de haz en abanico de más de 180 para una velocidad de escaneo dada y esto es ventajoso para mejorar la relación señal a ruido de la imagen reconstruida.

El sistema de escáner de la figura 1 es un sistema de escáner integrado, en el que las unidades 18, 30, 32, 34 de control, procesamiento, suministro de potencia y refrigeración están alojadas en una unidad con el sistema 8 de escaneado y el control 22. Haciendo referencia a la figura 12, en una realización adicional se proporciona un sistema modular en el que algunos, o todos, los soportes 218, 230, 232, 234 de control, procesamiento, suministro de energía y enfriamiento están ubicados remotamente desde la unidad 208 de escaneado que comprende fuente de rayos X multifocal y conjunto de sensores. Es ventajoso utilizar un diseño modular para facilitar una instalación fácil, particularmente en entornos de salas de manipulación de equipaje, donde los sistemas pueden estar suspendidos del techo o en regiones con acceso restringido. Alternativamente, se puede configurar un sistema completo como una unidad integrada con las unidades del subconjunto co-ubicadas en un único alojamiento.

En algunas realizaciones, incluida la de la figura 1, se utiliza un único anillo detector de rayos X. Esto no es costoso de construir y proporciona un rendimiento adecuado de señal a ruido incluso a altas velocidades de escaneado de imágenes con un algoritmo de reconstrucción de imagen de haz en abanico simple. En otras realizaciones (particularmente para diámetro de círculo de reconstrucción de imagen grande) es preferible utilizar un conjunto de sensores de múltiples anillos con una pluralidad de grupos de sensores circulares o parcialmente circulares dispuestos adyacentes entre sí, espaciados a lo largo del eje del sistema desde la fuente. Esto permite utilizar un algoritmo de reconstrucción de imágenes de haz cónico más complejo en el sistema de procesamiento. El uso de un sensor de múltiples anillos aumenta el tiempo de permanencia por punto de fuente, lo que resulta en un tamaño de señal integrado mayor y la consiguiente mejora en la relación señal a ruido en la imagen reconstruida.

Es central para el diseño de las realizaciones descritas anteriormente, que utilizan un sistema de tomografía computarizada basada en fuente de rayos X multifocal, la relación entre la velocidad de rotación angular de la fuente y la velocidad de la cinta transportadora que pasa a través del escáner. En el límite de que la cinta transportadora sea estacionaria, el grosor del corte reconstruido de la imagen está determinado por completo por el tamaño del foco de rayos X y el área de los elementos individuales del conjunto de detectores de rayos X. A medida que la velocidad de la cinta transportadora aumenta desde cero, el objeto bajo inspección pasará a través del corte de imágenes durante la rotación del haz de rayos X y se introducirá un desenfoque adicional en la imagen reconstruida en la dirección del grosor del corte. Idealmente, la rotación de la fuente de rayos X será rápida en comparación con la velocidad de la cinta transportadora, de modo que se minimizará el desenfoque en la dirección del grosor del corte.

Un sistema de tomografía computarizada multifocal basado en fuente de rayos X para inspección de equipaje proporciona una buena relación entre la velocidad de rotación de la fuente angular y la velocidad lineal de la cinta

transportadora para la detección de alta probabilidad de materiales y objetos peligrosos en el artículo bajo inspección. Como ejemplo, en la realización de la figura 1, la velocidad de la cinta transportadora es de 0,5 m/s, como es común en los sistemas aeroportuarios. La fuente puede lograr 240 rotaciones de fuente sobre la cinta transportadora por segundo, por lo que el objeto que se está inspeccionando se moverá una distancia de 2,08 mm a través del corte de imágenes durante el escaneo. En un sistema convencional con rotación de fuente de 4 revoluciones por segundo, el objeto inspeccionado se moverá una distancia de 62,5 mm a través del corte de imágenes durante el escaneo a la misma velocidad de cinta.

El objetivo principal de un sistema de inspección para la detección de materiales peligrosos es detectar con precisión la presencia de materiales peligrosos y pasar como no sospechoso a todos los demás materiales. Cuanto mayor es el desenfoque en la dirección del corte causado por el movimiento de la cinta transportadora durante un escaneo, mayor es el artefacto de volumen parcial en el píxel de la imagen reconstruida y menos precisa es la densidad de la imagen reconstruida. Cuanto menor es la precisión en la densidad de imagen reconstruida, más susceptible es el sistema de proporcionar una alarma en materiales no peligrosos y de no generar una alarma real en materiales peligrosos. Por lo tanto, un sistema de tomografía en tiempo real (RTT) basado en tecnología de fuente de rayos X multifocal puede proporcionar una capacidad de detección de amenazas considerablemente mejorada a velocidades de transporte rápidas que los sistemas convencionales de rayos X mecánicamente rotados.

Debido al uso de un ánodo arqueado extendido en una fuente de rayos X multifocal, es posible conmutar la fuente de electrones de manera que salte alrededor de la longitud completa del ánodo en lugar de escanear secuencialmente para emular la rotación mecánica observada en los sistemas de tomografía computarizada convencionales. Ventajosamente, el foco de rayos X se conmutará para maximizar la distancia de la posición de irradiación del ánodo actual desde todas las posiciones de irradiación previas con el fin de minimizar la carga térmica instantánea en el ánodo. Tal dispersión instantánea del punto de emisión de rayos X es ventajosa para minimizar el efecto de volumen parcial debido al movimiento de la cinta transportadora, mejorando aún más la precisión de los píxeles reconstruidos.

La alta resolución temporal de los sistemas RTT permite alcanzar un alto nivel de precisión en la detección automatizada de amenazas. Con este alto nivel de precisión, los sistemas RTT pueden ser accionados en modo sin supervisión, produciendo una indicación simple de salida de dos estados, con un estado correspondiente a una asignación verde o segura y el otro a una asignación roja o no segura. Las bolsas verdes se limpian para el transporte posterior. Las bolsas rojas representan un alto nivel de amenaza y deberían reconciliarse con el pasajero y al pasajero prohibírsele viajar.

Se describirán ahora otras realizaciones de la invención en las que los datos relacionados con la dispersión de rayos X así como los relativos a los rayos X transmitidos se registran y se utilizan para analizar los artículos de equipaje escaneados.

Haciendo referencia a la figura 13, cuando un haz 300 de rayos X pasa a través de un objeto 302, algunos de los rayos X se transmiten directamente a través de este, y salen del objeto desplazándose en la misma dirección en la que entraron. Algunos de los rayos X están dispersos a través de un ángulo de dispersión θ , que es la diferencia entre la dirección en la que entran al objeto y la dirección en la que lo dejan. Como es bien sabido, existen dos tipos de dispersión que ocurren: dispersión coherente o de Bragg, que se concentra alrededor de ángulos de dispersión de 5°, típicamente en el intervalo de 4° a 6°, y dispersión incoherente o Compton en la que los rayos X se dispersan a través de ángulos más grandes. La dispersión de Bragg aumenta linealmente con el número atómico del objeto y obedece a la fórmula:

$$n\lambda = 2d \sin \theta$$

donde:

n es un entero,

λ es la longitud de onda de los rayos X,

d es la distancia interatómica en el objeto.

Por lo tanto, la cantidad de dispersión de Bragg proporciona información sobre la estructura atómica del objeto. Sin embargo, no varía suavemente con el número atómico.

La cantidad de dispersión de Compton depende de, y varía suavemente con, la densidad de electrones del objeto y, por lo tanto, la cantidad de dispersión en ángulos de dispersión mayores proporciona información sobre la densidad de electrones del objeto y, por lo tanto, sobre su número atómico.

Haciendo referencia a la figura 14, un sistema de escaneo de seguridad de acuerdo con una realización adicional de la invención comprende una fuente 410 de rayos X multifocal que es la misma que la de la figura 1, y un conjunto

412 de detectores circulares y una cinta transportadora 420 que también son los mismos que los de la figura 1. Sin embargo, en esta realización, el sistema comprende un conjunto cilíndrico adicional de detectores 422 que también se extiende alrededor de la cinta transportadora en el mismo radio que el conjunto 412 de detectores circulares pero en el otro lado axialmente de la fuente 410. Mientras que el conjunto de detectores circulares está dispuesto para detectar rayos X transmitidos a través del objeto 426, el conjunto 422 de detectores cilíndricos está dispuesto para detectar rayos X dispersados en el objeto. El conjunto 422 de detectores de dispersión está compuesto de varios conjuntos circulares o anillos 422a, 422b de detectores, y los detectores en cada anillo están igualmente espaciados alrededor de la cinta transportadora de modo que están dispuestos en varias filas rectas que se extienden en la dirección axial del escáner.

Los detectores en el conjunto 422 de detectores de dispersión son detectores de resolución de energía tales que las interacciones de rayos X individuales con cada detector producen una salida de detector que es indicativa de la energía de los rayos X. Dichos detectores pueden fabricarse a partir de materiales semiconductores de banda prohibida estrecha III-V o II-IV tales como GaAs, HgI, CdZnTe o CdTe, un semiconductor de brecha estrecha como Ge, o un detector de centelleo compuesto tal como NaI (Ti) con lectura de tubo fotomultiplicador.

Haciendo referencia a la figura 15, se proporciona un colimador 428 delante de los detectores 422 de dispersión. El colimador 428 proporciona una barrera que evita que los rayos X lleguen a cada detector a menos que provenga de una dirección de recepción particular. Para cada detector en el conjunto 422, la dirección de recepción pasa a través del eje longitudinal central X-X del escáner, como se puede ver en la figura 16. Sin embargo, la dirección de recepción no es perpendicular al eje X-X, sino que está inclinada a aproximadamente 5° con respecto al plano de los anillos 422a, 422b de detector en la dirección hacia la fuente 410, como se puede ver en la figura 15.

Haciendo referencia a la figura 15, se apreciará que los rayos X incidentes en cualquiera de los detectores del conjunto 422 deben haberse dispersado desde un pequeño subvolumen respectivo dentro del volumen de imagen delgada que se encuentra en la trayectoria del haz de rayos X y en la línea de la dirección de recepción desde el detector 422. Para cualquiera de los rayos X dispersados de forma coherente, la posición axial del detector que la detecta estará determinada por la distancia desde el punto de fuente de rayos X activo en el que se produjo la dispersión. Los detectores más cercanos a la fuente 410 en la dirección axial detectarán los rayos X dispersos más alejados del punto de fuente de rayos X activo. Por ejemplo, los rayos X dispersados desde el punto x, que está más cerca del punto de fuente 410a de rayos X activo, serán detectados por un detector más allá de la fuente 410 que los rayos X dispersados desde el punto z que está más lejos del punto de fuente de rayos X activo. Por lo tanto, en cualquier momento, cuando se puede identificar el punto de fuente de rayos X activo, la posición axial del detector que detecta los rayos X dispersos puede utilizarse para determinar la posición de la dispersión a lo largo de la dirección del haz de rayos X.

También se apreciará en la figura 15 que, para que este sistema funcione, es importante que el haz de rayos X se enfoque de forma estrecha en la dirección axial del escáner. La extensión del haz en la dirección transversal, por ejemplo el uso de un haz en abanico extendido en la dirección transversal aún permitirá este posicionamiento de eventos de dispersión coherente.

Haciendo referencia a la figura 16, debido a que el colimador 428 se dirige hacia el eje del escáner, los rayos X de un punto de fuente activo 410a que experimentan dispersión coherente solo serán detectados por la fila de detectores 422a que está en el lado opuesto del eje de escáner al punto de fuente activo, y posiblemente una o más de las filas cercanas a él en cada lado dependiendo de cuán estrechamente enfocado esté el colimador. Si los rayos X están confinados a un haz de "lápiz" estrecho y recto, entonces no se detectarán en absoluto los rayos X que estén dispersos incoherentemente a través de ángulos más grandes, ya que serán cortados por el colimador 428. Un ejemplo de tales rayos X se muestra con la flecha 'a' en la figura 16. Sin embargo, si se produce un haz en abanico de rayos X desde el punto de fuente activo 410a, que se extiende a través del corte de volumen de formación de imágenes en la dirección perpendicular al eje del escáner, los rayos X dirigidos más allá del eje del escáner pueden sufrir dispersión incoherente y alcanzar los detectores a cada lado de la fila 422a opuesto al punto de fuente activo. Los ejemplos de tales rayos X se muestran con las flechas b y c. Se observará que, para alcanzar cualquier detector 422b, el evento de dispersión debe tener lugar en el plano que pasa a través del eje del escáner y de ese detector 422b. Esto significa que, para un punto de fuente activo dado y un detector particular, la posición del evento de dispersión de un rayo X detectado puede identificarse como que está en el plano que pasa por el eje del escáner y ese detector. Si se determina la posición exacta del evento de dispersión, entonces se necesita otra información. Por ejemplo, si está disponible la información con respecto a la posición de los objetos dentro del volumen de formación de imágenes, por ejemplo a partir de datos de imágenes tomográficas, entonces la dispersión puede asociarse con el objeto más probable, como se describirá con más detalle a continuación.

A partir de los datos de dispersión de Bragg, para cada evento de dispersión detectado, la combinación de la energía de rayos X y el ángulo de dispersión se puede utilizar para determinar la distancia interatómica d del material en el que tuvo lugar el evento de dispersión. En la práctica, se puede suponer que el ángulo de dispersión es constante y la energía utilizada para distinguir entre diferentes materiales. Para la dispersión de Compton, el nivel de dispersión de cada volumen del volumen de escaneado proporciona una indicación de la densidad del material en ese volumen. La relación de Compton a la dispersión coherente también puede determinarse y utilizarse como un

parámetro adicional para caracterizar el material del objeto representado.

Debido al corto tiempo de permanencia para cada punto de fuente de rayos X, el número de rayos X dispersos detectados para cada punto de fuente siempre será muy bajo, típicamente menor que cinco. Para formar una señal de dispersión razonable y coherente, es necesario recopilar datos de dispersión para todos los puntos de fuente dentro de un escaneo tomográfico y luego acumular los resultados para cada subvolumen del volumen de imagen. Para un escáner con 500 puntos de fuente y un promedio de un resultado de dispersión de difracción coherente por subvolumen por escaneo, luego de la acumulación del conjunto de datos, cada subvolumen tendrá 500 resultados asociados, correspondientes a 500 eventos de dispersión dentro de ese subvolumen. Un subvolumen típico ocupa un área dentro del plano de imagen de unos pocos centímetros cuadrados, con un grosor de volumen de unos pocos milímetros.

Haciendo referencia a la figura 17, el sistema de adquisición de datos dispuesto para acumular datos desde el conjunto 422 de detectores de dispersión del escáner de las figuras 14 a 16 comprende un analizador multicanal 500 asociado con cada uno de los detectores 422. Cada MCA 500 está dispuesto para recibir las señales de salida del detector, y asigna cada uno de los rayos X detectados a uno de una serie de intervalos o canales de energía de rayos X, y envía una señal indicativa del intervalo de energía en el que los rayos X detectados caen. Un multiplexor 502 está dispuesto para recibir las salidas de cada uno de los MCA 500. También se proporciona una tabla 504 de consulta que tiene entradas que, para un punto de fuente y detector dados, identifican el subvolumen dentro del volumen de formación de imágenes en el que se dispersaron los rayos X. El sistema comprende además una memoria 506 de imágenes que incluye varias áreas 508 de memoria, cada una de las cuales está asociada a un subvolumen respectivo dentro del plano de formación de imágenes del escáner.

Los datos se cargan en cada área 508 de memoria automáticamente por el multiplexor 502 bajo la dirección de la tabla 504 de consulta. La tabla de consulta se carga con coeficientes antes del escaneado que mapean cada combinación de detector 422 y MCA 500 a una ubicación 508 de imagen respectiva, una entrada de tabla de consulta por posición de fuente de rayos X. Esos píxeles, es decir detectores 422, que están en la dirección hacia adelante, es decir, sustancialmente en la dirección en que el fotón se desplaza desde la fuente antes de cualquier interacción, se supone que registran fotones de dispersión coherentes en ángulos de haz pequeños de aproximadamente 4-6 grados. Se supone que los píxeles 422 que no están en la dirección de avance registran fotones dispersos incoherentes debido al efecto de dispersión de Compton. Por lo tanto, la memoria 506 de imágenes es realmente "tridimensional" - dos dimensiones representan la ubicación en la imagen, mientras que la tercera dimensión contiene espectros de energía dispersa para dispersión coherente (lo 8 bits) e incoherente (hi 8 bits). La tabla 504 de consulta también instruirá al multiplexor 502 en cuanto al tipo de datos que se recopilan para cada MCA 500 en cada proyección, de modo que se llene el espacio de memoria apropiado.

Una vez que los datos de dispersión se han recopilado para un escaneo dado, los datos se transfieren y se sincronizan mediante un secuenciador 510 de proyección, con el sistema principal 512 de adquisición de datos RTT, que se describe anteriormente con referencia a la figura 4. Por lo tanto, los datos de imagen reconstruidos y los datos de dispersión se pasan simultáneamente al sistema de detección de amenazas, que puede utilizarlo para determinar los parámetros adecuados para el análisis.

Para cada escaneo, los datos de imagen tomográfica de los detectores 412 de transmisión producen datos relacionados con la atenuación de rayos X para cada píxel de la imagen, que a su vez corresponde a un subvolumen respectivo del volumen de formación de imágenes tomográficas. Esto se obtiene como se describió anteriormente con referencia a la figura 4. Los datos de los detectores 422 de dispersión proporcionan, como se describió anteriormente, datos relacionados con la cantidad de dispersión coherente dentro de cada subvolumen, y datos relacionados con la cantidad de dispersión incoherente dentro de cada subvolumen. Por lo tanto, estos datos pueden analizarse en un procesador de detección de amenazas similar al de la figura 5. En este caso, los parámetros de los datos que se extraen pueden relacionarse con los datos de imagen o los datos de dispersión o combinaciones de dos o más tipos de datos. Los ejemplos de parámetros que se extraen de los datos son la relación de dispersión coherente a incoherente, tipos de material como los determinados a partir de datos de dispersión coherentes, densidad de material como la determinada a partir de datos de dispersión incoherentes, correlación de valores de píxeles de imagen de CT con datos de dispersión. También se pueden determinar parámetros para los datos de dispersión correspondientes a los descritos anteriormente para los datos de transmisión.

Haciendo referencia a la figura 18, en una realización adicional, los detectores 512 de transmisión que se utilizan para generar los datos de imágenes tomográficas están dispuestos para medir la transmisión de rayos X a través de diferentes intervalos de energía. Esto se logra teniendo dos conjuntos de detectores 512a, 512b, formando cada uno un anillo alrededor de la cinta transportadora. Los dos juegos están en ubicaciones axiales diferentes a lo largo de la dirección de desplazamiento de la cinta transportadora, en este caso adyacentes entre sí en la dirección axial. El conjunto primero 512a no tiene filtro delante, pero el conjunto segundo 512b tiene un filtro metálico 513 colocado entre él y la fuente 510 de rayos X. El conjunto primero de detectores 512a por lo tanto detecta rayos X transmitidos en un amplio intervalo de energía, y el conjunto segundo 512b detecta rayos X solo en una parte más estrecha de ese intervalo en el extremo de alta energía.

A medida que el artículo que se va a escanear se mueve a lo largo de la cinta transportadora, cada volumen delgado o corte del mismo se puede escanear una vez utilizando el conjunto primero de detectores 512a y luego escanear de nuevo utilizando el conjunto segundo 512b. En la realización mostrada, la misma fuente 510 se utiliza para escanear dos volúmenes adyacentes simultáneamente, con datos para que cada uno de ellos sea recopilado mediante uno de los conjuntos detectores 512a, 512b respectivos. Después de que un volumen del artículo haya pasado por ambos conjuntos de detectores y se haya escaneado dos veces, se pueden formar dos conjuntos de datos de imagen utilizando los dos intervalos de energía de rayos X diferentes, cada imagen incluyendo datos de transmisión (y por lo tanto atenuación) para cada píxel de la imagen. Los dos conjuntos de datos de imagen se pueden combinar sustrayendo el del segundo conjunto de detectores 512a desde el primero 512b, dando como resultado los datos de imagen correspondientes para el componente de rayos X de baja energía.

Los datos de transmisión de rayos X para cada intervalo de energía individual, y la diferencia entre los datos para dos intervalos diferentes, como la alta energía y la baja energía, se pueden registrar para cada píxel de la imagen. Los datos se pueden utilizar para mejorar la precisión de las imágenes de TC. También se puede utilizar como un parámetro adicional en el algoritmo de detección de amenazas.

Se apreciará que pueden utilizarse otros métodos para obtener datos de transmisión para diferentes intervalos de energías de rayos X. En una modificación del sistema de las figuras 18 y 19, se pueden utilizar filtros equilibrados en los dos conjuntos de detectores. Los filtros se seleccionan de manera que haya una ventana estrecha de energías que es pasada por ambos. Los datos de imagen para los dos conjuntos de detectores se pueden combinar para obtener datos de transmisión para la ventana de energía estrecha. Esto permite obtener imágenes químicas específicas. Por ejemplo, es posible crear imágenes específicas de huesos utilizando filtros equilibrados alrededor de la energía de calcio de borde de K. Claramente, estos datos químicos específicos se pueden utilizar de manera efectiva en un algoritmo de detección de amenazas.

En una realización adicional, en lugar de utilizar filtros separados, se utilizan dos conjuntos de detectores que son sensibles a diferentes rayos X de energía. En este caso, se utilizan detectores apilados, que comprenden un detector frontal delgado que es sensible a rayos X de baja energía pero que permite que pasen rayos X de mayor energía a través de él y un detector de apoyo grueso sensible a los rayos X de alta energía que atraviesan el detector frontal. De nuevo, los datos de atenuación para los diferentes intervalos de energía se pueden utilizar para proporcionar datos de imagen específicos de energía.

En una realización adicional, se toman dos escaneos de cada corte del objeto con dos energías de haz de rayos X diferentes, logradas utilizando diferentes tensiones de tubo en la fuente de rayos X, por ejemplo 160 kV y 100 kV. Las diferentes energías producen espectros de energía de rayos X que se desplazan entre sí. Como los espectros son relativamente planos en una parte del intervalo de energía, los espectros serán similares en gran parte del intervalo. Sin embargo, parte del espectro cambiará significativamente. Por lo tanto, la comparación de imágenes para los dos voltajes de los tubos se puede utilizar para identificar las partes del objeto donde la atenuación cambia significativamente entre las dos imágenes. Por lo tanto, identifica las áreas de la imagen que tienen una alta atenuación en la parte estrecha del espectro que cambia entre las imágenes. Esta es, por lo tanto, una forma alternativa de obtener datos de atenuación específicos de energía para cada uno de los subvolúmenes dentro del volumen escaneado.

Haciendo referencia a la figura 20, de acuerdo con la invención, se producen dos espectros de energía de rayos X diferentes proporcionando un ánodo 600 en el tubo de rayos X que tiene áreas 602, 604 de destino de dos materiales diferentes. En este caso, por ejemplo, el ánodo comprende una base 606 de cobre con un área 602 de destino de tungsteno y una 604 de uranio. La fuente de electrones 610 tiene una serie de puntos 612 de fuente que se pueden activar individualmente. Se proporciona un par de electrodos 612, 614 en lados opuestos de la trayectoria del haz 616 de electrones que se puede controlar para encender y apagar un campo eléctrico para controlar la trayectoria del haz de electrones de modo que golpee uno u otro de las áreas 602, 604 de destino. El espectro de energía de los rayos X producidos en el ánodo variará dependiendo de cuál de las áreas de destino es golpeada por el haz 616 de electrones.

Esta realización utiliza una fuente de rayos X similar a la de la figura 1a, con las diferentes áreas de destino formadas como bandas paralelas que se extienden a lo largo del ánodo 27. Para cada punto de fuente de electrones activo, pueden producirse dos espectros de rayos X diferentes dependiendo de qué material de destino se utilice. La fuente se puede disponer para cambiar entre las dos áreas de destino para cada punto de fuente de electrones mientras está activo. Alternativamente, el escaneo a lo largo del ánodo 27 se puede realizar dos veces, una para un material de destino y una para el otro. En cualquier caso, se pueden necesitar más alambres de enfoque del haz de electrones para garantizar que solo uno u otro de los materiales de destino sea irradiado por el haz de electrones de una vez.

Dependiendo del ángulo en el que se extrae el haz de rayos X del ánodo, los haces de las dos áreas 602, 604 de destino pueden estar dispuestos en algunos casos para pasar por el mismo volumen de formación de imágenes y ser detectados por un conjunto de detectores común. Alternativamente, pueden disponerse para pasar a través de cortes adyacentes del volumen de formación de imágenes y detectarse mediante conjuntos de detectores

separados. En este caso, las partes del artículo representado pueden escanearse dos veces a medida que el artículo pasa a lo largo de la cinta transportadora de una manera similar a la disposición de la figura 18.

5 Haciendo referencia a la figura 21, en una realización adicional, se proporcionan dos conjuntos de detectores en un
único escáner, adyacentes entre sí en la dirección axial, uno 710 correspondiente a la de la figura 1 y que está
dispuesto para formar una imagen RTT, y el otro, 712, que tiene una resolución más alta y está dispuesto para
producir una imagen de proyección de alta resolución del objeto escaneado. En esta realización, el conjunto 712 de
detectores de alta resolución comprende dos conjuntos lineales paralelos 714, 716, cada uno dispuesto para
10 detectar rayos X a una energía diferente, de modo que se puede producir una imagen de proyección de energía
dual. En la realización de la figura 22, el conjunto 812 de alta resolución comprende dos conjuntos apilados, un
conjunto delgado en la parte superior dispuesto para detectar rayos X de energía más baja pero transparente a
rayos X de energía superior y un conjunto más grueso dispuesto debajo para detectar rayos X de energía superior.
En ambos casos, los dos conjuntos de detectores están dispuestos lo suficientemente cerca una de otra en la
15 dirección axial para poder detectar rayos X a partir de un único conjunto lineal de puntos de fuente.

Para proporcionar una imagen de proyección, los datos deben capturarse de todos los detectores en el conjunto
712, 812 de alta resolución cuando solo está activo un punto de fuente. Haciendo referencia a la figura 23, para
hacer esto, cada detector 718, 818 en el conjunto de alta resolución está conectado a un integrador 750. El
integrador comprende un amplificador 752 en paralelo con un condensador 754. Se proporciona un conmutador 756
20 de entrada entre el detector 718 y el amplificador 752, se proporciona un conmutador 758 de reinicio a través de los
terminales de entrada del amplificador, y un conmutador 759 de reinicio adicional conectado a través del
condensador 754, y se proporciona un conmutador 760 de multiplexación entre el integrador y un convertidor de
analógico a digital ADC.

25 En funcionamiento, aunque no se requiere que el detector 718 esté activo, todos los conmutadores excepto el
conmutador 760 de multiplexación están cerrados. Esto asegura que el condensador 754 no está cargado y
permanece así. Entonces, al comienzo del período cuando se requiere que el detector reúna datos, los dos
conmutadores 758, 759 de reinicio se cierran de modo que cualquiera de los rayos X detectados por el detector 718
causará un aumento en la carga en el condensador 754, que da como resultado la integración de la señal del
30 detector 718. Cuando finaliza el período de recopilación de datos, se abre el conmutador 756 de entrada, de modo
que el condensador permanecerá cargado. Luego, para que la señal integrada sea leída desde el integrador, el
conmutador 760 de salida se cierra para conectar el integrador al ADC. Esto proporciona una señal analógica al
ADC determinada por el nivel de carga en el condensador 754, y por lo tanto indicativo del número de rayos X que
ha detectado el detector 718 durante el período para el que se conectó al integrador. El ADC luego convierte esta
35 señal analógica en una señal digital para introducir en el sistema de adquisición de datos. Para producir una sola
imagen de proyección, todos los detectores de alta resolución se utilizan para recopilar datos al mismo tiempo,
cuando uno de los puntos de fuente de rayos X está activo.

Haciendo referencia a la figura 24, en una realización adicional, cada detector 718 está conectado a dos
40 integradores 750a, 750b en paralelo, cada uno de los cuales es idéntico al de la figura 23. Las salidas de los dos
integradores están conectadas a través de sus conmutadores 760a, 760b de salida a un ADC. Esto permite que
cada integrador esté dispuesto para integrar la señal del detector 718 en un punto diferente en el escaneo de la
fuente de rayos X, y por lo tanto para recopilar datos para una imagen separada, las dos imágenes son desde
diferentes ángulos con diferentes puntos de fuente de rayos X. Por ejemplo, esto se puede utilizar para producir
45 imágenes de proyección a partir de direcciones ortogonales que se pueden utilizar para construir una imagen
tridimensional de alta resolución, a partir de la cual se puede determinar la posición de las características en el
paquete visualizado en tres dimensiones.

La imagen de alta resolución puede ser útil cuando se combina con la imagen RTT, ya que puede ayudar a
50 identificar artículos para los que se necesita una resolución más alta, como alambres finos.

REIVINDICACIONES

- 1.- Un sistema de escaneado de rayos X que comprende un escáner y medios de procesamiento, comprendiendo el escáner:
- 5 una fuente de rayos X que tiene una pluralidad de unidades fuente que están separadas alrededor de una región de escaneado en una disposición substancialmente circular y pueden ser activadas individualmente, en el que cada unidad de fuente comprende una fuente de electrón y dos áreas de destino de diferentes materiales dispuestas para producir rayos X de dos espectros de energía diferentes; y
- 10 detectores dispuestos para detectar los rayos X de cada una de las áreas de destino para producir dos salidas de escáner respectivas;
- 15 en el que el escáner está dispuesto para escanear una pluralidad de regiones de un objeto, y los medios de procesamiento están dispuestos para procesar señales de los detectores para generar una pluralidad de conjuntos de datos de imágenes tomográficas y combinar los conjuntos de datos para generar una imagen tridimensional del objeto, en el que los medios de procesamiento están dispuestos para combinar las dos salidas del escáner para producir los conjuntos de datos de imagen.
- 20 2.- Un sistema de escaneado de rayos X de acuerdo con la reivindicación 1, en el que los detectores comprenden un conjunto de detectores común dispuesto para detectar rayos X de cada una de las áreas de destino.
- 3.- Un sistema de escaneado de rayos X de acuerdo con la reivindicación 1, en el que los detectores comprenden dos conjuntos de detectores, cada uno dispuesto para detectar rayos X desde una de las áreas de destino.
- 25 4.- Un sistema de escaneado de rayos X de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el conjunto de detectores, o cada uno de ellos, es un conjunto circular.
- 5.- Un sistema de escaneado de rayos X de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que las áreas de destino están formadas como bandas paralelas que se extienden a lo largo del ánodo.
- 30 6.- Un sistema de escaneado de rayos X de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la fuente de electrones está dispuesta para producir un haz de electrones y la fuente de rayos X comprende además un par de electrodos provistos en lados opuestos de la trayectoria del haz de electrones que puede controlarse para encender y apagar un campo eléctrico para controlar la trayectoria del haz de electrones de modo que incida en una u otra de las áreas de destino.
- 35 7.- Un sistema de escaneado de rayos X de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que los detectores se extienden alrededor de un volumen de escaneado y la fuente está dispuesta para dirigir los rayos X a través del volumen de escaneado.
- 40 8.- Un sistema de escaneado de rayos X de acuerdo con la reivindicación 7, que comprende además una cinta transportadora dispuesta para transportar artículos a través del volumen de escaneado.
- 45 9.- Un sistema de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores que comprende además medios de procesamiento dispuestos para producir, a partir de las señales de salida del detector, datos de atenuación indicativos del nivel de atenuación de rayos X en una pluralidad de partes del volumen de escaneado.
- 50 10.- Un sistema de acuerdo con la reivindicación 9, en el que los datos de atenuación están en forma de datos de imagen adecuados para producir una imagen de un artículo escaneado.
- 11.- Un sistema de acuerdo con la reivindicación 10, en el que los datos de imagen son adecuados para producir una imagen tomográfica tridimensional.
- 55 12.- Un sistema de acuerdo con la reivindicación 10 o la reivindicación 11, que comprende además medios de visualización dispuestos para visualizar una imagen derivada de los datos de imagen.
- 60 13.- Un sistema de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 9 a 12, que incluye medios de análisis dispuestos para analizar los datos de atenuación y producir una señal de salida que depende de un parámetro de los datos de atenuación.

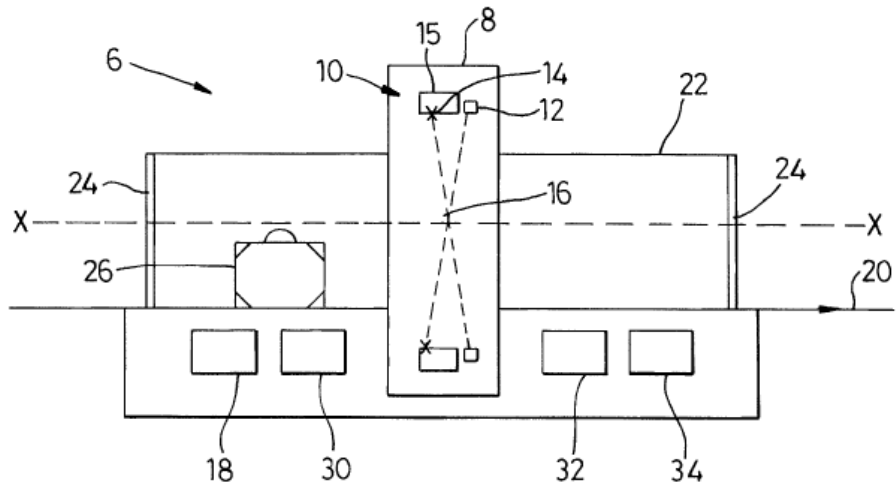


Fig. 1

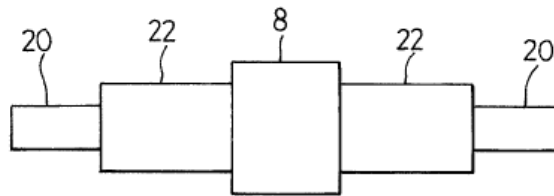


Fig. 2

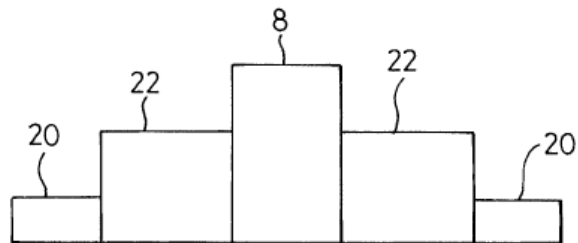


Fig. 3

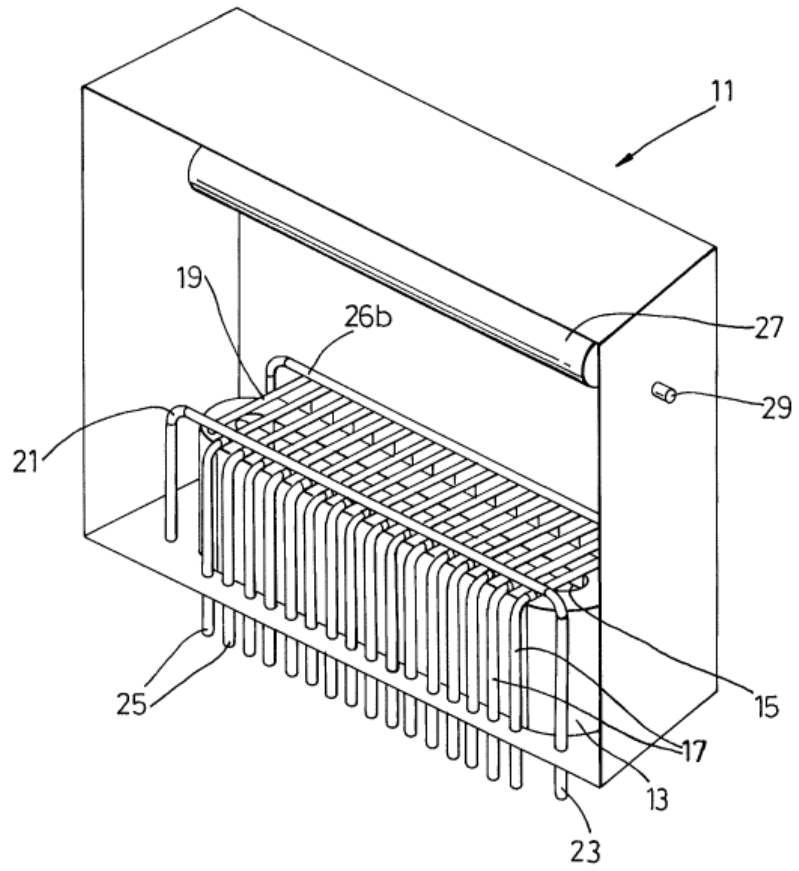


Fig. 1a

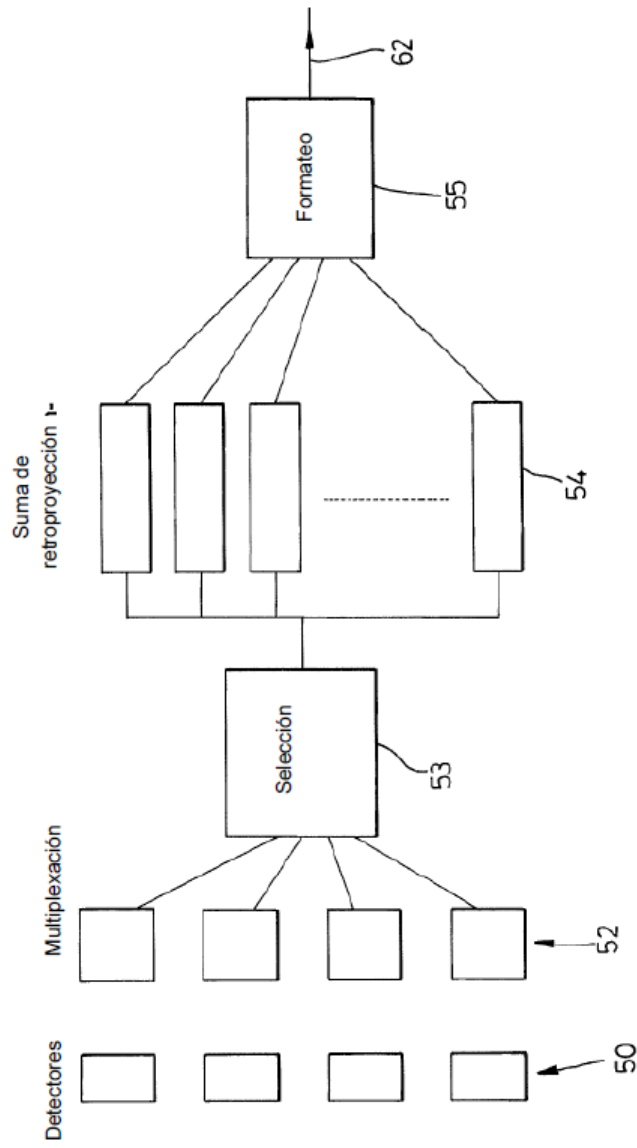


Fig. 4

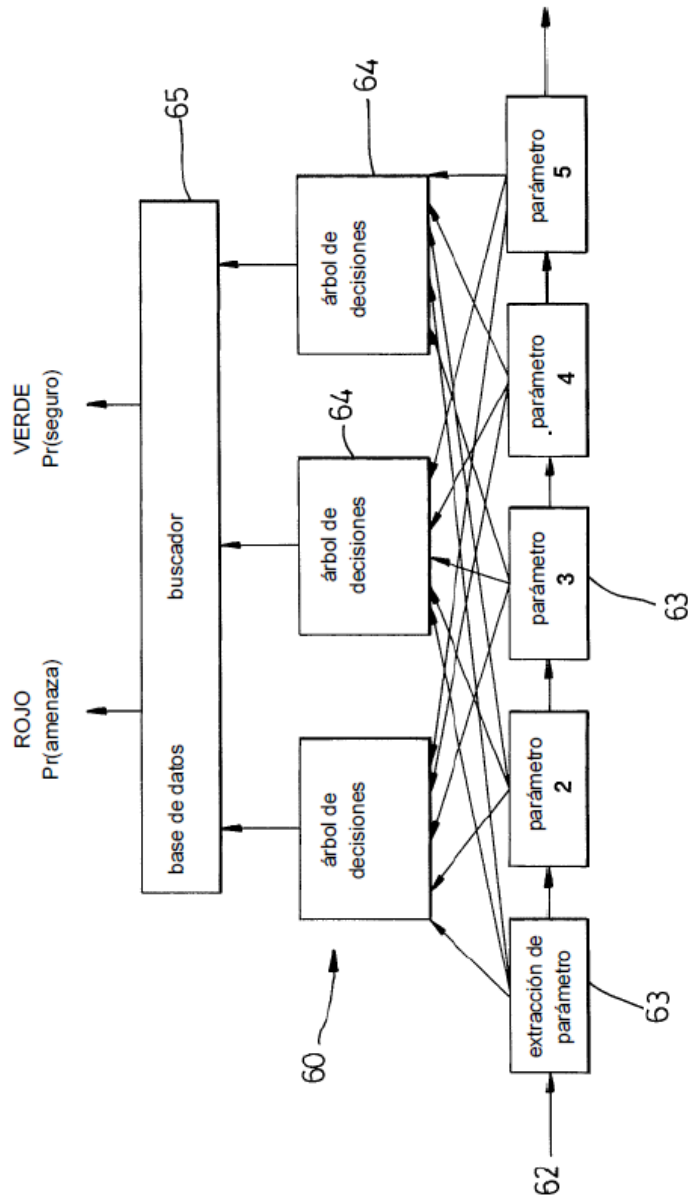


Fig. 5

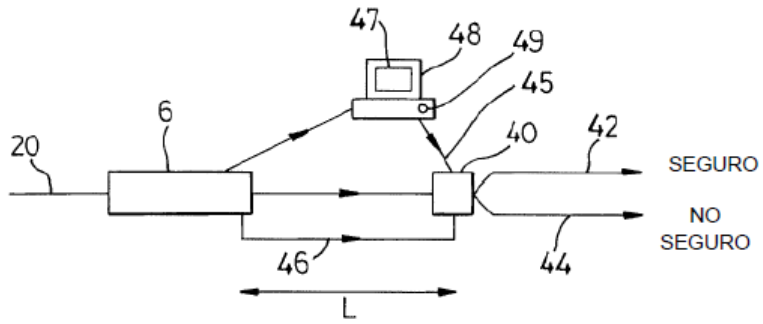


Fig. 6

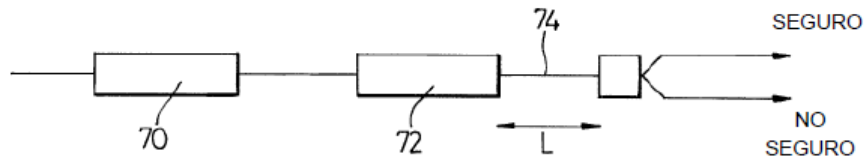


Fig. 7

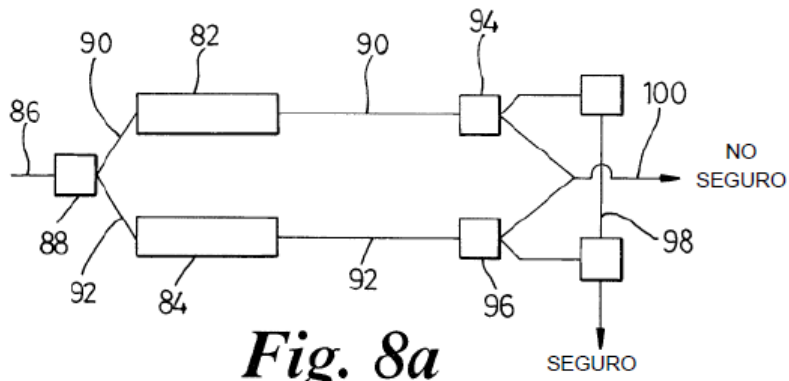


Fig. 8a

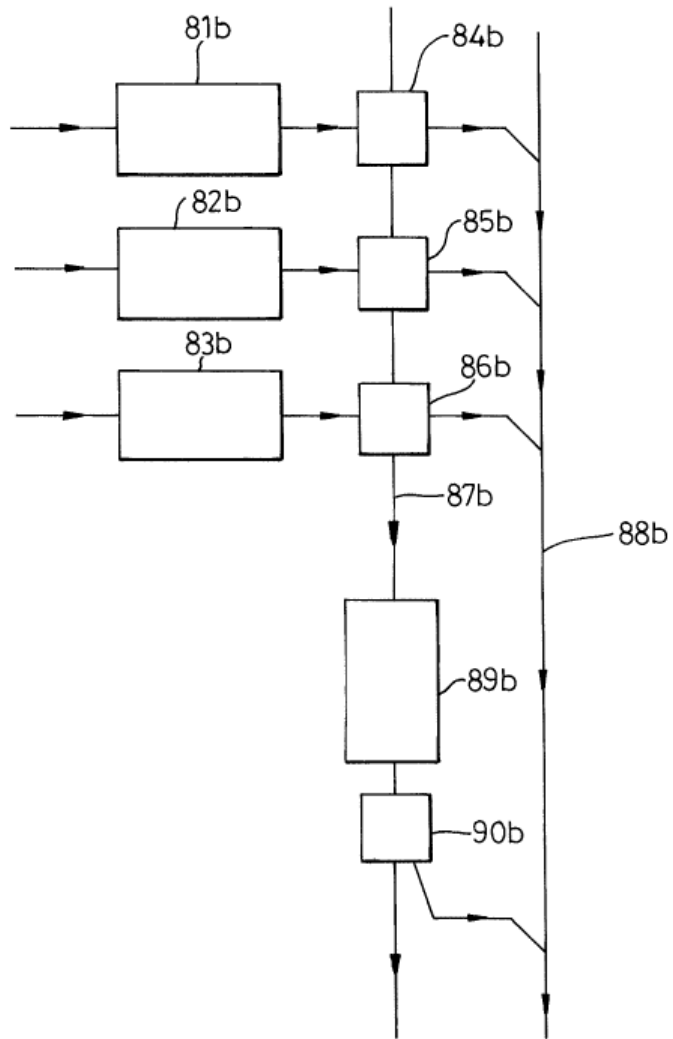


Fig. 8b

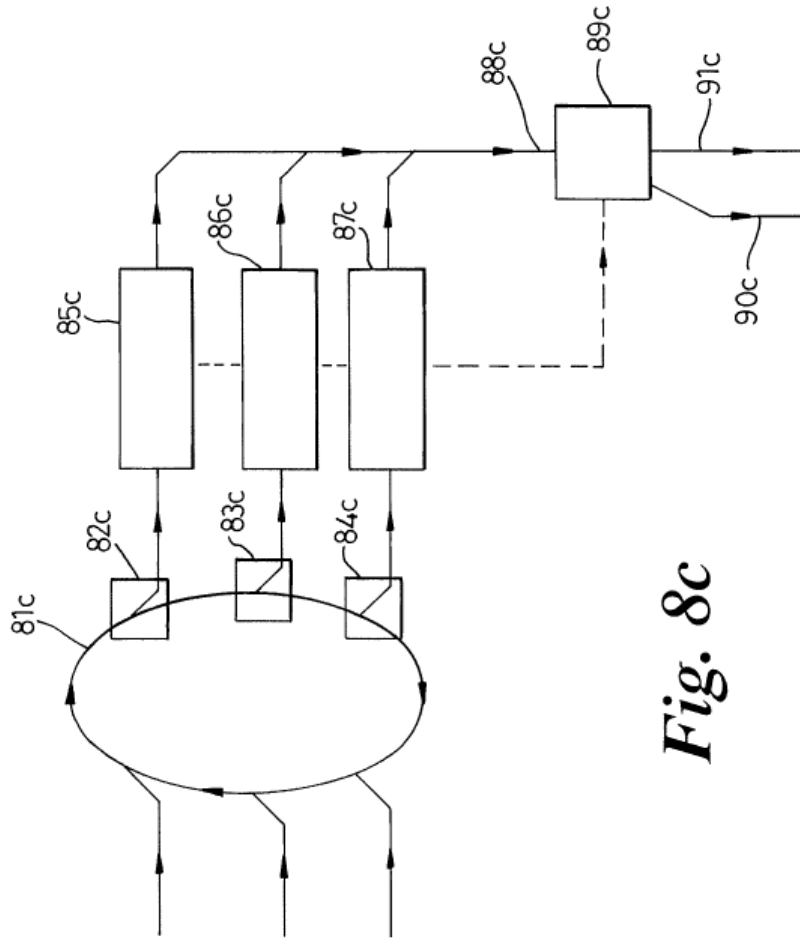


Fig. 8c

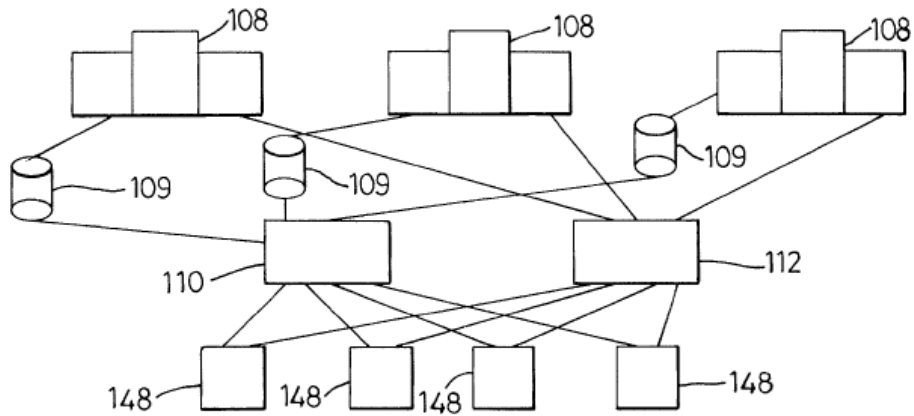


Fig. 9

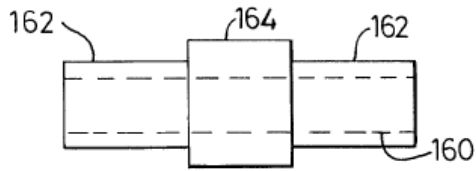


Fig. 10

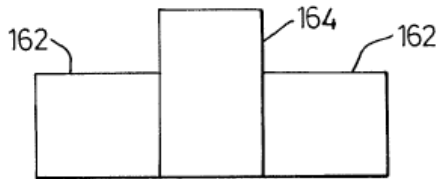


Fig. 11

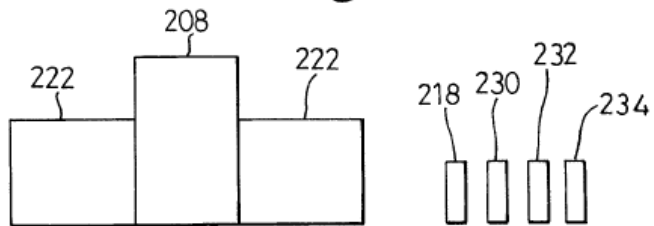


Fig. 12

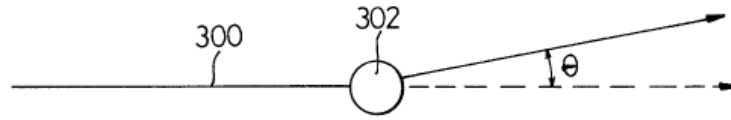


Fig. 13

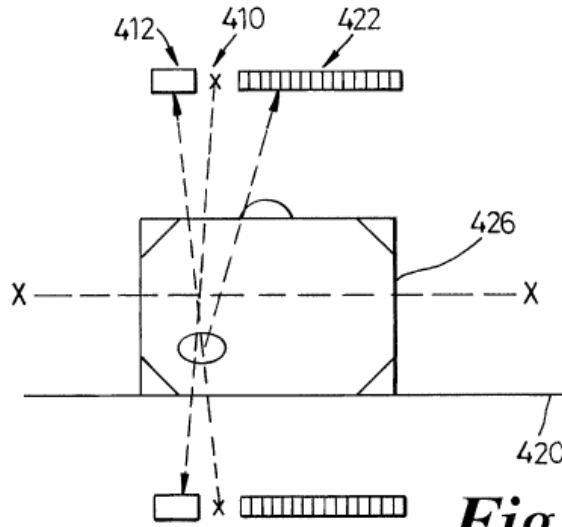


Fig. 14

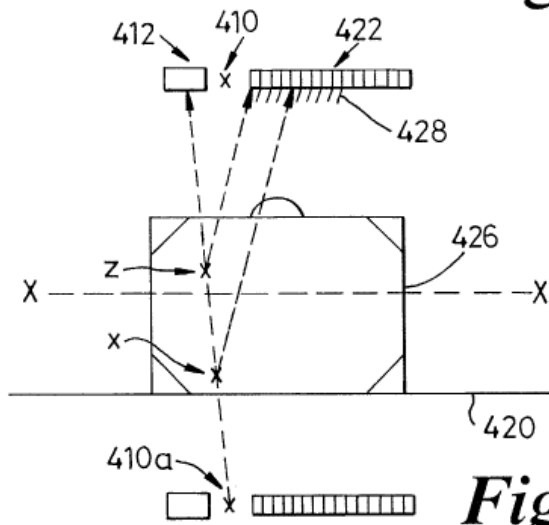


Fig. 15

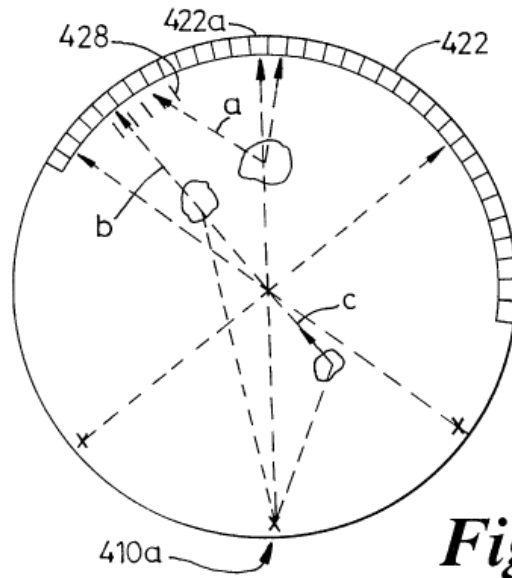


Fig. 16

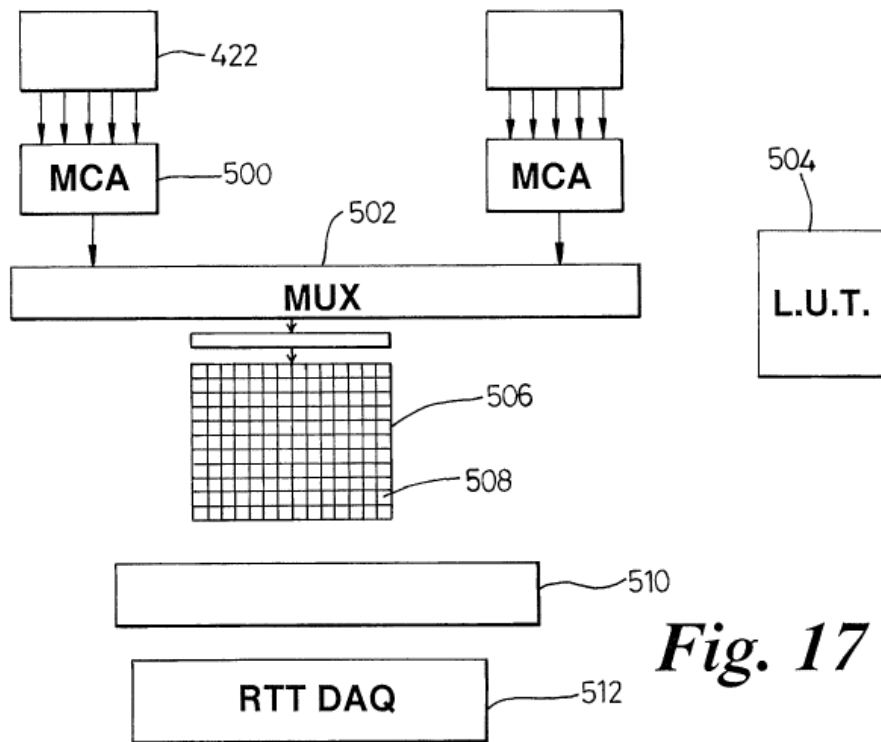


Fig. 17

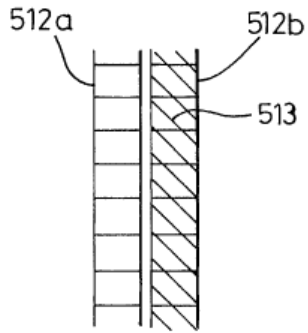


Fig. 18

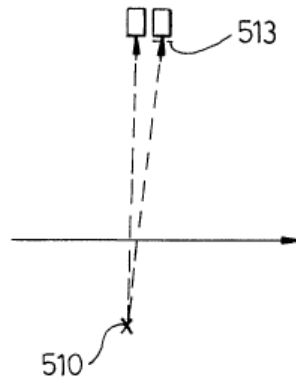


Fig. 19

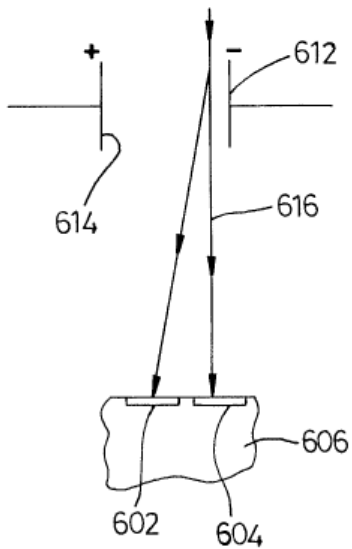


Fig. 20

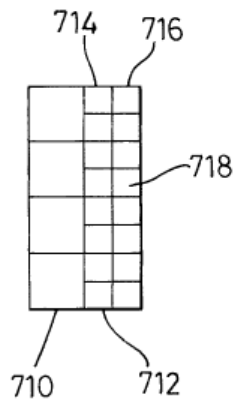


Fig. 21

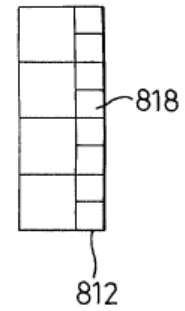


Fig. 22

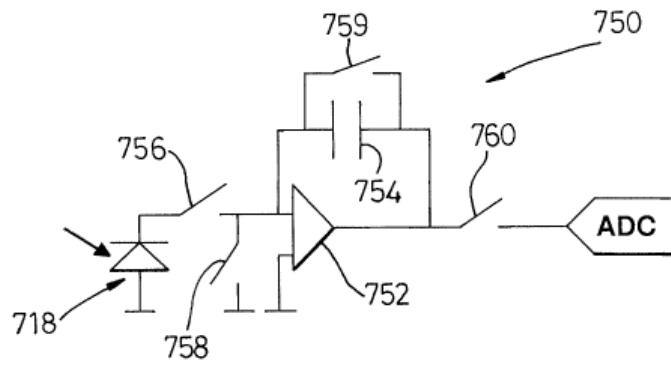


Fig. 23

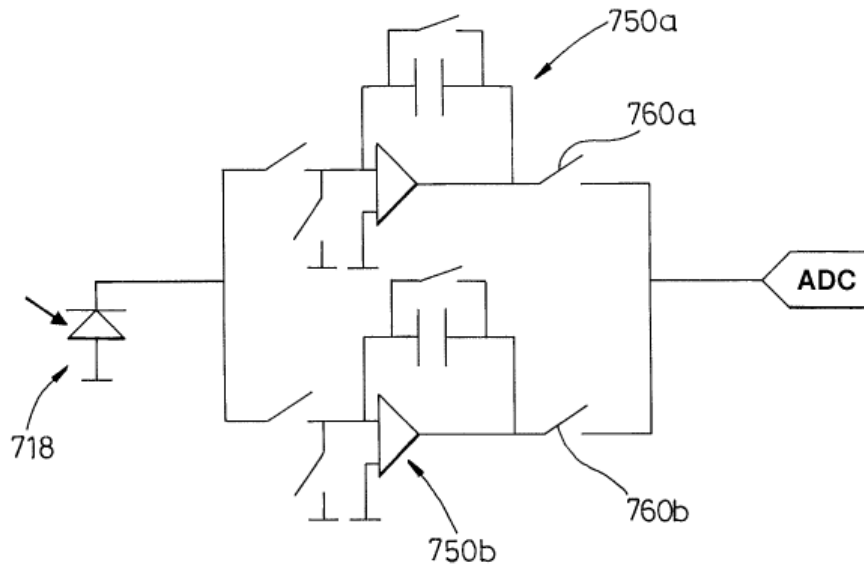


Fig. 24