

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 755 367**

51 Int. Cl.:

**G06T 7/11** (2007.01)

**G06T 7/12** (2007.01)

**G06T 7/136** (2007.01)

**G06T 7/187** (2007.01)

**G06K 9/00** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **18.05.2015 PCT/EP2015/060861**

87 Fecha y número de publicación internacional: **26.11.2015 WO15177079**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **18.05.2015 E 15725544 (9)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **11.09.2019 EP 3146503**

54 Título: **Dispositivo y procedimiento para la detección automatizada de árboles**

30 Prioridad:

**19.05.2014 DE 102014209405**

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

**22.04.2020**

73 Titular/es:

**DEUTSCHES ZENTRUM FÜR LUFT- UND  
RAUMFAHRT E.V. (100.0%)**

**Linder Höhe  
51147 Köln, DE**

72 Inventor/es:

**SCHISCHMANOW, ADRIAN;  
BÖRNER, ANKO;  
ERNST, INES;  
BAUER, MARTIN;  
BAUMBACH, DIRK;  
BUDER, MAXIMILIAN;  
ZUEV, SERGEY;  
FUNK, EUGEN;  
GRIESSBACH, DENIS;  
WOHLFEIL, JÜRGEN;  
MUND, JAN-PETER;  
LANZ, MICHEL;  
THIELE, TOM y  
RITTER, SEBASTIAN**

74 Agente/Representante:

**LEHMANN NOVO, María Isabel**

ES 2 755 367 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

Dispositivo y procedimiento para la detección automatizada de árboles

5 La invención se refiere a un dispositivo y a un procedimiento para la detección automatizada de árboles, especialmente para el recuento de árboles en bosques, parques o viveros.

Especialmente en el campo de la gestión forestal es importante un registro automatizado de árboles, por ejemplo, para controlar también una cosechadora además del inventario. En este caso ya se ha considerado que estas cosechadoras se desplazan de forma autónoma, por ejemplo, recorren de forma totalmente automática unas rutas predefinidas.

10 Los enfoques anteriores utilizan escáneres láser 2D para el registro. Un ejemplo para un sistema como éste es Alexander Ziegler et al.; "Algoritmos en tiempo real e incorporados y sistema de sensores para el inventario forestal dinámico; Noticias Topográficas Generales AVN 5/2010, página 182 ss.". Aquí, además del escáner láser 2D, se utiliza una cámara digital. Un inconveniente del sistema conocido con escáneres láser 2D consiste en que las cosechadoras tienen que estar paradas en lugares respectivamente fijos (mediciones estáticas) o en que un sistema  
15 de medición de posición tiene que cumplir unos requisitos de precisión muy altos para poder medir de forma dinámica, dado que la posición de la cosechadora puede cambiar considerablemente durante el proceso de escaneado.

Por el documento WO 2010/102840 A1 se conoce un procedimiento para la determinación de una imagen de  
20 disparidad o de una imagen estereoscópica de al menos dos imágenes grabadas estereoscópicamente (es decir, que se superponen en el espacio).

Por el documento DE 10 2011 086 091 A1 se conoce un dispositivo para el aclareo mecánico de flores, en especial de árboles frutales, que comprende un actuador mecánico, comprendiendo el dispositivo al menos un detector óptico y una unidad de evaluación, determinando la unidad de evaluación una densidad de flores a partir de al menos una imagen del detector óptico, controlándose el actuador mecánico en dependencia de la densidad de flores  
25 determinada. El dispositivo comprende preferiblemente un dispositivo de determinación de posición, tomándose al menos dos imágenes para generar una imagen estereoscópica por medio del detector óptico o de los detectores ópticos. A partir de la imagen estereoscópica se calcula un modelo 3D y las coordenadas del modelo 3D se convierten en coordenadas universales 2D o 3D. En este caso, en el modelo 3D se enmascaran las zonas que se encuentran fuera de un rango de distancia preestablecido y/o que pertenecen al horizonte y/o a la zona del suelo.

30 La invención se basa en el problema técnico de crear un dispositivo para la detección automática de árboles, así como un procedimiento para la detección automática de árboles, mediante los cuales pueda llevarse a cabo más fácilmente una detección dinámica en tiempo real.

La solución del problema técnico resulta gracias al dispositivo con las características de la reivindicación 1, así como al procedimiento con las características de la reivindicación 6. De las reivindicaciones dependientes resultan otras  
35 configuraciones ventajosas de la invención.

Con esta finalidad, el dispositivo comprende una plataforma móvil, una unidad de cámara para la captación de dos imágenes que se superponen en el espacio, montándose la unidad de cámara en la plataforma, un sistema de sensores de posición para determinar los seis grados de libertad de la unidad de cámara y al menos una unidad de evaluación configurada de manera que se genere una imagen de disparidad 2D a partir de las dos imágenes que se  
40 superponen en el espacio. En la imagen de disparidad 2D o en una imagen de la unidad de cámara rectificadas con la imagen de disparidad 2D, se lleva a cabo una segmentación de los árboles, almacenándose los árboles segmentados con los datos del sistema de sensores de posición como un conjunto de datos en un sistema de coordenadas universales. Aquí, el registro de las imágenes se realiza dinámicamente en tiempo real, pudiendo tener lugar el posterior procesamiento de datos también en tiempo real o fuera de línea en un centro de datos. Las dos  
45 imágenes que se superponen en el espacio pueden capturarse mediante una monocámara que graba una escena desde diferentes ángulos sucesivamente. Sin embargo se utiliza preferiblemente una cámara estereoscópica que captura las dos imágenes en gran parte de forma sincronizada. La determinación de la imagen de disparidad 2D se lleva a cabo, por ejemplo, con un algoritmo como el descrito en el documento WO 2010/1202840 A1. La ventaja de la determinación óptica pasiva de los datos en comparación con los escáneres láser 2D activos consiste en una menor dificultad para obtener una posición precisa, dado que toda la escena se registra al mismo tiempo. Otra ventaja consiste en que la segmentación en las imágenes 2D (imagen de disparidad 2D o imagen rectificadas) es más sencilla que en las nubes de puntos 3D del escáner láser 2D. Preferiblemente, la plataforma móvil se configura de manera que la misma pueda desplazarse de forma autónoma.

55 En la variante alternativa, en la que la segmentación tiene lugar en las imágenes de disparidad 2D, los árboles segmentados se almacenan preferiblemente como conjuntos de datos en un sistema de coordenadas universales. Mediante repetición se genera una nube de puntos 3D a partir de los diferentes conjuntos de datos, en la que se fusionan los datos de los árboles de distintos conjuntos de datos. Esto es necesario, dado que un árbol con coordenadas ligeramente diferentes puede aparecer en varios conjuntos de datos. Mediante la fusión, estas coordenadas diferentes se combinan en una coordenada.

En la forma de realización alternativa, en la que la segmentación se realiza en la imagen rectificadas, los datos segmentados se recopilan preferiblemente en una nube de puntos 3D y a continuación se transfieren a un sistema de coordenadas universales y se almacenan.

5 Según la invención, la unidad de evaluación se configura de manera que, en la imagen de disparidad 2D o en la nube de puntos 3D, el fondo y/o el suelo se filtren. En el caso de la segmentación en la imagen de disparidad 2D, esto tiene lugar como una etapa previa antes de la segmentación real, lo que simplifica el posterior proceso de segmentación. En la representación se ignoran los objetos que presentan una distancia superior a un valor umbral (por ejemplo, 10-15 m), a fin de eliminar así el fondo. Se pueden ignorar además los objetos demasiado cercanos. Las partes de la imagen en las que se supone que hay árboles pueden filtrarse fuera de una línea de imagen con un valor umbral relativo, lo que se explicará más adelante con mayor detalle. Por ejemplo, el suelo se puede extraer y filtrar por medio de un filtro de mediana horizontal. La segmentación real se realiza mediante un filtro de mediana vertical.

15 En otra forma de realización, además de la posición se registra y almacena al menos otro parámetro para los árboles segmentados. En este caso, el al menos otro parámetro puede ser el diámetro (diámetro de la altura del pecho) y/o la base de la copa y/o la longitud del tallo y/o la forma del tallo o la función de la forma del tallo y/o la curvatura del árbol y/o el género del árbol y/o las características de vitalidad y/o los datos de volumen y/o un ramaje.

En otra forma de realización, a la unidad de cámara se le asigna al menos un filtro espectral, por ejemplo, un filtro de paso de banda NIR.

20 Según la invención, el sistema de sensores de posición presenta al menos una unidad de medición inercial, un sensor de inclinación y un receptor de un sistema de navegación por satélite, soportando el sensor de inclinación y/o los datos de imagen de la unidad de cámara los datos de la unidad de medición inercial (IMU). Esto permite una medición de la posición muy precisa a pesar de la deriva IMU.

En una forma de realización preferida, el dispositivo se configura como una cosechadora.

25 La invención se explica a continuación más detalladamente a la vista de un ejemplo de realización preferido. En las figuras se muestra:

Figura 1 un diagrama de bloque esquemático de una parte de un dispositivo para la detección automática de árboles,

Figura 2 un diagrama de flujo de un primer procedimiento para la segmentación de árboles, y

Figura 3 un diagrama de flujo de un segundo procedimiento para la segmentación de árboles.

30 En la figura 1 se representa una parte de un dispositivo 1 para la detección automática de árboles. El dispositivo 1 presenta una unidad de cámara 2 en forma de una cámara estereoscópica que toma casi sincrónicamente dos imágenes superpuestas en el espacio B1, B2 de una escena. El dispositivo 1 presenta además un sistema de sensores de posición 3, una unidad de evaluación 4 y una memoria 5. El sistema de sensores de posición 3 presenta una unidad de medición inercial 6, un sensor de inclinación 7, un receptor DGPS 8 y un filtro Kalman 9, llegando los datos de imagen B1, B2 de la unidad de cámara 2 al filtro Kalman 9 para el soporte de los datos de la unidad de medición inercial 6. Aquí, los datos de imagen B1, B2 se aportan preferiblemente al filtro Kalman 9 a través de la unidad de evaluación 4. Esto permite un procesamiento previo especial de los datos de imagen para el filtro Kalman 9, determinándose, por ejemplo, puntos destacados a partir de los datos de imagen y transfiriéndose los mismos al filtro Kalman 9. En este caso hay que hacer constar que, en principio, sólo los datos de imagen B1 o sólo los datos de imagen B2 son suficientes para el soporte. La deriva de la unidad de medición inercial 6 se puede compensar mediante los datos de imagen B1, B2. En tal caso, los tres grados de libertad traslacionales X, Y, Z y los tres grados de libertad rotacionales  $\alpha$ ,  $\beta$ , y están disponibles como salida del filtro Kalman 9. El dispositivo 1 también presenta una plataforma móvil no representada, de manera que sea posible determinar una curva de trayectoria de la plataforma directamente por medio de los datos DGPS o a través de las coordenadas X, Y, Z. En la unidad de evaluación 4, los árboles registrados se segmentan a partir de los datos de imagen B1, B2 y las coordenadas de la cámara se convierten en coordenadas universales y finalmente los árboles segmentados se almacenan en un sistema de coordenadas universales en la memoria 5. Aquí, el proceso de evaluación completo puede llevarse a cabo en tiempo real en la plataforma móvil o una parte de la evaluación puede llevarse a cabo en una central en tiempo real o fuera de línea. Además, los datos de la unidad de evaluación 4 pueden utilizarse para controlar directamente un actuador, en especial si el dispositivo 1 se configura como una cosechadora.

55 El proceso de evaluación se explica a continuación más detalladamente en un primer procedimiento por medio del diagrama de flujo en la figura 2. En un primer paso S1, las dos imágenes B1, B2 se capturan mediante la unidad de cámara 2 y se transmiten a la unidad de evaluación 4. En un segundo paso S2 se genera una imagen de disparidad 2D a partir de las dos imágenes B1, B2. En un tercer paso S3 se elimina el fondo, por ejemplo, eliminando los objetos situados a una distancia mayor que una distancia preestablecida. Si el dispositivo 1 se configura como una cosechadora, ésta se desplaza en senderos forestales normalmente a 20 m de distancia unos de otros. Por este motivo, los objetos con una separación superior a 20 m no son de interés y pueden incluirse en el sendero forestal adyacente. A continuación, en un cuarto paso S4 se eliminan las regiones de imagen que no se pueden asignar a un árbol. Para ello se selecciona una línea de imagen suficientemente alta en la imagen de disparidad 2D. Acto

seguido, las disparidades en la línea seleccionada para las respectivas columnas se comparan con las partes restantes de la imagen. Si los valores de disparidad se encuentran en un rango relativo en la fila seleccionada, se supone la existencia de un árbol. En caso contrario, se ignora la región de imagen para la segmentación. En este caso, en la zona del suelo quedan aún zonas que están "conectadas" a un árbol. En el siguiente paso S5 se extrae la zona del suelo y se filtra. Con esta finalidad se utiliza un filtro de mediana horizontal. Se puede ver que éste es, por ejemplo, un rectángulo que tiene múltiples veces más píxeles de anchura que de altura. De este modo es posible encontrar objetos anchos, dado que en caso de estructuras estrechas éstos están infravalorados en el rectángulo. Estas estructuras anchas pueden eliminarse. En un paso siguiente S6, la imagen de disparidad 2D así filtrada se binariza. En un paso siguiente S7, los objetos verticales (especialmente los troncos de árboles) se detectan a continuación por medio de un filtro de mediana vertical. En un paso S8, los objetos detectados se extienden y la máscara binarizada así extendida se aplica a la imagen de disparidad 2D original (véase S9). El resultado son árboles segmentados, es decir, aislados con una clara referencia de píxeles. A continuación, en un paso S10, las coordenadas de la cámara para los árboles segmentados se convierten en coordenadas universales de manera que se cree una nube de puntos 3D a través de varias imágenes. Dado que un árbol puede aparecer en varias tomas aunque las coordenadas calculadas no coincidan exactamente, en un paso S11, las distintas coordenadas de un único árbol se juntan en una sola coordenada mediante un promedio. Como resultado se obtienen en el paso S12 datos 3D de los distintos árboles en coordenadas universales.

En la figura 3 se representa un procedimiento alternativo para la segmentación de árboles en forma de un diagrama de flujo. Aquí, en un primer paso S20, las dos imágenes B1, B2 se toman de nuevo por medio de la unidad de cámara 2 y a partir de las mismas se genera, en un siguiente paso S21, una imagen de disparidad 2D. A continuación, en un paso S22, una de las imágenes B1 o B2 se rectifica con la imagen de disparidad 2D y se suaviza en un paso 23 mediante un filtro de mediana.

En el paso 24 se aplican a esta imagen suavizada filtros de borde y covarianza (por ejemplo, un filtro Kalman), resultando en el paso 25a una imagen de borde en dirección X y una imagen de borde en dirección Y. Los ángulos de borde (vectores de dirección) se pueden determinar a partir de estas dos imágenes de borde. En un paso S25b se obtiene una "imagen de clase" como resultado del filtrado de covarianza. Esta "imagen de clase" se examina línea por línea para determinar varias características como, por ejemplo, la disparidad, el grosor del tronco de árbol previsto y el ángulo del borde, utilizándose preferiblemente las tres características y existiendo un valor umbral para cada característica con el que se comparan los píxeles de la imagen de clase (paso S26).

El resultado de la extracción de características son píxeles marcados que forman candidatos lineales en la dirección X a lo largo del posible árbol/tronco de árbol. En este caso, en un paso S27 los candidatos de píxeles se eliminan. Para ello se configura, por ejemplo, un histograma de columnas y su derivación. Los candidatos que no se encuentran entre un flanco ascendente y uno descendente de la derivación se rechazan.

A continuación, en el paso S28, se determinan los candidatos de píxeles del mismo grupo mediante un procedimiento adecuado, por ejemplo, crecimiento regional. El procedimiento se aplica a la imagen (imagen de cámara y/o imagen de disparidad), ampliándose la superficie hasta la silueta del árbol. Preferiblemente hay condiciones de interrupción como, por ejemplo, la distancia con respecto al siguiente candidato o la disparidad y el valor gris.

En un siguiente paso S29, el contorno de los píxeles se cierra. Finalmente, en un paso S30, se clasifican los árboles segmentados, teniendo lugar preferiblemente un etiquetado, es decir, los píxeles correspondientes se combinan.

En el paso S31, para la formación de una nube de puntos 3D, todos los puntos 3D se guardan de acuerdo con los resultados de la segmentación 2D en todos los tiempos de toma de imágenes. En el paso S32, los valores atípicos se eliminan por medio de un algoritmo K-NN (k algoritmo vecino más cercano). En un paso S33 se elimina la placa del suelo y la maleza próxima al suelo, por ejemplo, mediante un algoritmo Ransac.

A continuación, el objeto 3D se clasifica en el paso S34 (tronco, copa), llevándose a cabo una asignación de los puntos 3D a los objetos 3D por medio de la agrupación de gráficos a través de características de filtro a partir de la segmentación 2D y del espaciado de puntos.

Finalmente, en un paso S35, los puntos 3D se transfieren a un sistema de coordenadas universales y en el paso S36 se determina la posición de cada árbol por medio de los puntos 3D localizados y etiquetados.

Mediante este planteamiento se pueden determinar adicionalmente la aproximación de la copa, la longitud del tallo y la curvatura del árbol. Además se puede llevar a cabo un registro del género del árbol, por ejemplo, mediante un análisis de textura. A través de las texturas espaciales y/o espectrales también es posible determinar las características de vitalidad de los árboles segmentados. Por último hay que hacer constar que la determinación del diámetro se realiza preferiblemente a través de varias líneas, por lo que el diámetro resultante se determina mediante un valor medio o una mediana a través de las líneas.

## REIVINDICACIONES

1. Dispositivo (1) para la detección automatizada de árboles que comprende una plataforma móvil, una unidad de cámara (2) para la captación de dos imágenes que se superponen en el espacio (B1, B2), montándose la unidad de cámara (2) en la plataforma, un sistema de sensores de posición (3) para la determinación de los seis grados de libertad (X, Y, Z,  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ ) de la unidad de cámara (2) y, al menos, una unidad de evaluación (4), configurándose la unidad de evaluación (4) de manera que se genere una imagen de disparidad 2D a partir de las dos imágenes que se superponen en el espacio (B1, B2), eliminándose el fondo en la imagen de disparidad 2D, configurándose la unidad de evaluación (4) de manera que en la imagen de disparidad 2D se lleve a cabo una segmentación de los árboles, almacenándose los árboles segmentados con los datos del sistema de sensores de posición (3) como un conjunto de datos en un sistema de coordenadas universales, caracterizado por que el sistema de sensores de posición (3) presenta al menos una unidad de medición inercial (6), un sensor de inclinación separado (7) y un receptor de un sistema de navegación por satélite, soportando el sensor de inclinación y/o los datos de imagen de la unidad de cámara (2) los datos de la unidad de medición inercial (6), configurándose además la unidad de evaluación (4) de manera que, después de la eliminación del fondo, se eliminan las zonas de imagen que no se pueden asignar a un árbol, para lo cual se selecciona una línea de imagen suficientemente alta en la imagen de disparidad 2D, comparándose a continuación las disparidades en la línea seleccionada para las respectivas columnas con las partes de imagen restantes, suponiéndose la existencia de un árbol si los valores de disparidad se encuentran en un rango relativo alrededor de la línea seleccionada, ignorándose, en caso contrario, la región de imagen para la siguiente segmentación, extrayéndose y filtrándose la región del suelo por medio de un filtro de mediana horizontal antes de la segmentación, binarizándose la imagen de disparidad 2D así filtrada y detectándose a continuación los objetos verticales mediante un filtro de mediana vertical, extendiéndose los objetos detectados y aplicándose la máscara binarizada así extendida a la imagen de disparidad 2D original, de manera que como resultado intermedio estén presentes los árboles segmentados con una referencia de píxel inequívoca que se convierten en el sistema de coordenadas universales, juntándose mediante un promedio las diferentes coordenadas de un solo árbol a partir de varias imágenes formando una única coordenada.
2. Dispositivo según la reivindicación 1, caracterizado por que la unidad de evaluación (4) se configura de manera que, además de la posición, se registre y almacene al menos otro parámetro para los árboles segmentados.
3. Dispositivo según la reivindicación 2, caracterizado por que el al menos otro parámetro puede ser el diámetro y/o la base de la copa y/o la longitud del tallo y/o la curvatura del árbol y/o el género del árbol y/o las características de vitalidad y/o los datos de volumen y/o un ramaje.
4. Dispositivo según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que a la unidad de cámara (2) se le asigna al menos un filtro espectral.
5. Dispositivo según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que el dispositivo (1) se configura como una cosechadora.
6. Procedimiento para la detección automatizada de árboles por medio de una plataforma móvil, de una unidad de cámara (2) para la captación de dos imágenes que se superponen en el espacio (B1, B2), montándose la unidad de cámara (2) en la plataforma, de un sistema de sensores de posición (3) para el registro de los seis grados de libertad (X, Y, Z,  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ ) de la unidad de cámara (2) y de al menos una unidad de evaluación (4), generándose en la unidad de evaluación (4) una imagen de disparidad 2D a partir de las dos imágenes que se superponen (B1, B2), eliminándose el fondo en la imagen de disparidad 2D, llevándose a cabo en la imagen de disparidad 2D una segmentación de los árboles, almacenándose los árboles segmentados con los datos del sistema de sensores de posición (3) como un conjunto de datos en un sistema de coordenadas universales, caracterizado por que el sistema de sensores de posición (3) presenta al menos una unidad de medición inercial (6), un sensor de inclinación separado (7) y un receptor de un sistema de navegación por satélite, soportando el sensor de inclinación y/o los datos de imagen de la unidad de cámara (2) los datos de la unidad de medición inercial (6), configurándose además la unidad de evaluación (4) de manera que, después de la eliminación del fondo, se eliminan las zonas de imagen que no se pueden asignar a un árbol, para lo cual se selecciona una línea de imagen suficientemente alta en la imagen de disparidad 2D, comparándose a continuación las disparidades en la línea seleccionada para las respectivas columnas con las partes de imagen restantes, suponiéndose la existencia de un árbol si los valores de disparidad se encuentran en un rango relativo alrededor de la línea seleccionada, ignorándose, en caso contrario, la región de imagen para la siguiente segmentación, extrayéndose y filtrándose además la región del suelo por medio de un filtro de mediana horizontal antes de la segmentación, binarizándose la imagen de disparidad 2D así filtrada y detectándose a continuación los objetos verticales mediante un filtro de mediana vertical, extendiéndose los objetos detectados y aplicándose la máscara binarizada así extendida a la imagen de disparidad 2D original, de manera que como resultado intermedio estén presentes los árboles segmentados con una referencia de píxel inequívoca que se convierten en el sistema de coordenadas universales, juntándose mediante un promedio las diferentes coordenadas de un solo árbol a partir de varias imágenes formando una única coordenada.

Fig. 1

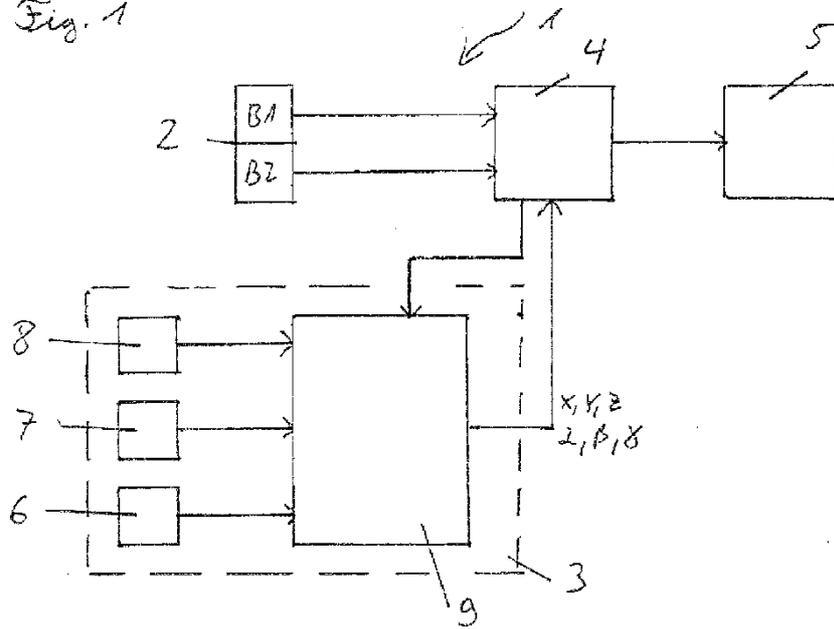


Fig. 2

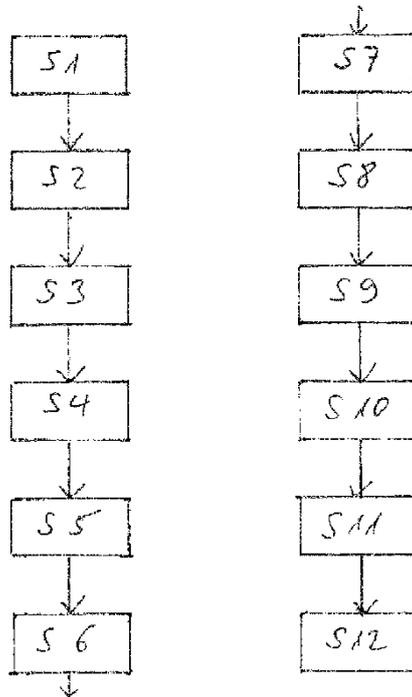


Fig. 3

