

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 406 950**

51 Int. Cl.:

G01S 5/02 (2010.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **26.10.2007 E 07119428 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **13.02.2013 EP 1921462**

54 Título: **Procedimiento de estimación de la distancia entre dos equipos de radio**

30 Prioridad:

07.11.2006 FR 0654759

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

10.06.2013

73 Titular/es:

**FRANCE TELECOM (100.0%)
6, PLACE D'ALLERAY
75015 PARIS, FR**

72 Inventor/es:

**SCHWOERER, JEAN y
MISCOPEIN, BENOÎT**

74 Agente/Representante:

LINAGE GONZÁLEZ, Rafael

ES 2 406 950 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín europeo de patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Procedimiento de estimación de la distancia entre dos equipos de radio

5 La invención se refiere a un procedimiento de estimación de la distancia entre dos equipos de radio.

La posición de un equipo de radio es una información que resulta necesario conocer en el marco de numerosas aplicaciones. A modo de ejemplos ilustrativos, pueden citarse los servicios de tipo "push" que proporcionan a los terminales móviles de usuario información contextual en función de su posición, los servicios de guía de la persona en un lugar como un museo, o incluso el enrutamiento de los paquetes de datos a través de una red mallada o una red a medida.

Entre las diferentes técnicas de posicionamiento existentes, las hay que se basan en un cálculo cooperativo de distancia entre equipos de radio ("ranging" en inglés) mediante la simple medición del tiempo de vuelo de la señal de radio. Conociendo la velocidad de propagación de la onda electromagnética, la medición del tiempo de vuelo entre dos equipos de radio permite remontar a la distancia en línea recta, o en línea directa, que separa los dos equipos. De entrada, cabe precisar que por "tiempo de vuelo entre dos equipos" se pretende designar la duración de transmisión de la onda electromagnética para ir de uno de los equipos al otro (en un único sentido). Las técnicas de cálculo cooperativo de distancia se basan, la mayoría de las veces, en el siguiente método de estimación:

20 a) un primer equipo envía a un segundo equipo una petición de medición de un plazo T_{ex} de intercambio entre los dos equipos y activa un contador de tiempo,

25 b) tras la recepción de la petición, el segundo equipo deja expirar una duración T_w de temporización, conocida por los dos equipos, luego responde al primer equipo mediante un acuse ACK de recibo ("acknowledgement", en inglés),

30 c) con el acuse ACK de recibo, el primer equipo detiene el contador de tiempo, a fin de medir la duración T_{ex} del intercambio, luego calcula el tiempo TOF de vuelo ("Time Of Flight", por sus siglas en inglés) del primer equipo hacia el segundo, restando la duración T_w de temporización de la duración T_{ex} del intercambio medido y dividiendo el resultado de esta resta entre dos,

35 d) conociendo el tiempo TOF de vuelo y la velocidad de propagación de la onda V electromagnética, el primer equipo calcula la distancia en línea D recta entre los dos equipos, dividiendo la duración T_{ex} de intercambio entre la velocidad V , realizándose la hipótesis de que las señales de radio (ida y vuelta) del intercambio, cuya duración T_{ex} se ha medido, han tomado unos trayectos de propagación en línea directa.

40 De este modo, la estimación del tiempo TOF de vuelo entre el primer y el segundo equipo es el resultado de una medición de la duración de un intercambio, es decir, de una ida y vuelta entre los dos equipos. Una medición de ida y vuelta de este tipo es necesaria en el caso en el que los dos equipos sean asincrónicos, es decir, que no estén sincronizados con un reloj común y, por lo tanto, no compartan la misma referencia de tiempo. En el caso en el que los dos equipos estuviesen sincronizados, bastaría con medir la duración de una transmisión de un equipo al otro, en un único sentido.

45 El método de estimación del tiempo TOF de vuelo, tal y como se ha explicado anteriormente, proporciona buenos resultados cuando los dos equipos están distanciados el uno del otro. De hecho, en este caso, la hipótesis según la cual las señales del intercambio cuya duración T_{ex} se mide, siguen unos trayectos de propagación, de ida y vuelta, en líneas directas es una aproximación aceptable, que permite estimar la distancia en línea D recta entre los dos equipos con una buena precisión. En cambio, cuando los dos equipos están relativamente cerca el uno del otro y en un entorno que favorece los trayectos de propagación múltiples, como es el caso por ejemplo dentro de un edificio, la medición de la duración T_{ex} de intercambio entre los dos equipos corre el peligro de verse considerablemente afectada por unos trayectos de propagación múltiples. De ello se deduce que la hipótesis según la cual las señales del intercambio cuya duración T_{ex} se mide, toman unos trayectos de propagación (ida y vuelta) en líneas directas, resulta una aproximación tosca, que contamina la estimación de la distancia en línea D recta entre los dos equipos con un error significativo. De hecho, la duración T_{ex} de intercambio se mide para trayectos de propagación de ida y vuelta tomados cada uno, por una parte principal de la energía de la señal (señal de ida que transporta la petición y señal de vuelta que transporta el acuse de recibo). Por razones de concisión, en adelante se denominará "trayecto más fuerte", a un trayecto de propagación que toma la parte principal de la energía de la señal. Los equipos están sincronizados en el trayecto más fuerte. Ahora bien, en caso de propagación de la señal según varios trayectos, el trayecto más fuerte no se corresponde necesariamente con el trayecto de propagación en línea directa entre los dos equipos. De hecho, una parte secundaria de la energía de la señal, más débil, puede tomar un trayecto de propagación más corto, en línea recta o muy cerca de la línea recta. El equipo receptor recibe esta parte secundaria de la señal antes que el trayecto más fuerte. El trayecto de propagación que toma la parte de energía de la señal recibida en primer lugar se denominará, en adelante, "primer trayecto de propagación" o "trayecto más corto". En definitiva, en el caso en el que los equipos están cerca y en un entorno que podría causar trayectos de propagación múltiples, el desfase que puede haber entre el instante de llegada de la parte de la señal que ha tomado el trayecto más fuerte y el instante de llegada de la parte de la señal que ha tomado el primer trayecto podría contaminar la

estimación de la distancia en línea D recta entre los dos equipos con un error significativo.

Para corregir este error, el documento WO 2006/072697 propone un procedimiento de medición de la distancia entre un primer y un segundo equipo de radio que se desarrolla en dos fases. Durante la primera fase, las etapas a) a d) descritas anteriormente se ejecutan de forma que el primer equipo estima un primer tiempo TOF_1 de vuelo. Durante la segunda fase, el segundo equipo envía al primero una trama de sondeo de canal. Ésta se adapta para que el primer equipo detecte, a partir de las diferentes señales de radio recibidas correspondientes a la trama de sondeo, el trayecto más fuerte y el primer trayecto. De este modo, el primer equipo puede estimar una diferencia ΔTOF de tiempos de vuelo entre estos dos trayectos y calcular un segundo tiempo TOF_2 de vuelo o tiempo de vuelo corregido, restando la diferencia ΔTOF de tiempos de vuelo determinada del primer tiempo TOF_1 de vuelo medida.

Este procedimiento de estimación de la distancia entre dos equipos de radio puede utilizarse en una red a medida de nodos para permitir en particular la localización de un nuevo nodo Z que llega a la red. Sin embargo, la aplicación de este procedimiento es muy costosa en consumo de energía para el nodo Z que hay que localizar. De hecho, para ello se necesitan tres medidas distintas, iniciadas respectivamente por tres nodos diferentes, en este caso denominados como A, B y C. El nodo Z, por consiguiente, debe emitir tres tramas de sondeo con destino a estos tres nodos A, B y Z, respectivamente. Ahora bien, la emisión de estas tramas de sondeo consume energía.

La presente invención tiene por objeto paliar este inconveniente.

A tal efecto, la invención se refiere a un procedimiento de estimación de la distancia entre un primer y un segundo equipo de radio, que comprende:

- una fase de estimación, aplicada por el primer equipo, de un primer tiempo de vuelo entre los dos equipos correspondiente a la duración de la transmisión de las señales para ir de un equipo al otro, siguiendo un trayecto de propagación, denominado "trayecto más fuerte", que toma una parte principal de la energía de las señales,

- una fase de estimación de una diferencia de tiempos de vuelo que comprende el envío de una trama de sondeo de canal de un equipo a otro y, a partir de las señales de radio recibidas correspondientes a dicha trama de sondeo de canal, la estimación de una diferencia de tiempos de vuelo entre el trayecto de propagación más fuerte y un primer trayecto de propagación,

- una fase de cálculo de la distancia entre los dos equipos que comprende la determinación de un segundo tiempo de vuelo mediante la resta de la diferencia de tiempos de vuelo estimada del primer tiempo de vuelo estimado y el cálculo de la distancia entre los dos equipos a partir del segundo tiempo de vuelo determinado de este modo;

caracterizado por el hecho de que es el primer equipo el que envía hacia el segundo dicha trama de sondeo de canal, realizando el segundo equipo la estimación de la diferencia de tiempos de vuelo.

De acuerdo con la invención, es el equipo que realiza una primera estimación de la distancia entre los dos equipos el que emite, a su vez, la trama de sondeo de canal. De este modo, para retomar el ejemplo mencionado anteriormente, de la localización de un nuevo nodo Z por tres nodos A, B y C de una red a medida, la invención permite repartir la carga de la emisión de las tres tramas de sondeo de canal en los tres nodos A, B, C demandantes y no en el nuevo nodo Z. La invención permite también repartir mejor la energía electromagnética en el espacio, evitando la emisión de tres tramas bastante energéticas desde el mismo sitio, lo que reduce el impacto de las ondas electromagnéticas en los usuarios y en los sistemas de radio situados cerca.

Ventajosamente, el primer equipo transmite al segundo equipo el valor del primer tiempo de vuelo estimado y es el segundo equipo el que estima el segundo tiempo de vuelo y deduce de éste la distancia entre los dos equipos.

De acuerdo con la invención, es el equipo solicitado por la petición el que procede a la medición de la diferencia de tiempos de vuelo entre el trayecto más fuerte y el primer trayecto, y luego eventualmente a la estimación del segundo tiempo de vuelo y al cálculo de la distancia entre los dos equipos. Esto permite al equipo solicitado decidir solo el envío o no al equipo demandante, o iniciador, de una información relativa a la medición que ha realizado (diferencia de tiempos de vuelo medida, segundo tiempo de vuelo estimado a partir de esta diferencia o distancia calculada tomando como base el segundo tiempo de vuelo) y, por consiguiente, conservar el control de esta información que puede ser confidencial.

En un modo de realización particular, el segundo equipo transmite al primero el valor de la distancia estimada entre los dos equipos. De este modo, el segundo equipo puede decidir comunicar al primer equipo la distancia medida entre ellos dos.

Ventajosamente, el segundo equipo que envía un acuse de recibo en respuesta a una petición del primer equipo durante la fase de estimación del primer tiempo de vuelo, el primer equipo deja expirar una duración T entre el instante de llegada del acuse de recibo y el instante de emisión de la trama de sondeo de canal, comprendiendo dicha duración T un tiempo de guarda adaptado para permitir al primer equipo estimar el primer tiempo de vuelo

seguido de un tiempo de pausa adaptado para respetar las condiciones de un acceso compartido al canal, y siendo tal que la duración total de la fase de estimación del primer tiempo de vuelo y de la fase de estimación de una diferencia de tiempos de vuelo sea inferior al tiempo de coherencia del canal.

5 De este modo, el envío de la trama de sondeo de canal por el primer equipo puede hacerse respetando los mecanismos de reparto de acceso al canal. Esto evita una toma preferente y autoritaria del canal por parte del primer equipo durante periodo largo de tiempo, necesario para el envío de la trama de sondeo y, por lo tanto, el riesgo de colisión correspondiente. Además, esta duración T se adapta para que las dos primeras fases (de estimación del primer tiempo de vuelo y de estimación de la diferencia de tiempos de vuelo) tengan una duración total inferior al tiempo de coherencia del canal, definido como la duración durante la cual las propiedades del canal no cambian de forma significativa. De este modo, se garantiza que el canal permanece estable entre la medición del primer tiempo de vuelo y la medición de la diferencia de tiempos de vuelo.

15 La invención también se refiere a un dispositivo de estimación de la distancia entre un primer y un segundo equipo, dicho dispositivo tiene por objeto integrarse en el primer equipo y comprende unos medios para enviar hacia el segundo equipo de una petición con la finalidad de medir una duración de intercambio entre los dos equipos, unos medios para recibir un acuse de recibo en respuesta a la petición, unos medios de medición para medir la duración del intercambio entre los dos equipos y unos medios para enviar una trama de sondeo de canal hacia el segundo equipo.

20 La invención se refiere además a un dispositivo de estimación de la distancia entre un primer y un segundo equipo, dicho dispositivo tiene por objeto integrarse en el segundo equipo y comprende unos medios para, con la recepción de una petición con la finalidad de medir una duración de intercambio entre los dos equipos, emitir un acuse de recibo, unos medios para recibir una trama de sondeo de canal y para, a partir de las señales de radio recibidas correspondientes a dicha trama de sondeo de canal, estimar una diferencia de tiempos de vuelo entre el trayecto de propagación más fuerte, que toma una parte principal de la energía de las señales recibidas, y un primer trayecto de propagación.

30 La invención se entenderá mejor con la ayuda de la siguiente descripción de diferentes modos de realización particulares del procedimiento de estimación de la distancia entre dos equipos, de acuerdo con la invención, así como de formas de realización particulares de los dispositivos y del sistema de la invención, con referencia a los dibujos adjuntos en los que:

35 - la figura 1 representa un sistema de comunicaciones vía radio que tiene por objeto aplicar el procedimiento de la invención, de acuerdo con un modo particular descrito;

- la figura 2 representa los intercambios de tramas entre los dos equipos, de acuerdo con un modo de realización particular del procedimiento de la invención;

40 - la figura 3 representa un organigrama de las diferentes etapas del procedimiento, de acuerdo con el modo de realización de la figura 2;

45 - las figuras 4A y 4B representan unos esquemas de bloques funcionales respectivos de los dos equipos, uno realizando una primera estimación de la distancia entre los dos equipos y el otro solicitado para esta estimación, de acuerdo con unas formas de realización particulares, adaptadas para aplicar el procedimiento de las figuras 2 y 3.

50 En la figura 1, se ha representado un sistema de de comunicaciones que comprende una variedad de equipos, denotados con las referencias A, B, C y Z, que comprenden cada uno una interfaz de emisión y de recepción de radio. En el ejemplo particular descrito, los equipos son unos sensores que pertenecen a un sistema de gestión domótica y forman una red a medida. Este sistema tiene por objeto captar información relativa al medio ambiente en el interior de una habitación, como la temperatura, la luminosidad, el nivel sonoro, etc. Los círculos C_A, C_B y C_C representan las fronteras de las zonas de alcance, o células, respectivas de los equipos A, B y C. Tal y como puede verse en la figura 1, el equipo Z se sitúa en las zonas de alcance respectivas de cada uno de los tres equipos A, B y C.

55 Con referencia a las figuras 2 y 3, a continuación se describe un primer modo de realización particular del procedimiento de la invención para la estimación de la distancia entre el equipo Z y uno de los otros tres equipos, por ejemplo, A. En la figura 2, el sentido de la flecha t representa el sentido del paso del tiempo.

60 El procedimiento comprende una fase 1, aplicada por el equipo A, de estimación de un primer tiempo TOF₁ de vuelo entre los dos equipos A y Z. Esta fase 1 comprende varias etapas denotadas con las referencias E10 a E16. Durante la etapa E10, el equipo A, en este caso iniciador, envía al equipo Z, solicitado, una petición, denominada REQ, con la finalidad de medir la distancia entre los dos equipos A y Z. En el momento en el que éste envía esta petición, el equipo A memoriza el instante de emisión de la petición y activa un contador del tiempo a partir de este instante.

65 El equipo Z recibe la petición REQ en la etapa E11 y, en respuesta, envía un acuse de recibo, denominado ACK, al

equipo A, en la etapa E13. Cabe destacar que, si el equipo Z no desea ser localizado, le basta con no enviar un acuse de recibo en respuesta a la petición REQ. Entre el momento en el que recibe la petición REQ (etapa E11) y el momento en el que emite el acuse ACK de recibo (etapa E13), el equipo Z deja expirar en la etapa E12 una duración T_w de temporización, conocida por los dos equipos A y Z. Para emitir el acuse ACK de recibo precisamente al final de la duración T_w de temporización, el equipo Z realiza, si cabe, una toma preferente y autoritaria del canal, sin tener en cuenta las condiciones de acceso compartido de éste. No obstante, el acuse de recibo se transmite mediante una simple trama de datos, de corta duración, de aproximadamente algunas centenas de microsegundos, la ocupación autoritaria del canal por parte del equipo Z es breve. Esto minimiza en particular los riesgos de colisión con el tráfico entre el equipo Z y el equipo C o el equipo B, los cuales están fuera del alcance de radio del equipo A y, por lo tanto, no pueden saber que hay una estimación de distancia en curso.

En la etapa E14, el equipo A recibe el acuse ACK de recibo y detiene entonces el contador del tiempo a fin de determinar el instante de llegada del acuse ACK de recibo. En la etapa E15, a partir del instante de emisión de la petición REQ memorizada y del instante de llegada del acuse ACK de recibo, el equipo A mide la duración del intercambio entre los dos equipos A y Z, indicada como T_{ex} , es decir, la duración entre la emisión de la petición REQ y la recepción del acuse ACK de recibo a cambio. En la etapa E16, el equipo A resta de la duración T_{ex} de intercambio medida, la duración T_w de temporización y divide el resultado de esta resta entre dos para deducir de ésta un primer tiempo TOF_1 de vuelo entre los dos equipos A y Z, es decir, un primer cálculo de la duración de transmisión de señales para ir de un equipo al otro. El primer tiempo TOF_1 de vuelo corresponde a la duración de transmisión de señales para ir de un equipo al otro, siguiendo el trayecto de propagación que toma una parte principal de la energía de las señales, es decir, el "trayecto más fuerte".

En el ejemplo particular que se acaba de describir, es el equipo A el que realiza la estimación del primer tiempo TOF_1 de vuelo que, por su propia iniciativa, lanza el proceso de estimación de la distancia entre A y Z, mediante el envío de una petición al equipo Z. Como variante, se podría considerar que el equipo Z envíe una petición preliminar al equipo A para pedirle que active la aplicación del proceso de estimación de la distancia entre A y Z. En este caso, con la recepción de esta petición preliminar, el equipo A iniciaría la ejecución de las etapas E10 a E16, conforme a lo que se acaba de describir.

Tal y como puede verse en la figura 1, las señales transmitidas de un equipo A a otro Z pueden seguir al menos dos trayectos de propagación distintos, respectivamente indicados como t_1 y t_2 . Podría haber otros. El trayecto t_1 corresponde al trayecto de propagación en línea recta, o sea el más corto entre A y Z, mientras que el trayecto t_2 comprende en este caso una reflexión intermedia sobre una superficie 10. En el ejemplo particular descrito, se supone que el trayecto t_2 es "el trayecto más fuerte" en el sentido de ida (de A hacia Z) así como en el sentido de vuelta (de Z hacia A), siendo el canal biunívoco. En otras palabras, durante la transmisión de la petición REQ, una parte principal de la energía de las señales transmitidas correspondiente a esta petición REQ toma el trayecto t_2 . Del mismo modo, durante la transmisión del acuse ACK de recibo, una parte principal de la energía de las señales correspondiente a este acuse ACK de recibo toma el trayecto t_2 . El primer tiempo TOF_1 de vuelo medido corresponde, por lo tanto, a la duración de transmisión de aquellas señales que han tomado el trayecto t_2 . Por lo tanto, marca un error correspondiente a la diferencia entre el tiempo de vuelo según el trayecto t_2 más fuerte y el tiempo de vuelo según el trayecto t_1 más corto, o "primer trayecto".

A continuación, se ejecuta una fase 2 de estimación de una diferencia de tiempos de vuelo. Esta fase 2 comprende las etapas E20 a E23. Durante la etapa E21, el equipo A tras realizar la primera estimación de la distancia TOF_1 envía al equipo Z solicitado una trama de sondeo de canal, indicada como "CSF" ("Channel Sounding Frame", en inglés). En el ejemplo particular descrito en este caso, esta trama CSF contiene el valor del primer tiempo TOF_1 de vuelo estimado. La etapa E21 de emisión de la trama CSF viene precedida por una etapa E20 durante la cual el equipo A deja expirar una duración T a partir del instante de llegada del acuse ACK de recibo. Esta duración T comprende en este caso un tiempo T_g de guarda, con duración suficiente como para permitir al equipo A estimar el primer tiempo TOF_1 de vuelo, seguido de un tiempo T_p de pausa para respetar las condiciones de un acceso compartido al canal. De este modo, la transmisión de la trama CSF en la etapa E21, de larga duración, aproximadamente de algunos milisegundos, no precisa una preferencia autoritaria prolongada del canal. Las señales correspondientes a la trama de sondeo se transmiten del equipo A al equipo Z siguiendo, una parte de ellas, el trayecto t_1 de propagación y la otra parte, el trayecto t_2 de propagación. En el ejemplo descrito en este caso, una parte principal de estas señales sigue el trayecto t_2 de propagación, mientras que una parte secundaria de las señales sigue el trayecto t_1 de propagación, más corto. En la etapa E22, a partir de las señales recibidas correspondientes a la trama CSF, el equipo Z detecta los diferentes trayectos de propagación seguidos por estas señales, y en particular el primer trayecto t_1 de propagación, o trayecto más corto, y el trayecto t_2 de propagación más fuerte, aplicando una técnica, conocida por el experto en la materia y que en este caso no se explica, de detección de trayectos de propagación. En la etapa E23, el equipo Z estima a continuación una diferencia ΔTOF de tiempos de vuelo entre el trayecto t_2 de propagación más fuerte, correspondiente al trayecto para el cual se ha realizado la medición del primer tiempo TOF_1 de vuelo, y el primer trayecto t_1 de propagación. En otras palabras, la diferencia ΔTOF de tiempos de vuelo estimada corresponde a la diferencia entre el tiempo de vuelo de las señales que han seguido el trayecto t_2 de propagación más fuerte y el tiempo de vuelo de las señales que han seguido el primer trayecto t_1 de propagación.

Para obtener una buena precisión en la medición, las propiedades del canal tienen que permanecer estacionarias, en otras palabras, no cambiar de forma significativa, entre la estimación del primer tiempo TOF_1 de vuelo y la estimación de la diferencia ΔTOF de tiempos de vuelo. Para limitar este riesgo, la duración T de la etapa E20 debe adaptarse para que la duración total de la fase 1 de cálculo del primer tiempo TOF_1 de vuelo y de la fase 2 de estimación de una diferencia ΔTOF de tiempos de vuelo sea inferior o igual al tiempo de coherencia del canal, definido como la duración durante la cual, las propiedades del canal no cambian de forma significativa. Opcionalmente, para verificar si el canal ha permanecido estacionario entre la estimación del primer tiempo TOF_1 de vuelo y la estimación de la diferencia ΔTOF de tiempos de vuelo, puede reiterarse, tras la fase 2, una nueva fase de cálculo de un primer tiempo de vuelo, análoga a la fase 1 descrita anteriormente. De este modo, se estima un nuevo primer tiempo de vuelo, indicado como TOF_{1bis} . Si los dos primeros tiempos TOF_1 y TOF_{1bis} de vuelo son coherentes, esto significa que el canal ha permanecido constante durante las dos fases 1 y 2. Si no, esto significa que la precisión de la medida está comprometida.

Tras la fase 1 de estimación de un primer tiempo TOF_1 de vuelo y la fase 2 de estimación de una diferencia ΔTOF de tiempos de vuelo, el procedimiento comprende una fase 3 de cálculo de la distancia entre los dos equipos A y Z. Esta fase 3 comprende las etapas E30 y E31. En la etapa E30, el equipo Z determina un segundo tiempo TOF_2 de vuelo restando la diferencia ΔTOF de tiempos de vuelo estimada del primer tiempo TOF_1 de vuelo estimado, cuyo valor le ha transmitido el equipo A en la etapa E21 de transmisión de la trama de sondeo:

$$TOF_2 = TOF_1 - \Delta TOF \quad (1)$$

Después, en la etapa E31, el equipo Z calcula la distancia en línea D recta entre los dos equipos A y Z, a partir del segundo tiempo TOF_2 de vuelo determinado de este modo y de la velocidad V de la onda electromagnética:

$$D = V * TOF_2 \quad (2)$$

Si se desea, a continuación el equipo Z puede comunicar al equipo A, el valor de la distancia D estimada mediante el envío de una simple trama de datos, de corta duración. El equipo Z también podría difundir esta trama de datos al conjunto de equipos situados en su zona de alcance de radio, o sea en este caso los equipos B y C, para permitirles posicionarse los unos con respecto a los otros.

En lugar de ejecutarla el equipo Z, el equipo A podría ejecutar la fase 3 de cálculo de la distancia D. En este caso, al final de la fase 2 de estimación de la diferencia de tiempos de vuelo, el equipo Z comunicaría al equipo A la diferencia de tiempos de vuelo estimada, mediante el envío de una simple trama de datos, y no sería necesario transmitir al equipo Z el valor del primer tiempo TOF_1 de vuelo estimado por el equipo A. En otra variante, los dos equipos A y Z podrían ejecutar paralelamente la fase de cálculo 3, a pesar de que A comunica a Z el valor del primer tiempo TOF_1 de vuelo estimado y que Z comunica a A el valor de la diferencia ΔTOF de tiempos de vuelo estimada.

En la figura 4A, se ha representado un esquema de bloque funcional de un dispositivo 4 para la estimación de la distancia entre dos equipos, uno iniciador y el otro solicitado. Este dispositivo 4 tiene por objeto integrarse en un equipo de radio iniciador de la estimación de la distancia, como el equipo A de la figura 1, que comprende una interfaz de emisión y de recepción de radio. El dispositivo 4 comprende:

- un módulo 40 de envío hacia un equipo solicitado de una petición REQ con la finalidad de medir una duración de intercambio entre los dos equipos, que tiene por objeto controlar el envío a través de la interfaz de radio del equipo de una petición REQ, como se describe en la etapa E10, y señalar este envío a un módulo 42 de medición del tiempo de intercambio;

- un módulo 41 de recepción de un acuse ACK de recibo en respuesta a la petición REQ, que tiene por objeto vigilar la recepción del acuse de recibo a través de la interfaz de radio del equipo y señalarla en el módulo 42 de medición del tiempo de intercambio y en un módulo 43 de envío de una trama CSF;

- el módulo 42 de medición de la duración T_{ex} del intercambio entre los dos equipos, unido a los módulos 40 y 41, dispuesto para activar un contador del tiempo, tras el envío de la petición REQ a través del módulo 40 y para detenerlo;

- el módulo 43 de envío de una trama CSF de sondeo de canal hacia el equipo solicitado, unido al módulo 41 y dispuesto para controlar la emisión de una trama CSF a través de la interfaz de radio del equipo, tras haber dejado expirar una duración T a partir del instante de llegada del acuse ACK de recibo, tal como se describe en las etapas E20 y E21;

- un reloj 44 interno, unido a los módulos 42 y 43; y

- una memoria 45 de almacenamiento dispuesta para memorizar el instante de emisión de la petición REQ y el

instante de llegada del acuse ACK de recibo.

5 Los módulos del dispositivo 4 descritos anteriormente están unidos a una unidad central de control del equipo, no representada, que tiene por objeto controlar su funcionamiento. Puede tratarse de módulos informáticos de un programa de ordenador. La invención también se refiere, por lo tanto, a un programa de ordenador para un dispositivo de estimación de la distancia entre dos equipos, que comprende unas instrucciones codificadas para controlar la ejecución de aquellas etapas del procedimiento anteriormente descrito que realiza el equipo A iniciador. Este programa puede almacenarse en o transmitirse a través de un soporte de datos, que puede ser un soporte material de almacenamiento, por ejemplo, un CD-ROM, un disquete magnético o un disco duro, o bien un soporte transmisible, como una señal eléctrica, óptica o de radio.

10 En la figura 4B, se ha representado un esquema de bloque funcional de un dispositivo 5 para la estimación de la distancia entre dos equipos, uno iniciador y otro solicitado. Este dispositivo 5 tiene por objeto integrarse en el equipo de radio solicitado para la estimación de la distancia, como el equipo Z de la figura 1, que comprende una interfaz de emisión y de recepción de radio. Éste comprende:

15 - un módulo 50 de recepción de una petición REQ con la finalidad de medir una duración de intercambio entre los dos equipos, dispuesto para detectar la recepción de una petición de este tipo mediante la interfaz de radio del equipo;

20 - un módulo 51 de emisión de un acuse de recibo, dispuesto para controlar la emisión de un acuse ACK de recibo a través de la interfaz de radio del equipo, en respuesta a una petición REQ recibida, tras haber dejado expirar una duración T_w de temporización a partir del instante de llegada de la petición, tal y como se describe en las etapas E12 y E13;

25 - un módulo 52 de recepción y de análisis de una trama de sondeo de canal, dispuesto para detectar la recepción de la trama de sondeo a través de la interfaz de radio del equipo, extraer de éste, en su caso, el valor de un primer tiempo TOF_1 de vuelo transmitido y detectar un primer trayecto de propagación y el trayecto de propagación más fuerte, a partir de las señales recibidas correspondientes a la trama de sondeo;

30 - un módulo 53, unido al módulo 52, para estimar una diferencia (ΔTOF) de tiempos de vuelo entre el trayecto de propagación más fuerte y un primer trayecto de propagación, detectados por el módulo 52;

35 - un módulo 54, unido al módulo 53, de cálculo de la distancia entre los dos equipos dispuestos para calcular un segundo tiempo de vuelo restando la diferencia (ΔTOF) de tiempos de vuelo estimada del primer tiempo de vuelo transmitido y para calcular dicha distancia a partir del segundo tiempo de vuelo determinado, tal como se describe en las etapas 30 y 31.

40 Los módulos del dispositivo 5 descritos anteriormente están unidos a una unidad central de control del equipo, no representada, que tiene por objeto controlar su funcionamiento. Puede tratarse de módulos informáticos de un programa de ordenador. La invención también se refiere, por lo tanto, a un programa de ordenador para un dispositivo de cálculo de la distancia entre dos equipos, que comprenden unas instrucciones de código para controlar la ejecución de aquellas etapas del procedimiento anteriormente descrito, que realiza el equipo Z solicitado. Este programa puede almacenarse en o transmitirse mediante un soporte de datos, que puede ser un soporte material de almacenamiento, por ejemplo, un CD-ROM, un disquete magnético o un disco duro, o bien un soporte transmisible, como una señal eléctrica, óptica o de radio.

45 En general, los equipos comprenden a la vez un dispositivo 4 y un dispositivo 5 a fin de adecuarlos para desempeñar las funciones de los dos equipos A y Z en el procedimiento anteriormente descrito.

50 La invención se refiere también al sistema de radiocomunicación que comprende un equipo solicitado y al menos un equipo iniciador.

55 En el primer modo de realización descrito anteriormente, la fase 1 de cálculo de un primer tiempo de vuelo se ejecuta antes de la fase 2 de estimación de una diferencia de tiempos de vuelo. En un segundo modo de realización, el orden de estas dos fases es al revés: la fase 2 de estimación de una diferencia de tiempos de vuelo se ejecuta antes de la fase 1 de estimación de un primer tiempo de vuelo.

60 En un tercer modo de realización, la fase 1 de estimación de un primer tiempo de vuelo comprende varias iteraciones sucesivas del conjunto de las etapas E10 a E16. De este modo, el equipo A obtiene varias estimaciones consecutivas del primer tiempo TOF_1 de vuelo, a partir de los que determina un primer tiempo TOF_{1med} de vuelo medio, calculando un promedio de las diferentes estimaciones obtenidas. Durante la fase 3, es este primer tiempo TOF_{1med} de vuelo medio el que se utiliza para calcular el segundo tiempo TOF_2 de vuelo con la ayuda de la fórmula (1). El hecho de tomar el promedio de varias estimaciones del primer tiempo de vuelo permite disminuir el riesgo de error de medida.

5 En la descripción anterior, se supone que los dos equipos A y Z son asincrónicos, de manera que es necesario medir un tiempo T_{ex} de intercambio entre los dos equipos A y Z a fin de deducir de éstos un primer tiempo de vuelo. Sin embargo, la invención podría aplicarse en el caso en el que los dos equipos fuesen sincrónicos. En este caso, bastaría con medir la duración de la transmisión de una trama de datos para ir, por ejemplo, de A a Z siguiendo el trayecto más fuerte para deducir de éste un primer tiempo TOF_1 de vuelo.

10 A continuación se describe un procedimiento de localización del equipo Z. Se da por supuesto en este caso que Z es un equipo móvil que llega a la red a medida formada por los tres equipos A, B y C de posiciones P_A , P_B y P_C respectivas conocidas. El equipo Z se coloca en una posición P_Z por determinar. Para localizar el equipo Z, cada uno de los tres equipos A, B y C, denominados "equipos interrogadores", aplica las etapas E10, E14 a E16, E20 y E21, anteriormente descritas, mientras que el equipo Z, denominado "equipo interrogado" aplica las etapas E11 a E13, E22, E23, E30 y E31, anteriormente descritas. De este modo, son los tres equipos A, B y C interrogadores, es decir, los que han iniciado la estimación de la distancia entre ellos mismos y el equipo Z interrogado, los que emiten las tres tramas de sondeo de canal, respectivamente. Esto permite, por un lado, repartir la carga de la emisión de las tres tramas de sondeo de canal a los tres equipos A, B, C interrogadores y no sólo en el nuevo nodo Z y, por otro lado, repartir mejor la energía electromagnética en el espacio, evitando la emisión de tres tramas bastante energéticas desde el mismo lugar. La red a medida, que conoce las distancias D_{AZ} entre A y Z, D_{BZ} entre B y Z, D_{CZ} entre C y Z, así como las posiciones P_A , P_B y P_C de los tres equipos A, B y C, puede deducir de éstos la posición P_Z del equipo Z.

20 De forma análoga, se podría utilizar el procedimiento de localización que acaba de describirse para localizar un equipo Z en el espacio, procediendo a la estimación de la distancia entre Z y al menos otros cuatro equipos A, B, C y D, de posiciones respectivas distintas conocidas.

25 En la descripción anterior, los equipos de radio son sensores. Por supuesto, podría tratarse de cualquier otro tipo de equipos de radio, como terminales de comunicaciones u objetos comunicantes. La presente invención se adapta a la radio de impulsión de banda ultra ancha, pero se aplica a otros sistemas de radio (DS-SS, etc.).

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento de estimación de la distancia entre un primer y un segundo equipo de radio, que comprende:

- 5 - una fase (1) de estimación, aplicada por el primer equipo (A), de un primer tiempo de vuelo entre los dos equipos (A, Z) correspondiente a la duración de la transmisión de señales para ir de un equipo al otro siguiendo un trayecto de propagación, denominado "trayecto más fuerte", que toma una parte principal de la energía de las señales,
- 10 - una fase (2) de estimación de una diferencia de tiempos de vuelo que comprende el envío de una trama de sondeo de canal de un equipo al otro (E21) y, a partir de las señales de radio recibidas correspondientes a dicha trama de sondeo de canal, la estimación de una diferencia (ΔTOF) de tiempos de vuelo entre el trayecto de propagación más fuerte y un primer trayecto de propagación (E22),
- 15 - una fase (3) de cálculo de la distancia entre los dos equipos (A, Z) que comprende la determinación de un segundo tiempo (TOF_2) de vuelo mediante la resta de la diferencia (ΔTOF) de tiempos de vuelo estimada del primer tiempo (TOF_1) de vuelo estimado (E30) y el cálculo de la distancia (D) entre los dos equipos a partir del segundo tiempo (TOF_2) de vuelo determinado de este modo (E31);

20 caracterizado por el hecho de que es el primer equipo (A), denominado iniciador, el que envía hacia el segundo equipo (Z), denominado solicitado, dicha trama de sondeo de canal (E21), siendo el segundo equipo (Z) solicitado el que realiza la estimación de la diferencia de tiempos de vuelo (E22).

25 2. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1, en el que el primer equipo (A) iniciador transmite al segundo equipo (Z) solicitado el valor del primer tiempo (TOF_1) de vuelo estimado (E21) y es el segundo equipo (Z) solicitado el que estima el segundo tiempo (TOF_2) de vuelo (E30) y deduce de éste la distancia (D) entre los dos equipos (E31).

30 3. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 y 2, en el que el segundo equipo (Z) solicitado transmite al primer equipo (A) iniciador el valor de la distancia (D) estimada entre los dos equipos (A, Z).

35 4. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 3, en el que el segundo equipo (Z) solicitado envía un acuse de recibo en respuesta a una petición del primer equipo (A) iniciador (E12) durante la fase (1) de estimación del primer tiempo de vuelo, el primer equipo iniciador deja expirar una duración T entre el instante de llegada del acuse de recibo y el instante de emisión de la trama de sondeo de canal (E20), dicha duración T comprende un tiempo de guarda adaptado para permitir al primer equipo iniciador estimar el primer tiempo (TOF_1) de vuelo, seguido de un tiempo de pausa adaptado para respetar las condiciones de un acceso compartido al canal y que se adapta para que la duración total de la fase (1) de estimación del primer tiempo de vuelo y de la fase (2) de estimación de una diferencia de tiempos de vuelo sea inferior al tiempo de coherencia del canal.

40 5. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, en el que durante la fase (1) de estimación del primer tiempo de vuelo, el segundo equipo (Z) solicitado deja expirar una duración (T_w) de temporización (E11), conocida por los dos equipos, entre el momento en el que éste recibe una petición del primer equipo iniciador y el momento en el que emite un acuse de recibo como respuesta, y el primer equipo (A) iniciador mide la duración del intercambio entre los dos equipos (E15), resta dicha duración de temporización de la duración del intercambio medida y divide el resultado de la resta entre dos a fin de estimar el primer tiempo (TOF_1) de vuelo (E16).

45 6. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, en el que la fase (1) de cálculo de un primer tiempo de vuelo comprende varias estimaciones del primer tiempo (TOF_1) de vuelo y, a partir de las diferentes estimaciones del primer tiempo de vuelo, el primer equipo iniciador calcula un primer tiempo de vuelo medio.

50 7. Procedimiento de localización de un equipo (Z) que hay que localizar, mediante un conjunto de al menos otros tres equipos (A, B, C) en el que cada uno de los otros tres equipos (A, B, C) de dicho conjunto aplica aquellas etapas realizadas por el primer equipo iniciador en el procedimiento de las reivindicaciones 1 a 6, mientras que el equipo (Z) que hay que localizar aplica aquellas etapas realizadas por el segundo equipo solicitado en el procedimiento, de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 5.

55 8. Equipo (A), denominado "iniciador", adaptado para iniciar una estimación de la distancia entre dicho equipo (A) iniciador y otro equipo (Z), denominado "solicitado" que comprende:

- 60 - unos medios (40) para enviar hacia el equipo (Z) solicitado una petición con la finalidad de medir una duración de intercambio entre los dos equipos (A, Z),
- unos medios (41) para recibir un acuse de recibo en respuesta a la petición,
- 65 - unos medios (42, 44, 45) para medir la duración del intercambio entre los dos equipos (A, Z),

- unos medios para calcular, a partir de la duración de intercambio medida, un primer tiempo de vuelo entre los dos equipos (A, Z), correspondiente a la duración de transmisión de señales para ir de un equipo al otro, siguiendo un trayecto de propagación, denominado "trayecto más fuerte", que toma una parte principal de la energía de las señales, y
- 5 - unos medios (43) para enviar hacia el equipo (Z) solicitado de una trama de sondeo de canal, que tiene por objeto permitir una estimación de una diferencia (Δ TOF) de tiempos de vuelo entre el trayecto de propagación más fuerte y un primer trayecto de propagación.
- 10 9. Equipo (A) iniciador, de acuerdo con la reivindicación 8, en el que los medios para enviar una trama de sondeo hacia el equipo (Z) solicitado se adaptan para enviar una trama de sondeo que contenga el primer tiempo de vuelo calculado.
- 15 10. Equipo (Z), denominado "solicitado", que comprende un dispositivo de estimación de la distancia entre un primer equipo (A), denominado "iniciador", y el segundo equipo (Z) solicitado, que comprende unos medios (51) para, a la recepción de una petición con la finalidad de medir una duración de intercambio entre los dos equipos (A, Z), emitir un acuse de recibo, unos medios (52, 53) para recibir una trama de sondeo de canal y para, a partir de las señales de radio recibidas correspondientes a dicha trama de sondeo de canal, estimar una diferencia (Δ TOF) de tiempos de vuelo entre el tiempo de vuelo de señales que siguen el trayecto de propagación más fuerte, que toma una parte principal de la energía de las señales recibidas, y el tiempo de vuelo que toman unas señales que siguen un primer trayecto de propagación.
- 20 11. Equipo (Z), de acuerdo con la reivindicación 10, que comprende además unos medios (50) para recibir el valor de un primer tiempo de vuelo estimado y unos medios (54) de cálculo de la distancia entre los dos equipos (A, Z) dispuestos para determinar un segundo tiempo de vuelo mediante la resta de la diferencia (Δ TOF) de tiempos de vuelo estimada del primer tiempo de vuelo estimado y para calcular dicha distancia a partir del segundo tiempo de vuelo determinado.
- 25 12. Sistema que comprende un equipo (Z) solicitado, de acuerdo con una de las reivindicaciones 10 y 11, y al menos otro equipo (A) iniciador, de acuerdo con una de las reivindicaciones 8 y 9.
- 30 13. Programa de ordenador para un equipo denominado "iniciador", adaptado para iniciar un cálculo de la distancia entre dicho equipo iniciador y otro equipo, denominado "solicitado", que comprende unas instrucciones de código para controlar la ejecución de aquellas etapas del procedimiento, de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 6, que realiza el primer equipo (A) iniciador.
- 35 14. Programa de ordenador para un equipo, denominado "solicitado", de estimación de la distancia entre un equipo, denominado "iniciador", y dicho equipo solicitado, que comprende unas instrucciones de código para controlar la ejecución de aquellas etapas del procedimiento, de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 6, que realiza el
- 40 segundo equipo (Z) solicitado.

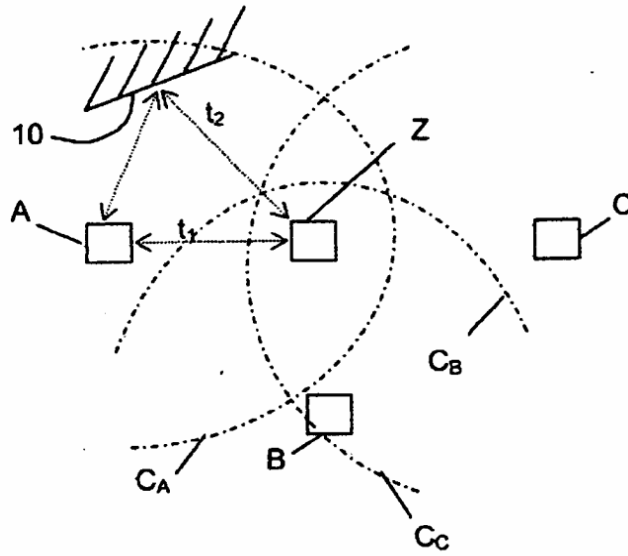


Figura 1

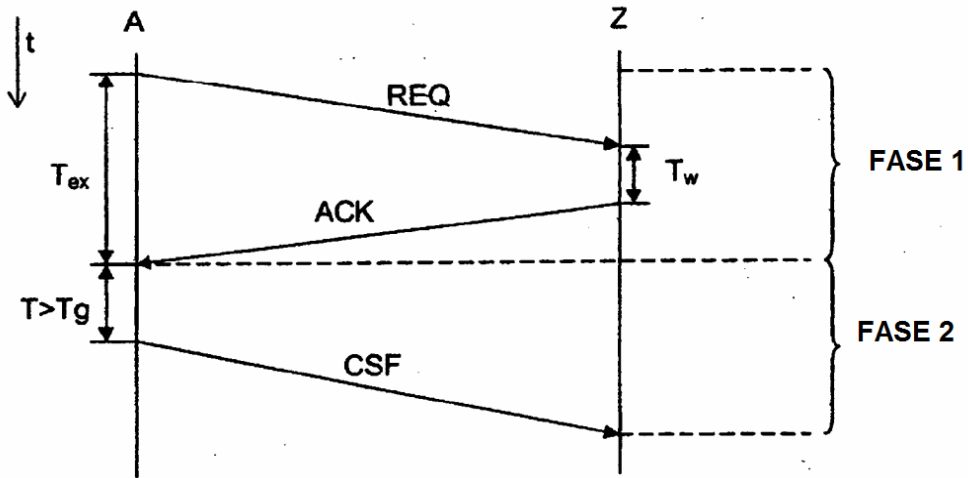


Figura 2

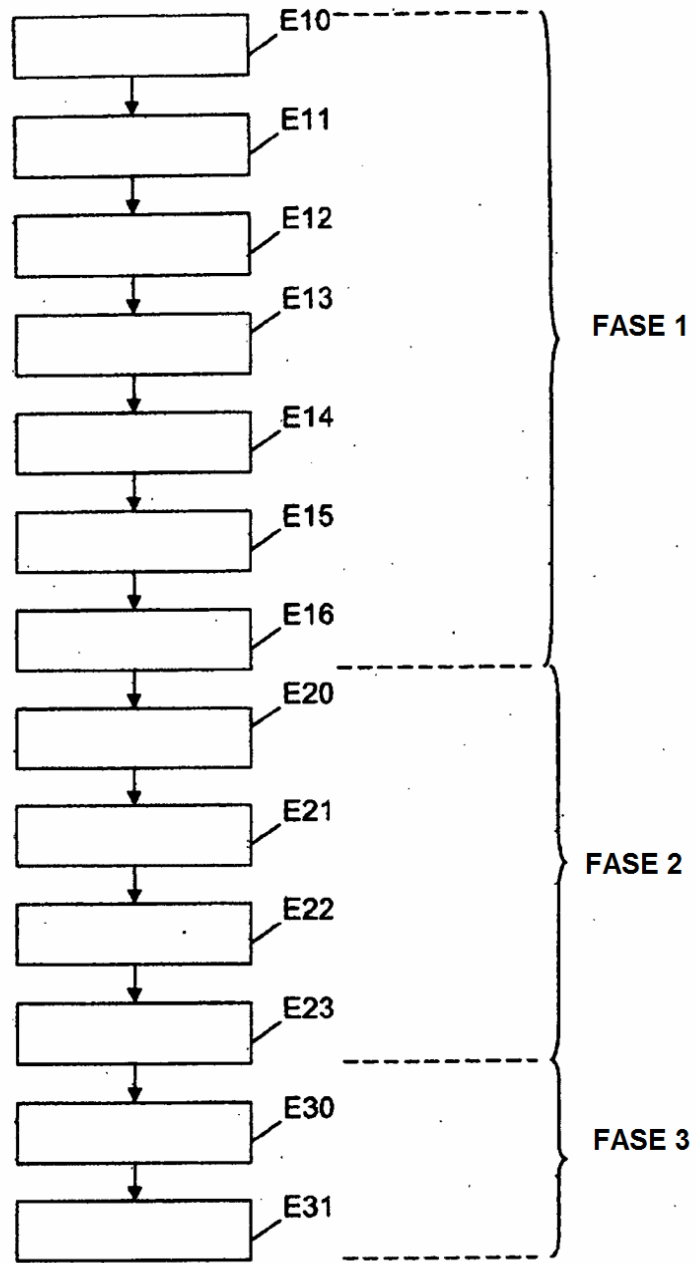


Figura 3

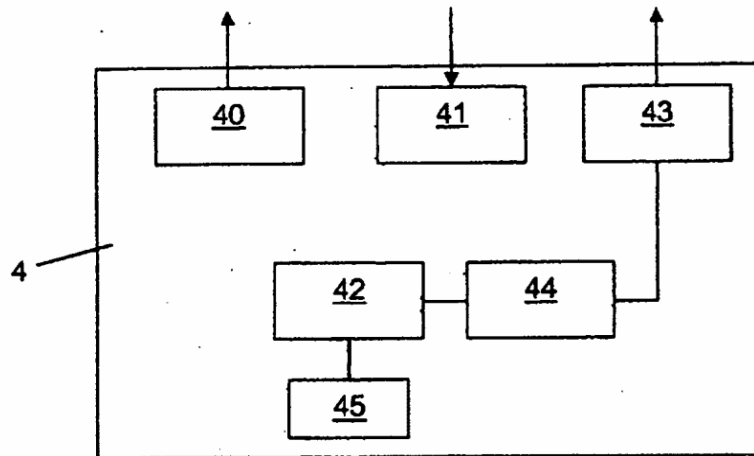


Figura 4A

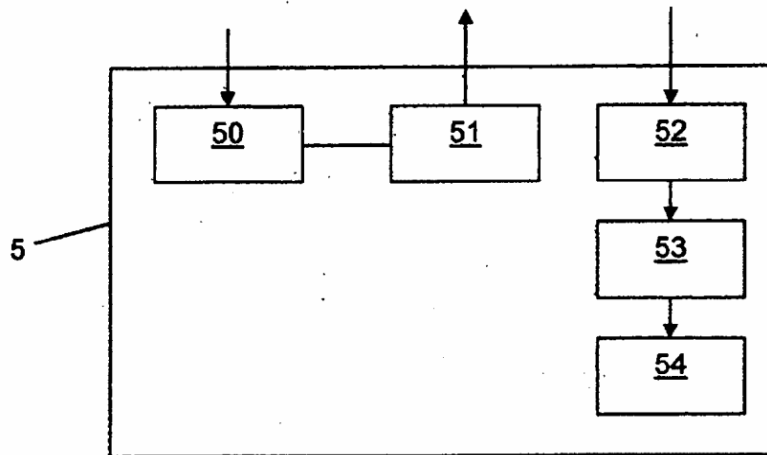


Figura 4B