

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 444 644**

51 Int. Cl.:

H04W 56/00

(2009.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **19.09.2007** **E 07818252 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **06.11.2013** **EP 2191623**

54 Título: **Procedimiento para transmitir un paquete de información en una red de comunicaciones inalámbrica asincrónica y nodo de red que lo implementa**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
26.02.2014

73 Titular/es:

TELECOM ITALIA S.P.A. (50.0%)

Piazza degli Affari 2

20123 Milano, IT y

PIRELLI & C. S.P.A. (50.0%)

72 Inventor/es:

COLERI ERGEN, SINEM;

BOREAN, CLAUDIO y

GIANNANTONIO, ROBERTA

74 Agente/Representante:

PONTI SALES, Adelaida

ES 2 444 644 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 para transmitir un paquete de información en una red de comunicaciones inalámbrica asíncrona y nodo de red que lo implementa.

SECTOR DE LA INVENCIÓN

[0001] La presente invención se refiere a un procedimiento para transmitir un paquete de información desde un primer nodo a un segundo nodo en una red de comunicaciones inalámbrica asíncrona y a un nodo de red que lo implementa.

ANTECEDENTES DE LA INVENCIÓN

[0002] Las WPAN [Redes de área personal inalámbricas] se conocen desde hace algunos años; una red PAN [red de área personal] se puede definir como una red de ordenadores para la comunicación entre los dispositivos cercanos a una sola persona; una red WPAN es una red PAN que utiliza tecnologías de comunicación inalámbricas de corto alcance.

[0003] Una tecnología de comunicación que se utiliza muy a menudo para la implementación de una red WPAN es la ZigBee.

[0004] Una de los principales y recientes aplicaciones de las redes WPAN son las redes WSN [Wireless Sensor Network].

[0005] En una red WPAN los componentes clave son los nodos de la red, también llamados dispositivos. En general, una red WPAN puede comprender una mezcla de dispositivos alimentados por red y dispositivos alimentados con batería; los dispositivos alimentados con batería están diseñados para limitar su consumo de energía para asegurar una larga vida a sus baterías. Proporcionar un uso eficiente de la energía en redes WSN es particularmente importante con el fin de lograr un despliegue a largo plazo de las aplicaciones ya que los nodos de la red sensores no pueden ser fácilmente recargados o reemplazados cuando la energía de su batería se ha terminado.

[0006] El componente de un nodo de una red WPAN que es el principal responsable del consumo de energía es el emisor receptor de radio (tanto cuando transmite como cuando recibe); La manera típica de reducir el consumo de energía en una red WPAN asíncrona (una red en la que los nodos no tienen un reloj sincronizado y por lo tanto no transmiten y reciben de forma sincrónica) es el uso del "ciclo de trabajo", es decir, permitir que el emisor receptor de radio de los dispositivos funcione de forma intermitente durante cortos intervalos de tiempo; de esta manera, el funcionamiento de cada nodo es una secuencia periódica (periodo de funcionamiento de emisor receptor fijado) de intervalos despiertos (cortos) e intervalos de latencia (largos). Por supuesto, esto complica los protocolos de comunicación utilizados en las redes WPAN.

[0007] De la técnica anterior, también se conocen redes WSN asíncronas en las que todos (o casi todos) los nodos funcionan con baterías y por lo tanto están diseñados para limitar el consumo de energía y en el que se utilizan protocolos MAC especiales para limitar el consumo de energía de los emisores receptores de radio.

[0008] El artículo de M. Buetter et al, "X-MAC: A Short Preamble MAC Protocol for Duty-Cycled Wireless Sensor Networks", SenSys 2006, 1-3 November 2006, Boulder, Colorado, USA, describe en detalle uno de estos protocolos MAC llamado "X-MAC" basado en un preámbulo de longitud fija. De acuerdo con este protocolo, cuando un nodo fuente tiene que transmitir un paquete de información, su transmisor transmite una serie de preámbulos cortos y de longitud fija, conteniendo cada uno la dirección del nodo de destino; unas pequeñas pausas entre preámbulos permiten que el receptor del nodo de destino se despierte (de acuerdo con su propio horario de funcionamiento interno) y que envíe una confirmación que detiene la secuencia de preámbulos y que señale la disponibilidad del nodo de destino para recibir los datos, es decir, la carga útil del paquete de información; unos receptores que no son de destino que oyen por casualidad los preámbulos estroboscópicos pueden volverse a dormir de inmediato, en lugar de permanecer despiertos durante la recepción de datos.

[0009] El artículo de A. El-Hoiydi y J. Decotignie, "WiseMAC: An Ultra Low Power MAC Protocol for Multi-hop Wireless Sensor Networks", en Actas del Primer Taller Internacional sobre Aspectos algorítmicos de Redes Inalámbricas de Sensores, Lecture Notes in Computer Science, LNCS 3121, pp.18-31, Springer-Verlag, Julio 2004, describe en detalle otro de esos protocolos MAC llamados "WiseMAC", basado en un preámbulo de longitud variable. De acuerdo con este protocolo, se aprende primero el horario de funcionamiento de los vecinos directos de un nodo y después se utiliza para reducir al mínimo el tamaño de un preámbulo de longitud variable de un paquete de información a transmitir; los reconocimientos no sólo son utilizados para indicar la recepción de un paquete de datos por un nodo de destino, sino también para informar al nodo de origen del tiempo restante hasta su siguiente momento de despertar; de esta manera, un nodo puede mantener una tabla de desplazamientos de tiempo programados de todos sus destinos habituales hasta el momento; utilizando esta información, un nodo puede transmitir un paquete de información justo en el momento adecuado, con un preámbulo de tamaño mínimo.

Según este artículo, la duración del preámbulo debe cubrir la deriva potencial de reloj entre los relojes en el nodo fuente y en el nodo destino; esta deriva es proporcional al tiempo transcurrido desde que el último reconocimiento fue recibido por el nodo fuente, es decir, desde la última transmisión desde el nodo fuente al nodo de destino; la duración requerida TP del preámbulo está determinada por

$$TP = \min(4\theta L, TW)$$

5 donde θ es la tolerancia de la frecuencia del cuarzo utilizado para la generación de las señales de reloj en el nodos, L es el tiempo intervalo entre transmisiones, TW es el período fijo de la programación de los nodos de la red y "min" es una función que determina el "mínimo".

10 **[0010]** El artículo de Y.S. Hong y J. H. No, "Time Sincronización in Wireless Sensor Network Applications", Lecture Notes in Computer Science, 2007, Volumen 4761/2007, páginas 429-435, describe un algoritmo de sincronización temporal para redes de sensores que tiene la finalidad de reducir las energías de cálculo y de comunicación consumidas por el algoritmo. El algoritmo utiliza el sellado temporal por capas MAC y estima la tasa de deriva de reloj y el desplazamiento con la finalidad de obtener un rendimiento de alta precisión. Funciona en dos etapas: en la
15 primera etapa, se construye un árbol de expansión en la red de sensores; en la segunda etapa, todos los nodos de la red sincronizan sus relojes con sus nodos ascendentes.

RESUMEN DE LA INVENCION

20 **[0011]** El solicitante ha considerado que en redes de comunicaciones inalámbricas, especialmente en redes WPAN / WSN, hay una necesidad de disminuir aún más el consumo de energía de los nodos de red con respecto a protocolos conocidos, al menos, por las siguientes razones.

25 **[0012]** En el caso del presente X-MAC, generalmente se necesita transmitir un número de preámbulos de longitud fija, de hecho, con el fin de ahorrar energía el período de funcionamiento del emisor receptor debería ser bastante largo (por ejemplo, de algunos segundos) y el intervalo despierto debería ser muy corto (por ejemplo, de algunos milisegundos), pero cuanto mayor es el período mayor es el número de preámbulos que se deben transmitir antes de que el nodo se despierte y detecte un preámbulo y por lo tanto un paquete de información dirigido a él.

30 **[0013]** En el caso de WiseMAC, en general es necesario transmitir un preámbulo de longitud variable largo; de hecho, con la finalidad de ahorrar energía el periodo de funcionamiento de emisor receptor debería ser bastante largo (por ejemplo, de algunos segundos) y el intervalo despierto debería ser muy corto (por ejemplo, de algunos milisegundos), y en estas redes de comunicación inalámbricas (especialmente en redes WSN) las transmisiones de paquetes de información entre dos nodos are no son muy frecuentes y los cuarzos no son muy precisos, por lo tanto,
35 la duración requerida del preámbulo (TP en la fórmula anterior) es bastante largo y tiende a estar cerca del periodo de funcionamiento de emisor receptor (TW en la fórmula anterior).

40 **[0014]** Además, el solicitante ha considerado que un protocolo basado en los preámbulos de longitud fija es preferible, ya que permite una mejor organización de las aplicaciones de comunicaciones de acuerdo con capas jerárquicas. De hecho, si se va a gestionar un preámbulo de longitud variable, los flujos de bits en bruto recibidos y transmitidos, es decir, datos de bajo nivel, deben ser conocidos y controlados por los primitivas de alto nivel con el fin de ser capaces de detectar el preámbulo durante su transmisión (lado del receptor) y para interrumpir la transmisión del preámbulo cuando sea necesario (lado del transmisor).

45 **[0015]** Por lo tanto, el problema técnico general que hay detrás de la presente invención es el de reducir aún más el consumo de energía de los nodos de red en una red de comunicación inalámbrica asíncrona a través de un procedimiento de comunicación apropiado.

50 **[0016]** Más en particular, la presente invención tiene por objeto encontrar una solución basada en el uso de un preámbulo de longitud fija.

[0017] Con la finalidad de resolver los problemas anteriormente mencionados, el solicitante ha concebido que con la finalidad de mejorar transmisiones de paquetes de información un nodo fuente estima no sólo el desplazamiento de tiempo del nodo de destino, sino también la deriva del reloj del nodo de destino; de esta manera, el nodo fuente
55 puede elegir con mucha precisión el tiempo de inicio de transmisión de un paquete de información a este nodo de destino de manera que normalmente sólo se necesita transmitir un preámbulo muy corto.

[0018] Por lo tanto la presente invención consigue un resultado en términos de consumo de energía cercano al de las redes de comunicación inalámbricas síncronas, pero mediante una solución más simple que no requiere la sincronización de todas las señales de reloj de los nodos de la red.

60 **[0019]** Adicionalmente, la presente invención puede tener en cuenta los diferentes periodos de funcionamiento del emisor receptor en diferentes nodos de la red.

[0020] La estimación del desplazamiento de tiempo y de deriva de reloj entre dos nodos se consigue a través de una o más transmisiones previas entre estos dos nodos; en particular, la información relativo a estos parámetros se transmite desde el nodo destino hasta el nodo fuente en respuesta a un preámbulo transmitido por el nodo fuente al nodo destino. Dicha respuesta también puede contener información relativa al período de funcionamiento del emisor receptor del nodo destino.

[0021] Toda la información de sincronización recibida o información derivada de esta se puede almacenar en una tabla dentro del nodo fuente en la que se proporciona una fila de datos para todos o los principales nodos vecinos.

[0022] Las estimaciones son más exactas si se basan en varias transmisiones previas.

[0023] Con la finalidad de tener en cuenta la confianza en las estimaciones, se puede proporcionar un adelanto de tiempo en el momento de transmisión; este adelanto de tiempo se puede reducir si se utilizan varias transmisiones previas para las estimaciones.

[0024] Preferentemente, la sección de preámbulo de un paquete de información tiene una duración fija y predeterminada.

[0025] Según otro aspecto, la presente invención también se refiere a un nodo de red dispuesto de tal manera como para ser especialmente adecuado para implementar el procedimiento de comunicación descrito anteriormente.

[0026] De hecho, este nodo de red comprende una memoria adaptada para almacenar información de desplazamiento temporal e información de deriva de reloj y/o información de periodo, o información derivada de esta, para uno o más otros nodos de red; la información de periodo de funcionamiento de emisor receptor (para uno o más nodos) también puede almacenarse en esta memoria.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

[0027] La presente invención se hará más evidente a partir de la descripción siguiente a considerar junto con los dibujos adjuntos, en los que:

La figura 1 muestra esquemáticamente y parcialmente una forma de realización de una red WPAN, específicamente una red WSN, de acuerdo con la presente invención,

La figura 2 muestra diagramas de tiempo para el nodo fuente y para el nodo destino de acuerdo con una técnica de muestreo de preámbulo de longitud fija corta,

La figura 3 muestra los diagramas de tiempo de la figura 2 en los que se ponen de relieve instantes de tiempo particulares que se utilizan según una realización de la presente invención,

La figura 4 muestra el diagrama de flujo de un proceso llevado a cabo por un nodo fuente de la red de la figura 1 cuando se intercambia un paquete de información,

La figura 5 muestra el diagrama de flujo de un proceso llevado a cabo por un nodo destino de la red de la figura 1 cuando se intercambia un paquete de información,

La figura 6 muestra el diagrama de flujo de a proceso para estimar el inicio del intervalo despierto más reciente,

La figura 7 muestra una tabla de nodos vecinos para un nodo fuente de la red de la figura 1,

La figura 8 muestra información de sincronización incluida en un reconocimiento a un preámbulo transmitido por un nodo destino de la red de la figura 1,

La figura 9 muestra el diagrama de flujo del proceso utilizado por un nodo fuente de la red de la figura 1 con la finalidad de actualizar la tabla de la figura 7,

La figura 10 muestra el diagrama de flujo de este proceso utilizado por un nodo fuente de la red de la figura 1 para estimar el inicio del próximo intervalo despierto y para determinar el inicio de transmisión, y

La figura 11 muestra esquemáticamente la arquitectura de un nodo de red según la presente invención.

[0028] Debe entenderse que la siguiente descripción y los dibujos adjuntos no se han de interpretar como limitaciones de la presente invención, sino simplemente como ejemplos.

DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA INVENCION

[0029] La forma de realización descrita de la presente invención se refiere a un WPAN [Red de área personal inalámbrica], específicamente una WSN [Wireless Sensor Network] utilizando la tecnología ZigBee, ver la figura 1, incluso si la presente invención puede aplicarse más en general a un asíncrona red de comunicación inalámbrica.

El funcionamiento de un nodo de red se mide el tiempo mediante una señal de reloj propia que está generada por un temporizador (por lo general un temporizador local) a través de un cristal de cuarzo; el nodo de red también utiliza el temporizador para la medición de la duración de intervalos de tiempo. Como ya se ha explicado, una red se define como "asíncrona" si sus nodos no tienen un reloj sincronizado y por lo tanto no transmiten y reciben de forma sincronizada.

[0030] En la figura 1, se muestran sólo cuatro nodos vecinos de una red de comunicación inalámbrica asíncrona NTWK, es decir, los nodos N1, N2, N3 y N4; estos cuatro nodos están conectados por tres líneas con flechas que representan la comunicación entre ellos. Estas flechas corresponden a una situación específica en la que el nodo N1 actúa sólo como una fuente de paquetes de información y los nodos N2, N3 y N4 actúan sólo como destinos de estos paquetes de información, pero por supuesto, este no es el caso general y se presenta únicamente a modo de explicación de la presente invención.

[0031] En el ejemplo de la figura 1, los cuatro nodos N1, N2, N3 y N4 se alimentan con la batería "duty-cycling", es decir sus emisores receptores funcionan intermitentemente de acuerdo con una secuencia periódica (periodo fijo de funcionamiento de emisor receptor) de intervalos despiertos (cortos) e intervalos de latencia (largos).

[0032] Es de señalar que, para el propósito de la siguiente explicación de la presente invención, el N1 nodo que actúa como fuente de paquetes de información también podría tener un emisor receptor que funcionase de forma permanente y que se alimentara por ejemplo por red.

[0033] Cada nodo de red comprende una unidad de control y procesamiento (por ejemplo un microprocesador) asociado a una memoria que almacena un programa de ordenador adecuado que determina el funcionamiento del nodo incluyendo su comunicación. La aplicación de comunicación que es parte del programa de ordenador está organizada según capas jerárquicas; por lo tanto, cuando la aplicación de comunicación requiere la transmisión de por ejemplo, un preámbulo a una cierta capa, esta solicitud de transmisión es procesada por las capas inferiores y la transmisión física de este preámbulo puede ocurrir sólo con un retraso que no se conoce con precisión sino solamente estadísticamente (debido al hecho de que se llevan a cabo en paralelo muchas actividades diferentes en la unidad de control y procesamiento), y cuando por ejemplo, un acuse de recibo es recibido físicamente en un nodo, esta recepción es procesada primero por capas inferiores y luego se pasa a las capas superiores con un retraso que no se conoce con precisión sino solamente estadísticamente.

[0034] El protocolo MAC utilizado en la red NTWK se basa en un muestreo de preámbulo y preámbulos de longitud fija y acuses de recibo cortos.

[0035] En los protocolos de muestreo de preámbulos de longitud fija cortos, el receptor (es decir, el emisor receptor que actúa como receptor) se despierta periódicamente durante un corto tiempo con el fin de probar el medio de comunicación. El tiempo empleado por un nodo de red en el estado de latencia se llama "intervalo de espera" y el tiempo empleado por un nodo de red en estado de vigilia se llama "intervalo despierto", la suma de cualquier intervalo despierto y el intervalo de reposo siguiente se llama "el período de funcionamiento del emisor receptor" y generalmente es fijo y está predeterminado; todos ellos corresponden a la programación del funcionamiento del nodo de red.

[0036] En la figura 2 y en la figura 3, se utilizan los siguientes símbolos: RA = acceso aleatorio, PS = enviar preámbulo, PC = confirmar preámbulo, PR = preámbulo recibido, AS = enviar acuse de recibo, AC = confirmar acuse de recibo, AR = acuse de recibo recibido, DS = enviar datos, DC = confirmar datos, DR = datos recibidos.

[0037] Con referencia a la figura 2, cuando un nodo de red (Fuente) tiene un paquete de información a transmitir, se transmite físicamente por aire una serie de preámbulos cortos del paquete de información, que contienen cada uno un identificador del nodo de destino (Destino) (acción PS en la figura 2 y en la figura 3); de esta manera, muchos nodos de la red (al menos los nodos vecinos) reciben los preámbulos. Si un nodo que ha recibido un preámbulo no es el nodo de destino, vuelve a dormirse inmediatamente. Si un nodo que recibe un preámbulo es el nodo de destino, transmite un acuse de recibo (ACK) de vuelta al nodo fuente (como la acción en la figura 2 y la figura 3) antes de que otro preámbulo sea transmitido por el nodo fuente. Si no hay ningún nodo que responda al preámbulo dentro de un tiempo de espera (que puede corresponder al retardo máximo entre la petición de transmisión y la transmisión física de un acuse de recibo), el nodo transmite otro preámbulo más adelante (acción PS en la figura 2). Tras la recepción del acuse de recibo, el nodo fuente transmite la carga útil del paquete de información (datos) al nodo de destino (acción DS en la figura 2 y en la figura 3).

[0038] Es de señalar que en la figura 2, las pequeñas flechas que apuntan hacia abajo (ver PS, AS, DS) representan los mensajes enviados desde una capa superior al protocolo MAC y las pequeñas flechas que apuntan hacia arriba

(véase la PC, CA, CC, PR, AR, DR) representan los mensajes enviados desde el protocolo MAC a las capas superiores; por ejemplo las pequeñas flechas que apuntan hacia abajo pueden corresponder a solicitar transmitir datos relativos a, por ejemplo, un preámbulo o la carga útil y las pequeñas flechas que apuntan hacia arriba pueden corresponder a la confirmación de que los datos se transmiten realmente o una notificación de que los datos se recibieron; las cajas negras corresponden a los datos recibidos y transmitidos; cuando un cuadro de negro está presente en ambas líneas horizontales, significa que los datos se transmiten físicamente y se reciben físicamente (el retardo entre ellos es muy corto y no es relevante para la presente invención) y la flecha negra grande que une las dos cajas aclara cual es la entidad de transmisión y cual es la entidad receptora.

[0039] El muestreo de preámbulos de longitud fija cortos está basado en el acceso aleatorio RA, por lo que la duración de tiempo entre el envío de los datos a la capa MAC y transmitirlos por el aire es aleatorio. La duración del intervalo de acceso aleatorio depende del tráfico de datos y los parámetros del protocolo MAC y puede ser mucho mayor que la duración del intervalo de transmisión. Cuando un preámbulo se envía a la capa MAC, hay un retardo aleatorio, aparte de retrasos de software internos, hasta que se transmite realmente a través del aire. Cuando se recibe un preámbulo y se envía una confirmación de vuelta, hay otra vez un retraso aleatorio hasta que se transmite realmente a través del aire. Estos retrasos afectan a la elección de los valores de los parámetros del protocolo de comunicación y, en particular, a sus tiempos de espera. Puesto que el nodo de destino de un paquete de información debe recibir al menos un preámbulo durante un intervalo despierto, la duración del intervalo despierto determina la tasa de distribución exitosa de paquetes. Aquí se supone que la duración del intervalo despierto y el intervalo de latencia se predeterminan de manera que la red satisfaga ciertas limitaciones de retardo y fiabilidad.

[0040] Los acontecimientos descritos anteriormente se producen no sólo de acuerdo con la técnica anterior, sino que pueden producirse también de acuerdo con la presente invención típicamente al comienzo de una comunicación entre dos nodos de red o posteriormente, por ejemplo si se producen acontecimientos inesperados en cualquiera de los nodos, como se explicará con más detalle a continuación.

[0041] Una alternativa de técnica de muestreo preámbulo que no está excluido por la presente invención (incluso si no se prefiere) sería el uso de preámbulos de longitud variable.

[0042] La presente invención se refiere a un procedimiento para reducir el consumo de energía de los nodos de la red (especialmente los nodos que transmiten) mediante el aprendizaje del tiempo en que los nodos están despierto o, más precisamente, cuando los intervalos despiertos comienzan con el fin de evitar o al menos reducir la necesidad de transmitir múltiples preámbulos (cuando se utilizan preámbulos cortos de longitud fija) o la duración de los preámbulos (cuando se utilizan preámbulos de longitud variable).

[0043] En lo que sigue, se considerará la comunicación entre el nodo N1 que actúa como una fuente de información y el nodo N2 que actúa como un destino de información de acuerdo con la presente invención.

[0044] Con el fin de evitar que el nodo N1 transmita una pluralidad de preámbulos, el nodo N1 tiene que aprender cuando se despierta el nodo N2; antes de que esto suceda, el nodo N1 utiliza un enfoque tradicional basado en transmisiones de preámbulos de longitud fija múltiples. Este conocimiento puede lograrse sólo estadísticamente; por lo tanto, el conocimiento por el nodo N1 de la programación del nodo N2 nunca será perfecto; de todas formas, el nodo N1 puede aprender cada vez mejor a medida que pasa el tiempo tal como se explicará a continuación.

[0045] En la figura 3, se resaltan tres instantes de tiempo:

- el instante en que un intervalo despierto se inicia en el nodo destino por ejemplo N2, que está etiquetado como " t_w ",
- el instante en que un preámbulo se recibe completamente en el nodo destino por ejemplo N2, que está etiquetado como " $t_{p,rec}$ ",
- el instante en que un preámbulo se transmite completamente en el nodo fuente por ejemplo N1, que está etiquetado como " $t_{p,trans}$ ".

[0046] Para ser precisos, estos instantes de tiempo no corresponden a los instantes de tiempo cuando se producen físicamente los acontecimientos correspondientes, sino al momento en que estos acontecimientos son notificados por el protocolo MAC a las capas superiores de software; debido a esta razón, por ejemplo, " $t_{p,rec}$ " y " $t_{p,trans}$ " no se corresponden exactamente, aunque no difieran significativamente.

[0047] Es claro a partir de la figura 3 que, si el nodo N1 hubiese transmitido el primer preámbulo comenzando la transmisión exactamente en " T_w ", habría transmitido sólo un preámbulo; la duración del intervalo a partir de " T_w " y que termina en " $t_{p,rec}$ " es un desplazamiento de tiempo entre el nodo N1 y el nodo N2. Por lo tanto, una de las ideas básicas de la presente invención es transmitir información de desplazamiento temporal desde el nodo destino hasta el nodo fuente; esto puede hacerse, por ejemplo en respuesta a la recepción de un preámbulo por el nodo destino desde el nodo fuente.

[0048] Si el nodo fuente N1 conoce este desplazamiento con respecto a la programación de funcionamiento del nodo destino N2, y el periodo de la programación de funcionamiento del nodo N2, siempre que en el futuro N1 tenga una necesidad de transmitir al nodo N2 un paquete de información puede calcular el inicio del siguiente periodo despierto del emisor receptor de nodo N2 añadiendo el tiempo de desplazamiento de N2 a un múltiplo del periodo de N2 y determinar cuándo se debe iniciar la transmisión a través de su temporizador interno.

[0049] De todos modos, la frecuencia del reloj del nodo fuente N1 no es exactamente idéntica a la frecuencia del reloj del nodo destino N2; por lo tanto, los temporizadores de los dos nodos N1 y N2 no cuentan exactamente al mismo tiempo. De acuerdo con la técnica anterior se utilizaba un margen de seguridad fijo y predeterminado con el fin de evitar errores en el inicio de la transmisión desde el nodo fuente al nodo de destino. La presente invención enseña una solución más avanzada para resolver este problema: otra de las ideas básicas de la presente invención es transmitir información de deriva de reloj (en otras palabras, información relativa a la diferencia en las frecuencias de reloj) desde el nodo destino hasta el nodo fuente; esto se puede hacer por ejemplo en respuesta a la recepción de un preámbulo por el nodo destino desde el nodo fuente.

[0050] Al conocer o, mejor dicho, estimar el tiempo de desplazamiento de N2, el periodo de programación de funcionamiento de N2 y la deriva del reloj de N2, el nodo N1 es capaz de iniciar la transmisión de un paquete de información dirigido al nodo N2 con alta precisión y con el consiguiente ahorro de energía.

[0051] Vale la pena mencionar que, si las estimaciones por el nodo N1 fuesen completamente erróneas (debido por ejemplo a un cambio inesperado en el programa de funcionamiento del nodo N2), el nodo N1 no recibiría ninguna respuesta al preámbulo transmitido desde el nodo N2 y transmitiría el preámbulo de nuevo más tarde y el proceso de aprendizaje podría empezar de nuevo desde el principio, y de esta manera, no se perderían datos, sino sólo algo de tiempo. Es evidente que la enseñanza de la presente invención no disminuye la solidez en la comunicación.

[0052] Por lo tanto, según la presente invención, se proporciona un procedimiento para transmitir un paquete de información, que comprende una sección de preámbulo, desde un primer nodo (nodo fuente) a un segundo nodo (nodo destino) en una red de comunicaciones inalámbrica asíncrona, en el que dichos nodos reciben señales de reloj respectivas para sincronizar su funcionamiento, en el que al menos el segundo nodo comprende un emisor receptor de radio que tiene un funcionamiento intermitente, correspondiendo dicho funcionamiento intermitente a una secuencia periódica de intervalos despiertos e intervalos de latencia, en el que cuando dicho paquete de información está listo para ser transmitido por el primer nodo:

- el primer nodo estima un tiempo de inicio de un intervalo despierto del segundo nodo mediante al menos una transmisión previa de un paquete de información desde el primer nodo al segundo nodo,

- el primer nodo determina un tiempo de transmisión basado al menos en dicho tiempo de inicio estimado, y

- el primer nodo inicia la transmisión de dicho paquete de información al segundo nodo en dicho tiempo de transmisión determinado;

específicamente, el primer nodo estima dicho tiempo de inicio basado en al menos información de desplazamiento temporal e información de deriva de reloj transmitida desde el segundo nodo al primer nodo en el momento de dicha al menos una transmisión previa, por ejemplo en respuesta a la recepción de un preámbulo por el segundo nodo desde el primer nodo, en el que dicha información de desplazamiento temporal corresponde a una primera duración del intervalo entre la recepción de la sección de preámbulo del paquete de información transmitida desde dicho primer nodo a dicho segundo nodo y el inicio del intervalo despierto de dicho segundo nodo que precede a dicha recepción, siendo dicha primera duración medida por dicho segundo nodo, y en el que dicha información de deriva de reloj corresponde a una segunda duración de un segundo intervalo entre instantes despiertos consecutivos presentados por dicho segundo nodo, siendo dicho segundo intervalo conocido por dicho primer nodo y por dicho segundo nodo, siendo dicha segunda duración medida o estimada por dicho segundo nodo.

[0053] Vale la pena señalar que no es relevante si el primer nodo comprende un emisor receptor que tiene un funcionamiento continuo o intermitente incluso si normalmente también el primer nodo comprende un emisor receptor de radio que tiene un funcionamiento intermitente correspondiente a una secuencia periódica de intervalos despiertos y intervalos de latencia (es decir utiliza "ciclo de trabajo") y los periodos de programación de funcionamiento de los dos nodos son el mismo (o casi el mismo); en este último caso, el desplazamiento de tiempo puede considerarse como un desplazamiento entre la programación de funcionamiento de los dos nodos.

[0054] La presente invención proporciona otras características ventajosas que se pondrán en evidencia con la siguiente descripción de una realización de esta.

[0055] La figura 4 y la figura 5 muestran el diagrama de flujo de los procedimientos llevados a cabo respectivamente por el nodo fuente N1 de la red NTWK y el nodo destino N2 de la red NTWK cuando se intercambia un paquete de información.

[0056] Con referencia a la figura 4, cuando un nodo fuente por ejemplo N1 tiene que transmitir un paquete de información a un nodo destino por ejemplo N2, estima el próximo instante de tiempo de despertar (etapa 401 de la figura 4), transmite un preámbulo al nodo destino (etapa 402 de la figura 4), recibe la confirmación del preámbulo desde su capa MAC interna (etapa 403 de la figura 4), se comprueba si se recibe un acuse de recibo desde el nodo destino antes de que un tiempo de espera predeterminado haya expirado (etapa 404 de la figura 4); si el resultado de la verificación es SÍ estima el instante de tiempo de despertar más reciente (etapa 406 de la figura 4) y transmite la carga útil del paquete de información al nodo destino (etapa 407 de la figura 4); si el resultado de la verificación es NO comprueba si el tiempo duración desde el inicio de las transmisiones de preámbulo es menor que el tiempo máximo de latencia del nodo destino; si el resultado de la verificación es SÍ se transmite un nuevo preámbulo (el flujo continúa con la etapa 402); si el resultado de la verificación es NO un mensaje de "fallo en la transmisión" es emitido por su capa MAC interna (etapa 408 en la figura 4).

[0057] Con referencia a la figura 5, el nodo destino por ejemplo N2 repite un bucle doble; se duerme durante un "intervalo de latencia" (etapa 501 en la figura 5), se despierta y permanece despierto durante un "intervalo despierto" (etapa 502 en la figura 5), comprueba si ha recibido un preámbulo desde algún nodo fuente (etapa 503 en la figura 5); si el resultado de la verificación es NO vuelve a la latencia (el flujo continúa con la etapa 501); si el resultado de la verificación es SÍ transmite un acuse de recibo apropiado hasta el nodo fuente (etapa 504 en la figura 5), luego recibe la carga útil de un paquete de información desde el nodo fuente (etapa 505 en la figura 5) y finalmente se vuelve a dormir (el flujo continúa con la etapa 501).

[0058] Según esta realización, la primera cosa a hacer es estimar el inicio del intervalo despierto más reciente.

[0059] El diagrama de flujo de este proceso se muestra en la figura 6.

[0060] Sea el inicio del intervalo despierto más reciente del nodo destino N2 " t_w " (Figura 3); se detecta este instante de tiempo y se almacena por el nodo destino N2 (etapa 601 en la figura 6); el nodo destino N2 marca el instante en el que recibe un preámbulo en la capa por encima de MAC (etapa 602 en la figura 6), siendo este tiempo " $t_{p,rec}$ " (La figura 3); el nodo destino N2 calcula la diferencia de tiempo (o duración del tiempo intervalo) entre la recepción de este preámbulo y el inicio del intervalo despierto más reciente (etapa 603 en la figura 6), sea " $t_{d,rec}$ " esta diferencia que corresponde a $t_{p,rec} - t_w$; esta información se incluye en el nodo destino N2 en el acuse de recibo ACK (etapa 604 en la figura 6) que se transmite a continuación por el nodo destino N2 hasta el nodo fuente N1 (etapa 605 en la figura 6).

[0061] Ahora el objetivo es estimar TW en el lado del transmisor (o lado nodo fuente).

[0062] Cuando el emisor receptor del nodo fuente N1 transmite el preámbulo, al final de la transmisión, la capa de software del nodo fuente N1 sobre la MAC recibe la confirmación de transmisión exitosa del preámbulo, y a este instante de tiempo se le llama " $t_{p,trans}$ " (Figura 3); se detecta este instante de tiempo y es almacenado por el nodo fuente N1 (etapa 606 en la figura 6); $t_{p,trans}$ no es necesariamente igual a $t_{p,rec}$ debido al tiempo de procesamiento aleatorio en el sistema operativo tanto del nodo fuente como del nodo receptor incluso si no difieren significativamente.

[0063] Tras la recepción desde el nodo destino de la información $t_{d,rec}$ (etapa 607 en la figura 6) que está contenida en el acuse de recibo ACK enviado desde el nodo destino N2 hasta el nodo fuente N1, el nodo fuente N1 estima t_w como $t_{p,trans} - t_{d,rec}$ (etapa 608 en la figura 6).

$$\begin{aligned}
 \hat{t}_w &= t_{p,trans} - t_{d,rec} \\
 &= t_{p,trans} - (t_{p,rec} - t_w) \quad (\text{Formula 1}) \\
 &= t_w + \varepsilon
 \end{aligned}$$

(calculado en la etapa 608 de la figura 6) donde ε es una variable que representa la duración del intervalo de tiempo estocástica entre la recepción del paquete en la capa superior del nodo destino y nodo fuente; esta variable estocástica tiene un valor medio igual a E y varianza igual a σ^2 ; los parámetros de esta variable estocástica se pueden determinar mediante la realización de un número suficiente de pruebas en el nodo.

[0064] De acuerdo con esta realización, la segunda cosa que hay que hacer es estimar el instante de tiempo del inicio del siguiente intervalo despierto y la tercera cosa es determinar el instante de tiempo del inicio de la transmisión.

[0065] El diagrama de flujo de este proceso (es decir estimación y determinación) se muestra en la figura 10.

[0066] Esta estimación por el nodo fuente N1 requiere determinar un determinado nivel de confianza para el próximo intervalo despierto del nodo destino N2 basado en la historia de intervalos despiertos del nodo destino N2 y sus estimaciones por el nodo fuente N1 (ver párrafos anteriores).

5 [0067] El nodo fuente, por ejemplo N1, (y más en general cada nodo de la red NTKW que necesita transmitir paquetes de información a otros nodos de la red que comprenden un emisor receptor que tiene un funcionamiento intermitente) almacena información sobre la historia de estimaciones de instantes despiertos preferentemente para cada nodo vecino, por ejemplo N2 y N3 y N4, en una tabla de nodos vecinos tal como se muestra en la figura 7.

10 [0068] Cada entrada de nodo vecino de la tabla contiene información (dispuesta por ejemplo en una fila) relativa a las últimas "K" transmisiones "w" de un paquete de información desde el nodo fuente al nodo destino; esta información comprende estimaciones de instantes despiertos inmediatamente precedentes a cada transmisión

hecha por el nodo fuente (indicados como \hat{t}_w^j), medidas de la duración del intervalo entre instantes despiertos

consecutivos realizadas por el nodo destino (indicado como $t_w^i - t_w^{i+1}$), el periodo de programación de funcionamiento del nodo destino (indicado como P). El periodo se considera que es constante durante un largo tiempo (incluso para siempre) y por lo tanto sólo un valor se almacena para cada entrada; de todos modos, una tabla de este tipo ofrece la posibilidad de que el periodo pueda ser cambiado de vez en cuando por el nodo de destino por la razón que sea (por ejemplo bajo nivel de las baterías).

20 [0069] Preferentemente en cada transmisión "w" de un paquete de información desde el nodo fuente, por ejemplo N1, a un nodo destino, por ejemplo N2, (o al menos en algunas transmisiones), se incluye información apropiada en el de acuse de recibo ACK transmitido por el nodo destino hasta el nodo fuente en respuesta a la recepción de un preámbulo desde el nodo fuente; siempre se transmite al menos un preámbulo por el nodo fuente al nodo destino antes de transmitir la carga útil del paquete de información. Un ejemplo de esta información se muestra en la figura 8

25 y comprende $t_{d,rec}^1$, $t_w^1 - t_w^2$, P. El periodo P del nodo destino podría no estar contenido en el acuse de recibo ACK si estuviera fijado, estuviese predeterminado y fuera conocido por el nodo fuente; de todas formas, la información mostrada en la figura 8 proporciona la posibilidad de que el periodo pueda ser cambiado de vez en cuando por el nodo destino por cualquier motivo (por ejemplo bajo nivel de las baterías).

30 [0070] A partir de esta información de medidas contenida en el acuse de recibo ACK (indicada como

$t_{d,rec}^1$, $t_w^1 - t_w^2$), se realizan estimaciones (indicadas como \hat{t}_w^j) en el nodo fuente por ejemplo N1.

[0071] Algunas partes de información recibida desde el nodo destino por ejemplo N2 (indicada como

$t_w^i - t_w^{i+1}$

35 y P) también se almacenan como tales en la tabla en la fila apropiada (correspondiente al nodo destino) y también se almacenan algunas estimaciones (indicadas como) en la tabla en la fila adecuada (correspondiente a la fila de destino); solamente se consideran las últimas K transmisiones desde cualquier nodo destino por lo que los datos más antiguos se sustituirán por los datos más recientes.

40 [0072] Hay que destacar que podría incluirse información diferente pero equivalente en el acuse de recibo ACK y transmitida por el nodo destino e información diferente pero equivalente almacenada por el nodo fuente en la tabla.

[0073] Sea \hat{t}_w^j el instante de despertar estimado a partir de la j-ésima última transmisión de paquete de información

por el nodo fuente, por ejemplo N1. Por lo tanto, el acuse de recibo ACK siempre incluye $t_{d,rec}^1$, que entonces se

45 utilizará para estimar \hat{t}_w^1 en el nodo fuente. El acuse de recibo ACK también incluye la medida de la duración del tiempo intervalo entre el último instante de despertar y el valor del instante de despertar anterior en el cual un

paquete de información fue recibido por el nodo destino desde el nodo fuente, es decir $t_w^1 - t_w^2$

[0074] El diagrama de flujo del proceso utilizado por el nodo fuente por ejemplo N1 con la finalidad de actualizar la tabla (La figura 7) a partir de la información (La figura 8) contenida en un acuse de recibo se muestra en la figura 9.

[0075] Tras la recepción de el acuse de recibo ACK (etapa 901 en la figura 9) por el nodo fuente por ejemplo N1 desde el nodo destino por ejemplo N2, se actualizan los datos en la fila de la tabla correspondiente al nodo destino por ejemplo N2: el nodo fuente por ejemplo N1 sustituye primero cada entrada w_j por w_{j-1} para $j \in [2, K]$ (etapa 902 en la figura 9), luego estima (etapa 903 en la figura 9) empleando la fórmula 1 (ver el diagrama de flujo de la figura 6) y

finalmente inserta \hat{t}_w^1 y $t_w^1 - t_w^2$ (y P si se ha recibido) valores en la tabla de nodos vecinos (etapa 904 en la figura 9); en lugar de desplazar datos dentro de la fila de la tabla, se puede utilizar como alternativa un enfoque de desplazamiento de puntero para búferes circulares.

[0076] Hay dos tipos de errores que se deben tener en cuenta al procesar la historia de estimaciones de instantes de despertar:

error de desfase de tiempo y error de deriva de reloj.

[0077] El error de desfase de tiempo corresponde a la variable ε mencionada más arriba. El error asociado con la

estimación \hat{t}_w^j del instante de despertar "j" para cada entrada de vecino en la tabla se etiqueta como ε^j y

corresponde a $t_w^j = \hat{t}_w^j + \varepsilon^j$.

[0078] La deriva de reloj resulta de la diferencia en las frecuencias de reloj del nodo fuente y del nodo transmisor.

[0079] El valor del número K debe escogerse a partir de las transmisiones de paquete entre cualesquiera dos nodos y la variación de la frecuencia de reloj en el tiempo.

[0080] Cuando un nodo desea transmitir un paquete de información, estima el próximo instante de despertar del nodo destino (Figura 10).

[0081] A continuación, se supone que el periodo de programación de funcionamiento P (la suma del intervalo despierto y el siguiente intervalo de latencia) del nodo destino es constante al menos entre dos transmisiones de paquetes de información consecutivas desde el nodo fuente al nodo destino.

[0082] El número de períodos (indicado a continuación como "N") después del último instante de despertar es el número entero mayor que o igual a la cantidad calculada por la siguiente fórmula:

$$\frac{\text{curr_time} - \hat{t}_w^1}{P} \quad (\text{Formula 2})$$

(calculado en la etapa 1001 de la figura 10)

donde curr_time indica el tiempo en el que el paquete de información está listo para ser transmitido. Se estima entonces el siguiente instante de despertar mediante la siguiente fórmula:

$$\hat{t}_w^0 = \hat{t}_w^1 + \hat{C} NP \quad (\text{Formula 3})$$

(calculado en la etapa 1003 de la figura 10) donde C es la diferencia estimada entre las frecuencias de reloj del nodo destino y el nodo fuente; esta estimación se puede hacer a partir de los intervalos de tiempo entre instantes despiertos y comparando la duración de estos intervalos tales como se han medido en el nodo destino tal como sigue:

$$\hat{t}_w^i - \hat{t}_w^j = C(t_w^i - t_w^j) + \varepsilon^i - \varepsilon^j \text{ for } i, j \in [1, K]$$

[0083] C se puede estimar mediante la siguiente fórmula:

$$\hat{C} = \frac{1}{K-1} \sum_{i=1}^{K-1} \frac{\hat{t}_w^i - \hat{t}_w^{i+1}}{t_w^i - t_w^{i+1}} \quad (\text{Formula 4})$$

(calculado en la etapa 1002 de la figura 10)

5

[0084] El objetivo es encontrar un intervalo de confianza para \hat{t}_w^0 como $[t_w^0 - \alpha, t_w^0 + \alpha]$.

[0085] Si el intervalo de confianza para \hat{t}_w^1 es $[t_w^1 - \beta, t_w^1 + \beta]$ y el intervalo de confianza para C es

10 $[C - \psi, C + \Psi]$, entonces $\alpha = \beta + NP\Psi$.

[0086] Por ejemplo, suponiendo que ε_i para $i \in [1, K]$ tiene una distribución normal independiente $N(0, \sigma^2)$, entonces el

intervalo de confianza de 99% para \hat{t}_w^1 , es entonces $[t_w^1 - 2.576\sigma, t_w^1 + 2.576\sigma]$.

15 **[0087]** Por otra parte, suponiendo que $t_w^i - t_w^{i+1} = T$ para $i \in [1, K-1]$ y $T = NP$ para facilidad de cálculos, entonces el intervalo de confianza de 99% para C es por lo tanto,

$$\alpha = 2.576\sigma + 2.576 \frac{\sqrt{2}\sigma}{K-1} \quad (\text{Formula 5})$$

(calculado en la etapa 1002 de la figura 10)

20 **[0088]** Esto significa que si K se elige lo suficientemente grande, por ejemplo 10, el error de la deriva del reloj será compensado suficientemente de modo que podrá ignorarse en el cálculo del intervalo de confianza.

[0089] Puesto que \hat{t}_w^0 está en el intervalo $[t_w^0 - \alpha, t_w^0 + \alpha]$ con 0,99 de probabilidad, el nodo fuente debería

empezar a transmitir en el instante de tiempo $\hat{t}_w^0 - 2\alpha$ (es decir en un adelanto de tiempo 2α), por supuesto si el

25 tiempo real es menor que $\hat{t}_w^0 - 2\alpha$, con la finalidad de garantizar que el instante de despertar del nodo destino ocurre tras el inicio de transmisión por el nodo fuente.

30 **[0090]** El nodo fuente por ejemplo N1 verifica si el tiempo real ya es posterior que el instante de tiempo $\hat{t}_w^0 - 2\alpha$ (etapa 1005 en la figura 10); si SI la transmisión se inicia inmediatamente (etapa 1006 en la figura 10); si NO transmisión se inicia en este instante de tiempo (etapa 1006 en la figura 10); hay que destacar que en lugar de empezar la transmisión inmediatamente sería posible retrasar la transmisión por un período adicional P.

[0091] Si la desviación estándar σ es de 1msec, entonces el nodo debería empezar a transmitir aproximadamente 5msec antes del instante de despertar estimado con la finalidad de garantizar que el nodo destino se despierta

después de que la transmisión ha empezado con una probabilidad superior a 0.99, que es mucho menor que el tiempo de latencia del nodo de destino (el tiempo de latencia de un nodo en una red WPAN/WSN es típicamente del orden del segundo).

5 **[0092]** Como características conocidas de protocolos MAC para las redes WSN con ciclo de trabajo se pueden encontrar en los dos artículos mencionados al principio de la descripción y en relación con X-MAC y WiseMAC.

[0093] Como ya se ha dicho, de acuerdo con otro aspecto, la presente invención se refiere también a un nodo de red. La figura 11 muestra esquemáticamente la arquitectura de una realización de este nodo de red NN.

10

[0094] Este nodo comprende una batería BAT para suministrar potencia eléctrica a todos los circuitos del nodo NN.

[0095] Un emisor receptor RTX (conectado a una antena) permite la comunicación del nodo NN con otros nodos de la red.

15

[0096] El funcionamiento de ciclo de trabajo del nodo NN está controlado por una unidad de control y procesamiento CPU que está conectada al emisor receptor RTX; la unidad CPU también está conectada a una memoria MEM para datos y programas (que puede comprender una sección volátil y una sección no volátil).

20

[0097] La memoria MEM también comprende una tabla TAB como la que se muestra en la figura 7; la tabla TAB está adaptada para almacenar al menos información de desplazamiento temporal e información de deriva de reloj e información de periodo de programación de funcionamiento (o información derivada de esta) relativa a algunos o todos los nodos vecinos del nodo NN; el contenido de la tabla TAB es utilizado por la unidad CPU para permitir la transmisión de paquetes de información a otros nodos de la red sustancialmente sincronizados con sus programaciones de funcionamiento.

25

[0098] El nodo N comprende un sincronizador TM que recibe una señal de reloj CLK para sincronizar su funcionamiento y para medir el tiempo; la señal de reloj CLK se genera mediante un cristal de cuarzo X.

30

[0099] El sincronizador TM está conectado al emisor receptor RTX con la finalidad de determinar el funcionamiento de ciclo de trabajo del nodo NN.

[0100] La unidad CPU está conectada al sincronizador TM y a la memoria MEM (en particular la tabla TAB) con la finalidad de permitir la medida de la duración de intervalos de tiempo y la determinación de instantes de tiempo de transmisión de paquetes de información.

35

[0101] En particular la CPU está adaptada para determinar información de desplazamiento temporal e información de deriva de reloj con respecto a otro nodo de red cuando recibe paquetes de información desde este nodo de red. El emisor receptor RTX está adaptado para transmitir esta información determinada e información de periodo P al otro nodo de red.

40

[0102] La memoria M contiene un programa para que la unidad CPU implemente un procedimiento de transmisión de acuerdo con la presente invención cuando se ejecuta este programa.

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento para transmitir un paquete de información, que comprende una sección de preámbulo, desde un primer nodo (N1) a un segundo nodo (N2) en una red de comunicaciones inalámbrica asíncrona, en el que dichos nodos utilizan señales de reloj respectivas para sincronizar su funcionamiento, en el que al menos dicho segundo nodo (N2) comprende un emisor receptor de radio que tiene un funcionamiento intermitente, correspondiendo dicho funcionamiento intermitente a una secuencia periódica de intervalos despiertos y intervalos de latencia, en el que cuando dicho paquete de información está listo para ser transmitido por dicho primer nodo (N1):
- dicho primer nodo (N1) estima un tiempo de inicio de un intervalo despierto de dicho segundo nodo (N2) mediante al menos una transmisión previa de un paquete de información desde dicho primer nodo (N1) a dicho segundo nodo (N2),
 - dicho primer nodo (N1) determina un tiempo de transmisión basado al menos en dicho tiempo de inicio estimado, y
 - dicho primer nodo (N1) inicia la transmisión de dicho paquete de información a dicho segundo nodo (N2) en dicho tiempo de transmisión determinado;
- caracterizado por el hecho de que** dicho primer nodo (N1) estima dicho tiempo de inicio basado en al menos información de desplazamiento temporal e información de deriva de reloj transmitida desde dicho segundo nodo (N2) a dicho primer nodo (N1) en el momento de dicha al menos una transmisión previa, en el que dicha información de desplazamiento temporal corresponde a una primera duración del intervalo entre la recepción de la sección de preámbulo del paquete de información transmitida desde dicho primer nodo (N1) a dicho segundo nodo (N2) y el inicio del intervalo despierto de dicho segundo nodo (N2) que precede a dicha recepción, siendo dicha primera duración medida por dicho segundo nodo (N2), y en el que dicha información de deriva de reloj (C) corresponde a una segunda duración de un segundo intervalo entre instantes despiertos consecutivos presentados por dicho segundo nodo (N2), siendo dicho segundo intervalo conocido por dicho primer nodo (N1) y por dicho segundo nodo (N2), siendo dicha segunda duración medida o estimada por dicho segundo nodo (N2).
2. Procedimiento según la reivindicación 1, en el que, en los momentos de transmisiones de paquetes de información desde dicho primer nodo (N1) a dicho segundo nodo (N2), dicho primer nodo (N1) recibe desde dicho segundo nodo (N2) al menos dicha información de desplazamiento temporal y dicha información de deriva de reloj, y en el que dicho primer nodo (N1) estima dicho tiempo de inicio mediante un número de transmisiones previas de paquetes de información desde dicho primer nodo (N1) a dicho segundo nodo (N2), y basado al menos en dicha información de desplazamiento temporal e información de deriva de reloj recibidas.
3. Procedimiento según la reivindicación 1, en el que dicho tiempo de inicio se calcula añadiendo un tiempo relativo a una transmisión previa de un paquete de información a dicho segundo nodo (N2) a un error de desplazamiento de tiempo y al producto de un error de deriva de reloj (C) por el periodo (P) relativa a dicha secuencia periódica de dicho primer nodo (N2) y por un número entero (N), en el que dicho número entero (N) se escoge de modo que dicho tiempo de inicio es ulterior al tiempo actual.
4. Procedimiento según la reivindicación 1, en el que dicho tiempo de transmisión también está basado en un adelanto de tiempo que tiene en cuenta la confianza en las estimaciones.
5. Procedimiento según la reivindicación 2, en el que dicho primer nodo (N1) estima dicho tiempo de inicio mediante las transmisiones previas más recientes.
6. Procedimiento según la reivindicación 1, en el que, en los momentos de transmisiones de paquetes de información desde dicho primer nodo (N1) a dicho segundo nodo (N2), dicho primer nodo (N1) recibe desde dicho segundo nodo (N2) al menos dicha información de desplazamiento temporal y dicha información de deriva de reloj y almacena dicha información recibida o información derivada de esta.
7. Procedimiento según la reivindicación 1, en el que, en los momentos de transmisiones de paquetes de información desde dicho primer nodo (N1) a dicho segundo nodo (N2), dicho primer nodo (N1) recibe desde dicho segundo nodo (N2) y también almacena información de periodo (P) relativa a dicha secuencia periódica de dicho segundo nodo (N2), y en el que dicho primer nodo (N1) estima dicho tiempo de inicio basándose también en dicha información de periodo almacenada (P).
8. Procedimiento según la reivindicación 1, en el que dicha segunda duración también es medida o estimada por dicho primer nodo (N1), y en el que la deriva de reloj (C) es proporcional al ratio entre la medida o estimación de dicha segunda duración por dicho primer nodo (N1) y la medida o estimación de dicha segunda duración por dicho segundo nodo (N2).

9. Procedimiento según la reivindicación 8, en el que dicha deriva de reloj (C) es proporcional al valor promedio de ratios correspondiente a las segundas duraciones diferentes.

10. Procedimiento según la reivindicación 1, en el que dicha información de deriva de reloj corresponde a la duración del intervalo entre el inicio de un primer intervalo despierto de dicho segundo nodo (N2) durante el cual un paquete de información es recibido por dicho segundo nodo (N2) desde dicho primer nodo (N1) y el inicio de un segundo intervalo despierto de dicho segundo nodo (N2) durante el cual un paquete de información siguiente es recibido por dicho segundo nodo (N2) desde dicho primer nodo (N1).

11. Nodo de red (N1) para una red de comunicaciones inalámbrica asíncrona que comprende un sincronizador (TM) que genera una señal de reloj (CLK) para sincronizar su funcionamiento y para medir el tiempo, **caracterizado por el hecho de** que comprende un emisor receptor (RTX) adaptado para recibir desde otro nodo de red (N2) al menos información de desplazamiento temporal e información de deriva de reloj relativo a dicho otro nodo de red (N2), una memoria (MEM) adaptada para almacenar al menos dicha información recibida o información derivada de esta, y una unidad de control y procesamiento (CPU) conectada a dicho sincronizador (TM) y a dicha memoria (MEM) con la finalidad de determinar el tiempo de transmisión de paquetes de información a dicho otro nodo de red (N2) a partir de dicha información almacenada, en el que cualquier paquete de información comprende una sección de preámbulo, en el que dicha información de desplazamiento temporal corresponde a una primera duración del intervalo entre la recepción de la sección de preámbulo del paquete de información transmitida desde dicho primer nodo (N1) a dicho segundo nodo (N2) y el inicio del intervalo despierto de dicho segundo nodo (N2) que precede a dicha recepción, siendo dicha primera duración medida por dicho segundo nodo (N2), y en el que dicha información de deriva de reloj (C) corresponde a una segunda duración de un segundo intervalo entre instantes despiertos consecutivos presentados por dicho segundo nodo (N2), siendo dicho segundo intervalo conocido por dicho primer nodo (N1) y por dicho segundo nodo (N2), siendo dicha segunda duración medida o estimada por dicho segundo nodo (N2).

12. Nodo de red (N1) según la reivindicación 11, en el que dicha memoria (MEM) está adaptada para almacenar información de desplazamiento temporal e información de deriva de reloj e información de periodo (P) o información derivada de esta relativo a dicho otro nodo de red (N2) recibida desde dicho otro nodo de red (N2).

13. Nodo de red (N1) según la reivindicación 11 o la 12, en el que dicha memoria (TAB) está adaptada para almacenar información de sincronización relativa a uno o más nodos vecinos (N2, N3, N4) a utilizar para la transmisión de paquetes de información respectivamente a dichos uno o más nodos vecinos (N2, N3, N4).

14. Nodo de red (N1) según la reivindicación 11, en el que dicha unidad de control y procesamiento (CPU) está programada para llevar a cabo el procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 10.

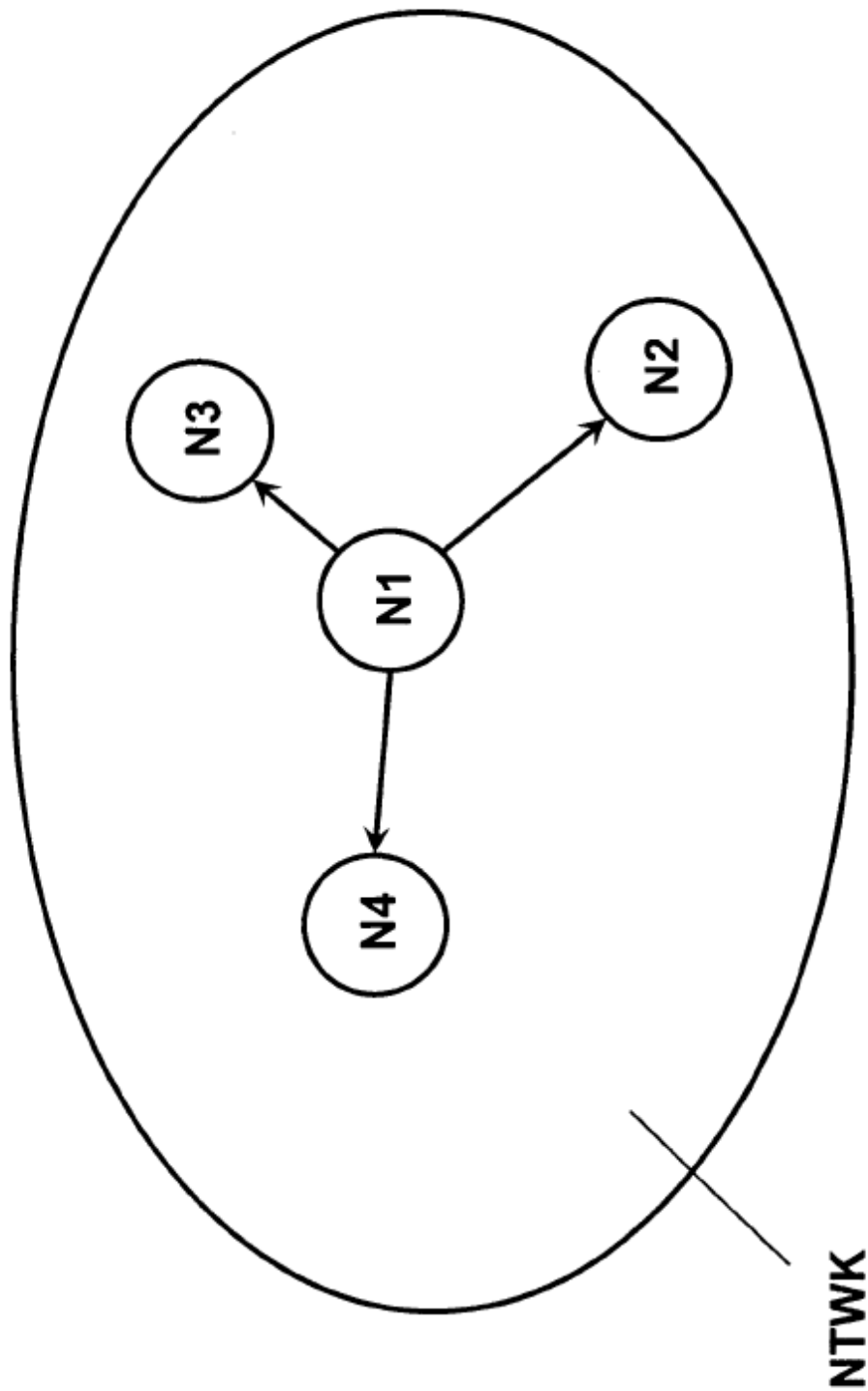


Fig.1

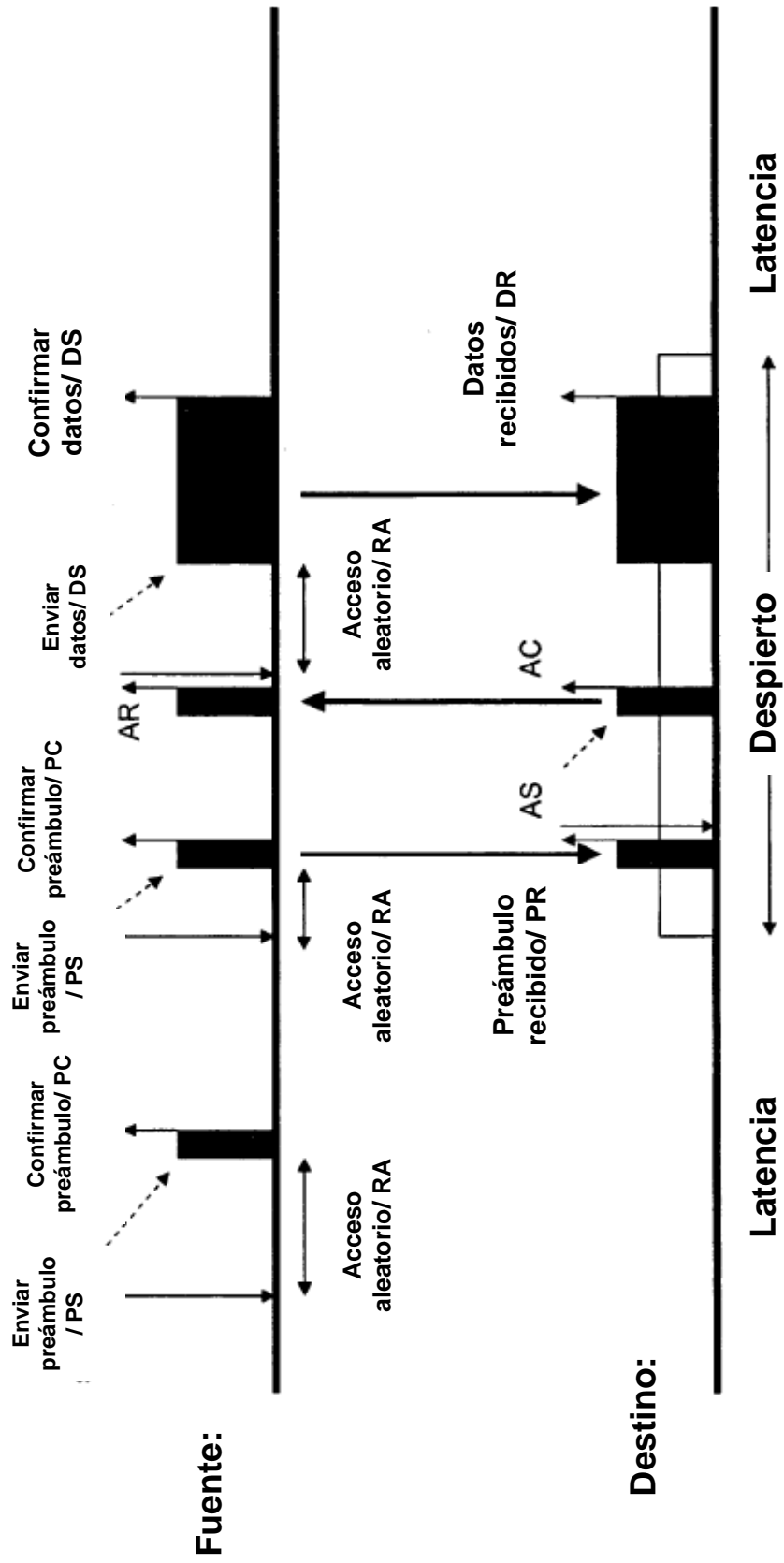


Fig.2

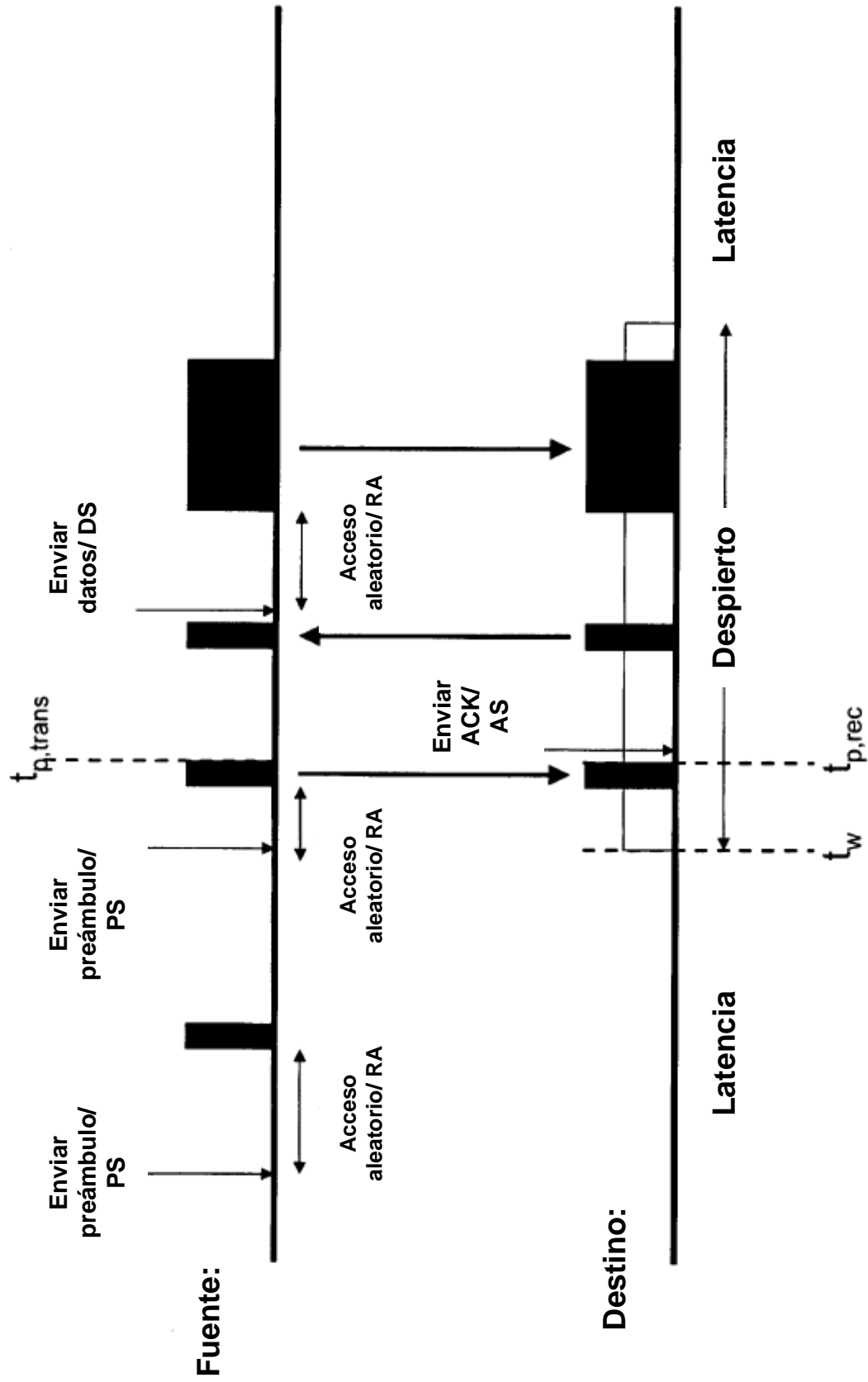


Fig.3

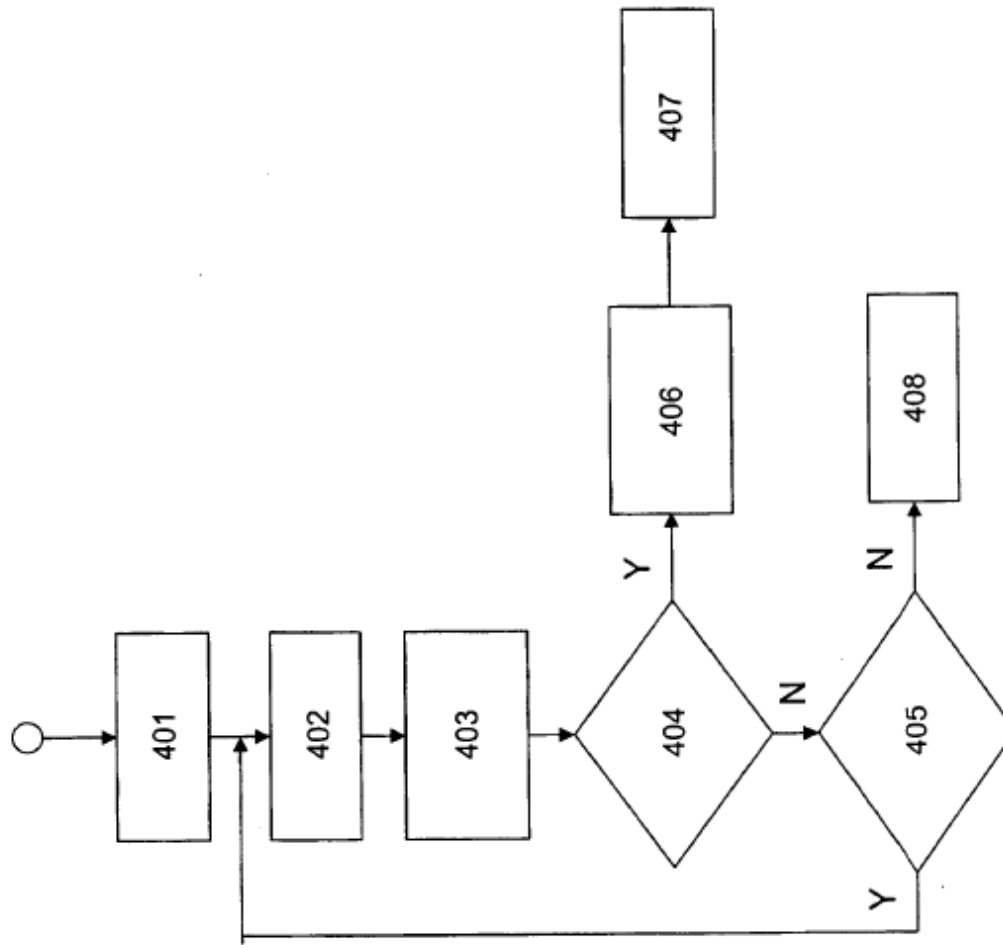


Fig.4

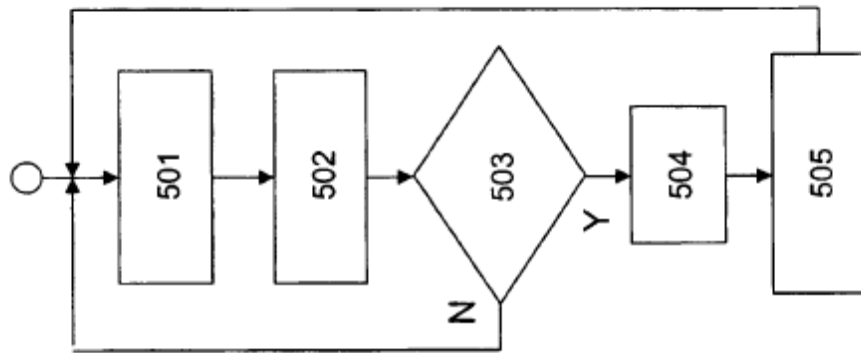


Fig.5

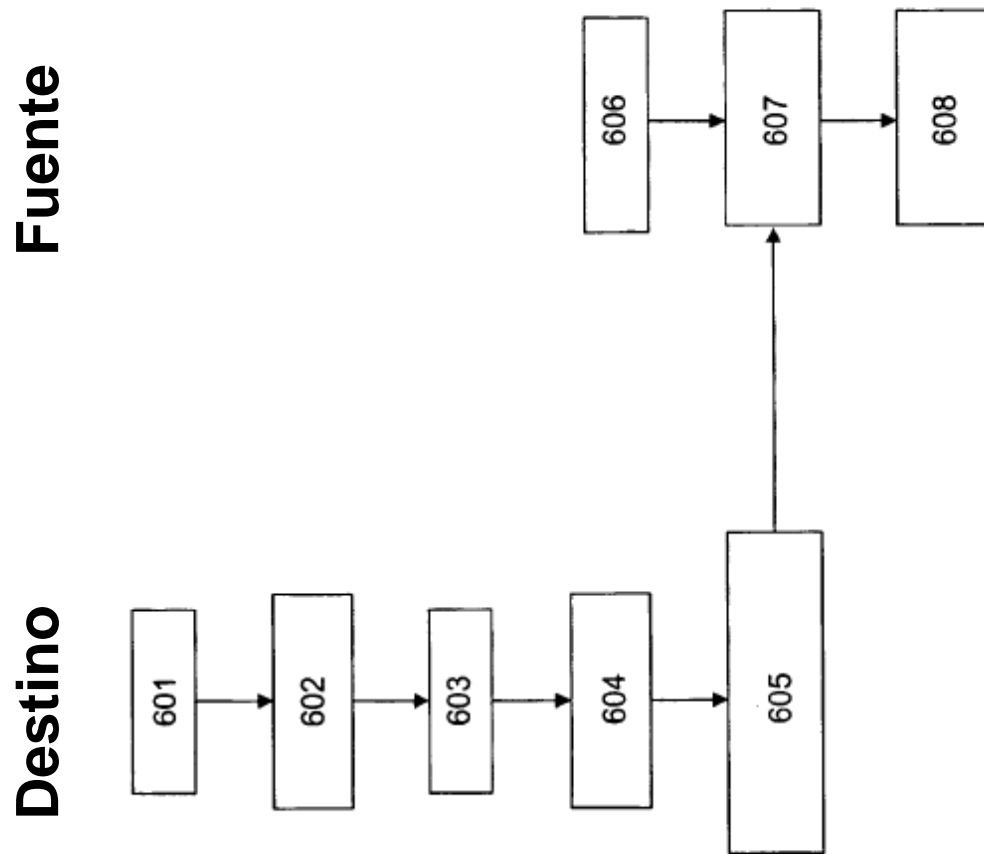


Fig.6

| ID Vecino | Periodo | W ₁ | | W ₂ | | | W _K |
|-------------|-------------|----------------|-----------------|----------------|-----------------|-------|--------------------------------------|
| ⋮ ⋮ ⋮ | ⋮ ⋮ ⋮ | | | | | | ⋮ ⋮ ⋮ |
| n | P | \hat{t}_w^1 | $t_w^1 - t_w^2$ | \hat{t}_w^2 | $t_w^2 - t_w^3$ | | \hat{t}_w^K $t_w^K - t_w^{K+1}$ |
| ⋮ ⋮ ⋮ | ⋮ ⋮ ⋮ | | | | | | ⋮ ⋮ ⋮ |

Fig.7

| | | |
|---------------|-----------------|---|
| $t_{d,rec}^1$ | $t_w^1 - t_w^2$ | P |
|---------------|-----------------|---|

Fig.8

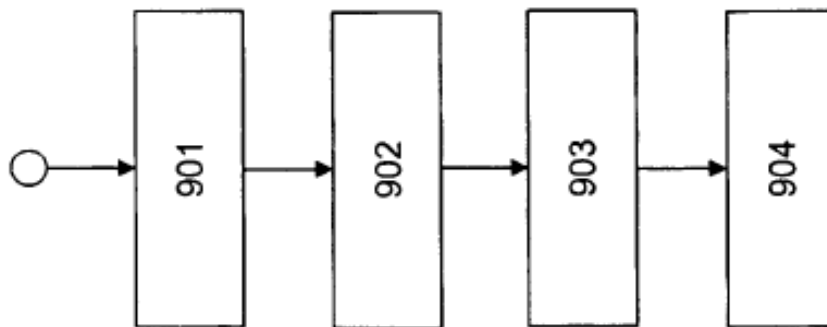
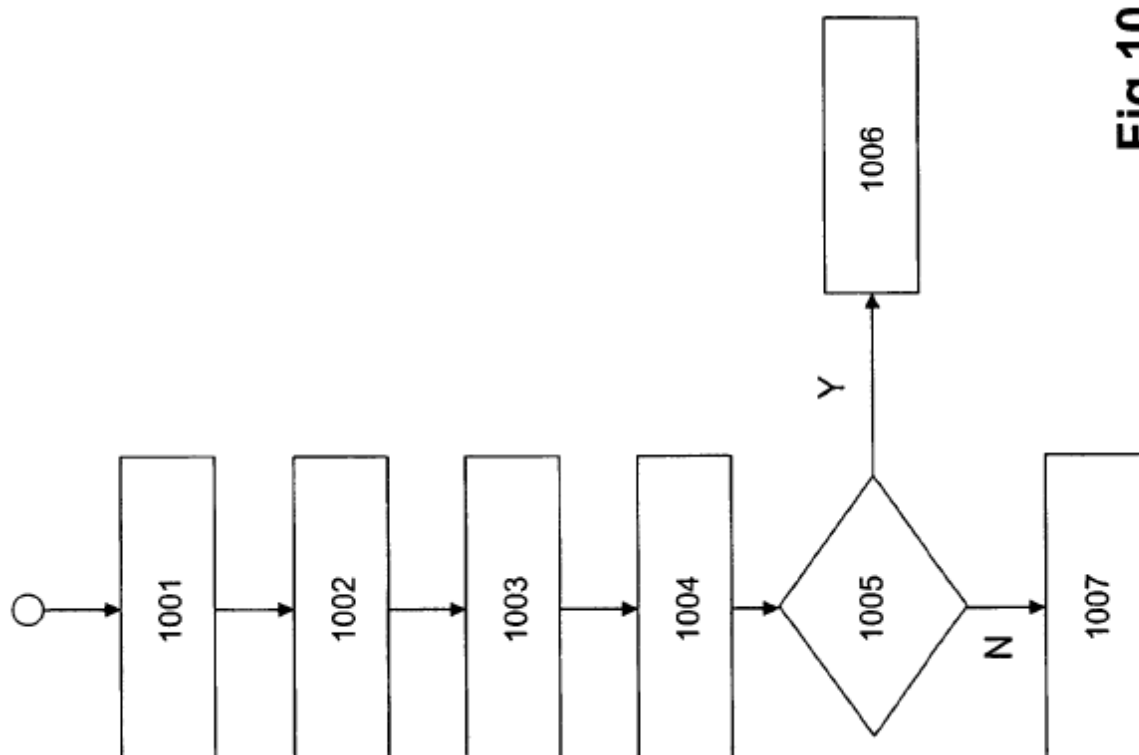


Fig.9

**Fig.10**

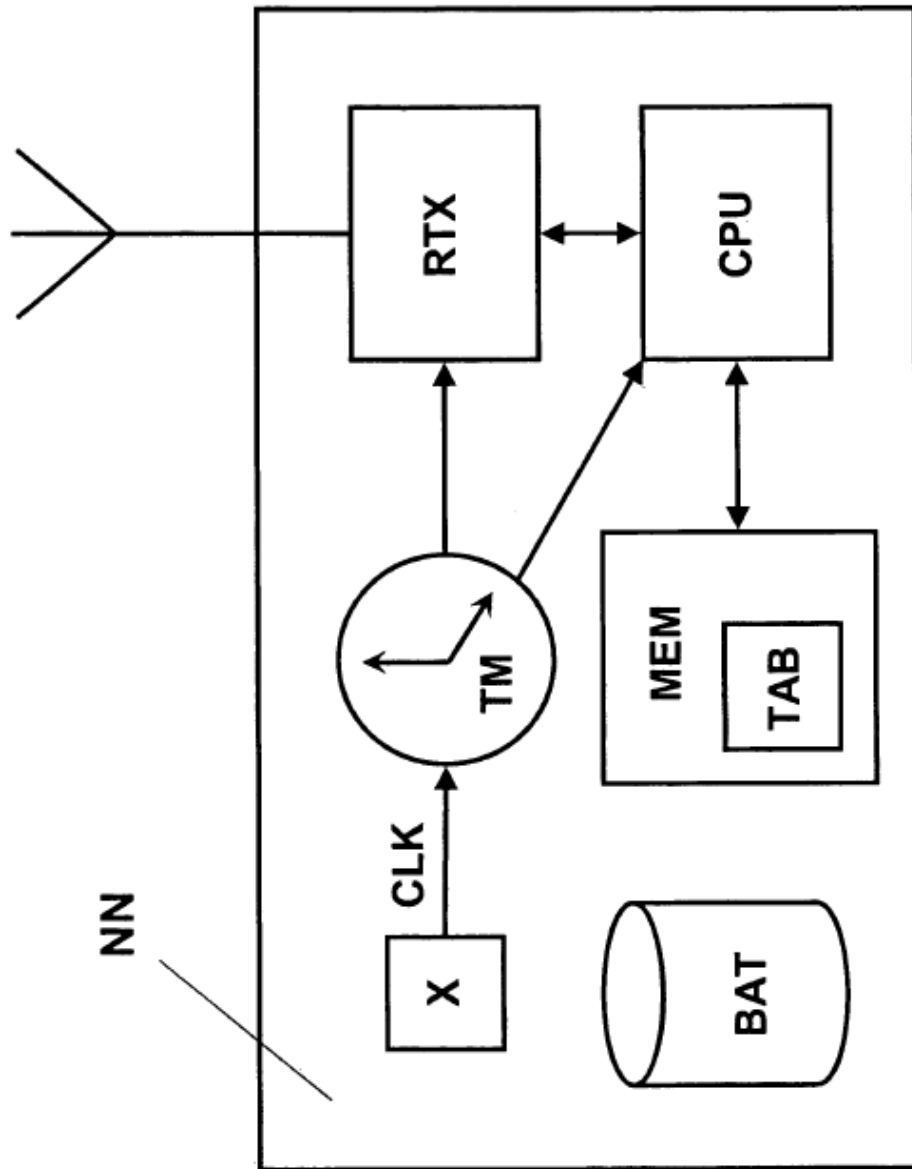


Fig.11