



(19)



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

(11) Número de publicación: **2 279 749**

(51) Int. Cl.:
H04B 1/707 (2006.01)

(12)

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

(86) Número de solicitud europea: **00400798 .5**

(86) Fecha de presentación : **23.03.2000**

(87) Número de publicación de la solicitud: **1041729**

(87) Fecha de publicación de la solicitud: **04.10.2000**

(54) Título: **Procedimiento de sincronización de ritmo de una señal digital.**

(30) Prioridad: **26.03.1999 FR 99 03820**

(45) Fecha de publicación de la mención BOPI:
01.09.2007

(45) Fecha de la publicación del folleto de la patente:
01.09.2007

(73) Titular/es: **FRANCE TELECOM**
6, place d'Alleray
75015 Paris, FR

(72) Inventor/es: **Du Reau, Philippe;**
Duponteil, Daniel y
Yuan-Wu, Julie

(74) Agente: **Lehmann Novo, María Isabel**

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 sincronización de ritmo de una señal digital.

5 **Campo técnico**

La presente invención tiene por objeto un procedimiento de sincronización de ritmo de una señal digital. Encuentra una aplicación en los sistemas de transmisión radioeléctrica, y más particularmente en los sistemas con acceso múltiple por división de código (AMDC en abreviatura o "CDMA" en inglés por "Code Distribution Multiple Access").

10 **Estado de la técnica anterior**

Se conocen los principios de una comunicación digital y la conexión existente entre señales de banda base y señales sobre frecuencia portadora y se describen, por ejemplo, en la obra de John G. PROAKIS titulada "Digital Communications", McGraw Hill International Editions.

El esquema de principio de una cadena de transmisión digital radioeléctrica se facilita en la figura 1.

En la cadena E de emisión, una señal 10A digital de origen que quiere transmitirse experimenta un tratamiento previo en un circuito 10. Este tratamiento previo puede comprender diversas operaciones de aleatorización, intercalado o codificación, que no se tratarán a continuación en la descripción. El circuito 10 suministra una secuencia 10B de símbolos digitales, denominados $a(k)$, en los que k designa el rango del símbolo. El símbolo $a(k)$ es en general un número complejo, representado por un par de valores reales. La frecuencia de los símbolos $a(k)$ se denomina H_s y el periodo correspondiente se denomina T_s , siendo $T_s = 1/H_s$.

A partir de la secuencia $a(k)$, un dispositivo 20 de edición elabora la señal analógica 20A de banda base que va a emitirse, denominada $b(t)$, en la que t designa la variable del tiempo. La señal $b(t)$ es una señal compleja representada por dos señales $b_1(t)$ y $b_0(t)$ reales en cuadratura. La señal 20A de banda base se transpone sobre una frecuencia portadora por un emisor 30 de radio. Este emisor comprende diferentes dispositivos: modulador, transposiciones de frecuencia, filtros, osciladores locales, amplificadores, antena, que no se tratarán a continuación. Sólo se supone que el emisor realiza una operación matemática lineal con respecto a la señal de banda base. La señal radioeléctrica 30A emitida se propaga hasta el receptor mientras experimenta varias clases de degradaciones.

En la cadena R de recepción, la señal radioeléctrica 40A recibida se trata en primer lugar por un receptor 40 de radio. Este receptor comprende diferentes dispositivos: antena, medios de transposición de frecuencia, filtros, osciladores locales, amplificadores, que no se tratarán a continuación. El receptor 40 suministra una señal analógica 40B de banda base, denominada $r(t)$. La señal $r(t)$ es una señal compleja, representada por dos señales $r_1(t)$ y $r_0(t)$ reales en cuadratura. A partir de la señal $r(t)$, un dispositivo 50 de detección elabora una serie de símbolos o muestras digitales 50A. La serie de muestras detectadas 50A constituye una imagen más o menos fiel de la secuencia de los símbolos $a(k)$. Las muestras detectadas 50A experimentan un tratamiento posterior en un circuito 60. Este tratamiento posterior comprende diversas operaciones que corresponden a las operaciones de tratamiento 10 previo de la cadena E de emisión y suministra la señal restituida 60A.

La elaboración de la serie de muestras detectadas 50A supone que se conoce exactamente el valor del periodo T_s del ritmo de la secuencia $a(k)$ y su fase con respecto a la señal $r(t)$ de banda base. Un dispositivo 70 de sincronización, gracias a las señales 50B que intercambia con el dispositivo 50 de detección, estima el ritmo de las señales recibidas y comunica el resultado de esta estimación al dispositivo de detección. Ciertos procedimientos de detección, denominados de desmodulación coherente, requieren igualmente el conocimiento de la fase de la frecuencia portadora de las señales radioeléctricas recibidas. Este conocimiento no se considera en el presente documento, pudiendo ser la desmodulación tanto coherente como no coherente. Se supone únicamente que la frecuencia de batido entre la frecuencia portadora utilizada en el receptor y la frecuencia portadora real es baja comparada con el ritmo H_s de los símbolos $a(k)$.

El recorte funcional que acaba de realizarse presenta una cierta arbitrariedad, y ciertas operaciones pueden ser complicadas. No obstante, se supone la presencia efectiva de la señal 40B de banda base recibida o de una representación equivalente de esta señal en forma de muestras digitales.

La presente invención se refiere esencialmente a la operación de sincronización puesta en práctica en la cadena de recepción.

La sincronización está relacionada con la edición de la señal $b(t)$ de banda base que va a emitirse y con las condiciones de detección correspondientes. En el presente documento se supone que la edición corresponde a la operación matemáticamente lineal:

$$b(t) = \sum_k a(k) \cdot h(t - kT_s)$$

en la que $\sum_k$ representa una suma sobre todos los símbolos $a(k)$ y en la que $h(t)$ designa una función real o compleja del tiempo t .

ES 2 279 749 T3

Un caso importante es aquel del ensanchamiento por secuencia directa en el que $h(t) = \sum_{n=0}^{N-1} \alpha(n) \cdot g(t - nT_c)$.

En esta expresión, $\alpha(n)$ es una familia de números reales o complejos previamente definida e independiente del valor de los símbolos $a(k)$ que quieren transmitirse. Los números $\alpha(n)$ se denominan “chips” según una terminología ampliamente utilizada en esta técnica. A cada rango k se le asocian N chips $\alpha(n)$ sucesivos numerados de $n=0$ a $n=N-1$. Los chips se suministran con un periodo $T_c = T_s/N$ y el ritmo correspondiente se denomina H_c . El número N de chips por símbolo se denomina factor de ensanchamiento. La función $g(t)$ es una función real o compleja independiente del rango k y del número n . Se denomina “función de edición” del chip. Los sistemas AMDC de transmisión de ensanchamiento por secuencia directa atribuyen a cada usuario una familia de chips $\alpha(n)$ particular, seleccionándose las diferentes familias de chips de manera que se reduzca la interferencia entre los usuarios.

Aunque la invención no se refiere directamente a la detección propiamente dicha, es necesario tenerla en cuenta. En el caso de un canal de transmisión que no deforma la señal sino que solamente la superpone una señal perturbadora independiente denominada ruido blanco gaussiano, la detección óptima se obtiene mediante el método de filtración adaptada o un método equivalente. Este método consiste en aplicar la señal $r(t)$ de banda base recibida a un filtro de función de transferencia $h^*(-t)$ para obtener una señal $s(t)$:

$$s(t) = h^*(-t) * r(t)$$

en la que el signo $*$ representa la operación de conjugación compleja cuando se coloca como exponente, o la operación de convolución cuando se coloca a media altura. Con total rigor, la filtración adaptada se realiza con ayuda de un filtro de función de transferencia $h^*(T_r - t)$, en el que T_r es un retardo fijo seleccionado de manera que la función $h^*(T_r - t)$ sea causal con respecto a la variable t . Este retardo corresponde al tiempo necesario para terminar el cálculo de $s(t)$ a partir de $r(t)$ para un instante t dado, pero no desempeña ninguna función en las explicaciones que siguen. Por motivos de simplicidad, se supone nulo a continuación. Los valores de la señal $s(t)$ en instantes convenientemente seleccionados constituyen la serie de muestras detectadas 50A o permitirán, con ayuda de operaciones complementarias, elaborar esta serie.

En el caso del ensanchamiento por secuencia directa, la filtración adaptada se descompone en una filtración adaptada a la forma del chip:

$$s_c(t) = g^*(-t) * r(t)$$

y una filtración adaptada a la secuencia de chips:

$$s(t) = \sum_{n=0}^{N-1} \alpha^*(n) \cdot s_c(t + nT_c)$$

en la que la función $s_c(t)$ se utiliza como intermediario de cálculo. La filtración adaptada a la secuencia de chips se denomina desensanchamiento.

Existen numerosos procedimientos de recuperación del ritmo a partir de la señal de salida de banda base del filtro adaptado. Algunos recurren a un enfoque global en el que la fase de la frecuencia portadora, la fase del ritmo y los símbolos se estiman conjuntamente. Desde el punto de vista práctico, a menudo es más sencillo estimar por separado la fase del ritmo. De manera general, la recuperación de ritmo necesita una derivación con respecto al tiempo de la señal de salida de banda base del filtro adaptado, con el fin de poner en evidencia las transmisiones de la señal. Entre los procedimientos posibles, algunos reúnen un diferenciador y un bucle de bloqueo de fase, otros realizan una operación no lineal seguida de una filtración y un detector de paso a cero de la señal, otros multiplican la señal por sí misma retardada.

En realidad, la señal radioeléctrica se propaga a menudo de manera compleja entre el emisor y el receptor siguiendo varios trayectos diferentes. Es el caso del canal móvil de radio terrestre. La señal recibida se presenta en el receptor en instantes desfasados. La detección óptima debe tener en cuenta la respuesta impulsional del canal. Desde el punto de vista matemático, la filtración adaptada a la respuesta impulsional del canal realiza una recombinación de todos los trayectos existentes. Esta operación se realiza parcialmente en los receptores clásicos de rastrillo (denominados “rake receiver”), que combinan un número ilimitado de trayectos. El número de dispositivos de recuperación de ritmo elemental es tan elevado como el número de trayectos de propagación tratados.

La patente US-A-5 778 022 describe un procedimiento de sincronización de ritmo de una señal digital según el preámbulo de la reivindicación 1.

El objetivo de la invención es poner en práctica un procedimiento común de recuperación de ritmo que puede hacer frente a un número muy elevado de trayectos.

Descripción de la invención

En el caso de una transmisión ideal sin ruido, la señal recibida $r(t)$ de banda base está relacionada con la señal $b(t)$ de banda base que va a emitirse por una expresión de la forma:

$$r(t) = A \cdot \exp(j\varphi) \cdot b(t - \tau)$$

en la que j designa la parte imaginaria de un número complejo ($j^2 = -1$) y $\exp$ la función exponencial, A y φ representan respectivamente la amplitud y la fase de la ganancia del canal de transmisión y τ el tiempo de propagación. Si no se conoce exactamente la frecuencia portadora, el término de fase φ evoluciona lentamente con el transcurso del tiempo; este término se anula o compensa en el caso de una desmodulación coherente. La señal $s(t)$ de salida del filtro adaptado es de la forma:

$$s(t) = A \cdot \exp(j\varphi) \cdot \sum_k a(k) \cdot Rh(t - \tau - kTs)$$

en la que $Rh(t)$ designa la función de autocorrelación temporal de $h(t)$. En general se selecciona la función $h(t)$ de manera que su correlación $Rh(t)$ verifica la condición dicha de Nyquist:

$$Rh(nTs) = 0$$

para cualquier número entero n diferente de cero, y toma valores bajos cuando la variable t toma valores superiores a algunos periodos del símbolo Ts . En estas condiciones, el valor de $s(t)$ en el instante $\tau + nTs$ es:

$$s(\tau + nTs) = A \cdot \exp(j\varphi) \cdot a(n) \cdot Rh(0)$$

y su valor en un instante $\theta + \tau + nTs$, en el que la cantidad θ es pequeña con respecto a Ts , es de aproximadamente:

$$s(\theta + \tau + nTs) \cong A \cdot \exp(j\varphi) \cdot a(n) \cdot Rh(\theta)$$

El cuadrado del módulo de la cantidad $s(\theta + \tau + nTs)$ es:

$$|s(\theta + \tau + nTs)|^2 \cong A^2 \cdot |a(n)|^2 \cdot |Rh(\theta)|^2$$

Si nos interesamos en el caso de una modulación digital mediante desplazamiento de fase, el valor de $|a(n)|^2$ es entonces independiente del símbolo transmitido y la cantidad $|s(\theta + \tau + nTs)|^2$ es aproximadamente proporcional a $|Rh(\theta)|^2$. La función de autocorrelación $Rh(t)$ toma su valor máximo en $t = 0$. Si la función $h(t)$ se selecciona adecuadamente, la función de correlación $Rh(t)$ presenta un máximo principal estrecho en las proximidades de $t = 0$ y eventualmente máximos secundarios muy atenuados cuando el valor de t aumenta. La observación de la posición de los máximos sucesivos de $|s(t)|^2$ permite entonces localizar los instantes $\tau + nTs$ y recuperar así el ritmo. A continuación, la cantidad $|s(t)|^2$ se denominará potencia de la señal tras la filtración adaptada.

En el caso de una transmisión de múltiples trayectos, no hay un tiempo de propagación único y, con la evolución de la potencia $|s(t)|^2$ en el transcurso del tiempo, se observan paquetes de máximos sucesivos situados en las proximidades de la posición media de cada símbolo $a(k)$. Cada máximo de correlación corresponde a un trayecto de propagación particular y cada paquete de máximos ocupa un intervalo de tiempo que corresponde a la diferencia entre el tiempo de propagación más largo y el tiempo más corto. Se denomina "ventana de trayectos" a un intervalo de tiempo de este tipo. El procedimiento de sincronización propuesto por la invención consiste en colocar una ventana sobre los paquetes de máximos de correlación. El centro de la ventana define entonces un tiempo τ de propagación medio y la posición de los diferentes trayectos se localiza con respecto a este tiempo.

La señal recibida $r(t)$ de banda base suministrada por el receptor de radio ha experimentado una filtración de paso bajo. Por tanto su espectro de frecuencia tiene un límite superior. Ocurre lo mismo para la función $h(t)$ de edición. Como consecuencia, la señal $s(t)$ también tiene un límite de frecuencia. Desde el punto de vista matemático, si $F_{\max}$ designa la mayor frecuencia contenida en los espectros de las funciones $r(t)$, $h(t)$ y $s(t)$, estas funciones se representan de manera exacta por sus muestras $r(mTe)$, $h(mTe)$, $s(mTe)$ tomadas en instantes mTe regularmente separados por una cantidad Te , denominada periodo de muestreo, a condición de que esta cantidad verifique la condición llamada de Shannon:

$$Te < \frac{1}{2 \cdot F_{\max}}$$

ES 2 279 749 T3

Por comodidad, puede seleccionarse aquí como periodo T_e de muestreo un submúltiplo del periodo T_s de símbolo:

$$T_e = \frac{T_s}{M}$$

en el que M es un número entero superior a 1 y compatible con la condición de Shannon. No es indispensable seleccionar T_e como un submúltiplo de T_s , pero es indispensable que la selección de M sea compatible con la condición de Shannon. Las muestras de $s(t)$ se expresan con ayuda de las muestras de $r(t)$ y $h(t)$:

$$s(mT_e) = T_e \cdot \sum_i h^*(iT_e) \cdot r[(i + m) \cdot T_e]$$

Por comodidad, se trabajará con la cantidad:

$$y(m) = s(mT_e)/T_e$$

ya que el factor T_e no desempeña ningún papel. Desde el punto de vista práctico, la función $h(t)$ toma valores bajos a partir de un cierto valor de t y puede limitarse la suma sobre i a un intervalo comprendido entre dos números enteros i_1 e i_2 relativos seleccionados en principio según la disminución de $h(t)$:

$$y(m) = \sum_{i=i_1}^{i_2} h^*(iT_e) \cdot r[(i + m)T_e]$$

Las muestras $y(m_0)$, $y(m_0+1)$, ..., $y(m_0+Ne-1)$ sucesivas, en las que m_0 es un rango particular y Ne un número entero positivo dado, se sitúan en una ventana de instante inicial m_0T_e y de longitud NeT_e . El número entero Ne se selecciona, por supuesto, en función de la dispersión de los trayectos. Conteniendo un periodo T_s de símbolo M periodos T_e de muestreo, puede representarse el rango m de muestreo con la forma:

$$m = M \cdot p + q$$

en la que p y q son números enteros relativos. Para un número entero q_0 dado, cuando q toma los valores de q_0 a q_0+Ne-1 y p toma todos los valores enteros posibles, se obtiene una ventana de longitud NeT_e que se reproduce con el periodo T_s .

El procedimiento de sincronización de la invención se basa, por una parte, en el cálculo de la potencia total en la ventana:

$$\sum_{m=m_0}^{m_0+Ne-1} |y(m)|^2$$

Y, por otra parte, en la distribución de las potencias $|y(m)|^2$ en el interior de la ventana.

La sincronización comprende dos modos: un modo de adquisición y un modo de seguimiento. En modo de adquisición, las M posiciones posibles, para $q = 0$ en $M-1$, de la ventana periódica $[Mp+q; Mp+q+Ne-1]$ se examinan sucesivamente y se calcula la potencia total, denominada $P(p,q)$ en cada ventana:

$$P(p, q) = \sum_{i=0}^{Ne-1} |y(Mp + q + i)|^2$$

Esta potencia es superior cuando hay trayectos en la ventana que cuando no los hay. En el momento en el que la potencia total toma su valor máximo, el rango q tiene un cierto valor q_0 y la ventana se para aproximadamente sobre el paquete de trayectos.

Entonces se pasa al modo de seguimiento. A cada rango i en el interior de la ventana se le asocia un peso $c(i)$ en función de su posición con respecto al centro de la ventana. Este peso es una función monótona (en el sentido amplio) del rango i . La suma de las potencias ponderadas:

$$\sum_{i=0}^{Ne-1} c(i) \cdot |y(Mp + q_0 + i)|^2$$

indica dónde se sitúa la potencia media del paquete de los trayectos con respecto al centro de la ventana y puede utilizarse para corregir el instante de muestreo y retroalimentar así la posición de la ventana sobre el paquete.

ES 2 279 749 T3

De manera precisa, la presente invención tiene por tanto como objeto un procedimiento de sincronización de ritmo de una señal digital, en el que se muestrea con un cierto periodo de muestreo una señal analógica procedente de la transmisión de una señal modulada con ayuda de una función de edición, se realiza una filtración adaptada de las muestras, estando esta filtración adaptada a la función de edición utilizada por la modulación y que conduce a muestras de correlación, caracterizándose este procedimiento por que:

- se calcula la potencia elemental de cada muestra de correlación;
 - se define una ventana deslizante de longitud N_e veces el periodo de muestreo, es decir $N_e T_e$, y que comienza en un cierto rango;
 - para cada ventana deslizante, se calcula la suma de las potencias elementales de las muestras de correlación situadas en esta ventana para un símbolo o para un número determinado de símbolos;
 - se determina la ventana para la que la suma de potencias es máxima;
 - la sincronización se define entonces por la posición de la ventana sincronizada sobre la ventana en la que la suma de potencias es máxima, y por el rango de cada muestra de correlación en el interior de esta ventana.
- Preferiblemente, se ponen en práctica dos tipos de operaciones y se procede en dos modos:
- a) en un primer tipo de operaciones, llamadas operaciones de exploración, se examinan sucesivamente todas las posiciones posibles de la ventana deslizante (ciclo llamado de exploración), y para cada posición, se calcula la potencia global (P_a) de las muestras ($y(m)$) de correlación contenidas en la ventana deslizante, se identifica la ventana para la que la potencia global es superior desde el comienzo del ciclo hasta la posición actual, y se memoriza el valor de esta potencia (P_{am}) superior,
 - b) en un segundo tipo de operaciones, llamadas operaciones de seguimiento, se tiene en cuenta solamente las muestras ($z(m)$) de correlación en las que el rango está en una ventana llamada ventana de seguimiento, se calcula por una parte la potencia global (P_b) de estas muestras, por otra parte una señal (d) que permite retroalimentar el centro de esta ventana sobre la posición media de las potencias elementales que contiene,
 - c) en un primer modo de funcionamiento, llamado modo de adquisición,
 - por una parte, cada vez que en una ventana deslizante aparece una potencia global (P_a) superior a la última potencia (P_{am}) memorizada desde el comienzo del ciclo de exploración hasta la posición actual, se asigna a la ventana de seguimiento la posición actual de la ventana deslizante y se lanza un procedimiento de verificación,
 - por otra parte, cuando se termina el ciclo de exploración, se pasa a un modo llamado de seguimiento,
 - d) en un segundo modo de funcionamiento, llamado de seguimiento,
 - por una parte, se inhibe el mecanismo de transferencia de la posición de la ventana deslizante a la ventana de seguimiento,
 - por otra parte, cuando falla la verificación permanente, se vuelve al modo de adquisición.

Breve descripción de los dibujos

- la figura 1, ya descrita, ilustra el principio de una cadena de transmisión digital;
- la figura 2 es un esquema de la detección y de la sincronización puestas en práctica según la invención;
- la figura 3 es un esquema funcional de la secuenciación;
- la figura 4 muestra diversos cronogramas que ilustran el muestreo, las ventanas deslizantes, las potencias en las ventanas y los rangos de seguimiento y de edición;
- la figura 5 ilustra la distribución de las potencias en exploración y en seguimiento;
- la figura 6 ilustra un modo particular de realización de desensanchamiento por un método de registros de desplazamiento;
- la figura 7 ilustra otro modo de realización del desensanchamiento por un método de acumulación;
- la figura 8 muestra la operación de filtración adaptada y de sincronización en el caso particular de una transmisión AMDC-MDP2.

Descripción detallada de modos particulares de realización

Antes de describir ciertos modos particulares de realización del procedimiento, resulta útil definir las diferentes fases del procedimiento:

Operaciones de exploración

Se trata del desplazamiento de la ventana deslizante, de los cálculos de potencia en esta ventana, de la búsqueda de la posición que proporciona la potencia máxima.

Operaciones de seguimiento

Se trata de los cálculos de potencias en la ventana de seguimiento (incluso si aún no se ha obtenido la sincronización), del cálculo de la señal de desviación de la posición de esta ventana, de la retroalimentación del ritmo de muestreo por esta señal de desviación.

Modo de adquisición

En este modo, en el transcurso de un ciclo de exploración, cada vez que una potencia en la ventana deslizante es superior a la mayor potencia registrada desde el comienzo del ciclo, se comunica la posición de la ventana deslizante a la ventana de seguimiento. En general la sincronización se obtiene antes del final del ciclo de exploración, pero solo se asegura haber pasado por la posición de potencia máxima al llegar al final del ciclo. Entonces se pasa al modo de seguimiento.

Modo de seguimiento

En este modo, se considera que la ventana de seguimiento está sincronizada. Por tanto, se prohíbe cualquier acción del dispositivo de exploración sobre la posición de la ventana de seguimiento. El procedimiento de verificación permanente es el que permite descubrir una eventual desincronización y decidir una vuelta al modo de adquisición.

Verificación

En modo de adquisición, la transferencia de posición de la ventana deslizante a la ventana de seguimiento desencadena un procedimiento de verificación. Este procedimiento vuelve a lanzarse en cada nueva transferencia. No se interrumpe por el paso del modo de adquisición al modo de seguimiento.

Sincronización con ahorro de material

En este caso, se utiliza un único conjunto de filtración adaptada que, en modo de adquisición, realiza las operaciones de exploración, después en modo de seguimiento, realiza las operaciones de seguimiento. Por tanto es necesario esperar al final del ciclo de exploración para transferir la posición de la ventana deslizante de potencia máxima a la ventana de seguimiento.

La figura 2 ilustra de manera general las operaciones de detección y de sincronización. Se trata de un esquema funcional en el que el recorte no corresponde necesariamente a un recorte material y en el que sólo aparecen los elementos necesarios para la comprensión de la invención. El dispositivo 50 de detección está compuesto por un dispositivo 51 de muestreo, por dos conjuntos 52 y 53 de filtración adaptada, y por un conjunto 54 de desmodulación y de tratamiento de los trayectos de propagación. El dispositivo 70 de sincronización está compuesto por un generador 71 de ritmo, un dispositivo 72 de exploración, un dispositivo 73 de seguimiento y un sistema 74 de secuenciación.

El generador 71 de ritmo suministra una señal 71A periódica, denominada de muestreo y designada por He, de periodo Te. A partir de la señal He y de la señal recibida r(t) de banda base, el dispositivo 51 de muestreo elabora la serie 51A de muestras r(mTe). El muestreo realizado es asíncrono con respecto al periodo Ts de símbolo puesto que la fase de muestreo es en principio cualquiera con respecto al comienzo de un periodo y la igualdad Ts = M·Te sólo se verifica de manera estricta cuando se adquiere la sincronización.

Al conducir las señales 72A enviadas por el dispositivo 72 de exploración, el conjunto 52 de filtración adaptada realiza el cálculo de las muestras y(m) según la relación ya mencionada:

$$y(m) = \sum_{i=i_1}^{i_2} h^*(iTe) \cdot r[i + m] \cdot Te]$$

Se trata de una filtración digital transversal clásica. Esta filtración puede obtenerse mediante correlación deslizante: las muestras r(mTe) transitan en un registro de desplazamiento con el ritmo He; a cada posición i del registro se le asocia el coeficiente fijo h*(iTe) que sirve para el cálculo del producto h*(iTe)·r[(i+m)·Te]; en cada periodo Te de muestreo, se proporciona una nueva muestra y(m). Numerosas variantes son posibles. Por ejemplo, la serie de los

ES 2 279 749 T3

coeficientes $h^*(iTe)$ desfila delante de la muestra $r(mTe)$ actual o bien se calculan en paralelo las muestras $y(m)$, $y(m+M)$, $y(m+2M)$, ... que corresponden a símbolos sucesivos.

5 A partir de las muestras $y(m)$, el dispositivo 72 de exploración calcula la potencia contenida en la ventana de longitud $NeTe$, es decir, desde $i=0$ hasta $i=Ne-1$:

$$P(p, q) = \sum_{i=0}^{Ne-1} |y(Mp + q + i)|^2$$

10 El canal de transmisión no es perfecto: contiene ruido y los trayectos múltiples de propagación no son estables. Por tanto, a menudo será necesario tomar una media de la potencia $P(p, q)$ sobre varios símbolos, lo que equivale a calcular la potencia denominada $Pa(p, q)$:

$$15 \quad Pa(p, q) = \sum_{w=0}^{Ns-1} P(p + w, q)$$

en la que Ns es el número de símbolos considerados.

20 Al conducir las señales 73A enviadas por el dispositivo 73 de seguimiento y las señales enviadas por el conjunto 52 de filtración adaptada en exploración, el conjunto 53 de filtración adaptada en seguimiento realiza el cálculo de una serie de muestras $z(m)$ según la misma relación que para las muestras $y(m)$:

$$25 \quad z(m) = \sum_{i=1}^{I^2} h^*(iTe) \cdot r[(i + m) \cdot Te]$$

30 La diferencia se debe a que las muestras $y(m)$ se calculan para las M posiciones relativas posibles de una ventana deslizante, mientras que las muestras $z(m)$ se calculan únicamente para las Ne posiciones situadas en el interior de la ventana sincronizada.

A partir de las muestras $z(m)$, el dispositivo 73 de seguimiento calcula la potencia, denominada Pu , contenida en la ventana sincronizada y la potencia denominada Pb sumada sobre varios símbolos:

$$35 \quad Pu(p, q) = \sum_{i=0}^{Ne-1} |z(Mp + q + i)|^2$$

$$40 \quad Pb(p, q) = \sum_{w=0}^{Ns-1} Pu(p + w, q)$$

Ya que los cálculos se realizan a partir de las muestras $z(m)$ situadas en la ventana sincronizada, los valores obtenidos para Pu y Pb pueden diferenciarse de los valores obtenidos para P y Pa .

45 El secuenciador 74 dirige las etapas de la sincronización del dispositivo 73 de seguimiento a partir del dispositivo 72 de exploración. La figura 3 ilustra el procedimiento de sincronización, por medio de dos diagramas de estados: secuenciación general 80 y secuenciación 90 de verificación. En estos diagramas, los rectángulos representan situaciones particulares de secuenciación, las flechas indican el sentido de la evolución y el texto que figura sobre las flechas recuerda las condiciones de evolución.

El bloque 80 de secuenciación general comprende un bloque 82 de inicialización, un bloque 84 que corresponde a un modo de adquisición y un bloque 86 que corresponde a un modo de seguimiento.

55 El bloque 90 de secuenciación de verificación comprende un bloque 92 de estado de reposo, un bloque 94 de verificación inicial y un bloque 96 de verificación permanente.

60 Tras una fase de inicialización (bloque 82) para permitir a los diferentes circuitos de los dispositivos 50 de detección y 70 de sincronización funcionar correctamente, el secuenciador pasa al modo de adquisición (bloque 84) y realiza un ciclo de exploración de las M posiciones relativas de la serie de los coeficientes $h^*(iTe)$ y de la serie de las muestras $r(mTe)$. Cada vez que un nuevo valor de la potencia Pa es superior a los anteriores, este valor se memoriza y la posición de la ventana deslizante se transfiere a la ventana del dispositivo de seguimiento. Así, al final del ciclo de exploración, el valor máximo de la potencia Pa se encuentra memorizado y el dispositivo de seguimiento se encuentra parado sobre la ventana de potencia máxima.

65 Teniendo en cuenta las imperfecciones del canal de transmisión, no se excluye que la potencia Pa pueda tomar momentáneamente un valor anormalmente elevado y que se obtenga una falsa adquisición. En cuanto se ha realizado una transferencia de posición de la ventana deslizante de exploración a la ventana de seguimiento, la potencia Pb obtenida

en la ventana de seguimiento se compara con la potencia P_a obtenida en la ventana de exploración. Desde el punto de vista práctico, puede adoptarse la siguiente estrategia de verificación en dos etapas denominadas, respectivamente, “verificación inicial” y “verificación permanente”, ilustrada por el bloque 90 de la figura 3. La verificación inicial (bloque 94) determina si la sincronización propuesta por el dispositivo de exploración es verosímil. La verificación permanente tiene por objetivo descubrir una eventual desincronización. Para la verificación inicial puede definirse un umbral relativo de potencia, denominado λ , número real comprendido entre 0 y 1. Designando por P_{am} el valor de potencia P_a memorizada en el momento de una transferencia particular de la posición de la ventana, se desea comparar la potencia P_b obtenida en seguimiento con el valor $\lambda \cdot P_{am}$. La verificación inicial consiste en examinar entre N_a valores sucesivos de la potencia P_b si al menos N_b de entre ellas son superiores a la cantidad $\lambda \cdot P_{am}$. Los números enteros N_a y N_b se seleccionan en función de las condiciones de transmisión. Se toman suficientemente pequeños para que el tiempo de verificación sea corto (por ejemplo $N_a=4$ y $N_b=2$). Si el examen es satisfactorio, se pasa a la verificación permanente (bloque 96). Ésta consiste en comparar la potencia P_b con una cantidad $\mu \cdot P_o$, en la que P_o designa la potencia P_b media esperada en el estado sincronizado, y μ designa un umbral, próximo a 1, seleccionado con mayor precisión que el umbral λ . Pero la comparación se realiza sobre un gran número N_v de valores sucesivos de P_b con el fin de reducir la influencia de las fluctuaciones: por ejemplo, pueden sumarse las desviaciones $P_b - \mu \cdot P_o$ obtenidas sobre N_v ventanas de seguimiento consecutivas y puede considerarse la sincronización como satisfactoria si la suma es positiva, luego reiniciar la operación con los N_v valores siguientes y repetirse así. Hay que observar que la verificación inicial y la verificación permanente pueden realizarse sin interrupción del procedimiento de exploración.

En modo de adquisición (bloque 84), la aparición de una potencia P_a superior a la última potencia P_{am} memorizada interrumpe cualquier procedimiento de verificación eventualmente en curso y lanza una nueva verificación inicial (bloque 94). Al final del ciclo de exploración, el secuenciador pasa del modo 84 de adquisición al modo 86 de seguimiento y permanece en él mientras no se manifieste un fallo de verificación y haya vuelto a poner en estado de reposo la secuenciación de la verificación. Entonces se retoma la secuenciación general 80 a partir de su estado de inicialización.

Cuando el secuenciador está en modo 86 de seguimiento, el conjunto 52 de filtración adaptada en exploración y el dispositivo 72 de exploración se hacen disponibles. De manera opcional, el dispositivo de exploración puede seguir buscando qué posición de la ventana deslizante de exploración proporciona la potencia máxima. Entonces puede guardarse esta posición al final de cada ciclo de exploración. En caso de pérdida de sincronización, esta posición guardada puede utilizarse para lanzar una nueva adquisición rápida.

Teniendo en cuenta que los conjuntos de filtración adaptada en exploración y en seguimiento realizan el mismo tipo de cálculos, puede utilizarse un único conjunto de filtración adaptada que funciona en primer lugar en exploración y luego en seguimiento. Con respecto a la secuenciación anterior, solo es necesario esperar al final del ciclo de exploración para emprender la verificación, y el tiempo medio de adquisición es más largo. No obstante, el volumen de los cálculos realizados en el conjunto de filtración en exploración es a menudo de un orden de magnitud superior al volumen correspondiente de los cálculos del conjunto de filtración en seguimiento de manera que la supresión de un conjunto de filtración no aporta un ahorro material significativo.

La sincronización, obtenida según la secuenciación que acaba de describirse, se mantiene retroalimentando el generador 71 de ritmo de muestreo (figura 2) sobre la desviación de la ventana de seguimiento con respecto a la posición considerada ideal. La señal de desviación, denominada d , se obtiene a partir de las muestras $z(m)$ de salida del conjunto 53 de filtración en seguimiento como suma de las potencias ponderadas en la ventana, según lo que se ha mencionado anteriormente:

$$d = \sum_{i=0}^{N_e-1} c(i) \cdot |z(Mp + q_0 + i)|^2$$

en la que q_0 es el rango transmitido al conjunto 53 de filtración en seguimiento durante la adquisición.

Hay diferentes elecciones posibles para los pesos $c(i)$. Por ejemplo, puede tomarse $c(i)=1$ en la mitad superior de la ventana y $c(i)=-1$ en la mitad inferior, lo que equivale a tomar como señal d la diferencia de las potencias en cada semiventana. También puede seleccionarse como posición ideal de la ventana el baricentro de las potencias, es decir, seleccionar pesos $c(i)$ de la forma:

$$c(i) = i - \frac{N_e - 1}{2}$$

en la que $\frac{N_e - 1}{2}$ caracteriza el centro de la ventana. Esta última selección conducirá en general a una sincronización más estable que la anterior. Por supuesto, también son posibles selecciones intermedias, en las que el peso $c(i)$ crece, en valor absoluto, cuando el rango i se desvía del centro de la ventana.

El generador 71 de ritmo puede retroalimentarse, por ejemplo, con la ayuda de un bucle de bloqueo de fase de segundo orden que utiliza la señal d como señal de error.

A partir de la serie de muestras $z(m)$ de la filtración adaptada en seguimiento y de las indicaciones 73B del ritmo Hs de símbolo suministradas por el dispositivo de seguimiento (por ejemplo, en forma de primer rango de muestreo de la ventana de seguimiento), el conjunto 54 de desmodulación y tratamiento de trayectos elabora la serie de símbolos o muestras detectadas 50A. Este conjunto 54 realizará en general una desmodulación elemental sobre cada trayecto de la ventana y recombinará los resultados.

Por comodidad, en todo lo anterior, se ha descrito la sincronización en el caso en el que la función $h(t)$ de edición no depende del rango k del símbolo. En ciertos casos importantes, la edición depende del rango k del símbolo, pero no del propio símbolo $a(k)$. Si las funciones de edición sucesivas se seleccionan convenientemente, pueden dar como resultado ciertas ventajas: posibilidad de hacer frente a trayectos múltiples de propagación que se dispersan sobre una longitud superior al periodo de símbolo, reducir o uniformizar los efectos de interferencia.

Aquí se considera el caso de una secuencia de K funciones de edición sucesivas, denominadas $h(k,t)$ para $k=0$ a $K-1$, que se repiten periódicamente cada K símbolos. Entonces la sincronización no sólo consiste en localizar las muestras en un periodo de símbolo, sino también los símbolos recibidos con respecto a la secuencia de las funciones $h(k,t)$. Entonces la señal $s(t)$ de salida del filtro adaptado debe sustituirse por K señales $s(k,t)$. El conjunto de filtración adaptada en exploración suministra K series de muestras $y(k,m)$ para $k=0$ a $K-1$:

$$y(k, m) = \sum_{i=1}^{i_2} h^*(k, iT_e) \cdot r[(i + m) \cdot T_e]$$

Se supone que las funciones $h(k,t)$ de edición se seleccionan convenientemente para que sus funciones de inter-correlación tomen valores bajos. Para un valor dado de k , los productos $h^*(k, iT_e) \cdot r[(i+m)T_e]$ que tienen una contribución importante en el cálculo de $y(k,m)$ son entonces aquellos que corresponden al paso de los símbolos de rango $k+wK$, en el que w designa un número entero relativo cualquiera. La potencia de las muestras $y(k,m)$ en una ventana deslizante aún puede utilizarse para buscar la sincronización.

Quando el número K supera algunas unidades, se vuelve difícil utilizar K filtros adaptados que funcionen simultáneamente. Entonces puede adoptarse la siguiente estrategia. Se supone que el filtro adaptado en exploración está compuesto por un registro de desplazamiento de longitud i_2-i_1-1 , en el que transitan las muestras $r(mT_e)$, y por un registro de longitud i_2-i_1+1 que contiene los coeficientes $h^*(k, iT_e)$. En el instante $(i_2+m_0) \cdot T_e$, en el que m_0 es un número entero particular, el registro de desplazamiento contiene las muestras $r[(i_1+m_0) \cdot T_e]$, $r[(i_1+m_0+1) \cdot T_e]$, ..., $r[(i_2+m_0) \cdot T_e]$ y se carga el registro de los coeficientes con los valores $h^*(k_0, iT_e)$ para un número entero k_0 particular. Durante un periodo de símbolo, el filtro adaptado suministra las muestras $y(k_0, m_0)$, $y(k_0, m_0+1)$, ..., $y(k_0, m_0+w)$, ..., $y(k_0, m_0+M-1)$ sucesivas. Entonces se carga el registro de los coeficientes con los coeficientes $h^*(k_0+1, iT_e)$. El filtro adaptado suministra las muestras $y(k_0+1, m_0+M)$, ..., $y(k_0+1, m_0+M+w)$, ..., $y(k_0+1, m_0+2M-1)$. A continuación se sigue la operación con los coeficientes $h^*(k_0+2, iT_e)$ y se repite hasta el juego de coeficientes $h^*(k_0+N_s-1, iT_e)$ para el que el filtro adaptado proporciona las muestras $y(k_0+N_s-1, m_0+N_s \cdot M-N_s)$, ..., $y(k_0+N_s-1, m_0+N_s \cdot M-N_s+w)$, ..., $y(k_0+N_s-1, m_0+N_s \cdot M-1)$. El examen se realiza así sobre N_s símbolos consecutivos. Las N_s muestras $y(k_0, m_0)$, $y(k_0+1, m_0+M)$, ..., $y(k_0+N_s-1, m_0+N_s \cdot M-N_s)$ corresponden a una posición relativa dada de la secuencia $r(mT_e)$ con respecto a funciones de edición. Sea p_0 la designación de esta posición. Las N_s muestras $y(k_0, m_0+w)$, $y(k_0+1, m_0+M+w)$, ..., $y(k_0+N_s-1, m_0+N_s \cdot M-N_s+w)$ corresponden a una posición relativa, desplazada w periodos de muestreo con respecto a la posición relativa anterior. La designación de esta posición es p_0+w . La potencia correspondiente a esta posición es:

$$\sum_{i=0}^{N_s-1} |y(k_0 + i, m_0 + iM + w)|^2$$

Se obtienen así las potencias correspondientes a las M posiciones $p_0, p_0+1, \dots, p_0+M-1$. Para obtener las M posiciones siguientes, hay que seguir la operación de carga del registro de los coeficientes, no con los coeficientes $h^*(k_0+N_s, iT_e)$, ya que se obtendrían de nuevo las posiciones p_0 a p_0+M-1 , sino con los coeficientes $h^*(k_0+N_s-1, iT_e)$, es decir el juego de coeficientes utilizado para el examen del símbolo anterior.

En lo que acaba de exponerse, resulta evidente, por una parte, que el rango k que figura en $h(k,t)$ e $y(k,m)$ debe evaluarse como módulo de K , por otra parte que las potencias $|y(k,m)|^2$ elementales deben someterse a memorizaciones apropiadas con el fin de utilizarse en el momento conveniente en los cálculos.

El examen de las $K \cdot M$ posiciones relativas posibles, tal como acaba de describirse, puede requerir un tiempo bastante largo. Para reducir este tiempo, pueden utilizarse N_s filtros asociados de la manera siguiente. Si se numeran estos filtros de 0 a N_s-1 , la posición de entrada del registro de desplazamiento del filtro N_s-1 se conecta a la muestra $r(mT_e)$ actual; la posición M -ésima del registro de desplazamiento de cada filtro (excepto el filtro 0) está conectada a la posición de entrada del registro de desplazamiento del filtro anterior. El registro de los coeficientes del filtro 0 se carga con los coeficientes $h^*(k_0, iT_e)$, en los que k_0 es arbitrario (por ejemplo, $k_0=0$), y cada filtro se carga con los coeficientes $h^*(k_0+w, iT_e)$ correspondiente a su número w . En cada periodo de muestreo, las N_s salidas de estos filtros suministran N_s muestras correspondientes a una misma posición relativa de la secuencia $r(mT_e)$ recibida y de la secuencia de las funciones de edición. Al cabo de $K \cdot M$ periodos de muestreo, se han examinado todas las posiciones relativas, sin que haya sido necesario cambiar los coeficientes.

El filtro adaptado en seguimiento también puede estar compuesto por un registro de desplazamiento en el que transitan las muestras $r(mT_e)$ y un registro que contiene los coeficientes $h^*(k, iT_e)$. Cuando el dispositivo de exploración transfiere la posición de la ventana al dispositivo de seguimiento, le comunica el rango k de la función de edición con el que debe comenzar a trabajar el filtro adaptado en seguimiento. El registro de los coeficientes del filtro adaptado en seguimiento se carga con los coeficientes $h^*(k, iT_e)$ correspondientes. Después, en cada periodo de símbolo, se renueva el contenido del registro de los coeficientes con la secuencia de coeficientes $h^*(k, iT_e)$ en la que el rango k se aumenta en una unidad (módulo K). Al contrario que el conjunto de filtración adaptada en exploración, la complejidad del conjunto de filtración adaptada en seguimiento no se ve afectada por el número K . Su complejidad sólo depende de la longitud $N \cdot T_e$ de la ventana de seguimiento. Si el número de muestras N_e en la ventana es al menos dos veces más pequeño que el número de muestras M en un periodo de símbolo, puede reducirse la longitud del registro de desplazamiento del filtro adaptado en seguimiento y calcularse las muestras $z(k, m)$ en varias etapas. Por el contrario, si el número N_e es superior a M , es necesario utilizar varios filtros para obtener simultáneamente las muestras correspondientes a símbolos diferentes.

La invención que acaba de describirse se aplica, en particular, a las comunicaciones por ensanchamiento por secuencia directa. En ese caso, las funciones $h(k, t)$ de edición son de la forma:

$$h(k, t) = \sum_{n=0}^{N-1} \alpha(k, n) \cdot g(t - nT_c)$$

Esta expresión generaliza la expresión de $h(t)$ facilitada anteriormente. La familia de chips $\alpha(k, n)$ está compuesta por K secuencias sucesivas (de $k=0$ a $K-1$) de N chips $a(k, n)$. A menudo resulta de la combinación de una secuencia de ensanchamiento propiamente dicha de N chips y de una secuencia, llamada de aleatorización, de $K \cdot N$ chips. Aquí no se considera la manera de producir una secuencia ensanchada aleatorizada de este tipo y no desempeña ningún papel en la invención. Únicamente se supone que la familia de $K \cdot N$ chips tiene propiedades de autocorrelación convenientes. Se supone que la función $g(t)$ de edición del chip es común a todos los chips.

Tal como se indicó anteriormente, la filtración adaptada se descompone en una filtración adaptada a la forma del chip y un desensanchamiento por la secuencia de chips. La filtración adaptada a la forma del chip es común a la filtración en exploración y a la filtración adaptada en seguimiento. Se suministra en los instantes mT_e de las muestras $x(m)$:

$$x(m) = \sum_i g^*(iT_e) \cdot r[(i + m) \cdot T_e]$$

Por tanto se obtiene la serie de muestras $x(m)$ mediante una filtración digital clásica en el ritmo de muestreo H_e . Para realizar cómodamente el desensanchamiento por la secuencia de chips, es necesario tomar el periodo de muestreo como submúltiplo del periodo de chip:

$$T_e = \frac{T_c}{N_c}$$

en la que N_c es un número entero superior a 1. Entonces el número M de muestras por símbolo es: $M = N \cdot N_c$.

A partir de la serie de muestras $x(m)$, el desensanchamiento suministra las secuencias de muestras $y(k, m)$:

$$y(k, m) = \sum_{n=0}^{N-1} \alpha^*(k, n) \cdot x(m + nN_c)$$

Esta expresión es similar a la que facilita $y(k, m)$ a partir de los coeficientes $h^*(iT_e)$ y de las muestras $r(mT_e)$, pero conduce a una realización material más sencilla que la del caso general. Como en el caso general, las muestras $y(k, m)$ pueden obtenerse mediante correlación deslizante: las muestras $x(m)$ transitan en un registro de desplazamiento con el ritmo H_e ; a cada posición nN_c , múltiplo de N_c , del registro se le asocia el chip $\alpha^*(k, n)$ que sirve para el cálculo del producto $\alpha^*(k, n) \cdot x(m + nN_c)$; en cada periodo T_e , se suministra una nueva muestra $y(k, m)$. Debe observarse que la longitud del registro de desplazamiento es de $M = N \cdot N_c$, mientras que el número de productos es de solamente N . Los chips $\alpha^*(k, n)$ deben renovarse en las mismas condiciones que los coeficientes $h^*(k, iT_e)$ del caso general.

A partir de la misma serie de muestras $x(m)$ procedentes de la filtración adaptada a la forma del chip, el desensanchamiento en seguimiento suministra la serie de muestras:

$$z(k, m) = \sum_{n=0}^{N-1} \alpha^*(k, n) \cdot x(m + nN_c)$$

evolucionando el rango k según las indicaciones proporcionadas por el dispositivo de seguimiento durante la fase de seguimiento. Como en el caso general, la complejidad del desensanchamiento en seguimiento sólo depende de la longitud N_e de la ventana.

Las figuras 4 y 5 ilustran el procedimiento de la invención en situaciones simplificadas. Corresponden al caso de una transmisión con una función $h(k,t)$ de edición que depende del rango k del símbolo, tal como se ha explicado anteriormente. Para mayor simplicidad, se supone que sólo había dos trayectos de propagación y que los cálculos de potencias se refieren a un solo símbolo (las potencias $P(p,q)$ y $P_a(p,q)$ son entonces idénticas). Para este ejemplo, se supone un funcionamiento con ocho muestras por símbolo ($M=8$) y una ventana de longitud de 5 muestras ($N_e=5$).

En la figura 4, la línea (a) representa las potencias de las muestras, la línea (b) las posiciones sucesivas de la ventana deslizante de longitud N_e , la línea (c) la potencia $P(p,q)$ en cada ventana, la línea (d) el rango m de seguimiento y la línea (e) el rango de edición.

La figura 4 muestra cómo se realiza el paso de informaciones de la ventana deslizante de exploración a la ventana de seguimiento. El correlador de desensanchamiento en exploración utiliza la secuencia de chips de referencia que corresponde a un rango k_0 seleccionado arbitrariamente, pero fijo durante toda la transmisión. La secuencia de las muestras $r(mTe)$ desfila en el correlador; por tanto se examinan sucesivamente todas las posiciones relativas posibles de la secuencia de referencia y de la secuencia recibida y se observan sobre la evolución de la potencia $|y(k_0,m)|^2$ elemental dos máximos correspondientes a la coincidencia con los trayectos de propagación. La potencia $P(p,q)$ obtenida mediante la suma de las potencias $|y(k_0,m)|^2$ es constante y baja fuera de la zona de estos trayectos de propagación; su valor aumenta cuando se tiene en cuenta el primer trayecto, pasa por una meseta, luego aumenta de nuevo cuando se tiene en cuenta el segundo trayecto; a continuación, disminuye por mesetas cuando la ventana deslizante abandona el primer trayecto y luego el segundo. Cada vez que aumenta la potencia $P(p,q)$, se transmiten un rango k de símbolo y un rango m de muestra al dispositivo de seguimiento (flechas dirigidas hacia abajo entre las líneas (c) y (d)). El rango k no es otro que k_0 , ya que es el rango de la secuencia de referencia utilizada en exploración para el que acaba de producirse el aumento de potencia. Al numerarse las muestras de $m=0$ a $m=N_e-1$ en la ventana de seguimiento, el rango m transmitido es igual a N_e-1 dado que puede suponerse en una primera aproximación que la ventana se cierra poco después del paso de la potencia por un máximo. El tener en cuenta el primer máximo de potencia desencadena una sincronización que no es buena; el paso del segundo máximo produce la sincronización definitiva. Fuera de las transferencias, se incrementa el rango m de seguimiento en 1, módulo M (línea (d)) y se incrementa el rango k cada vez que el rango m pasa por el valor 0 (línea (e)).

En la figura 5, la línea (a) representa la potencia de las muestras en exploración, la línea (b) el rango k , la línea (c) el rango m , la línea (d) el lugar de la ventana de seguimiento, la línea (e) la potencia de las muestras de seguimiento, la línea (f) la desviación con respecto a la posición deseada.

Tras la aparición de los dos máximos que corresponden a los trayectos de propagación (línea (a)), la potencia $|y(k_0,m)|^2$ ya no presenta máximos importantes en los periodos de símbolos que siguen, hasta que la función de edición utilizada en la emisión sea de nuevo la que corresponde al rango k_0 . Por el contrario, la potencia $|z(k_0,m)|^2$ (línea (e)) se obtiene a partir de una secuencia de referencia en la que el rango k evoluciona en cada periodo de símbolo de la misma manera que el rango de emisión; por tanto se observan los dos máximos de correlación en cada periodo de símbolo. A partir de la distribución de las potencias $|z(k_0,m)|^2$ en la ventana, el dispositivo de seguimiento calcula una posición ideal, por ejemplo el baricentro de las potencias. La desviación entre esta posición y el centro de la ventana se utiliza para controlar el generador de ritmo. Así, la desviación representada en la figura 5 (línea (f)) ralentiza el generador de ritmo con el fin de que el centro de la ventana se desplace hacia el baricentro de las potencias.

Hay que observar que, en la mayoría de los casos, las muestras son magnitudes complejas con una parte real y una parte imaginaria. Así, la serie de muestras $r(mTe)$ está compuesta por dos series reales $r_1(mTe)$ y $r_0(mTe)$: $r(mTe) = r_1(mTe) + j \cdot r_0(mTe)$. La familia de los coeficientes $h^*(iTe)$ está compuesta por dos familias reales $h_1(iTe)$ y $h_0(iTe)$: $h^*(iTe) = h_1(iTe) - j \cdot h_0(iTe)$. Entonces se facilitan las partes real $y_1(m)$ e imaginaria $y_0(m)$ de la muestra $y(m)$ por las expresiones:

$$y_1(m) = \sum_{i=1}^{i_2} \{h_1(iTe) \cdot r_1[(i+m) \cdot Te] + h_0(iTe) \cdot r_0[(i+m) \cdot Te]\}$$

$$y_0(m) = \sum_{i=1}^{i_2} \{h_1(iTe) \cdot r_0[(i+m) \cdot Te] - h_0(iTe) \cdot r_1[(i+m) \cdot Te]\}$$

en las que los cálculos se realizan sobre números reales. Igualmente, se facilita la potencia de la muestra $y(m)$ por la suma de las potencias de las partes reales e imaginarias:

$$[y(m)]^2 = [y_1(m)]^2 + [y_0(m)]^2$$

El desarrollo de las expresiones que hacen intervenir las partes real $\alpha_1(n)$ e imaginaria $\alpha_0(n)$ del chip $\alpha(n)$, o de las partes real $z_1(m)$ e imaginaria $z_0(m)$ de la muestra $z(m)$ es similar e inmediato. En ciertos casos particulares, cualquiera de estos elementos puede reducirse a una serie de valores reales, simplificándose entonces los cálculos.

La realización de las filtraciones adaptadas se ha presentado en forma de registros de desplazamiento en los que transitan las muestras y de registros de coeficientes o de chips. Otros métodos equivalentes son posibles; en particular, pueden utilizarse generadores de coeficientes $h^*(iTe)$ o de chips $\alpha(n)$ que proporcionan el coeficiente o el chip correspondiente a la muestra $r(mTe)$ o $x(m)$ actual, y obtenerse la muestra $y(m)$ o $z(m)$ mediante acumulación de productos del tipo $h^*(iTe) \cdot r[(i+m) \cdot Te]$ o $\alpha^*(n) \cdot x(m+nNc)$.

A título ilustrativo de la descripción anterior, puede describirse el caso de una transmisión AMDC con ensanchamiento por secuencia directa y modulación por desplazamiento de fase en 2 estados (MDP2). Los símbolos $a(k)$ son símbolos binarios que toman los valores +1 y -1. Los elementos binarios se denominan a menudo 0 y 1, pero se trata en este caso de los valores +1 y -1, que se asocian respectivamente a estos elementos binarios 0 y 1 en vista de la modulación. Se ensancha cada símbolo $a(k)$ por una secuencia de N chips $\alpha(k,n)$, para $n=0$ a $N-1$, dependiendo del rango k pero independiente del valor del símbolo $a(k)$. Cada chip $\alpha(k,n)$ toma uno de los valores +1 o -1. La familia de chips $\alpha(k,n)$ comprende K secuencias sucesivas de N chips, numeradas de $k=0$ a $k=K-1$. Por tanto se reutiliza para todos los K símbolos. La función $g(t)$ de edición del chip es una función que toma valores reales. Se selecciona de manera que la frecuencia máxima contenida en su espectro sea inferior al ritmo H_c del chip, lo que es habitualmente el caso. Basta, por ejemplo, con tomar una función que respete la condición de Nyquist con respecto al ritmo del chip y cuyo espectro tenga la forma clásica de un "coseno alzado" de factor de redondeo inferior a 1. Teniendo en cuenta esta propiedad, la señal recibida $r(t)$ de banda base puede muestrearse con el ritmo $2 \cdot H_c$, es decir, 2 muestras por chip, sin pérdida de información (a condición de que la filtración analógica que precede al muestreo suprima las frecuencias superiores a H_c).

A partir de la serie de muestras $r(mTe)$ de banda base, la filtración adaptada a la forma del chip elabora una serie de muestras $x(m)$ en las que las partes real $x_I(m)$ e imaginaria $x_Q(m)$ se facilitan por expresiones sencillas que se realizan sobre números reales:

$$x_I(m) = \sum_i g(iTe) \cdot r_I[(i+m) \cdot Te]$$

$$x_Q(m) = \sum_i g(iTe) \cdot r_Q[(i+m) \cdot Te]$$

Las partes real $y_I(k,m)$ e imaginaria $y_Q(k,m)$ de la secuencia $y(k,m)$ suministrada por el dispositivo de desensanchamiento se facilitan por las expresiones siguientes, que se realizan sobre números reales:

$$y_I(k,m) = \sum_{n=0}^{N-1} \alpha(k,n) \cdot x_I(m+2n)$$

$$y_Q(k,m) = \sum_{n=0}^{N-1} \alpha(k,n) \cdot x_Q(m+2n)$$

Así, parece que, para un rango m de muestreo dado, el cálculo de y_I e y_Q sólo utiliza una muestra de cada dos de la serie $x(m)$. Se obtienen conclusiones similares para la serie de muestras $z(m)$.

Se deduce el esquema de filtración adaptada y de sincronización de la figura 8. La señal 51A recibida muestreada se compone de dos series de muestras $r_I(mTe)$ y $r_Q(mTe)$ reales que se aplican respectivamente a dos filtros 50I y 50Q separados de igual función $g(-t)$ de transferencia que realizan la filtración adaptada al chip. Estos filtros constituyen una parte común de la filtración 52 adaptada en exploración y de la filtración 53 adaptada en seguimiento. Las series de muestras $x_I(m)$ y $x_Q(m)$ procedentes de estos filtros se aplican simultáneamente a los dispositivos de desensanchamiento en exploración y en seguimiento. El desensanchamiento en exploración está compuesto por un generador 520 de chips y dos circuitos 52I y 52Q de desensanchamiento propiamente dicho que funcionan respectivamente sobre las series de muestras $x_I(m)$ y $x_Q(m)$ para suministrar las series de muestras $y_I(m)$ e $y_Q(m)$. De igual manera, el desensanchamiento en seguimiento está compuesto por un generador 530 de chips y dos circuitos 53I y 53Q de desensanchamiento que funcionan sobre las series $x_I(m)$ y $x_Q(m)$ para suministrar las series de muestras $z_I(m)$ y $z_Q(m)$. El dispositivo 72 de exploración funciona según las indicaciones generales facilitadas anteriormente: calcula las potencias elementales $[y_I(m)]^2 + [y_Q(m)]^2$, luego la potencia en una ventana deslizante y busca la posición relativa de la secuencia de chips con respecto a las muestras recibidas que conducen a la potencia máxima en la ventana. Igualmente, el dispositivo 73 de seguimiento funciona según el caso general: calcula las potencias elementales $[z_I(m)]^2 + [z_Q(m)]^2$, la potencia en una ventana de seguimiento, la señal d de retroalimentación del generador 71 de ritmo; realiza las verificaciones requeridas y suministra el ritmo H_s de símbolo regenerado.

El filtro (50I o 50Q) adaptado a la forma del chip es un filtro digital clásico. Puede realizarse, por ejemplo, por medio de un registro de desplazamiento en el que transitan en el ritmo H_c las muestras $r_I(mTe)$ o $r_Q(mTe)$; a cada posición del registro se le asocia el coeficiente $g(iTe)$ por el que se multiplica la muestra actual de esa posición; la suma de los productos obtenidos constituye en un instante dado la muestra $x_I(m)$ o $x_Q(m)$ actual.

El generador (520 ó 530) de chips está compuesto, por ejemplo, por una tabla en la que se ordenan los chips sucesivos y por un registro contador que contiene el rango actual del chip que va a utilizarse. Este contador se incrementa

en una unidad cada dos periodos de muestreo y se suministra el chip correspondiente a los circuitos de desensanchamiento. Si la ley de formación de la secuencia de los $K \cdot N$ chips es suficientemente sencilla, por ejemplo si la secuencia de chips puede deducirse de una parte cualquiera de longitud dada de la secuencia, son posibles otros procedimientos de generación de chips. De manera general, la transferencia de la posición de la ventana deslizante de exploración a la ventana de seguimiento consiste en transmitir el rango del contador del generador 520 de chips en exploración o una parte de la secuencia de chips correspondiente, en el momento en el que la potencia obtenida en la ventana deslizante pasa por un máximo.

El circuito (52I o 52Q) de desensanchamiento en exploración está compuesto, por ejemplo, por un registro de muestras, un registro de chips, un registro de tránsito de los chips y dispositivos de suma. El registro de muestras es un registro de desplazamiento en el que las muestras $x_i(m)$ o $x_Q(m)$ transitan en el ritmo He. El registro de tránsito de los chips es un registro de desplazamiento en el que transitan, en el ritmo del chip (es decir, en este caso a la mitad del ritmo He de muestreo) los chips procedentes del generador 520. Cada $2N$ periodos de muestreo (o cada $2N \cdot N_s$ periodos, si se tratan simultáneamente N_s símbolos en un registro de muestras que contiene $2N \cdot N_s$ muestras), se transfiere el contenido del registro de tránsito de chips al registro de chips. El contenido del registro de chips permanece inmutable entre dos transferencias. Se asocia una posición de cada dos del registro de muestras (pueden seleccionarse tanto las posiciones de rango par como las posiciones de rango impar) a una posición del registro de chips. Según el valor $+1$ o -1 de los chips, el dispositivo de suma correspondiente a un símbolo extrae para cada chip, la muestra asociada actual o su opuesto y realiza la suma de los valores extraídos; el resultado constituye una muestra $y_i(m)$ o $y_Q(m)$. Según lo que se ha indicado anteriormente, el generador 520 de chips debe reiniciarse convenientemente cada vez que se examinan $2N \cdot N_s$ posiciones relativas.

El circuito (52I o 52Q) de desensanchamiento en exploración también puede realizarse con ayuda de un registro de desplazamiento en el que transitan, en el ritmo del chip, los chips procedentes del generador 520. A cada posición de este registro se le asocian dos dispositivos acumuladores. Un dispositivo acumulador realiza, en el ritmo del chip, la suma, durante un periodo de símbolo, de la muestra $x_i(m)$ o $x_Q(m)$ actual de rango par o del valor opuesto a esta muestra según si el presente chip vale $+1$ o -1 . El segundo dispositivo realiza la misma operación sobre las muestras de rangos impares. Así, si el registro de desplazamiento comprende N posiciones, se obtienen sucesivamente $2N$ muestras, correspondientes a $2N$ posiciones relativas consecutivas; si el registro de desplazamiento comprende $N \cdot N_s$ posiciones, se obtienen simultáneamente N_s muestras correspondientes a posiciones relativas separadas por $2N$ y, al cabo de $2N$ periodos de muestreo, se han examinado $2N \cdot N_s$ posiciones relativas consecutivas.

El circuito (53I o 53Q) de desensanchamiento en seguimiento puede realizarse de una manera similar a la del desensanchamiento en exploración, pero su extensión está muy reducida. Por ejemplo, si se selecciona el segundo procedimiento de realización, mencionado anteriormente para el desensanchamiento en exploración, sólo son necesarios N_e dispositivos de acumulación, en los que N_e es el número de muestras contenidas en la ventana.

Las figuras 6 y 7 ilustran estas técnicas de desensanchamiento, o bien por el método de registros de desplazamiento (figura 6), o bien por el método de acumulación (figura 7). Estas figuras se refieren siempre al caso de una transmisión AMDC con modulación MDP2, para señales recibidas muestreadas a razón de dos muestras por chip. Facilitan una representación del principio de los circuitos de desensanchamiento que pueden utilizarse (circuitos representados por 52I y 52Q para la exploración, 53I y 53Q para el seguimiento). Sólo se representa el circuito de la vía I (al ser idéntico al de la vía Q). El generador $\alpha(k,n)$ de chips de referencia no se representa. Por simplicidad del dibujo, se limita al caso en el que la correlación se realiza sobre un único símbolo (es decir, sobre $2N$ muestras, siendo N el factor de ensanchamiento) y en el que la longitud de la ventana es inferior a la duración de un símbolo ($N_e < 2N$). Las señales de control se obtienen a partir del ritmo He de muestra por medio de un contador de módulo $2N$. El estado par o impar del contador se reproduce en el ritmo de chip, mientras que un rango particular cualquiera del contador se reproduce en el ritmo de símbolo.

La figura 6 muestra así un contador de módulo $2N$ con número de referencia 100 con una entrada que recibe el ritmo He de muestreo y dos salidas correspondientes a un estado par (ritmo de chip) y a un estado 0 (ritmo de símbolo), un registro 102 de muestras en $2N$ posiciones que recibe una señal de desplazamiento que es He y, como entrada, la muestra x_i , un registro 104 de chips que recibe una señal de lectura que es el estado 0 de salida del contador 100, un registro 106 de tránsito controlado por la señal "estado par" y los chips $\alpha(k,n)$ y multiplicadores 110 que multiplican las muestras por los chips, estando conectadas las salidas de estos multiplicadores a un sumador 108, en el que la salida proporciona la señal y_i .

La secuencia de muestras transcurre de manera permanente en el registro 102 de muestras. La secuencia de chips se introduce en el registro 106 de tránsito, según condiciones que dependen del uso (exploración o seguimiento). Se transfiere por bloques a cada periodo de símbolo en el registro 104 de chips. La correlación se realiza cada dos posiciones del registro de muestras.

Por el contrario, la figura 7 muestra cómo puede obtenerse el desensanchamiento mediante acumulación de las correlaciones parciales de la muestra actual recibida x_i y de una parte deslizante de la secuencia de chips $\alpha(k,n)$. El circuito representado comprende un contador de módulo $2N$ con número de referencia 120 con una entrada que recibe el ritmo He de muestreo, y tres salidas que suministran una señal "estado par", "estado impar" y el "rango de cuenta", un registro 122 de chips que recibe como señal de desplazamiento la señal "estado par" y, como entrada, los chips $\alpha(k,n)$, multiplicadores 124 con dos entradas, una conectada a la salida de una celda del registro 122 y la otra a una

ES 2 279 749 T3

línea 125 que recibe la muestra x_i actual, conjuntos 130, 140, etc... de acumulación que comprenden una puerta 131 (141) controlada por la señal “estado par” (“estado impar”) y por la salida del multiplicador 124, un circuito 132 (142) de inicialización que recibe la señal “rango = 0” (“rango = 1”), un sumador-acumulador 133 (143) conectado a la puerta 131 (141), reiniciándose la salida de este sumador sobre el circuito 132 (142) de inicialización, un circuito 134 (144) de lectura controlado por la señal “rango 0” (“rango 1”) y que suministra las muestras $y_i(k,0)$ desensanchadas, (o respectivamente $y_i(k,1)$).

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento de sincronización de ritmo de una señal digital, en el que se muestrea con un cierto periodo (T_e) de muestreo una señal analógica ($r(t)$) procedente de la transmisión de una señal modulada ($b(t)$) con ayuda de una función (20) de edición, se realiza una filtración (52, 53) adaptada de las muestras ($r(mT_e)$), estando esta filtración adaptada a la función de edición utilizada por la modulación y que conduce a muestras ($y(m)$ 52A, $z(m)$ 53A) de correlación, se calcula la potencia de cada muestra ($y(m)$) de correlación, se define una ventana deslizante de longitud N_e veces el periodo (T_e) de muestreo, es decir $N_e T_e$, y que comienza en un cierto rango (m_0), barriendo esta ventana deslizante un intervalo determinado de instantes de muestreo, **caracterizado** porque:

- para cada ventana deslizante, se calcula una potencia global igual a la suma (P_a) de las potencias de las muestras ($y(m)$) de correlación situadas en esta ventana para un símbolo o para un número determinado de símbolos;

- se determina la ventana para la que la suma de potencias de las muestras es máxima;

- la sincronización se define entonces por la posición de la ventana en la que la suma de potencias de las muestras es máxima, y por el rango de cada muestra de correlación en el interior de esta ventana.

2. Procedimiento según la reivindicación 1, en el que se ponen en práctica dos tipos de operaciones y se procede en dos modos:

a) en un primer tipo de operaciones, llamadas operaciones de exploración, se examinan sucesivamente todas las posiciones posibles de la ventana deslizante, y para cada posición, se calcula la potencia global (P_a) de las muestras ($y(m)$) de correlación contenidas en la ventana deslizante, se identifica la ventana para la que la potencia global es superior desde el comienzo del ciclo hasta la posición actual, y se memoriza el valor de esta potencia superior (P_{am}),

b) en un segundo tipo de operaciones, llamadas operaciones de seguimiento, se tienen en cuenta solamente las muestras ($z(m)$) de correlación en las que el rango está en una ventana llamada ventana de seguimiento, se calcula por una parte la potencia global (P_b) de estas muestras, por otra parte una señal (d) que permite retroalimentar el centro de esta ventana sobre la posición media de las potencias de las muestras que contiene,

c) en un primer modo de funcionamiento, llamado modo de adquisición,

- por una parte, cada vez que en una ventana deslizante aparece una potencia global (P_a) superior a la última potencia (P_{am}) memorizada desde el comienzo del ciclo de exploración hasta la posición actual, se asigna a la ventana de seguimiento la posición actual de la ventana deslizante y se lanza un procedimiento de verificación,

- por otra parte, cuando se termina el ciclo de exploración, se pasa a un modo llamado de seguimiento,

d) en un segundo modo de funcionamiento, llamado de seguimiento,

- por una parte, se inhibe el mecanismo de transferencia de la posición de la ventana deslizante a la ventana de seguimiento,

- por otra parte, cuando falla la verificación permanente, se vuelve al modo de adquisición.

3. Procedimiento según la reivindicación 2, en el que se selecciona un umbral relativo λ de potencia comprendido entre 0 y 1, se calcula el producto de este umbral por la mayor potencia memorizada y se verifica que la potencia global (P_b) obtenida en la ventana de seguimiento es estadísticamente superior al valor del producto.

4. Procedimiento según la reivindicación 3, en el que se realiza una primera verificación, llamada inicial, que consiste en examinar si, entre los N_a valores sucesivos de la potencia global (P_b), al menos N_b de entre ellos son superiores al producto del umbral por la potencia superior, seleccionándose los números N_a y N_b en el orden de algunas unidades, y si es el caso, se pasa a una segunda verificación, llamada permanente, que consiste en comparar la potencia global (P_b) con una cantidad μP_o , en la que μ es un umbral ligeramente inferior a 1 y en la que P_o designa la potencia media esperada (P_b) en el estado sincronizado, realizándose la comparación sobre un gran número de valores sucesivos de la potencia global (P_b).

5. Procedimiento según la reivindicación 4, en el que, en modo de adquisición, la aparición, en una ventana deslizante, de una potencia global (P_a) superior a la última potencia (P_{am}) memorizada, vuelve a lanzar una nueva verificación inicial.

6. Procedimiento según la reivindicación 2, en el que las potencias (P_a , P_b) globales calculadas en las ventanas deslizantes y en la ventana de seguimiento dan como resultado la suma de las potencias obtenidas para varios símbolos.

ES 2 279 749 T3

7. Procedimiento según la reivindicación 2, en el que se asocia un peso $c(i)$ a cada rango (i) de muestreo en el interior de la ventana de seguimiento, siendo este peso en función de la posición de este rango con respecto al centro de la ventana, se determina dónde se sitúa la posición media de las potencias de las muestras ponderadas con respecto al centro de la ventana y se corrigen los instantes de muestreo de la señal analógica $(r(t))$ para retroalimentar el centro de la ventana sobre esta posición media.

8. Procedimiento según la reivindicación 7, en el que los pesos $c(i)$ son de la forma:

$$c(i) = i - (Ne - 1)/2$$

en la que la cantidad $(Ne-1)/2$ caracteriza el centro de la ventana.

9. Procedimiento según la reivindicación 7, en el que los pesos $(c(i))$ se toman iguales a +1 en la mitad superior de la ventana e iguales a -1 en la mitad inferior de la ventana.

10. Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 9, en el que el periodo (T_e) de muestreo de la señal analógica $(r(t))$ es una fracción del periodo (T_s) de los símbolos.

11. Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 10, en el que la señal analógica $(r(t))$ corresponde a una señal del tipo de acceso múltiple por división de código correspondiente a secuencias de ensanchamiento formadas por números $(\alpha(n))$ denominados chips, a las que se aplica una edición, procedimiento en el que la filtración adaptada realizada sobre la señal analógica $(r(t))$ comprende una primera filtración adaptada a la forma de los chips y que suministra las primeras muestras $(x(m))$ y una segunda filtración adaptada a las secuencias de ensanchamiento y aplicada a las primeras muestras, suministrando esta segunda filtración adaptada segundas muestras $(y(m), z(m))$ a partir de las que se calculan las potencias de las muestras y las potencias globales situadas respectivamente en las ventanas deslizantes y de seguimiento.

12. Procedimiento según la reivindicación 11, en el que el muestreo de la señal analógica se realiza a una frecuencia igual a k veces la frecuencia de los chips que forman las secuencias de ensanchamiento, utilizando entonces la segunda filtración adaptada, en un instante dado, una muestra de cada k de las primeras muestras.

13. Procedimiento según la reivindicación 12, en el que k es igual a 2, realizándose así el muestreo de la señal analógica a una frecuencia el doble de la frecuencia de los chips que forman las secuencias de ensanchamiento, utilizando la segunda filtración adaptada, en un instante dado, una de cada dos muestras.

14. Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 13, en el que la señal analógica $(r(t))$ es una señal compleja con un componente real y un componente imaginario, y en el que cada muestra también es compleja con un componente real y un componente imaginario, funcionando la filtración adaptada sobre los componentes real e imaginario, calculándose las potencias de las muestras y las potencias globales realizando la suma de las potencias de los componentes reales e imaginarios de las muestras.

FIG.1

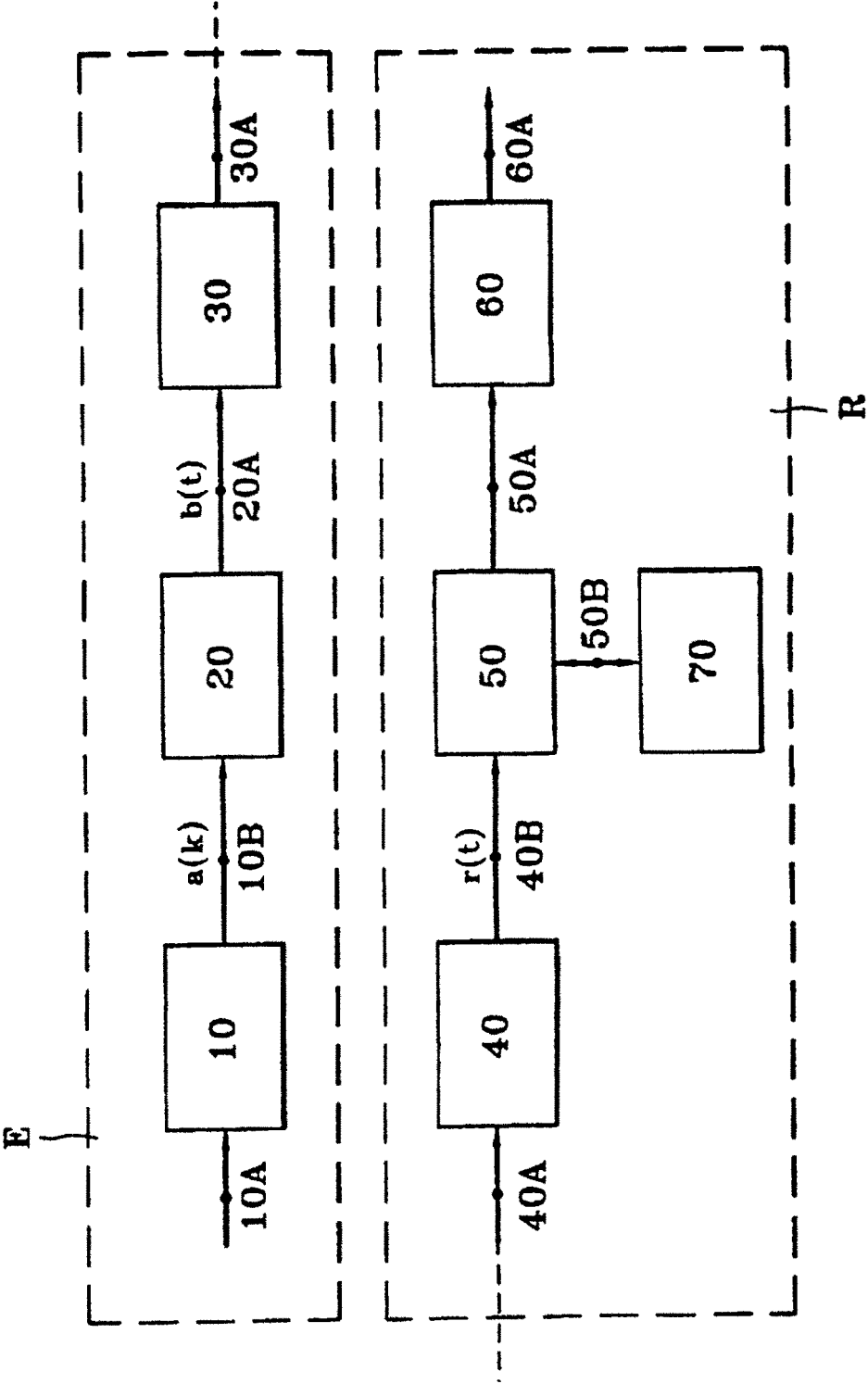


FIG.2

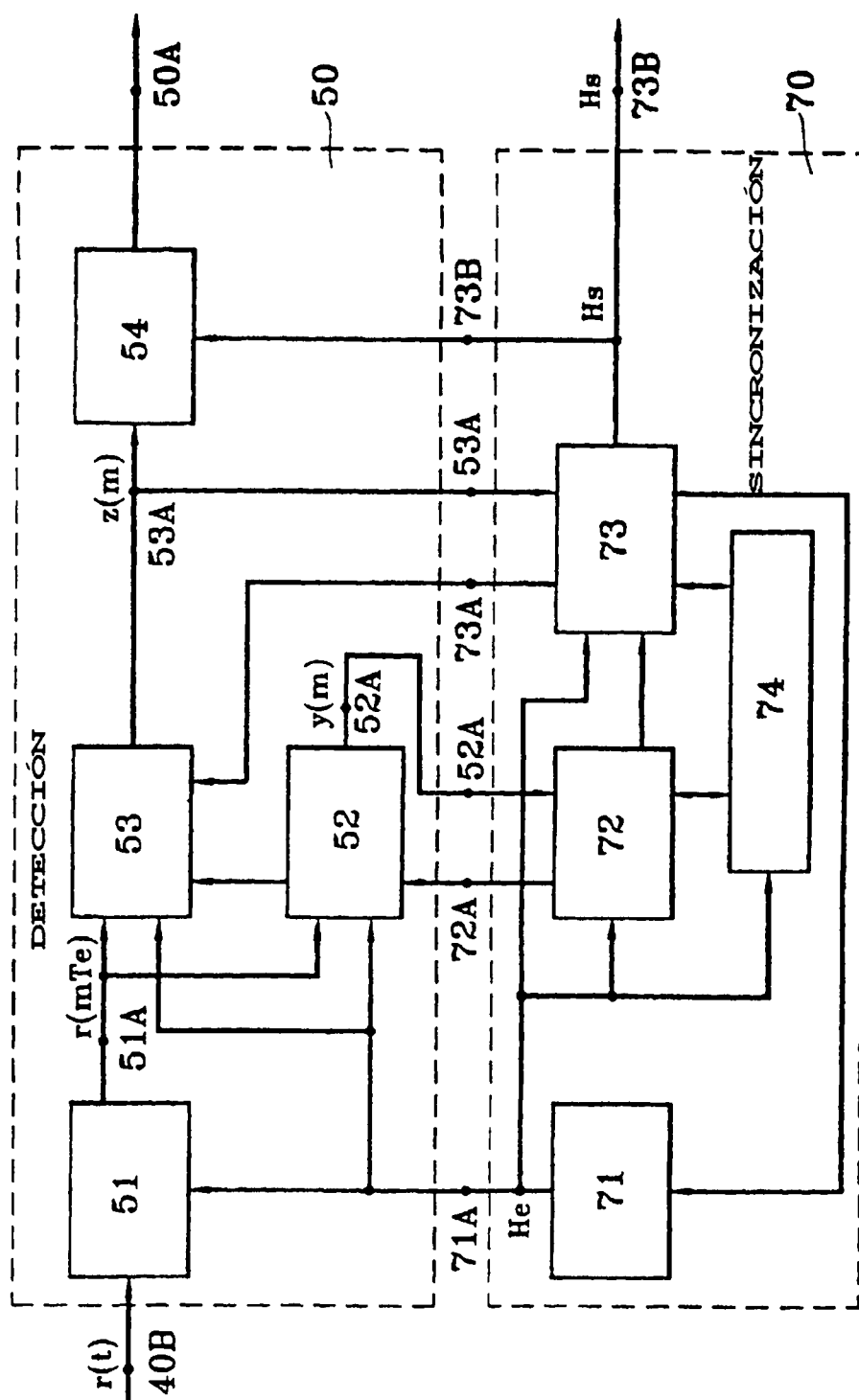


FIG.3

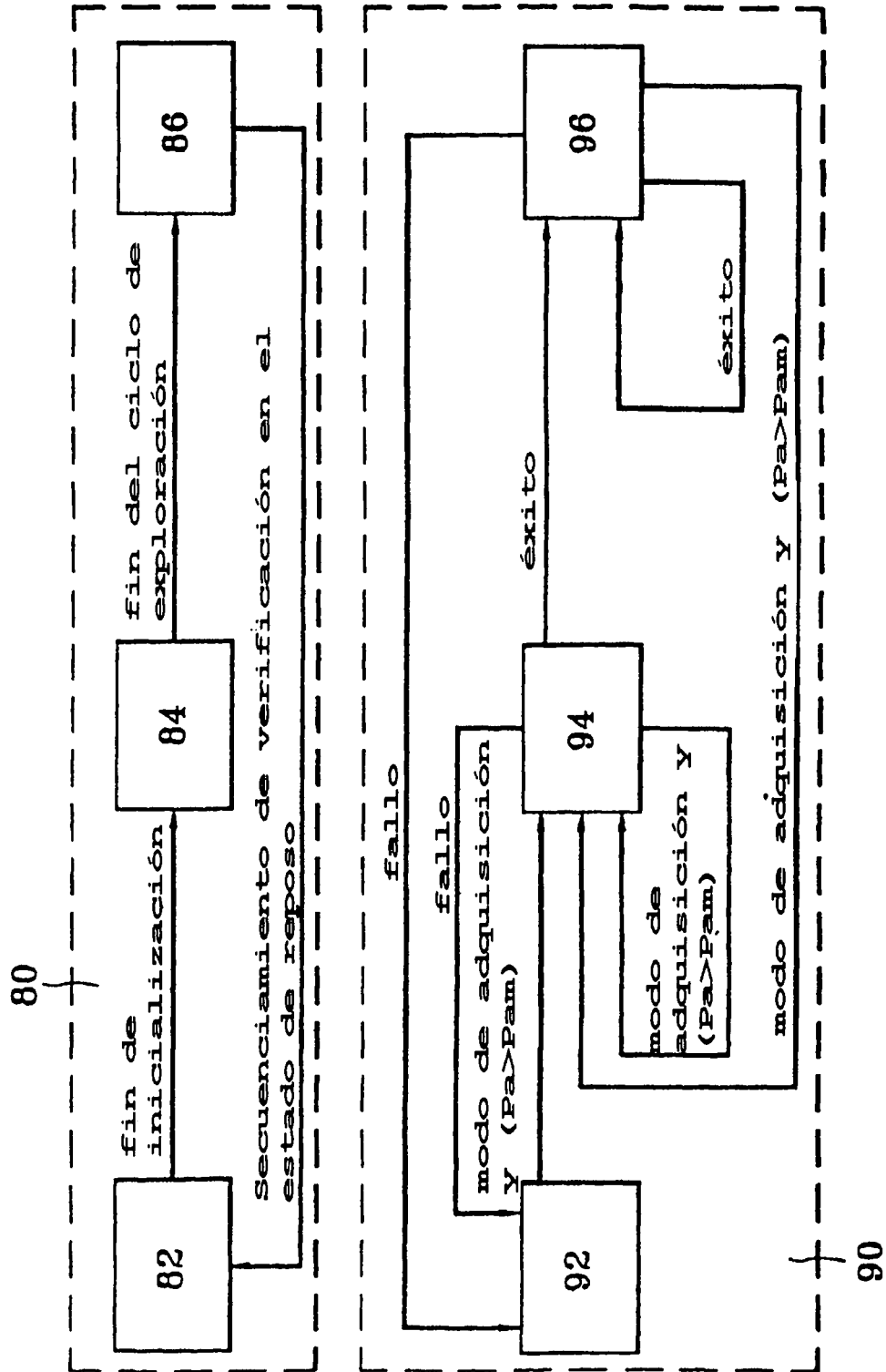


FIG. 4

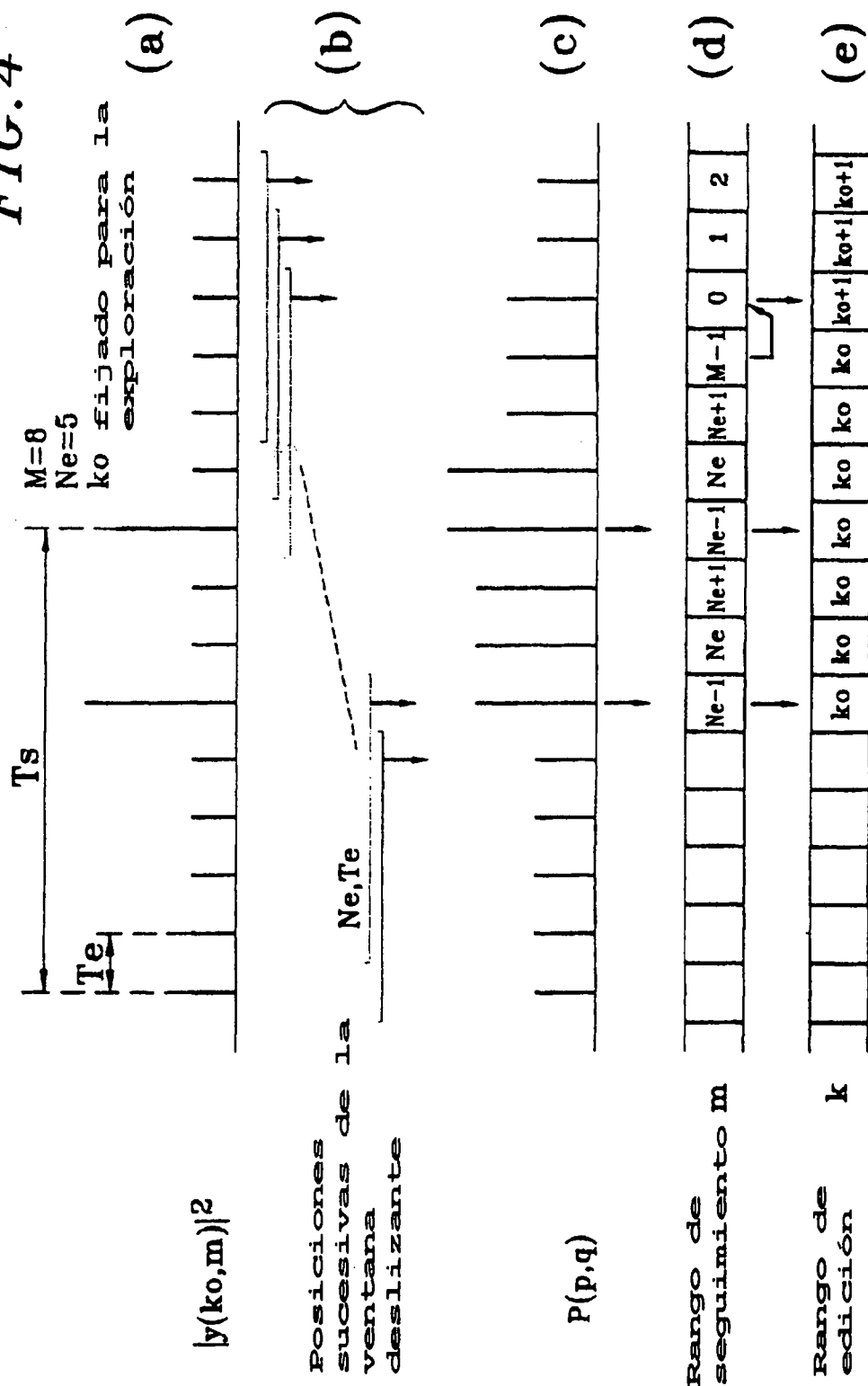


FIG.5

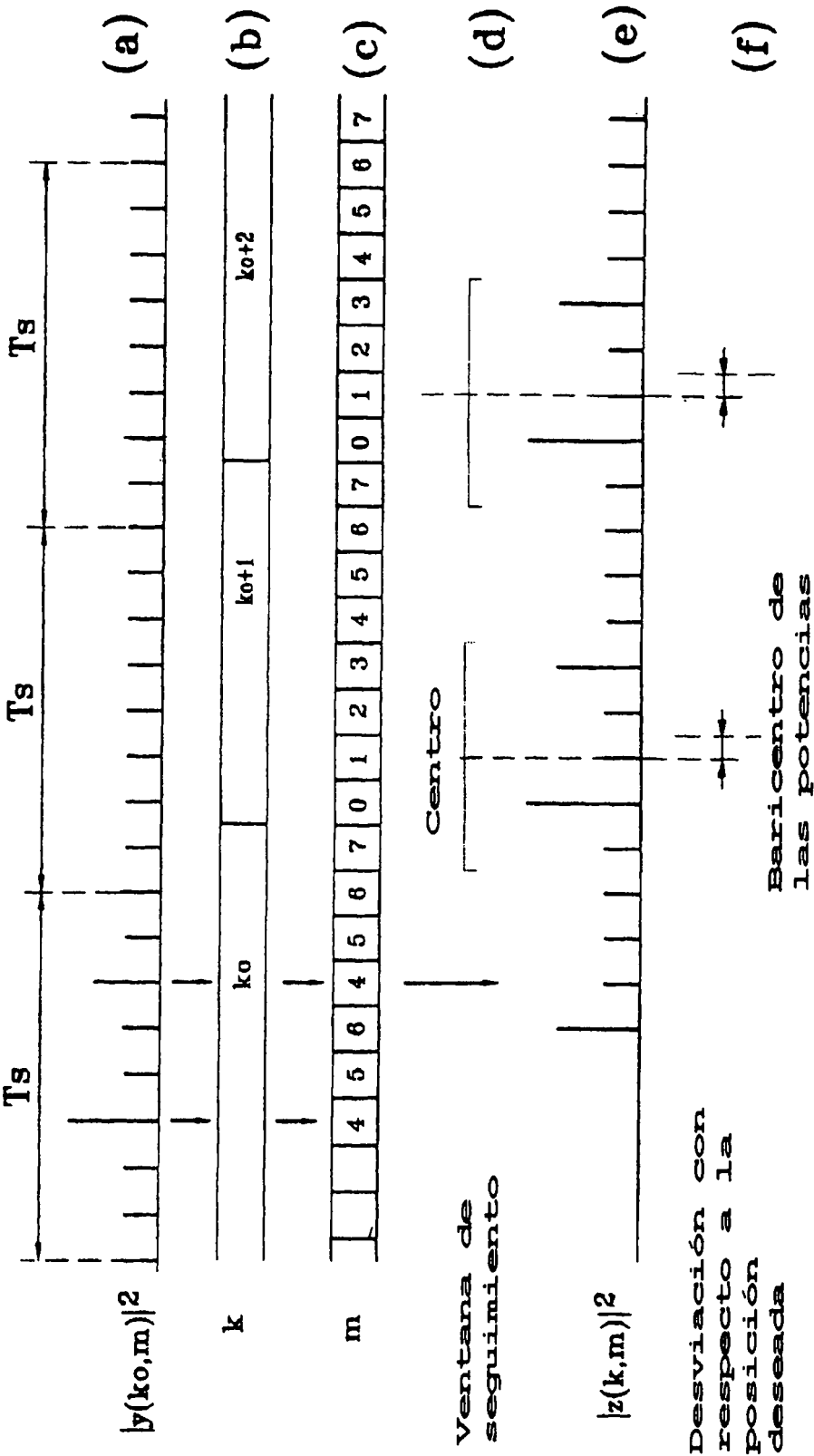


FIG.6

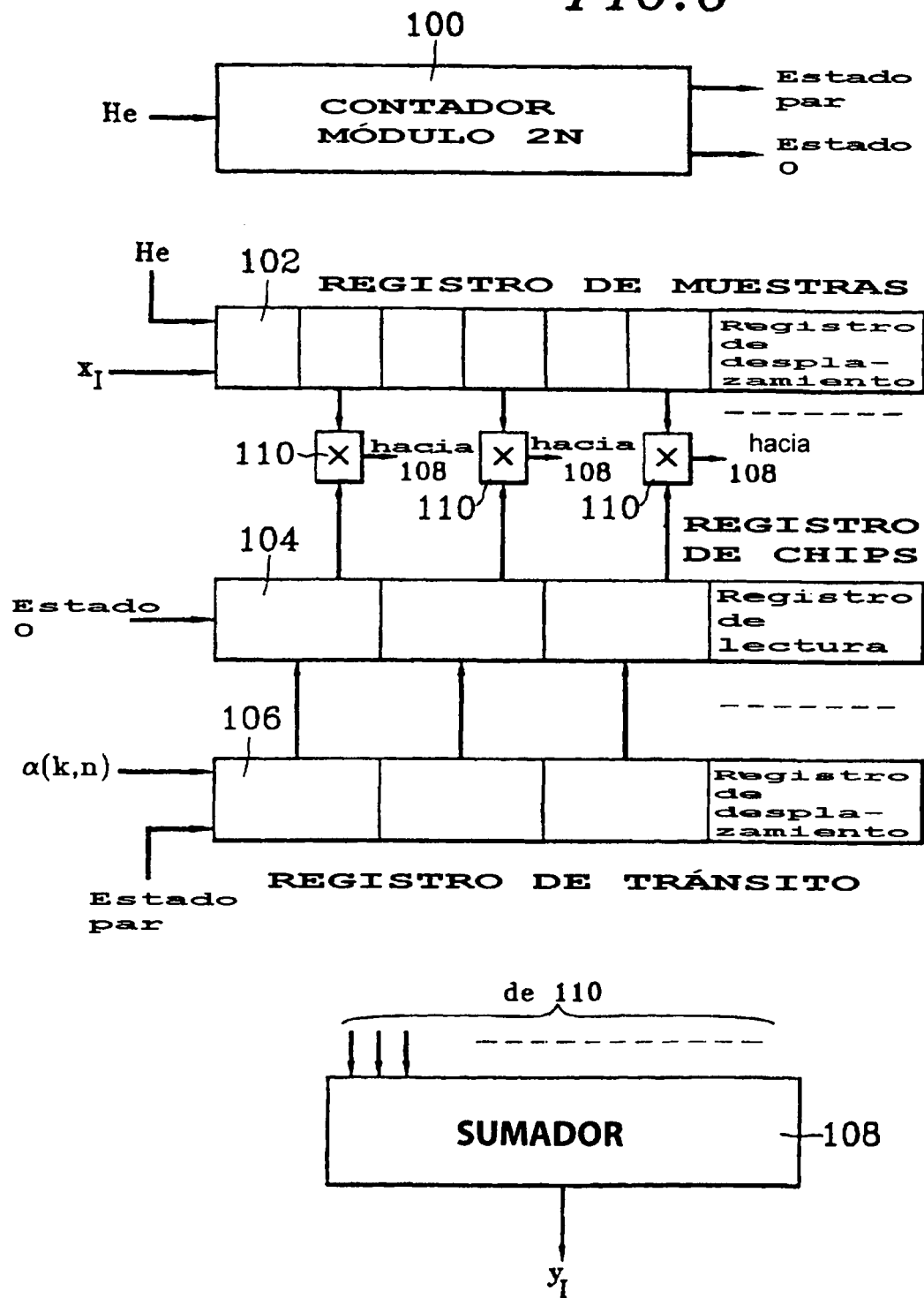


FIG.7

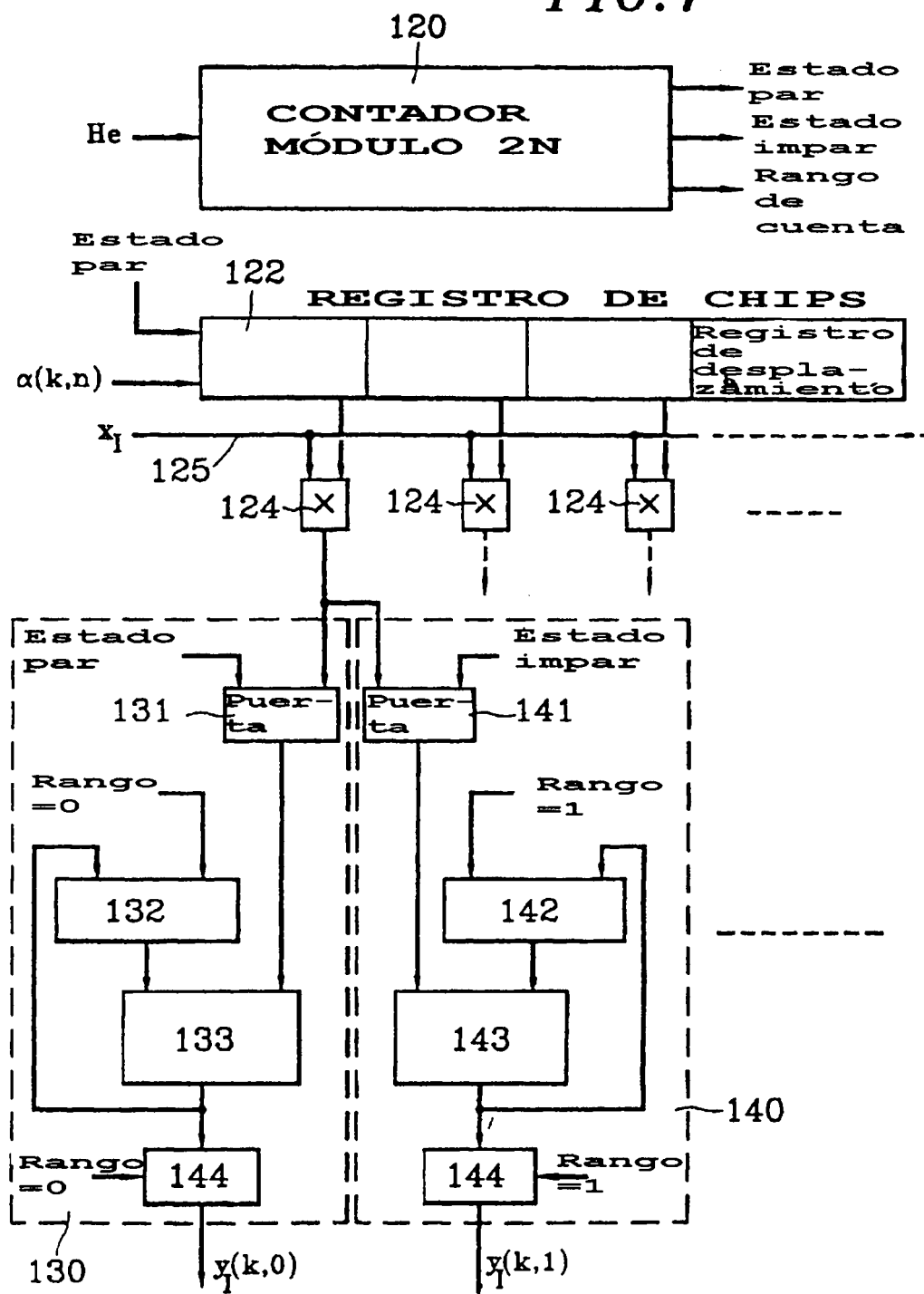


FIG.8

