

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 813 971**

51 Int. Cl.:

H04B 11/00 (2006.01)

H04L 9/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **13.06.2017 PCT/FR2017/051517**

87 Fecha y número de publicación internacional: **21.12.2017 WO17216470**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **13.06.2017 E 17745779 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **27.05.2020 EP 3469744**

54 Título: **Método de codificación por señales acústicas aleatorias y método de transmisión asociado**

30 Prioridad:

13.06.2016 FR 1655443

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

25.03.2021

73 Titular/es:

**COPSONIC (100.0%)
1471 route de Saint-Nauphary
82000 Montauban, FR**

72 Inventor/es:

**ALVAREZ CANIZARES, DAVID y
MENDEZ FONSECA, VICTOR MANUEL**

74 Agente/Representante:

VALLEJO LÓPEZ, Juan Pedro

ES 2 813 971 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

Método de codificación por señales acústicas aleatorias y método de transmisión asociado

5 **Campo técnico**

La presente invención se refiere de manera general al campo de la codificación, así como al de la comunicación por señales acústicas, sonoras, infrasonoras o ultrasonoras.

10 **Estado de la técnica anterior**

La codificación de información por señales acústicas se ha usado ampliamente en el contexto de la transmisión de datos, en particular, sobre un canal vocal de un sistema de telefonía fija. Por ejemplo, se conoce bien transmitir datos alfanuméricos por medio de códigos DTMF (Dual Tone Multi Frequency), correspondiendo cada carácter alfanumérico a un par de frecuencias audibles transmitidas simultáneamente sobre el canal vocal. Se puede encontrar una descripción de un método de codificación DTMF en la patente US-B-6 751 303. Esta codificación DTMF puede, por otro lado, ser procedimiento de una codificación correctora de errores (codificación de canal) como se propuso en la solicitud US-A-2004/008108078.

El método de codificación DTMF no ofrece, sin embargo, ninguna protección contra los ataques de un tercero que intentaría interceptar los mensajes transmitidos. Una primera solución para garantizar la confidencialidad y la integridad de los mensajes transmitidos sobre el canal vocal sería cifrar los mensajes por medio de un algoritmo de cifrado de clave privada o de clave pública, después transmitir los símbolos de los mensajes cifrados de este modo por medio de códigos DTMF. Tras la recepción, los símbolos de los mensajes cifrados de este modo podrían, por lo tanto, obtenerse a partir de una batería de filtros centrados sobre las frecuencias DTMF y el mensaje en claro sería restituido por un algoritmo de descifrado.

No obstante, los algoritmos de cifrado/descifrado son complejos de implementar, tanto como las claves de cifrado usadas son largas para prepararse previamente contra ataques de criptoanálisis.

El objetivo de la presente invención es, en consecuencia, proponer un método de decodificación por medio de señales acústicas que garantice un buen nivel de confidencialidad de los mensajes transmitidos, a la vez que es particularmente simple y robusto.

35 **Exposición de la invención**

La presente invención se define por un método de decodificación de símbolos de información que pertenecen a un alfabeto (A) por medio de señales acústicas, caracterizado por que:

- 40 (a) se adquieren un conjunto de señales aleatorias y se filtran por medio de un filtro de interés;
- (b) se seleccionan subconjuntos (S_N) de N señales de dicho conjunto y, para cada subconjunto, se calcula una matriz de correlación de señales seleccionadas de este modo;
- (c) se conserva como diccionario de codificación el subconjunto de N señales correspondientes a la matriz de correlación más cercada de una matriz diagonal;
- 45 (d) se codifica cada símbolo de información del alfabeto por una señal aleatoria del diccionario, siendo dicha señal aleatoria del diccionario transformada en señal acústica por medio de un transductor.

Ventajosamente, se adquieren dichas señales aleatorias por medio de un generador aleatorio usando un fenómeno físico.

50 Preferentemente, en la etapa (c):

- (c1) se sustituye sucesivamente una nueva señal aleatoria que pertenece a dicho conjunto en el lugar de una de las señales aleatorias (\bar{s}_i, \tilde{s}_i) de un primer subconjunto de señales seleccionado;
- 55 (c2) se calcula, para cada uno de los conjuntos subtítulados de este modo, la matriz de correlación $(\mathbf{C}_{i \rightarrow k}, \mathbf{C}'_{i \rightarrow k})$ de las señales aleatorias y se deduce de ello un factor de calidad $(Q_{i \rightarrow k}, Q'_{i \rightarrow k})$ que caracteriza la proximidad de la matriz de correlación con una matriz diagonal;

60 repitiéndose las etapas (c1) y (c2) mientras no se hayan agotado las señales aleatorias de dicho conjunto y/o el factor de calidad sea inferior a un valor umbral predeterminado (Q_{Th}, Q'_{Th}) .

Según un primer modo de realización, antes de la etapa (b), se sustrae a cada señal aleatoria su media, para que dichas señales aleatorias estén centradas.

$$Q' = \frac{\min_i (|C'_{ii}|)}{\max_{\substack{i,j \\ i \neq j}} (|C'_{ij}|)} \quad \text{o} \quad Q' = \min_i \left(\frac{|C'_{ii}|}{\max_{j \neq i} (|C'_{ij}|)} \right) \quad \text{o incluso}$$

El factor de calidad puede calcularse por medio de

$$Q' = \frac{\text{moy}_i (|C'_{ii}|)}{\text{moy}_{\substack{i,j \\ i \neq j}} (|C'_{ij}|)}$$

, donde los coeficientes C'_{ij} son los elementos de la matriz de correlación y donde min, max y moy significan respectivamente el valor mínimo, el valor máximo y la media.

- 5 Según un segundo modo de realización, antes de la etapa (b), se normaliza la energía de las señales aleatorias centradas para obtener señales aleatorias normalizadas que poseen todas una misma energía media por muestra (E_0).

$$Q = \frac{E_0}{\max_{\substack{i,j \\ i \neq j}} (|C_{ij}|)} \quad \text{o} \quad Q = \frac{E_0}{\text{moy}_{\substack{i,j \\ i \neq j}} (|C_{ij}|)}$$

El factor de calidad puede calcularse por medio de

$$Q = \frac{E_0}{\sum_{\substack{i,j \\ i \neq j}} |C_{ij}|}$$

, donde los coeficientes C_{ij} son los elementos de la matriz de correlación y E_0 es dicha energía media por muestra de las señales aleatorias, donde min, max y moy significan respectivamente el valor mínimo, el valor máximo y la media.

- 10

La invención también se refiere a un método de transmisión de símbolos de información que pertenecen a un alfabeto (A) por medio de señales acústicas, en donde dichos símbolos se codifican por medio del método de codificación definido anteriormente, siendo las señales acústicas correspondientes a símbolos de información sucesivos transmitidas secuencialmente sobre el canal de transmisión.

- 15

Alternativamente, las señales acústicas correspondientes a diferentes símbolos de información pueden transmitirse simultáneamente sobre el canal de transmisión.

- 20
- En todos los casos se puede efectuar una codificación de canal de bloques de dichos símbolos antes de su codificación por señales acústicas.

La invención se refiere finalmente a un método de recepción de símbolos de información, en donde la señal acústica recibida durante un tiempo de símbolo se transforma en señal eléctrica por un transductor, después, se correlaciona con cada una de las señales aleatorias del diccionario de codificación para proporcionar una pluralidad de resultados de correlación, proporcionando el resultado de correlación más elevado en valor absoluto el índice de un símbolo recibido durante dicho tiempo de símbolo.

- 25

Alternativamente, la señal acústica recibida durante un tiempo de símbolo se transforma en señal eléctrica por un transductor, después se correlaciona con cada una de las señales aleatorias del diccionario de codificación para proporcionar una pluralidad de resultados de correlación, proporcionando los resultados de correlación superiores, en valor absoluto, con un valor umbral predeterminado los índices de los símbolos recibidos durante dicho tiempo de símbolo.

- 30

Opcionalmente, la señal acústica recibida durante un tiempo de símbolo se transforma en señal eléctrica por un transductor, después se correlaciona con cada una de las señales aleatorias del diccionario de codificación para proporcionar una pluralidad de resultados de correlación, proporcionando los resultados de correlación superiores, en valor absoluto, con un valor umbral predeterminado los índices de los símbolos recibidos durante dicho tiempo de símbolo, sometiéndose a continuación los bloques de símbolos recibidos a una decodificación de canal.

- 35
- 40

Breve descripción de los dibujos

Otras características y ventajas de la invención se harán evidentes tras la lectura de los modos de realización preferentes de la invención, hecha en referencia a las figuras adjuntas, entre las que:

- 45

La Fig. 1 representa de manera esquemática un método de construcción de un diccionario de codificación por medio de señales acústicas aleatorias según un primer modo de realización de la invención;

La Fig. 2 representa de manera esquemática un primer método de construcción de un diccionario de codificación por medio de señales acústicas aleatorias según un segundo modo de realización de la invención;

La Fig. 3 representa una matriz de autocorrelación de las señales acústicas aleatorias utilizadas en la codificación de la Fig. 2;

5 La Fig. 4 representa de manera esquemática un método de transmisión de símbolos de información codificados por medio de señales acústicas aleatorias, según un modo de realización de la invención;

La Fig. 5 representa de manera esquemática un método de recepción de una señal acústica aleatoria transmitida por el método de transmisión de la Fig. 4.

10 Exposición detallada de los modos de realización particulares

Se considera en lo sucesivo un sistema de emisión/recepción sobre un canal acústico. Por canal acústico se entiende un canal de propagación de una onda sonora (en el campo de las frecuencias audibles 20 Hz-20 kHz), incluso de una onda ultrasonora (es decir, de frecuencia más allá de 20 kHz) o de una onda infrasonora (es decir, de frecuencia por
15 debajo de 20 Hz).

El mensaje que se va a codificar, y en su caso, a transmitir, está constituido por símbolos de información que pertenecen a un alfabeto predeterminado. Este alfabeto está constituido, por ejemplo, por un conjunto de palabras de n bits, donde $n > 1$. De manera general, para un alfabeto A de cardinal N , se podrá siempre llevar a un conjunto de
20 palabras binarias de tamaño $n = \lceil \log_2(N) \rceil$.

La idea en la base de la invención es construir de manera heurística una codificación de los símbolos del alfabeto A por señales acústicas aleatorias. Más precisamente, suponiendo que se ha generado un conjunto S de cardinal $M \gg N$ de señales aleatorias, la idea en la base de la invención es seleccionar un subconjunto $S_A \subset S$ de estas M
25 señales aleatorias, respetando un cierto criterio de calidad, y asociar de manera biunívoca a cada símbolo del alfabeto A una de las señales aleatorias seleccionadas de este modo. La inyección de A en S obtenida de este modo define, entonces, una codificación por señales aleatorias que se reproducen seguidamente por un transductor electroacústico, de ahí la calificación de codificación acústica aleatoria.

30 La Fig. 1 representa de manera esquemática un método de construcción de un diccionario de codificación por medio de señales acústicas aleatorias, según un primer modo de realización de la invención.

Según una primera variante, la construcción del diccionario de codificación (*codebook*) se realiza de manera secuencial, por iteraciones sucesivas. Alternativamente, la construcción del diccionario de codificación se podrá
35 realizar de manera paralela, como se explica más adelante.

En la etapa 110, se adquiere un conjunto de señales acústicas aleatorias. Estas señales se han obtenido, por ejemplo, por medio de un generador aleatorio que usa un fenómeno físico como el ruido térmico en los terminales de una resistencia o el ruido de soplo de un micrófono. Estas señales se adquieren por medio de una cadena de adquisición que presenta un ancho de banda predeterminado, después de muestrea a la frecuencia de Nyquist correspondiente. Alternativamente, las señales aleatorias pueden haberse obtenido por un generador pseudoaleatorio, ventajosamente
40 seleccionado de calidad criptográfica. A continuación, se conviene expresamente que la expresión "señales aleatorias" cubre estas dos alternativas. En cualquier caso, cada señal aleatoria está constituida de este modo de L muestras, y almacenada en una memoria.

45 En la etapa 120, se filtra opcionalmente las señales aleatorias con un filtro que presenta una plantilla de interés, por ejemplo, un filtro que tiene como respuesta la respuesta del canal de transmisión. La respuesta del canal de transmisión está constituida por la convolución de la respuesta de la cadena de amplificación, de la respuesta del transductor de emisión (altavoz, transductor piezoeléctrico u otro), de la respuesta del canal de propagación, de la
50 respuesta del transductor de recepción (micrófono, transductor piezoeléctrico u otro) y, finalmente, de la respuesta de la cadena de recepción.

En la etapa 130, se centra y normaliza cada una de las señales aleatorias, si es el caso, se filtran en la etapa 120, para obtener un conjunto S de señales acústicas aleatorias centradas de igual energía E . Más precisamente, si se
55 anota $s_i = (s_i(1), \dots, s_i(L))$ una señal acústica aleatoria generada anteriormente, la señal centralizada y normalizada correspondiente se da por $\bar{s}_i = (\bar{s}_i(1), \dots, \bar{s}_i(L))$ con:

$$\bar{s}_i(\ell) = \frac{\sqrt{E_0}}{\sqrt{\sum_{\ell=1}^L (s_i(\ell) - \mu_{s_i})^2}} (s_i(\ell) - \mu_{s_i}) \quad (1)$$

$$\mu s_i = \frac{1}{L} \sum_{\ell=1}^L s_i(\ell)$$

donde es la media de la señal s_i et $E_0 = E/L$ es la energía media por muestra de las señales aleatorias.

5 En la etapa 140, se selecciona arbitrariamente un subconjunto S_N de S constituida por N señales aleatorias centradas y normalizadas $\bar{s}_i, i=1, \dots, N$ y se calcula la matriz de correlación de estas señales. La matriz de correlación es una matriz simétrica de tamaño $N \times N$ cuyos elementos son los coeficientes de correlación:

$$C_{ij} = \sum_{\ell=1}^L \bar{s}_i(\ell) \bar{s}_j(\ell) \quad (2)$$

10 y cuyos elementos diagonales son todos iguales a E_0 .

En lo sucesivo, se llamará factor de calidad de la matriz de correlación o, de manera equivalente, factor de calidad del conjunto S_N , el valor:

$$Q = \frac{E_0}{\max_{\substack{i,j \\ i \neq j}} (|C_{ij}|)} \quad (3)$$

o, alternativamente:

$$Q = \frac{E_0}{\text{moy} (|C_{ij}|)} \quad (4)$$

15 $\text{moy} (|C_{ij}|) = \frac{2}{N(N-1)} \sum_{\substack{i,j=1,\dots,N \\ i < j}} |C_{ij}|$
 donde es la media de los valores absolutos de los elementos fuera de diagonal de la matriz de correlación (teniendo en cuenta que la matriz es simétrica).

Aún alternativamente, el factor de calidad puede definirse por:

$$Q = \frac{E_0}{\sum_{\substack{i,j \\ i \neq j}} |C_{ij}|} \quad (5)$$

20 De manera general, la matriz de correlación \mathbf{C} está caracterizada por un factor de calidad Q que traduce su proximidad a una matriz diagonal, siendo el factor de calidad tanto más elevado como los elementos no diagonales de la matriz son menores con respecto a los elementos diagonales.

25 Se entra entonces en un bucle iterativo en 150.

En la etapa 150, se tiene en cuenta una nueva señal aleatoria centrada y normalizada \bar{s}_k de S , no considerado todavía, en consecuencia $\bar{s}_k \notin S_N$.

30 En la etapa 160, se calculan las matrices de correlación $\mathbf{C}_{i \rightarrow k}, i=1, \dots, N$, de tamaño $N \times N$, de señales aleatorias $\bar{s}_1, \dots, \bar{s}_{i-1}, \bar{s}_k, \bar{s}_{i+1}, \dots, \bar{s}_N$. Dicho de otro modo, se sustituye sucesivamente cada una de las N señales de S_N por la señal \bar{s}_k y se calcula cada vez la matriz de correlación de las señales después de esta sustitución.

35 Se tendrá en cuenta que el cálculo de la matriz $\mathbf{C}_{i \rightarrow k}$ no requiere que el cálculo de $N-1$ coeficientes de correlación según la expresión (2), es decir, de la señal \bar{s}_k con las señales $\bar{s}_1, \dots, \bar{s}_{i-1}, \bar{s}_{i+1}, \dots, \bar{s}_N$, habiéndose calculado anteriormente los otros coeficientes.

40 Se determina después el factor de calidad $Q_{i \rightarrow k}$ para cada una de las matrices $\mathbf{C}_{i \rightarrow k}, i=1, \dots, N$, según una de las expresiones (3) a (5), y de ello se deduce:

$$Q_k^{\max} = \max_{i=1, \dots, N} (Q_{i \rightarrow k}) \quad (6)$$

En 170, se prueba si Q_k^{\max} es superior al valor Q , dicho de otro modo, si existe una sustitución \bar{s}_i por \bar{s}_k que permita mejorar el factor de calidad del conjunto S_N . En caso negativo, se pasa a la etapa 185 para probar un criterio de detención. En caso positivo, se pasa a la etapa 180.

5 En la etapa 180, se sustituye en el conjunto S_N , la señal \bar{s}_h con $h = \arg \max_i (Q_{i \rightarrow k})$ por la señal \bar{s}_k y se actualiza el factor de calidad: $Q = Q_k^{\max}$.

En la etapa 185, se prueba un criterio de detención. Si el criterio de detención se satisface, la construcción del código se termina en 190. En defecto, se tiene en cuenta una nueva señal acústica aleatoria en 150.

10 Un primer criterio de detención puede ser el agotamiento del conjunto S .

Alternativamente o de manera acumulativa, un segundo criterio de detención puede ser la obtención de un factor de calidad superior a un valor umbral predeterminado $Q_{ésimo}$.

15 El bucle 150-185 se repite siempre que no se hayan agotado las señales de S (primer criterio de detención) u obtenido un factor de calidad superior al valor umbral (segundo criterio de detención).

20 De este modo, se construye progresivamente un conjunto S_N de señales acústicas aleatorias que presentan entre sí un bajo nivel de correlación.

En lugar de proceder de manera iterativa, se podrá proceder de manera paralela, en este caso, se considera de antemano todas las combinaciones posibles de N señales aleatorias de S y se calcula para cada una de estas combinaciones el factor de calidad de su matriz de correlación. Se selecciona finalmente la combinación que conduce al factor de calidad más elevado. El conjunto S_N de las señales aleatorias resultante constituye el diccionario de codificación.

30 La Fig. 2 representa de manera esquemática un método de construcción de un diccionario de codificación por medio de señales acústicas aleatorias según un segundo modo de realización de la invención.

Las etapas 210 y 220 de adquisición y de filtrado de un conjunto de señales aleatorias son idénticas a las etapas 110 y 120 de la Fig. 1 y no se describirán de nuevo.

35 En la etapa 230, se sustraería a cada señal su media para obtener un conjunto de señales aleatorias centradas \tilde{s}_i . No obstante, a diferencia del primer modo de realización, las señales aleatorias no están aquí normalizadas en energía. Opcionalmente, se podrá, no obstante, eliminar las señales de energía inferior a un umbral $Enésimo$ predeterminado. Se obtiene, en definitiva, un conjunto S de señales aleatorias.

40 En la etapa 240, se selecciona arbitrariamente un subconjunto S_N de S constituido por N señales aleatorias centradas $\tilde{s}_i, i = 1, \dots, N$ y se calcula la matriz de correlación de estas señales. Los elementos de esta matriz de correlación se dan por:

$$C'_{ij} = \sum_{\ell=1}^L \tilde{s}_i(\ell) \tilde{s}_j(\ell) \quad (7)$$

45 A diferencia del primer modo de realización, los elementos de la diagonal no son idénticos. Se calcula seguidamente el factor de calidad de la matriz de correlación, es decir, de manera equivalente, el factor de calidad del conjunto S_N .

En este modo de realización, el factor de calidad puede calcularse como sigue:

$$Q' = \frac{\min_i (|C'_{ii}|)}{\max_{\substack{i,j \\ i \neq j}} (|C'_{ij}|)} \quad (8)$$

o alternativamente:

$$Q' = \min_i \left(\frac{|C'_{ii}|}{\max_{j \neq i} (|C'_{ij}|)} \right) \quad (9)$$

50 aún incluso:

$$Q' = \frac{\text{moy}_i(|C'_{ii}|)}{\text{moy}_{\substack{i,j \\ i \neq j}}(|C'_{ij}|)} \quad (10)$$

Como en el primer modo de realización, el factor de calidad Q' traduce la proximidad de la matriz de correlación en una matriz diagonal.

5 Seguidamente se entra en un bucle iterativo, siendo las etapas 250 a 285 idénticas a las etapas 150 a 185 anteriormente descritas con la diferencia cerca de que el factor de calidad, Q' , se calcula con ayuda de una de las expresiones (7) a (9).

10 Cuando el criterio de detención se satisface, es decir, cuando el conjunto S se agota o cuando se encuentra, por sustituciones sucesivas, un subconjunto S_N cuyo factor de calidad es inferior a un calor de umbral predeterminado $Q'_{\text{ésimo}}$, el subconjunto S_N resultante es el diccionario de codificación buscado.

15 La Fig. 3 representa los elementos de una matriz de correlación de las señales acústicas aleatorias de un diccionario de codificación construido según el método de la Fig. 2. Más precisamente, se han representado aquí los valores absolutos $|C'_{ij}|$ de los coeficientes de correlación de las señales acústicas aleatorias del diccionario S_N , con $N = 256$. Se remarca que los coeficientes de correlación de la diagonal principal, es decir, las energías de las diferentes señales aleatorias, son sustancialmente más elevados que los coeficientes de correlación fuera de diagonal.

20 La Fig. 4 representa de manera esquemática un método de transmisión de símbolos de información por medio de señales acústicas aleatorias, según un modo de realización de la invención.

Se supone que se ha generado previamente un diccionario de codificación según el método de la Fig. 1 o de la Fig. 2, dicho de otro modo, que se dispone de un conjunto S_N de señales acústicas aleatorias.

25 Las palabras que se van a transmitir opcionalmente se codifican en 410 por medio de un canal de codificación, por ejemplo, una codificación por bloque de tipo BCH o Reed-Solomon. Si es el caso, se podrá igualmente añadir un código CRC, de manera conocida en sí. Los bloques codificados de este modo por la codificación de canal y/o codificación CRC se cortan después en palabras de tamaño n y, en consecuencia, los símbolos de un alfabeto A de cardinal $N = 2^n$.

30 En cada palabra de n bits, $x_1^i \dots x_n^i$, se lee en 420 en la memoria 430, la señal aleatoria de S_N que se le asocia de manera biunívoca. Esta señal seguidamente se convierte en una señal analógica en 440 y después se amplifica en 450 antes de emitirse por un transductor en 460 (altavoz o transductor piezoeléctrico, por ejemplo).

35 De este modo, una secuencia de palabras a transmitir se transforma en una señal acústica constituida por una secuencia de señales acústicas aleatorias S_N .

40 Alternativamente, varias palabras, dicho de otro modo, varios símbolos del alfabeto A , podrán transmitirse simultáneamente sobre el canal de transmisión. En ese caso, la señal acústica transmitida durante un período de palabra se constituirá simplemente por la suma de las señales acústicas aleatorias asociadas a estas diferentes palabras.

45 La Fig. 5 representa de manera esquemática un método de recepción de una señal acústica transmitida por el método de transmisión de la figura 4.

La señal acústica recibida por el transductor 510 se convierte en una señal eléctrica que, si se da el caso, se amplifica (etapa no representada), después se muestra 520 en la frecuencia Nyquist. La secuencia de muestras obtenida de este modo se correlaciona en una batería de correladores en paralelo $530_1, \dots, 530_N$ con las señales aleatorias de base $\bar{s}_i, i = 1, \dots, N$ o $\tilde{s}_i, i = 1, \dots, N$ en el segundo modo de realización) del diccionario S_N .

Los correladores puede realizarse, por ejemplo, en forma de filtros adaptados a las señales aleatorias de base $\bar{s}_i, i = 1, \dots, N$ (o $\tilde{s}_i, i = 1, \dots, N$ en el segundo modo de realización).

55 Se supondrá primero que la transmisión tiene lugar de manera secuencial y que los correladores están sincronizados con las transiciones entre palabras sucesivas. Se podrá prever, en particular, transmitir una secuencia piloto en el preámbulo (por ejemplo, un encabezado de trama) en el preámbulo de la carga útil, permitiendo a los correladores sincronizarse con la cadena de palabra $1/T$.

Los resultados de correlación en la salida de los diferentes correladores se comparan entre sí en 540, al terminar cada período T . El índice i de la señal \bar{s}_i (\tilde{s}_i) correspondiendo al resultado de correlación más elevado en valor absoluto da el índice del sistema del alfabeto A que ha sido transmitido. En la práctica, el índice i se utiliza en 550 como elemento de dirección para leer una memoria 560 en donde se almacenan las palabras $x_1^i \dots x_n^i$ del alfabeto A .

5 La palabra de n bits leída en esta dirección, $x_1^i \dots x_n^i$, se proporciona a un decodificador de canal 570. El decodificador de canal concatena las palabras consecutivas para formar bloques y efectúa una decodificación de canal de estos bloques. El experto en la materia comprenderá que la decodificación de canal permitirá corregir ciertos errores que pueden afectar a los bloques transmitidos y que el cálculo del CRC permitirá determinar si estos bloques han sido
10 correctamente decodificados.

Según una variante, varias palabras pueden transmitirse simultáneamente sobre el canal de transmisión. En ese caso, los resultados de correlación no se comparan entre sí (en valor absoluto) sino con un valor umbral predeterminado. Las salidas de los correladores dan entonces los índices de las palabras del alfabeto A que han sido transmitidas. De la misma manera, después de la concatenación de las palabras en bloques, una decodificación de canal de los bloques
15 puede, seguidamente, efectuarse.

Se podrán considerar numerosas otras variantes por el experto en la materia sin salir del ámbito de la presente invención. Por ejemplo, al nivel de la emisión, se podrá prever que las señales aleatorias se utilicen para modular una portadora o una pluralidad de subportadoras antes de la etapa de amplificación. De manera simétrica, la señal recibida por el transductor acústico podrá sufrir una demodulación correspondiente antes de ser correlacionada por la batería de correladores.
20

Debido a la naturaleza aleatoria de las señales acústicas, es difícil para un tercero que escucha el canal codificarlas para obtener los símbolos de información transmitidos. Además, se podrá prever una pluralidad de conjuntos SN en la emisión y en la recepción, siendo éstos utilizados según una secuencia predeterminada. Alternativamente, la conmutación de un conjunto S_N a otro podrá controlarse por una palabra de control transmitida sobre el canal acústico o bien sobre un canal auxiliar.
25

REIVINDICACIONES

1. Método de codificación de símbolos de información que pertenecen a un alfabeto (A) por medio de señales acústicas, que comprende las siguientes etapas:

- (a) se adquieren un conjunto de señales aleatorias y se filtran por medio de un filtro de interés (110-120; 210-220) que tiene por respuesta la respuesta del canal de transmisión sobre el cual estas señales están destinadas a ser transmitidas;
- (b) se seleccionan (150,250) subconjuntos (S_N) de N señales aleatorias filtradas de este modo de dicho conjunto y, para cada subconjunto, se calcula (160, 260) una matriz de correlación de las señales seleccionadas de este modo;
- (c) se conserva como diccionario de codificación el subconjunto de N señales que corresponde a la matriz de correlación más cercana a una matriz diagonal (170-180, 270-280);
- (d) se codifica cada símbolo de información del alfabeto por una señal aleatoria del diccionario, siendo dicha señal aleatoria del diccionario transformada en señal acústica por medio de un transductor.

2. Método de codificación según la reivindicación 1, **caracterizado por que** se adquieren dichas señales aleatorias por medio de un generador aleatorio que utiliza un fenómeno físico.

3. Método de codificación según las reivindicaciones 1 o 2, **caracterizado por que** en la etapa (c):

- (c1) se sustituye sucesivamente una nueva señal aleatoria (150, 250), que pertenece a dicho conjunto, por una de las señales aleatorias (\tilde{s}_i, \tilde{s}_i) de un primer subconjunto de señales seleccionado;
- (c2) se calcula (160, 260) para cada uno de los subconjuntos sustituidos de este modo la matriz de correlación ($C_{i \rightarrow k}, C'_{i \rightarrow k}$) de las señales aleatorias y de ello se deduce un factor de calidad ($Q_{i \rightarrow k}, Q'_{i \rightarrow k}$) que caracteriza la proximidad de la matriz de correlación con una matriz diagonal; repitiéndose las etapas (c1) y (c2) mientras no se agoten las señales aleatorias de dicho conjunto y/o el factor de calidad sea inferior a un valor umbral predeterminado (Q_{Th}, Q'_{Th}).

4. Método de codificación según la reivindicación 1, **caracterizado por que**, antes de la etapa (b), se sustrae en cada señal aleatoria su media para que dichas señales aleatorias estén centradas.

5. Método de codificación según la reivindicación 4, **caracterizado por que** el factor de calidad se calcula por medio

$$Q' = \frac{\min_i (|C'_{ii}|)}{\max_{i,j, i \neq j} (|C'_{ij}|)} \quad \text{o} \quad Q' = \min_i \left(\frac{|C'_{ii}|}{\max_{j \neq i} (|C'_{ij}|)} \right) \quad \text{o incluso} \quad Q' = \frac{\text{moy}_i (|C'_{ii}|)}{\text{moy}_{i,j, i \neq j} (|C'_{ij}|)}$$

de los elementos de la matriz de correlación y donde min, max y moy significan respectivamente el valor mínimo, el valor máximo y el valor medio.

6. Método de codificación según la reivindicación 4, **caracterizado por que**, antes de la etapa (b), se normaliza la energía de las señales aleatorias centradas para obtener señales aleatorias normalizadas que posean todas una misma energía media por muestra (E_0).

7. Método de codificación según la reivindicación 6, **caracterizado por que** el factor de calidad se calcula por medio

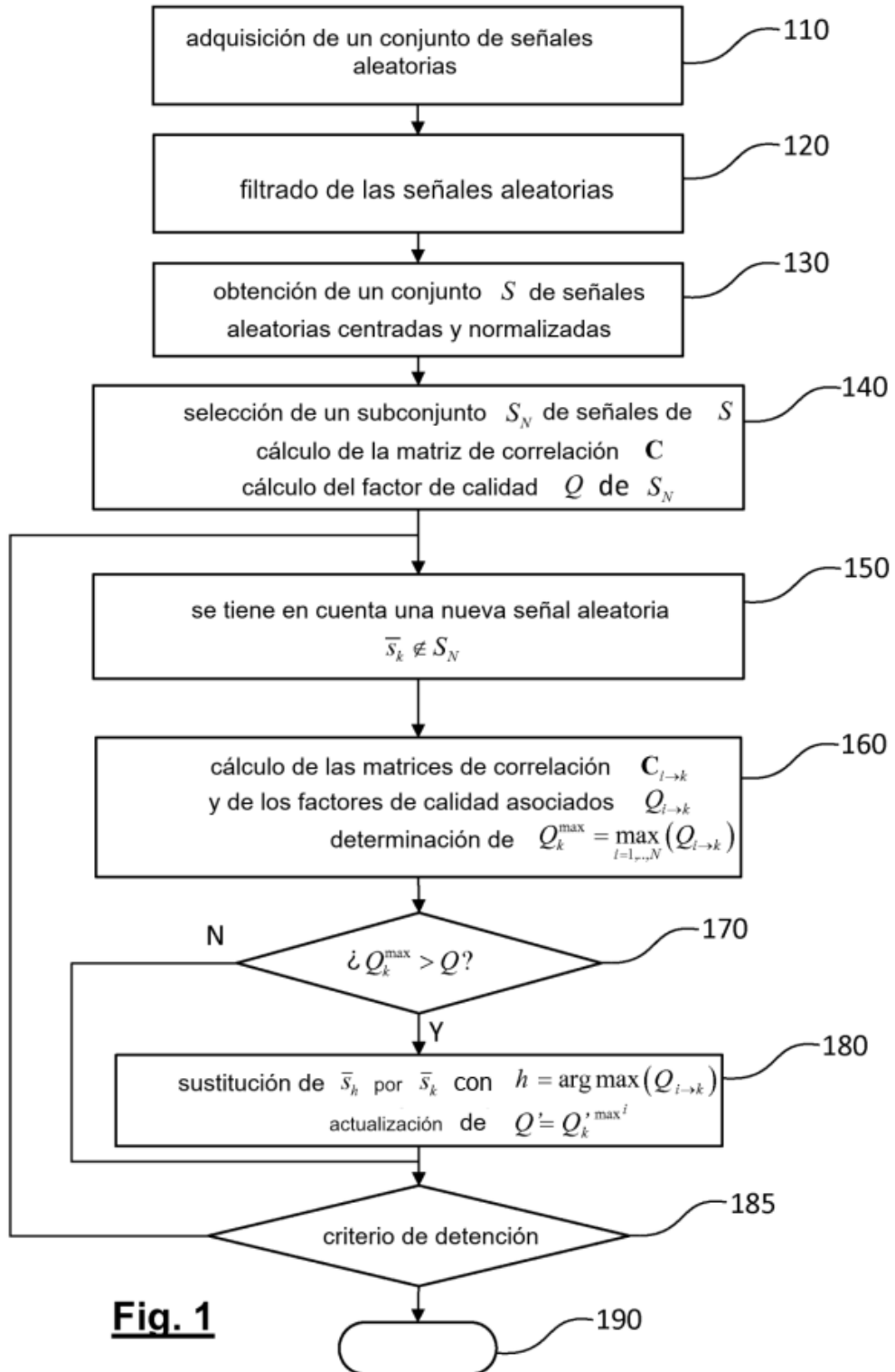
$$Q = \frac{E_0}{\max_{i,j, i \neq j} (|C_{ij}|)} \quad \text{o} \quad Q = \frac{E_0}{\text{moy}_{i,j, i \neq j} (|C_{ij}|)} \quad \text{o incluso} \quad Q = \frac{E_0}{\sum_{i,j, i \neq j} |C_{ij}|}$$

de los elementos de la matriz de correlación y E_0 es dicha energía media por muestra de las señales aleatorias y donde min, mas y moy significan respectivamente el valor mínimo, el valor máximo y el valor medio.

8. Método de transmisión de símbolos de información que pertenecen a un alfabeto (A) por medio de señales acústicas, **caracterizado por que** dichos símbolos están codificados por medio del método de codificación por señales acústicas según una de las reivindicaciones 1 a 7, transmitiéndose las señales acústicas, correspondientes a símbolos de información sucesivos, secuencialmente sobre el canal de transmisión.

9. Método de transmisión de símbolos de información que pertenecen a un alfabeto (A) por medio de señales acústicas, **caracterizado por que** dichos símbolos están codificados por medio del método de codificación según una de las reivindicaciones 1 a 7, transmitiéndose una pluralidad de señales acústicas, correspondientes a diferentes símbolos de información, simultáneamente sobre el canal de transmisión.

10. Método de transmisión de símbolos de información según las reivindicaciones 8 o 9, **caracterizado por que** se efectúa una codificación de canal de bloques de dichos símbolos antes de su codificación por señales acústicas.
- 5 11. Método de recepción de símbolos de información transmitidos por el método de transmisión de la reivindicación 8, **caracterizado por que** la señal acústica recibida durante un tiempo de símbolo es transformada en señal eléctrica por un transductor, después se correlaciona con cada una de las señales aleatorias del diccionario de codificación para proporcionar una pluralidad de resultados de correlación, proporcionando el resultado de correlación más elevado en valor absoluto el índice de un símbolo recibido durante dicho tiempo de símbolo.
- 10 12. Método de recepción de símbolos de información transmitidos por el método de transmisión de la reivindicación 9, **caracterizado por que** la señal acústica recibida durante un tiempo de símbolo es transformada en señal eléctrica por un transductor, después se correlaciona cada una de las señales aleatorias del diccionario de codificación para proporcionar una pluralidad de resultados de correlación, proporcionando los resultados de correlación superiores, en valor absoluto, a un valor umbral predeterminado los índices de los símbolos recibidos durante dicho tiempo de símbolo.
- 15 13. Método de recepción de símbolos de información transmitidos por el método de transmisión de la reivindicación 10, **caracterizado por que** la señal acústica recibida durante un tiempo de símbolo es transformada en señal eléctrica por un transductor, después se correlaciona con cada una de las señales aleatorias del diccionario de codificación para proporcionar una pluralidad de resultados de correlación, proporcionando los resultados de correlación superiores, en valor absoluto, a un valor umbral predeterminado los índices de los símbolos recibidos durante dicho tiempo de símbolo, sometándose a continuación los bloques de símbolos recibidos a una decodificación de canal.
- 20



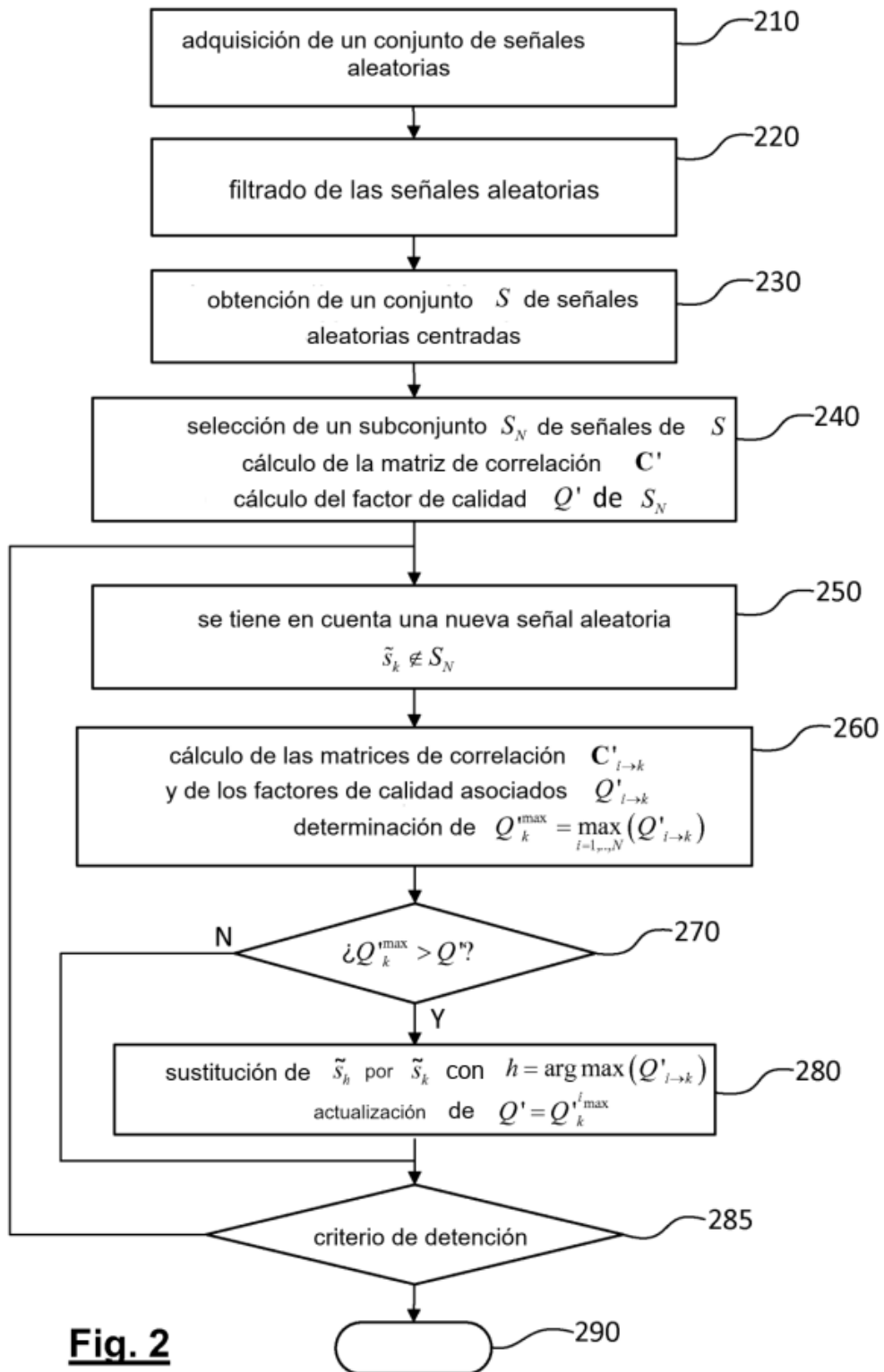


Fig. 2

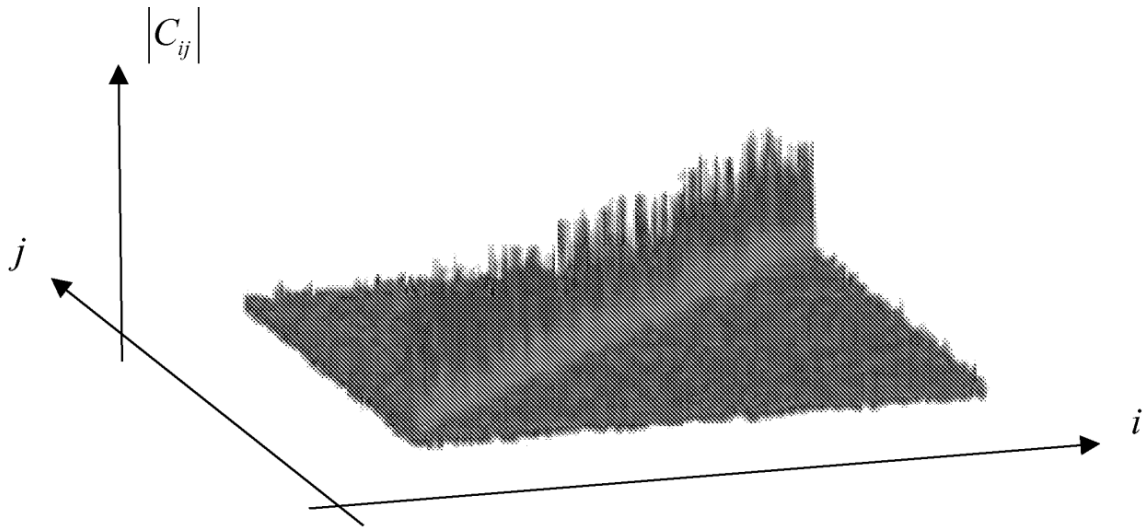


Fig. 3

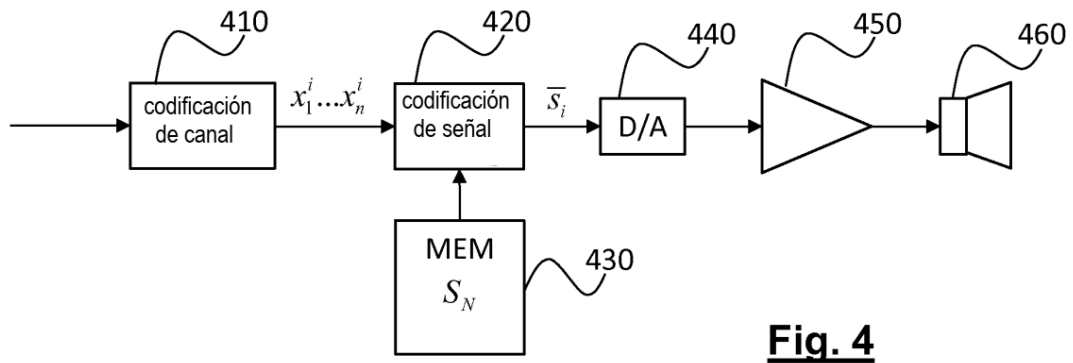


Fig. 4

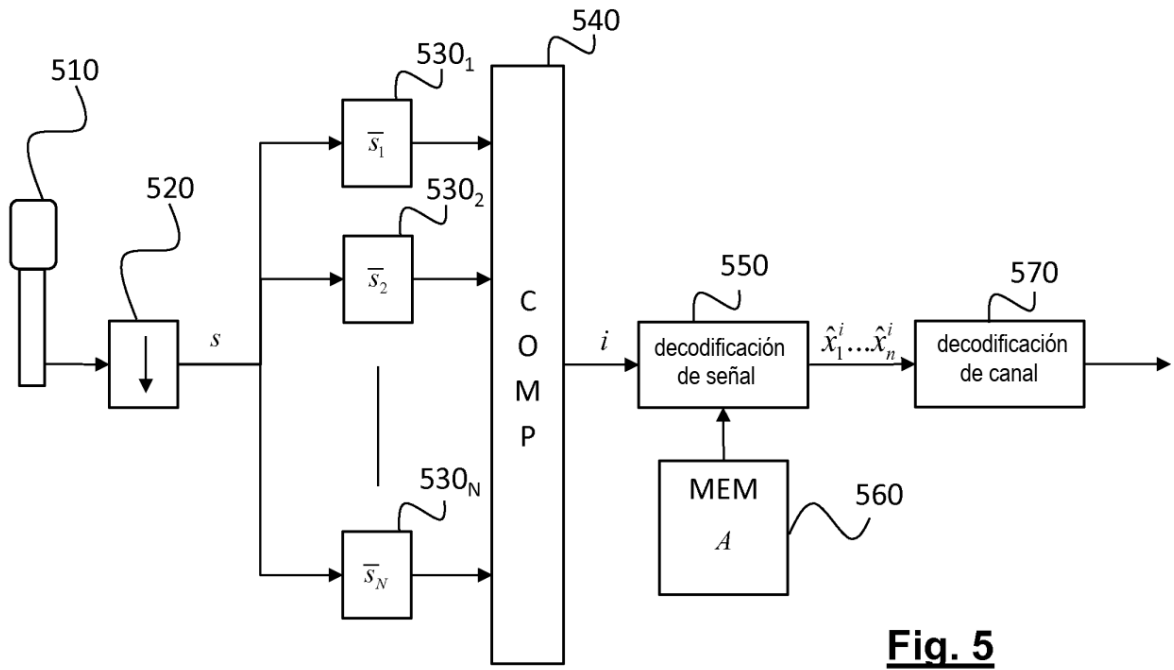


Fig. 5