



(19)



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

(11) Número de publicación: **2 366 814**

(51) Int. Cl.:
H04L 25/02 (2006.01)

(12)

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

(96) Número de solicitud europea: **07115021 .3**

(96) Fecha de presentación : **18.01.2001**

(97) Número de publicación de la solicitud: **1871061**

(97) Fecha de publicación de la solicitud: **26.12.2007**

(54) Título: **Estimación de canal por cuadrados mínimos con corrección de ruido coloreado.**

(30) Prioridad: **15.02.2000 US 504216**

(45) Fecha de publicación de la mención BOPI:
25.10.2011

(45) Fecha de la publicación del folleto de la patente:
25.10.2011

(73) Titular/es: **ERICSSON Inc.**
6300 Legacy Drive
Plano, Texas 75024, US

(72) Inventor/es: **Zangi, Kambiz;**
Ramesh, Rajaram y
Hui, Dennis

(74) Agente: **Elzaburu Márquez, Alberto**

ES 2 366 814 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

Estimación de canal por cuadrados mínimos con corrección de ruido coloreado.

5 ANTECEDENTES DE LA INVENCION

La presente invención se refiere a métodos y sistemas de comunicaciones y, más particularmente, a métodos y sistemas para señales de comunicaciones sujetas a ruido tales como las halladas típicamente en sistemas de comunicación inalámbrica. Sistemas de comunicaciones inalámbricas son empleados comúnmente para proporcionar comunicaciones de voz y datos a abonados. Por ejemplo, sistemas radiotelefónicos celulares analógicos, tales como los designados AMPS (Advanced Mobile Phone Service), ETACS (Extended Total Access Communications System), NMT-450 (Nordic Mobile Telephone-450) y NMT-900 (Nordic Mobile Telephone-900), han sido desplegados satisfactoriamente durante mucho tiempo en todo el mundo. Sistemas radiotelefónicos celulares digitales tales como los que están de acuerdo con la norma norteamericana IS-54 (Interim Standard-54) y la norma europea GSM (Global System for Mobile Communications), han estado en servicio desde principio de los 1.990. Más recientemente, han sido introducidos una gran diversidad de servicios digitales inalámbricos etiquetados generalmente como PCS (Personal Communications Services), incluyendo sistemas celulares digitales avanzados de acuerdo con normas tales como IS-136 e IS-95, sistemas de potencia más baja tales como DECT (Digital Enhanced Cordless Telephone) y servicios de comunicaciones de datos tales como CDPD (Cellular Digital Packet Data). Estos y otros sistemas son descritos en "El manual de comunicaciones móviles" redactado por Gibson y publicado por CRC Press (1.996).

Sistemas de comunicaciones inalámbricas tales como sistemas radiotelefónicos celulares incluyen típicamente una pluralidad de canales de comunicación que pueden ser establecidos entre un primer transceptor (tal como una estación base) y un segundo transceptor (tal como un terminal móvil). Los canales de comunicación están sujetos típicamente a efectos ambientales que degradan el comportamiento funcional tales como desvanecimiento multitrayecto y perturbaciones aditivas. Estas diversas fuentes de perturbaciones aditivas pueden proceder de una diversidad de fuentes que incluyen ruido térmico, un elemento de interferencia de canal común y un elemento de interferencia de canal adyacente.

Las características dinámicas del radiocanal presentan dificultades en estimar el canal para tener en cuenta la decodificación de información contenida en la señal recibida. Frecuentemente, en radiosistemas móviles inalámbricos, secuencias de datos conocidas son insertadas periódicamente dentro de las secuencias de información transmitidas. Tales secuencias de datos son denominadas comúnmente secuencias de sincronización o secuencias de instrucción y son provistas típicamente al principio y/o en el medio de un cuadro de datos o una ráfaga de datos. La estimación de canal puede ser realizada usando las secuencias de sincronización y otros parámetros conocidos para estimar el impacto que el canal tiene en la señal transmitida. La estimación por cuadrados mínimos puede ser un modo eficiente de estimar la respuesta a impulso del canal en la presencia de ruido gaussiano blanco aditivo. Sin embargo, cuando el ruido se hace no blanco, o coloreado, estas técnicas pueden resultar menos eficientes.

Para extraer la señal transmitida (o símbolos) de la señal recibida, el receptor de un terminal móvil incluye típicamente un desmodulador que puede ser un desmodulador coherente tal como un desmodulador (o ecualizador) de estimación de secuencia de probabilidad máxima (MLSE: maximun likelihood sequence estimation). Para adaptarse a la variación de canal desde cada ráfaga de datos a la siguiente, un estimador de canal asociado es provisto típicamente para el desmodulador. El estimador de canal funciona típicamente usando símbolos transmitidos conocidos.

En cualquier momento dado, la clase de perturbaciones (interferencia de canal común, interferencia de canal adyacente o ruido térmico), que domina en la señal recibida, es generalmente desconocida. El procedimiento típico es diseñar el desmodulador o el ecualizador en el receptor suponiendo que la perturbación dominante es blanca (o sea, descorrelacionada en el tiempo), esperando que será bien suficiente aunque la perturbación sea algo coloreada.

Por ejemplo, considérese el modelo de receptor representado en la Figura 1. Una señal $y(t)$ es filtrada primero en un filtro de recepción analógico 105 que tiene una función $p(t)$ de transferencia para proporcionar una señal recibida $r(t)$ que es submuestreada a una señal recibida $r(n)$ de velocidad de símbolos antes de procesar en el ecualizador 110 para obtener una estimación $s_{est}(u)$ de señal. Como se usa en esto, el término "velocidad de símbolos" abarca tanto la velocidad de transmisión de símbolos como múltiplos de ella. La señal $r(n)$ recibida en momentos discretos submuestreada en velocidad de símbolos es dada por:

$$r(n) = \sum_{k=0}^{L-1} c(k)s(n-k) + v(n) \quad (1)$$

donde $c(k)$ son los L coeficientes del canal de banda base, $s(n)$ son los símbolos transmitidos y $v(n)$ es una señal de perturbación,

Como se observó antes, para ayudar a estimar el canal $c(k)$ en el receptor, el transmisor transmite típicamente una señal de sincronización que incluye un número de símbolos conocidos: $s(n) = 1$ y la señal recibida conocida $r(n) = 1$. Los coeficientes de canal $c(k)$, son estimados entonces usando los símbolos transmitidos conocidos $s(n)$. Generalmente, esto se efectúa suponiendo que la perturbación $v(n)$ es blanca, en otras palabras, que la autocorrelación de $v(n)$, $\rho_{vv}(k) = \delta(k)$. Basada en esta suposición, la estimación de probabilidad máxima (ML: maximun likelihood), que se espera sea la estimación óptima, de los $c(k)$ es la estimación de cuadrados mínimos.

La función de autocorrelación de la perturbación $v(n)$ puede ser definida como:

$$\rho_{vv}(k) = E\{v(n)v^*(n-k)\} \quad (2)$$

donde k es el retraso de autocorrelación y $E\{\cdot\}$ representan el valor previsto. Es conocido que la estimación de cuadrados mínimos puede ser obtenida como la solución de los criterios de optimización siguientes:

$$\hat{c}_{LS}(k) = \arg \min_{c(k)} \sum_{n=n_0+L}^{n_0+M-1} |r(n) - \hat{r}[n|n-L; c(k), \rho_{vv}(k) = \delta(k)]|^2 \quad (3)$$

$$= \arg \min_{c(k)} \sum_{n=n_0+L}^{n_0+M-1} \left| r(n) - \sum_{k=0}^{L-1} c(k)s(n-k) \right|^2 \quad (4)$$

donde $\hat{r}[n|n-L; c(k), \rho_{vv}(k)]$ es la predicción un paso por delante de $r(n)$ dado $r(k)$, $k \leq n-L$, $s(k)$, $k \leq n$ y los coeficientes $c(k)$ de canal. Está basada además en la suposición de que la perturbación de señal es ruido blanco, en otras palabras, que la autocorrelación de la perturbación $\rho_{vv}(k) = \delta(k)$. Cuando el ruido $v(n)$ no es blanco (o sea, $\rho_{vv}(k) \neq \delta(k)$), no se espera que la estimación de cuadrados mínimos definida en la ecuación (4) sea la estimación de probabilidad máxima de $c(k)$.

En un sistema celular típico, la perturbación $v(n)$ puede ser modelada como la suma de tres señales pasadas a través del filtro de recepción analógico $p(n)$:

$$v(t) = [v_{co}(t) + v_{adj}(t) + v_{TH}(t)] * p(t) \quad (5)$$

$$v(n) = v(n \times T_{\text{símbolo}}) \quad (6)$$

donde $v_{co}(t)$ es el elemento de interferencia de canal común analógico antes del filtro de recepción; $v_{adj}(t)$ es el elemento de interferencia de canal adyacente analógico antes del filtro de recepción; $v_{TH}(t)$ es el ruido térmico antes del filtro de recepción; y $p(t)$ es el filtro de recepción analógico. Finalmente, $v(n)$ es obtenida muestreando $v(t)$ cada $T_{\text{símbolo}}$ segundos.

Obsérvese que $v(n)$ podría hacerse coloreada porque $v_{co}(t)$ o $v_{adj}(t)$ puede ser coloreado. Además, $v(n)$ podría hacerse coloreada porque $p(t)$ no es un filtro Nyquist. En otras palabras, la perturbación $v(n)$ de señal puede hacerse coloreada y el color de la perturbación puede cambiar de ráfaga a ráfaga de la señal de comunicaciones. Una perturbación coloreada de señal puede producir comportamiento funcional degradado porque, como se observó antes, una vez que la perturbación es coloreada, la estimación de probabilidad máxima de los coeficientes de canal no es típicamente la estimación de cuadrados mínimos definida en la ecuación (4).

Una metodología para ecualización adaptable que puede ser usada con una aplicación de radio celular sujeta a

interferencia de canal común y de canal adyacente, que usa una autocorrelación de la interferencia de canal común, es descrita en "Ecuación adaptable para interferencia de canal común en un entorno de desvanecimiento multitrayecto", de Lo, N.W.K. y otros, Memorias técnicas del IEEE sobre comunicaciones, IEEE, Nueva York, Volumen 43, páginas 1441-53 (1.995). Un algoritmo para identificación y ecualización de canal en la presencia de interferencia fuerte de canal común es descrito en "Identificación y ecualización espacio-temporales de canal en la presencia de interferencia fuerte de canal común" de Samson See, C-M y otros", Procesamiento de Señales, Elsevier Science B.V., Volumen 78, páginas 127-138 (1.999).

SUMARIO DE LA INVENCION

Según realizaciones de la presente invención, son provistos métodos, sistemas y dispositivos receptores que pueden proporcionar comportamiento funcional mejorado de receptor para obtener estimaciones de canal de banda base de valor complejo en la presencia de ruido de banda base coloreado. El método estándar de estimación de canal por cuadrados mínimos puede producir una estimación subóptima de canal cuando el ruido de banda base es coloreado puesto que este método supone generalmente que el ruido es blanco.

En realizaciones de la presente invención, son provistos métodos para recibir una señal de comunicación sujeta a ruido coloreado por un canal de comunicación. La señal de comunicación que incluye el ruido coloreado es recibida en un dispositivo receptor. Una estimación de canal para el canal de comunicación es determinada basada en la señal recibida, información predeterminada asociada con la señal recibida y una característica estimada de color del ruido coloreado. Una estimación de señal para la señal recibida es generada usando la estimación determinada de canal. La estimación de canal puede ser determinada usando un algoritmo generalizado de cuadrados mínimos. En realizaciones alternativas, la estimación de canal puede ser determinada seleccionando una de la probabilidad máxima de una pluralidad de estimaciones candidatas de canal como la estimación de canal, donde cada una de la pluralidad de estimaciones candidatas de canal está basada en una de una pluralidad de características candidatas de color de ruido del ruido coloreado. La característica de color del ruido coloreado puede ser una autocorrelación del ruido coloreado. La información predeterminada puede ser una señal de sincronización.

En otras realizaciones de la presente invención, son generadas una pluralidad de estimaciones candidatas de canal, preferiblemente coeficientes de canal. Cada una de la pluralidad de estimaciones candidatas de canal está basada en una pluralidad de autocorrelaciones candidatas. Una de la pluralidad de estimaciones candidatas de canal es seleccionada como la estimación de canal. La pluralidad de conjuntos de coeficientes de canal puede ser generada como sigue. Una de la pluralidad de autocorrelaciones candidatas puede ser seleccionada y un filtro de blanqueo puede ser determinado basado en la una seleccionada de la pluralidad de autocorrelaciones. La señal recibida y la información predeterminada asociada con la señal recibida pueden ser filtradas usando el filtro de blanqueo determinado. Uno de la pluralidad de conjuntos de coeficientes de canal puede ser generado basado en la señal recibida filtrada y la información predeterminada filtrada asociada con la señal recibida. Operaciones pueden ser repetidas seleccionando, determinando un filtro de blanqueo, filtrando y generando uno de la pluralidad de conjuntos de coeficientes de canal para otras de la pluralidad de autocorrelaciones candidatas para proporcionar la pluralidad de conjuntos de coeficientes de canal.

En realizaciones adicionales de la presente invención, cada uno de la pluralidad de conjuntos de coeficientes de canal $\hat{c}_i(k)$, donde N es el número de autocorrelaciones candidatas N indica el conjunto particular de coeficientes de canal que está basado en una de la pluralidad de autocorrelaciones candidatas, puede ser generado usando la ecuación:

$$\hat{c}_i(k) = \arg \min_{c(k)} \sum_{n=n_0+L+q_i}^{n_0+M-1} \left| r'_i(n) - \sum_{k=0}^{L-1} c(k) s'_i(n-k) \right|^2,$$

donde $r'_i(n)$ es $r(n)$ filtrado por el filtro de blanqueo asociado con la autocorrelación candidata seleccionada, $s'_i(n-k)$ es $s(n)$ filtrado por el filtro de blanqueo y retardado en k muestras, y q_i+1 es la longitud del filtro de blanqueo. Para cada estimación candidata $\hat{c}_i(k)$ de canal obtenida anteriormente, un error cuadrático asociado puede ser calculado según la ecuación:

$$\varepsilon_i = \sum_{n=n_0+L+q_i}^{n_0+M-1} \left| r'_i(n) - \sum_{k=0}^{L-1} \hat{c}_i(k) s'_i(n-k) \right|^2.$$

La estimación final de canal puede ser seleccionada como la estimación candidata de canal cuyo error cuadrático

asociado  es el mínimo. En realizaciones adicionales, los filtros de blanqueo para cada una de la pluralidad de autocorrelaciones candidatas pueden ser generados por adelantado y almacenados y uno respectivo de los filtros de blanqueo almacenados puede ser seleccionado como el filtro de blanqueo para cada iteración de generar un conjunto candidato de estimaciones de canal tales como conjuntos de coeficientes de canal.

En realizaciones adicionales, la señal de comunicación comprende una pluralidad de ráfagas y en la que la información predeterminada asociada con la señal recibida es una señal de sincronización incluida en cada una de la pluralidad de ráfagas. La estimación de canal para el canal de comunicación puede ser determinada para cada ráfaga respectiva basada en la señal de sincronización incluida en la ráfaga respectiva para proporcionar una estimación de canal asociada con la ráfaga respectiva. La estimación de señal para la señal recibida puede ser generada para cada ráfaga respectiva usando la estimación de canal asociada con la ráfaga respectiva.

Según la presente invención, es provisto un sistema que incluye un receptor que recibe señales de comunicación inalámbrica, incluyendo una perturbación de señal que tiene un color de ruido asociado, y submuestra las señales recibidas a una velocidad de símbolos de las señales de comunicación para proporcionar muestras de señal recibida. El dispositivo receptor incluye además un ecualizador que genera estimaciones de símbolos a partir de las muestras de señal recibida, teniendo el ecualizador coeficientes de canal asociados, y un estimador de canal que genera los coeficientes de canal basados en las señales recibidas de comunicación inalámbrica, información predeterminada asociada con las señales recibidas de comunicación inalámbricas y el color de ruido asociado de la perturbación de señal.

El sistema incluye además una memoria configurada para almacenar una pluralidad de autocorrelaciones candidatas y el estimador de canal está configurado además para generar conjuntos de coeficientes de canal basados en cada una de la pluralidad de autocorrelaciones candidatas y seleccionar uno de los conjuntos de coeficientes de canal generados como los coeficientes de canal.

Como será apreciado además por los expertos en la técnica, aunque descrita antes principalmente con referencia a aspectos de método, la presente invención también puede ser materializada como sistemas.

DESCRIPCION BREVE DE LOS DIBUJOS

La Figura 1 es un diagrama de bloques esquemático que ilustra un receptor convencional;
la Figura 2 es un diagrama de bloques esquemático que ilustra un dispositivo receptor según técnica relacionada de la presente invención;
la Figura 3 es un organigrama que ilustra operaciones para realizaciones del dispositivo receptor en la Figura 2; y
la Figura 4 es un diagrama de bloques esquemático que ilustra un sistema y un dispositivo receptor según realizaciones adicionales de la presente invención;
la Figura 5 es un organigrama que ilustra operaciones para realizaciones de la presente invención; y
la Figura 6 es un gráfico que ilustra un ejemplo de características de comportamiento funcional para un dispositivo receptor según una realización de la presente invención.

DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA INVENCION

La presente invención será descrita ahora más completamente en lo sucesivo con referencia a los dibujos adjuntos en los que se muestran realizaciones preferidas de la invención. Sin embargo, esta invención puede ser materializada en muchas formas diferentes y no debería ser interpretada como limitada a las realizaciones expuestas en esto; más bien, estas realizaciones son provistas de modo que esta exposición sea minuciosa y completa, y comunique completamente el alcance de la invención a los expertos en la técnica. La presente invención puede tomar la forma de una realización en hardware, una realización en software o una realización que combina aspectos de software y hardware.

Algunas realizaciones relacionadas con la presente invención serán descritas ahora con referencia a la ilustración de diagrama de bloques en la Figura 2. Como se muestra en la Figura 2, una señal  es transmitida por un canal 202 que tiene una característica  de canal, tal como un canal de comunicación radiotelefónica celular inalámbrica. La señal transmitida, incluyendo efectos inducidos por canal, es recibida como una señal  en el receptor/procesador de RF 200 que proporciona un receptor frontal para un dispositivo receptor 204. El receptor 200 puede incluir un procesador de radiofrecuencia (RF) que proporciona un receptor frontal para recibir las señales  de comunicación que incluyen una perturbación de señal, más particularmente que pueden estar sujetas a una perturbación de señal de ruido coloreado.

Como se ilustra en la Figura 2, el receptor 200 submuestra las señales recibidas a una velocidad de símbolos de las señales de comunicación para proporcionar una señal  de recepción. Como se muestra en la Figura 2, el

dispositivo receptor incluye además un ecualizador 205 que procesa las muestras $r(n)$ de señal recibida para generar estimaciones de las señales recibidas $\hat{s}(n)$. La salida del ecualizador 205 será provista típicamente a más componentes de procesamiento de señales, tal como un descodificador 210. El ecualizador 205 genera estimaciones de símbolos a partir de las muestras de señales recibidas utilizando coeficientes de canal asociados del ecualizador 205. Un estimador 215 de canal genera los coeficientes de canal basados en las señales recibidas de comunicación inalámbrica, información predeterminada asociada con las señales recibidas de comunicación inalámbrica, tal como una señal de sincronización, y un color de ruido asociado de la perturbación de señal.

Como se ilustra en la realización de la Figura 2, el color del ruido puede ser caracterizado por su autocorrelación $\rho_{vv}(k)$. Alternativamente, un espectro de potencia asociada puede ser provisto como la característica de color del ruido. Más particularmente, el estimador 215 de canal está configurado para estimar iterativamente los coeficientes $\hat{c}(k)$ de canal y el color de ruido asociado $\hat{\rho}_{vv}(k)$. Tal estimación iterativa puede ser provista disponiendo uno de los coeficientes de canal y el color de ruido asociado en un valor generado en una iteración anterior y resolviendo para los otros de los coeficientes de canal y el color de ruido asociado y usando después los otros de los coeficientes de canal y el color de ruido asociado, como un valor generado en una iteración anterior, en una iteración subsiguiente.

Refiriéndose ahora a la ilustración de organigrama de la Figura 3, ahora serán descritas adicionalmente operaciones según la realización ilustrada en la Figura 2 para recibir una señal de comunicación sujeta a ruido coloreado por un canal de comunicación. Operaciones empiezan en el bloque 300 cuando una señal de comunicaciones, incluyendo el ruido coloreado aditivo, es recibida en el dispositivo receptor. De acuerdo con dicha realización, es generada entonces una estimación de canal para el canal de comunicación basada en la señal recibida la información predeterminada asociada con la señal recibida y una característica de color estimada del ruido coloreado, una autocorrelación para el ejemplo ilustrado, como será descrito con referencia a los bloques 305-325. Una estimación inicial de canal, un conjunto de coeficientes de canal en la realización ilustrada, es generada primero basada en una autocorrelación supuesta, preferiblemente una suposición de ruido blanco, y la señal recibida y la información predeterminada, preferiblemente una señal de sincronización en cada ráfaga de la señal de comunicación (bloque 305). Entonces es generada una autocorrelación actualizada basada en la estimación inicial de canal, la señal recibida y la información predeterminada (bloque 310).

Entonces, la autocorrelación actualizada es usada para generar un conjunto actualizado de coeficientes de canal que, en la realización ilustrada, incluye proporcionar un filtro de blanqueo basado en la autocorrelación actualizada (bloque 315) y filtrar la señal recibida para blanquear las señales recibidas y la información predeterminada (bloque 318). Después, coeficientes actualizados de canal son generados basados en las señales filtradas generadas basadas en la autocorrelación actualizada (bloque 320). Ha de comprenderse que, para los fines de explicación en las diversas realizaciones en esto, la estimación de canal puede ser provista en la forma de coeficientes de canal generados por el estimador 215 de canal para el ecualizador 205.

Operaciones como se describen en los bloques 310 a 320 son repetidas para un número de iteraciones (bloque 325) tal como un número predeterminado fijo de iteraciones o un número variable de iteraciones dependiendo de criterios de medida de calidad para los coeficientes de canal. Por ejemplo, operaciones podrían ser repetidas hasta que la mejora incremental en la estimación de canal, por ejemplo como es medida por la ecuación 7 siguiente, sea menor que un valor especificado. Entonces, una estimación de señal para la señal recibida puede ser generada usando los coeficientes determinados de canal (bloque 330).

Operaciones como se describen generalmente con referencia a la Figura 3 serán descritas ahora con más detalle para realizaciones particulares que utilizan optimización de cuadrados mínimos. En este ejemplo, los coeficientes $\hat{c}(k)$ de canal y la autocorrelación de la perturbación $\hat{\rho}_{vv}(k)$ de banda base son estimados conjuntamente. Esta estimación puede ser expresada como la solución de los criterios de minimización siguientes:

$$\hat{c}(k) = \underset{(c(k), \rho_{vv}(k))}{\arg \min} \sum_{n=n_0+L}^{n_0+M-1} |r(n) - \hat{r}[n|n-1; c(k), \rho_{vv}(k)]|^2 \quad (7)$$

donde $\hat{r}[n|n-1; c(k), \rho_{vv}(k)]$ es la predicción en un paso por delante de $r(n)$ dado $\{c(k); k < n\}$; $\{\rho_{vv}(k); k \leq n\}$, coeficientes $\hat{c}(k)$ de canal y la autocorrelación de la perturbación $\hat{\rho}_{vv}(k)$.

Para este ejemplo, es determinado el par $(\hat{c}(k), \hat{\rho}_{vv}(k))$ que minimiza los criterios en la ecuación (7) usando, por ejemplo, al algoritmo de cuadrados mínimos generalizados (GLS: Generalized Least Squares), como se describe generalmente en "Identificación de sistema: Teoría para el usuario" de L. Ljung, Prentice-Hall, 1987, un procedimiento iterativo que puede ser descrito por los pasos siguientes:

1. Hallar una estimación inicial de cuadrados mínimos para los coeficientes $\hat{c}(k)$ de canal usando la ecuación

(4) con $\hat{r}(n)$ y $\hat{s}(n)$ dadas (bloque 305).

2. Suponer que la estimación previa $\hat{c}(k)$ de canal es correcta, obtener una estimación nueva de $\hat{c}(k)$ (bloque 310).

3. Suponer que la estimación previa $\hat{\rho}_{ww}(l)$ de autocorrelación es correcta, obtener una estimación nueva de $\hat{\rho}_{ww}(l)$ usando la ecuación (7) (bloques 315 a 320).

4. Volver al paso (2) y repetir para un número deseado de iteraciones (bloque 325).

Los cuatro pasos anteriores proporcionan uno de muchos modos posibles para implementar la ecuación (7) y no pretenden ser limitativos de la presente invención.

En realizaciones de la presente invención, el algoritmo de cuadrados mínimos generalizados (GLS) es aplicado de una manera adaptable que puede proporcionar estimaciones mejoradas de canal. Operaciones para cada uno de los pasos serán descritas ahora con más detalle para que realizaciones ejemplares obtengan una estimación adaptable de canal. El paso 1 puede ser implementado usando una estimación de cuadrados mínimos convencional como se describe en "Identificación de sistema: Teoría para el usuario" de L. Ljung, Prentice-Hall, 1.987. En el paso 2, la correlación $\hat{\rho}_{ww}(l)$ de perturbación puede ser estimada a partir de la señal recibida $\hat{r}(n)$; y los símbolos conocidos $\hat{s}(n)$ y la estimación anterior $\hat{c}(k)$ de canal por:

$$\hat{\rho}_{ww}(l) = \frac{1}{M-L} \sum_{n=n_0+L}^{n_0+M-1-l} \left(r(n+l) - \sum_{k=0}^{L-1} \hat{c}(k) s(n+l-k) \right) \left(r(n) - \sum_{k=0}^{L-1} \hat{c}(k) s(n-k) \right)^* \quad (8)$$

Donde $\hat{c}(k)$ es una estimación del retraso de autocorrelación l , l es el retraso de autocorrelación, M es el número de símbolos transmitidos conocidos, L es la longitud de la estimación de canal (tal como el número de coeficientes de canal), n_0 es el índice del primer símbolo transmitido conocido, $\hat{c}(k)$ es una estimación de canal obtenida previamente, $\hat{r}(n)$ es la señal recibida en momentos discretos y $\hat{s}(n)$ son los símbolos transmitidos conocidos, $\hat{s}(n)$ es dada por el Paso 1.

El Paso 3 puede ser implementado como sigue:

1. Calcular un filtro de blanqueo $\hat{h}(n)$ de respuesta finita a impulsos (FIR: finite impulse response) para la $\hat{c}(k)$ dada usando algoritmos bien conocidos, tal como el algoritmo Levinson. Durbin de "Estimación espectral moderna: teoría y aplicación" de S.M. Kay, Prentice-Hall, 1988 (bloque 315).

2. Filtrar $\hat{r}(n)$ y $\hat{s}(n)$ para obtener $\hat{r}'(n) = \hat{h}(n) * \hat{r}(n)$ y $\hat{s}'(n) = \hat{h}(n) * \hat{s}(n)$ (bloque 318).

3. Hallar una estimación de cuadrados mínimos para los coeficientes $\hat{c}(k)$ de canal con las $\hat{r}'(n)$ y $\hat{s}'(n)$ dadas, o sea

$$\hat{c}(k) = \arg \min_{c(k)} \sum_{n=n_0+L+q}^{n_0+M-1} \left| \hat{r}'(n) - \sum_{k=0}^{L-1} c(k) \hat{s}'(n-k) \right|^2 \quad (9)$$

donde $\hat{r}'(n)$ es $\hat{r}(n)$ filtrada por el filtro de blanqueo, $\hat{s}'(n-k)$ es $\hat{s}(n)$ filtrado por el filtro de blanqueo y retardado en k muestras y $q+1$ es la longitud del filtro del blanqueo (bloque 320).

La determinación y el uso de un filtro de blanqueo para blanquear las señales recibidas en los Pasos 1 y 2 (bloques 315 y 318) es descrita además en la Patente de Estados Unidos nº 6.690.932 titulada "Métodos, dispositivos receptores y sistemas para blanquear una perturbación de señal en una señal de comunicación".

Refiriéndose ahora a la ilustración en diagrama de bloques de la Figura 4, ahora serán descritas además realizaciones de un sistema y un dispositivo receptor para recibir una señal de comunicación sujeta a ruido coloreado por un canal de comunicación. El dispositivo receptor 404 de las realizaciones muestreadas en la Figura 4 incluye un receptor 400 que funciona de una manera similar que la descrita previamente con referencia al receptor 200 de la Figura 2 e incluye además un ecualizador 405 que puede funcionar de una manera similar que la descrita para el ecualizador 205 en la Figura 2. Estimaciones de símbolos procedentes del ecualizador 405 pueden ser provistas a circuito adicional de procesamiento de señales, tal como un descodificador 410. El dispositivo receptor de la realización de la Figura 4 incluye además un estimador 415 de canal y una memoria 420 de autocorrelaciones acoplada al estimador 415 de canal.

El estimador 415 de canal genera los coeficientes $c(k)$ de canal y proporciona estos coeficientes de canal al ecualizador 405 utilizando una pluralidad de autocorrelaciones candidatas $\hat{\rho}_{ww}(l)$ obtenidas de la memoria 420 de

autocorrelaciones. Más particularmente, el estimador 415 de canal incluye una pluralidad de circuitos 422 de estimación de coeficientes cada uno de los cuales incluye, en las realizaciones ilustradas, un circuito 425 de estimación de filtro de blanqueo, un filtro 430 de blanqueo, y un circuito 435 de estimación de coeficientes de canal por cuadrados mínimos (CM). Cada una de la pluralidad de autocorrelaciones candidatas es procesada por uno de los circuitos 422 de estimación de coeficientes y la pluralidad resultante de conjuntos de coeficientes de canal es proporcionada al circuito 440 de selección. El circuito 440 de selección está configurado para seleccionar uno de los conjuntos generados de coeficientes de canal como los coeficientes de canal y proporcionar el conjunto seleccionado al ecualizador 405.

Refiriéndose ahora a la ilustración de organigrama de la Figura 5, ahora serán descritas operaciones para recibir una señal de comunicación sujeta a ruido coloreado por un canal de comunicación. Operaciones empiezan en el bloque 500 con recepción de la señal de comunicación que incluye el ruido coloreado. En esta realización, una pluralidad de autocorrelaciones candidatas son seleccionadas para uso en generar coeficientes de canal (bloque 505). Los valores de autocorrelaciones candidatas son seleccionados preferiblemente para incluir un margen de autocorrelaciones que es probable sean encontradas en un canal de comunicación.

Entonces, es seleccionada una de la pluralidad de autocorrelaciones candidatas (bloque 510). Un filtro de blanqueo es determinado basado en la una seleccionada de la pluralidad de autocorrelaciones (bloque 515). Alternativamente, los filtros de blanqueo pueden ser determinados por adelantado para cada valor de autocorrelación candidata y conservados en memoria, en cuyo caso el filtro de blanqueo predeterminado es seleccionado en el bloque 515. La señal recibida y la información predeterminada asociada con la señal recibida, tal como una señal de sincronización, es filtrada usando el filtro de blanqueo determinado (bloque 520). Un conjunto de coeficientes de canal basados en la señal recibida filtrada y la información predeterminada filtrada es generado para la autocorrelación candidata seleccionada (bloque 525).

Si una autocorrelación candidata adicional permanece (bloque 530), las operaciones en los bloques 510 a 525 se repiten hasta que un conjunto de coeficientes de canal ha sido generado para cada uno de los valores de autocorrelaciones candidatas. Entre estos N pares de estimaciones de canal y estimaciones de autocorrelaciones, es elegido el que minimiza los criterios de probabilidad máxima (ML) en la ecuación (7) (bloque 532). Entonces, una estimación de señal es generada para la señal de recepción usando la estimación determinada de canal (bloque 535). Operaciones como se describieron generalmente con referencia a la Figura 5 serán descritas ahora con más detalle para realizaciones particulares que utilizan optimización por cuadrados mínimos. En este ejemplo, se supone que la autocorrelación de la perturbación pertenece a un conjunto finito de autocorrelaciones candidatas, y este conjunto es conocido o determinado por adelantado (bloque 505). Para los fines de esta descripción, estas

autocorrelaciones candidatas deben ser expresadas como $\{c_i(n)\}_{i=1}^N$, donde N designa el número de autocorrelaciones candidatas. Para cada autocorrelación candidata $c_i(n)$, la estimación $\hat{c}_i(k)$ de canal es generada usando la ecuación (bloques 510-530)

$$\hat{c}_i(k) = \arg \min_{c(k)} \sum_{n=n_0+L+q_i}^{n_0+M-1} \left| r'_i(n) - \sum_{k=0}^{L-1} c(k) s'_i(n-k) \right|^2, \quad (10)$$

donde $r'_i(n)$ es $r(n)$ filtrada por el filtro de blanqueo asociado con esta autocorrelación candidata, $s'_i(n-k)$ es $s(n)$ filtrado por el filtro de blanqueo y retardado en k muestras, q_i+1 es la longitud del filtro de blanqueo. Finalmente, entre estos N pares de estimaciones de canal y estimaciones de autocorrelaciones, se elige el que tiene el error cuadrático asociado mínimo dado por la ecuación:

$$\varepsilon_i = \sum_{n=n_0+L+q_i}^{n_0+M-1} \left| r'_i(n) - \sum_{k=0}^{L-1} \hat{c}_i(k) s'_i(n-k) \right|^2. \quad (11)$$

(bloque 532).

Como se observó antes, como las autocorrelaciones candidatas $\{c_i(n)\}_{i=1}^N$, son conocidas por adelantado en este método, el filtro $h(n)$ de blanqueo correspondiente a cada $c_i(n)$, puede ser precalculado y almacenado en memoria y seleccionado de la memoria en el bloque 515.

La presente invención puede beneficiar a una variedad de receptores celulares que realizan la estimación de canal en la presencia de ruido coloreado de banda base. Tales receptores incluyen receptores GSM (Global System for

Mobile Communications) y receptores EDGE (Enhanced Data rates for Global Evolution). Se ha realizado una simulación que implementa la presente invención para 8PSK (modulación por desplazamiento de fase de 8 símbolos) – EDGE. En esta simulación, el comportamiento funcional de la tasa de error de bloques (BLER: Block Error Rate) respecto a la relación de potencias de portadora a interferencia de canal adyacente (C/I_{adj}) mejora más de 4 dB con una tasa de error de bloques del 10% en un canal típico a una velocidad de tres kilómetros por hora con canal de salto de frecuencia ideal (TU3iFH) usando la presente invención. Los resultados de esta simulación son ilustrados gráficamente en la Figura 6.

La presente invención ha sido descrita anteriormente con respecto a la ilustración de diagrama de bloques de la Figura 4 y la ilustración de organigrama de la Figura 5. Se comprenderá que cada bloque de las ilustraciones de organigramas y las ilustraciones de diagramas de bloques de las Figuras 2 a 5, y combinaciones de bloques en las ilustraciones de organigramas y las ilustraciones de diagramas de bloques de las Figuras 2 a 5, pueden ser implementados por instrucciones de programa de ordenador. Estas instrucciones de programa pueden ser proporcionadas a un procesador para producir una máquina, tal que las instrucciones que se ejecutan en el procesador crean medios para implementar las funciones especificadas en el bloque o bloques de organigrama y diagrama de bloques. Las instrucciones de programa de ordenador pueden ser ejecutadas por un procesador para causar que una serie de pasos operacionales sean efectuados por el procesador para producir un proceso implementado por ordenador tal que las instrucciones que se ejecutan en el procesador proporcionan pasos para implementar las funciones especificadas en el bloque o bloques de organigrama y diagrama de bloques.

Por consiguiente, bloques de las ilustraciones de organigramas y los diagramas de bloques soportan combinaciones de medios para realizar las funciones especificadas, combinaciones de pasos para realizar las funciones especificadas y medios de instrucciones de programa para realizar las funciones especificadas. También se comprenderá que cada bloque de las ilustraciones de organigramas y diagramas de bloques, y combinaciones de bloques en las ilustraciones de organigramas y diagramas de bloques puede ser implementado por sistemas basados en hardware para fines especiales que realizan las funciones o pasos especificados, o combinaciones de hardware e instrucciones de ordenador para fines especiales. Por ejemplo, aunque diversos componentes del dispositivo receptor 404 han sido ilustrados en la Figura 4, en parte, como elementos discretos, en la práctica pueden ser implementados por un microcontrolador que incluye puertos de entrada y salida y ejecuta código de software, por chips personalizados o híbridos, por componentes discretos o por una combinación de los anteriores. Por ejemplo, el ecualizador 405 y el estimador 415 de canal pueden ser implementados en parte como código que se ejecuta en un procesador.

La presente invención ha sido descrita antes principalmente con referencia a ecualizadores de estimación de secuencia de probabilidad máxima (MLSE). Sin embargo, la presente invención no está limitada así y también puede ser aplicada a otros tipos de ecualizadores, por ejemplo, ecualizadores de estimador de secuencia de realimentación de decisión (DFSE: Decision Feedback Sequence Estimator).

En los dibujos y la memoria descriptiva, se han expuesto realizaciones preferidas típicas de la invención y, aunque se emplean términos específicos, son usados en un sentido genérico y descriptivo solamente y no con fines de limitación, con el alcance de la invención siendo expuesto en las reivindicaciones siguientes.

REIVINDICACIONES

1. Un método para recibir una señal de comunicación sujeta a ruido coloreado por un canal de comunicación, comprendiendo el método los pasos de:

recibir la señal de comunicación que incluye el ruido coloreado (bloque 500);
determinar una estimación de canal para el canal de comunicación basado en la señal recibida, información predeterminada asociada con la señal recibida y una autocorrelación del ruido coloreado (bloques 505-532);
generar una estimación para la señal recibida usando la estimación determinada de canal (bloque 535); y
caracterizado porque el paso de determinar una estimación de canal para el canal de comunicación comprende los pasos de:
generar una pluralidad de estimaciones candidatas de canal, en el que cada una de la pluralidad de estimaciones candidatas de canal, está basada en una de una pluralidad de autocorrelaciones candidatas (bloques 500-530); y
seleccionar una de la pluralidad de estimaciones candidatas de canal como la estimación de canal (bloques 530-532).

2. Un método según la reivindicación 1, en el que el paso de generar una pluralidad de estimaciones candidatas de canal (bloques 505-530) comprende el paso de generar una pluralidad de conjuntos de coeficientes de canal (bloques 510-530), y en el que el paso de seleccionar una de la pluralidad de estimaciones candidatas de canal (bloques 530-532) comprende el paso de seleccionar uno de los conjuntos de coeficientes de canal como los coeficientes de canal (bloque 532).

3. Un método según la reivindicación 2, en el que el paso de generar una pluralidad de conjuntos de coeficientes de canal (bloques 510-530) comprende los pasos de:

seleccionar una de la pluralidad de autocorrelaciones candidatas (bloque 510);
determinar un filtro de blanqueo basado en la una seleccionada de la pluralidad de autocorrelaciones (bloque 515);
filtrar la señal recibida y la información predeterminada asociada con la señal recibida usando el filtro de blanqueo determinado (bloque 520);
generar uno de la pluralidad de conjuntos de coeficientes de canal basado en la señal recibida filtrada y la información predeterminada filtrada asociada con la señal recibida (bloque 525); y
repetir (bloque 530: si) el paso de seleccionar (bloque 510), determinar un filtro de blanqueo (bloque 515), filtrar (bloque 520) y generar uno de la pluralidad de conjuntos de coeficientes de canal (bloque 525) para otras de las pluralidad de autocorrelaciones candidatas para proporcionar la pluralidad de conjuntos de coeficientes de canal.

4. Un método según la reivindicación 3, en el que el paso de generar uno de la pluralidad de conjuntos de coeficientes de canal (bloque 525) comprende además el paso de generar uno de la pluralidad de conjuntos de coeficientes de canal usando la ecuación

$$\hat{c}_i(k) = \arg \min_{c(k)} \sum_{n=n_0+L+q_i}^{n_0+M-1} \left| r'_i(n) - \sum_{k=0}^{L-1} c(k) s'_i(n-k) \right|^2$$

donde i indica uno de la pluralidad de conjuntos de coeficientes de canal, $r'_i(n)$ es $r(n)$ filtrada por el filtro de blanqueo asociado con la autocorrelación candidata seleccionada, $s'_i(n-k)$ es $s(n)$ filtrado por el filtro de blanqueo y retardado en k muestras y $q_i + 1$ es la longitud del filtro de blanqueo.

5. Un método según la reivindicación 4, en el que el paso de seleccionar una de la pluralidad de estimaciones candidatas de canal como la estimación de canal (bloques 530-532) comprende el paso de seleccionar como la estimación de canal una de la pluralidad de estimaciones candidatas de canal que tiene un error cuadrático asociado mínimo dado por la ecuación:

$$\varepsilon_i = \sum_{n=n_0+L+q_i}^{n_0+M-1} \left| r'_i(n) - \sum_{k=0}^{L-1} \hat{c}_i(k) s'_i(n-k) \right|^2$$

donde i indica una de la pluralidad de estimaciones candidatas de canal.

6. Un método según la reivindicación 3, en el que el paso de determinar un filtro de blanqueo basado en la una seleccionada de la pluralidad de autocorrelaciones (bloque 515) es precedido por el paso de generar y almacenar un filtro de blanqueo para cada una de la pluralidad de autocorrelaciones candidatas, y en el que el paso de determinar un filtro de blanqueo (bloque 515) comprende el paso de seleccionar uno de los filtros de blanqueo almacenados como el filtro de blanqueo.

7. Un método según la reivindicación 3, en el que la señal de comunicación comprende una pluralidad de ráfagas, y en el que la información predeterminada asociada con la señal recibida es una señal de sincronización incluida en cada una de la pluralidad de ráfagas, y en el que el paso de determinar una estimación de canal para el canal de comunicación (bloques 505-532) es ejecutado para cada ráfaga respectiva basado en la señal de sincronización incluida en la ráfaga respectiva para proporcionar una estimación de canal asociada con la ráfaga respectiva, y en el que el paso de generar una estimación de señal para la señal recibida (bloque 525) comprende el paso de generar una estimación de señal para cada ráfaga respectiva usando la estimación de canal asociada con la ráfaga respectiva.

8. Un sistema (404) para recibir una señal de comunicación sujeta a ruido coloreado por un canal (202) de comunicación, comprendiendo el sistema:

- medios (404) para recibir la señal de comunicación que incluye el ruido coloreado;
- medios (415) para determinar una estimación de canal para el canal de comunicación basada en la señal recibida, información predeterminada asociada con la señal recibida y una autocorrelación del ruido coloreado;
- medios (405) para generar una estimación $s(n)$ de señal para la señal recibida usando la estimación determinada de canal; y

caracterizado porque

- los medios (415) para determinar una estimación de canal para el canal de comunicación comprenden:
- medios (422) para generar una pluralidad de estimaciones candidatas de canal, en el que cada una de la pluralidad de estimaciones candidatas de canal está basada en una de una pluralidad de autocorrelaciones candidatas; y
- medios (440) para seleccionar una de la pluralidad de estimaciones candidatas de canal como la estimación de canal.

9. Un sistema según la reivindicación 8, en el que los medios (422) para generar una pluralidad de estimaciones candidatas de canal comprenden medios para generar una pluralidad de conjuntos de coeficientes $c(k)$ de canal, y en el que los medios (440) para seleccionar una de una pluralidad de estimaciones candidatas de canal comprenden medios para seleccionar uno de los conjuntos de coeficientes $c(k)$ de canal como los coeficientes de canal.

10. Un sistema según la reivindicación 9, en el que los medios para generar una pluralidad de conjuntos de coeficientes de canal comprenden:

- medios para determinar un filtro de blanqueo para cada una de una pluralidad de autocorrelaciones;
- medios para filtrar la señal recibida y la información predeterminada asociada con la señal recibida usando los filtros de blanqueo determinados para cada una de las pluralidad de autocorrelaciones para proporcionar una pluralidad de señales recibidas filtradas e información predeterminada; y
- medios para generar un conjunto de coeficientes de canal para cada una de la pluralidad de autocorrelaciones basados en una asociada de la pluralidad de señales recibidas filtradas e información predeterminada asociada con la señal recibida para proporcionar la pluralidad de conjuntos de coeficientes de canal.

11. Un sistema según la reivindicación 10, en el que los medios para generar un conjunto de coeficientes de canal comprenden además medios para generar un conjunto de coeficientes de canal para cada una de la pluralidad de autocorrelaciones usando la ecuación

$$\hat{c}_i(k) = \arg \min_{c(k)} \sum_{n=n_0+L+q_i}^{n_0+M-1} \left| r'_i(n) - \sum_{k=0}^{L-1} c(k) s'_i(n-k) \right|^2$$

donde i indica un conjunto particular de coeficientes de canal, $r_i(n)$ es $r(n)$ filtrada por un filtro de blanqueo asociado con la autocorrelación candidata seleccionada, $s_i(n-k)$ es $s(n)$ filtrada por el filtro de blanqueo y retardada en k muestras y q_i-1 es la longitud del filtro de blanqueo.

- 5 12. Un sistema según la reivindicación 11, en el que los medios (440) para seleccionar una de la pluralidad de estimaciones candidatas de canal como la estimación de canal comprenden medios para seleccionar como la estimación de canal una de la pluralidad de estimaciones candidatas de canal que tienen un error cuadrático asociado mínimo dado por la ecuación

$$\varepsilon_i = \sum_{n=n_0+L+q_i}^{n_0+M-1} \left| r'_i(n) - \sum_{k=0}^{L-1} \hat{c}_i(k) s'_i(n-k) \right|^2$$

10

donde i indica uno de la pluralidad de conjuntos de coeficientes de canal.

- 15 13. Un sistema según la reivindicación 9, comprendiendo además medios para generar y almacenar un filtro de blanqueo para cada una de la pluralidad de autocorrelaciones candidatas, y en el que los medios para determinar un filtro de blanqueo comprenden el paso de seleccionar uno asociado de los filtros de blanqueo almacenados como el filtro de blanqueo para cada una de la pluralidad de autocorrelaciones candidatas.
- 20 14. Un sistema según la reivindicación 9, en el que la señal de comunicación comprende una pluralidad de ráfagas y en el que la información predeterminada asociada con la señal recibida es una señal de sincronización incluida en cada una de la pluralidad de ráfagas, y en el que los medios (415) para determinar una estimación de canal para el canal de comunicación comprenden medios para determinar una estimación de canal para el canal de comunicación para cada ráfaga respectiva basados en la señal de sincronización incluida en la ráfaga respectiva para proporcionar una estimación de canal asociada con la ráfaga respectiva, y en el que los medios (405) para generar una estimación de señal para la señal recibida comprenden medios para generar una estimación de señal para cada ráfaga respectiva usando la estimación de canal asociada con la ráfaga respectiva.
- 25

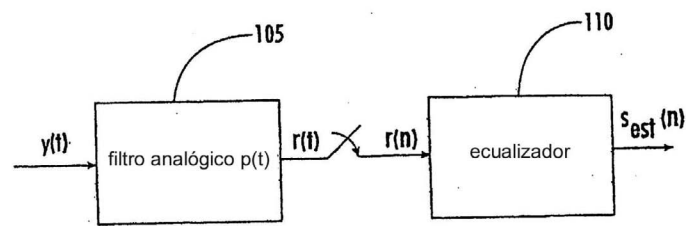


FIG. 1

TÉCNICA ANTERIOR

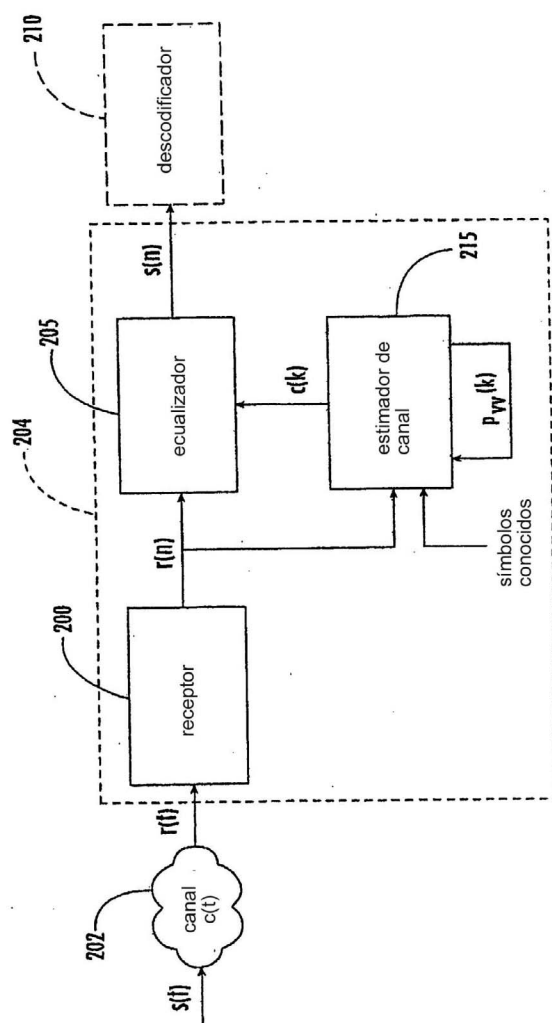
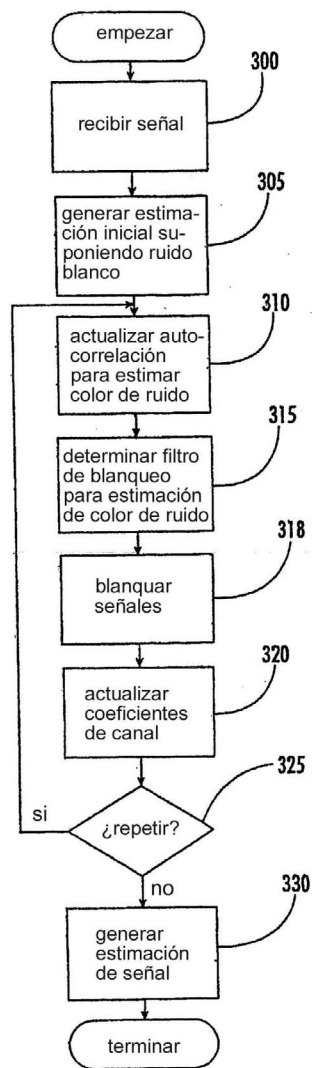


FIG. 2.

**FIG. 3.**

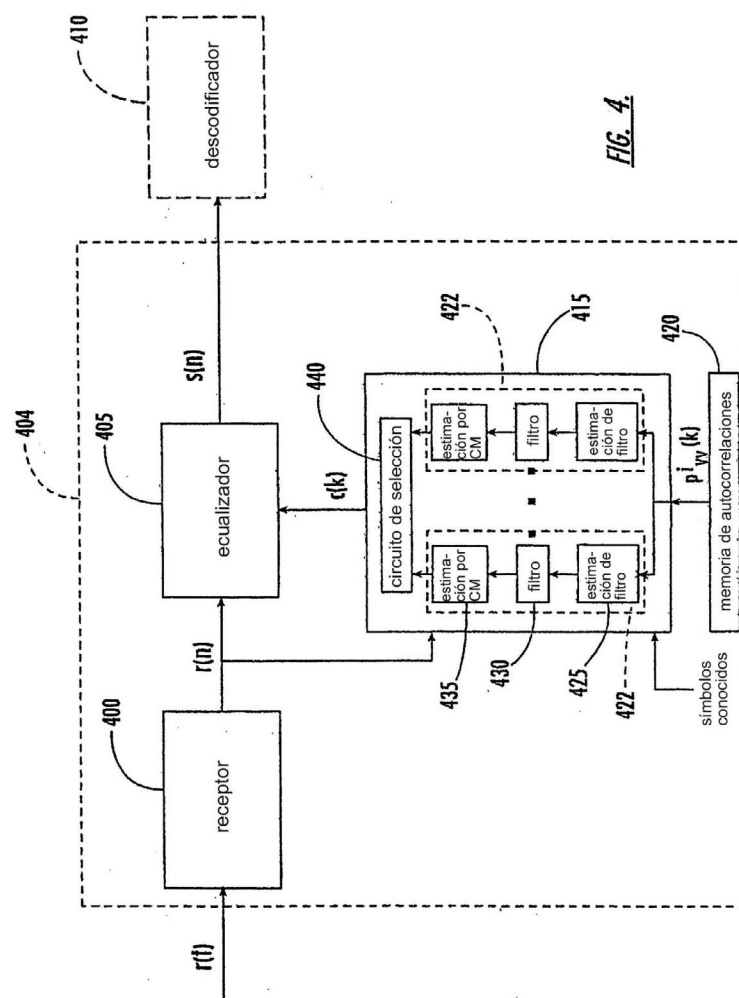
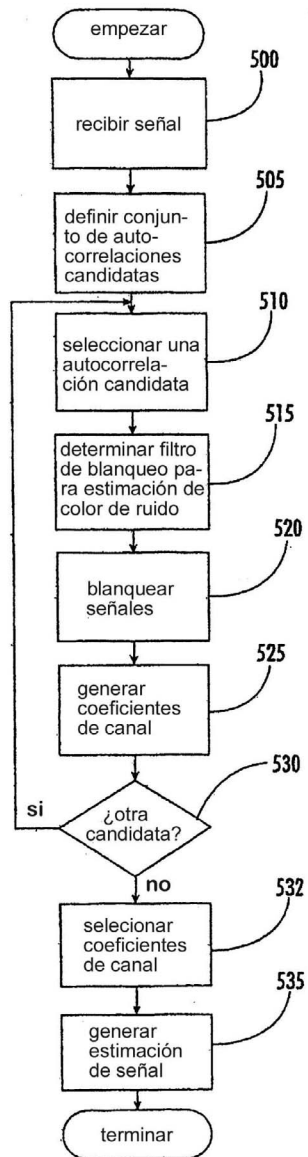


FIG. 4.

*FIG. 5.*

Canal urbano típico a 3 km/h, tasa 0,76 de codificación de salto de frecuencia ideal, velocidad de información 360 kbps

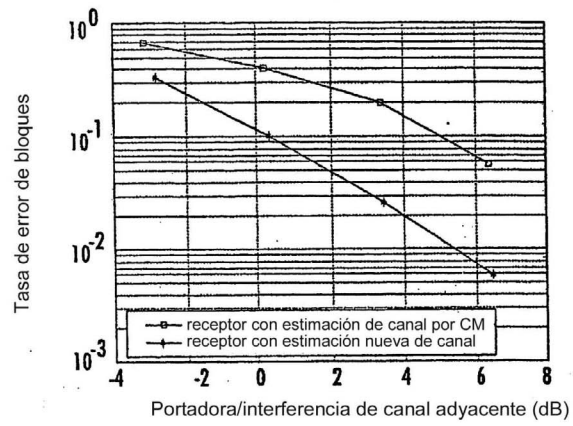


FIG. 6.