

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 346 657**

51 Int. Cl.:

H04B 7/01 (2006.01)

G01S 11/10 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA MODIFICADA
TRAS OPOSICIÓN

T5

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **15.12.2004 E 04806576 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea modificada tras oposición: **16.01.2013 EP 1829244**

54

Título: **Estimación Doppler**

45

Fecha de publicación y mención en BOPI de la
traducción de la patente modificada:
14.05.2013

73 Titular/es:

TELEFONAKTIEBOLAGET LM ERICSSON (PUBL)
(100.0%)
PATENT UNIT
164 83 STOCKHOLM, SE

72 Inventor/es:

SAHLIN, HENRIK

74 Agente/Representante:

DE ELZABURU MÁRQUEZ, Alberto

ES 2 346 657 T5

DESCRIPCIÓN

Estimación Doppler.

5 Campo de la Invención

La presente invención se refiere a una estimación Doppler en sistemas de telecomunicaciones y en el campo de la instrumentación y las mediciones.

10

Antecedentes de la Invención

Ensanchamiento y desviación Doppler

Cuando un transmisor se mueve en relación a un receptor, la señal recibida experimentará el bien conocido efecto Doppler, es decir, la amplitud de la señal recibida cambiará en proporción a la velocidad a la que se mueven el receptor y el transmisor, uno con relación al otro.

15

En entornos en los que no puede obtenerse una comunicación con línea de visión directa, se encuentra, típicamente, un desvanecimiento multi-trayecto conforme las señales de radio son dispersadas y reflejadas entre varios objetos en el trayecto desde la antena transmisora a la antena receptora de un sistema de comunicaciones.

20

Los entornos con desvanecimiento multi-trayecto pueden ser modelados mediante un canal que tiene un espectro como el mostrado en la Fig. 3, en la que el espectro está centrado alrededor de una desviación de frecuencia f_0 de la señal recibida de la señal transmitida y con una anchura del espectro que es el ensanchamiento Doppler, $2 f_0$.

25

Esta desviación de frecuencia f_0 es debida a errores en la frecuencia de modulación entre el transmisor y el receptor. Este error podría depender también del ensanchamiento Doppler si el receptor y el transmisor tienen un canal de propagación con línea de visión directa. Puede usarse un algoritmo de estimación de frecuencia para estimar esta desviación, de manera que la desviación podría ser eliminada, o compensada, en la señal recibida.

30

El ensanchamiento Doppler es debido a componentes difusos del canal con variación temporal, que es denominado también desvanecimiento rápido. El ensanchamiento Doppler es linealmente proporcional a la velocidad del receptor y/o el transmisor. Cuando el receptor/transmisor no se mueve, el ensanchamiento Doppler es cero.

35

Un canal con variación temporal con un espectro como el mostrado en la Figura 3, tiene una función de autocorrelación tal como la mostrada en la Figura 4, que corresponde a la Ecuación (6) proporcionada en la Tabla 1 adjunta.

Aplicaciones conocidas del ensanchamiento Doppler

40

Para un sistema de comunicaciones por radio que comprende un transmisor y un receptor, los interfaces de antena y los interfaces aéreos pueden considerarse como un canal $h(t)$ con variación temporal, donde t es un índice temporal. Cuando una señal $s(t)$ piloto es transmitida, la señal recibida en el interfaz aéreo de antena puede escribirse como

$$I: \quad r(t) = h(t) \cdot s(t) + w(t)$$

45

donde $w(t)$ es ruido aditivo o interferencias desde otros transmisores diferentes al transmisor de interés.

En el receptor, la señal $r(t)$ puede ser demodulada mediante símbolos piloto $s^*(t)$ conjugados. A continuación, el canal con variación temporal puede ser estimado según la siguiente relación bien conocida:

50

$$II: \quad \hat{h}(t) = r(t) \cdot s^*(t) = h(t) + w(t) \cdot s^*(t)$$

55

La contribución del ruido puede ser modelada frecuentemente como una señal de ruido blanco; es decir, una señal con un espectro plano; un ejemplo en el dominio temporal se muestra en la Fig. 2. A continuación, el canal puede ser estimado más precisamente mediante el uso de un intervalo T_{ACC} de acumulación o de integración.

60

Puede demostrarse que puede definirse un intervalo T_{ACC} de integración (o de acumulación) óptimo, el cual depende del ensanchamiento Doppler. De esta manera, para un receptor con un buen rendimiento en términos de bajas tasas de errores de bit y de errores de bloque, la precisión de la estimación del ensanchamiento Doppler es crucial. Un procedimiento correspondiente se muestra en la Fig. 7, en la que se fija un intervalo T_{ACC} de integración en el receptor (etapa 1); se recibe una señal de radio (etapa 2); se estima un ensanchamiento Doppler $f^{\wedge}_D$ (etapa 3) y se

fija un nuevo intervalo de integración en el receptor, en base al ensanchamiento Doppler (etapa 4). Cuanto mayor sea el ensanchamiento Doppler, más corto será el intervalo de integración a usar.

5 Otra aplicación ejemplar de una estimación Doppler es un medio para predecir la calidad de un enlace de radio. Estimando el ensanchamiento Doppler, puede determinarse la tasa a la que cambia la calidad del enlace de radio.

10 Un procedimiento correspondiente se muestra en la Fig. 8, mediante el cual se fija una medida de la calidad para un canal de comunicaciones (etapa 1); se recibe una señal de radio (etapa 2) y se estima un ensanchamiento Doppler $f^{\wedge}_D$ (etapa 3). Se estima una nueva medida de calidad del canal de comunicaciones (etapa 4) que puede realizarse en un orden independiente de la estimación del ensanchamiento Doppler (etapa 3). La estimación del ensanchamiento Doppler podría usarse para procesar adicionalmente esta medida de calidad (etapa 5), por ejemplo, calculando la velocidad de las variaciones en la medida de la calidad. Un ensanchamiento Doppler alto indica que la calidad del canal de comunicaciones cambiará rápidamente, de manera que las nuevas medidas de calidad no son fiables para una predicción. Un ensanchamiento Doppler bajo indica que la calidad del canal de comunicaciones no cambiará rápidamente, de manera que las nuevas medidas de calidad son fiables para una predicción. En base a esta medida de la calidad del canal de comunicaciones, se fija una nueva medida mejorada de la calidad para el sistema de comunicaciones (etapa 6).

Estimación del ensanchamiento Doppler

20 En el documento WO03/077445 se ha proporcionado un procedimiento para realizar una estimación de ensanchamiento Doppler. Las expresiones correspondientes se han indicado en la ecuación (12a) y (13a) en esta solicitud. Otras expresiones similares para la estimación del ensanchamiento Doppler se han indicado en las ecuaciones (12b) y (13b), que se describen en C. Tepedelenlioglu, A. Abdi, G. Giannakis y M. Kaveh, "Estimation of Doppler spread and signal strength in mobile communications with applications to handoff and adaptive transmission", Wireless communications and Mobile Computing, 2001:1:221-242.

30 En la Fig. 6, se ha indicado la estimación del ensanchamiento Doppler según se ha realizado en la etapa 3) de la aplicación ejemplar de la Fig. 7 o según se ha realizado en la etapa 3) de la aplicación ejemplar de la Fig. 8. En la Fig. 6, primero, se estiman las autocorrelaciones para al menos dos retrasos de una señal recibida (etapa 10), por ejemplo, usando la ecuación 15 en la Tabla II. Subsiguientemente, se estima el ensanchamiento Doppler "preliminar" (en este caso, final) (etapa 20) partiendo de las autocorrelaciones estimadas anteriores, estimadas según las ecuaciones (12a), (12b), (13a) o (13b). Estos cálculos pueden ser realizados en la unidad de estimación Doppler (DEU) del receptor mostrado en la Fig. 1. En este caso, $y=h^{\wedge}(t)$ en la ecuación (15).

35 Sin embargo, el inventor de la presente invención ha descubierto que cuando se estima el ensanchamiento Doppler usando el procedimiento anterior, y otros procedimientos comparables, las estimaciones resultantes difieren del valor real, f_{DTRU} , con un error sistemático, un sesgo.

40 De esta manera, para muchas aplicaciones en las que se requiere una estimación del ensanchamiento Doppler, la precisión de las estimaciones conocidas del ensanchamiento Doppler dejan mucho que desear en términos de precisión.

Sumario de la Invención

45 Es un primer objeto de la invención, exponer un procedimiento para estimar el ensanchamiento Doppler de manera más precisa.

Este objeto se ha conseguido mediante el tema expuesto en la reivindicación 1.

50 Las ventajas adicionales aparecerán a partir de la descripción detallada siguiente de la invención.

Breve descripción de los dibujos

La Fig. 1 muestra un modelo de la técnica anterior de un transmisor y un receptor, proporcionando el receptor una señal $h^{\wedge}(t)$ demodulada.
 La Fig. 2 es una representación esquemática de un ejemplo de una señal $h^{\wedge}(t)$ demodulada.
 55 La Fig. 3 es un espectro de Jake ejemplar debido a la desviación de frecuencia Doppler y al ensanchamiento Doppler,
 La Fig. 4 muestra la función de autocorrelación del ensanchamiento Doppler según la ecuación (6) de la técnica anterior,
 La Fig. 5 es una representación de un ensanchamiento Doppler preliminar y del valor del ensanchamiento Doppler con sesgo corregido, según la invención,
 60 La Fig. 6 muestra un procedimiento para estimar un ensanchamiento Doppler con sesgo corregido, según la invención y la técnica anterior, respectivamente,
 La Fig. 7 muestra un procedimiento para adaptar de manera continua, un intervalo de promedio en un receptor de radio, y
 65 La Fig. 8 muestra un procedimiento para estimar de manera continua, una medida de la calidad de un canal de radio.

Descripción detallada de las realizaciones preferidas de la Invención

En la Fig. 5, se ha indicado la relación entre el ensanchamiento Doppler estimado (preliminar), en base a los parámetros medidos, usando las expresiones (12b) y (13b) anteriores, y el ensanchamiento Doppler real. Al parecer,

5 se ha encontrado un valor que incrementa con el ensanchamiento Doppler desde $\hat{f}_{D, \text{preliminar}}$ a $\hat{f}_{D, \text{sesgo corregido}}$.

Según la invención, se estima un valor Δ_2 de corrección de sesgo para compensar la discrepancia entre el ensanchamiento Doppler estimado (preliminar) y el real.

10 La estimación del ensanchamiento Doppler según la invención es realizada según la relación siguiente:

$$\text{III: } \hat{f}_{D, \text{sesgo corregido}}^2 = \hat{f}_{D, \text{preliminar}}^2 + K_2 \cdot \hat{f}_{D, \text{preliminar}}^4 + K_3 \cdot \hat{f}_{D, \text{preliminar}}^6 \dots$$

15 de manera que

$$\text{IV: } \hat{f}_{\text{Real}} = \hat{f}_{D, \text{sesgo corregido}}$$

20 donde $\hat{f}_{D, \text{preliminar}}$, a modo de ejemplo, viene dado por la ecuación (12a), (12b), (13a) o (13b).

La aproximación anterior proporciona una precisión suficiente usando la relación:

$$\text{V: } \hat{f}_{D, \text{sesgo corregido}}^2 = \hat{f}_{D, \text{preliminar}}^2 + K_2 \cdot \hat{f}_{D, \text{preliminar}}^4$$

25 La base para III se explicará ahora, en mayor detalle, con referencia a las Tablas I-IV adjuntas, que forman parte de esta memoria. Nótese que la notación $X^\wedge$ corresponde a $\hat{X}$ en la presente aplicación.

Modelo

30 Tal como se ha indicado anteriormente en conexión con la Fig. 1, una señal demodulada recibida (1), véase Tabla I-IV, puede ser modelada como la suma de un componente difuso, un componente de línea de visión directa y ruido blanco Gaussiano aditivo, donde (2) es la potencia de la señal recibida y (3) es el factor Ricean.

De esta manera, la señal recibida, demodulada, puede ser modelada como

35 (4)
donde

(5)
es ruido Gaussiano blanco aditivo. Esta señal recibida tiene una función de correlación

40 (6)
con un espectro
(7).

Cuando se usa (6) como una estimación del primer término en (6), la correlación en retraso cero debería ser evitada, ya que contiene un término de ruido.

45 Estimación de la frecuencia Doppler
Se usan las notaciones siguientes:

50 Desplazamiento Doppler: (8)
Ensanchamiento Doppler: (9)
donde
(10)

es el espectro de densidad de potencia de la señal recibida.

55 Frecuencia de máximo ensanchamiento Doppler: (11)
si la señal recibida tiene un espectro de Jake.

Véase la Fig. 3 para un ejemplo de un espectro de Jake relacionado con la señal recibida. El desplazamiento Doppler, según se define en (8), puede ser interpretado como la frecuencia media de una señal recibida o como el centro de gravedad del espectro. En la Figura 3, el desplazamiento Doppler ejemplar equivale a 10 Hz.

5 Ejemplo de estimador de ensanchamiento Doppler

Por ejemplo, una estimación de ensanchamiento Doppler máximo puede calcularse como:
(12a)

10 Sin ningún error de frecuencia, la parte imaginaria de la autocorrelación es cero. Entonces, la ecuación (12a) puede ser reformulada como en
(12b)

en la que se calcula una diferencia entre una autocorrelación a retraso cero y una autocorrelación calculada para un retraso de T segundos. Esta diferencia es normalizada mediante una división con la autocorrelación a retraso cero. Se calcula la raíz cuadrada de este cociente y el resultado se escala con π y el retraso T en segundos.

15 Para evitar usar una autocorrelación estimada a retraso cero, se sugiere también el procedimiento siguiente:
(13a)

20 De nuevo, sin ningún error de frecuencia, la parte imaginaria de la autocorrelación es cero. Entonces, la ecuación (13a) podría ser reformulada como
(13b)

25 en la que se calcula una diferencia entre una autocorrelación a un retraso mínimo de T segundos y una autocorrelación calculada para otro retraso que es un múltiplo k de T segundos. Esta diferencia es normalizada mediante la división con la autocorrelación a un retraso de T segundos, y mediante la división con un numerador, que es, k al cuadrado menos uno. Se calcula la raíz cuadrada de este cociente y el resultado es escalado con π y el retraso T en segundos.

Estas autocorrelaciones de la señal recibida podrían estimarse como:

30 (14)
donde

(15)
es la suma de los símbolos piloto. En este caso, el intervalo de muestreo de la autocorrelación, o el retraso mínimo en segundos, es
(16).

35 Sesgo en las estimaciones Doppler Puede mostrarse que

(17)
y
40 (18)
son válidos, donde se usan
(19)
y
(20).

45 Pueden usarse aproximaciones a estas derivadas en (19) y (20) como
(21)

y
50 (22a)
ó
(22b)
donde el uso de (22a) resulta en (12a) y (22b) resulta en (13a).

55 Para una frecuencia Doppler y un intervalo de muestreo específicos, el sesgo es:
(23a)
cuando se usa (22a)
y
(23b) cuando se usa (22b).

60 Insertando la función Bessel de orden cero:
(24)
en (20) resulta en
(25)
cuando se usa (26).

65 Entonces, la corrección de sesgo del ensanchamiento Doppler puede calcularse como

(27a)

y

(27b).

- 5 Nótese que esta corrección de sesgo es realizada con un valor al cuadrado de la estimación de ensanchamiento Doppler preliminar. También, la corrección de sesgo usa este valor al cuadrado de la estimación del ensanchamiento Doppler preliminar.
- 10 Resumiendo, se propone un procedimiento de estimación que incluye un valor de corrección de sesgo, tal como se proporciona en las ecuaciones (28), (29) y (30), en las cuales se usa (31a) a (31d), o como alternativa, de (32a) a (32d).
- 15 Según la invención, pueden usarse una serie de maneras alternativas para estimar el valor estimado inicial del ensanchamiento Doppler preliminar, $\hat{f}_{D, \text{preliminar}}$, tal como se expone en las ecuaciones (12a), (12b), (13a) y (13b).
- 20 Según la invención, el ensanchamiento Doppler estimado puede calcularse tal como se indica en la Fig. 6, en la que se realiza la etapa (30) adicional, por ejemplo, en base a la ecuación (28).
- 25 La estimación del ensanchamiento Doppler puede ser usada, por ejemplo, para definir un intervalo T_{ACC} de acumulación para decodificar la señal recibida.
- 30 Otra posible aplicación de la estimación de ensanchamiento Doppler es una estimación de la calidad del canal $h(t)$ de radio.
- 35 Según la invención, se ha expuesto un receptor (RX) para la comunicación con un transmisor (TX), en el que el receptor comprende una unidad (X) de demodulación y una unidad (DEU) de estimación Doppler, realizando la unidad de estimación Doppler una estimación del ensanchamiento Doppler de la señal recibida.

Tabla I.

$$y(n) = \frac{\sigma_h}{\sqrt{K+1}} \lim_{M \rightarrow \infty} \frac{1}{M} \sum_{m=1}^M e^{j(\omega_D \cos(\theta_m)n + \phi_m)} + \quad (1)$$

$$+ \sigma_h \sqrt{\frac{K}{K+1}} e^{j(\omega_D \cos(\theta_0)n + \phi_0)} +$$

$$+ w(n)$$

$$\sigma_h^2 \quad (2)$$

$$K \quad (3)$$

$$y(n) = h(n) + w(n) \quad (4)$$

$$w(n) \quad (5)$$

$$r_y(\tau) = r_h(\tau) + \sigma_w^2 \delta(\tau) \quad (6)$$

$$S_y(\omega) = S_h(\omega) + \sigma_w^2. \quad (7)$$

$$B^{(1)} = \frac{\int_{-\infty}^{\infty} f \phi_h(f) df}{\int_{-\infty}^{\infty} \phi_h(f) df} \quad (8)$$

$$B^{(2)} = \sqrt{\frac{\int_{-\infty}^{\infty} (f - B^{(1)})^2 \phi_h(f) df}{\int_{-\infty}^{\infty} \phi_h(f) df}} \quad (9)$$

$$\phi_h(f) \quad (10)$$

$$f_D = \sqrt{2} B^{(2)} \quad (11)$$

$$\hat{f}_{D, \text{preliminar}} = \frac{1}{\sqrt{2} \pi T \lambda} \sqrt{2 - \left(\frac{\text{Im}\{r_y(1)\}}{r_y(0)} \right)^2 - \frac{2 \text{Re}\{r_y(1)\}}{r_y(0)}} \quad (12a)$$

$$\hat{f}_{D, \text{preliminar}} = \frac{1}{\pi T \lambda} \sqrt{\frac{r_y(0) - \text{Re}\{r_y(1)\}}{r_y(0)}} \quad (12b)$$

$$\hat{f}_{D, \text{preliminar}}(\kappa) = \frac{1}{\sqrt{2} \pi T \lambda} \sqrt{\frac{2}{\kappa^2 - 1} - \left(\frac{\text{Im}\{r_y(1)\}}{\text{Re}\{r_y(1)\}} \right)^2 - \frac{2 \text{Re}\{r_y(\kappa)\}}{(\kappa^2 - 1) \text{Re}\{r_y(1)\}}} \quad (13a)$$

$$\hat{f}_{D, \text{preliminar}}(\kappa) = \frac{1}{\pi T \lambda} \sqrt{\frac{\text{Re}\{r_y(1)\} - \text{Re}\{r_y(\kappa)\}}{(\kappa^2 - 1) \text{Re}\{r_y(1)\}}} \quad (13b)$$

Tabla II.

$$r_y(k) = \frac{1}{M} \sum_{m=0}^M \tilde{y}(m-k) \tilde{y}^*(m) \quad (14)$$

$$\tilde{y}(m) = \frac{1}{N_{\text{Pilotos}}} \sum_{n=0}^{N_{\text{Pilotos}}-1} y(10 \cdot m + n) \quad (15)$$

$$T = 1/1500 \text{ segundos.} \quad (16)$$

$$B^{(1)} = \frac{1}{2\pi j} \frac{r_h'(0)}{r_h(0)} \quad (17)$$

$$B^{(2)} = \frac{1}{2\pi j} \left[\left(\frac{r_h'(0)}{r_h(0)} \right)^2 - \frac{r_h''(0)}{r_h(0)} \right] \quad (18)$$

$$r_h'(0) = \left. \frac{\partial}{\partial \tau} r_h(\tau) \right|_{\tau=0} \quad (19)$$

$$r_h''(0) = \left. \frac{\partial^2}{\partial \tau^2} r_h(\tau) \right|_{\tau=0} \quad (20)$$

$$r_h'(0) = \lim_{T \rightarrow 0} \frac{j \text{Im}\{r_h(T)\}}{T} \approx \frac{j \text{Im}\{r_y(1)\}}{T_s} \quad (21)$$

$$r_h''(0) = \lim_{T \rightarrow 0} \frac{2 \text{Re}\{r_h(T) - r_h(0)\}}{T^2} \approx \frac{2 \text{Re}\{r_y(1) - r_y(0)\}}{T_s^2} \quad (22a)$$

$$r_h''(0) = \lim_{T \rightarrow 0} \frac{2 \text{Re}\{r_h(T\kappa) - r_h(T)\}}{(\kappa^2 - 1)T^2} \approx \frac{2 \text{Re}\{r_y(\kappa) - r_y(1)\}}{(\kappa^2 - 1)T_s^2} \quad (22b)$$

$$\Delta_2 = r_h''(0) - \frac{2 \text{Re}\{r_h(T_s) - r_h(0)\}}{T_s^2} \quad (23a)$$

$$\Delta_2 = r_h''(0) - \frac{2 \text{Re}\{r_h(T_s\kappa) - r_h(T_s)\}}{(\kappa^2 - 1)T_s^2} \quad (23b)$$

Tabla III

$$J_0(x) = \sum_{k=0}^{\infty} \frac{(-1)^k}{(k!)^2} \left(\frac{x}{2}\right)^{2k} \quad (24)$$

$$r_h''(0) = \left. \frac{\partial^2}{\partial m^2} J_0(m\omega_D) \right|_{m=0} = -\frac{1}{2T^2} \omega_D^2 \quad (25)$$

$$\omega_D = 2\pi f_D \quad (26)$$

$$\begin{aligned} \Delta_2 &= r_h''(0) + \frac{-2\text{Re}\{r_h(T_s) - r_h(0)\}}{T^2} = \\ &= \frac{1}{T^2} \left(-\frac{1}{2} \omega_D^2 - 2(J_0(\omega_D) - J_0(0)) \right) = \\ &= \frac{1}{T^2} \left(-\frac{1}{2} \omega_D^2 - 2 \left(-\left(\frac{\omega_D}{2}\right)^2 + \frac{1}{(2!)^2} \left(\frac{\omega_D}{2}\right)^4 - \frac{1}{(3!)^2} \left(\frac{\omega_D}{2}\right)^6 + \dots \right) \right) = \\ &= -\frac{2}{T^2(2!)^2 2^4} \omega_D^4 + \frac{2}{T^2(3!)^2 2^6} \omega_D^6 \end{aligned} \quad (27a)$$

$$\begin{aligned} \Delta_2 &= r_h''(0) - \frac{2\text{Re}\{r_h(T_s \kappa) - r_h(T_s)\}}{(\kappa^2 - 1)T_s^2} = \\ &= -\frac{2}{(\kappa^2 - 1)T^2} \left(-\frac{\omega_D^4(\kappa^4 - 1)}{2^2 2^4} + \frac{\omega_D^6(\kappa^6 - 1)}{6^2 2^6} + \dots \right) \end{aligned} \quad (27b)$$

Tabla IV

$$\hat{f}_{D, \text{ sesgo corregido}}^2 = \hat{f}_{D, \text{ preliminar}}^2 + \Delta_2 \quad (28)$$

$$\Delta_2 = K_2(\hat{f}_{D, \text{ preliminar}}^2)^2 + K_3(\hat{f}_{D, \text{ preliminar}}^2)^3 + \dots + K_m(\hat{f}_{D, \text{ preliminar}}^2)^m + \dots \quad (29)$$

$$\hat{f}_{D, \text{ sesgo corregido}}(\kappa) = \sqrt{\hat{f}_{D, \text{ sesgo corregido}}^2} \quad (30)$$

$$\hat{f}_{D, \text{ preliminar}}^2 = \frac{\text{Re}\{r_y(0)\} - \text{Re}\{r_y(1)\}}{\pi^2 T_s^2 \text{Re}\{r_y(0)\}} \quad (31a)$$

$$K_2 = -\frac{2}{2^2 2^4} \quad (31b)$$

$$K_3 = \frac{2}{6^2 2^6} \quad (31c)$$

$$K_m = \frac{(-1)^{(m-1)} 2}{(m!)^2 2^{2m}} \quad (31d)$$

$$\hat{f}_{D, \text{ preliminar}}^2 = \frac{\text{Re}\{r_y(1)\} - \text{Re}\{r_y(\kappa)\}}{\pi^2 T_s^2 (\kappa^2 - 1) \text{Re}\{r_y(1)\}} \quad (32a)$$

$$K_2 = -\frac{2}{(\kappa^2 - 1)} \frac{(\kappa^4 - 1)}{2^2 2^4} \quad (32b)$$

$$K_3 = \frac{2}{(\kappa^2 - 1)} \frac{(\kappa^6 - 1)}{6^2 2^6} \quad (32c)$$

$$K_m = (-1)^{(m-1)} \frac{2}{(\kappa^2 - 1)(m!)^2 2^{2m}} \frac{(\kappa^{2m} - 1)}{2^{2m}} \quad (32d)$$

REIVINDICACIONES

1.- Procedimiento de estimación del ensanchamiento Doppler, para su uso en un sistema electrónico que comprende las etapas de estimar un valor con sesgo corregido según la relación

$$\hat{f}_{D, \text{ sesgo corregido}}^2 = \hat{f}_{D, \text{ preliminar}}^2 + K_2 \cdot \hat{f}_{D, \text{ preliminar}}^4 \dots$$

en la que $\hat{f}_{D, \text{ preliminar}}^2$ es un ensanchamiento Doppler máximo preliminar, al cuadrado, basado en los parámetros medidos, y en la que K_2 se determina según

$$K_2 = \frac{-2(\kappa^4 - 1)}{(\kappa^2 - 1)2^2 2^4}$$

donde k es un entero, y donde

la estimación preliminar de la frecuencia de ensanchamiento Doppler máximo se basa en los valores de autocorrelación ($r_y(\tau)$) de las señales recibidas, durante al menos dos retrasos (0, 1).

2.- Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1, en el que $K=0$, esto es,

$$K_2 = -\frac{2}{2^2 2^4} = -\frac{1}{32}$$

3.- Procedimiento según la reivindicación 2, en el que el ensanchamiento Doppler máximo preliminar al cuadrado es estimado calculando una diferencia entre una autocorrelación a retraso cero y una autocorrelación calculada para un retraso de T segundos, siendo normalizada la diferencia mediante una división con la autocorrelación a retraso cero y siendo escalado el resultado con π al cuadrado y el retraso T en segundos al cuadrado.

4.- Procedimiento según las reivindicaciones 2 ó 3, en el que el ensanchamiento Doppler máximo preliminar al cuadrado es estimado más específicamente mediante

$$\hat{f}_{D, \text{ preliminar}}^2 = \frac{1}{\pi^2 T^2} \frac{r_y(0) - \text{Re}\{r_y(1)\}}{r_y(0)}$$

5.- Procedimiento según la reivindicación 1, en el que el ensanchamiento Doppler máximo preliminar al cuadrado es estimado calculando una diferencia entre una autocorrelación a un retraso mínimo de T segundos y una autocorrelación calculada para otro retraso que es un múltiplo k de T segundos, siendo normalizada la diferencia por una división con la autocorrelación a un retraso de T segundos y por una división con un numerador que es k al cuadrado menos 1, siendo escalado el cociente con π al cuadrado y el retraso T en segundos al cuadrado.

6.- Procedimiento según la reivindicación 1 ó 5, en el que el ensanchamiento Doppler máximo preliminar al cuadrado es estimado más específicamente mediante

$$\hat{f}_{D, \text{ preliminar}}^2 = \frac{1}{\pi^2 T^2} \frac{\text{Re}\{r_y(1) - r_y(\kappa)\}}{\text{Re}\{r_y(1)\}(\kappa^2 - 1)}$$

7.- Procedimiento de estimación del ensanchamiento Doppler según la reivindicación 1, que comprende las etapas de estimar más específicamente el valor con sesgo corregido según la relación

$$\hat{f}_{D, \text{ sesgo corregido}}^2 = \hat{f}_{D, \text{ preliminar}}^2 + K_2 \cdot \hat{f}_{D, \text{ preliminar}}^4 + K_3 \cdot \hat{f}_{D, \text{ preliminar}}^6 + K_m \cdot \hat{f}_{D, \text{ preliminar}}^{2m}$$

K_3 y K_m son unas constantes.

8.- Procedimiento según la reivindicación 7 y 2, en el que K_m se determina según

$$K_i = (-1)^{i-1} \frac{2}{(i!)^2 2^{2i}},$$

para $i = 3, \dots, m$

9.- Procedimiento según la reivindicación 7, en el que K_m se determina según (32d)

$$K_i = (-1)^{i-1} \frac{2}{(\kappa^2 - 1)} \frac{(\kappa^{2i} - 1)}{(i!)^2 2^{2i}}$$

para $i = 3, \dots, m$, donde κ es un entero.

10.- Procedimiento según la reivindicación 2, en el que el ensanchamiento Doppler máximo preliminar al cuadrado se estima más específicamente mediante (12a)

$$\hat{f}_{D, \text{ preliminar}} = \frac{1}{\sqrt{2\pi T}} \sqrt{2 - \left(\frac{\text{Im}\{r_v(1)\}}{r_v(0)} \right)^2 - \frac{2 \text{Re}\{r_v(1)\}}{r_v(0)}}$$

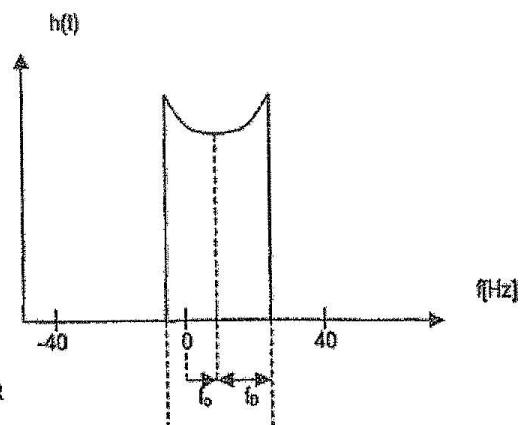
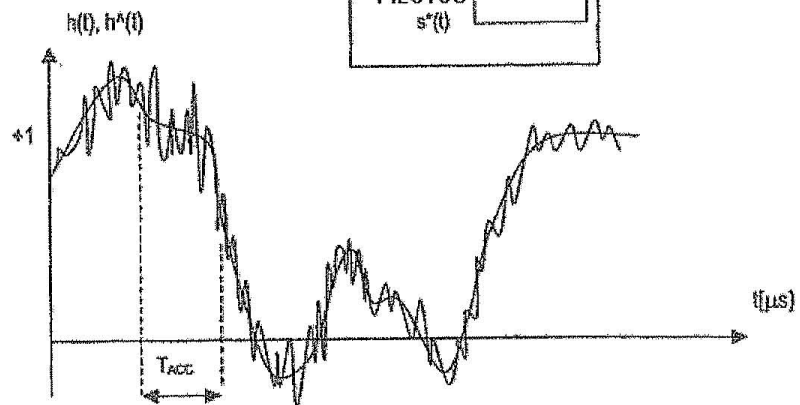
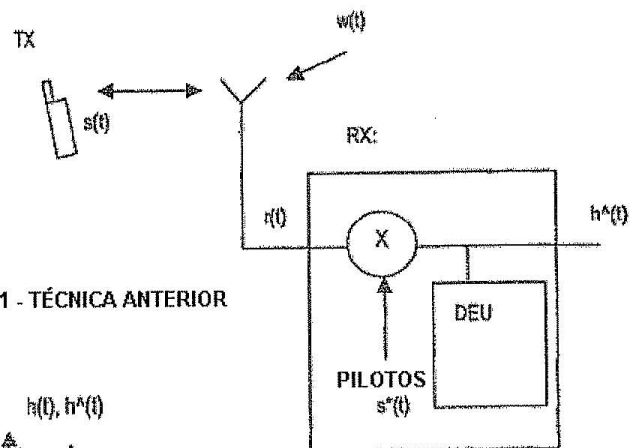
11.- Procedimiento según la reivindicación 10, en el que el ensanchamiento Doppler máximo preliminar al cuadrado se estima más específicamente mediante (13a)

$$\hat{f}_{D, \text{ preliminar}}(\kappa) = \frac{1}{\sqrt{2\pi T}} \sqrt{\frac{2}{\kappa - 1} - \left(\frac{\text{Im}\{r_v(1)\}}{r_v(0)} \right)^2 - \frac{2 \text{Re}\{r_v(\kappa)\}}{(\kappa^2 - 1) \text{Re}\{r_v(0)\}}}$$

12.- Receptor (RX) para la comunicación con un transmisor (TX), comprendiendo el receptor una unidad (X) de demodulación y una unidad (DEU) de estimación Doppler, realizando la unidad de estimación Doppler una estimación del ensanchamiento Doppler de la señal recibida según cualquiera de las reivindicaciones anteriores.

13.- Receptor según la reivindicación 12, en el que la estimación del ensanchamiento Doppler es usada para definir un intervalo T_{ACC} de acumulación para decodificar la señal recibida.

14.- Receptor según la reivindicación 13, en el que la estimación del ensanchamiento Doppler es usada para estimar la calidad del canal $h(t)$ de radio.



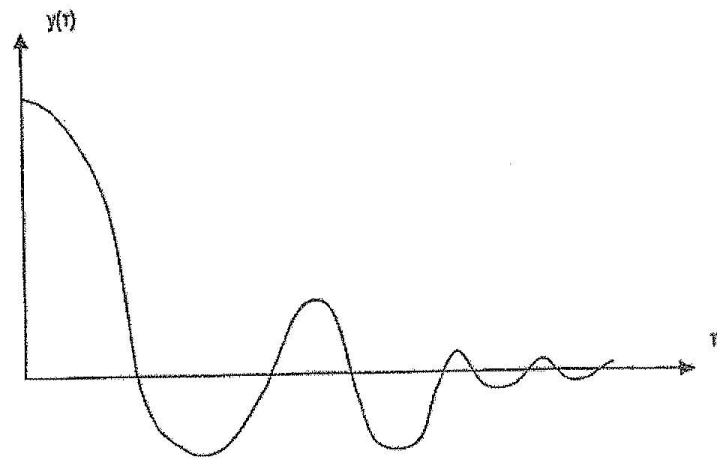
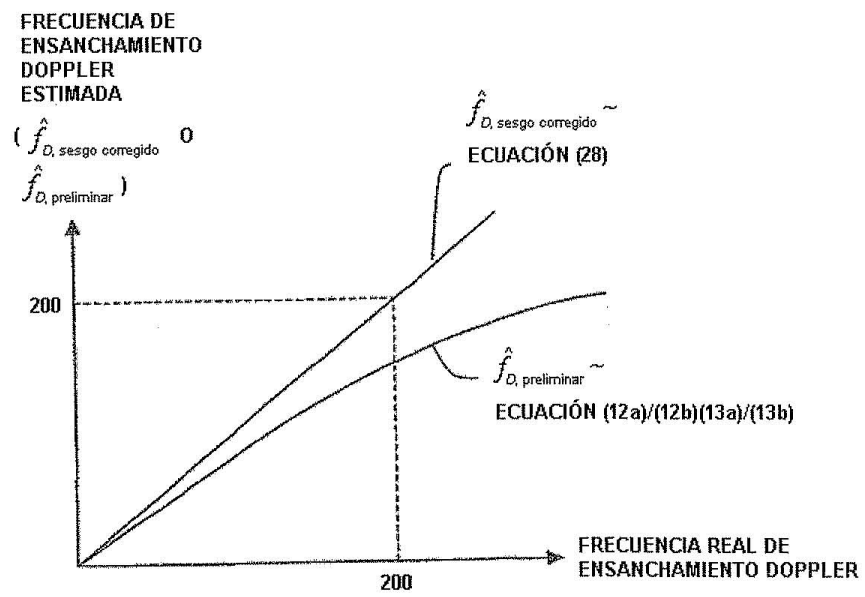


FIG. 4 - TÉCNICA ANTERIOR



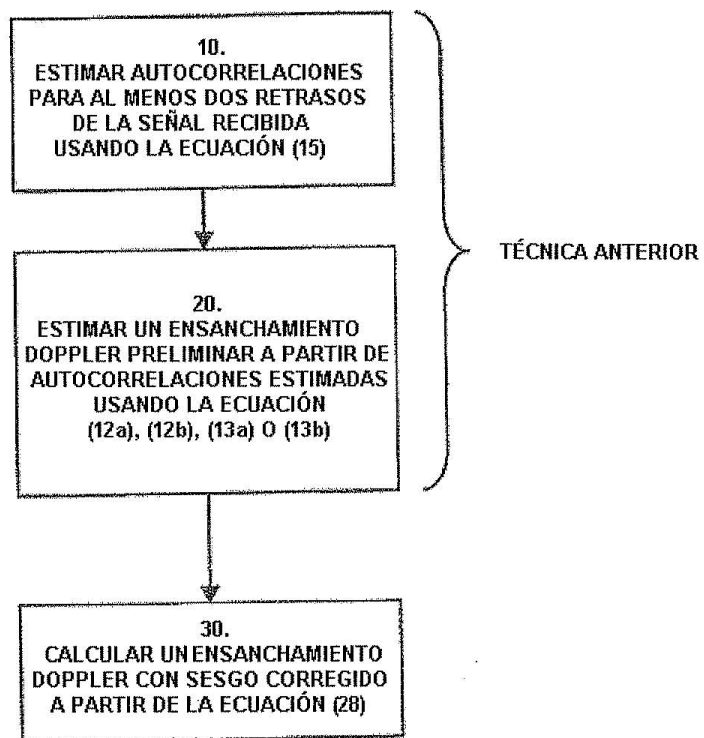


FIG. 6

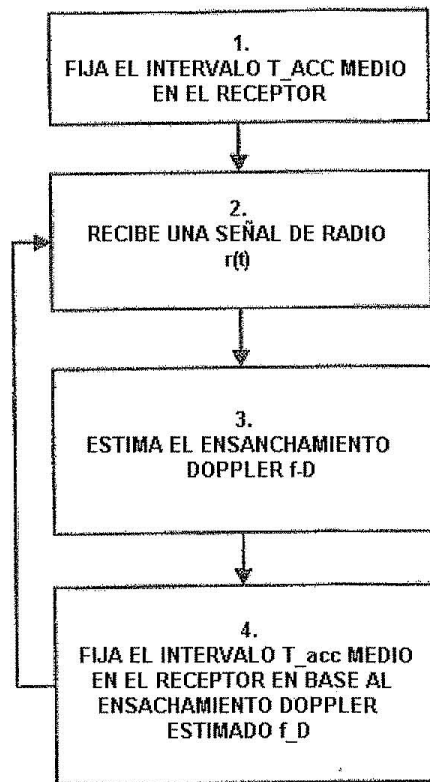


FIG. 7

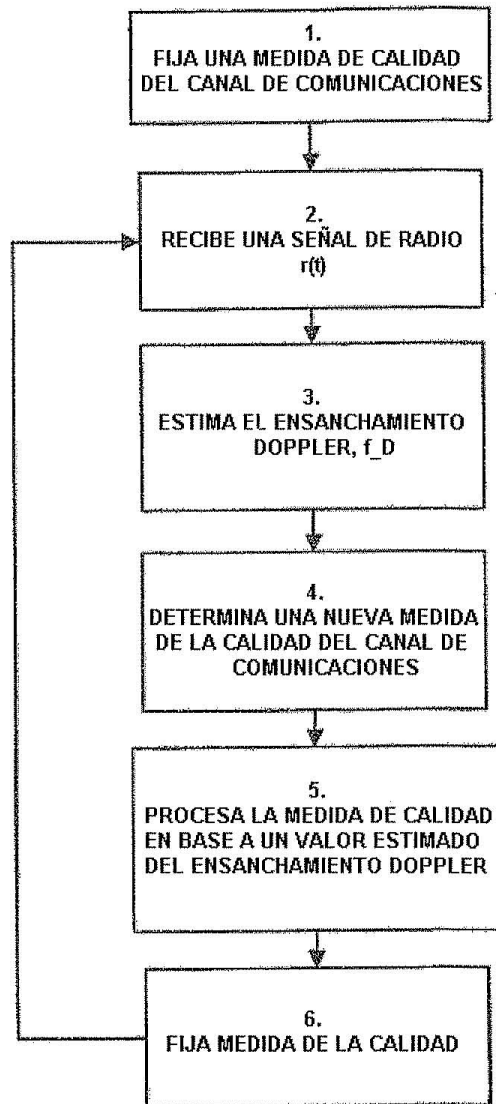


FIG. 8