(19) OFICINA ESPAÑOLA DE PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

(11) Número de publicación: **2 525 949**

(51) Int. CI.:

H04L 27/38 (2006.01)

(12) TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA T3

(96) Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **26.03.2010 E 10157997 (7)**

(97) Fecha y número de publicación de la concesión europea: **17.09.2014 EP 2239915**

(54) Título: **Método y aparato asociado para demodular señales digitales moduladas en amplitud en cuadratura (QAM)**

(30) Prioridad:

10.04.2009 IT MI20090600

(45) Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
02.01.2015

(73) Titular/es:

SIAE MICROELETTRONICA S.P.A. (100.0%)
VIA BUONARROTI 21
20093 COLOGNO MONZESE (MI), IT

(72) Inventor/es:

SALVANESCHI, CESARE

(74) Agente/Representante:

SUGRAÑES MOLINÉ, Pedro

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 y aparato asociado para demodular señales digitales moduladas en amplitud en cuadratura (QAM)

La presente invención se refiere a un método y aparato asociado para demodular señales transmitidas y recibidas en modulación de amplitud en cuadratura (QAM) en enlaces de reemisión de radio digital.

Es conocido en el sector técnico relativo a las reemisiones de radio digital que, para ser capaz de recibir señales transmitidas en modulación de amplitud en cuadratura de fase (QAM), se requiere tener dispositivos de demodulación que comprendan un demodulador QAM para cada flujo de datos digital D de modulación transmitido y cada flujo modulado recibido. Dicho demodulador QAM regenera en su salida los dos componentes, I y Q del flujo D fuente original que, durante la transmisión, el modulador QAM correspondiente usó para la modulación en cuadratura de una portadora fc, que genera la señal de radio S, tal que $S = I \cos \omega_c t - Q \text{ sen } \omega_c t$.

De acuerdo con la técnica anterior, la recepción se realiza por medio de la demodulación en cuadratura, es decir multiplicando la señal recibida por una portadora adecuadamente reconstruida de modo que esté instantáneamente en fase con la usada durante la modulación, de modo que se obtengan dichos dos componentes transmitidos, I y Q, y se envíen a continuación a un módulo en banda base que, funcionando de una forma convencional, regenera a su salida un flujo digital D idéntico al flujo fuente transmitido.

De acuerdo con la técnica anterior, si, durante la recepción de la reemisión de radio, se reciben dos señales separadas S1 y S2 moduladas en QAM con espectros adyacentes respectivos, teniendo cada una de ellas un flujo de fuente de datos asociado, D1 o D2, se requiere usar un demodulador QAM separado para demodular cada una de las dos señales S1, S2 y reconstruir los dos flujos fuente digitales D1 y D2.

Se describen ejemplos de la técnica anterior en los documentos US/2007/030916 y US 5.638.401 describiendo este último un método y aparato para modular y transmitir una señal compuesta de dos señales QAM con un único modulador/transmisor y sugiriendo usar técnicas convencionales que requieran múltiples receptores/demoduladores, específicamente uno para cada una de dichas dos señales QAM, para separar las dos señales QAM de dicha señal transmitida en el extremo de recepción.

A la vista de la necesidad creciente de transmisiones de señales digitales, es sin embargo crecientemente requerido optimizar los sistemas de recepción/transmisión, con circuitos más simples, mayor fiabilidad y costes reducidos.

En conexión con este problema se requiere también que el sistema de recepción se debe diseñar con un pequeño número de componentes, debe ser fácil y barato de producir y montar y debe tener la capacidad de ser montado fácilmente sobre la antena de los reemisores de radio usando medios estándares normales.

Estos resultados se consiguen de acuerdo con la presente invención mediante un método de procesamiento de acuerdo con la reivindicación 1 y un aparato de demodulación de acuerdo con la reivindicación 10.

Se pueden obtener detalles adicionales a partir de la descripción a continuación de un ejemplo no limitativo de realización del objetivo de la presente invención proporcionado con referencia a los dibujos adjuntos en los que:

la Figura 1 es una representación esquemática del espectro de dos señales de radio QAM durante la recepción;
la Figura 2 es un diagrama de bloques que representa un sistema para la recepción de reemisiones de radio con un aparato de demodulación de acuerdo con la presente invención que comprende un demodulador QAM analógico;
la Figura 3 es un diagrama de bloques que representa un sistema para la recepción de reemisiones de radio con un aparato de demodulación de acuerdo con la presente invención que comprende un demodulador QAM digital;
la Figura 4 es un diagrama de bloques de un circuito de procesamiento digital de acuerdo con la presente invención.

La Figura 1 muestra esquemáticamente el espectro de frecuencia de las señales que se reciben por el reemisor de radio; como puede verse, las dos señales S1 y S2 se modulan cada una mediante modulación de amplitud en cuadratura (QAM) y cada una de las dos señales S1, S2 ocupa una banda de trabajo igual a $2\Delta f$ centrada sobre la portadora respectiva que se modula (suprime) a una frecuencia f_{c1} y f_{c2}, respectivamente. $2\Delta f$ es también la separación de canal o la distancia entre las frecuencias f_{c1}, f_{c2}, de las dos portadoras moduladas y por lo tanto si fc indica la frecuencia intermedia entre los dos espectros, $fc1 = (fc - \Delta f)$ y $fc2 = (fc + \Delta f)$.

Con referencia a la Figura 2 (receptor con demodulador QAM analógico) que también muestra brevemente sobre el analizador de espectro las salidas de los diversos bloques, una primera realización de un sistema de recepción de acuerdo con la presente invención comprende una antena 400 que recibe una señal de radio S_{401}, que, como se ha establecido anteriormente, está compuesta de dos espectros S1, S2, cada uno de los cuales es una señal modulada en amplitud en cuadratura (QAM) de una portadora f_{c1}, f_{c2} respectiva, modulada por un par de componentes I_{113}, Q_{113}

y I_{123}, Q_{123} respectivos, relativo cada uno a un flujo digital fuente D_{112}, D_{122} respectivo.

Consecuentemente, considerando S_{401}, compuesto de la suma de dos espectros S_1 y S_2, como la señal global, se puede representar como sigue:

$$S_{401}(t) = I_{113} \cos(\omega_c - \Delta\omega)\, t - Q_{113} \operatorname{sen}(\omega_c - \Delta\omega)\, t + I_{123} \cos(\omega_c - \Delta\omega)\, t - Q_{123} \operatorname{sen}(\omega_c - \Delta\omega)\, t$$

donde $\omega_c = 2\pi f_c$, $\Delta\omega = 2\pi\Delta f$, $\omega_{c1} = 2\pi f_{c1}$ y $\omega_{c2} = 2\pi f_{c2}$.

Dicha señal S_{401} se puede representar también como una única señal modulada en amplitud en cuadratura (QAM) de modo que es válida la siguiente ecuación

$$S_{401} = I_c \cos \omega_c t - Q_c \operatorname{sen} \omega_c t$$

donde I_c, Q_c representan un par de componentes que modulan en cuadratura una portadora de frecuencia suprimida f_c, que es central con respecto a la banda global transmitida.

Para que las dos ecuaciones sean igualmente válidas, es necesario que

$$I_c = (I_{113} + I_{123}) \cos \Delta\omega t + (Q_{113} - Q_{123}) \operatorname{sen} \Delta\omega t$$

$$Q_c = (Q_{113} + Q_{123}) \cos \Delta\omega t + (I_{123} - I_{113}) \operatorname{sen} \Delta\omega t$$

Dicha señal S_{401} de suma modulada, que por lo tanto contiene los datos relativos a los dos flujos digitales fuente de la modulación, D_{112} y D_{122}, se envía a la entrada de un receptor de radio convencional 500 que genera en su salida una señal S_{501}. Dicha señal S_{501} se envía a su vez a la entrada de un demodulador QAM 600 que está centrado en la frecuencia f_c; por lo tanto, dicho demodulador opera como si la señal recibida se obtuviera mediante la modulación de una portadora (suprimida) con una frecuencia f_c, que genera en su salida dos componentes en cuadratura I_c y Q_c.

Dichos dos componentes se convierten a formato digital mediante un convertidor A/D respectivo, 620 y 630, que genera a su salida un componente digital, I_{201} y Q_{201}, respectivamente, que tiene los contenidos del espectro de I_c y Q_c, respectivamente, además con la respuesta debida a la digitalización.

En relación a lo descrito anteriormente, las dos señales I_{201} y Q_{201} se pueden representar como sigue:

$$I_{201} = (I_{113} + I_{123}) \cos \Delta\omega t + (Q_{113} - Q_{123}) \operatorname{sen} \Delta\omega t$$

$$Q_{201} = (Q_{113} + Q_{123}) \cos \Delta\omega t + (I_{123} - I_{113}) \operatorname{sen} \Delta\omega t$$

en donde cada par digital I_{113}/Q_{113} y I_{123}/Q_{123} representa los componentes de un flujo fuente digital D_{112} y D_{122} respectivo que durante la transmisión ha modulado la portadora respectiva f_{c1} y f_{c2}.

El par de componentes digitales, I_{201}, Q_{201}, se envía a la entrada de un circuito de procesamiento 700 de acuerdo con la invención que, como se muestra en la Fig. 4, comprende un módulo multiplicador 720, que comprende cuatro multiplicadores M_{721}, M_{722}, M_{723}, M_{724}, y un módulo sumador 730, que comprende cuatro sumadores A_{731}, A_{732}, A_{733}, A_{734}, conectados en cascada al módulo multiplicador.

Con mayor detalle:

- La señal I_{201} se envía a la entrada del primer multiplicador M_{721} y se multiplica por un factor cos $\Delta\omega t$, generando una señal $I_{721} = I_{201} \cos \Delta\omega t$;
- la misma señal I_{201} se envía a la entrada del segundo multiplicador M_{722} y se multiplica por un factor sen $\Delta\omega t$, generando una señal $I_{722} = I_{201} \operatorname{sen} \Delta\omega t$;
- la señal Q_{201} se envía a la entrada del tercer multiplicador M_{723} y se multiplica por un factor sen $\Delta\omega t$, generando una señal $Q_{723} = Q_{201} \operatorname{sen} \Delta\omega t$;
- la señal Q_{201} se envía a la entrada del cuarto multiplicador M_{724} y se multiplica por un factor cos $\Delta\omega t$, generando una señal $Q_{724} = Q_{201} \cos \Delta\omega t$.

Los factores de multiplicación, cos $\Delta\omega t$ y sen $\Delta\omega t$, están contenidos en una memoria estática respectiva 728 y 729 del mismo módulo de procesamiento 720 y son respectivamente las muestras de un coseno y seno del impulso $\Delta\omega$.

Las características de dichos factores de multiplicación son un detalle que la persona experta en la técnica es capaz de organizar; aquí se hace referencia simplemente al hecho de que su número se determina en base a la frecuencia símbolo f_{simb} de cada señal transmitida, remarcándose que la banda de una señal con una frecuencia símbolo f_{simb} está limitada a una frecuencia de modulación $f_{mod} = (f_{simb}/2)$ (1 + atenuación) donde el parámetro atenuación define

las características de filtrado.

Las dichas cuatro señales producto I_{721}, I_{722}, Q_{723}, Q_{724}, producidas por los respectivos multiplicadores, se envían en pares a cuatro sumadores del siguiente módulo 730. En particular:

-) las señales I_{721} y Q_{723} se envían a la entrada de un primer sumador A_{731} que calcula la diferencia entre la primera y la segunda señal, generando a su salida, en conexión con la anterior, una señal $I_{1113} = I_{113} - Q_{123}$ sen $2\Delta\omega t + I_{123}$ cos $2\Delta\omega t$;
-) las señales I_{722} y Q_{724} se envían a la entrada de un segundo sumador A_{732} que calcula la suma de la primera y la segunda señal, generando a su salida una señal

$$Q_{1113} = Q_{113} - I_{123} \text{ sen } 2\Delta\omega t + Q_{123} \cos 2\Delta\omega t;$$

-) las señales I_{721} y Q_{723} se envían a la entrada de un tercer sumador A_{733} que calcula la suma de la primera y la segunda señal, generando a su salida una señal que se puede representar por $I_{1123} = I_{123} - Q_{113}$ sen $2\Delta\omega t + I_{113}$ cos $2\Delta\omega t$;
-) las señales Q_{724} y I_{722} se envían a la entrada de un cuarto sumador A_{734} que calcula la diferencia entre la primera y la segunda señal, generando a su salida una señal que se puede representar por:

$$Q_{1123} = Q_{123} - I_{113} \text{ sen } 2\Delta\omega t + Q_{113} \cos 2\Delta\omega t;$$

Las cuatro señales, I_{1113}, Q_{1113}, I_{1123}, Q_{1123}, producidas por el respectivo sumador A_{731}, A_{732}, A_{733}, A_{734} del módulo 730, constituyen también la salida del circuito de procesamiento 700.

Se remarca que cada una de las cuatro señales, I_{1113}, Q_{1113}, I_{1123}, Q_{1123}, producidas por el circuito de procesamiento 700, está compuesta por la suma de tres señales a ser añadidas: la primera señal a ser añadida representa una señal en banda base, la segunda y la tercera señales a ser añadidas representan dos señales desplazadas en una frecuencia más alta de $2\Delta\omega t$.

Con referencia a la Fig. 2, cada señal (I_{1113}, Q_{1113}, I_{1123}, Q_{1123}) producida por el circuito de procesamiento se introduce a un filtro paso banda respectivo F1, F2, F3, F4, que recorta los componentes a una frecuencia más alta de cada señal; generándose por lo tanto un componente de baja frecuencia I_{113}, Q_{113}, I_{123}, Q_{123} respectivo en la salida de cada filtro de modo que I_{113}/Q_{113} constituye el par de componentes digitales de modulación en cuadratura que corresponden a la primera fuente del flujo digital D_{112}, e I_{123}/Q_{123} constituye el par de componentes digitales de modulación en cuadratura que corresponden a la segunda fuente del flujo digital D_{122}.

Cada par de señales digitales I_{113}/Q_{113}, I_{123}/Q_{123} se envía a un módulo en banda base de recepción respectivo 912, 922 que, llevando a cabo la operación inversa con respecto a la realizada por el módulo en banda base correspondiente durante la transmisión, recombina el par respectivo de señales de entrada I_{113}/Q_{113}, I_{123}/Q_{123} y serializa los bits, reconstruyendo en esta forma los flujos fuente digitales D_{112}, D_{122}.

Como se ilustra en la Figura 3, una segunda realización del aparato de acuerdo con la presente invención comprende un demodulador QAM digital 1600. En este caso la señal S_{501} producida por el receptor de radio 500 se introduce en un convertidor A/D 1620 que genera una salida digital D_{1621}; dicha salida digital D_{1621} se envía a la entrada de un demodulador QAM digital 1600 que genera su salida dos componentes digitales I_{201} y Q_{201} que son idénticos a los obtenidos con la demodulación analógica (I_c, Q_c) descrita anteriormente, pero producidos por los dos convertidores A/D 620 y 630 de acuerdo con la Figura 2.

El método de procesamiento posterior y el circuito de procesamiento asociado 700, que cuando procesa las dos señales, I_{201} e Q_{201}, regenera los dos pares componentes I_{113}/Q_{113}, I_{123}/Q_{123} a partir de los que se obtienen los dos flujos de señales fuente digitales D_{112} e D_{122}, son los mismos que los descritos para la demodulación analógica de acuerdo con las Figs. 1 y 3 y por lo tanto no se repiten.

La presente invención se refiere adicionalmente a un método para la demodulación de dos señales de radio S1 y S2 que se modulan en amplitud en cuadratura en la forma descrita anteriormente para regenerar el par asociado de componentes I_{113}/Q_{113}, I_{123}/Q_{123} de un par de señales de modulación D_{112}, D_{122}.

El método para la recepción, demodulación y procesamiento digital de la señal recibida, de acuerdo con la presente invención comprende las siguientes etapas:

A) adquisición simultánea a través de una antena 400 de:

una primera señal de radio

$$S1(t) = I_{113} \cos(\omega_{c1})\, t - Q_{113} \text{ sen}(\omega_{c1})\, t$$

que se modula en amplitud en cuadratura (QAM) por los componentes (I_{113}, Q_{113}) de una primera fuente digital (D_{112}) y con un espectro de banda $2\Delta f$ centrado en una portadora asociada f_{c1} y
una segunda señal de radio

$$S2(t) = I_{123} \cos(\omega_{c2})\, t - Q_{123} \operatorname{sen}(\omega_{c2})\, t$$

que se modula en amplitud en cuadratura por los componentes (I_{123}, Q_{123}) de una segunda fuente digital (D_{122}), con un espectro de banda $2\Delta f$ centrado en una portadora asociada f_{c2}
siendo la separación de canal de las dos señales igual a $2\Delta f$

- define una señal suma (S_{501}) para dichas señales moduladas (S1a, S2a), que a su vez se modula en amplitud en cuadratura (QAM) y se centra en una portadora suprimida de frecuencia (f_c)

$$f_c = (f_{c2} + f_{c1}) / 2 = f_{c1} + \Delta f = f_{c2} - \Delta f;$$

que es central con respecto a las dos señales moduladas (S1a, S2a)

B) envío de la señal suma S_{401} recibida en la entrada de un receptor de radio convencional 500 que genera en su salida una señal S_{501} que puede estar en una frecuencia de radio f_c o en una frecuencia intermedia fi;
C) envío de dicha señal S_{501} producida por el receptor a la entrada de un demodulador QAM analógico 600 que demodula sobre dicha frecuencia portadora central f_c de la banda de recepción; en la salida de dicho demodulador se genera un primer componente de señal I_c y un segundo componente de señal Q_c;
D) envío del primer componente I_c a la entrada de un convertidor A/D 620, que genera en su salida un componente digital I_{201}. Dado que I_{201} se ha generado por medio de un proceso que implica la demodulación QAM de una señal S_{401} que, como se ha visto anteriormente, está formada por dos señales que están moduladas en amplitud en cuadratura, dicho componente I_{201} se forma como sigue:

$$I_{201} = (I_{113} + I_{123}) \cos \Delta\omega t + (Q_{113} - Q_{123}) \operatorname{sen} \Delta\omega t$$

en donde I_{113}, Q_{113} e I_{123}, Q_{123} son los componentes de modulación en cuadratura de los dos flujos fuente respectivos D_{112}, D_{122}.
E) envío del segundo componente Q_c a la entrada de un convertidor A/D 630, que genera en su salida un componente digital Q_{201}. Dado que Q_{201} se ha generado por medio de un proceso que implica la demodulación QAM de una señal S_{401} que, como se ha visto anteriormente, está formada por dos señales que están moduladas en amplitud en cuadratura, dicho componente I_{201} se forma como sigue:

$$Q_{201} = (Q_{113} + Q_{123}) \cos \Delta\omega t + (I_{123} - I_{113}) \operatorname{sen} \Delta\omega t$$

en donde I_{113}, Q_{113} e I_{123}, Q_{123} son los componentes de modulación en cuadratura de los dos flujos fuente D_{112}, D_{122} respectivos;
F) envío del par de componentes digitales I_{201}, Q_{201} producidos por los convertidores A/D respectivos 620, 630 a la entrada de un circuito de procesamiento, 700, que genera en su salida cuatro señales I_{1113}, I_{1123}, Q_{1113}, Q_{1123} comprendiendo cada una un componente de baja frecuencia respectivo, I_{113}, I_{123}, Q_{113}, Q_{123}, de modo que I_{113}, Q_{113} corresponden a los componentes en cuadratura del flujo fuente D_{112}, e I_{123}, Q_{123} corresponden a los componentes en cuadratura del flujo fuente D_{122}.

En particular:

G) envío del componente I_{201} a un primer multiplicador M_{721} y multiplicación de éste por un factor cos $\Delta\omega t$, generando una primera señal producto $I_{721} = I_{201} \cos \Delta\omega t$;
H) envío del componente I_{201} a un segundo multiplicador M_{722} y multiplicación de éste por un factor sen $\Delta\omega t$, generando una segunda señal producto $I_{722} = I_{201}$ sen $\Delta\omega t$;
I) envío del componente Q_{201} a un tercer multiplicador M_{723} y multiplicación de éste por un factor sen $\Delta\omega t$, generando una tercera señal producto $Q_{723} = Q_{201}$ sen $\Delta\omega t$;
J) envío del componente Q_{201} a un cuarto multiplicador M_{724} y multiplicación de éste por un factor cos $\Delta\omega t$, generando una cuarta señal producto $Q_{724} = Q_{201} \cos \Delta\omega t$;
K) envío de la primera señal producto I_{721} y de la tercera señal producto Q_{723} a la entrada de un primer sumador A_{731} que genera una primera señal diferencia

$$I_{1113} = I_{113} - Q_{123} \operatorname{sen} 2\Delta\omega t + I_{123} \cos 2\Delta\omega t;$$

L) envío de la segunda señal producto I_{722} y de la cuarta señal producto Q_{724} a la entrada del segundo sumador A_{722} que genera una primera señal suma

$$Q_{1113} = Q_{113} + I_{123} \operatorname{sen} 2\Delta\omega t + Q_{123} \cos 2\Delta\omega t;$$

M) envío de la primera señal producto I_{721} y de la tercera señal producto Q_{723} a la entrada de un tercer sumador A_{733} que genera una segunda señal suma

$$I_{1123} = I_{123} + Q_{113} \text{ sen } 2\Delta\omega t + I_{113} \cos 2\Delta\omega t;$$

N) envío de la cuarta señal producto Q_{724} y de la segunda señal producto I_{722} a la entrada de un cuarto sumador A_{734} que genera una segunda señal diferencia

$$Q_{1123} = Q_{123} - I_{113} \text{ sen } 2\Delta\omega t + Q_{113} \cos 2\Delta\omega t;$$

O) envío de cada una de las cuatro señales I_{1113}, Q_{1113}, I_{1123}, Q_{1123} producidas por el circuito de procesamiento 700 a un filtro paso bajo respectivo F1, F2, F3, F4 que, al recortar los componentes de alta frecuencia, genera a su salida un componente respectivo I_{113}, Q_{113}, I_{123}, Q_{123}, de modo que el par I_{113}/Q_{113} sea igual al par de componentes digitales del primer flujo fuente, D_{112}, transmitido a través de la reemisión de radio, y el par I_{123}/Q_{123} sea igual al par de componentes digitales del segundo flujo fuente, D_{122}, transmitido a través de la reemisión de radio;

P) envío del primer par digital I_{113}/Q_{113} a la entrada de un primer módulo en banda base 912 capaz de recombinar dicho par de componentes I_{113}/Q_{113}, serializar los bits y reconstruir en la salida el flujo fuente digital correspondiente D_{112};

Q) envío del segundo par digital I_{123}/Q_{123} a la entrada de un segundo módulo en banda base 922 capaz de recombinar dicho par de componentes I_{123}/Q_{123}, serializar los bits y reconstruir en la salida el flujo fuente digital correspondiente D_{122}.

Más aún, se concibe que el método descrito se puede aplicar también en el caso de que el demodulador QAM sea del tipo digital; en este caso se concibe la realización de la conversión A/D aguas arriba del demodulador QAM.

Es por lo tanto claro cómo, como resultado del método de demodulación y del circuito de procesamiento 700 asociado de acuerdo con la presente invención, es posible demodular con un simple demodulador QAM analógico o digital varias señales moduladas en QAM localizadas en diferentes espectros de frecuencia de radio.

Además, el circuito de procesamiento 700 de acuerdo con la presente invención es más simple y menos crítico que un par de demoduladores QAM, tal como se usa en la técnica anterior, ayudando de ese modo a reducir los costes, incrementar la fiabilidad y reducir la naturaleza crítica de los circuitos usados para la demodulación QAM en enlaces de reemisión de radio digital.

Una razón adicional para la reducción de los costes y la simplificación del circuito conseguida es la reducción en el número de convertidores A/D; de hecho se requerían en la técnica anterior cuatro convertidores A/D para convertir a la forma digital las salidas de dos demoduladores, mientras que de acuerdo con la presente invención solo se requiere un único par de convertidores A/D tanto para las señales recibidas como para las moduladas en cuadratura si se usa el demodulador QAM analógico, y solamente se requiere un único convertidor A/D si se usa un demodulador QAM digital.

Se remarca también que el circuito de procesamiento y el método de acuerdo con la presente invención es aplicable tanto en el caso de una señal S_{501} producida por el receptor 500, en una frecuencia de radio fc como en el caso de una señal S_{501} en una frecuencia intermedia f_i.

REIVINDICACIONES

1. Método para demodular un par de señales, es decir:

$$S1(t) = I_{113} \cos(\omega_{c1})\, t - Q_{113} \operatorname{sen}(\omega_{c1})\, t$$

que se modula en amplitud en cuadratura (QAM) por los componentes (I_{113}, Q_{113}) de una primera fuente digital (D_{112}) con un espectro de banda $2\Delta f$ centrado sobre una portadora f_{c1} asociada

$$S2(t) = I_{123} \cos(\omega_{c2})\, t - Q_{123} \operatorname{sen}(\omega_{c2})\, t$$

que se modula en amplitud en cuadratura (QAM) por los componentes (I_{123}, Q_{123}) de una segunda fuente digital (D_{122}), con un espectro de banda $2\Delta f$ centrado sobre una portadora f_{c2} asociada
siendo la separación de canales de las dos señales igual a $2\Delta f$,
caracterizado por que comprende la siguiente etapa

- la definición de una señal de suma (S_{401}) para dichas señales moduladas (S1(t), S2(t)) recibida a través de la antena, que a su vez es una señal modulada en amplitud en cuadratura (QAM) centrada en una portadora suprimida de frecuencia

$$f_c = (f_{c2} + f_{c1}) / 2 = f_{c1} + \Delta f = f_{c2} - \Delta f;$$

que es central con respecto al espectro de las dos señales moduladas (S1(t), S2(t));
- envío de la señal suma (S_{401}) a un receptor de radio (500) que genera en su salida una señal suma amplificada (S_{501});
- envío de la señal suma amplificada (S_{501}) a la entrada de un demodulador QAM único (600) que trabaja sobre dicha portadora central suprimida de frecuencia f_c;
- demodulación de dicha señal suma sobre dicha portadora central suprimida de frecuencia f_c con generación de dos componentes en cuadratura (I_c, Q_c) definidos por

$$I_c = (I_{113} + I_{123}) \cos \Delta\omega t + (Q_{113} - Q_{123}) \operatorname{sen} \Delta\omega t = (I_{201})$$

$$Q_c = (Q_{113} + Q_{123}) \cos \Delta\omega t + (I_{123} - I_{113}) \operatorname{sen} \Delta\omega t = (Q_{201})$$

G) envío del primer componente (I_{201}) producido por el demodulador QAM (600) a un primer multiplicador (M_{721}) y multiplicarlo por un factor cos$\Delta\omega t$, generando una primera señal producto $I_{721} = I_{201} \cos \Delta\omega t$;
H) envío de dicho primer componente (I_{201}) a un segundo multiplicador (M_{722}) y multiplicarlo por un factor sen $\Delta\omega t$, generando una segunda señal producto $I_{722} = I_{201} \operatorname{sen} \Delta\omega t$;
I) envío del segundo componente (Q_{201}) producido por el demodulador QAM a un tercer multiplicador (M_{723}) y multiplicarlo por un factor sen $\Delta\omega t$, generando una tercera señal producto $Q_{723} = Q_{201} \operatorname{sen} \Delta\omega$;
J) envío del mismo segundo componente (Q_{201}) a un cuarto multiplicador (M_{724}) y multiplicarlo por un factor cos $\Delta\omega t$, generando una cuarta señal producto $Q_{724} = Q_{201} \cos \Delta\omega$;
K) envío de dichas primera señal producto (I_{721}) y tercera señal producto (Q_{723}) a la entrada de un primer sumador (A_{731}) que genera una primera señal diferencia

$$I_{1113} = I_{721} - Q_{723} = I_{113} - Q_{123} \operatorname{sen} 2\Delta\omega t + I_{123} \cos 2\Delta\omega t;$$

L) envío de dichas segunda señal producto (I_{722}) y cuarta señal producto (Q_{724}) a la entrada de un segundo sumador (A_{722}) que genera una primera señal suma

$$Q_{1113} = Q_{724} + I_{722} = Q_{113} + I_{123} \operatorname{sen} 2\Delta\omega t + Q_{123} \cos 2\Delta\omega t;$$

M) envío de dichas primera señal producto (I_{721}) y tercera señal producto (Q_{723}) a la entrada de un tercer sumador (A_{733}) que genera una segunda señal suma

$$I_{1123} = I_{721} + Q_{723} = I_{123} - Q_{113} \operatorname{sen} 2\Delta\omega t + I_{113} \cos 2\Delta\omega t;$$

N) envío de dichas segunda señal producto (Q_{724}) y segunda señal producto (I_{722}) a la entrada de un cuarto sumador (A_{734}) que genera una segunda señal diferencia

$$Q_{1123} = Q_{724} - I_{722} = Q_{123} - I_{113} \operatorname{sen} 2\Delta\omega t + Q_{113} \cos 2\Delta\omega t.$$

2. Método según la reivindicación 1, **caracterizado por que** los dos pares de señales procesadas

$$I_{1113} = I_{113} - Q_{123} \operatorname{sen} 2\Delta\omega t + I_{123} \cos 2\Delta\omega t;$$

$$Q_{1113} = Q_{113} + I_{123} \text{ sen } 2\Delta\omega t + Q_{123} \cos 2\Delta\omega t;$$

y

$$I_{1123} = I_{123} + Q_{113} \text{ sen } 2\Delta\omega t + I_{113} \cos 2\Delta\omega t;$$

$$Q_{1123} = Q_{123} - I_{113} \text{ sen } 2\Delta\omega t + Q_{113} \cos 2\Delta\omega t.$$

se filtran por medio de un filtro paso bajo respectivo (F1, F2, F3, F4) que genera dos pares respectivos de señales en banda base (I_{113}/Q_{113}, I_{123}/Q_{123}).

3. Método según la reivindicación 2, **caracterizado por que** los dos pares de señales en banda base (I_{113}/Q_{113}, I_{123}, Q_{123}) se recombinan y serializan de modo que se reconstruyen los flujos digitales fuente (D_{112}, D_{112}) transmitidos a través de la reemisión de radio.

4. Método según la reivindicación 1, **caracterizado por que** la demodulación QAM es digital.

5. Método según la reivindicación 4 **caracterizado por que** la señal suma modulada amplificada (S_{501}) recibida se convierte (A/D) en digital antes de ser enviada a la entrada del demodulador QAM.

6. Método según la reivindicación 1, **caracterizado por que** la demodulación QAM es analógica.

7. Método según la reivindicación 6, **caracterizado por que** el par de señales producidas por el demodulador QAM se convierten en un par (A/D) de señales digitales.

8. Aparato para la demodulación de un par de señales, es decir

$$S1(t) = I_{113} \cos(\omega_{c1})\, t - Q_{113} \text{ sen}(\omega_{c1})\, t$$

que se modula en amplitud en cuadratura (QAM) por los componentes (I_{113}, Q_{113}) de una primera fuente digital (D_{112}) con un espectro de banda $2\Delta f$ centrado sobre una portadora f_{c1} asociada

$$S2(t) = I_{123} \cos(\omega_{c2})\, t - Q_{123} \text{ sen}(\omega_{c2})\, t$$

que se modula en amplitud en cuadratura (QAM) por los componentes (I_{123}, Q_{123}) de una segunda fuente digital (D_{122}), con un espectro de banda $2\Delta f$ centrado sobre una portadora f_{c2} asociada
siendo la separación de canales de las dos señales igual a $2\Delta f$,
caracterizado por que comprende:

- un único demodulador QAM (600; 1600) centrado en una portadora suprimida de frecuencia

$$\mathbf{f_c} = (f_{c2} + f_{c1}) / 2 = f_{c1} + \Delta f = f_{c2} - \Delta f;$$

que es central con respecto a una señal suma de las dichas señales moduladas (S1(t), S2(t)) y que es a su vez una señal modulada en amplitud en cuadratura (QAM);
trabajando dicho demodulador (600) sobre dicha portadora central suprimida de frecuencia f_c para generar a su salida un primer componente

$$I_{201} = (I_{113} + I_{123}) \cos \Delta\omega t + (Q_{113} - Q_{123}) \text{ sen } \Delta\omega t$$

y un segundo componente

$$Q_{201} = (Q_{113} + Q_{123}) \cos \Delta\omega t + (I_{123} - I_{113}) \text{ sen } \Delta\omega t$$

en la que I_{113}/Q_{113} y I_{123}/Q_{123} son dos pares de componentes en banda base del par del flujos digitales fuente (D_{112}, D_{122}) transmitidos a través de la reemisión de radio, y
- un circuito de procesamiento (700) que comprende:

al menos un módulo multiplicador (720), a la entrada del cual se envían el par de componentes (I_{201}/Q_{201}) producidos por el demodulador QAM (600;1600), y al menos un módulo sumador (730) en cascada con el dicho módulo multiplicador (720),
comprendiendo dicho al menos un módulo multiplicador (720) cuatro multiplicadores (M_{721}, M_{722}, M_{723}, M_{724}),
dicho al menos un módulo sumador (730) comprende cuatro sumadores (A_{731}, A_{732}, A_{733}, A_{734}),
y **por que**:

. el primer multiplicador (M_{721}) multiplica el primer componente de la señal de entrada (I_{201}) por un factor cos $\Delta\omega t$, generando una señal $I_{721} = I_{201} \cos \Delta\omega t$;
. el segundo multiplicador (M_{722}) multiplica el primer componente de la señal de entrada (I_{201}) por un factor sen $\Delta\omega t$, generando una señal $I_{722} = I_{201}$ sen $\Delta\omega t$;
. el tercer multiplicador (M_{723}) multiplica el segundo componente de la señal de entrada (Q_{201}) por un factor sen $\Delta\omega t$, generando una señal $Q_{723} = Q_{201}$ sen $\Delta\omega t$;
. el cuarto multiplicador (M_{724}) multiplica el segundo componente de la señal de entrada (Q_{201}) por un factor cos $\Delta\omega t$, generando una señal $Q_{724} = Q_{201} \cos \Delta\omega t$;
. el primer sumador (A_{731}) recibe en su entrada la señal (I_{721}) producida por el primer multiplicador (M_{721}) y la señal (Q_{723}) producida por el tercer multiplicador (M_{723}) y calcula su diferencia, generando en su salida una señal

$$I_{1113} = I_{113} - Q_{123} \text{ sen } 2\Delta\omega t + I_{123} \cos 2\Delta\omega t$$

. el segundo sumador (A_{732}) recibe en su entrada la señal (I_{722}) producida por el segundo multiplicador (M_{722}) y la señal (Q_{724}) producida por el cuarto multiplicador (M_{724}) y calcula su suma, generando en su salida una señal

$$Q_{1113} = Q_{113} + I_{123} \text{ sen } 2\Delta\omega t + Q_{123} \cos 2\Delta\omega t$$

. el tercer sumador (A_{733}) recibe en su entrada la señal (I_{721}) producida por el primer multiplicador (M_{721}) y la señal (Q_{723}) producida por el tercer multiplicador (M_{723}) y calcula su suma, generando en su salida una señal

$$I_{1123} = I_{123} + Q_{113} \text{ sen } 2\Delta\omega t + I_{113} \cos 2\Delta\omega t$$

. el cuarto sumador (A_{734}) recibe en su entrada la señal (I_{722}) producida por el segundo multiplicador (M_{722}) y la señal (Q_{724}) producida por el cuarto multiplicador (M_{724}) y calcula su diferencia, generando en su salida una señal

$$Q_{1123} = Q_{123} - I_{113} \text{ sen } 2\Delta\omega t + Q_{113} \cos 2\Delta\omega t$$

siendo generados los dos pares de componentes de la señal en la salida de dicho circuito de procesamiento (700), concretamente

$$I_{1113} = I_{113} - Q_{123} \text{ sen } 2\Delta\omega t + I_{123} \cos 2\Delta\omega t;$$

$$Q_{1113} = Q_{113} + I_{123} \text{ sen } 2\Delta\omega t + Q_{123} \cos 2\Delta\omega t;$$

y

$$I_{1123} = I_{123} + Q_{113} \text{ sen } 2\Delta\omega t + I_{113} \cos 2\Delta\omega t;$$

$$Q_{1123} = Q_{123} - I_{113} \text{ sen } 2\Delta\omega t + Q_{113} \cos 2\Delta\omega t.$$

que contienen toda la información del par de flujos fuente (D_{112}, D_{122}) transmitidos en la modulación.

9. Aparato según la reivindicación 8, **caracterizado por que** los factores de multiplicación, cos $\Delta\omega t$ y sen $\Delta\omega t$, están contenidos en una memoria estática respectiva (728, 729) del mismo módulo de procesamiento (720).

10. Aparato según la reivindicación 8, **caracterizado por que** los factores de multiplicación, cos $\Delta\omega t$ y sen $\Delta\omega t$, son respectivamente las muestras de un coseno y un seno de pulsación $\Delta\omega$.

11. Aparato según la reivindicación 8, **caracterizado por que** las dichas cuatro señales producto (I_{721}, I_{722}, Q_{723}, Q_{724}), producidas por los multiplicadores (M_{721}, M_{722}, M_{723}, M_{724}) respectivos, se envían en pares a los cuatro sumadores (A_{731}, A_{732}, A_{733}, A_{734}) del módulo sumador (730).

12. Aparato según la reivindicación 8, **caracterizado por que** comprende un filtro paso bajo (F1, F2, F3, F4) para cada componente de la señal (I_{1113}, Q_{1113}, I_{1123}, Q_{1123}) producida por el circuito de procesamiento, capaz de seleccionar un componente de la señal (I_{113}/Q_{113}, I_{123}/Q_{123}) en la banda base respectiva.

13. Aparato según la reivindicación 12, **caracterizado por que** comprende un circuito en banda base (921, 922) para cada par de señales en banda base, capaz de recombinar y serializar las señales de entrada de modo que se reconstruyan los flujos digitales fuente (D_{112}, D_{122}) transmitidos a través de la reemisión de radio.

14. Aparato según la reivindicación 8, **caracterizado por que** dicho demodulador QAM (600) es analógico.

15. Aparato según la reivindicación 14, **caracterizado por que** comprende un par de convertidores A/D (620, 630) dispuestos aguas abajo del demodulador QAM (600), recibiendo cada demodulador en su entrada un componente asociado de la señal (I_{601}, Q_{601}) producida por el propio demodulador (600).

16. Aparato según la reivindicación 8, **caracterizado por que** dicho demodulador QAM (1600) es digital.

17. Aparato según la reivindicación 8, **caracterizado por que** comprende un convertidor A/D (1620) dispuesto aguas arriba del demodulador (1600).

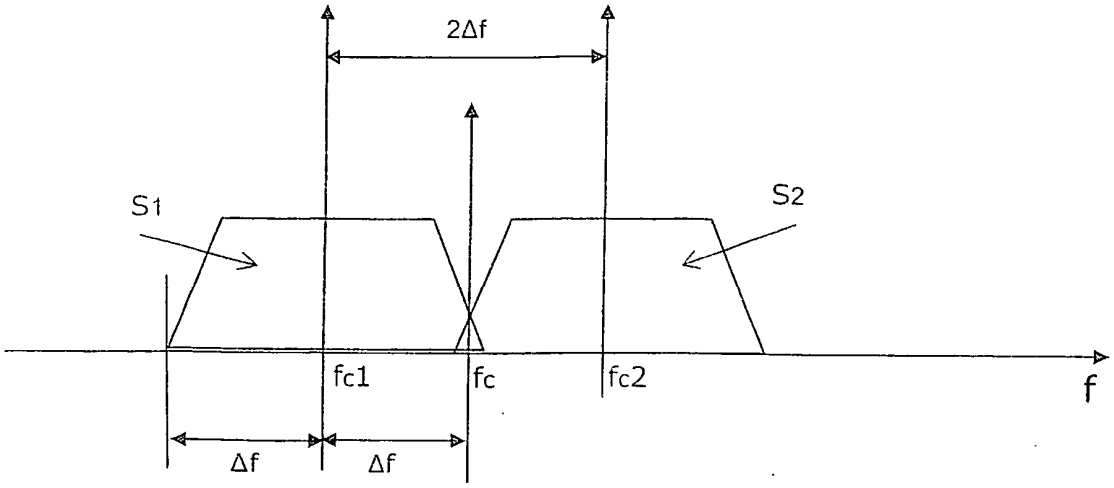

Fig. 1

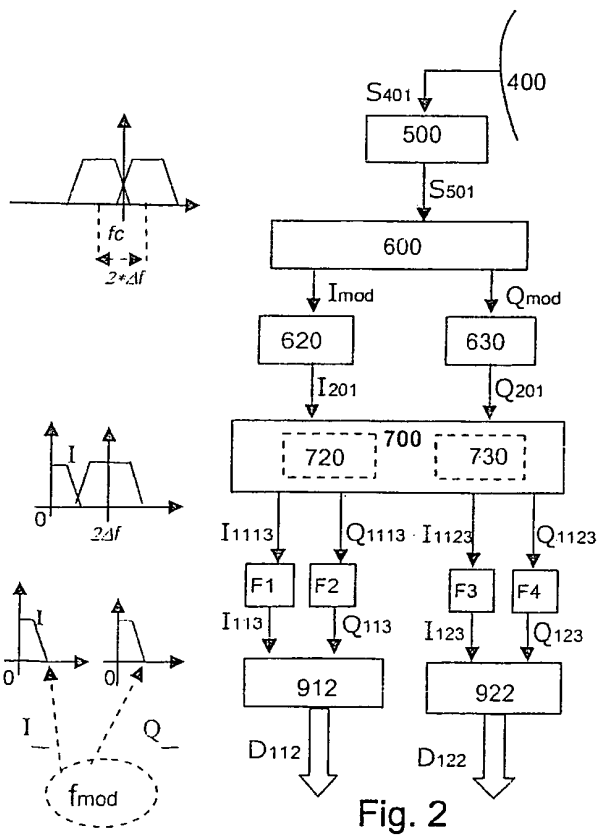

Fig. 2

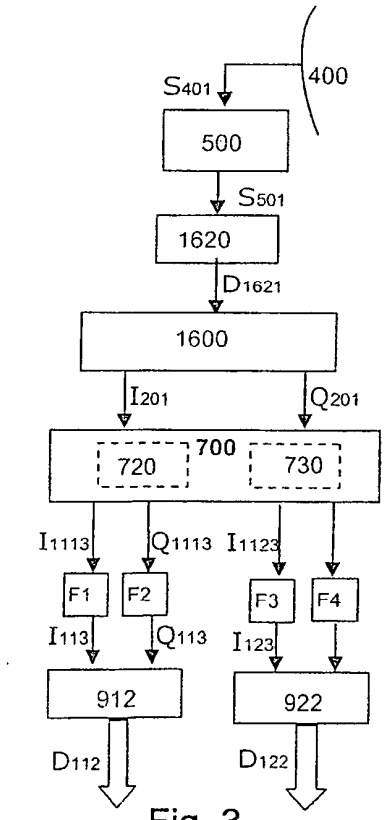

Fig. 3

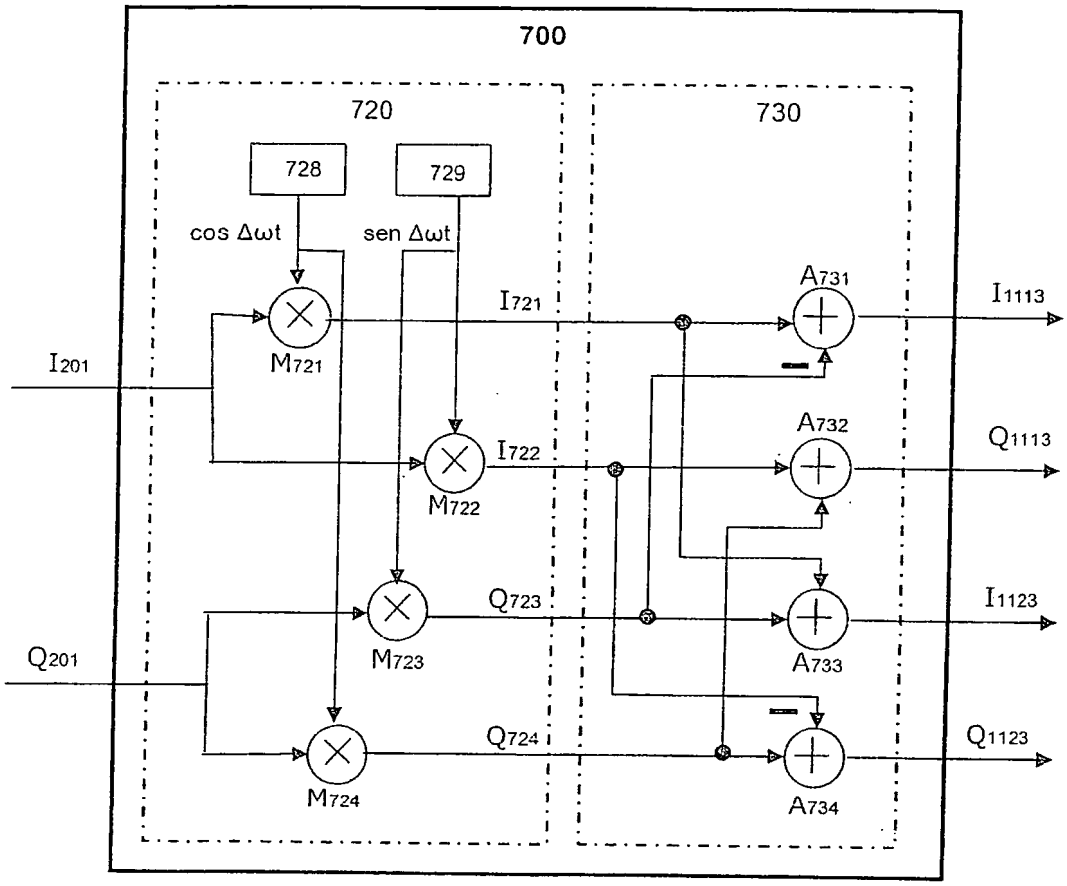
700
720
730
728
729
cos Δωt
sen Δωt
I721
M721
I201
M722
I722
A731
I1113
A732
Q1113
Q723
M723
Q201
A733
I1123
Q724
M724
A734
Q1123

Fig. 4