



19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

11 Número de publicación: **2 321 184**

51 Int. Cl.:  
**H04L 27/34** (2006.01)  
**H04N 1/00** (2006.01)  
**H04B 7/212** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **03759669 .9**  
96 Fecha de presentación : **03.10.2003**  
97 Número de publicación de la solicitud: **1561291**  
97 Fecha de publicación de la solicitud: **10.08.2005**

54 Título: **Concordancia de amplitud y fase para recepción de modulación en capas.**

30 Prioridad: **25.10.2002 US 421332 P**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:  
**03.06.2009**

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:  
**03.06.2009**

73 Titular/es: **The Directv Group, Inc.**  
**2230 East Imperial Highway**  
**El Segundo, California 90245, US**

72 Inventor/es: **Chen, Ernest, C.;**  
**Chen, Jeng-Hong;**  
**Shum, Kenneth y**  
**Oh, Joungheon**

74 Agente: **Elzaburu Márquez, Alberto**

ES 2 321 184 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

Concordancia de amplitud y fase para recepción de modulación en capas.

### 5 Referencia a las solicitudes relacionadas

Esta es una solicitud en parte continuación y reivindica el beneficio de la U.S.C. 35 Sección 120 de la siguiente solicitud de patente de utilidad U.S. pendiente y comúnmente asignada.

10 La Solicitud de Utilidad Serie N° 09/844.401, presentada el 27 de abril de 2001, por Ernest C. Chen, titulada “Modulación en capas para señales digitales”.

Esta solicitud reivindica el beneficio bajo 35 U.S.C. §119(e) de la siguiente Solicitud Provisional de Patente de EE.UU.:

15 La Solicitud de Serie N° 60/421.332, presentada el 25 de octubre de 2002, por Ernest C. Chen, Jeng-Hong Chen, Kenneth Shum y Joungheon Oh, titulada “Concordancia de amplitud y fase para recepción de modulación en capas”

### Antecedentes de la invención

#### 20 1. Campo de la invención

La presente invención se refiere a los sistemas y métodos para recibir señales de modulación en capas, particularmente en un sistema de radiodifusión directa por satélite.

#### 25 2. Descripción de la técnica relacionada

Los sistemas de comunicación de señal digital han sido usados en varios campos, que incluyen la transmisión de señal de TV digital, tanto terrestre como por satélite. Como los distintos sistemas y servicios de comunicación de señal digital evolucionan, hay una demanda creciente para aumentar el flujo de datos y los servicios añadidos.

30 Se ha propuesto que una señal de modulación en capas, que transmite coherentemente y no coherentemente tanto las señales de la capa superior como de la inferior, pueda ser empleada para satisfacer estas y otras necesidades. Dichos sistemas de modulación en capas permiten flujo de información más alto, con y sin retrocompatibilidad. Cuando no se requiere retrocompatibilidad (tal como con un sistema enteramente nuevo), la modulación en capas aún puede ser ventajosa porque requiere una potencia de pico del TWTA significativamente más baja que para un formato de modulación 8PSK o 16QAM convencional para un flujo dado.

40 No obstante, para recibir tales señales de modulación en capas requieren la reconstrucción de las señales de la capa superior para quitarlas de la señal total para que ocurra el procesado de la señal de la capa inferior. Además, el rendimiento de la demodulación de la capa inferior depende la precisión de cancelación. La señal reconstruida debe adaptar óptimamente la señal recibida en la amplitud y fase total. Por lo tanto, los errores de amplitud y fase en la señal reconstruida en el punto de la cancelación de señal necesitan ser estimados.

45 Por consiguiente, hay una necesidad de sistemas y métodos para adaptar la amplitud y fase de la señal recibida con la señal reconstruida en un sistema de comunicación que utiliza modulación en capas. La presente invención satisface estas necesidades.

### Resumen de la invención

50 La modulación en capas reconstruye la señal de la capa superior y la elimina de la señal recibida para dejar una señal de la capa inferior. El rendimiento de la demodulación de la señal de la capa inferior requiere buena cancelación de señal, la cual a su vez requiere que la señal reconstruida incluya efectos precisos de amplitud y fase del trayecto de propagación de la señal, los filtros y el bloque de bajo nivel de ruido (LNB). Los valores de estos parámetros pueden cambiar de receptor a receptor y, por lo tanto, deben ser estimados en cada receptor.

60 Las realizaciones de la invención utilizan una técnica para estimar la relación multiplicativa de las componentes de magnitud y fase entre las señales de la capa superior recibida y sintetizada. Estos atributos se multiplicarán a la señal sintetizada a partir de la respuesta del satélite, las características conocidas del filtro del transmisor y receptor, y el ruido de fase de banda estrecha estimado sin ruido blanco Gaussiano añadido (AWGN). El resultado de esta multiplicación es una representación de alta fidelidad de la señal de la capa superior que mejora grandemente el rendimiento de cancelación. Además, el procesado informático requerido para implementar la invención es mínimo.

65 Un método típico de la invención incluye recibir una señal de modulación en capas que incluye una señal de la capa superior y una señal de la capa inferior en ruido e interferencia, que demodula y descodifica la señal de la capa superior a partir de la señal recibida, estimando un factor de amplitud de la capa superior y un factor de fase de la capa superior a partir de la señal de modulación de capa recibida. Una señal de la capa superior considerablemente ideal se reconstruye a partir de la señal de la capa superior demodulada y descodificada que incluye adaptar una amplitud

ideal y una fase ideal aplicando, respectivamente, el factor de adaptar de la capa superior y el factor de fase de la capa superior a la señal ideal de la capa superior reconstruida. Finalmente, la señal ideal de la capa superior reconstruida se sustrae de la señal recibida para producir la señal de la capa inferior para procesar.

5 Un aparato típico de la invención incluye un procesador de señal para demodular y descodificar una señal de la capa superior de una señal de modulación en capas recibida en donde la señal recibida incluye la señal de la capa superior y una señal de la capa inferior en ruido e interferencia. Un estimador proporciona una estimación de un factor de amplitud de la capa superior y un factor de fase de la capa superior a partir de la señal de modulación en capas recibida. Un sintetizador reconstruye una señal de la capa superior considerablemente ideal a partir de la señal  
10 de la capa superior demodulada y descodificada que incluye adaptar una amplitud ideal y una fase ideal aplicando, respectivamente, el factor de amplitud de la capa superior y el factor de fase de la capa superior a la señal ideal de la capa superior reconstruida. Finalmente, la señal de la capa inferior se produce para procesamiento sustrayendo la señal ideal de la capa superior reconstruida de la señal de modulación en capas recibida con un sustractor.

15 Típicamente, la señal de modulación en capas recibida es una señal de modulación por desplazamiento de fase (PSK) múltiple en cada capa y puede comprender capas separadas de señal modulada no coherente. Las realizaciones de la invención pueden estimar el factor de fase de la capa superior de un vector medio de una distribución de uno o más nodos de constelación de la señal de la capa superior a partir de la señal de modulación en capas recibida. Los factores de amplitud y fase de la capa superior pueden ser estimados de una pluralidad de nodos de constelación de la  
20 señal de la capa superior.

Adicionalmente, un mapa característico de transmisión también puede ser aplicado para mejorar las estimaciones de los factores de amplitud y fase de la capa superior. El mapa característico de transmisión puede comprender mapas AM-AM y mapas AM-PM que caracterizan efectos de los trayectos de transmisión. Por ejemplo, el mapa característico  
25 de transmisión puede representar un mapa de distorsión no lineal de las características de amplificación del trayecto de transmisión, tal como el efecto de un amplificador de tubo de ondas progresivas (TWT) en un trayecto de transmisión por satélite.

### Breve descripción de los dibujos

30 Con referencia ahora a los dibujos en los que los números de referencia representan las partes correspondientes enteras:

Las Fig. 1A-1C ilustran una constelación de señal de modulación en capas para un formato de señal QPSK ejem-  
35 plar;

Las Fig. 2A y 2B ilustran una constelación de señal de una segunda capa de transmisión sobre la primera capa de transmisión antes y después de la primera demodulación de capa;

40 La Fig. 3 es un diagrama de bloques para una implementación típica del sistema de la presente invención;

Las Fig. 4A y 4B ilustran el problema y la solución, respectivamente, usando QPSK como ejemplo;

45 La Fig. 5 es una descripción del proceso de recepción de la modulación en capas que incluye los procesos del receptor heredado;

La Fig. 6 es un diagrama de flujo del proceso de cancelación de señal; y

50 La Fig. 7A y 7B ilustran una solución general para adaptar la amplitud y fase entre las señales recibida y reconstruida.

### Descripción detallada de la realización preferente

55 En la siguiente descripción de la realización preferente, se hace referencia a los dibujos anexos que forman un parte de ésta, y en los que se muestra por medio de la ilustración una realización específica en la que la invención puede ser materializada. Se debe entender que otras realizaciones pueden ser utilizadas y que pueden ser hechos cambios estructurales sin apartarse del alcance de la presente invención.

#### 1. Visión General

60 Las Fig. 1A - 1C ilustran la relación básica de las capas de señal en una transmisión de modulación en capas ejemplar. La Fig. 1A ilustra una primera constelación de señal de capas 100 de una señal de transmisión que muestra los puntos de señal o símbolos 102. La Fig. 1B ilustra una segunda constelación de señal de capa de símbolos 104 sobre la primera constelación de señal de capas 100 cuando las capas son coherentes. La Fig. 1C ilustra una segunda  
65 capa de señal 106 de una segunda capa de transmisión sobre la primera constelación de capa donde las capas no son coherentes. La segunda capa 106 rota sobre la primera constelación de capa 102 debido a las frecuencias de modulación relacionadas de las dos capas en una transmisión no coherente. Tanto la primera como la segunda capa rotan sobre el origen debido a la primera frecuencia de modulación de capa como se describe por la trayectoria 108.

Las Fig. 2A - 2B ilustran una constelación de señal de una segunda capa de transmisión sobre la primera capa de transmisión. La Fig. 2A muestra la constelación 200 antes del primer bucle de recuperación de portadora (CRL) y la Fig. 2B muestra la constelación 200 después del CRL. En este caso, los puntos de la señal de la segunda capa son en realidad anillos 202. Las frecuencias de modulación relacionadas hacen rotar la segunda constelación de capa  
 5 alrededor de los nodos de la primera constelación de capa. Después del segundo CRL de capa esta rotación se elimina. El radio de la segunda constelación de capa se determina por su nivel de potencia. El espesor de los anillos 202 se determina por la relación portadora a ruido (CNR) de la segunda capa. Como las dos capas no son coherentes, la segunda capa puede ser usada para transmitir señales analógicas y digitales.

La Fig. 3 es un diagrama de bloques para la implementación de un sistema típica 300 de la presente invención. Los transmisores separados 316A, 316B, como pueden ser ubicados en cualesquiera plataformas convenientes, tales como satélites 306A, 306B, se usan para transmitir no coherentemente diferentes capas de una señal de la presente invención. Las señales de enlace ascendente son típicamente transmitidas a cada satélite 306A, 306B de una o más estaciones de transmisión 304 a través de una antena 302. Las señales de capas 308A, 308B (señales de enlace descendente)  
 15 se reciben en las antenas receptoras 312, 320, tales como parabólicas de satélite, cada una con un bloque de bajo nivel de ruido (LNB) 310, 318 donde se acoplan entonces a receptores/descodificadores integrados (IRDs) 314, 322. Debido a que las capas de la señal pueden ser transmitidas no coherentemente, se pueden añadir capas de transmisión separadas en cualquier momento usando diferentes satélites 306A, 306B u otras plataformas convenientes, tales como plataformas en tierra o de alta altitud. De esta manera, cualquier señal compuesta, incluyendo nuevas capas de señal  
 20 adicionales serán retrocompatibles con receptores heredados que harán caso omiso de las nuevas capas de señal. Por supuesto, las aplicaciones no retrocompatibles también son posibles ya que ambos IRDs 314 y 322 son IRDs de modulación en capas, capaces de recibir más de una capa de señal. Para asegurar que las señales no interfieren, la señal combinada y el nivel de ruido para la capa inferior deben estar en o por debajo de un nivel umbral permitido para la capa superior.

Para recibir señales de modulación en capas las señales de la capa superior deben ser reconstruidas para cancelarlas de la señal total para que ocurra el procesado de la señal de la capa inferior. Además, el rendimiento de la demodulación de la capa inferior depende de la precisión de la cancelación de señal. La señal reconstruida debería adaptar  
 25 óptimamente la señal recibida en amplitud y fase total. Por lo tanto, los errores de amplitud y fase en la señal reconstruida en el punto de la cancelación de señal necesitan ser estimados. El núcleo de esta invención incluye técnicas para estimar óptimamente una amplitud y fase relacionadas entre las señales recibida y reconstruida.

## 2. Concordancia de Amplitud y la Fase

La Fig. 4A ilustra el problema que requiere adaptar la amplitud y fase, usando como ejemplo QPSK. La Fig. 4A ilustra la constelación QPSK 400 antes de la compensación de la amplitud de constelación y fase de nodo. Todos los cuatro triángulos 402 (que definen el error de fase,  $\theta_e$ ) son idénticos. Las realizaciones de la invención pueden ser aplicadas a otros formatos de modulación también, tales como 8PSK y 16QAM. Los cuatro nodos 404, representados por círculos en la Fig. 4A son ubicaciones de símbolo ideales después de la demodulación de la capa superior. Tienen una magnitud de referencia de uno y ángulos de fase respectivos de  $\pi/4$ ,  $3\pi/4$ ,  $5\pi/4$ , y  $7\pi/4$ . No obstante, en aplicaciones reales se convierten antes por el conversor analógico a digital (A/D) en el receptor, los nodos de símbolo ideales 404 tendrán desplazado en amplitud y fase con factores no compensados y no calibrados como se representa por los nodos reales 406. La Fig. 4B ilustra los nodos ideales colapsados 404 y los nodos reales 406.

La potencia no calibrada representa un factor de escalado de magnitud desconocida para la señal en el receptor (por ejemplo, el receptor multimedia digital). El bloque de bajo nivel de ruido (LNB), los filtros y otros factores previos al receptor típicamente introducen un factor de distorsión de fase. Estas distorsiones deberían ser incluidas en la señal de la capa superior reconstruida para mejorar el rendimiento de la cancelación de señal. Como se describió arriba, la Fig. 4A modela estas distorsiones desconocidas. Las magnitudes de los nodos recibidos para la señal de la capa superior son diferentes del valor asumido de uno, y son modeladas por un factor de escalado relativamente constante pero desconocido,  $a_e$ . Los nodos recibidos para la señal de la capa superior también se compensan de los nodos ideales por una cantidad de ajuste de fase igual pero desconocida, el error de fase,  $\theta_e$ . La señal también se corrompe con el ruido, la interferencia y una segunda señal, representada por círculos concéntricos alrededor de los nodos en las Fig. 4A y 4B. No obstante, el conocimiento de cada nodo de símbolo de la señal de la capa superior QPSK está disponible a partir de la descodificación de la corrección de error sin canal de retorno (FEC).

## 3. Realización Ejemplar del Receptor

La Fig. 5 es un diagrama de bloques del aparato de recepción de modulación en capas. Como se muestra, un receptor o receptor/descodificador integrado (IRD) 500 realización de la invención estima la potencia y fase de la capa superior que se usa para reescalar la señal remodulada, antes de que la señal se sustraiga de la señal recibida para dejar solamente la señal de la capa inferior. La señal 502 se recibe y la capa superior se demodula por el demodulador 504. La señal demodulada 506 se descodifica entonces (por ejemplo, descodificación de la corrección de error sin canal de retorno) por el descodificador 508 para producir símbolos 510 que se comunican entonces al transporte de la capa superior 512 para procesado adicional y presentación a un espectador. El demodulador 504 y el descodificador 508 pueden ser referenciados en combinación como un procesador de señal para procesar la señal recibida. Los anteriores procesos abarcan las funciones de un receptor heredado que descodifica solamente la capa superior de la señal entrante 502 en los casos de aplicaciones retrocompatibles.

La capa inferior de la señal entrante 502 requiere procesado adicional para descodificar. Una señal de la capa superior ideal se genera por un sintetizador o remodulador 514. El remodulador 514 recibe la temporización y portadora de la capa superior 516 del demodulador en la capa superior 504 y la salida de los símbolos de la capa superior 510 del descodificador 508. Para mejorar la producción de la señal ideal de la capa superior, el remodulador 514 también puede recibir la entrada de un filtro de forma de pulso 518 y un mapa de distorsión no lineal 520 (que modela las características de transmisión aplicadas a la señal por elementos tales como los amplificadores de tubo de ondas progresivas (TWTA) del satélite).

Un elemento clave de la presente invención comprende un estimador 522 que recibe la señal entrante 502 y estima un factor de amplitud y fase de la capa superior. El factor es suministrado por el remodulador 514 para mejorar además la reproducción precisa de la señal ideal de la capa superior y beneficiar la recuperación de la capa inferior.

La señal ideal de la capa superior se comunica a un sustractor 524 donde se sustrae de la señal entrante 502 que ha sido retardada adecuadamente por una función de retardo 526 a contar durante el tiempo de procesado del demodulador en la capa superior 504 y el remodulador 514. La salida del sustractor 524 es la señal de la capa inferior que se comunica al demodulador de la capa inferior 528 y al descodificador 530 para producir la salida del símbolo de la capa inferior 532 que está listo para ser procesado por el transporte de la capa inferior para la presentación.

#### 4. Concordancia de Amplitud y Fase para Señales de Envolvente Constante

La Fig. 6 es un diagrama de flujo del proceso de cancelación de señal 600. Como la señal recibida entra dentro del IRD 502 en el bloque 602, la señal de la capa superior se demodula primero y se descodifica como se describió arriba en el bloque 604. Mientras tanto, una señal ideal de la capa superior se sintetiza en el bloque 606 con los símbolos descodificados 608 y otros parámetros de forma de onda 610 derivados del bloque 602. La señal sintetizada se mapea entonces con curvas AM-AM y AM-PM del TWTA en el bloque 612, que se posiciona con una estimación adecuada del punto operativo 614 obtenido del demodulador local de la capa superior 604 o descargado del centro de radiodifusión, mostrado en el bloque 616.

Típicamente, los mapas de rendimiento del TWTA comprenden medidas de la modulación de amplitud de salida en función de la modulación de amplitud de entrada (el mapa AM-AM) y la modulación de fase de salida en función de la modulación de amplitud de entrada (el mapa AM-PM). En la presente invención, la señal recibida representa la salida del amplificador (más la señal, interferencia y ruido de la capa inferior) y la señal ideal generada representa la entrada del amplificador. Los mapas son usados para determinar el efecto del TWTA en la señal y simular aquellos efectos en la sustracción de capa para producir una señal de la capa inferior más precisa. Estos mapas de rendimiento se usan para facilitar y/o mejorar la recepción de las distintas capas de un sistema utilizando un esquema de transmisión de modulación en capas.

La estimación del punto de funcionamiento y el mapeado AM-AM y AM-PM se tratan además en la Solicitud de Patente de EE.UU. 10/165.710 presentada el 7 de junio de 2002, por Ernest C. Chen y titulada "Medición de la no linealidad del TWTA de satélite en funcionamiento", y la Solicitud de Utilidad Serie N° 09/844.401, presentada el 27 de abril de 2001, por Ernest C. Chen, titulada "Modulación en capas para señales digitales".

La señal mapeada del TWTA y la señal recibida se utilizan para estimar los factores de amplitud y fase globales en el bloque 618. La señal mapeada del TWTA se adapta entonces a la señal recibida en amplitud y fase en el bloque 620. Finalmente, la señal corregida se sustrae en el bloque 622 de la señal recibida, que ha sido adecuadamente retardada para alineamiento temporal en el bloque 624, para revelar la señal de la capa inferior en el bloque 626.

El proceso clave de la presente invención reside en relacionar la señal recibida a la señal reconstruida, como en los bloques 618 y 620. Haciendo referencia de nuevo a la Fig. 4A, se forma una relación entre la señal recibida y su señal de nodo descodificada. La Fig. 4B muestra la distribución de estas relaciones complejas en ruido aditivo efectivo; la división por la señal de nodo descodificada colapsa las señales recibidas de todos los nodos QPSK a un nodo único próximo al eje horizontal. La media de esta distribución es el centro de los círculos concéntricos que representan la distribución del ruido. El vector medio es el estimado para propósitos de adaptación de señal. El vector de estimación consta de una amplitud  $a_e$ , y fase,  $\theta_e$ . La desviación matemática se muestra como sigue.

$r_i$  es la señal recibida para el símbolo de la capa superior  $i$ -ésimo en un ruido efectivo;

$n_i$  es el ruido efectivo asociado a  $r_i$ ;

$\theta_{(i)}$  es la fase descodificada para el símbolo  $i$ -ésimo;

$N_s$  es el número de símbolos de señal procesados;

$a_e$  es la amplitud del error de escala a ser estimado;

$\theta_e$  es el error angular a ser estimado; y

$\theta_{(i)} \in \{\pi/4, 3\pi/4, 5\pi/4, 7\pi/4\}$  para QPSK.

Otras formas de modulación pueden ser procesadas con una solución generalizada tratada en la siguiente sección.

La señal recibida después de la recuperación de la portadora puede ser modelada como:

$$r_i = a_e \exp(j(\theta_{(i)} + \theta_e)) + n_i, \text{ donde } i = 1, \dots, N_s. \quad (1)$$

Eliminando la fase de símbolo descodificada producida:

$$r'_i \equiv \frac{r_i}{\exp(j\theta_{(i)})} = a_e \exp(j\theta_e) + n'_i; \quad (2)$$

donde  $n'_i = \frac{n_i}{\exp(j\theta_{(i)})}$ .  $n_i$  y  $n'_i$  tienen media cero y la misma varianza. La amplitud compleja esti-

mada y el factor de escala de fase se forma promediando sobre  $r'_i$  como sigue.

$$r_0 \equiv \text{avg}\{r'_i\} = \frac{\sum_{i=1}^{N_s} r'_i}{N_s} \equiv \hat{a} \exp(j\hat{\theta}_e). \quad (3)$$

Las estimaciones del error de amplitud y fase son:

$$\hat{a}_e = \text{abs}(r_0); \text{ y} \quad (4)$$

$$\hat{\theta}_e = \text{angle}(r_0). \quad (5)$$

El análisis precedente muestra que la fase residual estimada  $\hat{\theta}_e$  será cero si la fase de la señal ha sido seguida de forma precisa con el bucle de recuperación de portadora, etc.  $\hat{\theta}_e$  "barre" los errores de fase residual debidos a la imprecisión de recuperación de portadora y otros errores.

Como se muestra por la operación de adaptar la amplitud y fase en la Fig. 6, los factores de amplitud y fase estimados forman un multiplicador complejo para la señal reconstruida por sustracción de la señal recibida retardada para revelar óptimamente la señal de la capa inferior.

##### 5. Concordancia de Amplitud y Fase para Señales Generales

La Fig. 7A y 7B ilustran una solución general para adaptación de la amplitud y fase entre las señales recibida y reconstruida que no están restringidas a QPSK. Como se muestra en la FIG 7A, todos los triángulos son similares

con relaciones  $a_1, a_2, \dots, a_k$ , etc. De esta manera, la técnica, descrita arriba con respecto a QPSK, puede ser extendida fácilmente para utilizar con una señal reconstruida que varíe en amplitud debido a amplitudes de nodo de señal desiguales, variaciones debidas a la interferencia intersímbolos previa al filtrado de adaptación, respuesta no lineal del satélite, etc. Las señales se muestran colapsadas en la Fig. 7B después de la compensación de fase de nodo con amplitudes desiguales entre nodos ideales 704A y 704B así como sus nodos respectivos recibidos 706A y 706B.

Un análisis general para adaptación de amplitud y fase de la presente invención es el que sigue. Este análisis degenera al análisis precedente cuando se aplica a una constelación QPSK que tiene idénticas magnitudes (amplitudes). Para una señal de comunicación de capas general, los símbolos de la constelación pueden utilizar distintas amplitudes y fases. De esta manera,

$a_{(i)}$  es la amplitud del símbolo  $i$ -ésimo sobre el tiempo;

$\theta_{(i)}$  es la fase del símbolo  $i$ -ésimo sobre el tiempo; y

$$s_{(i)} = a_{(i)} \exp(j\theta_{(i)}).$$

La señal recibida después de que el bucle de recuperación de portadora puede ser modelada como:

$$r_i = a_e a_{(i)} \exp(j(\theta_{(i)} + \theta_e)) + n_i, \text{ donde } i = 1, \dots, N_s. \quad (6)$$

Eliminando la fase de la señal remodulada y recodificada y ponderando por la magnitud de la señal, similar al filtrado de adaptación se forma:

$$r'_i = \frac{a_{(i)} r_i}{\exp(j\theta_{(i)})} = a_e a_{(i)}^2 \exp(j\theta_e) + n'_i \quad (7)$$

$$n'_i = \frac{a_{(i)} n_i}{\exp(j\theta_{(i)})}$$

donde

y  $n_i$  y  $n'_i$  tienen media cero. La amplitud compleja estimada y el factor de escala de fase se forma sumando sobre  $r'_i$ , normalizado por el sumatorio de las potencias ideales como sigue.

$$r_0 \equiv \frac{\sum_{i=1}^{N_s} r'_i}{\sum_{i=1}^{N_s} a_{(i)}^2} \equiv \hat{a}_e \exp(j\hat{\theta}_e). \quad (8)$$

Como antes, las estimaciones del error de amplitud y fase son:

$$\hat{a}_e = \text{abs}(r_0); \text{ y} \tag{9}$$

$$\hat{\theta}_e = \text{angle}(r_0). \tag{10}$$

Notar que la ecuación (8) se reduce a la ecuación (3) cuando todos los  $a_{(i)}$  son iguales. No obstante, la solución general de la ecuación (8) puede ser preferente incluso para  $n$  señales PSK dado que todos los símbolos de la señal recibida no tienen amplitudes constantes previo al filtrado de adaptación del receptor.

6. *Análisis General Alternativo para Adaptación de la Amplitud y Fase*

Un planteamiento alternativo al problema, que provoca la misma solución que la solución general precedente puede ser encontrado a través del análisis del vector. El planteamiento comienza con el mismo modelo matemático, pero utiliza números complejos para representar fases y magnitudes de los símbolos recibidos.

El problema se caracteriza en términos de un proceso de minimización. Supongamos que  $\underline{R}$  es el vector de la señal recibida y  $\underline{X}$  es el vector de la señal reconstruida; los vectores constan de las muestras de tiempo asociadas como sus componentes. Ambos son vectores de columna con longitud  $N_s$ , donde  $N_s$  es el número de símbolos de datos a ser procesados. Un factor escalar complejo  $z$  es el que se estima para la multiplicación por  $\underline{X}$  más tarde. La estimación se elige para minimizar la diferencia entre  $\underline{R}$  y  $z\underline{X}$ , o específicamente, el error de norma cuadrática:  $(\underline{R} - z\underline{X})^H (\underline{R} - z\underline{X})$ , donde  $( )^H$  es el operador Hermitiano. El resultado es una solución de error cuadrático mínimo (LSE):

$$z_{LS} = \frac{\underline{X}^H \underline{R}}{\underline{X}^H \underline{X}} \tag{11}$$

$\underline{X}^H \underline{X}$  es un escalar igual a la potencia de la señal reconstruida.  $z_{LS}$  es la correlación compleja entre el vector de la señal recibida  $\underline{X}$  y el vector de la señal reconstruida  $\underline{R}$ , normalizado por  $\underline{X}^H \underline{X}$ . De esta manera,  $z_{LS}$  es la correlación compleja del vector de la señal recibida y el vector de la señal reconstruida y normalizada por una potencia del vector de la señal reconstruida, idéntica a la solución previa expresada por la ecuación (8).

Esto concluye la descripción que incluye las realizaciones preferentes de la presente invención. La descripción anteriormente mencionada de la realización preferente de la invención ha sido presentada para los propósitos de ilustración y descripción. No se pretende que sea exhaustiva o que limite la invención a la forma precisa expuesta. Son posibles muchas modificaciones y variaciones a la luz de la enseñanza de arriba.

Se pretende que el alcance de la invención no esté limitado por esta descripción detallada, sino más bien por las reivindicaciones anexas a esto. La especificación de más arriba, los ejemplos y los datos proporcionan una descripción completa de la fabricación y uso de los aparatos y el método de la invención. Dado que se pueden hacer muchas realizaciones de la invención sin salir del alcance de la invención, la invención reside en las reivindicaciones anexas a continuación.

## REIVINDICACIONES

1. Un método de recibir señales de modulación en capas, que comprende:

5 recibir una señal de modulación en capas que incluye una señal de la capa superior y una señal de la capa inferior (602);

demodular y descodificar la señal de la capa superior de la señal de modulación en capas recibida (604); **caracterizado** por

10 estimar un factor de amplitud de la capa superior y un factor de fase de la capa inferior de la señal de modulación en capas recibida (618);

15 reconstruir una señal de la capa superior substancialmente ideal de la señal de la capa superior demodulada y descodificada que incluye adaptar una amplitud ideal y una fase ideal aplicando el factor de amplitud de la capa superior y el factor de fase de la capa superior a la señal ideal de la capa superior reconstruida (620);

20 sustraer la señal ideal de la capa superior reconstruida de la señal de modulación en capas recibida (622) para producir la señal de la capa inferior para procesar.

2. El método de la reivindicación 1, en donde el factor de fase de la capa superior y el factor de amplitud de la capa superior se combinan para formar un factor multiplicador complejo, que es la correlación compleja de un vector de la señal recibida y un vector de la señal reconstruida y normalizada por una potencia del vector de la señal reconstruida.

25 3. El método de la reivindicación 2, en donde el factor multiplicador complejo se expresa matemáticamente por  $z_{LS} = (\underline{X}^H \underline{X})^{-1} \underline{X}^H \underline{R}$ , donde  $\underline{R}$  es el vector de la señal recibida y  $\underline{X}$  es el vector de la señal reconstruida.

30 4. El método de la reivindicación 1, en donde el factor de fase de la capa superior se estima de un vector medio de una distribución de la señal de modulación en capas recibida respecto a uno o más nodos de constelación de la señal de la capa superior.

35 5. El método de la reivindicación 1, en donde el factor de amplitud de la capa superior se estima de un vector medio de una distribución de la señal de modulación en capas recibida respecto a uno o más nodos de constelación de la señal de la capa superior.

6. Un aparato para recibir señales de modulación en capas, que comprende:

40 un procesador de señal para demodular (504) y descodificar (508) una señal de la capa superior de una señal de modulación en capas recibida (502) en donde la señal recibida incluye la señal de la capa superior y una señal de la capa inferior; **caracterizada** por

un estimador (522) para estimar un factor de amplitud de la capa superior y un factor de fase de la capa superior de la señal de modulación en capas recibida (502);

45 un sintetizador (514) para reconstruir una señal de la capa superior substancialmente ideal de la señal de la capa superior demodulada y descodificada (510) que incluye adaptar una amplitud ideal y una fase ideal aplicando el factor de amplitud de la capa superior y el factor de fase de la capa superior a la señal ideal de la capa superior reconstruida; y

50 un sustractor (524) para sustraer la señal ideal de la capa superior reconstruida de la señal de modulación en capas recibida para producir la señal de la capa inferior para procesar.

55 7. El aparato de la reivindicación 6, en donde el factor de fase de la capa superior y el factor de amplitud de la capa superior se combinan en un factor multiplicador complejo, que es la correlación compleja de un vector de la señal recibida y un vector de la señal reconstruida y normalizado por una potencia del vector de la señal reconstruida.

8. El aparato de la reivindicación 7, en donde el factor multiplicador complejo se expresa matemáticamente por  $z_{LS} = (\underline{X}^H \underline{X})^{-1} \underline{X}^H \underline{R}$ , donde  $\underline{R}$  es un vector de la señal recibida y  $\underline{X}$  es un vector de la señal reconstruida.

60 9. El aparato de la reivindicación 6, en donde el factor de fase de la capa superior se estima de un vector medio de una distribución de la señal de modulación en capas recibida respecto a uno o más nodos de constelación de la señal de la capa superior.

65 10. El aparato de la reivindicación 6, en donde el factor de amplitud de la capa superior se estima de un vector medio de una distribución de la señal de modulación en capas recibida respecto a uno o más nodos de constelación de la señal de la capa superior.

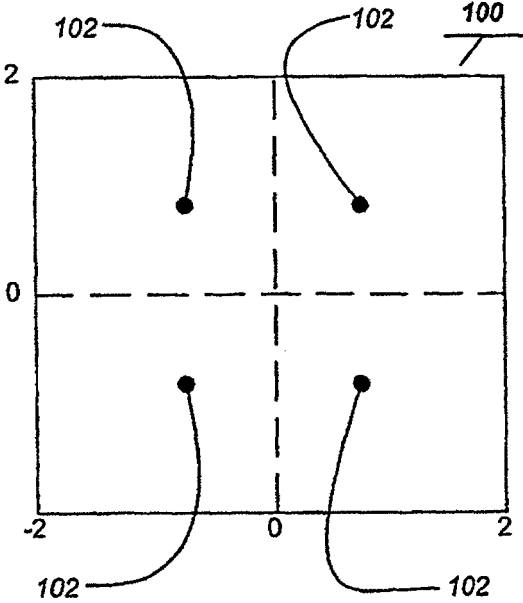


FIG. 1A

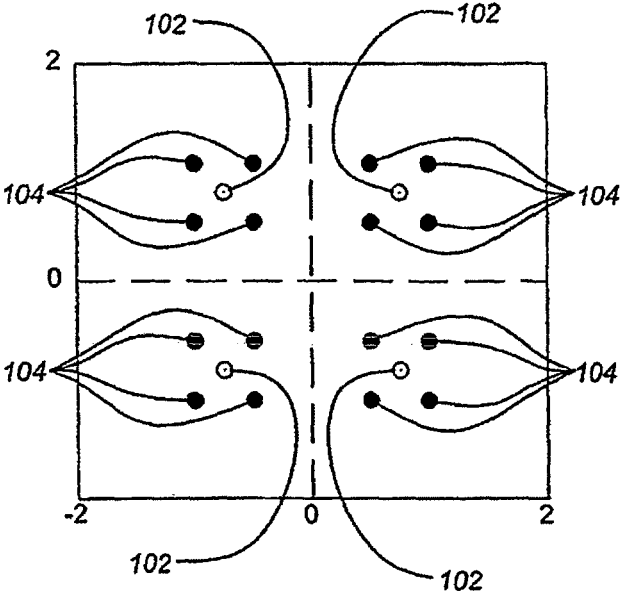


FIG. 1B

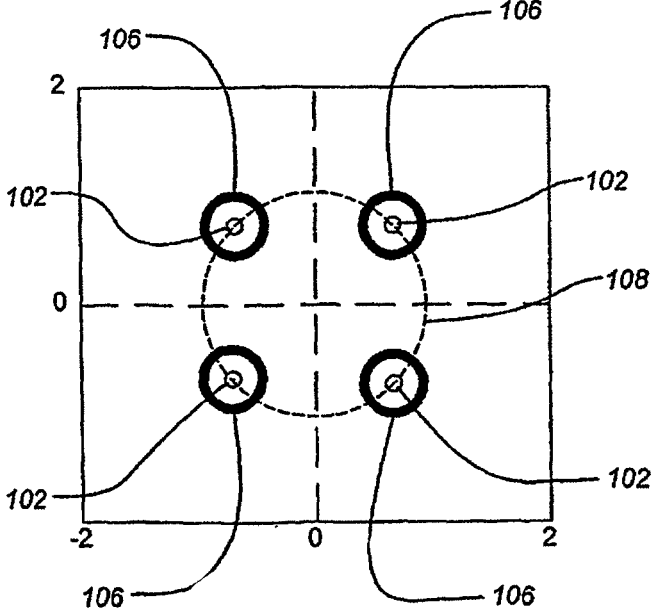


FIG. 1C

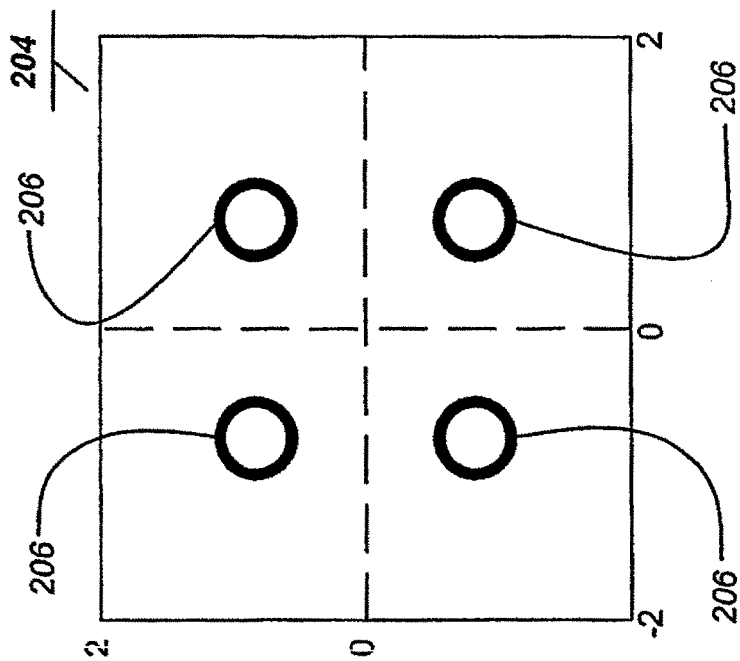


FIG. 2A

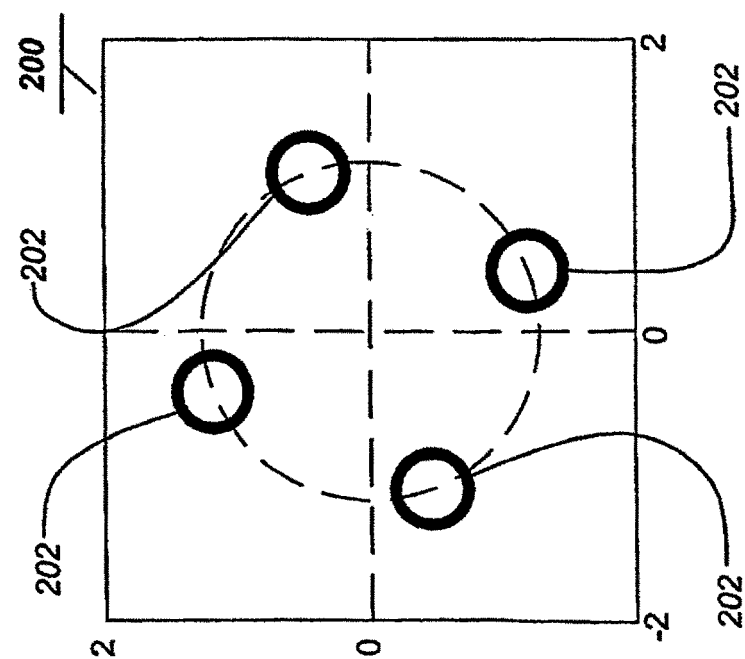


FIG. 2B

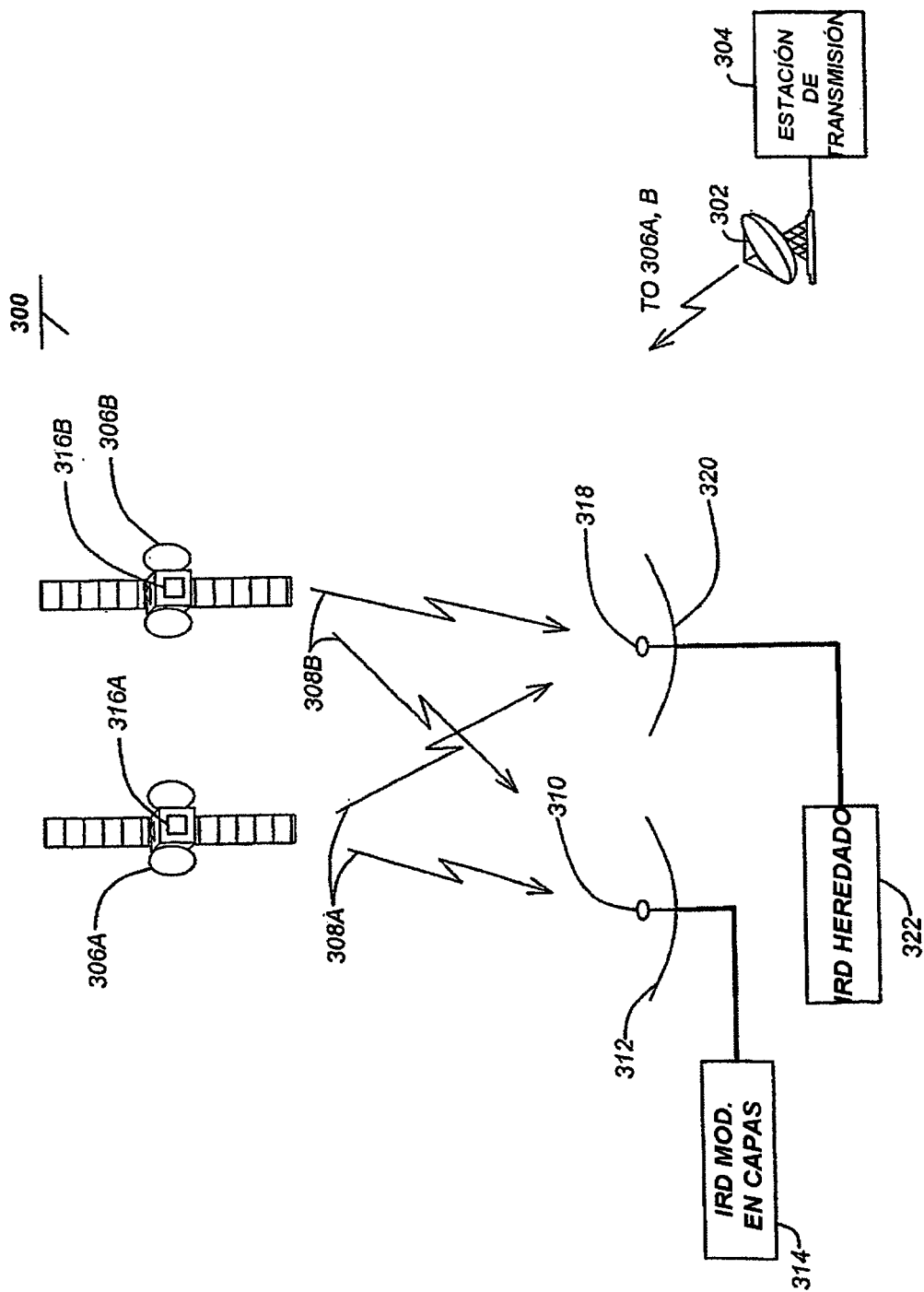
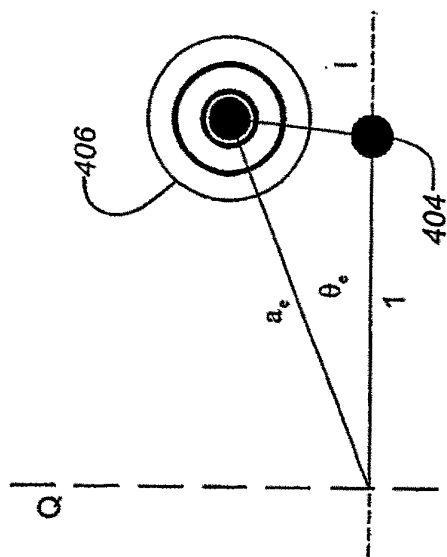
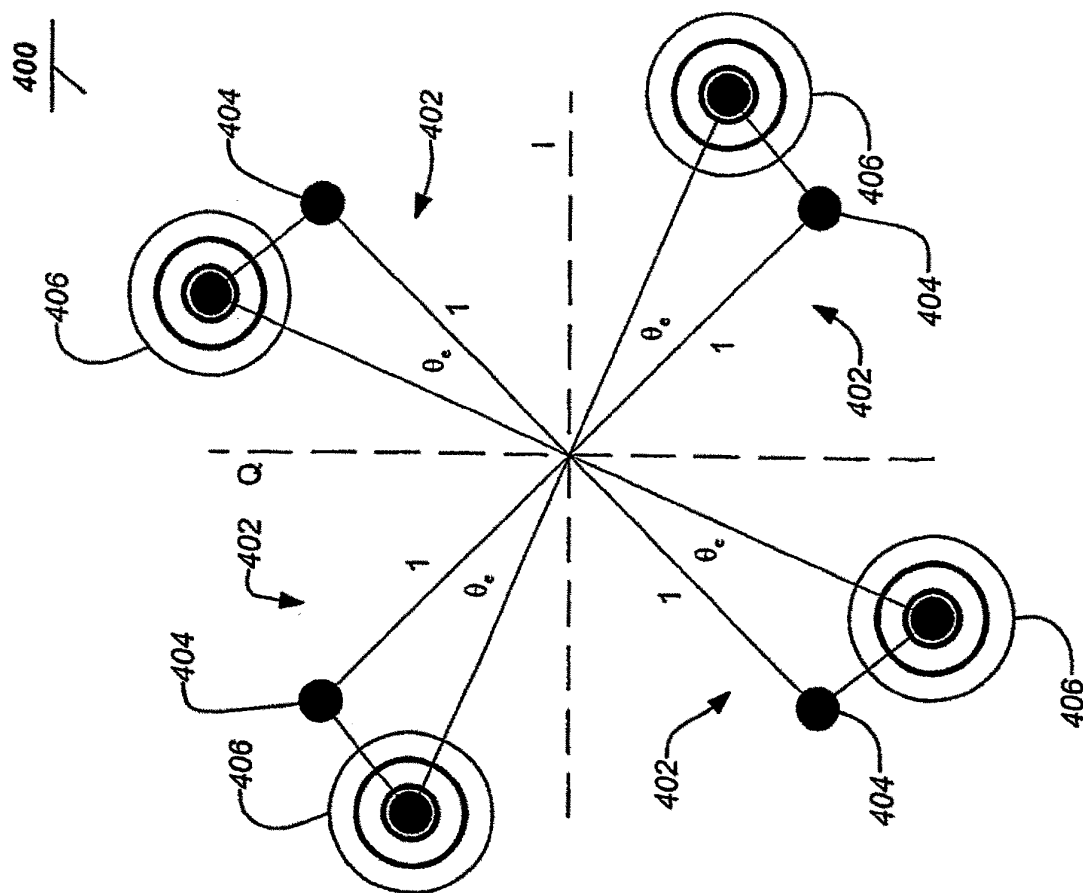


FIG. 3



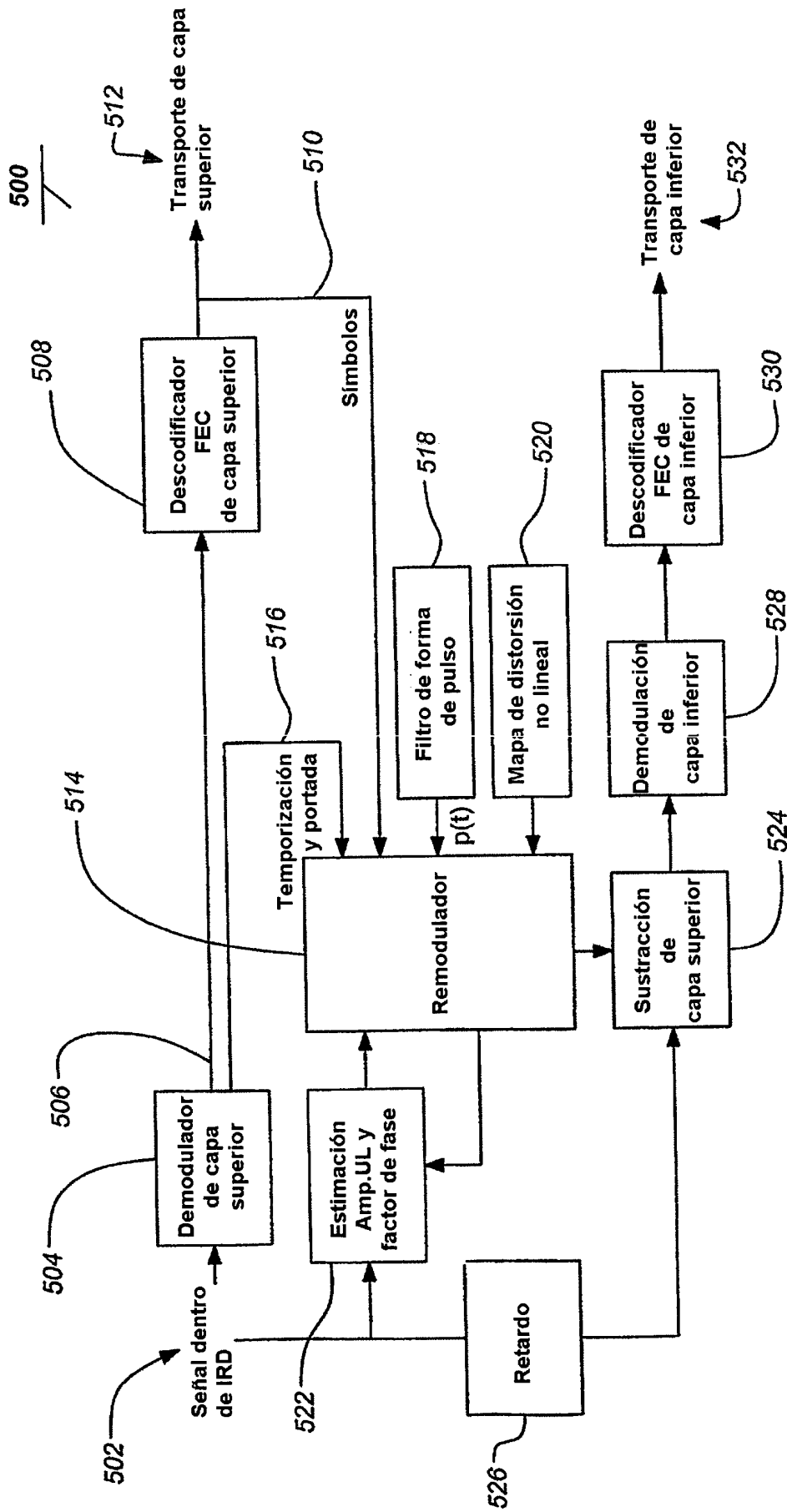


FIG. 5

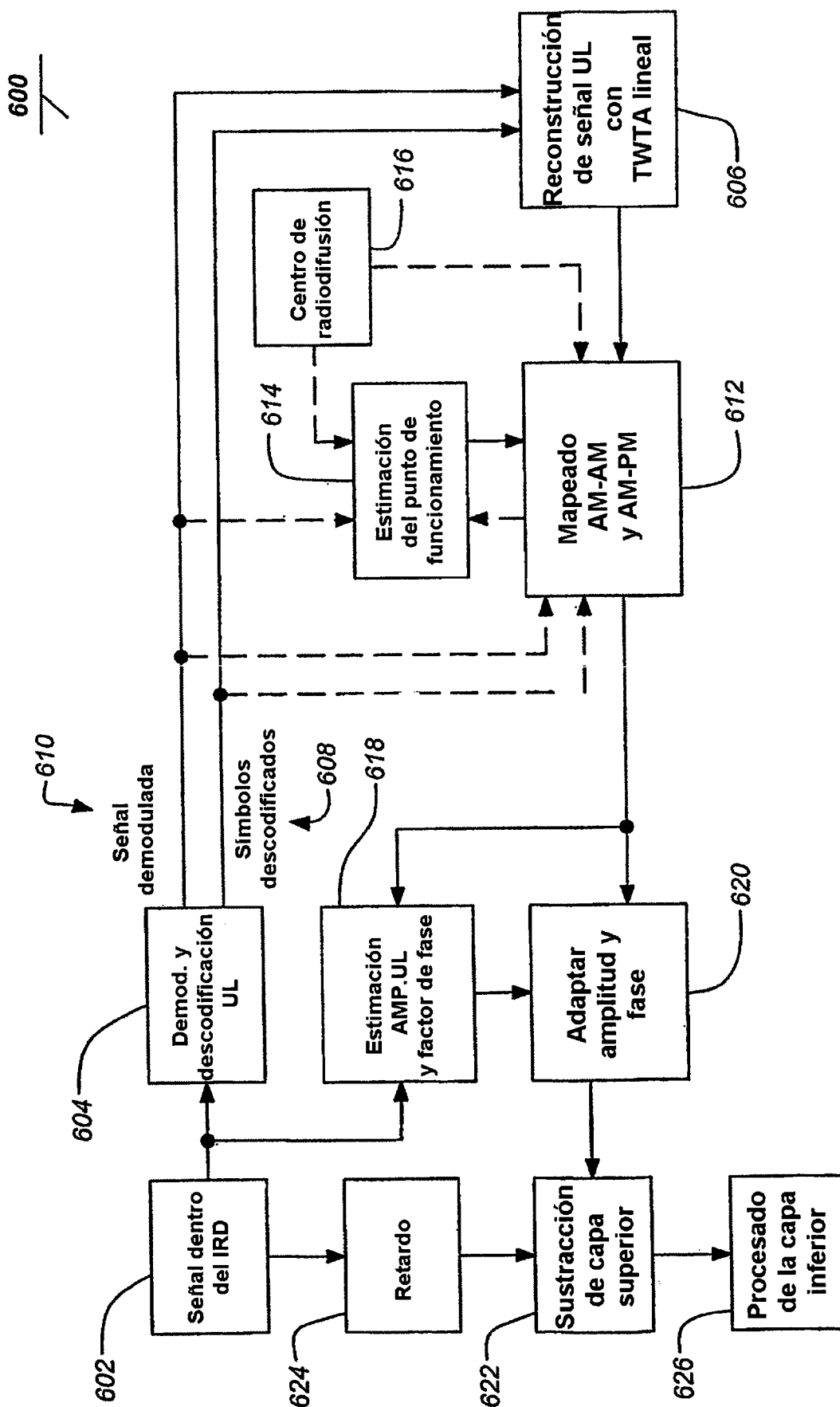


FIG. 6

