

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 400 309**

51 Int. Cl.:

H04B 7/185 (2006.01)

G08G 3/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **31.03.2009 E 09250993 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **09.01.2013 EP 2211486**

54 Título: **Detección por satélite de señales del sistema de identificación automática**

30 Prioridad:

27.01.2009 US 360473

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

09.04.2013

73 Titular/es:

**COM DEV INTERNATIONAL LIMITED (100.0%)
155 SHELDON DRIVE
CAMBRIDGE ON N1R 7H6, CA**

72 Inventor/es:

**COWLES, PHILLIP R.;
D'SOUZA, IAN A. y
PEACH, ROBERT C.**

74 Agente/Representante:

UNGRÍA LÓPEZ, Javier

ES 2 400 309 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

Detección por satélite de señales del sistema de identificación automática

5 Campo

Las realizaciones aquí descritas se refieren a sistemas y métodos para decodificar señales del sistema de identificación automática. Más en concreto, las realizaciones aquí descritas se refieren a sistemas y métodos para supervisar barcos que envían señales del sistema de identificación automática recibiendo las señales con satélites de órbita terrestre baja, transmitiendo las señales a tierra y decodificando las señales usando técnicas de cálculo de alto rendimiento.

Antecedentes

15 El sistema de identificación automática (AIS) es un sistema de comunicaciones marítimas diseñado para comunicaciones de barco a barco y barco a tierra de corto alcance (típicamente 20-30 millas náuticas). El sistema AIS usa canales de banda estrecha (es decir, anchura de banda de 25 kHz) y frecuencia muy alta (VHF) centrados en 161,975 MHz y 162,025 MHz, con un posible canal adicional a 157,375 MHz, y un método de comunicación llamado acceso múltiple por división de tiempo auto-organizado (SOTDMA).

20 El sistema AIS soporta un número de diferentes tipos de señal. La principal señal AIS enviada por un barco es un informe de posición que proporciona información relativa a la identificación del barco, la posición, el rumbo, la velocidad y otros detalles. El AIS también incluye el uso de un receptor, que permite a un barco recibir señales AIS emitidas por barcos situados a su alrededor. Cada minuto, cada canal VHF se divide en 2.250 intervalos de tiempo, cada uno de los cuales puede acomodar una transmisión AIS de 26,67 ms (es decir, señal AIS). Los intervalos de tiempo se sincronizan exactamente con Tiempo Universal Coordinado (UTC), usando típicamente el sistema de posicionamiento global (GPS), y cada unidad AIS reserva intervalos de tiempo para futuras transmisiones AIS del barco. Por lo tanto, otras unidades AIS dentro de rango puede mantener un mapa de intervalos reservados y evitar la transmisión durante estos intervalos. Esta característica de autoorganización evita colisiones de señal en los rangos cortos implicados en transmisiones de superficie.

El uso de AIS es ahora obligatorio en todos los barcos de más de 300 toneladas que realicen viajes internacionales, y también se está ampliando a otros barcos. Originalmente fue concebido como una ayuda a la navegación y la seguridad, y también tiene seguridad potencial.

35 El uso de AIS es ahora obligatorio en todos los barcos de más de 300 toneladas que realicen viajes internacionales, y también se está ampliando a otros barcos. Originalmente fue concebido como una ayuda a la navegación y la seguridad, y también tiene potenciales aplicaciones de seguridad para supervisar el tráfico marítimo. La detección de señales AIS se podría lograr usando estaciones de costa/tierra, pero el rango limitado de las señales VHF requeriría que tales estaciones de costa/tierra estuviesen situadas en muchas posiciones a lo largo de la costa, e incluso entonces solamente podrían supervisar la región costera inmediata.

45 WO 2008/148188 describe un sistema y método para detectar señales AIS en el espacio y decodificar dichas señales. WO 2007/143378 describe un sistema de base espacial para rastrear y supervisar simultáneamente uno o más barcos del océano en cualquier punto de la tierra. El sistema incluye una pluralidad de satélites, incluyendo cada satélite una carga de comunicaciones AIS para recibir señales AIS. WO 03/046603 describe un sistema de satélite para identificación de barcos, incluyendo medios para enviar un mensaje entrante de un barco, mediante al menos un satélite geostacionario y una estación base, a un centro de control. El documento "Space-Based AIS Receiver for Maritime Traffic Monitoring Using Interference Cancellation" de Ole Fredrik Haakonsen Dahl describe el problema de interferencia entre mensajes AIS de diferentes barcos y cómo la cancelación de una o más señales en el receptor puede hacer que aumente la probabilidad de detección. Se examinan soluciones de receptor para reducir el problema de interferencia utilizando diversidad de antenas junto con el entorno de señal y el potencial de cancelación de interferencia.

55 Resumen

Según un primer aspecto de la invención, se facilita un sistema para detectar y decodificar señales "AIS" del sistema de identificación automática, incluyendo el sistema: (a) una pluralidad de satélites orbitales, teniendo cada satélite orbital al menos una antena, teniendo la al menos única antena una pluralidad de polarizaciones de antena para recibir una pluralidad de señales de radio frecuencia desfasadas, incluyendo las señales de radio frecuencia una o más señales de mensaje AIS; (b) teniendo también cada satélite orbital un módulo de comunicación configurado para: (i) aceptar la pluralidad de señales de radio frecuencia desfasadas, (ii) convertir la pluralidad de señales de radio frecuencia desfasadas a datos en paquetes muestreados, (iii) insertar los datos en paquetes muestreados y una pluralidad de parámetros de señal en un flujo de datos, y (iv) transmitir el flujo de datos y un flujo de datos de telemetría para el satélite orbital a al menos una estación de tierra. Un procesador situado en la al menos única estación de tierra está configurado para recibir el flujo de datos y correlacionar el flujo de datos con una pluralidad de

señales predefinidas para calcular una pluralidad de señales de correlación; y explorar la pluralidad de señales de correlación en busca de picos de correlación que exceden de otros picos en una cantidad predeterminada para identificar una o más señales de mensaje AIS candidatas. El procesador incluye:

- 5 (i) un módulo de refinamiento configurado para identificar y quitar una o más señales de mensaje AIS superpuestas, siendo la única o más señales de mensaje AIS superpuestas una o más señales de mensaje AIS candidatas superpuestas por una señal de mensaje candidata cuyo pico de correlación excede del de la única o más señales de mensaje AIS candidatas en un valor umbral predeterminado; (ii) un módulo de descolisión configurado para descolisionar la única o más señales de mensaje AIS superpuestas para cada señal de mensaje AIS candidata en la
10 única o más señales de mensaje AIS superpuestas, desfasando computacionalmente un primer segmento de señal muestreada de la única o más señales de mensaje AIS superpuestas y combinándolo con un segundo segmento de señal muestreada de la única o más señales de mensaje AIS superpuestas hasta que el desfase en el segundo segmento cancele, o reduzca la intensidad relativa de, una señal de mensaje AIS de solapamiento para revelar la señal de mensaje AIS candidata, donde el segundo segmento de señal muestreada es coincidente en el tiempo con
15 el primer segmento muestreado, pero se recibe en una antena diferente o polarización de antena diferente; y (iii) un decodificador configurado para decodificar la única o más señales de mensaje AIS candidatas para obtener un segmento de mensaje AIS.

20 En algunas realizaciones, el procesador también determina la exactitud de la única o más señales de mensaje AIS candidatas comparando una posición referida de un transmisor AIS, siendo identificada la posición referida en la única o más señales de mensaje AIS candidatas, con una pluralidad de posiciones válidas en base a uno o más de una desviación Doppler, una polarización, un sello de tiempo y los datos de telemetría asociados con la única o más señales de mensaje AIS candidatas.

25 [Quitado]

En algunas realizaciones, el procesador también extrae una pluralidad de parámetros extraídos de los datos en paquetes muestreados, donde la pluralidad de parámetros extraídos se seleccionan del grupo que consta al menos de: un índice de modulación, amplitudes de señal para cada una de la al menos única polarización de antena de la al menos única antena, y desfases entre las señales recibidas por cada una de la al menos única polarización de antena de la al menos única antena cuando se emplea una pluralidad de polarizaciones de antena o una pluralidad de antenas o ambas. La pluralidad de polarizaciones de antena puede incluir polarizaciones dobles. La pluralidad de polarizaciones de antena puede incluir tres polarizaciones.

35 El procesador puede ser un grupo de cálculo de alto rendimiento. En algunas realizaciones, la pluralidad de satélites orbitales ocupa al menos tres planos orbitales diferentes, teniendo cada uno de los tres planos orbitales inclinaciones sustancialmente diferentes y/o altitudes sustancialmente diferentes. En algunas realizaciones, el flujo de datos es encriptado para transmisión a al menos una estación de tierra.

40 Según un segundo aspecto de la invención, se facilita un método para detectar y decodificar señales "AIS" del sistema de identificación automática, incluyendo el método: (a) proporcionar una pluralidad de satélites orbitales, teniendo cada satélite orbital al menos una antena teniendo la al menos única antena una pluralidad de polarizaciones de antena para recibir una pluralidad de señales de radio frecuencia desfasadas, incluyendo las señales de radio frecuencia una o más señales de mensaje AIS; (b) filtrar, muestrear y paquetizar la pluralidad de
45 señales de radio frecuencia desfasadas a datos en paquetes muestreados; (c) insertar los datos en paquetes muestreados y una pluralidad de parámetros de señal a un flujo de datos; (d) transmitir el flujo de datos y un flujo de datos de telemetría para el satélite orbital a al menos una estación de tierra; (e) recibir el flujo de datos en la al menos única estación de tierra; (f) correlacionar el flujo de datos con una pluralidad de señales predefinidas para calcular una pluralidad de señales de correlación; (g) explorar la pluralidad de señales de correlación en busca de picos de correlación que exceden de otros picos en una cantidad predeterminada para identificar una o más señales de mensaje AIS candidatas; y (h) procesar el flujo de datos en la al menos única estación de tierra para identificar una o más señales de mensaje AIS candidatas, donde el procesado incluye identificar y sacar una o más señales de mensaje AIS superpuestas, siendo la única o más señales de mensaje AIS superpuestas una o más señales de mensaje AIS candidatas superpuestas por una señal de mensaje candidata cuyo pico de correlación excede del de la única o más señales de mensaje AIS candidatas en un valor umbral predeterminado, y donde el procesado incluye además descolisionar la única o más señales de mensaje AIS superpuestas, para cada señal de mensaje AIS candidata en la única o más señales de mensaje AIS superpuestas, desfasando computacionalmente un primer segmento de señal muestreada de la única o más señales de mensaje AIS superpuestas y combinándolo con un segundo segmento de señal muestreada de la única o más señales de mensaje AIS superpuestas hasta que el desfase en el segundo segmento cancele, o reduzca la intensidad relativa de, una señal de mensaje AIS de solapamiento para revelar la señal de mensaje AIS candidata, donde el segundo segmento de señal muestreada es coincidente en el tiempo con el primer segmento muestreado, pero se recibe en una antena diferente o polarización de antena diferente y decodificar la única o más señales de mensaje AIS candidatas para obtener un segmento de mensaje AIS.
60

65 En algunas realizaciones, el método incluye además determinar la exactitud de la única o más señales de mensaje

AIS candidatas comparando una posición referida de un transmisor AIS, la posición referida identificada en la única o más señales de mensaje AIS candidatas, con una pluralidad de posiciones válidas en base a uno o más de una desviación Doppler, una polarización, un sello de tiempo y los datos de telemetría asociados con la única o más señales de mensaje AIS candidatas.

5

[Quitado]

En algunas realizaciones, el método incluye además extraer una pluralidad de parámetros extraídos de los datos en paquetes muestreados, donde la pluralidad de parámetros extraídos se seleccionan del grupo que consta al menos de: un índice de modulación, amplitudes de señal para cada una de la al menos única polarización de antena de la al menos única antena, y desfases entre las señales recibidas por cada una de la al menos única polarización de antena de la al menos única antena cuando se emplea una pluralidad de polarizaciones de antena o una pluralidad de antenas o ambas. La pluralidad de polarizaciones de antena puede incluir polarizaciones dobles. La pluralidad de polarizaciones de antena puede incluir tres polarizaciones.

10

15

[Quitado]

En algunas realizaciones, el método incluye además almacenar el flujo de datos en una base de datos y procesar datos de una pluralidad de flujos de datos para identificar una o más señales de mensaje AIS candidatas. El procesador puede ser un grupo de cálculo de alto rendimiento. En algunas realizaciones, la pluralidad de satélites orbitales ocupa al menos tres planos orbitales diferentes, teniendo cada uno de los tres planos orbitales inclinaciones sustancialmente diferentes y/o altitudes sustancialmente diferentes.

20

25

En algunas realizaciones el método incluye además encriptar el flujo de datos antes de la transmisión a la al menos única estación de tierra y desencriptar el flujo de datos después de la recepción en la al menos única estación de tierra.

30

En algunas realizaciones, el método incluye además hacer el seguimiento y supervisar transmisores AIS integrando datos seleccionados del grupo de: señales de mensaje AIS, seguimiento óptico y radar.

Breve descripción de los dibujos

Para una mejor comprensión de las varias realizaciones aquí descritas, y para mostrar más claramente cómo se pueden poner en práctica, ahora se hará referencia, a modo de ejemplo solamente, a las figuras acompañantes en las que:

35

La figura 1 es un diagrama esquemático general de un sistema de procesado AIS incluyendo un satélite LEO y una estación de tierra.

40

Las figuras 2A y 2B son diagramas de bloques de realizaciones ejemplares para el satélite LEO y la estación de tierra de la figura 1.

45

La figura 3 es un diagrama de flujo para la realización ejemplar para el satélite LEO y la estación de tierra de la figura 1.

50

La figura 4 es un diagrama de flujo de una realización ejemplar de un método para detectar y decodificar señales AIS.

La figura 5 es un diagrama que ilustra la estructura de datos de una señal de mensaje AIS.

55

La figura 6 es un diagrama de flujo de otra realización ejemplar de un método para detectar y decodificar señales de mensaje AIS.

La figura 7 es un diagrama de flujo de una realización ejemplar de un método para procesar datos digitales de entrada para identificar señales de mensaje candidatas.

La figura 8 es un diagrama de flujo de una realización ejemplar de un método para refinar señales de mensaje candidatas.

60

Las figuras 9A, 9B y 9C son ilustraciones gráficas de señales de correlación.

Y las figuras 10A, 10B y 10C son ilustraciones gráficas de señales de correlación.

65

Descripción detallada

Se apreciará que, por razones de simplicidad y claridad de la ilustración, donde se considera apropiado, se puede

repetir números de referencia entre las figuras para indicar elementos o pasos correspondientes o análogos. Además, se exponen numerosos detalles específicos con el fin de proporcionar una comprensión completa de las realizaciones ejemplares aquí descritas. Sin embargo, los expertos en la técnica entenderán que las realizaciones aquí descritas se pueden poner en práctica sin estos detalles específicos. En otros casos, no se ha descrito en detalle los métodos, procedimientos y componentes conocidos dado que estos son conocidos por los expertos en la técnica. Además, se deberá indicar que esta descripción no tiene la finalidad de limitar el alcance de las realizaciones aquí descritas,, sino más bien de describir simplemente una o más implementaciones ejemplares.

Las señales AIS también pueden ser detectadas usando satélites de órbita terrestre baja (LEO), dado que las señales AIS son suficientemente intensas para ser detectadas por un satélite. Los satélites LEO también proporcionan cobertura para zonas que están fuera del rango de las estaciones de costa/tierra. Sin embargo, el gran campo de visión (FOV) de un satélite LEO significa que el satélite LEO puede recibir señales de gran número de barcos a la vez, en particular cuando el satélite LEO pasa por encima de zonas de alto volumen de barcos, lo que da lugar típicamente a que gran número de señales AIS choquen o se solapen una con otra. Además, el gran FOV de un satélite LEO significa que los barcos en el FOV pueden estar muy lejos uno de otro y a grandes distancias el método de comunicación SOTDMA no es efectivo para evitar colisiones de señal. Los retardos de propagación también afectan a la sincronización temporal exacta.

Por lo tanto, un problema inherente a la detección AIS basada en satélites LEO es que muchas de las señales AIS enviadas por barcos chocarán o se solaparán una con otra. Por ejemplo, se estima que puede haber más de 2.000 barcos en el FOV de un satélite LEO en zonas de tráfico alto. Cada barco puede enviar típicamente 10 informes de posición AIS por minuto, de modo que para 2.000 barcos un satélite LEO puede recibir 20.000 señales AIS por minuto. Éste es un número muy grande en comparación con el número de intervalos de tiempo disponibles (es decir 4.500 a través de ambos canales VHF) y, como resultado, muchas señales AIS chocarán una con otra. Por lo tanto, aunque la detección de señales AIS por un satélite LEO puede proporcionar un medio de supervisar regiones de baja densidad de tráfico marítimo, la viabilidad de este acercamiento depende en gran parte de que sea capaz de decodificar señales AIS en presencia de gran número de señales de solapamiento.

En primer lugar se hace referencia a la figura 1, que representa un diagrama general de un sistema de procesado AIS 10 incluyendo un satélite LEO 12 y una estación de tierra 14 para recibir y decodificar señales AIS. La figura 1 ilustra numerosos barcos 16 que tienen un AIS 18 para transmitir señales AIS que son recibidas por el satélite LEO 12. Sin embargo, como se ha descrito anteriormente, debido al gran FOV del satélite LEO 12, muchas de las señales AIS recibidas se solapan una con otra. Consiguientemente, las realizaciones aquí descritas se refieren a métodos y sistemas para detectar efectivamente y decodificar señales AIS cuando muchas de estas señales se pueden solapar una con otra y también pueden ser corrompidas con ruido o interferencia.

Típicamente, un barco dado 16 transmitirá señales AIS por dos canales VHF de banda estrecha (es decir 25 kHz). Los ejemplos de canales VHF AIS incluyen AIS1 a 161,975 MHz, AIS2 a 162,025 MHz, y USAIS a 157,375 MHz. Para transmitir la señal, la unidad transmisora del AIS 18 emplea una modulación de desplazamiento mínimo gaussiano (GMSK) de 9,6 kbps, que se sabe comúnmente que implica que la señal AIS se contendrá dentro de una anchura de banda de 14 kHz. El satélite LEO 12 está equipado con al menos una antena VHF (véase las figuras 2A y 2B) y recibe la señal AIS transmitida por el barco 16. El satélite LEO 12 avanza a una velocidad orbital alta, tal como 7.500 m/s por ejemplo, y en consecuencia la señal AIS recibida por el satélite LEO 12 experimenta un desplazamiento Doppler de hasta +/- 3,5 kHz.

Las señales AIS recibidas por el satélite LEO 12 tendrán un rango de amplitudes, dependiendo de la posición del barco 16 y su posición angular según ve el satélite LEO 12. Generalmente, la antena transmisora usada en el AIS 18 de un barco dado 16 no irradia directamente hacia arriba, y esto crea un agujero de recepción directamente debajo del satélite LEO 12. Sin embargo, en la mayor parte del FOV del satélite LEO 12, las configuraciones de radiación de la antena transmisora del AIS 18 tienden a equilibrar la intensidad de señal reducida producida por el rango incrementado, y el rango de las amplitudes de señal recibidas es relativamente modesto, y es muy probablemente inferior a 10 dB para la mayor parte del FOV del satélite LEO 12. Por desgracia, la amplitud diferencial entre señales AIS de solapamiento tiene que ser bastante grande para que la decodificación convencional tenga éxito (>10 dB). No obstante, en algunas circunstancias, amplitudes diferenciales comparativamente pequeñas entre señales de solapamiento todavía pueden proporcionar un medio razonable de distinguir las.

Todas las señales AIS recibidas son preprocesadas en el satélite LEO 12 por filtración, muestreo y paquetización para crear datos digitales de entrada, que posteriormente son procesados por un procesador (véase las figuras 2A y 2B) de modo que las señales AIS detectadas puedan ser decodificadas para extraer el segmento de mensaje que contienen. Los datos digitales de entrada son enviados a la estación de tierra 14 donde tiene lugar procesado para descolisionar las señales AIS y extraer segmentos de mensaje, como se explicará con referencia a las figuras 2A y 2B.

Preferiblemente, hay más de un satélite LEO 12 que recibe y preprocesa las señales AIS. Además, se puede usar una o más estaciones de tierra 14 para descolisionar y decodificar las señales AIS preprocesadas. Por razones de simplicidad, las realizaciones aquí descritas se refieren a un sistema con un satélite LEO 12 y una estación de tierra

14, pero la metodología de procesado se puede extender a varios satélites LEO y/o varias estaciones de tierra. También es concebible que se pueda emplear enlaces entre satélites (ISL) entre una constelación de satélites LEO. Sin embargo, éste es un acercamiento muy costoso y complejo, y, en la práctica, es más probable que se emplee distribución de datos mediante una red terrestre.

Con referencia ahora a las figuras 2A y 2B, en ellas se muestran diagramas de bloques de realizaciones ejemplares para el satélite LEO 12 y la estación de tierra 14 del sistema de procesado AIS 10. En general, el satélite LEO 12 tiene un módulo de comunicación incluyendo un receptor 20, una unidad de control 22, un receptor GPS 90 y una unidad transmisora 26. El receptor 20 incluye un primer canal receptor 28, y un segundo canal receptor 30. En una realización, el receptor 20 tiene una primera antena receptora 32 y una segunda antena receptora 46, como se representa en la figura 2A. En otra realización, el receptor 20 tiene una antena receptora de polarización doble 33, como se representa en la figura 2B. El primer canal receptor 28 incluye un extremo delantero RF 34, incluyendo un filtro de extremo delantero y un amplificador de ruido bajo, una etapa de filtro 36, una etapa amplificadora 38, una etapa de mezcla 40, un ADC 42 y un banco de filtros 44. El segundo canal receptor 30 incluye componentes similares numerados 48 a 58. En algunas realizaciones, el segundo canal receptor 30 no se usa, como se describirá con más detalle más adelante. En otras realizaciones, se puede usar más de dos antenas y más de dos polarizaciones, lo que hará necesario el uso de canales receptores adicionales. Además, en algunas realizaciones, las etapas de mezcla 40 y 54 no se usan si el ADC 42 y 56 opera a una tasa de muestreo suficientemente adecuada. El transmisor 26 incluye generalmente un modulador 68, una unidad transmisora 70 y una antena transmisora 72.

El receptor 20 recibe una pluralidad de señales AIS y preprocesa estas señales para obtener datos digitales de entrada. Los datos digitales de entrada son modulados posteriormente por el modulador 68 y transmitidos por la unidad transmisora 70 mediante la antena transmisora 72 como datos de señal digitalizados transmitidos 74 a la estación de tierra 14. En algunas realizaciones, la unidad de control 22 puede estar configurada para encriptar los datos digitales de entrada antes de la modulación y la transmisión.

La estación de tierra 14 está equipada con una unidad de control 76, un receptor 78, un procesador 24 y una memoria de datos 80, tal como una base de datos almacenados en un medio de almacenamiento adecuado. El receptor 78 incluye una antena receptora 82 y un demodulador 84 para demodular los datos de señal digitalizados transmitidos 74 que son recibidos por la estación de tierra 14. La unidad de control 76 controla la operación de la estación de tierra 14, y puede ser usada para recuperar los datos de señal digitalizados sin procesar del demodulador 84, almacenar los datos sin procesar en la memoria de datos 80, y reclamar más tarde los datos sin procesar almacenados para procesado. En realizaciones donde los datos digitales de entrada son encriptados por la unidad de control 22, la unidad de control 76 está configurada para desencriptar los datos de señal digitalizados transmitidos 74. La memoria de datos 80 también se puede usar para almacenar mensajes AIS decodificados y validados por el procesador 24. El procesador 24 incluye un módulo de procesado 60, un módulo de refinamiento 62, un módulo de descolisión 63, un decodificador 64 y un módulo de validación 66.

En algunas realizaciones, se puede combinar varios módulos, tal como un módulo de refinamiento 62 y un módulo de descolisión 63, en un solo módulo. El procesador 24 puede ser un ordenador paralelo, programado para usar técnicas de cálculo distribuido, en grupo, de rejilla u otras técnicas de cálculo de alto rendimiento. Consecuentemente, los procesadores físicos subyacentes incluyendo el grupo de cálculo pueden realizar cálculos asociados con múltiples módulos diferentes dependiendo de los cálculos requeridos en el momento. Preferiblemente, hay un procesador de control, que coordina y dirige las tareas de cálculo de otros procesadores físicos. Por ejemplo, un solo procesador de control puede realizar cálculos donde se requiera una clasificación global de los mensajes candidato, tal como en el módulo de refinamiento 62, antes de la redistribución de los mensajes candidato entre los procesadores físicos para decodificación y validación. Entonces los mensajes validados pueden ser recogidos conjuntamente y clasificados por el único procesador de control antes de ser almacenados en la memoria de datos 80.

La estación de tierra 14 también puede incluir un transmisor (no representado) para enviar los datos sin procesar o segmentos de mensaje decodificados a las partes interesadas. Por ejemplo, varias organizaciones de seguridad e inteligencia pueden estar interesadas en revisar todos los segmentos de mensaje decodificados validados, y como tal hay que almacenarlos en la memoria de datos 80 para posterior recuperación. Por ejemplo, los mensajes decodificados pueden ser distribuidos en forma encriptada mediante Internet.

En la realización preferida, el receptor 20 incluye dos canales receptores 28 y 30. En una realización, los dos canales receptores 28 y 30 corresponden a antenas receptoras 32 y 46. En otra realización, los dos canales receptores 28 y 30 corresponden a las polarizaciones primera y segunda de una antena de polarización doble. Sin embargo, en algunas realizaciones sólo se usa un canal receptor. En otras realizaciones, hay múltiples canales receptores correspondientes al número de antenas y polarizaciones de antena proporcionadas como entrada. Por ejemplo, en el caso donde el satélite LEO 12 está provisto de dos antenas, cada una con dos polarizaciones, habrá cuatro canales receptores (y cada canal receptor es capaz de procesar los tres canales AIS). Por razones de simplicidad de la explicación, se describirán los componentes de una ruta de recepción solamente.

Las antenas receptoras 32 y 46 son antenas de frecuencia muy alta (VHF) que están configuradas preferiblemente

para recibir señales AIS transmitidas por los canales AIS1, AIS2 y USAIS. En otra realización, las antenas VHF pueden estar configuradas para recibir señales AIS transmitidas por los canales AIS1 y AIS2 y un canal AIS de satélite dedicado TBC (a asignar). En una realización como se representa en la figura 2A, las antenas receptoras 32 y 46 están polarizadas de manera ortogonal diferente, para proporcionar una ganancia de procesamiento adicional para detectar y decodificar señales AIS. Por ejemplo, la antena receptora 32 puede tener una polarización circular derecha, y la antena receptora 46 puede tener una polarización circular izquierda. Igualmente, en otra realización representada en la figura 2B, la antena receptora de polarización doble 33 tiene dos polarizaciones ortogonales para proporcionar ganancia de procesamiento adicional. Típicamente, la antena transmisora usada por el AIS 18 de un barco dado 16 transmite señales AIS con una polarización lineal vertical.

En realizaciones con dos o más canales receptores, el uso de polarizaciones de antena receptora adicionales permite que señales correspondientes sean recibidas con varios ángulos de fase y así permite la extracción de señales AIS adicionales, como se explica mejor más adelante con relación a la figura 6. Además, debido a la polarización lineal vertical de la antena transmisora del AIS 18 de un barco dado 16, las señales AIS que son recibidas por ambas polarizaciones circulares derecha e izquierda de las antenas receptoras y corresponden una con otra y generalmente tienen amplitudes similares.

En general, el receptor 20 está configurado para recibir una señal AIS en el rango de radio frecuencia (RF) y convertirla a una señal digital de banda base (es decir, datos digitales de entrada). Este preprocesado y conversión realizados por el receptor 20 se pueden efectuar de numerosas formas e incorporan operaciones estándar en el procesamiento de señales. Por ejemplo, según la realización ejemplar representada en la figura 2A, considerando el canal receptor 28, una señal AIS es recibida en primer lugar por la antena receptora 32 y procesada por el extremo delantero RF 34. El extremo delantero RF 34 incluye componentes de filtración y amplificación. Los componentes de filtración proporcionan un primer nivel de filtración para quitar señales de interferencia, incluyendo productos de intermodulación producidos por portadoras fuera de banda, así como otro ruido. Los filtros que se usan generalmente solamente tienen una modesta selectividad, pero tienen preferiblemente pérdida muy baja dado que cualquier pérdida en esta etapa disminuye directamente el presupuesto de enlace del sistema general. En esta etapa, los componentes de filtración pueden incluir un filtro VHF, que puede ser un filtro de tipo LC, y los componentes de amplificación incluyen un amplificador de ruido bajo después del primer nivel de filtración para intensificar la señal a un nivel razonable.

La salida del extremo delantero RF 34 es procesada después por la etapa de filtro 36 que proporciona otro nivel de filtración más selectiva. La etapa de filtro 36 incluye un filtro de canal de banda ancha con una banda de paso para transmitir los tres canales AIS (es decir, AIS1 a 161,975 MHz, AIS2 a 162,025 MHz, y USAIS a 157,375 MHz). Alternativamente, se puede usar dos filtros combinados, un filtro para el canal AIS1 y AIS2 y un filtro para el canal USAIS, que puede eliminar cierta interferencia entre los dos canales (es decir AIS1/AIS2 y USAIS). La etapa de filtro 36 emplea generalmente un filtro de onda acústica de superficie que puede proporcionar la filtración nítida que sea necesaria.

Las señales recibidas son procesadas posteriormente por la etapa amplificadora 38 para ajuste de amplitud de señal de modo que todo el rango de cuantificación del ADC 42 pueda ser utilizado durante la digitalización. Consiguientemente, la etapa de amplificación 38 incluye amplificadores de ganancia variable y la realimentación puede ser proporcionada a partir de la etapa de mezcla 40 de modo que un bloque de control automático de ganancia (AGC) (no representado) en la etapa amplificadora 38 o la etapa de mezcla 40 pueda regular la cantidad de ganancia, o alternativamente la atenuación, que facilita la etapa amplificadora 38. Alternativamente, en otras realizaciones, la unidad de control 22 puede incluir un componente AGC para controlar la cantidad de ganancia, o atenuación, proporcionada por la etapa amplificadora 38.

En este sentido, el canal receptor 28 emplea amplificación y filtración distribuidas usando varios componentes de amplificación y filtración para reducir la carga de funcionamiento en cualquiera de los componentes y evitar cualesquiera no linealidades que de otro modo se puedan encontrar. La forma en que la amplificación es distribuida durante toda esta cadena de procesamiento RF es una materia que depende de las consideraciones detalladas del consumo de potencia, la cifra de ruido y los productos de intermodulación.

La salida de la etapa amplificadora 38 es procesada posteriormente por la etapa de mezcla 40, y digitalizada por el ADC 42. La etapa de mezcla 40 convierte las señales VHF a una banda de frecuencia intermedia (IF) tal como 25 MHz, lo que significa que se puede emplear una tasa de muestreo más baja para reducir los requisitos del ADC 42. El ADC 42 muestrea entonces los datos. En algunas realizaciones, un ADC suficientemente rápido 42 puede permitir que se omita la conversión a IF o, alternativamente, la etapa de mezcla 40 puede proporcionar datos de salida en banda base.

Los datos digitalizados son procesados entonces por el banco de filtros 44. Para el caso en el que los datos son muestreados en IF, el banco de filtros 44 incluye medios para la conversión descendente a banda base, y filtros de banda estrecha para quitar todas las señales fuera de banda. Por ejemplo, un filtro digital de fase lineal de 20 kHz de anchura de banda puede ser usado para cada canal AIS para tener en cuenta el rango esperado en desplazamientos Doppler posibles. También se puede incluir en este punto un componente para realizar decimación

(no representada) para reducir la tasa de muestreo de salida. En algunas realizaciones, un procesador de señal digital (DSP) puede ser usado para implementar el banco de filtros 44. En este caso, el DSP puede convertir hacia abajo los datos digitalizados a banda base, realizar filtración de banda estrecha, y realizar decimación para producir datos digitales de entrada. El procesador de señal de recepción digital AD6620 es un ejemplo de un DSP que puede ser usado para producir datos digitales de entrada que incluyen datos de banda base I y Q para cada uno de los canales AIS.

En cada una de estas realizaciones, el receptor 20 preprocesa las señales AIS recibidas para producir datos digitales de entrada. Este preprocesado incluye operaciones de procesado de señal bastante estándar que pueden ser realizadas con hardware comercial estándar. La organización del hardware y el procesado puede ser modificada de varias formas como conocen en general los expertos en la técnica. Consiguientemente, las realizaciones aquí explicadas tienen simplemente la finalidad de proporcionar ilustraciones ejemplares para realizar dicho preprocesado. Por ejemplo, en otra realización, la salida del extremo delantero RF 34 puede ser digitalizada con un ADC y luego pasada a un DSP que puede proporcionar conversión descendente a banda base, filtración y decimación de banda estrecha, si se desea.

Después del preprocesado efectuado por el receptor 20, los datos digitales de entrada son suministrados a la unidad de control 22. La unidad de control 22 segmenta los datos digitales de entrada en tramas o paquetes ordenados adecuados para comunicación por un enlace de radiofrecuencia a la estación de tierra 14. Un sello de tiempo, relativo a una referencia de tiempo corriente (por ejemplo, Tiempo Universal Coordinado suministrado por un receptor GPS) se inserta a intervalos adecuados. Preferiblemente, la unidad de control 22 pone los datos digitales de entrada en paquetes definidos por un protocolo del Comité Consultivo para sistemas de datos espaciales (CCSDS), tal como el protocolo de distribución de archivos CCSDS (CFDP), o los protocolos de especificaciones de protocolo de comunicaciones espaciales (SCPS), tal como SCPS-TP. En otras realizaciones, la unidad de control 22 puede poner los datos digitales de entrada en otros tipos de paquetes, tal como un protocolo personalizado, el protocolo de control de transmisión (TCP) o el protocolo de datagramas de usuario (UDP).

La unidad de control 22 recibe preferiblemente datos de telemetría del receptor del sistema de posicionamiento global (GPS) 90. El receptor GPS 90 es preferiblemente un receptor NAVSTAR-GPS comercial adecuado para uso en satélites orbitales, como es conocido en la técnica. En otras realizaciones, el receptor GPS 90 puede ser un receptor personalizado o integrado en la unidad de control 22. En otras realizaciones, el receptor GPS 90 puede operar en un sistema de satélite de navegación global distinto de NAVSTAR-GPS, tal como el sistema Galileo europeo. El receptor GPS 90 calcula la posición orbital del satélite LEO 12 y suministra datos de telemetría correspondientes con una referencia de tiempo corriente altamente exacta a la unidad de control 22. La unidad de control 22 transmite los datos de telemetría recibidos del receptor GPS 90 a la estación de tierra 14.

Preferiblemente, el flujo de datos sin procesar es enviado al modulador 68, que modula digitalmente los datos sin procesar para transmisión a la estación de tierra 14. El modulador 68 puede emplear varias técnicas de modulación digital tal como un esquema de modulación digital de manipulación por desplazamiento de fase (PSK) (es decir, modula la fase de una señal). Los ejemplos incluyen PSK en cuadratura o PSK de orden más alto tal como 8-PSK. El flujo de datos digitales modulados es recibido posteriormente por la unidad transmisora 70 que incluye circuitería para generar señales analógicas que corresponden al flujo de datos digitales modulados, convierte hacia arriba estas señales analógicas al rango de frecuencia requerido para la transmisión, y amplifica estas señales de modo que tengan la intensidad de señal necesaria para la transmisión a la estación de tierra 14. Estas señales son enviadas posteriormente a la antena transmisora 72 para transmisión a la estación de tierra 14. La antena transmisora 72 en el satélite LEO 12 y la antena receptora 78 en la estación de tierra 14 pueden estar configuradas para operación, por ejemplo, en la banda C o la banda S. Los detalles específicos de la ruta de enlace descendente no se describen en detalle, puesto que dependen en gran parte del esquema de muestreo usado para digitalizar señales recibidas y asignaciones de frecuencia obtenidas de entidades de regulación. Sin embargo, para fines ejemplares, el sistema 10 puede estar configurado para operar en una anchura de banda de aproximadamente 2 MHz.

Además, dado que se puede considerar que el flujo de datos sin procesar incluye información clasificada que se debe mantener segura, el encriptado también puede ser empleado antes de la modulación. En estos casos, la unidad de transmisión 26 incluye un módulo de encriptado (no representado) para encriptar el flujo de datos sin procesar antes de la modulación por el modulador 68. En tales casos, la estación de tierra 14 incluye un módulo de desencriptado correspondiente (no representado) para desencriptar los datos recibidos, después de la demodulación, para recuperar el flujo original de datos sin procesar.

Además, dado que el flujo de datos sin procesar puede requerir una anchura de banda relativamente grande para transmitir, también se puede emplear compresión de datos antes de la modulación (y el encriptado, si se usa). En estos casos, la unidad de transmisión 26 incluye un módulo de compresión de datos (no representado) para comprimir el flujo de datos sin procesar antes de la modulación por el modulador 68. En este caso, la estación de tierra 14 incluye un módulo de descompresión correspondiente (no representado) para descomprimir los datos recibidos, después de la demodulación (y el desencriptado, si es necesario), para recuperar el flujo original de datos sin procesar. En algunas realizaciones, la compresión de datos la puede realizar, en cambio, la unidad de control 22, durante el proceso de formación de paquetes, en cuyo caso la unidad de control 76 realiza una función de

descompresión correspondiente al leer los datos en paquetes.

El satélite LEO 12 también incluye un componente de memoria (no representado) de modo que tenga la capacidad de almacenar los datos digitales de entrada y datos GPS asociados hasta que sean enviados a la estación de tierra 14. Por ejemplo, el satélite LEO 12 no siempre puede estar en el FOV de la estación de tierra 14 y así puede ser necesario almacenar los datos hasta que el satélite LEO 12 entre en el FOV de la estación de tierra 14, punto en el que los datos pueden ser enviados.

Preferiblemente, el procesador 24 es un ordenador u ordenadores de alto rendimiento conectados por una conexión de red dedicada. Aunque se ilustran contenidos dentro de una sola estación de tierra 14, varios componentes pueden estar situados localmente o a distancia con respecto a la estación de tierra 14.

Se deberá indicar que las unidades de control 22 y 76 se pueden implementar usando un procesador. En algunas realizaciones, la unidad de control 76 y el procesador 24 se pueden implementar con el mismo procesador. Además, en algunas realizaciones, el transmisor 26 y el receptor 78 también pueden emplear procesadores. Además, se deberá indicar que las varias realizaciones del LEO 12 y la estación de tierra 14 emplean generalmente una combinación de hardware y software. Por ejemplo, los componentes del procesador 24, el modulador 68 y el demodulador 84 se pueden implementar usando software. Además, se deberá entender que puede haber realizaciones en las que estos componentes estén organizados de forma diferente, pero realizan la misma funcionalidad.

Con referencia ahora a la figura 3, en ella se representa un diagrama de flujo de una realización ejemplar de un método 300 para detectar y decodificar señales AIS. En el paso 102, una pluralidad de señales AIS transmitidas por una pluralidad de barcos son recibidas por el satélite LEO 12 y preprocesadas para obtener datos digitales de entrada. Como se ha explicado anteriormente, generalmente el preprocesado convierte las señales AIS recibidas a una forma digital de banda base usando filtración, amplificación, mezcla y muestreo, por ejemplo. La filtración, la amplificación, la mezcla y el muestreo están configurados para conservar la máxima información característica en la señal muestreada. En el paso 104 se determina una ganancia de recepción correspondiente para cada segmento de señal. En el paso 106, los segmentos de señal muestreados son organizados en paquetes y formados en un flujo de datos sin procesar incluyendo segmentos de señal muestreados en paquetes. En el paso 108, el flujo de datos sin procesar es modulado y transmitido a una estación de tierra. En el paso 110, el flujo de datos sin procesar transmitidos es recibido en la estación de tierra, demodulado, reensamblado a segmentos de señal muestreados y almacenados en una memoria de datos para procesamiento adicional, como se explicará con referencia a la figura 4 más adelante.

En la realización preferida, los segmentos de señal muestreados son enviados al procesador 24 para detección y decodificación de los segmentos de mensaje AIS. El procesador 24 puede proporcionar la capacidad de procesamiento de segmentos para reducir potencialmente el tiempo de cálculo. Una vez que el procesador 24 ha recibido los segmentos de señal muestreados, son enviados al módulo de procesamiento 60 como datos digitales de entrada para procesamiento. El módulo de procesamiento 60 identifica una o más señales de mensaje candidatas y determina la desviación Doppler correspondiente, el índice de modulación y las estimaciones de tiempo para cada señal de mensaje candidata. El módulo de procesamiento 60 procesa generalmente los datos digitales de entrada empleando técnicas de correlación. Por ejemplo, el módulo de procesamiento 60 puede procesar los datos digitales de entrada con una pluralidad de señales predefinidas que corresponden a desviaciones Doppler de una secuencia predeterminada de códigos AIS (por ejemplo, se puede usar la secuencia de entrenamiento 124 y secuencia de señalizador de inicio 126 representadas en la figura 5) para calcular una pluralidad de señales de correlación.

Después de calcular la pluralidad de señales de correlación, el módulo de procesamiento 60 explora las señales de correlación en busca de picos de correlación (es decir, picos de amplitud) que exceden de otros picos en una cantidad predeterminada con el fin de identificar la única o más señales de mensaje candidatas. Generalmente, el pico de correlación deberá exceder de la amplitud de cualesquiera picos posteriores que estén dentro de una longitud de señal (es decir, 26,67 ms) del segmento de datos que esté siendo analizado. El pico de correlación asociado con una señal de mensaje candidata proporciona una estimación de su desviación Doppler, índice de modulación, y tiempo, como se explicará con más detalle más adelante. El módulo de procesamiento 60 se puede implementar usando componentes de procesamiento, descritos con más detalle más adelante, para calcular las señales de correlación, usando las señales predefinidas que corresponden a desviaciones Doppler y varios índices de modulación de una secuencia predeterminada de códigos AIS, en paralelo para reducir el tiempo de procesamiento.

Después de identificar una o más señales de mensaje candidatas, el módulo de procesamiento 60 envía este grupo de señales de mensaje candidatas al módulo de refinamiento 62. El módulo de refinamiento 62 refina las señales de mensaje candidatas para todos los desplazamientos Doppler y los índices de modulación por clasificar las señales de mensaje candidatas en este grupo por sus estimaciones de tiempo correspondientes. El módulo de refinamiento 62 puede determinar entonces si algunas de estas señales de mensaje candidatas se repite en una desviación Doppler diferente o estimación de índice de modulación; si es así, el módulo de refinamiento 62 quita todas las señales de mensaje candidatas repetidas del grupo y retiene solamente el pico de correlación más fuerte. El módulo de refinamiento 62 también puede identificar y quitar todas las señales de mensaje candidatas que se solapan o

superpongan en su lado de tiempo alto por una señal de mensaje candidata cuya amplitud exceda de un cierto valor umbral. Las señales de mensaje candidatas restantes incluyen un grupo de señales de mensaje candidatas refinadas que luego son enviadas al decodificador 64. Si hay múltiples antenas o polarizaciones, entonces, para cada señal candidata, se combinan versiones desfasadas de la señal de cada una de las antenas o polarizaciones para formar una única señal compuesta. El módulo de descolisión 63 itera a través de combinaciones diferentes de desfases de las señales de componente que forman la señal compuesta para determinar si alguna combinación suprime señales de solapamiento por el valor umbral especificado, en base a las amplitudes de los picos de correlación. Si una combinación suprime señales de solapamiento por el valor umbral especificado, la señal compuesta seleccionada es enviada posteriormente al decodificador 64. El módulo de refinamiento 62 aliviará típicamente el tiempo de cálculo requerido para decodificar todas las señales de mensaje candidatas que sean identificadas por el módulo de procesado 60, dado que el grupo de señales de mensaje candidatas refinadas es generalmente de tamaño (mucho) más pequeño que el grupo de señales de mensaje candidatas identificado por el módulo de procesado 60.

Debido a la conservación de la máxima información característica de señal en el paso 102, es posible el procesado adicional de las señales de mensaje candidatas superpuestas. En la realización preferida, el módulo de descolisión 63 está configurado para descolisionar señales de mensaje AIS que se superponen una sobre otra. Usando grupos de segmentos de señal muestreadas que sean coincidentes en el tiempo, pero que se recibieron en antenas diferentes o diferentes polarizaciones de antena, el módulo de descolisión 63 explota la diferencia de fase relativa en los segmentos de señal muestreados para descolisionar y extraer señales de mensaje AIS superpuestas o solapadas. Las señales de mensaje AIS colisionadas son descolisionadas desfasando computacionalmente un primer segmento de señal muestreada y combinándolo con un segundo segmento de señal muestreada correspondiente hasta que el desfase adicional en el segundo segmento cancele o anule una primera señal de mensaje AIS y revele una segunda señal de mensaje AIS. Este proceso se describe con más detalle más adelante con referencia a método 600.

El decodificador 64 decodifica una o más señales de mensaje candidatas para obtener (o extraer) el segmento de mensaje AIS que contienen. El decodificador 64 recibe la única o más señales de mensaje candidatas del módulo de refinamiento 62 o del módulo de descolisión 63. En cada caso, no hay secuencias de códigos predeterminadas dentro del segmento de mensaje, de modo que las técnicas de correlación pueden no ser útiles para decodificar una señal de mensaje candidata. En algunas circunstancias, las señales de mensaje candidatas pueden contener números específicos de identificación, tal como una Identidad de Servicio Móvil Marítimo, o posiciones específicas. Como tal, en algunos casos, puede haber algunas secuencias de códigos conocidas fijas dentro del segmento de mensaje, que pueden ser usadas para emplear técnicas de correlación. Sin embargo, en los casos donde no existan tales secuencias de códigos conocidas fijas, el decodificador 64 puede emplear varios procedimientos de decodificación para extraer segmentos de mensaje de la única o más señales de mensaje candidatas. Por ejemplo, el decodificador 64 puede realizar decodificación Viterbi (o más generalmente programación dinámica), como se explica con más detalle más adelante. En cualquier caso, antes de la decodificación, se obtienen desviación Doppler, índice de modulación y estimaciones de tiempo más precisos para las señales de mensaje candidatas, como se explicará más adelante.

Después de que el decodificador 64 extrae segmentos de mensaje de la única o más señales de mensaje candidatas, los segmentos de mensaje son enviados al módulo de validación 66. El módulo de validación 66 valida los segmentos de mensaje decodificados para el formateo apropiado de mensajes de señal AIS verificando si en cada segmento de mensaje decodificado hay relleno de bits válido y quitando después todo el relleno de bits. El relleno de bits lo requiere la especificación de señal AIS, donde hay que introducir un 0 en el segmento de mensaje después de cualquier secuencia de cinco 1s sucesivos en el mensaje y porción de secuencia de comprobación de trama del segmento de mensaje. Esto se lleva a cabo para evitar la aparición de señalizadores de inicio y parada espurios. El módulo de validación 66 verifica entonces el campo de secuencia de verificación de trama del segmento de mensaje decodificado. Si un segmento de mensaje decodificado pasa estas comprobaciones, se guarda temporalmente en una lista de segmentos de mensaje decodificados que han sido validados.

Además de la validación de formateo de mensajes, el módulo de validación 66 también puede realizar validación de integridad de mensajes AIS usando parámetros de señal adicionales tal como tiempo de llegada, desviación Doppler y datos de telemetría de satélite. Donde se dispone de datos de radar de seguimiento por satélite de base terrestre, tales datos de radar también se pueden usar para complementar o sustituir datos de telemetría de satélite. Dado que la descolisión y la extracción de señales de mensaje se llevan a cabo en tierra y los datos de señal sin procesar son almacenados en la estación de tierra 14, es probable que estén disponibles múltiples señales de mensaje candidatas de un transmisor AIS concreto. Consiguientemente, el procesador 24 puede identificar una serie de señales de mensaje AIS candidatas transmitidas por un transmisor AIS concreto de interés.

Para validar la exactitud o la integridad del transmisor AIS que envía las series de señales de mensaje candidatas, el procesador 24 compara en primer lugar la posición conocida del satélite en un tiempo dado con la posición referida de un transmisor AIS en una primera señal de mensaje candidata recibida y su desviación Doppler, para determinar las posiciones posibles del transmisor AIS en base a la desviación Doppler y la posición de satélite. Posteriormente, el procesador 24 compara una posición siguiente conocida del satélite en un tiempo dado con la posición referida

siguiente del transmisor AIS en una señal de mensaje candidata recibida siguiente y su desviación Doppler. Este proceso se puede repetir según sea necesario para una serie de señales de mensaje candidatas.

5 El procesador 24 entonces determina la pista orbital del satélite LEO 12 que recibió las señales de mensaje candidatas a partir de los datos de posición GPS transmitidos desde el satélite como parte del flujo de datos sin procesar. En base a las características Doppler de las señales de mensaje recibidas y sus respectivos tiempos de llegada en el satélite LEO 12, es posible determinar si las posiciones referidas corresponden a un tiempo esperado de propagación de señal desde el transmisor AIS al satélite LEO 12 en cada tiempo de llegada de señal de mensaje. Si las posiciones referidas no caen dentro de un rango de valores posibles dada la pista del satélite LEO 12, las señales de mensaje candidatas son señalizadas como sospechosas. Las señales de mensaje sospechosas pueden ser desechadas o, alternativamente, se pueden guardar para revisión adicional, por ejemplo, por agencias de aplicación de las leyes.

15 Preferiblemente, la estación de tierra 14 recibe y guarda flujos de datos sin procesar de una pluralidad de satélites LEO 12. En algunas realizaciones, la estación de tierra 14 también puede estar equipada para recibir datos relacionados con AIS adicionales de terceras partes por un enlace de comunicaciones (no representado). Por ejemplo, la estación de tierra 14 puede recibir datos AIS de estaciones costeras por un enlace de red. En otras realizaciones, la estación de tierra 14 puede recibir datos de seguimiento por satélite de estaciones de radar terrestres; los datos de seguimiento por satélite pueden aumentar los datos de telemetría recibidos de satélites LEO 20 12. Las señales AIS adicionales recibidas de otras fuentes pueden ser usadas por el procesador 24 para ayudar a extraer señales de mensaje AIS. Dado que el FOV de la mayoría de los satélites LEO 12 es grande, los datos de señal sin procesar contienen muchas colisiones de señal de mensaje AIS. Para extraer señales de mensaje AIS 120 de los datos de señal sin procesar, hay que descolisionar las señales, como se ha indicado anteriormente.

25 Con referencia ahora a la figura 5, en ella se representa un diagrama que ilustra la estructura de datos de una señal de mensaje AIS 120. La señal de mensaje AIS 120 incluye un campo de rampa ascendente 122, una secuencia de entrenamiento 124, un campo de señalizador de inicio 126, y un campo de segmento de mensaje 128 incluyendo un campo de ID de barco 130, un campo de longitud 132, un campo de latitud 134 y otros varios campos 136. La señal de mensaje AIS 120 también incluye un campo de secuencia de verificación de trama (FCS) 138, un campo de señalizador de fin 140 y un campo de memoria intermedia 142. El campo de rampa ascendente 122 coincide generalmente con la alimentación del transmisor del AIS 18 de un barco dado 16. El campo de secuencia de entrenamiento 124 se incluye para permitir al receptor de un AIS convencional 18 realizar recuperación de portadora. El campo de secuencia de entrenamiento 124 y el campo de señalizador de inicio 126 son secuencias de códigos AIS predeterminadas que usan generalmente varias realizaciones aquí descritas para procesar los datos digitales de entrada con el fin de identificar una o más señales de mensaje candidatas. El campo de segmento de mensaje 128 contiene información relativa al barco 16 desde el que se envió la señal AIS, tal como la ID de barco 130 y la longitud 132 y la latitud 134 de la posición del barco.

40 Los otros campos 136 también incluyen información relacionada con el barco incluyendo el estado de navegación, la tasa de giro, el rumbo verdadero, etc, así como otra información tal como un sello de tiempo que indica cuándo se obtuvo la información. El campo de secuencia de verificación de trama 138 se usa para la detección de errores, y puede ser usado para determinar si se ha perdido o alterado algunos datos de señal de mensaje AIS durante la transmisión. El campo de señalizador de fin 140 es otra secuencia predeterminada de códigos AIS que puede ser empleada durante la decodificación, como se explicará con más detalle más adelante. El campo de memoria intermedia 142 puede cambiar de longitud, de modo que, aunque se precise relleno de bits, la longitud general de señal de mensaje AIS permanezca constante.

50 En algunas realizaciones, los flujos de datos sin procesar son procesados basándose en el hecho de que las señales de mensaje AIS contienen secuencias de códigos predeterminadas tales como el campo de secuencia de entrenamiento y de señalizador de inicio 124 y 126 y el campo de señalizador de fin 140. También puede haber otras secuencias de códigos conocidas fijas dentro de la señal de mensaje AIS que también se pueden usar, pero, por razones de simplicidad, el procesador 24 puede usar al menos los datos en el campo de secuencia de entrenamiento 124, es decir en algunos casos las señales predefinidas se basan en el campo de secuencia de entrenamiento 124, mientras que en otros casos las señales predefinidas se basan tanto en los campos tanto de secuencia de entrenamiento como de señalizador de inicio 124 y 126 (es decir, una combinación de la secuencia de entrenamiento y la secuencia de señalizador de inicio). En otros casos, también se puede usar una porción del segmento de mensaje dado que el primer byte del segmento de mensaje 128 también es razonablemente predecible.

60 Por lo general, el procesador 24 emplea técnicas de correlación correlacionando los campos de secuencia de entrenamiento y de señalizador de inicio 124 y 126 con secuencias de códigos predeterminadas en una pluralidad de diferentes desviaciones Doppler e índices de modulación para producir una pluralidad de señales de correlación (que también se pueden denominar funciones de correlación). Las señales de correlación generadas pueden ser usadas entonces para identificar una o más señales de mensaje candidatas contenidas dentro del flujo de datos sin procesar. Generalmente, se usa un pico en la amplitud de la señal de correlación (es decir, un pico de correlación) para identificar una señal de mensaje candidata junto con una estimación de su tiempo, usando la posición del pico de amplitud, y estimaciones de su desviación Doppler e índice de modulación que serán la desviación Doppler e

índice de modulación asociados con la señal predefinida que se utilizó en la correlación.

Con referencia ahora a la figura 4, el método 400 comienza en el paso 110 con el procesador 24 recibiendo datos de señal sin procesar demodulados y almacenados. En el paso 112, el módulo de procesado 60 identifica señales de mensaje candidatas y su correspondiente desviación Doppler, índice de modulación y tiempo de llegada. En el paso 114, los mensajes de señal candidata identificados en el paso 112 son clasificados y refinados para producir un grupo refinado (y típicamente menor) de señales de mensaje candidatas que luego puede ser decodificado en el paso 116. Una implementación ejemplar del paso de refinado se describe en relación a la figura 8. El acercamiento subyacente al paso de refinado es que generalmente se identificará gran número de señales de mensaje candidatas en el paso 112, pero debido a las señales de solapamiento, puede ser difícil decodificar las señales de mensaje candidatas. Por lo tanto, para eficiencia computacional, el refinado puede ser realizado para quitar señales de mensaje candidatas repetidas y para seleccionar solamente las señales que tengan un margen de amplitud suficiente sobre cualesquiera señales solapadas. La decodificación se lleva a cabo entonces en un grupo mejor y más pequeño de señales de mensaje candidatas.

En el paso 116, el grupo de señales de mensaje candidatas es decodificado para extraer el segmento de mensaje que contiene. Como se ha explicado anteriormente, en general, no hay secuencias de códigos conocidas fijas dentro del segmento de mensaje, de modo que las técnicas de correlación pueden no ser útiles para decodificar la señal de mensaje AIS candidata. Sin embargo, se puede emplear otras técnicas para decodificar señales de mensaje AIS candidatas, tales como técnicas de programación dinámica, o más específicamente decodificación Viterbi. Además, antes de la decodificación, se obtienen desviación Doppler, índice de modulación y estimaciones de tiempo más precisos para las señales de mensaje candidatas, como se ha mencionado previamente.

El ajuste fino de las señales de correlación se lleva a cabo con el fin de obtener una determinación más exacta del tiempo, la desviación Doppler y el índice de modulación para cada una de las señales de mensaje candidatas. Este procedimiento de ajuste fino se basa en la desigualdad de Schwarz (véase la ecuación (5) más adelante), que muestra que la integral de solapamiento máxima se obtiene cuando las dos funciones correlacionadas son idénticas. Este procedimiento de ajuste fino usa las mismas secuencias de códigos AIS predeterminadas usadas para generar las señales predefinidas en el paso de correlación.

Las estimaciones del tiempo, la desviación Doppler y el índice de modulación de las señales predefinidas se ajustan entonces ligeramente para maximizar la integral de solapamiento con respecto a la señal de mensaje candidata, usándose las estimaciones iniciales de la desviación Doppler, el índice de modulación y el tiempo como un punto de inicio. Los valores resultantes del ajuste fino muestran típicamente las mejores estimaciones alcanzables del tiempo, el índice de modulación, la fase y desviación Doppler, es decir, una desviación Doppler, índice de modulación, tiempo y fase exactos para la señal de mensaje candidata identificada. Maximizar la integral de solapamiento implica maximizar una función de tres variables dado un punto de inicio bueno. Esto se puede llevar a cabo usando una rutina de optimización matemática estándar, tal como el método de Newton, por ejemplo.

Al decodificar una señal de mensaje AIS candidata, la decodificación de Viterbi emplea el algoritmo de Viterbi para decodificar un flujo de bits, o en este caso un segmento de mensaje. Sin embargo, durante el proceso de decodificación, se generan numerosos segmentos de sub-mensaje (es decir, rutas parciales como se explica mejor más adelante) y entonces hay que seleccionar el mejor segmento de mensaje de este grupo de posibles segmentos de sub-mensaje. Esta selección del mejor segmento de mensaje se realiza en ausencia de cualquier conocimiento específico acerca del segmento de mensaje contenido dentro de las señales de mensaje AIS candidatas, dado que se supone que nada se sabe acerca del contenido del segmento de mensaje con el fin de usar una implementación de decodificación más amplia. Para seleccionar el mejor segmento de mensaje, la decodificación puede incluir determinar qué segmento de sub-mensaje (del grupo de segmentos de sub-mensaje) da la adaptación más próxima posible con la señal de mensaje AIS candidata. Se puede emplear muchas medidas de proximidad posibles; un ejemplo es elegir el segmento de sub-mensaje que minimice la estimación de error de cuadrados mínimos.

En general, en cualquier punto se puede considerar que la decodificación de Viterbi está en uno de un cierto número de estados posibles. La operación del algoritmo de Viterbi se puede entender con la ayuda de un diagrama de Trellis (no representado), que ilustra los estados y rutas posibles. El decodificador de Viterbi comenzará en un punto de inicio (o estado de inicio) y, a medida que el decodificador avance en el tiempo, en pasos de un bit, cada estado puede hacer una transición a uno o más estados posteriores. Esto genera un número de posibles rutas a través del Trellis (es decir, los segmentos de sub-mensaje mencionados anteriormente). Dependiendo del número de estados y la longitud del segmento de mensaje a decodificar, el número de rutas posibles puede ser muy grande.

En el contexto de decodificar señales de mensaje AIS, un punto (o estado) de inicio adecuado para el decodificador de Viterbi puede ser la secuencia de código predeterminada en el inicio de la señal de mensaje AIS, a saber, el campo de señalizador de inicio 126. A partir de este punto de inicio, el decodificador de Viterbi hará una transición a uno o más de los estados posteriores, generando un número de rutas posibles (es decir, los segmentos de sub-mensaje indicados anteriormente) antes de terminar. Una señal de mensaje AIS contiene otra secuencia de código predeterminada que ayudará a terminar una ruta, específicamente el campo de señalizador de fin 140. Por lo tanto, el decodificador de Viterbi continúa avanzando en el tiempo para generar un número de rutas (es decir, segmentos

de sub-mensaje) hasta que el contenido del campo de señalizador de fin 140 sea detectado en una ruta específica. Cuando el contenido del campo de señalizador de fin 140 sea detectado, dicha ruta específica terminará.

5 Con el fin de determinar la configuración del decodificador de Viterbi en el contexto de señales de mensaje AIS, se puede considerar las propiedades de la señal de mensaje AIS. Como se ha explicado anteriormente, las señales AIS son transmitidas usando modulación GMSK, donde el segmento de mensaje (es decir, la secuencia de bits) es transformada a formas de onda (que forman la señal AIS) para transmisión. La norma AIS especifica un índice de modulación de 0,5, que corresponde a un desplazamiento de fase total de $\pm \pi/2$ a partir de cada bit en la secuencia. Sin embargo, en la operación real, los transmisores pueden tener índices de modulación que se desvían considerablemente de este valor. Consiguientemente, el verdadero índice de modulación para cada señal se determina preferiblemente de forma exacta, y se introduce una corrección, antes de aplicar el decodificador de Viterbi. Considerando en primer lugar MSK de banda base simple (manipulación con desplazamiento mínimo), la forma de onda de la señal correspondiente a cada período de bit está en una de dos formas (generalmente opuestas) dependiendo de si el bit es un 0 o un 1. Cada bit avanza o retarda la fase de la señal $\pi/2$ dependiendo de si es un 1 o un 0 respectivamente. Los bits precedentes solamente afectan al bit corriente en la medida en que fijan la fase de inicio, que puede tomar uno de cuatro valores posibles: 0, $\pi/2$, π , y $3\pi/2$. Por lo tanto, un decodificador de Viterbi con cuatro estados es apropiado para este tipo de decodificación donde, en cada paso de tiempo (es decir, intervalo de bit), los estados se definen por las cuatro fases de inicio posibles fijadas por los bits precedentes (por ejemplo 0, $\pi/2$, π , $3\pi/2$).

10 En modulación GMSK, cada bit produce un desplazamiento de fase total de $\pm\pi/2$, pero el efecto de cada bit se difunde sobre varios pasos en el tiempo. Sin embargo, como una aproximación, este efecto se puede despreciar más allá de los intervalos contiguos más próximos. En otros términos, para determinar la forma de onda asociada con un bit concreto, tal como un 0 por ejemplo, los bits que preceden y siguen al bit concreto son necesarios. Para una aproximación, la forma de onda en cualquier intervalo de bit tendrá una de ocho formas posibles, más bien que las dos requeridas para MSK simple. En esta aproximación, un decodificador de Viterbi para modulación GMSK requiere 16 más bien que 4 estados, donde el estado en un límite entre bits se define por el bit que precede al límite, el bit siguiente, y los cuatro estados de fase posibles (es decir 0, $\pi/2$, π , y $3\pi/2$) producidos por los otros bits precedentes. Sin embargo, si el estado de fase en cualquier punto es 0 o π , entonces el decodificador solamente puede pasar a estados de fase de $\pi/2$ o $3\pi/2$ en el paso siguiente y viceversa. Además, todas las rutas en el Trellis comienzan en un estado de inicio, determinado por una secuencia de código predeterminada, tal como los datos en el campo de señalizador de inicio 126. Por lo tanto, solamente 8 de los 16 estados posibles pueden estar activos en cualquier paso posterior. Por lo tanto, el decodificador de Viterbi para decodificar segmentos de señal de mensaje AIS tiene efectivamente 8 estados.

15 Como se ha explicado anteriormente, cada ruta en el Trellis corresponde a una secuencia particular de bits, que puede ser un segmento de mensaje cuando la ruta se termina. Sin embargo, considerando que un segmento de mensaje AIS, incluyendo los datos en el campo de secuencia de verificación de trama 138, es al menos 184 bits de largo y que el decodificador de Viterbi tiene efectivamente 8 estados, el número total de rutas posibles (es decir, segmentos de sub-mensaje) puede ser sumamente grande. Por lo tanto, un decodificador de Viterbi operable deberá intentar finalizar la mayor parte de estas rutas en puntos intermedios y no seguirlas todo el camino a través del Trellis, como se ha explicado anteriormente.

20 Reduciendo el número de rutas, se reduce a su vez el número de posibles segmentos de mensaje decodificados a partir de la señal de mensaje AIS candidata. Esto se puede hacer usando lo que a veces se denomina en programación dinámica el principio de optimalidad de Bellman. Esto requiere que cuando dos o más rutas se unen en el mismo estado en un punto de tiempo concreto, solamente se retiene la ruta parcial (es decir, el segmento de sub-mensaje) con la mejor medida de rendimiento. La ruta con la mejor medida de rendimiento es la ruta que está más próxima a la señal real, en ese punto, según la medida de rendimiento elegida. La base de este procedimiento es que cualquier ruta que avance a partir de ese estado y punto de tiempo tendrá una mejor medida de rendimiento general si está asociada con la ruta superviviente (es decir, una ruta previamente retenida) más bien que con alguna de las rutas que fueron desechadas. También asegura que el número de rutas activas en cualquier punto de tiempo no pueda exceder del número de estados (dado que solamente se selecciona una ruta siempre que dos o más rutas se juntan en el mismo estado).

25 Se puede emplear muchas técnicas para determinar qué ruta parcial tiene la mejor medida de rendimiento. Sin embargo, la técnica usada para seleccionar la mejor ruta parcial deberá ser capaz de seleccionar la mejor ruta parcial en ausencia de cualquier conocimiento específico acerca del segmento de mensaje contenido dentro de la señal de mensaje AIS candidata. Una técnica ejemplar que puede ser usada para elegir la mejor ruta parcial minimiza la estimación de error de cuadrados mínimos. Por ejemplo, la estimación de error de cuadrados mínimos se puede expresar como:

$$E = \sum_{i=1}^N \int_0^{T_b} |a_i(t) - s(t + (i-1)T)|^2 dt \quad (1)$$

donde $s(t)$ representa la señal de mensaje AIS candidata, y $a_i(t)$ representa la forma de onda teórica asociada con una ruta parcial en el i -ésimo intervalo de bit, T es la duración de un intervalo de bit (1/9600 s), y N es el número de intervalos de bit en la señal de mensaje candidata. La técnica de cuadrados mínimos selecciona entonces el $a_i(t)$ que minimiza la ecuación anterior.

La estimación de error de cuadrados mínimos también se puede expresar como:

$$E = \sum_{i=1}^N \int_0^{T_b} |a_i(t)|^2 - 2 \operatorname{Re}(a_i(t)s^*(t + (i-1)T)) + |s(t + (i-1)T)|^2 dt \quad (2)$$

donde $s^*(t)$ es el conjugado complejo de $s(t)$. Se puede emplear muchas medidas de rendimiento. Normalmente la medida sería algún número positivo que sea cero solamente cuando las dos funciones sean idénticas. Una opción típica sería una norma L_p , que tiene la forma

$$F = \left(\sum_{i=1}^N \int_0^{T_b} |a_i(t) - s(t + (i-1)T)|^p dt \right)^{1/p}$$

La opción corriente corresponde a $p=2$. Ésta es con mucho la opción más común, puesto que es generalmente la más simple matemáticamente, y tiene justificación teórica en muchos casos. Las opciones $p=1$ y $p=\infty$ también son bastante populares; se puede usar $p=1$. También se puede usar otros valores de p en algunos casos.

Factorizando ahora que la forma de onda teórica (es decir, la representación de forma de onda de la ruta parcial) es modulada en fase solamente, entonces $|a_i(t)|$ es una constante, y así minimizar E es equivalente a maximizar P , donde P se expresa como:

$$P = \sum_{i=1}^N \int_0^{T_b} 2 \operatorname{Re}(a_i(t)s^*(t + (i-1)T)) dt \quad (3)$$

Con el fin de emplear la técnica descrita por la ecuación (1), se debe poner un valor específico para $|a_i(t)|$ al inicio de la decodificación. Éste se estimaría normalmente a partir de la amplitud de la secuencia de código predeterminada al inicio de la señal de mensaje AIS, a saber, la amplitud de los datos en el campo de señalizador de inicio 126. Tal estimación de amplitud específica no tiene que usar la ecuación (3). El i -ésimo intervalo es un periodo de bit, que en este caso es 1/9600 s.

Como se ha indicado anteriormente, generalmente los datos en el campo de segmento de mensaje AIS 128 y el campo de secuencia de verificación de trama 138 son al menos de 184 bits de largo (el campo de segmento de mensaje 128 es de 168 bits de largo y el campo de secuencia de verificación de trama 138 añade otros 16 bits). Además, la especificación AIS requiere relleno de bits, de tal manera que se inserte un 0 después de cualquier secuencia de cinco 1s sucesivos en el mensaje y las porciones de secuencia de verificación de trama del código. Esto se realiza para evitar la aparición de señalizadores de inicio y parada espurios. Puede haber hasta cuatro de estos bits de relleno de bits, lo que incrementa la longitud general del campo de segmento de mensaje 128 y el campo de secuencia de verificación de trama 138 a un máximo de 188 bits.

Por lo tanto, un segmento de mensaje tendrá entre 184-188 bits y así en este contexto el decodificador de Viterbi terminará una ruta si se encuentra un señalizador de parada válido después de haberse extraído entre 184 y 188 bits. En casos muy raros se halla más de una ruta con un señalizador de parada válido para una señal de mensaje AIS candidata dada. Aunque esto suceda, todos los segmentos de mensaje extraídos se pasan al paso 118 para validación.

En el paso 118, las señales de mensaje candidatas decodificadas se validan para asegurar que tienen un formateo AIS apropiado. Esto puede implicar verificar los segmentos de mensaje candidato decodificados para un formato de relleno de bits válido, como se ha explicado anteriormente. Los bits de relleno de bits se quitan entonces y se verifica el campo de secuencia de verificación de trama 138. Si una lista de segmentos de mensaje decodificados validados es deseable (es decir, para posterior almacenamiento y reclamo), entonces todos los segmentos de mensaje

5 decodificados que pasan este paso de validación pueden ser añadidos a una lista de segmentos de mensaje decodificados validados y almacenados en el paso 120. En general, si un segmento de mensaje es parcialmente correcto no pasará el paso de validación. Sin embargo, realizaciones alternativas pueden usar estos segmentos de mensaje parcialmente extraídos para mayor extracción de segmento de mensaje. En el paso 120, todos los segmentos de mensaje decodificados pueden ser almacenados para reclamo posterior. Alternativamente, puede haber realizaciones en las que solamente se almacene la lista de segmentos de mensaje decodificados validados.

10 Una extensión opcional del método 400 es descorrelacionar todos los segmentos de mensaje decodificados de los datos digitales de entrada (es decir, restar la representación de señales de mejor encaje correspondiente a los segmentos de mensaje extraídos de los datos de entrada iniciales). Esto se puede hacer después del paso de validación 118. El método 400 puede volver entonces al paso 112 y reprocesar los datos digitales de entrada modificados en un intento de identificar señales de mensaje AIS candidatas adicionales, que entonces se pueden decodificar para extraer más segmentos de mensaje.

15 Otra extensión opcional de este método 400 reconoce que las señales de mensaje AIS enviadas desde un solo barco 16 tendrán segmentos de mensaje comunes sustanciales. Por lo tanto, los mensajes repetidos de cualquier barco dado 16 pueden proporcionar otro mecanismo para mejorar la detección y la decodificación. Por ejemplo, un segmento de mensaje previamente detectado de un barco dado 16 puede ser usado para generar la señal predefinida usada al obtener las señales de correlación. Además, los segmentos de mensaje previamente decodificados pueden proporcionar la opción de usar técnicas de correlación al decodificar señales de mensaje candidatas. En tal realización, el decodificador 64 también está configurado para emplear técnicas de correlación usando los segmentos de mensaje previamente decodificados al decodificar las señales de mensaje AIS candidatas. Si se conocen partes de la secuencia de mensajes, tal como la MMSI (es decir, id de barco), entonces éstas se pueden usar también como parte de las secuencias de códigos fijas usadas en el procedimiento de correlación en el paso 112. Una secuencia de código fija más larga discrimina mejor contra otras señales y da una mayor probabilidad de detección. Por ejemplo, al extraer la secuencia de mensajes por un decodificador de Viterbi, la presencia de secuencias de código conocidas predefine segmentos de las rutas y mejora la probabilidad general de una decodificación exitosa.

30 Con referencia ahora a la figura 6, en ella se representa un diagrama de flujo de otra realización ejemplar de un método 600 para detectar y decodificar señales de mensaje AIS. El método 600 es similar al método 400. Sin embargo, el método 600 incluye el paso 152, que corresponde a realizaciones del satélite LEO en las que se usan dos o más canales receptores. En estas realizaciones, en el paso 152, las señales de mensaje candidatas que corresponden una a otra, pero que tiene diferentes polarizaciones (es decir, señales AIS recibidas por antenas receptoras 32 y 46), se sintonizan finamente combinando las señales de mensaje candidatas con un desplazamiento de fase que maximiza la amplitud de la señal de mensaje AIS candidata combinada resultante con relación a la de cualquier señal de solapamiento.

40 Como se ha explicado anteriormente, una señal AIS dada recibida por ambas antenas receptoras 32 y 46 da lugar a dos señales de mensaje AIS candidatas correspondientes con dos polarizaciones diferentes, donde una señal de mensaje AIS candidata es una versión desfasada de la otra señal de mensaje AIS candidata y ambas tienen amplitudes comparables. Este desplazamiento de fase podría estar en cualquier lugar en el rango de 0 a 360°. Las dos señales de mensaje correspondientes son identificadas a partir de picos de correlación correspondientes (tiempo esencialmente igual) identificados en el paso 112. Las fases de las dos funciones de correlación en sus picos correspondientes determinan la diferencia de fase entre los mensajes correspondientes. Una o ambas señales de mensaje AIS candidatas pueden ser solapadas por otra señal de mensaje.

50 Sin embargo, aplicar un desplazamiento de fase a una o ambas de las dos señales de mensaje AIS candidatas correspondientes y luego combinar estas señales puede cancelar cualesquiera señales de solapamiento indeseadas, o al menos reducir la intensidad de estas señales indeseadas. Además, este paso intenta maximizar la amplitud de la señal de mensaje AIS candidata combinada (con relación a cualquier señal de solapamiento), para producir una señal más fuerte para decodificación. La señal de mensaje AIS candidata combinada puede sustituir entonces a las dos señales de mensaje AIS candidatas correspondientes y decodificarse en el paso 116. En realizaciones alternativas, el paso 152 se puede llevar a cabo por métodos de detección y decodificación que no emplean el paso de refinado 114.

60 Alternativamente, en el paso 152, las dos señales de mensaje AIS candidatas correspondientes se combinan simplemente empleando una variedad de desfases fijos para crear un subconjunto de señales de mensaje AIS candidatas combinadas. Si una señal de mensaje AIS candidata es solapada por una señal indeseada con una polarización diferente, entonces puede ser deseable combinar la señal de mensaje AIS candidata con la señal de mensaje AIS candidata correspondiente (recibida por la otra antena receptora) empleando un desplazamiento de fase que cancele la señal indeseada solapada. En este caso, para determinar el desfase óptimo, se puede emplear una variedad de desfases fijos, tal como 8 desfases diferentes comenzando en 0° y avanzando en pasos de 45°, por ejemplo. La decodificación se intenta preferiblemente en cada combinación en sucesión hasta que se obtenga una decodificación exitosa o hasta que las ocho hayan sido verificadas. La estrategia subyacente es hallar un desfase que mejor cancele una o más de las señales de solapamiento indeseadas dando una mejor posibilidad de

decodificación exitosa. Esta estrategia es computacionalmente más cara que la previamente descrita porque la decodificación se debe intentar en múltiples combinaciones de las señales en las dos polarizaciones. Sin embargo, en la práctica, es algo más exitosa al extraer códigos.

5 Con referencia ahora a la figura 7, se ilustra con más detalle una implementación 112' del paso de procesado 112. En el paso 160, los datos digitales de entrada, que representan la pluralidad de señales AIS recibidas en una o ambas polarizaciones, dependiendo del número de canales receptores, son correlacionados con un número de señales predefinidas para producir una pluralidad de señales de correlación. Cada una de estas señales predefinidas corresponde a una secuencia de señales de mensaje AIS conocidas concretas en una desviación Doppler y un índice de modulación concretos. El número de señales predefinidas se elige de modo que siempre haya una señal predefinida con un desplazamiento Doppler y un índice de modulación que estén suficientemente cerca de los de cualquier señal AIS recibida posible de modo que el pico de correlación pueda ser detectado con una pérdida de amplitud mínima.

15 Una desviación Doppler entre la señal predefinida y la señal real reducirá la amplitud del pico de correlación. Hay que seleccionar una tolerancia en la pérdida de amplitud permisible, tal como 0,5 dB por ejemplo. Esto fija entonces la desviación Doppler permisible a Δf , por ejemplo. Si las señales predefinidas se eligen entonces de modo que sus desviaciones Doppler estén espaciadas $2\Delta f$, entonces cualquier señal real estará necesariamente dentro de Δf de una de las señales predefinidas. Esta operación de correlación puede ser implementada usando un banco de filtros adaptados (o más generalmente correlacionadores). En algunas realizaciones, el banco de filtros adaptados se puede seleccionar para permitir cierta desadaptación con el fin de reducir los lóbulos laterales del pico de correlación, de modo que no se confundan con otras señales de mensaje candidatas en el paso 112, como se explicará mejor en relación a las figuras 9A-9C. Correspondientemente, dado que el índice de modulación de señales AIS reales puede estar en cualquier lugar en el rango de 0,4 a 0,6, se lleva a cabo una operación similar para seleccionar un conjunto de índices de modulación para las señales predefinidas.

20 En el paso 162, cada señal de correlación es explorada en busca de picos cuyas amplitudes excedan de las de cualesquiera picos posteriores que estén dentro de la misma longitud de señal (es decir, 26,67 ms) en cierta cantidad especificada (tales picos se pueden denominar aquí picos de correlación). El pico de correlación en una señal de correlación identifica señales de mensaje AIS candidatas, puesto que proporciona un indicador de que una señal similar a la secuencia de código de mensaje AIS predeterminada usada para generar la señal predefinida se contiene dentro del segmento de datos digitales de entrada que actualmente está siendo procesado.

35 El hecho de identificar picos de correlación en la pluralidad de señales de correlación generadas cuyas amplitudes excedan una cantidad predeterminada proporciona una estimación aproximada del tiempo, la desviación Doppler, y el índice de modulación de una señal de mensaje candidata identificada. Este principio se puede aplicar a muchos tipos de modulación. Esto es debido al descubrimiento de que si tiene lugar un pico en una señal de correlación, entonces es probable que las dos señales (es decir, la señal de mensaje AIS candidata identificada y la señal predefinida) tengan desviaciones Doppler e índices de modulación similares. Cualquier pico en una señal de correlación se reducirá en gran medida, o incluso se quitará completamente, si las dos señales correlacionadas (es decir, la señal de mensaje candidata identificada y la señal predefinida) tienen desviaciones Doppler diferentes. Esto se explicará con más detalle más tarde en relación a las figuras 10A-10C. Consiguientemente, la desviación Doppler estimada será la desviación Doppler usada para la señal predefinida en señales de correlación que tengan un pico de correlación identificable.

45 Para proporcionar una explicación más exhaustiva de cómo la señal de correlación generada proporciona un medio para identificar señales de mensaje AIS candidatas y discriminar entre señales de solapamiento con diferentes desviaciones Doppler, ahora se hará referencia a las figuras 9A-9C y las figuras 10A-10C, que muestran representaciones gráficas de varias señales de correlación. En términos generales, la función de correlación proporciona una medida de lo bien que una señal corresponde a otra señal (o una versión desplazada en el tiempo de otra señal). La función de correlación usada para generar la señal de correlación para dos señales complejas se puede escribir como:

$$c(t) = \int_{-\infty}^{\infty} r(\tau) s^*(\tau - t) d\tau \quad (4)$$

55 Los expertos en la técnica entienden que la desigualdad de Schwarz afirma que:

$$\left| \int_{-\infty}^{\infty} a(\tau)b^*(\tau)d\tau \right|^2 \leq \int_{-\infty}^{\infty} |a(\tau)|^2 d\tau \int_{-\infty}^{\infty} |b(\tau)|^2 d\tau \quad (5)$$

Por lo tanto:

$$\left| \int_{-\infty}^{\infty} r(\tau)s^*(\tau-t)d\tau \right|^2 \leq \int_{-\infty}^{\infty} |r(\tau)|^2 d\tau \int_{-\infty}^{\infty} |s(\tau-t)|^2 d\tau = \int_{-\infty}^{\infty} |r(\tau)|^2 d\tau \int_{-\infty}^{\infty} |s(\tau)|^2 d\tau \quad (6)$$

Generalmente, la autocorrelación es una medida de lo bien que una señal está adaptada a sí misma. Usando las fórmulas anteriores, una función de autocorrelación para una señal puede ser expresada como:

$$\left| \int_{-\infty}^{\infty} s(\tau)s^*(\tau-t)d\tau \right| \leq \int_{-\infty}^{\infty} |s(\tau)|^2 d\tau \quad (7)$$

donde la igualdad es válida cuando t=0. En las ecuaciones (4) a (7), c(t) es la función de correlación, r(t) es una primera señal compleja, s(t) es una segunda señal compleja, a(t) y b(t) son funciones complejas arbitrarias, y * denota un conjugado complejo.

Correlacionar una señal con una réplica idéntica implica que hay una desadaptación mínima de 0 dB entre las formas de onda. Sin embargo, tal procedimiento puede tener debilidades significativas. La señal de correlación tiene su amplitud máxima cuando las señales se superponen exactamente una a otra, pero la señal de correlación también puede tener otros picos o lóbulos laterales significativos. Al calcular señales de correlación usando segmentos de los datos digitales de entrada, tales lóbulos laterales se pueden confundir con otras señales de mensaje candidatas, de modo que es importante asegurar que estos lóbulos laterales se supriman adecuadamente.

Con referencia a la figura 9A como un ejemplo, en ella se representa una señal de correlación resultante de la correlación de una señal con una réplica exacta de sí misma (es decir, la pérdida por desadaptación es 0 dB). La señal corresponde a una secuencia de código de señal AIS de mensaje ejemplar conocida que puede ser usada para generar las señales predefinidas usadas en el paso 160. La secuencia de código conocida usada en este ejemplo es 40 bits de largo e incluye una secuencia de entrenamiento (24 bits), un señalizador de inicio (8 bits), y el primer byte (8 bits) de un segmento de mensaje (véase la figura 5). Se puede ver que los lóbulos laterales 192 están aproximadamente 4 dB por debajo del pico de correlación 190, que es suficientemente grande para que los lóbulos laterales 192 se puedan confundir con otras señales de mensaje candidatas (puesto que parecen ser picos), al explorar la señal de correlación en busca de picos de correlación en el paso 162. Para explorar picos, se puede seleccionar empíricamente un valor umbral. Básicamente, un valor umbral muy bajo identificará muchos picos espurios, y se puede pasar mucho tiempo de ordenador intentando decodificarlos inútilmente. A la inversa, un valor umbral alto puede excluir innecesariamente picos válidos. Se ha hallado que un valor de alrededor de 4 dB es un compromiso práctico razonable. La gran mayoría de los picos espurios generados dentro de una señal AIS están más de 4 dB por debajo del pico de correlación principal (véase la figura 10a, por ejemplo).

La figura 9B representa la señal de correlación que resulta de correlacionar una señal con otra señal que no es una réplica exacta de tal manera que haya una pérdida mínima de 0,5 dB por desadaptación entre sus formas de onda. Se puede ver que los lóbulos laterales 196 están aproximadamente 7 dB por debajo del pico principal 194, que está más bajo que los lóbulos laterales 192 de la señal de correlación con 0 dB de desadaptación en la figura 9A. Es claro que presumiblemente es menos probable que los lóbulos laterales 196 se confundan con otras señales de mensaje AIS candidatas al explorar la señal de correlación de la figura 9B en busca de picos de correlación.

La figura 9C representa la señal de correlación que resulta de correlacionar una señal con otra señal que no es una réplica exacta de tal manera que haya una pérdida por desadaptación mínima de 1 dB entre sus formas de onda. Se puede ver que los lóbulos laterales 200 están aproximadamente 10 dB por debajo del pico de correlación 198, que está más bajo que los lóbulos laterales 192 de la señal de correlación con 0 dB de desadaptación representada en la figura 9A. Es claro que presumiblemente es menos probable que los lóbulos laterales 200 se confundan con otras señales de mensaje AIS candidatas al explorar la señal de correlación de la figura 9C en busca de picos de correlación.

Sin embargo, la pérdida por desadaptación es indeseable porque reduce el margen entre el pico de correlación y cualesquiera picos espurios que pueda haber, haciendo por ello más difícil detectar señales de mensaje AIS

candidatas en el paso 162. Por otra parte, se deberá elegir la pérdida por desadaptación mínima que sea coherente con un nivel aceptable de lóbulos laterales, para no confundir los lóbulos laterales con señales de mensaje AIS candidatas. Como se representa en la figura 9B, una pérdida por desadaptación de 0,5 dB da una reducción del nivel de lóbulos laterales de aproximadamente 7 dB con respecto al pico de correlación. Esto es inferior a los niveles típicos de picos espurios o lóbulos laterales que se hallan al calcular la correlación de una señal AIS recibida con una señal predefinida. Consiguientemente, una desadaptación de 0,5 dB es una opción práctica razonable, aunque el valor exacto no sea demasiado crítico, y el procesado en el paso 160 puede estar configurado para una desadaptación de 0,5 dB. Siempre puede haber un compromiso entre el nivel de lóbulos laterales y la pérdida por desadaptación, pero la opción de desadaptación exacta depende de la forma de onda concreta. Si se cambia la secuencia de códigos fija dentro de las señales AIS que se usa para el correlacionador, entonces en general será apropiada una opción de pérdida por desadaptación diferente.

Como se ha explicado anteriormente, realizar la correlación como se describe aquí es una forma efectiva de distinguir entre señales de solapamiento con desviaciones Doppler o índices de modulación diferentes. Esto es debido al hecho de que un pico de correlación en una señal de correlación se reducirá en gran medida, o incluso se quitará completamente, si las dos señales correlacionadas están a desviaciones Doppler o índices de modulación diferentes, mientras que si un pico de correlación tiene lugar en una señal de correlación, entonces es probable que las dos señales tengan desviaciones Doppler e índices de modulación similares. Por ejemplo, supóngase que el segmento de datos digitales de entrada procesado contiene dos señales AIS de solapamiento con desviaciones Doppler diferentes. Si una señal predefinida tiene una desviación Doppler similar a una de las señales AIS, entonces la señal de correlación generada para este segmento de datos digitales de entrada contendrá generalmente un pico de correlación que será mucho mayor para la señal AIS que tenga una desviación Doppler similar en comparación con la otra señal AIS. Esto se ilustra en las figuras 10A-10C.

La figura 10A representa la señal de correlación que resulta de correlacionar una señal AIS simulada con una señal generada usando una secuencia de códigos AIS de 40 bits conocida, que incluye una secuencia de entrenamiento (24 bits), un señalizador de inicio (8 bits), y el primer byte de la secuencia de mensajes (8 bits), con una pérdida por desadaptación de 0,5 dB. Con referencia a la figura 5, se puede ver que una señal de mensaje AIS empieza con un campo de rampa ascendente de 8 bits 122 de ocho ceros, que precede a la secuencia de códigos AIS de 40 bits usada para generar la señal de correlación. Consiguientemente, como se representa en la figura 10A, el pico de correlación 202 tiene lugar en el bit 8, cuando comienza la secuencia de códigos AIS de 40 bits. La figura 10A ilustra que el pico de correlación 202 tiene un margen de amplitud significativo sobre cualesquiera lóbulos laterales u otros picos espurios; esto se debe parcialmente a la desadaptación permitida de 0,5 dB.

La figura 10B representa la señal de correlación computada correlacionando una señal AIS simulada con la misma señal predefinida usada en la figura 10A, excepto que la señal predefinida ha recibido una desviación Doppler de 100 Hz. Comparando el pico de correlación 202 de la figura 10A con el pico de correlación 204 en la figura 10B, se puede ver que la desviación Doppler de 100 Hz ha reducido el pico de correlación 204 aproximadamente 4 dB.

La figura 10C representa la señal de correlación que resulta de correlacionar una señal AIS simulada con la misma señal predefinida que se usó en la figura 10A, excepto que la señal predefinida ha recibido una desviación Doppler de 200 Hz. Comparando el pico de correlación 202 de la figura 10A con el pico de correlación 206 de la figura 10C, se puede ver que la desviación Doppler de 200 Hz ha reducido en gran medida el pico de correlación 206 de tal manera que el pico 206 está esencialmente oscurecido por el ruido y no es detectable.

Consiguientemente, en el paso 162 cuando las señales de correlación son exploradas en busca de picos, si los picos localizados tienen amplitudes que exceden de las de cualesquiera picos posteriores que estén a la misma longitud de señal (en este caso 26,67 ms, por ejemplo) en cierta cantidad, tal como aproximadamente 4 dB como se ha explicado previamente para este ejemplo, un mensaje AIS candidato ha sido detectado, y la desviación Doppler e índice de modulación de la señal predefinida proporcionan una estimación de la desviación Doppler y el índice de modulación del mensaje AIS candidato y el tiempo del pico localizado proporciona una estimación de tiempo para el mensaje AIS candidato.

Para ilustrar mejor este punto, los efectos de la desviación Doppler en el pico de correlación pueden ser explicados de forma aproximada de la siguiente manera. Considerando el caso de desadaptación cero por razones de simplicidad, a partir de la ecuación (7) la magnitud de un pico de correlación viene dada por:

$$\int_{-\infty}^{\infty} |s(\tau)|^2 d\tau = \int_{-T/2}^{T/2} |s(\tau)|^2 d\tau \quad (8)$$

donde T es la duración de la señal (40 bits o 40/9600=4,167 ms en este ejemplo). En un primer orden, el desplazamiento Doppler modificará la magnitud del pico de correlación a:

$$\int_{-T/2}^{T/2} s(\tau) s^*(\tau) \exp(j\omega_D \tau) d\tau \quad (9)$$

donde ω_D es el desplazamiento Doppler, dando una desadaptación de:

$$M = 20 \log_{10} \left[\frac{\int_{-T/2}^{T/2} s(\tau) s^*(\tau) \exp(j\omega_D \tau) d\tau}{\int_{-T/2}^{T/2} s(\tau) s^*(\tau) d\tau} \right] \text{ dB} \quad (10)$$

5 Cuando se transmite una señal AIS usando modulación GMSK, que es una forma de modulación de fase, la señal tiene amplitud constante y la ecuación (10) se simplifica a:

$$M = 20 \log_{10} \left[\frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} \exp(j\omega_D \tau) d\tau \right] = 20 \log_{10} \left[\frac{\sin(\omega_D T/2)}{\omega_D T/2} \right] = 20 \log_{10} \left[\frac{\sin(\pi f_D T)}{\pi f_D T} \right] \text{ dB} \quad (11)$$

10 Como un ejemplo simplificado, suponiendo que la señal predefinida se genere usando una secuencia de 40 bits y un desplazamiento Doppler de 100 Hz, con $f_D T = 100 \times 40 / 9600 = 0,4167$, entonces la ecuación (11) da una desadaptación de 2,64 dB. La estimación de desadaptación en la ecuación (11) generalmente solamente es estrictamente válida para un filtro perfectamente adaptado, pero todavía es aproximadamente correcta para los filtros desadaptados que se usan en la práctica.

15 La ecuación (11) puede ser usada para seleccionar las desviaciones Doppler para las señales predefinidas requeridas en el paso de procesado 160. En algunas realizaciones, una desadaptación adicional de 0,5 dB será aceptable, y la ecuación (11) implica entonces que $|f_D T| < 0,186$. Para una secuencia de correlación de 40 bits, esto implica que $|f_D| < 44,6$ Hz. Por lo tanto, si las desviaciones Doppler predefinidas están en una rejilla de frecuencia uniformemente espaciada con una espaciación de menos de 89,2 Hz, entonces la mayor desadaptación posible con una señal real será menos de 0,5 dB. Si esto se combina con la desadaptación de 0,5 dB típicamente permitida para reducir los niveles de lóbulos laterales, entonces la desadaptación general máxima es 1 dB, que es una cifra razonable.

25 En otra realización alternativa, se puede usar múltiples secuencias de códigos AIS predeterminadas para calcular las señales predefinidas usadas en el paso de procesado 110. En este caso, se puede definir una función de correlación generalizada usando una combinación lineal ponderada de las funciones de correlación individuales ($w_i > 0$):

$$c(t) = \sum_{i=1}^N w_i \int_{-\infty}^{\infty} r_i(\tau) s_i^*(\tau - t) d\tau \quad (12)$$

30 Dado que

$$\left| \sum_{i=1}^N w_i \int_{-\infty}^{\infty} r_i(\tau) s_i^*(\tau - t) d\tau \right| \leq \sum_{i=1}^N w_i \left| \int_{-\infty}^{\infty} r_i(\tau) s_i^*(\tau - t) d\tau \right| \leq \sum_{i=1}^N w_i \left(\int_{-\infty}^{\infty} |r_i(\tau)|^2 d\tau \right)^{1/2} \left(\int_{-\infty}^{\infty} |s_i(\tau)|^2 d\tau \right)^{1/2} \quad (13)$$

donde la igualdad es válida a $t=0$ si $r_i = s_i$, entonces una pérdida por desadaptación se puede definir con:

$$L = 20 \log_{10} \left(\frac{\left| \sum_{i=1}^N w_i \int_{-\infty}^{\infty} r_i(\tau) s_i^*(\tau) d\tau \right|}{\sum_{i=1}^N w_i \left(\int_{-\infty}^{\infty} |r_i(\tau)|^2 d\tau \right)^{1/2} \left(\int_{-\infty}^{\infty} |s_i(\tau)|^2 d\tau \right)^{1/2}} \right) \text{ dB} \quad (14)$$

35

donde se supone que la pérdida mínima tiene lugar a $t=0$.

Como antes, se logra una desadaptación cero si $r_i = s_i$ para todo i , pero, como se ha explicado anteriormente, r_i se puede diseñar para permitir una ligera desadaptación (alrededor de 0,5 dB por ejemplo) con el fin de reducir el nivel de lóbulos laterales en la función de correlación generalizada de la ecuación (12). En general, cuanto más larga sea la secuencia de códigos predefinida que se use, mejor será el rendimiento general. En tal realización, el módulo de procesado 60 puede estar configurado para generar las señales predefinidas empleadas en la correlación usando una pluralidad de secuencias de códigos AIS predeterminadas. En las ecuaciones anteriores (12) a (14), N es el número de secuencias de códigos, $r_i(t)$ es la primera señal compleja para la i -ésima secuencia de códigos, $s_i(t)$ es la segunda señal compleja para la i -ésima secuencia de códigos y $c(t)$ es la función de correlación generalizada. Además, no hay regla exacta para seleccionar las secuencias de códigos predeterminadas, y la opción puede variar de un caso a otro. Sin embargo, tales secuencias de códigos predeterminadas deben incluir segmentos de código que siempre son fijos, o al menos son fijos para la gran mayoría de casos, dentro del conjunto de señales deseadas.

Con referencia ahora a la figura 8, en ella se representa un diagrama de flujo de una realización ejemplar 114' del paso de refinado 114. En el paso 170, todas las señales de mensaje AIS candidatas detectadas (para todas las desviaciones Doppler y los índices de modulación) se clasifican en orden de tiempo ascendente. En el paso 172, se quitan todas las señales de mensaje AIS candidatas repetidas donde se ha detectado el mismo mensaje en más de una desviación Doppler o índice de modulación. En el paso 174, se quitan mensajes que se solapan en ambas polarizaciones por señales más intensas en su lado de tiempo alto, para obtener un grupo refinado de señales de mensaje candidatas. El término "lado de tiempo alto" se refiere a una señal dada solapada por una o más señales cuyos picos de correlación tienen lugar en un tiempo posterior al de la señal dada.

Después de obtener un grupo refinado de señales de mensaje candidatas, opcionalmente en el paso 176, se puede aplicar filtración de banda estrecha al grupo refinado de señales de mensaje candidatas centrado en la estimación de frecuencia de desviación Doppler conocida. La anchura de banda de este filtro es típicamente 10 kHz. La filtración de banda estrecha bloquea tanta energía espectral como sea posible de las señales de solapamiento con diferentes desviaciones Doppler, y mejora la probabilidad de decodificación exitosa.

Por razones de simplicidad, las realizaciones aquí descritas se han descrito primariamente en relación a sistemas y métodos con un satélite LEO y una estación de tierra. Sin embargo, como se ha indicado anteriormente, son posibles los sistemas y métodos que emplean múltiples satélites LEO y/o una o más estaciones de tierra, creando nuevas posibilidades de detectar y decodificar señales AIS. Con múltiples satélites LEO, las señales AIS de un barco dado pueden ser recibidas por más de un satélite LEO. Entonces se puede usar técnicas de correlación usando los datos de los múltiples satélites LEO. También se puede emplear señales AIS recibidas de estaciones terrestres. Por ejemplo, las realizaciones se pueden configurar para descorrelacionar señales AIS transmitidas por barcos que estén dentro del FOV de una estación de tierra a partir de los datos digitales de entrada producidos por un satélite LEO. Esta descorrelación quita las señales AIS ya detectadas de los datos digitales de entrada, y en efecto, primariamente sólo las señales AIS enviadas por barcos fuera del FOV de la estación de tierra permanecen en los datos digitales de entrada para procesado adicional, lo que limita la detección y la decodificación de señales AIS a los barcos fuera del FOV de las estaciones terrestres. Además, se deberá indicar que puede haber realizaciones en las que los pasos representados en al menos una de las figuras 7 y 8 se combinan con los pasos representados en las figuras 4 o 6.

Preferiblemente, se despliegan múltiples satélites LEO en una constelación de satélites con una configuración Walker, estando cada satélite a altitudes e inclinaciones sustancialmente similares. Sin embargo, en una realización alternativa, se puede desplegar múltiples satélites LEO a altitudes e inclinaciones sustancialmente diferentes. Por ejemplo, dependiendo de los vehículos de lanzamiento de que se disponga, puede ser de costo más razonable desplegar satélites LEO a altitudes e inclinaciones diferentes correspondientes a los vehículos de lanzamiento más convenientes. Se puede desplegar satélites LEO a cualquier altitud adecuada, pero preferiblemente entre 400 km y 850 km. Igualmente, se puede desplegar satélites LEO a cualquier inclinación, pero se despliegan preferiblemente en una constelación con una configuración regular para maximizar la cobertura con menos satélites. Además, se despliegan preferiblemente satélites LEO en órbitas que proporcionen óptima exposición al sol, para mejorar la captación de energía solar y reducir los requisitos de potencia de la batería. En una realización, se despliegan múltiples satélites LEO a tres altitudes sustancialmente diferentes que tienen tres inclinaciones sustancialmente diferentes. También se puede desplegar satélites LEO en órbitas polares o ecuatoriales.

Se exponen aquí numerosos detalles específicos con el fin de proporcionar una comprensión completa de las realizaciones ejemplares aquí descritas. Sin embargo, los expertos en la técnica entenderán que estas realizaciones se pueden poner en práctica sin estos detalles específicos. En otros casos, los métodos, procedimientos y componentes conocidos no se han descrito en detalle con el fin de no oscurecer la descripción de las realizaciones. Además, esta descripción no se ha de considerar como limitación del alcance de estas realizaciones de ninguna forma, sino más bien simple descripción de la implementación de estas varias realizaciones.

Por ejemplo, en una realización alternativa, se puede usar antenas y canales receptores adicionales para proporcionar información direccional adicional, que puede ayudar a distinguir señales AIS de diferentes regiones. Si se usan antenas espacialmente separadas adicionales de cualquier polarización, entonces todas las antenas reciben

señales de intensidad similar, pero con fases diferentes. Combinando estas señales con combinaciones apropiadas de fase y amplitud, es posible discriminar en favor de algunas direcciones espaciales y en contra de otras. Esto es similar al concepto de una antena serie en fase, donde la directividad se logra teniendo numerosos elementos radiantes alimentados por una combinación apropiada de desplazadores de fase.

5 El hardware requerido es una generalización de la realización descrita aquí para la disposición de dos antenas, en la que cada antena tiene su propia cadena RF. En este caso, el procesado de señal implica combinar las salidas de antena en varias combinaciones de fase de forma similar a la descrita para la realización de dos antenas aquí descrita. En los casos en que no se logra suficiente separación espacial de las antenas en un solo satélite LEO, se
10 puede usar un grupo de satélites LEO para utilizar esta característica de diferenciación espacial de señales AIS recibidas en el espacio. En efecto, esto se puede considerar como incrementar el tamaño de antena efectivo para mejorar la directividad. Esta estructura de hardware y procesado se puede generalizar a cualquier número de antenas que puedan ser diferenciadas espacialmente usando polarización o usando estas dos características. A
15 condición de que se disponga de información independiente de cada antena, la combinación de las salidas de antena en diferentes combinaciones de fase proporciona un mecanismo para discriminar señales AIS que entran desde direcciones diferentes.

REIVINDICACIONES

- 5 1. Un sistema (10) para detectar y decodificar señales AIS del Sistema de Identificación Automática, incluyendo el sistema:
- (a) una pluralidad de satélites orbitales, teniendo cada satélite orbital (12) al menos una antena (32, 33, 46), teniendo la al menos única antena una pluralidad de polarizaciones de antena para recibir una pluralidad de señales de radio frecuencia desfasadas, incluyendo las señales de radio frecuencia una o más señales de mensaje AIS (500);
- 10 (b) teniendo también cada satélite orbital (12) un módulo de comunicación configurado para:
- (i) aceptar la pluralidad de señales de radio frecuencia desfasadas;
- (ii) convertir la pluralidad de señales de radio frecuencia desfasadas a datos en paquetes muestreados;
- 15 (iii) insertar los datos en paquetes muestreados y una pluralidad de parámetros de señal en un flujo de datos; y
- (iv) transmitir el flujo de datos y un flujo de datos de telemetría para el satélite orbital a al menos una estación de tierra (14); y
- 20 (c) un procesador (24) situado en la al menos única estación de tierra (14) configurado para recibir el flujo de datos; correlacionar el flujo de datos con una pluralidad de señales predefinidas para calcular una pluralidad de señales de correlación; y explorar la pluralidad de señales de correlación en busca de picos de correlación que exceden de otros picos en una cantidad predeterminada para identificar una o más señales de mensaje AIS candidatas, **caracterizado** porque el procesador incluye:
- 25 (i) un módulo de refinamiento (62) configurado para identificar y quitar una o más señales de mensaje AIS superpuestas, siendo la única o más señales de mensaje AIS superpuestas una o más señales de mensaje AIS candidatas superpuestas por una señal de mensaje candidata cuyo pico de correlación excede del de la única o más señales de mensaje AIS candidatas en un valor umbral predeterminado;
- 30 (ii) un módulo de descolisión (63) configurado para descolisionar la única o más señales de mensaje AIS superpuestas, para cada señal de mensaje AIS candidata en la única o más señales de mensaje AIS superpuestas, desfasando computacionalmente un primer segmento de señal muestreada de la única o más señales de mensaje AIS superpuestas y combinándolo con un segundo segmento de señal muestreada de la única o más señales de mensaje AIS superpuestas hasta que el desfase en el segundo segmento cancele o reduzca la intensidad relativa de, una señal de mensaje AIS de solapamiento para revelar la señal de mensaje AIS candidata, donde el segundo segmento de señal muestreada es coincidente en el tiempo con el primer segmento muestreado, pero se recibe en una antena diferente o polarización de antena diferente; y
- 35 (iii) un decodificador (64) configurado para decodificar la única o más señales de mensaje AIS candidatas para obtener un segmento de mensaje AIS.
- 40 2. El sistema de la reivindicación 1, donde el procesador (24) también determina la exactitud de la única o más señales de mensaje AIS candidatas comparando una posición referida de un transmisor AIS (18), siendo identificada la posición referida en la única o más señales de mensaje AIS candidatas, con una pluralidad de posiciones válidas en base a uno o más de una desviación Doppler, una polarización, un sello de tiempo y los datos de telemetría asociados con la única o más señales de mensaje AIS candidatas.
- 45 3. El sistema de la reivindicación 1, donde al menos uno de los parámetros de señal insertados en el flujo de datos es una ganancia de recepción para cada una de las polarizaciones de antena.
- 50 4. El sistema de la reivindicación 1, donde la pluralidad de polarizaciones de antena incluye polarizaciones dobles.
- 55 5. El sistema de la reivindicación 1, donde la pluralidad de polarizaciones de antena incluye tres polarizaciones.
6. El sistema de la reivindicación 1, donde el procesador (24) es un grupo de cálculo de alto rendimiento.
7. El sistema de la reivindicación 1, donde la pluralidad de satélites orbitales ocupa al menos tres planos orbitales diferentes, teniendo cada uno de los tres planos orbitales inclinaciones sustancialmente diferentes y/o altitudes sustancialmente diferentes.
- 60 8. El sistema de la reivindicación 1, donde el flujo de datos es encriptado para transmisión a al menos una estación de tierra (14).
- 65 9. Un método para detectar y decodificar señales AIS del Sistema de Identificación Automática, incluyendo el

método:

- 5 (a) proporcionar una pluralidad de satélites orbitales, teniendo cada satélite orbital (12) al menos una antena (32, 33, 46), teniendo la al menos única antena una pluralidad de polarizaciones de antena para recibir una pluralidad de señales de radio frecuencia desfasadas, incluyendo las señales de radio frecuencia una o más señales de mensaje AIS (500);
- 10 (b) filtrar, muestrear y paquetizar la pluralidad de señales de radio frecuencia desfasadas en datos en paquetes muestreados;
- (c) insertar los datos en paquetes muestreados y una pluralidad de parámetros de señal en un flujo de datos;
- 15 (d) transmitir el flujo de datos y un flujo de datos de telemetría para el satélite orbital (12) a al menos una estación de tierra (14);
- (e) recibir el flujo de datos en la al menos única estación de tierra;
- (f) correlacionar el flujo de datos con una pluralidad de señales predefinidas para calcular una pluralidad de señales de correlación;
- 20 (g) explorar la pluralidad de señales de correlación en busca de picos de correlación que exceden de otros picos una cantidad predeterminada para identificar una o más señales de mensaje AIS candidatas; y
- 25 (h) procesar el flujo de datos en la al menos única estación de tierra (14) para identificar una o más señales de mensaje AIS candidatas

caracterizado porque el procesado incluye:

- 30 (i) identificar y sacar una o más señales de mensaje AIS superpuestas, siendo la única o más señales de mensaje AIS superpuestas una o más señales de mensaje AIS candidatas superpuestas por una señal de mensaje candidata cuyo pico de correlación excede del de la única o más señales de mensaje AIS candidatas en un valor umbral predeterminado;
- 35 (ii) descolisionar la única o más señales de mensaje AIS superpuestas, para cada señal de mensaje AIS candidata en la única o más señales de mensaje AIS superpuestas, desfasando computacionalmente un primer segmento de señal muestreada de la única o más señales de mensaje AIS superpuestas y combinándolo con un segundo segmento de señal muestreada de la única o más señales de mensaje AIS superpuestas hasta que el desfase en el segundo segmento cancele, o reduzca la intensidad relativa de, una señal de mensaje AIS de solapamiento para revelar la señal de mensaje AIS candidata, donde el segundo segmento de señal muestreada es coincidente en el tiempo con el primer segmento muestreado, pero se recibe en una antena diferente o polarización de antena diferente; y
- 40 (iii) decodificar la única o más señales de mensaje AIS candidata para obtener un segmento de mensaje AIS.
- 45 10. El método de la reivindicación 9, incluyendo además determinar la exactitud de la única o más señales de mensaje AIS candidatas comparando una posición referida de un transmisor AIS (18), siendo identificada la posición referida en la única o más señales de mensaje AIS candidatas, con una pluralidad de posiciones válidas en base a uno o más de una desviación Doppler, una polarización, un sello de tiempo y los datos de telemetría asociados con la única o más señales de mensaje AIS candidatas.
- 50 11. El método de la reivindicación 9, donde al menos uno de los parámetros de señal es una ganancia de recepción para cada una de las polarizaciones de antena.
- 55 12. El método de la reivindicación 9, donde la pluralidad de polarizaciones de antena incluye polarizaciones dobles.
13. El método de la reivindicación 9, donde la pluralidad de polarizaciones de antena incluye tres polarizaciones.
- 60 14. El método de la reivindicación 9, incluyendo además almacenar el flujo de datos en una base de datos (80) y procesar datos de una pluralidad de flujos de datos para identificar una o más señales de mensaje AIS candidatas.
- 65 15. El método de la reivindicación 9, donde el procesador es un grupo de cálculo de alto rendimiento.
16. El método de la reivindicación 9, donde la pluralidad de satélites orbitales ocupa al menos tres planos orbitales diferentes, teniendo cada uno de los tres planos orbitales inclinaciones sustancialmente diferentes y/o altitudes sustancialmente diferentes.

17. El método de la reivindicación 9, incluyendo además encriptar el flujo de datos antes de la transmisión a la al menos única estación de tierra (14) y desencriptar el flujo de datos después de la recepción en la al menos única estación de tierra (14).
- 5 18. El método de la reivindicación 9, incluyendo además hacer el seguimiento y supervisar transmisores AIS (18) integrando datos seleccionados del grupo de: señales de mensaje AIS, seguimiento óptico y radar.

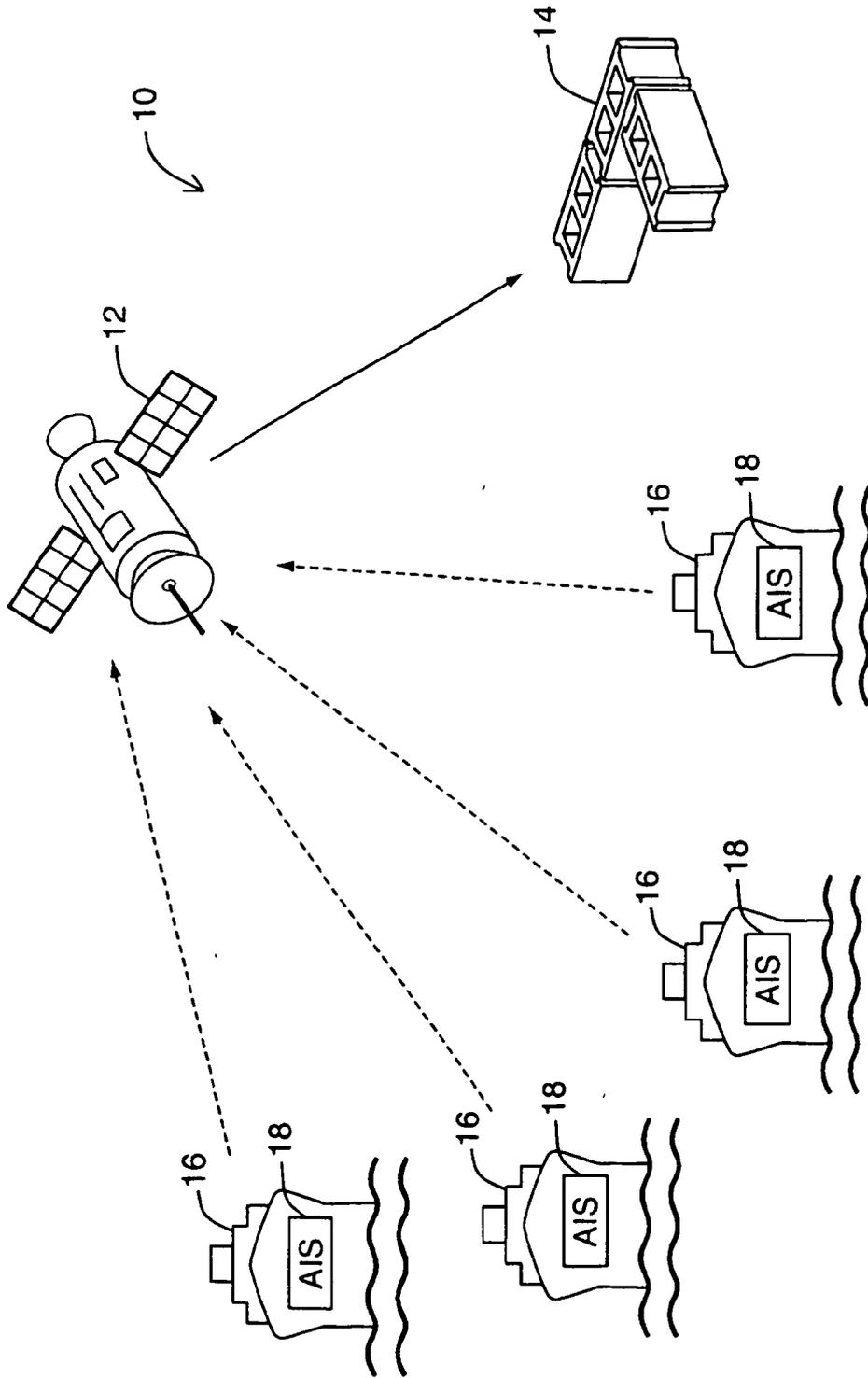


FIG. 1

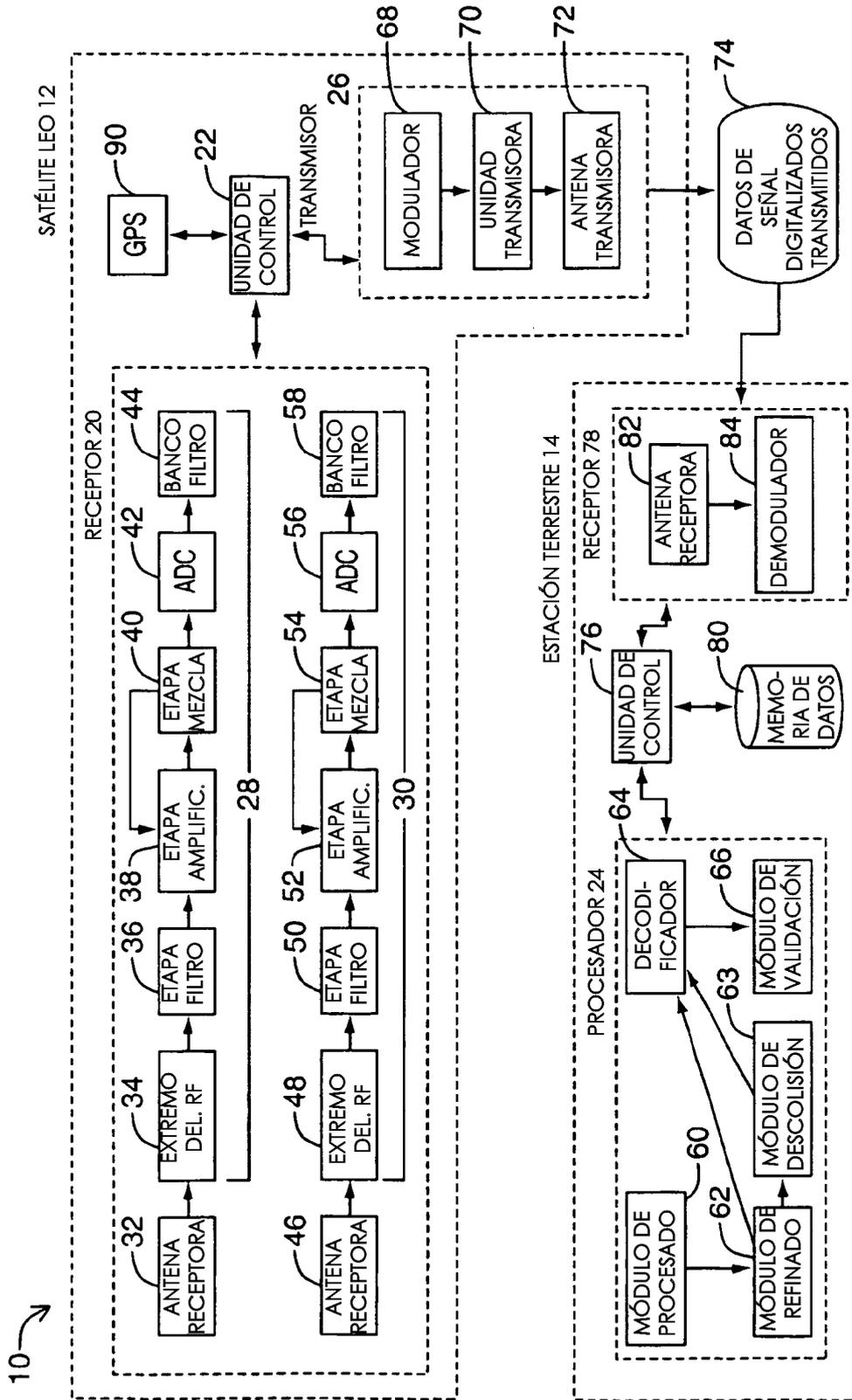


FIG. 2A

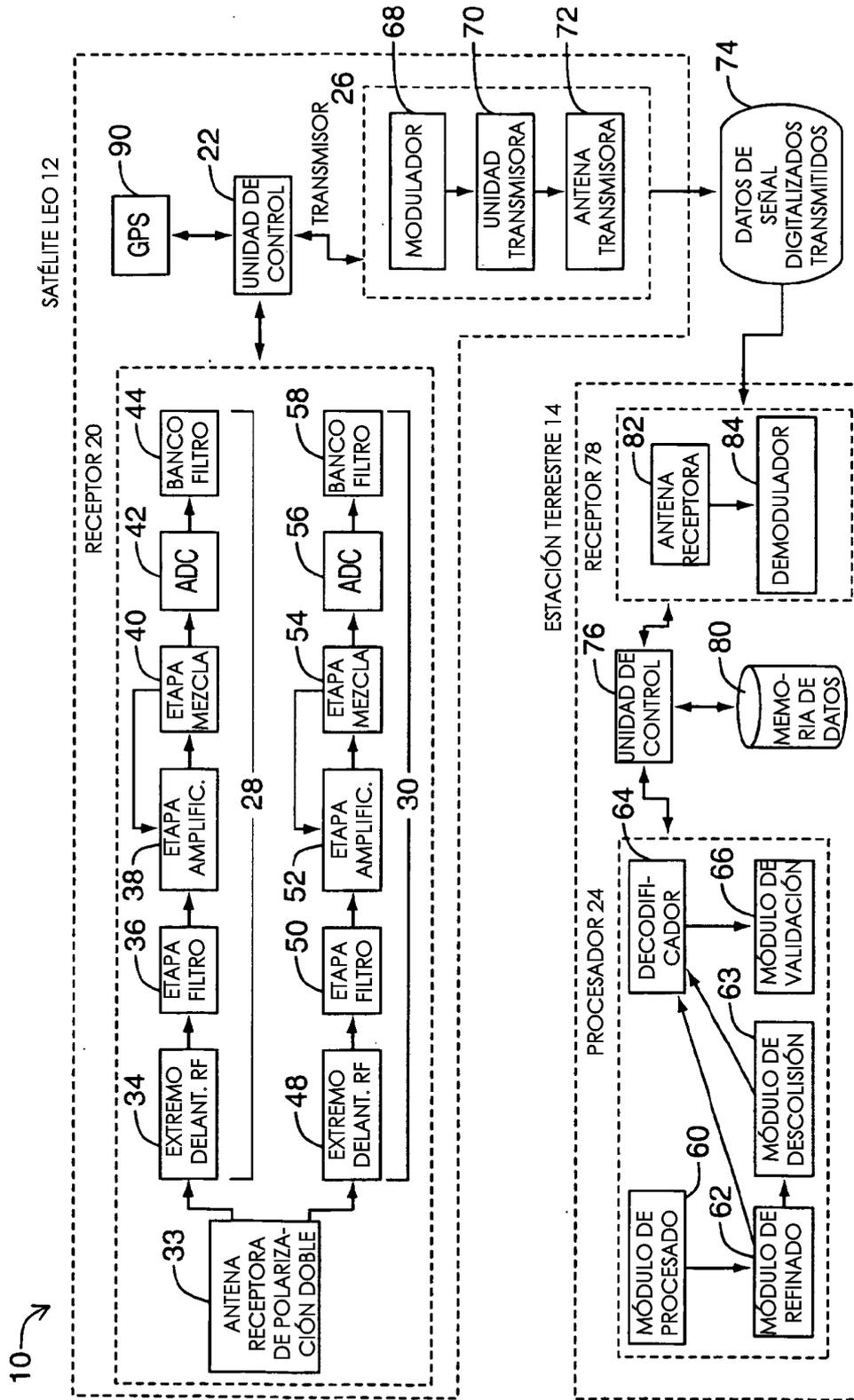


FIG. 2B

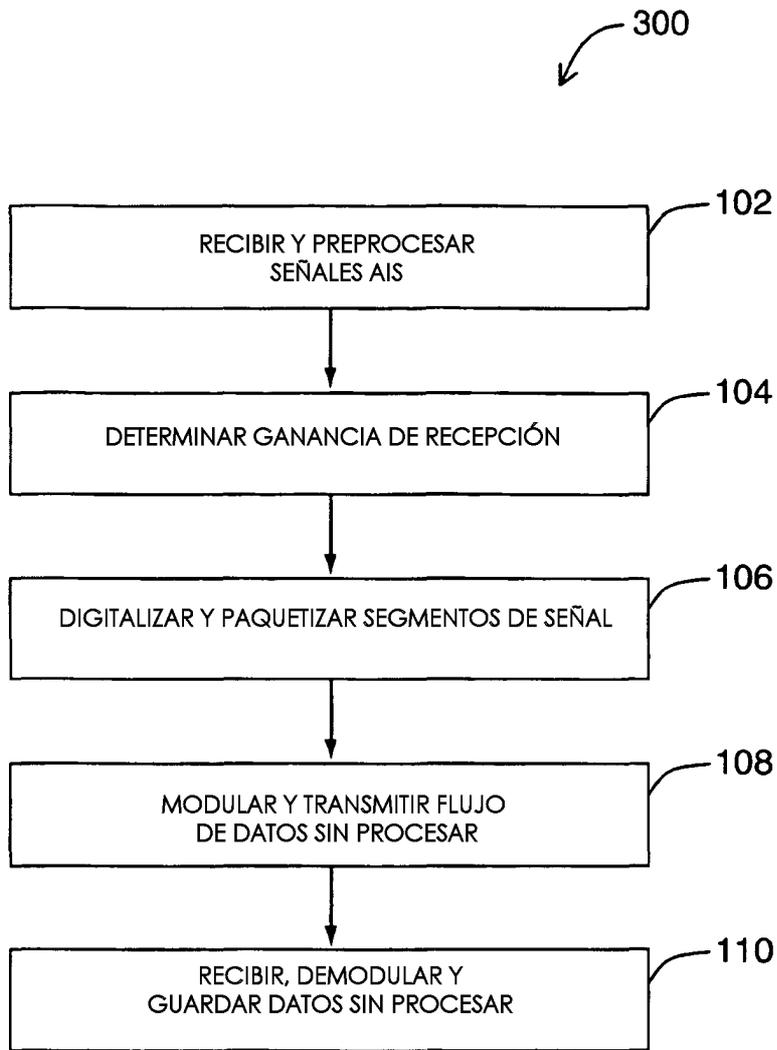


FIG. 3

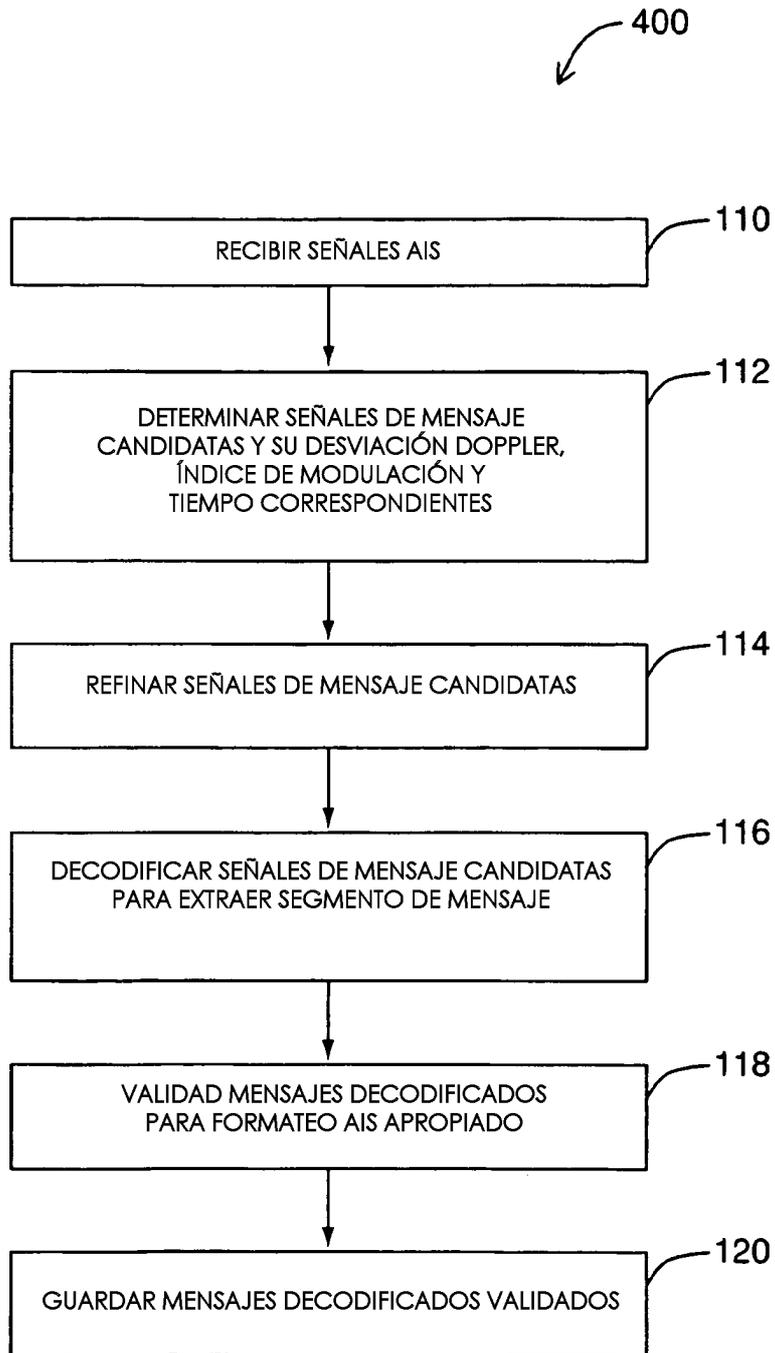


FIG. 4

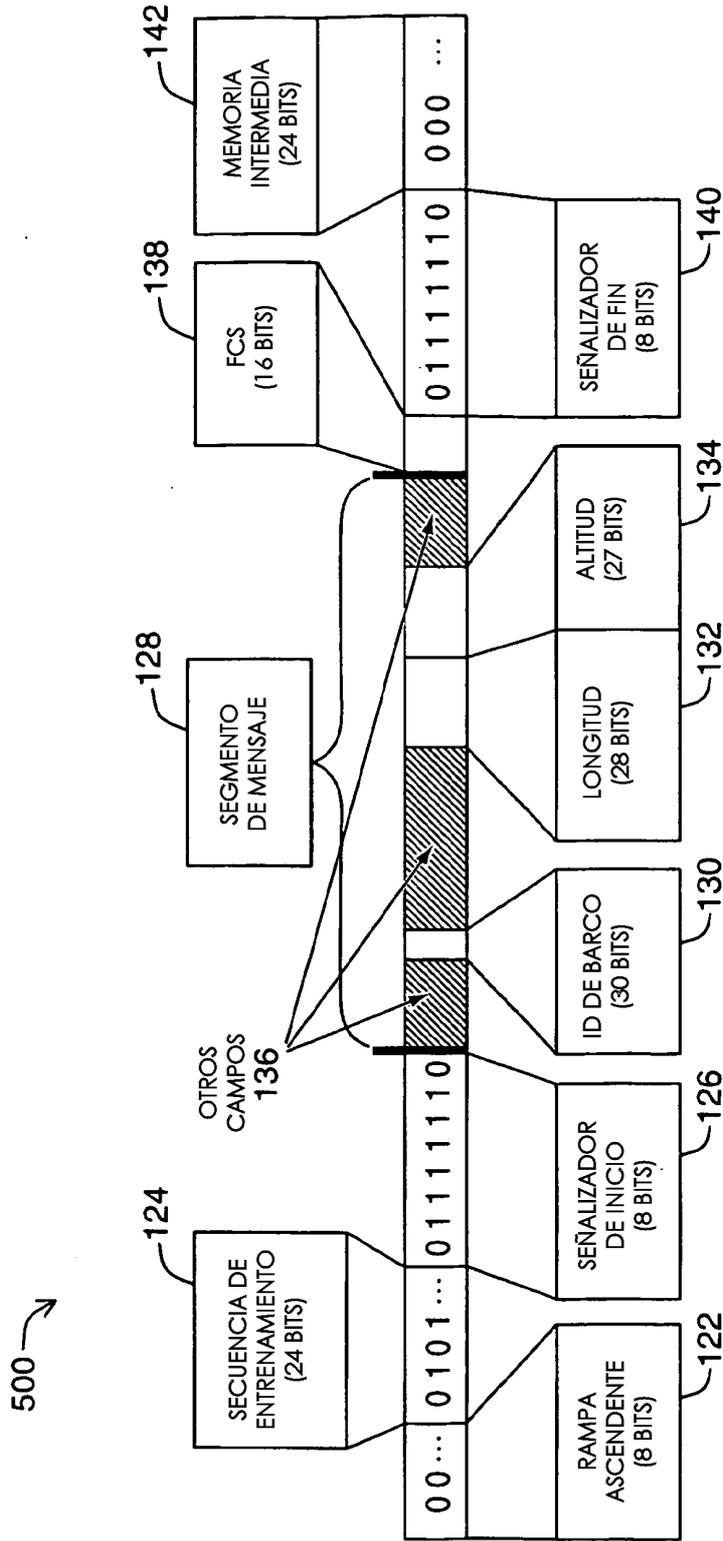


FIG. 5

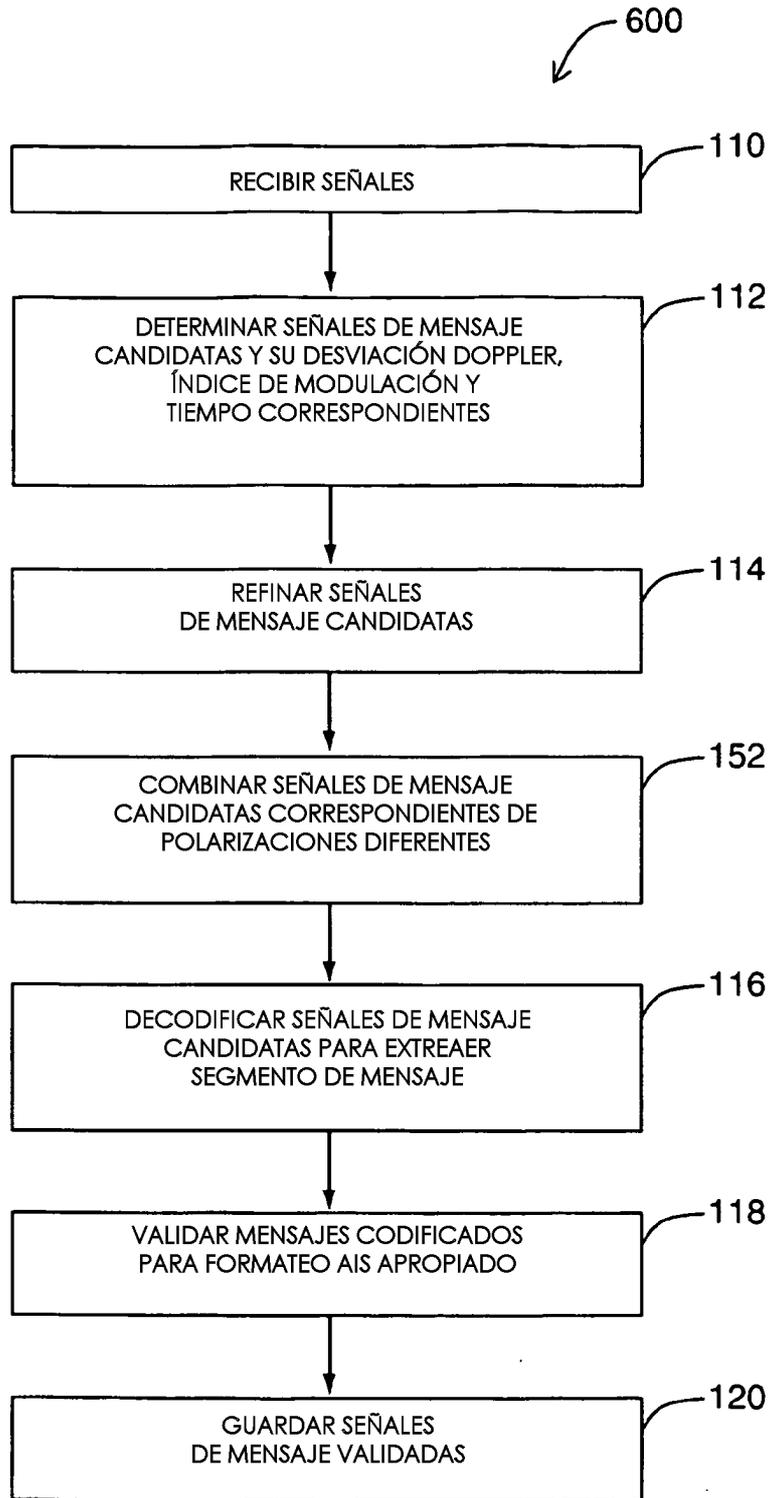


FIG. 6

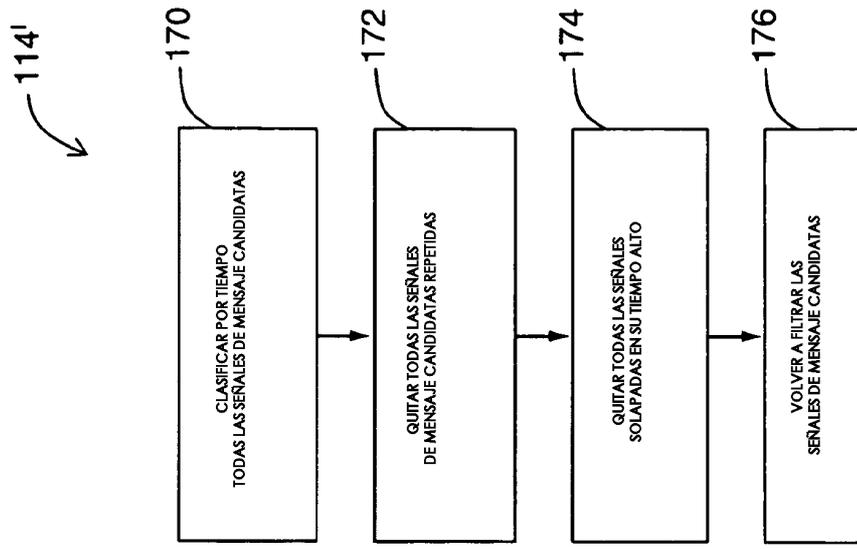


FIG. 8

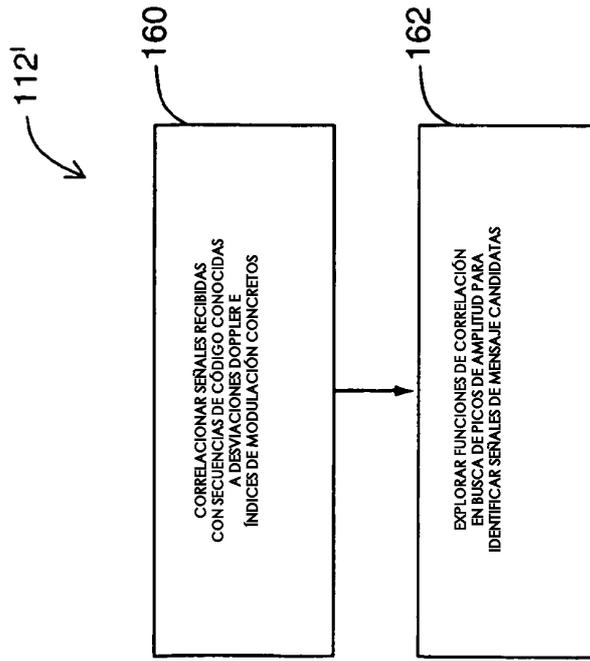


FIG. 7

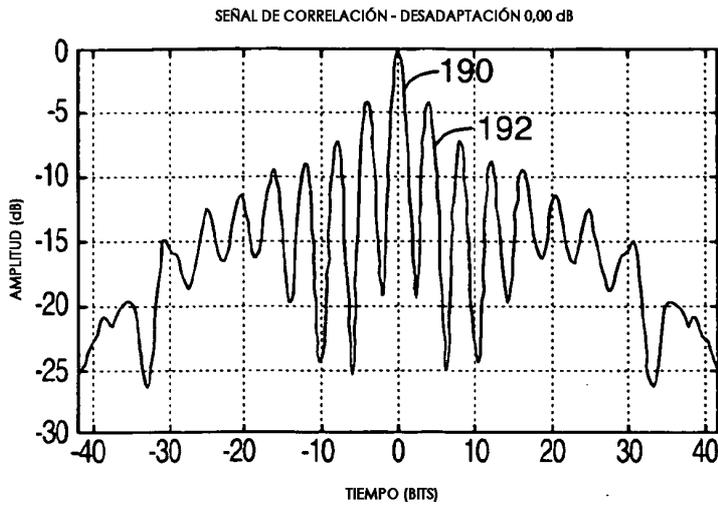


FIG. 9A

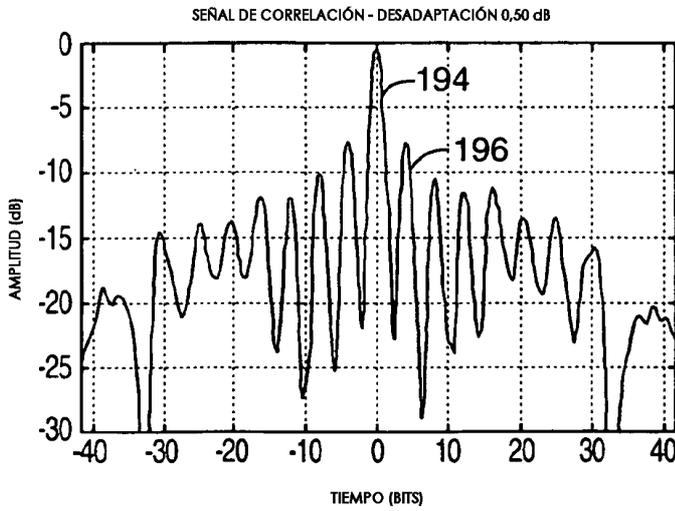


FIG. 9B

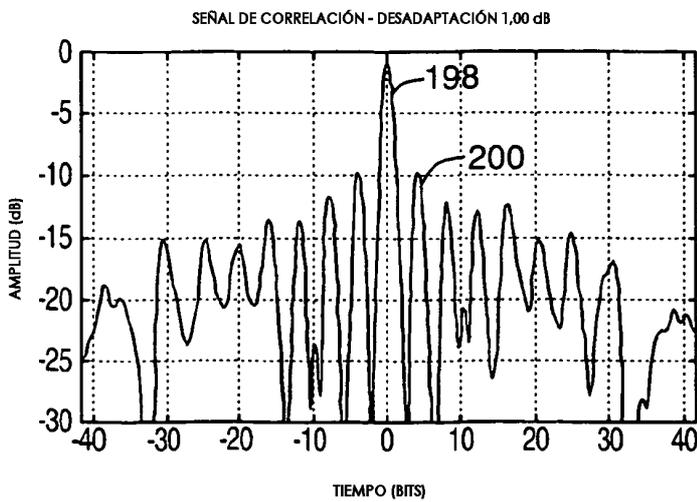


FIG. 9C

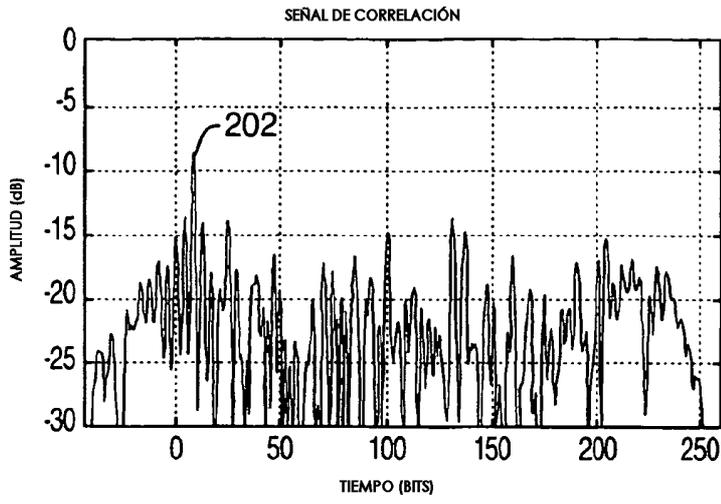


FIG. 10A

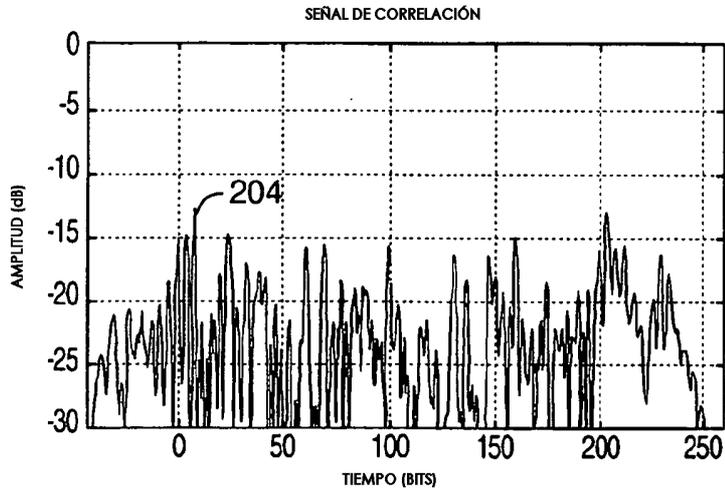


FIG. 10B

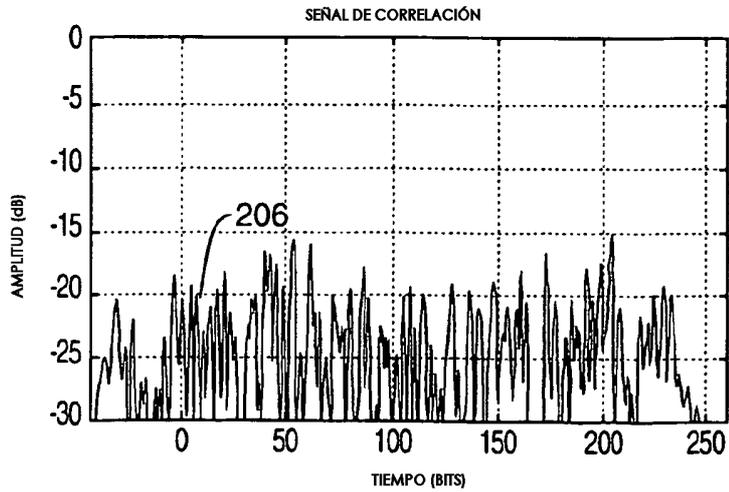


FIG. 10C