

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 448 867**

51 Int. Cl.:

G01S 1/00 (2006.01)

G01S 1/02 (2010.01)

G08G 3/02 (2006.01)

H04B 1/59 (2006.01)

H04B 7/185 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **09.04.2008 E 08748111 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **12.02.2014 EP 2156207**

54 Título: **Sistema y método para decodificar señales de un sistema de identificación automática**

30 Prioridad:

08.06.2007 US 760358

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

17.03.2014

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

PEACH, ROBERT

74 Agente/Representante:

UNGRÍA LÓPEZ, Javier

ES 2 448 867 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

Sistema y método para decodificar señales de un 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 un satélite de órbita terrestre baja y decodificando las señales usando técnicas de correlación.

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 pueden 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.

30 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.

35 US 6.512.720 B1 describe un método para compensación Doppler en un sistema de comunicaciones subacuáticas de fase coherente. WO 20071143378 describe un sistema de base espacial para rastrear y supervisar simultáneamente uno o más barcos del océano en cualquier punto de la tierra, incluyendo el sistema un número de satélites. Ole Fredrik Haakonsen Dahl: "Space-Based AIS Receiver for Maritime Traffic Monitoring Using Interference Cancellation", Universidad Noruega de Ciencia y Tecnología, Master de Ciencia en Tecnología de las Comunicaciones, Junio 2006, páginas 1 a 107, XP002581810, examina soluciones de receptor para reducir el problema de interferencia entre mensajes de diferentes barcos.

45 Resumen

La invención se define en las reivindicaciones independientes a las que ahora se hace referencia. Se exponen características preferidas en las reivindicaciones dependientes.

50 Según un primer aspecto de la invención, se facilita un método para producir segmentos de mensaje de Sistema de Identificación Automática (AIS) decodificados validados a partir de una pluralidad de señales AIS donde una pluralidad de señales AIS son recibidas en uno o más satélites en el espacio y preprocesadas para producir datos digitales de entrada correspondientes a la pluralidad de señales AIS recibidas, incluyendo el método: procesar los datos digitales de entrada correlacionando los datos digitales de entrada con una pluralidad de señales predefinidas que tienen diferentes desviaciones Doppler para calcular una pluralidad de señales de correlación correspondientes, donde la pluralidad de señales predefinidas son generadas aplicando desviaciones Doppler a una secuencia predeterminada de códigos AIS, y explorando la pluralidad de señales de correlación en busca de picos de amplitud que superen picos de amplitud contiguos en una cantidad predeterminada con el fin de identificar una o más señales de mensaje AIS candidatas en base a las señales de correlación; determinar estimaciones de desviación Doppler y estimaciones de tiempo de llegada para la una o más señales de mensaje AIS candidatas; decodificar la una o más señales de mensaje AIS candidatas en los datos digitales de entrada para obtener segmentos de mensaje correspondientes; y validar los segmentos de mensaje decodificados para formateo AIS apropiado para producir segmentos de mensaje AIS decodificados validados.

65 En algunas realizaciones, antes de decodificar la una o más señales de mensaje AIS candidatas en los datos

digitales de entrada, el método incluye además refinar el grupo de una o más señales de mensaje AIS candidatas para obtener un grupo refinado de señales de mensaje AIS candidatas y realizar la decodificación en el grupo refinado de señales de mensaje AIS candidatas, y donde refinar las señales de mensaje candidatas incluye: determinar si alguna de la una o más señales de mensaje AIS candidatas se repite en una estimación de desviación Doppler diferente; y quitar todas las señales de mensaje AIS candidatas repetidas. En algunas realizaciones, antes de decodificar la una o más señales de mensaje AIS candidatas en los datos digitales de entrada, el método incluye además refinar el grupo de una o más señales de mensaje AIS candidatas para obtener un grupo refinado de señales de mensaje AIS candidatas y realizar la decodificación en el grupo refinado de señales de mensaje AIS candidatas, y donde refinar las señales de mensaje candidatas incluye: clasificar la una o más señales de mensaje AIS candidatas por sus estimaciones de tiempo de llegada correspondientes; y quitar todas las señales de mensaje AIS candidatas restantes que son solapadas en su lado de tiempo alto por una señal de mensaje AIS candidata más intensa. En algunas realizaciones, antes de la decodificación, el método incluye además volver a filtrar la una o más señales de mensaje AIS candidatas aplicando filtración de banda estrecha centrada en la estimación de desviación Doppler que corresponde a la una o más señales de mensaje AIS candidatas.

El método puede incluir además emplear al menos dos antenas configuradas para recibir la pluralidad de señales AIS, diferenciándose una de otra las al menos dos antenas en al menos una de una manera espacial y de polarización, y antes del paso de decodificación el método puede incluir además combinar la una o más señales de mensaje AIS candidatas recibidas por una de las antenas con una o más señales de mensaje AIS candidatas correspondientes recibidas por al menos una de las otras antenas empleando un desplazamiento de fase que maximiza la amplitud de la una o más señales de mensaje AIS candidatas combinadas con relación a cualesquiera señales de solapamiento, y realizar decodificación en la una o más señales de mensaje AIS candidatas combinadas.

El método puede incluir además descorrelacionar los segmentos de mensaje decodificados validados para obtener datos digitales de entrada modificados, y realizar los pasos de procesado, determinación y decodificación en los datos digitales de entrada modificados. En algunas realizaciones, antes de la decodificación, el método incluye determinar una estimación de desviación Doppler y una estimación de tiempo de llegada más exactas para la una o más señales de mensaje candidatas.

Al menos un segmento de mensaje decodificado puede estar asociado con un barco dado, y después de la decodificación, el método puede volver al paso de procesado que puede incluir además: correlacionar los datos digitales de entrada con una pluralidad de señales predefinidas que corresponden a un subconjunto del al menos único segmento de mensaje decodificado asociado con el barco dado; y determinar si los datos digitales de entrada son una señal de mensaje AIS candidata asociada con el barco dado.

Según un segundo aspecto de la invención, se facilita un sistema para producir segmentos de mensaje de Sistema de Identificación Automática (AIS) decodificados validados a partir de una pluralidad de señales AIS donde una pluralidad de señales AIS son recibidas en uno o más satélites en el espacio y preprocesadas para producir datos digitales de entrada correspondientes a la pluralidad de señales AIS recibidas, incluyendo el sistema: un módulo de procesado configurado para procesar los datos digitales de entrada correlacionando los datos digitales de entrada con una pluralidad de señales predefinidas que tienen diferentes desviaciones Doppler para calcular una pluralidad de señales de correlación correspondientes, donde el módulo de procesado está configurado además para generar la pluralidad de señales predefinidas aplicando desviaciones Doppler a una secuencia predeterminada de códigos AIS, y para explorar la pluralidad de señales de correlación en busca de picos de amplitud que superen picos de amplitud contiguos en una cantidad predeterminada con el fin de identificar una o más señales de mensaje AIS candidatas en base a las señales de correlación; un módulo de procesado configurado para determinar estimaciones de desviación Doppler y estimaciones de tiempo de llegada correspondientes para la una o más señales de mensaje AIS candidatas; un decodificador configurado para decodificar la una o más señales de mensaje AIS candidatas en los datos digitales de entrada para obtener segmentos de mensaje correspondientes; y un módulo de validación configurado para validar los segmentos de mensaje decodificados para formateo AIS apropiado para producir segmentos de mensaje AIS decodificados validados.

Uno de los módulos de procesado puede estar configurado además para generar la pluralidad de señales predefinidas aplicando desviaciones Doppler a una secuencia de códigos AIS predeterminada y para explorar la pluralidad de señales de correlación en busca de picos de amplitud que superen picos de amplitud contiguos en una cantidad predeterminada con el fin de identificar la una o más señales de mensaje AIS candidatas. La secuencia predeterminada de códigos AIS puede incluir al menos una secuencia de entrenamiento de una señal AIS. El sistema puede incluir además un módulo de refinamiento configurado para refinar la una o más señales de mensaje AIS candidatas para obtener un grupo refinado de señales de mensaje AIS candidatas y el módulo decodificador puede estar configurado para realizar decodificación en el grupo refinado de señales de mensaje AIS candidatas y el módulo de refinamiento puede estar configurado para refinar la una o más señales de mensaje AIS candidatas clasificando la una o más señales de mensaje AIS candidatas por su estimación de tiempo de llegada correspondiente; y quitar todas las señales de mensaje AIS candidatas restantes que son solapadas en su lado de tiempo alto por un mensaje AIS candidato más intenso.

El sistema puede incluir además un módulo de refinamiento configurado para refinar la una o más señales de

mensaje AIS candidatas para obtener un grupo refinado de señales de mensaje AIS candidatas y el módulo decodificador puede estar configurado para realizar decodificación en el grupo refinado de señales de mensaje AIS candidatas y el módulo de refinamiento puede estar configurado para refinar la una o más señales de mensaje AIS candidatas determinando si alguna de la una o más señales de mensaje AIS candidatas se repite en una estimación de desviación Doppler diferente; y quitar todas las señales de mensaje AIS candidatas repetidas. El módulo de procesamiento puede estar configurado además para volver a filtrar la una o más señales de mensaje AIS candidatas aplicando filtración de banda estrecha centrada en la estimación de desviación Doppler que corresponde a la una o más señales de mensaje AIS candidatas.

El sistema puede incluir además al menos dos antenas configuradas para recibir la pluralidad de señales AIS, diferenciándose una de otra las al menos dos antenas en al menos una de una manera espacial y de polarización, y uno de los módulos de procesamiento puede estar configurado además para combinar la una o más señales de mensaje AIS candidatas recibidas por una de las antenas con una o más señales de mensaje AIS candidatas correspondientes recibidas por al menos una de las otras antenas empleando un desplazamiento de fase que maximiza la amplitud de la una o más señales de mensaje AIS candidatas combinadas con relación a cualesquiera señales de solapamiento, y el decodificador puede estar configurado para realizar decodificación en la una o más señales de mensaje AIS candidatas combinadas. El sistema puede estar configurado además para descorrelacionar los segmentos de mensaje decodificados validados para obtener datos digitales de entrada modificados, y el módulo de procesamiento puede estar adaptado además para procesar los datos digitales de entrada modificados.

Uno de los módulos de procesamiento puede estar configurado además para determinar una estimación de desviación Doppler y una estimación de tiempo de llegada más exactas para la una o más señales de mensaje AIS candidatas antes de la decodificación. El método puede incluir además el paso de emplear, o el decodificador puede incluir además, un decodificador Viterbi configurado para decodificar señales moduladas GMSK. El sistema puede estar configurado además para asociar al menos un mensaje decodificado con un barco dado, correlacionar los datos digitales de entrada con una pluralidad de señales predefinidas que corresponden a un subconjunto del al menos único mensaje decodificado asociado con el barco dado y determinar si los datos digitales de entrada son un mensaje de señal candidato asociado con el barco.

30 **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 procesamiento AIS incluyendo un satélite LEO y una estación de tierra.

40 La figura 2 es un diagrama de bloques de una realización ejemplar para el satélite LEO y la estación de tierra de la figura 1.

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

45 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.

50 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.

55 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.

Descripción detallada de realizaciones ejemplares

65 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 enviará típicamente 10 informes de posición AIS por minuto, de modo que para 2.000 barcos un satélite LEO recibirá 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 una zona grande 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 2 y 3) y recibe la señal AIS transmitida por el barco 16. El satélite LEO 12 avanza a una velocidad 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 para crear datos digitales de entrada, que posteriormente son procesados por una unidad procesadora (véase las figuras 2 y 3) de modo que las señales AIS detectadas puedan ser decodificadas para extraer el segmento de mensaje que contienen. En algunas realizaciones, el procesado tiene lugar en el satélite LEO 12 y los segmentos de mensaje extraídos son enviados entonces a la estación de tierra 14, como se explicará con referencia a la figura 2. En otras realizaciones, los datos digitales de entrada son enviados a la estación de tierra 14 donde tiene lugar procesado para producir los segmentos de mensaje extraídos, como se explicará con referencia a la figura 3.

En realizaciones alternativas puede haber más de un satélite LEO 12 que recibe y preprocesa, y posiblemente detecta y decodifica, las señales AIS. Además, o alternativamente, se puede usar una o más estaciones de tierra 14 para decodificar las señales AIS preprocesadas. En otra alternativa, el procesado requerido para detección y

5 decodificación se puede separar entre el satélite LEO 12 y la estación de tierra 14; este esquema también se puede ampliar a los casos en los que haya más de un satélite LEO 12 y una estación de tierra 14, un satélite LEO 12 y más de una estación de tierra 14, o más de un satélite LEO 12 y más de una estación de tierra 14. Consiguientemente, en estos casos, se puede transmitir datos entre el (los) satélite(s) LEO y la(s) estación(es) de tierra para procesado de varias formas. 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.

10 Con referencia ahora a la figura 2, en ella se muestra un diagrama de bloques de una realización ejemplar para el satélite LEO 12 y la estación de tierra 14 del sistema de procesado AIS 10. En general, el satélite LEO 12 incluye un receptor 20, una unidad de control 22, una unidad de procesado 24 y una unidad transmisora 26. El receptor 20 incluye un primer canal receptor 28, y un segundo canal receptor 30. El primer canal receptor 28 incluye una primera
15 antena receptora 32, 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 46 a 58. En algunas realizaciones, el segundo canal receptor 30 no se usa, como se describirá con más detalle más adelante. 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
20 suficientemente adecuada. La unidad de procesado 24 incluye un módulo de procesado 60, un módulo de refinamiento 62, un decodificador 64 y un módulo de validación 66. En algunas realizaciones el módulo de refinamiento 62 no se usa, como se describirá con más detalle más adelante. El transmisor 26 incluye generalmente un modulador 68, una unidad transmisora 70 y una antena transmisora 72.

25 El receptor 20 recibe una pluralidad de señales AIS y preprocesa estas señales para obtener datos digitales de entrada. La unidad de procesado 24 procesa los datos digitales de entrada para identificar y decodificar una o más señales de mensaje AIS candidatas. Después de que las señales de mensaje AIS candidatas son decodificadas para determinar segmentos de mensaje contenidos en ellas, estos segmentos de mensaje decodificados son modulados por el modulador 68 y transmitidos mediante la antena transmisora 72 como segmentos de mensaje decodificados
30 transmitidos 74 a la estación de tierra 14.

35 La estación de tierra 14 está equipada con una unidad de control 76, un receptor 78 y una memoria de datos 80, tal como una base de datos almacenada en un medio de almacenamiento adecuado. El receptor 78 incluye una antena receptora 82 y un demodulador 84 para demodular los segmentos de mensaje decodificados 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 segmentos de mensaje decodificados del demodulador 84, almacenar estos segmentos de mensaje decodificados en la memoria de datos 80, y reclamar más tarde los segmentos de mensaje decodificados almacenados. La estación de tierra 14 también puede incluir un transmisor (no representado) para enviar segmentos de mensaje decodificados a las partes interesadas. Por ejemplo, varias organizaciones de
40 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.

45 El receptor 20 incluye dos canales receptores 28 y 30, uno para cada antena receptora 32 y 46. Sin embargo, en algunas realizaciones sólo se usa un canal receptor. Consiguientemente, por razones de sencillez de la explicación, solamente se describirán los componentes de una ruta de recepción. La antena receptora 32 es una antena de frecuencia muy alta (VHF) que está configurada para recibir señales AIS transmitidas por los canales AIS1, AIS2 y USAIS. En realizaciones con dos canales receptores, las antenas receptoras 32 y 46 están polarizadas de manera diferente, para proporcionar una ganancia de procesado adicional para detectar y decodificar señales AIS. Por
50 ejemplo, la antena receptora 32 puede tener una polarización circular derecha, y la antena receptora 46 puede tener una polarización circular izquierda. Típicamente, la antena transmisora usada por el AIS 18 de un barco dado 16 transmite señales AIS con una polarización lineal vertical, lo que implica por lo general que las transmisiones procedentes de posiciones concretas tienen polarizaciones muy bien definidas. En realizaciones con dos canales receptores, esta polarización se manifiesta como desplazamiento de fase entre las señales AIS recibidas por las dos
55 antenas receptoras 32 y 46. Es decir, la señal AIS recibida por el receptor 46 será una versión desfasada de la señal AIS correspondiente recibida por el receptor 32. Este desplazamiento de fase puede proporcionar un mecanismo para distinguir entre señales AIS de solapamiento, 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 las antenas receptoras 32 y 46 y corresponden una con otra tienen por lo general
60 amplitudes similares.

65 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 procesado de señales. Por ejemplo, según la realización ejemplar representada en la figura 2, 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 procede directamente de la cifra de ruido 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 procesado 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. Si se dispone de un ADC suficientemente rápido, con tasas de muestreo superiores a 400 MHz por ejemplo, entonces también se puede omitir la conversión a una frecuencia intermedia y la digitalización puede tener lugar en este punto. Por ejemplo, el ADC 42 puede ser un ADC sigma delta de paso de banda. En este caso, el banco de filtros 44 proporciona conversión descendente para desplazar el contenido de frecuencia de los datos a la banda base como se explica a continuación. Alternativamente, si se usase una mezcladora I y Q, entonces la etapa de mezcla 40 puede proporcionar datos de salida en banda base. En cualquiera de estas realizaciones, la etapa de mezcla 40 también incluye generalmente filtros y amplificadores para proporcionar más filtración y amplificación o puesta en memoria intermedia. Por ejemplo, se emplea filtración en la salida de la etapa de mezcla 40 para eliminar bandas de imagen y fuga de oscilador local. Por ejemplo, la etapa de mezcla 40 puede incluir un filtro IF postmezcladora que puede ser un filtro de tipo LC.

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 de banda estrecha y decimación.

Los datos digitales de entrada son suministrados entonces a la unidad de procesado 24 para detección y decodificación de los segmentos de mensaje AIS. La unidad de procesado 24 puede proporcionar la capacidad de procesado paralelo para reducir potencialmente el tiempo de cálculo, como entienden de ordinario los expertos en la materia. Una vez que la unidad de procesado 24 ha recibido los datos digitales de entrada, los suministra al módulo de procesado 60 para procesado. El módulo de procesado 60 procesa los datos digitales de entrada para identificar una o más señales de mensaje candidatas y determinar una estimación de desviación Doppler correspondiente y la estimación de tiempo para cada señal de mensaje candidata. El módulo de procesado 60 procesa en general los datos digitales de entrada empleando técnicas de correlación. Por ejemplo, el módulo de procesado 60 puede procesar los datos digitales de entrada con una pluralidad de señales predefinidas que corresponden a desviaciones Doppler de una secuencia de códigos AIS predeterminada (por ejemplo, se puede usar una secuencia de inicio de señalizador en un campo de inicio de señalizador 126 representada en la figura 5) para calcular una pluralidad de señales de correlación.

Después de calcular la pluralidad de señales de correlación, el módulo de procesado 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 y tiempo, como se explicará con más detalle más adelante. El módulo de procesado 60 se puede implementar usando un grupo de componentes de procesado, descritos con más detalle más adelante, para calcular las señales de correlación, usando las señales predefinidas que corresponden a desviaciones Doppler de una secuencia predeterminada de códigos AIS, en paralelo para reducir el tiempo de procesado.

En algunas realizaciones, después de identificar una o más señales de mensaje candidatas, el módulo de procesado 60 envía este grupo de señales de mensaje candidatas al módulo de refinamiento 62. El módulo de refinamiento 62 refina el grupo de señales de mensaje candidatas clasificando las señales de mensaje candidatas en este grupo por su estimación de tiempo correspondiente. El módulo de refinamiento 62 puede determinar entonces si algunas de estas señales de mensaje candidatas se repiten en una estimación de desviación Doppler diferente; si es así, el módulo de refinamiento 62 quita todas las señales de mensaje candidatas repetidas del grupo. Finalmente, el módulo de refinamiento 62 quita todas las señales de mensaje candidatas que estén solapadas en su lado de tiempo alto por una señal de mensaje candidata más intensa. Esta operación asegura que no se desperdicie tiempo intentando decodificar señales cuestionables. En este caso, es improbable que una señal pueda ser decodificada si su segmento de mensaje está solapado por una señal igual de intensa o más intensa, independientemente de la desviación Doppler. Las señales de mensaje candidatas restantes incluyen un grupo de señales de mensaje candidatas refinadas que el módulo de refinamiento 62 envía 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.

El decodificador 64 decodifica una o más señales de mensaje candidatas para obtener (o extraer) el segmento de mensaje AIS que contienen. En algunas realizaciones, el decodificador 64 recibe la una o más señales de mensaje candidatas del módulo de procesado 60. En otras realizaciones, el decodificador 64 recibe la única o más señales de mensaje candidatas del módulo de refinamiento 62. En ambos casos, 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 una estimación de desviación Doppler y una estimación de tiempo más exactas para las señales de mensaje candidatas, como se explicará más adelante, independientemente de si las señales de mensaje candidatas han sido refinadas previamente.

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.

5 Los segmentos de mensaje decodificados son suministrados entonces al modulador 68, que modula digitalmente los segmentos de mensaje decodificados 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. Los segmentos de mensaje decodificados modulados digitales son recibidos
10 entonces por la unidad transmisora 70 que incluye circuitería para generar señales analógicas que corresponden a los segmentos decodificados modulados digitales, somete a conversión ascendente estas señales analógicas al rango de frecuencia requerido para transmisión, y amplifica estas señales de modo que tengan la intensidad de señal requerida que sea necesaria para transmisión a la estación de tierra 14. Estas señales son suministradas entonces a la antena transmisora 72 para transmisión a la estación de tierra 14. La antena transmisora 72 en el
15 satélite LEO 12 y la antena receptora 78 en la estación de tierra 14 pueden estar configuradas para operación, por ejemplo, en la banda S o la banda X. En una realización alternativa, la unidad de procesado 24 puede incluir el modulador 68.

Además, dado que se puede considerar que los segmentos de mensaje decodificados incluyen información clasificada que se debe mantener segura, también se puede emplear encriptado antes de la modulación. En estos casos, la unidad de transmisión 26 o la unidad de procesado 24 incluye un módulo de encriptado (no representado) para encriptar los segmentos de mensaje decodificados antes de que el modulador 68 module estos segmentos de mensaje. En este caso, la estación de tierra 14 incluye un módulo de desencriptado correspondiente (no representado) para desencriptar los datos recibidos, después de la demodulación, para recuperar los segmentos de
20 mensaje decodificados originales.

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 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 digitales de entrada hasta que el satélite LEO 12 entre en al FOV de la estación de tierra 14, punto en el que los datos pueden ser enviados.

Con referencia ahora a la figura 3, en ella se representa un diagrama de bloques de una realización alternativa de un satélite LEO 12' y una estación de tierra 14'. Los componentes del sistema general son análogos a los representados en la figura 2. Sin embargo, en esta realización, la estación de tierra 14' incluye una unidad de procesado 24', similar a la unidad de procesado 24, y el satélite LEO 12' no tiene la unidad de procesado 24. En este caso, la unidad de control 22 recibe los datos digitales de entrada del receptor 20, y proporciona estos datos al transmisor 26 que posiblemente encripta, luego modula y transmite estos datos como datos de señal digitalizados transmitidos 74' a la estación de tierra 14'. El receptor 78 de la estación de tierra 14' recibe los datos de señal digitalizados transmitidos 74', y demodula estos datos mediante el demodulador 84 para producir datos digitales de entrada recibidos que son suministrados a la unidad de procesado 24' con el fin de detectar y decodificar señales de mensaje AIS candidatas.

En algunas realizaciones, la unidad de procesado 24' puede ser un grupo de cálculo y puede ser implementado como un sistema de procesado paralelo usando componentes estándar tal como un servidor (local o remoto), una pluralidad de procesadores (por ejemplo procesadores Xeon 5140 2.33 GHz), de núcleo doble, memoria de acceso aleatorio, memoria virtual, varias series redundantes de unidades independientes (incluyendo un sistema de archivos en red), un disco duro, y un sistema operativo de software (por ejemplo Linux). Estos componentes están enlazados por una conexión de red dedicada y 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.

Lo específico del recorrido de enlace descendente no se describe en detalle, puesto que en gran parte depende de las asignaciones de frecuencia obtenidas de las entidades de regulación. Sin embargo, cuando la detección y la decodificación se llevan a cabo en la estación de tierra 14', el sistema 10' puede estar configurado de tal manera que el recorrido de enlace descendente acomode una transmisión de tasa de datos de alrededor de 3 Mbps. De otro modo, los componentes del satélite LEO 12' y la estación de tierra 14' operan de forma análoga a los componentes del satélite LEO 12 y la estación de tierra 14.

Se deberá indicar que las unidades de control 22 y 76 y las unidades de procesado 24 y 24' se pueden implementar usando un procesador. Además, en algunas realizaciones, la unidad de control 22 y la unidad de procesado 24 se pueden implementar con el mismo procesador. Igualmente, en algunas realizaciones, la unidad de control 76 y la unidad de procesado 24' se pueden implementar con el mismo procesador. Además, en algunas realizaciones, el transmisor 26 y el receptor 78 también pueden emplear un procesador. Además, se deberá indicar que las varias realizaciones del LEO 12 y 12' y la estación de tierra 14 y 14' emplean generalmente una combinación de hardware y software. Por ejemplo, los componentes de la unidad de procesado 24 y 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 realizando la misma funcionalidad.

Además, aunque las realizaciones representadas en las figuras 2 y 3 ilustran dos configuraciones de sistema concretas, los expertos en la técnica deberán entender que se puede emplear otras muchas configuraciones de sistema. Por ejemplo, algunos componentes de la unidad de procesado pueden ser implementados en un satélite LEO, tal como el módulo de procesado, mientras que otros componentes, tal como el decodificador o el módulo de validación, pueden ser implementados en una estación de tierra.

Con referencia ahora a la figura 4, en ella se representa un diagrama de flujo de una realización ejemplar de un método 100 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, y mezcla, por ejemplo. En el paso 104, los datos digitales de entrada son procesados para identificar una o más señales de mensaje candidatas, junto con una estimación de desviación Doppler y estimación de tiempo correspondientes para cada señal de mensaje candidata. La estimación de tiempo es el tiempo de llegada de la señal AIS en cuestión en el satélite LEO 12. Se puede considerar la posición de tiempo de algún marcador particular dentro de la señal, por ejemplo el inicio de una secuencia de entrenamiento. El acercamiento subyacente a procesar los datos digitales de entrada es basarse en el hecho de que las señales AIS contienen secuencias de código predeterminadas como se representa en la figura 5.

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 señalizador de inicio 126 es una secuencia de códigos AIS predeterminada que es usada generalmente por varias realizaciones aquí descritas para procesar los datos digitales de entrada con el fin de identificar una o más señales de mensaje candidatas, como se explicará. 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. 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.

Con referencia de nuevo a la figura 4, en el paso 104, los datos digitales de entrada 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 procesado en este método ejemplar 100 usará 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. Por lo general, el paso 104 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 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 de los datos digitales de entrada. 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 una estimación de su desviación Doppler que será la desviación Doppler asociada con la señal predefinida que se utilizó en la correlación. Otros detalles acerca de una implementación ejemplar del procesado en el paso 104 se explican más tarde en relación a la figura 7.

El método 100 puede decodificar entonces las señales de mensaje candidatas identificadas en el paso 108 para extraer los segmentos de mensaje que contengan. Opcionalmente, el método 100 puede incluir el paso 106 en el que los mensajes de señal candidatos identificados en el paso 104 son 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 refinamiento se describe en relación a la figura 8. El acercamiento subyacente

al paso de refinamiento es que generalmente se identificará gran número de señales de mensaje candidatas en el paso 104, pero debido a las señales de solapamiento, puede ser difícil decodificar las señales de mensaje candidatas. Por lo tanto, para eficiencia computacional, el refinamiento puede ser realizado para quitar y/o sustituir señales de mensaje candidatas repetidas y solapadas de modo que la decodificación se lleve a cabo en un grupo más pequeño de señales de mensaje candidatas.

En el paso 108, 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 una estimación de desviación Doppler y una estimación de tiempo más precisas 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 y la desviación Doppler 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 de tiempo y desviación Doppler de las señales predefinidas se ajustan entonces ligeramente para maximizar la integral de solapamiento con respecto a la señal de mensaje candidata, usándose la estimación de la desviación Doppler inicial y la estimación de tiempo como un punto de inicio. Los valores resultantes del ajuste fino representan típicamente las mejores estimaciones alcanzables del tiempo, la fase y desviación Doppler, es decir, una desviación Doppler, tiempo y fase exactos para la señal de mensaje candidata identificada. Maximizar la integral de solapamiento implica maximizar una función de dos 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 avanza en el tiempo, 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.

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. 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: $0, \pi/2, \pi, \text{ y } 3\pi/2$. 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 $0, \pi/2, \pi, 3\pi/2$).

5 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 precedente, el bit siguiente, y los cuatro estados de fase posibles (es decir $0, \pi/2, \pi, \text{ y } 3\pi/2$) 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.

20 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 bastante 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. 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).

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:

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

45 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.

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

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

55 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

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

5 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.

10 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:

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

15 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 período de bit, que en este caso es 1/9600 s.

20 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.

30 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.

35 En el paso 110, las señales de mensaje candidatas decodificadas se validan para asegurar que tienen un formato 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 decodificados que pasan este paso de validación pueden ser añadidos a una lista de segmentos de mensaje decodificados validados y almacenados en el paso 104. 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 104, 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.

45 Una extensión opcional del método 100 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 110. El método 100 puede volver entonces al paso 104 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.

55 Otra extensión opcional de este método 100 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

- 5 paso 104. 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.
- 10 Con referencia ahora a la figura 6, en ella se representa un diagrama de flujo de otra realización ejemplar de un método 150 para detectar y decodificar señales de mensaje AIS. El método 150 es similar al método 100. Sin embargo, el método 150 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 tienen diferentes polarizaciones (es decir, señales AIS recibidas por antenas
- 15 receptoras 32 y 46), se combinan 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.

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 104. 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

- 20 mensaje AIS candidatas pueden ser solapadas por otra señal de mensaje.

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 refinamiento 106.

- 30 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 refinamiento 106.
- 35 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
- 40 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 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
- 45 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.

Con referencia ahora a la figura 7, se ilustra con más detalle una implementación 104' del paso de procesado 104. 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 concreta. El número de señales predefinidas se elige de modo que siempre haya una señal predefinida con un desplazamiento Doppler que esté suficientemente cerca del de cualquier señal AIS recibida posible de modo que el pico de correlación pueda ser detectado con una pérdida de amplitud mínima. 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 104, como se explicará mejor en relación a las

50

55

60

65

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). Los picos de correlación en una señal de correlación identifican 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.

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 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 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.

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:

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

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.

5 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).

20 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.

25 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.

45 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. 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 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 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.

60 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 de la señal predefinida proporcionan una estimación de la desviación Doppler 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:

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

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:

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

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.

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.

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 ($w_i > 0$):

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

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:

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

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 106' del paso de refinamiento 106. En el paso 170, todas las señales de mensaje AIS candidatas detectadas (para todas las desviaciones Doppler) 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. 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.

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. 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 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 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

1. Un método (100, 150) para producir segmentos de mensaje de Sistema de Identificación Automática (AIS) decodificados validados a partir de una pluralidad de señales AIS donde una pluralidad de señales AIS son recibidas (102) en uno o más satélites (12, 12') en el espacio y preprocesadas (102) para producir datos digitales de entrada correspondientes a la pluralidad de señales AIS recibidas, incluyendo el método:
- 5 procesar (104, 104') los datos digitales de entrada correlacionando los datos digitales de entrada con una pluralidad de señales predefinidas que tienen diferentes desviaciones Doppler para calcular una pluralidad de señales de correlación correspondientes, donde la pluralidad de señales predefinidas son generadas aplicando desviaciones Doppler a una secuencia predeterminada de códigos AIS, y explorando la pluralidad de señales de correlación en busca de picos de amplitud que superen picos de amplitud contiguos en una cantidad predeterminada con el fin de identificar una o más señales de mensaje AIS candidatas en base a las señales de correlación;
- 10 determinar (104, 104') estimaciones de desviación Doppler y estimaciones de tiempo de llegada para la una o más señales de mensaje AIS candidatas;
- 15 decodificar (108) la una o más señales de mensaje AIS candidatas en los datos digitales de entrada para obtener segmentos de mensaje correspondientes; y
- 20 validar (110) los segmentos de mensaje decodificados para formateo AIS apropiado para producir segmentos de mensaje AIS decodificados validados.
2. El método de la reivindicación 1, donde, antes de decodificar la una o más señales de mensaje AIS candidatas en los datos digitales de entrada, el método incluye además refinar (106, 106') el grupo de una o más señales de mensaje AIS candidatas para obtener un grupo refinado de señales de mensaje AIS candidatas y realizar la decodificación (108) en el grupo refinado de señales de mensaje AIS candidatas, y donde refinar las señales de mensaje candidatas incluye:
- 25 determinar si alguna de la una o más señales de mensaje AIS candidatas se repite en una estimación de desviación Doppler diferente; y
- 30 quitar (172) todas las señales de mensaje AIS candidatas repetidas.
3. El método de la reivindicación 1, donde antes de decodificar la una o más señales de mensaje AIS candidatas en los datos digitales de entrada, el método incluye además refinar (106, 106') el grupo de una o más señales de mensaje AIS candidatas para obtener un grupo refinado de señales de mensaje AIS candidatas y realizar la decodificación (108) en el grupo refinado de señales de mensaje AIS candidatas, y donde refinar las señales de mensaje candidatas incluye:
- 35 clasificar (170) la una o más señales de mensaje AIS candidatas por sus estimaciones de tiempo de llegada correspondientes; y
- 40 quitar (174) todas las señales de mensaje AIS candidatas restantes que sean solapadas en su lado de tiempo alto por una señal de mensaje AIS candidata más intensa.
4. El método de la reivindicación 1, donde antes de decodificar (108) el método incluye además volver a filtrar la una o más señales de mensaje AIS candidatas aplicando filtración de banda estrecha centrada en la estimación de desviación Doppler que corresponde a la una o más señales de mensaje AIS candidatas.
5. El método de la reivindicación 1, donde el método incluye además emplear al menos dos antenas configuradas para recibir la pluralidad de señales AIS, diferenciándose una de otra las al menos dos antenas en al menos una de una manera espacial y de polarización, y antes del paso de decodificación el método incluye además combinar (152) la una o más señales de mensaje AIS candidatas recibidas por una de las antenas con una o más señales de mensaje AIS candidatas correspondientes recibidas por al menos una de las otras antenas empleando un desplazamiento de fase que maximiza la amplitud de la una o más señales de mensaje AIS candidatas combinadas con relación a cualesquiera señales de solapamiento, y realizar decodificación en la una o más señales de mensaje AIS candidatas combinadas.
6. El método de la reivindicación 1, donde el método incluye además descorrelacionar los segmentos de mensaje decodificados validados para obtener datos digitales de entrada modificados, y realizar los pasos de procesado, determinación y decodificación en los datos digitales de entrada modificados.
7. El método de la reivindicación 1, donde antes de la decodificación, el método incluye determinar una estimación de desviación Doppler y una estimación de tiempo de llegada más exactas para la una o más señales de mensaje candidatas.
- 65

8. El método de la reivindicación 1, donde al menos un segmento de mensaje decodificado es asociado con un barco dado, y después de la decodificación, el método vuelve al paso de procesado que incluye además:
- 5 correlacionar los datos digitales de entrada con una pluralidad de señales predefinidas que corresponden a un subconjunto del al menos único segmento de mensaje decodificado asociado con el barco dado; y
- determinar si los datos digitales de entrada son una señal de mensaje AIS candidata asociada con el barco dado.
- 10 9. Un sistema (10, 10') para producir segmentos de mensaje de Sistema de Identificación Automática (AIS) decodificados validados a partir de una pluralidad de señales AIS donde una pluralidad de señales AIS son recibidas (102) en uno o más satélites (12, 12') en el espacio y preprocesadas (102) para producir datos digitales de entrada correspondientes a la pluralidad de señales AIS recibidas, incluyendo el sistema:
- 15 un módulo de procesado configurado para procesar (104, 104') los datos digitales de entrada correlacionando los datos digitales de entrada con una pluralidad de señales predefinidas que tienen diferentes desviaciones Doppler para calcular una pluralidad de señales de correlación correspondientes, donde el módulo de procesado está configurado además para generar la pluralidad de señales predefinidas aplicando desviaciones Doppler a una secuencia predeterminada de códigos AIS, y para explorar la pluralidad de señales de correlación en busca de picos
- 20 de amplitud que superen picos de amplitud contiguos en una cantidad predeterminada con el fin de identificar una o más señales de mensaje AIS candidatas en base a las señales de correlación,
- un módulo de procesado configurado para determinar (104, 104') estimaciones de desviación Doppler y estimaciones de tiempo de llegada correspondientes para la una o más señales de mensaje AIS candidatas;
- 25 un decodificador configurado para decodificar (108) la una o más señales de mensaje AIS candidatas en los datos digitales de entrada para obtener segmentos de mensaje correspondientes; y
- un módulo de validación configurado para validar (110) los segmentos de mensaje decodificados para formateo AIS apropiado para producir segmentos de mensaje AIS decodificados validados.
- 30 10. El método de la reivindicación 1 o el sistema de la reivindicación 9, donde la secuencia predeterminada de códigos AIS incluye al menos una secuencia de entrenamiento de una señal AIS.
- 35 11. El sistema de la reivindicación 9, donde el sistema incluye además un módulo de refinamiento configurado para refinar (106, 106') la una o más señales de mensaje AIS candidatas para obtener un grupo refinado de señales de mensaje AIS candidatas y donde el módulo decodificador está configurado para realizar decodificación (108) en el grupo refinado de señales de mensaje AIS candidatas y donde el módulo de refinamiento está configurado para refinar la una o más señales de mensaje AIS candidatas clasificando (170) la una o más señales de mensaje AIS
- 40 candidatas por su estimación de tiempo de llegada correspondiente; y quitar (174) todas las señales de mensaje AIS candidatas restantes que sean solapadas en su lado de tiempo alto por un mensaje AIS candidato más intenso.
12. El sistema de la reivindicación 9, donde el sistema incluye además un módulo de refinamiento configurado para refinar (106, 106') la una o más señales de mensaje AIS candidatas para obtener un grupo refinado de señales de
- 45 mensaje AIS candidatas y donde el módulo decodificador está configurado para realizar decodificación (108) en el grupo refinado de señales de mensaje AIS candidatas y donde el módulo de refinamiento está configurado para refinar la una o más señales de mensaje AIS candidatas determinando si alguna de la una o más señales de mensaje AIS candidatas se repite en una estimación de desviación Doppler diferente; y quitar (172) todas las
- 50 señales de mensaje AIS candidatas repetidas.
13. El sistema de la reivindicación 9, donde el módulo de procesado está configurado además para volver a filtrar la una o más señales de mensaje AIS candidatas aplicando filtración de banda estrecha centrada en la estimación de desviación Doppler que corresponde a la una o más señales de mensaje AIS candidatas.
- 55 14. El sistema de la reivindicación 9, donde el sistema incluye además al menos dos antenas configuradas para recibir la pluralidad de señales AIS, diferenciándose una de otra las al menos dos antenas en al menos una de una manera espacial y de polarización, y donde uno de los módulos de procesado está configurado además para combinar (152) la una o más señales de mensaje AIS candidatas recibidas por una de las antenas con una o más
- 60 señales de mensaje AIS candidatas correspondientes recibidas por al menos una de las otras antenas empleando un desplazamiento de fase que maximiza la amplitud de la una o más señales de mensaje AIS candidatas combinadas con relación a cualesquiera señales de solapamiento, y donde el decodificador está configurado para realizar decodificación en la una o más señales de mensaje AIS candidatas combinadas.
15. El sistema de la reivindicación 9, donde el sistema está configurado además para descorrelacionar los
- 65 segmentos de mensaje decodificados validados para obtener datos digitales de entrada modificados, y donde el módulo de procesado está adaptado además para procesar los datos digitales de entrada modificados.

- 5 16. El sistema de la reivindicación 9, donde uno de los módulos de procesado está configurado además para determinar una estimación de desviación Doppler y una estimación de tiempo de llegada más exactas para la una o más señales de mensaje AIS candidatas antes de la decodificación.
17. El método de la reivindicación 7 o el sistema de la reivindicación 16, donde el método incluye además el paso de emplear, o el decodificador incluye además, un decodificador Viterbi configurado para decodificar señales moduladas GMSK.
- 10 18. El sistema de la reivindicación 9, donde el sistema está configurado además para asociar al menos un mensaje decodificado con un barco dado, correlacionar los datos digitales de entrada con una pluralidad de señales predefinidas que corresponden a un subconjunto del al menos único mensaje decodificado asociado con el barco dado y determinar si los datos digitales de entrada son un mensaje de señal candidato asociado con el barco.
- 15

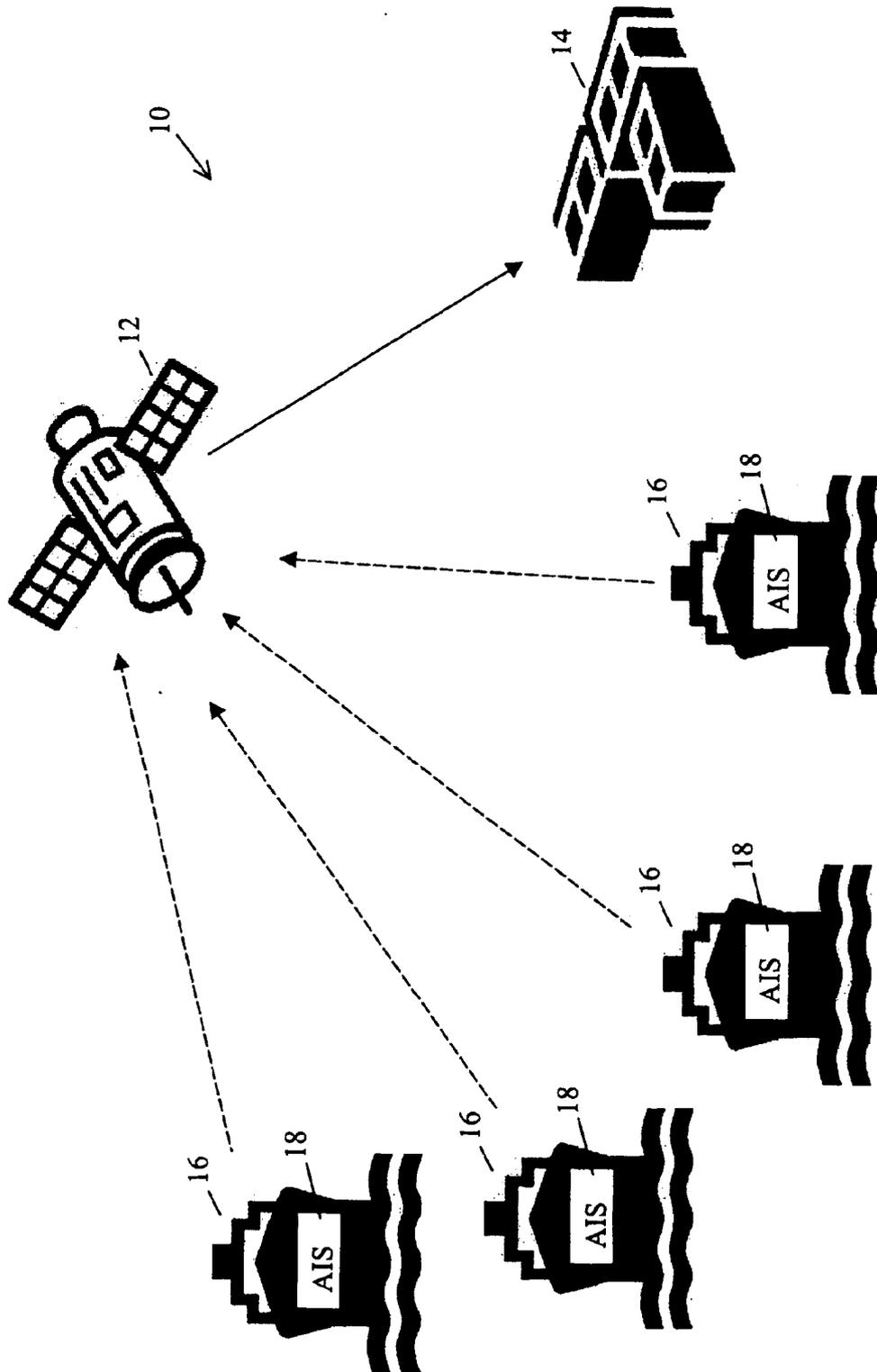


FIGURA 1

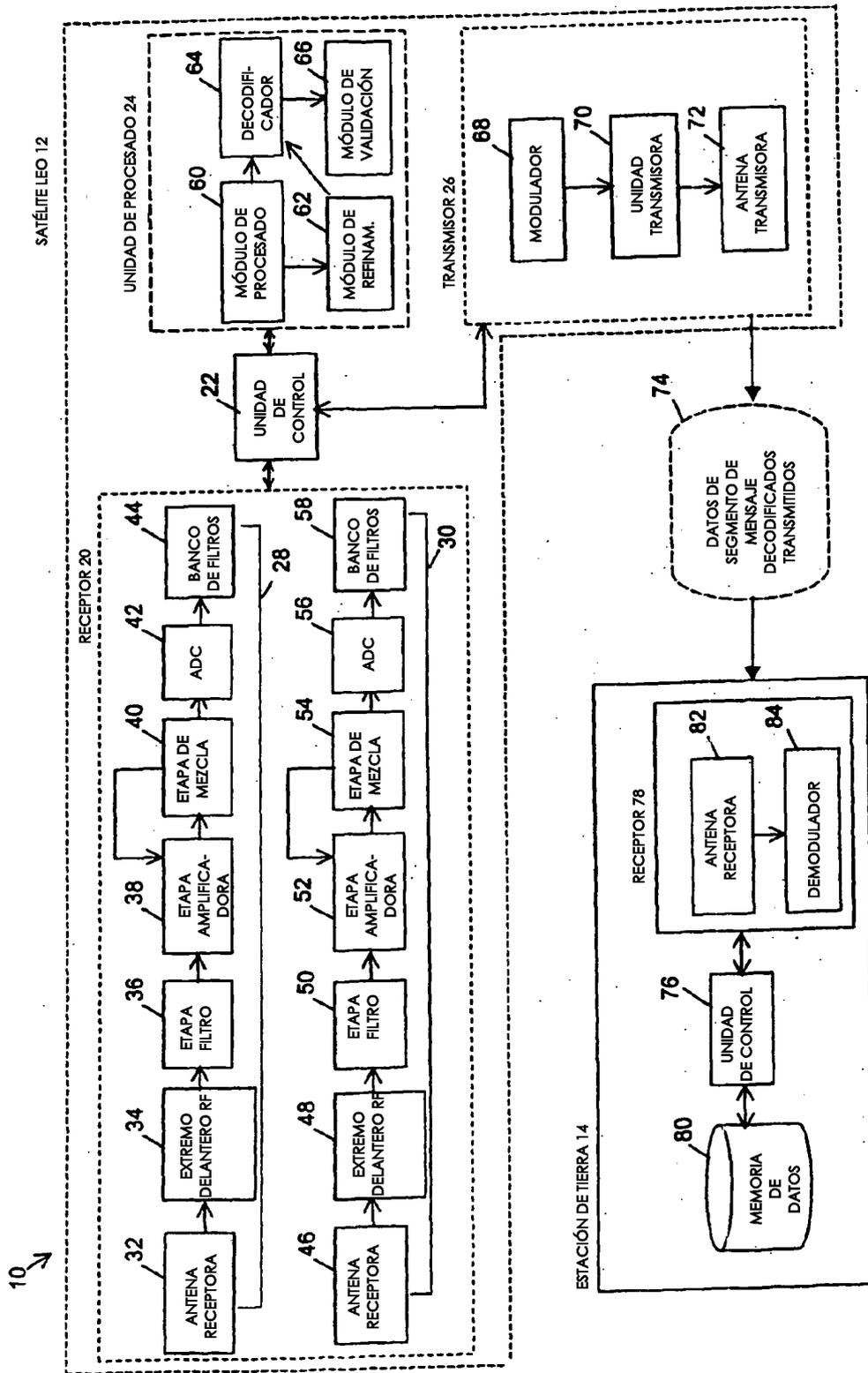


FIGURA 2

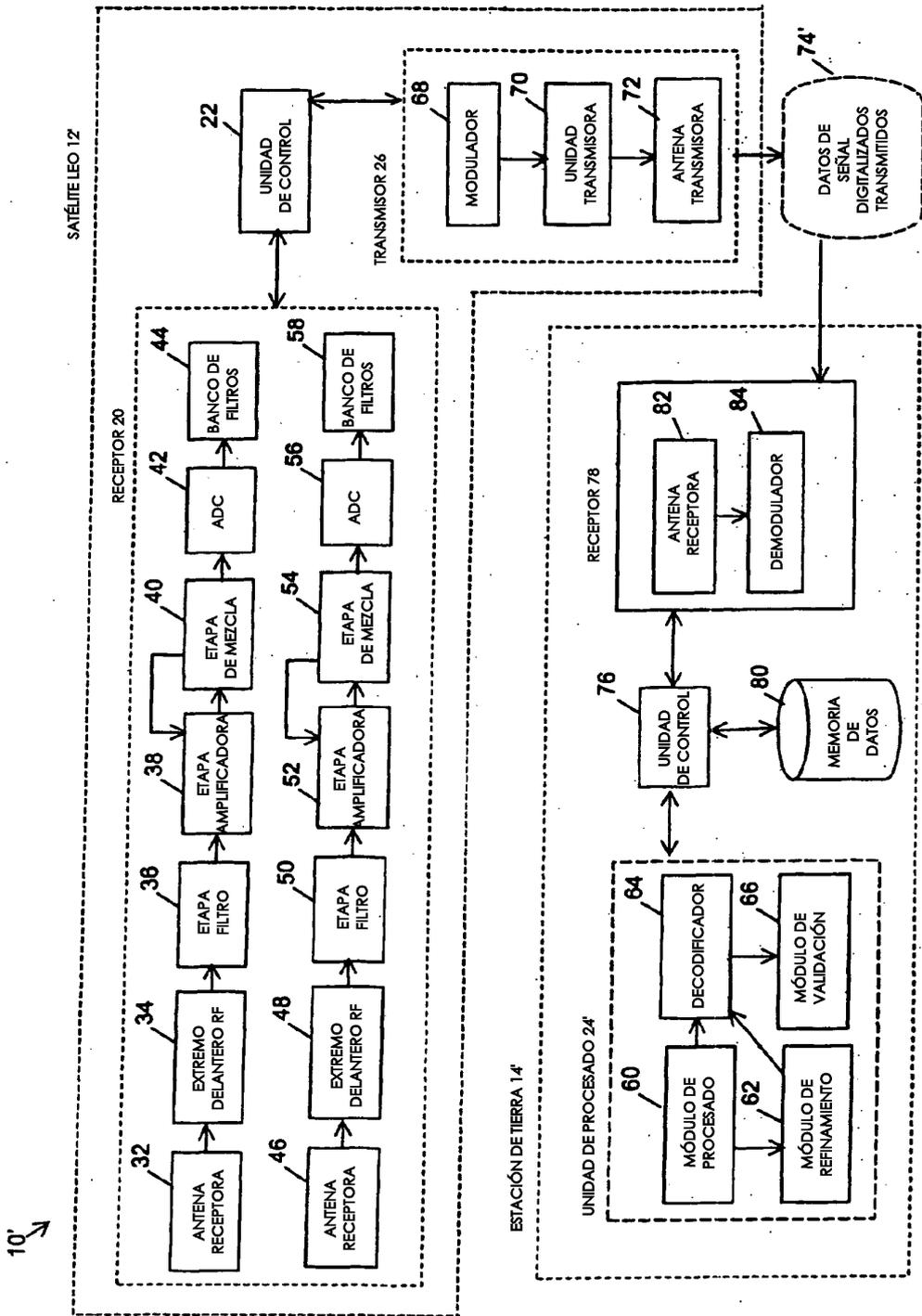


FIGURA 3

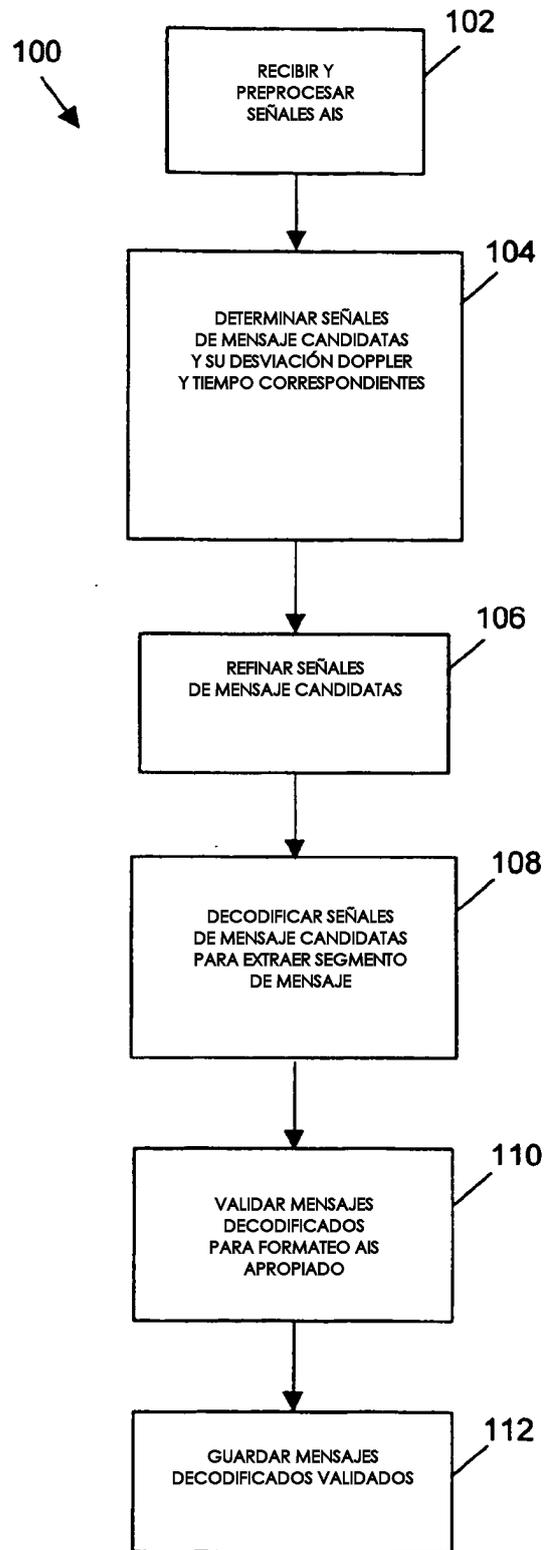


FIGURA 4

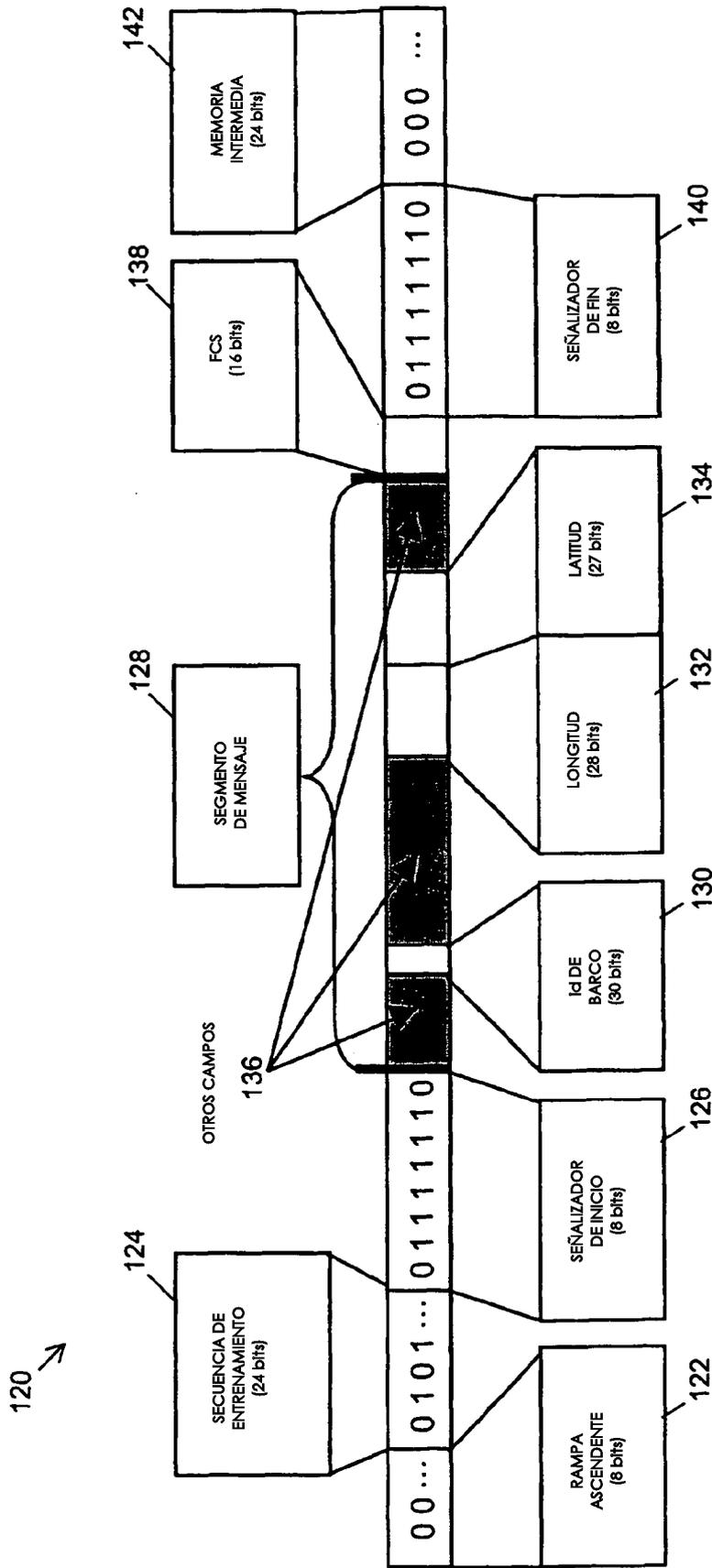
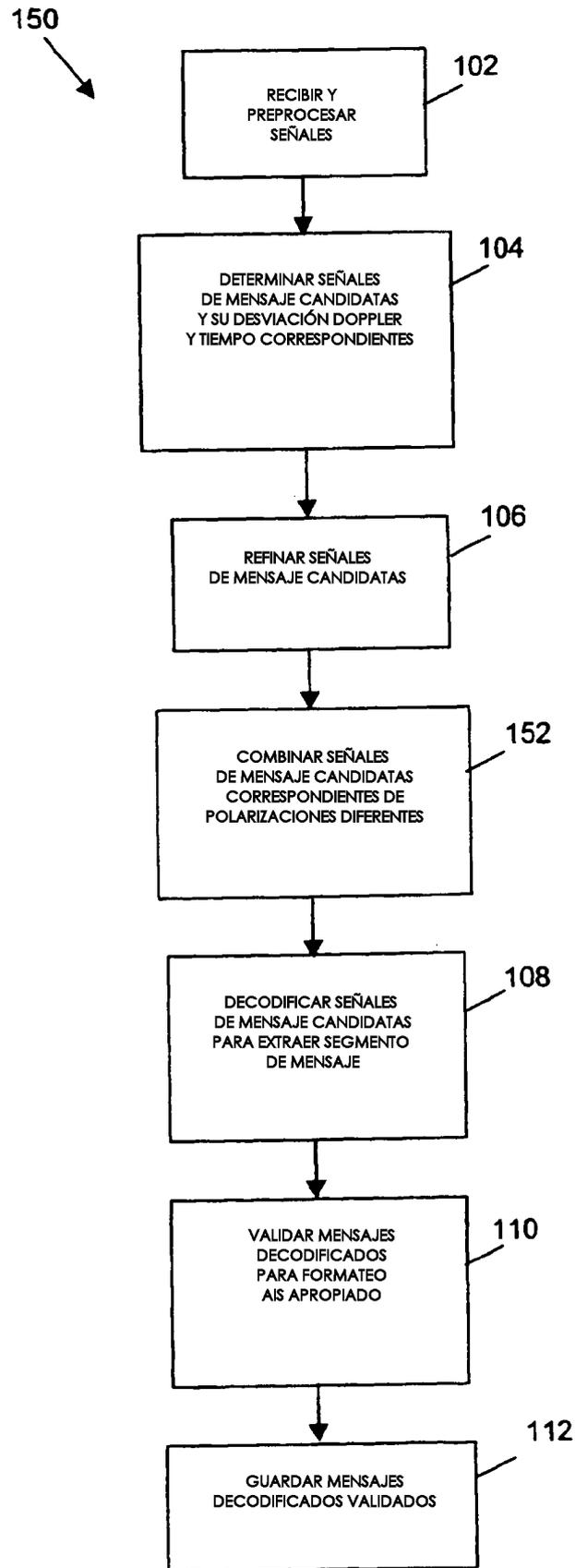


FIGURA 5



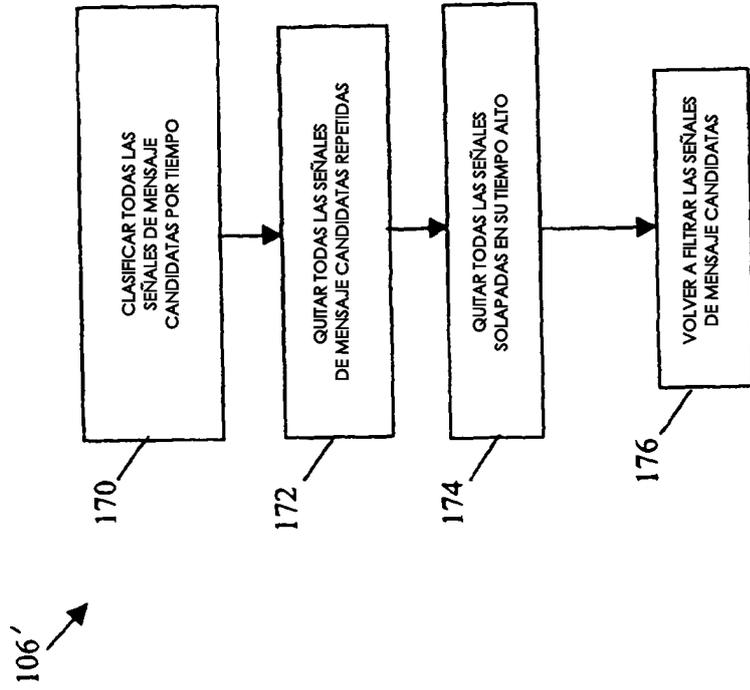


FIGURA 8

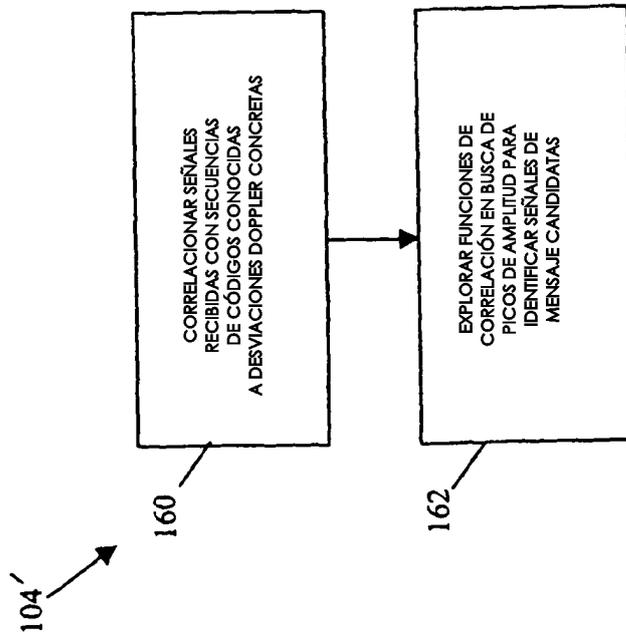


FIGURA 7

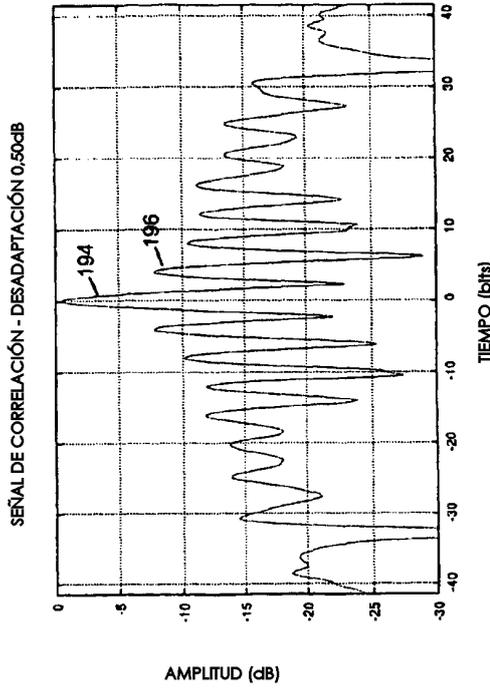


FIGURA 9b

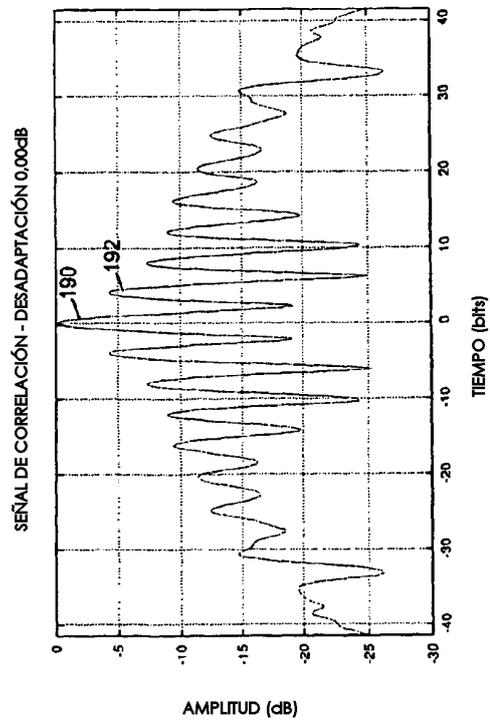


FIGURA 9a

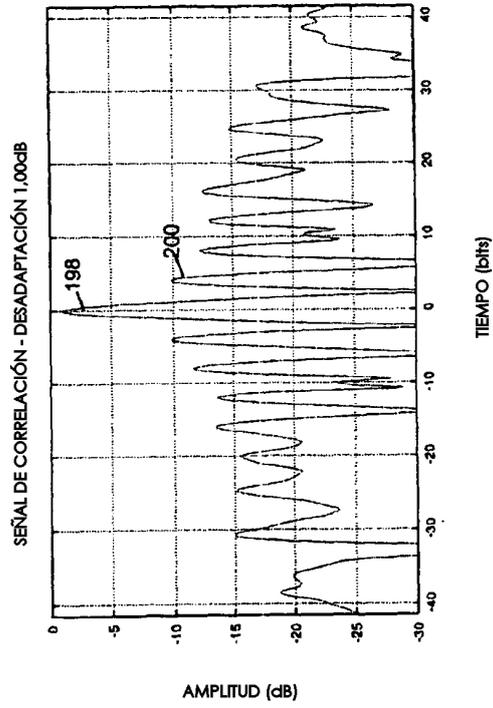


FIGURA 9c

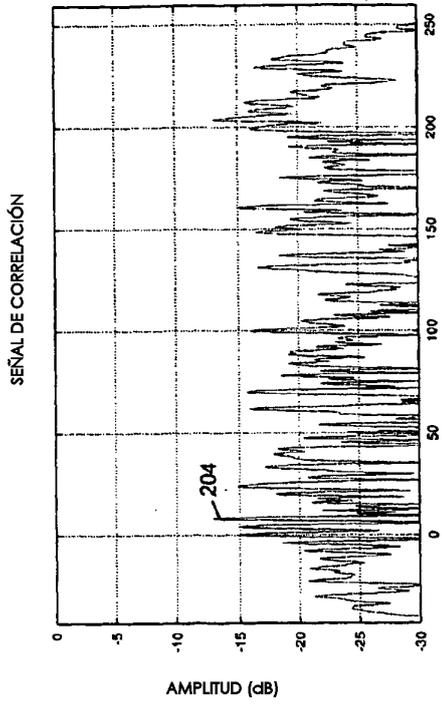


FIGURA 10a

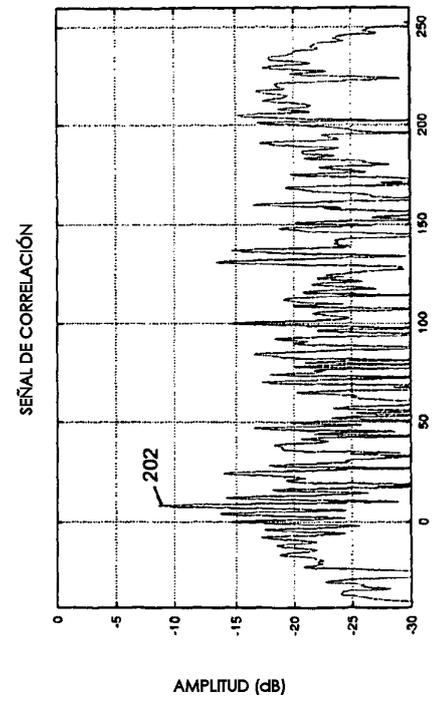


FIGURA 10b

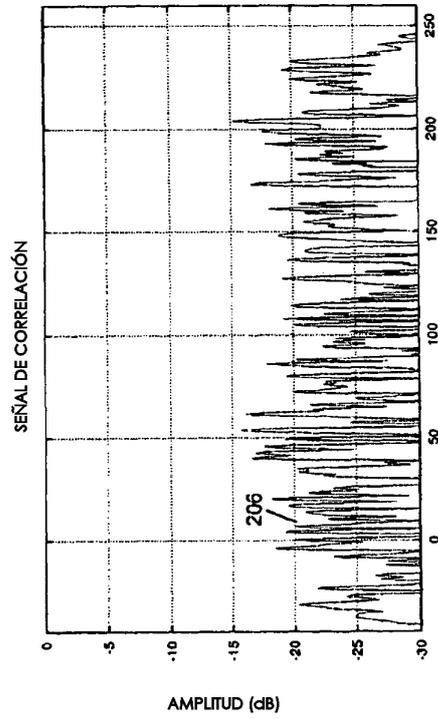


FIGURA 10c