

INFORME UIT-R M.921-3

Ejemplos básicos de diseño de estaciones terrenas digitales de barco

(1982-1986-1990-2004)

1 Introducción

En este Informe se examinan diversos aspectos técnicos relativos a las características de los sistemas y canales de comunicaciones para normas de estaciones terrenas digitales de barco y en particular el compromiso entre los requerimientos del sistema para una utilización eficaz de la capacidad del segmento espacial y las necesidades del usuario de un equipo de a bordo compacto y de tamaño reducido.

El sistema inicial de comunicaciones marítimas por satélite estaba concebido para funcionar con estaciones terrenas de barco con un factor G/T de $-4 \text{ dB(K}^{-1}\text{)}$. Se daba por supuesto que las normas de estaciones terrenas digitales de barco que se establecieran posteriormente se caracterizarían por valores similares o menores de la relación G/T y tal vez por menores tamaños de antena, como se resume en el Cuadro 1 para el caso del sistema INMARSAT.

CUADRO 1

**Resumen de las características de estaciones terrenas de barco del sistema
INMARSAT que se consideran en este Informe**

Norma de la estación terrena de barco	Ganancia de antena (dBi)	G/T (dB(K⁻¹))	Capacidades del sistema
A	21-24	-4	La gama completa de correspondencia pública
B	21	-4	La gama de correspondencia pública y comunicaciones de transmisión de datos
M	12-15	-13 a -10	La gama completa de correspondencia pública y comunicaciones digitales de transmisión de datos
C	2	-23	Mensaje de datos a baja velocidad

En el sentido costera-barco, para el mismo tipo de modulación, debería ser posible proporcionar la misma calidad de canal, en una estación terrena de barco de baja relación G/T , que la obtenida con un terminal cuyo factor G/T sea de $-4 \text{ dB(K}^{-1}\text{)}$, aumentando la p.i.r.e. por canal en el satélite. Sin embargo, este enfoque reduciría la capacidad de canales del sistema, puesto que los sistemas de comunicaciones marítimas por satélite del Cuadro 1 estaban limitados en potencia.

En el sentido barco-costera podría obtenerse la misma calidad de canal aumentando la potencia de una estación terrena de barco de baja relación G/T , pero esto podría crear un peligro de radiación y la posibilidad de una interferencia mayor a otros satélites marítimos.

En consecuencia, era necesario estudiar técnicas de modulación y de codificación más eficaces que puedan proporcionar canales para los valores más pequeños posibles de la relación portadora/densidad de ruido (C/N_0).

Se previeron los conceptos, denominados en el Cuadro 1 Norma B y Norma C, para proporcionar capacidades de transmisión y recepción basadas en técnicas de codificación y modulación digital, en tanto que la Norma A utiliza la modulación analógica MF para telefonía. En ambos casos, se previó un nuevo sistema de señalización y control de acceso diferente del sistema existente en aquel momento y con otras características de canal que se esperaba proporcionasen una capacidad y eficacia de señalización mejoradas. En el sistema de la Norma B, la asignación por demanda de canales se basaba en enlaces MDT de ida que podían utilizarse para el control de acceso centralizado o distribuido dentro de cada red. Tales enlaces, acompañados por canales de señalización de petición (acceso aleatorio) y respuesta (AMDT) de estación terrena de barco, permiten también la aplicación de control de potencia adaptativo y de procedimientos de identificación de haces puntuales de satélite. En el sistema de la Norma C, la información de comunicaciones y de señalización se combinaba en enlaces de acceso aleatorio MDT de ida y de retorno, utilizando técnicas ARQ.

En el Anexo 1 se describe una estación terrena digital de barco similar a la de la Norma B, con valores de la relación G/T de $-10 \text{ dB(K}^{-1}\text{)}$ y $-4 \text{ dB(K}^{-1}\text{)}$. En el Anexo 2 se describe la calidad de funcionamiento de una estación terrena de barco de baja relación G/T ($G/T = -13 \text{ dB(K}^{-1}\text{)}$) con un canal vocoder de 2 400 bit/s. En el Anexo 3 se examina el concepto de sistema de llamada de grupo mejorada. El Anexo 4 contiene los resultados experimentales obtenidos con corrección de errores sin canal de retorno (FEC) como técnica de compensación del desvanecimiento multitrayecto.

En el Anexo 5 se describe con más detalle el sistema de Norma C propuesto por Inmarsat.

2 Fundamento del diseño de sistemas digitales

2.1 Concepto de sistema y aspectos de aplicación

Se suponía que la futura introducción del sistema de Norma B iba a constituir un modo de proporcionar un sucesor a las estaciones terrenas de barco de la Norma A de Inmarsat para la gama completa de servicios de correspondencia pública, incluyendo los siguientes:

- telefonía basada en modulación digital, codificación y técnicas de procesamiento de la voz comprendiendo datos en banda vocal;
- datos para servicios a baja velocidad (hasta 9,6 kbit/s aproximadamente) comprendiendo telegrafía, teletex y facsímil.

El sistema de señalización y el plan de numeración adoptado para las estaciones terrenas de barco permitirían la interconexión en las estaciones costeras entre los canales de satélite y las redes terrenales apropiadas para telefonía, télex y datos, incluida capacidad para trabajar con la red digital de servicios integrados (RDSI).

Además de los servicios básicos anteriores, se suponía también que el sistema de la Norma B iba a continuar proporcionando otras capacidades disponibles con la Norma A, tales como la alerta de socorro por telefonía y télex, datos a gran velocidad a 56 kbit/s, en la dirección barco-costera y funcionamiento multicanal y una gama de servicios de datos a velocidades de 16 kbit/s y superiores.

Se esperaba que la telefonía continuase siendo el servicio principal en cuanto a utilización del segmento espacial. La introducción de técnicas digitales brindaría la oportunidad de efectuar economías en la potencia y anchura de banda del satélite o reducir las exigencias de estaciones terrenas de barco en cuanto a G/T y p.i.r.e. o una combinación de ambas.

A fin de mantener la calidad subjetiva del canal telefónico proporcionada normalmente por la Norma A (véase la Recomendación UIT-R M.547), se suponía que un objetivo de diseño para la Norma B sería el proporcionar telefonía de gran calidad en condiciones nominales equivalentes (subjetivamente) al menos al sistema MF con compresión-expansión de la Norma A, con una

calidad telefónica aceptable en condiciones de propagación adversas para pequeños ángulos de elevación del satélite. Además se suponía que la p.i.r.e. del satélite necesaria para alcanzar estos objetivos, sería comparable a la requerida por la Norma A. Aplicando activación por la voz y control de potencia en los enlaces de ida, la p.i.r.e. media de satélite por canal se reduciría todavía a un valor menor que el necesario para la Norma A.

La realización digital del equipo de estación terrena de barco posibilitaría una amplia variedad de transmisión de datos.

2.2 Técnicas de codificación vocal

Las técnicas de modulación digital y codificación vocal pueden proporcionar la calidad vocal requerida con mayor eficacia que la modulación analógica. La aplicación de métodos eficaces de codificación vocal digital, permitiría reducir la necesidad de anchura de banda, que, acompañada de corrección de errores sin canal de retorno (FEC), reduciría también el valor de la relación portadora/densidad de ruido (C/N_0) que condiciona la exigencia de potencia del satélite en el sentido costera-barco que es el enlace más limitado en potencia del sistema. Estas técnicas permitirían también hacer mínimas las exigencias de p.i.r.e. de la estación terrena de barco en el sentido barco-costera. Se suponía que la continua evolución de la tecnología de circuitos LSI permitiría poder realizar las técnicas digitales necesarias de un modo rentable.

Al comparar entre sí las técnicas de codificación vocal disponibles, se llega a la conclusión de que podían conseguirse los objetivos de calidad vocal requeridos con una velocidad de codificación digital de 16 kbit/s y una proporción de bits erróneos (BER) del orden del 10^{-2} a 10^{-3} , utilizando la codificación adaptativa-predictiva (CPA) o la codificación por subbandas (CSB) como método de codificación vocal. Esto proporcionaría asimismo la oportunidad de conseguir una reducción en la separación de canales de 20 a 25 kHz, dependiendo de la modulación y de la técnica de codificación FEC adoptada.

La información disponible en aquel momento indicaba que la calidad vocal subjetiva obtenida con técnicas de vocoder de baja velocidad no era aún suficiente para los objetivos de calidad deseados y que se necesitaban estudios y desarrollos ulteriores en esta materia. Sin embargo estos sistemas ponen de manifiesto una posibilidad útil para reducir las exigencias de potencia del satélite y anchura de banda para velocidades de codificación del orden de 9,6 kbit/s o inferiores, por lo que podrían aplicarse a servicios marítimos de comunicaciones por satélite y quizá a otros sistemas de comunicaciones móviles por satélite. Por ejemplo, podría aplicarse CPA a 9,6 kbit/s a la variante de -10 dB(K^{-1}) del sistema de Norma B, que se creía que permitiría una calidad vocal aceptable para la correspondencia pública.

2.3 Técnicas de modulación

Se tendrán en cuenta las diversas técnicas de modulación digital que pueden aplicarse a la Norma B y compararán las características de calidad de BER resultantes, la eficacia de utilización de la anchura de banda y la complejidad de realización práctica.

Para las transmisiones en el sentido costera-barco la modulación MDP-4 podría ser una técnica de modulación eficaz, si bien a causa de sus características de amplitud variable, sería necesario utilizar un amplificador lineal (Clase A) en la estación terrena costera de barco para las transmisiones barco-costera. Sin embargo la modulación MDP-4 descentrada, que presenta menores variaciones de amplitud, sería compatible con los amplificadores existentes (Clase C) y podría utilizarse con degradaciones de escasa importancia en la eficacia espectral y calidad de funcionamiento en BER.

2.4 Técnicas FEC

La aplicación de la técnica FEC a los canales digitales para transmisiones vocales hacia y desde estaciones terrenas de barco, permitiría reducir sustancialmente el valor de la relación C/N_0 requerido para cumplir el criterio de BER derivado del objetivo de calidad de la señal vocal, con independencia de la técnica de codificación vocal adoptada.

La Fig. 1 muestra el requisito de C/N_0 , para canales MDP-2 y MDP-4 y diversas velocidades binarias, con FEC y sin ella. Para aplicaciones prácticas deben aumentarse en 1 ó 2 dB los márgenes de realización, si bien desarrollos posteriores sugieren que podrían ser apropiados márgenes de realización inferiores a 1 dB. De la Figura 1 se desprende que las técnicas FEC son muy eficaces para reducir el valor de la relación C/N_0 para una velocidad binaria dada.

La codificación convolucional de velocidad 1/2 (longitud límite, $k = 7$) con decodificación de Viterbi y decisión programada se ha utilizado ampliamente en los sistemas por satélite, por lo que constituye una técnica muy probada. Su realización era posible con tecnología VLSI. Las ganancias de codificación que podían conseguirse en la práctica se aproximaban a las predicciones teóricas: unos 3,8 dB para una BER de salida de 10^{-3} y 5,2 dB para una BER de 10^{-5} .

La codificación de velocidad 3/4 con decodificación de Viterbi, no se aplicaba en aquel momento con tanta amplitud como la FEC de velocidad 1/2 y requería un procesamiento más complejo. Las ganancias de codificación prácticas eran del orden de 2,8 dB para una BER de salida de 10^{-3} y 4,3 dB para una BER de 10^{-5} (es decir alrededor de 1 dB menos que para la velocidad 1/2). Pero el factor de expansión de anchura de banda quedaba sustancialmente reducido (esto es, 1,8 dB menos que para la velocidad 1/2).

Podía reducirse sustancialmente la complejidad de la codificación de velocidad 3/4, aplicando técnicas de codificación punteada al código básico de velocidad 1/2. Esto implicaba la supresión de 2 bits de cada 6 bits codificados en el flujo de datos codificados con velocidad 1/2, la transmisión de los 4 bits restantes a velocidad 3/4 y la inserción de 2 bits adicionales en el receptor con anterioridad a la decodificación de Viterbi de velocidad 1/2. Otra aplicación posible era la realización de códecs con velocidades de codificación flexibles, conmutables entre la velocidad 1/2 y la velocidad 3/4. La característica de la BER para la codificación perforada era sólo marginalmente inferior a la correspondiente a técnicas no perforadas que requieren 0,2 dB adicionales en la relación E_b/N_0 para una BER de 10^{-5} y básicamente ninguna degradación para una BER de 10^{-3} .

Se concluyó que la codificación FEC de velocidad 3/4 ofrecía ventajas sustanciales para el sistema de la Norma B, proporcionando una buena eficacia espectral y una eficaz utilización de la potencia. La codificación FEC de velocidad 1/2 podía ser apropiada para un sistema más limitado en potencia, pudiendo conseguirse ahorros de 1 dB en la p.i.r.e. del satélite y de la estación terrena de barco a expensas de una utilización menos eficaz de la anchura de banda.

Se observó además que después de la decodificación de Viterbi, todos los errores, incluidos los errores aleatorios, aparecen como ráfagas de errores. Asimismo, como la calidad de transmisión de los canales digitales resultaba afectada de manera distinta por las ráfagas de errores y por los errores aleatorios, no podía determinarse directamente mediante la BER.

Además, en las comunicaciones móviles por satélite, ocurren errores aleatorios y ráfagas de errores debidos al desvanecimiento por trayectos múltiples. Era, pues, necesario evaluar las características estadísticas de las ráfagas de errores después de la decodificación de Viterbi, así como el efecto del desvanecimiento por trayectos múltiples.

Las características del error de salida después de la decodificación de Viterbi han sido estudiadas de forma experimental y estadística [Yasuda y otros, 1988]. Como resultado se puso en evidencia que la ráfaga de error en condiciones de desvanecimiento por trayecto múltiple era mayor que en la zona comprendida entre dos zonas libres de error de más de 20 bits. En la Fig. 2 se indican los resultados de las mediciones efectuadas con modelos de simulación, y en el Cuadro 2 se indican las condiciones no incluidas en la Figura.

FIGURA 1
 C/N_0 en función de la velocidad binaria

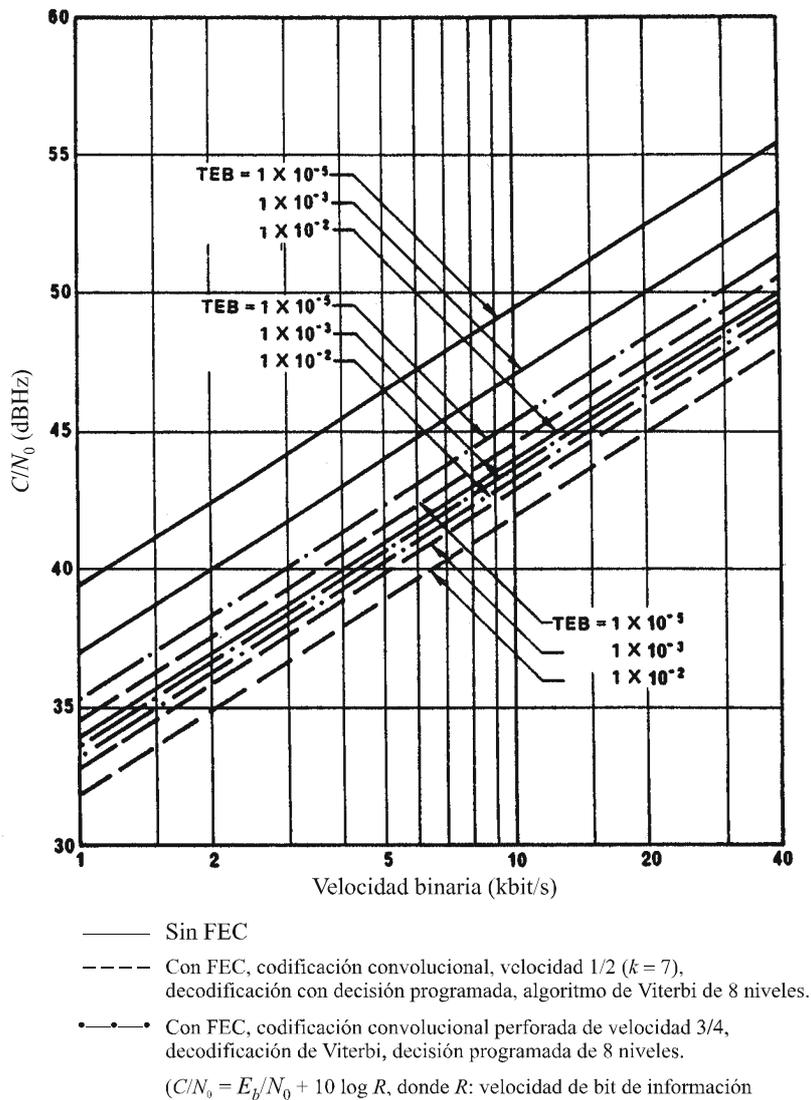
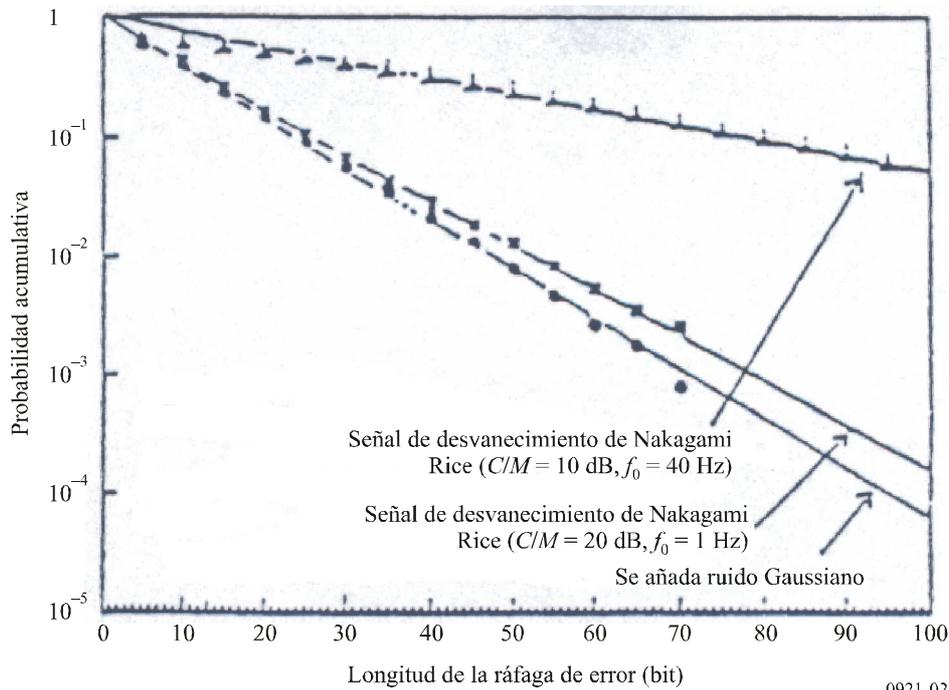


FIGURA 2

Distribución acumulativa medida de la longitud de la ráfaga de error



CUADRO 2

Principales parámetros del sistema de medición

Velocidad binaria de información	16 kbit/s
Decodificación de Viterbi	<ul style="list-style-type: none"> - Limitación en longitud: 7 - Velocidad de codificación: 1/2

2.5 Ejemplo de diseño de Norma B

El siguiente ejemplo de diseño describe el concepto de sistema de Norma B, en estudio en aquel momento por Inmarsat.

El canal telefónico básico utiliza codificación vocal CPA a 16 kbit/s, con MDP-4 descentrada y FEC de velocidad 3/4, para obtener una velocidad de canal efectiva de 24 kbit/s por el enlace de satélite SCPC en ambos sentidos. La activación por la voz en las portadoras costera-barco y un control de potencia dependiente del ángulo de elevación de la antena de la estación terrena de barco exigen una p.i.r.e. media global del satélite del orden de 15-16 dBW por portadora, con una G/T de la estación terrena de barco de -4 dB(K $^{-1}$). La correspondiente p.i.r.e. máxima requerida de la estación terrena de barco es 34 dBW para la explotación con satélites INMARSAT de la primera generación. La mínima separación de canales para obtener un comportamiento aceptable en términos de BER del canal, en presencia de interferencia de canal adyacente, es de 20 kHz.

El mismo diseño básico del canal se utiliza también para datos a 9,6 kbit/s (con FEC de velocidad 1/2 que da una BER de 10^{-5}) y a 16 kbit/s (FEC de velocidad 3/4 y BER de 10^{-3} , que puede mejorarse con el uso de ARQ por los usuarios extremos). Se utilizan campos de señalización de

subbanda dentro de la trama del canal, constituyendo una unidad de señal de 96 bits por trama de 80 ms, para el encaminamiento de transmisión (barco-costera), funciones de supervisión tras el establecimiento de llamada, y que exista una capacidad de señalización adicional para futuras conexiones con la RDSI.

El establecimiento de la llamada se realiza por medio de canales de señalización fuera de banda, transmitidos por la estación de coordinación de la red (ECR), la estación terrena costera (ETC) o la estación terrena de barco (ETB).

3 Concepto de sistema de baja relación G/T , de datos solamente (Norma C)

Las características de la estación terrena de barco inherentes a la Norma A y al concepto previsto por la Norma B, pueden no ser óptimas para navíos más pequeños que constituyen una gran proporción del colectivo marítimo, en particular cuando no se requieran comunicaciones de calidad telefónica y cuando esté limitado el espacio para instalación de equipos.

El concepto Norma C, permitirá extender las facilidades de las comunicaciones por satélite a estos barcos, empleando una estación terrena de barco compacta y relativamente sencilla que proporcione capacidades basadas en mensajes a una velocidad de canal de 600 bit/s. La estación terrena de barco se caracterizaría por un sistema de antena no orientado ni estabilizado. Las posibles aplicaciones del sistema comprenden alerta de socorro en los dos sentidos, recepción de mensajes de seguridad, transmisión de datos meteorológicos, correspondencia pública e interrogación a barcos con los siguientes transmisión de mensajes:

- textos en un alfabeto apropiado seleccionado por el usuario;
- gráficos y facsímil;
- instrucciones de información y control para periféricos de usuario, tales como equipos de síntesis de voz.

En vista de las estaciones terrenas de barco proyectadas según la Norma C, con baja relación G/T , es necesario utilizar técnicas de codificación y modulación eficaces para hacer mínimas las exigencias de p.i.r.e. del satélite y de la estación terrena de barco. La elección de la técnica debería, asimismo, ser compatible con las características de antena anteriores, velocidades de bits de canal y la eficacia del sistema.

Para las características típicas de movimiento de los barcos aplicadas en los diseños de la Norma A, la máxima ganancia de antena para una antena de la Norma C no estabilizada sería del orden de 2 dBi. En el sentido costera-barco una p.i.r.e. de satélite de 20 dBW podría entonces proporcionar una velocidad de bit de canal de, al menos 600 bit/s; un aumento de la p.i.r.e. permitiría conseguir velocidades de bit superiores. En el sentido barco-costera, limitaciones prácticas de los amplificadores de transmisión de la estación terrena de barco obligan a limitar la velocidad del canal a unos 600 bit/s.

Para estas velocidades de bit, una técnica de modulación eficaz sería la MDP-2, con codificación convolucional de velocidad 1/2, como técnica FEC básica para mejorar el margen del sistema. En el sentido barco-costera puede hacerse mínima la sensibilidad a la interferencia potencial utilizando un código de bloque, enlazado con un código convolucional interno. En ambos casos, el margen de desvanecimiento debido a efectos multitrayecto se reduciría sustancialmente por el entrelazado que dispersaría las ráfagas de errores en un esquema aleatorio corregible por la FEC en lugar de mejorar la discriminación de antena. Esto implicaría unos retardos de transmisión de hasta 20 s por lo que imposibilitará que se consigan en el futuro comunicaciones en tiempo real tales como la telefonía, aunque se prevé esta posibilidad para pequeñas estaciones terrenas de barco como una variante de la Norma B, según se describe en los Anexos 1 y 2.

En el Anexo 4 se informa sobre mediciones de calidad de funcionamiento de la FEC con sistemas de la Norma C como un modo de compensar los efectos de un desvanecimiento multitrayecto. Estas mediciones muestran que será necesario utilizar la FEC con entrelazado a fin de mejorar la calidad de funcionamiento del canal en cuanto a errores en enlaces de datos de sistemas de la Norma C, sujetos a desvanecimiento con transmisiones continuas.

El Anexo 5 contiene una descripción del sistema INMARSAT de la Norma C, basada en los conceptos expuestos.

4 Consideraciones sobre presupuesto del enlace

4.1 Características del desvanecimiento multitrayecto

Los conceptos relativos a las estaciones terrenas de la Norma B y en particular de la Norma C, manifestaban en aquel momento una tendencia general hacia sistemas de antenas más pequeños los cuales, debido a su directividad reducida, serán más susceptibles a los efectos del desvanecimiento multitrayecto que los de la Norma A.

En la Fig. 3, se representa un modelo sencillo de desvanecimiento multitrayecto derivado de consideraciones teóricas y datos de mediciones (véanse los Anexos 1 y 2 a este Informe). El modelo se basa en directividades de antena correspondientes a ganancias comprendidas en la gama 7-25 dBi y muestra márgenes de desvanecimiento (99% del tiempo en condiciones de desvanecimiento de Rice-Nakagami) para estados de mar «moderada» y ángulos de elevación de 5° a 10°. Se muestra asimismo la posible ventaja proporcionada por la aplicación de la reducción de desvanecimiento multitrayecto (técnica de conformación de la polarización) al sistema de antena.

4.2 Características de error de puntería/seguimiento

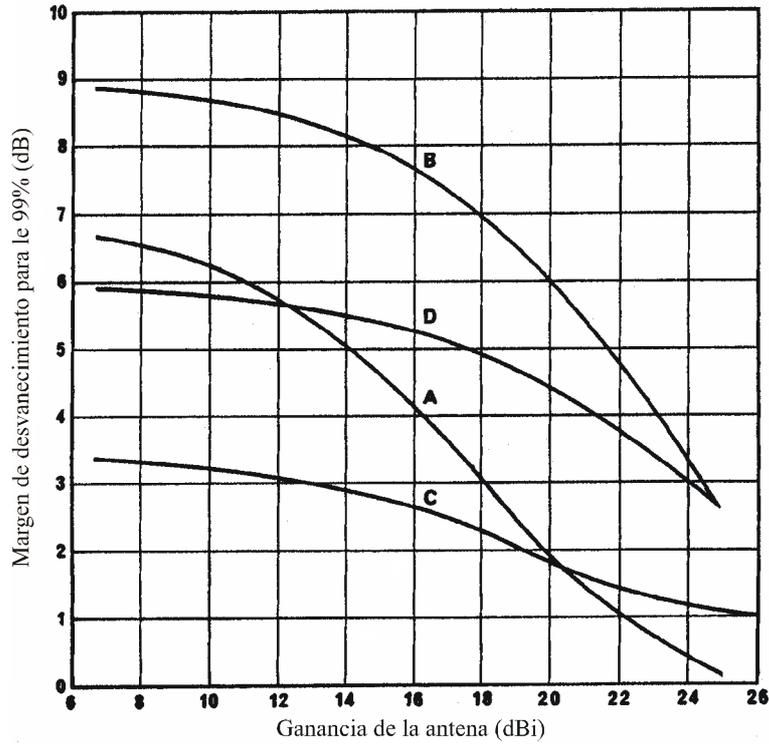
En Japón se han estudiado los errores de puntería/seguimiento debidos al movimiento del barco para antenas de estación terrena de barco con estabilización pasiva. Podría utilizarse esta información para determinar el presupuesto de pérdida del enlace para sistema de antenas representativos.

4.3 Ejemplos de presupuesto del enlace

En el Cuadro 3 se muestran ejemplos de presupuestos del enlace para un objetivo de BER de canal vocal de 10^{-3} con una estación terrena de barco de la Norma B de alta ganancia (Caso 1: $G/T = -4 \text{ dB(K}^{-1}\text{)}$) y el sistema Norma M (Caso 2: $G/T = -10 \text{ dB(K}^{-1}\text{)}$) que funciona con el satélite Inmarsat de la segunda generación. En el segundo caso, se indican asimismo las posibles mejoras de la calidad del enlace (C/N_0) debidas a la reducción del desvanecimiento multitrayecto (conformación de polarización).

FIGURA 3

**Características del desvanecimiento multitrayecto
(desvanecimiento de Rice-Nakagami para el 99%)**



Curvas A: Ángulo de elevación 10°
 B: Ángulo de elevación 5°
 C: Ángulo de elevación 10° con reducción del desvanecimiento multitrayecto (conformación de polarización)
 D: Ángulo de elevación 5° con reducción del desvanecimiento multitrayecto (conformación de polarización)

Rap 0921-03

CUADRO 3

Ejemplo de balances de enlace para estaciones de barco digitales de calidad telefónica

Ángulo de elevación de la estación terrena costera: 5°
 Ángulo de elevación de la estación terrena de barco: 10°

Enlace costera-barco		
Normas de la estación terrena de barco	Caso 1	Caso 2
Costera-satélite (6,42 GHz):		
– p.i.r.e. nominal de la estación terrena costera (dBW)	52,0	60,0
– Atenuación de trayecto en espacio libre (dB)	200,9	200,9
– Absorción atmosférica (dB)	0,4	0,4
– Relación G/T (dB(K ⁻¹))	-14,0	-14,0
– Relación C/N_0 en el trayecto ascendente (dBHz)	65,3	73,3
– Relación C/IM_0 en el satélite (dBHz)	60,5	68,5

CUADRO 3 (Fin)

Enlace costera-barco		
Normas de la estación terrena de barco	Caso 1	Caso 2
Satélite-barco (1,54 GHz):		
– p.i.r.e. nominal del satélite (dBW)	13,0	21,0
– Atenuación de trayecto en espacio libre (dB)	188,9	188,4
– Absorción atmosférica (dB)	0,2	0,2
– Relación G/T en la estación terrena costera (dB(K ⁻¹))	-4,0	-10,0
– Relación C/N_0 en el trayecto descendente (dBHz)	49,0	51,0
Relación C/N_0 global sin desvanecimiento (dBHz)	48,6	50,9
Atenuación por desvanecimiento (dB)	2,0	4,4 (2,7)
Relación C/N_0 global con desvanecimiento (dBHz)	46,6	46,5 (48,2)
Enlace barco-costera		
Normas de la estación terrena de barco	Caso 1	Caso 2
Barco satélite (6,42 GHz):		
– p.i.r.e. nominal de la estación terrena de barco (dBW)	31,0	26,0
– Atenuación de trayecto en espacio libre (dB)	188,9	188,9
– Absorción atmosférica (dB)	0,2	0,2
– Relación G/T (dB(K ⁻¹))	-12,5	-12,5
– Relación C/N_0 en el trayecto ascendente (dBHz)	58,0	53,0
– Relación C/IM_0 en el satélite (dBHz)	69,0	69,0
Satélite-costera (1,54 GHz):		
– p.i.r.e. nominal del satélite (dBW)	-7,4	-2,4
– Atenuación de trayecto en espacio libre (dB)	197,2	197,2
– Absorción atmosférica (dB)	0,4	0,4
– Relación G/T en la estación terrena costera (dB(K ⁻¹))	32,0	32,0
– Relación C/N_0 en el trayecto descendente (dBHz)	55,6	60,6
Relación C/N_0 , global sin desvanecimiento (dBHz)	53,5	52,2
Atenuación por desvanecimiento (dB)	2,0	4,4 (2,7)
Relación C/N_0 global con desvanecimiento (dBHz)	51,5	47,8 (49,5)

Aunque estos ejemplos de presupuestos de enlace no están estrictamente de acuerdo con el método descrito en el Informe UIT-R M.760, indican que las técnicas de codificación y modulación digital brindan la posibilidad de conseguir ahorros sustanciales en los requisitos de potencia de transmisión del satélite y/o estación terrena de barco, en comparación con el sistema de la Norma A.

NOTA 1 – Los valores entre paréntesis del Caso 2 corresponden al empleo de la técnica de reducción del desvanecimiento multitrayecto.

5 Temas avanzados del diseño del sistema

Se necesitaba continuar estudiando los aspectos siguientes relativos a temas avanzados del diseño del sistema:

- objetivos de calidad vocal de las estaciones terrenas de barco de relación G/T reducida;
- interconexión con las redes terrenales;

- disposiciones de telegrafía y señalización;
- desarrollo ulterior de la valoración subjetiva de posibles técnicas de codificación, especialmente para velocidades binarias de unos 9,6 kbit/s e inferiores;
- consecuencias del incremento del desvanecimiento multitrayecto con aplicación especial a los métodos de modulación y codificación;
- efectos del movimiento del barco sobre las características de calidad de funcionamiento de la antena de estación terrena.

Referencias Bibliográficas

YASUDA, Y., KOMAGATA, H. y HAGIWARA, E. [1988] An experimental study on Viterbi decoder output error characteristics (en japonés). *Trans. IEICE*, Japan, J71-B, 2, p. 229-237.

Anexo 1

Características de calidad de funcionamiento de una estación terrena digital de barco de calidad telefónica

Este Anexo presenta un ejemplo conceptual de una estación terrena de este tipo que emplea tecnologías de comunicación digitales [Hirata y otros, 1984] y facilita sus características de calidad de funcionamiento, basándose en los resultados de un experimento práctico, en el que se han utilizado dos tipos de sistema de antena (ganancia media y alta ganancia).

1 Diseño del sistema

El sistema de estación terrena digital de barco que aquí se describe, se diseñó para su utilización en el sistema INMARSAT y, para funcionar en el modo SCPC, con separaciones de portadoras de 20 kHz.

El Cuadro 4 presenta los parámetros básicos del canal de transmisión de la señal telefónica del sistema de estación terrena de barco digital. El sistema emplea codificación vocal a 16 kbit/s (conmutable a 9,6 kbit/s), que utiliza codificación predictiva adaptativa con cuantificación de probabilidad máxima (CPA-CPM) [Yatsuzuka y otros, 1986], codificación convolucional punteada (punctured) de velocidad 3/4 (conmutable a 1/2) descodificación de Viterbi con decisión programada [Yasuda y otros, 1984] y MDP-4 descentrada (MDP-4 D conmutable a MDP-4). La velocidad de transmisión es de 24 kbit/s, que resulta de los datos codificados a 22,4 kbit/s, con inclusión de bits para control de señalización.

En la Fig. 4, se representa el diagrama de bloques funcional de la unidad de comunicaciones digitales del sistema diseñado. Además del códec CPA-CPM del códec FEC del módem, se emplea en la estación terrena costera un detector de voz que realiza la activación por voz en el sentido costera-barco y en la estación terrena de barco se utiliza un generador de ruido para proporcionar un ambiente de escucha más natural. La activación por voz permitirá un empleo eficaz de la potencia del satélite en el sentido satélite-barco.

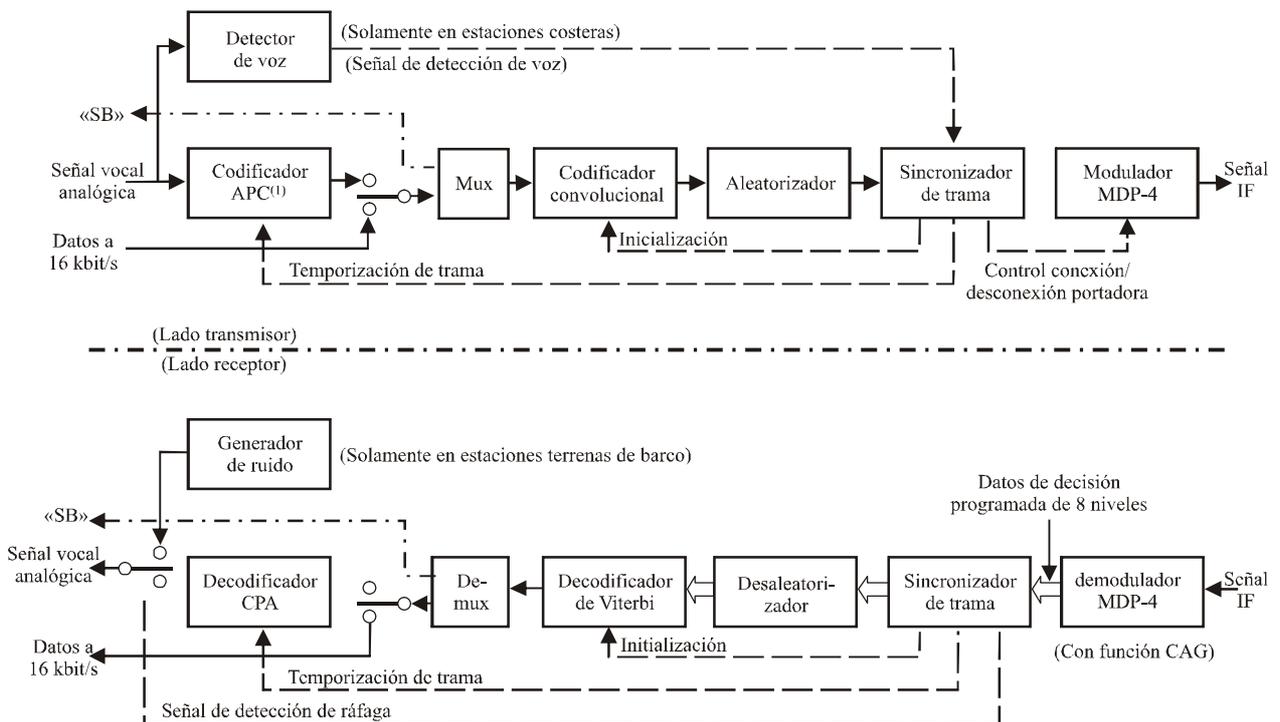
CUADRO 4

Parámetros principales del canal de comunicación digital

Velocidad de información	16 kbit/s
Codificación vocal	CPA-CPM (codificación predictiva adaptativa con cuantificación de probabilidad máxima)
FEC	Codificación convolucional perforada de velocidad 3/4 y 1/2 ($k = 7$)/decodificación de Viterbi con decisión programada de 8 niveles
Modulación	MDP-4 descentrada y MDP-4
Filtros de Tx y de Rx	Filtro de Nyquist en raíz cuadrada de coseno alzado con 60% de caída progresiva para MDP-4 descentrada 40% de caída progresiva para MDP-4
Velocidad de transmisión	24 kbit/s
Separación de portadoras	20 kHz (mínima)
Modo de explotación	Funcionamiento mediante activación por voz en el sentido costera-barco

FIGURA 4

Diagrama de bloques funcional de la unidad de comunicaciones



(1) CPA: Codificación adaptativa-predictiva

2 Resultados del experimento práctico [Yasuda y otros, 1987]

A continuación del primer experimento práctico para el sistema de estación terrena de barco diseñado inicialmente [Kashiki y otros, 1985], se ha realizado una prueba práctica empleando el

satélite INMARSAT situado sobre el Océano Índico (INTELSAT V MCS-A). El equipo de la estación terrena de barco se instaló en una embarcación de 701 toneladas de peso.

En el experimento se comprobaron dos tipos de estaciones terrenas de barco, utilizando una antena de gran ganancia y una antena de ganancia media. La antena de gran ganancia es de tipo parabólico con un diámetro de 85 cm y una ganancia de 20 dBi y proporciona una relación G/T de $-4 \text{ dB(K}^{-1}\text{)}$, como en las estaciones terrenas de barco convencionales de la Norma A de Inmarsat. La antena de ganancia media es una antena corta de radiación hacia atrás, modificada, con un diámetro de 40 cm y una ganancia de 15 dBi y proporciona una G/T de $-10 \text{ dB(K}^{-1}\text{)}$, que incorpora una función de reducción del desvanecimiento basada en la conformación de la polarización [Shiokawa y otros, 1982].

En el Cuadro 5 se muestran los parámetros básicos de las antenas de alta y media ganancia.

CUADRO 5

Parámetros principales de las antenas de alta ganancia y ganancia media

	Antena de alta ganancia	Antena de ganancia media
Tipo de antena	Parabólica, 85 cm de diámetro	Antena corta de radiación hacia atrás, modificada, de 40 cm de diámetro
G/T	-4 dB(K-1)	-10 dB(K-1)
p.i.r.e. (valor máximo)	34 dBW para AAP de Clase C 31 dBW para AAP lineal	26 dBW
Ganancia de la antena	20,5 dBi	15 dBi
Anchura del haz de la antena a -3 dB	14°	32°
Relación axial de la antena (centro de haz)	1,8 dB	1 dB
Potencia de salida del transmisor	25 W (AAP de Clase C) 15 W (AAP lineal)	20 W (APP lineal)

En cuanto al amplificador de potencia del transmisor de la estación terrena de barco, se utilizó en el caso de una antena de alta ganancia un AAP de Clase C con posibilidad de control de potencia, o bien un AAP de FET de AsGa lineal [Okinaka y otros, 1985], mientras que para la antena de ganancia media se utilizó un AAP lineal. Cuando se utilizó un AAP de Clase C, se aplicó modulación MDP-4 descentrada, a fin de evitar la reaparición en el espectro de la señal modulada debido a la no linealidad del AAP.

En conclusión, los resultados experimentales han demostrado que las técnicas digitales que utilizan corrección de errores sin canal de retorno y codificación vocal son efectivas para sistemas que emplean tanto antenas de ganancia media como de alta ganancia.

Referencias Bibliográficas

- HIRATA, Y., YASUDA, Y., OKINAKA, H. y KASHIKI, K. [noviembre de 1984] A digital transmission system for global maritime satellite communications. *Proc. IEEE*, Vol. 72, **11**, p. 1620-1626.
- KASHIKI, K., OKINAKA, H., YASUDA, Y., SHIOKAWA, T. e HIRATA, Y. [23 de junio de 1985] Field test results on a digital transmission system for global maritime satellite communications. IEEE International Conference on Communications (ICC '85), 23-26 de junio, Chicago, ILL, Estados Unidos de América, Conf. Record, Vol. 1, p. 16.5.1-16.5.7.
- OKINAKA, H. y otros [junio de 1985] A 1,6-GHz GaAs FET linear power amplifier for ship earth stations. 1985, Chicago, p. 24.6.1-24.6.6.
- SHIOKAWA, T. y KARASAWA, Y. [mayo de 1982] Ship borne antennas suppressing multi path fading in maritime satellite communication. IEEE/Antennas and Propagation Society (AP-S) International Symposium, Albuquerque, NM, Estados Unidos de América, p. 390-393.
- YASUDA, Y. y otros [marzo de 1984] High-rate punctured convolution codes for soft decision Viterbi decoding. *IEEE Trans. Common.*, Vol. COM-32, **3**, p. 315-319.
- YASUDA, Y. y otros [noviembre de 1987] Performance characteristics of a digital voice-grade ship earth station. (Presentado a la Conferencia GLOBECOM 87 del IEEE, Tokio.)
- YATSUZUKA, Y. y otros [mayo de 1986] 16 kbit/s high quality voice encoding for satellite communication networks. 7th Int. Conf. Digital Satellite Common., Munich, p. 271-278.

Anexo 2

Calidad de funcionamiento de una estación terrena de barco experimental con baja relación G/T

1 Introducción

Este Anexo presenta antecedentes de pruebas realizadas con una estación terrena de barco experimental de Norma M y baja relación G/T ($-13 \text{ dB(K}^{-1}\text{)}$) que utiliza una antena de gran anchura de haz y técnicas de modulación digitales.

Este trabajo fue realizado conjuntamente por el Ministerio de Interior del Reino Unido (en la actualidad Departamento de Comercio e Industria), British Telecom Internacional (BTI) y el Organismo de Investigación Aeroespacial de Alemania (DFVLR).

El objeto de estas pruebas era demostrar la viabilidad de este tipo de SES y evaluar su calidad de funcionamiento para una velocidad de bits igual a 2 400 bit/s esencialmente sin desvanecimiento, como en aquellas condiciones de desvanecimiento por trayectos múltiples que prevalecen para pequeños ángulos de elevación.

Pueden encontrarse algunos de los resultados de estas pruebas en [Hagenauer y otros, 1984].

Referencias Bibliográficas

HAGENAUER, J., DOLAINSKY, ETBAUER, GRABEL, LOTZ, PAPKE, W., PLOCHINGER y SCHWEIKERT, R. [noviembre de 1984] Multipath fading effects and data transmission for small ship earth stations (Standard C). DFVLR, Final Report, 223 páginas (en alemán). DFVLR, D-8031 Oberpfaffenhofen, Alemania (República Federal de). Preparado en virtud de ESA/ESTEC Contrato N.º 5323/82/NL/JS.

Anexo 3

Sistema de llamada de grupo mejorada

1 Introducción

El sistema de llamada de grupo mejorada (LLGM) es un sistema de radiodifusión de datos a escala mundial para llamadas de grupos comerciales, radiobúsqueda a escala mundial (FleetNET™) y difusión de información sobre seguridad marítima (SafetyNET™). Este sistema forma parte del sistema de Norma C de Inmarsat y hace uso de técnicas MDT por canal común de Norma C para la transmisión de mensajes costera-barco.

El Convenio Internacional para la Seguridad de la Vida Humana en el Mar, 1974, modificado en 1988 preceptúa que todo buque que realice travesías en cualquier zona de cobertura INMARSAT en la que no exista una aplicación NAVTEX internacional deberá estar provisto de un dispositivo radioeléctrico para recibir información sobre la seguridad marítima mediante el sistema de llamada de grupo mejorada de Inmarsat. La aplicación SafetyNET prevé esta información de seguridad marítima, incluyendo las alertas de socorro costera-barco, los avisos meteorológicos y para la navegación NAVAREA y las previsiones meteorológicas ordinarias que pueden recibir de forma selectiva los navíos que se encuentran en zonas geográficas específicas, utilizando una técnica flexible de direccionamiento de zona. A los receptores LLCM que vayan a bordo de barcos para los que se aplica el Convenio SOLAS de 1974, se les exige que cumplan las normas de calidad de la OMI sobre equipo LLGM (Resolución A664 (16) de la Asamblea de la OMI).

El sistema FleetNET™ permite a los usuarios comerciales basados en estaciones costeras llamar selectivamente a determinados grupos o buques con identificadores (ID) preasignados.

2 Descripción del sistema

Los mensajes LLGM se transmiten mediante MDT de Norma C por canal común (ECR), junto con tráfico de señalización de Norma C. De ese modo, los terminales LLGM pueden estar basados en un receptor de pequeño tamaño, de bajo coste y de relación G/T reducida, puesto que se emplean las vigorosas técnicas de modulación y codificación utilizadas para el sistema de Norma C. Los receptores pueden ser unidades autónomas o estar integrados en ETB de Norma C o de Norma A. La integración con una ETB de Norma C no requiere necesariamente un segundo receptor, ya que el receptor de Norma C comprueba técnicamente la MDT por canal común cuando no interviene en el tráfico. Los mensajes LLGM se envían desde la red terrenal hacia la ECR de Norma C a través de una ETC de Norma C.

La anchura de banda operacional del sistema LLGM se extiende de 1 530 a 1 545 MHz, con una separación entre canales de 5 kHz. Regiones oceánicas adyacentes tendrán frecuencias diferentes para las portadoras LLGM. Las frecuencias de estas portadoras son almacenadas por los receptores

de manera que éstos puedan volver a sintonizar automáticamente cuando un buque sale de una región oceánica y entra en otra. Los receptores pueden almacenar gran número de frecuencias de canal, para que sea posible la ampliación y la compatibilidad con futuras cargas útiles de satélite de haz puntual.

3 Balance del enlace

En el Cuadro 6 se muestra el balance del enlace de banda 1,5/1,6 GHz para el sistema LLGM.

Los balances de enlace indicados corresponden a los satélites MARECS e INTELSAT-V MCS y a los satélites INMARSAT de segunda generación. La potencia MDT de la portadora por canal común es aproximadamente 3 dB mayor que la de una portadora de banda vocal de Norma A. La MDT tiene modulación MDP-2 a 1 200 símbolos/s (600 bit/s de velocidad binaria antes de la codificación). La codificación de la FEC es de tipo convolucional limitada a 7 longitudes e índice 1/2, con entrelazado de trama completa, y una longitud de trama de 10 368 símbolos (8,64 s). Para ayudar a la sincronización y a la resolución de ambigüedades, en cada trama hay un par de palabras únicas de 64 bits.

CUADRO 6

Balance del enlace del sistema LLGM

	Unidades	MARECS/ INTELSAT V	INMARSAT 2
p.i.r.e. de satélite (5°)	dBW	21,4	21,0
Pérdida del trayecto en el espacio libre	dB	188,5	188,5
Pérdida de absorción	dB	0,4	0,4
$G/T^{(1)}$ de receptor	dB/K	-23,0	-23,0
C/N_0 media del enlace descendente	dBHz	38,1	37,7
C/N_0 media sin desvanecimiento	dBHz	38,0	37,6
Pérdida de interferencia	dB	0,5	0,5
Pérdida aleatoria (99%)	dB	2,2	1,6
C/N_0 global	dBHz	35,4	35,5
C/N_0 requerida	dBHz	34,5	34,5
Margen ⁽²⁾	dB	0,9	1,0

⁽¹⁾ Relación G/T mínima basada en una LLGM individual para un receptor de Norma C con una elevación de satélite de 5°.

⁽²⁾ Margen de enlace superior a 0,9/1,0 dB en el 99% del tiempo.

4 Técnicas de direccionamiento

Hay tres métodos básicos para direccionar los receptores LLGM:

- direccionamiento por identificador único (FleetNET™);
- direccionamiento por identificador de grupo (FleetNET™); y
- direccionamiento por zona (SafetyNET™).

Los receptores LLGM capaces de recibir mensajes FleetNET™ comerciales poseen un identificador único de 24 bits y varios identificadores de grupo de 24 bits. Los identificadores de grupo pueden cargarse y borrarse en el enlace por satélite. El direccionamiento en la aplicación SafetyNET™ se efectúa exclusivamente según la zona geográfica. Son posibles dos tipos de direccionamiento por zona geográfica:

- a) zonas geográficas predefinidas, como las NAVAREA, las zonas de la OMM, las zonas de cobertura NAVTEX y las zonas SAR;
- b) las zonas absolutas se definen mediante una coordenada y una extensión de latitud y de longitud (direccionamiento de zona rectangular), o mediante una coordenada y un radio en millas náuticas (direccionamiento de zona circular).

Los receptores pueden actualizarse automáticamente mediante un instrumento náutico exterior, y los operadores pueden seleccionar otras zonas de interés como las que se encuentran en el rumbo esperado de los buques.

5 Resumen

El sistema LLGM proporciona un medio efectivo de difusión de información sobre seguridad marítima y de transmisión de llamadas de grupo comercial costera-barco y mensajes de radiobúsqueda. Los buques equipados para recibir mensajes LLGM necesitan sólo un receptor sencillo de bajo coste o, en su defecto, una ETB de INMARSAT de Norma A o de Norma C adecuadamente equipada.

Anexo 4

La corrección de errores en recepción (FEC) como técnica de compensación del desvanecimiento multitrayecto

Se midió la calidad de funcionamiento de una transmisión DECM DP codificada a través del canal marítimo de la norma C, mediante un montaje de prueba simulador de canal DFVRL con un módem de nuevo diseño, utilizando un bucle de COSTAS en combinación con un bucle CAF (control automático de frecuencias) a fin de recuperar la portadora y datos de la señal DECM DP (canal Rayleigh y Canal Rice-Nakagami con $C/M = 6,3$ dB), así como para una selección representativa de canales incluido el caso más desfavorable de un ángulo de elevación de 4° para todas las antenas probadas C3, C5, C11, C14 y una prueba con ángulo de elevación de 19° , para las antenas C3 y C11 (antenas de la Norma C con ganancias (dB) indicadas). Los detalles aparecen en el Informe UIT-R M.762 y [Hagenauer y otros, 1984].

Referencias Bibliográficas

HAGENAUER, J., DOLAINSKY, ETBAUER, GRABEL, LOTS, PAPKE, W., PLOCHINGER y SCHWEIKERT, R. [noviembre de 1984] Multipath fading effects and data transmission for small ship earth stations (Standard C). DFVLR Final Report, 223 páginas (en alemán). DFVLR, D-8031 Oberpfaffenhofen, Alemania (República Federal de). Preparado por ESA/ESTEC Contrato N.º 5323/82/NL/JS.

Anexo 5

Sistema de comunicaciones para la Norma C de Inmarsat

1 Introducción

El sistema de comunicaciones para la Norma C se diseñó para permitir la instalación de modernos sistemas de comunicaciones bidireccionales por satélite a bordo de los barcos más pequeños. El sistema se aceptó también para su instalación como alternativa a las estaciones terrenas de barco de Norma A, a fin de satisfacer los requisitos de las modificaciones de 1988 del Convenio SOLAS de 1974 para el SMSSM, dentro de la zona de cobertura por satélite de INMARSAT; a los terminales de Norma C que vayan en barcos para los que se aplica el Convenio SOLAS de 1974, se requiere que cumplan las normas de calidad de la OMI sobre estaciones terrenas de barco de Norma C INMARSAT, capaces de transmitir y recibir comunicaciones de impresión directa (Resolución A663(16) de la Asamblea de la OMI).

El sistema ofrece una aplicación de comunicaciones por mensajes bidireccionales que se ha diseñado para hacer de interfaz con la red télex internacional y una amplia gama de redes de datos terrenales. Además, a través de los canales de comunicación de la Norma C se realiza por todo el océano una aplicación de radiodifusión solamente, denominado servicio de llamada de grupo mejorada.

1.1 El sistema de Norma C se describe brevemente como sigue:

- a) la relación G/T es de $-23 \text{ dB(K}^{-1}\text{)}$ utilizando una pequeña antena omnidireccional, lo que permite el diseño de equipos muy pequeños;
- b) se utilizan técnicas de transmisión de paquetes digitales con MDT costera-barco y AMDT barco-costera, para datos de señalización y de mensajes;
- c) se espera obtener una buena corrección de errores a bajas densidades portadora-ruido, mediante la utilización de codificación de convolución de velocidad 1/2 y entrelazado;
- d) un enlace entre las estaciones (ETC y ECR), permite el intercambio de datos para fines de control del sistema;
- e) la explotación en un entorno de haces puntuales se facilita mediante la identificación automática del haz puntual del satélite en el momento de su activación.

1.2 Estas técnicas permiten realizar las siguientes aplicaciones:

- a) télex internacional;
- b) radiodifusión de texto;
- c) intercambio de datos interactivo e interrogación de bases de datos;
- d) conexión prioritaria por necesidades de socorro.

2 Implicaciones de diseño

La adopción de una relación G/T de $-23 \text{ dB(K}^{-1}\text{)}$ limita el sistema ofrecido a velocidades de datos muy bajas y tiene las siguientes implicaciones de diseño principales:

- a) las velocidades de datos de ida y de retorno se limitan a 600 bit/s, lo que, con codificación convolucional y entrelazado de velocidad 1/2, permite conseguir una elevada tasa de éxito de paquetes;

- b) en el sentido costera-barco, se necesita una p.i.r.e. de satélite relativamente elevada, de 21 dBW.

3 Balances de enlace

El análisis de un enlace para la Norma C difiere del de un enlace típico por satélite debido a la naturaleza de la ARQ de un sistema de la Norma C. En un sistema típico hay un nivel de umbral definido de C/N_0 , que define una calidad de servicio y se considera un límite de aceptabilidad; el porcentaje de tiempo en que se excede este umbral es la disponibilidad. En la Norma C, la relación C/N solo afecta al número de retransmisiones, y por tanto al retardo del mensaje y a la capacidad del sistema.

Los presupuestos de enlace presentados en los Cuadros 7 y 8 se denominan «del caso más desfavorable», que se definen así:

- ETB y ETC a 5° de elevación;
- valores mínimos de G/T y de p.i.r.e.;
- carga del respondedor del caso más desfavorable (es decir, respondedor a plena carga y canal con la relación portadora/intermodulación más baja);
- aceptabilidad del 99% del tiempo.

Debería señalarse que la relación C/N_0 será mejor en la mayoría de los casos, en la mayor parte del tiempo.

CUADRO 7

**Balance del enlace de ida en el «caso más desfavorable»
Enlace de ida: 99% del tiempo**

p.i.r.e. de la estación terrena costera	(dBW)	60,4
Pérdida de trayecto	(dB)	200,9
Pérdida por absorción	(dB)	0,4
G/T del satélite	(dB(K ⁻¹))	-15,0
C/N_0 media del enlace ascendente	(dBHz)	72,7
C/I_0 media del satélite	(dBHz)	54,8
p.i.r.e. media del satélite	(dBW)	20,4
Pérdida de trayecto	(dB)	188,5
Pérdida por absorción	(dB)	0,4
G/T de la ETB	(dB(K ⁻¹))	-23,0
C/N_0 media del enlace descendente	(dBHz)	37,1
C/N_0 nominal sin desvanecimiento	(dBHz)	37,0
Pérdida por interferencia	(dB)	0,5
Pérdida aleatoria RSS total (99%)	(dB)	2,0
C/N_0 global	(dBHz)	34,5
C/N_0 requerida	(dBHz)	34,5
Margen	(dB)	0,0

CUADRO 8

Enlace de retorno: 99% del tiempo

		MCS	MARECS
p.i.r.e. de la estación de barco	(dBW)	12,0	12,0
Pérdida de trayecto	(dB)	189,0	189,0
Pérdida por absorción	(dB)	0,4	0,4
G/T del satélite	(dB(K ⁻¹))	-13,0	-11,0
C/N_0 media del enlace ascendente	(dBHz)	38,2	40,2
C/I_0 media del satélite	(dBHz)	49,0	49,0
Ganancia del respondedor	(dB)	150,9	150,9
p.i.r.e. media del satélite	(dBW)	-26,5	-26,5
Pérdida de trayecto	(dB)	197,2	197,2
Pérdida por absorción	(dB)	0,5	0,5
G/T de la ETC	(dB(K ⁻¹))	32,0	32,0
C/N_0 media del enlace descendente	(dBHz)	36,4	36,4
C/N_0 nominal sin desvanecimiento	(dBHz)	34,1	34,7
Pérdida por interferencia	(dB)	0,5	0,5
Pérdida aleatoria RSS total (99%)	(dB)	1,7	1,7
C/N_0 global	(dBHz)	31,9	32,5
C/N_0 requerida	(dBHz)	31,5	31,5
Margen	(dB)	+0,4	+1,0

4 Sistemas de tratamiento de la señal

4.1 Características de tratamiento de la señal

Debido a la antena de baja ganancia de la ETB, ambos enlaces de ida y de retorno tienen energía limitada, como puede verse en los balances de enlace. Se utiliza codificación convolucional de velocidad mitad (longitud limitada a $k = 7$), para suministrar corrección de errores sin canal de retorno, que puede proporcionar una ganancia de codificación de unos 5 dB en un enlace sin desvanecimiento.

Un bit de información determinado que pase a través del codificador solamente tendrá efecto sobre un grupo de 14 símbolos consecutivos, y como la anchura de banda de desvanecimiento es muy pequeña, los 14 símbolos estarán implicados por igual en un desvanecimiento. Para hacer frente a esta situación, los símbolos codificados se agrupan en un bloque antes de su transmisión. Se transmiten luego en un orden diferente al de su agrupamiento. El efecto de este proceso es extender la transmisión de los 14 símbolos asociados a un bit de datos determinado a un periodo de tiempo grande comparado con la duración de un desvanecimiento.

Por tanto, sólo algunos de los 14 símbolos pueden resultar alterados por un desvanecimiento típico, y la redundancia introducida en el tren de símbolos transmitido permite la reconstrucción del tren de datos original.

Lo anterior es cierto para canales de ida MDT de modo continuo, y para el de mensajes de la ETB en modo casi-continuo. Para el canal de señalización de la ETB en modo ráfaga, el entrelazado no se aplica por ser las ráfagas demasiado cortas para que el efecto obtenido pueda resultar útil.

Se ha aplicado aleatorización de datos a todos los canales. Aunque no es necesaria para la dispersión de energía debido a la baja velocidad binaria, lo es para asegurar transiciones adecuadas de los símbolos para la recuperación del reloj del demodulador. Mensajes con un contenido alto de datos (por ejemplo, tablas) pueden interactuar en un intercalador para producir secuencias más largas sin las transiciones de símbolos que podrían esperarse con datos aleatorios.

4.2 Efecto del tratamiento de la señal

Se ha seleccionado una longitud límite ($k = 7$) relativamente corta para permitir la utilización de técnicas de decodificación de probabilidad máxima (tales como el algoritmo de Viterbi).

Los codificadores convolucionales suelen generar errores en ráfagas y diferentes realizaciones de diferentes algoritmos de codificadores pueden producir una gran variación de las características de las ráfagas de error.

Como el sistema de Norma C es fundamentalmente un sistema de paquetes con ARQ, el principal parámetro de calidad es la tasa de errores de paquetes. En la práctica, esta tasa de errores depende fuertemente de la tasa de errores en ráfaga, pero es casi independiente del número de bits de la ráfaga. Por esta razón, la tasa de errores de bit no es una medida útil de los canales móviles de la Norma C.

Como punto de partida para definir los límites de calidad, se ha supuesto un decodificador Viterbi que actúa sobre muestras de decisión programada de 3 bits.
