

Unión Internacional de Telecomunicaciones

**UIT-R**

Sector de Radiocomunicaciones de la UIT

**Recomendación UIT-R F.106-2**  
(05/1999)

**Uso de diversidad para telegrafía armónica  
en circuitos radioeléctricos  
de ondas decamétricas**

**Serie F**  
**Servicio fijo**



Unión  
Internacional de  
Telecomunicaciones

## Prólogo

El Sector de Radiocomunicaciones tiene como cometido garantizar la utilización racional, equitativa, eficaz y económica del espectro de frecuencias radioeléctricas por todos los servicios de radiocomunicaciones, incluidos los servicios por satélite, y realizar, sin limitación de gamas de frecuencias, estudios que sirvan de base para la adopción de las Recomendaciones UIT-R.

Las Conferencias Mundiales y Regionales de Radiocomunicaciones y las Asambleas de Radiocomunicaciones, con la colaboración de las Comisiones de Estudio, cumplen las funciones reglamentarias y políticas del Sector de Radiocomunicaciones.

## Política sobre Derechos de Propiedad Intelectual (IPR)

La política del UIT-R sobre Derechos de Propiedad Intelectual se describe en la Política Común de Patentes UIT-T/UIT-R/ISO/CEI a la que se hace referencia en el Anexo 1 a la Resolución UIT-R 1. Los formularios que deben utilizarse en la declaración sobre patentes y utilización de patentes por los titulares de las mismas figuran en la dirección web <http://www.itu.int/ITU-R/go/patents/es>, donde también aparecen las Directrices para la implementación de la Política Común de Patentes UIT-T/UIT-R/ISO/CEI y la base de datos sobre información de patentes del UIT-R sobre este asunto.

### Series de las Recomendaciones UIT-R

(También disponible en línea en <http://www.itu.int/publ/R-REC/es>)

Series	Título
<b>BO</b>	Distribución por satélite
<b>BR</b>	Registro para producción, archivo y reproducción; películas en televisión
<b>BS</b>	Servicio de radiodifusión sonora
<b>BT</b>	Servicio de radiodifusión (televisión)
<b>F</b>	<b>Servicio fijo</b>
<b>M</b>	Servicios móviles, de radiodeterminación, de aficionados y otros servicios por satélite conexos
<b>P</b>	Propagación de las ondas radioeléctricas
<b>RA</b>	Radio astronomía
<b>RS</b>	Sistemas de detección a distancia
<b>S</b>	Servicio fijo por satélite
<b>SA</b>	Aplicaciones espaciales y meteorología
<b>SF</b>	Compartición de frecuencias y coordinación entre los sistemas del servicio fijo por satélite y del servicio fijo
<b>SM</b>	Gestión del espectro
<b>SNG</b>	Periodismo electrónico por satélite
<b>TF</b>	Emisiones de frecuencias patrón y señales horarias
<b>V</b>	Vocabulario y cuestiones afines

*Nota: Esta Recomendación UIT-R fue aprobada en inglés conforme al procedimiento detallado en la Resolución UIT-R 1.*

Publicación electrónica  
Ginebra, 2011

© UIT 2011

Reservados todos los derechos. Ninguna parte de esta publicación puede reproducirse por ningún procedimiento sin previa autorización escrita por parte de la UIT.

## RECOMENDACIÓN UIT-R F.106-2\*

**Uso de diversidad para telegrafía armónica en circuitos radioeléctricos de ondas decamétricas**

(1953-1970-1999)

**Cometido**

En la presente Recomendación se describe el uso de la recepción con diversidad para sistemas de telegrafía a frecuencias inferiores a 30 MHz. El Anexo versa sobre la diversidad de codificación.

La Asamblea de Radiocomunicaciones de la UIT,

*considerando*

- a) que, de utilizarse dispositivos de telegrafía armónica en circuitos radioeléctricos que funcionen en frecuencias inferiores a unos 30 MHz, la calidad de servicio obtenida sin diversidad es, por lo general, insuficiente;
- b) que, en presencia de desvanecimiento, la recepción por diversidad en el espacio o de polarización y la recepción por diversidad de frecuencia mejoran en el mismo grado la calidad de recepción de las señales telegráficas transmitidas por un circuito radioeléctrico;
- c) que la diversidad de frecuencia es generalmente eficaz, a condición de que la diferencia entre las frecuencias de los dos canales conectados en diversidad sea superior a 400 Hz;
- d) que la recepción por diversidad en el espacio o de polarización requiere para cada canal telegráfico una anchura de banda dos veces menor y menos potencia de emisión que la recepción por diversidad de frecuencia, pero exige, en general, más equipo,

*recomienda*

- 1 que en los sistemas de telegrafía armónica en circuitos radioeléctricos que utilicen frecuencias inferiores a 30 MHz, aproximadamente, se emplee la recepción por diversidad en cada canal telegráfico;
- 2 que, siempre que sea posible, se utilice la recepción por diversidad en el espacio o, eventualmente, diversidad de polarización con preferencia a la recepción por diversidad de frecuencia;
- 3 que, para obtener un efecto de diversidad suficiente, en el caso de la diversidad de frecuencia, la separación entre las frecuencias de los canales combinados sea, por lo menos, de 400 Hz;
- 4 que para obtener más información sobre las técnicas de diversidad se consulte el Anexo 1.

---

\* La Comisión de Estudio 5 de Radiocomunicaciones introdujo cambios de edición en la presente Recomendación en diciembre de 2009, con arreglo a lo dispuesto en la Resolución UIT-R 1.

## Anexo 1

### Utilización de diversidad de codificación

#### 1 Introducción

Es preciso establecer sistemas de transmisión de datos por ondas decamétricas para proporcionar un servicio fiable y eficiente con módems multicanales de multiplexaje por división de frecuencia (MDF), como los descritos en esta Recomendación, o con módems multicanal de modulación por desplazamiento de fase (MDP) como los que se describen en la Recomendación UIT-R F.763. Para compensar el efecto desfavorable del fenómeno de desvanecimiento selectivo del medio de transmisión, se utilizan ampliamente técnicas con diversidad de frecuencias, en banda y de otro tipo.

En este Anexo se describe una técnica de codificación merced a la cual se mejora el sistema con diversidad de frecuencias en banda.

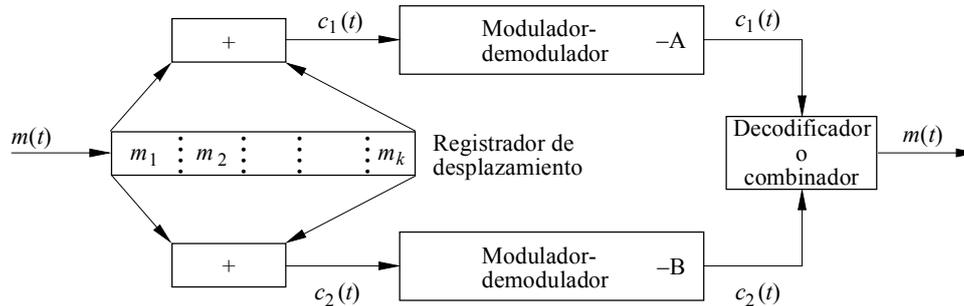
#### 2 Descripción del sistema

En la Fig. 1 se muestra el esquema de transmisión. La señal  $m(t)$  que sale de una fuente de información binaria se aplica al registro de desplazamiento de un codificador de longitud  $K$ . Después de cada desplazamiento del registro a la velocidad de datos de la fuente, el codificador genera dos bits de código,  $c_1(t)$  y  $c_2(t)$ , que a su vez activan los moduladores de datos correspondientes. En la práctica, la separación entre las frecuencias centrales de esos moduladores de datos suele ser aproximadamente de 1 kHz. La salida combinada de los moduladores se aplica luego a un sistema de transmisión de banda lateral única (BLU) en ondas decamétricas.

En condiciones de funcionamiento con diversidad de frecuencias, el sistema de la Fig. 1 adopta su forma más sencilla. Los bits de código son simples réplicas del bit de información, esto es,  $c_1(t) = c_2(t) = m(t)$ . La decisión sobre el valor de un bit de información determinado se basa en el valor combinado de las salidas de los dos demoduladores. En el contexto de una teoría de la información, la diversidad de frecuencias puede definirse como una técnica de codificación con una relación de 1/2 que utiliza decisiones programadas.

En las transmisiones con diversidad de frecuencias, sólo dos bits de código contienen información sobre cualquier bit de información dado. Con una probabilidad no nula, esos dos bits se pueden alterar simultáneamente a causa del desvanecimiento, la interferencia o el ruido, provocando una decisión incorrecta en el bit de información. Cuando esto sucede, no es posible corregir el error utilizando los valores de los otros bits de código. Así pues, resulta conveniente codificar la secuencia de información, de modo que más de un solo par de bits de codificación se relacione con cualquier bit de información determinado. El sistema de la Fig. 1 lo consigue estableciendo la correspondencia en la secuencia de información con anterioridad a la transmisión.

FIGURA 1  
Estructura general con diversidad



0106-01

En la transmisión con diversidad de frecuencias codificadas podría utilizarse cualquier tipo de código de corrección de errores con relación de 1/2, pero los códigos convolucionales son particularmente adecuados porque la estructura de sus codificadores se adapta a la estructura de los sistemas de transmisión con diversidad de frecuencias, y puede utilizarse el algoritmo de Viterbi para llevar a cabo eficazmente la decodificación de decisiones programadas. Las salidas de los demoduladores se aplican a convertidores  $A/D$  en un decodificador de Viterbi, que sustituye la operación de combinación del sistema con diversidad de frecuencias.

### 3 Resultados experimentales

Se realizó una comparación del comportamiento de las transmisiones radioeléctricas con diversidad de frecuencias y con diversidad de codificación. Se eligieron códigos convolucionales de longitud impuesta  $K = 5$  y  $K = 7$ , y el resultado del codificador se aplicó a un modulador multicanal MDF utilizando frecuencias centrales de 1 105 y 2 125 Hz y un desplazamiento de  $\pm 42,5$  Hz. La velocidad de datos de cada canal síncrono era de 75 bit/s. La señal, en forma de ojo, de cada demodulador se digitalizó por medio de una muestra extraída del centro del periodo del ojo. El equipo radioeléctrico de ondas decamétricas utilizado incluía un transmisor de 100 W, antenas de banda ancha y un receptor de comunicaciones sintetizado. Para los experimentos de recepción con diversidad se utilizó una combinación con relación máxima. Para los experimentos de codificación se utilizó un decodificador de Viterbi en tiempo real, aplicado en soporte lógico con un microprocesador polivalente de 8 bits.

En Ottawa se realizaron tres series de transmisión radioeléctrica: una prueba de corto alcance a lo largo de una distancia de 60 km, con una componente de onda de superficie débil; una prueba de alcance medio a lo largo de los 400 km que separan Ottawa de Toronto; y una tercera prueba a bordo de un barco que transmitía desde la costa Este del Canadá. El barco navegaba desde la ciudad de Quebec hacia el Ártico, lo que permitió realizar pruebas a lo largo de distancias que iban de 400 a 2 500 km. Durante la última parte de esta prueba el enlace de ondas decamétricas atravesó el cinturón auroral y se registró frecuentemente un rápido desvanecimiento. En los experimentos a distancia corta y media se utilizaron varias frecuencias en el entorno de 3 a 9 MHz y en el experimento a bordo del barco se utilizaron bandas de frecuencias entre 5 y 15 MHz.

Se analizó la configuración de errores con diversidad de frecuencias y diversidad de codificación. Se observó que ambas series de datos presentaban las ráfagas características del canal de ondas decamétricas; no obstante, en el caso de la diversidad, la transición entre las ráfagas y los periodos de menor proporción de errores era gradual. La mayor parte del tiempo los errores eran aleatorios, con frecuentes errores aislados. Los datos procedentes del sistema con diversidad de codificación

presentaban ráfagas densas que empezaban y terminaban con relativa brusquedad, periodos exentos de errores más prolongados y ausencia de errores aislados y dobles. Las ráfagas de errores tendían a ser más prolongadas que las del sistema con diversidad de frecuencias. Después de una ráfaga prolongada el decodificador necesita cierto tiempo para recuperarse. De este modo, la BER en la secuencia decodificada podía en realidad ser mayor que la del sistema con diversidad de frecuencias en banda. No sucede lo mismo con la tasa de errores en los bloques (BLER).

Está previsto aplicar este sistema en un entorno con protocolo de petición automática de repetición (ARQ) que impide la utilización de entrelazado o diversidad en el tiempo. Se ha demostrado que estos esquemas tienen como resultado una disminución de la BER, pero exigen retardos durante la transmisión del orden de varias centenas de bits. En las transmisiones por bloques, éstos se rechazan debido a errores aislados o múltiples, como sucede con la combinación de la diversidad de frecuencias, pero en el caso de la diversidad de codificación el rechazo de bloques disminuye al reducirse los errores aislados. Las pruebas se realizaron para bloques de 128 y 512 bits, que son los bloques característicos de un sistema que va a utilizar diversidad de codificación.

Se compararon las BLER de esas dos técnicas, tal como se indica en el Cuadro 1. En el Cuadro figura el aumento porcentual de la probabilidad de recibir un bloque libre de errores con la técnica con diversidad de codificación, en comparación con la técnica con diversidad de frecuencias. La mejora obtenida varió de buena a insignificante, y en el caso del bloque de 512 bits se observó una mejora más pronunciada. En algunos casos la propia transmisión con diversidad de frecuencias en banda estaba prácticamente libre de errores, por lo que no daba lugar a mejoras; en otros, el canal era de tan baja calidad que ninguno de los dos sistemas consiguió una proporción de errores de viabilidad práctica. Se observó que la calidad de funcionamiento de la codificación convolucional no fue en ningún momento apreciablemente inferior a la del sistema con diversidad de frecuencias en banda.

#### CUADRO 1

##### Resultados de las pruebas realizadas sobre BLER

a) Tamaño del bloque = 128 bits

N.º de prueba	Longitud impuesta	Diversidad BLER	Codificación BLER	Total de bits	Mejora del caudal (%)
1	$K = 7$	0,293	0,201	1 430 000	13,0
2	$K = 7$	0,217	0,127	506 000	11,5
3	$K = 5$	0,321	0,227	352 000	13,8
4	$K = 7$	0,084	0,015	217 000	7,5
5	$K = 7$	0,083	0,019	217 000	6,5

b) Tamaño del bloque = 512 bits

N.º de prueba	Longitud impuesta	Diversidad BLER	Codificación BLER	Total de bits	Mejora del caudal (%)
6	$K = 7$	0,548	0,406	1 430 000	31,4
7	$K = 7$	0,378	0,223	506 000	24,9
8	$K = 5$	0,570	0,420	352 000	34,9

#### 4 Consideraciones relativas a la realización

La técnica de codificación descrita en el presente Anexo tiene un número de limitaciones prácticas y no sustituirá en todas sus aplicaciones a un combinador polivalente con diversidad de frecuencias. Por ejemplo, es incompatible con los sistemas de transmisión de datos asíncronos.

No obstante, puede ser útil con los sistemas ARQ que utilizan transmisiones síncronas, a condición de que las transmisiones no sean de duración tan corta, que anule la mejora en el caudal mediante un aumento de los bits de cabecera que se requieren para el funcionamiento adecuado del decodificador de Viterbi. La cabecera es de cuatro veces los  $K$  bits (donde  $K$  es la longitud impuesta) necesaria al comienzo de la transmisión, y por último hay una secuencia final de transmisión de  $(K - 1)$  bits.

#### 5 Conclusiones

Se ha ensayado un método de control de errores basado en la diversidad de frecuencias con codificación convolucional y se ha comparado con una transmisión de datos con diversidad de frecuencias en banda. Los resultados experimentales demuestran que este sistema tiene una BLER mejor que la de los sistemas con diversidad de frecuencias en banda. La técnica de codificación es adecuada para sistemas que actualmente utilizan diversidad de frecuencias en combinación con un protocolo ARQ síncrono.

---