

RECOMENDACIÓN UIT-R F.764-1

**REQUISITOS MÍNIMOS DE LOS SISTEMAS RADIOELÉCTRICOS EN ONDAS DECAMÉTRICAS
QUE UTILIZAN UN PROTOCOLO DE TRANSMISIÓN POR PAQUETES**

(Cuestión UIT-R 158/9)

(1992-1994)

La Asamblea de Radiocomunicaciones de la UIT,

considerando

- a) que existe una creciente demanda de un servicio digital de datos prácticamente exento de errores para los sistemas radioeléctricos en ondas decamétricas;
- b) que es conveniente especificar los requisitos de los sistemas radioeléctricos por paquetes en ondas decamétricas,

recomienda

1. que como requisito mínimo para los protocolos de sistemas radioeléctricos por paquetes en ondas decamétricas:

1.1 los protocolos por paquetes en ondas decamétricas deben admitir el caudal máximo en una amplia gama de condiciones de canal;

1.2 los protocolos por paquetes deben emplear sistemas de detección y de corrección de errores para asegurar que la probabilidad de errores no detectados sea superior a 1×10^{-8} cuando la proporción bruta de bits erróneos en el canal es de 1×10^{-2} ;

1.3 cuando funcionan en el modo ARQ los protocolos por paquetes deben utilizar algoritmos de repetición selectiva. La redundancia de FEC debe transmitirse cuando se solicita una repetición del paquete con error. Si el paquete recibido se recibe correctamente, la información se recupera y entrega al destino del mensaje. Si el paquete repetido contiene uno o más errores, a las dos versiones del paquete relacionado con la misma información se les aplica un procedimiento FEC y se verifican sus errores. Si el paquete procesado se considera exento de errores, la información se entrega al destino. Los niveles de FEC pueden incrementarse por 2, según se indica, para obtener una calidad de funcionamiento más alta. Asimismo, pueden utilizarse valores de decisión menos estrictos de la señal de paquete recibida para un mejor funcionamiento de FEC. Dicho sistema se expone en el anexo 2;

1.4 la transmisión de datos debe estar en modo síncrono;

1.5 el paquete debe contener preámbulo suficiente para que se produzca la sincronización de temporización de bits del módem del receptor;

1.6 el paquete debe tener al menos sincronizaciones de tramas de 16 bits para reducir la detección de tramas falsas;

1.7 los paquetes deben contener la identificación de las estaciones emisoras y receptoras para evitar la aceptación errónea del tráfico destinado a otras estaciones;

1.8 la estación de transmisión de paquetes debe emplear algún método de detección de portadora, detección de paquetes o sincronización con otras estaciones que comparten el mismo radiocanal para reducir colisiones de paquetes e interferencias con los paquetes que ya están en proceso de transmisión en el canal;

2. que se actualice esta Recomendación a medida que se desarrollan nuevas técnicas y se disponga de la información correspondiente. Además, se recomienda el estudio de las técnicas de optimización de los sistemas de paquetes en ondas decamétricas;

3. que las notas siguientes se consideren parte íntegra de esta Recomendación.

Nota 1 – El anexo 1 describe un sistema que emplea un protocolo de paquetes en ondas decamétricas.

Nota 2 – El anexo 2 describe un sistema que emplea un protocolo radioeléctrico de paquetes en ondas decamétricas con ARQ y FEC selectivos.

Nota 3 – El anexo 3 enumera las características del controlador de nodo de terminal (TNC) que incorpora el protocolo radioeléctrico de paquetes AX.25.

Nota 4 – El anexo 4 describe un sistema que utiliza un protocolo de transmisión por paquetes en ondas decamétricas para la transmisión de datos, con corrección de errores, detección de errores no corregibles y retransmisión de tramas no recibidas o no corregidas.

ANEXO 1

Equipo transportable de radiocomunicación por ondas decamétricas para transmisión de mensajes impresos

1. Introducción

Se describe un terminal que puede hacer interfaz con equipos radioeléctricos en ondas decamétricas para la transmisión de mensajes, en aquellos casos en que las condiciones de propagación no permiten comunicaciones vocales inteligibles. El sistema es adecuado para su utilización en barcos y en zonas remotas con población dispersa, en las que no hay disponibles otros medios de comunicación. Entre las características importantes del sistema figuran las siguientes:

- evaluación y selección del canal en tiempo real;
- interfaz con la red telefónica para control remoto;
- instalación económica en zonas remotas.

2. Configuración del sistema

El terminal de datos está diseñado para trabajar con transceptores en una red de hasta 128 terminales que comparten una serie de frecuencias comunes.

3. Descripción del sistema

El terminal de datos tiene el tamaño de una máquina de escribir portátil y consta de un teclado alfanumérico, una unidad de representación visual de 20 caracteres con diodos luminiscentes (LED – «Light Emitting Diode») y una impresora de 20 columnas. El conjunto comprende además un procesador central, módems y un circuito impreso de interfaz radioeléctrico (véase la fig. 1). Un operador puede introducir un mensaje de hasta 1 280 caracteres en la memoria del terminal. El mensaje puede comprobarse en la pantalla LED o en la impresora y editarse. Cuando el operador está satisfecho con el contenido de la memoria, el mensaje puede encaminarse a un terminal de destino determinado, introduciendo la dirección de ese terminal mediante el teclado.

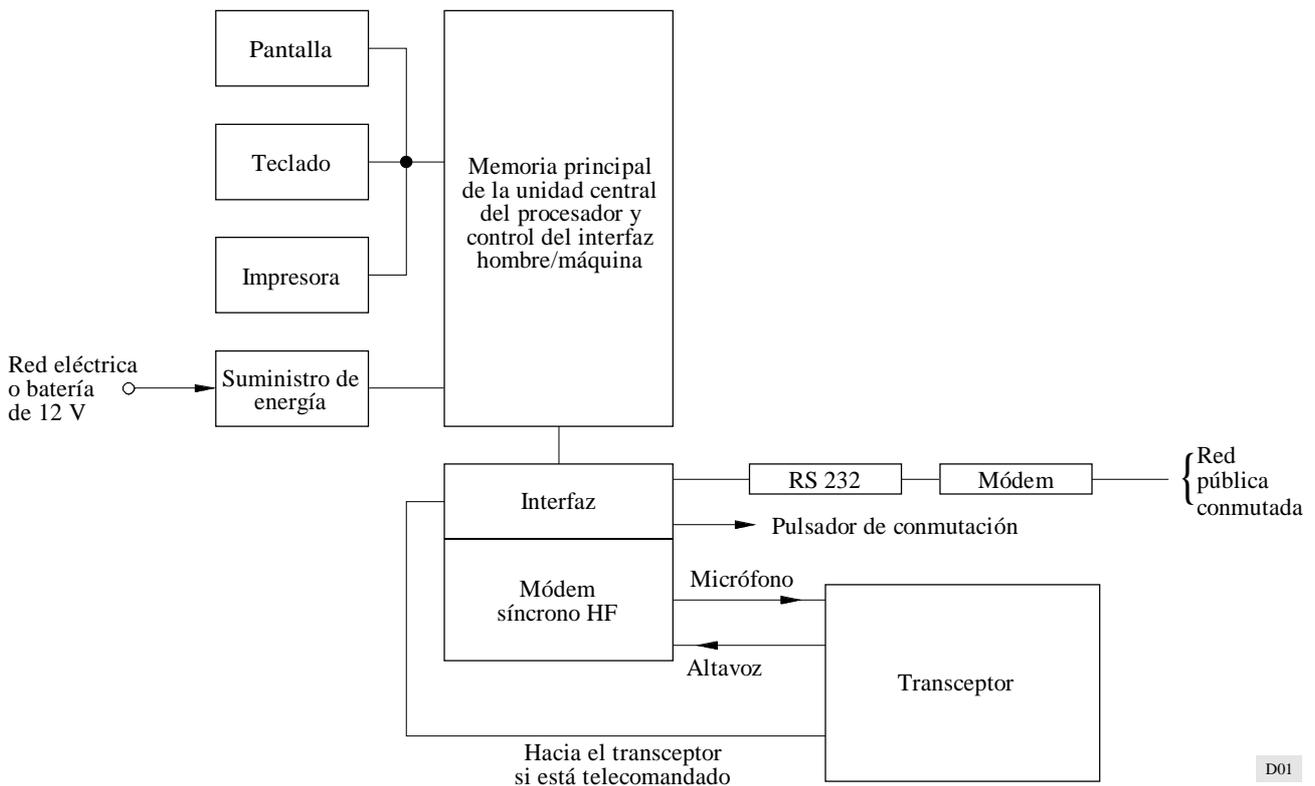
Se efectúa la transmisión del mensaje mediante un protocolo radioeléctrico de conmutación por paquetes que por un lado identifica al emisor y al receptor y por otro permite al receptor localizar porciones de mensaje mutiladas por la interferencia o el desvanecimiento. Se activa un procedimiento optativo de solicitud automática de retransmisión, hasta la recepción correcta. Se ha diseñado el protocolo específicamente para su utilización en transceptores que no pueden efectuar de un modo rápido la conmutación de recepción a transmisión; se utiliza una sola frecuencia en las dos direcciones.

A medida que se reciben los paquetes, el terminal los almacena en su memoria y al concluir la transmisión imprime automáticamente la totalidad del mensaje. Se envía al terminal de origen una señal de confirmación para indicar que el mensaje se ha recibido satisfactoriamente. No se requiere la presencia de un operador en el extremo receptor.

El sistema utiliza diversidad de frecuencia dentro de la banda para combatir el desvanecimiento selectivo. Se utilizan dos módems por desplazamiento de frecuencia que emplean desplazamientos de 170 Hz cuando funciona a 100 bit/s para transmitir datos idénticos. El sistema de control de errores se efectúa mediante un bit de paridad por cada 8 bits (agrupados en un byte). Se agrega un código de redundancia cíclica de un byte para constituir un código robusto que permita sólo el error de un carácter en 10^8 caracteres después de introducir el ARQ.

El terminal puede controlar la selección de los radiocanales. Cuando se inicia la transmisión de un mensaje, se activa un procedimiento automático que induce a las estaciones a buscar, entre las frecuencias asignadas a la red, aquella que sea capaz de apoyar la transferencia de datos. De esta forma se mantiene la fiabilidad de la red aun cuando no se disponga de operadores expertos. Si no puede encontrarse ninguna frecuencia adecuada, se imprime un mensaje, advirtiendo de este hecho al usuario emisor.

FIGURA 1
Terminal de mensajes impresos



El terminal es capaz de transmitir mensajes de 630 caracteres cada 90 s, en condiciones de buena propagación. Cuando las condiciones de propagación empeoran se reduce la transferencia de datos debido a la necesidad de retransmitir las porciones de mensaje mutiladas. El sistema dejará de funcionar automáticamente cuando las condiciones se degraden hasta un punto en el cual el flujo de información descienda por debajo de un límite aceptable. Esta característica reduce la interferencia en el espectro radioeléctrico. En estos casos se imprimen mensajes que informan al usuario emisor que el terminal es incapaz de efectuar los intercambios de comunicación.

4. Resultados de pruebas

Se ha desarrollado un amplio conjunto de pruebas empleando estaciones en tierra y a bordo de barcos durante un periodo de un año. Las longitudes de los trayectos variaron entre 50 y 9 000 km, utilizándose una amplia gama de transmisores que funcionaban con potencias comprendidas entre 50 y 300 W. Las pruebas comprendieron cierto número de trayectos transaurorales para todas las estaciones del año y todas las horas del día. Se recibieron e imprimieron con éxito alrededor de un millón de caracteres sin que en las copias impresas se percibieran errores no detectados. Esto demuestra la robustez del protocolo de control de errores.

5. Funcionamiento de la red de terminales

Si el tráfico es reducido y está distribuido uniformemente en los nudos, varias combinaciones de terminal y equipo radioeléctrico de datos pueden funcionar como una red. No obstante, si el tráfico en uno de los nudos está concentrado en el tiempo puede producirse un bloqueo. Debería instalarse en tal caso en el nudo de intensa actividad una unidad de memoria intermedia para almacenar los mensajes y cumplir funciones de control de red destinadas a subsanar los bloques. La unidad de memoria intermedia ha sido realizada con un computador normal de escritorio conectado al terminal de ondas decamétricas mediante un interfaz RS 232. La unidad de memoria se conecta a la red telefónica conmutada y permite el acceso simultáneo de varios usuarios. Los mensajes procedentes de los distintos usuarios se colocan en fila de espera y se transmiten cuando se libera el radiocanal. La memoria intermedia permite al terminal recibir un mensaje al mismo tiempo que un usuario introduce otro mensaje para su transmisión.

ANEXO 2

**Equipo de radiocomunicación por ondas decamétricas
para facsímil digital y mensajes impresos****1. Introducción**

En el presente anexo se describe un terminal automático por ondas decamétricas para facsímil digital y mensajes impresos. El sistema tiene las siguientes características generales:

- evaluación y selección de frecuencias de ondas decamétricas;
- acceso desde la red conmutada para la operación del terminal a distancia;
- almacenamiento, corrección y transmisión de mensajes a partir de discos;
- imagen con aparatos facsímil del Grupo 3 de alta calidad con una resolución de $7,7 \times 3,85$ líneas/mm;
- mejora del caudal mediante la petición automática de corrección (ARQ) híbrida con corrección de errores hacia adelante;
- soporte físico construido para permitir la conexión de una tarjeta de expansión en un computador personal basado en un microprocesador 8088;
- interfaz con transceptores BLU de ondas decamétricas por medio de terminales de audiofrecuencia.

2. Descripción del sistema

El terminal está construido alrededor de un computador personal basado en un microprocesador 8088 que tiene un entorno de sistema operativo de discos multitareas en tiempo real. Los recursos del computador son utilizados por el soporte lógico terminal y el usuario tiene acceso a las facilidades de gestión de ficheros para la entrada o recuperación de la información a partir del terminal. La información que transmite y recibe el terminal es almacenada en los discos del computador.

El módem de ondas decamétricas es un módem MDF de 12 canales (véase la Recomendación UIT-R F.436) con un desplazamiento de frecuencia de $\pm 42,5$ Hz y una separación de canales de 170 Hz. El modulador y el demodulador se realizan en dispositivos de tratamiento de señales digitales y se hallan en interfaz con el bus del computador. El módem y el soporte físico del interfaz están contenidos en una tarjeta para conectar en el bus de expansión del computador. Los datos se introducen en los moduladores como palabras binarias de 12 bits a intervalos de 10 ms por medio de un acceso paralelo de salida de datos. Las salidas del módem se combinan y aplican a la entrada audio de un transmisor de comunicación BLU de ondas decamétricas.

La salida audio del receptor BLU de ondas decamétricas es digitalizada y alimentada en las 12 entradas del módem. El demodulador genera un reloj de 100 Hz sincronizado a las señales de datos recibidas. Cada «señal en ojo» de la salida del demodulador se muestrea en el medio del intervalo de temporización de bits y la muestra se convierte en una palabra digital de 5 bits. En cada intervalo de 10 ms se transfieren 12 muestras del demodulador a la memoria del computador para su proceso. Aunque la velocidad de señalización es de 100 Bd, la presencia de 12 canales da una velocidad de datos bruta de 1 200 bit/s.

El terminal está diseñado para funcionar con un protocolo de radiocomunicación de paquetes que proporciona al sistema un marco para el intercambio de información de control, como es la identificación de la estación, los tipos de mensajes y las opciones. El protocolo permite en particular la realización de un algoritmo ARQ de repetición selectiva, que garantiza la integridad del mensaje. Cada paquete comienza con una secuencia de sincronización de bits seguida por una palabra de alineación de trama de paquetes transmitida por todos los canales. El computador combina todos los datos muestreados procedentes de los 12 canales y efectúa una detección en filtro adaptado para hallar la palabra de alineación de trama de paquetes. La información que sigue a la palabra de alineación de trama se denomina paquete de encabezamiento. Los bytes de datos del paquete de encabezamiento se codifican con el código de bloques (12, 8) con una distancia mínima de 3, que se transmite en paralelo desde los 12 moduladores. El código de bloques se decodifica con una decisión de soporte lógico en la que el receptor decodifica el algoritmo. La validez del paquete de encabezamiento se verifica por medio de un código de detección de errores de velocidad alta, que se transmite como parte del paquete de encabezamiento. En éste se utiliza la diversidad de codificación en lugar de la diversidad de frecuencia en banda convencional.

La información se reúne en 96 paquetes pequeños y se transmite después del paquete de encabezamiento. Cada paquete de información contiene bytes de datos, un número de secuencia y un código de detección de errores. Los paquetes de información se codifican después con una velocidad de la mitad del código de corrección de errores. El código de corrección de errores se elige de modo que la información pueda recuperarse en cualquiera de las dos mitades del paquete codificado. El transmisor no transmite inicialmente la parte de paridad de los paquetes codificados, sino que la guarda para futuras peticiones de repetición. Cada uno de los 12 moduladores recibe secuencialmente 3 paquetes de información sin ninguna duplicación. Además de los paquetes de información se envía un paquete que contiene los números de secuencia de los paquetes que se hallan contenidos en esa transmisión. El terminal receptor verifica los paquetes de información para descubrir la presencia de errores y si el paquete está exento de errores, almacena la información en el lugar apropiado según indica el número de secuencia. Si el paquete de información tiene uno o más errores se conservan los valores analógicos muestreados del paquete procedentes de la salida del demodulador para futuro tratamiento. El terminal receptor del mensaje pide la repetición de los paquetes de información pendientes en el paquete de acuse de recibo. Siempre que el transmisor tiene que repetir un paquete de información, se envía la parte de paridad de la versión del código de detección de errores de paquete. El transmisor alterna la repetición del mismo paquete entre la parte de información y la parte de paridad del paquete codificado. Si la parte de paridad del código de detección de errores de paquete se recibe sin errores, entonces se recupera la información mediante un proceso de inversión. Si la segunda transmisión contiene también errores, se activa un proceso de corrección de errores por decisión del soporte lógico utilizando las muestras conservadas del mismo paquete de la primera y la segunda recepciones. La salida del proceso de corrección de errores se verifica con el código de detección de errores de paquete antes de aceptar los datos. El receptor combina linealmente los valores analógicos muestreados conservados del mismo paquete si el paquete recibido falla en el proceso de detección de errores a fin de establecer la intensidad de la señal y utilizar la diversidad de tiempo. Cuando el transmisor tiene que repetir un paquete de información, la repetición de ese paquete se efectúa por un canal distinto para evitar la alteración persistente del canal que podría producirse.

El terminal explora continuamente las frecuencias radioeléctricas asignadas y cuando se inicia una transmisión de mensaje, el terminal que origina el mensaje llama secuencialmente al terminal de destino por todos los canales radioeléctricos asignados. La sesión de mensaje se establece en una frecuencia apropiada para la transmisión de datos. De este modo se mantiene la fiabilidad de la red, incluso cuando no se dispone de operadores experimentados.

El interfaz con los aparatos facsímil del Grupo 3 del UIT-T se proporciona mediante un acceso especial establecido en la ficha de interfaz del computador del terminal. El documento se explora en una resolución de $7,7 \times 3,85$ línea/mm y los datos de imagen se comprimen con un algoritmo exento de errores. Se ha observado que este algoritmo es un 65% más eficaz que la técnica de compresión de datos de aparatos facsímil del Grupo 4 del UIT-T. Cuando se aplicó a ocho imágenes de prueba del UIT-T, el algoritmo de compresión de imagen dio un tamaño medio de la imagen de 12 kbytes. La imagen comprimida se transmite desde el archivo de discos y el terminal receptor coloca la imagen en el almacenamiento de discos. La imagen puede ampliarse con el inverso del algoritmo de compresión de datos y ser objeto de examen con la unidad de presentación vídeo del computador o de impresión con el aparato facsímil.

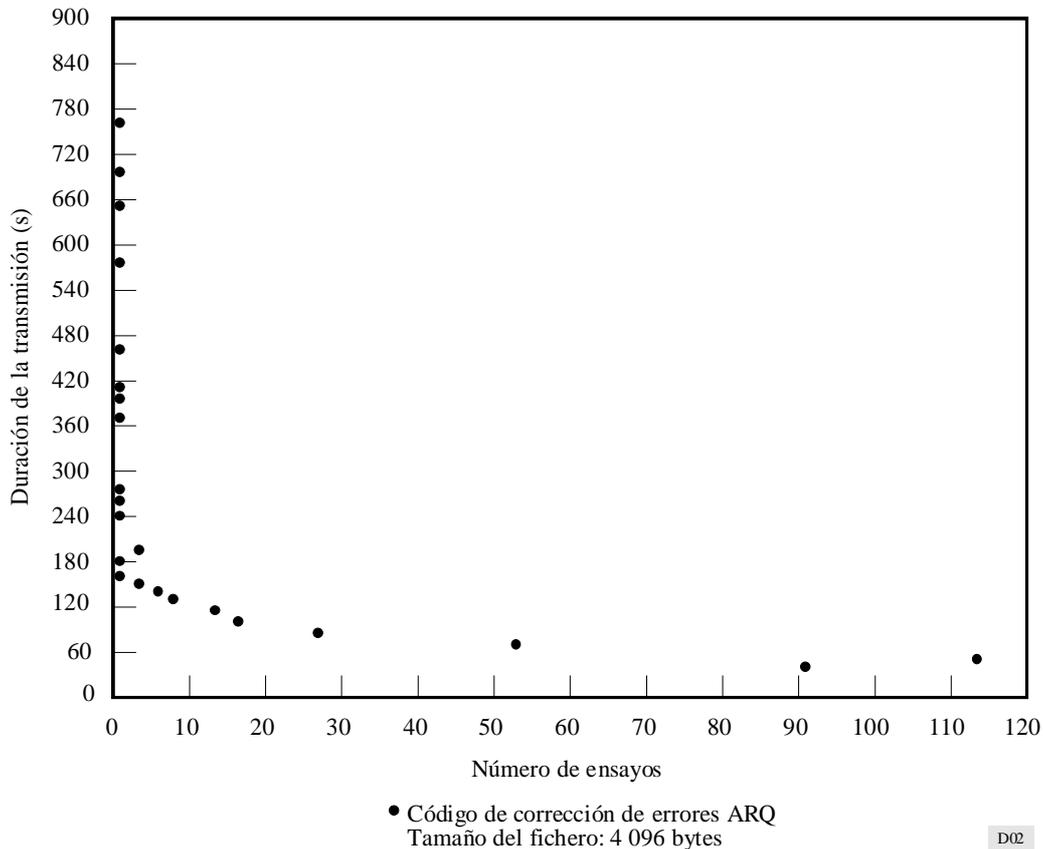
3. Resultados experimentales

El sistema se ensayó en un enlace comprendido entre Ottawa y un emplazamiento cercano a Vancouver, en una distancia de 3 500 km. Se transmitió periódicamente un mensaje de prueba de 4 096 bytes en un periodo de ensayo de 15 días. Los terminales fueron programados para explorar tres canales radioeléctricos asignados y no se utilizó ningún operador para la selección de canales. La fig. 2 muestra la distribución de los tiempos de transmisión en los 344 experimentos efectuados durante este ensayo. También se realizaron pruebas en un enlace de 100 km cercano a Ottawa; los resultados obtenidos fueron apreciablemente iguales a los logrados en el ensayo a larga distancia. En los ficheros recibidos en los ensayos se verificó la presencia de errores no detectados y no se halló ninguno en 6 Mbytes de datos.

El diseño del sistema de ondas decamétricas logró la transmisión fiable de datos y mensajes en canales radioeléctricos de ondas decamétricas. La memoria ARQ actúa como una técnica de diversidad por demanda adaptando el sistema a las condiciones cambiantes de los canales, con lo que se logra un caudal superior en comparación con los sistemas que utilizan la diversidad de frecuencias en banda y los protocolos ARQ simples, en donde los datos recibidos se eliminan en presencia de errores. Se utilizan módems paralelos en un modo flexible, en el que los datos pueden codificarse y difundirse por todos los canales, y en el que la capacidad de corrección de errores de la decodificación por decisión del soporte lógico aumenta la calidad de funcionamiento cuando se requiere una protección adicional para los paquetes de encabezamiento. La facilidad incorporada de vigilancia de distintas frecuencias radioeléctricas mejora el éxito de establecimiento de un enlace en condiciones variables de propagación. El algoritmo de compresión de datos

incorporado al soporte lógico terminal efectúa una eficaz compresión de datos, reduciendo así el tamaño del fichero y el tiempo de transmisión. Las imágenes son reproducidas por el receptor terminal con la misma fidelidad que la imagen explorada en el terminal transmisor, debido a la protección contra errores proporcionada por el protocolo de transmisión de datos.

FIGURA 2
Distribución del tiempo de transmisión



D02

El sistema ha sido ensayado en trayectos ionosféricos de ondas decamétricas durante un periodo de tres meses y el rendimiento alcanzó todas las metas del diseño. El terminal de datos y facsímil por ondas decamétricas proporciona un servicio de datos fiable incluso utilizando un equipo reducido.

ANEXO 3

Características del controlador de nodo de terminal (TNC)

1. El TNC incluye un módem que permite su conexión a la mayoría de los equipos radioeléctricos a través de los interfaces audio. El TNC se conecta a un computador a través de un interfaz RS 232-C.

Esto permite a los computadores comunicarse entre sí por medios radioeléctricos.

2. El TNC reordena el mensaje procedente del computador en paquetes direccionados que son luego radiotransmitidos. El TNC receptor decodifica los paquetes y transfiere el mensaje al computador asociado.

3. La mayoría de los mensajes recibidos están exentos de errores pues el TNC utiliza códigos de comprobación de errores (códigos CRC) y ARQ.

4. El TNC puede funcionar con los sistemas radioeléctricos como una estación de almacenamiento y envío de mensajes por paquetes; esta función se denomina repetidor digital.

Por lo tanto, es posible incrementar la distancia de transmisión o formar una red que pueda, a su vez, conectarse a otras redes.

5. El protocolo TNC es AX.25, basado en el protocolo de la Recomendación UIT-T X.25. AX.25 se creó para utilizarlo fundamentalmente en radioenlaces en bandas de frecuencias métricas y decimétricas y no ha sido optimizado para su uso en radioenlaces en bandas de frecuencias decamétricas.

ANEXO 4

Sistema de transmisión automática de datos en ondas decamétricas

1. Introducción

El presente anexo describe un sistema que permite la transmisión automática de datos digitales, facsímil, ficheros y mensajes en ondas decamétricas.

El terminal está basado en un computador personal del tipo IBM PC que almacena los datos que se han de transmitir y los datos recibidos.

Contiene todas las funciones necesarias para seleccionar las frecuencias disponibles más adecuadas en un instante determinado, para comunicar con un corresponsal designado.

Una vez elegida la mejor o las mejores frecuencias (explotación símplex con pulsador de conmutación o semidúplex con pulsador de conmutación, respectivamente), la transmisión de un mensaje, facsímil o de cualquier otro fichero de datos se realiza mediante un procedimiento que combina la codificación para corrección directa de errores, la detección de errores y la retransmisión selectiva de los paquetes con error.

2. Descripción del procedimiento de transmisión de datos

2.1 Principios

El procedimiento de transmisión de datos es un protocolo de nivel 2 (LLP – Link Level Protocol) cuyo diseño respeta la arquitectura OSI.

Es compatible con la forma de onda de un módem serie adaptable (por ejemplo, conforme a STANAG 4285).

La unidad de base transmitida es una trama de 106,6 ms que contiene 128 símbolos útiles.

Permite la transmisión con pulsador de conmutación de datos por tramas con acuse de recibo selectivo. Cada trama no recibida, o no corregida, se retransmite de forma selectiva hasta su acuse de recibo por el receptor, lo que significa que la trama de datos se ha recibido sin errores.

El protocolo posee mecanismos que permiten:

- la conexión del enlace de una estación directora (transmisor del fichero de datos) con una estación subordinada (receptor del fichero de datos);
- la transferencia de datos con adaptación en potencia, velocidad y frecuencia en función de la calidad del canal en ondas decamétricas;
- el control de flujo: la estación subordinada puede solicitar a la estación directora que cese el envío de bloques de datos;
- la inversión del pulsador de conmutación durante una misma conexión (se invierten los papeles de la estación directora y subordinada);
- la desconexión del enlace.

El modo ARQ de nivel 2 se basa en las siguientes funcionalidades de nivel 1:

- selección automática de frecuencia para la búsqueda de una frecuencia adecuada, con el fin de efectuar la conexión y realizar la adaptación de frecuencia;
- velocidades del módem elegidas entre las 3 siguientes:
 - 3 600 bits/s (modulación MDP-8),
 - 2 400 bits/s (modulación MDP-4),
 - 1 200 bits/s (modulación MDP-2).

Cada trama de módem se codifica mediante un código de Reed-Solomon sobre símbolos de 8 bits que asegura las funciones de corrección de errores y de detección de errores no corregibles.

2.2 *Unidades de transmisión básicas del protocolo*

El protocolo utiliza las siguientes unidades principales, similares a las de un protocolo de tipo HDLC:

2.2.1 Las unidades de datos del protocolo de enlace (LPDU, Link Protocol Data Units) que corresponden a una trama de módem de 106,6 ms.

Una LPDU de datos o de acuse de recibo, además de la codificación para corrección de errores y de los bits de relleno de nivel 2, contiene lo siguiente:

- 29 octetos útiles que corresponden a una velocidad media útil de 2 400 bits/s;
- 21 octetos útiles que corresponden a una velocidad media útil de 1 800 bits/s;
- 13 octetos útiles que corresponden a una velocidad media útil de 1 200 bits/s;
- 5 octetos útiles que corresponden a una velocidad media útil de 600 bits/s.

Se asignan LPDU de supervisión al control de flujo y a la marcación del enlace, cuando no hay datos para transmitir, y a las solicitudes de conexión y desconexión del enlace.

2.2.2 Las unidades de datos del servicio de enlace (LSDU, Link Service Data Units) son las unidades de datos que se han de transmitir. Una LSDU tiene un tamaño máximo de 10 octetos y está segmentada en varias LPDU para la transmisión.

2.3 *Descripción del protocolo*

2.3.1 *Conexión*

Esta fase se desarrolla en dos etapas:

- Selección automática de frecuencia,
- Tras la elección de frecuencia:
 - envío por la parte llamante de una LPDU CR (Connection Request): petición de conexión;
 - acuse de recibo por la parte llamada con una LPDU CC (Connection Confirmation): confirmación de conexión.

La conexión queda así establecida.

2.3.2 *Transferencia de datos*

2.3.2.1 *Mecanismo de acuse de recibo selectivo*

El mecanismo de acuse de recibo se basa en la división de las LSDU en bloques de 256 LPDU. Cada bloque se divide en supertramas que contienen como máximo 64 tramas (LPDU) de informaciones.

El equipo receptor acusa recibo de forma selectiva de los bloques de cada supertrama. El acuse de recibo está constituido por una LPDU que indica las tramas no recibidas. Las tramas no recibidas, o no corregidas, se retransmiten al principio de una nueva supertrama. La supertrama se completa con las nuevas tramas que quedan por transmitir. Los números del primer octeto no recibido y del primer octeto que se ha de transmitir se controlan mediante variables análogas a las de un protocolo HDLC (N_NOT_RECEIVE y N_TO_SEND). Como máximo, hay una separación de 256 tramas entre dos tramas en el seno de una supertrama (ventana de anticipación).

Ejemplo:

- Supertrama transmitida:

0	1	2	3	58	59	60	61	62	63
---	---	---	---	-----	-----	----	----	----	----	----	----

- Acuse de recibo:

0, 7, 45 no recibidos

- Supertrama transmitida:

0	7	45	64	65	...	119	120	121	122	123	124
---	---	----	----	----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

- etc.

2.3.2.2 Adaptabilidad

Se aplican tres mecanismos de adaptabilidad: adaptabilidad de potencia, de velocidad y de frecuencia.

Los criterios de activación de estos mecanismos se basan en el número de tramas no recibidas o no corregidas y en la recepción o no de acuses de recibo.

La primera transmisión se hace a la potencia definida tras la fase de selección automática de frecuencia. Se pasa a la potencia de transmisión máxima en caso de indicación de no recepción de tramas. Si la supertrama se recibe correctamente, la parte llamante disminuye un paso del nivel de potencia. El proceso no es simétrico: el incremento de potencia es más rápido que la reducción.

Si la calidad de transmisión se degrada demasiado, se pasa a adaptar la velocidad entre tres velocidades posibles. A partir de un cierto número de tramas o acuses de recibo no recibidos, se pasa a una codificación correspondiente a una velocidad de transmisión más baja. En caso de mejora de la calidad del enlace, se pasa a una velocidad superior.

Cuando la calidad de transmisión no es suficiente a la velocidad más baja, se produce una desconexión momentánea, se efectúa una nueva selección de frecuencia y se reanuda la transmisión en una nueva frecuencia sin pérdida de datos.

Los criterios de adaptabilidad pueden establecerse mediante parámetros y la fase de adaptabilidad de velocidad puede desactivarse en función de las necesidades.

2.3.2.3 Control del flujo y marcación

Al final de la recepción de una LSDU, si el receptor no está preparado para recibir otra LSDU, se produce una transmisión de tramas RNR (Receive Not Ready – no preparado para recibir) hacia la parte llamada, indicando la saturación del receptor. La transmisión vuelve a activarse a iniciativa del receptor: transmisión de tramas RR (Receive Ready – preparado para recibir) cuando se encuentra disponible.

Si no hay datos para transmitir, se mantiene la conexión en el nivel 2 mediante el envío de una marcación constituida por tramas RR.

2.3.3 Desconexión

La desconexión normal se efectúa a iniciativa de la estación directora del enlace que envía una LPDU DISC (DISConnection – desconexión) y espera confirmación de la desconexión (LPDU UA – Unnumbered ACK) (LPDU de acuse de recibo no numerada).

Es posible que la estación subordinada rehuse la desconexión (LPDU FRMR: FRaMe Reject – rechazo de trama). En ese caso, la estación directora transmite una trama que indica el paso de testigo a la subordinada, que debe acusar recibo. Se produce entonces un cambio de la conexión y una inversión de las funciones estación directora-estación subordinada.

3. Resultados

En la fig. 3 se representa la velocidad media útil, obtenida por simulación en función de la relación señal/ruido, en el caso de codificación para corrección directa correspondiente a una velocidad útil de 1 800 bits/s en diferentes canales normalizados.

FIGURA 3
Velocidad media útil

