

RECOMENDACIÓN UIT-R SA.1627

Requisitos de telecomunicación y características de los sistemas de satélites de recogida de datos y localización de plataformas del SETS y del servicio MetSat

(Cuestión UIT-R 142/7)

(2003)

La Asamblea de Radiocomunicaciones de la UIT,

considerando

- a) que los sistemas de satélites de recogida de datos (DCS) y de localización de plataformas de los servicios de exploración de la Tierra por satélite (SETS) y de meteorología por satélite (servicio MetSat) tienen requisitos de telecomunicación especiales;
- b) que la atribución al servicio SETS en la banda 401-403 MHz fue elevada a la categoría de primaria en la CMR-97;
- c) que la información relativa a las características de los sistemas DCS actuales y futuros, es útil para la realización de estudios con arreglo a las Recomendaciones UIT-R SA.1162, UIT-R SA.1163 y UIT-R SA.1164,

recomienda

- 1 que se tengan en cuenta los requisitos y características del Anexo 1 para los sistemas de satélites destinados a la recogida de datos y localización de plataformas del SETS y del servicio MetSat.

Anexo 1**Requisitos de telecomunicación y características de los sistemas DCS y de localización de plataformas del SETS y del servicio MetSat****1 Fundamentos y aplicaciones**

La presente Recomendación contempla los sistemas del SETS y del servicio MetSat de recogida de datos y localización de plataformas. El objeto de un sistema DCS es ofrecer una red de telecomunicación a los usuarios que necesitan información procedente de una diversidad de fuentes, que pueden encontrarse en cualquier lugar del mundo, incluido los océanos, desiertos y otras regiones de difícil acceso.

El concepto de un sistema DCS es el siguiente:

- plataformas automáticas y autónomas instaladas en tierra o montadas sobre un soporte (barco, avión, globo, boya anclada o a la deriva, o vehículo terrestre) para la transmisión de parámetros meteorológicos (presión, temperatura, humedad, etc.) o geofísicos (avisos de maremotos, datos sísmicos, oceanográficos y geodésicos, etc.). Estas plataformas deberían, en la medida de lo posible, ser ligeras y compactas, consumir poca energía y ser baratas;

- la información recopilada y transmitida por las plataformas se recibe en un satélite y se transmite, mediante una o varias estaciones terrenas de adquisición de datos, a un centro de gestión del sistema;
- una vez centralizada la información, se la hace llegar a los usuarios por medios de telecomunicación convencionales;
- si es necesario, se pueden adoptar los medios de distribuir la información desde el centro de gestión a las plataformas por medio del mismo sistema.

La diferencia entre este sistema y las telecomunicaciones convencionales radica en que no puede concebirse sin la utilización de satélites y que está destinado a una categoría especial de clientes cuyas necesidades no pueden satisfacerse por otros medios. En general, favorece uno de los sentidos de la transmisión y sirve fundamentalmente para centralizar la información. No obstante, puede obtener el respaldo de una instalación para la distribución de información a las plataformas de recogida de datos (PRD). Finalmente, un requisito de vital importancia para muchos usuarios es que la función de recogida de datos pueda acoplarse sin problemas con un sistema de localización que determine las coordenadas de las plataformas transmisoras.

Un DCS tiene muchos campos de aplicación: la meteorología, los recursos de la Tierra, la hidrografía, la observación sísmica, la vulcanología, la geodesia y la geodinámica, las boyas oceanográficas ancladas o a la deriva, la prospección petrolífera, el rastreo de los animales salvajes, etc.

2 Diseño del sistema de satélite

Se pueden utilizar dos tipos de órbitas: la órbita de los satélites geoestacionarios (OSG) o las órbitas terrestres bajas (LEO).

2.1 Sistemas de satélite LEO

Los satélites LEO se suelen situar en órbitas circulares a altitudes comprendidas entre 600 y 1 800 km, con un periodo de revolución de 2 h, aproximadamente. Con un solo satélite se puede recorrer toda la Tierra, incluidos los Polos, aunque el número de pasadas es relativamente bajo (de tres a cuatro por día, aproximadamente, sobre el Ecuador). Este número puede aumentarse utilizando varios satélites y llegando, por ejemplo, a 12 pasadas por día sobre el Ecuador con tres satélites. Las pasadas son bastante más frecuentes cerca de los Polos.

Un solo satélite ecuatorial podría cubrir la región tropical de la Tierra con una docena de pasadas por día. Una constelación de satélites con inclinación baja podría ampliar considerablemente la superficie de Tierra cubierta, como sistema complementario al polar.

Las plataformas de sistemas de satélites LEO suelen ser sencillas debido al mejor balance del enlace de radiocomunicaciones comparado con los satélites OSG. La función de localización es más fácil de proporcionar utilizando el efecto Doppler-Fizeau.

No obstante conviene indicar que su zona de cobertura instantánea es limitada; es normal que el semiángulo geocéntrico del campo de visión sea del orden de 30° y que la duración de la visibilidad mutua entre el satélite y una baliza determinada quede limitada a un intervalo que suele ser de 10 a 15 min. Además, es necesario almacenar información en el satélite para poder ofrecer una cobertura mundial.

Un ejemplo característico de sistema de satélites LEO es el de la Administración Nacional del Océano y de la Atmósfera (NOAA) de Estados Unidos de América que consta de dos satélites meteorológicos en órbitas heliosíncronas. Los planos de las dos órbitas circulares son ortogonales, la inclinación es de 98° aproximadamente, las altitudes de 830 y 870 km, y el periodo orbital

de 102 min aproximadamente. Otro ejemplo de sistema de satélites LEO es el sistema DCS de Brasil basado en satélites de órbita de baja inclinación (25°) a una altitud de 750 km, que funciona como sistema complementario de los satélites NOAA.

La serie METOP de satélites de EUMETSAT, cuyo primer lanzamiento está previsto en 2003, constituye otro ejemplo de sistema de satélites LEO. Estos satélites son heliosíncronos y tienen una altitud de 820 km.

2.2 Sistemas de satélites OSG

La zona geométrica de cobertura de un satélite geoestacionario es un casquete esférico con un semiángulo geocéntrico de 81° .

El satélite OSG proporciona una visibilidad permanente sobre una extensa zona, que alcanza prácticamente la escala de un hemisferio. La información se transmite continuamente y llega al usuario con gran rapidez. No obstante, se requieren como mínimo cuatro satélites para tener cobertura mundial, excluidas las regiones polares. Las plataformas deben venir equipadas con antenas direccionales y/o transmisores de mayor potencia que los del caso LEO. Finalmente, la función de localización es difícil de implementar.

Un sistema de satélite OSG es indispensable cuando se requiere una transmisión instantánea ya sea continuamente o en momentos predeterminados. Como desde un satélite OSG son visibles un gran número de plataformas, las transmisiones PRD deben ocupar hasta varios centenares de canales en la banda 401-403 MHz, el número exacto varía para los distintos sistemas.

3 Localización de plataformas

Las plataformas móviles (globos, boyas a la deriva, animales salvajes, etc.) se utilizan en una gran cantidad de aplicaciones y sus movimientos, impredecibles, han de rastrearse para llevar a buen término la misión (determinación del viento, estudio de las corrientes marinas, estudio de los movimientos migratorios, etc.). En estos casos las funciones de localización y recogida se efectúan simultáneamente.

Pueden medirse la distancia, la velocidad radial (efecto Doppler), o ambas. Se realizan y procesan varias mediciones a fin de localizar la plataforma transmisora con una precisión comprendida entre unos pocos metros y algunos kilómetros.

El método de localización Doppler no es aplicable a los satélites OSG. La localización desde los satélites OSG puede llevarse a cabo, en teoría, por interferometría desde un único satélite o por determinación de distancias dentro del área de solapamiento de dos satélites.

4 Modos de operación de las plataformas

4.1 Plataformas interrogadas

4.1.1 Plataformas interrogadas en los sistemas de satélites OSG

Una plataforma contiene tanto un transmisor como un receptor. El centro de gestión del sistema transmite al satélite un programa de trabajo que contiene la dirección de las plataformas a interrogar y el instante en que debe realizarse dicha operación. Las plataformas no pueden transmitir salvo que sean interrogadas. Sin embargo, éstas pueden diseñarse para solicitar la interrogación, como ocurre por ejemplo con los sistemas de alerta geofísica. Este modo de operación es muy fiable y no hay

riesgos de interferencia mutua. No obstante, la plataforma debe venir equipada con un receptor que aumenta su costo.

4.1.2 Plataformas interrogadas en sistemas de satélite LEO

En la actualidad se está implementando un enlace de servicio en los sistemas de satélite LEO para permitir la comunicación entre los centros de gestión y las PRD. El objeto de este enlace de servicio es múltiple. Por una parte puede limitarse sencillamente a conectar o desconectar los componentes de mayor consumo energético de una PRD, o llevar a cabo acciones más complejas como la reconfiguración de los sensores de la PRD. Asimismo mejorará el caudal de recogida de datos gracias al acuse de la recepción correcta de mensajes evitando de esta forma la repetición inútil. Este nuevo enlace se está implementando actualmente en el Satélite ADEOS-II, y se implementará en la serie de Satélites METOP y NPOESS.

4.2 Plataformas que operan en modo de acceso aleatorio

En los DCS OSG las plataformas de acceso aleatorio se utilizan para transmitir alertas. La plataforma sólo suele informar cuando se satisface o supera un umbral determinado del fenómeno que se mide. Un ejemplo sería una plataforma en la que la actividad de supervisión sísmica sólo se comunicase cuando la actividad sísmica fuese superior a la habitual. En la práctica, se reservan canales independientes en la banda atribuida para las plataformas de acceso aleatorio a fin de reducir la probabilidad de interferencia con los demás tipos de plataforma.

En los sistemas DCS LEO, cada plataforma repite su mensaje independientemente de las demás y en intervalos preestablecidos. Por consiguiente puede tener lugar la interferencia entre plataformas con visibilidad directa del satélite al mismo tiempo. Por este motivo, el satélite sólo puede trabajar con un número limitado de plataformas con visibilidad directa al mismo tiempo.

4.3 Plataformas autotemporizadas

Las plataformas autotemporizadas se utilizan principalmente en los sistemas DCS OSG. Cada plataforma transmite sus mensajes automáticamente en momentos preestablecidos. Los intervalos de comunicación los determina en cada instante un reloj interno de la plataforma. Cada plataforma viene identificada por su dirección y frecuencia (canal asignado) en la que transmite su informe. En la práctica, los operadores del satélite gestionan la asignación de los intervalos temporales y de los canales de difusión de las plataformas.

5 Características típicas del transmisor de la plataforma

5.1 Plataformas de sistemas LEO

Las características típicas de las PRD y de localización LEO indicadas a continuación corresponden al ARGOS de Brasil y a los DCS MOS.

Las plataformas transmiten esporádicamente. Cada emisión consta de dos partes consecutivas: durante la primera parte se transmite una portadora pura; durante la segunda parte la señal se modula por el mensaje que se transmite. Hay tres tipos de plataformas del DCS ARGOS: MDP/MP, MDP-4 híbrida y modulación con desplazamiento mínimo con filtro gaussiano (MDMG). Las plataformas MDP/MP las utiliza asimismo el DCS de Brasil y el DCS MOS. Además de los tres tipos de plataformas citados, cada plataforma ARGOS puede equiparse con un receptor de enlace descendente.

5.1.1 Plataformas MDP/MP

- Parte sin modular:
 - duración del orden de 160 ms.
- Parte modulada:
 - incluye 48 bits de servicio seguidos de los datos de los sensores. Dependiendo del número de sensores la duración total de la parte modulada oscila entre 200 y 760 ms.
- Periodo de repetición:
 - plataformas a localizar: se escoge entre 60 y 100 s;
 - plataformas destinadas exclusivamente a la recogida de datos: se selecciona por encima de 200 s.
- Codificación de datos:
 - codificación de nivel bifásico a una velocidad binaria de 400 bit/s.
- Portadora y moduladora:
 - plataformas MOS actuales = 401,50 MHz;
 - plataformas ARGOS = 401,65 MHz $\pm$ 30 kHz;
 - plataformas DCS de Brasil = 401,635 MHz $\pm$ 30 kHz;
 - modulación MDP/MP con un índice de modulación de $1,1 \pm 0,1$ rad.
- Potencia emitida:
 - inferior a 3 W o próxima a este valor.
- Estabilidad de frecuencia (para obtener una precisión de localización de 1 km como mínimo):
 - la deriva a medio plazo (15 min) no debe sobrepasar $0,5 \times 10^{-9}$ /min;
 - estabilidad a corto plazo (100 ms): 1×10^{-9} .

La precisión de localización depende hasta cierto punto de la estabilidad del oscilador de la plataforma; esta especificación puede variar en función del objetivo buscado.

5.1.2 Plataformas de MDP-4 híbrida

- Parte sin modular:
 - duración del orden de 80 ms.
- Parte modulada:
 - incluye 48 bits de servicio seguidos de los datos de los sensores. Dependiendo del número de sensores la duración total de la parte modulada oscila entre 200 y 760 ms.
- Periodo de repetición:
 - plataformas a localizar: se selecciona entre 60 y 100 s;
 - plataformas destinadas exclusivamente a la recogida de datos: se selecciona por encima de 200 s.
- Codificación de canal:
 - el tren binario de entrada, que tiene una velocidad binaria de 400 bit/s, se codifica convolucionalmente utilizando un código (7, 1/2);
 - modulador;
 - modulación: MDP-4.

- Codificación de datos:
 - el tren binario codificado del canal tiene una velocidad binaria de 800 bit/s. Dado que la modulación MDP-4 se expresa en términos de I y Q, el tren binario se divide en un eje I y en otro Q. En el eje I los símbolos se codifican con nivel sin retorno a cero (NRZ), mientras que en el eje Q los símbolos se codifican en nivel bifásico.
- Portadora:
 - plataformas ARGOS = 401,65 MHz $\pm$ 30 kHz.
- Potencia emitida:
 - menor de 3 W o próxima a este valor.
- Estabilidad de frecuencia (para obtener una precisión de localización de 1 km como mínimo):
 - deriva a medio plazo (15 min) no debe superar $0,5 \times 10^{-9}$ /min;
 - estabilidad a corto plazo (100 ms): 1×10^{-9} .

La precisión de localización depende hasta cierto punto de la estabilidad del oscilador de la plataforma; esta especificación puede variar en función del objetivo buscado.

5.1.3 Plataformas MDMG

- Parte sin modular:
 - duración del orden de 80 ms.
- Parte modulada:
 - incluye 48 bits de servicio seguidos de datos de los sensores. Dependiendo del número de sensores la duración total de la parte modulada oscila entre 120 ms y 1,1 s.
- Periodo de repetición:
 - plataformas destinadas exclusivamente a la recogida de datos: se selecciona 200 s aproximadamente.
- Modulador:
 - modulación: MDMG.
- Codificación de canal:
 - el tren binario de entrada, con una velocidad binaria de 4 800 bit/s, se codifica convolucionalmente utilizando un código (7, 3/4).
- Codificación de datos:
 - el tren binario codificado del canal tiene una velocidad binaria de 6 400 bit/s, y los bits se codifican en nivel NRZ.
- Portadora:
 - plataformas MDMG ARGOS = 401,595 MHz $\pm$ 3 kHz.
- Potencia emitida:
 - 5 W aproximadamente.

5.1.4 Enlace descendente del receptor

Algunas de las plataformas de sistemas de satélites LEO citadas, incorporarán un receptor en la banda 460-470 MHz. Recibirán, desde un satélite que las sobrevuele, un tren continuo de datos de baja velocidad binaria con banderas y mensajes. La dfp recibida será baja y por consiguiente los receptores deberán ser muy sensibles, pero no excesivamente caros ni complejos. La antena del DCS de recepción será de tipo sencillo de bajo costo y baja ganancia.

5.2 Plataformas de sistemas OSG

En los sistemas meteorológicos OSG, las transmisiones PRD se denominan «informes» y los detalles de dichos informes varían según se trate de servicios regionales o internacionales.

5.2.1 Sistema DCS internacional (IDCS)

El IDCS se coordina entre los operadores de satélites meteorológicos OSG dentro del marco del Grupo de Coordinación sobre Satélites Meteorológicos Geoestacionarios (CGMS) para proporcionar una cobertura prácticamente mundial por medio de 33 canales PRD internacionales.

El formato del informe internacional PRD consta de los siguientes elementos contiguos:

- portadora sin modular durante 5 s;
- un preámbulo de 250 bits «0» y «1» alternativamente;
- una palabra de sincronización de código de secuencia lineal de 15 bits como máximo;
- la dirección de la PRD, que es una palabra de 31 bits codificada en BCH;
- los datos medioambientales integrados por un máximo de 649 palabras de 8 bits de longitud;
- la secuencia de fin de la transmisión de 31 bits;
- la velocidad binaria de 100 bit/s;
- codificación: Manchester con división de fase NRZ.
- Portadora:
 - la PRD internacional tiene 33 canales de 3 kHz ocupando la banda 402,001-402,100 MHz;
 - mediante coordinación, los operadores de satélite comparten otras frecuencias PRD regionales en la banda 401-403 MHz;
 - modulación: la portadora se modula en fase con un índice de modulación de 60°.
- Potencia transmitida:
 - 10 W, aproximadamente, para una plataforma con una antena de gran ganancia; 40 W aproximadamente, para una antena semiisotrópa (del horizonte al cenit). La polarización de la antena es circular derecha.
- Estabilidad en frecuencia:
 - $1,5 \times 10^{-6}$ /año; la fluctuación de fase de la portadora sin modular no deberá superar los 3° (valor eficaz).

5.2.2 Servicio de recogida de datos regional

Como suplemento al sistema IDCS, cada satélite meteorológico OSG ofrece un servicio de recogida de datos regional en su zona de cobertura a través de canales PRD regionales. Las características de anchura de banda y de velocidad binaria de los canales PRD regionales dependen de los respectivos satélites meteorológicos OSG.

Por citar un ejemplo, las plataformas diseñadas para la transmisión a través de canales PRD regionales de los satélites GOES funcionan a velocidades binarias de 100, 300 y 1 200 bit/s. Los actuales sistemas de 100 bit/s utilizan MDP-2 codificado en Manchester. Las plataformas tienen por término medio una p.i.r.e. de 15 dBW, aunque este valor puede oscilar entre 5 y 19 dBW dependiendo de las condiciones de funcionamiento. Las plataformas de 300 y 1 200 bit/s utilizan modulación MDP-8 con codificación reticular. Como el satélite GOES no demodula los enlaces ascendentes de la plataforma sino que se limita a retransmitirlos a la estación de telemando y adquisición de datos (TAD) en la banda 1 670-1 700 MHz, el satélite es transparente al tipo de modulación utilizada. Las plataformas de 1 200 bit/s suelen tener una p.i.r.e. 3 ó 4 dB mayor que las demás plataformas.

Los estudios ponen de manifiesto que los márgenes de calidad de funcionamiento de los sistemas de 300 y 1 200 bit/s en canales gaussianos igualan o sobrepasan a los de los sistemas de 100 bit/s más antiguos. Por consiguiente, de acuerdo con el método de cálculo de los criterios de interferencia descrito en la Recomendación UIT-R SA.1022, los sistemas más modernos tolerarán los niveles de interferencia admisibles indicados en las Recomendaciones UIT-R SA.1163 y UIT-R SA.1164, aunque el «sistema típico» de dichas Recomendaciones sea un sistema de 100 bit/s.

6 Características típicas del receptor del satélite

6.1 Características del receptor del satélite LEO

6.1.1 Características del receptor del satélite ARGOS DCS

- Intervalo de potencia recibida de la PRD:
 - de –167 a –138 dBW, para una ganancia de antena que varía de –6 dBi en el nadir a +2 dBi en el horizonte del satélite.
- Nivel típico de densidad de potencia de ruido:
 - –201 dB(W/Hz) (temperatura de ruido del receptor equivalente = 600 K).
- BER (para mensajes sin interferencia):
 - $< 1 \times 10^{-5}$.
- Anchura de banda de recepción:
 - 80 kHz, centrada en 401,65 MHz, y 110 kHz a partir de 2003, centrada en 401,635 MHz.
- Número de canales de procesamiento:
 - 8 y 12 de 2003 en adelante.

6.1.2 Características del receptor del satélite MOS DCS

- Intervalo de la dfp recibida de una PRD:
 - de –145 a –120 dB(W/m²).
- Nivel típico de densidad de potencia de ruido:
 - –201 dB(W/Hz).
- BER (para mensajes sin interferencia):
 - $< 1 \times 10^{-5}$.
- Anchura de banda de recepción:
 - 80 kHz centrada en 401,5 MHz.

6.1.3 Características del receptor del DCS de Brasil

- Intervalo de potencia recibida de la PRD:
 - de -160 a -130 dBW, para una ganancia de antena del satélite que varía de -1 dBi en el nadir a $+1$ dBi en el horizonte del satélite.
- Nivel típico de densidad de potencia de ruido:
 - -201 dB(W/Hz), (temperatura de ruido del receptor equivalente = 600 K).
- BER (para mensajes libres de interferencia):
 - $< 1 \times 10^{-5}$.
- Anchura de banda de recepción:
 - 60 kHz (y 120 kHz a partir de 2005), centrada en 401,635 MHz.
- Todo el procesamiento del canal se efectúa en la estación receptora en tierra.

6.2 Características del receptor del satélite OSG

- Intervalo de la dfp recibida de una PRD:
 - de -150 a -140 dB(W/m²).
- Intervalo de sensibilidad del receptor:
 - $G/T = -28,5$ a -18 dB(K⁻¹).
- Anchura de banda de recepción del enlace de datos:
 - 0,2 MHz o más, dependiendo del tipo de satélite.

6.3 Características del transmisor del satélite LEO a la plataforma

Las características en RF de los transmisores de enlace descendente del satélite LEO son las siguientes:

- Secuencia binaria continua transmitida por el satélite.
- Modulador:
 - modulación: MDP/MP con un índice de modulación de 0,8 rad.
- Codificación de datos:
 - la secuencia binaria tiene una velocidad binaria de 400 bit/s: los bits se codifican en nivel bifásico.
- Portadora:
 - transmisor del satélite LEO de enlace descendente ARGOS = 465,9875 MHz.
- Potencia emitida:
 - 5 W aproximadamente.
- Ganancia de la antena: variable del nadir al horizonte visto por el satélite para compensar la atenuación espacial.

6.4 Características del transmisor del satélite LEO hacia la estación para un transpondedor transparente

Las características en RF de los transmisores de enlace descendente del satélite LEO cuando se utiliza un transpondedor de tipo transparente para retransmitir los mensajes recibidos de la plataforma a la estación en tierra son las siguientes:

- Modulador:
 - modulación: MP con un índice de modulación de 1,4 a 1,8 rad.

- Portadora:
 - Transmisor del satélite LEO de enlace descendente de Brasil = 2 267,52 MHz o 462,5 MHz.
- Potencia emitida:
 - 200 mW aproximadamente (2 267,52 MHz);
 - 1 W aproximadamente (462,5 MHz).
- Ganancia de la antena: variable del nadir al horizonte visto por el satélite.

6.5 Características del transmisor del satélite OSG

Los satélites OSG retransmiten preguntas moduladas en MDP-2 desde la estación TAD en la banda 2 025-2 110 MHz a las plataformas en la banda 460-470 MHz. El transpondedor del satélite es un limitador estricto que mantiene constante la p.i.r.e. del enlace descendente. La p.i.r.e. del satélite es de 15 dBW y la velocidad binaria de 100 bit/s. La antena de transmisión del satélite tiene un haz de cobertura hemisférica.

7 Conclusiones

Los sistemas DCS y localización de plataformas del SETS y del servicio MetSat proporcionan datos a los usuarios que necesitan información de una diversidad de fuentes, que pueden estar localizadas en cualquier parte del mundo, incluidos los océanos, los desiertos y otras regiones de no tan fácil acceso. Los sistemas OSG proporcionan datos con un retardo típico de 5 min pero no cubren las regiones polares. Los sistemas LEO ofrecen una cobertura mundial así como la localización de plataformas, en su caso, con un retardo máximo de 1 a 3 h. Estos DCS y sistemas de localización utilizan satélites y receptores de PRD extremadamente sensibles y están sometidos a requisitos de telecomunicación excepcionales.
