

RECOMENDACIÓN UIT-R SA.1344

**BANDAS DE FRECUENCIA Y ANCHURAS DE BANDA PREFERIDAS
PARA LA TRANSMISIÓN DE DATOS DE INTERFEROMETRÍA
ESPACIAL CON LÍNEA DE BASE MUY LARGA**

(Cuestión UIT-R 203/7)

(1998)

La Asamblea de Radiocomunicaciones de la UIT,

considerando

- a) que la resolución angular de las mediciones efectuadas utilizando técnicas de interferometría con línea de base muy larga (VLBI) está limitada por la distancia entre dos estaciones de observación;
- b) que, en comparación con la distancia máxima posible entre dos estaciones de observación de la Tierra, esta distancia de la línea de base puede aumentarse considerablemente situando una o más de las estaciones de observación del espacio;
- c) que al realizar medidas VLBI valiéndose de vehículos espaciales es posible eliminar las limitaciones de las observaciones con base en el suelo debidas a la absorción, a las fluctuaciones de la longitud del trayecto y a las contribuciones al ruido de la atmósfera;
- d) que la VLBI espacial aportará conocimientos de los parámetros físicos que permiten determinar de forma precisa, entre otros:
- la estructura de las fuentes radioeléctricas;
 - la navegación en el espacio lejano;
 - la geodinámica;
 - la astrometría;
 - los parámetros orbitales de los satélites;
- e) que hay que transmitir los datos de VLBI espacial de banda ancha en el sentido espacio-Tierra y que las características generales se describen en el anexo;
- f) que los sistemas VLBI espaciales requieren la transmisión de señales de referencia horarias y de fase muy precisas en el sentido Tierra-espacio y en el sentido espacio-Tierra con las características generales que se describen en el anexo 1,

recomienda

- 1** que las bandas de frecuencia preferidas para la transmisión de datos de teledata y de señales de referencia horarias y de fase en el sentido espacio-Tierra sean las que se presentan en el Cuadro 1 indicado a continuación;
- 2** que las bandas de frecuencia preferidas para la transmisión de datos de telemando y de señales de referencia horarias y de fase en el sentido Tierra-espacio sean las que se presentan en el cuadro indicado a continuación:

CUADRO 1

**Bandas de frecuencia y anchuras de banda preferidas para los servicios de telemando, teledata y
transferencia de fase en la VLBI espacial**

| Banda de frecuencias (GHz) | Sentido | Utilización típica | Anchura de banda de RF típica (MHz) |
|----------------------------|----------------|---------------------------------|-------------------------------------|
| 8,025 - 8,5 | espacio-Tierra | Teledata/transferencia de fase | 50 |
| 7,145 - 7,235 | Tierra-espacio | Transferencia de fase/telemando | 0,1 - 2 |
| 14 - 14,3; 14,5 - 15,35 | espacio-Tierra | Teledata/transferencia de fase | 300 - 500 |
| 15,25 - 15,35 | Tierra-espacio | Transferencia de fase/telemando | 0,1 - 2 |
| 37 - 38 | espacio-Tierra | Teledata/transferencia de fase | 1 000 |
| 40 - 40,5 | Tierra-espacio | Transferencia de fase/telemando | 0,1 - 2 |
| 74 - 84 | espacio-Tierra | Teledata/transferencia de fase | 4 000 |

Características de las telecomunicaciones en la VLBI espacial

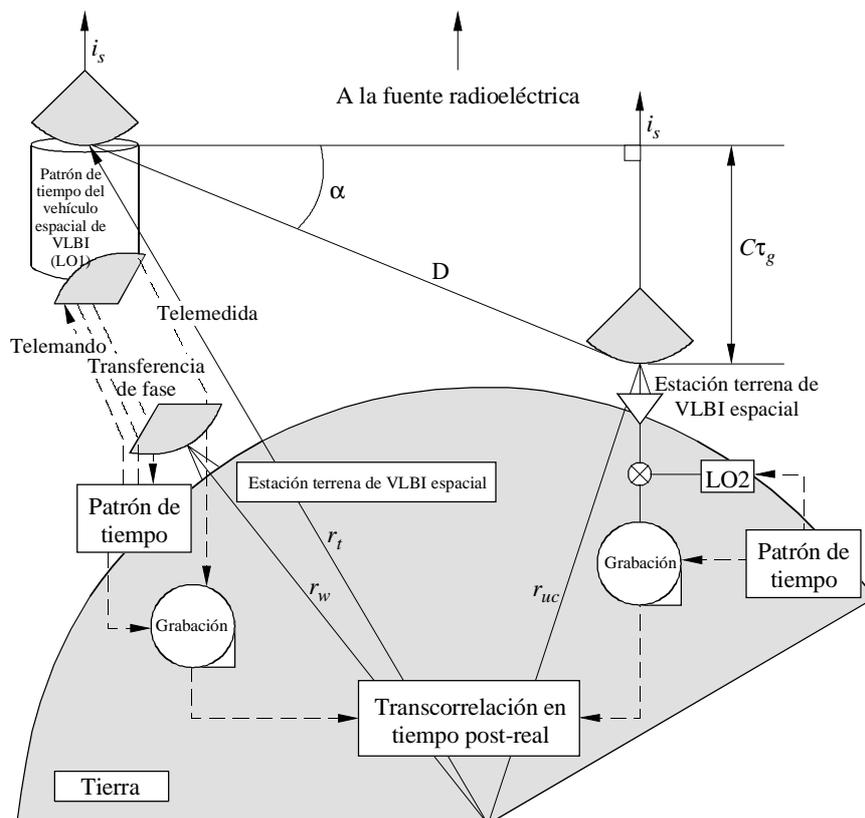
1 Introducción

La interferometría de línea de base muy larga (VLBI) es una técnica que permite a los experimentadores lograr una resolución angular de las fuentes radioeléctricas observadas que no puede obtenerse mediante otros métodos radioeléctricos u ópticos. La VLBI tiene una gran variedad de utilizaciones científicas y de ingeniería. Las observaciones de fuentes radioeléctricas distantes con dos o más estaciones VLBI se combinan para determinar la estructura de las fuentes radioeléctricas extragalácticas, para establecer las características geodinámicas de la Tierra, para estudiar la oscilación de la luna y la respuesta de las mareas, para determinar la orientación del sistema solar respecto al marco inercial extragaláctico, para determinar la separación vectorial entre emplazamientos de antena y para obtener datos de navegación y de seguimiento de vehículos espaciales.

2 Características técnicas

El enfoque operativo del sistema VLBI más sencillo, compuesto de dos estaciones terrenas VLBI puede resumirse de la siguiente manera: las antenas terrenas VLBI apuntarán a la fuente radioeléctrica que es común a ambas antenas para el experimento en cuestión. Debido a limitaciones de ingeniería, el espectro de frecuencias observado resultante se suele trasladar a una frecuencia inferior. Las características de amplitud y fase de este espectro observado se mantienen utilizando una referencia de frecuencia muy estable (oscilador local, LO). El espectro observado en cada antena se registra independientemente en algún medio de soporte (por ejemplo, cinta magnética). En el caso de la VLBI espacial, una de las antenas utilizadas para la observación de la fuente radioeléctrica va a bordo de un vehículo espacial y el espectro trasladado se transmite a una estación terrena de VLBI espacial donde se registra (Fig. 1).

FIGURA 1
Geometría de la VLBI espacial



Los parámetros básicos observables en la interferometría radioeléctrica son la amplitud y la fase relativa de la transcorrelación de los dos espectros observados. Este proceso de transcorrelación suele efectuarse en tiempo no real y puede expresarse de la siguiente manera:

$$R_{xy}(\tau_g) = \langle x(t)y(t-\tau_g) \rangle \quad (1)$$

siendo:

- R_{xy} = función de transcorrelación
- $\langle \rangle$ = promedio estimado durante el tiempo de observación
- $x(t)$ = señal registrada en el emplazamiento 1
- $y(t)$ = señal registrada en el emplazamiento 2
- τ_g = retardo temporal del frente de onda.

En la función de transcorrelación de la ecuación (1), las señales prerregistradas estarán contaminadas con ruido procedente de los sistemas receptores. Se ha demostrado que la relación señal/ruido de transcorrelación (SNR_{cros}) puede expresarse en función de las dos relaciones señal/ruido de observación SNR_{obs1} y SNR_{obs2} de la siguiente manera:

$$SNR_{cros} = (SNR_{obs1}SNR_{obs2}BT)^{1/2} \quad (2)$$

en la que B es la anchura de banda de la observación y T es el tiempo de integración de cada observación. La SNR_{cros} debe mantenerse lo más alta posible para disminuir el error de la medición de τ_g de la ecuación (1).

La sensibilidad (relación señal/ruido = 1) de este interferómetro VLBI de dos elementos puede determinarse mediante la expresión:

$$S_d = 4(2)^{1/2}10^{26}k(T_1T_2)^{1/2}(\pi gD_1D_2)^{-1}(\eta_1\eta_2)^{-1/2}(BT)^{-1/2}, \text{ (Janskys)} \quad (3)$$

siendo:

- 1Jansky = $1Wm^{-2} Hz^{-1}$
- k = constante de Boltzmann = $1,38 \times 10^{-23} (WK^{-1} Hz^{-1})$
- T_1, T_2 = temperaturas del sistema
- D_1, D_2 = diámetros de la antena
- η_1, η_2 = eficacias de apertura de antena
- g = coherencia del sistema VLBI
- T = tiempo de integración
- B = anchura de banda de ruido.

La expresión es equivalente al valor medio cuadrático (r.m.s.) del ruido dividido por la coherencia, g .

En la VLBI es fundamental contar con un marco de referencia temporal “casi común” en ambas estaciones de observación por la necesidad de conocer de forma precisa la frecuencia de la señal reducida mediante los osciladores locales (LO), así como su fase. Además, se necesita una información temporal precisa para la transcorrelación en tiempo post-real. Estos requisitos se satisfacen con osciladores de gran estabilidad que a menudo se denominan “relojes atómicos”. Conviene en el futuro dotar al vehículo espacial de la VLBI de un reloj atómico de calidad espacial. Por el momento, se necesita un enlace radioeléctrico de transferencia de fase Tierra-espacio para dar al reloj a bordo del vehículo espacial la referencia necesaria de temporización o de fase.

2.1 Enlaces de telecomunicación para la VLBI espacial

Los enlaces radioeléctricos de telecomunicación que se consideran en un sistema de VLBI espacial se representan en la Fig. 1 mediante las cuatro líneas de trazos entre la antena de telecomunicaciones del vehículo espacial de la VLBI y la estación terrena VLBI. A continuación se describen los enlaces radioeléctricos.

2.1.1 Enlace radioeléctrico de telemando E-S (Tierra-espacio)

Este enlace radioeléctrico se utiliza para la transmisión fiable de las instrucciones que precisa el funcionamiento del vehículo espacial y la corrección de las posibles anomalías de su comportamiento.

2.1.2 Enlace radioeléctrico de transferencia de fase E-S

La utilización principal de este enlace será la transferencia al vehículo espacial de la estabilidad de fase y de frecuencia del reloj atómico situado en la estación terrena de VLBI espacial. Esta gran estabilidad es necesaria durante todo el tiempo de observación y debe ser del mismo orden de magnitud que la del reloj atómico de la estación terrena de VLBI espacial.

2.1.3 Enlace radioeléctrico de teledida S-E (espacio-Tierra)

El vehículo espacial de VLBI observa la fuente radioeléctrica con una anchura de banda seleccionada. Este espectro observado se transmite a la estación terrena de VLBI espacial para su grabación y posterior transcorrelación con el espectro observado desde una o más estaciones terrenas VLBI.

2.1.4 Enlace radioeléctrico de transferencia de fase S-E

Este enlace radioeléctrico será una traslación coherente de la frecuencia del enlace radioeléctrico de transferencia de fase Tierra-espacio descrito anteriormente que se utilizará para calibrar los errores de fase introducidos en el enlace radioeléctrico de transferencia de fase Tierra-espacio por diversas causas. Este radioenlace puede ser específico de esta operación de transferencia de fase o puede utilizarse simultáneamente para transferir el espectro observado desde el vehículo espacial, tal como se describe en el § 2.1.3

2.2 Caracterización del enlace de teledida

El vehículo espacial de VLBI recibe el espectro de frecuencias de la fuente radioeléctrica contaminado con ruido (de fondo, del sistema, etc.) en una anchura de banda de observación seleccionada, B , con una relación señal/ruido (SNR) de observación determinada, SNR_{OBS1} . Este espectro observado tiene que transmitirse a la estación terrena de VLBI espacial para grabarlo y aplicarle un procesamiento adicional (transcorrelación). Esta transmisión puede ser una transmisión analógica o puede convertirse la señal analógica observada en un formato digital y transmitirse a la estación terrena de VLBI espacial para su grabación.

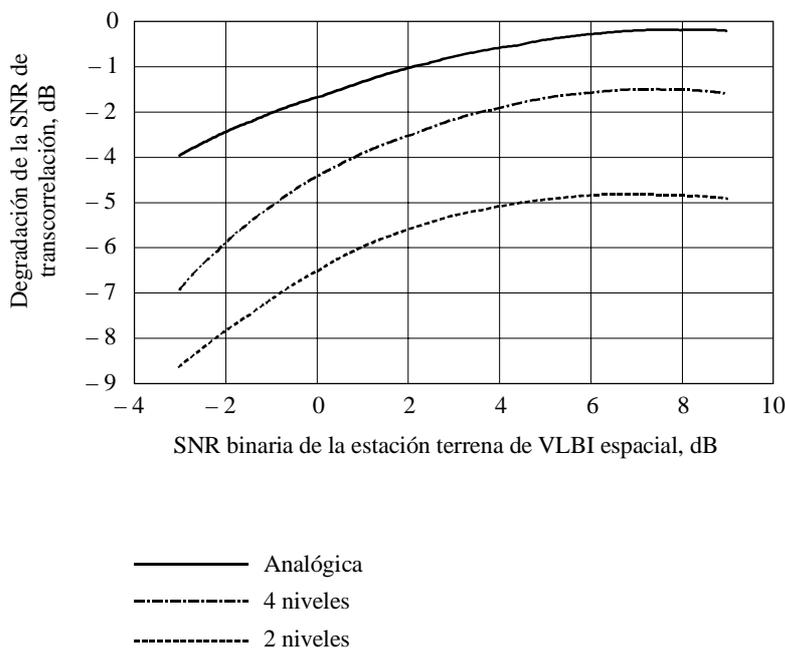
La transmisión por el espacio de una señal de teledida implica una cierta degradación de dicha señal al detectarla en el receptor al efecto. En las transmisiones digitales, esta degradación es debida a la probabilidad de que los bits de información contengan errores y depende de la relación señal/ruido de los símbolos, $SSNR$, recibida. Esta degradación del enlace afectará al proceso final del experimento de VLBI espacial, es decir, a la función de transcorrelación de la ecuación (1). La Fig. 2 muestra los resultados de la degradación para una transcorrelación con SNR analógica de -24 dB cuando se recibe la misma señal observada ($SNR_{OBS1} = SNR_{OBS2}$) con distribución normal en la estación terrena de VLBI sin errores y en la estación terrena de VLBI espacial con la $SSNR$ indicada. Se incluyen resultados para representaciones analógicas y binarias de 1 bit y de 2 bits. Véase la degradación inherente que introduce la conversión digital. Esta degradación es función de los niveles de cuantificación utilizados en la conversión analógico-digital de la fuente observada con distribución normal.

2.2.1 Anchura de banda requerida del canal de teledida

Se ha visto que la modulación de fase alcanza un comportamiento óptimo en los enlaces de telecomunicaciones por satélite. Por tanto, los esquemas preferidos de modulación digital serán el de modulación por desplazamiento de fase bivalente (BPSK) o el de modulación por desplazamiento de fase en cuadratura (QPSK).

FIGURA 2

Degradación de la SNR de transcorrelación en función de la representación binaria y de la SNR de teledida



1344-02

Al digitalizar la anchura de banda de observación de B Hz, la tasa de muestreo de Nyquist requerida será el doble de la anchura de banda o 2B muestras por segundo. Cada muestra de la tensión observada se cuantifica en dos niveles (representación de 1 bit), 4 niveles (representación de 2 bits), 8 niveles (representación de 3 bits), etc. La velocidad total de símbolos del canal de teledida requerida seguirá por tanto la ecuación:

$$SR = 2B \log_2(L) \tag{4}$$

siendo:

- SR = velocidad de datos total (símbolos/s)
- B = anchura de banda observada (Hz)
- L = número total de niveles de cuantificación

Se recomienda (Recomendación UIT-R SA.1015, “Requisitos de anchura de banda para la investigación en el espacio lejano”) que la anchura de banda de radiofrecuencia, BW, necesaria para la transmisión de la BPSK (pérdidas de teledida inferiores a 0,3 dB) sea:

$$BW = 5 SR \tag{5}$$

Si se utiliza la QPSK, la misma anchura de banda sirve para el doble de la velocidad de símbolos con la misma calidad, aproximadamente, que en el caso de la BPSK. El Cuadro 2 es un resumen de todas las consideraciones anteriores que muestra las anchuras de banda de radiofrecuencia (RF) requeridas en función de la anchura de banda de observación, B. Véase que pueden utilizarse anchuras de banda inferiores a la recomendada, a expensas de la calidad del enlace.

Los sistemas de VLBI espacial planificados (véase el Cuadro 3) suelen utilizar velocidades de datos del orden de 72 Msímbolos/s y modulación QPSK. Por tanto, la anchura de banda de RF máxima requerida será del orden de 360 MHz (del Cuadro 2). Los estudios teóricos sobre los efectos de la propagación en transmisiones de gran anchura de banda indican que la atmósfera puede aceptar varios gigahertzios de anchura de banda en frecuencias portadoras superiores a 10 GHz. Por tanto, cabe muy bien prever para los futuros sistemas de VLBI espacial anchuras de banda de transmisión del orden de 3-4 GHz.

CUADRO 2

Anchuras de banda de radiofrecuencia (RF) requeridas

| Presentación de la señal | Niveles de cuantificación | Número de bits | Velocidad de símbolos, símbolos/s | Anchura de banda de RF, Hz | | |
|-----------------------------------|---------------------------|----------------|-----------------------------------|----------------------------|------|------|
| | | | | Analógica | QPSK | BPSK |
| Analógica | --- | --- | --- | 2B (mínimo) | --- | --- |
| [0,1] | 2 | 1 | 2B | --- | 10B | 5B |
| [00,01,10,11] | 4 | 2 | 4B | --- | 20B | 10B |
| [000,001,010,011,100,101,110,111] | 8 | 3 | 6B | --- | 30B | 15B |

CUADRO 3

Características de sistemas de VLBI espacial planificados

| Parámetro | Radioastron | VSOP | IVS |
|-------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|--------------------------------------|-----------------------------------------|
| Diámetro de la antena de observación, m | 10 | 10 | 20 |
| Frecuencia y temperatura del sistema de observación, GHz; K | 0,3; 90 1,6; 60 5,0; 70 22,0; 135 | 1,6; 40 5,0; 60 20; 110 --- | 4,5; 8,5 15; 23 42; 63 86; 120 |
| Tiempo de integración nominal, s | 300 | 300 | --- |
| Espacio-Tierra | | | |
| Frecuencia, GHz | 14,8 - 15,25 | 14 - 15,35 | --- |
| Tipo de modulación | QPSK | QPSK | --- |
| Velocidad binaria máxima/s | 144 | 128 | --- |
| Niveles de cuantificación | 2, 4 | 2, 4 | --- |
| Anchura de banda de RF, MHz | 500 | 500 | --- |
| E_b/N_0 mínima, dB | 11,2 | 9,1 | --- |
| Tierra-espacio (transferencia de fase) | | | |
| Frecuencia, GHz | 7,145 - 7,235 | 15,25 - 15,35 | --- |
| Tipo de modulación | Ninguno | Ninguno | --- |
| Velocidad binaria máxima, Mbit/s | --- | --- | --- |
| Anchura de banda de RF, MHz | 50 | 100 | --- |
| Anchura de banda del bucle de enganche de fase, Hz | 1 000 | 1 000 | --- |
| E_b/N_0 mínima, dB | 63 | 60 | --- |
| Características orbitales | | | |
| Inclinación, grados | 51,5 - 65,0 | 31 | 63 |
| Altura en el perigeo, km | 2 000 | 1 000 | 5 000 |
| Altura en el apogeo, km | 78 980 | 20 000 | 150 000 |
| Periodo, hr | 28 | 6,06 | 67,14 |

2.2.2 Frecuencias portadoras de telemedida espacio-Tierra requeridas

Los sistemas de VLBI espacial planificados con requisitos de anchura de banda de transmisión de RF máxima inferiores a 500 MHz podrán tener atribuciones suficientes en frecuencias portadoras superiores a 3 GHz. Los requisitos futuros en cuanto a anchura de banda de RF (4 GHz) apuntan a la necesidad de frecuencias portadoras superiores a 20 GHz.

2.3 Caracterización del enlace de transferencia de fase

Un requisito primordial del reloj a bordo de un vehículo espacial de VLBI es que su estabilidad de frecuencia/fase sea casi como la del reloj atómico de la estación terrena de VLBI. Hoy en día no existen relojes atómicos de calidad espacial, por lo que la estabilidad necesaria se transferirá al vehículo espacial de VLBI por un enlace radioeléctrico Tierra-espacio. La frecuencia portadora de este radioenlace, f_{up} , se recupera en el vehículo espacial para generar las frecuencias de referencia a bordo que se utilizarán en el proceso de observación de la fuente radioeléctrica. Para calibrar todos los errores de fase desconocidos que introduce este radioenlace de transferencia de fase Tierra-espacio, esta frecuencia portadora se reduce coherentemente y se retransmite a la estación terrena de VLBI espacial en la frecuencia f_{down} . En este sistema bidireccional de transferencia de calibración de fase, los errores de fase proceden principalmente del medio de propagación y del sistema de recepción (vehículo espacial y estación terrena de VLBI espacial). Estos errores de fase contribuirán a aumentar la incertidumbre de la determinación de la amplitud y la fase relativa del proceso de transcorrelación en tiempo no real de la ecuación (1), reduciendo de hecho la SNR_{cros} de la ecuación (2).

2.3.1 Ruido de fase inducido por la propagación de la radiofrecuencia

La fase, ϕ_{up} , de la frecuencia de referencia a bordo, f_{up} , se recupera de la fase medida en el trayecto de ida y vuelta, ϕ_{round} , en la estación en tierra, mediante la ecuación siguiente:

$$\phi_{up} = [f_{up}/(f_{up}+f_{down})] \phi_{round} \quad (6)$$

Hay un retardo del trayecto dependiente de la frecuencia, τ_i , en la propagación de una onda electromagnética por la ionosfera. Por tanto, se ha de modificar la ecuación (6) de forma que:

$$\phi_{up} = [f_{up}/(f_{up}+f_{down})] \phi_{round} + 2\pi [f_{up}f_{down}/(f_{up}+f_{down})][\tau_i(f_{up})-\tau_i(f_{down})] \quad (7)$$

siendo:

$$\tau_i(f) = [40,3/(cf^2)]TEC_i, (s)$$

en la que:

$$c = \text{velocidad de la luz (m s}^{-1}\text{)}$$

$$f = \text{frecuencia de la propagación (Hz)}$$

$$TEC_i = \text{contenido electrónico total (electrones m}^{-2}\text{)}.$$

El segundo término del lado derecho de la ecuación (7) es un término de error debido al retardo ionosférico dependiente de la frecuencia. A menos que se disponga de información adicional sobre el contenido electrónico total (TEC_i) de la ionosfera, no puede aplicarse una corrección adecuada de este error. No obstante, dicho error se reduce si las frecuencias f_{up} y f_{down} aumentan y se aproximan entre sí. El Cuadro 4 da los resultados calculados de este error en unidades de pico-segundo (ps) del retardo temporal, es decir, $\phi_{up}/(2\pi f_{up})$, para dos pares de frecuencias (7,2-8,46 GHz, y 15,3-14,2 GHz). Se ha supuesto un contenido electrónico total de 8×10^{17} electrones m^{-2} .

Del Cuadro 4 se llega a la conclusión de que la transferencia de fase a frecuencias elevadas es mucho mejor que a frecuencias reducidas. Véase que en este caso particular, el error de fase introducido en la frecuencia inferior es aproximadamente una longitud de onda de la banda de observación máxima planificada en el VSOP (proyecto de observatorio espacial VLBI) y en el Radioastron (22 GHz con un periodo de 45,4 ps). Si el retardo ionosférico fluctúa rápidamente (centelleo ionosférico), el error de fase introducido no puede eliminarse en el proceso de transcorrelación en tiempo post-real y se reduce el factor de coherencia óptimo de 1,0. Véase que con el par de frecuencias superior indicado, se

mantiene una coherencia casi óptima, incluso para un índice de centelleo de 0,5. Para la banda inferior, la coherencia se pierde casi completamente. El factor de coherencia es inversamente proporcional a la sensibilidad ecuación (3) del interferómetro. Cuando el factor de coherencia es 1, la sensibilidad es igual al ruido medio cuadrático. Cuando el factor de coherencia es inferior a 1, la sensibilidad aumenta por encima del ruido medio cuadrático, lo que conduce a una situación no ideal.

CUADRO 4

Efectos de la propagación ionosférica

| Frecuencias del enlace, GHz | | Valor absoluto del error ionosférico, ps (para $TEC = 8 \times 10^{17}$ electrones/m ²) | Índice de centelleo del factor de coherencia, S | |
|-----------------------------|-------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|-------|
| F _{up} | F _{down} | | S=0,1 | S=0,5 |
| 7,2 | 8,46 | 308,8 | 0,867 | 0,028 |
| 15,3 | 14,2 | 35,2 | 0,998 | 0,954 |

2.3.2 Ruido de fase de recuperación de la portadora

En el receptor del vehículo espacial de VLBI del enlace radioeléctrico Tierra-espacio, así como en el receptor de la estación terrena de VLBI espacial, el proceso considerado de recuperación de la portadora puede ser el resultado de una combinación cualquiera de los esquemas de modulación siguientes: portadora no modulada, modulación por desplazamiento de fase bivalente (BPSK) o modulación por desplazamiento de fase en cuadratura (QPSK).

Se ha visto que la varianza del error de fase en el proceso de recuperación de la portadora, σ_{rcvr}^2 , puede expresarse en función de la relación señal/ruido de los símbolos (SSNR), de la anchura de banda en bucle cerrado del receptor de enganche de fase, B₁, y del periodo de símbolos, T_s, como:

$$\sigma_{rcvr}^2/(B_1 T_s) = 1/SSNR \quad (8)$$

para portadora no modulada, como:

$$\sigma_{rcvr}^2/(B_1 T_s) = 1/SSNR + 1/SSNR^2 \quad (9)$$

para modulación BPSK, y como:

$$\sigma_{rcvr}^2/(B_1 T_s) = 1/SSNR + 9/(2 SSNR^2) + 6/SSNR^3 + 3/(2 SSNR^4) \quad (10)$$

para la modulación QPSK. En el caso de una SSNR muy intensa, los tres casos convergen en 1/SSNR.

2.3.3 Frecuencias requeridas del enlace de transferencia de fase

Al elegir las frecuencias de la transferencia de fase, parece que la consideración más importante debe ser la de los efectos de la propagación ionosférica. Por tanto, las frecuencias próximas a 14 GHz o superiores son las más adecuadas para las transferencias de fase en las misiones de VLBI espacial. Además, las frecuencias del enlace ascendente y del enlace descendente deben ser lo más próximas posible.

2.4 Características del sistema de VLBI espacial

El Cuadro 3 es un resumen de las características principales del enlace radioeléctrico y orbitales del sistema Radioastron (Rusia) y del Proyecto de Observatorio Espacial VLBI (Japón). Se trata de vehículos espaciales VLBI que se lanzarán en 1997. Se utilizarán múltiples estaciones de recepción de teledistribución dispersas por toda la Tierra. Ejemplo de ello es el sistema Deep Space Network Orbiting VLBI Subnet (Estados Unidos) cuyas características principales se resumen en el Cuadro 5. Se está considerando una misión de VLBI espacial de nueva generación, el satélite VLBI internacional (IVS), del que también se informa en el Cuadro 3.

CUADRO 5

Resumen de características de estaciones terrenas de VLBI espacial

| Parámetro | Banda X | Banda Ku |
|------------------------------------------------|-----------------------|-----------------------|
| Sintonía de frecuencia de recepción, GHz | 8,025 - 8,5 | 14,0 - 15,35 |
| Anchuras de banda de recepción de -1 dB, MHz | 50 | 500 |
| G/T de recepción en el cénit, dBi/K | 33,7 | 37,3 |
| Sintonía de frecuencia de transmisión, GHz | 7,145 - 7,235 | 15,25 - 15,35 |
| Ganancia de la antena transmisora, dBi | 54,7 | 61,0 |
| Niveles de potencia de transmisión, W | 5 | 0,5 |
| Anchuras de banda de transmisión de -1 dB, MHz | 50 | 100 |
| Polarizaciones de recepción o transmisión | Dextrógira o levógira | Dextrógira o levógira |
| Capacidad del receptor de teledada, Mbit/s | 144 | 144 |
| Diámetro de la antena, m | 11 | 11 |

3 Bandas de frecuencia y anchuras de banda preferidas

La lista de bandas de frecuencia del Cuadro 6 pretende identificar las gamas de frecuencia preferidas desde un punto de vista técnico. La exclusión de otras bandas de frecuencia del cuadro no impide necesariamente el funcionamiento en dichas bandas, si razones de compartición de frecuencias y limitaciones en cuanto a equipo moderno imponen su utilización.

Las anchuras de banda de radiofrecuencia (RF) típicas de vehículo espacial del Cuadro 6 no pretenden indicar la banda de frecuencias en la que deba funcionar cada uno de los enlaces ni limitar el número de dichos enlaces que puedan ser necesarios para el funcionamiento de un sistema de uno o varios vehículos espaciales.

CUADRO 6

Bandas de frecuencia y anchuras de banda preferidas para la VLBI espacial

| Banda de frecuencias (GHz) | Sentido | Utilización típica | Anchura de banda de RF típica (MHz) |
|----------------------------|----------------|---------------------------------|-------------------------------------|
| 8,025 - 8,5 | espacio-Tierra | teledada/transferencia de fase | 50 |
| 7,145 - 7,235 | Tierra-espacio | transferencia de fase/telemando | 0,1 - 2 |
| 14 - 14,3; 14,5 - 15,35 | espacio-Tierra | teledada/transferencia de fase | 300 - 500 |
| 15,25 - 15,35 | Tierra-espacio | transferencia de fase/telemando | 0,1 - 2 |
| 37 - 38 | espacio-Tierra | teledada/transferencia de fase | 1 000 |
| 40 - 40,5 | Tierra-espacio | transferencia de fase/telemando | 0,1 - 2 |
| 74 - 84 | espacio-Tierra | teledada/transferencia de fase | 4 000 |