

Free Space Optics

Comunicaciones Ópticas en el Espacio Libre

M. Ramos Martín J. R. Gisbert Valls

Escuela Politécnica Superior de Elche
Universidad Miguel Hernández de Elche

Sistemas y Redes de Comunicaciones Ópticas, 2009

Índice

- 1 Introducción
- 2 Efectos limitantes
- 3 Sistemas comerciales
- 4 Aplicaciones

Índice

- 1 Introducción
- 2 Efectos limitantes
- 3 Sistemas comerciales
- 4 Aplicaciones

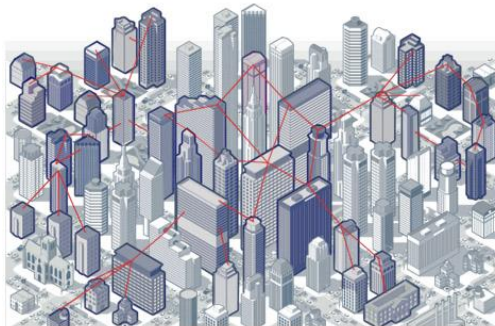
Concepto

- Comunicaciones ópticas a través del espacio libre.
- Transmisión de pulsos visibles o en el IR modulados electrónicamente a través del aire o del espacio libre.
- Transmisión de la información en el dominio óptico, por tanto, presenta muy altas tasas binarias.
- Mismo principio de funcionamiento que los mandos a distancia o los teclados inalámbricos por IR.

Funcionamiento

- Transmisión de pulsos ópticos en el IR.
- Uso de láseres de bajo consumo como emisores y detectores fotónicos de alta sensibilidad como receptores.
- Modulación electrónica del láser, enviando información heterogénea (vídeo, voz, datos, archivos. . .)
- Empleo de lentes y telescopios para focalizar al máximo el haz de luz y conseguir el mejor alineamiento posible emisor-receptor.

Introducción



Ventajas de FSO frente a RF

- Mayores tasas binarias
- Equipos más baratos y sencillos que los sistemas RF de alta frecuencia.
- Menor consumo de potencia.
- Sistema muy seguro y casi imposible de «pinchar».

Tabla comparativa

	P2P Microwave	ISM O MMDS	LMDS	FSO
Frecuencia (Ghz)	7 – 60	2,4 – 3,6	24 – 40	$3 \cdot 10^4 - 6 \cdot 10^4$
Licencia	Sí	No	Sí	No
Multipunto	n/d	O/S	O/S	virtual
R. Celda (km)	2 – 20	8 – 15	2 – 3	1 – 2
BW down (Mbps)	155	3 – 8	155	$1,5 \cdot 10^3$
BW up (Mbps)	155	3	3 – 10	$1,5 \cdot 10^3$
Simétrico	Sí	No	No	Sí
Transparente	No	No	No	Sí
Atenuación	LL	LL ⁺	LL	NN
Inversión	Alta	Alta	Alta	Baja

Índice

- 1 Introducción
- 2 Efectos limitantes**
- 3 Sistemas comerciales
- 4 Aplicaciones

Ecuación de pérdidas

- La transmisión por la atmósfera de las señales ópticas implica tener en cuenta las condiciones extremas que presenta el aire como medio. Varios son los fenómenos que limitan los enlaces de FSO a unos pocos kilómetros. Además existen unos factores geométricos a considerar a la hora de realizar el balance de potencias. La ecuación que sigue resume lo aquí expuesto:

Pérdidas

$$P_R = P_T \frac{A_{RX}}{(\theta L)^2} e^{-\alpha L} \quad (1)$$

Atenuación atmosférica

- Procesos de absorción, difracción y dispersión producidos por la interacción con las moléculas del aire y partículas suspendidas en el mismo.
- Como resultado se produce una severa atenuación que se puede disparar si se producen condiciones adversas como lluvia o niebla.
- Los fenómenos atmosféricos a tener en cuenta a la hora de planificar un enlace FSO son los siguientes:

Lluvia

- Produce altas atenuaciones, mayores cuanto mayor es la intensidad de lluvia. La figura que sigue muestra resultados experimentales:

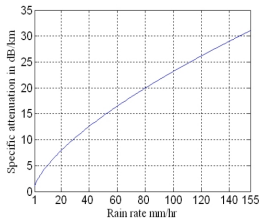


Figura: Atenuación por lluvia

Niebla

- Es el fenómeno atmosférico más problemático en la tecnología FSO. Produce altas atenuaciones que pueden llegar a superar los 300 dB/km.
- Existen varios modelos que estiman la atenuación producida por la niebla. Destacan el modelo de Kim, el de Kruse y el de Nabulsi.
- La siguiente gráfica muestra una estimación de los 3 modelos, a distintas longitudes de onda, en función de la visibilidad.

Curva característica de atenuación por niebla

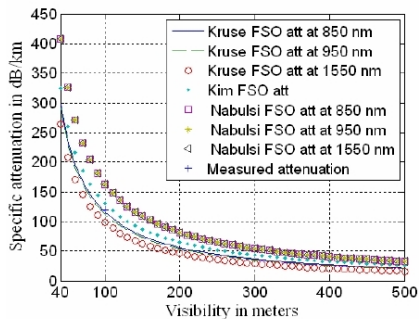


Figura: Atenuación por niebla

Escintilación

- Este fenómeno presenta menos problemas para los enlaces FSO.
- Se produce en días soleados y calurosos, que, como resultado de la radiación solar, se forman zonas de distinto índice de refracción en la atmósfera.
- Puede llegar a generar atenuaciones de hasta 12 dB.

Atenuación geométrica

- Producido por la propia naturaleza y geometría de los emisores y receptores telescópicos empleados.
- La siguiente ecuación estima la atenuación que se genera. Dependiente de los diámetros de los telescopios y del ángulo de divergencia:

Pérdidas

$$Att_{geo} = \left(\frac{d_{RX}}{d_{TX} + \theta l} \right)^2 \quad (2)$$

Técnicas para combatir estos efectos

- Existen varios mecanismos para mitigar los problemas producidos por los fenómenos atmosféricos.
- Para paliar las grandes atenuaciones producidas por la lluvia y la niebla, que pueden llegar a cortar la comunicación óptica, se suele utilizar la misma técnica.
- Esta técnica consiste en agregar un enlace «back up» de RF, con una tasa binaria que permita suplir la comunicación óptica. Este enlace presentará una atenuación mucho menor.

Efectos limitantes

- Las siguientes gráficas muestran como enlaces a frecuencias menores de 40 GHz tienen una atenuación mucho más baja que el enlace óptico:

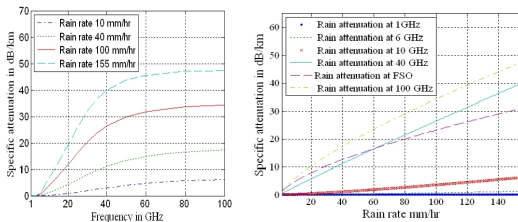


Figura: Comparativa de atenuación

Efectos limitantes

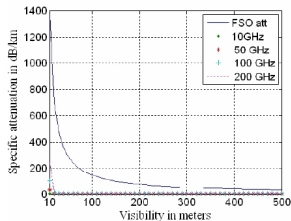
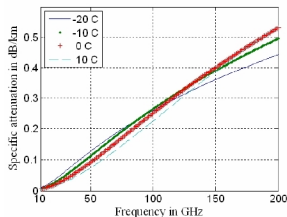


Figura: Comparativa de atenuación (cont.)

Efectos limitantes

- Por otro lado, el estudio de la propagación de la luz y su ensanchamiento del haz, permitirá escoger correctamente las medidas de los emisores y receptores, paliando la atenuación producida por la geometría de los equipos usados.

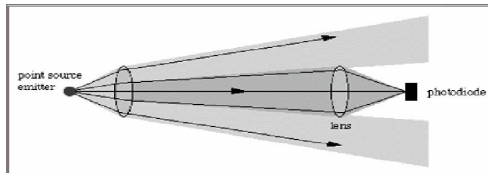


Figura: Efectos de la divergencia

Efectos limitantes

- Por último, el uso de técnicas multicamino consigue reducir la atenuación generada por la escintilación.
- Para ellos se emplean multifuentes que emiten varios haces de luz, permitiendo en recepción comparar las distintas réplicas de la señal recibidas.

Índice

- 1 Introducción
- 2 Efectos limitantes
- 3 Sistemas comerciales**
- 4 Aplicaciones

Esquema de transmisión opaco

- **Recepción de la señal en el equipo.**
- Conversión al dominio electrónico si es necesario.
- Modulación de corriente de un láser VCSEL.
- Detección directa mediante un fotodiodo de avalancha APD.

Esquema de transmisión opaco

- Recepción de la señal en el equipo.
- Conversión al dominio electrónico si es necesario.
- Modulación de corriente de un láser VCSEL.
- Detección directa mediante un fotodiodo de avalancha APD.

Esquema de transmisión opaco

- Recepción de la señal en el equipo.
- Conversión al dominio electrónico si es necesario.
- Modulación de corriente de un láser VCSEL.
- Detección directa mediante un fotodiodo de avalancha APD.

Esquema de transmisión opaco

- Recepción de la señal en el equipo.
- Conversión al dominio electrónico si es necesario.
- Modulación de corriente de un láser VCSEL.
- Detección directa mediante un fotodiodo de avalancha APD.

Cumplimiento de la normativa

- Los equipos deben encontrarse en la categoría 1M definida en el estándar IEC/EN 60825-1/A2.
- Para cumplir los requisitos impuestos por el estándar:
 - Trabajar en longitudes de onda alejadas del espectro visible.
 - Reducir la potencia de emisión.

Cumplimiento de la normativa

- Los equipos deben encontrarse en la categoría 1M definida en el estándar IEC/EN 60825-1/A2.
- Para cumplir los requisitos impuestos por el estándar:
 - Trabajar en longitudes de onda alejadas del espectro visible.
 - Reducir la potencia de emisión.

Comparativa: Sistemas fSONA

	fSONA	
	SONABEAM 1250-M	SONABEAM 52-M
Alcance (m)	400 – 5300	300 – 7700
Tasa binaria (Mbps)	100 – 1448	10 – 68
Potencia tx. (mW)	640	640
Transceptores	4	4
λ (nm)	1550	1550
Interfaz	Fibra MM/SM terminada en SC a 1310 nm	
Protocolo	OC-3/STM-1, OC-12/STM-4, Fast/Gigabit-Ethernet	

Comparativa: Sistemas LIGHTPOINTE

	LIGHTPOINTE	
	FLIGHTSTRATA HD	AIRLITE 100
Alcance (m)	750 – 2000	50
Tasa binaria (Mbps)	1485	10 – 100
Potencia tx. (mW)	—	—
Transceptores	4	1
λ (nm)	850	850
Interfaz	A fibra vía SC	RJ45
Protocolo	Estándar HDTV SDI	10/100-Base-TX Ethernet

Comparativa: Sistemas Cablefree

	Cablefree	
	Gigabit 1500	Access 4000
Alcance (m)	1500	4000
Tasa binaria (Mbps)	1500	155
Potencia tx. (mW)	19,0 dBm	24,5 dBm
Transceptores	—	—
λ (nm)	780	980
Interfaz	A fibra vía SC	A fibra vía SC
Protocolo	HDTV y otros	PDH/SDH por fibra/cobre

Imagen de un sistema comercial



Figura: fSONA Sonabeam M

Técnicas de compensación de fallos

- Sistemas de calefacción que impiden que las ventanas de la carcasa se empañen por vaho o nieve.
- Sistemas de apuntado automático guiados por sistemas de seguimiento de haz.
- Anchos de haz moderados. Solución de compromiso entre potencia y pérdida de la comunicación por falta de alineamiento.
- Transceptores múltiples para aprovechar las bondades de la diversidad multicamino.

Técnicas de compensación de fallos

- Sistemas de calefacción que impiden que las ventanas de la carcasa se empañen por vaho o nieve.
- Sistemas de apuntado automático guiados por sistemas de seguimiento de haz.
- Anchos de haz moderados. Solución de compromiso entre potencia y pérdida de la comunicación por falta de alineamiento.
- Transceptores múltiples para aprovechar las bondades de la diversidad multicamino.

Protección frente al entorno

- Carcasa de aluminio sellada herméticamente, protege al equipo frente a la deposición de partículas externas, y de las precipitaciones
- Sistema de acondicionamiento térmico interno, mantiene el láser a una temperatura de 35 °C.
- Filtros solares que impiden la actuación del sol sobre los detectores.

Protección frente al entorno

- Carcasa de aluminio sellada herméticamente, protege al equipo frente a la deposición de partículas externas, y de las precipitaciones
- Sistema de acondicionamiento térmico interno, mantiene el láser a una temperatura de 35 °C.
- Filtros solares que impiden la actuación del sol sobre los detectores.

Protección frente al entorno

- Carcasa de aluminio sellada herméticamente, protege al equipo frente a la deposición de partículas externas, y de las precipitaciones
- Sistema de acondicionamiento térmico interno, mantiene el láser a una temperatura de 35 °C.
- Filtros solares que impiden la actuación del sol sobre los detectores.

Índice

- 1 Introducción
- 2 Efectos limitantes
- 3 Sistemas comerciales
- 4 Aplicaciones**

Uso generalizado

- **Instalación rápida y sencilla. Gran ancho de banda.**
- Permiten desde enlaces punto a punto hasta redes malladas.
- Rápida recuperación de la inversión.
- Especialmente explotado en el ámbito militar, empresarial y por instituciones públicas y privadas.

Uso generalizado

- Instalación rápida y sencilla. Gran ancho de banda.
- Permiten desde enlaces punto a punto hasta redes malladas.
- Rápida recuperación de la inversión.
- Especialmente explotado en el ámbito militar, empresarial y por instituciones públicas y privadas.

Uso generalizado

- Instalación rápida y sencilla. Gran ancho de banda.
- Permiten desde enlaces punto a punto hasta redes malladas.
- Rápida recuperación de la inversión.
- Especialmente explotado en el ámbito militar, empresarial y por instituciones públicas y privadas.

Uso generalizado

- Instalación rápida y sencilla. Gran ancho de banda.
- Permiten desde enlaces punto a punto hasta redes malladas.
- Rápida recuperación de la inversión.
- Especialmente explotado en el ámbito militar, empresarial y por instituciones públicas y privadas.

Despliegues rápidos

- Equipos ligeros, protegidos contra el medio, y con un bajo consumo de potencia. Especialmente aptos para:
 - Despliegue rápido en zonas catastróficas
 - Despliegue móvil, para la retransmisiones de señal audiovisual de alta definición.
 - Restablecimiento de enlaces críticos.

Despliegues rápidos

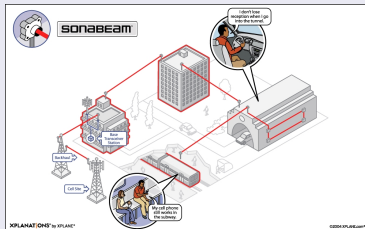
- Equipos ligeros, protegidos contra el medio, y con un bajo consumo de potencia. Especialmente aptos para:
 - Despliegue rápido en zonas catastróficas
 - Despliegue móvil, para la retransmisiones de señal audiovisual de alta definición.
 - Restablecimiento de enlaces críticos.

Despliegues rápidos

- Equipos ligeros, protegidos contra el medio, y con un bajo consumo de potencia. Especialmente aptos para:
 - Despliegue rápido en zonas catastróficas
 - Despliegue móvil, para la retransmisiones de señal audiovisual de alta definición.
 - Restablecimiento de enlaces críticos.

Algunos ejemplos de uso de sistemas comerciales

Ejemplos



- Los sistemas de FSO no interfieren con los sistemas de RF, permite su uso:
 - En las cercanías de equipo médico sensible a las ondas de RF.
 - Compatible con el uso de equipos militares.
 - En aeropuertos, los equipos de FSO no interfieren con la instrumentación de vuelo ni con los sistemas de seguimiento en la torre de control.
 - En laboratorios con equipos de medición/instrumentación sensible a RF.
 - En sistemas de comunicaciones móviles celulares para interconectar una estación base con una estación retransmisora.

- Los sistemas de FSO no interfieren con los sistemas de RF, permite su uso:
 - En las cercanías de equipo médico sensible a las ondas de RF.
 - Compatible con el uso de equipos militares.
 - En aeropuertos, los equipos de FSO no interfieren con la instrumentación de vuelo ni con los sistemas de seguimiento en la torre de control.
 - En laboratorios con equipos de medición/instrumentación sensible a RF.
 - En sistemas de comunicaciones móviles celulares para interconectar una estación base con una estación retransmisora.

- Los sistemas de FSO no interfieren con los sistemas de RF, permite su uso:
 - En las cercanías de equipo médico sensible a las ondas de RF.
 - Compatible con el uso de equipos militares.
 - En aeropuertos, los equipos de FSO no interfieren con la instrumentación de vuelo ni con los sistemas de seguimiento en la torre de control.
 - En laboratorios con equipos de medición/instrumentación sensible a RF.
 - En sistemas de comunicaciones móviles celulares para interconectar una estación base con una estación retransmisora.

- Los sistemas de FSO no interfieren con los sistemas de RF, permite su uso:
 - En las cercanías de equipo médico sensible a las ondas de RF.
 - Compatible con el uso de equipos militares.
 - En aeropuertos, los equipos de FSO no interfieren con la instrumentación de vuelo ni con los sistemas de seguimiento en la torre de control.
 - En laboratorios con equipos de medición/instrumentación sensible a RF.
 - En sistemas de comunicaciones móviles celulares para interconectar una estación base con una estación retransmisora.

- Los sistemas de FSO no interfieren con los sistemas de RF, permite su uso:
 - En las cercanías de equipo médico sensible a las ondas de RF.
 - Compatible con el uso de equipos militares.
 - En aeropuertos, los equipos de FSO no interfieren con la instrumentación de vuelo ni con los sistemas de seguimiento en la torre de control.
 - En laboratorios con equipos de medición/instrumentación sensible a RF.
 - En sistemas de comunicaciones móviles celulares para interconectar una estación base con una estación retransmisora.

Necesidades de ancho de banda

- Aumento de la demanda de servicios de banda ancha.
- Limitaciones de las comunicaciones de radiofrecuencia:
 - El espectro radioeléctrico en el que se dan estas comunicaciones se ha llevado el límite.
 - Altos niveles de congestión e interferencias.
 - Necesidad de licencias en ciertas bandas de operación.
 - Encarecimiento de los equipos (ya de por sí costosos).
 - Necesidad de LOS para establecer enlaces de banda ancha.

Necesidades de ancho de banda

- Aumento de la demanda de servicios de banda ancha.
- Limitaciones de las comunicaciones de radiofrecuencia:
 - El espectro radioeléctrico en el que se dan estas comunicaciones se ha llevado el límite.
 - Altos niveles de congestión e interferencias.
 - Necesidad de licencias en ciertas bandas de operación.
 - Encarecimiento de los equipos (ya de por sí costosos).
 - Necesidad de LOS para establecer enlaces de banda ancha.

Necesidades de ancho de banda

- Aumento de la demanda de servicios de banda ancha.
- Limitaciones de las comunicaciones de radiofrecuencia:
 - El espectro radioeléctrico en el que se dan estas comunicaciones se ha llevado el límite.
 - Altos niveles de congestión e interferencias.
 - Necesidad de licencias en ciertas bandas de operación.
 - Encarecimiento de los equipos (ya de por sí costosos).
 - Necesidad de LOS para establecer enlaces de banda ancha.

Necesidades de ancho de banda

- Aumento de la demanda de servicios de banda ancha.
- Limitaciones de las comunicaciones de radiofrecuencia:
 - El espectro radioeléctrico en el que se dan estas comunicaciones se ha llevado el límite.
 - Altos niveles de congestión e interferencias.
 - Necesidad de licencias en ciertas bandas de operación.
 - Encarecimiento de los equipos (ya de por sí costosos).
 - Necesidad de LOS para establecer enlaces de banda ancha.

Necesidades de ancho de banda

- Aumento de la demanda de servicios de banda ancha.
- Limitaciones de las comunicaciones de radiofrecuencia:
 - El espectro radioeléctrico en el que se dan estas comunicaciones se ha llevado el límite.
 - Altos niveles de congestión e interferencias.
 - Necesidad de licencias en ciertas bandas de operación.
 - Encarecimiento de los equipos (ya de por sí costosos).
 - Necesidad de LOS para establecer enlaces de banda ancha.

Necesidades prácticas

- La topología actual comprende pequeñas redes aisladas confinadas a las estaciones base.
- Topología inadecuada para dar cobertura inalámbrica a toda una ciudad.
- Gran interés en sustituir la topología actual por una configuración de multicast virtual.
- Para ello es necesario dotar al sistema de una red de backbone con capacidad similar a las redes de fibra.

Necesidades prácticas

- La topología actual comprende pequeñas redes aisladas confinadas a las estaciones base.
- Topología inadecuada para dar cobertura inalámbrica a toda una ciudad.
- Gran interés en sustituir la topología actual por una configuración de multicast virtual.
- Para ello es necesario dotar al sistema de una red de backbone con capacidad similar a las redes de fibra.

Necesidades prácticas

- La topología actual comprende pequeñas redes aisladas confinadas a las estaciones base.
- Topología inadecuada para dar cobertura inalámbrica a toda una ciudad.
- Gran interés en sustituir la topología actual por una configuración de multicast virtual.
- Para ello es necesario dotar al sistema de una red de backbone con capacidad similar a las redes de fibra.

Necesidades prácticas

- La topología actual comprende pequeñas redes aisladas confinadas a las estaciones base.
- Topología inadecuada para dar cobertura inalámbrica a toda una ciudad.
- Gran interés en sustituir la topología actual por una configuración de multicast virtual.
- Para ello es necesario dotar al sistema de una red de backbone con capacidad similar a las redes de fibra.

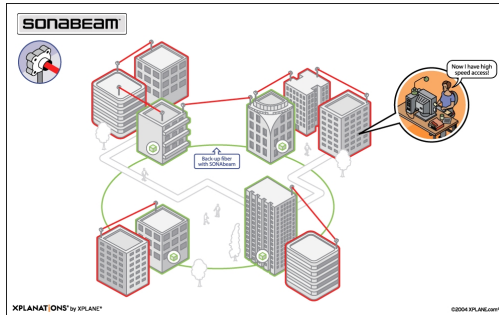


Figura: City-Wide Wireless Network

Enlaces intersatelitales basados en FSO

- Las comunicaciones intersatelitales aprovechan al máximo las ventajas de las comunicaciones FSO.
- Permiten satisfacer la demanda global de intercambio de información a altas velocidades.
- Esto se debe a que en el espacio desaparecen los efectos limitantes relacionados con la atmósfera terrestre.
- Existen dos tipos de enlaces:
 - Entre estaciones situadas en órbitas GEO.
 - Aquellos en los que al menos una de las estaciones se encuentra en una órbita distinta a la geoestacionaria.

Wavelength Division Multiplexing systems on Free Space Optics communications

- La modulación óptico-electro-óptica introduce un cuello de botella en las comunicaciones FSO.
- Solución experimental factible, esquema de transmisión transparente.
- Permite las comunicaciones WDM y DWDM al ser acorde con su filosofía.

Wavelength Division Multiplexing systems on Free Space Optics communications

- La modulación óptico-electro-óptica introduce un cuello de botella en las comunicaciones FSO.
- Solución experimental factible, esquema de transmisión transparente.
- Permite las comunicaciones WDM y DWDM al ser acorde con su filosofía.

Wavelength Division Multiplexing systems on Free Space Optics communications

- La modulación óptico-electro-óptica introduce un cuello de botella en las comunicaciones FSO.
- Solución experimental factible, esquema de transmisión transparente.
- Permite las comunicaciones WDM y DWDM al ser acorde con su filosofía.

Esquema de comunicación transparente

- Toda la comunicación se realiza en el plano óptico.
- Transmisión entre fibras «sin fisuras» siguiendo el siguiente proceso:
 - El haz se extrae directamente de la fibra.
 - Se acopla al medio mediante unos colimadores controlados por mecanismos de haz.
 - En recepción se realiza el proceso inverso y se inyecta la señal resultante en la fibra del otro extremo.

Esquema de comunicación transparente

- Toda la comunicación se realiza en el plano óptico.
- Transmisión entre fibras «sin fisuras» siguiendo el siguiente proceso:
 - El haz se extrae directamente de la fibra.
 - Se acopla al medio mediante unos colimadores controlados por mecanismos de haz.
 - En recepción se realiza el proceso inverso y se inyecta la señal resultante en la fibra del otro extremo.

Esquema de comunicación transparente

- Toda la comunicación se realiza en el plano óptico.
- Transmisión entre fibras «sin fisuras» siguiendo el siguiente proceso:
 - El haz se extrae directamente de la fibra.
 - Se acopla al medio mediante unos colimadores controlados por mecanismos de haz.
 - En recepción se realiza el proceso inverso y se inyecta la señal resultante en la fibra del otro extremo.

Esquema de comunicación transparente

- Toda la comunicación se realiza en el plano óptico.
- Transmisión entre fibras «sin fisuras» siguiendo el siguiente proceso:
 - El haz se extrae directamente de la fibra.
 - Se acopla al medio mediante unos colimadores controlados por mecanismos de haz.
 - En recepción se realiza el proceso inverso y se inyecta la señal resultante en la fibra del otro extremo.

Esquema de comunicación transparente

- Toda la comunicación se realiza en el plano óptico.
- Transmisión entre fibras «sin fisuras» siguiendo el siguiente proceso:
 - El haz se extrae directamente de la fibra.
 - Se acopla al medio mediante unos colimadores controlados por mecanismos de haz.
 - En recepción se realiza el proceso inverso y se inyecta la señal resultante en la fibra del otro extremo.

Ejemplo de un sistema WDMFSO

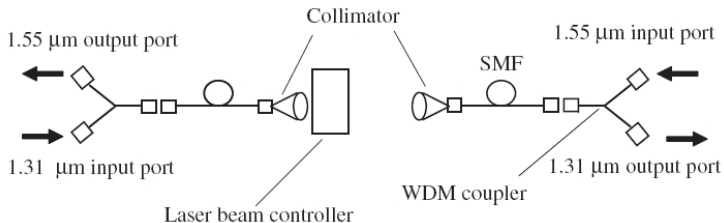


Figura: Esquema simplificado de un sistema de comunicaciones WDMFSO

Motivos y funcionamiento

- Sistemas desarrollados para dar cobertura allí donde las comunicación con RF es difícil o está prohibida.
- Consiste en confinar las señales de RF en portadoras ópticas y su transmisión mediante FSO.
- Funcionamiento similar a la tecnología *Radio on Fiber* (RoF).
- Clasificación en sistemas indoor o outdoor.

Sistemas indoor

- Se pretende dar una cobertura similar a la ofrecida por los sistemas de RF.
- Dos clasificaciones. Por tipo de enlace:
 - De enlace directo.
 - De enlace indirecto.
- Según si es necesario un camino ininterrumpido entre emisor y receptor:
 - Sistemas LOS.
 - Sistemas NLOS.

Sistemas indoor

- Se pretende dar una cobertura similar a la ofrecida por los sistemas de RF.
- Dos clasificaciones. Por tipo de enlace:
 - De enlace directo.
 - De enlace indirecto.
- Según si es necesario un camino ininterrumpido entre emisor y receptor:
 - Sistemas LOS.
 - Sistemas NLOS.

Sistemas indoor

- Se pretende dar una cobertura similar a la ofrecida por los sistemas de RF.
- Dos clasificaciones. Por tipo de enlace:
 - De enlace directo.
 - De enlace indirecto.
- Según si es necesario un camino ininterrumpido entre emisor y receptor:
 - Sistemas LOS.
 - Sistemas NLOS.

Sistemas indoor

- Se pretende dar una cobertura similar a la ofrecida por los sistemas de RF.
- Dos clasificaciones. Por tipo de enlace:
 - De enlace directo.
 - De enlace indirecto.
- Según si es necesario un camino ininterrumpido entre emisor y receptor:
 - Sistemas LOS.
 - Sistemas NLOS.

Sistemas indoor

- Se pretende dar una cobertura similar a la ofrecida por los sistemas de RF.
- Dos clasificaciones. Por tipo de enlace:
 - De enlace directo.
 - De enlace indirecto.
- Según si es necesario un camino ininterrumpido entre emisor y receptor:
 - Sistemas LOS.
 - Sistemas NLOS.

Sistemas indoor

- Se pretende dar una cobertura similar a la ofrecida por los sistemas de RF.
- Dos clasificaciones. Por tipo de enlace:
 - De enlace directo.
 - De enlace indirecto.
- Según si es necesario un camino ininterrumpido entre emisor y receptor:
 - Sistemas LOS.
 - Sistemas NLOS.

Sistemas indoor

- Se pretende dar una cobertura similar a la ofrecida por los sistemas de RF.
- Dos clasificaciones. Por tipo de enlace:
 - De enlace directo.
 - De enlace indirecto.
- Según si es necesario un camino ininterrumpido entre emisor y receptor:
 - Sistemas LOS.
 - Sistemas NLOS.

WDM on RoFSO



Figura: Se han realizado pruebas exitosas de transmisiones WDM mediante tecnología RoFSO

Referencias I



K. Tsukamoto, et. al., "Link design of radio on free space optic system for heterogeneous wireless services," in *Microwave Photonics, 2008. Jointly held with the 2008 Asia-Pacific Microwave Photonics Conference. MWP/APMP 2008. International Topics Meeting on*. Gold Coast, Qld: Grad. Sch. of Eng., Osaka Univ., Suita, Sep./Oct. 2008, pp. 232–235.



A. Mahdy and J. Deogun, "Optimizing free space optics for city-wide wireless networks," in *Networking, 2007. ICN '07. Sixth International Conference on*, Martinique, Apr. 2008, pp. 66–66.



N. Fukumoto, A. Murakoshi, K. Tsukamoto, and S. Komaki, "A study on unrepeaters distributed antenna method with convex mirrors for radio on freespace optics system," in *Microwave Photonics, 2005. MWP 2005. International Topical Meeting on*, Oct. 2005, pp. 185–188.



K. Yoshida, T. Tsujimura, K. Shiraki, and I. Sankawa, "A free space optics system for seamless transmission between single-mode optical fibers," in *SICE, 2007. Annual Conference*, Takamatsu, Sep. 2007, pp. 2333–2336.



K. Yoshida, T. Tsujimura, and T. Kurashima, "Seamless transmission between single-mode optical fibers using free space optics system," in *SICE Annual Conference, 2008*, Tokyo, Aug. 2008, pp. 2219–2222.



G. Mecherle, "Active pointing for terrestrial free space optics," in *Lasers and Electro-Optics Society, 2002. LEOS 2002. The 15th Annual Meeting of the IEEE*, vol. 2. fSONA, Nov. 2002, pp. 451–452.

Referencias II



D. Forin, et. al., "On field test of a wavelength divisionmultiplexing free space optics transmission at very high bit rates," in *Telecommunications, 2007. ConTel 2007. 9th International Conferenceon*, Zagreb, Jun. 2007, pp. 77–80.



M. Moresco, et. al., "Dense wavelength division multiplexed transparentfor ultrahigh bit rate applications and single channel opaque free spaceoptics systems," in *Optical Communications, 2006. ECOC 2006. EuropeanConference on*. Cannes, France:University Roma Tre, Via della Vasca Navale 84, 00146 Rome, Italy, Sep. 2008,pp. 1–2.



fSONA, <http://www.fsona.com>, <http://www.free-space-optics.org>.



LIGHTPOINTE, <http://www.lightpointe.com>, <http://www.freespaceoptics.org>.



Cablefree, <http://www.cablesolutions.com>.



WIKIPEDIA, <http://en.wikipedia.org>, Free Space Optical Communication, VCSEL, Avalanche Photodiode, Wavelength Division Multiplexing.