

Sistemes de comunicació òptics

Josep Maria Fàbrega
Simó Graells

PID_00175696

Material docent de la UOC

Josep Maria Fàbrega

Simó Graells

L'encàrrec i la creació d'aquest material docent han estat coordinats pel professor: José Antonio Morán Moreno (2013)

Primera edició: setembre 2013
© Josep Maria Fàbrega i Simó Graells
Tots els drets reservats
© d'aquesta edició, FUOC, 2013
Av. Tibidabo, 39-43, 08035 Barcelona
Disseny: Manel Andreu
Realització editorial: Eureka Media, SL
Dipòsit legal: B-14.751-2013

Cap part d'aquesta publicació, incloent-hi el disseny general i la coberta, no pot ser copiada, reproduïda, emmagatzemada o transmesa de cap manera ni per cap mitjà, tant si és elèctric com químic, mecànic, òptic, de gravació, de fotocòpia o per altres mètodes, sense l'autorització prèvia per escrit dels titulars del copyright.

Introducció

Les comunicacions òptiques són possiblement el sistema de comunicacions més antic que existeix. De fet, la primera comunicació a llarga distància de la qual es té coneixement és la que suposadament es va establir entre Troia (muntanya Ida) i Argos l'any 1184 aC per a avisar del fet que la guerra havia acabat. Era un enllaç de 518 km, amb 6 repetidors, que creuava el mar Egeu.

A banda d'aquesta anècdota, al llarg de la història hi ha hagut diferents mètodes per a transmetre informació mitjançant senyals òptics, però possiblement els més importants i de més impacte són aquells basats en la fibra òptica.

Fa gairebé cinquanta anys que Charles K. Kao va demostrar que es podia transmetre informació a través de la fibra òptica. I no només això, sinó també que oferia grans possibilitats: atenuació de senyal molt baixa i gran amplada de banda. Dit d'una altra manera, que és possible transmetre molta informació (>10 Gb/s) i molt lluny (>5.000 km). Per aquestes dues propietats bàsiques la fibra òptica ha esdevingut un dels medis de comunicació de referència en la societat de la informació, atès que permet transmetre grans volums d'informació i/o comunicar punts molt llunyans.

Això ens porta al curs que us presentem sobre sistemes de comunicacions òptiques. Donada la importància de les telecomunicacions en general i l'impacte particular que tenen les comunicacions òptiques, veiem necessari un text sobre el tema que no només teoritzis els problemes clàssics d'aquests sistemes de comunicacions, sinó que també tingui un enfocament més actual i sobretot pràctic.

Per a això hem estructurat el text en diferents mòduls, enfocats a assolir els objectius del curs, tot cobrint les diverses parts de què es compon qualsevol sistema genèric de comunicacions.

L'esquema bàsic d'un sistema de comunicacions consta d'emissor, canal i receptor, tal com es pot veure en la figura 1. El medi de transmissió o canal més emprat en els sistemes de comunicacions òptiques és la fibra òptica.

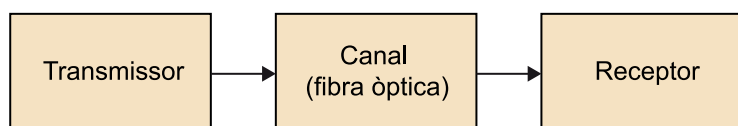


Figura 1. Esquema típic d'un sistema de comunicacions òptiques

Físicament, la fibra òptica consisteix en un nucli cilíndric i compacte de vidre, envoltat per un revestiment amb la mateixa estructura. La llum avança per la fibra gràcies al compliment de la propietat de la reflexió total de la llum entre el nucli i el revestiment. Les principals característiques de la fibra òptica són les baixes pèrdues de transmissió i la gran amplada de banda que ofereix.

En el primer mòdul veurem el principi de funcionament, les característiques i les limitacions de la fibra òptica com a guia de llum. L'estudi del principi de funcionament de la fibra òptica s'inicia sota la consideració de l'òptica de raigs, ampliant-ho amb un estudi més acurat emprant l'òptica electromagnètica. De manera complementària a l'estudi del funcionament de la fibra òptica, s'expliquen els diferents tipus que es poden trobar al mercat i les seves característiques. Seguidament s'estudien les limitacions que presenta el medi de transmissió i l'efecte que tenen en el disseny de l'enllaç. Això són els efectes clàssics de limitació (l'atenuació i la dispersió) i els efectes no lineals.

L'atenuació és la disminució de l'amplitud del senyal pel fet de recórrer un tram de fibra, i ens pot limitar la longitud de l'enllaç. La dispersió és l'eixamplament temporal d'un pols de llum degut al pas per un tram de fibra òptica i tant pot representar una limitació de velocitat binària com una limitació de longitud de l'enllaç.

Els efectes no lineals són fruit de la injecció d'excessiva potència dins la fibra òptica, que fa que el comportament del medi passi a ser no lineal. Aquests suposen una degradació del sistema de comunicacions òptiques i es poden traduir en atenuacions excessives, distorsions o diafonia (*crosstalk*).

Val a dir que la fibra òptica no és un element aïllat; dins del sistema de comunicacions òptiques està unit a altres elements –com poden ser emissors, receptors, amplificadors– o a altres trams de fibra òptica. A més, cal tenir en compte que la fibra òptica és el medi on es propaguen els senyals òptics que contenen les dades a enviar per la xarxa.

En el segon mòdul s'estudia com verificar que les interconnexions físiques entre la fibra i els altres elements siguin correctes i que els senyals òptics tinguin una qualitat acceptable per a dur a terme la comunicació.

L'aparell de mesura que ens permet verificar la part física de la xarxa és el reflectòmetre òptic en domini temporal (OTDR).

La mesura i avaluació dels paràmetres propis dels senyals òptics que s'estan transmetent es coneix com a monitoratge òptic. Alguns dels paràmetres més importants a monitorar són la relació senyal-soroll òptica (que permet estimar la qualitat del senyal òptic), la dispersió cromàtica o la dispersió en el mode de polarització.

Seguint amb la descripció de l'esquema bàsic d'un sistema de comunicacions, a part del canal, els altres blocs bàsics són el transmissor i el receptor. Aquests els veurem en el tercer mòdul. Allí hi farem un repàs dels blocs bàsics dels quals es poden compondre tant el transmissor com el receptor i veurem quins són els esquemes que podem trobar als sistemes de comunicacions òptiques d'avui en dia. Concretament, veurem les implementacions basades en modulació d'intensitat i detecció directa, en què la informació es transmet codificada en polsos de llum. També veurem implementacions més avançades basades a codificar la informació en la fase d'un feix continu de llum, que han estat estandarditzades recentment.

Un punt important del tercer mòdul és el fet que a part dels transmissors i receptors, veurem implementacions de sistemes intermedis que permeten allargar l'abast de la comunicació (per exemple, amplificadors òptics) i repassarem com afecten les prestacions de la transmissió de la informació. Concretament, farem èmfasi en el compromís existent entre els diferents tipus de sistemes i la màxima distància a la qual podrem transmetre.

Arribats en aquest punt, haurem vist els punts més importants d'un sistema genèric de comunicacions òptiques. Pel que fa al quart mòdul, ens centrarem en les xarxes i aplicacions dels sistemes de comunicacions òptiques. Primer veurem quines són les arquitectures de xarxa més típiques (bus, anell i estrella) i quins són els elements bàsics per a la construcció i gestió d'aquestes. Així, explicarem les arquitectures dels nodes que les componen, introduïrem el concepte de multiplexació per divisió de longitud d'ona i veurem com s'implementa la protecció i gestió de fallades. Aquests darrers punts són importants, atès que les companyies operadores de xarxes òptiques mitjanes i grans tracten grans volums d'informació (molta d'essencial) i no es poden permetre un mal funcionament de la xarxa.

Per a acabar el quart mòdul, veurem les arquitectures i estàndards utilitzats en xarxes òptiques d'accés, que arriben fins a l'usuari final. Així, veurem com es desmantella de manera progressiva l'accés basat en tecnologies XDSL i és substituït per la fibra òptica. Finalment explicarem quins són els paràmetres importants i com es dimensionen aquestes xarxes.

Objectius

L'estudi d'aquest material permet assolir els objectius següents:

- 1.** Entendre i saber analitzar la propagació de la llum a través de la fibra òptica, així com els seus efectes en la transmissió de senyals òptics.
- 2.** Conèixer i entendre els principis de funcionament dels diferents sistemes de mesura per a caracteritzar, verificar i monitorar el funcionament de les xarxes de fibra òptica.
- 3.** Saber de quina manera es transmet i es rep la informació en un sistema de comunicacions òptiques i com s'implementen els diferents subsistemes òptics que componen un enllaç.
- 4.** Ser capaços de dissenyar xarxes i nodes de comunicacions òptiques per a diverses aplicacions: des de les que estableixen comunicacions a nivell troncal i/o metropolità fins a les que poden arribar a l'usuari final.

Continguts

Mòdul didàctic 1

La fibra òptica i els efectes limitadors dels sistemes de comunicació òptics

Simó Graells

1. Llum i fibra òptica sota l'aproximació de l'òptica de rajos
2. Efectes clàssics limitadors de les comunicacions òptiques
3. Tipus de fibres òptiques
4. Propagació de la llum per la fibra òptica. Anàlisi des del punt de vista de l'òptica electromagnètica
5. Efectes no lineals
6. Exemples de càlcul dels efectes limitadors d'enllaços de comunicacions òptiques

Mòdul didàctic 2

Verificació i monitoratge de xarxes òptiques

Josep Maria Fàbrega i Simó Graells

1. Reflectometria en el domini temporal
2. Monitoratge de prestacions de senyals òptics

Mòdul didàctic 3

Sistemes òptics de transmissió

Josep Maria Fàbrega

1. Repàs i descripció de dispositius
2. Modulació d'intensitat i detecció directa
3. Sistemes coherents
4. Annex. Breu introducció a la caracterització de la polarització de la llum

Mòdul didàctic 4

Topologies de xarxes de fibra òptica i gestió de fallades

Josep Maria Fàbrega i Simó Graells

1. Xarxes en anell, estrella. Enrutament i WDM. Gestió de fallades
2. Topologies de fibra fins a la llar (FTTH)

