

Sistemes i serveis de telecomunicació

Projecte 1.- Introducció als sistemes i serveis de telecomunicació

0.- Introducció

Les telecomunicacions constitueixen un dels sectors més dinàmics de l'economia i un dels que més poden contribuir al creixement, la productivitat, l'ocupació, i per tant, al desenvolupament econòmic i al benestar social, afectant directament al cercle de protecció dels interessos generals. Actualment, l'evolució tecnològica ens situa en una nova etapa –la d'extensió de les xarxes de nova generació–, que obliga els poders públics a reflexionar sobre la importància de la funció reguladora. La situació econòmica i financera que afecta una gran part dels països desenvolupats, la necessitat actual de fomentar la inversió i d'impulsar la competència, són elements essencials a considerar en la revisió del marc regulador. El sector de les telecomunicacions, subjecte a un procés de permanent innovació tecnològica, necessita inversions constants i ingents, la qual cosa requereix escometre projectes de gran envergadura que poden veure's afectats si s'exigeixen en condicions diferents de desplegament de xarxes i de comercialització de serveis en els diferents àmbits territorials.

D'altra banda, a més d'estimular la inversió, és necessari continuar promovent i vetllant per la competència efectiva en el sector de les telecomunicacions. Ha de tenir-se en compte en aquest sentit que el continu procés d'innovació tecnològica present en aquest sector exigeix grans inversions en el desplegament de xarxes o infraestructures i en la comercialització de serveis que generen igualment barreres d'entrada en el sector, dificultant en conseqüència la competència. La Llei general de les telecomunicacions persegueix com a objectiu fomentar la competència sense desincentivar les inversions.

En conseqüència, introdueix reformes estructurals en el règim jurídic de les telecomunicacions dirigides a facilitar el desplegament de xarxes i la prestació de serveis per part dels operadors, perquè això permeti oferir als usuaris serveis més innovadors, de més qualitat i cobertura, a preus més competitius i amb condicions més bones, la qual cosa contribuirà a potenciar la competitivitat i la productivitat de l'economia espanyola en el seu conjunt. També afavoreix la seguretat jurídica, en compendiar la normativa vigent, i en particular pel que fa al marc comunitari de les comunicacions electròniques.

Però al mateix temps, i en la mesura en què l'existència de competència efectiva constitueix un mecanisme eficaç de pressió sobre els preus, així com sobre la qualitat dels serveis i la innovació, la Llei contempla un conjunt d'obligacions o mesures que podran imposar-se als operadors amb poder significatiu al mercat. No obstant això, serà igualment decisiva la tasca de vigilància de la Comissió Nacional dels Mercats i la Competència en la persecució de les pràctiques restrictives de la competència, tant de conductes col·lusòries, com d'abusos de posició de domini, que puguin afectar a aquest sector. És per tant essencial que aquesta Comissió duga a terme una contínua supervisió dels diferents mercats de comunicacions electròniques per garantir, preservar i promoure una competència efectiva en aquests que proporcione finalment beneficis als usuaris.

1.- Objectius

L'objectiu d'este projecte és familiaritzar-se amb les fonts d'informació sobre normatives i organismes reguladors dels sistemes i serveis de telecomunicacions.

La pràctica està dividida en tres parts:

En la primera part, es consulta la LGT del 2003 i es respon a les qüestions que es plantegen en el guió de la pràctica. La LGT 2003 es troba a l'Aula Virtual per a major facilitat. Les respostes a les qüestions apareixen de manera seqüencial en el document.

En la segona part, s'estudia el Reial Decret que fa referència a com mesurar la qualitat del servei de telefonia local. Per a fer-ho, cal cercar l'estàndard ETSI al qual el Reial Decret fa referència, s'estudien els diversos paràmetres per a la mesura de la qualitat de servei en telefonia vocal i es respon a les qüestions que planteja el guió sobre alguns casos concrets.

Per finalitzar, s'accedeix a la pàgina web de la ISO, de la ITU-T i de la CNMC (secció telecomunicacions), per familiaritzar-se amb les activitats i funcions d'aquests organismes.

2.- Coneixement del marc normatiu espanyol

2.1.- Llei general de telecomunicacions 32/2003, de 3 de novembre de 2003.

2.1.1.- Objecte de la llei.

2.1.2.- Segons aquesta llei, les telecomunicacions són un servei públic o d'interès general?

2.1.3.- Sobre qui poden recaure les obligacions de servei públic?

2.1.4.- Enumera i resumeix breument els 8 objectius de la llei.

2.1.5.- Pot intervenir la CMT en el mercat de les telecomunicacions? En quins casos? [Article 10].

2.1.6.- Tenen els operadors l'obligació de negociar la interconnexió entre xarxes públiques? Amb quina finalitat? Pot intervenir la CMT en aquesta negociació?

2.1.7.- Pot un operador imposar condicions distintes a la resta d'operadors a l'hora de negociar la interconnexió?

2.1.8.- Qui resol els possibles conflictes entre operadors que puguen originar-se? Són vinculants les resolucions al respecte?

2.1.9.- Pot la CMT declarar normes o especificacions tècniques d'ús obligatori? Amb quina finalitat?

2.1.10.- Què s'entén per servei universal?

2.1.11.- Tenen dret els operadors a l'ocupació del domini públic? I a la propietat privada? En el cas de la propietat privada, en quines circumstàncies?

2.1.12.- Han de garantir els operadors el secret de les comunicacions?

2.1.13.- Poden els operadors adquirir porcions de l'espectre radioelèctric?

2.2.- Reial Decret 1736/1998, de 31 de juliol.

2.2.1.- La qualitat d'un servei es pot descompondre en tres factors fonamentals:

- la qualitat tècnica del sistema
- la qualitat de atenció a la demanda
- la qualitat de atenció al client

En aquest Reial Decret s'especifica que la definició i el mètode de mesura de qualitat han d'establir-se d'acord amb l'estàndard ETSI ETR138.

Localitza aquest estàndard i indica quins apartats poden mesurar-se objectivament per a avaluar la qualitat del servei telefònic vocal.

2.2.2.- Es considera un informe de fallada de línia d'accés una avaria en un terminal del client? Com defineix l'estàndard la *línia d'accés*?

2.2.3.- Quants segons sense resposta han de produir-se perquè una telefonada nacional o intracomunitària es considere fallida?

2.2.4.- Com es mesura la qualitat en la transmissió de la veu?

2.2.5.- Forma part de l'estàndard la disponibilitat de telèfons públics?

3.- Organismes de regulació dels sistemes i serveis de telecomunicacions

Aquesta part de la pràctica no es limita a la contestació de les qüestions que s'hi plantegen, sinó que pretén una familiarització amb la informació continguda en les pàgines web dels organismes de normalització que s'indiquen.

3.1.- ISO. Localitza la pàgina d'ISO.

3.1.1.- Què és un estàndard ISO? Quins són els seus beneficis?


3.1.2.- Descriu el procés de desenvolupament d'un estàndard ISO.

3.2.- ITU. Localitza la pàgina de la ITU.

3.2.1.- Missió de la ITU.

3.2.2.- Recomanacions ITU-T.

3.3.- CNMC. Localitza la pàgina de la CNMC.



3.3.1.- Quin és l'òrgan encarregat de les funcions d'instrucció d'expedients de la CNMC en matèria de comunicacions electròniques? Quins són els seus objectius?

3.3.2.- Cerca la manera de trobar l'operador que dona servei al teu mòbil.

Sistemes i serveis de telecomunicació

Projecte 2.- ADSL

0.- Introducció

ADSL és una tecnologia d'accés a Internet de banda ampla, la qual cosa implica una velocitat superior a una connexió per mòdem en la transferència de dades, ja que el mòdem utilitza la banda de veu i per tant impedeix el servei de veu mentre es fa servir i viceversa. Això s'aconsegueix mitjançant una modulació dels senyals de dades en una banda de freqüències més alta que la utilitzada en les converses telefòniques convencionals (300 a 3400 Hz), funció que realitza l'encaminador ADSL. Per evitar distorsions en els senyals transmesos, es necessita instal·lar un filtre (discriminador, filtre DSL o *splitter*) que s'encarrega de separar el senyal telefònic convencional dels senyals modulats de la connexió mitjançant ADSL.

Aquesta tecnologia es denomina asimètrica, perquè les capacitats de descàrrega (des de la xarxa fins a l'usuari) i de pujada de dades (en sentit invers) no coincideixen. La tecnologia ADSL està dissenyada perquè la capacitat de baixada o descàrrega siga major que la de pujada, la qual cosa es correspon amb l'ús d'Internet per part de la majoria d'usuaris finals, que reben més informació de la que envien (o descarreguen més del que pugen).

Les empreses de telefonia implanten versions millorades d'aquesta tecnologia, com l'ADSL2 i l'ADSL2+, amb capacitat de subministrament de televisió i vídeo d'alta qualitat pel parell telefònic. Suposa una dura competència entre les companyies telefòniques i els operadors per cable, i l'aparició d'ofertes integrades de veu, dades i televisió, a partir d'una mateixa línia i dins d'una empresa o més, que ofereixen aquests tres serveis de comunicació per un mateix mitjà: triple play. L'ús d'un ample de banda més gran per a aquests serveis limita encara més la distància a què poden funcionar pel parell de fils.

ADSL2 i ADSL2+ incorporen mecanismes de modulació i gestió dels recursos físics avançats, de manera que no solament augmenten la capacitat de l'ADSL convencional de 8 Mbit/s a 12 i 24 Mbit/s respectivament, sinó que introdueixen millores per a evitar les interferències o soroll, i disminuir els efectes de l'atenuació, per aquest motiu s'aconsegueixen distàncies de fins a 9 km.

L'ADSL és una tecnologia que utilitza el parell de coure i té menys ample de banda que altres tecnologies, el cablejat urbà de les quals està compost per fils de fibra òptica en lloc del parell de coure implementat en la major part en les dècades de 1950 i 1960.

La tecnologia ADSL presenta avantatges i inconvenients quant a la connexió telefònica a Internet per mitjà del mòdem. Els avantatges principal són:

- Ofereix la possibilitat de parlar per telèfon alhora que es navega per Internet, perquè veu i dades treballen en bandes separades per la mateixa tecnologia ADSL i per filtres físics (filtres i microfiltres).

- Utilitza la infraestructura existent de la xarxa telefònica bàsica. Avantatjós, tant per als operadors que no han d'afrontar grans despeses per a la implantació d'aquesta tecnologia, com per als usuaris, ja que el cost i el temps que tarden a tenir disponible el servei és menor que si l'operador hagués d'emprendre obres per tal de generar una nova infraestructura.
- Ofereix molta més velocitat de connexió que l'obtinguda mitjançant marcació telefònica a Internet; de fet, no cal el *marcat* tal com el coneixem, sinó que es connecta independentment de la connexió tradicional de veu. Aquest és l'aspecte més interessant per als usuaris. En la majoria d'escenaris és la tecnologia amb millor relació velocitat/preu.
- Cada circuit entre abonat i central és únic i exclusiu per a aquest usuari. És a dir, el cable de coure que ix del domicili de l'abonat arriba a la central sense haver estat agregat i, per tant, evita conflictes per canal compartit, la qual cosa sí que ocorre en altres tecnologies, que utilitzen un mateix cable per a diversos abonats.

Aquesta tecnologia també presenta alguns desavantatges prou importants:

- No totes les línies telefòniques poden oferir aquest servei, ja que les exigències de qualitat del parell, tant de soroll com d'atenuació, per distància a la central, són més estrictes que per al servei telefònic bàsic. De fet, el límit teòric per a un servei acceptable equival a 5,5 km de longitud de línia; el límit real sol ser d'uns 3 km.
- A causa dels requeriments de qualitat del parell de coure, el servei no és econòmic a països amb poques o males infraestructures, sobretot si comparem amb els preus a d'altres països amb infraestructures més avançades.
- La qualitat del servei depèn de factors externs, com interferències en el cable o distància a la central, en no existir repetidors de senyal entre aquesta i el mòdem de l'usuari final. Això fa que la qualitat del servei fluctue, provocant en alguns casos talls i/o disminució de la taxa de dades transmises. Hi ha milers de fonts d'interferències electromagnètiques, des de l'aigua fins als motors elèctrics, passant per les instal·lacions internes del client dels cables de corrent elèctric o de fil musical. Aquest problema no existeix en la fibra òptica on es transmet llum làser en un mitjà protegit per una coberta opaca, ja que la llum és immune a aquelles interferències.
- Les capacitats de transmissió són molt inferiors a altres tecnologies basades en fibra òptica, com Hybrid Fibre Coaxial (HFC) o xarxes Gigabit Passive Optical Network (GPON).

1.- Objectius

L'objectiu d'aquest laboratori és reforçar per mitjà de simulacions els coneixements adquirits a classe al voltant de l'atenuació en cables, ADSL i DMT. Per a fer-ho treballarem amb l'eina MATLAB®. En primer lloc, aquesta eina ens permet fer càlculs vectorials per la qual cosa podrem resoldre exercicis més complexos que els que resolem a les classes de problemes. En segon lloc, presenta unes llibreries (*toolboxes*) amb funcions agrupades per temàtiques. En el nostre cas, establim un primer contacte amb la llibreria de comunicacions i explorarem un sistema de comunicacions ADSL utilitzant l'entorn Simulink.

2.- Atenuació en cables (60 min.)

Hem vist a la teoria com l'atenuació d'un cable presenta una forta dependència amb la freqüència del senyal que transporta. També hem vist com calcular aquesta atenuació per a una freqüència determinada, així com les aproximacions que es poden utilitzar per a simplificar els càlculs.

En aquest apartat utilitzarem la possibilitat que ofereix MATLAB® de treballar amb vectors per a calcular l'atenuació no solament per a una freqüència determinada sinó per a un ampli rang d'aquestes. A més, comprovarem en quins rangs de freqüència són vàlides les aproximacions vistes en teoria.

Per a fer-ho realitzarem els apartats següents:

a) Tenint en compte l'expressió de Rosen per a l'atenuació d'un cable:"

$$\alpha(Np/Km) = \sqrt{\frac{RWC}{\sin(\delta_c)\cos(\delta_d)}} \sin \frac{\delta_c + \delta_d}{2}$$

on δ_c i δ_d tenen el valor vist a les classes de teoria, utilitza MATLAB® per a calcular l'atenuació en funció de la freqüència d'un cable amb els paràmetres següents:

- Diàmetre: 0.6 mm
- G = 10 μ mho/Km
- C = 50 nF/Km
- L = 0.7 mH/Km
- $\rho = 17.24 \Omega \text{ mm}^2 / \text{Km}$

b) Implementa les aproximacions d'altres i de baixes freqüències vistes a classe de teoria i comprova que són aproximacions vàlides en el seu rang d'aplicació.

c) Calcula ara l'atenuació del cable, però tenint en compte l'efecte pel·licular. Comprova que el valor a partir del qual l'efecte pel·licular és significatiu coincideix amb el valor $u = 1$.

$$u = 21.4 r(mm) \sqrt{f(MHz)} \quad \begin{cases} R(f) \cong \frac{R(0)}{4} [1 + \sqrt[6]{3^6 + 8u^6}] \\ R(f) \cong R(0Hz) \end{cases}$$

Recomanació: Utilitza la funció «logspace» per a crear el vector de freqüències.

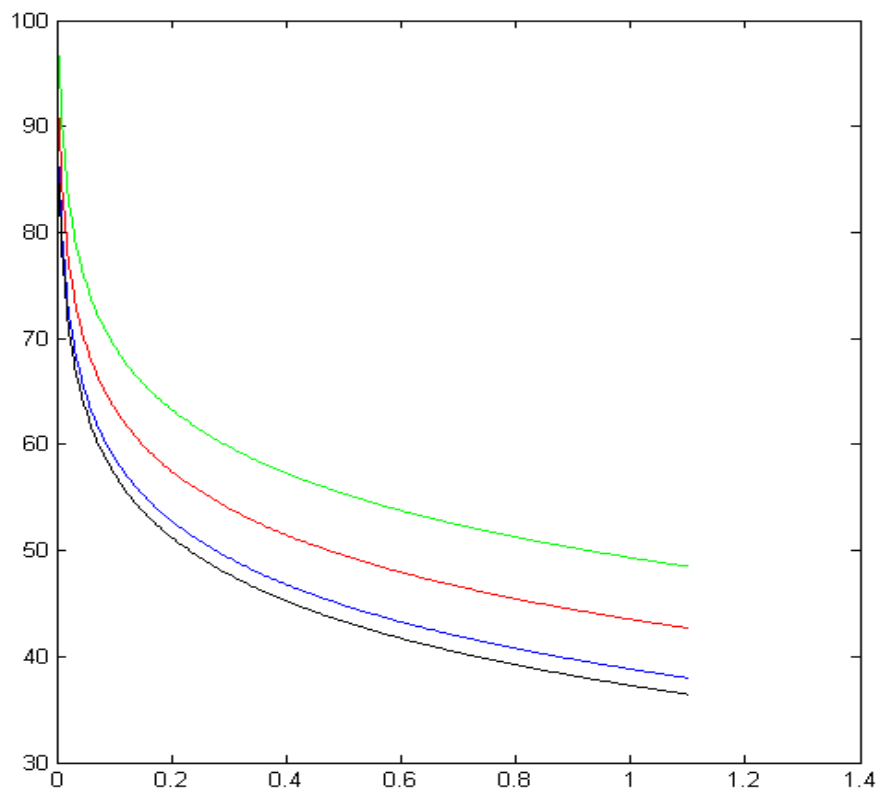
```
f = logspace(0,6,1000);
```

3.- Abast ADSL (60 min.)

En aquest apartat ens centrarem a comprendre millor les propietats del soroll per diafonia (*crosstalk*) entre cables veïns. Per a fer-ho calcularem i representarem el valor de l'ELFEXT per a un cable format per uns quants trams amb diferent nombre de parells i de longituds en tot el rang de freqüències utilitzats per l'ADSL. A més, farem uns exercicis per a comprendre millor el funcionament d'aquesta tecnologia.

a) Suposant que un mòdem de capçalera DSLAM transmet informació en sentit descendent utilitzant modulacions 1024-QAM, injectant +0dBm en cada canal, calcula la potència total injectada pel mòdem DSLAM.

b) Tenint en compte que la connexió es realitza per mitjà d'un cable de 500 m i 50 fils, connectat a un altre de 20 fils i 300 m, i finalment a un de 200 m i 5 fils, calcula l'ELFEXT (dB) de la línia de transmissió per a tots els canals del sistema ADSL (fins a 1.1 MHz) i representa-ho gràficament.




c) Considerant que el soroll de diafonia és limitant (és a dir, que $SNR \text{ (dB)} = ELFEXT \text{ (dB)}$), utilitzant la calculadora de freqüències ADSL vista en http://www.kitz.co.uk/adsl/adsl_technology.htm, i suposant que el nivell mínim de SNR necessari en el receptor és de 40 dB, calcula fins a quin canal és factible la comunicació.

d) Quina és la taxa de bits que estem transmetent?

e) Si podem guanyar 3 dB quant a SNR per cada bit de menys que incloquem en la modulació QAM, quina és la màxima taxa de dades que podem transmetre?

4.- Modulació ADSL-DMT (60 min.)

A més d'utilitzar el MATLAB® per a realitzar càlculs amb vectors com hem fet anteriorment, aquesta eina també ens ofereix un conjunt de funcions molt pràctiques agrupades per temes, denominades *toolboxes*. En aquest apartat començarem a familiaritzar-nos amb la «Communications Toolbox».



En primer lloc, tecleja «help comm» i explora les diferents funcions que MATLAB® posa a la teua disposició en aquesta *toolbox*. Aquestes funcions poden utilitzar-se directament a través de la interfície de comandaments, o poden utilitzar-se en un entorn gràfic anomenat Simulink®.

Clica sobre l'enllaç «Examples» i localitza l'exemple «256-channel ADSL». Tracta d'entendre el sistema que s'està simulant fent el següent:

a) En primer lloc, ignora els blocs previs al «DMT Modulator», atès que fan referència a codis de redundància, la qual cosa serà estudiada en una pràctica posterior.

b) Entra dins del bloc «DMT Modulator». A continuació, entra dins de cada grup de moduladors utilitzant el doble-clic esquerre del ratolí o el botó dret del ratolí i l'opció «Look under mask». Quants moduladors M-QAM hi ha? De quants bits és cadascun? Què és el «Bit Allocation Vector»? Com hauria de calcular-se?

c) Entra dins del bloc «Telephone line». Com s'està simulant la línia telefònica? Quin component presenta dependència freqüencial? Quina funció realitza l'AWGN? Pots modificar el SNR?

d) En rebre el senyal, s'eliminen els bits de redundància i es comparen els bits rebuts amb els bits transmesos originàriament. Què és el BER (Bit Error Rate)? És millor que presente un valor gran o un valor petit?

e) Simula el sistema, configurant el temps de simulació i clicant en el botó amb el símbol *play*. Observa les gràfiques i els valors que apareixen. Canvia el valor del BER en funció del temps de simulació?

e) Quina és la taxa de bits (en Mbps) que s'està transmetent? Quin seria el valor teòric? Està funcionant com un sistema ADSL real?

f) Modifica el bloc AWGN perquè es pugui fixar la relació SNR del senyal transmès. Si augmentem el SNR del senyal, el BER augmenta o disminueix? Et pareix lògic?

g) Esbrina per a què serveix el bloc «Discrete-Time Scatter Plot Scope». Inclou en l'esquemàtic aquest bloc després d'algun modulador que permeti veure una constel·lació M-QAM amb $M \geq 16$. Inclou un altre bloc just abans del demodulador corresponent per a veure la mateixa constel·lació però amb l'efecte del soroll. És apreciable? Observa com afecta a la constel·lació el valor del SNR.

Sistemes i serveis de telecomunicació

Projecte 3 - Dimensionament i desplegament d'una xarxa GPON



0.- Introducció.

Els principals operadors del món estan definint avançades xarxes convergents de banda ampla basades en IP, maximitzant així el valor dels seus actius per atreure nous clients i fidelitzar als existents oferint més serveis sobre la mateixa infraestructura a uns preus cada vegada més competitius. A més de reduir la inversió necessària en equipament de xarxa, aquesta convergència porta amb si per als operadors una reducció de la complexitat de la gestió i uns costos operatius més baixos.


Entre les tecnologies més interessants que estan permetent aquesta convergència cal destacar en la part del bucle d'abonat a GPON (Gigabyte Passive Optical Network), la tecnologia d'accés mitjançant fibra òptica amb arquitectura punt a multipunt més avançada en l'actualitat. Les economies d'escala i experiència acumulada en el nucli de la xarxa, amb elevats nivells de trànsit sobre sistemes WDM (Wavelength Division Multiplexing), ha permès que la viabilitat econòmica de la fibra i els components òptics siga un fet. Els serveis que es poden emprar sobre una xarxa d'aquestes característiques són, a més, els mateixos que es poden oferir sobre la xarxa mòbil, gràcies a la integració que suposa la introducció d'IMS (IP Multimèdia Subsystem).

La fibra d'òptica és el mitjà de transmissió més avançat i l'únic capaç de suportar els serveis de nova generació, com la televisió d'alta definició. Els principals avantatges de tenir un bucle d'abonat de fibra òptica són molts: majors amples de banda, majors distàncies des de la central fins a l'abonat, més resistència a la interferència electromagnètica, més seguretat, menys degradació dels senyals, etc. A més, la reducció de repetidors i altres dispositius suposaran inversions inicials més baixes, menor consum elèctric, menor espai, menys punts de fallada, etc. Encara que portar fibra fins a la llar pugui suposar una forta inversió inicial aquesta podrà ser ràpidament amortitzada a través de la reducció de les despeses de manteniment respecte a la infraestructura actual i als nous serveis que es poden oferir.

El ITU-T (International Telecommunications Union – Telecommunication sector) va començar a treballar sobre GPON l'any 2002. La principal motivació de GPON era oferir major ample de banda, més eficiència de transport per a serveis IP, i una especificació completa adequada per oferir tot tipus de serveis. GPON està estandarditzat en el conjunt de recomanacions ITU-T G.984.x (x = 1, 2, 3, 4). Les primeres recomanacions van aparèixer durant l'any 2003 i 2004 i hi ha hagut contínues actualitzacions en anys posteriors. Encara que molta de la funcionalitat que no està relacionada amb GPON es conserva respecte a les tecnologies predecessores, principalment BPON, com missatges OAM, DBA, etc., GPON es basa en una capa de transmissió completament nova.

GPON ofereix una estructura de trama escalable de 622 Mbps fins a 2,5 Gbps, així com suport de taxes de bit asimètriques. La velocitat més utilitzada pels actuals subministradors d'equips GPON és de 2,488 Gbps en canal de baixada i d'1,244 Gbps en canal de pujada. Sobre certes configuracions es poden proporcionar fins a 100 Mbps per abonat.

La xarxa d'accés és la part de la xarxa de l'operador més propera a l'usuari final, per la qual cosa es caracteritza per l'abundància de protocols i serveis. El mètode d'encapsulació que empra GPON és GEM



(GPON Encapsulation Method) que permet suportar qualsevol tipus de servei (Ethernet, TDM, ATM, etc.) en un protocol de transport síncron basat en trames periòdiques de 125 ms. GEM es basa en l'estàndard GFP (Generic Framing Procedure) del ITU-T G.7041, amb modificacions menors per optimitzar-la per a les tecnologies PON. GPON d'aquesta manera, no només ofereix major ample de banda que les tecnologies predecessores, és a més molt més eficient i permet als operadors continuar oferint els seus serveis tradicionals (veu basada en TDM, línies llogades, etc.) sense haver de canviar els equips instal·lats a les dependències dels clients.

A més, GPON implementa capacitats de OAM (Operation Administration and Maintenance) avançades, oferint una potent gestió del servei extrem a extrem. Entre altres funcionalitats incorporades cal destacar: monitoratge de la taxa d'error, alarmes i esdeveniments, descobriment i localització automàtica, etc.

1.- Objectius.

L'objectiu del present projecte consisteix en la realització de diverses activitats per a l'ampliació i assimilació dels coneixements sobre xarxes GPON adquirits en teoria. Constarà d'una fase de recerca d'informació tècnica en estàndards, una fase d'estudi per al desplegament i dimensionament d'una xarxa GPON que done cobertura a una àrea urbana determinada, i l'anàlisi i estudi comparatiu d'una simulació.

1.- Normativa.


Localitza la recomanació ITU relativa a les característiques generals de les xarxes GPON i respon a les preguntes següents:

G.984.1

- 1.- Què és la distància de fibra diferencial?
- 2.- Què és el «Optical Access Network»?
- 3.- Quina és la diferència principal entre FTTB, FTTC, FTTCab i FTTH?
- 4.- Especifica l'estàndard que els sistemes FTTH han d'oferir també telefonia bàsica?
- 5.- Quina és la velocitat més habitual a les xarxes GPON?
- 6.- Què és l'*splitting ratio*? Quin valor màxim es permet?
- 7.- Quin és l'objectiu de l'arquitectura de protecció d'una xarxa GPON? És obligatori implementar aquesta arquitectura?
- 8.- Quins requisits ha de complir el mecanisme de seguretat en les xarxes GPON?

G.984.2

- 9.- Quina és la diferència entre ONU i ONT? N'hi ha cap?
- 10.- Quines són les velocitats binàries nominals de la línia?
- 11.- Poden utilitzar-se dues fibres per a la transmissió?



12.- Quina és la codificació que s'empra?

13.- Què és la relació d'extinció?

14.- Les longituds d'ona de treball, són fixes o hi ha un cert marge de treball?

15.- Per a unes velocitats típiques de **1244 Mbps UP i 2488 Mbps DOWN**:

DOWN

a) Quina és la longitud d'ona de treball?

b) Quina és la relació d'extinció mínima en l'OLT?

c) Quina és la potència injectada mínima (classe B) en l'OLT?

d) Quina és la sensibilitat mínima del receptor (classe B)?

e) Quina és la màxima taxa d'errors permesa?

UP

f) Quina és la longitud d'ona de treball?

g) Quina és la mínima potència injectada (classe B)?

h) Quina és la sensibilitat mínima (classe B) del receptor OLT?

16.- Compara les potències emeses i les sensibilitats en ambdues direccions.

2.- Dimensionament de la xarxa GPON

En aquesta secció s'estudiarà el dimensionament i el desplegament de la xarxa GPON en una àrea urbana que conté 9 zones (illes d'habitatges), d'acord amb la figura següent.



Es pretén portar connexió de fibra òptica a cadascun dels clients (FTTH). El nombre de clients potencials màxim ha sigut determinat pel departament comercial de l'empresa i s'adjunta en la taula següent:

Zona	Clients potencials
1	2
2	7
3	6
4	9
5	28
6	12
7	1
8	12
9	7

S'ha de proporcionar a cada client un servei de banda ampla consistent en 50 Mbps de baixada i 10 Mbps de pujada. A més, la potència òptica que ha de rebre cada client ha de ser l'adequada per a una xarxa GPON d'acord amb la normativa. Per al desplegament de la xarxa GPON podem utilitzar diferents tipus de filtres, les pèrdues i preu dels quals es resum a continuació.

Tipus	Cost per unitat	Pèrdues
1x4	300 €	7 dB
1x8	500 €	10 dB
1x16	750 €	13 dB
1x32	1000 €	16 dB

Es poden utilitzar tants filtres com es considere necessari, sempre que els clients reben l'ample de banda requerit i el nivell de potència adequat.

El primer filtre que rep el senyal de l'OLT pot estar situat en qualsevol de les illes d'habitatges. La distància des de l'OLT fins al grup de habitatges és de 10 Km.

El cost de connectar l'illa d'habitatges amb l'OLT no ha de pressupostar-se, però el cost de connectar filtres entre zones adjacents (horitzontal o vertical, no diagonal) és de 1.000 EUR. Les connexions dins de cada illa d'habitatges no tenen cost.

En el cas que la capacitat d'una sola fibra de la xarxa GPON no siga suficient, pot portar-se més d'una des de l'OLT fins a la zona d'habitatges sense cost addicional, però cal minimitzar el nombre de fibres utilitzades.

Cal intentar evitar que clients en una mateixa zona tinguin amplituds de banda o potències òptiques distintes.

2.1.- Ha d'elaborar-se un esquema que mostre clarament la ubicació per zones dels filtres de cada tipus, com es connecten entre ells, i a quants clients donen servei. Han d'explicar-se d'una manera clara els raonaments que han portat fins a aquesta solució.


2.2.- Cal indicar, per a cada zona, l'ample de banda que reben els clients, així com la potència òptica rebuda. En el cas que algun client reba un ample de banda o una potència òptica distinta ha de justificar-se el motiu.

2.3.- Ha de realitzar-se una taula resum que mostre el cost total i les màximes prestacions possibles (ample de banda i potència òptica rebuda) per zones.

2.4.- La solució proposada deu ser compatible amb l'estàndard GPON (ITU-T G.984.1 i ITU-T G.984.2)

2.5.- Compara el teu disseny amb la solució proposada pel professor.

- Arriba més o menys potència a cada usuari?

- 
- La potència que arriba a cada illa és la mateixa per a tots els usuaris?
 - Quina de les dues solucions et pareix més bona? Justifica-ho.

3.- Programa de simulació: OPTIWAVE

3.1.- Atén a les explicacions del professor sobre el funcionament del programa OPTIWAVE.

3.2.- Estudia l'esquemàtic de la xarxa BPON presentada i compara-la amb una xarxa GPON.

3.3.- Afegeix mesuradors de potència a l'eixida del làser, després de la fibra òptica, i a l'eixida del filtre i justifica els valors obtinguts en la simulació.

Sistemes i serveis de telecomunicació

Projecte 4.- Estudi de sistemes basats en fibra òptica utilitzant OptiPerformer



0.- Introducció

La fibra òptica és utilitzada per moltes companyies de telecomunicacions per transmetre senyals telefònics, comunicació via Internet i senyals de televisió per cable. A causa de la petita atenuació i quasi nul·la interferència, la fibra òptica té molts més avantatges que el cable de coure. Per això és utilitzada en comunicacions de llarga distància i en aplicacions d'alta demanda. No obstant això, el desenvolupament de la infraestructura dins de les ciutats era relativament difícil i els sistemes de fibra òptica eren complexos i costosos d'instal·lar i operar. A causa d'aquestes dificultats, els sistemes de comunicació de fibra òptica, al principi, van ser instal·lats principalment en aplicacions de llarga distància, on podien utilitzar la capacitat de transmissió al màxim, compensant el cost elevat. En la actualitat, el preu dels materials i dels processos d'instal·lació de les comunicacions de fibra òptica s'han reduït considerablement. De fet, el preu per al desplegament de fibra fins a la llar esdevé més rendible que el desplegament d'una xarxa basada en el coure.


Els sistemes moderns de fibra òptica generalment inclouen: transmissors òptics per convertir un senyal elèctric en un senyal òptic que s'envia per la fibra òptica; cables de fibra òptica que contenen múltiples feixos de fibres òptiques que s'instal·len a través de conductes subterranis i edificis; diversos tipus d'amplificadors i un receptor òptic per recuperar el senyal com un senyal elèctric. La informació continguda sol ser comunicació digital generada per computadores, telefonia digital i companyies de cable.

Els transmissors òptics més comunament utilitzats són dispositius semiconductors com, per exemple, díodes emissors de llum (LED) i díodes làser. La diferència entre els díodes LED i el làser, és que els LED produeixen una llum incoherent, la qual es dispersa, i el làser produeix una llum coherent, no dispersa. Per al seu ús en comunicacions òptiques, els transmissors òptics semiconductors han de ser dissenyats per a ser compactes, eficients i fiables, mentre s'opera en un rang de longitud d'ona òptima i directament modulada en altes freqüències.

Sovint, els díodes làser es modulen directament, que és la sortida de llum controlada per un corrent aplicat directament al dispositiu. Per a taxes de dades molt altes o enllaços de distància molt llarga, una font de làser pot ser d'ona contínua i la llum, modulada per un dispositiu extern com un modulador d'electro-absorció.

El component principal d'un receptor òptic és una cèl·lula fotoelèctrica, que converteix la llum en electricitat mitjançant l'efecte fotoelèctric. El fotodetector és generalment un fotodíode basat en semiconductors.

Una fibra òptica consisteix en un nucli, un revestiment i un buffer (una capa exterior de protecció). El revestiment guia la llum al llarg del nucli mitjançant el mètode de reflexió interna total. El nucli i el revestiment, que tenen un índex de refracció més baix, són generalment de vidre de sílice, encara que poden ser també de plàstic. En la connexió de dues fibres òptiques es realitza l'entroncament de fusió o entroncament mecànic, i requereix habilitats especials i la tecnologia d'interconnexió a causa de la precisió microscòpica necessària per alinear els nuclis de fibra.



Hi ha dos tipus de fibra òptica utilitzada en comunicacions: la fibra òptica multimode i monomode. La multimode té un nucli més gran (50 o 62,5 micròmetres), la qual cosa permet menys precisió, però transmissors, receptors i connectors de cost menor. No obstant això, la fibra multimode introdueix distorsió multimodal, que sovint limita l'ample de banda, i la longitud d'enllaç presenta més atenuació. El nucli d'una fibra monomode és més petit (8-10 micres) i requereix components més costosos i mètodes d'interconnexió més precisos, però permetent enllaços de major rendiment, la qual cosa augmenta la taxa de transferència i la distància.

La distància de transmissió d'un sistema de comunicació de fibra òptica ha estat limitada, tradicionalment, per l'atenuació i la distorsió de la fibra. Mitjançant l'ús de repetidors optoelectrònics, aquests problemes s'han eliminat. Aquests repetidors converteixen el senyal òptic en un senyal elèctric, i després fan servir un transmissor òptic per enviar el senyal de nou a una intensitat major que el senyal rebut. A causa de la complexitat amb la moderna divisió de longitud d'ona de multiplexació de senyals (com el fet que han de ser instal·lats cada poques desenes de quilòmetres) el cost d'aquests repetidors és elevat. De més a més, la velocitat d'aquests dispositius electrònics limita l'ample de banda que pot ser transmès per l'enllaç òptic.

Un enfocament alternatiu és usar un amplificador òptic, la qual cosa amplifica directament el senyal òptic, sense haver de convertir el senyal al domini elèctric. Aquests amplificadors òptics són molt més eficients que els optoelectrònics perquè no limiten el ample de banda que pot ser utilitzat en la fibra òptica, aprofitant-ne tot el potencial.

La multiplexació per divisió de longitud d'ona (Wavelength Division Multiplexing, WDM) és la pràctica de la multiplicació de la capacitat disponible d'una fibra òptica mitjançant l'addició de nous canals, cada canal en una nova longitud d'ona de la llum. L'ample de banda d'una fibra pot dividir-se d'aquesta manera en 160 canals per a produir una velocitat de bits combinada en el rang dels terabits per segon. Això requereix un multiplexor de divisió de longitud d'ona en l'equip de transmissió i un demultiplexor en l'equip receptor.

1.- Objectius

Aquest projecte complementa l'últim apartat explicat en la sessió de laboratori anterior. OptiSystem és un programa de disseny que permet als usuaris realitzar simulacions de sistemes basats en fibra òptica. Amb aquesta eina es poden planificar, realitzar proves de rendiment i simular enllaços òptics en la capa de transmissió de les xarxes òptiques. No obstant això, a causa de la complexitat i a les altes prestacions d'aquest programari, és relativament car, ja que per a ser utilitzat requereix una llicència comercial.

Afortunadament hi ha un altre programa amb menors prestacions, l'OptiPerformer, que no ens permet dissenyar i construir sistemes de comunicacions òptics, però ens permet visualitzar els esquemàtics realitzats amb l'OptiSystem i fer simulacions, fins i tot modificant alguns paràmetres del disseny.

En aquesta pràctica farem servir el programa OptiPerformer per analitzar uns esquemàtics ja construïts, de manera que visualitzarem el senyal elèctric modulador amb l'analitzador d'espectres i amb un oscil·loscopi, el senyal òptic amb l'analitzador d'espectres òptics, veurem els diagrames d'ulls, i calcularem el BER i el Q-Factor per a diferents parametritzacions del sistema.

2.- Introducció a OptiPerformer

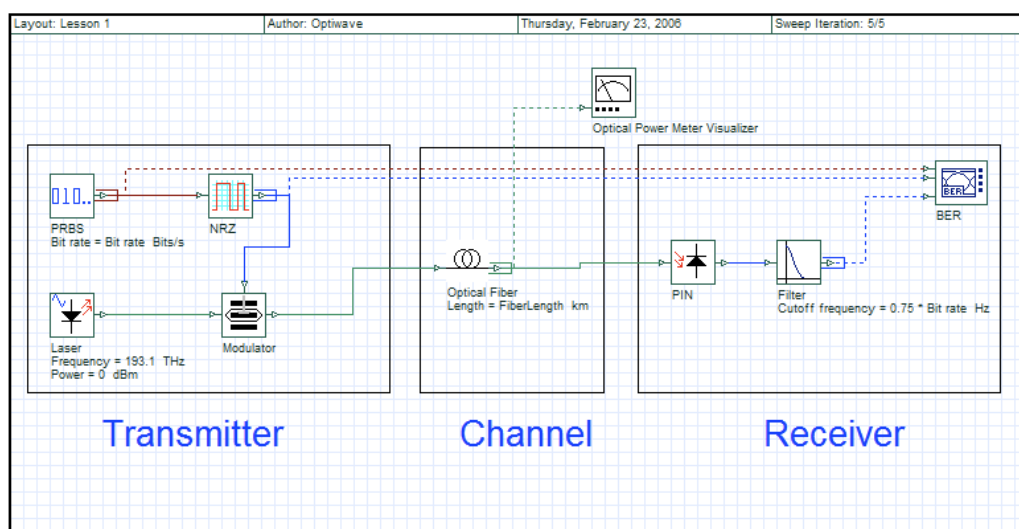
El programari de simulació OptiPerformer és un laboratori virtual per a l'anàlisi d'enllaços de fibra òptica el qual permet modificar alguns valors dels paràmetres més usats en els components de l'esquemàtic a analitzar.

Per tal d'iniciar l'aprenentatge duem a terme la primera simulació amb el programa, identificant-ne així les funcionalitats principals, observant que la interfície amb l'usuari és realment senzilla i molt intuïtiva a l'hora de realitzar els mesuraments i les anàlisis corresponents.

2.1.- Descarregueu i instal·leu OptiPerformer des del web d'OptiWave. Inicieu OptiPerformer

2.2.- Executeu l'esquemàtic «Introuccio_OptiPerformer.osp»

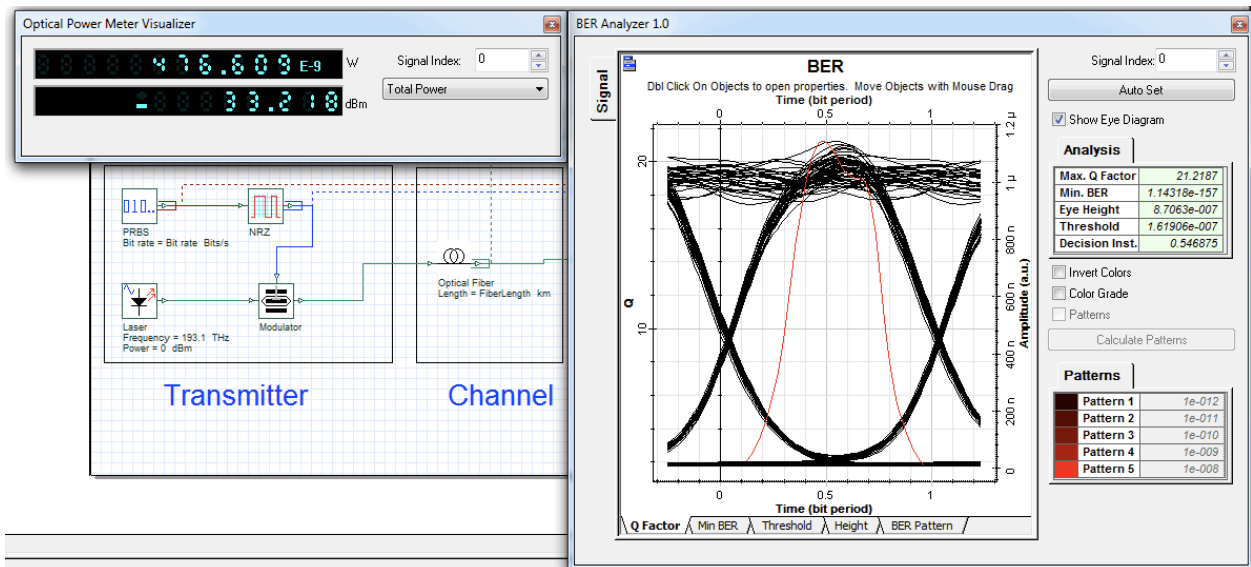
En aquest esquemàtic s'exemplifiquen les parts bàsiques d'un sistema de transmissió de dades a través de fibra òptica, incloent-hi, a més, els dispositius necessaris perquè aquest estiga en funcionament i també els analitzadors usats per als mesuraments que es fan a la fibra.



Com s'observa en la figura anterior, el sistema es compon per tres etapes: un transmissor conformat per un modulador de senyals, un làser, i la ràfega d'informació que serà enviada a través de la fibra; en segona instància, un canal o mitjà de transmissió (fibra òptica) i finalment el receptor format per un díode pin i un filtre passabaix.

2.3.- Anàlisi dels resultats

Prenent els paràmetres per defecte, iniciu la simulació. A continuació, feu clic en el bloc «Optical Power Meter Visualizer» i en el «BER Analyzer», i observeu com s'obtenen els resultats següents:



Podem realitzar 5 simulacions variant la longitud de la fibra òptica, partint dels 50 km i fins als 150 km. Una vegada implementades veiem, com és evident, que per al primer mesurament (50 km) el Factor de Qualitat (Q Factor) es manté relativament bé o en condicions acceptables per a la transmissió de la informació, i observem la proximitat de la corba al valor mitjà de 0,5 i amb un Q superior a 100.

Si seguim avançant progressivament en les simulacions ens adonem que a mesura que augmenta la longitud de la fibra es redueix el factor de qualitat i que les mesures de potència reflecteixen encara més atenuació. A més, el diagrama d'ulls es va «tancant», atès que el senyal arriba al detector cada vegada amb menys potència. És totalment lògic lloc que a major distància, major atenuació en la fibra.

3.- Càlcul de la longitud de la fibra limitada per l'atenuació

L'objectiu d'aquest apartat és, d'una banda, calcular la longitud limitada per l'atenuació de la fibra basant-se en l'equació de balanç de potència i de l'altra, simular el sistema resultant i verificar que satisfà el que necessitem per a la transmissió correcta de les dades.

L'equació de balanç de potència estableix que la potència en un sistema de transmissió ha de ser igual a la suma de totes les pèrdues de potència més el marge de potència. El balanç de potència és la diferència entre la potència de sortida del transmissor i la sensibilitat del receptor en dBm. Així, l'equació és:

$$P_T - S_R = AL_F + L_C + L_A + M$$

on:

PT = potència d'eixida del transmissor (dBm)
 SR = sensibilitat del receptor (dBm)

A = atenuació de la fibra (dB/km)
LF = longitud de la fibra (km)
LC = pèrdues d'acoblament (dB)
LA = pèrdues addicionals conegudes (dB)
M = marge de potència (dB)

En aquest exercici, tots els paràmetres de l'equació anterior estan prefixats en l'esquemàtic que se us dóna «Atenuació-XXGB», excepte la longitud de la fibra, la qual ha de ser determinada. La SR es defineix aquí com la mínima potència requerida amb la finalitat d'aconseguir una BER de 10^{-9} , que correspon a un factor Q de 6. La constant d'atenuació de la fibra depèn de la longitud d'ona λ d'operació.

3.1.- Usant l'anterior equació de balanç de potència i els paràmetres de la llista que hi ha tot seguit, determineu teòricament la longitud limitada per l'atenuació de la fibra.

Transmitter output power	0 dBm
Operating wavelength	1550 nm
Bit rate	2.5 Gb/s
Receiver sensitivity	-30 dBm
Fiber attenuation	0.19 dB/km
Number of connectors	2
Loss per connector	0.5 dB
Additional known losses	0 dB
Power margin	6 dB

3.2.- Llanceu la simulació. El sistema ha estat creat en dues versions; una per 2.5 Gbps i una altra per 10 Gbps.

3.2.1.- Treballant amb la versió 2.5 Gbps, ajusteu els paràmetres d'acord amb la taula anterior. Configureu la SR en -30 dBm per aquests 2.5 Gbps, i col·loqueu en el paràmetre «soroll tèrmic» (*thermal noise*), en el receptor, un valor de 8.971-24 W/Hz. Utilitzeu la longitud de fibra calculada anteriorment. Heu d'incloure les pèrdues per connectors i el marge de potència a l'atenuador.

Llanceu la simulació i observeu:

- **Nivells de potència òptica (dBm)**
 - En tots dos extrems de la fibra
 - A l'entrada del receptor

- **Anàlisi de la BER**
 - BER
 - Q factor
 - Diagrama d'ulls

Per què el primer Optical Power Meter (OPM) mesura -3.2 dBm si el làser proporciona una potència de 0 dBm? Fixeu la potència correcta per tenir 0 dBm a la sortida del modulador i repetiu la simulació.

Confirmeu que la potència en el receptor coincideix amb el llindar de sensibilitat i que el factor Q aconsegueix el valor de 6 com s'havia previst.

Ajusteu la longitud de la fibra al 125 % del valor calculat en els càlculs teòrics i repetiu la simulació tot guardant les noves dades obtingudes.

Compareu els resultats de les simulacions i els resultats teòrics. Feu una taula resum que incloga:

- Longitud de la fibra en km
- Potència de recepció en dBm
- Factor Q
- BER

3.2.2.- Treballant ara amb la versió 10 Gbps, obteniu les mateixes dades que en l'apartat anterior.

Què succeeix al diagrama d'ulls i al factor Q? Per què succeeix això?

4.- Sistema WDM de 8 canals a 10 Gbps.

En aquest apartat analitzarem el comportament d'un sistema WDM de 8 canals. Com ja hem vist, és possible injectar senyals de diferents longituds d'ona en la fibra per tal d'augmentar-ne la capacitat.

4.1.- En primer lloc, obriu l'esquemàtic «Project 8x10 Gbs WDM.osp» i comproveu que coneixeu tots els components que s'hi mostren. Responeu a les qüestions:

4.1.1.- Què és un EDFA? Busca informació sobre aquest dispositiu. En quin domini treballa? Per què s'empra aquest dispositiu en lloc d'un amplificador elèctric convencional? Què caldria fer si haguérem de realitzar l'amplificació en el domini elèctric?


4.1.2.- Què és un De/Multiplexor (MUX) WDM? Per a què s'utilitza? És similar a un filtre separador òptic? En què es diferencia?

4.1.3.- Quins efectes hi ha en el sistema que degraden la SNR del senyal?

4.2.- A continuació, realitzeu la simulació amb els paràmetres que proporciona l'esquemàtic per defecte i responeu a les qüestions:

4.2.1.- Comprova en el primer Optical Spectrum Analyzer (OSA) el nombre de longituds d'ona emprades i la seva potència màxima. Per què no coincideix la potència màxima amb els -20 dBm que posa en l'emissor?

4.2.2.- Comprova en l'OSA_1 com ha augmentat la potència del senyal (per a tots els canals). Coincideix amb el guany introduït pel EDFA?



4.2.3.- Comprova en l'OSA_2 com canvia l'espectre del senyal en travessar la fibra òptica. Podries estimar les pèrdues de la fibra (dB/Km) a partir de la nova potència del senyal? Concorda amb el que hem vist en teoria? Per què creus que apareixen nous senyals al costat de l'espectre principal?

4.2.4.- Fixa't ara en el factor Q (inversament proporcional al BER) d'un dels canals i observa que ocorre quan augmenta la figura de soroll de l'amplificador ($F=10$). I quan augmenta la longitud de la fibra (70 Km)? I quan augmenta el guany del EDFA (30 dB)? Et semblen raonables els resultats?

Sistemes i serveis de telecomunicació

Projecte 5.- Comunicacions sense fils



0.- Introducció

La propagació multicamí, en telecomunicacions sense fils, és el fenomen que es dona quan els senyals de ràdio arriben a les antenes receptores per dos camins o més i en diferents temps. Aquest fenomen pot causar problemes en la recepció del senyal, a causa de la interacció entre els senyals rebuts. Aquesta desviació es produeix normalment pel mitjà de transmissió del senyal, el qual defineix el camí que seguirà l'ona. Per aquest motiu el senyal obtingut en recepció difereix de l'original i causa efectes que s'han de compensar.

Hi ha diferents fenòmens naturals que causen aquest problema. Majoritàriament es deu al camí que segueixen les ones en propagar-se, interaccionant amb l'atmosfera terrestre. Es produeix reflexió i refracció de les ones en la ionosfera, la qual cosa ajuda a la propagació d'aquestes a grans distàncies a la Terra, a causa de les partícules d'ions presents en aquesta capa. A més, també pot produir-se una desviació del camí per la reflexió en l'aigua, o en imperfeccions en la capa terrestre com ara valls o muntanyes. Fins i tot les construccions humanes poden intervenir en el fenomen de la propagació multicamí.

Per tant, la propagació del senyal per diferents camins fa que obtinguem en recepció un senyal format per la interacció dels diferents senyals que han viatjat per camins diferents. Això pot produir diferents tipus de fenòmens entre diversos senyals. Els efectes més típics són les interferències constructives i destructives. En la interferència constructiva, dues ones en fase de freqüència semblant s'ajunten en un punt i això dona lloc a una ona de major amplitud. Per contra, si dues ones de freqüència semblant, però en oposició de fase, concorren en un punt, l'ona resultant és de menor amplitud i pot arribar fins i tot a anul·lar-se. És la anomenada interferència destructiva. En qualsevol cas sempre obtindrem en recepció un desfasament dels senyals a causa del camí diferent recorregut en la propagació.

Aquesta interferència és nociva per a la qualitat del sistema de transmissió, i l'efecte depèn de quin tipus de comunicació s'està duent a terme:

Televisió: El problema més comú és que aparega la denominada imatge fantasma. Apareix en la pantalla una imatge superposada a l'original, desplaçada i de menor intensitat, corresponent a una ona que ha arribat més tard a la recepció a causa d'una reflexió en algun punt. Apreciem un efecte de la imatge borrosa. És un problema típic també en la transmissió de fax. També es produeix l'efecte de jitter, causat per la desviació temporal dels senyals rebuts. Aquests problemes apareixen en les transmissions de televisió analògica. En les transmissions de la televisió digital es manifesta com un pixelat de la imatge.

Comunicacions digitals: La propagació multicamí pot produir en les comunicacions digitals una interferència intersimbòlica. Pot haver-hi una superposició entre els símbols en rebre el senyal digital. Per corregir-ho es du a terme l'ús d'equalitzadors, **multiplexació OFDM**, o *rake receivers*, un conjunt subreceptor de ràdio, que analitzant el retard de cada ona i la correlació entre aquestes pot recuperar els símbols originals.

Radar: En aplicacions de radar, aquesta desviació temporal pot fer que apareguen objectes fantasma en el receptor. Aquests objectes arriben a ser molestos ja que es comporten com a objectius normals sobre el mapa i és costós trobar l'objecte original. Sovint es fa ús de mapes d'altura per diferenciar l'origen del senyal i eliminar els objectes provinents d'una certa altitud.

1.- Objectius

En aquesta pràctica es pretén aconseguir que l'alumne adquireixca els fonaments necessaris per analitzar els sistemes de comunicació sense fils basats en la modulació OFDM. Així mateix, s'introduiran efectes propis de les comunicacions sense fils com la propagació multicamí.

Per a aconseguir-ho, en primer lloc es proposa cercar informació per tal de comprendre en què consisteix la modulació OFDM i per què presenta avantatges especialment en les transmissions sense fils. A continuació, s'analitza un script de Matlab que simula l'efecte de la propagació multicamí.


2.- Recerca d'informació al voltant de la tècnica de modulació OFDM.

La tècnica OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) és un mètode de transmissió multiportadora que ha estat reconegut recentment per la gran utilitat que té en comunicacions digitals sense fils bidireccionals d'alta velocitat. La seua història es remunta a la dècada dels 60, però fins fa poc no va tenir popularitat a causa de la falta de circuits integrats econòmics que foren capaços de realitzar les tasques que demanda aquesta tècnica.

OFDM «comprimeix» múltiples portadores modulades molt a prop les unes de les altres, estalviant així ample de banda de transmissió en comparació de la tècnica mare, la FDM (Frequency Division Multiplexing). Això s'aconsegueix perquè els senyals transmesos són ortogonals, la qual cosa fa que no puguin interferir entre ells. Actualment aquest mètode és usat en diversos sistemes de comunicació sense fils com ara WADSL (Wireless Asymmetric Digital Subscriber Line) i en els estàndards IEEE 802.11a/g (Wi-Fi) i *IEEE 802.16 (WiMAX). També és usat en transmissions massives (*broadcasting*) digitals d'àudio i vídeo per LTE.



2.1.- L'alumne ha de cercar informació en el web sobre aquesta tècnica de modulació, de manera que en finalitzar la recerca siga capaç de respondre a les preguntes següents.

- 
- 2.1.1.- Quines tecnologies de comunicacions utilitzen actualment modulacions OFDM?
- 2.1.2.- Per què creus que és tan utilitzada aquesta modulació per a les comunicacions sense fils?
- 2.1.3.- Què és la propagació multicamí?
- 2.1.4.- Per què la modulació FDM no és espectralment eficient?
- 2.1.5.- Què significa el terme *ortogonal* en una modulació OFDM? Com poden ser ortogonals unes freqüències? Per què aquesta ortogonalitat millora l'aprofitament de l'espectre?
- 2.1.6.- La modulació OFDM té una major eficiència espectral que la resta. En quines unitats es mesura l'eficiència espectral?
- 2.1.7.- Per què la modulació OFDM és més robusta enfront dels efectes nocius de la propagació multicamí?
- 2.1.8.- Quins són els desavantatges de la modulació OFDM?

2.2.- Fàding de Rayleigh

- 2.2.1.- Esbrina què és el fàding de Rayleigh i en quines situacions modela adequadament un canal sense fil de comunicacions.
- 2.2.2.- Què és l'efecte Doppler? Com afecta a la propagació sense fil?
- 2.3.3.- Analitza el script per Matlab «Rayleigh_script.m».
- Fixa't com s'utilitza el «Communications Blockset» del Matlab.
 - Com es modela el fàding de Rayleigh? Quants senyals diferents s'utilitzen en el script? Quins en són els retards? Quines en són les potències relatives?
 - Què succeeix en la constel·lació si augmentes el retard relatiu un ordre de magnitud? I si el redueixes? És raonable?
 - I si modifiques la potència relativa entre els senyals?
 - A què creus que es deu el petit desplaçament de fase que apareix quan la potència dels senyals secundaris és molt petita?
 - Modifica la modulació per a utilitzar una 16-QAM rectangular.

Sistemes i serveis de telecomunicació

Projecte 6.- Detecció i correcció d'errors en la transmissió

0.- Introducció

La transmissió digital de informació produeix contínuament un moviment de dades per canals que introdueixen un soroll extern que produeix errors en la transmissió. Per tant, hem d'assegurar-nos que si aquest moviment causa errors, han de poder ser detectats. La manera per detectar i corregir errors és incloure en els blocs de dades transmeses bits addicionals denominats codis de redundància.

S'han desenvolupat dues estratègies bàsiques per manejar els errors:

- Incloure suficient informació redundant en cada bloc de dades perquè es puguin detectar i corregir els bits erronis. S'utilitzen **codis de correcció d'errors**.
- Incloure només la informació redundant necessària en cada bloc de dades per detectar els errors. En aquest cas el nombre de bits de redundància és menor. S'utilitzen **codis de detecció d'errors**.

Si considerem un bloc de dades format per m bits de dades i r de redundància, la longitud final del bloc serà n , on $n = m + r$.

Cal destacar que la contrapartida als codis de redundància és que estem malgastant part de la taxa de bits dels nostres sistemes en la transmissió de bits que no contenen realment informació, per la qual cosa estem desaprofitant la capacitat del sistema.

Un dels codis de redundància més utilitzats és el codi Reed-Solomon. Aquest codi és un codi cíclic no binari i constitueix una subclasse dels codis BCH. Els codis cíclics són una subclasse dels codis de bloc estàndard de detecció i correcció d'errors que protegeixen la informació contra errors en les dades transmeses sobre un canal de comunicacions. Aquest tipus de codi pertany a la categoria FEC (Forward Error Correction), és a dir, corregeix les dades alterades en el receptor i per a fer-ho utilitza uns bits addicionals que permeten aquesta recuperació a posteriori.

El codi va ser inventat per Irving S. Reed i Gustave Solomon (d'aquí el nom) l'any 1960. Aquest codi es troba actualment aplicat en àrees com els CD, telefonia mòbil i sondes espacials (la sonda Galileu a Júpiter en 1989, la sonda Magallanes a Venus o la sonda Ulisses al Sol, per citar-ne uns quants exemples). També cal destacar l'aplicació del codi Reed-Solomon en les comunicacions per satèl·lit Digital Video Broadcasting (DVB), en la transmissió digital de televisió ISDB-T, en la ràdio digital DAB+, així com en els sistemes xDSL de comunicació per cable.

Aquest codi es forma sobre la base de grups de bits que es denominen símbols. El codi Reed-Solomon treballa amb els símbols i no amb els bits individuals. Un símbol és una seqüència de m bits individuals que apareixen en sèrie. Un símbol és erroni quan almenys un bit del símbol té error.

El codi Reed-Solomon té les característiques següents:

- Cada símbol està constituït per m bits consecutius agrupats.

- Cada paraula-codi consta de k símbols d'informació (en lloc de bits), i r símbols de paritat.
- La longitud de la paraula-codi és: $n=k + r$ símbols, (longitud = n expressada en nombre de bits).
- S'estableix la relació: $n = 2^m - 1$ entre la longitud de la paraula codi (n) i el nombre de símbols (2^m).
- És capaç de corregir errors en t símbols, on $t=r/2$.

1.- Objectius

En aquesta pràctica es pretén aconseguir que l'alumne adquireixi els fonaments necessaris sobre la detecció i la correcció d'errors utilitzant estratègies de codificació de blocs.

Per a aconseguir-ho, en primer lloc es proposa estudiar el material proporcionat pel professor que conté la base teòrica i respondre a una sèrie de preguntes. A continuació, s'analitzen uns scripts de Matlab per comprendre millor el funcionament d'aquestes tècniques.

2.- Codificació de blocs

Estudia el material proporcionat pel professor que trobaràs a l'Aula Virtual sobre les diferents estratègies per a la detecció i correcció d'errors, fins al punt en què sigues capaç de respondre les qüestions següents:

Què és la codificació de cançal?

Què és la paraula *codi* (*codeword*)? Conté informació nova?

Què és la taxa de codi?

Quina és major: la «Gross bit rate» o la «Net bit rate»?

Què és la distància Hamming entre dues paraules codi?

Si la distància Hamming mínima és $d = 5$, Quants errors es poden detectar? Quants es poden corregir?

Què són els codis de repetició? Són diferents dels codis de bloc?

Què són els codis de paritat de bit?

Què són els «syndrome bits»?

Amb un codi (8,4,3), quants errors podem detectar? I corregir? Quina és la taxa de codi?

Repeteix la qüestió anterior però per a un codi (9,4,4).

En què consisteix la tècnica de l'entrellaçament? Per a què s'utilitza?

Què és l'entramat?

Què és el farciment de bits?

3.- Exemples amb Matlab



3.1.- Estudia l'esquemàtic BER_RS.m i comprèn-ne el funcionament.

Què succeeix al BER si canviem l'índex de modulació? És raonable?

Què succeeix al BER si augmentem l'EbN0? És raonable?

3.2.- Estudia ara l'esquemàtic BERvsEbN0.m i comprèn-ne el funcionament.

Quina és la diferència principal amb l'exemple anterior?

Què representa la gràfica? És raonable?

Per què com més gran és l'EbN0 més gran és la millora en el BER que proporciona l'algoritme RS?

Com es modifica la gràfica si fem $N = 9$? És raonable? Quin perjudici tindria el sistema com a contrapartida en aquest cas?