Conceptes bàsics de xarxes de comunicacions

Jordi Íñigo Griera
Enric Peig Olivé

P06/19026/01888

UOC
www.uoc.edu

Índex

Introducció 5

Objectius 6

1. Breu història de les comunicacions 7
1.1. El telèfon 7
1.2. Apareixen els primers ordinadors 12
1.2.1. Els mòdems 12
1.2.2. Les xarxes de dades 13
1.2.3. Les xarxes d'àrea local 14
1.3. Arquitectures de protocols 15
1.4. La digitalització de la xarxa telefònica 16
1.4.1. La xarxa digital de serveis integrats 18
1.5. La banda ampla 18
1.6. La telefonia mòbil 19

2. Les xarxes de gran abast 20
2.1. Commutació de circuits 20
2.1.1. Commutació de missatges 22
2.1.2. Commutació de paquets 24
2.2. Datagrames i circuits virtuals 26
2.3. Comparació entre commutació de circuits i commutació de paquets 27
2.4. Encaminament 29
2.4.1. Encaminament no adaptatiu i Encaminament estàtic 30
2.4.2. Encaminament adaptatiu 32
2.4.3. Adreçament jeràrquic 34

3. Arquitectures de protocols: el model OSI 37
3.1. Definició 37
3.2. Els protocols 38
3.3. Els serveis 39
3.4. Els set nivells del model OSI 40
3.4.1. Nivell físic 40
3.4.2. Nivell d'enllaç 40
3.4.3. Nivell de xarxa 41
3.4.4. Nivell de transport 42
3.4.5. Nivells de sessió, presentació i aplicació 43

Resum 44

Activitats 45

Bibliografia 46

Introducció

Les xarxes d'ordinadors actuals són una amalgama de dispositius, tècniques i sistemes de comunicació que han anat apareixent des del final del segle XIX o, el que és el mateix, des de la invenció del telèfon. El telèfon es va desenvolupar exclusivament per a transmetre veu, que encara avui s'utilitza, en molts casos, per a connectar ordinadors entre si. De llavors ençà han aparegut les xarxes locals, les connexions de dades a llarga distància amb enllaços transoceànics o satèl·lits, Internet, la telefonia mòbil, etc. Són un munt de tecnologies que configuren les xarxes d'ordinadors que fem servir com a usuaris i que ens proposem estudiar en les assignatures d'aquest camp de coneixement.

Dedicarem aquest mòdul a introduir les idees i els conceptes bàsics de les xarxes d'ordinadors que tractarem exhaustivament a partir d'ara.

Per a tenir una bona perspectiva d'aquestes tecnologies i entendre perquè s'han creat, és bo fer un cop d'ull a l'evolució històrica de les telecomunicacions, que a partir de mitjan segle XX va íntimament lligada a la història de la informàtica. Comencem el mòdul amb aquest breu repàs històric que ens ha de permetre de contextualitzar aquestes tecnologies.

Després introduirem breument el concepte de xarxa de paquets, en contraposició a les xarxes de commutació de circuits, que ens servirà de punt de partida tant per a les xarxes d'àrea local com per a la xarxa Internet, que veurem en els altres mòduls de l'assignatura.

Finalment, es presentarà un concepte fonamental en sistemes distribuïts: les arquitectures de protocols en general i el model de referència OSI en particular. Tot i que aquest model no gaudeix d'una gran popularitat a hores d'ara, les seves virtuts pedagògiques estan més que demostrades. A partir d'aquest model és fàcil estudiar i entendre altres arquitectures, com l'arquitectura Internet al voltant de la qual gira tota l'assignatura.

Objectius

Amb els materials d'aquest mòdul didàctic es pretén que l'estudiant assoleixi els objectius següents:

1. Conèixer les diferents tecnologies que s'utilitzen actualment per a transmetre informació a distància, i comprendre quan i perquè van aparèixer.

2. Conèixer els principis bàsics de funcionament de les xarxes de commutació de paquets i els objectius que es persegueixen amb aquestes.

3. Conèixer el model de referència OSI, les seves utilitats i les seves limitacions, i ser capaç d'entendre la motivació de cada un dels seus nivells.

1. Breu història de les comunicacions

1.1. El telèfon

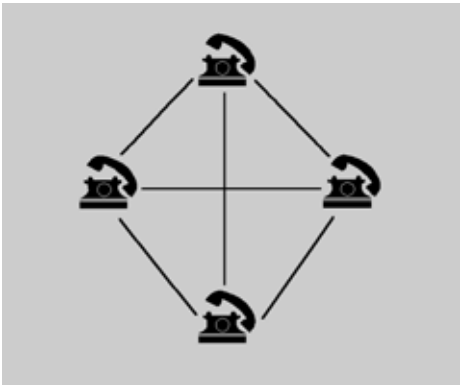
L'any 1878, Alexander Graham Bell va mostrar la seva "màquina elèctrica parlant" i com podia mantenir una conversa a distància entre dos d'aquests aparells units per un fil elèctric.

El telèfon no va ser el primer sistema de telecomunicació. Molt abans s'havien fet servir sistemes òptics, que, amb la llum del sol i jocs de miralls, permetien de comunicar-se a distàncies considerables: amb un obturador que s'obria i es tancava a voluntat amb diferents períodes, es podien compondre missatges. Més endavant, a mitjan segle XIX, es va inventar el telègraf. El mateix concepte, però amb un circuit elèctric, un polsador i un timbre.

Tots aquests sistemes requerien conèixer un codi per a interpretar el missatge. El telèfon, en canvi, no requereix conèixer cap codi per a utilitzar-lo: s'escolta exactament el mateix que si es tingués l'interlocutor al costat. Aquesta ha estat la raó principal del seu èxit i que els altres dos sistemes gairebé no s'utilitzin.

Al principi, hi havia molt pocs telèfons i, per a fer-los servir, la gent, pel seu compte, cablava un aparell amb un altre: si algú tenia un aparell a casa i un altre a la feina, els connectava directament. A mesura que el nombre de telèfons instal·lats creixia, l'interès per a mantenir múltiples comunicacions també ho feia: calia pensar en la manera d'interconnectar-los. Naixia la idea de xarxa de comunicacions.

Una possible manera, bastant immediata, d'interconnectar tots els aparells seria la que es pot veure a la figura següent:



Tots amb tots

És evident que aquest model de connexió, "tots amb tots", és completament inviable: per a cada aparell nou que s'incorpora a la xarxa, cal un munt de connexions noves. Per a fer-nos una idea, una xarxa "tots amb tots" de cinquanta telèfons necessita 1.225 línies de connexió i, a cada telèfon, un dispositiu que permeti quaranta-nou connexions.

Per a solucionar aquest problema, van aparèixer companyies que oferien un servei de **commutació**: feien arribar un cable fins a cada telèfon i connectaven els cables dels telèfons que volien establir una comunicació. Així, cada aparell tenia una sola connexió i no calia fer-hi cap variació per a incorporar nous aparells a la xarxa.

Central de commutació

D'aquí provenen termes avui tan comuns com ***abonat*** (l'usuari que s'abona a una central), ***bucle d'abonat*** (el cable que uneix l'abonat amb la central) *o* ***central de commutació***.

Els primers sistemes de commutació no eren dispositius molt sofisticats: eren persones, normalment dones. Quan algú volia fer una trucada, despenjava i demanava a l'operadora que el connectés amb qui volia parlar. Un cop acabada la comunicació, l'operadora desconnectava els cables i, així, les línies quedaven preparades per a rebre altres trucades.

Les operadores humanes es van substituir progressivament per enginys electromecànics: les **centraletes**. Es va incorporar un disc amb números als telèfons per a "marcar" el número del destinatari de la trucada. La centraleta descodificava aquest número per a saber entre quins dos cables calia establir la comunicació.

Aquest servei de commutació va començar en l'àmbit local: un poble, un barri, una ciutat. El pas següent va ser oferir connexions a llarga distància, connectant centrals locals entre si directament, o mitjançant **centrals de trànsit**.

Comunicació entre dues centrals de commutació

Entre les dues centrals locals s'estableix un enllaç amb diferents cables independents, de manera que els abonats d'una d'aquestes poden, a més de connectar entre ells, connectar amb els abonats de l'altra: s'escull un cable dels que formen l'enllaç, es connecta amb l'abonat local i es demana a l'altra central que connecti l'enllaç amb l'abonat destinació, si no està ocupat amb una altra trucada.

La connexió entre les dues centrals comporta un primer escull important: cal decidir amb quantes línies diferents es durà a terme.

Suposem que la central A de la figura anterior dóna servei a cent abonats i la B, a dos-cents cinquanta. Sembla que, si es vol donar el millor servei possible, calen cent línies perquè tots els abonats de la central A puguin parlar de manera simultània amb altres tants abonats de la central B.

No obstant això, la probabilitat que tots els abonats d'una central facin una trucada al mateix moment és molt baixa, perquè les trucades telefòniques són, en general, curtes i esporàdiques. Per tant, és completament innecessari que la connexió entre les dues centrals prevegi totes les trucades possibles: aquesta situació no es donarà mai i té un cost exagerat.

Uns models matemàtics bastant complexos permeten calcular el nombre concret d'enllaços que calen a partir de l'estadística de les trucades que serveixen les centrals (la freqüència d'aparició i la seva durada).

El trànsit telefònic

A.K. Erlang, enginyer danès del principi del segle XX, va establir els models matemàtics que s'utilitzen per a mesurar el trànsit telefònic.

Se'n pot trobar molta informació a l'adreça següent:

http://www.erlang.com

Suposem que en l'exemple anterior aquests models ens donen vint-i-cinc enllaços. Si en un moment donat hi ha vint-i-cinc trucades en curs entre A i B i n'arriba una vint-i-sisena, no tindrà cap camí disponible i, per tant, no es podrà establir. Aquesta situació s'anomena ***bloqueig***: l'abonat a qui es vol trucar no està ocupat, però no es pot trobar un camí lliure per la xarxa per a establir la comunicació.

D'aquesta situació, se'n desprenen dues idees fonamentals respecte de la xarxa telefònica:

- La commutació de circuits requereix passar per tres fases per a cada comunicació:

– **Establiment de trucada.** Quan se sol·licita iniciar una conversa, cal esbrinar si el destinatari està disponible i, en cas afirmatiu, cal buscar un camí lliure a la xarxa, que inclou commutadors dins de les centrals i enllaços entre aquestes.

– **Comunicació.** Un cop establert el circuit, els interlocutors s'intercanvien informació.

– **Alliberament de recursos.** Acabada la comunicació, s'alliberen els recursos emprats (enllaços entre centrals i commutadors dins les centrals).

- El fet que els recursos estiguin ocupats en exclusiva mentre dura la comunicació fa que les companyies que ofereixen el servei cobrin segons la duració de la trucada: com més temps teniu els recursos ocupats, més pagueu. D'aquesta manera, l'usuari s'afanya a acabar la comunicació i deixar els enllaços lliures, de manera que disminueix la probabilitat de bloqueig.

La xarxa telefònica és una xarxa de commutació de circuits. Per a fer una comunicació, s'ha d'establir un circuit entre els dos extrems mitjançant la xarxa. Mentre dura la comunicació, s'ocupen uns recursos en exclusiva, encara que no hi hagi intercanvi d'informació. Les companyies cobren l'ús dels recursos per temps d'ocupació.

Aviat el sistema telefònic va esdevenir una qüestió nacional. Els estats desenvolupaven les seves xarxes segons els seus criteris i gustos. Es va crear un organisme, el CCITT (Comitè Consultiu Internacional de Telegrafia i Telefonia, Comité Consultatif International Télégraphique et Téléphonique), per a harmonitzar els sistemes nacionals i permetre, amb centrals de trànsit internacionals, les comunicacions entre països.

El CCITT o ITU-T

El CCITT és un organisme internacional patrocinat per les operadores de telefonia, dedicat a tasques de normalització en l'àmbit de les telecomunicacions. L'1 de març de 1993 va passar a dir-se ITU-T (International Telecommunication Union Standardisation Sector).

Hem comentat que entre les centrals hi ha una sèrie de línies que permeten la connexió entre abonats de diferents centrals. Al principi era realment així: si es decidia que entre dues centrals calia tenir cinquanta enllaços, es posaven cinquanta cables entre l'una i l'altra. Però, amb el progressiu augment d'enllaços necessaris, aquest sistema aviat va ser totalment inviable i es va haver de recórrer a una tècnica ja coneguda en radiodifusió: la **multiplexació***.

*** *Multiplexar* vol dir fer passar diferents comunicacions independents pel mateix medi de transmissió.**

La tècnica de multiplexació que es va aplicar a la telefonia va ser la **multiplexació en freqüència**: es modulen els diferents canals d'entrada a diferents freqüències portadores, de manera que puguin viatjar pel mateix medi sense interferir-se. A la recepció s'apliquen filtres que permeten de separar els diferents canals multiplexats.

Fem el mateix en escoltar la ràdio o en veure la televisió. Fins a la nostra antena arriben tots els canals emesos; amb el dial i el selector de canals, respectivament, seleccionem el canal (la gamma de freqüències) corresponent a l'emissora que volem rebre. És a dir, el dial o el selector de canals de la televisió són els filtres que separen, a la recepció, els diferents canals multiplexats.

El nombre de canals diferents que poden viatjar per un medi multiplexat depèn de l'amplada de banda del senyal i de la capacitat del medi.

Pel que fa a la capacitat del medi, no en té la mateixa un parell de fils que un cable coaxial o que una fibra òptica.

Pel que fa a l'amplada de banda, en el cas de la veu, hauria de ser de 19.980 Hz (que és una amplada de banda considerable) perquè l'oïda humana és capaç de distigir freqüències entre els 20 Hz i els 20.000 Hz. No obstant, arran d'estudis que es van fer sobre les característiques de la veu humana, es va arribar a la conclusió que amb molt menys n'hi havia prou, perquè la intel·ligibilitat de la veu es concentra en una banda bastant estreta, entre els 300 Hz i els 3.400 Hz.

A partir d'aquesta conclusió, es va prendre una decisió que, a la llarga, ha condicionat molt l'ús de la xarxa telefònica: fer el canal de veu de 4 kHz (entre 300 Hz i 3.400 Hz, més unes bandes laterals de guarda).

Això explica perquè se sent tan malament la música pel telèfon: no hi ha ni greus ni aguts, només hi ha les freqüències del mig.

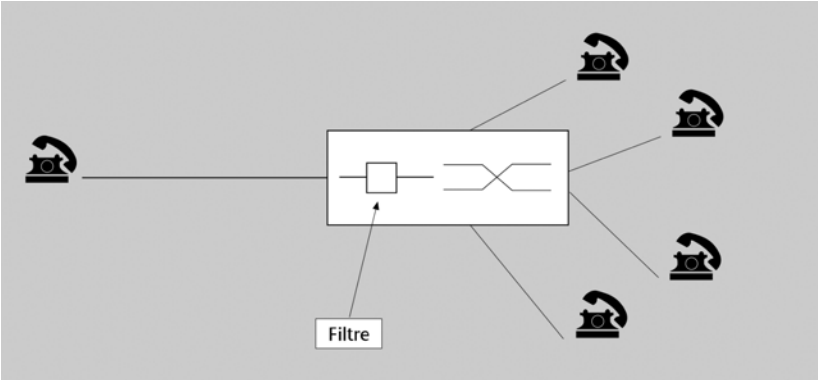
A partir d'aquí, es van estandarditzar els diferents nivells de multiplexació. El nivell bàsic és l'agrupació de diferents canals de 4 kHz, el següent és una agrupació de multiplexats bàsics, etc.

Jerarquia estàndard

La jerarquia que va proposar la companyia americana AT&T és la següent:

Nom	Rang	Amplada de banda	Canals de veu
Group	60-108 kHz	48 kHz	12
Supergroup	312-552 kHz	240 kHz	60
Mastergroup	564-3.084 kHz	2,52 MHz	600
Jumbogroup	0,5-17,5 MHz	17 MHz	3.600

A l'entrada de la central local hi ha un filtre que elimina qualsevol freqüència per sobre dels 4 kHz. El senyal de sortida d'aquest filtre és el que es multiplexa, commuta i porta fins al destinatari.



Amb tot això, ja podem dibuixar un panorama complet de la xarxa telefònica, tal com era fins als anys setanta:

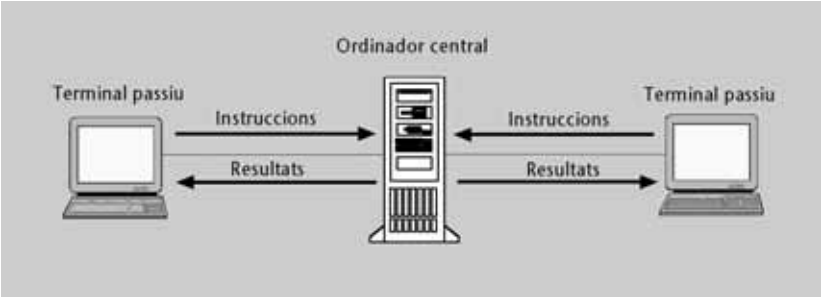
La xarxa telefònica és analògica, ubiqua, treballa amb la tècnica de commutació de circuits, amb tarifació per temps d'ocupació, amb enllaços multiplexats en freqüència i amb canals limitats a 4 kHz.

1.2. Apareixen els primers ordinadors

La dècada dels seixanta va veure l'aparició dels primers ordinadors comercials. Eren grans, cars i poc potents*. Només organismes oficials, grans empreses o universitats els podien comprar, i el que és més normal és que només en compressin un (o alguns, però no un per a cada usuari, com avui estem acostumats a veure). Per això, aquests ordinadors portaven sistemes operatius multitasca i multiusuari, perquè diferents usuaris, fent diferents feines, els poguessin utilitzar simultàniament. L'accés a aquests ordinadors es feia mitjançant terminals sense cap capacitat de procés, passius**:

*** Evidentment, comparats amb els que avui estem acostumats a veure. Per a l'època, eren unes màquines fantàstiques.**

**** En anglès *dumb terminal* ('terminal mut'). Col·loquialment d'aquests terminals en diem *terminals tontos*.**



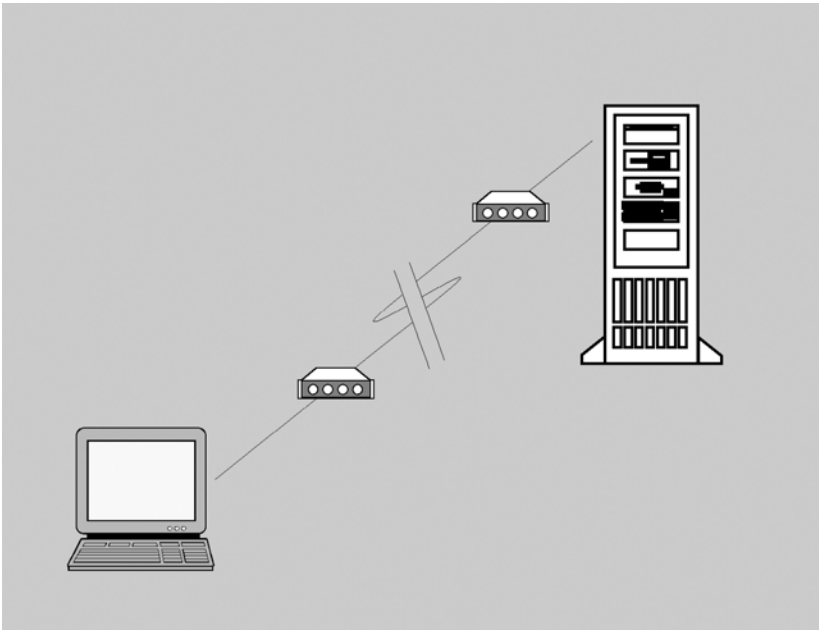
1.2.1. Els mòdems

No va trigar gaire a aparèixer la necessitat de poder allunyar els terminals de la unitat central per a connectar-se, per exemple, des de casa o des d'una delegació a l'ordinador central.

Mòdem

Mòdem és un acrònim de *modulator-demodulator*, que fa referència a la seva funció: modular (generar senyals audibles segons els valors dels bits) i desmodular (generar bits a partir dels senyals que rep de la xarxa telefònica).

Per a poder fer aquest accés remot, la primera solució que van aportar els enginyers informàtics de l'època va ser utilitzar la xarxa telefònica que, per la seva ubiqüitat, els estalviava generar cap infrastructura nova. Només calia un aparell que adaptés els bits a la xarxa (recordeu que la xarxa telefònica només deixa passar sons entre uns marges de freqüència). Aquests aparells són els mòdems.

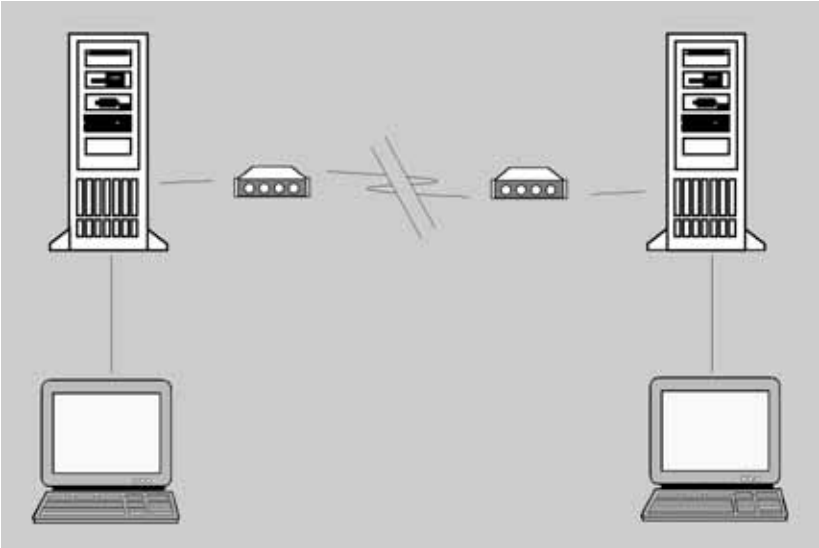


Els primers mòdems eren de 300 bps i generaven dos tons diferents: un per a l'1 lògic i un altre per al 0. Actualment, van a 56.000 bps, que és el màxim que permet la xarxa telefònica convencional actual.

56 k

Aquesta velocitat de transmissió només es pot assolir si un dels dos extrems té una connexió especial amb la seva centraleta, cosa que té la majoria de proveïdors d'Internet. De fet, amb línies telefòniques convencionals, la velocitat màxima és de 33.600 bps.

Els mòdems no solament servien per a poder allunyar els terminals passius dels ordinadors centrals, també permetien d'interconnectar ordinadors entre si, de manera que des dels terminals d'un es podia accedir a l'altre i viceversa.



Això ja és una xarxa de computadors.

La tecnologia de commutació de circuits es va desenvolupar originalment per a les comunicacions telefòniques i una de les seves característiques fonamentals era l'ocupació en exclusiva dels recursos mentre durava la connexió, cosa que (com ja hem vist) justificava la tarifació per temps. Però les comunicacions informàtiques no són curtes, intenses i esporàdiques com les de veu. En connectar un terminal a un ordinador central mitjançant dos mòdems, no es passen dades tota l'estona que dura la connexió: hi pot haver llargs períodes de temps en què no passi cap bit i estones en què hi hagi un intercanvi de dades intens, tot i que a una velocitat de transmissió molt més baixa que la que es pot mantenir entre el terminal i l'ordinador connectats directament. Les factures telefòniques van començar a ser astronòmiques, i desproporcionades, respecte de l'ús real de la xarxa.

1.2.2. Les xarxes de dades

Aviat les grans empreses van pressionar les companyies telefòniques del moment perquè desenvolupessin xarxes pensades per a transportar dades, el sis-

tema de tarifació de les quals s'ajustés al trànsit de dades real i permetés més velocitat que els minsos 300 o 1.200 bps de l'època, que s'assolien utilitzant la xarxa telefònica. La resposta van ser les **xarxes de commutació de paquets**.

L'enviament de dades no s'ha de fer necessàriament en temps real (les transmissions de veu, sí). Per tant, no cal establir el camí entre els dos punts abans de començar la transmissió i mantenir-lo mentre dura l'intercanvi de dades. Enlloc d'això, s'empaqueten els bits que s'han de transmetre i es donen a la central més propera perquè els enviï quan pugui a la següent i així successivament fins que arribin a destinació. Si quan un paquet arriba a una central tots els enllaços amb la següent estan ocupats, no passa res, el fa esperar posant-lo en una cua per enviar-lo quan hi hagi un enllaç disponible.

La transmissió per paquets té l'avantatge que només ocupa els recursos quan realment es fan servir, no tota l'estona. Però, com a contrapartida, s'ha de suportar el retard que hi pugui haver entre que els paquets surten de l'origen i arriben a la seva destinació, el qual és variable, perquè les esperes a les cues són aleatòries, depenen de l'estat de la xarxa. Però, com hem dit, això, en comunicació de dades, és fins a cert punt tolerable. Pel que fa a la qüestió econòmica, no té sentit que es cobri per temps de connexió: en les xarxes de dades es paga per bits transmesos.

Hi ha un altre perill: els paquets es poden perdre. Cal tenir present que les cues són limitades i, si arriba un paquet quan una ja és plena, no es podrà guardar i es perdrà. Cal preveure mecanismes que evitin aquestes pèrdues i regulin el flux d'informació entre els nodes de commutació.

Les companyies telefòniques van desenvolupar xarxes d'aquest tipus, i el CCITT va emetre un estàndard, l'**X.25**, que a la llarga és el que ha seguit tothom fins fa poc.

A l'Estat espanyol, aquesta xarxa de dades es deia Iberpac.

Actualment, per a comunicacions de dades s'utilitza el Frame Relay, l'evolució natural de l'X.25, i cada cop més, ATM.

1.2.3. Les xarxes d'àrea local

Quan va començar a ser habitual disposar de més d'un ordinador a la mateixa instal·lació, va aparèixer la necessitat d'interconnectar-los per a poder compartir els diferents recursos: dispositius cars, com ara impressores de qualitat, un disc dur que emmagatzemés les dades de l'empresa, un equip de cinta per a fer còpies de seguretat, etc.

El disseny de les xarxes d'àrea local* va seguir camins completament diferents dels que es van seguir per a les xarxes de gran abast. A les xarxes d'àrea local es necessita, habitualment, establir comunicacions "molts a un" i "un a molts", cosa difícil d'aconseguir amb les xarxes de commutació, pensades per a interconnectar dues estacions. Per a aquesta mena de xarxes és més adequada la **difusió amb medi compartit**, en què els paquets que surten d'una estació arriben a tota la resta simultàniament. A la recepció, les estacions els accepten o ignoren segons si en són destinatàries o no.

*** Sovint s'utilitza la sigla anglesa LAN (*local area network*) per a identificar les xarxes d'àrea local, i la sigla WAN (*wide area network*) per a identificar les xarxes de gran abast.**

Es parla de *difusió* perquè els paquets es difonen pertot arreu, i de *medi compartit* perquè aquesta difusió es fa sobre un medi comú que les estacions comparteixen.

1.3. Arquitectures de protocols

De la dècada dels seixanta també daten els primers estàndards d'arquitectures de protocols. Cal tenir present que l'intercanvi d'informació entre ordinadors té tot un seguit d'implicacions, entre les quals hi ha les següents:

- Aspectes elèctrics: els cables, els connectors, els senyals, etc.
- La manera d'agrupar els bits per a formar paquets i la de controlar que no es produeixin errors de transmissió.
- La identificació dels ordinadors dins de la xarxa i la manera d'aconseguir que la informació que qualsevol ordinador genera arribi a qui es pretén que ho faci.

Atacar tots aquests aspectes d'una manera global no és viable: massa coses i massa diferents entre si. Per això, ja des del principi, es van desenvolupar models estructurats en nivells: a cada nivell es duu a terme una tasca i la cooperació de tots els nivells proporciona la connectivitat volguda pels usuaris.

Cal tenir present que, a l'època que ens ocupa, la informàtica estava en mans de molt pocs fabricants i imperava la filosofia del servei integral: cada fabricant ho proporcionava tot (ordinadors, cables, perifèrics, sistema operatiu i programari). Per tant, quan una empresa es volia informatitzar, triava una marca i hi quedava lligada per a tota vida.

Parlem d'empreses com IBM (International Business Machines) o DEC (Digital Equipment Corporation). Quan aquestes empreses es van proposar oferir connectivitat entre els seus equips, o bé local o bé remota, també ho van fer aplicant la filosofia de la separació per nivells: IBM va desenvolupar l'arquitectura SNA (*system network arquitecture*) i DEC, la DNA (*DEC network arquitecture*). Eren dos models complets, estructurats en nivells, però incompatibles entre si, segons la filosofia de la informàtica propietària.

A la dècada dels setanta, el panorama va canviar radicalment, sobretot, a causa de tres esdeveniments:

- La proposta del protocol Ethernet per a xarxes locals.
- L'aparició del sistema operatiu Unix, no lligat a cap marca comercial, compatible amb totes les plataformes de maquinari que hi havia.
- La invenció dels protocols TCP/IP, embrió de l'actual Internet.

S'havia aplanat el camí per a l'aparició dels sistemes oberts: no calia lligar-se a cap marca per a tenir-ho tot. El maquinari podia ser d'un proveïdor, el sistema operatiu d'un altre, les aplicacions d'un altre i els protocols, públics.

TCP/IP* va néixer a partir d'un encàrrec de la DARPA** a la comunitat científica americana per a tenir una xarxa mundial que fos reconfigurable fàcilment i automàticament en cas de destrucció d'algun node o d'algun enllaç.

*** TCP/IP, sigles de *transmission control protocol/Internet protocol* (protocol de control de transmissió/protocol d'Internet).**

**** DARPA, sigles de Defense Advanced Research Project Agency (Agència de Projectes d'Investigació Avançada per a la Defensa).**

La pila TCP/IP és una jerarquia de protocols que oferia connectivitat i, tot i tenir poc a veure amb les que ja hi havia, era una opció més en el mercat. Davant d'una oferta tan gran, i dispar, de protocols, l'ISO (Organització Internacional d'Estandardització, International Organization for Standardization) i el CCITT van proposar un model nou que intentava reunir d'alguna manera tot el que ja s'havia proposat i que pretenia ser complet, racional i molt ben estructurat (la TCP/IP té fama de ser una pila de protocols anàrquica), amb la intenció, per tant, que es convertís en un model de referència. És l'anomenada *pila de protocols OSI* (*open systems interconnection*).

Internet, que va néixer i créixer a les universitats, es va començar a fer popular a la dècada dels noranta, a mesura que els qui coneixien la xarxa l'anaven "ensenyant", i la seva popularització va esclatar quan va saltar al món de l'empresa, en totes els seus vessants: com a aparador de productes o com a canalitzador de contactes comercials.

El seu origen universitari, però, ha marcat aquesta evolució en molts sentits. Per exemple, el model client/servidor d'aplicacions distribuïdes. És un model senzill i alhora potent, i gairebé totes les aplicacions que es fan servir a Internet el segueixen. El Telnet, o obertura de sessió remota, la transferència de fitxers (FTP), el correu electrònic i sobretot el WWW (*World Wide Web*) són exemples clars d'aplicacions que segueixen aquest model. Les dues primeres han caigut una mica en desús, però tant el correu com el WWW són les estrelles avui en dia a Internet. Tímidament, apareixen noves propostes d'aplicacions, però el WWW, que va néixer com un servei de pàgines estàtiques enllaçades amb hiperenllaços, s'està convertint en la interfície d'usuari de tota la xarxa, perquè actualment s'empra per a servir pàgines dinàmiques (es creen en el moment en què se serveixen), i fins i tot, codi que s'executa a l'ordinador client (*applets*).

1.4. La digitalització de la xarxa telefònica

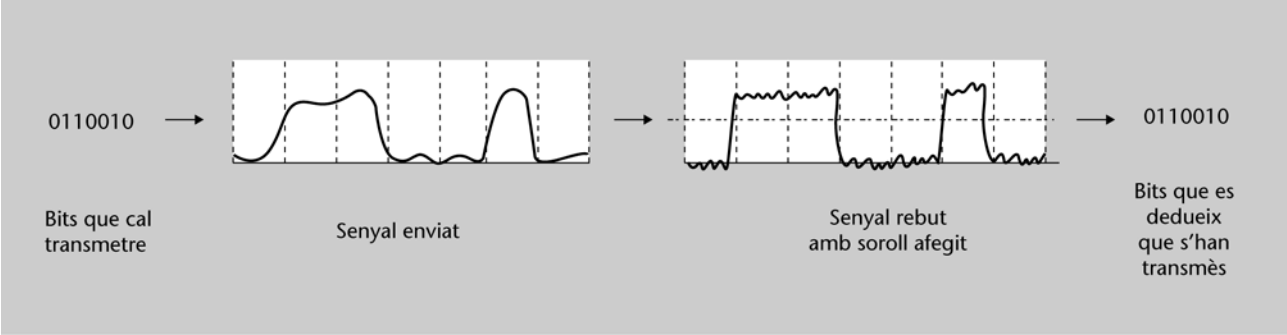
En aquest moment tenim dues xarxes completament independents entre si, però d'alguna manera superposades:

- Una xarxa analògica, amb commutació de circuits, pensada per a veu.
- Una xarxa digital, amb commutació de paquets, pensada per a dades.

La xarxa telefònica, tal com l'hem descrit fins ara, és completament analògica: el senyal electromagnètic que viatja des d'un telèfon fins a un altre és analògic (varia contínuament i a cada moment pot prendre qualsevol valor) i els circuits electrònics que componen la xarxa també ho són.

Els enllaços entre centrals de la xarxa telefònica es feien amb senyals analògics amb molts canals multiplexats en freqüència, i havien de recórrer, de vegades, grans distàncies. L'atenuació del senyal inherent a la distància que havia de recórrer s'havia de corregir mitjançant repetidors que l'amplificaven, cosa que augmentava el soroll present a la línia. Molt sovint, el senyal rebut era d'una qualitat molt baixa perquè la transmissió analògica no permet d'eliminar el soroll i les interferències a la recepció. No hi ha cap manera de saber exactament què s'ha enviat des de l'origen i què és soroll afegit.

L'any 1972, es van fer públics els primers resultats del tractament digital del senyal aplicat a àudio, bàsicament orientat al seu emmagatzematge. El CD estava veient la llum. Convertir un so (una magnitud física que pot prendre qualsevol valor en qualsevol moment) en una sèrie de 0 i 1 (dos únics valors, coneguts) permetia de corregir fàcilment qualsevol soroll afegit:



En el cas del senyal analògic, veient el senyal rebut, no es pot deduir quin ha estat el senyal emès. En canvi, en el cas del senyal digital, com que es coneixen els valors enviats, s'estableix un llindar en el punt mitjà entre els dos valors i es decideix que tot el que hi estigui per sobre correspon a un 1 i tot el que hi estigui per sota, a un 0.

Si el soroll que s'ha afegit és superior a la diferència entre el valor original i el llindar, es produeix un error de recepció: es decideix que s'havia enviat el valor equivocat. Les tècniques per a lluitar contra aquests tipus d'errors es veuran més endavant.

El descobriment del processament digital del senyal, i les seves aplicacions en els camps del so i la imatge, ha estat una fita cabdal en el món de les comunicacions. Bàsicament, ha permès de reduir dràsticament l'efecte del soroll, la qual cosa ha permès, d'una banda, d'incrementar la qualitat de recepció del senyals i, de l'altra, d'augmentar la velocitat de transmissió amb els mateixos medis.

Les companyies telefòniques van començar a substituir els enllaços interns (entre centrals) per senyals digitals, però mantenint el bucle d'abonat (línia i terminal) analògic. La digitalització del senyal de so es fa dins de la central local, després del filtre de 4 kHz, i es torna a passar a analògic en la central corresponent a l'altre extrem de la comunicació. Això ha fet canviar substancialment els

processos de commutació: ara s'ha de treballar amb bits i, per tant, les centrals electromecàniques s'han de substituir per ordinadors.

Aquesta digitalització de la part interna de la xarxa de veu va fer que, d'alguna manera, les dues xarxes, la telefònica i la de dades, confluïssin: els enllaços digitals entre centrals s'utilitzaven indistintament per a paquets de dades i per a transmissions de veu.

1.4.1. La xarxa digital de serveis integrats

Un cop digitalitzada la xarxa telefònica, el pas següent havia de ser portar la transmissió de bits fins a les cases. Això permetia, d'una banda, d'oferir als usuaris a casa seva la transmissió de dades a més de la tradicional de veu i, de l'altra, d'oferir als abonats un ventall de nous serveis associats a una comunicació enterament digital de punta a punta. Aquest servei de transmissió digital mitjançant la xarxa telefònica es coneix com a xarxa digital de serveis integrats (XDSI). Ofereix dos canals independents de 64 kbps, que permeten de parlar i connectar-se a Internet simultàniament, o, amb maquinari adequat, aprofitar els dos canals junts per a navegar a 128 kbps.

XDSI

La xarxa digital de serveis integrats (XDSI) correspon a les sigles RDSI en castellà i ISDN (*integrated services digital network*) en anglès.

1.5. La banda ampla

L'ús de la xarxa telefònica per a transmetre dades té una limitació important pel que fa al màxim de bits per segon permesos i les xarxes específiques de dades són molt cares per a l'ús domèstic. Des de la dècada dels noranta, s'han estudiat maneres d'aconseguir portar fins a les cases o les empreses un bon cabal de bits per segon (banda ampla) a un preu raonable, de manera que les noves aplicacions multimèdia es puguin explotar al màxim.

Per a aconseguir aquesta banda ampla, s'han seguit dos camins completament diferents. Pel que fa al primer, s'han promogut cablatges nous amb fibra òptica que permetin aquest gran cabal, sovint duts a terme per empreses amb afany competidor contra els monopolis dominants. Aquestes xarxes s'aprofiten per donar un servei integral: televisió, telèfon i dades.

Pel que fa al segon, les companyies telefòniques de tota la vida han volgut treure partit del cablatge que ja tenen fet i, per això, s'han desenvolupat les tecnologies ADSL, que permeten de fer conviure en el bucle d'abonat el senyal telefònic i un senyal de dades que pot arribar als 8 Mbps (o 20 Mbps amb tecnologia ADSL+, en fase de desplegament).

Banda estreta o banda ampla

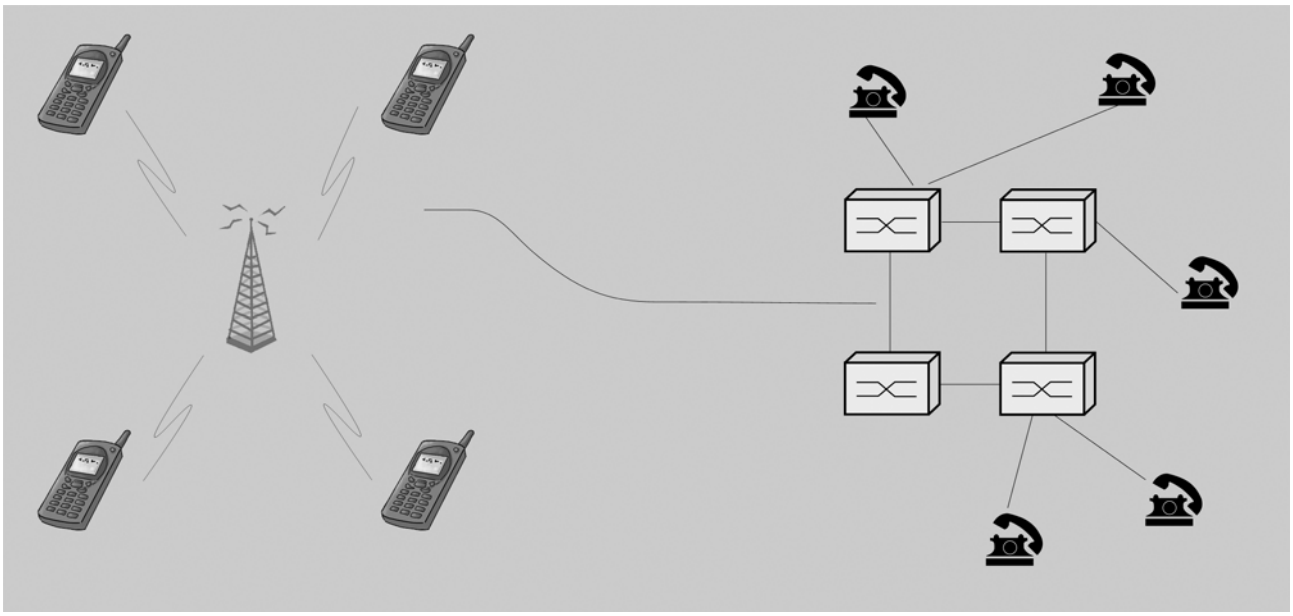
La frontera entre banda estreta i banda ampla no està molt clara. Els 128 kbps de l'XDSI es consideren banda estreta i, dels 256 kbps de l'ADSL als seus inicis, hi havia qui en deia *banda ampla*.

Realment, es considera banda ampla a partir d'1 Mbps.

1.6. La telefonia mòbil

La telefonia mòbil, tot un fenomen sociològic actual, ha viscut una evolució fulgurant: en menys de vint anys, ha passat del no-res a constituir una tecnologia d'ús diari per a més d'un 80% de la població. El 2006, el nombre de llars amb mòbil a Espanya va superar per primer cop les que tenen fix.

Des del punt de vista de sistema de comunicació, hem de veure els mòbils com una extensió de la xarxa telefònica convencional.



El sistema GSM, que és l'actual estàndard europeu, permet l'accés a la xarxa de veu, canviant el bucle d'abonat: en lloc de ser un cable, és un enllaç radioelèctric entre una antena i el mòbil. Es tracta, per tant, d'una xarxa de commutació de circuits i es continua fixant la tarifa per temps de connexió.

L'estàndard GPRS permet el transport de bits, pagant per tràfic en lloc de per temps. Per tant, és aproximadament el clònic de les xarxes de dades amb fil.

L'estàndard UMTS, també conegut com tercera generació (3G), permet transferències de l'ordre de megabits per segon, el que és necessari per a tenir aplicacions multimèdia en el mòbil. Requereix, però, noves antenes i nous terminals.

2. Les xarxes de gran abast

Com vèiem en l'apartat anterior, les xarxes de commutació de paquets van aparèixer per proporcionar transmissió d'informació a llarga distància sense haver de fer servir la xarxa telefònica. Ara veurem en aquest apartat els principis de funcionament de les xarxes de paquets i quines són les principals diferències amb les xarxes de commutació de circuits.

2.1. Commutació de circuits

La commutació de circuits consisteix a establir un camí físic continu a través de la xarxa entre les dues estacions que es vol comunicar, com si fos una línia punt a punt.

Aquest camí estarà compost per diferents enllaços entre els nodes, i cal crear-lo abans d'iniciar la transmissió de les dades i desfer-lo en acabar-la. Així, en totes les connexions podem distingir tres fases:

- **Establiment del circuit**: el primer que s'ha de fer és trobar un camí a través de la xarxa entre les dues estacions. L'estació d'origen ho demana al node a què està connectada. Aquest trasllada la petició a un dels nodes a què està connectat; aquest, a un altre i així successivament fins a arribar a l'estació de destinació. A mesura que la petició va passant pels nodes, es va component el circuit. Si l'estació de destinació accepta la connexió, envia un senyal a l'estació d'origen per indicar-li-ho.

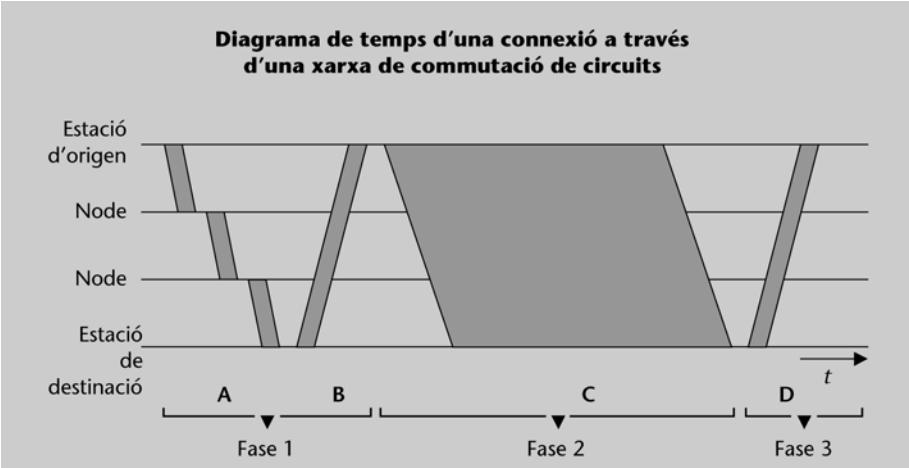
- **Transferència de dades**: un cop establert el circuit, les dues estacions es comporten com si hi hagués un enllaç punt a punt entre elles. La informació es transmet sobre aquest circuit.

- **Desconnexió**: acabada la connexió, cal alliberar els recursos que s'han fet servir (els enllaços entre nodes i dins dels nodes) perquè puguin ser utilitzats en connexions posteriors.

Aquesta figura representa un diagrama de temps. En horitzontal hi tenim el pas del temps, mentre que en vertical hi tenim la distància. Així, les línies inclinades simbolitzen el viatge de les dades des d'un punt a un altre. La inclinació dóna idea de la velocitat de transmissió: com més vertical és la línia, menys temps per al mateix espai i, per tant, més velocitat de transmissió. Simbolitzem la presència de nodes intermedis entre origen i destinació amb les línies horitzontals.

Explicarem amb més detall els diagrames de temps al mòdul "Enllaç de dades" d'aquesta mateixa assignatura.

La figura següent il·lustra aquestes tres fases:



1) Al punt **A**, el senyal de petició d'establiment de circuit surt de l'estació d'origen i va travessant els nodes fins a arribar a l'estació de destinació. Al punt **B**, si l'estació de destinació accepta la connexió, envia un senyal d'acceptació a l'estació d'origen pel camí ja creat (noteu que no hi ha retard de procés als nodes).

2) Després d'haver rebut el senyal d'acceptació, s'inicia l'intercanvi de dades (punt **C**).

3) Finalment, al punt **D**, l'estació de destinació emet un senyal de final de connexió, que serveix als nodes per a alliberar els enllaços ocupats. Aquest alliberament també pot ser sol·licitat per l'estació d'origen.

Per acabar, presentem les tres característiques més importants d'aquest tipus de xarxes:

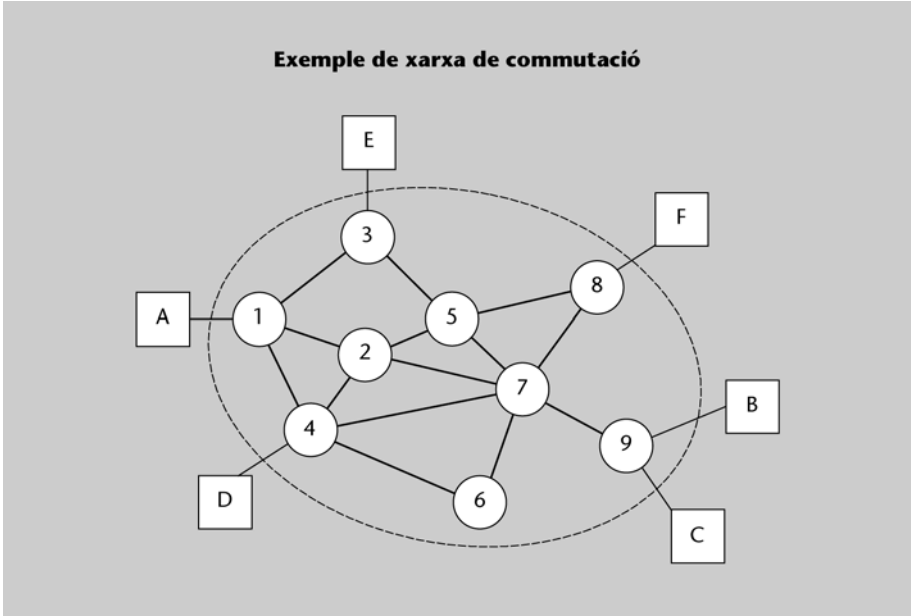
- Un cop establert el circuit, la xarxa no afecta en res la connexió, i la transferència de dades té lloc com si es tractés d'una línia punt a punt. Entre les estacions s'estableix un circuit de dades, igual que si estiguessin connectades directament.

- Un cop establert l'enllaç entre les dues estacions, els recursos que el formen estan ocupats encara que no hi hagi transferència de dades, fins que no se sol·liciti explícitament el final de la connexió. Això pot provocar un ús ineficient de la xarxa si el percentatge del temps total de connexió durant el qual realment es transfereix informació és baix.

- Les xarxes de commutació de circuits poden presentar **bloqueig**. Això succeeix quan, en situacions de càrrega alta, hi ha tants recursos ocupats que dues estacions no es poden connectar perquè no hi ha camí possible dins de la xarxa.

2.1.1. Commutació de missatges

Suposem que dues estacions, A i B, es volen intercanviar missatges i que es disposa de la xarxa que es mostra a la figura següent:



Si la xarxa fos de commutació de circuits, caldria buscar un camí entre A i B (per exemple, a través dels nodes 1, 2, 7 i 9); i, un cop establert, les estacions començarien a transmetre les dades.

Suposem ara que A, en lloc d'esperar que s'hagi establert el camí complet entre els dos extrems, envia un missatge sencer al node 1. Aquest l'emmagatzema i a continuació el transmet al node 2. Un cop l'estació A ha enviat el missatge sencer al node 1, no cal mantenir ocupat aquest enllaç, es pot alliberar i tornar-lo a ocupar quan A tingui un altre missatge a punt per a B. El mateix es pot dir per a l'enllaç entre els nodes 1 i 2: un cop el node 2 ha rebut el missatge, l'enllaç entre tots dos ja es pot alliberar. El procés segueix (de 2 a 7, de 7 a 9) fins que el node 9 envia el missatge al seu destinatari, l'estació B.

El procediment en el sentit contrari és el mateix: B lliura el missatge que vol enviar a A al node 9; el 9, al 7; el 7, al 2; el 2, a l'1, i finalment l'1, a l'estació A.

Si ara A volgués enviar un altre missatge a B, es repetiria tot el procés.

D'aquesta manera, s'aconsegueix el que es perseguia: els enllaços només estan ocupats el temps que realment es fan servir i, per tant, l'eficiència és superior.

A més, no cal que estiguin disponibles tots els nodes: mentre l'estació A transmet el missatge al node 1, l'enllaç entre el 7 i el 9 pot estar totalment ocupat per altres connexions. Quan el missatge arribi al node 7, aquest l'emmagatzemarà i esperarà que s'alliberi un dels canals de l'enllaç cap al node 9 per a poder enviar-l'hi.

Store & Forward

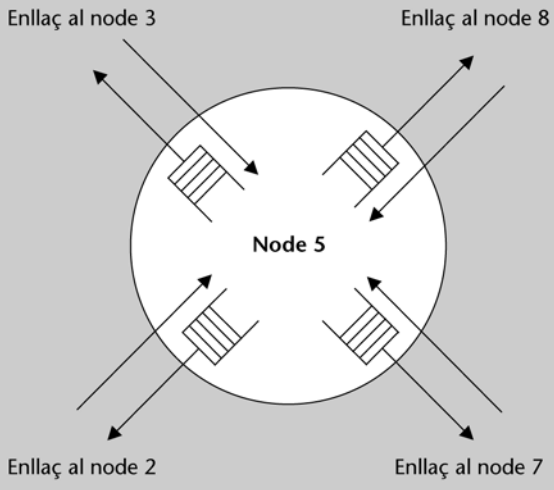
La commutació de missatges es basa en l'emmagatzematge i la retransmissió; per això en anglès s'anomena *Store & Forward*. Aquesta tècnica és la mateixa que s'aplica al sistema postal. Es porta la carta a una bústia, en què queda dipositada temporalment; un funcionari la porta a un centre de classificació, d'aquest es porta a un altre… fins que el carter la deixa a casa del destinatari.

La tècnica que acabem de descriure s'anomena **commutació de missatges**, com a analogia de la commutació de circuits que hem vist abans, perquè els nodes envien missatges d'un enllaç a un altre. En aquest cas, però, no es fan servir elements electromecànics.

Els **nodes d'una xarxa de commutació de missatges** són ordinadors amb capacitat de procés i amb una memòria estructurada en forma de cues, una a cada enllaç de sortida. Quan arriba un missatge, el node decideix per quin enllaç ha de sortir i el deixa a la cua corresponent, en què espera el torn per a ser enviat.

La figura següent mostra un esquema de com seria un dels nodes de commutació de missatges de la xarxa que acabem de veure:

Esquema del node 5 de la xarxa de commutació de missatges



És evident que els enllaços que formen un camí treballen de manera totalment independent els uns dels altres. Les estacions no estan connectades directament i, per tant, poden treballar amb diferents velocitats de transmissió.

Aquesta tècnica de la commutació de missatges, però, no es fa servir gaire tal com s'ha descrit, perquè té un inconvenient important: cada node involucrat en la

connexió ha d'esperar fins a haver rebut tot el missatge per a prendre la decisió de cap a on el transmet i emmagatzemar-lo a la cua de sortida corresponent, en què el missatge esperarà que els que té al davant siguin enviats.

Això té una doble implicació:

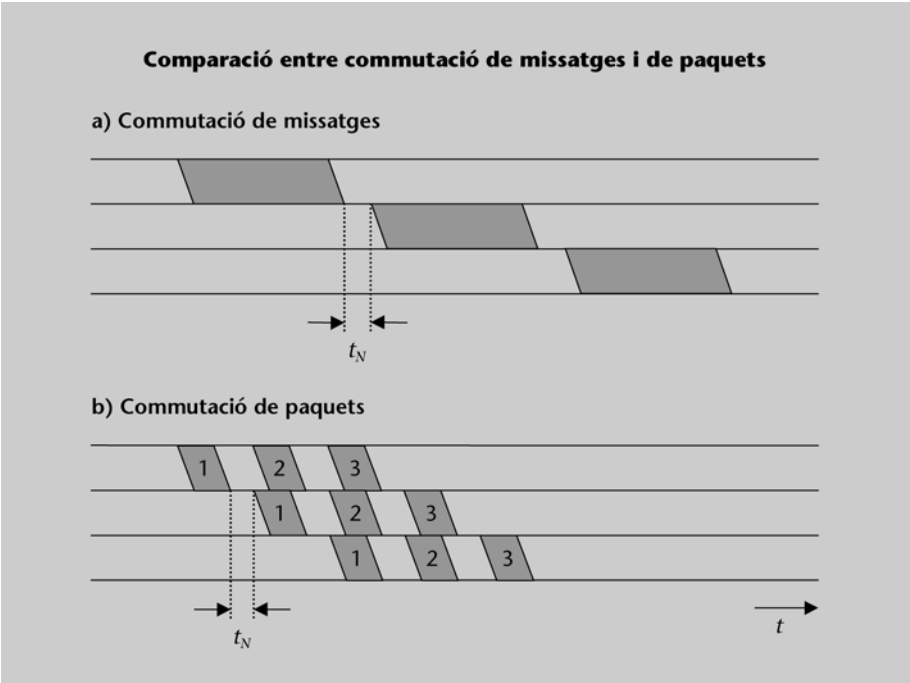
a) La quantitat de memòria necessària a cada node pot ser molt gran si els missatges que les estacions s'intercanvien ho són*. Cal memòria de treball de l'ordinador en què resideixen els programes en execució i les dades que manipulen, i cal memòria per a les cues de sortida.

* No és exagerat pensar en missatges d'1 MB o més.

b) El temps que els missatges triguen a travessar la xarxa no és solament el temps de propagació pels enllaços: cal afegir-hi els temps de processament dins dels nodes i els temps d'espera dins de les cues. Això pot significar un retard considerable, tenint en compte que en commutació de circuits només compta el temps de propagació.

2.1.2. Commutació de paquets

Per tal d'evitar els inconvenients de la commutació de missatges, a la pràctica es divideixen els missatges en trossos d'uns quants bytes anomenats **paquets**. D'aquesta manera, es redueix dràsticament, d'una banda, la memòria necessària per a emmagatzemament i, de l'altra, el temps de processament dins dels nodes, amb la conseqüent reducció de retard acumulat dins de la xarxa.



- A l'esquema **a)** de la figura podem veure que el missatge va passant pels nodes fins a arribar a la seva destinació. En aquest cas, cada node ha d'esperar a rebre tot el missatge per a enviar-lo al següent.

- A l'esquema **b)** el missatge s'ha dividit en tres paquets; d'aquesta manera, els nodes poden començar a transmetre cada paquet sense haver d'esperar a tenir tot el missatge.

L'interval de temps t_N dels dos esquemes inclou el temps de procés i el temps d'espera del missatge o del paquet a la cua corresponent de sortida. Observeu que, si es vol fer un diagrama de temps d'una situació real i es vol guardar unes proporcions entre les diferents magnituds de temps, l'interval t_N normalment serà bastant més llarg del que mostra la figura.

Activitat

Hem vist que el fet de disminuir la longitud del paquet és positiu. Es podria inferir que el millor seria fer els paquets de la mínima longitud possible, per exemple d'un byte? Comproveu-ho vosaltres mateixos fent aquesta activitat:

1. Es vol enviar un missatge de 60 bytes a través d'una xarxa de paquets. Suposem que entre l'estació d'origen i la de destinació els paquets travessaran dos nodes, i que la capçalera de control és de 6 bytes. Calculeu quina diferència hi hauria si es fessin servir paquets de 60 bytes de dades, 15 bytes i 6 bytes.

La commutació de paquets és millor que la commutació de missatges en tots els sentits, però continua tenint un problema que no presenta la commutació de circuits. Com hem vist, els paquets arriben a la seva destinació amb un cert retard, a causa del processament que experimenten dins dels nodes. A més, és molt important assenyalar que aquest retard és variable, perquè les condicions de la xarxa influeixen en tots els paquets que hi circulen: els temps d'espera a les cues de sortida dels nodes no tenen per què ser iguals durant tota la connexió. Per això les xarxes de commutació de paquets no són adequades per a aplicacions de temps real o en situacions en què cal un flux de dades constant.

Activitat

Una coneguda aplicació d'Internet és el `ping`. Serveix bàsicament per a saber si una màquina és accessible o no. Però també informa del temps que triguen els paquets a arribar a la màquina. Suposem que es fa un `ping` a un ordinador que és als EUA i ens diu que els paquets triguen 200 ms a arribar-hi:

2. a) Suposem que el paquet que genera el `ping` és de 64 bytes, que tots els enllaços travessats són de 2 Mbps, que la distància total és de 10.000 km, que la velocitat de propagació és de $2 \cdot 10^8$ ms.

Calculeu quants nodes ha travessat el paquet. Si considerem que el temps de procés dins d'aquests és negligible; té sentit el resultat que heu obtingut?

2. b) El `ping` també pot informar de quants nodes han travessat els paquets. Suposem que en el cas anterior ens diu que són 19 nodes. A què es deu la discrepància?

D'altra banda, les xarxes de commutació de paquets no presenten bloqueig, perquè no cal assegurar la disponibilitat de tots els recursos necessaris abans de començar la transmissió de dades.

L'efecte que produeix l'increment de trànsit en aquestes xarxes és un augment del retard global, perquè les esperes a les cues són més elevades. Si les condicions empitjoren, es pot produir congestió.

2.2. Datagrames i circuits virtuals

Els nodes han de decidir cap a quin dels altres nodes a què estan connectats envien els paquets que els arriben. Aquesta decisió es pot prendre per a cada paquet que forma el missatge, o bé es pot prendre al principi; és a dir, es pot decidir una ruta abans de començar la transmissió, i llavors fer que tots els paquets que formen el missatge o connexió la segueixin. Aquestes dues possibilitats donen lloc a dos tipus diferents de xarxes de commutació de paquets:

1) La primera possibilitat, decidir per a cada paquet, dóna lloc a les xarxes de commutació de paquets en mode datagrama.

> La **tècnica de commutació de paquets en mode datagrama** consisteix a encaminar cadascun dels paquets independentment dels altres.

Això fa que els paquets que formen un missatge puguin seguir camins diferents i, si experimenten retards diferents, puguin arribar al receptor desordenats. Llavors les estacions s'han d'encarregar de reordenar-los per obtenir el missatge tal com es va enviar.

2) La segona possibilitat, decidir la ruta al principi, dóna lloc a les xarxes de commutació de paquets en mode circuit virtual.

> La **tècnica de commutació de paquets en mode circuit virtual** consisteix a escollir el camí pel qual passaran tots els paquets a través de la xarxa abans de començar una connexió.

D'aquesta manera, els nodes no han de prendre decisions d'encaminament per a cada paquet, i el receptor els rebrà sempre en l'ordre en què van ser enviats. És com un circuit físic, però sense establir-lo realment; per això es parla de **connexió lògica** o **circuit virtual**.

En mode circuit virtual també es poden distingir les tres fases que hem vist en commutació de circuits: establiment del circuit, transmissió de les dades i alliberament del circuit, mentre que en mode datagrama no són necessaris ni l'establiment ni l'alliberament, perquè no cal un circuit (real o virtual) prefixat, cosa que els fa particularment interessants per a transmetre missatges curts.

Els enllaços entre nodes estan multiplexats amb la tècnica STDM. Això permet que per aquests enllaços hi puguin passar simultàniament comunicacions di-

ferents. En el nostre cas, aquestes comunicacions es corresponen amb els circuits virtuals.

Atès que un enllaç pot suportar diferents circuits virtuals, s'han de distingir d'alguna manera. Això es fa amb el número del canal que ocupen dins l'enllaç.

El circuit virtual entre l'estació d'origen i l'estació de destinació està definit pels enllaços que travessa i pel canal que ocupa en cadascun d'ells.

En commutació de datagrames, si un node (o un enllaç) deixa de funcionar, la xarxa fa que els paquets circulin per un altre tram, i així no es perd la connexió, mentre que en circuits virtuals l'estació d'origen s'ha d'encarregar de restablir el circuit per continuar la comunicació.

Es diu que les xarxes que treballen amb la tècnica de datagrames ofereixen un **servei no orientat a connexió**, mentre que les que treballen amb circuits virtuals ofereixen un **servei orientat a connexió**.

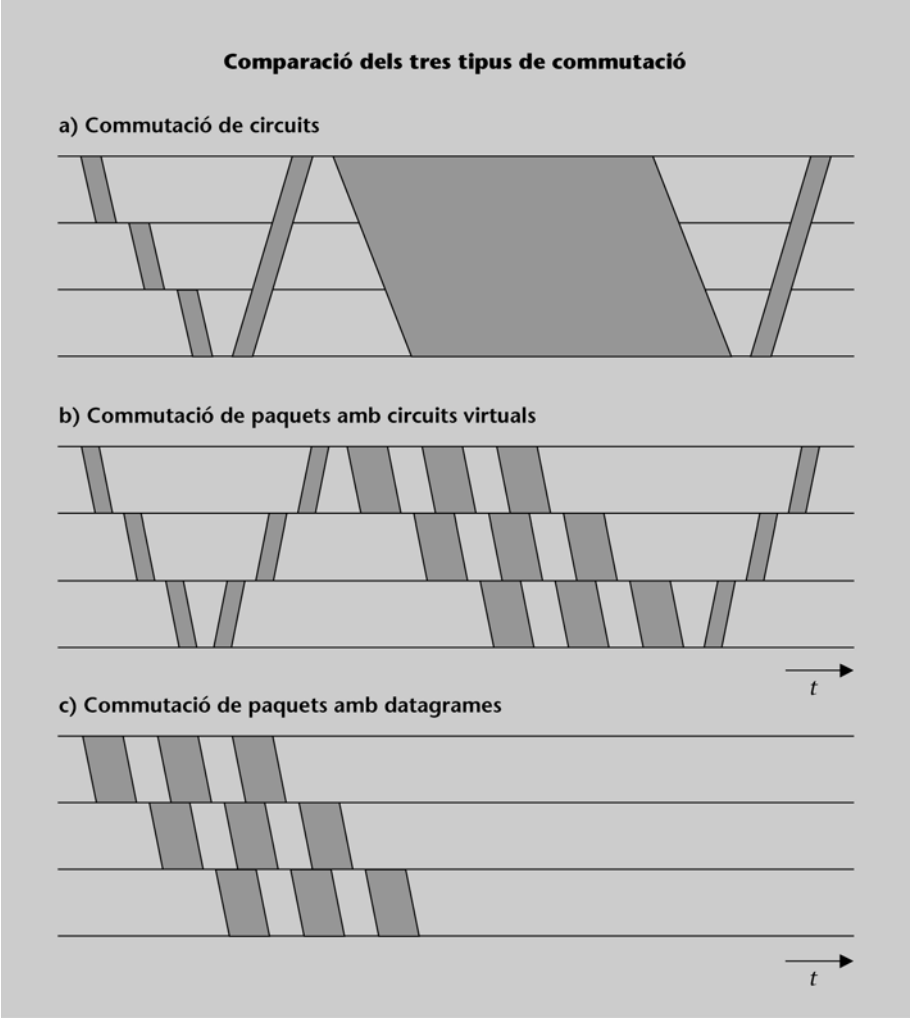
Encara que d'entrada pugui semblar més convenient que la xarxa s'encarregui de tot i ofereixi un servei orientat a connexió, moltes vegades es prefereix la flexibilitat i la senzillesa d'un servei no orientat a connexió, i deixar per a nivells superiors al de xarxa, en cas que calgui, les tasques feixugues del control d'errors i de la reordenació. D'aquesta manera, es traspassa feina dels nodes a les estacions i la xarxa pot operar de manera més eficient. A més, en nivells superiors es disposa dels dos tipus de serveis i es pot escollir el més adient per a cada aplicació.

2.3. Comparació entre commutació de circuits i commutació de paquets

Ara que hem vist els principis bàsics de funcionament de les xarxes de commutació de circuits i dels dos tipus de xarxes de commutació de paquets, datagrames i circuits virtuals, podem resumir-ne les característiques principals. Vegem-les a la taula i a la figura següents:

Comparació entre les diferents tècniques de commutació			
	Circuits	Paquets	
		Circuits virtuals	Datagrames
Recursos	Dedicats per a tota la connexió	No dedicats	No dedicats
Camí	El mateix per a tota la connexió	El mateix per a tots els paquets de la connexió	Pot ser diferent

Comparació entre les diferents tècniques de commutació			
	Circuits	**Paquets**	
		Circuits virtuals	**Datagrames**
Transmissió	Contínua	En paquets	En paquets
Establiment del camí previ a la transmissió	Sí	Sí	No
Retard en la transmissió	No	Sí	Sí
Efectes d'una sobrecàrrega	Bloqueig	Bloqueig i augment del retard	Augment del retard
Conversió de velocitat	No possible	Possible	Possible
Informació de control afegida forçada per la xarxa	No	Sí	Sí



Aquesta figura...

... pretén posar de manifest les diferències de funcionament de les xarxes de commutació de circuits i de paquets, però no compara prestacions, perquè això només es pot fer si es tenen en compte una sèrie de factors de la xarxa com la topologia, la mida, el nivell de càrrega, etc, que aquí no estan reflectits.

- L'esquema **a)** mostra una connexió a través d'una xarxa de commutació de circuits i les tres fases de què es compon: establiment de trucada, informació i alliberament.

- L'esquema **b)** mostra el funcionament d'una xarxa de commutació de paquets amb circuits virtuals. També s'hi poden distingir tres fases, però la transferència d'informació es fa amb paquets que pateixen un retard a cada node intermedi.

- L'esquema **c)** mostra que la commutació de datagrames no necessita la fase d'establiment ni la d'alliberament.

2.4. Encaminament

El camí que seguiran els paquets per arribar a la seva destinació és fruit de les decisions que prenen els nodes de la xarxa. Hi ha diferents possibilitats respecte a quan, on i com prendre aquestes decisions, que es tradueixen en diferents estratègies d'encaminament:

1) La decisió de *quan* estableix dues possibilitats que ja hem vist:

- En la tècnica de datagrames es decideix per a cada paquet.
- En la tècnica de circuits virtuals es decideix durant l'establiment del circuit.

2) La decisió d'*on* estableix tres possibilitats:

- A tots els nodes (**encaminament distribuït**).
- A l'originador del paquet (**encaminament de font**).
- En un node especialitzat de la xarxa (**encaminament centralitzat**).

3) La decisió de *com*, és a dir, quin criteri s'aplica per a escollir el camí, estableix dues possibilitats:

- El **camí més curt**. En aquest cas, la ruta que s'escull és la que inclou el nombre més petit de salts entre nodes. És un criteri bastant fàcil de mesurar i pretén minimitzar el nombre de recursos emprats.

El criteri del camí més curt...

... és un cas particular del criteri del cost més baix, si assignéssim un cost d'1 a cada enllaç.

- El **cost més baix**. El criteri anterior no té en compte les característiques particulars que poden tenir els enllaços entre nodes. El criteri del cost més baix assigna a cada enllaç un cost, proporcional a alguna característica, com ara la velocitat de transmissió o el retard mitjà a la cua d'entrada, i busca la ruta que presenta el cost total més baix. En el primer cas aconseguim maximitzar el rendiment de la xarxa (o *throughput*), i en el segon, minimitzar el retard total que experimenten els paquets.

Un aspecte molt important de les diferents estratègies d'encaminament que s'han desenvolupat és saber si s'adapten o no a canvis de la xarxa, que poden ser canvis de topologia o de càrrega. Això permet classificar-les en dos grups:

- Estratègies d'encaminament **adaptatives**, que varien si hi ha canvis a la xarxa.
- Estratègies d'encaminament **no adaptatives**, que no varien al llarg del temps.

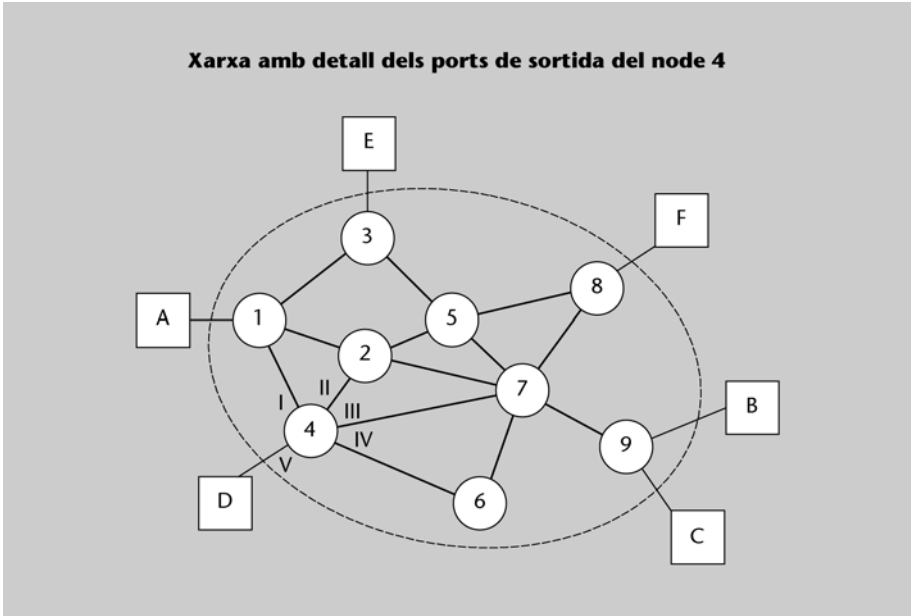
Les segones són més senzilles d'implementar, però a la pràctica, fets com la caiguda d'un node o la sobrecàrrega d'un o diversos enllaços són força habituals, i això fa que en la majoria dels casos s'utilitzi alguna estratègia adaptativa per la capacitat que tenen de reaccionar a aquests canvis.

2.4.1. Encaminament no adaptatiu. Encaminament estàtic

L'estratègia d'encaminament estàtic consisteix a decidir els camins que es faran servir per a totes les connexions possibles; és a dir, per a cada parell d'estacions, en el moment en què es crea la xarxa.

Per decidir els camins que s'han de seguir es pot aplicar tant el criteri del cost mínim com el del camí més curt. La informació dels camins sencers no cal guardar-la: només cal saber, per a cada node, quin és el salt següent que han de fer els paquets, i cada node només cal que tingui informació referent a si mateix i prou. Com a exemple, suposem que tenim la xarxa de la figura "Exemple de xarxa de commutació", i plantegem-nos com seria la taula d'encaminament del node 4:

Vegeu la figura esmentada al subapartat 2.1.1 d'aquest mòdul didàctic.



Una possible taula corresponent a aquest node seria la següent:

Taula del node 4	
Destinació	**Port de sortida**
A	I
B	III
C	III
D	V
E	I
F	III

Per cada paquet que rep, el node consulta la taula per saber què n'ha de fer. Si, per exemple, rep un paquet destinat a l'estació B, la taula li diu que l'ha d'enviar pel port III. Si rep un paquet per a l'estació D, la taula li diu que l'enviï pel port V, que és el que correspon a l'enllaç que l'hi uneix directament.

Activitat

Aquesta activitat us mostrarà com s'omplen les taules de cada node:

3. Ompliu les taules corresponents als nodes 5 i 9 de la xarxa de la figura anterior, aplicant el criteri del mínim nombre de salts.

L'avantatge d'aquest algorisme és que és molt fàcil d'implementar, però té un inconvenient molt gran: la seva inflexibilitat. No té en compte possibles caigudes de nodes de la xarxa, ni canvis de la topologia, ni com evoluciona el trànsit.

Hi ha una variant d'aquest algorisme, que pretén mitigar-ne la inflexibilitat de manera que la càrrega es pugui repartir entre diferents enllaços i la xarxa, en general, sigui menys vulnerable a la caiguda d'enllaços o de nodes: l'*algorisme de camins múltiples*. Aquest algorisme es caracteritza perquè les taules, en lloc d'indicar una sola sortida possible, presenten diferents opcions que el node triarà segons els criteris següents:

a) Amb la filosofia del torn rotatori o *round-robin* (és a dir, rotatòriament entre les diferents opcions).

b) De manera aleatòria.

c) De manera aleatòria, però assignant a cada opció una probabilitat, a fi que les opcions més idònies s'escullin més sovint.

Flooding

L'encaminament per *flooding* consisteix en el fet que cada paquet que arriba a un node s'envia a tots els seus veïns.

Literalment, quan es vol enviar un paquet d'un punt a un altre de la xarxa, aquesta és inundada amb rèpliques del paquet.

Aquest algorisme és molt senzill. No requereix l'ús de taules i, a més, suporta de manera òptima la caiguda de nodes o els canvis de la topologia. L'inconvenient principal és que la xarxa està més carregada, perquè hi circulen múltiples còpies de tots els paquets simultàniament.

Gestió de bucles tancats

Si la xarxa té bucles tancats i no es prenen mesures, es col·lapsa de seguida, perquè es generen còpies de paquets contínuament. Una manera senzilla d'evitar-ho és posar un comptador de salts a cada paquet. Es pot inicialitzar a un valor màxim de la xarxa, com

ara el diàmetre (definit com la longitud del camí més llarg d'entre tots els de mínim nombre de salts), i cada cop que un node commuta un paquet fa que el comptador disminueixi d'una unitat. Quan el comptador arriba a zero, el node el descarta.

Els receptors poden rebre moltes còpies del mateix paquet. Per tant, s'han d'identificar i en el moment de la recepció cal descartar tots els que siguin iguals a un que ja s'hagi rebut. Aquest identificador ha de ser únic a tota la xarxa. El més senzill és que cada estació assigni als paquets un número a partir d'un comptador, i que l'identificador únic sigui la concatenació de l'adreça del node d'origen més aquest número.

El *flooding* és un mètode molt robust, perquè es proven totes les rutes possibles entre l'origen i la destinació. Encara que un segment de la xarxa desaparegui, la resta de nodes es poden seguir en comunicació mentre hi hagi un camí possible. Per això es pot utilitzar en situacions en què la robustesa és important, com ara aplicacions militars o xarxes la topologia de les quals sigui molt canviant.

Exemple d'aplicació del *flooding*

Una situació en què s'utilitza el *flooding* perquè la topologia és molt canviant és en una xarxa que no és de gran abast: la interconnexió de LAN amb ponts (*bridges*).

Com que es proven tots els camins possibles per a cada connexió, entre aquests n'hi haurà el de mínim retard. Això li dóna una utilitat interessant: es pot fer servir per a establir un circuit virtual entre dos nodes a través del camí més curt.

2.4.2. Encaminament adaptatiu

Perquè els algorismes es puguin adaptar a les condicions de treball, cal que els nodes s'intercanviïn informació sobre l'estat de la xarxa. Això es converteix en un compromís, perquè com més informació s'intercanviïn i més sovint, millors seran les decisions que es prenguin, però també serà més gran el trànsit extra que s'introdueix a la xarxa i, per tant, el rendiment serà pitjor.

Una bona manera de classificar les estratègies d'encaminament adaptatiu és en funció d'on s'obté la informació: del mateix node, de tots els nodes de la xarxa o dels nodes veïns. Considerem cadascuna d'aquestes estratègies:

1) La primera estratègia gairebé no es fa servir, perquè no té en compte l'estat de la resta de nodes de la xarxa i, per tant, les decisions que es prenen no se solen adaptar als canvis que es puguin donar fora del node considerat.

2) La segona estratègia no se sol aplicar a xarxes d'un gran nombre de nodes, perquè el trànsit extra d'informació d'encaminament que s'han d'intercanviar pot ser excessiu.

3) A la pràctica, la major part d'estratègies d'encaminament que es fan servir són variants de la tercera possibilitat. De fet, encara que la informació que rebi un node en un instant procedeixi només dels seus veïns immediats, d'alguna manera també està rebent informació de la resta de nodes, perquè el seu veí anteriorment n'havia rebut dels seus altres veïns. La diferència rau en el temps que necessita un node per a tenir informació de la totalitat de la xarxa. Si aquest temps és llarg, llavors pot passar que l'adaptació als canvis sigui molt lenta.

A continuació veurem l'estratègia d'encaminament adaptatiu distribuït, basada en aquesta tercera possibilitat.

Encaminament adaptatiu distribuït

L'encaminament adaptatiu distribuït es basa en el fet que els nodes elaboren les taules d'encaminament a partir de la informació que periòdicament reben dels seus veïns immediats. La informació es basa en un **paràmetre de qualitat de la xarxa**, el que ve definit pel criteri de selecció de camins. Les taules d'encaminament s'actualitzen a cada intercanvi d'informació, perquè continguin sempre els millors camins possibles segons el paràmetre de qualitat escollit.

Vegem el funcionament d'aquesta estratègia amb un exemple.

Suposem que tenim la xarxa de la figura "Xarxa amb detall dels ports de sortida del node 4". Cada node manté una taula en què figuren, per a cada estació possible de destinació, el port de sortida i el paràmetre de qualitat.

Vegeu la figura esmentada al subapartat 2.4.1. d'aquest mòdul didàctic.

Si s'utilitza el nombre de salts com a paràmetre de qualitat, es pot suposar que el node 4 tindrà, en algun moment, la taula d'encaminament següent:

El paràmetre de qualitat...

... dependrà del criteri que se segueixi per a escollir el millor camí. Si s'aplica el criteri del camí més curt, aquest paràmetre seria el nombre de salts. Si s'aplica el criteri del màxim rendiment, el paràmetre podria ser el retard previst fins a la destinació.

Taula d'encaminament del node 4		
Destinació	**Port de sortida**	**Salts**
A	I	2
B	III	3
C	III	3
D	V	1
E	II	4
F	III	3

Aquesta taula diu, per exemple, que per a arribar a l'estació E, els paquets han de sortir pel port II i que la distància fins a l'estació de destinació és 4.

Cada node ha de ser capaç de mesurar la distància amb els seus veïns. Si s'utilitza el criteri del camí més curt, aquesta distància sempre val 1. En el cas de fer servir el retard, una manera de mesurar aquesta distància pot ser l'ocupació en bits de la cua de sortida corresponent a l'enllaç, dividida per la velocitat de transmissió, v_t.

Per tal de poder-se adaptar a possibles canvis que hagin succeït, cada cert interval fix de temps els nodes intercanvien amb els seus veïns les taules amb les distàncies fins a les estacions de destinació.

Com que el node 4 coneix la distància a què es troba dels veïns, pot complementar les taules rebudes afegint-hi les distàncies a cada veí per tenir les noves distàncies des d'ell fins a totes les estacions. Finalment, es comparen els valors antics amb els nous i, si s'obté una ruta millor, s'actualitza la taula.

Per exemple, suposem que el node 4 rep del seu veí 1 la informació següent:

Destinació	Salts
A	1
B	4
C	4
D	2
E	2
F	4

A partir d'aquesta informació, el node 4 dedueix que la distància fins a l'estació E a través del node 1 és de 2 (segons la taula) més 1 (distància des de 4 fins a 1). Per tant, la distància total fins a l'estació E és de 3, calculada a través del node 1, mentre que la informació original era la següent: distància 4 a través del node 2. El node 4 modifica l'entrada de la seva taula corresponent a l'estació E.

A partir d'aquest moment, els paquets que rebi el node 4 per a l'estació E s'enviaran al node 1, perquè és el camí més curt. La nova taula d'encaminament associada al node 4 és la que veiem a continuació:

Taula d'encaminament del node 4		
Destinació	**Port de sortida**	**Salts**
A	I	2
B	III	3
C	III	3
D	V	1
E	I	3
F	III	3

L'encaminament a Internet

L'estratègia d'encaminament adaptatiu distribuït es va dissenyar per a ARPANET, la xarxa de commutació de paquets precursora de l'actual Internet, fent servir com a criteri de selecció l'estimació de retards en lloc del nombre de salts.

Al cap d'uns quants anys d'experiència, i de fer-se palesa la sèrie d'inconvenients que presentava, va ser substituïda per una altra que era força diferent. Aquesta, però feia empitjorar el rendiment a mesura que augmentava la càrrega de la xarxa i, per això, hi va haver un tercer canvi on es va variar la funció que calcula els retards previstos.

Per això, es diu que avui som en la tercera generació d'Internet, pel que fa a estratègies d'encaminament.

2.4.3. Adreçament jeràrquic

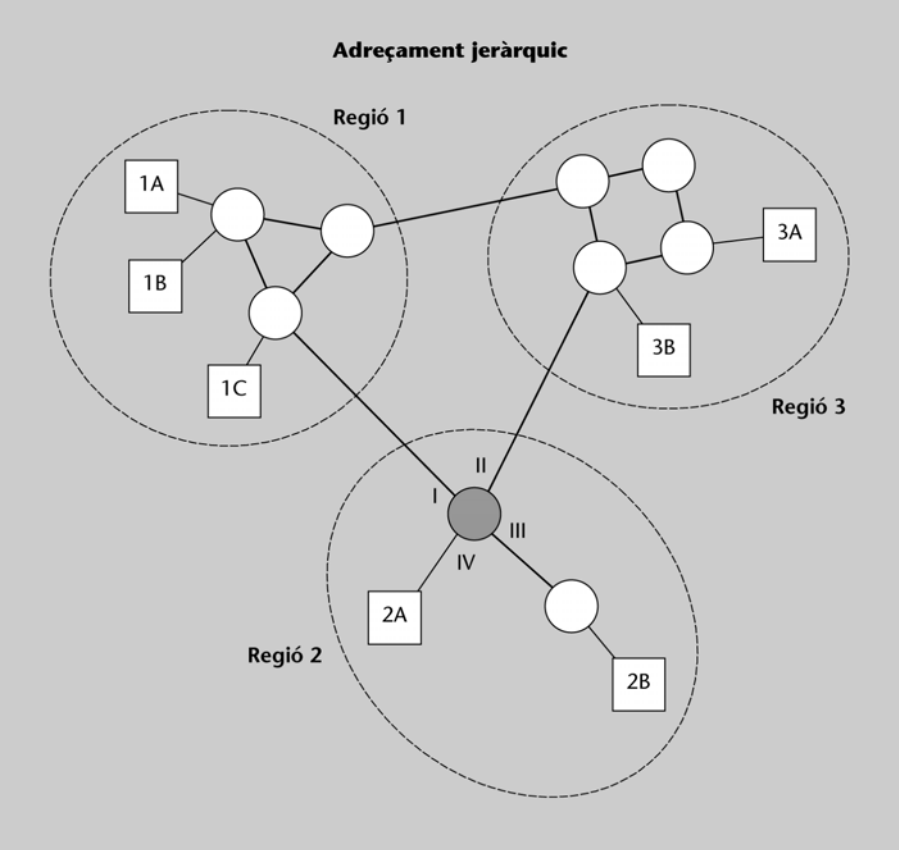
Totes les estratègies que hem vist fins ara tenen un mateix problema: si la xarxa creix, les taules de cada node creixen i la feina per a mantenir-les actualitzades és cada cop més feixuga.

Una possible solució és l'adreçament jeràrquic.

L'**adreçament jeràrquic** consisteix a dividir la xarxa en regions, que també s'anomenen *subxarxes*.

Amb aquesta estratègia, les taules dels nodes han de contenir només una entrada per a totes les estacions que pertanyen a una regió diferent de la del mateix node. Incloure a l'adreça de l'estació una referència a la regió a què pertany fa més ràpida la consulta de les taules i, per tant, l'encaminament dels paquets.

Considerem un exemple en què tenim una xarxa dividida en subxarxes, com es veu a la figura següent:



Aquesta seria la taula corresponent al node marcat, si no s'establís la subdivisió en regions:

Destinació	Port de sortida
1A	I
1B	I
1C	I
2A	IV
2B	III
3A	II
3B	II

Ara bé, si s'agrupen les estacions en regions, la taula del mateix node quedaria de la manera següent:

Destinació	Port de sortida
1	I
2A	IV
2B	III
3	II

Adreces

En aquest exemple les adreces s'han designat seguint el mateix esquema jeràrquic (les estacions de la regió 1 es diuen 1A, 1B…).

Per a totes les estacions que pertanyen a la regió 1 o a la 3, només cal mirar una entrada, la que correspon a la seva regió. Si s'afegeixen estacions a les regions 1 i 3, les taules dels nodes de la regió 2 no canvien.

Adreçament jeràrquic de la xarxa telefònica

La xarxa telefònica fa servir un esquema semblant en la numeració dels abonats. Els números de telèfon estan compostos de grups de xifres que corresponen a diferents "regions": el que correspon a la província (o al grup "mòbils"), a la central local i a l'abonat.

Més endavant veurem que el protocol IP també fa servir un adreçament jeràrquic; les adreces dels ordinadors estan compostes de dues parts: l'identificador de la subxarxa en què es troben i l'identificador de l'ordinador dins de la subxarxa

3. Arquitectures de protocols: el model OSI

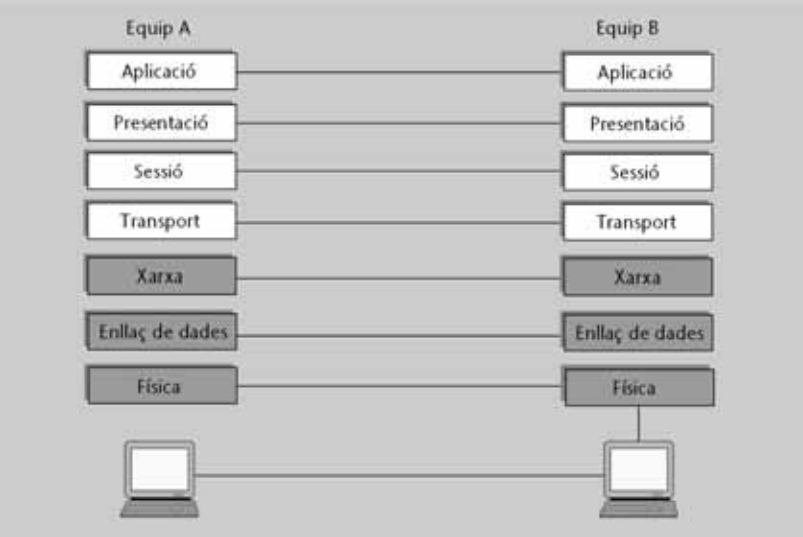
Com ja hem comentat, quan el CCITT i l'ISO van proposar la torre OSI, en el mercat hi havia moltes arquitectures de protocols, unes propietàries, altres obertes, però totes diferents. La torre OSI pretenia ser un model bàsic de referència, un marc per al desenvolupament d'estàndards que permetessin la interoperabilitat completa. Diferents raons han fet que aquest model, i les normes que se'n deriven, no hagin tingut la repercussió que se n'esperava, entre les quals destaquen les següents:

- La complexitat del model, innecessària en molts casos.
- La complexitat de les normes desenvolupades a partir del model.
- L'embranzida del model Internet i la simplicitat dels seus estàndards.

Malgrat que el model OSI no s'hagi imposat en els desenvolupaments, és molt útil com a referència per a explicar què s'ha de fer i com. El fet que sigui tan complet i cartesià el fa molt interessant per a la pedagogia dels conceptes bàsics de xarxes, i les arquitectures que realment es fan servir s'expliquen fent una relació constant amb el model OSI. És per això que en aquest apartat expliquem els set nivells de la torre OSI. A partir del mòdul següent, però, ens centrarem en l'arquitectura TCP/IP, la que constitueix la xarxa Internet.

3.1. Definició

El model bàsic de referència OSI, o simplement model OSI, afronta el problema de les comunicacions de dades i les xarxes informàtiques dividint-lo en nivells. Cada participant de la comunicació incorpora almenys un dels nivells, i els equips terminals els incorporen tots.



Els nivells de la torre es comuniquen en dues direccions:

- **Horitzontal**. La comunicació horitzontal només es dóna entre nivells homònims. Es podria pensar –i de fet és així– que tot el nivell és un únic sistema distribuït que té un representant en cadascun dels equips. Un **protocol de nivell *i*** (en què *i* és l'identificador del nivell corresponent) especifica el format, el significat i la temporització de la informació que circula entre els membres d'aquest sistema distribuït.

- **Vertical**. La comunicació vertical només es dóna entre nivells adjacents d'un mateix sistema. Aquest tipus de comunicació té un caràcter totalment local, és a dir, es pot materialitzar per mecanismes de programari (crides a llibreries, comunicació entre processos, etc.). De manera genèrica, anomenarem aquests mecanismes ***servei de nivell* i** (en què *i* és l'identificador del nivell que dóna el servei, i *i + 1*, el nivell que l'utilitza).

3.2. Els protocols

Amb els protocols, es pretén la intercomunicació d'entitats situades en màquines diferents.

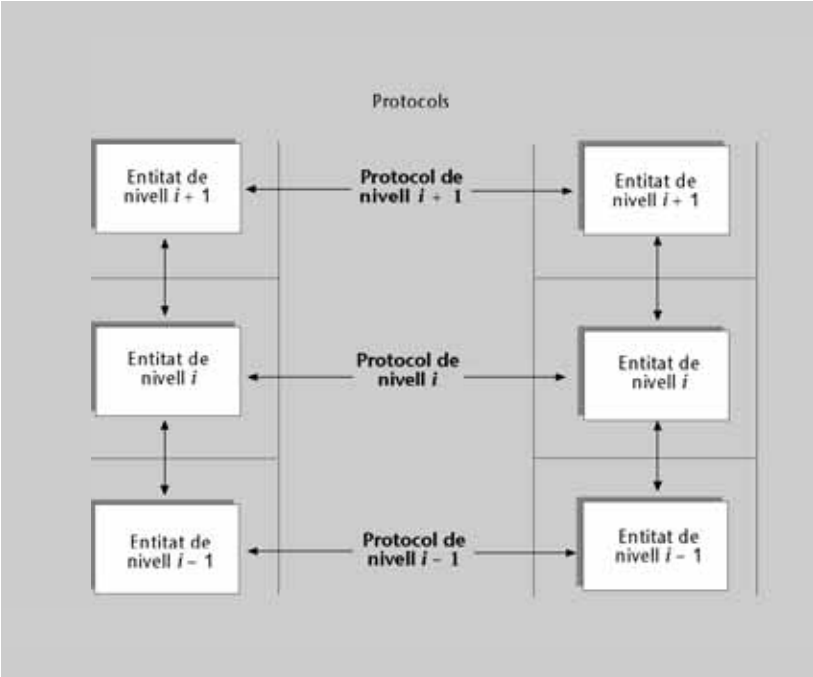
Entenem per **entitat** un sistema electrònic i/o informàtic, ubicat dins d'un nivell del model OSI, que, en combinació amb les altres entitats del mateix nivell situades en altres sistemes, forma un tot (un sistema distribuït).

Per tant, l'**especificació del protocol** que utilitzem s'ha de fer en un estàndard clarament definit que permeti a desenvolupadors que no treballen plegats d'implementar-lo de manera totalment idèntica.

La recepció d'una seqüència de bits en un moment inesperat o d'una longitud incorrecta, o en una disposició imprevista, pot fer que l'entitat destinatària no reaccioni correctament i deixi immediatament el nivell (les dues entitats que el formen) en una situació inestable.

Evidentment, això no es pot permetre. És per això que la implementació del protocol ha de ser extremament curosa i, per tant, l'especificació de l'estàndard també ho ha de ser.

En un sistema trobem tants protocols com nivells el formin. Els sistemes als quals es connecti directament hauran de tenir la mateixa especificació dels estàndards per a tots els nivells que implementi el protocol.



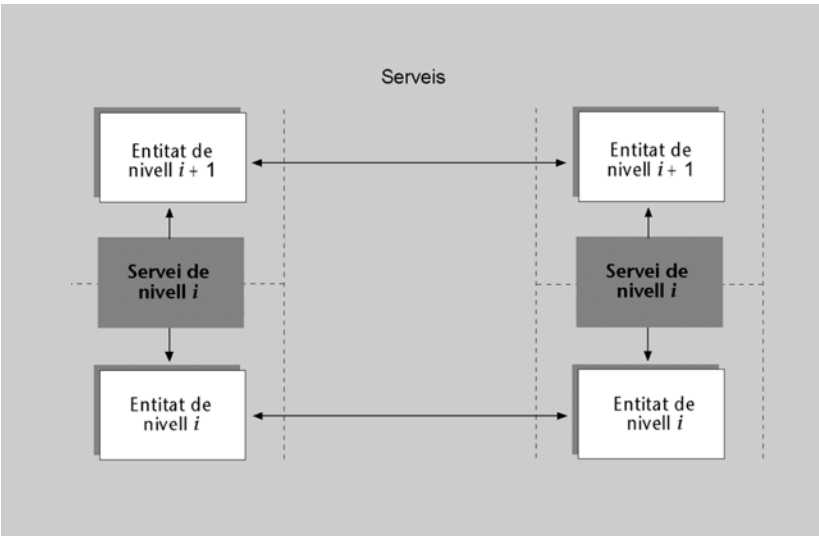
3.3. Els serveis

L'especificació d'un servei és sempre menys estricta que la d'un protocol. Per servei entenem la comunicació que es produeix dins d'una mateixa màquina i, per tant, dins d'un únic àmbit de responsabilitat. La funcionalitat de les interfícies de cadascun dels nivells (i, per tant, de les entitats que la implementen), la determinaran els estàndards que utilitzin, però la seva especificació precisa no és rellevant per als estàndards involucrats. Cada sistema individual les pot materialitzar d'una manera o una altra segons convingui.

En terminologia OSI...

... s'acostuma a dir que els serveis no s'especifiquen, sinó que es descriuen.

Sigui com vulgui, el feix de paper que ocupa la descripció d'un servei sempre serà molt inferior al que ocupa l'especificació d'un protocol.



3.4. Els set nivells del model OSI

3.4.1. Nivell físic

El nivell físic s'encarrega de les tasques de transmissió física dels senyals elèctrics (o electromagnètics) entre els diferents sistemes. Les limitacions del nivell físic (equips de transmissió i recepció, medis de transmissió, amplificadors, etc.) n'imposen unes altres a la resta del sistema: d'una banda, limiten la **velocitat de transmissió** (en bits per segon) i, de l'altra, fan aparèixer una **probabilitat d'error**, el percentatge de bits erronis que arriben a destinació.

La primera limitació és gairebé insalvable partint d'un **medi de transmissió** donat, ja que els paràmetres físics d'aquest imposen un límit superior no superable mitjançant una millora tecnològica. Els medis de transmissió tenen una **capacitat** de transmissió acotada i l'electrònica que utilitzem per a fer-hi les transmissions pot millorar la velocitat de transmissió, però no pot superar aquest límit. Aquesta limitació ve donada per l'amplada de banda, o amplada de l'espectre elèctric, que pot travessar el medi de transmissió (doblar l'amplada de banda vol dir que es pot doblar la velocitat de transmissió) i per la impossibilitat pràctica de rebre el senyal net de qualsevol interferència.

La probabilitat d'error es pot corregir mitjançant algorismes i protocols si el seu valor és contingut. Si les cotes d'error són més petites que l'1%, se'n pot reduir l'impacte si s'agrupen els bits en petits blocs de dades (d'aquesta manera, es minimitza la probabilitat que hi hagi bits erronis dins del bloc) i s'afegeix programari en el receptor que vigili la correcció de les dades rebudes.

Protecció envers els errors

Podem valorar adequadament la importància d'aquesta tasca sabent que el model OSI li dedica el nivell immediatament superior.

3.4.2. Nivell d'enllaç

El nivell d'enllaç dóna un servei similar al nivell físic millorant les característiques de fiabilitat de la transmissió. Afegeix bits addicionals als que formen el missatge per a poder-hi detectar errors de transmissió i poder-ne demanar la retransmissió. Per a poder fer això, cal donar una estructura als bits: s'agrupen en blocs anomenats ***trames***, que contenen els bits de missatge, els bits afegits per a detectar errors i diferents camps de control, com ara el número de trama.

El transmissor calcula aquests bits addicionals a partir de la resta mitjançant una operació que el receptor coneix i aplica igualment. Si el receptor detecta una discrepància entre els bits addicionals (redundants) i els que ha calculat a partir de la resta, detecta que el bloc és erroni i en demanarà una retransmissió.

L'addició dels bits redundants i la seva comparació en recepció s'anomena ***detecció d'errors***. Els procediments de correcció a partir d'aquesta detecció es diuen ***control d'errors***.

A més d'aquesta tasca de control d'errors, el nivell d'enllaç en du a terme una altra d'important: el **control de flux**.

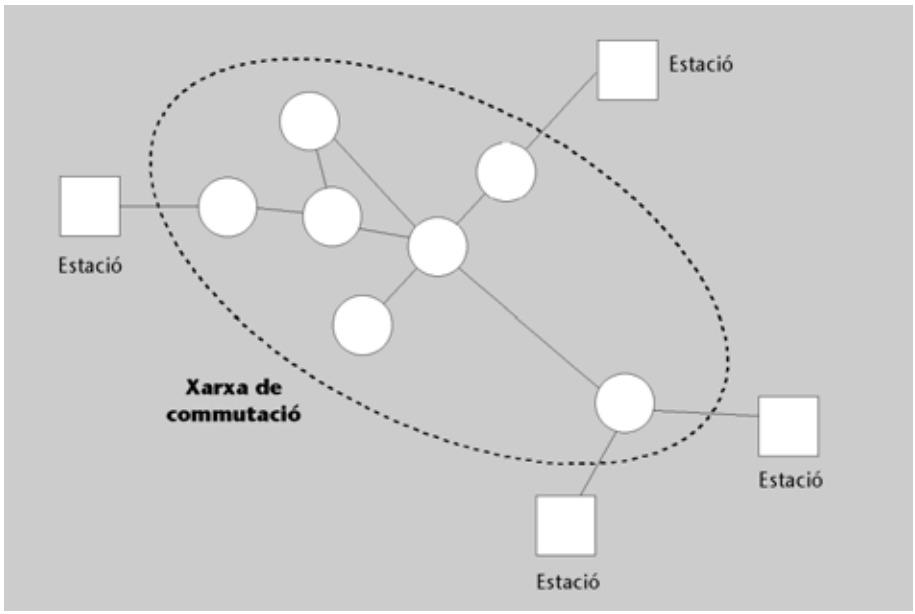
El receptor ha de processar les trames a mesura que les rep. En alguns casos, aquest procés comporta una despesa de temps mínima, tenint en compte la velocitat de transmissió (per exemple, guardar les dades en disc), però, en d'altres, pot ser costós. En aquesta situació, el receptor necessita un sistema que notifiqui al transmissor que momentàniament aturi la transmissió per tal de tenir temps per a dur a terme aquesta tasca.

El nivell d'enllaç no solament serveix per a controlar línies punt a punt, sinó també per a controlar línies compartides per diferents terminals (xarxes d'àrea local).

3.4.3. Nivell de xarxa

Ja hem vist que les xarxes de commutació de paquets són el tipus de xarxa més eficient per a transmetre dades des de diferents punt de vista: ús de recursos, cost, capacitat de mantenir diferents connexions simultànies, etc. El model OSI, per tant, només parla de xarxes de commutació de paquets.

En el nivell de xarxa, es distingeix entre estacions terminals i nodes de commutació.



La paraula *xarxa* prové d'aquesta imatge: els enllaços són els cordills que uneixen els nusos o sistemes.

Els nodes de commutació tenen diferents enllaços cap a altres nodes o cap a terminals, i són els que permeten que els paquets viatgin per la xarxa des d'una estació terminal a una altra.

Hi ha dos tipus de xarxes de commutació de paquets:

- Xarxes que funcionen en mode **datagrama**. Podríem dir que aquesta mena de xarxes són les bàsiques, ja que incorporen la funcionalitat mínima perquè un grup de nodes i de terminals interconnectats puguin fer passar informació d'un punt a un altre.

  El problema de les xarxes en mode datagrama és que es molt difícil garantir el lliurament correcte i complet de la informació a causa que els diferents paquets que formen la transmissió no mantenen un lligam conegut per la xarxa. Els paquets poden arribar fora d'ordre, duplicats, o fins i tot es poden perdre sense que la xarxa hi pugui fer gran cosa. Es deixa al terminal receptor la responsabilitat de restaurar els possibles danys que hagi tingut el paquet durant la transmissió.

- Xarxes que funcionen en mode **circuit virtual**. Aquestes xarxes poden garantir que el lliurament dels paquets sigui correcte i complet, i ho fan aportant el concepte de **connexió** propi de les xarxes de commutació de circuits. És el circuit virtual. Aquest permet d'agrupar els paquets relacionats de manera que el receptor els rep correctament sense problemes d'ordre, pèrdua o duplicació.

L'adreçament és un dels conceptes bàsics del nivell de xarxa. Aquest permet a la xarxa, com a sistema distribuït però únic, de decidir quin dels múltiples terminals és el destinatari final.

L'encaminament és el procediment que permet a aquest sistema distribuït de conduir la informació pels diferents nodes d'origen a destinació, minimitzant el trajecte i el temps de trànsit, optimitzant recursos, etc.

3.4.4. Nivell de transport

El nivell de transport permet una connexió fiable sobre qualsevol tipus de xarxa (fiable o no). És en les xarxes de commutació de paquets en mode datagrama on aquest nivell es mostra més important, ja que és el responsable de controlar les possibles deficiències de las transmissió.

És important distingir una xarxa en mode datagrama amb un nivell de transport d'una xarxa en mode circuit virtual sense nivell de transport (o amb un nivell de transport nul). En les xarxes en mode circuit virtual sense nivell de transport, aquest nivell i els superiors només s'implementen en els terminals i no en els nodes. Aquest punt és cabdal, ja que permet que xarxes "simples" (en mode datagrama) funcionin tan bé com xarxes més complexes (en mode circuit virtual) simplement afegint-hi funcionalitat als extrems. Internet és un exemple d'aquest raonament.

La funció principal d'aquest nivell és assegurar la qualitat de transmissió entre els terminals que fan servir la xarxa, i això implica recuperar errors, ordenar correctament la informació, ajustar la velocitat de transmissió de la informació (control de flux), etc.

3.4.5. Nivells de sessió, presentació i aplicació

Aquests tres nivells s'acostumen a explicar conjuntament perquè hi ha pocs exemples pràctics de protocols de sessió i de presentació i, a més, l'arquitectura Internet delega totes les feines per sobre de transport a l'aplicació. Tot i així, en el model OSI estan definits com tres nivells diferents i independents, amb atribucions pròpies.

El nivell de sessió és, teòricament, l'encarregat de gestionar les connexions de llarga durada, la recuperació de caigudes de xarxa de manera transparent i els protocols de sincronia entre aplicacions.

El nivell de presentació és l'encarregat de fer que les diferents plataformes (sistemes operatius, processadors, etc.) es puguin entendre en connectar-se mitjançant un mateixa xarxa. Dit d'una altra manera, s'encarrega de definir una manera universal de codificar la informació. Aquesta codificació pot tenir propietats d'eficiència (per mitjà de la compressió, per exemple), propietats de confidencialitat (per mitjà de la criptografia), etc.

El nivell de presentació...

... s'encarrega de solucionar el problema de l'heterogeneïtat.

En el nivell d'aplicació resideixen els programes. Hi podem trobar servidors, clients que accedeixen a aquests, aplicacions que treballen segons un model simètric (*peer-to-peer*), etc.

Resum

En aquest mòdul s'han presentat els diferents sistemes de comunicacions que s'utilitzen actualment, seguint un fil conductor històric, la qual cosa permet d'entendre el perquè de moltes de les limitacions i particularitats que tenen.

També s'ha mostrat el concepte de xarxa de gran abast amb commutació de paquets, amb els seus objectius i característiques més rellevants.

I, finalment, s'ha exposat l'arquitectura de protocols, un concepte bàsic en xarxes de computadors. Com a paradigma d'aquest concepte, s'ha explicat el model de referència OSI i s'han descrit els set nivells que el formen.

Activitats

1. Comenteu les diferències que hi ha entre protocol i servei.

2. Assigneu els diferents nivells de les xarxes que coneixeu a les funcions explicades en aquest mòdul.

Bibliografia

Pierce, J.R. (1995). *Señales. La ciencia de las telecomunicaciones*. Nova York: Scientific American Library.

Sloman, M; Kramer, J. (1987). *Distributed Sustems and Computer Networks*. Englewood Cliffs: Prentice Hall.