

1400011555  
COPIA 1

**UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA**  
**DEPARTAMENT D'ARQUITECTURA DE COMPUTADORS**

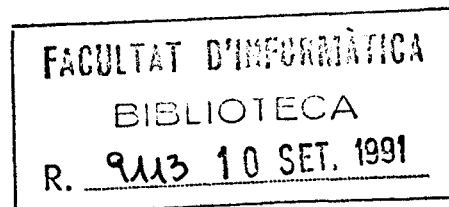
---

---

**ESTUDI I PROPOSTA D'ESQUEMES**  
**D'AVALUACIÓ PER A DISPOSITIUS ATM**

**TESI DOCTORAL**

Presentada a la Universitat Politècnica de Catalunya per a  
l'obtenció del títol de Doctor en Informàtica



**Autor: Josep Solé i Pareta**

**Director: Jordi Domingo i Pascual**

BARCELONA, febrer de 1991

*Aquest treball ha estat subvencionat per la CICYT sota el contracte TIC 352/89, "Diseño de sistemas distribuidos".*

*A la Catarina i als meus pares*

### **Agraïments**

*Vull agrair a en Jordi Domingo i Pascual, director d'aquesta tesi, l'assessorament i dedicació prestada en tot moment, a en Jorge García Vidal la seva inestimable col.laboració en la realització i posta a punt dels programes de simulació i mesura que s'hi han utilitzat i, en general, a tots els membres del Departament d'Arquitectura de Computadors l'ajut que, sense excepció, he rebut d'ells quan l'he necessitat. Sense tot aquest suport no hagués estat possible fer arribar a bon terme aquest treball.*

# PREÀMBUL

**E**l desenvolupament de sistemes de comunicació amb noves prestacions requereix la disponibilitat de potents mecanismes de mesura que permetin provar-ne l'efectivitat. Sovint aquests mecanismes s'han de dissenyar al mateix temps i d'acord amb les característiques del propi sistema.

El mode de transmissió asíncron (ATM) és el que el CCITT ha recomanat com a base de l'estructura de transport de la futura xarxa de serveis integrats de banda ampla (IBCN) -l'ATM és una tècnica pel transport d'informació inspirada en la commutació ràpida de paquets que pot treure profit dels avenços tecnològics en el camp de les transmissions òptiques i de la integració de circuits (VLSI)-. L'ús, però, d'aquesta tècnica només té sentit si, realment, permet aconseguir una optimització de l'assignació dels recursos disponibles, i això sembla que és així pel caràcter fluctuant que tindrà el tràfic de la majoria de serveis als que haurà de donar suport aquesta xarxa. Tot i amb això la qualitat de servei proveïda per la xarxa serà tan bona com ho sigui l'eficiència dels elements que la integren, i el grau de servei tan alt com la capacitat que tinguem per fer una estimació de la demanda del tràfic durant els períodes d'activitat.

És en aquests aspectes on es posa de manifest la necessitat de disposar d'esquemes d'avaluació dels dispositius i de mesura del tràfic en entorns ATM.

La gran varietat de serveis que podran ser presents en la futura IBCN (veu, dades, video i serveis multimèdia) produiran una diversitat de tipus de tràfic que fa molt difícil la consecució d'aquest objectiu pels mètodes convencionals basats en un model de tràfic concret. S'ha de reconèixer que, a hores d'ara, l'encert de l'adopció de la tècnica ATM està per comprovar a causa, també, del desconeixement de les característiques estadístiques del tràfic que oferiran un munt d'aquests serveis, molts d'ells encara per definir.

Basant-nos, com a característica més relevant, en l'esmentada condició fluctuant del tràfic, per la qual el ritme de generació de paquets (cel·les ATM) es produeix a batzegades (ràfegues); el treball que es presenta a continuació preten establir les línies bàsiques d'un esquema d'avaluació que s'ajusti a les necessitats de l'entorn ATM, alhora senzill i manejable, i que permeti avançar-nos en la seva realització al coneixement estricte del tràfic.

Aquest treball s'ha dividit en tres parts: La primera és una introducció a les comunicacions en banda ampla, la segona se centra en la caracterització i mesurament del rafegueig del tràfic ATM i en la tercera es fa un estudi de les possibilitats de l'avaluació dels dispositius ATM des de la perspectiva del rafegueig del tràfic.

# INDEX

## PRIMERA PART: INTRODUCCIÓ A LES COMUNICACIONS EN BANDA AMPLA

	Pàg.
<b>CAPÍTOL 1: NOVES DIRECCIONS EN LES COMUNICACIONS</b>	
<b>1.1 EVOLUCIÓ DE LES XARXES DE TELECOMUNICACIÓ</b>	<b>1</b>
1.1.1 Digitalització	2
1.1.2 Xarxa digital de serveis integrats de banda estreta (ISDN)	3
1.1.3 Xarxes de difusió	4
1.1.4 Conclusió	4
<b>1.2 LA FUTURA XARXA DE SERVEIS INTEGRATS DE BANDA AMPLA</b>	<b>5</b>
1.2.1 Serveis	5
1.2.2 Classificació dels serveis	6
1.2.3 Requisits de la IBCN	7
1.2.4 Tecnologia	7
1.2.5 Conclusió	8
<b>1.3 TÈCNiques DE COMMUTACIÓ PER A IBCN</b>	<b>8</b>
1.3.1 Commutació de circuits	9
1.3.2 MRCS "Multirate Circuit Switching"	10
1.3.3 Commutació ràpida de circuits (FCS)	10
1.3.4 Commutació de paquets (PS)	11
1.3.5 Commutació ràpida de paquets (FPS) i ATM	11
1.3.6 Diferències entre BS i ATM	12
<b>1.4 CONCLUSIÓ</b>	<b>13</b>
<b>CAPÍTOL 2: ESTRUCTURA DE LA FUTURA XARXA IBCN/ATM</b>	
<b>2.1 INTRODUCCIÓ</b>	<b>15</b>
<b>2.2 CARACTERÍSTIQUES DEL SEVEI ATM</b>	<b>16</b>
2.2.1 Amplada de banda	16
2.2.2 Retard de trànsit	17
2.2.3 Pèrdua de cel.les	17
2.2.4 Qualitat del servei	18
<b>2.3 GESTIÓ DE XARXA</b>	<b>19</b>
2.3.1 Control d'admissions	19
2.3.2 Funció de policia	19
2.3.3 Mecanismes de prioritats	19
<b>2.4 ASPECTES GENERALS DE L'ARQUITECTURA IBCN/ATM</b>	<b>20</b>
2.3.1 Model de referència	21
2.3.2 Accés d'usuari	24



	Pàg.
<b>CAPÍTOL 3: ESTRUCTURES DE COMMUTACIÓ PER A ATM</b>	
<b>3.1 CRITERIS DE SELECCIÓ DEL COMMUTADOR</b>	<b>26</b>
3.1.1 Aplicació	26
3.1.2 Distribució de càrrega	26
3.1.3 Tractament de capçaleres	27
3.1.4 Fiabilitat	27
3.1.5 Modularitat	27
3.1.6 Assequibilitat tecnològica	27
<b>3.2 ESTRUCTURES BÀSIQUES DELS COMMUTADORS</b>	<b>27</b>
3.2.1 Bus TDM	28
3.2.2 Matriu de busos ranurats	28
3.2.3 Anell ranurat	29
3.2.4 Memòria comuna	30
3.2.5 Xarxes d'interconnexió	30
<b>3.3 CONCLUSIÓ</b>	<b>31</b>

**SEGONA PART:            CARACTERITZACIÓ I MESURAMENT DEL TRÀFIC ATM**

	Pàg.
<b>CAPÍTOL 4:        <b>CARACTERITZACIÓ DEL TRÀFIC A RÀFEGUES: CONCEPTE DE RAFEGUEIG</b></b>	
<b>4.1 CARACTERITZACIÓ DEL TRÀFIC ATM</b>	<b>33</b>
4.1.1 Seqüència aleatòria de cel.les	33
4.1.2 Seqüència aleatòria de ràfegues	34
4.1.3 Tràfic a ràfegues	35
<b>4.2 DEFINICIONS DE RAFEGUEIG</b>	<b>35</b>
4.2.1 Sobre seqüències aleatòries de cel.les	35
4.2.2 Sobre seqüències aleatòries de ràfegues	36
4.2.3 Definició adoptada	37
<b>4.3 QUANTIFICACIÓ DEL RAFEGUEIG</b>	<b>38</b>
<b>4.4 CONCLUSIÓ</b>	<b>39</b>
<b>CAPÍTOL 5:        <b>MESURAMENT DEL RAFEGUEIG</b></b>	
<b>5.1 INTRODUCCIÓ</b>	<b>41</b>
<b>5.2 DESCRIPCIÓ DEL MÈTODE DE MESURAMENT</b>	<b>42</b>
5.2.1 Criteri d'identificació de ràfegues	42
<b>5.3 DETALLS DE L'ALGORISME</b>	<b>43</b>
5.3.1 Presa de mesures	43
5.3.2 Anàlisi estadístic	45
<b>5.4 EXEMPLE D'APLICACIÓ</b>	<b>46</b>
5.4.1 Mesures	47
5.4.2 Resultats	47
<b>CONCLUSIÓ</b>	<b>53</b>



**TERCERA PART:      AVALUACIÓ DE DISPOSITIUS ATM DES DE LA PERSPECTIVA DEL RAFEGUEIG**

	Pàg.
<b>CAPÍTOL 6:      INFLUÈNCIA DEL RAFEGUEIG EN L'ENTORN ATM</b>	
6.1 INTRODUCCIÓ	55
6.2 ESTUDI SOBRE UNA MATRIU DE BUSOS	56
6.2.1 Resultats	57
6.3 D'ALTRES ESTUDIS	59
6.3.1 Model de font	59
6.3.2 "Queueing Behavior of Statistical Multiplexers with Correlated Inputs"	61
6.3.3 "Statistical Multiplexing of Identical Bursty Sources in ATM Networks"	62
6.3.4 "Characteristics of a Cell Multiplexer for Bursty ATM Traffic"	65
6.4 CONCLUSIÓ	66
<b>CAPÍTOL 7:      AVALUACIÓ DE DISPOSITIUS ATM</b>	
7.1 INTRODUCCIÓ	67
7.2 POSSIBLES ESQUEMES D'AVLUACIÓ	68
7.2.1 Esquema basat en la càrrega oferta	69
7.2.2 Esquema basat en el rafegueig del tràfic	70
7.3 OBJECTIU	70
7.4 PROPOSTA D'UN PATRÓ DE TRÀFIC DE PROVES	70
7.4.1 Model de font	70
7.4.2 Distribució del tràfic a l'entrada i a la sortida del commutador	71
7.4.3 Configuració del model	72
7.5 AVALUACIÓ	72
7.6 EXEMPLE D'APLICACIÓ	73
7.6.1 Escenari de treball	73
7.6.2 Selecció de valors	73
7.6.3 Resultats	75
7.6.4 Conclusions	78
7.7 REFINAMENT DEL PATRÓ DE TRÀFIC	78
7.8 SUMARI	80

	Pàg.
<b>CAPÍTOL 8: MODELATGE DE LES CARACTERÍSTIQUES DE RAFEGUEIG DEL TRÀFIC ATM</b>	
8.1 INTRODUCCIÓ	82
8.2 MÈTODE	83
8.3 ESTRATÈGIES	83
8.4 EXEMPLE D'APLICACIÓ	88
8.4.1 Esquema de treball pel tràfic de referència	88
8.4.2 Modelatge del tràfic de referència	90
8.4.3 Esquema de treball pels models de tràfic	93
8.4.4 Resultats	94
8.4.5 Conclusions	97
8.5 SUMARI	97

**CONSIDERACIONS FINALS**

	Pàg.
<b>CAPÍTOL 9: CONCLUSIONS I LÍNIES OBERTES</b>	
9.1 CARACTERITZACIÓ DEL RAFEGUEIG	99
9.2 MESURAMENT DEL RAFEGUEIG	100
9.3 INFLUÈNCIA DEL RAFEGUEIG EN L'ENTORN ATM	101
9.4 AVALUACIÓ DE DISPOSITIUS ATM	102
9.5 MODELATGE DE LES CARACTERÍSTIQUES DE RAFEGUEIG	103
9.6 BANC DE PROVES PER A DISPOSITIUS ATM	103
<b><u>ANNEXOS</u></b>	
ANNEX 1: MOMENTS DEL MODEL GMDP	105
ANNEX 2: DETALLS DEL SIMULADOR UTILITZAT	107
GLOSARI DE TERMES	109

**PRIMERA PART:**

**INTRODUCCIÓ A LES COMUNICACIONS  
EN BANDA AMPLA**

## **NOVES DIRECCIONS EN LES COMUNICACIONS**

L'era de la informació s'està caracteritzant per l'auge de la demanda de serveis teleinformàtics de tota mena i de serveis d'àudio i vídeo, comercial i privat, afavorint que les empreses subministradores d'aquests serveis obtinguin beneficis de forma immediata i augurant-les-hi unes perspectives extraordinàriament encoratjadores. El preu de tot això és que, tard o d'hora, s'haurà d'assumir un repte de tan difícil consecució com és la integració de tots els serveis en una sola xarxa de telecomunicació, ja que és la solució més aventajosa des de qualsevol punt de vista, econòmic, de planificació i desenvolupament, d'instal·lació i posta en marxa, de funcionament, de manteniment, etc. [AMB87].

Per contra, donades les limitacions dels recursos disponibles i la urgència de les demandes, la reacció predominant, fins ara, davant d'aquesta situació ha estat el desenvolupament, en paral·lel, dels serveis i del suport de comunicació que els hi era necessari, la qual cosa ha conduït a l'existència d'un munt de xarxes de propòsit específic que, com a molt, comparteixen determinats recursos de transmissió i commutació (és habitual per exemple que les xarxes públiques de transmissió de dades en la majoria de països es basin en la infraestructura de la xarxa telefònica existent).

En aquest capítol es descriu l'evolució de les xarxes de telecomunicació fins a emprendre el camí cap a la integració definitiva de tots els serveis en una sola xarxa, la futura IBCN ("Integrated Broadband Communications Network"), i es fa un repàs de la viabilitat de les possibles alternatives de commutació per donar suport al funcionament de la IBCN acabant pel mode de transferència asíncron (ATM) que és el que de moment ha subscrit el CCITT.

### **1.1 EVOLUCIÓ DE LES XARXES DE TELECOMUNICACIÓ**

Inicialment (cap als anys seixantes) les xarxes públiques de telecomunicació que hi havia implantades a la majoria de països estaven, cadascuna d'elles, especialment dissenyades per a un determinat servei, destacant-ne bàsicament dos grans grups: les basades en la commutació de circuits, per a comunicacions selectives (télex i telefonia), i les xarxes de difusió (ràdio i televisió). Tots els seus components eren, encara, totalment analògics i els medis de transmissió que s'hi utilitzaven eren els conductors (cables de parells simètrics i cables coaxials) i l'espai lliure (radioenllaços).

L'explotació de les xarxes en commutació de circuits sempre s'ha realitzat en dues àrees ben diferenciades: la pròpia de commutació que abasta la interconnexió i el control, i la de transmissió. Referent a la commutació, les primeres centrals eren del tipus electromecàniques ("rotary"), el tret més significatiu del les quals és la utilització del control progressiu (la connexió es va establint sense una comprovació prèvia de l'existència de camins lliures en el tram següent). La segona generació de centrals de commutació van ser les denominades de barres encreuades ("crossbar") que ja

incorporen un organ de control específic per a la supervisió de la interconnexió. Pel que fa a les tècniques de transmissió, la multiplexació per divisió en freqüència (FDM) és la que marcava la pauta.

### 1.1.1 Digitalització

El gran avenç de les tecnologies d'integració a gran escala (VLSI) van conduir a una progressiva digitalització de les xarxes. Es començà substituint el medi de transmissió tradicional per fibra òptica, als punts on més es requeria, i utilitzant multiplexació per divisió en el temps (TDM); poc a poc es van anar modernitzant les centrals, primer introduïnt el control electrònic en les centrals de barres encreuades per, més endavant, substituir les centrals completes per d'altres de digitals amb control per programa emmagatzemat (SPC). Les funcions de commutació i transmissió s'han anat aproximant cada vegada més pel fet de treballar en ambdós casos amb trames TDM, essent possible la commutació sense una desmultiplexació prèvia (figura 1.1).

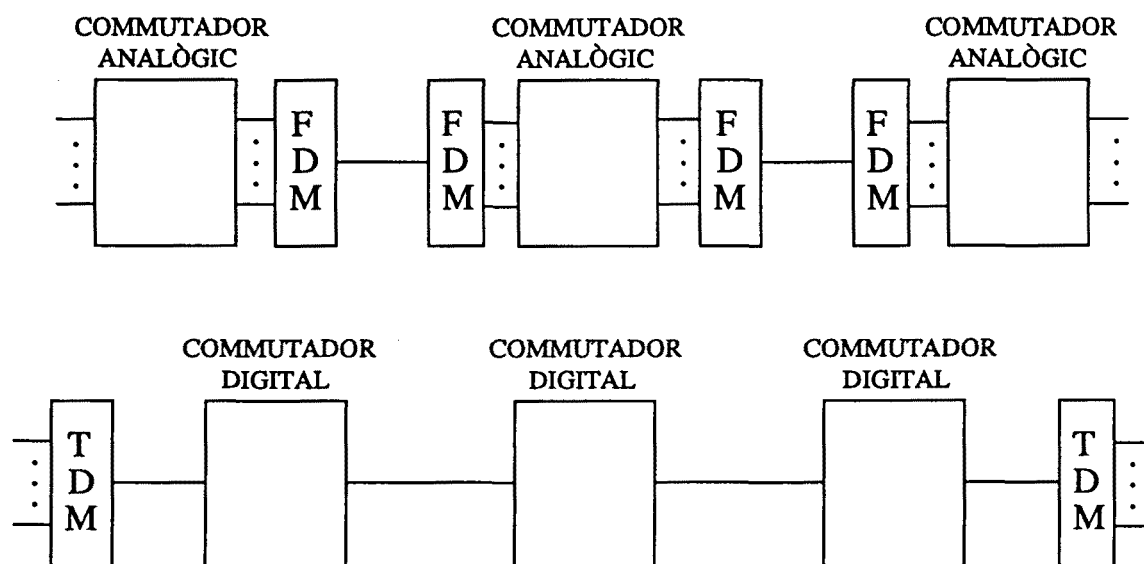


FIGURA 1.1 Primer pas, integració de la transmissió i de la commutació.

Aquest progrés comportà, també, el despertar de la de transmissió de dades, a unes velocitats i amb unes prestacions impensables en la xarxa de télex. En un principi aprofitant el mateix suport de la xarxa telefònica i l'ajuda de modems -sia a través de les pròpies línies commutades, sia a través de línies dedicades- per acabar, quan va ser prou rendible, amb la creació d'una xarxa exclusiva per a aquest servei. La infraestructura telefònica per a la transmissió de dades encara s'utilitza avui dia, bàsicament per gaudir de l'amplia cobertura que proporciona, perquè les prestacions que dona són força limitades (velocitat de transmissió de 1200 a 2400 bps com a màxim i probabilitat d'error típica de  $10E-3$ ). La contractació de línies dedicades si l'aplicació no ho requereix pot sortir més cara, però garanteix una millor qualitat (velocitat de transmissió fins a 9600 bps i una probabilitat d'error de l'ordre de  $10E-5$ ). La digitalització, però, de la xarxa telefònica ha invertit el procés, i ara s'utilitzen tècniques de transmissió de dades per a la transmissió de veu (PCM) en coexistència amb les tècniques analògiques tradicionals.

La xarxa pública de transmissió de dades es va inspirar en una altra filosofia de funcionament, la commutació de paquets, i s'hi va emprar ja la tecnologia digital que en

molts països es complementa amb la infraestructura analògica de la xarxa telefònica que s'aprofita com a suport de transmissió. L'accés a aquesta xarxa està totalment normalitzat (recomanació X.25 del CCITT), i això en facilita la compatibilitat i n'augmenta la cobertura, ja que totes les xarxes d'aquest tipus del món poden estar interconnectades.

**1.1.2 Xarxa digital de serveis integrats de banda estreta (ISDN)**

L'augment de la demanda tant de nous serveis com d'accés als existents, i la progressiva digitalització de les xarxes convencionals, culmina amb la integració de serveis de veu i dades en una sola xarxa (ISDN). El 1984 l'assemblea Plenària del CCITT va aprovar les recomanacions de la sèrie I per a la ISDN, allí la ISDN es defineix com "... una xarxa que proporciona connectivitat digital extrem a extrem per a donar suport a una ampla gamma de serveis, a la qual els usuaris hi accedeixen a través d'un nombre limitat d'interfícies multipropòsit usuari-xarxa". La interfície d'accés bàsic proporciona dos canals B (64 Kbps) per a veu i un canal D (16 Kbps) per a senyalització i dades, i l'accés primari proporciona, a més del canals B, canals d'alta velocitat denominats H. La interfície d'accés primari pot donar una velocitat de transmissió de 2 Mbps (1.5 Mbps als EEUU). Les taules 1.1 i 1.2 presenten una visió més detallada del panorama de possibilitats d'accés de la ISDN.

TAULA 1.1 - Canals normalitzats per a la ISDN

Canal	Velocitat de transmissió (Kbps.)	
	Jerarquia 1544 Kbps. (USA)	Jerarquia 2048 Kbps. (Europa)
B		64
H0		384
H1	1536	1920
H2	43000-45000	32768
H4		132032-138240

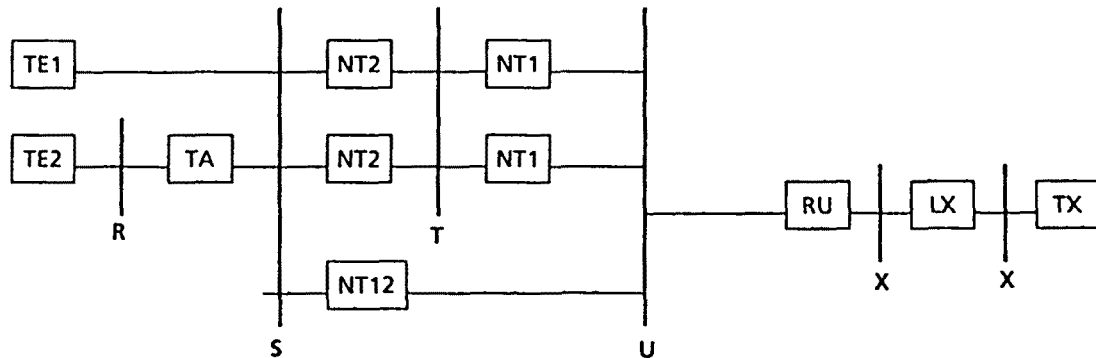
TAULA 1.2 - Interfícies d'accés normalitzades per a la ISDN

Accés bàsic	Accés primari	
	USA	Europa
2 B + D (192 Kbps)	23 B + D (1544 Kbps) 3 H0 + D (1544 Kbps) H1 (1544 Kbps) etc.	30 B + D (2048 Kbps) 5 H0 + D (2048 Kbps) H1 + D (2048 Kbps)

La transmissió en la ISDN és completament digital i síncrona, el sevei bàsic és simplement una multiplexació en el temps (TDM) dels canals B i D i el sevei primari utilitza les jerarquies normalitzades per a la transmissió digital [LEE88].

El funcionament de la xarxa es basa en la commutació de circuits, havent-se de

combinar als nodes la commutació espacial i la temporal, i la senyalització entre els diversos elements de la xarxa segueix el sistema CCITT n. 7. A la figura 1.2 s'hi pot veure un esquema de la configuració ISDN.



- |   |                                    |
|---|------------------------------------|
| TE1 Terminal d'usuari tipus 1 (ISDN)        | RU Unitat remota                   |
| TE2 Terminal d'usuari tipus 2 (no-ISDN)     | LX Commutador local                |
| TA Adaptador de terminal                    | TX Commutador de trànsit           |
| NT1 Equip terminal de xarxa 1               | R, S, T, U i X Punts de referència |
| NT2 Equip terminal de xarxa 2               |                                    |
| NT12 Equip terminal de xarxa combinat 1 i 2 |                                    |

FIGURA 1.2 Arquitectura de la ISDN, interfícies i punts d'accés.

### 1.1.3 Xarxes de difusió

Pel que fa a les xarxes de difusió el canvi més important ha estat, en general, la progressiva utilització de la transmissió via satel.lit, la qual cosa ha facilitat les comunicacions intercontinentals permetent, entre altres coses, que les imatges dels esdeveniments més rellevants de la nostra història recent arribessin a tot el planeta en directe o en qüestió de segons. Un aspecte digne de menció respecte a les xarxes de difusió de televisió en particular, és que mentre a Europa s'han continuat basant en la transmissió via ràdio, als Estats Units la transmissió per cable li ha anat guanyant terreny gradualment; aquesta divergència pot ser un inconvenient important de cara a l'adaptació de les infraestructures actuals als canvis futurs.

### 1.1.4 Conclusió

En resum, a hores d'ara l'evolució de les xarxes de telecomunicació ha estat marcada per dos aspectes definitius: la digitalització de les xarxes i la integració de serveis de banda estreta (veu i dades) amb la conseqüent digitalització del bucle d'abonat (aquest últim aspecte encara no totalment estès). El següent pas va en la línia de fer evolucionar la ISDN cap a la banda ampla (B-ISDN o IBCN) de manera que permeti, també, la integració d'imatges fixes i video. La concepció de la futura IBCN està marcada per cinc tendències significatives: l'assimil·lació de nous serveis de banda ampla, la inclusió de serveis de valor afegit als ja existents, la consecució de *xarxes intel.ligents*, la popularització de les comunicacions mòbils i la gestió integrada de la xarxa [AMB89].



La figura 1.3 reflexa gràficament l'evolució que ha tingut lloc fins ara i les previsions per un futur pròxim. A banda de solucions intermitges com per exemple les xarxes d'àrea metropolitana, la plena comercialització de la IBCN no s'espera fins més enllà del 1995 [KOH88].

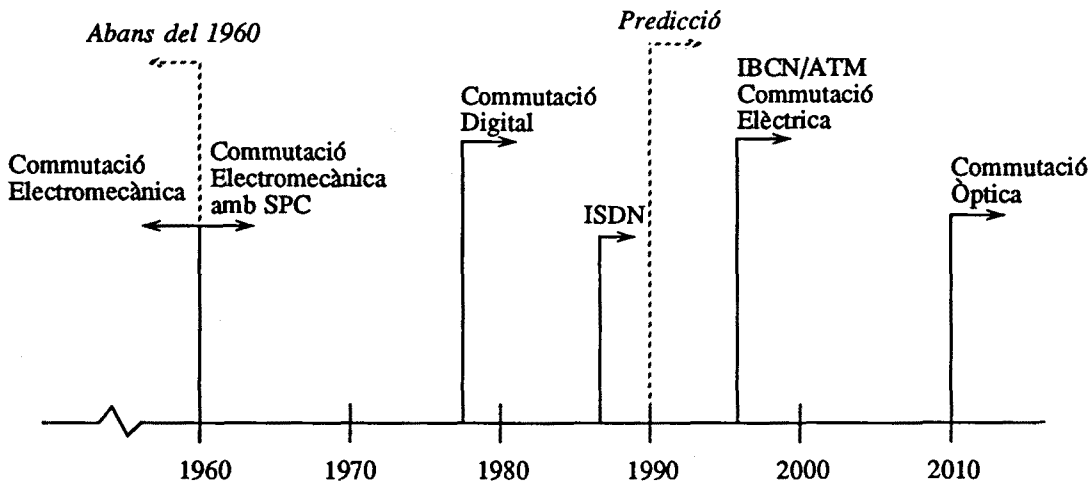


FIGURA 1.3 Evolució històrica de les tecnologies de commutació.

## 1.2 LA FUTURA XARXA DE SERVEIS INTEGRATS DE BANDA AMPLA

La pròxima generació de sistemes de comunicació a gran escala han de ser alguna cosa més que el refundiment dels actuals. Si realment es vol disposar d'una xarxa de propòsit general que s'acomodi fàcilment a les necessitats que vagin surgint, s'ha de pensar en una xarxa capaç de proveir connexions en un ampli rang de velocitats, totalment flexible a la variació de la velocitat de les connexions ja establertes, que faciliti tant la interconnexió punt a punt com la multipunt, que permeti la distribució d'informació a grups d'usuaris (difusió), i sobretot, que sigui capaç d'integrar qualsevol altre servei nou. Com a xarxa de propòsit general que vol ser la futura IBCN haurà de cobrir aquests i d'altres requisits, més endavant (apartat 1.2.3) tornarem a insistir en aquest aspecte, ara començarem per donar una visió general dels tipus de serveis que haurà de suportar.

### 1.2.1 Serveis

La introducció de la xarxa IBCN haurà de fer possible el desenvolupament d'un nou conjunt de serveis i la millora de qualitat dels ja existents (incorporar els serveis de difusió, permetre la transmissió d'imatges mòbils amb el grau de definició desitjat i la transmissió a gran velocitat de documents, gràfics, grans volums de dades, etc).

Essent més exhaustius, la IBCN haurà de donar suport a les següents classes de serveis [BAT88]:

*Serveis existents*, serveis de veu com la telefonia tradicional i serveis de transferència de dades com els que actualment proveeixen les xarxes X.25.

*Serveis de transmissió de dades a alta velocitat*. La ferma implantació de les xarxes d'àrea local -es pot atribuir a l'ús creixent de PCs cada vegada més potents

i d'estacions de treball d'altres prestacions- suggereix la necessitat d'un servei de suport a la interconnexió de xarxes locals, servei que requerirà velocitats de transmissió força més altes que les de la transmissió de dades tradicional, de 1 a 10 Mbps.

*Serveis de transferència d'imatges.* La disponibilitat d'altres velocitats de transmissió pot fer canviar completament determinats hàbits d'interrelació al món dels negocis (els desplaçament per reunions, la utilització del correu convencional, etc.). La videotelefonía farà molt més còmoda la conversa telefònica, la videoconferència farà possible la celebració de reunions sense desplaçaments, la transferència de material gràfic (esquemes, fotografies, etc.) podrà ser quasi instantània, el correu electrònic que actualment només permet l'intercanvi de missatges de text podrà incorporar el tractament de veu, imatges i seqüències completes de video.

*Serveis de video.* La distribució de la televisió comercial, l'accés a videos d'entreteniment, etc., a través de la pròpia xarxa de banda ampla obre unes grans perspectives de mercat alhora que ofereix avantatges substancials respecte a les alternatives actualment en ús; així per exemple, l'accés a una programació molt més amplia i variada, l'eventualitat dels equips de xifratge, l'eliminació de les antenes als domicilis particulars, i sobretot una gamma més amplia de possibilitats de servei (video per demanda, televisió d'alta definició, etc).

*Serveis d'extracció d'informació.* Un altre camp que té unes possibilitats immenses és l'accés a bancs d'informació de tota mena i en particular a fons de documentació. Es preveu que la IBCN canviarà completament el concepte de transmissió de dades; tal com la telefonia va desplaçar la telegrafia al segle XIX, la *telesofia* o coneixement a distància (terme encunyat per Bruce Schatz) desplaçarà l'actual concepte simplista de transmissió de dades [SCH87]. Els que advoquen per la telesofia prediuen un nou sistema de comunicació de masses orientat explícitament a donar suport a la compartició del coneixement en un món d'informació.

*Altres serveis futurs.* Es faran populars serveis com la compra diària des de casa i el pagament automàtic, la compra-venda de finques, cases, etc. sense desplaçaments, la reserva per part de particulars de bitllets de viatge i d'entrades per a espectacles, etc. Una persona que s'hagi de traslladar a una altra ciutat podrà tenir accés a informació de video sobre habitatges en venda o per llogar, escoles, esglésies, supermercats, o a plànols urbans de la seva nova destinació.

### 1.2.2 Classificació dels serveis

Davant de tanta diversitat es fa necessari disposar d'alguns criteris de classificació de serveis. El CCITT divideix els serveis en dos tipus: *serveis interactius* i *serveis de distribució*. Com a serveis interactius s'hi entenen els *serveis convencionals* o *de diàleg*, els *serveis de missatgeria* i els *serveis d'extracció*. I entre els serveis de distribució es distingeixen els que cedeixen el control de la sessió a l'usuari (Teletex, TV per demanda, etc.) dels que no (TV i ràdio comercial per exemple).

Els *serveis de diàleg* proporcionen comunicació bidireccional extrem a extrem entre usuaris o usuaris i màquines (per exemple el videotèfon, la videoconferència o la transmissió de dades a alta velocitat). Els *serveis de missatgeria* també són serveis de diàleg però més elaborats, ofereixen comunicació entre usuaris individuals a través de mecanismes d'emmagatzemament i tractament de missatges, certificació d'arribada, confirmació de lectura, etc. (en són exemples el correu electrònic, el correu de video, la transferència de documents, etc.). I els *serveis d'extracció* que són els que donen accés a informació emmagatzemada en centres especialitzats (per exemple el videotex, la distribució individualitzada de pel·lícules o la consulta d'arxius electrònics). Un estudi

exhaustiu basat en aquesta classificació que inclou la caracterització i aplicació de diversos exemples de serveis per a cada un dels apartats, es pot trobar a [WRI89].

### 1.2.3 Requisits de la IBCN

A continuació es presenta un recull de les prestacions més essencials que ha de facilitar la xarxa de serveis integrats de banda ampla [MIN89]:

- a) Suport tant de serveis interactius com de distribució, sigui quina sigui la modalitat del servei: audio, video o dades.
- b) Suport tant de velocitats de transmissió baixes com altes. Hi ha serveis que requereixen una amplada de banda molt estreta, suficient per transmetre a 100 bps, com per exemple la telemetria; mentre que, per contra, la televisió d'alta definició pot arribar a superar els 150 Mbps. [TIM89]. Com a mostra de la dispersió que en aquest sentit ens podem trobar, a la taula 1.3 s'han ordenat diversos tipus de serveis per la velocitat de transmissió que requereixen.

TAULA 1.3 - Classificació dels serveis per l'amplada de banda requerida

Baixa velocitat (fins a 64 Kbps.)	Velocitat moderada (fins a 2 Mbps.)	Alta velocitat (més de 2 Mbps.)
TELEGRAFIA TELEMETRIA FACSIMIL TELETEX VIDEOTEX DADES VEU	AUDIO (HI-FI) IMATGES FIXES VIDEO-TELÈFON VIDEO-CONFERÈNCIA	TV COMERCIAL LANs DADES TV PER DEMANDA TV ALTA DEFINICIÓ

- c) Suport tant de tràfic a ràfegues com de tràfic monòton. S'ha de garantir la qualitat de servei necessària encara que la velocitat de transmissió no es mantingui constant durant la connexió com per exemple passa en les connexions de veu o de video que generen tràfic fluctuant o a ràfegues.
- d) Prestació de serveis orientats a la connexió ("connected oriented services"), però també oferir la possibilitat de realitzar transferències directes sense establiment previ de la connexió ("connectionless oriented services").
- e) Capacitat d'establiment de connexions de complexitat varia, des d'una connexió punt a punt, tant unidireccional com bidireccional, fins a connexions entre diversos usuaris (comunicacions multiusuari) o a diversos centres de servei i que alhora generen tràfic de moltes menes (serveis *multimedia*).

### 1.2.4 Tecnologia

Diversos són els avenços que contribuiran a que la IBCN pugui cobrir tots aquests requisits de forma *econòmicament factible*, que és el que, al cap i a la fi, l'ha de convertir en realitat a més o menys llarg termini:

*Fibra òptica.* La utilització de fibra en la transmissió extrem-extrem és el

factor clau per a la viabilitat de la IBCN. El disseny de fibra òptica ha evolucionat resolent els diversos problemes que en principi plantejava: pèrdua de potència per absorció de llum, interferències entre modes de transmissió etc. La pèrdua de potència s'ha minimitzat treballant amb longituds d'ona per a les quals l'absorció és mínima (0.8, 1.3 o 1.5 micres), la interferència entre modes de propagació es va resoldre inicialment amb la utilització de fibra d'*index gradual* -l'index de refracció varia gradualment seguint la secció de la fibra i amb això s'equalitzen les velocitats de transmissió dels diversos modes-. Com que la fibra d'index gradual, però, és força més cara, en moltes aplicacions s'ha anat substituint per la fibra monomode -la fibra òptica monomode va passar de 600 ptes el metre a 25 ptes el metre en només 5 anys (1982-1987) i s'espera que passi a ser de l'ordre de 6 ptes/m al 1992.

Actualment l'ús de fibra òptica està ja molt estès, en àmbits privats per a la interconnexió d'edificis o la de plantes d'un mateix edifici i en àmbits públics per a la interconnexió de centrals, però ha d'acabar arribant a casa de l'abonat i ser el seu nexa d'unió amb la central local.

*Dispositius òptics.* Fins no fa gaire la fibra monomode obligava a la utilització de transmissors làser. Les fonts de làser per a fibres monomode no tenen una fiabilitat ni un cost acceptables per ser utilitzades en el bucle d'abonat, els díodes emissors de llum (LEDs) són més fiables i molt més assequibles utilitzats en sistemes multimode de baixa velocitat, i recentment s'ha demostrat que tenen les mateixes prestacions en distàncies significatives per a fibres monomode a freqüències al voltant de 600 Mbps. Com que la tecnologia làser continua millorant i el seu cost baixant, sembla que tant les fonts làser com els díodes LED es podran aplicar en l'accés d'usuari a la xarxa de banda ampla.

*Circuits microelectrònics.* La integració de circuits amb tecnologia Si-bipolar, MOS i GaAs podran oferir blocs d'alta velocitat i alta complexitat a un cost molt reduït pels equips d'abonat, de commutació i de transmissió en general.

### 1.2.5 Conclusió

Es pot dir que la xarxa de serveis integrats de banda ampla (IBCN) es caracteritzarà per ser una xarxa digital que ha de servir pel transport d'informació de qualsevol mena (veu, dades o imatge i barreges d'aquestes tres) admetent velocitats de transmissió elevades (de 2 a 150 Mbps en l'accés d'usuari).

Els canvis més significatius que comportarà la IBCN fan referència a l'accés d'usuari, les tècniques de transmissió i commutació i als serveis. Pel que fa als serveis el més relevant és la introducció dels serveis de distribució. Respecte a l'accés d'usuari el medi de transmissió tradicional, el parell simètric, se substituirà per la fibra òptica i s'implantarà l'anomenada xarxa local d'abonat ("Subscriber Premises Network"). Finalment, les tècniques de transmissió i commutació per a banda ampla constituïran l'aspecte més revolucionari i innovador de tots; el fet de concebre la xarxa com una infraestructura única de telecomunicació, obliga a plantejar-se la búsqueda de tècniques que permetin adaptar i compartir els recursos de la xarxa amb la màxima flexibilitat.

## 1.3 TÈCNIQUES DE COMMUTACIÓ PER A IBCN [SOL90a]

De tècniques de commutació, estrictament parlant, només n'hi han quatre [DAD89]: la commutació espacial, la temporal, la freqüencial i el filtratge d'adreces ("label switching"). Al que ens estem referint aquí és, en realitat, als mecanismes de transport d'informació a través de la xarxa, que són combinacions d'aquestes quatre tècniques

de commutació bàsiques. La commutació de circuits, en xarxes digitals, combina la commutació espacial i la temporal, en xarxes analògiques (telefonía tradicional) es simplement una commutació espacial, la commutació de paquets es un filtratge d'adreces amb una component de commutació espacial, etc.

Un dels aspectes més crítics de la futura IBCN és l'elecció de la tècnica de commutació en que basar el seu funcionament. En aquest sentit cal destacar l'acord quasi unanime per a l'adopció del mode transferència asíncron (ATM, "Asynchronous Transfer Mode"), la recomanació I.121 del CCITT que traça les línies mestres per a la normalització de la IBCN, així ho estableix [CCI88].

La tècnica ATM, però, no és la única opció en la que es podia haver pensat. Qüestionar-se la idoneïtat de la resta de possibilitats pot ser un bon exercici, justament, per justificar aquesta elecció. En aquest apartat analitzarem la viabilitat de les diverses modalitats de commutació en front al repte de la IBCN, des de la commutació de circuits fins a la commutació de paquets: la pròpia commutació de circuits, la commutació de circuits en multivelocitat (MRCS, "Multirate Circuit Switching"), la commutació ràpida de circuits (FCS, "Fast Circuit Switching"), la commutació de paquets convencional i la commutació ràpida de paquets (FPS, "Fast Packet Switching") on s'inscriu la tècnica ATM [TUR86]. La figura 1.4 mostra totes aquestes tècniques ordenades segons el grau d'optimització de la utilització dels recursos (amplada de banda de banda bàsicament) que proporcionen. La màxima utilització s'obté amb la commutació de paquets convencional, que és la que millor s'adapta a les fluctuacions de tràfic, i en conseqüència, treu més bon partit dels intervals de silenci de les connexions en curs. L'altre extrem, el de més baix rendiment, l'ocupa la commutació de circuits.

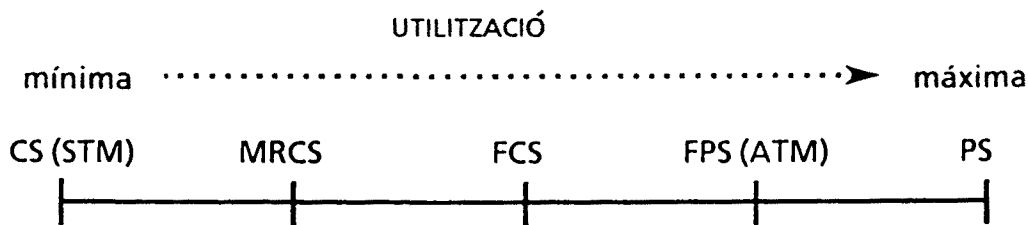


FIGURA 1.4 Tècniques de commutació segons l'aprofitament de l'amplada de banda

A més de la utilització, d'altres paràmetres que cal tenir en compte en l'avaluació de la viabilitat de les diverses tècniques de commutació per a la xarxa de banda ampla són: la compatibilitat amb els sistemes que ja hi ha en funcionament, la disponibilitat tecnològica, l'eficiència del servei que proporcionen (relació qualitat-quantitat), etc.

### 1.3.1 Commutació de circuits

La multiplexació per divisió de freqüències (FDM) que al principi fou el suport de transmissió per a la commutació de circuits, ha anat perdent terreny amb la digitalització de les xarxes telefòniques en benefici de la multiplexació per divisió en el temps (TDM), fins al punt que a hores d'ara la commutació de circuits va associada a alguna forma de transferència síncrona (STM, "Synchronous Transfer Mode") [MIN89].

La commutació de circuits així entesa, en ser la tècnica adoptada en la xarxa digital de serveis integrats de banda estreta (ISDN), semblava al principi que podria ser també la base de funcionament de la IBCN. Es pensava en un accés del tipus  $i$  canals H4 més  $j$  canals H3 més  $k$  canals H2 més  $g$  canals H1 més  $m$  canals H0 més l'accés primari a

ISDN nB+D (taules 1.1 i 1.2), [MIN89]. Amb això es donava la màxima prioritats a l'objectiu de compatibilitzar-la amb els sistemes ja existents; amb la ISDN totalment implantada la transició a IBCN no presentaria problemes de compatibilitat, i al final no seria res més que una extensió de la ISDN.

*Inconvenients.* L'escaiença d'adoptar la commutació de circuits en xarxes de banda ampla es va començar a qüestionar perquè la flexibilitat que ofereix no s'hagués adequat a les futures necessitats del servei; l'inconvenient principal que aquesta tècnica presenta és, doncs, la rigidesa de la interfície d'usuari.

### 1.3.2 MRCS "Multirate Circuit Switching"

És una simple extensió de la commutació de circuits que permet treballar amb un rang més ampli, encara que discret, de velocitats de transmissió; les que són múltiples d'una de determinada que es pren com a base (p.e. 8 Kbps o 64 Kbps). En l'establiment de la connexió és possible negociar el nombre de canals d'aquesta velocitat base necessaris per portar a terme la comunicació.

*Inconvenients.* Aquesta tècnica planteja d'entrada seriosos problemes, el primer és de realització en triar la velocitat de transmissió base: una velocitat molt baixa (1 Kbps) pot implicar forts retards a causa de la gran llargària que requereixen les trames, i una velocitat molt alta faria poc eficient el sistema per a les connexions de baixa velocitat. Un altre dels problemes és l'haver d'inicialitzar tots els canals necessaris un per un, la qual cosa fa molt lent el procés d'establiment de la connexió; inclús en el cas d'una velocitat base relativament alta (1 Mbps), ja que una connexió de vídeo podria arribar a haver d'inicialitzar més de cent canals. A més, determinades aplicacions, com per exemple l'accés a fitxers remots, requereixen ocasionalment, la transferència de ràfegues a velocitats de fins a 10 Mbps, haver de dedicar connexions d'alta velocitats (assignació de molts canals) a aquest tipus d'aplicacions és car i ineficient.

### 1.3.3 Commutació ràpida de circuits (FCS)

La commutació ràpida de circuits segueix les mateixes directrius que la tècnica anterior (l'usuari pot establir connexions d'un múltiple enter de canals bàsics) però afegeix un grau més de flexibilitat, que la connexió s'estableix i s'allibera a cada embat de tràfic. El consegüent augment d'utilització de recursos que això suposa competeix amb la necessitat de mecanismes de control més complexos.

La nostra atenció se centrarà en una modalitat de la FCS, la *commutació de ràfegues* ("Burst Switching", BS), la particularitat principal de la qual és que la connexió, en el sentit estricte de la paraula, s'estableix una sola vegada, a l'inici de la comunicació. És llavors quan se li assigna una ruta determinada que es memoritza en cadascun dels nodes del trajecte. A partir d'aquest moment poden ser els propis nodes els que es cuidin de redistribuir els recursos de transmissió entre les connexions actives, de reconèixer noves ràfegues i d'encaminar-les al punt de destinació. En qualsevol cas una determinada connexió només ocupa els recursos que té assignats mentre té una ràfega de tràfic en curs [PER87], [AMS89].

Aquesta forma de transferència requereix la inclusió de determinada informació de control a les ràfegues que permeti identificar-les; bàsicament una capçalera i una marca de final perquè la durada d'una ràfega no és fixa ni previsible. La capçalera hauria d'allotjar el tipus de ràfega -per millorar l'eficiència del sistema pot ser útil poder distingir les ràfegues de veu, d'imatge, de dades i la senyalització- l'adreça del node destinatari i, possiblement, un codi de protecció contra errors a la pròpia capçalera.

*Inconvenients.* La millora d'eficiència respecte a la MRCS és evident, però continua conservant algun dels seus inconvenients (per exemple la determinació de les característiques del canal base). A més, determinats pics de tràfic poden produir el bloquejament dels commutadors i en conseqüència la pèrdua de ràfegues d'informació. Per altra banda, el retard que introdueix la xarxa entre ràfegues no és constant com ho seria en MRCS.

### 1.3.4 Commutació de paquets (PS)

La commutació de paquets es basa en la utilització dels recursos de transmissió com a cintes transportadores per les quals és possible traslladar paquets d'informació un darrere l'altre a través de tota la xarxa. La informació, doncs, s'organitza en blocs (paquets) indivisibles des del punt de vista de la xarxa, aquests paquets es proveeixen d'una capçalera per tal d'identificar la connexió lògica a la que pertanyen. La commutació de paquets és el sistema que d'una forma més natural permet acomodar en una xarxa connexions d'amplada de banda arbitrària i per tant la que, com ja s'ha dit, millor optimitzaria la utilització de recursos en la IBCN.

*Inconvenients.* La utilització d'una tècnica totalment asíncrona en una xarxa que vol integrar veu, dades i imatge té com a principal inconvenient el retard introduït pels nodes de commutació, perquè pot assolir valors considerables, però sobretot, perquè és variable d'un paquet a un altre de la mateixa connexió. Si a això li afegim la presència dels processos de control tant d'errors com de flux ens trobem amb el dilema d'incrementar, encara més, el retard o permetre una taxa determinada de pèrdua de paquets.

Aquesta situació obligaria a fer un tractament diferent de cadascun dels serveis que se suportessin ja que, per exemple, les connexions persona-persona són molt sensibles al retards i en canvi poden tolerar una taxa de pèrdua d'informació relativament alta, mentre que el tràfic de dades, producte de connexions màquina-màquina, és extremadament vulnerable a la pèrdua de paquets, però molt consentit amb al retard; en un terme mig se situarien les connexions persona-màquina (serveis d'extracció bàsicament) que es pot dir que són sensibles a la pèrdua d'informació només per part de la màquina, i que toleren els retards però amb certes limitacions, ja que l'usuari no nota les fraccions de segon però sí les de minut.

En aquestes condicions, l'ús de la commutació de paquets en la IBCN és totalment inviable.

### 1.3.5 Commutació ràpida de paquets (FPS) i ATM

Una variant de la commutació de paquets, la *commutació ràpida de paquets* condueix a resultats molt més òptims, la modificació consisteix, bàsicament, en una reducció de la dimensió dels paquets i en la utilització d'una velocitat de transmissió molt més alta; amb això s'aconsegueix augmentar el nombre de paquets per unitat de temps que es mouen d'un costat a l'altre ("throughput"), i reduir el retard respectivament.

La FPS és factible gràcies a la concurrència d'alguns dels avenços tecnològics abans esmentats (apartat 1.2.4), sobretot gràcies a la gran evolució dels sistemes de transmissió moderns (fibres òptiques, etc) i de la microelectrònica. L'un, fa possible treballar a velocitats molt altes i una taxa d'error molt baixa, la qual cosa permet, a l'ensens, eliminar quasi totalment els protocols de control d'errors i de flux de nivell 2 i 3 (model ISO/OSI) i en el cas de connexions que suporten transferències de dades, on són imprescindibles, poder-los suplir fàcilment pels de nivell 4. L'altre, obre la possibilitat d'aplicar per a aquest ús les estructures de commutació d'alta velocitat, un

exemple de les quals són les xarxes d'interconnexió originalment dissenyades per a computadors de processament en paral·lel.

En resum, és possible utilitzar dispositius d'altres prestacions per a la transmissió, xarxes d'interconnexió en el disseny dels commutadors i fer el procesament dels protocols per "hardware", i així aconseguir una reducció del temps d'espera als nodes i, per tant, una substancial millora de la relació qualitat-quantitat respecte a la commutació de paquets convencional. A la taula 1.4 es comparen les prestacions que ofereixen les actuals xarxes de commutació de paquets amb les que serà possible obtenir de la futura IBCN funcionant en ATM.

TAULA 1.4 - Xarxes públiques de commutació de paquets (X.25) versus IBCN/ATM

Atribut	X.25	IBCN/ATM
"Throughput" (pq/s)	1000	10E6
Amplada de banda d'accés	< 64 Kbps	< 150 Mbps
Servei	CV + D (només per a dades)	CV + D (veu dades i imatge)
Retard introduït	50 -100 ms	< 10 ms
Control d'errors	Node a node	Extrem a etrem

CV - Circuit virtual  
D - Datagrama

L'ATM és la fórmula de FPS que incorpora la condició de paquets de llargària fixa denominats cel·les (5 octets de capçalera i 48 pel camp d'informació, segons el CCITT). El funcionament en ATM implica la utilització d'un suport de transmissió de canal ranurat ATD ("Asynchronous Time Division") que no es altra cosa que una multiplexació temporal, tipus TDM, al temps de cel·la sense l'assignació fixa de ranures a les connexions en curs (de manera que prescindeix de la sincronització o referència de temps comuna) [HUI89]. L'ATM és el pal oposat del mode de transferència síncron (STM), que anteriorment s'ha associat amb la commutació de circuits.

*Inconvenients.* Aquesta mena de funcionament ocasiona un problema nou, producte de la simplificació dels protocols de control de flux a nivell 2 i 3, i és que hi ha un risc molt més alt de congestió i un perill addicional de frau -un determinat usuari podria utilitzar molts més recursos dels contractats en l'establiment de la connexió podent perjudicar així a d'altres usuaris-. L'inconvenient principal de l'adopció d'una tècnica asíncrona (ATM) és que porta associada una complicació addicional de la gestió de xarxa, car s'ha de realitzar un *control d'admissions* i una *funció de policia*.

### 1.3.6 Diferències entre BS i ATM

La commutació de ràfegues (BS) es la tècnica que més ha rivalitzat amb l'ATM, per aquest motiu, per a finalitzar aquest capítol farem una comparació d'ambdues tècniques.

La diferència bàsica de la commutació de ràfegues amb la commutació de paquets en general, és que en BS els nodes poden donar sortida a les ràfegues immediatament després d'haver-ne reconegut la capçalera, i com a molt l'espera es limita a disposar de prou recursos per a cobrir el que té assignat la connexió a la que pertany aquella ràfega. En BS, doncs, no es produeixen retards per paquetització als nodes d'accés ni



per espera a la recepció completa dels paquets (ràfegues en aquest cas) als nodes intermitjos com en la commutació de paquets. Això, però, té una importància relativa en ATM, pel reduïts que poden arribar a ser aquests retards. El que és més significatiu és la diferència que hi pot haver en pèrdua d'eficiència per informació de control afegida entre ambdós sistemes, mentre en ATM és d'un 9,4 % ( $[1-(48/53)] \times 100$ ), en BS depen de la llargària de les ràfegues i, en mitjana, poques vegades arriba a un valor tan alt.

Exceptuant el tràfic de dades, on no hi influeix, les conseqüències que sobre la resta pot tenir un retard variable entre cel·les ATM ("jitter") són més greus que les derivades d'un retard variable entre ràfegues. Però, per un altre cantó, si es requereix manejar una gran varietat de velocitats de transmissió, la utilització de recursos és molt més òptima en ATM que en BS ja que, recordem-nos-en, la BS treballa a base de la assignació d'un nombre enter de canals per connexió per exemple, per poc que la velocitat de transmissió de la font requereixi en algun moment més d'un canal, ja és necessari assignar-n'hi dos.

#### 1.4 CONCLUSIÓ

En definitiva, la IBCN, una única infraestructura per a les telecomunicacions, està per arribar. Gràcies la gran evolució de les transmissions digitals per fibra òptica en els últims anys, aquesta xarxa podrà fer ús d'un servei portador asíncron (ATM) que li permetrà el màxim aprofitament dels recursos. Així hi podran tenir accés tota mena de serveis, ja que, amb la tècnica ATM sobre un suport de transmissió tan ràpid, serà possible reduir a límits acceptables els efectes nocius que una transferència asíncrona produeix sobre serveis intrínsecament síncrons com els de veu i dades.

#### REFERÈNCIES

- [AMB87] H. Armbrüster, G. Arndt. "BROADBAND COMMUNICATION AND ITS REALIZATION WITH BROADBAND ISDN". IEEE Communication Magazine, vol.25, n.11, novembre de 1987.
- [AMB89] Heinrich Armbrüster, "WORLD-WIDE APPROACHES TO BROADBAND ISDN", Telecommunications, pp. 49-54, maig de 1989.
- [AMS89] Stanford R. Amstutz. "BURST SWITCHING -AN UPDATE". IEEE Communication Magazine, vol.27, n. 9, Septiembre de 1989.
- [BAT88] D. V. Batorsky, D. R. Spears i A. R. Tedesco. "THE EVOLUTION OF OF BROADBAND NETWORK ARCHITECTURES". IEEE Globecom'88, Vol. I, pp. 367-373.
- [CCI88] CCITT Rec. I.121, Geneva, June 1988.
- [DAD89] J. E. Daddis i H. C. Tomg. "A TAXONOMY OF BROADBAND INTEGRATED SWITCHING ARCHITECTURES". IEEE Communication Magazine, vol.27, n? 5, maig de 1989.
- [DOM90] J. Domingo, O. Casals i N. Torralba. "HACIA UNA UNICA INFRAESTRUCTURA DE LAS TELECOMUNICACIONES". Mundo Electrónico, n. 204 (març de 1990).
- [HUI89] Joseph Y. Hui. "NETWORK TRANSPORT, AND SWITCHING INTEGRATION FOR BROADBAND COMMUNICATIONS". IEEE Network, març de 1989.
- [KOH88] J.C. Kohli, D. S. Biring y G. L. Raya. "EMERGING BROADBAND PACKET-SWITCH TECHNOLOGY IN INTEGRATED INFORMATION NETWORKS. IEEE Network, novembre 1988.

- [LEE88] E.A. Lee i D. G. Messerschmitt. "DIGITAL COMMUNICATIONS", Ed. Kluwer Academic Publishers, Boston 1988.
- [MIN89] Steven E. Minzer. "BROADBAND ISDN AND ASYNCHRONOUS TRANSFER MODE (ATM)". IEEE Communication Magazine, vol.27, n.9, setembre de 1989.
- [PER87] Stewart D. Personik. "COMMUNICATION SWITCHING -FROM OPERATORS TO PHOTONICS". Proceedings of the IEEE, vol. 75, n. 18, octubre de 1987.
- [SCH87] B.R. Schatz. "TELESOPHY - SYSTEM FOR MANIPULING KNOWLEDGE", Proc. Globecom '87, Vol. 2, pp. 1181-1187.
- [TUR86] J. Turner. "NEW DIRECTIONS IN COMMUNICATIONS". IEEE Communication Magazine, vol.24, n. 10, octubre de 1986.
- [TIM89] S. Timms. "BROADBAND COMMUNICATIONS THE COMMERCIAL IMPACT". IEEE Network, juliol 1989.
- [SOL90a] J. Solé G. Santos. "COMUNICACIONES EN BANDA ANCHA: SISTEMAS DE CONMUTACION". Mundo Electrónico, n. 205, abril de 1990.
- [WRI89] D.J. Wright et altri. "A CHARACTERIZATION OF TELECOMMUNICATIONS SERVICES IN THE 1990's". Proceedings de l'Infocom '89, pp 624-630.

## ESTRUCTURA DE LA FUTURA XARXA IBCN/ATM

Des de l'any 1985 l'activitat relativa a reconduir la ISDN cap a una xarxa universal de banda ampla amb suport de transmissió per fibra òptica ha portat a una primera declaració d'intencions, un document on es concreten les línies bàsiques d'actuació. Aquest document és la recomanació I.121 del CCITT, el més destacable del qual és l'establiment del mode de transferència asíncron (ATM) com a element clau del funcionament de la futura IBCN.

Aquest plantejament, juntament amb l'adopció de SONET ("Standard Optical Network") com a jerarquia de treball per a la transmissió digital esta tenint una influència decisiva en el desenvolupament de la IBCN. SONET també és, actualment, un standard que el CCITT recull com SDH ("Synchronous Digital Hierarchy") a les recomanacions G707, G708 i G709 [HAN89].

En aquest capítol es descriuen les principals característiques del funcionament ATM i del propi servei de transport d'informació ATM, i es fa un repàs de les conseqüències que comporta la seva utilització en la IBCN, tant del punt de vista de l'arquitectura com del de gestió de xarxa.

### 2.1 INTRODUCCIÓ

Prèviament al tractament de l'estructura de la futura xarxa de serveis integrats de banda ampla amb funcionament en mode de transferència asíncron (IBCN/ATM), cal revisar una sèrie de termes, començant pel propi ATM, que es manejaran continuament en aquest entorn.

*Mode de transferència asíncron.* És una forma específica de commutació de paquets en la que el flux d'informació s'organitza en blocs de llargària fixa i reduïda anomenats cel·les, que es componen d'un camp d'informació i d'una capçalera. És asíncron en el sentit que l'interval entre cel·les consecutives d'una mateixa connexió depen de la velocitat instantània de generació d'informació de la font.

El servei de transport d'informació ATM es defineix com una tècnica orientada a la connexió. Els valors de les capçaleres de les cel·les s'assignen a cada node del circuit virtual en la fase d'establiment de la connexió i s'alliberen en finalitzant la connexió.

*Canal virtual* ("Virtual Channel"). És un camí lògic entre dos punts de la xarxa en els que l'identificador de circuit virtual es manté constant.

*Circuit virtual* ("Virtual Circuit"). És el resultat de la concatenació dels diversos canals virtuals involucrats en l'establiment d'una connexió, camí lògic entre dues interfícies de la xarxa.

*Multiplexació per divisió en del temps asíncrona* (ATD). És la tècnica de multiplexació que dona el suport físic al funcionament ATM. El flux de bits s'estructura en ranures de temps amb capacitat, estrictament, per a una cel·la.

*Mode de transferència síncron (STM).* És la forma de transferència complementària a l'ATM, en ella el flux d'informació s'organitza en paraules de llargària fixa que es transporten periòdicament.

*Multiplexació per divisió del temps síncrona (STD).* És el suport físic del mode de transferència síncron. En aquesta tècnica de multiplexació, el flux de bits s'estructura en trames d'un nombre determinat d'interval·ls de temps idèntics. Un canal correspon a un o més d'aquests interval·ls de temps i el sincronisme permet que els interval·ls de temps de la trama assignats a una determinada connexió siguin, posicionalment, sempre els mateixos.

A la figura 2.1 es comparen els principis de funcionament de les tècniques ATM i STM [DOM90].

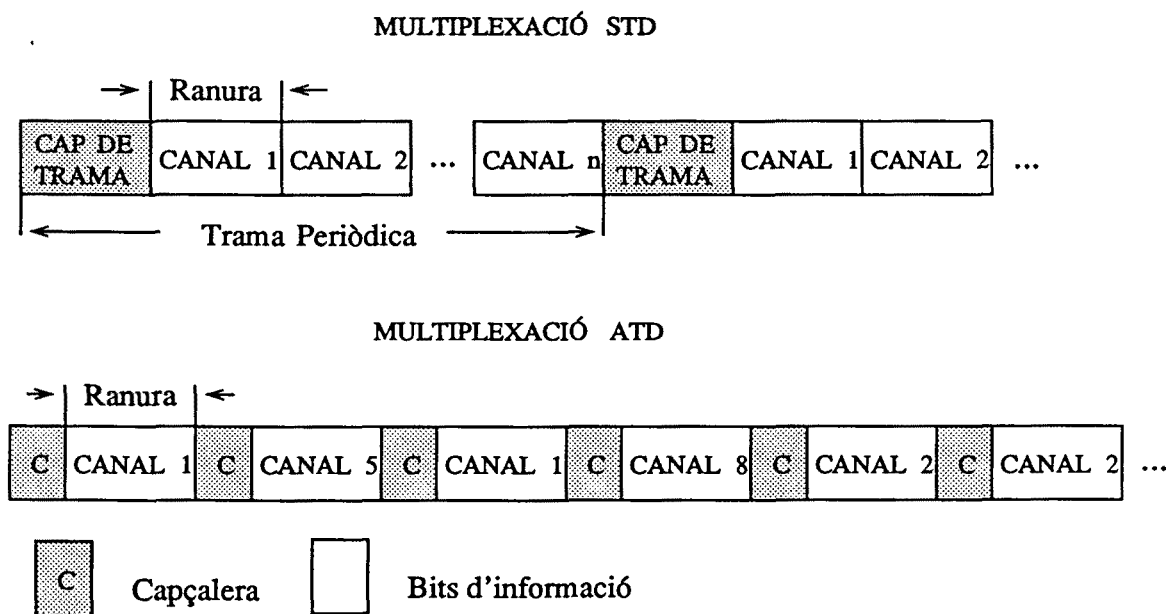


FIGURA 2.1 Esquemes de funcionament STM i ATM.

## 2.2 CARACTERÍSTIQUES DEL SEVEI ATM

El servei ATM proporciona el transport d'informació d'un punt a l'altre de la xarxa. Els paràmetres que més repercuteixen en aquest servei són: l'amplada de banda, el retard de trànsit i la pèrdua de cel·les [COS88].

Aquests paràmetres caracteritzen la qualitat del servei ATM i s'utilitzen per a l'assignació de recursos i el control de càrrega, *control d'admissions* (CAC) i *funció de policia* (PF) respectivament. És a dir, en la fase d'establiment de la connexió, per decidir si se li dóna via lliure (la qual cosa comporta l'assignació de recursos, la búsqueda de circuit virtual, l'encaminament, etc.), i en la fase de transferència, per monitoritzar el comportament de l'usuari i intervenir en cas de violació.

### 2.2.1 Amplada de banda

L'amplada de banda requerida per una connexió específica és un dels paràmetres que

cal tenir més en compte per proveir el transport d'informació d'una forma satisfactòria. A continuació es consideren els aspectes més rellevants en l'especificació d'aquest paràmetre.

*Velocitat de transmissió de cel.les.* Està en relació directa amb la càrrega oferta. La velocitat de transmissió de cel.les, en la pràctica, és una funció del temps, normalment és una variable aleatòria que es caracteritza per un valor màxim ( $C_{\max}$ ), una distribució estadística, un valor mitjà ( $C_{\text{mean}}$ ) i una desviació típica ( $\sigma_C$ ). La relació entre el nombre de cel.les generades durant una connexió ( $N_{\text{cell}}$ ) i la durada total de la connexió ( $T_C$ ) permet obtenir una estimació de la velocitat mitjana d'aparició de cel.les:

$$C_{\text{mean}} = N_{\text{cell}} / T_C \quad (2.1)$$

*Rafegueig.* Reflecteix, d'alguna manera, el grau de variació de la velocitat de transmissió de cel.les. La definició, quantificació i mesura d'aquest aspecte és de capital importància en xarxes ATM i encara no està del tot resolta. L'aprofundiment d'aquest punt és un dels objectius nostre treball (capítols 4 i 5).

### 2.2.2 Retard de trànsit

En les xarxes de telecomunicació basades en el mode de transferència síncron (STM), xarxes en commutació de circuits, el retard de trànsit entre el terminal font i el terminal destinació és constant. En una xarxa ATM una part important del retard és a causa de l'espera als "buffers" dels nodes de commutació. Aquesta component del retard varia significativament durant tota la connexió i fa que el retard total també esdevingui variable. És, doncs, bàsic saber què es requereix del servei ATM en aquest sentit:

*Retard màxim.* En molts casos és necessari assegurar que no se superarà un determinat límit, això es especialment important en connexions bidireccionals en les que l'emissor espera la reacció del receptor.

*Variació del retard ("Delay Jitter").* La majoria de les vegades també s'ha de controlar l'efecte de la variació del retard. Considerem, per exemple, un terminal d'alta velocitat que genera cel.les a un ritme constant, aquest terminal és per definició síncron (podria ser el cas de la distribució de TV comercial); el receptor necessita que l'arribada de cel.les es produeixi a intervals exactes i la variació del retard ho pot fer impossible. En situacions com aquesta la variació del retard que produeix el servei de transport ATM s'ha de minimitzar tant com calgui per tal de reduir la complexitat de la resincronització als terminals.

*Retard màxim versus velocitat mínima.* En les connexions de baixa velocitat, també hi influeix el retard de paquetització a l'equip terminal transmissor - fixem-nos, per exemple, que a 64 Kbps es tarda 6 ms a generar una cel.la de 384 bits (l'interval entre cel.les és de 6 ms)-. Si no es fa ús d'un temporitzador que en disparar-se transmeti les cel.les encara que no estiguin del tot plenes, el retard màxim tolerable ens pot marcar el límit inferior de la velocitat de treball de la xarxa.

### 2.2.3 Pèrdua de cel.les

En la futura xarxa de banda ampla basada en el mode de transferència asíncron, probablement no es realitzarà ni un control de flux node a node ni un control d'errors dins de la pròpia xarxa, si per a les connexions d'un determinat servei es requereix alguna d'aquestes funcions (els serveis de transferència de dades, per exemple, requereixen el control d'errors exhaustiu) es portarà a terme extrem a extrem pels

propis equips terminals. Així, la xarxa IBCN s'haurà de dimensionar de manera que la taxa d'error sigui acceptable per a les connexions més sensibles al retard sobre les que no és possible efectuar un control de flux.

L'essència d'aquesta política s'ha de buscar en la, relativament, baixa probabilitat d'error que es pot arribar a obtenir amb la transmissió òptica. Pel fet, però, que l'informació s'agrupa en cel·les la transferència física a través d'un medi de transmissió no és l'única contribució a la taxa d'error en una xarxa ATM. S'han de considerar, a més:

- 1) La pèrdua del sincronisme de bit.
- 2) La pèrdua del sincronisme de cel·la. Recordem que es treballa amb canal ranurat.
- 3) Pèrdua de cel·les a causa del sobreiximent de "buffers", d'errors a les capçaleres, de l'acció de la funció de policia, etc.
- 4) I l'efecte contrari, l'admissió de cel·les alienes per culpa, també, d'errors a la capçalera.

#### 2.2.4 Qualitat del servei

En resum, el servei ATM es caracteritza per un compromís entre el retard de trànsit i la taxa de pèrdua de cel·les, i la qualitat que ofereix aquest servei depen no només d'ell mateix sinó de la tolerància del tipus de connexió que en faci ús. La taula 2.1 conté uns quants exemples numèrics d'aquesta tolerància per alguns dels serveis representatius de la futura IBCN [SEL88].

TAULA 2.1 - Exemple de la QOS requerida per diversos tipus de serveis.

Servei	Retard (mseg.)	Variació del retard (+/- mseg.)	Pèrdua de cel·les
Veu / Telefonía	150 - 400 (pref. 150)	50	10E-3
Audio HiF	1000	100	10E-7
Video CBO (140 Mbps)	150 - 400 (pref. 150)	10	10E-11
Video VBR (140 Mbps)	50 - 400 (pref. 150)	10	10E-9
Transmissió estudi - estudi			10E-12
Dades alta velocitat (140 Mbps)	1000	10	10E-6

CBO: "Continuous Bit-rate Oriented"  
VBR: "Variable Bit-Rate"

Cal remarcar respecte a les dades d'aquesta taula que el valor de la taxa de pèrdua de

cel·les acceptable pels serveis de transmissió de dades a alta velocitat està calculada amb el supòsit que hi haurà un protocol extrem-extrem, de suport, pel control d'errors.

## 2.3 GESTIÓ DE XARXA [SAN90]

La gestió de xarxa juga un paper predominant en el control de les característiques del servei ATM. El control d'admissions, la funció de policia i el mecanisme de prioritats emprats aconseguiran que el conjunt d'anomalies que es poden produir no portin la xarxa IBCN/ATM a una degradació del seu funcionament superior a la tolerable, a costa tant de la QOS de les connexions afectades com del GOS de la pròpia xarxa.

### 2.3.1 Control d'admissions

A causa de la naturalesa asíncrona dels accesos, el sobreiximent de les cues és un fenomen inevitable en una xarxa també asíncrona. L'objectiu del control d'admissions és limitar-lo amb mètodes compatibles amb els serveis suportats.

Quan arriba una nova sol·licitud de connexió la xarxa ha de preveure l'increment de degradació que suposaria la seva acceptació i actuar en conseqüència per poder mantenir la QOS, no només de les connexions en curs sinó també, de la nouvinguda.

Els procediments de control d'admissions es poden basar en l'observació de la càrrega, de la pèrdua de cel·les o del retard existents en el moment de les sol·licituds.

### 2.3.2 Funció de policia

Una connexió en curs pot generar, en qualsevol moment, més informació que la que està autoritzada a generar o, simplement, més informació de la que la xarxa pot admetre en aquell moment sense perjudicar d'altres usuaris. En aquests casos la xarxa ha de disposar de mecanismes que permetin controlar els fluxs d'informació, això és el que genèricament es coneix amb el nom de funció de policia.

Des del punt de vista del tràfic es pot definir l'objectiu de la funció de policia com aquella que té la missió de garantir la QOS per a qualsevol connexió segons els paràmetres negociats en el procés del seu establiment. Així, els criteris bàsics a que obeeix d'aquesta funció són: 1) que cap usuari no ha de degradar la qualitat de servei d'un altre usuari, 2) que els usuaris no rebin serveis que no tinguin contractats, 3) que la xarxa no es congestioni. En l'aplicació del segon punt es pot ser més o menys flexible en funció de la repercusió que tingui en els altres dos.

Les iniciatives que pot prendre la funció de policia per assolir el seu objectiu poden anar des de, simplement marcar algunes de les cel·les de les connexions infractores, fins a tallar aquestes connexions, passant per fer un control de flux retardant determinades cel·les o directament descartant-les, realitzar el càrrec de facturació corresponent, renegociar les condicions de l'establiment, etc.

### 2.3.3 Mecanismes de prioritats

L'aplicació de prioritats en la IBCN es podrien veure com l'acció inversa de la funció de policia, en comptes de penalitzar les connexions que sobrecarreguen la xarxa, afavorint les que per les seves característiques singulars ho requereixen.

En una situació en que la xarxa és lluny de la congestió -un bon funcionament del control d'admissions i de la funció de policia pot mantenir la xarxa en aquesta situació-, com que la velocitat de transmissió és molt elevada, el retard introduït per les cues dels "buffers" i la variació del retard són petits en comparació amb el retard de propagació. Això fa que, el que més habitualment s'enten per prioritats, les *prioritats temporals*, l'acció de les quals és fer passar determinades cel·les davant de les altres (reduir-les-hi el temps d'espera a les cues) tingui poca utilitat en aquest context.

Els mecanismes de prioritats que tenen més cabuda en la IBCN són els de *prioritats espacials* amb els quals és possible realitzar una accés selectiu als "buffers" en funció del tipus de tràfic. La capacitat limitada dels "buffers" amb l'aparició de pics elevats de càrrega pot produir la pèrdua de cel·les algunes de les quals poden ser *cel·les precioses*, de capital importància per a una determinada connexió o pel propi funcionament de la xarxa. Aquest tipus de prioritats es destinarien a evitar-ho garantint un lloc al "buffer" per a les cel·les precioses.

Les prioritats es poden assignar tant a cel·les com a connexions, es podrien assignar, per exemple, a les cel·les de senyalització que són vitals pel bon funcionament de la xarxa, o a les connexions de TV/CBO o transmissions estudi-estudi que són molt sensibles a la pèrdua de cel·les (taula 2.1).

## 2.4 ASPECTES GENERALS DE L'ARQUITECTURA IBCN/ATM [TOR90]

La figura 2.2 presenta l'arquitectura funcional i les interfícies d'una xarxa ATM. Aquest esquema s'ha d'entendre com una divisió conceptual de les funcions que s'han de portar a terme en el transport d'informació d'un cantó a l'altre de la xarxa.

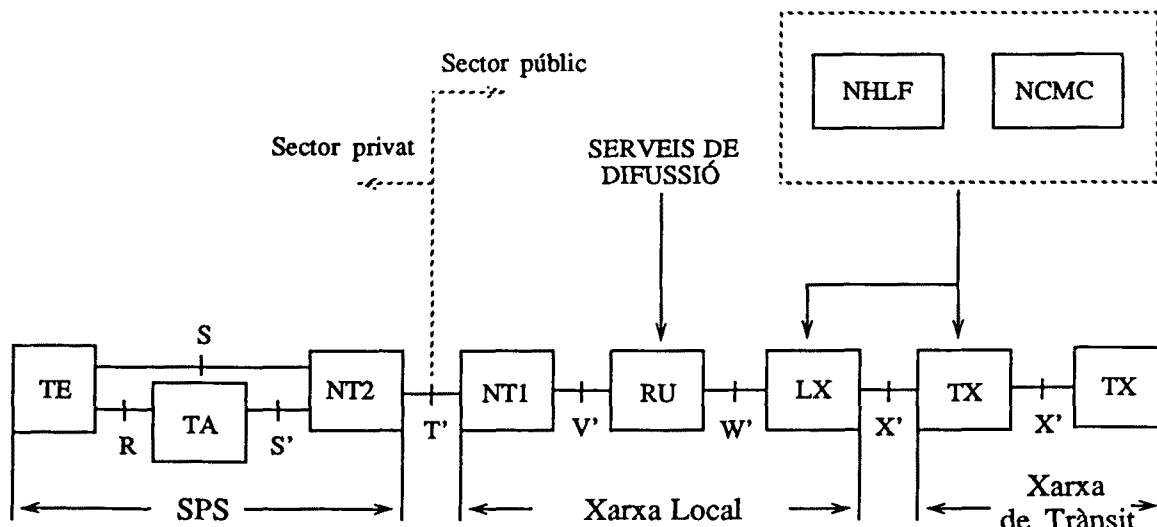


FIGURA 2.2 Arquitectura funcional i interfícies de la IBCN/ATM

La particularitat més destacable d'aquesta configuració és que està inspirada en la de la ISDN [STL85]. En ella s'hi pot distingir el bucle d'abonat ("Subscribers Premises Network", SPN), la xarxa local ("Local Network") que inclou l'NT1, l'RU i el commutador local (LX), i la xarxa de trànsit composta dels enllaços als nodes de commutació, els propis nodes de commutació (TX) i dels centres especialitzats de transmissió i de xarxa. El servei ATM proveeix les funcions dels nivells 1 a 3 del model de referència ISO/OSI deixant pels equips terminals les funcions dels nivells



més alts, tot i amb això es contempla la possibilitat que la xarxa inclogui les entitats que proveeixin les conversions de protocol necessàries ("Network High Layer Capabilities" NHLF) i les funcions de gestió de xarxa esmentades a l'apartat anterior ("Network Control and Management Capabilities" NCMC) [RAC86].

#### 2.4.1 Model de referència

El model de referència per a l'interconnexió de sistemes oberts (OSI), és, en l'actualitat, un concepte fonamental per a l'estudi de l'arquitectura de les xarxes de computadors [TAN88]. El fet que estigui acceptat majoritàriament com a eina de treball comuna fa natural la seva aplicació en les xarxes d'integració de serveis; però com que aquest model està orientat exclusivament a la transmissió de dades i tant la ISDN com la IBCN han de donar suport a una gamma més extensa de serveis es fa necessari considerar una versió ampliada que contempli facilitats com per exemple la introducció d'un nivell d'adaptació pels serveis que no són de dades o el manteniment de connexions associades pels serveis multimèdia (per exemple de veu i de video pel videotelèfon).

Per a la ISDN s'ha definit un bloc de protocols (figura 2.3) que s'utilitza per descriure el funcionament dels diversos elements de la xarxa: TE, TA, NT, LX i TX. Per poder suportar una senyalització independent de la informació, amb la possibilitat d'activar serveis suplementaris durant la fase de transferència d'informació, és necessari separar completament la informació de control (pla C) de la d'usuari (pla U). La coordinació de les funcions d'aquests dos plans es realitza a través del pla de gestió (pla M). La divisió en plans permet distingir les funcions a realitzar pels protocols i la relació entre aquestes funcions dins del bloc de protocols. A continuació entrarem en detall en cadascun d'aquests aspectes.

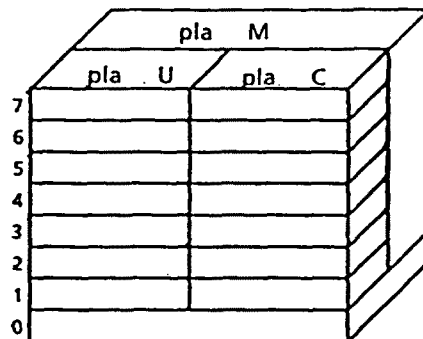


FIGURA 2.3 Bloc de protocols per a ISDN i IBCN.

*Pla U*, per a l'informació entre les aplicacions d'usuari i els protocols associats. Aquesta informació es pot transmetre de forma transparent a través de la xarxa o bé la xarxa pot incloure-hi alguna mena de processament. A part de la informació d'usuari qualsevol altra informació pel control de l'enllaç que no alteri l'estat de la connexió (per exemple el control del flux), també pertany a aquest pla.

*Pla C*, per a l'informació de control de la transferència d'informació del pla U i els protocols associats. Pertany a aquest pla tota la informació relativa a la assignació/desassignació de recursos de la xarxa.

*Pla M*, per la gestió associada a la transferència de la informació de control i d'usuari. Els plans U i C són els que la suporten.

Cada pla pot estar format per un subconjunt dels set nivells de protocols ISO/OSI, i a cada pla s'hi pot aplicar els principis d'aquest model, que són:

- a) En segons quins casos els nivells poden estar buits (no realitzen cap funció).
- b) Els serveis que proporciona un nivell buit al nivell superior són exactament els mateixos que proporciona el nivell inferior a aquest nivell buit.
- c) Les primitives del nivell superior es tradueixen directament a primitives del nivell inferior.
- d) Els protocols de cada pla són independents entre ells.

Els protocols del pla d'usuari s'utilitzen per transferir informació entre aplicacions d'usuari i els protocols del pla de control per transferir informació entre els elements de control, una aplicació d'un d'aquests elements de control pot utilitzar funcions del pla de control (per exemple, per establir una connexió del pla d'usuari).

En el cas de la IBCN, el model de referència, tant per l'arquitectura de la xarxa com pels seus protocols, es basa en el mateix esquema definit per a la ISDN. Aquí, però, ATM proporciona un servei portador universal comú per a tota mena de serveis que també dona suport a la senyalització i als protocols necessaris pel control i la gestió de la xarxa [VOR88].

A continuació es descriuen els tres nivells baixos OSI per a la IBCN. El nivell 4 (transport) i els nivells superiors (nivells orientats a l'aplicació) corresponen a protocols extrem a extrem entre TEs remots.

*Nivell 1.* El nivell 1 del model OSI se subdivideix en quatre subnivells: 1A físic, 1B control d'accés al medi, 1C (ATM) que es cuida de la gestió i transmissió de les cel·les ATM, i 1D que es cuida d'adaptar l'entorn de transmissió ATM als requeriments dels diversos serveis en entorns no-ATM. Els nivells 1A i 1B depenen del medi de transmissió i normalment s'agrupen en un subnivell PMD ("Physical Medium Dependent"). Aquí s'expliquen per separat per facilitar la descripció de les interfícies ATM.

- 1A) Els aspectes principals d'aquest subnivell són: les interfícies elèctriques i/o òptiques, la sincronització dels bits, els equips transmissors i receptors, la codificació i descodificació de canal, la modulació i desmodulació, l'equalització i la supressió de l'eco. Les funcions de la nova jerarquia de transmissió digital SDH, aprovada recentment pel CCITT i inspirada en SONET s'inclourà en aquest subnivell. En resum, és el responsable de la transmissió de les unitats de dades, sense cap altra funció addicional; proporciona un servei de transmissió de bits a una velocitat constant al subnivell 1B. No distingeix entre la informació d'usuari ni de control i és un subnivell comú pels protocols del pla d'usuari i del pla de control.
- 1B) Quan més d'un sistema està connectat al medi de transmissió és necessari compartir-lo. El subnivell MAC ("Medium Access Control") es pot considerar com un conjunt de funcions que es cuida de facilitar l'accés al medi tal com es faria a una LAN ("Local Area Network"). Part d'aquestes funcions, com per exemple la sincronització de la unitat de dades MAC i, si s'escau, la detecció de col·lisions, pertanyen al nivell 1 (subnivell 1B en el nostre cas), i la resta són de nivell 2. Aquest subnivell proporciona servei tant al pla d'usuari com al pla de control.

- 1C) Engloba totes aquelles funcions derivades exclusivament de la tècnica ATM, essent independent del medi de transmissió i de la topologia subjacent. Es cuida de la multiplexació de cel.les i, en contrast amb el nivell 1A, ofereix al nivell 2 una velocitat de transmissió variable. És l'únic nivell en el que es tracten les capçaleres de les cel.les.

Un circuit virtual és una connexió entre dues entitats del subnivell 1C. A aquest nivell és possible multiplexar diverses connexions ja que la capçalera ens indicarà el circuit virtual al que pertanyen. Per altra banda no s'hi fa cap diferència en el tractament de la informació de control i la d'usuari.

Les funcions principals d'aquest subnivell són: la transferència de la informació a través del circuit virtual, la identificació dels circuits virtuals, el control d'errors de les capçaleres de les cel.les, la multiplexació i desmultiplexació en funció de les capçaleres i l'empaquetament i desempaquetament de la informació en cel.les.

- 1D) Aquest subnivell d'adaptació depen del servei i, en aquest sentit, pot considerar-se que les seves funcions corresponen conceptualment als nivells superiors del model OSI. En les xarxes convencionals el servei portador engloba els tres nivells més baixos d'aquest model, el servei portador ATM, però, abasta només els subnivells PMD i ATM. Les seves funcions principals són: la detecció de cel.les perdudes, la detecció de cel.les parcialment plenes, la reordenació de cel.les, l'adaptació del servei ATM a d'altres modes de funcionament com ara STM o PS.

Entre les funcions incloses en l'adaptació a serveis síncrons destacarem, l'assemblatge i desassemblatge de cel.les, la compensació del retard variable i la sincronització de trames. En realitat aquest subnivell es pot desdoblar en tants subnivells paral·lels com adaptacions a entorns no-ATM es necessitin.

*Nivell 2.* És el nivell que es cuida de millorar, si convé, el servei que proporciona el nivell 1 per tal d'obtenir una qualitat de servei determinada. Les seves funcions són diferents en el pla U i en el C.

En el pla d'usuari aquest nivell és totalment transparent a causa de la gran fiabilitat de la transmissió que es preveu; a més, un bon dimensionament dels "buffers" i un control adequat de càrrega pot proporcionar una taxa global de pèrdua de cel.les força baixa. Malgrat això, algunes propostes inclouen, en aquest pla, un nivell 2 pels serveis de transmissió de dades; l'opinió més generalitzada és, però, deixar les funcions de control d'errors i de flux pel nivell de transport.

En el pla de control el protocol de nivell 2 inclou la detecció i correcció d'errors i el control de flux. La seva missió és fer-se càrrec de les situacions de sobrecàrrega de la xarxa la pèrdua de cel.les i possibles problemes derivats de les comunicacions mòbils.

*Nivell 3.* El nivell 3 gestiona l'encaminament de les cel.les i proporciona les connexions de la xarxa necessàries en cada cas.

La informació d'usuari és transparent pel nivell de xarxa; es transmet pel circuit virtual assignat en la fase d'establiment i s'ha acabat. En el pla de control s'hi inclouen les funcions d'establiment i alliberació del circuit virtual. Es preveu que el protocol d'aquest pla evolucioni a partir del de la ISDN i que siguin compatibles.

La figura 2.4 mostra com quedaria el model de referència per a la IBCN amb la inclusió de les funcions esmentades.

Finalment, cal fer esment de la interfície virtual entre els plans U i C i l'M. Algunes

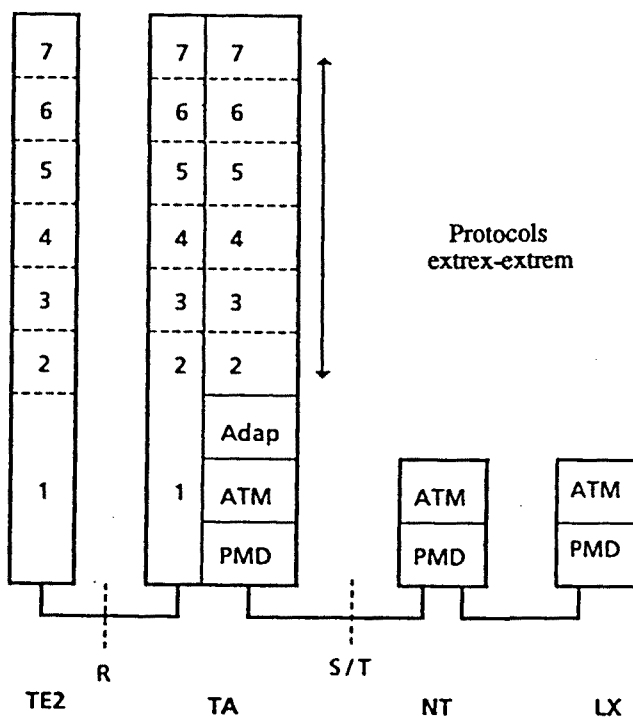
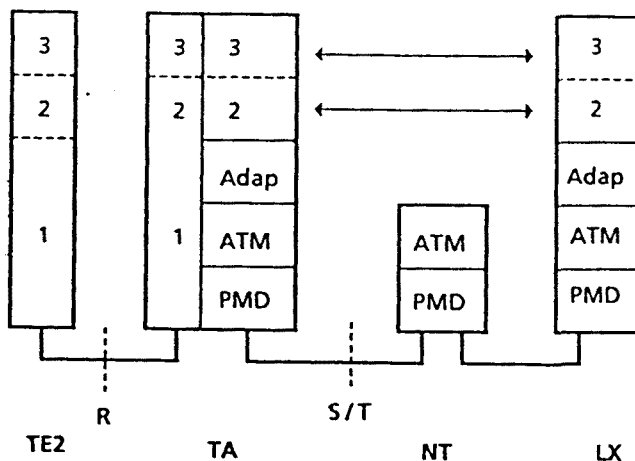


FIGURA 2.4 Bloc de protocols pels elements de la xarxa IBCN.  
 a) Pla d'usuari, b) Pla de control.

funcions de gestió de xarxa, com per exemple la verificació de la compatibilitat del servei sol·licitat, la monitorització, la tarificació, operacions de manteniment, etc., es realitzen a través d'aquesta interfície. La interfície M-U/C depèn de cada realització concreta i, per tant, no està subjecta a la normalització.

2.4.2 Accés d'usuari

L'accés d'usuari o SPN (figura 2.2) està ubicada a casa de l'abonat, de manera que des del punt de vista funcional el punt de referència T és la interfície entre la SPN i la xarxa pública (IBCN). La SPN inclou les funcions de l'NT2, si són necessàries, el punt de

referència S i la instal·lació interior que connecta tots els terminals de l'abonat.

Per l'estudi de l'arquitectura de la SPN és indispensable identificar els requisits que haurà de satisfer, els quals depenen de l'entorn (nombre d'usuaris, limitacions geogràfiques i físiques, serveis requerits, etc.). En aquest sentit distingirem dos entorns.

*Entorn residencial.* El formen habitualment grups reduïts de persones i els serveis de banda ampla dels que fan ús són bàsicament d'oci. També s'hi poden incloure operacions empresarials, però de poc volum. La interfície U pot ser asimètrica a velocitats de l'ordre dels 150 Mbps de sortida i dels 600 Mbps d'entrada.

*Entorn empresarial.* En l'entorn empresarial els serveis més habituals són els de diàleg i les velocitats requerides van dels 300 Mbps fins a 1 Gbps. Els tipus de terminals que més estrobaran en aquest entorn seran els multimèdia que permeten l'accés a diversos serveis i tipus d'informació. En aquest entorn també es preveu que la SPN es pugui connectar directament a xarxes locals (LANs) o a xarxes metropolitanas (MANs).

Els requisits més importants de l'accés d'usuari són, per un cantó funcionals, que respongui al tipus de servei sol·licitat en l'entorn que sigui (la qual cosa té implicacions en la velocitat de transmissió, retard màxim, capacitat de memòria necessària, eficiència, etc.), i per l'altre estructurals, que inclou aspectes com per exemple flexibilitat, fiabilitat, comportament físic i operatiu, i cost.

## REFERÈNCIES

- [COS88] Expert Group on ATM Switch Structures. "FINAL REPORT OF COST-202bis". desembre de 1988.
- [DOM90] J. Domingo, O. Casals i N. Torralba. "HACIA UNA UNICA INFRAESTRUCTURA DE LAS TELECOMUNICACIONES". Mundo Electrónico, març de 1990.
- [HAN89] Rainer Händel. "EVOLUTION OF ISDN TOWARDS BROADBAND ISDN". IEEE Network, gener de 1989.
- [RAC86] Projecte RACE 1023. "INTEGRATED BROADBAND COMMUNICATION NETWORKS USING ASYNCHRONOUS TIME DIVISION TECHNIQUES". RACE Definition Phase Final Report, novembre de 1986.
- [SAN90] Germán Santos i Josep Solé. "COMUNICACIONES EN BANDA ANCHA: GESTION DE RED". Mundo Electrónico, setembre de 1990.
- [SEL88] SEL AG (Research Dep.), "QUALITY OF SERVICE PARAMETER VALUES IN AN ATM NETWORK". Documentació interna del projecte RACE 1022, codi SEL\_122\_002\_CD\_CC.
- [STL85] W. Stallings. "INTEGRATED SERVICES DIGITAL NETWORK (ISDN)". Tutorial, IEEE Computer Society, 1985.
- [TAN88] A. S. Tanenbaum. "COMPUTER NETWORKS". Prentice Hall 1988<sup>2</sup>.
- [TOR90] Núria Torralba, Jordi Domingo i Jorge García. "COMUNICACIONES EN BANDA ANCHA: ARQUITECTURA DE RED Y ACCESO DE USUARIO". Mundo Electrónico, maig de 1990.
- [VOR88] J. P. Vorstermans, A. P. de Vleeschouwer. "LAYERED ATM SYSTEMS AND ARCHITECTURAL CONCEPTS FOR SUBSCRIBERS' PREMISES NETWORK". IEEE Journal on Selected Areas in Communications, Vol.6, no. 9, pp. 1545-1555, desembre de 1988.

## **ESTRUCTURES DE COMMUTACIÓ PER A ATM**

El disseny del commutador és crucial en el desenvolupament de la futura IBCN/ATM. Mentre la disponibilitat dels commutadors òptics, que semblen la solució més natural en aquest context, sigui tan llunyana, les expectatives s'hauran de continuar centrant en els commutadors elèctrics [NUS88]. És per això que la selecció d'una estructura adequada ocupa, en l'actualitat, gran part dels esforços en els projectes de recerca que en aquesta línia es porten a terme en l'àmbit de les xarxes de comunicació arreu del món.

En aquest capítol s'hi revisen les estructures de commutació de més interès pel disseny dels dispositius que facin possible l'aplicació de la tècnica ATM en la xarxa IBCN.

### **3.1 CRITERIS DE SELECCIÓ DEL COMMUTADOR**

La funció bàsica dels commutadors és la conducció de les cel·les de les connexions en curs la seva destinació complint les condicions que demanden els diversos serveis que se suporten (QOS). Des d'aquest punt de vista, l'aspecte que més s'apreciarà d'una bona selecció en l'estructura de commutació és la reducció del retard i la taxa de pèrdua de cel·les que suposi. El comportament dels commutadors, en aquest sentit, és de capital importància pel correcte funcionament de tota la xarxa, ja que aquests paràmetres són acumulatius.

Hi ha, però, d'altres condicionants com ara l'aplicació, el control de la distribució de tràfic, la fiabilitat, la modularitat, la tecnologia, etc., que també s'han de tenir en compte en aquesta selecció. Del que es tracte en definitiva és de conjugar tots els elements i d'arribar a un compromís que satisfaci els nostres requisits de la forma més eficient, fiable i econòmica possible.

#### **3.1.1 Aplicació**

L'actuació del commutador es requereix a diversos punts de la xarxa, a l'NT2, a l'LX al TX, etc. (vegeu figura 2.2), essent la dimensió requerida en cada cas, la principal diferència. L'estructura seleccionada ha de realitzar correctament la seva funció en qualsevol d'aquests punts.

#### **3.1.2 Distribució de càrrega**

Entre la diversitat de tràfic que haurà de suportar la IBCN, n'hi ha que requereixen un tractament diferent que d'altres. El tràfic propi de la senyalització, per exemple, s'ha de sotmetre a les mínimes restriccions possibles, els serveis de distribució impliquen la difusió del tràfic a més d'una sortida simultàniament, etc. La predisposició de l'estructura de commutació per facilitar el control de la distribució del tràfic (aplicació de prioritats, difusió, funció de policia, etc.) és un punt molt important al seu favor.

### 3.1.3 Tractament de capçaleres

El deteriorament de les capçaleres de les cel·les, a diferència dels errors al camp d'informació, comporta efectes secundaris que poden afectar al propi commutador, per exemple cel·les esgarriades al seu interior sense possibilitat de sortida. A més en algunes estructures és necessari realitzar alguna forma de traducció de la capçalera ATM per adaptar-la al funcionament del propi commutador. Una excessiva complexitat en aquest sentit pot repercutir en el funcionament de la xarxa.

### 3.1.4 Fiabilitat

El commutador hauria de mantenir un cert grau de funcionament b6 i produint-se una falla en algun dels seus elements. Aquest aspecte està molt lligat amb la modularitat que comentarem a continuació.

### 3.1.5 Modularitat

Aquest és un requisit molt relacionat amb el concepte d'expandibilitat i el manteniment. Un disseny modular dels commutadors permet la realització de tasques de manteniment i/o ampliació sense necessitat d'interrompre el servei.

### 3.1.6 Assequibilitat tecnol6gica

És un altre dels aspectes decisius en la selecció de l'estructura de commutació. La possibilitat d'un disseny VLSI és clau per poder conjugar l'alta velocitat amb un cost raonable. La taula 3.1 presenta un resum de les prestacions que es poden aconseguir amb VLSI segons la tecnologia que s'utilitzi.

TAULA 3.1 - Quadre comparatiu de les tecnologies VLSI

	CMOS	BIPOLAR	GaAs
Velocitat	< 300 Mbps	< 1.1 Gbps	4 Gbps
Grau d'integració	ALT	MIG	BAIX
Consum	BAIX	ALT	MODERAT
Capacitat	ALTA	MITJA	BAIXA
"Fan-in/Fan-out"	BAIX	ALT	MODERAT

## 3.2 ESTRUCTURES BÀSIQUES DELS COMMUTADORS

Generalment, en parlar de commutador, ens referim a aquell dispositiu capaç de reconduir el tràfic d'una qualsevol de les seves entrades cap a una/diverses de les seves sortides. És possible, però, afinar una mica més i distingir entre els elements bàsics de commutació -commutador de dimensions reduïdes que es pot integrar en una sola pastilla- i el bloc de commutació -format per un nombre determinat d'elements bàsics de commutació interconnectats-. Així doncs, per estructura del commutador ens podem estar referint a l'estructura de l'element bàsic de commutació o al tipus d'interconnexió que s'utilitza en el bloc de commutació.

Pel que fa a l'estructura de l'element bàsic de commutació, en l'actualitat s'estan posant en qüestió una sèrie d'opcions inspirades, la majoria d'elles, en una de les fórmules d'accés múltiple al canal en xarxes d'àrea local, la de ranurar el canal ("slotted bus/ring") que és la forma flexible del múltiple accés per divisió del temps. Les diferències entre elles les introdueix la topologia i possibles variants, com ara el tipus d'arbitratge. D'altres opcions adopten, a petita escala, un esquema de funcionament semblant a l'utilitzat en les grans xarxes de commutació de paquets. A continuació descriurem succintament algunes de les estructures de més interès [COS88].

### 3.2.1 Bus TDM

Es tracta bàsicament d' $N$  ports d'entrada i  $M$  de sortida amb accés al mateix bus d'alta velocitat, ranurat al temps de cel.la; els ports d'entrada quan tenen cel.la en espera les van col.locant, una a una, a la primera ranura lliure que troben, i els ports de sortida processen les capçaleres i van buidant les ranures que contenen les cel.la a les que han de donar curs. A la figura 3.1 es pot veure representat aquest tipus d'estructura.

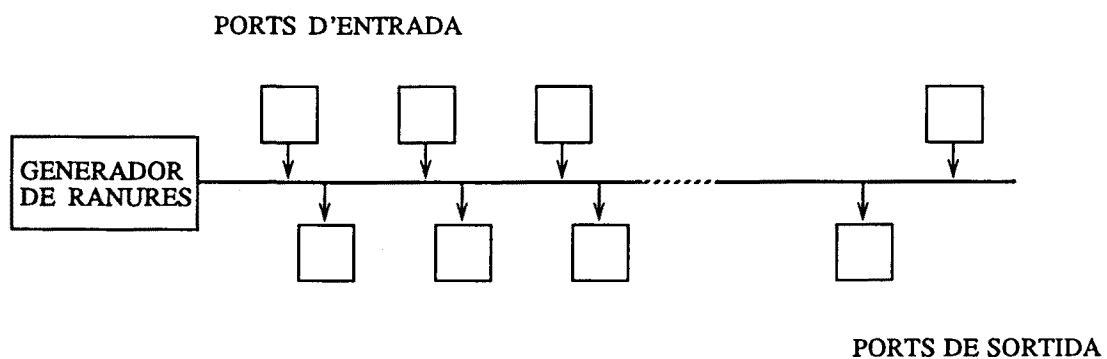


FIGURA 3.1 Bus TDM.

### 3.2.2 Matriu de busos ranurats

És una extensió de l'estructura anterior. Pot considerar-se com un commutador espacial amb elements de procés als punts d'encreuament ("crossbar") i es pot realitzar en les versions cues als propis punts d'encreuament o cues a les sortides. Està formada per un conjunt de busos ranurats dels quals  $N$  són d'entrada ( $Ib_i \mid i \in [0, (N-1)]$ ) i  $M$  de sortida ( $Ob_j \mid j \in [0, (M-1)]$ ), disposats de manera que els  $N$  d'entrada estan entrecreuats amb els  $M$  de sortida (figura 3.2). Els esmentats elements dels punts d'encreuament, realitzen les funcions d'emmagatzemament i procés que en el bus TDM realitzaven els ports d'entrada i de sortida per separat.

Fixem-nos que tant en el bus TDM com en els busos de sortida de la matriu de busos, l'element de control pot ser, simplement, un generador de ranures buides, o pot incorporar algun algorisme d'assignació prèvia de les ranures a alguna de les entrades, de manera que el tipus d'algorisme utilitzat pot millorar el comportament del commutador i facilita l'arbitratge de prioritats.



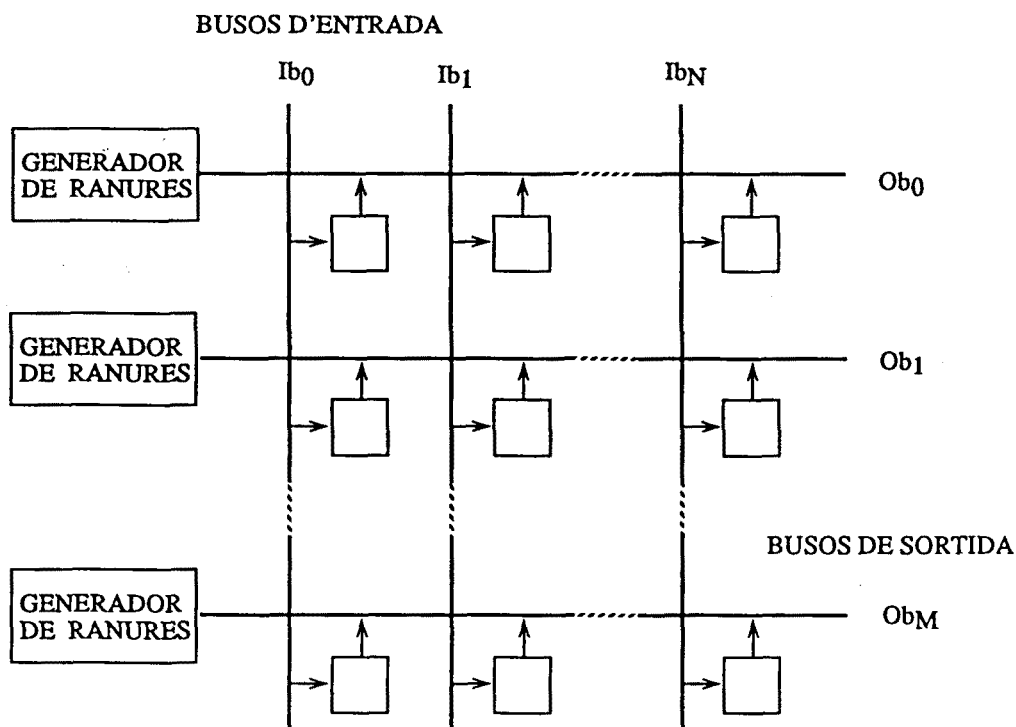


FIGURA 3.2 Matriu de busos ranurats,  $N \times M$ .

### 3.2.3 Anell ranurat

Aquesta estructura és producte del tancament sobre ell mateix del bus TDM. Els commutadors basats en una topologia en anell podrien utilitzar, també, la política del testimoni circulant ("token ring"), però per a aquesta aplicació, el canal ranurat ("slotted ring") dóna millors resultats. A la figura 3.3 s'hi poden veure dues possibles configuracions basades en aquesta estructura: la d'anell únic i la superposició d'anells formant un volum toroidal, en aquesta última configuració no es requereix que el port d'entrada i el de sortida pertanyin al mateix anell amb la qual cosa s'obté una millora del rendiment ("throughput").

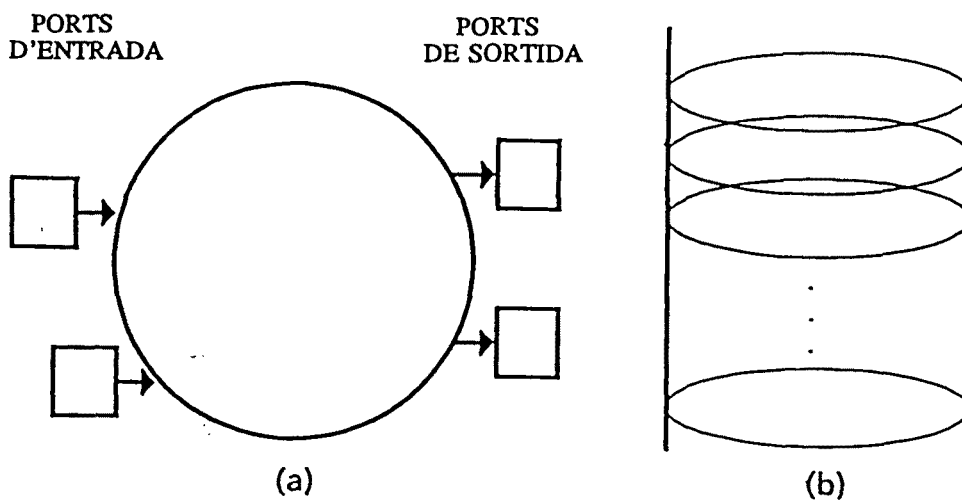


FIGURA 3.3 a) Anell ranurat. b) Superposició d'anells.

### 3.2.4 Memòria comuna

L'esquema de commutador temporal treballant asíncronament és aplicable, com a model, a qualsevol estructura de commutador ATM. Tal com ens mostra la figura 3.4 l'estructura de memòria comuna reproduïx de forma directa aquest esquema de funcionament. Com a característica important val la pena destacar l'optimització de memòria que, respecte a d'altres, s'aconsegueix amb ella.

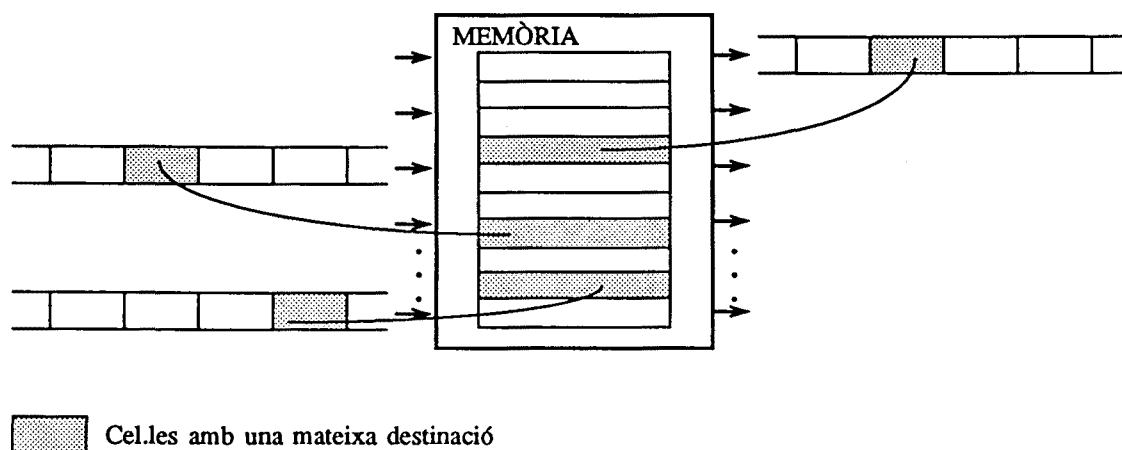


FIGURA 3.4 Esquema de funcionament d'un commutador en memòria comuna.

### 3.2.5 Xarxes d'interconnexió

Aquest tipus d'estructures es poden utilitzar per a commutació de paquets, per a commutació de circuits i, àdhuc, per a modalitats híbrides. Consisteix en una sèrie d'elements units per un determinat nombre d'enllaços (no tots amb tots) que ofereixen una o més alternatives per a l'establiment d'un camí físic entre dos punts terminals qualsevol.

El tipus de xarxa d'interconnexió que més s'està experimentant per a ATM són les *xarxes d'interconnexió multietapa* (MIN, "Multistage Interconnection Networks"). En aquest grup de xarxes existeixen dues possibles estructures: les que permeten un únic camí entre cada parella de punts terminals ("Single Path MINs") i les que en permeten més d'un ("Multipath MINs"), havent-hi diverses modalitats per a cada una d'elles (figura 3.5) [FEN81].

La breu descripció d'una de les possibles configuracions assenyalades a la figura 3.5, la xarxa *Delta* per exemple, ens pot ajudar a fer-nos una millor idea del funcionament d'aquestes estructures.

Les xarxes *Delta* són una extensió de les xarxes rectangulars que tenen com a principal particularitat l'utilització a cada node d'un dígit de control (o encaminament) per decidir l'enllaç de sortida de la cel·la en curs. Les xarxes rectangulars es caracteritzen per dues coses: només hi ha interconnexions entre nodes d'etapes adjacents i tots els nodes són de la mateixa mida ( $n \times n$ ). Així un commutador d' $N$  entrades i  $N$  sortides ( $N \times N$ ) es compon d' $S$  etapes, essent  $S = \log_n N$ , i cada etapa serà d' $N/n$  nodes. Això fa que cada sortida es pugui codificar amb un nombre de dígitos igual al nombre d'etapes del commutador i que a les xarxes *Delta*, per a l'encaminament només es requereixi examinar  $b$  bits per etapa, essent  $b = \log_2 n$ . A la figura 3.6 se'n pot veure un exemple per a  $n = 2$  i  $N = 8$ .

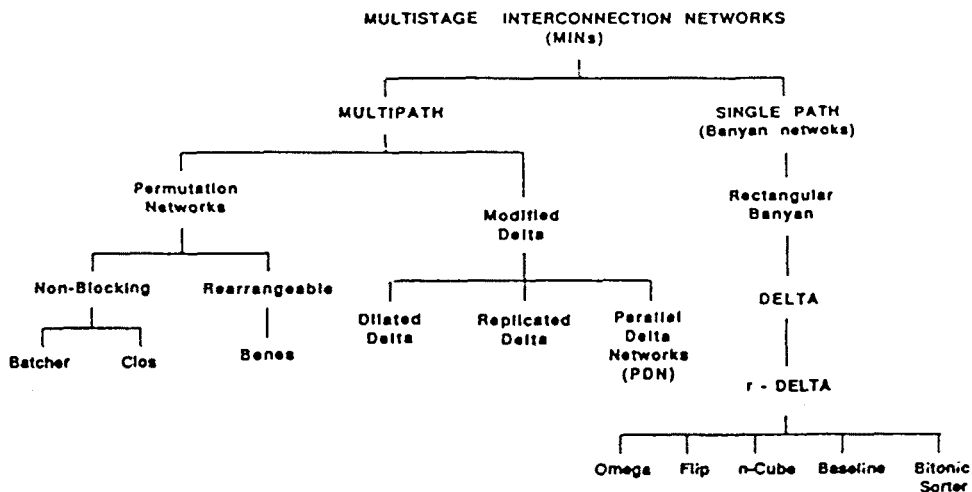


FIGURA 3.5 Classificació de les xarxes d'interconnexió multietapa.

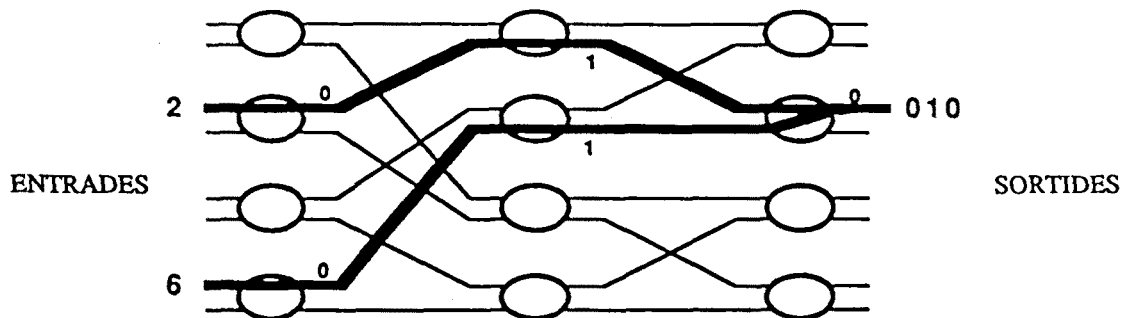


FIGURA 3.6 MIN tipus *Delta* 8x8 formada per elements 2x2 ( $N = 8$  i  $n = 2$ ).

Aquesta mena d'estructures no només es pot utilitzar pel disseny de l'element bàsic, sinó també, com a criteri per a l'interconnexió d'elements bàsics de qualsevol altre tipus en la formació del bloc de commutació.

### 3.3 CONCLUSIÓ

De les estructures mencionades no n'hi ha cap que sigui, d'una forma absoluta, la solució òptima, ni cap que, a primera vista, respongui millor que les altres als requisits establerts. Totes tenen els seus avantatges i els seus inconvenients, i seria necessària una anàlisi molt més profunda per a poder-les comparar amb detall.

En l'actualitat el tema de la selecció de l'estructura del commutador no està encara totalment resolt i s'estan dedicant gran quantitat d'esforços a realitzar estudis per determinar la influència de les característiques del tràfic, i de la càrrega, en el comportament del commutador en les diverses estructures.

L'objectiu prioritari és buscar l'estructura que doni els millors resultats respecte al retard i pèrdua de cel·les, però sense deixar de banda la búsqueda de la millor solució

tecnològica per a la seva realització. De fet són dos aspectes que van molt lligats, ja que una bona realització tecnològica pot optimitzar extraordinàriament el comportament d'una determinada estructura.

#### REFERÈNCIES

- [COS88] Expert Group on ATM Switch Structures. "FINAL REPORT OF COST-202bis", desembre de 1988.
- [FEN81] T. Feng. "A SURVEY OF INTERCONNECTION NETWORKS". IEEE Computer, desembre de 1981, pp 12-27
- [NUS88] E. Nussbaum. "COMMUNICATIONS NETWORKS NEEDS AND TECHNOLOGIES - A PLACE FOR PHOTONIC SWITCHING". IEEE Journal on Selected Areas on Communications, Vol SAC-6, n. 7, agost de 1988.
- [SOL90a] Josep Solé i Germán Santos. "COMUNICACIONES EN BANDA ANCHA: TECNICAS DE CONMUTACION". Mundo Electrónico, maig de 1990.

## CARACTERITZACIÓ DEL TRÀFIC A RÀFEGUES: CONCEPTE DE RAFEGUEIG

Per a una xarxa en mode de transferència asíncron, la càrrega oferta és una característica important del tràfic, però no n'és menys el rafegueig, ja que el tràfic de la majoria de serveis és a ràfegues -interval·ls d'alta activitat s'alternen amb interval·ls de baixa activitat-.

La càrrega oferta es pot expressar per la velocitat mitjana d'aparició de cel·les, o pel seu valor normalitzat a la velocitat màxima (intensitat mitjana de tràfic). El rafegueig, en canvi, per bé que intuitivament es pot associar al grau de fluctuació de la intensitat de tràfic, no és tan fàcil de definir ni de quantificar com la càrrega oferta.

En aquest capítol s'hi estudia la caracterització del tràfic a ràfegues per determinar-ne els paràmetres bàsics, els aspectes que més contribueixen al rafegueig i els que més influiran en el comportament del commutador o dels dispositius ATM en general. També es passa revista a les definicions de rafegueig més utilitzades en la literatura sobre el tema i se'n proposa una de nova que és la que s'adoptarà per a la resta del treball.

### 4.1 CARACTERITZACIÓ DEL TRÀFIC ATM

El tràfic ATM és una successió ininterrompuda de ranures de temps de durada  $T$  amb capacitat per a una sola cel·la que poden anar, aleatòriament, plenes o buides. Hi ha dues maneres de veure aquest flux de cel·les: com a seqüència aleatòria de cel·les pròpiament dita o com a seqüència aleatòria de ràfegues.

#### 4.1.1 Seqüència aleatòria de cel·les

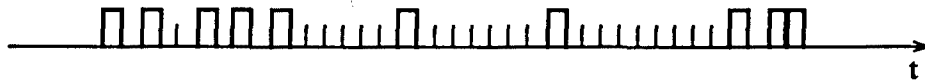
La manera de caracteritzar una seqüència aleatòria de cel·les és per la distribució estadística de les ranures que allotgen cel·les, essent-ne els paràmetres bàsics la mitjana i la variància de la distància entre cel·les; encara que el paràmetre que més comunament s'utilitza és la intensitat mitjana de tràfic.

La intensitat mitjana de tràfic, sobre un interval de temps determinat, es defineix com la velocitat mitjana d'aparició de cel·les normalitzada al seu valor màxim, de manera que el seu valor està acotat entre 0 i 1. La intensitat mitjana es pot calcular tant pel tràfic d'una sola connexió com pel tràfic de diverses connexions multiplexades i sobre tota la seqüència de cel·les o només sobre períodes de característiques semblats, per exemple sobre els períodes d'alta activitat. La seva expressió general és:

$$\bar{A} = \frac{\bar{C} \text{ cel·les/seg}}{1/T \text{ cel·les/seg}} = \bar{C} T; \quad 1/T = C_{\max} \quad (4.1)$$

La intensitat mitjana de tràfic és també la inversa de la distància mitjana entre cel·les en els interval·ls de consideració:  $\bar{A} = 1/\bar{D}$ .

*Exemple 4.1:* Càlcul de la velocitat mitjana d'aparició de cel·les ( $\bar{C}$ ) -que obtindrem segons l'expressió (2.1)-, de la intensitat mitjana de tràfic ( $\bar{A}$ ) i de la distància mitjana entre cel·les ( $\bar{D}$ ) de la següent seqüència de cel·les. Temps de cel·la  $T = 0.7 \mu s$ , és a dir que  $C_{max} = 1.415 \text{ Mcel.les/seg (Mcps)}$ .



$$\bar{C} = 10 / 38 \cdot 0.7 \cdot 10^{-6} = 376 \text{ Kcps} ; \quad \bar{A} = 10 / 38 = 0.263$$

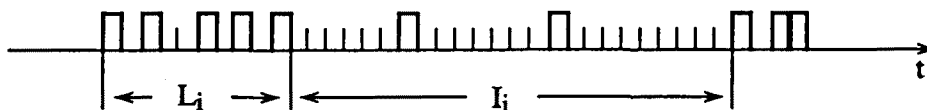
$$\bar{D} = (0 \times 2 + 1 \times 4 + 2 \times 1 + 6 \times 1 + 7 \times 1 + 9 \times 1) / 10 = 38 / 10 = 3.8 \text{ cel.les} = 1 / \bar{A}$$

#### 4.1.2 Seqüència aleatòria de ràfegues

Per extensió la definició de ràfega(\*) denominarem ràfega de tràfic a una successió *ràpida* de cel·les d'informació. En aquest context el terme *ràpida* és relatiu. Si per exemple, el fem relatiu a la velocitat mitjana d'aparició de les cel·les, una ràfega és un interval de temps en el qual la taxa de ranures plenes és superior a la mitjana, de manera que una ràfega ha d'estar situada obligatòriament entre dos intervals on l'aparició de cel·les es produeix a un ritme inferior al mitjà (intervals de baixa activitat). Una seqüència aleatòria de ràfegues és, doncs, una successió d'intervals d'alta i baixa activitat consecutius de durada aleatòria.

Les ràfegues es caracteritzen per una intensitat de tràfic i una durada, la intensitat de tràfic ha de tenir un valor *alt* (superior a la mitjana, per exemple) i la durada sembla que també ha de ser major que un cert límit, tant l'un com l'altre són aspectes que es presten a múltiples consideracions (punt 5.2.1). La forma de caracteritzar les seqüències aleatòries de ràfegues és a partir de la distribució estadística de les ràfegues en el temps i de les pròpies característiques estadístiques de les ràfegues. Així els paràmetres bàsics són l'interval entre ràfegues (interval de baixa activitat) i la intensitat de tràfic en aquests intervals que identificarem amb les variables aleatòries  $I$  i  $A_s$ , i la durada i la intensitat de tràfic de les ràfegues que identificarem amb les variables aleatòries  $L$  i  $A_a$ . La mitjana i desviació típica d'aquestes quatre variables aleatòries són de gran utilitat per a la caracterització en qüestió.

*Exemple 4.2:* Càlcul de la intensitat mitjana de tràfic i durada de la ràfega  $i$ -èsima ( $\bar{A}_{ai}$  i  $L_i$ ), i de la intensitat mitjana de tràfic i durada de l'interval entre les ràfegues  $i$  i  $i+1$  ( $\bar{A}_{si}$  i  $I_i$ ) de la seqüència de cel·les anterior vista com a seqüència de ràfegues.



$$A_a(i) = \bar{A}_{ai} = 5 / 10 = 0.5 \quad L_i = 10 \text{ cel.les}$$

$$A_s(i) = \bar{A}_{si} = 2 / 24 = 0.083 \quad I_i = 24 \text{ cel.les}$$

(\*) Ràfega (Diccionari de la Gran Enciclopèdia Catalana): ... successió ràpida de trets d'arma automàtica.

Del que s'acaba de dir cal remarcar dues coses:

- 1) Els intervals de baixa activitat no han de ser necessàriament silencis estrictes,  $\bar{A}_{si} \geq 0, \forall i$ .
- 2) Les mitjanes de les variables aleatòries  $A_a$  i  $A_s$  respondrien a les expressions:

$$\bar{A}_s = 1/n \sum_{i=1}^n \bar{A}_{si} ; \bar{A}_a = 1/n \sum_{i=1}^n \bar{A}_{ai} \quad (4.2)$$

#### 4.1.3 Tràfic a ràfegues

Segons aquesta segona forma de caracterització podrem distingir dues menes de tràfic diferent: el tràfic monòton i el tràfic a batzagades o tràfic a ràfegues.

- a) El *tràfic monòton* és aquell que té una intensitat molt poc fluctuant, de manera que les diferències d'intensitat entre els intervals d'alta i baixa activitat són gairebé inapreciables, la qual cosa fa que aquests intervals siguin difícilment diferenciables.
- b) En el *tràfic a ràfegues*, en canvi, els intervals d'alta activitat (ràfegues) i els de baixa activitat, sí que són clarament diferenciables i, per tant, identificables.

Naturalment aquestes són dues categories generals, en cadescuna de les quals hi haurà una determinada gradació. El *rafegueig* o *factor de ràfega* ("burstiness") és l'atribut que s'utilitza per quantificar més finament aquesta propietat del tràfic.

## 4.2 DEFINICIONS DE RAFEGUEIG

Amb la definició de rafegueig es preten associar una expressió a aquest terme, de manera que els valors que prengui permetin determinar el grau de fluctuació de la velocitat d'apartició de cel.les d'un determinat flux de tràfic i/o comparar-lo amb el d'altres fluxos de tràfic diferents.

Com que la definició de rafegueig encara no està totalment concensuada, en la pràctica s'utilitzen diverses expressions. Tot seguit farem un repàs de les que més freqüentment apareixen en la literatura sobre el tema.

### 4.2.1 Sobre seqüències aleatòries de cel.les

En general les definicions de rafegueig estan donades sota l'òptica de veure el flux de tràfic com a seqüència aleatòria de cel.les i no com a seqüència aleatòria de ràfegues. De totes les definicions utilitzades en destaquen tres: la relació entre els valors de pic i mitjà de la intensitat de tràfic, la relació entre la desviació típica i la mitjana de la intensitat de tràfic i la relació entre el temps d'activitat i la durada total del flux de tràfic.

- a) La relació entre els valors de pic i mitjà de la intensitat de tràfic respon a l'expressió:

$$A_{pic} / \bar{A} \quad (4.3)$$

Aquesta relació no ens diu res més que els valors màxim i mitjà de la intensitat de tràfic. Els seus defectes principals són que hi ha moltes distribucions diferents que en

poden donar un mateix valor i que no ens informa de la freqüència d'aparició del valor de pic. Tot i amb això és la definició de la que s'ha fet més ús en els treballs que han requerit caracteritzar aquest aspecte del tràfic, s'ha usat en estudis del comportament de dispositius i polítiques de control de tràfic per a ATM fets en base a un model de dos estats, per a la parametrització del qual es requereix la intensitat mitjana de tràfic i el factor de ràfega, [DIT88], [GAL89], etc. i en estudis de tràfic ATM [KAS88].

Pel que fa al còmput d'aquesta expressió, el valor de la intensitat mitjana de tràfic es pot estimar usant l'expressió 4.1, tal com ja s'ha fet en l'exemple 1, el valor de la intensitat de pic, però, pot ser més difícil de mesurar, encara que de vegades ve donat per les especificacions de la pròpia font de tràfic o per les limitacions del sistema. L'estimació més acurada del valor de pic s'obté a partir de la mesura de la distància o interval entre cel·les del flux de tràfic en qüestió, i un mètode alternatiu és fer-ho a partir del comptatge del nombre de ranures plenes en una finestra de temps determinada, això implica un cert interval de temps de mesura i part de la informació instantània es perd, però el resultat pot ser prou aproximat [COS88].

- b) La relació entre la desviació típica i la mitjana de la intensitat de tràfic i el quadrat d'aquesta relació, anomenat *coeficient de variació*, que de vegades també s'utilitza, responen a les expressions:

$$\sigma_A/\bar{A} \text{ i } (\sigma_A/\bar{A})^2 \text{ respectivament} \tag{4.4}$$

Aquesta definició ja conté més informació, ens dóna una idea de la dispersió relativa de la intensitat de tràfic, però tampoc no és biunívoca i l'estimació del valor de la desviació típica pot suposar un inconvenient per a la seva aplicació.

Redefinint-la en termes de la distància entre cel·les ( $D$ ) quedaria com  $\sigma_D/\bar{D}$ . Aquesta expressió es pot veure com un indicador que relaciona la seqüència en qüestió amb un procés markovià. Associant el rafegueig a la correlació entre cel·les, un tràfic de Markov seria el cas de rafegueig nul (el paradigma de tràfic monòton dins l'aleatorietat) i es podria prendre com a referència per a la quantificació del rafegueig d'altres tipus de tràfic ja que  $\sigma_D = \bar{D}$  i, per tant,  $\sigma_D/\bar{D} = 1$ .

- c) La relació entre el temps d'activitat i la durada total de la seqüència de cel·les és simplement un factor indicatiu de la densitat d'activitat (quan hi ha transferència de cel·les, al ritme que sigui) en el temps. Respon a l'expressió:

$$\frac{\Sigma \text{ durada dels intervals d'activitat}}{\Sigma \text{ durada dels intervals d'activitat} + \Sigma \text{ durada dels intervals de silenci}}$$

Si dóna 1 és que el tràfic no és a ràfegues i representa que com més petit sigui aquest factor més fluctuant és el tràfic. Malgrat que la inconsistència d'aquesta definició és palesa -l'evidència la seva pròpia expressió- és una altra de les més utilitzades. Habitualment s'usa en la caracterització del tràfic produït pels serveis ja en funcionament o en fase d'experimentació, doncs és molt fàcil de calcular en temps real [CAS87], [KOH88], [FIL89] etc.

#### 4.2.2 Sobre seqüències aleatòries de ràfegues

Fent un canvi d'òptica i considerant els fluxos de tràfic com seqüències aleatòries de ràfegues les definicions (a) i (c) anteriors es poden refinar com es fa a continuació.



- a') La relació entre els valors de pic i mitjà de la intensitat de tràfic es podria expressar com:

$$\bar{A}_a / \bar{A} \quad (4.5)$$

L'expressió (4.3) passa a ser un cas particular de (4.5) quan la intensitat de tràfic de les ràfegues és constant ( $A_a$  és determinista), per tant, sembla que pot ser més general i, a més, exigeix directament l'estimació aproximada de la intensitat de tràfic de pic, ja que  $\bar{A}_a$  no és res més que el nombre mitjà de cel·les comptades en una finestra de temps que en aquest cas s'ajustaria a les successives ràfegues del flux de tràfic.

- c') Aquest canvi d'òptica també permet modificar sensiblement l'expressió de la densitat d'activitat del tràfic en els termes següents:

$$\bar{L} / (\bar{L} + \bar{I}) = 1 / (1 + \bar{I} / \bar{L}) \quad (4.6)$$

La inversa d'aquesta expressió coincideix amb l'expressió (4.5) quan es considera que els intervals entre ràfegues són els silencis estrictes ( $A_s = 0$ ), i si, a més, en les seqüències en estudi la intensitat de tràfic de les ràfegues ( $A_a$ ) és determinista, coincidiria amb l'expressió (4.3), perquè llavors  $A_{pic} = A_a$ .

L'inconvenient més greu d'utilitzar aquesta expressió en el cas més general és que no dona cap informació sobre les variacions de la intensitat de tràfic.

Un últim aspecte a considerar és que cap d'aquestes definicions no ens diu res sobre la durada de les ràfegues, ni tan sols la darrera, ja que l'expressió (4.6) només depen de la relació entre les durades mitjanes dels intervals entre ràfegues i de les ràfegues ( $\bar{I} / \bar{L}$ ), i així tràfics amb diferents valors de ràfega mitjana poden donar el mateix valor en (4.6), sempre que el valor de  $\bar{I} / \bar{L}$  sigui el mateix.

#### 4.2.3 Definició adoptada

Observem que la densitat d'activitat del tràfic expressada per (4.6) no es correspon amb la densitat de ràfegues en el temps que en realitat vindria donada per l'esperança matemàtica de la variable aleatòria B, definida com:

$$B = L / (L+I) \quad (4.8)$$

és a dir, per 
$$\bar{B} = E[L / (L+I)] \quad (4.9)$$

i passa que 
$$\bar{L} / (\bar{L} + \bar{I}) \neq E[L / (L+I)]$$

Pel nostre treball sempre hem adoptat la visió del flux de tràfic com a seqüència de ràfegues i pres com a definició de rafegueig la variable B que és *la durada relativa de les ràfegues respecte a les parelles d'intervals d'alta i baixa activitat contigu*.

Essent  $\bar{B}$ , el seu valor mitjà i la *densitat de ràfegues en el temps*, el paràmetre que més habitualment s'ha utilitzat per quantificar el rafegueig.

El paràmetre  $\bar{B}$  ens informa de la relació que en mitjana hi ha entre la durada de les ràfegues i la dels seus intervals de baixa activitat *contigus*, aquest és l'aspecte que la fa més interessant, sobretot en relació a (4.6), però com ella tampoc no ens diu res de

la intensitat de tràfic ni de la durada de les ràfegues, per això, per a la quantificació, aquest paràmetre sol, resulta incomplet i es requereix alguna referència a la intensitat de tràfic com ara l'expressió (4.5) o la distància entre  $\bar{A}_a$  i  $\bar{A}_s$ .

### 4.3 QUANTIFICACIÓ DEL RAFEGUEIG

Les deficiències de qualsevulla de les definicions esmentades es fan més paleses quan s'intenta posar-les en pràctica i quantificar el rafegueig d'un flux de tràfic d'una determinada intensitat mitjana,  $\bar{A}$ .

Estudiem, per exemple, el que passa si s'utilitza la densitat de ràfegues en el temps ( $\bar{B}$ ) com a rafegueig. La primera impressió és que els valors alts de  $\bar{B}$  indiquen un rafegueig baix mentre que els valors baixos de  $\bar{B}$  indiquen rafegueig alt.

El cas més clar de tots és quan  $\bar{B}$  és màxim,  $\bar{B} = \bar{B}_{\max} = 1$  correspondria a un flux de tràfic que tot ell es pot considerar una ràfega, quan això passa és que la intensitat mitjana de tràfic de ràfega és la pròpia intensitat mitjana del flux de tràfic ( $\bar{A}_a = \bar{A}$ ), la qual cosa ens està dient que en realitat del que es tracta es d'un flux de tràfic amb una intensitat gens fluctuant (tràfic totalment monòton).

Per altra banda el valor mínim de  $\bar{B}$  ( $\bar{B}_{\min}$ ) es donaria per un flux de tràfic en el que la intensitat de tràfic de les ràfegues fos màxima ( $\bar{A}_a = 1$ ) i la dels intervals entre ràfegues és mínima ( $\bar{A}_s = 0$ ), que sembla ser el cas en que les fluctuacions de tràfic són més brusques i per tant el rafegueig més alt. Entremig hi hauria la resta de possibilitats.

En general un valor baix de  $\bar{B}$  implica que el flux de tràfic en qüestió té una intensitat mitjana de ràfega alta que compensa els intervals de baixa activitat que en mitjana són més llargs, en relació a les ràfegues, com més petit és el valor de  $\bar{B}$ , en conseqüència ens permet assegurar que es tracta de tràfic a ràfegues, més com més petit sigui  $\bar{B}$ .

Sembla, doncs, que l'enunciat inicial podria ser cert però no és així. El paràmetre  $\bar{B}$ , proporciona una valoració del rafegueig del tràfic en termes absoluts i a partir d'una distribució determinada de la intensitat de tràfic com a referència. Sovint, però, ens interessa poder fer una valoració relativa, citem-ne dos exemples:

- 1) Comparació de diversos fluxos de tràfic de la mateixa intensitat mitjana però procedència diferent i que poden donar valors molts semblants del paràmetre amb que s'estigui quantificant el rafegueig.
- 2) Quantificació de l'agressivitat del tràfic per intuir, a grosso modo, l'efecte que pot produir sobre la xarxa o sobre algun dispositiu concret (commutador, multiplexor, etc.).

Des d'aquest punt de vista l'expressió  $\bar{A}_a / \bar{A}$ , sola, tampoc ens dóna prou informació,

ara ens cal la referència a la distribució temporal que dona  $\bar{B}$ , i és curiós que en aquest cas el raonament més adequat sembla que seria el següent: de dues seqüències de tràfic que donin un valor molt semblant de la relació  $\bar{A}_a / \bar{A}$ , la que tingui un valor de  $\bar{B}$  més alt és la de major rafegueig.

Tant en un cas com en l'altre hi juguen un paper decisiu la llargària de les ràfegues (L) i la relació entre les intensitats de tràfic de les ràfegues i dels intervals entre ràfegues ( $A_a$  i  $A_s$ ). A més, atenent a la dispersió dels valors que poden prendre aquests paràmetres pel fet de ser variables aleatòries, l'ús de les mitjanes també pot no ser prou significatiu.

#### 4.4 CONCLUSIÓ

Els aspectes que més contribueixen al rafegueig són les distribucions temporals (proporció de les ràfegues en els intervals ràfega-interràfegues i llargària de les ràfegues) i la distribució de la intensitat de tràfic (intensitat de tràfic de les ràfegues i dels intervals entre ràfegues i la distància entre elles).

Per a un coneixement complet del rafegueig del tràfic es requereix la utilització combinada de les definicions citades i, si volem acabar d'afinar al màxim, s'ha de fer ús de fórmules més complexes que incloguin tots els elements que contribueixen més significativament al rafegueig i estudiar-ne els seus valors mitjans, la desviació típica o les pròpies funcions de densitat de probabilitat.

Es pot pensar, per exemple, en la variable aleatòria, *intensitat mitjana de trafic en les parelles d'intervals ràfega interràfegues contigus*, que denominarem R:

$$R = A_a B + A_s (1-B) \quad (4.10)$$

que afegeix a B la informació relativa a la intensitat de tràfic, i/o la combinació de B i el pes de les ràfegues. El pes de les ràfegues el definirem com la variable aleatòria:

$$d_a = L A_a \quad (4.11)$$

que incorpora, a més d'informació sobre la intensitat de tràfic, la llargària de ràfega.

Podem pensar, també, en la combinació de B i la distància entre el pes de les ràfegues i el dels intervals entre ràfegues, expressat per  $d_a - d_s$  o la seva relació ( $d_a / d_s$ ), o en la combinació de B, L i la distància entre intensitats de tràfic ( $A_a - A_s$  ó  $A_a / A_s$ ).

#### REFERÈNCIES

- [CAS87] F. Casali i S.R. Treves, "HACIA UNA RED INTEGRADA DE COMUNICACIONES EN BANDA ANCHA". Comunicaciones Eléctricas, vol. 61. n. 1 (1987) pp. 131-138.
- [COS88] Expert Group on ATM Switch Structures. "FINAL REPORT OF COST 202 bis", desembre de 1988.
- [DIT88] L. Dittmann i S. B. Jacobsen, "STATISTICAL MULTIPLEXING OF IDENTICAL BURSTY SOURCES IN AN ATM NETWORK". Proc. Globecom 1988, pp. 1293-1297.
- [GAL89] G. Gallassi, G. Rigolio i L. Fratta, "ATM: BANDWIDTH ASSIGNMENT AND BANDWIDTH ENFORCEMENT POLICIES". Proc. Globecom 1989, pp. 1778-1790.
- [FIL89] J. Filipiak, "M-ARCHITECTURE: A STRUCTURAL MODEL OF TRAFFIC MANAGEMENT AND CONTROL IN BROADBAND ISDN". IEEE Communication Magazine, vol. 27, n. 5 (1989) pp. 25-31.

- [KAS88] A. Käser i S. Rao, "INTERNATIONAL STANDARDS FOR BROADBAND ASPECTS OF ISDN". Proc. Globecom 1988, pp. 98-101.
- [KOH88] J.C. Kohli, D. S. Biring i G. L. Raya. "EMERGING BROADBAND PACKET-SWITCH TECHNOLOGY IN INTEGRATED INFORMATION NETWORKS". IEEE Network, novembre 1988.

## MESURAMENT DEL TRÀFIC A RÀFEGUES

En xarxes de commutació de paquets el mesurament del tràfic es pot fer considerant els paquets com elements anònims o bé tenint en compte algun tret de la seva identitat com ara el tipus d'informació que contenen (dades, veu, imatge, senyalització), el circuit virtual al que pertanyen (destinació, procedència), la prioritat, etc.

Pel mesurament de tràfic ATM la identificació del tipus de cel.la apareguda en cada instant és fonamental, perquè les ràfegues que més sovint ens interessarà considerar són les formades per cel.les d'una mateixa connexió o circuit virtual i les formades per cel.les de diverses connexions que afecten a un mateix punt de la xarxa, com per exemple una determinada sortida d'un node de commutació.

En aquest capítol es proposa un mètode de mesura pel tràfic a ràfegues basat en la partició del flux de cel.les en intervals d'alta i baixa activitat en funció de la velocitat instantània d'aparició de cel.les o, el que és equivalent, de la distància entre cel.les. Se'n descriu l'algorisme, se n'estudien els paràmetres crítics i se'n dóna un exemple d'aplicació.

### 5.1 INTRODUCCIÓ

Quan es planteja el tema del mesurament del tràfic en un entorn ATM ens trobem amb el dilema de mesurar, només, la càrrega oferta o de fer un mesurament més exhaustiu que permeti determinar, també, les característiques de rafegueig.

En benefici del nostre treball posterior ens interessa la segona opció i, tal com es pot deduir del capítol anterior, la mesura del rafegueig pot ser complexa, ja que si es vol fer de forma precisa, s'han de realitzar estimacions d'una sèrie força àmplia de paràmetres i, a voltes, s'han de fer assumpcions i aproximacions que no sempre responen estrictament a la realitat.

Pel mesurament del rafegueig el flux de tràfic s'ha de veure com a seqüència aleatòria de ràfegues, d'aquí vé que el nom genèric d'aquest capítol sigui el de *mesurament del tràfic a ràfegues*. Els resultats, però, d'una determinada mesura ens poden portar a la conclusió que aquell flux de tràfic en concret no era a ràfegues.

Per altra banda, per a un flux de tràfic d'una certa alta intensitat (p. e.  $\bar{A} \geq 0.7$ ) les característiques de rafegueig aporten ben poca cosa i és l'estadística de la pròpia intensitat de tràfic la que pot donar prou informació per a la seva descripció -es pot veure intuitivament que com més gran és la intensitat mitjana de tràfic menys possibilitats de fluctuació té per la qual cosa el seu rafegueig serà molt baix i per tant es pot considerar un aspecte poc significatiu-. On realment cal prestar atenció al rafegueig és en seqüències de cel.les extrems d'aquest flux total i que conviuen amb ell, per exemple les corrues pertanyents a una mateixa connexió o les formades per

cel·les pertanyents a diverses connexions però que tenen alguna cosa en comú, com ara que en un tram determinat del seu recorregut segueixen el mateix trajecte. Així que en la majoria de casos, pel mesurament del rafegueig les cel·les no s'han de considerar d'una forma anònima sinó que cal identificar-ne la procedència i/o la destinació.

## 5.2 DESCRIPCIÓ DEL MÈTODE DE MESURAMENT

Atenent a les reflexions anteriors, l'esquema que s'ha adoptat per modelar el procés d'aparició de cel·les en el punt de mesura és el *model del tren* proposat a [JAI86], en front del *model del cotxe* utilitzat habitualment en els estudis analítics.

El model del cotxe considera aparicions de paquets independents, cada cotxe (cel·la) ha de decidir a cada cruïlla el camí que ha de prendre, i encara que tot un seguit de cotxes vagin al mateix lloc, cada un d'ells pren les decisions independentment. En el model del tren, en canvi, es té en compte que un grup de cotxes poden viatjar junts formant un tren de manera que la locomotora és la única que pren decisions.

El fet que la mida de les unitats de dades de la majoria del serveis és molt superior a la dimensió de les cel·les ATM, també abona la nostra elecció -la transferència d'una pantalla gràfica, per exemple, pot implicar una transferència de l'ordre de 2 Mbts (4717 cel·les)-. De fet dir que la majoria de comunicacions que suporta una xarxa ATM comporten la circulació de trens de cel·les més que no la de cel·les aïllades és una altra manera de dir que la majoria de serveis ATM generen tràfic a ràfegues.

Així que, el mecanisme de mesura del rafegueig que es proposa es redueix a un algorisme per a la detecció i el còmput de l'efecte *tren* en el flux de tràfic, el punt clau del qual és l'establiment d'un criteri d'identificació dels trens. El criteri que adoptarem és, també, el mateix que es proposa a [JAI86], definir una distància màxima entre vagons (MAIG, "Maximum Allowed Intercar Gap"); si d'ençà de l'arribada de l'última cel·la, durant un interval superior a MAIG no n'apareix cap més, el tren anterior es dóna per acabat i la pròxima cel·la que arribi es considerarà la locomotora del següent tren.

En el nostre cas particular el paràmetre MAIG fixa el valor màxim permés de la distància entre cel·les per continuar en un període d'alta activitat (que nosaltres considerarem ràfega), així que s'usa per donar per closa una ràfega i obrir la comptabilització d'un període de baixa activitat (interval entre ràfegues). De manera inversa s'usa per decidir quan tancar un interval de baixa activitat i obrir una nova ràfega, però en aquest cas es requereix una condició addicional que garanteixi l'entitat de les ràfegues, ja que s'ha d'evitar que certes eventualitats, com per exemple un nombre molt reduït de cel·les seguides (dues, tres, les que siguin) aparegudes al mig d'un silenci (figura 5.1), distorsionin els resultats de les mesures. En concret en l'algorisme que es detalla a l'apartat 5.3 s'imposa la condició que un període d'alta intensitat de tràfic superi una durada mínima ( $L_{\min}$ ) per ser considerat com a ràfega.



FIGURA 5.1

### 5.2.1 Criteri d'identificació de ràfegues

El criteri d'identificació de ràfegues és un tema més complex del que sembla a primera vista, ja que en el fons el problema que planteja és el de la definició quantitativa (no

qualitativa) de les ràfegues: quina intensitat de tràfic ha de tenir una ràfega?, com ha de ser de llarga?. Fixem-nos que en donar un valor a MAIG o en l'establiment de més condicionants, com ara una dimensió mínima de ràfega, hi ha implícita la nostra resposta a les preguntes que acabem de formular i per tant estem convertint la mesura en totalment subjectiva.

Respecte al valor del paràmetre MAIG en les nostres aplicacions l'hem fixat a la mitjana de la distància entre cel.les del flux de tràfic (la inversa de la seva intensitat mitjana), amb això el que s'està fent és considerar ràfegues els intervals on la intensitat de tràfic és superior a la mitjana i intervals interràfegues allí on és inferior. Aquesta elecció té al seu favor que és justificable intuïtivament i que depen només del propi tràfic i no de condicionats externs. De totes maneres qualsevol altra opció podria ser perfectament vàlida en el seu context, d'altres valors funció també de la intensitat mitjana de tràfic o d'algun altre paràmetre del tràfic, un valor independent del flux de tràfic o, àdhuc, una variable.

Pel que fa a les condicions que acaben de determinar l'entitat de les ràfegues, també és discutible si en cal alguna més que el propi paràmetre MAIG. De fet que un interval d'alta intensitat molt curt es consideri ràfega (figura 5.1) pot distorsionar mesures orientades, per exemple, a detectar una certa agressivitat del tràfic, però no d'altres, i afegir-ne més implica establir quina/es (si imposar una llargària de ràfega mínima o si imposar un nombre mínim de cel.les seguides que compleixin MAIG, etc.) i, en darrer terme, assignar-les-hi un valor. Com ja s'ha dit, nosaltres hem imposat una llargària mínima de les ràfegues i l'hem fixada al valor que tingui MAIG ( $L_{min} = MAIG$  raures), així les ràfegues i els silencis més curts possibles són de la mateixa dimensió.

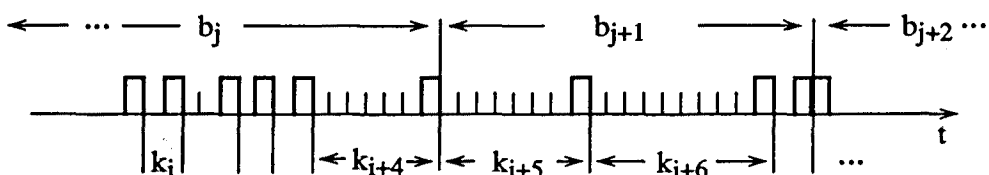
### 5.3 DETALLS DE L'ALGORISME

A continuació es detallen els aspectes més importants de l'algorisme dissenyat per posar en pràctica el mecanisme de mesura del rafegueig. En síntesi aquest algorisme consta de dues tasques bàsiques: la presa de mesures (procediment *mesura*) i la realització d'estadístiques sobre aquestes mesures (procediment *do\_sta*).

#### 5.3.1 Presa de mesures

La presa de mesures es basa en el comptatge del nombre de ranures buides que hi ha entre dues cel.les consecutives (distància entre cel.les) i en el control del tipus d'interval que s'està analitzant en cada moment. El valor de la distància entre cel.les s'assigna a la variable  $k$  (del tipus enter), mentre que el control de l'interval que s'està tractant el porta la variable booleana  $b$  (de "burst",  $b = TRUE$  indica que s'està considerant un interval d'alta activitat i  $b = FALSE$  un de baixa activitat).

*Exemple 5.1* Successió de valors que prendrien les variables  $k$  i  $b$  pel tram de seqüència de cel.les de la figura.



$$b_j = TRUE ; \quad b_{j+1} = FALSE ; \quad b_{j+2} = TRUE$$

$$k_i = k_{i+2} = k_{i+3} = k_{i+7} = 2 ; \quad k_{i+1} = 3 ; \quad k_{i+4} = 7 ; \quad k_{i+5} = 8 ; \quad k_{i+6} = 10$$

El procediment *mesura* pren una mostra de cada ranura del flux de tràfic que s'està mesurant, a cada cel.la que troba actualitza el valor de  $k$  i, acte seguit, verifica si es compleix alguna de les condicions que se especificíquen a continuació per actuar en conseqüència:

- 1) If (( $k \geq \text{MAIG}$ ) and ( $b = \text{TRUE}$ )) then (\*Hem de donar per acabada una ràfega i començar a comptabilitzar l'interval de baixa activitat contigu\*)
  - begin
  - do\_sta(b,L,d); (\*Es fa l'estadística de la ràfega que s'acaba de tancar que era d'L ranures de llarga i que contenia d cel.les\*)
  - L:=0;
  - d:=0;
  - b:=NOT(b);
  - end;
- 2) If ( ( $k < \text{MAIG}$ ) and ( $b = \text{FALSE}$ )) then (\*Sóm en un interval entre ràfegues i es verifica la primera condició per tornar a obrir una ràfega\*)
  - begin
  - dp:=dp+1; (\*dp conté el valor provisional de d\*)
  - Lp:=Lp+k; (\*Lp conté el valor provisional d'L\*)
  - if ( $Lp > L_{\text{min}}$ ) then (\*Vol dir que el període d'alta activitat que s'havia iniciat en complir-se la condició (2) per primera vegada, ja és prou llarg per ser considerat una ràfega\*)
  - begin
  - d:=d-dp;
  - Lp:=Lp-k;
  - L:=L-(Lp+1);
  - do\_sta(b,L,d); (\*Es fa l'estadística de l'interval de baixa activitat precedent que era d'L ranures de llarg i que contenia d cel.les\*)
  - L:=(Lp+1);
  - d:=dp;
  - b:=NOT(b);
  - Lp:=0;
  - dp:=0;
  - end;
- 3) If ( ( $k \geq \text{MAIG}$ ) and ( $b=\text{FALSE}$ )) then (\*És el que passa quan el pressumpte període d'alta activitat iniciat en complir-



se (2) per primer cop no arriba a la dimensió mínima de ràfega, o quan simplement continuem en un interval de baixa activitat\*)

```
begin
  Lp:=0;
  dp:=0;
end;
```

```
L:=L+k;
```

(\*El valor de  $k$  de la iteració que acaba de finalitzar s'acumula en la variable  $L$  per a, posteriorment, poder fer l'estadística de la ràfega o de l'interval entre ràfegues en qüestió.

4) Quan  $k < MAIG$  i  $b = TRUE$

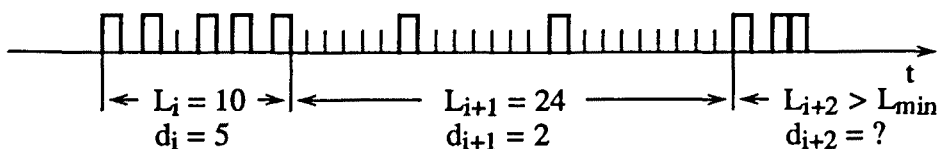
(\*Vol dir que continuem dins d'una ràfega, llavors només s'executa l'instrucció  $L:=L+k$ \*)

Fixem-nos que la identificació de ràfegues i d'interval entre ràfegues depen de que el valor de  $b$  sigui correcte. Per aconseguir-ho inicialitzem  $b$  a un valor qualsevol (cert o fals) i deixem passar un temps d'execució (transitori) durant el qual es prenen mesures sense treure'n l'estadística, i  $b$  té temps d'assolir un valor correcte.

En arribar al permanent, la funció *mesura* s'executa tal com l'hem descrita per a cada nou interval  $k$  mentre dura el flux de cel.les en estudi.

El resultat final és una partició del flux de tràfic en períodes d'alta i baixa activitat, formats tots ells per l'acumulació d'un nombre determinat d'interval  $k$  i que prenem com a ràfegues i interval entre ràfegues respectivament.

*Exemple 5.2* Resultat de l'aplicació de la funció *mesura* sobre el mateix tram de tràfic de l'exemple 5.1 usant un valor de *MAIG* igual a 4.



### 5.3.2 Anàlisi estadístic

L'objectiu final del programa és, però, fer una anàlisi estadística del flux de tràfic, en la pràctica tractant una seqüència significativa de tràfic durant un temps prou llarg es poden obtenir bones aproximacions de les distribucions estadístiques dels paràmetres d'interés i en conseqüència extreure'n la informació necessària de les seves característiques de rafegueig. Aquests paràmetres són els que ja vam establir al capítol anterior, recordem-los: la durada relativa de les ràfegues respecte a la durada total del conjunt ràfega-interràfegues contigus ( $B$ ), la intensitat de tràfic de les ràfegues ( $A_a$ ), intensitat de tràfic als interval entre ràfegues ( $A_s$ ), la intensitat de tràfic dels períodes ràfega-interràfegues contigus ( $R$ ), llargària de les ràfegues ( $L$ ), la llargària dels interval entre ràfegues ( $I$ ), i el nombre de cel.les en les ràfegues i en els interval

entre ràfegues ( $d_a$  i  $d_s$  respectivament) que també en vam dir pesos.

Aquesta és la segona tasta bàsica de l'algorisme de mesura, i el procediment que hem anomeant *do\_sta(b,L,d)* la porta a terme a partir del conjunt de mostres que li subministra el procediment *mesura*.

La funció *do\_sta(b,L,d)* realitza dos tipus d'estimacions:

- 1) *Sobre sobre les ràfegues i els intervals entre ràfegues independentment.* Les mesures obtingudes en els períodes d'una mateixa classe, ràfegues o interràfegues, es van comptabilitzant independentment per a cadescuna d'aquestes classes, i amb aquest còmput s'obté l'estadística de les variables  $A_a$ ,  $A_s$ ,  $L$ ,  $I$ ,  $d_a$  i  $d_s$ .
- 2) *Sobre períodes ràfega-interràfegues.* És a dir analitzant els períodes que van entre el començament d'una ràfega i el de la següent, per obtenir el comportament estadístic de les variables  $B$  i  $R$ .

Les dades concretes que ens interessa obtenir són la mitjana, la desviació típica i la funció de densitat de probabilitat dels paràmetres de rafegueig de la traça de tràfic d'entrada.

De forma resumida l'estratègia utilitzada pel procediment *do\_sta(b,L,d)* és aproximar les funcions de densitat per un histograma de freqüències relatives. Per a les variables que estan definides entre 0 i 1 ( $A_a$ ,  $A_s$ ,  $B$  i  $R$ ) es fa primer una expansió d'aquest marge de valors  $i$ , com que són contínues cal fer també una discretització del nou interval. En canvi per les variables que poden prendre un rang molt ampli de valors ( $L$ ,  $I$ ,  $d_a$  o  $d_s$ ) el que s'ha de fer és primer un truncament, després una compressió i finalment una discretització. La determinació tant dels canvis d'escala (expansió o compressió) com de la discretització, es fa sempre de manera que en resulti un rang de valors de treball manejable per l'ordinador però alhora prou significatiu com per a que l'aproximació sigui acceptable.

Les mitjanes i les desviacions típiques s'aproximen apartir dels valors de l'histograma utilitzant les expressions següents:

$$\eta = \sum_{i=1}^n i f_{\text{aprox}}(i) \quad (5.1)$$

$$\sigma^2 = \sum_{i=1}^n (i-\eta)^2 f_{\text{aprox}}(i) \quad (5.2)$$

## 5.4 EXEMPLE D'APLICACIÓ

En aquest apartat es presenten i discuteixen els resultats de les proves fetes amb un programa de mesura que segueix l'algorisme proposat. Respecte a les condicions de treball en que s'han realitzat aquestes proves, s'han de fer una sèrie de precisions prèvies.

- a) El criteri d'identificació de ràfegues és el que ja s'ha comentat abans:

$MAIG = \lceil 1 / \bar{A}_{in} \rceil$ ; essent  $\bar{A}_{in}$  la intensitat mitjana de tràfic de la seqüència d'entrada al programa de mesura.

$L_{min} = MAIG$  ranures, entre plenes i buides.

- b) Tots els paràmetres s'han normalitzat a la durada de les cel·les per tal d'independitzar els resultats de la dimensió de les cel·les i de la velocitat de transmissió del canal. En concret, com que s'ha utilitzat una dimensió de cel·la de 48+5 octets i una velocitat de transmissió de canal de 600 Mbps, el valor de normalització és 0.706  $\mu$ s.
- c) Per a la posta a punt del programa s'ha utilitzat una seqüència totalment determinista que alternava intervals d'una llargària de 2000 ranures i una intensitat de 0.125 (una de cada vuit ranures era una cel·la) amb intervals de silenci total de 4000 ranures, la intensitat mitjana de tràfic era, per tant, 0.041. Els resultats de les mesures fetes amb aquesta seqüència garanteixen el correcte funcionament del programa [SOL89].

### 5.4.1 Mesures

En no disposar de traces de tràfic real s'ha decidit fer les proves amb seqüències pseudoaleatòries, i per generar-les s'ha triat un model de font de tres estats caracteritzat per una matriu de probabilitats dels estats i per una intensitat de tràfic i un temps de permanència en cadascun d'ells. La matriu de probabilitats determina el nombre mitjà de vegades que es passa per un estat en relació als altres, i les intensitats de tràfic i els temps de permanència de cada estat són variables aleatòries geomètricament distribuïdes les mitjanes de les quals marquen l'interval mitjà entre cel·les i el nombre mitjà de cel·les que s'han de generar, per a cada estat. A [KUH88] s'hi pot trobar una descripció detallada del model GMDP ("General Modulated Deterministic Process), del que sovint se'n fa ús per a la caracterització de fonts ATM i del qual el que hem utilitzat nosaltres n'és un cas particular.

La utilització d'un model analític per a la generació del tràfic no planteja cap inconvenient per a la prova del nostre mecanisme de mesura del rafegueig, ans al contrari, ja que amb la configuració del model és possible controlar la intensitat de tràfic de sortida (fixar-ne el seu valor mitjà i influir en les seves fluctuacions) la qual cosa pot servir com a referència per a una verificació de la bondat dels resultats.

S'ha treballat amb tres seqüències pseudoaleatòries diferents -les denotarem per  $\alpha$ ,  $\beta$ , i  $\gamma$ - obtingudes a partir de tres configuracions diferents del model que permetien mantenir la mateixa intensitat mitjana de tràfic, així les diferències entre aquestes seqüències havien de ser, per força, en les característiques de rafegueig. Les mesures s'han fet per a dos jocs de seqüències d'intensitat de tràfic diferents  $\bar{A}_{in} = 0.0048$  (MAIG = 209) i  $\bar{A}_{in} = 0.015$  (MAIG = 67) i d'una llargària de 10 milions de ranures en tots els casos. Els detalls particulars de les tres configuracions del model utilitzades (matriu de probabilitats i distància mitjana entre cel·les i permanència mitjana dels estats) no són rellevants pel nostre estudi, ens interessen, només, les seqüències per elles mateixes, com si fossin traces de tràfic real.

### 5.4.2 Resultats

Les taules 5.1 i 5.2 contenen els valors de les mitjanes i les desviacions típiques dels paràmetres de rafegueig obtinguts en la mesura d'aquestes seqüències.

En tots els casos, es verifiquen dues circumstàncies que assegurin la fiabilitat d'aquests resultats, que són: la proximitat de la intensitat mitjana de tràfic mesurada a l'establerta en el model i el nombre prou elevat de ràfegues detectades (que també és el nombre d'intervals entre ràfegues detectats), la primera per motius evidents i

aquesta darrera perquè es correspon amb el nombre de mostres sobre el que s'han realitzat les estadístiques.

Una altre detall destacable són les desviacions típiques obtingudes, que donen una idea de la gran dispersió dels valors que prenen tots els paràmetres gaire bé sense excepció, aquest aspecte és un indicatiu de la poca informació que poden donar les mitjanes. Malgrat això ens poden servir de referència per comparar les característiques de rafegueig de les seqüències en estudi.

**TAULA 5.1 - Resultats de les mesures fetes sobre les seqüències  $\alpha$ ,  $\beta$  i  $\gamma$  per la intensitat de tràfic  $\bar{A}_{in} = 0.0048$  ; MAIG =  $L_{min} = 209$ .**

$\alpha$ )  $\bar{A}_{in}$  mesurada, 4.87E-3; nombre de ràfegues detectades, 2274

Paràmetre	Mitjana	Desviació típica
B	0.52	0.31
$A_a$	1.70E-2	5.03E-3
$A_s$	7.94E-4	1.66E-3
R	9.68E-3	5.75E-3
L (ranures)	1005	912
I (ranures)	3300	7650
$d_a$ (cel.les)	18.3	17
$d_s$ (cel.les)	3	6.5

$\beta$ )  $\bar{A}_{in}$  mesurada, 4.91E-3; nombre de ràfegues detectades, 4854

Paràmetre	Mitjana	Desviació típica
B	0.32	0.19
$A_a$	1.33E-2	3.77E-3
$A_s$	1.62E-3	1.57E-3
R	5.40E-3	2.18E-3
L (ranures)	437	249
I (ranures)	1547	1772
$d_a$ (cel.les)	6	2.8
$d_s$ (cel.les)	4	5

$\gamma$ )  $\bar{A}_{in}$  mesurada, 4.90E-3; nombre de ràfegues detectades, 2966

Paràmetre	Mitjana	Desviació típica
B	0.50	0.28
$A_a$	1.63E-2	4.85E-3
$A_s$	1.03E-3	1.87E-3
R	8.86E-3	4.63E-3
L (ranures)	795	650
I (ranures)	2504	5887
$d_a$ (cel.les)	13.3	10.2
$d_s$ (cel.les)	3	6.6

**TAULA 5.2 - Resultats de les mesures fetes sobre les seqüències  $\alpha$ ,  $\beta$  i  $\gamma$  per la intensitat de tràfic  $\bar{A}_{in} = 0.015$  ; MAIG =  $L_{min} = 67$ .**

$\alpha$ ) $\bar{A}_{in}$ mesurada, 1.41E-2; nombre de ràfegues detectades, 6474			
Paràmetre	Mitjana	Desviació típica	
B	0.54	0.30	
$A_a$	5.36E-2	1.60E-2	
$A_s$	3.32E-3	6.01E-3	
R	3.28E-2	1.76E-2	
L (ranures)	310	326	
I (ranures)	1150	4450	
$d_a$ (cel.les)	18.3	18	
$d_s$ (cel.les)	3.5	7.8	
$\beta$ ) $\bar{A}_{in}$ mesurada, 1.49E-2; nombre de ràfegues detectades, 14829			
Paràmetre	Mitjana	Desviació típica	
B	0.32	0.19	
$A_a$	4.30E-2	1.19E-2	
$A_s$	5.95E-3	5.37E-3	
R	1.84E-2	6.71E-3	
L (ranures)	122	79.3	
I (ranures)	475	809	
$d_a$ (cel.les)	6	2.8	
$d_s$ (cel.les)	4	5	
$\gamma$ ) $\bar{A}_{in}$ mesurada, 1.50E-2; nombre de ràfegues detectades, 9056			
Paràmetre	Mitjana	Desviació típica	
B	0.53	0.26	
$A_a$	5.13E-2	1.47E-2	
$A_s$	4.05E-3	6.53E-3	
R	3.01E-2	1.35E-2	
L (ranures)	242	221	
I (ranures)	780	2884	
$d_a$ (cel.les)	13.4	10.7	
$d_s$ (cel.les)	3.2	7.5	

Entrant en aquesta anàlisi, fixem-nos en els valors obtinguts pel joc de seqüències amb  $\bar{A}_{in} = 0.0048$  (taula 5.1) i en les relacions de més interès que d'aquests valors es poden treure (taula 5.3). En una primera apreciació, segons els valors de  $\bar{B}$ , sembla que la seqüència  $\beta$  és la que té un rafegueig més accentuat de totes; aquesta

apreciació, però, s'esvaeix ràpidament observant la relació  $\bar{A}_a / \bar{A}_{in}$  que per a  $\beta$  dóna el valor més baix.

La relació  $\bar{L} / (\bar{L} + \bar{I})$  dóna gaire bé el mateix per a totes tres seqüències i per tant no ens aporta res.

En canvi, vistes les distàncies entre les intensitats mitjanes de tràfic de les ràfegues i dels intervals entre ràfegues, expressades per la seva relació ( $\bar{A}_a / \bar{A}_s$ ), la conclusió que se'n treu és que la seqüència amb el rafegueig més alt és l' $\alpha$  i que, justament, la  $\beta$  és la que evoluciona d'una forma més monòtona.

TAULA 5.3 - Relacions entre els paràmetres bàsics del rafegueig de les seqüències d'intensitat de tràfic  $\bar{A} = 0.0048$

	$\alpha$	$\beta$	$\gamma$
$\bar{A}_a / \bar{A}_{in}$	3.52	2.77	3.39
$\bar{L} / (\bar{L} + \bar{I})$	0.23	0.22	0.24
$\bar{A}_a / \bar{A}_s$	21.4	8.16	15.8

Els valors d'  $\bar{L}$  i  $\bar{d}_a$  acaben de donar cos a aquesta darrera apreciació, encara que havent-hi d'afegir una connotació addicional, i és considerar que el rafegueig és més alt com més llargues i denses són les ràfegues, la qual cosa és del tot arbitrari. En realitat el que ens donen  $\bar{L}$  i  $\bar{d}_a$  és una referència de l'agressivitat de les ràfegues que, assumint la conclusió anterior, l'estem considerant com un factor més del rafegueig.

D'aquests dos últims paràmetres, però, no se'n pot deduir si les ràfegues més llargues són també les més denses. És el paràmetre  $\bar{R}$  el que permet determinar un cert grau de coincidència d'aquests dos factors -recordem que  $R = A_a B + A_s (1-B)$  és la intensitat de tràfic calculada en les parelles d'interval ràfega-interràfega contigus i  $\bar{R}$  la mitjana d'aquesta variable-. Des d'aquest punt de vista, els valors d'  $\bar{R}$  obtinguts també ens fan inclinar per la seqüència  $\alpha$  com la que té el rafegueig més accentuat.

Aplicant el mateix raonament als valors obtinguts en la mesura de les seqüències d'intensitat mitjana de tràfic 0.015 (taula 5.2) s'arriba a que  $\alpha$  és, també, la seqüència que té un grau de rafegueig més gran i  $\beta$  la que el té més petit. És lògic, doncs canvia la intensitat d'aparició de ranures plenes però no la distribució de les aparicions.

El que pot aportar nova informació és el contrast d'ambdues situacions, comparant les taules 5.1 i 5.2, fixem-nos, per exemple, que els valors de la relació  $\bar{A}_a / \bar{A}_{in}$ , d'  $\bar{L}$  i

de  $\bar{d}_a$  de la seqüència  $\alpha$  d'  $\bar{A}_{in} = 0.0048$  són molt més alts que els de la seqüència  $\beta$  d'  $\bar{A}_{in} = 0.015$ . La qüestió que es planteja és esbrinar que té més pes, la càrrega oferta o el rafegueig. D'aquest aspecte en parlarem al capítol 6, on s'estudia la influència del tràfic a ràfegues en el comportament del commutador, i veurem que un tràfic format per seqüències de cel.les del tipus  $\alpha$  d'intensitat mitjana 0.0048 degrada més el funcionament del commutador que un tràfic format per seqüències de cel.les del tipus  $\beta$  d'intensitat mitjana 0.015.

Pel que fa a les funcions de densitat de probabilitat comentarem, només, les dels paràmetres B i R, i en aquest cas les corresponents a les seqüències d'  $\bar{A}_{in} = 0.015$ . La figura 5.2 inclou de forma sobreposada les tres funcions de densitat de B i la figura 5.3 les d'R. A causa dels canvis d'escala que realitza *do\_sta*, les funcions de densitat obtingudes no estan normalitzades a 1, és a dir que:  $\int_0^1 f_X(x) dx = y$ ; essent  $y = 0.01$  per a  $f_B(b)$ , i  $y = 0.001$  per a  $f_R(r)$  i per a  $f_G(g)$ , la funció  $f_G(g)$  la comentarem més endavant.

En les funcions de densitat de probabilitat de B es veu que en la seqüència  $\beta$  el percentatge de temps que ocupen les ràfegues en el total dels períodes ràfega-interràfegues està per sota del 50% amb una probabilitat molt alta (0.8 aproximadament), mentre que en les seqüències  $\alpha$  i  $\gamma$  pràcticament s'inverteixen els termes. Això sol no ens permet treure gaires conclusions sobre el rafegueig com ja s'ha dit en altres ocasions, ens cal alguna informació sobre la intensitat de tràfic.

Observant les funcions de densitat d'R que ja porten implícita aquesta informació ens trobem amb que per a la seqüència  $\beta$  un 70% dels valors que pren R estan concentrats en el marge [0.01, 0.02], és a dir que en la majoria dels intervals ràfega-interràfegues la intensitat de tràfic és molt pròxima a la mitjana. En canvi en les seqüències  $\alpha$  i  $\gamma$  els valors que pren aquesta intensitat estan molt més dispersos, hi ha inclús un buit a l'entorn de la intensitat mitjana de tràfic i, en concret, per a la seqüència  $\alpha$  amb una probabilitat força elevada (entre 0.7 i 0.8) la intensitat és superior a 0.03 el doble de la mitjana. Aquestes funcions ja donen una idea molt més clara del rafegueig.

La figura 5.4 mostra les funcions de densitat de probabilitat de la intensitat de tràfic d'aquest mateix joc de seqüències calculades, però, no cel.la a cel.la sinó sobre els períodes d'alta i baixa activitat i ponderada pel nombre de cel.les aparegudes en cada període, són les que anomenem  $f_G(g)$ .

Fixem-nos que l'aparició dels dos pics en totes elles és força intuitiva pel fet d'estar situats a prop d'  $\bar{A}_s$  i  $\bar{A}_a$  respectivament. El rafegueig podria venir indicat per la proximitat d'ambdós pics, com més pròxims menys rafegueig. Un sol pic hauria d'estar centrat a l'entorn d'  $\bar{A}_{in}$  i correspondria a un flux de tràfic d'una intensitat molt poc fluctuant, i només es donaria en seqüències totalment deterministes.

Després d'una observació detinguda, sobretot, de les figures 5.3 i 5.4 podem continuar mantenint que  $\alpha$  és la seqüència amb més rafegueig i  $\beta$  la més monòtona i trobar una explicació a la poca informació que dona el parametre B sobre el rafegueig de la seqüència  $\beta$ : Amb el criteri d'identificació de ràfegues adoptat quan el flux de tràfic mesurat és massa monòton la mesura de B no és gaire precisa.

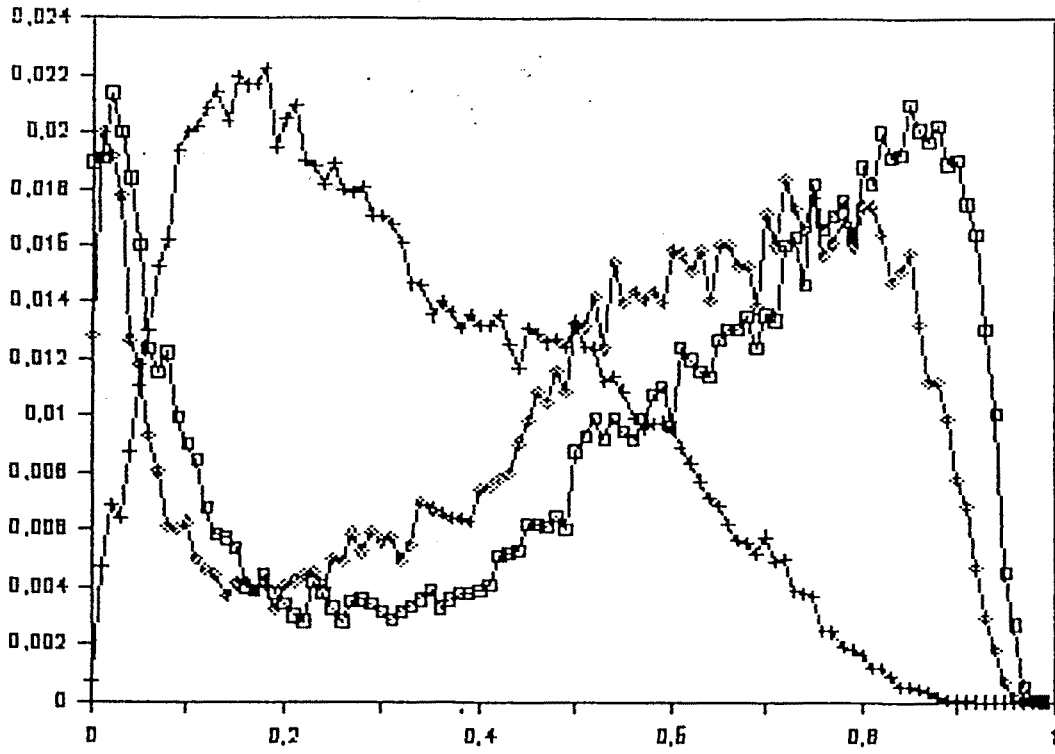


FIGURA 5.2  $\square f_B(b)$  d' $\alpha$ ;  $+ f_B(b)$  de  $\beta$ ;  $\diamond f_B(b)$  de  $\gamma$

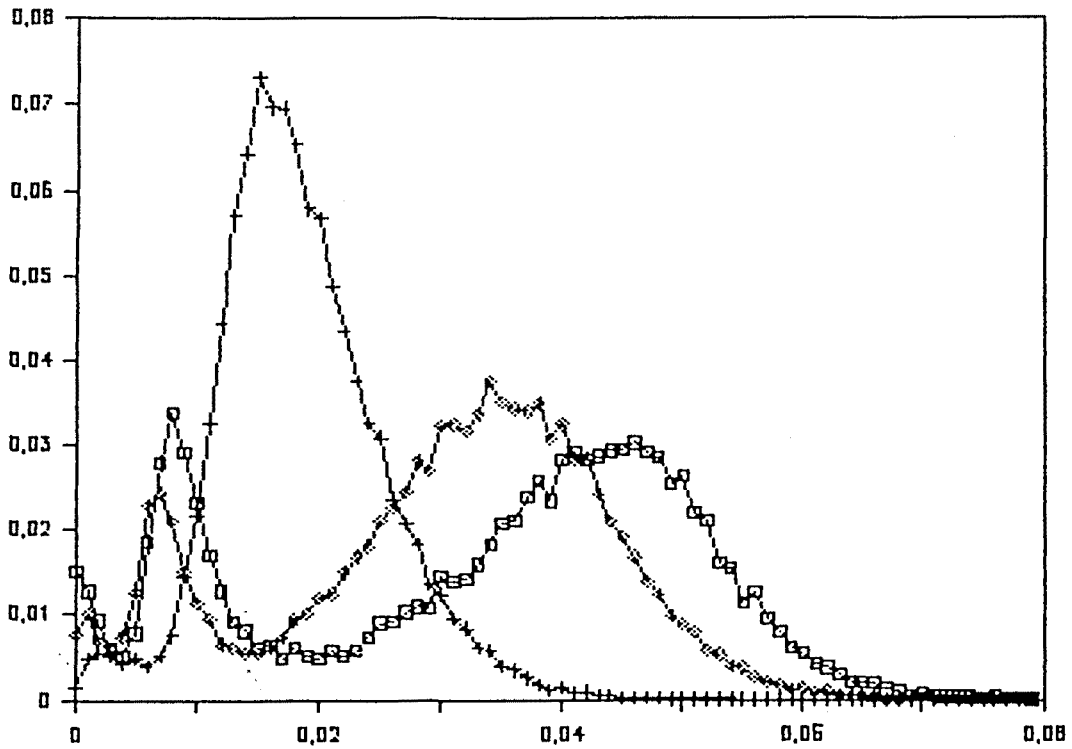


FIGURA 5.3  $\square f_R(r)$  d' $\alpha$ ;  $+ f_R(r)$  de  $\beta$ ;  $\diamond f_R(r)$  de  $\gamma$



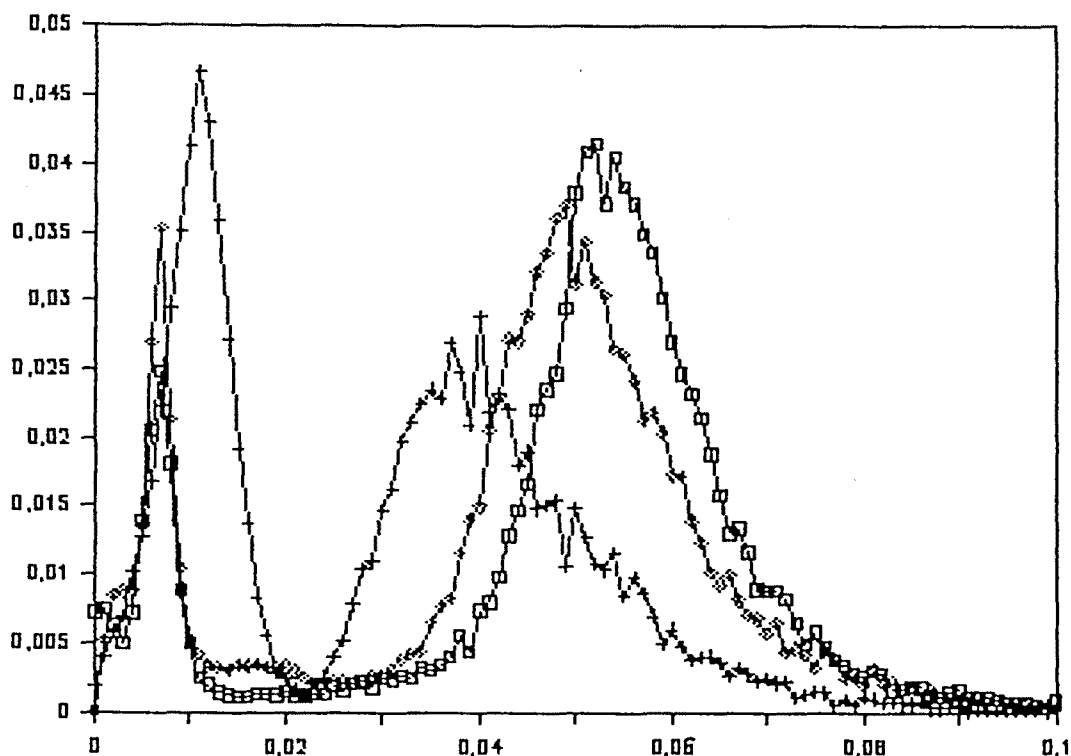


FIGURA 5.4  $\square f_G(g)$  d' $\alpha$ ;  $+ f_G(g)$  de  $\beta$ ;  $\diamond f_G(g)$  de  $\gamma$

Ens podem trobar amb situacions en les que els paràmetres i funcions en les que hem basat aquesta anàlisi no indiquin en la mateixa direcció, la qual cosa conduiria a decisions força més conflictives. Això és, altra vegada, perquè no hem precisat estrictament el concepte de rafegueig.

## CONCLUSIÓ

En un entorn ATM el mesurament del rafegueig pot ser útil per a múltiples aplicacions, com a exemple podem citar:

- 1) La caracterització del tràfic generat per un determinat servei i la comparació d'algorismes de codificació.
- 2) L'estudi de la variació de les característiques del tràfic d'una determinada connexió en el seu trànsit per la xarxa en convivència amb d'altres connexions.
- 3) El modelatge del tràfic per a l'evaluació de dispositius ATM (commutadors, multiplexors, etc.) i polítiques de control de tràfic (funcions de policia).
- 4) Monitorització del tràfic en punts crítics de la xarxa, per exemple als LXs, per detectar frauds en la negociació prèvia a l'establiment de la connexió.

El mecanisme de mesurament que acabem de presentar té com a objectiu el fer possible una valoració integral del rafegueig d'un flux de tràfic i, convenientment ajustat, pot servir a qualsevol d'aquestes necessitats.

Conceptualment, les idees en que es basa aquest mecanisme també poden ser útils en estudis orientats a analitzar la localitat, la predictibilitat o la correlació existent en el tràfic ATM, qüestions que tenen cabuda en aplicacions com ara el disseny de protocols, d'estructures de commutadors, d'algorismes de policia, etc.

#### REFERÈNCIES

- [JAI86] R. Jain i S. A. Routhier, "PACKET TRAINS - MEASUREMENTS AND A NEW MODEL FOR COMPUTER NETWORK TRAFFIC". IEEE Journal on Selected Areas on Communications, vol. SAC-4, n.6 de 1986, pp. 986-995.
- [KUH88] P. J. Kühn, "INPUT PROCESS MODEL GMDP". Document intern del Projecte RACE 1022, Ref. [UST\_123\_0003\_CD\_CC], juny de 1988.
- [SOL89] J. Solé, J. Domingo i J. García, "BURSTY CELL STREAM CHARACTERIZATION". Report de Recerca: RR-05/89, Facultat d'Informàtica de Barcelona (1989).

**SEGONA PART:**

**CARACTERITZACIÓ I MESURAMENT DEL  
TRÀFIC ATM**

## INFLUÈNCIA DEL RAFEGUEIG EN L'ENTORN ATM

La influència de la càrrega en el comportament dels elements d'una xarxa de commutació de paquets és prou clara, qualsevol sistema més quotidià basat en un esquema de funcionament similar ens ho pot confirmar. Per exemple, les cues als peatges o als carrils d'accés de les autopistes es poden fer inacabables, més com més alt sigui el flux de vehicles que hi circulen.

També és clar, per teoria de cues, que la distribució dels instants d'aparició de paquets influeix en aquest comportament, es pot assimilar molt millor l'arribada d'un flux de paquets a intervals constants que la d'un flux de paquets aleatori. En aquest sentit és lògic pensar que el rafegueig també hi tindrà la seva influència, al cap i a la fi el rafegueig no és més que una forma de caracteritzar la distribució d'arribada de paquets.

En aquest capítol ens ocuparem d'analitzar la influència del tràfic a ràfegues en el comportament dels dispositius de multiplexació i commutació d'una xarxa ATM. Comentarem els resultats d'una sèrie de comprovacions que s'han fet en aquesta línia i discutirem alguns dels estudis existents, també sobre aquest tema.

### 6.1 INTRODUCCIÓ

Al capítol anterior, en proposar i posar en pràctica un mètode de mesura del tràfic a ràfegues s'hi han fet dues consideracions que, ara, convé recordar:

- 1) *Subjectivitat del mètode de mesura.* Tal com es va dir la posta en pràctica del mètode de mesura proposat implica l'establiment d'un criteri d'identificació de ràfegues, la qual cosa comporta una especificació prèvia del que ha de ser i del que no ha de ser considerat com a ràfega. En aquest sentit la utilitat de les mesures respon a l'encert (adequació a la posterior aplicació) del criteri d'identificació de ràfegues adoptat.
- 2) *Agressivitat del tràfic.* Per altra banda, l'ambigüitat de la definició de rafegueig deixa un grau molt alt de llibertat a la interpretació dels resultats obtinguts. En les mesures de prova que s'ha comentat al capítol anterior, per exemple, els termes rafegueig i agressivitat s'han considerat sinònims. Així el rafegueig d'un flux de tràfic es considerava més gran, no només com més fluctués la seva intensitat, sinó també com més agressiu amb l'entorn semblava que podia ser (com més llargues eren les ràfegues). Normalment i en bona lògica, la interpretació dels resultats estarà en consonància amb la posterior aplicació d'aquells resultats.

És clar, doncs, a partir de les opcions que s'han pres en el nostre cas, que la proposta de mètode de mesura s'ha fet amb un objectiu preconcebut. Aquest objectiu és doble: per un cantó la verificació de la influència del rafegueig en l'esquema de funcionament ATM i, per l'altre, la utilització de les característiques de rafegueig en l'avaluació de

dispositius de multiplexació i de commutació per a ATM, qüestions que tocarem en aquest capítol i en el següent respectivament. Pel que fa al primer punt es presenta un estudi sobre l'estructura del commutador en matriu de busos que hem fet nosaltres i es comenten tres estudis en els que s'analiza el comportament del multiplexor estadístic [BRU88], [DIT88] i [HIR89].

### 6.2 ESTUDI SOBRE UNA MATRIU DE BUSOS

Per tal de constatar l'important paper que juga el rafegueig en el comportament dels dispositius que han de tractar el tràfic hem estudiat l'esquema que presenta la figura 6.1 sota diverses condicions de càrrega. Es tracte d'un commutador atacat per un tràfic producte de la multiplexació d'un nombre determinat de fonts de tràfic idèntiques en cada entrada.

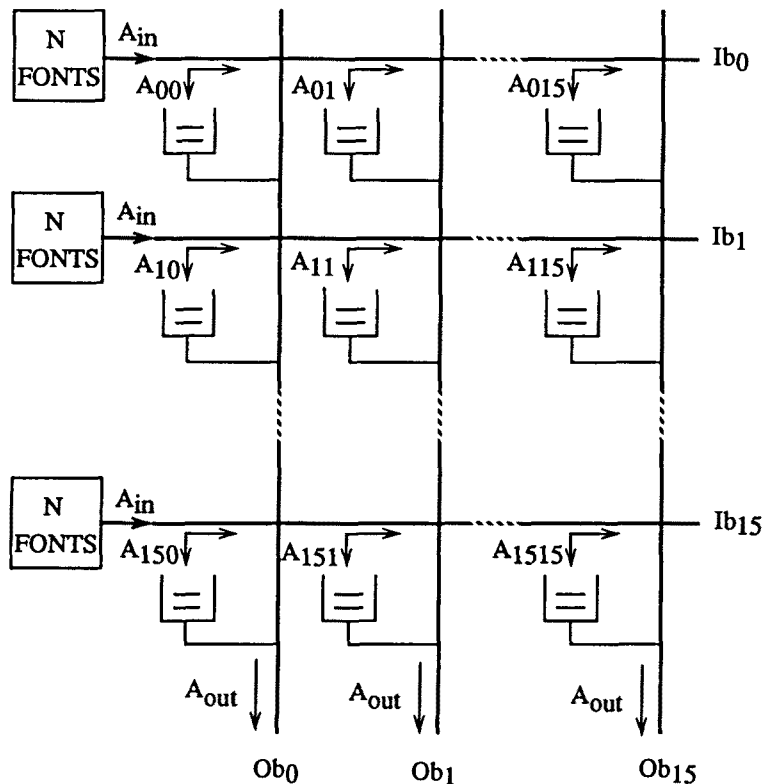


FIGURA 6.1 Matriu de busos 16x16

*El commutador és una estructura en matriu de busos ranurats [COS88], 16x16, amb cues als punts d'encreuament. La gestió de les cues corresponents a un mateix bus de sortida ( $Ob_i$ ) es fa seguint una política FIFO global, això vol dir que es dóna sortida a la cel·la que fa més temps que s'espera per aquell bus, i en cas de conflicte la resolució és aleatòria.*

*La càrrega total és la suma de la de tots 16 busos o canals d'entrada ( $Ib_j$ ). Aquest valor s'ha mantingut constant en totes les proves de l'estudi per ser usat com a punt de referència.*

*La càrrega dels canals d'entrada és la mateixa per a tots ells, s'ha fixat a  $\bar{A}_{in} = 0.72$  i es distribueix uniformement entre tots 16 canals de sortida. Així és que tots els canals*

d'entrada aporten, en mitjana, la mateixa càrrega a cada canal de sortida ( $\bar{A}_{ij} = 0.72 / 16 = 0.045$ ,  $\forall i, j \in [0,15]$ ), i comptades totes 16 entrades la intensitat mitjana de tràfic per cada bus de sortida també és 0.72 ( $\bar{A}_{out} = 0.72$ ).

El tràfic d'entrada als busos és el resultat de la multiplexació d' $N$  seqüències de cel·les de les mateixes característiques. En l'estudi hem usat només les del tipus  $\alpha$  o les del tipus  $\beta$  descrites al capítol anterior. Per generar la intensitat mitjana de tràfic prefixada ( $\bar{A}_{in} = 0.72$ ), de les seqüències amb  $\bar{A} = 0.015$  se'n necessiten  $N = 48$ , mentre que per a les seqüències amb  $\bar{A} = 0.0048$  en fan falta  $N = 150$ ; això tant si s'usen les de tipus  $\alpha$  com si s'usen les de tipus  $\beta$ .

L'avaluació es basa en una estimació de l'ocupació de les cues i del retard de transferència entrada-sortida. Estimació que s'ha fet a partir de la simulació d'1.75 segons de funcionament del commutador (l'equivalent en el nostre cas de 2.5E6 cicles de simulació, vegeu annex 2) amb prou capacitat d'emmagatzemament als punts d'encreuament per a que no hi hagués pèrdua de cel·les (simulació amb cues infinites). A l'annex 2 s'hi pot trobar una explicació més detallada del simulador utilitzat.

### 6.2.1 Resultats

De les simulacions realitzades ens interessa destacar-ne tres, els resultats de les quals es presenten a les taules 6.1, 6.2 i 6.3.

Contrastant les taules 6.1 i 6.2, es pot fer una primera constatació. Fixem-nos que el comportament del commutador sota una càrrega de tràfic format per seqüències del tipus  $\alpha$  es degrada molt més que quan la càrrega és a base de seqüències del tipus  $\beta$ , tot i que  $\alpha$  i  $\beta$  són de la mateixa intensitat mitjana (el cas estudiat és el de 0.015). És a dir, sota les mateixes condicions de càrrega oferta, només canvien les característiques de rafegueig de les seqüències utilitzades per a la composició del tràfic total (com s'ha pogut veure al capítol anterior, el rafegueig d' $\alpha$  és molt més accentuat que el de  $\beta$ ), el comportament d'un commutador "crossbar" és sensiblement diferent.

Un altre aspecte interessant es pot deduir de les taules 6.2 i 6.3. En aquest cas la diferència entre les seqüències que formen el tràfic de cada prova és en el seu grau de rafegueig, com abans, i en la intensitat mitjana: les seqüències  $\alpha$  utilitzades per a la simulació que ha donat els resultats de la taula 6.3 tenen un rafegueig molt més alt i una intensitat mitjana molt més baixa que les  $\beta$ , usades en la simulació en la que s'han obtingut els resultats de la taula 6.2.

Comparant aquestes dues taules (6.2 i 6.3) s'observa que el tràfic a base de seqüències  $\alpha$  fa més efecte al commutador que el tràfic de seqüències  $\beta$ , però no de forma contundent. De fet el comportament és molt semblant en ambdós casos, la qual cosa ens planteja el següent dilema:

- 1) És altra vegada l'efecte del major rafegueig de les seqüències  $\alpha$  el causant d'aquest comportament tant similar?
- 2) O bé, és que en les condicions en que s'han fet aquestes proves el rafegueig ha deixat d'influir?. El de les seqüències  $\beta$  no ha influït mai, pel seu baix grau, i ara és el de les seqüències  $\alpha$ , per la seva baixa intensitat, el que ha deixat de fer-ho.

Els resultats de la simulació feta amb tràfic a base de seqüències  $\beta$  però de la intensitat mitjana més baixa, 0.0048, ens han fet decidir per abonar la segona opció, ja que pràcticament reproduïxen els de la taula 6.2 (aquests resultats no s'han inclòs aquí per aquesta coincidència).

**TAULA 6.1 - Comportament del "crossbar" 16x16 amb càrrega de seqüències  $\alpha$  d'intensitat de tràfic  $\bar{A} = 0.015$**

	Mitjana	Desviació Típica	Valor Màxim
OCUPACIÓ DE LES CUES (cel.les)	0.47	0.96	21
RETARD (temps de cel.la)	8.46	10.6	120

**TAULA 6.2 - Comportament del "crossbar" 16x16 amb càrrega de seqüències  $\beta$  d'intensitat de tràfic  $\bar{A} = 0.015$**

	Mitjana	Desviació Típica	Valor Màxim
OCUPACIÓ DE LES CUES (cel.les)	0.10	0.32	4
RETARD (temps de cel.la)	1.88	1.13	10

**TAULA 6.3 - Comportament del "crossbar" 16x16 amb càrrega de seqüències  $\alpha$  d'intensitat de tràfic  $\bar{A} = 0.0048$**

	Mitjana	Desviació Típica	Valor Màxim
OCUPACIÓ DE LES CUES (cel.les)	0.13	0.40	14
RETARD (temps de cel.la)	2.69	3.71	22

Com que en realitat el rafegueig que es nota no és el de les connexions individuals, sinó el del tràfic del conjunt de connexions que segueixen un mateix trajecte dins del commutador (en el nostre cas, el tràfic que omple una mateixa cua), el que diríem que passa és que, amb tràfic a base de les seqüències  $\alpha$  amb la intensitat més baixa, el comportament depèn més de la càrrega total del commutador (en el nostre cas 0.7 per entrada) que no pas de les característiques de rafegueig d'aquestes seqüències.

La conclusió que se'n despren és que la multiplexació dilueix el rafegueig. El rafegueig del flux de tràfic resultant de multiplexar un nombre determinat (N) de connexions és més baix que el rafegueig del tràfic resultant de multiplexar-ne un nombre menor (N', N' < N), i en ambdós casos més baix que el de les connexions individuals. Aquesta circumstància es tornarà a posar de manifest a l'apartat 6.3.3, i d'ella se'n farà ús més endavant, al capítol 7 (apartat 7.7).

### 6.3 D'ALTRES ESTUDIS

Tots els tres estudis que revisarem a continuació segueixen un esquema de treball basat en l'adopció d'un model de font de tràfic ATM i l'estudi d'una estructura de multiplexor de memòria comuna a partir del seu comportament en front de tràfic produït pel model, figura 6.2. El mètode utilitzat és sempre l'analític, però els objectius són, en cada cas, diferents i, naturalment, el tipus d'avaluació i la interpretació dels resultats responen a aquests objectius.

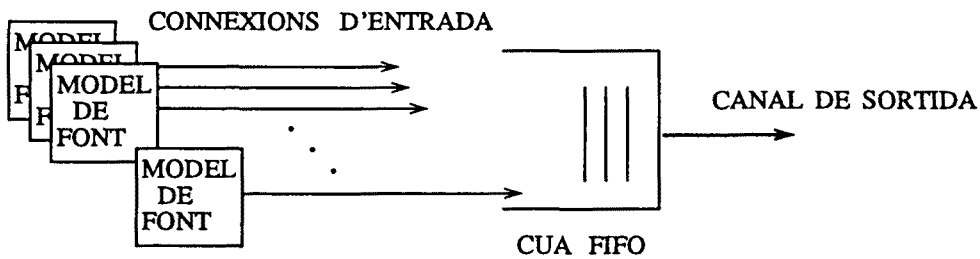


FIGURA 6.2 Model del multiplexor estadístic amb memòria comuna.

#### 6.3.1 Model de font

De l'esquema esmentat cal fer incidència en el model de font que s'ha adoptat en tots els casos. Es tracta del model MMDP ("Markov Modulated Deterministic Process") de dos estats (figura 6.3), caracteritzat per un estat d'alta activitat i un estat de baixa activitat amb una intensitat de tràfic i un temps de permanència a cadascun d'ells. Les intensitats de tràfic són constants ( $A'_a$  i  $A'_s$ ), de manera que en l'estat d'alta activitat l'interval entre cel·les és  $1/A'_a$  i en l'estat de de baixa activitat  $1/A'_s$ , i els temps de permanència són variables aleatòries geomètricament distribuïdes de mitjanes  $\bar{L}'$  i  $\bar{I}'$  pels estats d'alta i baixa activitat respectivament.

Aquest model té com a avantatges principals que permet un control i ajust del rafegueig de la seqüència de cel·les que genera, que és de fàcil factura i que és tractable analíticament. Respecte a aquest últim punt, a continuació es donen les expressions de la intensitat mitjana de tràfic  $\bar{A}'$  i de la densitat de ràfegues en el temps  $\bar{B}'$ .

$$\bar{A}' = A'_a \bar{L}' / (\bar{L}' + \bar{I}') + A'_s \bar{I}' / (\bar{L}' + \bar{I}') \tag{6.1}$$



Per a valors prou alts d'  $\bar{L}'$  i  $\bar{I}'$ , la distribució geomètrica es pot aproximar per la distribució exponencial. Aquest aspecte és el que s'ha utilitzat per calcular el paràmetre  $\bar{B}'$  del model de dos estats,  $\bar{B}'$ .

El primer pas és calcular  $f_B(b)$  la funció de densitat de probabilitat de B, si I i L són variables aleatòries exponencialment distribuïdes la seva funció de densitat és:

$$f_L(l) = (1 / \bar{L}') e^{-l/\bar{L}'} \quad i \quad f_I(i) = (1 / \bar{I}') e^{-i/\bar{I}'}$$

i com que L i I són variables aleatòries independents,

$$f_B(b) = \frac{\bar{I}' \bar{L}'}{[(1-b) \bar{L}' + b \bar{I}']^2}$$

A partir d' $f_B(b)$  la mitjana de B es pot obtenir com:

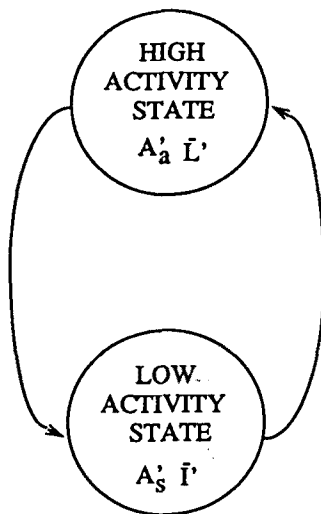
$$\bar{B}' = \int_0^1 b f_B(b) db = \int_0^1 \frac{b \bar{I}' \bar{L}'}{[(1-b) \bar{L}' + b \bar{I}']^2} db = \frac{\text{Ln}(\bar{I}' / \bar{L}') + \bar{L}' / \bar{I}' - 1}{\bar{I}' / \bar{L}' + \bar{L}' / \bar{I}' - 2} \quad (6.2)$$

Expressió vàlida per a tots els valors d'  $\bar{L}'$  i  $\bar{I}'$  excepte pel cas que  $\bar{L}' = \bar{I}'$ , llavors és:

$$\bar{B}' = \bar{L}' / (\bar{L}' + \bar{I}') \quad (6.2 \text{ bis})$$

Per aquest model, a més, es pot assumir que  $A'_a$  és independent d' $\bar{L}'$  i  $A'_s$  ho és d'  $\bar{I}'$ , de manera que l'esperança de la intensitat mitjana de tràfic a les parelles d'interval ràfega-interràfegues contigus ( $\bar{R}'$ ) respon a l'expressió:

$$\bar{R}' = A'_a \bar{B}' + A'_s (1 - \bar{B}') \quad (6.3)$$



- $A'_a$  - Intensitat de tràfic d'alta activitat
- $A'_s$  - Intensitat de tràfic de baixa activitat
- $\bar{L}'$  - Temps de permanència en alta activitat
- $\bar{I}'$  - Temps de permanència en baixa activitat

FIGURA 6.3 Model MMDP de 2 estats.

D'aquest model se n'ha fet ús en d'altres treballs que no incideixen directament en el punt que estem tractant, però sí en temes molt relacionats com per exemple la caracterització de fonts de veu [SRI86] i [DAI86] o l'avaluació de funcions de policia en entorns ATM [GAL89], i també ens en servirem nosaltres en la proposta d'avaluació de commutadors ATM que farem en el capítol següent.

### 6.3.2 Queuing Behavior of Statistical Multiplexers with Correlated Inputs [BRU88]

En aquest article es considera un sistema ATDM ("Asynchronous Time Division Multiplexing"), que és com dir un multiplexor estadístic, on hi tenen accés un nombre finit ( $m$ ) d'usuaris idèntics que generen informació a intervals intermitents. És a dir que cada usuari respon a un model de font de dos estats com el que s'ha presentat a l'apartat anterior.

Es tracta d'un estudi analític per obtenir l'expressió de l'ocupació mitjana de les cues del multiplexor en el cas de capacitat d'emmagatzemament infinita. L'avaluació es concreta pel cas particular que en el períodes actius els usuaris generen la màxima intensitat de tràfic ( $A_a' = 1$ ) i la mínima en el períodes passius (els intervals de baixa activitat són silencis estrictes,  $A_s' = 0$ ), per tant, de l'expressió (6.1), la intensitat mitjana de tràfic generada per cada un dels  $m$  usuaris és, en aquest cas:

$$\bar{A} = \bar{L}' / (\bar{L}' + \bar{I}') = 1 / (1 + \bar{I}' / \bar{L}') = 1 / \sigma \quad (6.4)$$

essent  $\sigma$  el temps mitjà d'activitat sobre el total normalitzat a 1. Aquesta intensitat de tràfic està referida al ritme de generació de missatges i no al de paquets com és habitual, ja que la unitat de dades amb que es treballa a l'article és el missatge, i s'avalua el cas de llargària variable, geomètricament distribuïda i de mitjana  $\bar{f}$  paquets de dimensió fixa.

De l'expressió (6.4) se'n poden deduir dues coses:

- 1) Que la càrrega oferta per cada usuari depen només de la relació entre els temps de permanència als estats  $i$ , per tant, que es manté constant per qualsevol parella de valors  $\bar{I}'$ ,  $\bar{L}'$  que donin la mateixa relació. En concret partint d'  $\bar{L}' = 1$  és pot mantenir  $\bar{A}$  fixa multiplicant  $\bar{I}'$  i  $\bar{L}'$  per una mateixa constant  $K$ , és a dir que donant valors enters a  $K$  es pot variar la llargària mitjana de les ràfegues sense alterar la intensitat mitjana de tràfic de la font.
- 2) Quan  $\bar{L}' = 1$ ,  $\bar{I}'$  és igual al nombre mitja de ranures buides entre dues de plenes ja que  $1 + (\bar{I}' / \bar{L}') = \sigma$  i correspon al procés de Markov sense memòria pur (no hi ha correlació entre ranures o, dit d'una altra manera, no s'hi produeix mai l'efecte *tren*).

L'objectiu d'aquest article és posar de manifest la influència de la llargària de les ràfegues en el comportament del multiplexor estadístic en qüestió destacant el notable increment que experimenta l'ocupació mitjana de les cues en augmentar aquesta llargària bo i mantenint constant l'intensitat mitjana de tràfic. La figura 6.4, directament extreta de [BRU88], il·lustra el que acabem de dir: l'ocupació mitjana de les cues  $\bar{N}$ , per a 5 usuaris ( $m = 5$ ) i una llargària mitjana dels missatges de 2 paquets ( $\bar{f} = 2$ ), en funció del percentatge mitjà d'activitat dels usuaris  $\sigma\%$ , varia ostensiblement amb la

llargària mitjana de les ràfegues,  $\bar{L}' = K$ , que s'utilitza com a paràmetre d'escala. La identificació de  $K$  amb la nostra  $\bar{L}'$  ve de que la corva per a  $K = 1$  correspon al cas en que l'activitat dels usuaris és incorrelada d'una ranura a l'altra, i això vol dir  $\bar{L}' = 1$ .

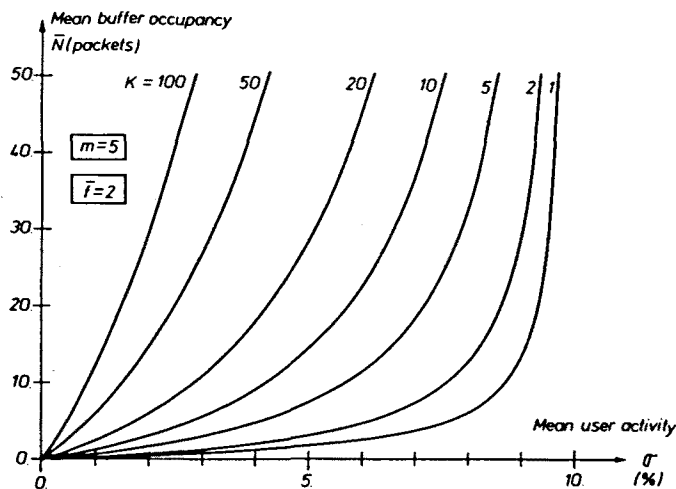


Fig. 1. The mean buffer occupancy  $\bar{N}$  versus the mean user activity  $\sigma$  for various values of  $K$ . Number of users  $m = 5$ ; mean message length  $\bar{l} = 2$ .

FIGURA 6.4

La conclusió que en treu l'autor és que la dimensió del "buffer" necessària per garantir una determinada QOS als usuaris que comparteixen un multiplexor estadístic es pot estimar molt per sota del que cal si es fa la hipòtesi que el procés d'arribada de paquets és incorrelat. I que, per tant, els resultats obtinguts en estudis anteriors al seu s'han de interpretar amb molta cura.

### 6.3.3 Statistical Multiplexing of Identical Bursty Sources in ATM Networks [DIT88]

Com abans s'hi analitza un multiplexor estadístic amb memòria comuna, en aquest cas, amb "buffers" de capacitat finita compartits per un nombre finit de fonts idèntiques que generen tràfic a ràfegues.

La caracterització de les fonts de tràfic es fa amb una configuració del model MMDP de dos estats on l'estat d'alta activitat modela els períodes actius en els que es transmet a una velocitat  $f_{peak}$ , i l'estat de baixa activitat modela períodes de silenci ( $A_s = 0$ ). La definició de rafegueig adoptada és l'associada a l'expressió (4.3),  $b = f_{peak} / f_{mean}$ , que pel model de dos estats coincideix amb l'expressió (4.5) i, quan a més  $A_s = 0$ , també amb la inversa de (4.6).

L'estudi incideix en la probabilitat de pèrdua de cel·les per una capacitat determinada de "buffer",  $Nm$  cel·les, essent  $N$  el nombre d'usuaris i  $m$  la part proporcional de "buffer" per usuari -la probabilitat de pèrdua de cel·les es defineix com el nombre de cel·les perdudes dividit pel nombre total de cel·les generades entre totes les fonts durant el període d'observació-.

S'obté una expressió d'aquesta probabilitat de pèrdua que és funció del nombre de fonts de l'entrada  $N$ , de la durada de les ràfegues  $t_{on}$  ( $t_{on} = \bar{L}' T$ , essent  $T$  la durada de

les cel·les), de la durada dels silencis  $t_{\text{off}}$  ( $t_{\text{off}} = \bar{I}' T$ ), de la velocitat de transmissió de pic  $f_{\text{peak}}$  ( $f_{\text{peak}} = A'_a/f_{\text{in}}$ , essent  $f_{\text{in}}$  la capacitat de les línies d'entrada al multiplexor), de la dimensió del "buffer" d'usuari  $m$  i de la càrrega oferta  $\rho$  (velocitat mitjana d'entrada de cel·les al multiplexor normalitzada a la capacitat del canal de sortida,  $f_{\text{out}}$ ).

A partir d'aquesta funció es fa un estudi dividit en dues parts:

- 1) *Variació de la probabilitat de pèrdua en funció dels seus paràmetres.* S'analitza la probabilitat de pèrdua de cel·les variant un sol dels seus paràmetres i mantenint els altres fixos, això està fet per  $N$ , per  $m$ , per  $b$  i per  $\rho$ .

La figura 6.5 inclou el conjunt de quatre gràfiques extretes de l'article corresponents a la variació d'aquests quatre paràmetres. En cada cas l'experiència s'ha repetit per a quatre valors d' $f_{\text{peak}}$  diferents i ajustant, en els tres primers,  $f_{\text{out}}$  per tal de mantenir la càrrega oferta constant ( $\rho = 0.6$ ). Amb això es pot veure la influència, ara no de la durada mitjana de les ràfegues que és fixa en tots els casos, sinó del nombre mitjà de cel·les que conté una ràfega, el que nosaltres anomenem pes de la ràfega (en el model de dos estats,  $\bar{d}'_a = A'_a \bar{L}'$ ), justament s'hi defineix un paràmetre ( $\alpha$ ) que relaciona aquesta magnitud amb la part proporcional de "buffer" per usuari,  $m$ :

$$\alpha = \bar{d}'_a / m = (f_{\text{peak}} t_{\text{on}}) / (n_{\text{cell}} m) \quad (6.5)$$

essent  $n_{\text{cell}}$  la dimensió de les cel·les en bits (a l'article s'usa  $n_{\text{cell}} = 256$  bits).

- 2) *Variació de la pèrdua de cel·les mantenint la capacitat del canal de sortida constant.* En aquest apartat s'hi contemplen les variacions que es poden donar en la probabilitat de pèrdua de cel·les en funció del nombre de fonts a l'entrada, en condicions de càrrega constant i fixant la capacitat del canal de sortida ( $f_{\text{out}}$ ) a 150 Mbps, per aconseguir-ho, s'ha d'ajustar la velocitat de transmissió de les fonts ( $f_{\text{peak}}$ ) a un valor diferent per a cada un dels valors d' $N$  estudiats.

En aquest cas els resultats presentats a l'article són els de la figura 6.6, les gràfiques estan calculades per a dos valors diferents del paràmetre  $\alpha$  (0.4 i 4) i per a dos valors de càrrega oferta per cada un d' $\alpha$  ( $\rho = 0.4$  i  $\rho = 0.6$ ). Aquestes gràfiques ens poden servir com a prova de la influència de la intensitat de tràfic dels períodes d'activitat de les fonts en el comportament dels multiplexors ATM. Fixem-nos, a més, que la definició de rafegueig adoptada no reflexa aquesta influència, ja que té el mateix valor en tots els casos, la qual cosa posa en evidència que és incompleta.

De l'observació de totes aquestes gràfiques l'autor en conclou que la relació entre el nombre de cel·les de la ràfega típica del tràfic d'una connexió i la part corresponent de "buffer" per connexió ( $\alpha$ ), és un paràmetre més importat que el mateix rafegueig. Naturalment en parlar de rafegueig es refereix només al paràmetre que usa com a definició (b) i, per tant, no fa res més que confirmar el que havíem dit a les conclusions del capítol 4, la necessitat de considerar el pes de les ràfegues en la caracterització completa del rafegueig.

També adverteix, com a conclusió final, que una manera de mantenir la probabilitat de pèrdua de cel·les dins dels marges acceptables és combinant la limitació de la càrrega oferta i la multiplexació d'un nombre elevat de connexions, cosa que ve a lligar amb la reducció del rafegueig que implica la multiplexació, que s'ha mencionat al punt 6.2.1.

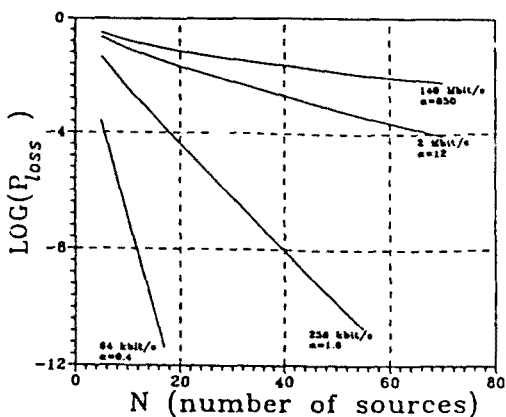


Fig 1.1

Cell-loss probability vs. number of sources with :  $\rho = 0.6$ ,  $b = 10$ ,  $m = 32$  cells/source,  $t_{on} = 0.05$  sec.

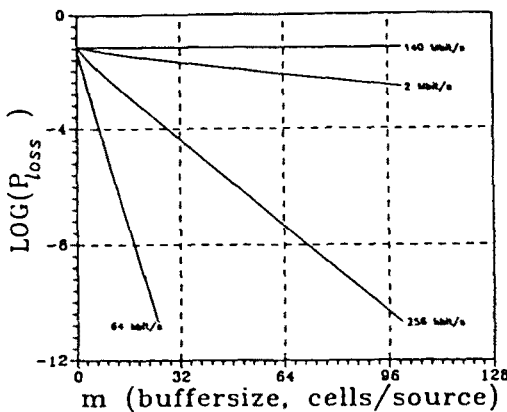


Fig 1.3

Cell-loss probability vs. buffersize/source with :  $\rho = 0.6$ ,  $b = 10$ ,  $N = 20$ ,  $t_{on} = 0.05$  sec.

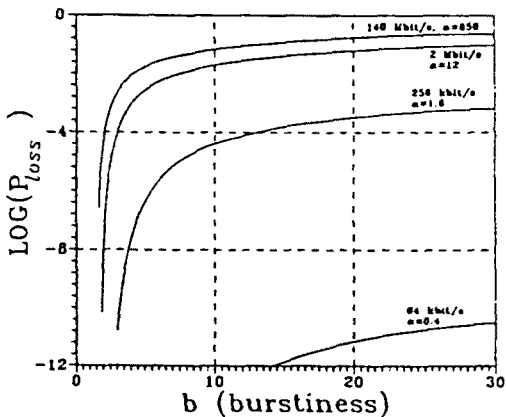


Fig 1.2

Cell-loss probability vs. burstiness with :  $\rho = 0.6$ ,  $N = 20$ ,  $t_{on} = 0.05$  sec.  $m = 32$  cells/source

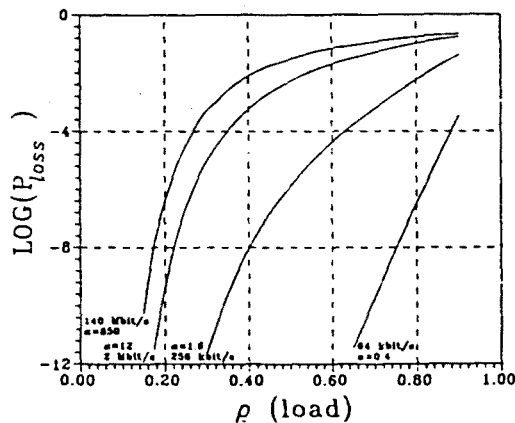


Fig 1.4

Cell-loss probability vs. load with :  $N = 20$ ,  $m = 32$  cells/source,  $b = 10$ ,  $t_{on} = 0.05$  sec.

FIGURA 6.5

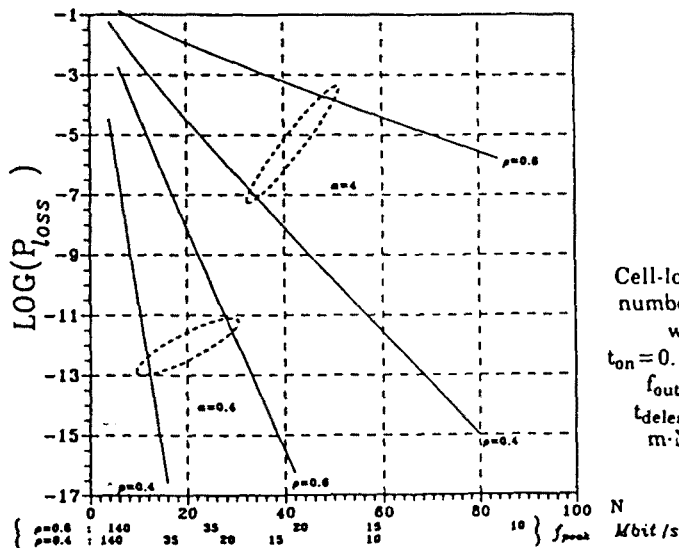


Fig 2

Cell-loss probability vs. number of sources/ $f_{peak}$  with :  $b = 10$ ,  $t_{on} = 0.1$  msec. or 1 msec.,  $f_{out} = 150$  Mbit/s,  $t_{delay,max} = 1$  msec.,  $m \cdot N = 512$  cells.

FIGURA 6.6

La lectura d'aquest article ens suggereix la utilització d'un paràmetre semblant a  $\alpha$  per a la determinació de la condició d'entitat de les ràfegues que impliqués un dispositiu ATM. Podria ser un primer pas per fer una prospecció del comportament del dispositiu en qüestió a partir de la mesura del rafegueig (amb l'algorisme descrit al capítol anterior) del flux tràfic de l'entrada. El desenvoluparem d'aquest punt l'hem deixat per a posteriors estudis.

### 6.3.4 Characteristics of a Cell Multiplexer for Bursty ATM Traffic [HIR89]

Al darrer article que comentarem es discuteix la influència del rafegueig i de la dimensió del "buffer" en el comportament del multiplexor. L'objectiu de l'article és obtenir una expressió analítica de la distribució de la taxa de pèrdua de cel·les i del retard de transferència en funció de la capacitat del "buffer" ( $Q$ ) quan es tracta tràfic a ràfegues. En segon terme i en base a les expressions obtingudes, es proposa un algorisme pel dimensionament del "buffer" d'acord amb les especificacions de probabilitat de pèrdua de cel·les i de retard preestablertes.

El model de tràfic utilitzat per a totes les connexions d'entrada al multiplexor és el de dos estats amb  $A'_a = \rho_1$ ,  $A'_s = \rho_2$ ,  $\bar{L}' = T_1$  ranures i  $\bar{I}' = T_2$  ranures; per tant la intensitat mitjana de tràfic de cada connexió es pot obtenir a partir de l'expressió (6.1) al complet,  $\bar{A} = \rho_0$ . Amb això el total de càrrega oferta ve donada per  $\rho = N\rho_0 / L$ , essent  $N$  el nombre de connexions i  $L$  la relació entre la capacitat individual dels canals d'entrada i la capacitat del canal de sortida.

La definició de rafegueig que es fa servir és, altra vegada, la relació entre les intensitats de pic i mitjana de tràfic  $\rho_1 / \rho_0$ , però el concepte de rafegueig no es restringeix a aquesta definició, sinó que es considera que la llargària de les ràfegues també n'és un indicatiu.

Amb les expressions corresponents a la probabilitat de pèrdua de cel·les i del retard obtingudes s'avalua el cas que  $Q = 32$ ,  $L = 1$  i  $N = 10$  per a diversos valors de  $\rho_1$  i de  $T_1$ , prenent com a referència el comportament amb tràfic de Poisson ("non bursty"). Els resultats obtinguts són els que nosaltres presentem a la figura 6.7. A l'article no es concreten els valors de  $\rho_2$  i  $T_2$  amb què es treballa, la qual cosa és un inconvenient per a la correcta interpretació d'aquestes gràfiques.

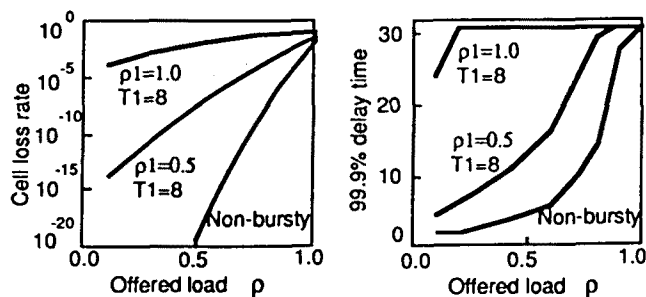


Fig. 4 Traffic characteristics versus offered load  
( $N=10$ ,  $L=1$ ,  $Q=32$ )

FIGURA 6.7

Segons l'autor aquests resultats volen ser un complement des obtinguts a [BRU88] que nosaltres hem revisat al punt 6.3.2, on es fa una avaluació en base només als valors mitjans d'aquests paràmetres.

## 6.4 CONCLUSIÓ

Les consideracions fetes a partir dels resultats de les nostres proves i les conclusions dels tres articles que hem comentat, ens confirmen que, en entorns ATM, el rafegueig té efectes molt forts en el comportament dels dispositius de multiplexació i de commutació. Hi pot haver diferències segons l'estructura, però el rafegueig hi influirà.

La pretensió no era, només, posar de manifest això sinó, també, veure quines podien ser les característiques del tràfic a ràfegues que més influïrien en aquesta agressivitat. En aquest sentit s'ha vist la importància de la llargària de les ràfegues als tres articles comentats (sobretot a [BRU88]), la de la densitat (o pes) i freqüència de les ràfegues a [DIT88] i la de la intensitat de les ràfegues a [HIR89] i també a [DIT88].

Així, el rafegueig en general i els seus paràmetres en particular no es poden deixar de tenir en compte en l'avaluació dels dispositius ATM. Amb la condició, però, que les connexions tinguin una certa entitat, ja que si les connexions que conformessin el tràfic ATM fossin sempre de molt baixa intensitat, la càrrega total oferta ja seria un paràmetre prou significatiu per aquesta avaluació. Això és perquè, amb la multiplexació, com més creix el nombre de fonts més es dilueix el rafegueig.

Constatat el fet que el rafegueig influeix en el comportament dels dispositius ATM, una alternativa al mètode de mesura proposat al capítol anterior, podria ser adoptar algun element extern com a patró de referència, per exemple un commutador o un multiplexor, i considerar que el tràfic amb major rafegueig és el que degrada més el seu funcionament. La utilitat d'aquest sistema s'endevina, però, força limitada.

## REFERÈNCIES

- [BRU88] H. Bruneel, "QUEUEING BEHAVIOR OF STATISTICAL MULTIPLEXERS WITH CORRELATED INPUTS". IEEE Transactions on Communications, n. 12, 1988, pg. 1339.
- [COS88] Expert Group on ATM Switch Structures. "FINAL REPORT OF COST 202 bis", desembre de 1988.
- [DAI86] J. Daigle i J. D. Langford, "MODELS FOR ANALYSIS OF PACKET VOICE COMMUNICATIONS SYSTEMS". IEEE Journal on Selected Areas in Communications, n.6, 1986, pp. 846-855.
- [DIT88] L. Dittmann, S. B. Jacobsen, "STATISTICAL MULTIPLEXING OF IDENTICAL BURSTY SOURCES IN AN ATM NETWORK". Proc. Globecom 1988, pp. 1293-1297.
- [HIR89] M. Hirano i N. Watanabe, "CHARACTERISTICS OF A CELL MULTIPLEXER FOR BURSTY ATM TRAFFIC". Proc. ICC, 1989, sec. 13.2.1, pp. 399-403.
- [MAG88] B. Maglaris et altri "PERFORMANCE MODELS OF STATISTICAL MULTIPLEXING IN PACKET VIDEO COMMUNICATIONS". IEEE Transactions on Communications, n. 7, 1988, pp. 834-843.
- [SRI86] K. Sriram i W. Whitt, "CHARACTERIZING SUPERPOSITION ARRIVAL PROCESS IN PACKET MULTIPLEXERS FOR VOICE AND DATA". IEEE Journal on Selected Areas in Communications, n.6, 1986, pp. 833-846.

**TERCERA PART:**

**AVALUACIÓ DE DISPOSITIUS ATM DES  
DE LA PERSPECTIVA DEL RAFEGUEIG**



## AVALUACIÓ DE DISPOSITIUS ATM

Una gran part dels treballs realitzats fins ara per a l'avaluació d'estructures de commutació en ATM basen la seva estratègia en la variació de la càrrega. Naturalment aquest és un aspecte important, però vista la influència que el rafegueig del tràfic té en el comportament del commutador, aquest tipus d'avaluació no cobreix una proposta integral.

El nostre objectiu, a partir d'ara, és buscar un esquema per a l'estudi del comportament del commutador que pugui respondre a aquesta proposta i que serveixi com a marc de referència per a l'avaluació i comparació d'estructures ATM. Un esquema que tingui en compte en la seva justa mesura l'altra característica important del tràfic: *el rafegueig*.

En aquest capítol es presenta una primera aproximació del que podria ser aquest esquema, basada en el model de font de dos estats descrit al capítol anterior. La idea és, fixat un nivell determinat de càrrega, obtenir una figura del comportament del commutador en front d'un patró de tràfic subjecte a una variació gradual del rafegueig. Els punts més rellevants d'aquesta proposta són l'adequació d'un marc de treball a l'objectiu proposat i la selecció d'un rang de valors de rafegueig significatiu dins l'entorn ATM.

### 7.1 INTRODUCCIÓ

El compromís entre el retard i la taxa de pèrdua de cel·les introduïts per la xarxa és un dels trets més característics de l'estructura de transport ATM que s'ha adoptat per a la IBCN. Encara que la xarxa estigui sobredimensionada, en front de determinats pics de tràfic, o es permet que es perdin cel·les, o el retard pot créixer de forma exagerada. A segons quins serveis els afecta molt el retard, sobretot un retard variable, però accepten una certa taxa d'error (transferències d'imatge i veu), en canvi, d'altres serveis no toleren la pèrdua d'una sola cel·la però disposen de temps per sol·licitar-ne la retransmissió si això passa (transferències de dades). La xarxa ha de poder oferir una *qualitat de servei* (QOS) adequada a cada cas.

Actualment no es disposa de prou dades estadístiques del tràfic que generaran els diversos tipus de serveis que conviuran en la futura IBCN, però s'aniran coneixent a còpia que aquests serveis vagin evolucionant [GER89]. Quan això passi, hem de ser capaços de dimensionar la xarxa per tal que pugui suportar diverses mixtures de tràfic sense deixar de proveir la QOS requerida per cada connexió. Per això, s'ha de disposar de mecanismes sòlids per a l'avaluació i mesura del comportament dels elements que integren la xarxa.

Els elements més importants de la xarxa de comunicacions en banda ampla són els dispositius de commutació i multiplexació ja que les seves funcions es requereixen a molts dels punts de la xarxa, per exemple a l'NT2, al LX o al TX de la configuració de referència presentada al capítol 2 (figura 2.2), essent la dimensió requerida en cada punt la principal diferència. El comportament dels blocs de commutació i de

multiplexació és el que determina el comportament de la pròpia xarxa o QOS que pugui oferir.

Habitualment, els blocs de commutació són estructures multietapa resultat de la interconnexió d'un conjunt de cèl·lules de commutació elementals (elements de commutació), de manera que l'avaluació d'aquestes cèl·lules és el punt clau per a l'estudi del comportament dels blocs de commutació. Els principals paràmetres per a l'avaluació de cèl·lules de commutació són el retard mitjà que introdueixen, el grau de dispersió de valors que pot prendre el retard ("delay jitter"), que se sol expressar en funció de la desviació típica o de la variància del retard introduït, i la taxa de pèrdua de cèl·lules. Des del punt de vista de disseny un altre paràmetre de gran interès i que, a més, influeix en els tres anteriors, és la dimensió dels "buffers".

En aquest capítol ens centrarem en la discussió dels esquemes utilitzats més sovint en l'avaluació del comportament dels commutadors -donem per entès que els multiplexors són un cas particular dels commutadors- i en base a aquests esquemes anirem a la recerca d'una proposta global.

## 7.2 POSSIBLES ESQUEMES D'AVALUACIÓ

L'esquema general utilitzat per a l'avaluació de commutadors és el de la figura 7.1. Les possibles particularitats en el seu ús venen donades per les característiques concretes del tràfic utilitzat, pel tipus d'estudi realitzat i per l'objectiu de la pròpia avaluació que es porta a terme.

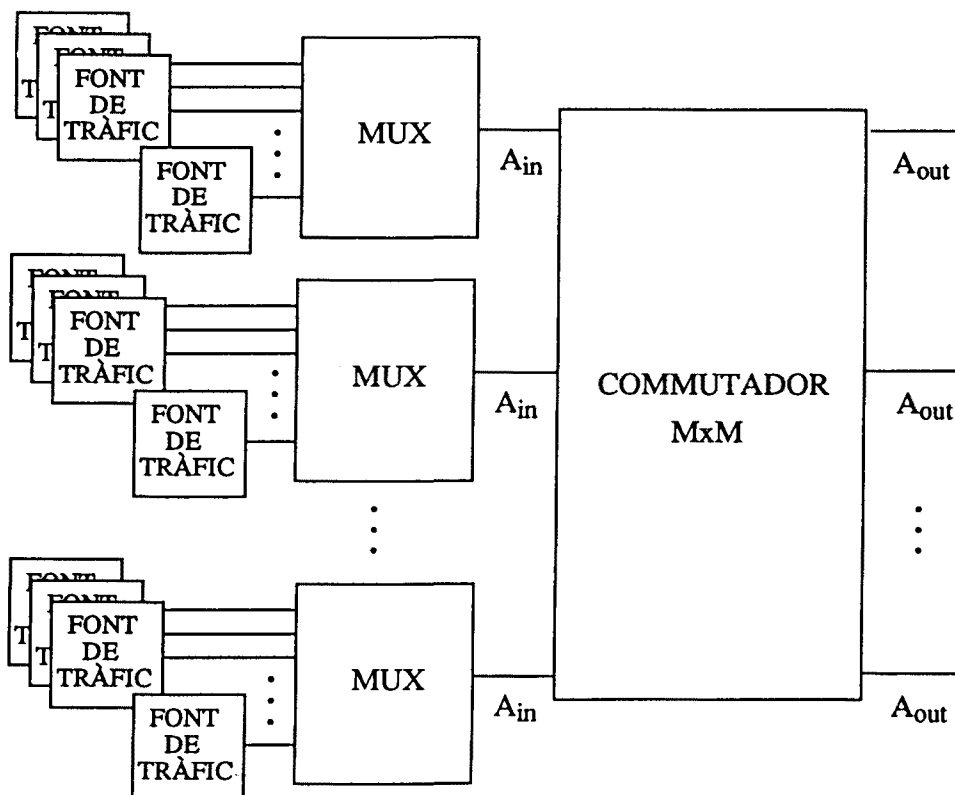


FIGURA 7.1 Esquema general d'avaluació del commutador.

Pel que fa a la font de tràfic, en la majoria dels casos es busca un model que intenti reproduir el que podria ser el tràfic generat per algun dels serveis que la IBCN haurà de

suportar (veu, dades, imatge o serveis multimèdia). En aquest sentit hi ha multitud de propostes fetes, per a serveis de veu podem destacar [DAI86] i [SRI86], per a la superposició de tràfic de serveis de veu i dades [HEF86] i també [SRI86], i per a les fonts de vídeo [NOM89] treballa amb models basats en processos autorregressius i en el coeficient de variació, i [HUA88] i [SEN89] tracten models que enclouen processos de Markov correlats. En d'altres ocasions s'utilitzen trames del propi tràfic real obtingudes experimentalment. En segons quins casos, també es fan servir models que reproduïxin només alguna de les característiques del flux de tràfic, com per exemple la càrrega (procés de Poisson) o el rafegueig (model MMDP de dos estats).

El tràfic total que ataca al commutador es pot obtenir multiplexant un nombre determinat de fonts idèntiques per entrada o bé combinant fonts de característiques diferents en una mateixa entrada o en les diverses entrades.

L'estudi es pot basar en un model analític o bé, es pot fer per simulació. En qualsevol cas el resultat final és una aproximació de la situació real.

Per últim, es pot requerir una avaluació estadística completa o només dels moments més significatius (mitjana, variància, etc.), que es pot fer en funció de la variació de la càrrega o del rafegueig.

### 7.2.1 Esquema basat en la càrrega oferta

Gran part dels treballs realitzats fins ara sobre commutadors de paquets per a xarxes de banda ampla que inclouen algun tipus d'avaluació -ens podriem referir per exemple a la proposta de noves estructures o polítiques de commutació- utilitzen un esquema basat en l'estudi del seu comportament per a diversos valors de la intensitat mitjana de tràfic d'entrada. A grans trets, el mètode més habitual segueix les següents fases:

- 1) Modelar, el més fidelment possible, un tipus de tràfic característic dels serveis de banda ampla d'una intensitat mitjana  $\bar{A}$ , o bé fer ús de trames de tràfic real.
- 2) Estudiar el funcionament del commutador en qüestió multiplexant  $N$  fonts idèntiques per canal d'entrada (figura 7.1), de manera que la intensitat mitjana d'entrada per cada canal és  $\bar{A}_{in} = \bar{A} N$ . Triar una distribució adequada de sortida (assignació font-canal de sortida).
- 3) Observant una de les connexions (circuit virtual), una de les sortides, o fent una observació ponderada de totes les sortides, obtenir informació de l'estadística de la pèrdua de cel·les i la del retard que introdueix el dispositiu en funció d'alguna de les característiques d'interès com per exemple la dimensió dels "buffers" o el tipus d'arbitratge de les cues.
- 4) Comparar els resultats per a diversos valors de la càrrega total ( $M \bar{A}_{in}$ ), per exemple 0.5, 0.7 i 0.8, a base de variar  $N$  i/o  $\bar{A}$ .

Com a exemple d'utilització d'aquest esquema podem citar [ROC90] on es presenta una estructura de multiplexació amb arbitratge distribuït. L'avaluació es fa simulant el seu comportament en front el tràfic generat per un conjunt d' $N$  fonts idèntiques per a diversos valors d' $N$ . L'estudi es repeteix per a dos tipus de fonts diferents, d'àudio i de vídeo, sense especificar, però, si es fa ús d'un model o de trames de tràfic real. La figura obtinguda es compara amb aquelles que resultaven en aplicar un arbitratge FIFO i circular.

### 7.2.2 Esquema basat en el rafegueig del tràfic

L'estratègia per estudiar el comportament del commutador respecte al grau de rafegueig del tràfic, segueix els passos següents:

- 1) Buscar un model de generador de tràfic que, més que emular algun tipus de font real, reproduïxi el procedir a batzagades del tràfic ATM i que en faciliti la seva regulació.
- 2) Fixar una determinada càrrega per canal d'entrada, procedent d'un sol generador o de multiplexar-ne  $N$ , i estudiar el funcionament del commutador en aquestes condicions i una distribució de sortida adequada.
- 3) Analitzar les característiques de l'estadística resultant per a diversos valors dels paràmetres del rafegueig, bo i mantenint els de càrrega ( $\bar{A}$  i  $N$ ) fixos.

De fet aquest és l'esquema utilitzat als estudis del comportament del multiplexor amb tràfic ATM que s'han comentat al capítol anterior [BRU88], [DIT88] i [HIR89] (referències del capítol 6). I és el que adoptarem en la nostra proposta.

## 7.3 OBJECTIU

El nostre objectiu no és ni el dimensionament d'una estructura determinada per fer que compleixi unes especificacions de retard introduït i taxa de pèrdua de cel·les preestablertes, ni l'obtenció de les figures del comportament d'una configuració concreta per comparar-la amb d'altres configuracions de la mateixa estructura sota unes condicions de treball específiques, sinó justament l'establiment d'unes condicions de treball que puguin fer extensibles a qualsevol aplicació i permetin un estudi comparatiu de les diverses alternatives de commutació en ATM. En definitiva, el nostre objectiu es determinar un marc de referència comú, *banc de proves*, per a la excortiació (veure les entranyes) de dispositius ATM.

Pel tipus de tràfic que aquests dispositius hauran de tractar (s'ha dit reiteradament que és tràfic a ràfegues) i per la influència que té el rafegueig en el seu comportament (s'ha fet palesa al capítol anterior), una proposta d'avaluació amb pretensions de ser global ha de tenir molt en compte aquesta característica. Per això l'esquema més adequat per acollir aquesta proposta és el presentat al punt anterior (7.2.2), basat en la variació del rafegueig del tràfic.

## 7.4 PROPOSTA D'UN PATRÓ DE TRÀFIC DE PROVES

Per acabar de completar la proposta només ens falta adequar aital esquema al nostre objectiu. Aquesta feina consisteix en triar un model de font, decidir les distribucions de tràfic de l'entrada i de la sortida i seleccionar un conjunt significatiu de configuracions del model de font que cobreixin un espectre prou ampli de possibilitats. En definitiva, l'establiment d'un *patró genèric de tràfic de proves*.

### 7.4.1 Model de font

Un model de font atractiu i aplicable a la nostra situació és el model MMDP de dos estats que s'ha presentat al capítol anterior (apartat 6.3.1, figura 6.3), ja que gaudeix d'una sèrie d'avantatges que ens poden ser de molta utilitat; recordem-les: és un model senzill, fàcil de simular per ordinador, tractable analíticament i, sobretot, que

permet una còmoda regulació del rafegueig de la seqüència de sortida.

La proposta contempla l'adopció d'aquest model convertint els intervals de baixa activitat en silencis (i.e. fixant  $A'_s = 0$ ). Des d'ara, doncs, parlarem d'interval d'activitat (ràfegues) i de silencis.

Amb aquesta restricció la intensitat mitjana de tràfic de la seqüència de sortida depen només d' $A'_a$  i de la relació  $\bar{I}'/\bar{L}'$ :

$$\bar{A} = A'_a \bar{L}' / (\bar{L}' + \bar{I}') \quad (7.1)$$

Fixem-nos que d'aquesta manera les tres definicions de rafegueig referents al flux de tràfic vist com a seqüències de ràfegues, les que responen a les expressions (4.5), (4.6) i (4.9), són equivalents (porten en la mateixa direcció), ja que, extraient la relació  $A'_a/\bar{A}$  de l'expressió (7.1), d'una banda resulta ser igual a la inversa de l'expressió (4.6) i de l'altra, només depen de la relació entre els temps mitjans de permanència als estats ( $\bar{I}'/\bar{L}'$ ), cosa en la que, com es pot veure a l'expressió (6.2), coincideix amb  $\bar{B}'$ .

L'argument que s'ha utilitzat per triar el parametre  $\bar{B}'$  com a definició de rafegueig és que és el que dóna una idea més clara de l'evolució temporal del flux de tràfic que genera aquest model de font i està en consonància amb l'altre paràmetre indicatiu de rafegueig,  $\bar{L}'$  -el paràmetre  $\bar{B}'$  es pot veure com l'esperança relativa de vida de les ràfegues en els intervals ràfega-silenci i  $\bar{L}'$  com l'esperança absoluta de vida de les ràfegues-.

Adoptant aquesta definició l'alt grau de rafegueig vindrà indicat per la coincidència de valors baixos de  $\bar{B}'$  i valors alts d' $\bar{L}'$ .

#### 7.4.2 Distribució del tràfic a l'entrada i a la sortida del commutador

La càrrega oferta al commutador és producte del tràfic que aporten el total dels M canals d'entrada, i en la nostra proposta mantindrem la uniformitat que estableix l'esquema adoptat (figura 7.1). És a dir que la càrrega de cada una de les entrades serà la mateixa per a totes ( $\bar{A}_{in}$ ).

El tràfic corresponent al conjunt de connexions multiplexades que van a la mateixa sortida el modelarem amb una sola font de dos estats, per dos motius:

- 1) La càrrega per canal d'entrada es pot ajustar per la intensitat mitjana de tràfic de les fonts individuals ( $\bar{A}$ ) i/o actuant sobre el nombre de fonts multiplexades (N), mentre que els paràmetres que regulen el nivell de rafegueig únicament es poden ajustar sobre el model de font.
- 2) El rafegueig que ens interessa controlar no és el de les connexions individuals sinó el del total de tràfic que carrega sobre un mateix punt de l'estructura, ja que és el que realment l'afecta.

Aquesta elecció implicaria M fonts per entrada al commutador ( $N = M$ , una per cada destinació de sortida), però com que això també distorsionaria el grau de rafegueig programat en cada una per la necessitat de multiplexar-les, n'hem suprimit M-1 per

quedar-nos només amb una ( $N = 1$ ). Amb això a cada entrada només generarem tràfic per a una sortida, assumint-se que el tràfic corresponent a les altres està situat als intervals entre cel·les, dins les ràfegues, o als propis intervals de silenci d'aquesta única font, i per tant que no causa cap problema a aquell sector del commutador.

Fent que a totes les entrades es generi el tràfic de la mateixa sortida, la intensitat mitjana de tràfic de la font de cada entrada ha de ser:

$$\bar{A} = \bar{A}_{in} = \bar{A}_{out} / M \quad (7.2)$$

essent  $\bar{A}_{out}$  la intensitat de tràfic que ara haurem de prendre com a referència.

El resultat és que només caldrà observar la sortida carregada, i que assumint una distribució de càrrega entre les sortides uniforme (i.e. que totes les sortides tracten el mateix volum de càrrega) els resultats obtinguts per aquella es podrien fer extensibles a les altres.

### 7.4.3 Configuració del model

Els paràmetres de la font que permeten determinar les diverses configuracions de treball d'una manera més còmoda són la intensitat de tràfic i la llargària mitjana de les ràfegues ( $A_a'$  i  $\bar{L}'$ ), ja que estan en relació directa amb la velocitat de transmissió de la font i la quantitat mitjana d'informació transmesa en els períodes d'activitat, respectivament.

Per l'expressió (7.2), la selecció de la intensitat de tràfic de referència ( $\bar{A}_{out}$ ) fixa la intensitat mitjana de la font de cada canal d'entrada ( $\bar{A}$ ) -la selecció d' $\bar{A}_{out}$  és també un aspecte important de la nostra proposta, en aquest sentit cal dir que un valor massa baix seria incoherent amb els nostres propòsits-. A partir dels valors d' $\bar{A}$ , cada valor d' $A_a'$  determina un únic valor de la relació  $\bar{I}' / \bar{L}'$  (expressió 7.1), amb la qual cosa, per l'expressió (6.2), es pot obtenir el valor del rafegueig  $\bar{B}'$  corresponent a aquella configuració. Per a cada valor d' $A_a'$  tindrem una configuració diferent.

L'estudi que es proposa és avaluar el comportament del commutador en les condicions descrites a l'apartat anterior per a diverses configuracions de font, en funció de la llargària mitjana de les ràfegues,  $\bar{L}'$ . En aquest punt, s'ha de tenir en compte que la variació del valor d' $\bar{L}'$  sobre una configuració determinada, implica l'ajustament de la durada dels silencis ( $\bar{I}'$ ) per mantenir la relació  $\bar{I}' / \bar{L}'$ , altrament estariem alterant la configuració.

Pel que fa a l'assignació concreta de valors a  $A_a'$  i  $\bar{L}'$  pot ser força flexible, però no es pot obviar que l'objectiu és cobrir un marge prou ampli com per a que aquest patró de tràfic es pugui considerar genèric.

## 7.5 AVALUACIÓ

La nostra proposta va més en la línia de formalitzar la presentació dels resultats que no en la de fixar els paràmetres que s'han d'estudiar.

Establir un criteri dels paràmetres que s'han d'estudiar per tal que l'avaluació sigui útil per a qualsevol aplicació no és senzill i, pot ser, no és ni necessari, ja que pel dimensionament del commutador caldrà un determinat tipus d'avaluació, mentre que per a la seva caracterització en caldrà un altre. El que sí que és generalitzable és que l'estudi ha de girar al voltant de la distribució estadística de l'ocupació de memòria al commutador i del temps de trànsit a través d'ell. A partir d'aquí, ens podem centrar en l'obtenció dels valors mitjans, de la desviació típica, dels valors màxims, de la distribució de probabilitats de pèrdua de cel·les en base a una capacitat de "buffer" prefixada, de la distribució de probabilitats que el retard introduït superi un cert límit, etc.; o ens podem centrar també en la dimensió de "buffer" requerida per garantir la no superació d'una taxa de pèrdua determinada.

Com que  $\bar{B}$ ' fixa la configuració del model de tràfic i  $\bar{L}$ ' només marca una forma diferent de la mateixa configuració, el tipus de representació que ens suggereix el patró de tràfic proposat és la de posar els resultats en funció d' $\bar{L}$ ' i prendre  $\bar{B}$ ' com a paràmetre d'escala, ja que d'aquesta manera hi haurà una correspondència gràfica-configuració de font.

En segons quins casos interessa poder disposar d'una caracterització en funció només d'un sol paràmetre, aquesta forma de presentació es presta a poder-ho fer fàcilment.

Per exemple, linealitzant el paràmetre en estudi, en tot l'eix  $\bar{L}$ ' o per trams, el pendent de la recta resultant quedaria en funció només de  $\bar{B}$ '. La gràfica resultant d'aplicar aquesta idea a l'ocupació mitjana de les cues ens donaria el gradient del creixement de les cues amb la llargària de les ràfegues, en funció del rafegueig, en l'interval de linealització.

Per a un estudi comparatiu del comportament de diverses alternatives de funcionament el nivell d'informació que proporciona un gradient pot ser suficient.

## 7.6 EXEMPLE D'APLICACIÓ [SOL90b]

Per posar a prova aquest esquema s'ha usat en la mateixa estructura de commutador que en l'apartat 6.2, una matriu de busos de 16x16 amb cues als punts d'encreuament. L'estudi també s'ha fet per simulació amb "buffers" de capacitat infinita. Recordem com a característica principal d'aquesta estructura que la gestió de les cues corresponents a un mateix bus es fa seguint una política FIFO global -si més d'una cua té una cel·la per sortir, se serveix a la que fa més temps que l'hi té- i que en cas de conflicte es pren una determinació de forma aleatòria. Pels detalls del simulador vegeu l'annex 2.

### 7.6.1 Escenari de treball

La proposta d'avaluació tal com l'hem descrita, aplicada a aquesta estructura de commutador, ens redueix l'escenari de treball al que ens mostra la figura 7.2.

Des del punt de vista del commutador cada font està modelant el tràfic que va parar a una mateixa cua de les del bus en estudi, Obj. Totes les fonts són idèntiques i es compleix que:  $\bar{A}_{ij} = \bar{A}_{in} = \bar{A}$ ,  $\forall i \in [0,15]$  ( $=\bar{A}_{out} / 16$ ).

### 7.6.2 Selecció de valors

El conjunt de valors seleccionat per a l'avaluació d'aquesta estructura els hem inclòs a les taules 7.1 i 7.2.

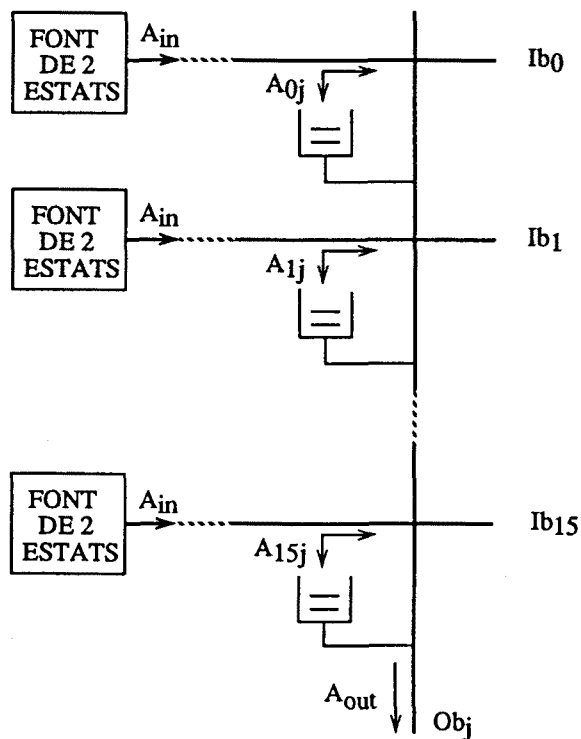


FIGURA 7.2 Escenari de treball

Els valors de la taula 7.1 s'han obtingut en base a una intensitat de tràfic de referència  $\bar{A}_{out} = 0.8$ , llavors com que  $M = 16$ ,  $\bar{A} = 0.8/16 = 0.05$ . El màxim rafegueig que es podria obtenir en aquest cas correspondria a la configuració amb  $A'_a = 1$  que és la que donaria el mínim valor de  $\bar{B}'$ :

$$A' = 1 \Rightarrow A'_a/\bar{A} = 1/0.05 = 20 \Rightarrow \bar{I}'/\bar{L}' = 19 \Rightarrow \bar{B}'_{min} = 0.117$$

**TAULA 7.1 - Selecció de configuracions del model de font per a una intensitat de tràfic de referència  $\bar{A}_{out} = 0.8$**

$A'_a$	Velocitat efectiva (Mbps)	$A'_a/\bar{A}$	$\bar{I}'/\bar{L}'$	$\bar{B}'$
0.075	40.75	1.5	0.5	0.613
0.100	54.35	2.0	1.0	0.500
0.115	62.50	2.3	1.3	0.456
0.130	70.65	2.6	1.6	0.422
0.150	81.50	3.0	2.0	0.386
0.175	96.05	3.5	2.5	0.351
0.200	108.65	4.0	3.0	0.324
0.300	163.00	6.0	5.0	0.253



La velocitat efectiva correspon a la velocitat de transmissió de la font considerant simplement que durant els períodes d'activitat és té informació per transmetre i que durant els silencis no, encara que la velocitat nominal continuaria essent la mateixa. L'expressió per calcular aquesta velocitat efectiva és:

$$V_{ef} = V_{max} A'_a (X-H) / X = A'_a 600E6 (48 / 53) \text{ bps} \quad (7.3)$$

essent  $V_{max}$  la capacitat màxima del canal en bps (en el nostre cas, 600 Mbps),  $X$  la llargària de les cel·les (en el nostre cas, 53 octets) i  $H$  la dimensió de la seva capçalera (en el nostre cas, 5 octets). El qualificatiu d'efectiva li donem, justament, perquè està corregida per la relació informació-dimensió de cel·la,  $(X-H) / X$ .

TAULA 7.2 - Selecció de valors de la llargària mitjana de ràfega. Contingut d'informació de les ràfegues per algunes de les configuracions

$\bar{L}'$ (ranures)	Contingut d'informació (Kbits)			
	$A'_a = 0.075$	$A'_a = 0.1$	$A'_a = 0.13$	$A'_a = 0.175$
200	5.76	7.68	9.98	13.4
500	14.4	19.2	24.9	36.6
1000	28.8	38.4	49.9	67.2
2000	57.6	76.8	99.8	134
5000	144	192	249	336
10000	288	384	499	672

La taula 7.2, a més dels valors d'  $\bar{L}'$  seleccionats per a l'avaluació, inclou el contingut d'informació en mitjana de les ràfegues per algunes de les configuracions utilitzades, calculada en cada una d'elles per a tots els valors d'  $\bar{L}'$ .

Recordem que el contingut d'informació de les ràfegues correspon al volum d'informació que en mitjana transmet la font en un període d'activitat, i respon a l'expressió:

$$\text{Inf.} = A'_a \bar{L}' (X-H) = 48 (A'_a \bar{L}') \text{ octets} \quad (7.4)$$

### 7.6.3 Resultats

Els resultats que presentarem s'han obtingut fent una ponderació sobre les 16 cues del bus Obj en estudi.

El primer que s'ha avaluat és l'ocupació mitjana de les cues, i les corbes obtingudes són les de la figura 7.3. Centrant l'atenció, per exemple, en la gràfica corresponent a un rafegueig  $\bar{B}' = 0.386$  ( $A'_a = 3 \bar{A}$ ), per una llargària mitjana de ràfega  $\bar{L}' = 2000$  ranures de temps, l'ocupació mitjana de les cues és de 6.4 cel·les. Això vol dir que 300 cel·les equiespaciades entre 2000 ranures i seguides d'un interval de silenci equivalent a 4000 ranures (tot això en mitjana) produeix una ocupació mitjana de la cua del punt d'encreuament a la que van a parar de 6.4 cel·les, sempre que les altres cues estiguin afectades d'un flux de tràfic mateix tipus. Aquestes gràfiques estan tallades pels punts a partir dels quals la condició de "buffers" infinits esdevenia falsa que és quan en algun moment s'ha detectat que alguna cua ha perdut cel·les (l'ocupació instantània ha superat el màxim de 1024 cel·les de "buffer" que s'havien programat al simulador), ja

que quan això passa els resultats deixen de ser fiables. Els punts en qüestió són els següents: per  $\bar{B}' = 0.324$ , quan  $\bar{L}'$  supera les 2000 ranures i per  $\bar{B}' = 0.253$ , quan supera les 200. No ens ha semblat necessari, en aquest cas, repetir les simulacions amb un valor més elevat ( $> 1024$  cel.les) de la dimensió màxima dels "buffer".

Per tal de tenir una referència s'ha portat a terme una simulació amb fonts que generaven tràfic amb rafegueig zero, modelant la font amb un procés de Poisson. Els resultats que per a l'ocupació de les cues se n'ha obtingut és: una mitjana de 0.15 cel.les i un valor màxim de 8.

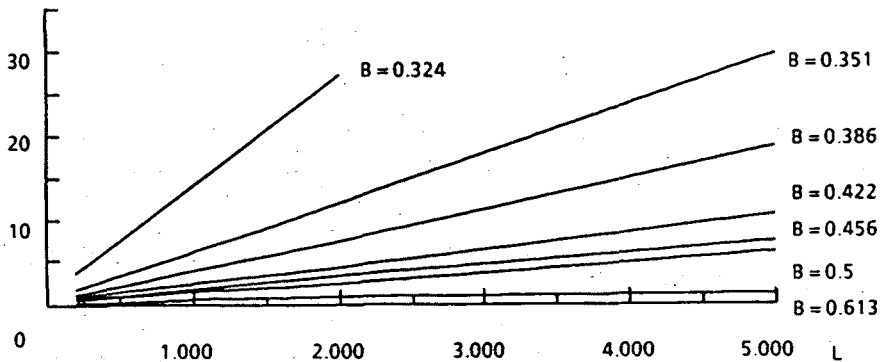


FIGURA 7.3 Ocupació mitjana de les cues en temps de cel.la (ranures)

Pel que fa al retard mitjà introduït pel sistema, el tipus d'arbitratge utilitzat (FIFO global) ens permet calcular-lo a partir de l'ocupació mitjana de les cues amb el teorema de Little, per exemple, pel cas de  $\bar{B}' = 0.386$  i  $\bar{L}' = 2000$  ranures, 16 cues per una ocupació mitjana en cada una de les cues de 6.4 cel.les (en total 102.4 cel.les en mitjana esperant per sortir pel bus Obj) dividit per la intensitat de tràfic total d'entrada ( $16 \bar{A} = \bar{A}_{out} = 0.8$ ) dóna un retard mitjà de 128 ranures. En el cas de tràfic monòton (Poisson) s'obté un retard mitjà de l'ordre de 3 ranures, i per simulació s'ha obtingut que el retard màxim en aquest cas és de 33 ranures, una quarta part del valor mitjà en el cas anterior.

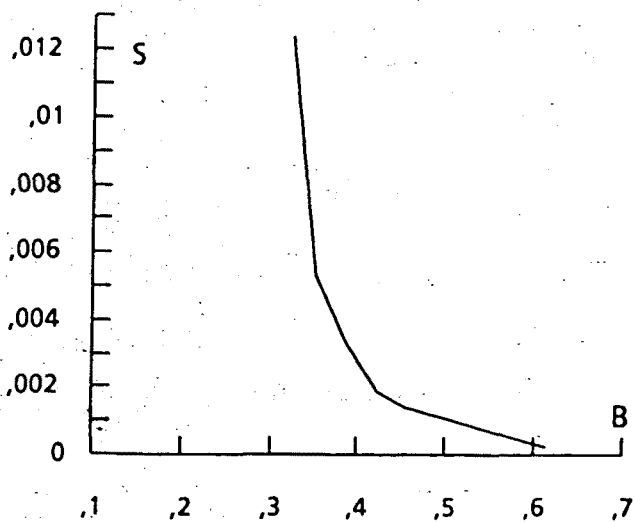


FIGURA 7.4 Gradient de l'ocupació mitjana de les cues linealitzada

Linealitzant les corbes de la figura 7.3, cosa que es pot fer sobre tot el rang de valors seleccionat en aquest estudi, obtenim la figura 7.4. A primer colp de vista, el gradient del creixement de l'ocupació de les cues respecte a  $\bar{L}$  en funció de  $\bar{B}$ , ens diu que per a valors del rafegueig inferiors a 0.4 el comportament del commutador deixa de ser acceptable.

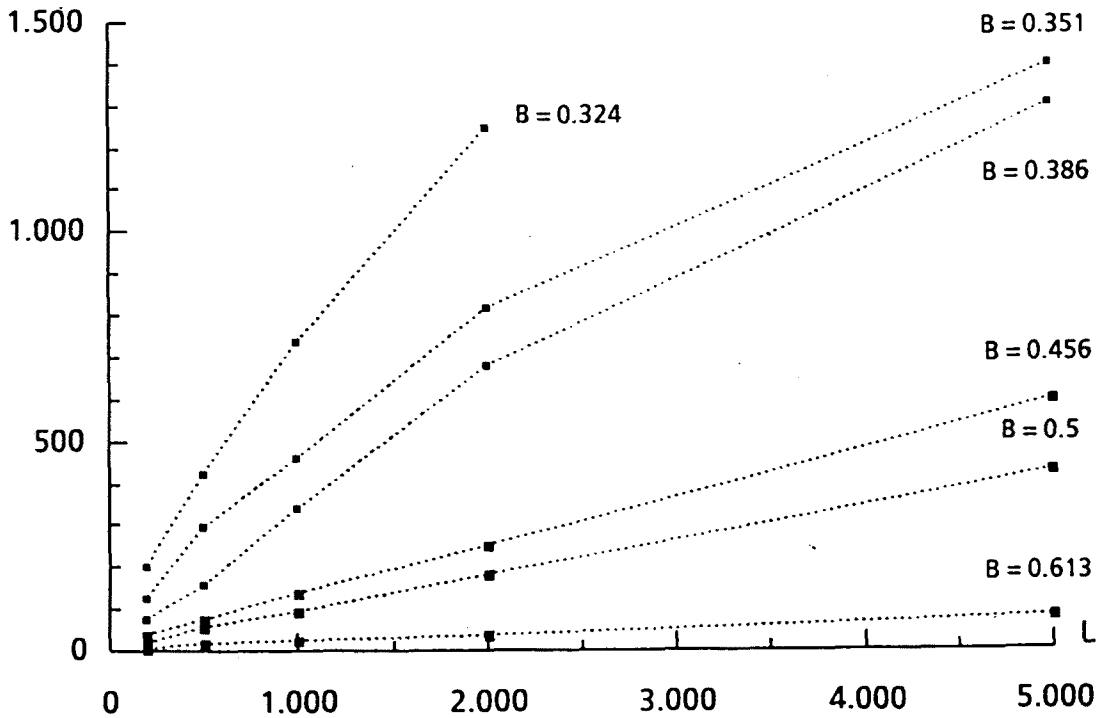


FIGURA 7.5 Memòria necessària per a una taxa de pèrdua <math> < 10E-10 </math> (en cel.les).

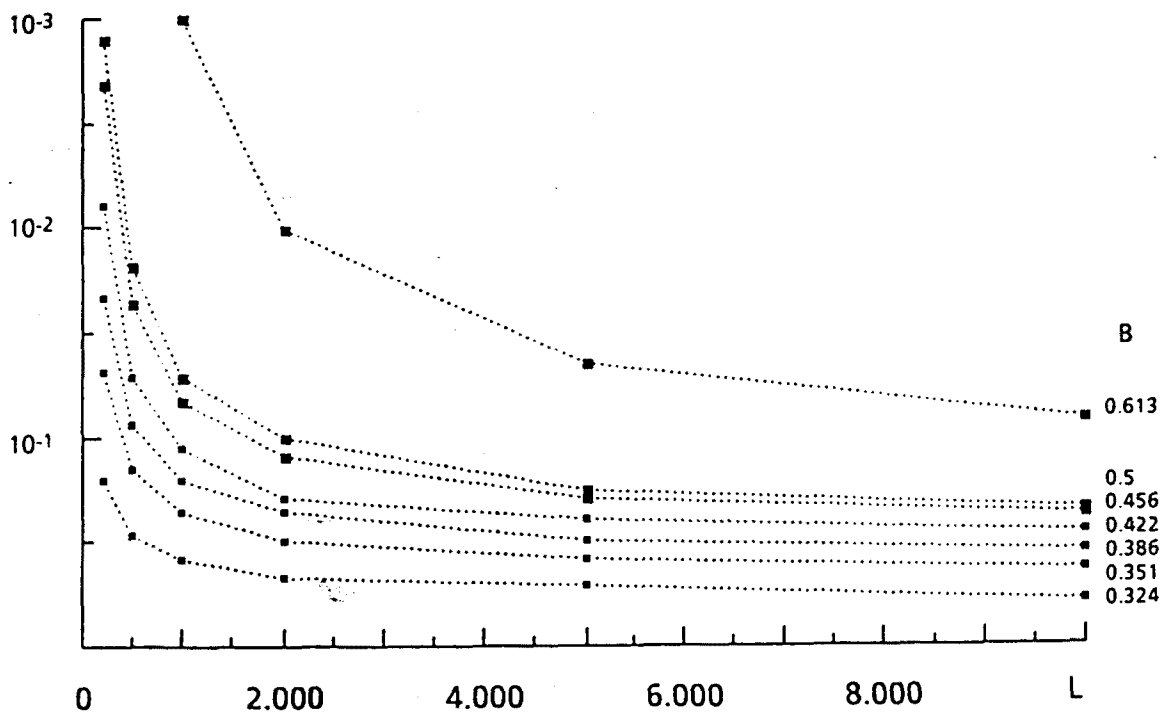


FIGURA 7.6 Probabilitat que el temps de trànsit sigui superior a 0.1 ms.

Finalment, l'estudi es completa amb l'estimació de la dimensió de "buffer" necessària per garantir una taxa de pèrdua de cel·les inferior a  $10E-10$  de la figura 7.5 i de la probabilitat que el retard introduït pel dispositiu superi 0.1 ms (aproximadament 143 vegades el temps de cel·la) de la figura 7.6. Cal puntualitzar que aquestes gràfiques s'han obtingut per extrapolació lineal de les funcions de distribució de probabilitats complementària de l'ocupació de les cues i del retard respectivament.

Com abans, la linealització de les corbes incloses en aquestes gràfiques permetria disposar d'una figura del comportament del commutador en funció només del rafegueig. Aquí, però, la linealització s'hauria de fer per trams.

#### 7.6.4 Conclusions

Fixem-nos, sobretot a partir de les gràfiques de les figures 7.4, 7.5 i 7.6, que el comportament del commutador es degrada molt ràpidament, de seguida que comença a creixer la dimensió de les ràfegues, i més com més alt és el rafegueig. Això ens fa pensar que el rang de valors de treball seleccionat s'escapa massa de qualsevol situació produïda per tràfic real per crítica que fos.

Per sustentar aquesta afirmació intentarem contrastar alguna de les seqüències de tràfic utilitzades en l'avaluació amb possibles valors de tràfic real. Per exemple, la seqüència obtinguda a partir de la parella de valors  $A_a' = 0.175$  i  $\bar{L}' = 2000$  que té un rafegueig  $\bar{B}' = 0.351$  i un interval entre ràfegues, en mitjana, d' $\bar{I}' = 5000$  ranures de temps, s'hauria d'identificar amb el tràfic d'una font que generés, en mitjana, ràfegues d'informació de 134 Kbits (taula 7.2) cada 5 ms(\*) transmetent-les a 96 Mbps (taula 7.1) sobre un canal d'una capacitat de 600 Mbps. Si no fos pels intervals entre ràfegues aquests valors es correspondrien amb els d'una font de vídeo. Però per a què lligués del tot, la distància mitjana entre el començament de dues ràfegues consecutives ( $\bar{I}' + \bar{L}'$ ) hauria de ser d'unes 28000 ranures de temps, llavors hi hauria una relació de mitjanes amb el període entre imatges típic de les connexions de vídeo a 50 imatges (o 25 pantalles amb entrelaçament) per segon, 0.02 segons.

Es podria pensar, doncs, que la configuració esmentada és un model rudimentari de 4 connexions de vídeo d'aquestes característiques multiplexades, ja que:

$$28000 / (\bar{I}' + \bar{L}') = 28000 / 7000 = 4$$

Però, emprant un sol model de font ( $N = 1$ ), s'està obviant l'efecte de suavització que sobre el rafegueig produiria la pròpia multiplexació.

#### 7.7 REFINAMENT DEL PATRÓ DE TRÀFIC

Vistes les conclusions de l'apartat anterior, el retoc del rang de valors seleccionat no seria suficient per solucionar el problema plantejat, ja que no és un problema de mala selecció de les configuracions de treball sinó de falta de *sensibilitat* del propi patró de tràfic. El que cal és, doncs, suavitzar el patró de tràfic proposat, i per fer-ho, mantenint el mateix model de font de dos estats, tenim dues alternatives: jugar amb el nombre de fonts per entrada ( $N > 1$ ), s'enten que idèntiques, o bé mantenir  $N = 1$  i jugar amb la intensitat de tràfic dels intervals entre ràfegues ( $A_s'$ ).

(\*)  $(\bar{I}' + \bar{L}') T = 7000 \times 0.7E-6 = 4.9E-3$ , aproximadament 5 ms.

Recordem que T és el temps de cel·la i que en tot el treball s'ha usat  $T = 53 \times 8 / 600E6 \approx 0.7 \mu s$ .

L'inconvenient principal que comporta un valor d' $A'_s$  diferent de zero és que, llavors, el model de font esdevé massa flexible, la configuració no queda completament determinada pel valor d' $A'_a$  i per tant, tal com es despren de l'expressió (6.1), un valor de la relació  $\bar{I}'/\bar{L}'$  no correspon a una sola configuració. Tot plegat dóna lloc a que moltes configuracions diferents puguin tenir un mateix valor de  $\bar{B}'$ , la qual cosa esguerra l'esquema de representació proposat. El rafegueig  $\bar{B}'$ , es podria mantenir com a paràmetre d'escala, però ara, els resultats s'haurien de presentar en funció de dues variables: la llargària mitjana de les ràfegues, com abans, i la intensitat de tràfic dels intervals interràfegues.

Si es permet la variació del nombre de fonts per entrada tenim dues possibilitats:

- 1) Basar el patró de tràfic en la selecció dels valors de la relació  $\bar{I}'/\bar{L}'$  i jugar amb els valors d' $A'_a$  i  $N$  mantenint la intensitat mitjana de tràfic d'entrada constant ( $\bar{A}_{in} = \bar{A}_{out}/M$ ).
- 2) Basar el patró de tràfic en la selecció dels valors de la intensitat mitjana de les ràfegues ( $A'_a$ ) i, per a cada un d'ells, variar els de la relació  $\bar{I}'/\bar{L}'$  i d' $N$ , bo i mantenint també la càrrega d'entrada.

Com en el cas anterior, un dels inconvenients que primer es veuen és que en augmentar el nombre de variables en joc, la representació dels resultats se'ns complica. Per altra banda, a primera vista podria semblar que és possible mantenir el rafegueig  $\bar{B}'$  com a paràmetre d'escala, sobretot en la primera opció que ve determinada pel valor de la relació  $\bar{I}'/\bar{L}'$ , però això no és cert, ja que per a  $N > 1$  el rafegueig que s'ha de prendre com a referència no és el de les fonts sinó el del que ara és el flux de tràfic d'entrada, el flux de tràfic resultant de multiplexar les  $N$  seqüències.

Un possible patró de tràfic alternatiu es podria inspirar en la segona de les opcions d'aquest segon cas. Tots aquests inconvenients es podrien solucionar seguint els criteris següents:

- 1) Conservar l'esquema de configuracions de treball establert en el patró de tràfic de la proposta primitiva.
- 2) En base a una referència de tràfic real, buscar un únic valor d' $N$  per a cada una de les parelles ( $A'_a$ ,  $\bar{L}'$ ) que conformessin el rang de valors seleccionat. Prenent, per exemple, com a referència el que s'ha fet a l'apartat 7.6.4, per a la parella de valors  $A'_a = 0.175$  i  $\bar{L}' = 2000$  ranures,  $N$  seria 4.
- 3) Per a la representació dels resultats, mesurar les característiques de rafegueig del flux de tràfic resultant de multiplexar, en cada cas, les  $N$  fonts de dos estats determinades.

En altres paraules del que es tractaria és d'aproximar els valors mitjans del contingut d'informació del períodes d'activitat (ràfegues) i de la durada dels intervals entre aquests períodes, i la velocitat de transmissió de les connexions que poden tenir lloc en la futura IBCN, amb un nombre específic ( $N$ ) de fonts de dos estats.

Amb una anàlisi no gaire profunda d'aquesta proposta, de seguida es veu que deixen de tenir justificació alguns dels aspectes més importants en els que es basava la proposta primitiva i els quals volem continuar mantenint. Per exemple, deixa de tenir justificació fer ús d'un model de dos estats, ja que per caracteritzar les fonts es podrien utilitzar traces de tràfic real o models més elaborats que reproduïssin més fidelment el tràfic ATM. Igualment, si hem d'acabar mesurant el tràfic que afecta un determinat sector del commutador, no té sentit obviar la presència del tràfic que va als altres sectors, la càrrega per entrada podria ser, perfectament, la total ( $\bar{A}_{in} = \bar{A}_{out}$ ).

Per altra banda en el flux de tràfic resultant de multiplexar N fonts de dos estats, el paràmetre  $\bar{A}_a$  ja no depen directament de la relació  $\bar{I}/\bar{L}$  com quan s'emprava una sola font, de manera que, possiblement, el paràmetre  $\bar{B}$  (encara que fos el del flux total) ja no és prou representatiu del rafegueig (capítol 4, apartat 4.3) i caldrà buscar-ne algun altre que contingui informació, no només de la distribució temporal de les ràfegues, sinó també de la seva intensitat. Aquest inconvenient encara es podria salvar prenent en el seu lloc, per exemple, l'esperança de la intensitat mitjana de tràfic dels intervals ràfega-interràfegues ( $\bar{R}$ ).

En definitiva, amb aquesta proposta ens quedem a mig camí, ja que o es fa una abstracció de la realitat, com es el cas de la proposta primitiva, o anem per la seva reproducció el més fidelment possible. Malgrat tot, ens dona la pista d'una opció que s'adequaria millor als nostres objectius, i que és: un patró de tràfic basat en el modelatge de les característiques de rafegueig dels fluxos de tràfic real en els punts crítics de la xarxa.

## 7.8 SUMARI

La proposta d'un esquema general d'avaluació de dispositius ATM no és una tasca fàcil, la intenció d'aquest capítol ha estat obrir-ne el camí posant en ordre tot una sèrie d'idees que tenen en compte, com a eix fonamental, la influència del rafegueig del tràfic en els punts crítics d'aquestes estructures i que de forma dispersa ja s'havien anat utilitzant en treballs anteriors sobre el tema, recordem, per exemple, els articles [BRU88], [DIT88] i [HIR89] que s'han comentat al capítol anterior.

El mètode, tal com s'ha proposat, presentaria algunes dificultats d'aplicació sobre determinades estructures (en concret sobre estructures amb cues a les entrades), ja que llavors modelar només el tràfic cap a una de les sortides podria suposar una simplificació massa forta del funcionament del commutador. Caldria algun retoc que permetés fer extensible el mètode a tots els casos, però aquesta qüestió la deixarem per a més endavant.

Finalment, a partir dels resultats obtinguts en l'exemple d'aplicació, s'ha detectat un cert sobredimensionament del patró de tràfic, la qual cosa ens ha portat a reconsiderar la idea inicial d'un patró de tràfic arbitrari i pensar en un de basat en la reproducció del rafegueig del tràfic real. Al capítol següent abordarem aquest tema presentant una proposta per a la reproducció del rafegueig del tràfic ATM amb models de font senzills.

## REFERÈNCIES

- [COS88] Expert Group on ATM Switch Structures. "FINAL REPORT OF COST 202bis". (December 1988).
- [DAI86] J. N. Daigle i J. D. Langford, "MODELS FOR ANALYSIS OF PACKET VOICE

- COMMUNICATIONS SYSTEMS". IEEE J.S.A.in Communications, vol. 4, no. 6, 1986, pp. 847-855.
- [GEC89] J. Gechter, P. O'Reilly, "CONCEPTUAL ISSUES FOR ATM". IEEE Network, gener 1989, pp. 14-16.
- [HEF86] H. Heffes i D. M. Lucantoni, "A MARKOV MODULATED CHARACTERIZATION OF PACKETIZED VOICE AND DATA TRAFFIC AND RELATED STATISTICAL MULTIPLEXED PERFORMANCE". IEEE J.S.A.in Communications, vol. 4, no. 6, 1986, pp. 856-867.
- [HUA88] S. Huang, "SOURCE MODELLING FOR PACKET VIDEO". Proceedings del Globecom, 1988, pp. 1262-1267.
- [NOM89] M. Nomura, T. Fujii i N. Ohta, "BASIC CHARACTERISTICS OF VARIABLE RATE VIDEO CODING IN ATM ENVIRONMENTS". IEEE J.S.A.in Communications, vol. 7, no. 5, 1989, pp. 752-760.
- [ROC90] R. Rocha, A. Casaca i M. Nunes, "A DISRIBUTED MERGER FOR ATM". Proceedings of the International Conference on Integrated Broadband Services and Networks, octubre de 1990, pp. 253-257.
- [SEN89] P. Sen, B. Maglaris, N. Rikli i D. Anastassious, "MODEL FOR PACKET SWITCHING OF VARIABLE-BIT-RATE VIDEO SOURCES". IEEE J.S.A.in Communications, vol. 7, no. 5, 1989, pp. 865-869.
- [SOL90b] J. Solé, J. Domingo i J. García, "TRAFFIC BURSTINESS INFLUENCE ON ATM SWITCHING BEHAVIOR". Proc. Fourth International Conference on Communication Systems and their Performance, IFIP-TC6, 1990, PP. 133-147.
- [SRI86] K. Sriram i W. Whitt, "CHARACTERIZING SUPERPOSITION ARRIVAL PROCESSES IN PACKET MULTIPLEXERS FOR VOICE AND DATA". IEEE J.S.A.in Communications, vol. 4, no. 6, 1986, pp. 833-846.

---

## MODELATGE DE LES CARACTERÍSTIQUES DE RAFEGUEIG DEL TRÀFIC ATM

Com es pot comprovar en alguns dels estudis que s'han referenciat al capítol anterior (apartat 7.2), la síntesi de models per reproduir fidelment el tràfic ATM pot arribar a ser extremadament complexa.

Una de les alternatives que s'han insinuat és la de modelar només alguna característica important del tràfic, i el rafegueig, tal com s'ha volgut posar de manifest al llarg de tot el treball, és una d'aquestes característiques.

L'estudi que presentem a continuació té com a objectiu el modelatge de les característiques de rafegueig del tràfic ATM, primer pas per a la construcció d'un patró de tràfic genèric. Primer, es descriu el mètode emprat, després, es formulen diverses estratègies que es poden portar a terme amb aquest mètode -deixant la porta oberta a qualsevol altra proposta-, i finalment, es comenten els resultats d'un exemple d'aplicació en el que es posen a prova aquestes estratègies.

Aquest treball és una versió extesa i revisada de [SOL90c].

### 8.1 INTRODUCCIÓ

Els models de tràfic utilitzats en qualsevol àmbit generalment volen reproduir una situació real. En casos com la commutació de circuits en telefonia, la demanda de recursos es pot modelar força fidelment en base als processos de Poisson en els quals un succés no està correlat amb l'anterior.

En xarxes ATM, en canvi, el flux de cel·les, d'una connexió o de diverses connexions multiplexades, no s'adapta a aquest tipus d'esquema, i sovint s'ha d'acudir a models més complexos. D'aquests, el model MMDP de dos estats és dels més senzills i s'ha usat en la caracterització del tràfic de serveis de veu i de veu i dades combinats [DAI86], [HEF86] i [SRI86] (referències del capítol anterior), però, per a serveis de vídeo o serveis multimèdia que impliquin transmissió d'imatges, aquest model es queda curt [NOM89], [HUA88] i [SEN89] (referències del capítol anterior).

Però, per a segons quins tipus d'estudis, no és necessari un model que aporti una reproducció fidel del tràfic sinó que sintetitzant les seves característiques més significatives ja n'hi ha prou.

El que es preten en aquest capítol és donar aquesta nova orientació al tema, i modelar només les característiques de rafegueig del tràfic, de manera que l'únic requisit que se li demana al model és que pugui reflectir un cert nivell de correlació entre cel·les consecutives que s'hauria mesurat del tràfic real. Des d'aquest punt de vista, es pot pensar que l'aplicació d'un model senzill com l'MMDP de dos estats és factible per a qualsevol mena de tràfic.

El patró de tràfic inclòs en la primera proposta del capítol anterior sembla que podria



respondre a les especificacions del model que ara ens plantegem. Fixem-nos, però, que l'única referència que allí es prenia de la realitat era la velocitat de transmissió de la font i el contingut d'informació de les ràfegues. El present objectiu és més ambiciós, sobre el mateix model hi volem reproduir els paràmetres més significatius del rafegueig: llargària, densitat i intensitat, de les ràfegues i dels intervals entre ràfegues.

## 8.2 MÈTODE

El mètode pel modelatge del rafegueig del tràfic ATM que proposem aquí se suporta en el mecanisme de mesura del rafegueig descrit al capítol 5. En línies generals es pot sintetitzar amb tres punts:

- 1) Mesurament d'un conjunt de paràmetres que donin prou informació del rafegueig del flux de tràfic en estudi.
- 2) Adopció d'un model de font apropiat.
- 3) Configuració del model de font que s'ha adoptat, d'acord amb els valors dels paràmetres mesurats.

Respecte al primer punt s'utilitzarà l'algorisme de mesura tal com s'ha programat per a l'exemple d'aplicació del capítol 5 (apartat 5.4), és a dir emprant el següent criteri d'identificació de ràfegues:

$$\text{MAIG} = \lceil 1 / \bar{A} \rceil; \text{ essent } \bar{A} \text{ la intensitat mitjana de flux de tràfic en estudi.}$$

$$L_{\min} = \text{MAIG} \text{ ranures, entre plenes i buides.}$$

En relació al model de font, com ja hem anunciat i pels motius de sempre (simplicitat i comoditat en la regulació dels paràmetres de rafegueig), adoptarem l'MMDP de dos estats descrit al punt 6.3.1 que té com a paràmetres bàsics  $A'_a$ ,  $A'_s$ ,  $\bar{L}'$  i  $\bar{I}'$ .

I finalment, pel que fa a la configuració del model, consisteix únicament en determinar els valors del seus quatre paràmetres bàsics a partir dels paràmetres de rafegueig del tràfic mesurats.

## 8.3 ESTRATÈGIES

Tal com s'ha presentat el mètode, la proposta d'estratègies es redueix a la selecció de conjunts de paràmetres diferents dels quals derivar els paràmetres bàsics del model de dos estats, i la validesa de la configuració resultant dependrà de l'encert d'aquesta selecció. S'ha de tenir en compte que la seqüència generada pel model de font ja configurat serà una aproximació de l'original, que només hi coincidirà en les característiques determinades pels paràmetres del conjunt seleccionat i que pot passar, i segons el cas es podria admetre, que les intensitats mitjanes de tràfic del model i la de l'original no coincideixin,  $\bar{A} \neq \bar{A}'$ .

A continuació es proposen quatre estratègies, totes elles, excepte l'última, basades en els valors mitjans dels paràmetres de rafegueig que se seleccionen. El conjunt de paràmetres és, en cada cas, el següent:

- 1) Les intensitats de tràfic i la durada de les ràfegues i dels intervals entre ràfegues ( $A_a$ ,  $A_s$ ,  $L$  i  $I$ ).

- 2) Els paràmetres anteriors i la durada relativa de les ràfegues respecte a la durada de les parelles d'interval·lals ràfega-interràfegues contigus (B), la mitjana de la qual és la definició de rafegueig que nosaltres utilitzem, i la intensitat mitjana de tràfic a les parelles d'interval·lals ràfega-interràfegues contigües (R).
- 3) És una segona versió de l'estratègia anterior. Tret d' $A_s$ , que s'inicialitza directament a zero, es basa en el mateix conjunt de paràmetres.
- 4) El paràmetre B, com en les dues anteriors, i la distància entre cel·les (D) de la qual s'usa, a més de la mitjana ( $\bar{D}$ ), la seva desviació típica ( $\sigma_D$ ). És l'única estratègia en la que es fa ús d'un moment de segon ordre.

### 8.3.1 Estratègia 1

La primera estratègia és la que requereix un procediment més simple, només consisteix en fixar directament els paràmetres bàsics del model als respectius valors mesurats.

$$A'_a = \bar{A}_a; A'_s = \bar{A}_s; \bar{L}' = \bar{L} \text{ i } \bar{I}' = \bar{I} \quad (8.1)$$

D'aquesta manera el model només conserva del tràfic original el mateix valor de la relació entre les intensitats mitjanes de ràfega i total,  $A'_a / \bar{A}' = \bar{A}_a / \bar{A}$ .

Amb aquesta estratègia es poden substituir N fonts, una per una, pel seu model ( $N' = N$ ), però també es poden substituir totes elles per una de sola que model·li el tràfic resultant de multiplexar-les.

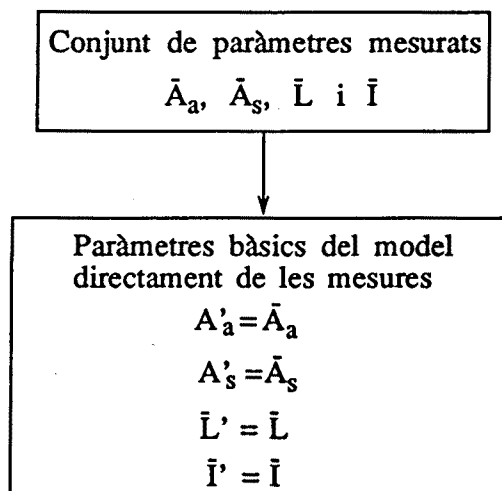


FIGURA 8.1 Esquema sinòptic de la primera estratègia

### 8.3.2 Estratègia 2

La segona estratègia està inspirada en fer una analogia entre els trens d'impulsos i les seqüències de ràfegues. Els trens d'impulsos es poden caracteritzar essencialment amb tres paràmetres: el període (que marca la freqüència dels polsos), l'amplitud dels

polsos i la durada relativa dels polsos respecte al període.

Efectuant una projecció del significat de cadascun d'aquests paràmetres sobre les seqüències de ràfegues, sembla que per caracteritzar aquestes seqüències tres paràmetres també podrien ser suficients:

- 1) La durada mitjana del conjunt ràfega-interràfegues contigus ( $\bar{L} + \bar{I}$ ) que seria l'equivalent del període mitjà del tren d'impulsos.
- 2) La distància entre intensitats de tràfic de les ràfegues i dels intervals entre ràfegues ( $\bar{A}_a - \bar{A}_s$ ) que estaria relacionada amb el valor mitjà de l'amplitud dels polsos.
- 3) La densitat de ràfegues en el temps ( $\bar{B}$ ) que es correspondria amb el valor mitjà de la durada relativa dels polsos.

Per deduir completament els paràmetres del model ens cal seleccionar un altre paràmetre, i hem optat per l'esperança del valor mitjà de la intensitat de tràfic de les parelles d'interval ràfega-interràfegues ( $\bar{R}$ ) que relaciona les intensitats de tràfic amb el temps que es mantenen i, a més, està íntimament lligat amb  $\bar{B}$ .

Fixant els valors mesurats d'aquests quatre paràmetres sobre el model de dos estats, tenim un joc de quatre equacions que ens permet deduir-ne els seus paràmetres bàsics:

$$\bar{B}' = \bar{B}; (\bar{L}' + \bar{I}') = (\bar{L} + \bar{I}); (A'_a - A'_s) = (\bar{A}_a - \bar{A}_s) \text{ i } \bar{R}' = \bar{R} \quad (8.2)$$

A partir de la primera equació, de l'expressió (6.2), s'obté la relació  $\bar{I}'/\bar{L}'$  i amb l'ajut de la segona equació s'acaben de determinar els valors absoluts d' $\bar{L}'$  i d' $\bar{I}'$ . Amb les altres dues equacions, a partir de l'expressió d'  $\bar{R}'$  (6.3), es poden obtenir  $A'_a$  i  $A'_s$ .

La figura 8.2 resumeix el procedir d'aquesta estratègia.

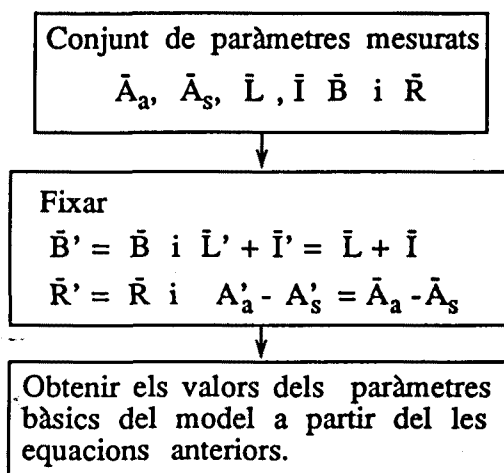


FIGURA 8.2 Esquema sinòptic de la segona estratègia.

Aquesta és una opció més elaborada que l'anterior en la que entre l'original i el model es manté el rafegueig ( $\bar{B}' = \bar{B}$ ) però, en canvi, es deixa de mantenir la relació entre intensitats de tràfic ( $A'_a / \bar{A}' \neq \bar{A}_a / \bar{A}$ ).

La intensitat mitjana de tràfic tampoc no es conserva ( $\bar{A}' \neq \bar{A}$ ), de manera que, si es vol que la càrrega total oferta sigui la mateixa, amb una sola font de dos estats no es pot modelar el tràfic corresponent a N fonts d'intensitat mitjana de tràfic  $\bar{A}$ . S'ha de fer per força amb  $N'$ , essent  $N'$  tal que es compleixi:

$$N'\bar{A}' = N\bar{A} \Rightarrow N' = (N\bar{A})/\bar{A}' \tag{8.3}$$

i encara, sovint, només podrem obtenir una aproximació ( $N'\bar{A}' \approx N\bar{A}$ ), ja que  $N'$  ha de ser un enter.

### 8.3.3 Estratègia 3

En les dues estratègies següents s'agafa, per defecte, que els intervals entre ràfegues siguin silencis ( $A'_s = 0$ ), això fa guanyar en flexibilitat i simplifica els càlculs.

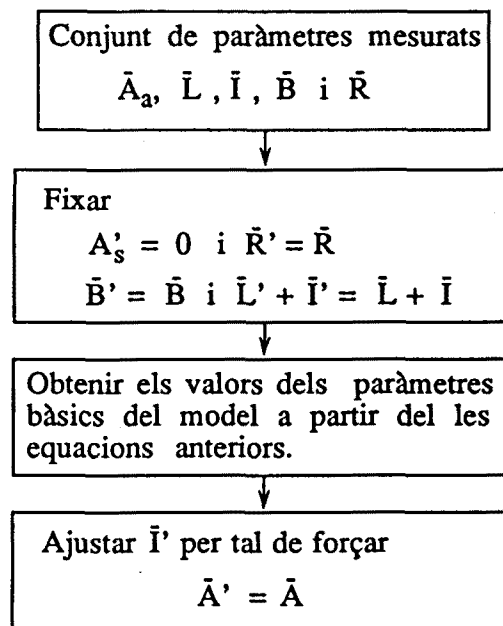


FIGURA 8.3 Esquema sinòptic de la tercera estratègia.

La tercera estratègia, establert que  $A'_s = 0$ , consisteix en una primera iteració en la que es fixen en el model els valors mesurats del paràmetres  $\bar{B}$ ,  $(\bar{L} + \bar{I})$  i  $\bar{R}$ , amb la qual cosa es poden obtenir els valors de la resta de paràmetres bàsics ( $A'_a$ ,  $\bar{L}'$  i  $\bar{I}'$ ) tal com s'ha fet a l'estratègia anterior. I amb una segona iteració es passa a igualar les intensitats mitjanes de tràfic del model i l'original. El que fem és modificar el valor d'  $\bar{I}'$  obtingut en la primera iteració segons l'equació següent:

$$\bar{L}' + \bar{I}' = n(\bar{L} + \bar{I}); \text{ essent } n = \bar{A}'/\bar{A}. \tag{8.4}$$

D'aquesta manera el nou valor d' $\bar{I}'$ :

$$\bar{I}' = [n (\bar{L} + \bar{I})] - \bar{L}' \quad (8.5)$$

substituint a l'expressió (6.3) dóna, quan  $A'_s = 0$ , una intensitat mitjana del model afectada per un factor  $n$ , el mateix amb el que, en la primera iteració, diferia de la intensitat mitjana de tràfic del flux original:

$$\bar{A}' = (A'_a \bar{L}') / n (\bar{L} + \bar{I}) \quad (8.6)$$

Per tant, ara  $\bar{A}' = \bar{A}$ .

El que es fa en la segona iteració és alterar la freqüència mitjana d'aparició de ràfegues del model sense tocar la seva llargària mitjana amb la qual cosa es produeix una certa desviació del rafegueig ( $\bar{B}'$ ) respecte al del tràfic original ( $\bar{B}$ ) que, en general, pot quedar compensada per una aproximació de les relacions  $A'_a / \bar{A}'$  i  $\bar{A}_a / \bar{A}$ .

El resultat final és que serà possible modelar el tràfic corresponent a  $N$  connexions ATM amb una sola font de dos estats generant el mateix nivell de càrrega que totes elles juntes i amb unes característiques de rafegueig aproximades tant pel que fa a la distribució temporal com pel que fa al nivell de variació de la intensitat.

#### 8.3.4 Estratègia 4

L'última estratègia que proposarem també parteix d'inicialitzar  $A'_s$  a zero, i es basa en fixar, directament sobre el model, el rafegueig i la càrrega oferta del tràfic original. El joc d'equacions que en resulta és  $\bar{B}' = \bar{B}$  i  $\bar{A}' = \bar{A}$  (o  $\bar{D}' = \bar{D}$ ). Una fa referència a la distribució temporal de les ràfegues i l'altra al ritme d'aparició de cel.les.

De la primera equació se'n dedueix la relació  $\bar{I}'/\bar{L}'$  del model, i la segona fa possible obtenir la intensitat de tràfic de les ràfegues ( $A'_a$ ). Ens falta una tercera equació per relacionar o les distribucions de la durada de les ràfegues o les distribucions dels intervals entre ràfegues. Ens hem decidit per fixar en el model el valor de la desviació típica de la distància entre cel.les del tràfic original ( $\sigma'_D = \sigma_D$ ) que és un paràmetre que es correspon amb l'òptica de les seqüències de cel.les i no de les de ràfegues, però que en el model de dos estats amb  $A'_s = 0$  és funció d' $\bar{I}'$  -si  $A'_s = 0$ , els intervals entre ràfegues també són intervals entre cel.les consecutives, els que separen l'última d'una ràfega de la primera de la següent-.

Així, per a portar a terme aquesta estratègia, ens cal disposar de l'expressió de la desviació típica de la distància entre cel.les del model MMDP de dos estats, que ve donada per l'arrel quadrada de la variància,  $\sigma_D'^2 = E[D'^2] - \bar{D}'^2$ . El moment de segon ordre del model MMDP de dos estats s'ha obtingut a l'annex 1 a partir del cas general d' $m+1$  estats, i respon a l'expressió:

$$E[D'^2] = \frac{[2 \bar{I}'^2 - \bar{I}'] A'_a + 2 \bar{I}' + \bar{L}'}{\bar{L}' A'_a^2} \quad (8.7)$$

Com que  $\sigma'_D$  només depen d' $\bar{I}'$ , i de la relació  $\bar{I}'/\bar{L}'$  i d' $A'_a$  que ja estan fixats, de

l'última equació ( $\sigma_D' = \sigma_D$ ) en determinarem la distància mitjana entre ràfegues ( $\bar{I}'$ ), i a partir d'ella i de la relació  $\bar{I}'/\bar{L}'$ , la llargària mitjana de les ràfegues ( $\bar{L}'$ ).

La mitjana dels intervals entre ràfegues, deduïda de la desviació típica, o de la variància mateix, respon a l'expressió:

$$\bar{I}' = \frac{[\sigma_D'^2 + 1 / A_a'^2] A_a'^2 + (\bar{I}'/\bar{L}') A_a' - 2 (\bar{I}'/\bar{L}') - 1}{(\bar{I}'/\bar{L}') A_a'} \quad (8.8)$$

De les definicions de rafegueig, el model manté la mateixa densitat de ràfegues en el temps ( $\bar{B}$ ) que l'original, com la segona estratègia, i el mateix coeficient de variació de la distància entre cel.les ( $\sigma_D^2 / \bar{D}^2$ ), però difereix en la relació  $A_a' / \bar{A}'$ .

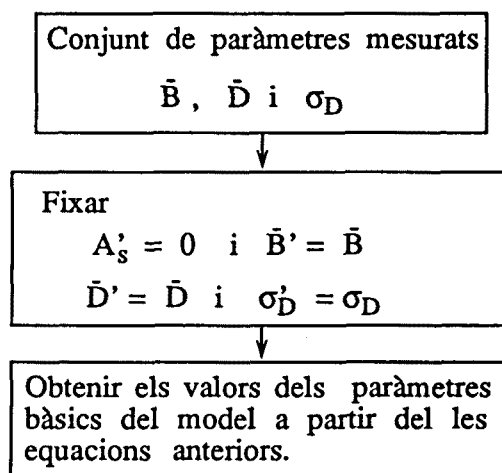


FIGURA 8.4 Esquema sinòptic de la quarta estratègia.

### 8.4 EXEMPLE D'APLICACIÓ

Per posar a prova aquestes estratègies s'ha utilitzat, altra vegada, una matriu de busos 16x16 de les mateixes característiques de sempre (apartats 6.2 i 7.6).

Primer, s'ha avaluat el seu comportament en front una càrrega de tràfic de referència, després, s'ha modelat aquest tràfic de referència segons les estratègies que acabem de proposar i s'ha avaluat de nou el comportament del commutador amb cada un dels models resultants, i finalment, la comparació dels resultats de les diverses opcions amb els obtinguts pel tràfic de referència ens ha permès analitzar l'efectivitat de les estratègies i la utilitat del mètode.

#### 8.4.1 Esquema de treball pel tràfic de referència

En no disposar de traces de tràfic real, com a tràfic de referència s'ha usat el mateix model de font de tres estats que ja es va fer servir als l'exemples d'aplicació dels capítols 5 i 6 (apartats 5.4 i 6.2 respectivament). D'entre les allí utilitzades, la configuració escollida ha estat la que genera les seqüències  $\alpha$  d'intensitat mitjana 0.015 ( $\bar{A}_{ref} = 0.015$ ).

Per a l'avaluació del commutador amb aquest tràfic s'ha simulat el seu funcionament en les condicions que mostra la figura 8.5. Cada una de les 16 entrades del commutador s'ha carregat amb N fonts de referència. I el total d'intensitat de tràfic de les entrades ( $\bar{A}_{in}$ ) es reparteix uniformement entre totes les sortides, així que la intensitat de tràfic dels busos de sortida és la mateixa en tots ells i coincideix amb la de les entrades ( $\bar{A}_{out} = \bar{A}_{in}$ ).

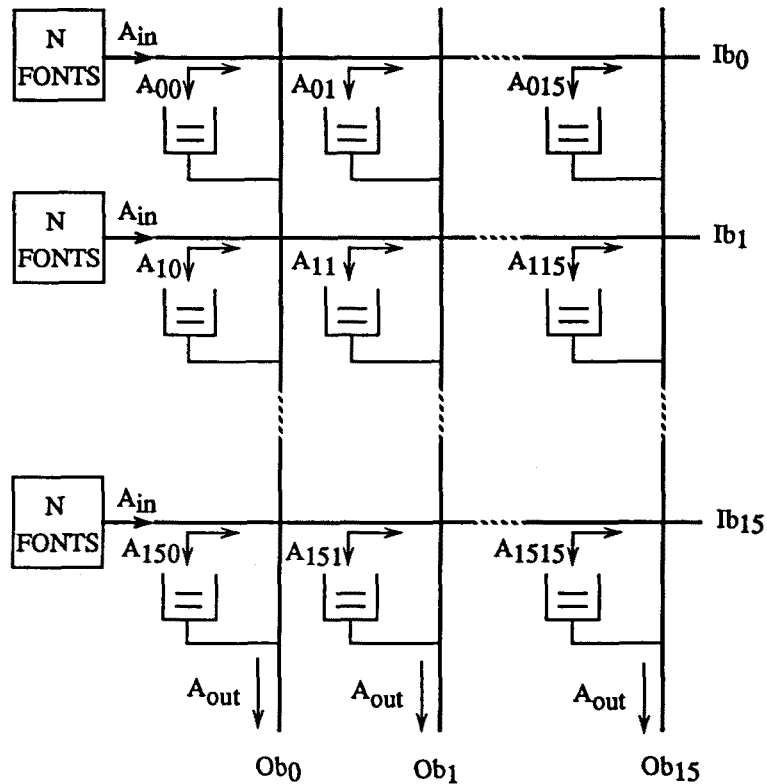


FIGURA 8.5 Matriu de busos 16x16.

L'estudi s'ha repetit per dos valors d'  $\bar{A}_{in}$  diferents, 0.48 i 0.72, de manera que la distribució de càrrega en l'estructura de treball per cada un d'aquests valors d'  $\bar{A}_{in}$  és:

- 1)
  - $\bar{A}_{in} = 0.48 \quad \forall Ib_i \mid i \in [0,15]$
  - $\bar{A}_{out} = 0.48 \quad \forall Ob_j \mid j \in [0,15]$
  - $N = \bar{A}_{in} / \bar{A}_{ref} = 0.48 / 0.015 = 32$
  - $\bar{A}_{ij} = \bar{A}_{in} / 16 = 0.48 / 16 = 0.03 \quad \forall i, j \in [0,15]$
  - $N_{ij} = \bar{A}_{ij} / \bar{A}_{ref} = 0.03 / 0.015 = 2$
- 2)
  - $\bar{A}_{in} = 0.72 \quad \forall Ib_i \mid i \in [0,15]$
  - $\bar{A}_{out} = 0.72 \quad \forall Ob_j \mid j \in [0,15]$
  - $N = \bar{A}_{in} / \bar{A}_{ref} = 0.72 / 0.015 = 48$

$$\bar{A}_{ij} = \bar{A}_{in} / 16 = 0.72 / 16 = 0.045 \quad \forall i, j \in [0,15]$$

$$N_{ij} = \bar{A}_{ij} / \bar{A}_{ref} = 0.045 / 0.015 = 3$$

Essent  $N_{ij}$ , en tots dos casos, el nombre de fonts del bus d'entrada  $i$ , que generen tràfic cap a la mateixa sortida  $j$ .

#### 8.4.2 Modelatge del tràfic de referència

El primer requisit pel modelatge del rafegueig del tràfic de referència és el mesurament de les seves característiques. Pel nostre exemple hem mesurat les de la seqüència de sortida de la font de referència i les del flux de tràfic d'entrada a les cues del commutador.

Per a la realització d'aquesta segona mesura n'hi ha prou fent-ho en un dels punts d'encreuament (punt P de la figura 8.6), ja que en les condicions en què treballem els resultats es podran estendre a tots els altres. A la figura 8.6 es pot veure que el que estem mesurant en aquest cas són les característiques de rafegueig del flux de tràfic d'una de les entrades que va a una mateixa sortida, afectat, però, pel tràfic que va a totes les altres -el tràfic corresponent a  $N_{ij}$  fonts de referència a la sortida de multiplexar-ne N-.

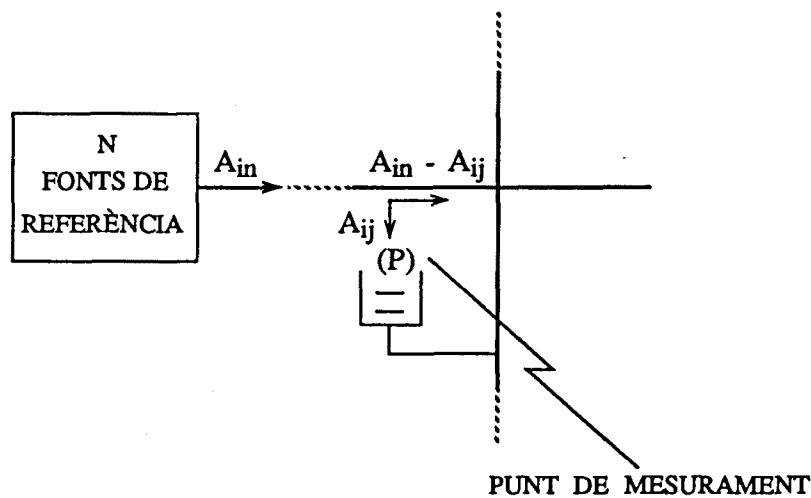


FIGURA 8.6 Vista ampliada de l'encreuament  $ij$  d'una matriu de busos.

Els resultats de les mesures a les que acabem de fer esment es poden trobar a les taules 8.1 8.2 i 8.3. Aquestes taules contenen les mitjanes i les desviacions típiques de tots els paràmetres necessaris per a l'aplicació de qualsevol de les estratègies descrites anteriorment.

La taula 8.1 (mesures d'una sola font) hauria de coincidir amb la taula 5.2 (apartat  $\alpha$ ) del capítol 5 on ja es va realitzar la mesura de la seqüència que hem agafat com a tràfic de referència, les lleugeres desviacions que es puguin apreciar són causa de mesurar seqüències de llargària diferent.

Les taules 8.2 i 8.3, inclouen els resultats de les mesures preses en un punt P del commutador pels valors d'  $\bar{A}_{in}$  en estudi, 0.48 i 0.72 respectivament.



**TAULA 8.1 - Mesures dels principals paràmetres de rafegueig del flux de tràfic d'una font de referència.**

$$\text{MAIG} = L_{\min} = \lceil 1 / \bar{A} \rceil = 67 \text{ ranures}; \bar{A} = \bar{A}_{\text{ref}} = 0.015$$

Paràmetre	Mitjana	Desviació típica
B	5.58E-1	3.05E-1
R	3.40E-2	1.74E-2
A <sub>a</sub>	5.44E-2	1.58E-2
A <sub>s</sub>	3.51E-3	6.10E-3
D (ranures)	68.2	758
L (ranures)	345	330
I (ranures)	1160	4047

**TAULA 8.2 - Mesures dels principals paràmetres de rafegueig del flux de tràfic en el punt P (figura 8.6) pel cas d'  $\bar{A}_{\text{in}} = 0.48$ .**

$$\text{MAIG} = L_{\min} = \lceil 1 / \bar{A} \rceil = 34 \text{ ranures}; \bar{A} = \bar{A}_{ij} = 0.03$$

Paràmetre	Mitjana	Desviació típica
B	4.70E-1	2,33E-1
R	5.18E-2	2.17E-2
A <sub>a</sub>	9.46E-2	2.67E-2
A <sub>s</sub>	1.08E-2	1.28E-2
D (ranures)	33	257
L (ranures)	107	95
I (ranures)	331	1397

**TAULA 8.3 - Mesures dels principals paràmetres de rafegueig del flux de tràfic en el punt P (figura 8.6) pel cas d'  $\bar{A}_{\text{in}} = 0.72$ .**

$$\text{MAIG} = L_{\min} = \lceil 1 / \bar{A} \rceil = 23 \text{ ranures}; \bar{A} = \bar{A}_{ij} = 0.045$$

Paràmetre	Mitjana	Desviació típica
B	4.26E-1	2.37E-1
R	6.96E-2	3.04E-2
A <sub>a</sub>	1.33E-1	3.68E-2
A <sub>s</sub>	1.70E-2	1.79E-3
D (ranures)	22.3	120
L (ranures)	66	57
I (ranures)	213	847

Respecte al modelatge en qüestió, hem parlat de dues línies d'actuació:

- 1) La de modelar la font de tràfic de referència, amb la qual cosa les  $N$  fonts de cada entrada se substituirien per  $N'$  models de font.
- 2) La de modelar el tràfic de diverses fonts de referència multiplexades amb una sola font de dos estats. Les  $N$  fonts de les entrades se substituirien per una.

Arribats a aquest punt estem en disposició de portar-les a terme totes dues, la primera a partir dels valors de la taula 8.1 i la segona a partir dels de les taules 8.2 o 8.3 segons sigui el cas. En vista, però, dels nostres objectius la segona alternativa sembla la més raonable, i és la més pràctica, ja que representarà un notable estalvi de temps d'execució en les simulacions.

Per aquest motiu, excepte per a la segona estratègia, on no és possible, hem seguit sempre la segona línia de modelatge, i les configuracions del model de dos estats resultants es resumeixen a continuació.

*Estratègia 1.* Portar a terme la primera estratègia no té cap secret, es tracta simplement, d'inicialitzar els paràmetres bàsics del model de dos estats als valors corresponents de la taula 8.2 i 8.3 tal com estableixen les equacions (8.1).

*Estratègia 2.* Recordem que és l'única estratègia en la que modelarem la font de referència, és a dir, que utilitzarem els valors de la taula 8.1. Seguint l'esquema proposat per aquesta estratègia la configuració del model de dos estats resultant és la següent:

$$A'_a = 5.61E-2; \quad A'_s = 0.6E-2; \quad \bar{L}' = 885 \text{ ranures i } \bar{I}' = 619 \text{ ranures};$$

de manera que a partir de l'expressió (6.1) la intensitat mitjana de tràfic de la seqüència generada és:

$$\bar{A}' = 3.54E-2;$$

i de l'expressió (8.3), el nombre de fonts necessàries per modelar tot el tràfic de les entrades del commutador ( $N'$ ) és:

$$N' = 14 \text{ per a } \bar{A}'_{in} = 0.48 \text{ i } N' = 20 \text{ per a } \bar{A}'_{in} = 0.72$$

*Estratègia 3.* Primer es fixa  $A'_s$  a zero, i a continuació es procedeix com en l'estratègia anterior però amb els valors de les taules 8.2 i 8.3. Això dóna:

$$A'_a = 0.110; \quad \bar{L}' = 190 \text{ ranures i } \bar{I}' = 239 \text{ ranures} \Rightarrow \bar{A}' = 0.05 \text{ i}$$

$$A'_a = 0.162; \quad \bar{L}' = 110 \text{ ranures i } \bar{I}' = 169 \text{ ranures} \Rightarrow \bar{A}' = 0.063;$$

per a  $\bar{A}'_{in} = 0.48$  i  $\bar{A}'_{in} = 0.72$  respectivament.

En la segona iteració, de l'expressió (8.4) obtenim els nous valors de la durada mitjana dels intervals de silenci, que són  $\bar{I}' = 528$  i  $\bar{I}' = 280$ , i amb els quals es concreten les configuracions definitives d'aquesta estratègia. Amb aquest ajust d' $\bar{I}'$ ,  $\bar{B}'$  ha passat de 0.47 a 0.335 en el primer cas i de 0.426 a 0.35 en el segon, ha baixat de valor en ambdós casos, la qual cosa no vol dir que el rafegueig hagi augmentat ja que les

intensitats mitjanes de tràfic han canviat de la primera iteració a la segona, de 0.05 a 0.03 i de 0.063 a 0.045 respectivament. Per altra banda la relació entre les intensitats de tràfic de pic i mijana ( $A'_a / \bar{A}'$ ) ha passat, en el primer cas, de valer 2.2 a valer 3.66 quan pel tràfic de referència era de 3.13, i en el segon cas, que pel tràfic de referència valia 2.95, ha passat de 2.57 a 3.66. En el segon cas no s'obté una aproximació però adonem-nos que s'ha passat d'un valor inferior al del tràfic de referència, a un de superior.

*Estratègia 4.* Els valors dels paràmetres bàsics del model de font de dos estats obtinguts segons la darrera estratègia proposada són:

$$A'_a = 0.066 ; \bar{L}' = 1521 \text{ ranures i } \bar{I}' = 1826 \text{ ranures ; per a } \bar{A}_{in} = 0.48 \text{ i}$$

$$A'_a = 0.113 ; \bar{L}' = 357 \text{ ranures i } \bar{I}' = 542 \text{ ranures ; per a } \bar{A}_{in} = 0.72.$$

Recordem que  $A'_s$  s'ha fixat a zero, d'entrada, i que l'aspecte més innovador és l'obtenció d'  $\bar{I}'$  a partir de  $\sigma_D^2$  per l'expressió (8.8).

### 8.4.3 Esquema de treball pels models de tràfic

En relació a l'avaluació del comportament del commutador amb els models del tràfic de referència, pel resultat d'aplicar la segona estratègia l'esquema de treball continuarà essent el de la figura 8.5, ara amb  $N'$  fonts de dos estats en comptes d' $N$  fonts de referència. Per a la resta de models, però, aquest esquema se simplifica sensiblement, tal com ens mostra la figura 8.7, ja que el model no reproduïx només el tràfic que va a la mateixa sortida, sinó també l'efecte que pugui tenir en la multiplexació el tràfic que va a totes les altres  $i$ , per tant, la simulació del funcionament d'un sol dels busos és representativa de la de la matriu completa.

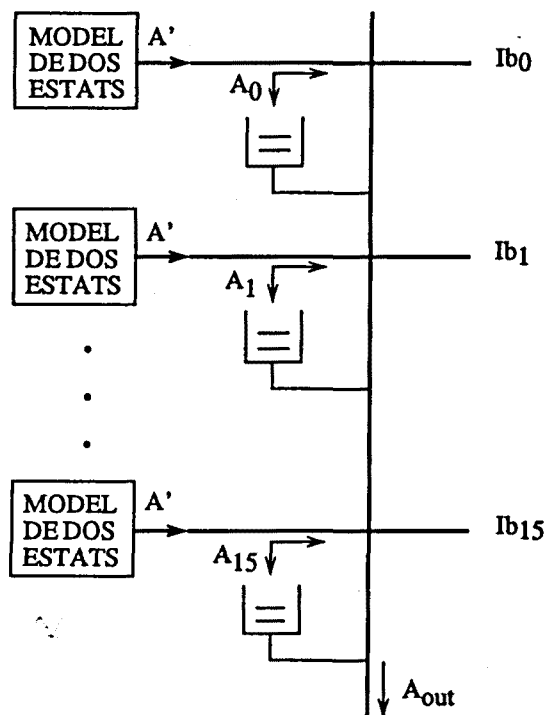


FIGURA 8.7 Esquema de treball amb el model de tràfic.

Els valors de la distribució de càrrega en aquest esquema són, en cada cas:

1)  $\bar{A}_{in} = 0.48 \Rightarrow \bar{A}' = \bar{A}_{in} / 16 = 0.03$

$\bar{A}_i = \bar{A}' \quad \forall i \in [0,15]$

$\bar{A}_{out} = 16 \bar{A}' = 0.48$

2)  $\bar{A}_{in} = 0.72 \Rightarrow \bar{A}' = \bar{A}_{in} / 16 = 0.045$

$\bar{A}_i = \bar{A}' \quad \forall i \in [0,15]$

$\bar{A}_{out} = 16 \bar{A}' = 0.72$

### 8.4.4 Resultats

Els paràmetres que s'han avaluat són, en tots els casos, l'ocupació de les cues i el retard introduït pel dispositiu. Sobre l'esquema de la figura 8.5 s'han obtingut observant un sol dels busos, i en ambdós esquemes el resultat final és una ponderació del comportament de les 16 cues que pengen del bus en estudi.

Les taules 8.4 i 8.5 recullen els valors de les mitjanes i de les desviacions típiques obtinguts en les simulacions,  $\bar{q}$  i  $\sigma_q$  respectivament per l'ocupació de les cues, i  $\bar{d}$  i  $\sigma_d$  pel retard introduït.

**TAULA 8.4 - Resultats de les simulacions amb  $\bar{A}_{out} = 0.48$ .**

	Tràfic de referència	Estratègia 1	Estratègia 2	Estratègia 3	Estratègia 4
$\bar{q}$ (cel.les)	6.58E-2	3.81E-2	4.00E-2	5.60E-2	4.28E-2
$\sigma_q$ (cel.les)	2.60E-1	1.91E-1	1.96E-1	2.55E-1	2.02E-1
$\bar{d}$ (ranures)	1.78	1.34	1.36	1.67	1.39
$\sigma_d$ (ranures)	1.21	0.62	2.31	2.30	0.66

**TAULA 8.5 - Resultats de les simulacions amb  $\bar{A}_{out} = 0.72$ .**

	Tràfic de referència	Estratègia 1	Estratègia 2	Estratègia 3	Estratègia 4
$\bar{q}$ (cel.les)	4.69E-1	1.35E-1	7.33E-2	9.32E-1	3.31E-1
$\sigma_q$ (cel.les)	9.96E-1	4.31E-1	2.63E-1	2.80	1.22
$\bar{d}$ (ranures)	8.46	3.03	1.73	18.6	7.30
$\sigma_d$ (ranures)	10.6	4.27	0.96	31.7	18.3

La taula 8.4 correspon a les avaluacions fetes amb una intensitat mitjana de tràfic del bus de sortida  $\bar{A}_{out} = 0.48$  ( $\bar{A}_{out}$  es pren com a referència perquè és el paràmetre que manté el mateix valor en tots dos esquemes de treball, figures 8.5 i 8.7). En ella destaca que totes les estratègies han produït un comportament més optimista que el que s'ha donat pel tràfic de referència i, de totes, el que més s'hi acosta és el que correspon a l'estratègia 3, en aquest cas la desviació relativa de  $\bar{q}$  amb la del tràfic de referència és de l'ordre d'un 14% i la desviació relativa de  $\bar{d}$  és només de l'ordre d'un 6%.

Dels valors de la taula 8.5, que es correspon amb  $\bar{A}_{out} = 0.72$ , en canvi, no és fàcil generalitzar-ne res, i la que s'aproxima més en el seu comportament al produït pel tràfic de referència, és l'estratègia 4, amb una desviació relativa del 29% i del 14% de  $\bar{q}$  i  $\bar{d}$  respectivament.

Amb l'objectiu de poder comparar les estratègies que han donat un comportament més satisfactori (les 3 i 4), les figures 8.8 i 8.9 ofereixen una representació més exhaustiva dels paràmetres avaluats, pel tràfic de referència i pels models de tràfic producte d'aquestes estratègies. Es tracta de la funció de distribució de probabilitats complementària de  $q$  i de  $d$ .

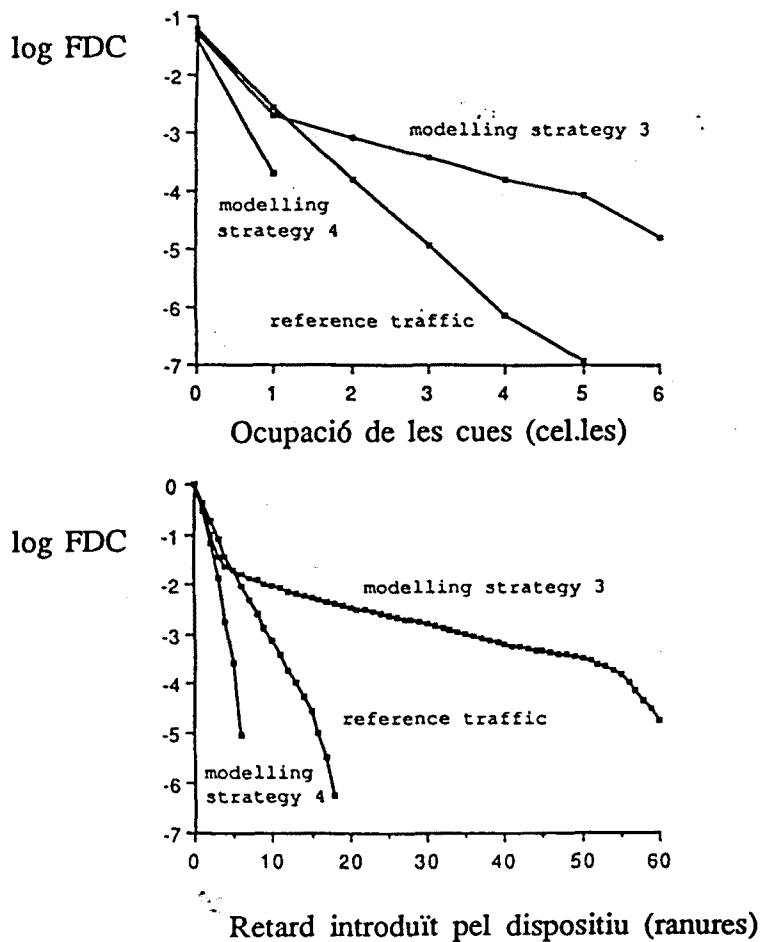


FIGURA 8.8 Distribució de probabilitats complementària pel cas que  $\bar{A}_{out} = 0.48$ .

La funció de distribució complementària ens diu la probabilitat que l'ocupació de les cues o el retard introduït pel dispositiu, segons sigui el cas, superi un determinat valor. Per exemple, observant el segon grup de gràfiques de la figura 8.8, es pot veure que pel tràfic de referència el retard introduït és superior o igual a les 10 ranures de temps amb una probabilitat de 0.001 (de cada 1000 cel·les una), mentre que pel model obtingut amb l'estratègia 3 la probabilitat de superar aquesta mateixa cota de retard és només de 0.01 (una de cada 100). En aquest cas l'efecte del model de tràfic sobre el commutador és força més crític que el del tràfic original.

El més relevant de les gràfiques de les figures 8.8 i 8.9 és la proximitat del comportament produït pel model de tràfic d'ambdues estratègies respecte al produït pel tràfic de referència, en la zona més probable (els valors més alts del log FDC), sobretot en el cas d' $\bar{A}_{out} = 0.48$ ; i com ja era de suposar, com més petites són les probabilitats més creix la dispersió. Naturalment, ens esperavem algun tipus de distorsió, a causa que el model no ha estat orientat a obtenir una reproducció fidel del tràfic, però aquesta es pot qualificar de positiva, ja que els resultats menys probables també són els més poc fiables de les simulacions -els més susceptibles de variar en una simulació més llarga-.

També és de ressaltar la bona aproximació aconseguida, en general, pel tràfic resultant de l'estratègia 4 en el cas de la intensitat de tràfic més alta,  $\bar{A}_{out} = 0.72$ .

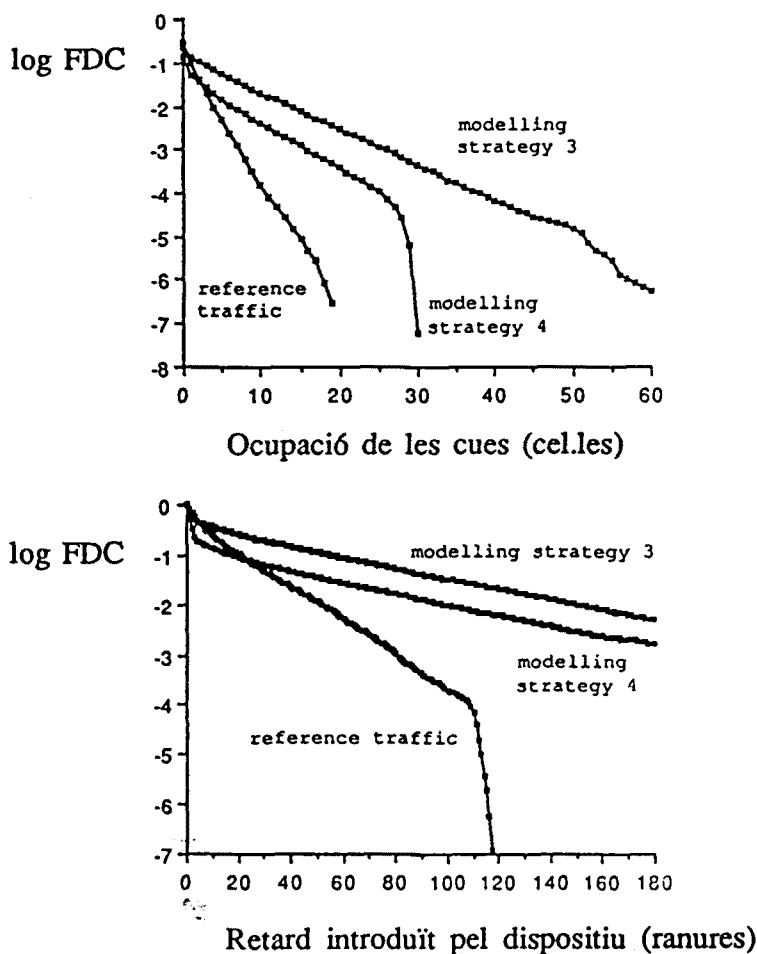


FIGURA 8.9 Distribució de probabilitats complementària pel cas que  $\bar{A}_{out} = 0.72$ .

### 8.4.5 Conclusions

De tots aquets resultats se'n poden desprendre diverses consideracions generals:

- 1) La intensitat mitjana de tràfic del flux de tràfic, pot ser un aspecte a tenir en compte en la tria de l'estratègia més adequada pel modelatge de les seves característiques de rafegueig. Això és el que sembla poder-se deduir del fet que l'estratègia que ha donat millors resultats no hagi estat la mateixa en els dos casos estudiats.
- 2) El fet que les dues estratègies que han donat més bon resultat parteixen de fixar la intensitat de tràfic dels intervals entre ràfegues ( $A'_s$ ) a zero, sembla indicar que aquest paràmetre té poca influència en el rafegueig d'un flux de tràfic. Contràriament, la durada mitjana d'aquests intervals ( $\bar{I}$ ) ha demostrat tenir-ne força; només cal apreciar la diferència existent entre la segona i la tercera estratègia de modelatge.
- 3) En la proposta d'altres estratègies de modelatge caldria abusar més dels moments de segon ordre, considerant per exemple, els de paràmetres com B o R que tenen una influència significativa en la caracterització del tràfic a ràfegues. Això es pot deduir del fet que l'estratègia número 4, precisament en l'única que s'utilitza un moment de segon ordre, és una de les que aconsegueix una millor aproximació al comportament del commutador amb el tràfic de referència.
- 4) Mirant enrera, el mateix motiu al que ens acabem de referir, ens podria portar a reconsiderar la influència del coeficient de variació, expressió (4.4), en la caracterització del rafegueig del tràfic ATM. Aquest coeficient s'havia deixat de banda perquè responia a una concepció del tràfic com a seqüència de cel·les i no com a seqüència de ràfegues, però es podria recuperar en estudis posteriors.
- 5) Es pot pensar en estratègies més elaborades basades, per exemple, en les funcions de densitat de probabilitat dels paràmetres de rafegueig, per assolir aproximacions més fines al comportament obtingut amb el tràfic original. Donats, però, els resultats obtinguts en el nostre exemple, la pròpia estratègia 4 ja sembla prou bona per ser adoptada com a base per a la construcció d'un patró de tràfic de proves genèric. Aquesta conclusió se sustenta en el fet que pel valor més alt de la intensitat mitjana de tràfic (figura 8.9) el comportament del commutador amb el model de tràfic resultant d'aquesta estratègia es més crític que el resultant amb el tràfic de referència però no en excés, menys que el corresponent a l'estratègia 3; el que no seria acceptable seria un model que donés un comportament més optimista que el produït pel tràfic original.

### 8.5 SUMARI

En aquest capítol s'ha proposat un mètode pel modelatge del tràfic ATM basat en l'aproximació de les seves característiques de rafegueig.

L'exemple d'aplicació que ha servit per posar a prova les diverses estratègies formulades sobre aquest mètode també posa de manifest la seva utilitat per a l'avaluació de dispositius ATM. I, tal i com havíem avançat en el capítol anterior, es pot pensar en emprar-lo com a base del patró de tràfic per a un *banc de proves* d'aquests dispositius.

## REFERÈNCIES

- [SOL90c] J. Solé, J. Domingo and J. García, "MODELLING THE BURSTY CHARACTERISTICS OF ATM CELL STREAMS". Proceedings of the International Conference on Integrated Broadband Services and Networks, IEE, 1990, pp. 329-335.



## **CONSIDERACIONS FINALS**

## CONCLUSIONS I LÍNIES OBERTES

Aquest treball s'ha centrat en confirmar la influència del grau de variació de la velocitat d'aparició de cel.les (*rafegueig*) del flux de tràfic en el comportament dels dispositius ATM, evidenciant així la importància que s'ha de donar a aquest aspecte en l'avaluació d'aquests dispositius.

S'ha analitzat, caracteritzat i mesurat aquest fenomen, i s'ha proposat un mètode pel modelatge només de les característiques de rafegueig del tràfic que pot servir de base per a un possible esquema d'avaluació genèric (*banc de proves*) de dispositius ATM.

L'últim capítol vol ser una revisió, a mode de resum, dels aspectes més rellevants que s'han anat tocant en tot el treball i de la feina que a partir d'aquest moment pot donar de sí cada un d'aquests punts.

### 9.1 CARACTERITZACIÓ DEL RAFEGUEIG

Un dels plantejaments claus en el nostre treball és el tractament del flux de tràfic, no com a seqüència de cel.les, sinó com a seqüència de ràfegues.

Amb aquesta òptica hem abordat el tema de la caracterització del rafegueig:

- 1) Identificant els paràmetres que més influència hi tenen: la proporció de les ràfegues en els intervals ràfega-interràfegues, la llargària de les ràfegues, la intensitat de tràfic de les ràfegues, la dels intervals entre ràfegues i la distància entre elles, i el pes de les ràfegues.
- 2) Donant una nova orientació a les definicions de rafegueig més utilitzades en la pràctica: la relació entre els valors de pic i mitjà de la intensitat de tràfic, la relació entre la desviació típica i la mitjana de la intensitat de tràfic (coeficient de variació) i la relació entre el temps d'activitat i la durada total del flux de tràfic.
- 3) Proposant una nova definició basada en la reconversió de l'última de les esmentades, es tracte de la durada relativa de les ràfegues respecte a la de les parelles d'interval d'alta i baixa activitat contigus, essent el seu valor mitjà (la densitat de ràfegues en el temps) el paràmetre que habitualment s'ha utilitzat per quantificar-lo.

La conclusió més significativa d'aquesta part ha estat que la caracterització del rafegueig no és una cosa senzilla, i que amb un sol paràmetre no n'hi ha prou per fer-ho de forma completa.

#### 9.1.1 Línies obertes

La continuació d'aquesta tasca es podria basar en la búsqueda d'una relació de la

nostra particular visió del tràfic ATM amb l'esquema de l'estructura del tràfic multinivell (connexió, ràfega, paquet) proposada a [FIL89]. Això comporta un profundiment dels estudis analítics previs a aquesta proposta que el mateix autor va portar a terme, [FIL88a] i [FIL88b], i veure de trobar-hi possibles punts de contacte.

## 9.2 MESURAMENT DEL RAFEGUEIG

Igualment sota la perspectiva de considerar el flux de tràfic ATM com una seqüència de ràfegues, s'ha experimentat un algorisme de mesura del rafegueig basat en la identificació d'aquestes ràfegues i, consegüentment, la dels intervals entre ràfegues.

El criteri d'identificació de ràfegues és una qüestió de difícil establiment, ja que depen de la determinació prèvia del concepte de ràfega que, alhora, està intimament lligat a la pròpia noció de rafegueig que ja s'ha demostrat conflictiva.

El criteri que aplica el nostre algorisme especifica dues condicions de ràfega: una distància màxima entre cel·les (intensitat de tràfic mínima) i una llargària mínima, que es fixen, ambdues, a la distància mitjana entre cel·les del propi flux de tràfic en estudi.

La segona part de l'algorisme, una vegada acordat el criteri d'identificació de ràfegues, és menys conflictiva. Es tracta de l'anàlisi estadístic sobre els intervals significatius, ràfegues interràfegues i parelles ràfega-interràfegues contigus, per obtenir una estimació de la funció de densitat de probabilitat, la mitjana i la variància (o desviació típica) dels paràmetres de rafegueig.

### 9.2.1 Línies obertes

Una idea que s'ha quedat en embrió en aquesta fase del treball, i que també apareix com a teló de fons en alguns dels estudis que ens han servit de referència ([SRI86], [JAI86], [BRU88], etc), és l'associació del concepte de rafegueig al nivell de correlació entre cel·les consecutives. Segons això el paradigma de tràfic monòton (rafegueig nul) seria aquell en que els instants d'aparició de cel·les són totalment incorrelats, i podria correspondre, per exemple, a un procés de Markov (tràfic amb una distància entre cel·les geomètricament distribuïda en el que el quadrat de la mitjana és igual a la variància).

A partir d'aquesta assumpció, tant la caracterització com el mesurament del rafegueig es podrien basar en la comparació amb, i la determinació de la distància  $a$ , un tràfic monòton, respectivament, i es podria prendre com a referència el tràfic de Markov.

A l'empar d'aquesta idea es podrien endegar estudis com:

- 1) La idoneïtat del coeficient de variació com a definició de rafegueig.
- 2) La determinació d'un criteri d'identificació de ràfegues sòlid i ben justificat.
- 3) La interpretació acurada de la informació que aporten paràmetres com  $B$  i  $R$ , o la funció de densitat de probabilitat de la intensitat de tràfic de les ràfegues i dels intervals entre ràfegues conjunta i poderada pel nombre de cel·les de cada iteració (la que hem denotat per  $f_G(g)$  i de la qual la figura 5.4 n'inclou tres exemples).

A banda del paper que nosaltres li hem donat en el modelatge del tràfic, en un entorn ATM, el mesurament del rafegueig pot ser útil en múltiples aplicacions més en les

quals, també, s'hi podrien iniciar línies de treball força interessants. Com a exemple citarem:

- 1) La caracterització del tràfic generat per un determinat servei, pel disseny d'algorismes de codificació de la informació.
- 2) L'estudi de la variació de les característiques del tràfic d'una determinada connexió en el seu trànsit per la xarxa en convivència amb d'altres connexions, en el que poder basar una anàlisi dels efectes que pot produir la tècnica ATM en els diversos tipus de serveis que integrarà la IBCN.
- 3) La monitorització del tràfic en punts crítics de la xarxa, que podria servir de base de nous algorismes de policia i control d'admissions.

Finalment, la mateixa base teòrica en que s'inspira l'algorisme de mesura del rafegueig ("train arrival process" [JAI86]) es pot aplicar en estudis de localitat, predictibilitat o, com hem dit abans, de correlació del tràfic ATM, de gran interès pel disseny de protocols, estructures de commutadors, algorismes de policia, etc.

### 9.3 INFLUÈNCIA DEL RAFEGUEIG EN L'ENTORN ATM

La verificació de la influència del rafegueig del tràfic en l'entorn ATM marca l'equador del nostre treball i és la justificació de la resta. Consta d'un estudi propi i del comentari de tres articles aliens que fan referència al mateix tema [BRU88], [DIT88] i [HIR89].

La conclusió que en destaca és, naturalment, que el rafegueig influeix en el comportament dels dispositius ATM, però es matitza que això es produeix a partir d'un nivell de càrrega determinat.

L'altra conclusió interessant d'aquesta part, és que la multiplexació dilueix el rafegueig i, per tant, el seu efecte.

L'anàlisi dels resultats dels tres articles esmentats també ens confirma que els paràmetres que realment tenen un paper important en la caracterització del rafegueig són els que hem enunciat en la primera part del treball, ja que són aquests en els que se suporten els estudis.

#### 9.3.1 Línies obertes

Valdria la pena contrastar el resultat, tant de les nostres proves com de les dels articles comentats, amb d'altres estudis dedicats, també, a l'anàlisi del comportament dels multiplexors estadístics (en el fons ATM), que ho fan, però, a partir de la caracterització d'un determinat tipus de tràfics. Per exemple, [TUC88] que ho fa amb el de veu i [MAG88] amb el de vídeo.

El paràmetre  $\alpha$  utilitzat a [DIT88] i definit per l'expressió (6.4), suggereix la possibilitat de establir un criteri d'identificació de ràfegues per a l'algorisme de mesura de rafegueig que prengui com a referència, no només del propi tràfic en estudi, sinó també a algun element extern. L'orientació d'aquest estudi podria anar cap a l'ús del mecanisme de mesura per a fer alguna mena de premonició del comportament de l'element en qüestió front al tràfic mesurat.



## 9.4 AVALUACIÓ DE DISPOSITIUS ATM

Vista la influència del rafegueig en el comportament de determinats dispositius ATM, sembla que un esquema d'avaluació orientat només a la càrrega oferta serviria de ben poc per a la correcta caracterització o dimensionament d'aquests dispositius. En la tria del tràfic que es faci servir de base d'una bona avaluació cal tenir molt en compte el rafegueig.

Essent més ambiciosos, per l'establiment d'un esquema integral d'avaluació apropiat per a tot tipus d'estudis i estructures, caldria, no només la definició d'unes condicions generals de treball, sinó també la determinació d'un rang de valors de rafegueig prou significatiu pel futur entorn IBCN. Aquesta ha estat la línia en la que s'anat en l'apart final del treball.

L'esquema proposat en primera instància (capítol 7), s'ha vist que era incomplet per cobrir aquest pretensió. D'una banda perquè no era generalitzable del tot, ja que no es podia aplicar a estructures amb cues a l'entrada. Però sobretot, perquè el patró de tràfic dissenyat ens conduïa de seguida a condicions massa extremes, que no semblava que haguessin de ser una constant en l'entorn IBCN, sinó més aviat situacions molt puntuals.

Aquest esquema ha servit, però, per assentar les bases del que podria ser la proposta definitiva, que podríem concretar en dos punts:

- 1) Adopció d'un model de font senzill que faciliti el control del grau de rafegueig, la qual cosa permet l'ús d'alguna definició simple de rafegueig.
- 2) Modelatge del flux de tràfic que afecta els punts crítics del dispositiu, i no el tràfic de les connexions individuals, i prendre com a referència les seves característiques de rafegueig.

I ha servit, també, per marcar una pauta de representació dels resultats apropiada a l'objectiu perseguit: senzilla, coherent amb els paràmetres de treball, flexible i que permet obtenir la màxima informació amb el mínim esforç.

### 9.4.1 Línies obertes

Malgrat tot, conservant-ne només l'essència (els dos punts que acabem de citar), seria interessat repetir alguns estudis d'avaluació existents aplicant aquesta proposta.

Ho podríem fer, per exemple, amb els treballs comentats al capítol 6 [BRU88] [DIT88] i [HIR89], o amb propostes de dispositius concrets com ara [ROC90] o [VRI90]. En el primer cas, només ens caldria adaptar-hi l'esquema de representació dels resultats, i en unificant-lo ens facilitaria l'estudi comparatiu de totes tres experiències. El segon, implicaria una repetició completa de l'avaluació realitzada.

A [VRI90] es presenta una estructura de commutador amb cues a les sortides que s'avalua en funció del nombre de cel·les que arriben simultàniament amb destinació a una mateixa sortida. Aquest tipus d'avaluació ens suggereix un possible estudi alternatiu basat en el que podríem anomenar *rafegueig vertical* que es podria donar inclús quan el tràfic d'entrada no fos a ràfegues. Es tractaria d'analitzar l'efecte que té sobre el comportament dels dispositius ATM la durada i la intensitat de l'arribada simultània de cel·les que s'han de tractar en un mateix sector del dispositiu. Reorientant les nostres propostes en aquest sentit, l'estudi podria consistir en reproduir l'esquema d'avaluació del *rafegueig horitzontal* utilitzant un model font que

generés un nombre determinat de cel·les simultàniament per a entrades diferents però cap a la mateixa sortida, i en el que aquest nombre (intensitat) i la persistència (durada) d'aquest succés fossin fàcilment controlables.

## 9.5 MODELATGE DE LES CARACTERÍSTIQUES DE RAFEGUEIG

En la posta en pràctica de la nostra proposta d'avaluació feta a l'exemple d'aplicació del capítol 7 (apartat 7.6), s'ha detectat una mancança important en el patró de tràfic que s'hi utilitza i que n'és l'ingredient fonamental, el punt de contacte amb la realitat. Com a primera solució s'ha plantejat prendre com a referència els valors mitjans del contingut d'informació de les ràfegues i de la durada dels intervals entre ràfegues, i la velocitat de transmissió, de les connexions que poden tenir lloc en la futura IBCN, la qual cosa només ha servit per comprovar la seva inviabilitat i per arribar a la conclusió que una possible alternativa que apaivagués aquest inconvenient mantenint, alhora, els punts bàsics en que es fonamentava la proposta (els que s'han esmentat a l'apartat anterior) podria estar basada en el modelatge de les característiques de rafegueig del tràfic real.

L'última fase del treball consisteix la presentació d'un mètode que permeti realitzar aquest modelatge. El mètode en qüestió se suporta en el mecanisme de mesurament desenvolupat en la primera fase del treball i consta bàsicament de tres punts.

- 1) Selecció d'un conjunt de paràmetres que donin prou informació del rafegueig i mesurament d'aquests paràmetres en el flux de tràfic en estudi.
- 2) Adopció del model MMDP de dos estats per a la generació de la seqüència de cel·les suplent.
- 3) Configuració del model aproximant les característiques de rafegueig a les mesures.

La formulació d'aquest mètode va acompanyada de la proposta de quatre possibles seleccions dels paràmetres de rafegueig que permeten portar a terme quatre estratègies de modelatge diferents de les quals tres es basen únicament en l'aproximació dels valors mitjans dels paràmetres de rafegueig seleccionats i una incorpora l'aproximació d'un moment de segon ordre.

### 9.5.1 Línies obertes

Respecte a aquest tema el més immediat és continuar estudiant noves estratègies de modelatge, parant especial atenció, sobretot, a l'aproximació dels moments de segon ordre. A la pròpia memòria (apartat 8.4.5) es fa esment, en tocar aquest punt, de l'elaboració d'estratègies a l'entorn de la variància dels paràmetres B i R.

## 9.6 BANC DE PROVES PER A DISPOSITIUS ATM

Del treball que queda pendent el més interessant, i de més envergadura, és acabar de concretar les característiques d'un banc de proves per a dispositius ATM. En aquest sentit hem deixat dues possibles vies d'actuació obertes:

- 1) Mantenint l'esquema general d'avaluació proposat al capítol 7, redissenyar el patró de tràfic en base al modelatge del rafegueig.

- 2) Prenent com a referència el comportament del dispositiu en qüestió amb tràfic monòton (markovià), especular sobre el comportament que s'obtidria amb algun tipus de mixtura de tràfic pròpia d'ATM.

La primera proposta es pot posar en pràctica a partir del moment en que es pugui tenir prou informació estadística del tràfic que haurá de suportar la futura IBCN.

Respecte a la segona, l'especulació de que parlem es podria fer per extrapolació, per exemple, a partir dels resultats obtinguts mesurant el rafegueig d'aquell tràfic. La feina consistiria en intentar determinar un conjunt de regles que, en funció de l'estructura del dispositiu, permetés realitzar aquesta extrapolació

## REFERÈNCIES

- [BRU88] H. Bruneel, "QUEUEING BEHAVIOR OF STATISTICAL MULTIPLEXERS WITH CORRELATED INPUTS". IEEE Transactions on Communications, n. 12, 1988, pg. 1339.
- [DIT88] L. Dittmann i S. B. Jacobsen, "STATISTICAL MULTIPLEXING OF IDENTICAL BURSTY SOURCES IN AN ATM NETWORK". Proc. Globecom 1988, pp. 1293-1297.
- [FIL89] J. Filipiak, "M-ARCHITECTURE: A STRUCTURAL MODEL OF TRAFFIC MANAGEMENT AND CONTROL IN BROADBAND ISDN". IEEE Communication Magazine, vol. 27, n. 5 (1989) pp. 25-31.
- [FIL89a] J. Filipiak, "STRUCTURE OF TRAFFIC FLOW IN MULTISERVICE NETWORK". Proc. Globecom 1988, pp. 425-429.
- [FIL89b] J. Filipiak, "ACCURAY OF TRAFFIC MODELLING IN FAST PACKET SWITCHING". Proc. Globecom 1988, pp. 1623-1627.
- [GAL89] G. Gallassi, G. Rigolio i L. Fratta, "ATM: BANDWIDTH ASSIGNMENT AND BANDWIDTH ENFORCEMENT POLICIES". Proc. Globecom 1989, pp. 1778-1790.
- [HIR89] M. Hirano i N. Watanabe, "CHARACTERISTICS OF A CELL MULTIPLEXER FOR BURSTY ATM TRAFFIC". Proc. ICC, 1989, sec. 13.2.1, pp. 399-403.
- [JAI86] R. Jain i S. A. Routhier, "PACKET TRAINS - MEASUREMENTS AND A NEW MODEL FOR COMPUTER NETWORK TRAFFIC". IEEE Journal on Selected Areas in Communications, vol. SAC-4, n.6 de 1986, pp. 986-995.
- [ROC90] R. Rocha, A. Casaca i M. Nunes, "A DISRIBUTED MERGER FOR ATM". Proceedings of the International Conference on Integrated Broadband Services and Networks, octubre de 1990, pp. 253-257.
- [SRI86] K. Sriram i W. Whitt, "CHARACTERIZING SUPERPOSITION ARRIVAL PROCESS IN PACKET MULTIPLEXERS FOR VOICE AND DATA". IEEE Journal on Selected Areas in Communications, n.6, 1986, pp. 833-846.
- [TUC88] R. C. F. Tucker, "ACCURATE METHOD FOR ANALYSIS OF PACKET-SPEECH MULTIPLEXER WITH LIMITED DELAY". IEEE Transactions on Communications, n. 4, 1988, pp. 479-483.
- [VRI90] R. J. F. de Vries, "GAUSS: A SINGLESTAGE ATM SWITCH WITH OUTPUT BUFFERING". Proceedings of the International Conference on Integrated Broadband Services and Networks, octubre de 1990, pp. 248-252.

# ANNEXOS

## ANNEX 1: MOMENTS DEL MODEL GMDP(\*)

Consider a GMDP process with  $m$  states  $0 \dots m - 1$ . State 0 is the "silence" state (i. e.  $\lambda = 0$ ) with length  $S$  cells, where  $S$  has an arbitrary discrete distribution with mean  $E[S]$ . The states  $1 \dots m - 1$  are "active" states with an inter cell distance of  $d_i$  cells in state  $i$ , and the distribution of the number of cells in state  $i$  is shifted geometric with mean  $E[X_i] = 1/q_i$ :

$$P\{X_i = k\} = q_i (1 - q_i)^{k-1} \quad (1)$$

The state transitions of the GMDP process are governed by the transition matrix  $\mathbf{P} = (p_{ij})$ , with  $p_{ij}$  being the probability that the process moves to state  $j$  after leaving state  $i$  (Note that  $p_{ii} = 0$ ).

If  $p_i$  denotes the steady state probability that the process is in state  $i$  immediately after a transition, the following relationship holds:

$$\underline{p}\mathbf{P} = \underline{p}, \underline{p}\underline{e} = 1 \quad (2)$$

with  $\underline{p} = (p_0, \dots, p_{m-1})$ ,  $\underline{e} = (1, \dots, 1)^T$ .

The vector  $\underline{p}$  can be computed from (2) by solving the linear system of equations.

Let  $\pi_i$  denote the probability that a cell belongs to a burst corresponding to state  $i$  of the GMDP.  $\pi_i$  is proportional to the mean number of cells in state  $i$  as well as to the probability that state  $i$  occurs:

$$\pi_i = \frac{p_i \cdot E[X_i]}{\sum_{i=1}^{m-1} p_i \cdot E[X_i]} \quad (3)$$

With these definitions, the generating function  $a(z)$  of the distance  $A$  between two cells of the GMDP is given by

$$a(z) = \sum_{i=1}^{m-1} \pi_i z^{d_i} + \frac{f(z) - 1}{\sum_{\nu=1}^{m-1} p_\nu \cdot E[X_\nu]} \cdot \sum_{i=1}^{m-1} p_i p_{i0} z^{d_i} \quad (4)$$

with  $f(z)$  being the generating function of the length of the silence state (measured in cells).

(\*) Aquest annex reproduïx les notes que va donar en Thomas Theimer (Institute of Communications Switching and Data Technics, Universitat d'Stuttgart) en una sessió de la reunió dels membres del projecte RACE 1022 celebrada a Barcelona els dies 7 i 8 de setembre de 1989.



The mean interarrival distance is

$$E[A] = a'(1) = \sum_{i=1}^{m-1} \pi_i d_i + p_0 \cdot \frac{E[S]}{\sum_{\nu=1}^{m-1} p_{\nu} \cdot E[X_{\nu}]} \quad (5)$$

The second noncentral moment is given by

$$\begin{aligned} E[A^2] &= a''(1) + a'(1) \\ &= \sum_{i=1}^{m-1} \pi_i d_i^2 + \frac{p_0 \cdot E[S^2] + 2E[S] \cdot \sum_{i=1}^{m-1} p_i p_{i0} d_i}{\sum_{\nu=1}^{m-1} p_{\nu} \cdot E[X_{\nu}]} \end{aligned} \quad (6)$$

**Exemple: Càlcul del moment de segon ordre del model MMDP de dos estats**

A continuació, com a exemple, aplicarem l'expressió (6) de l'apartat anterior al cas particular del model GMDP amb dos estats, un de silenci i un d'activitat ( $m = 1$ ), que s'ha descrit amb detall al capítol 6 (apartat 6.3.1), utilitzant la nomenclatura emprada habitualment al nostre treball.

\*  $\pi_i$  (probabilitat que una cel.la pertanyi a l'estat  $i$ ) val:

per a l'estat de silenci,  $\pi_0 = 0$ , ja que  $A'_s = 0$   
per tant, per a l'estat d'activitat,  $\pi_1 = 1$

\*  $d_i$  (distància entre cel.les de l'estat  $i$ ) només té sentit per l'estat d'activitat,

$$d_1 = 1/A'_a$$

\* Els elements de la matriu  $P$  (matriu de transicions) són, en aquest cas:

$$\begin{aligned} p_{00} &= p_{11} = 0 \\ p_{01} &= p_{10} = 1 \end{aligned}$$

\* Les components del vector  $p$  (vector de probabilitats dels estats després d'una transició) es poden obtenir a partir de (2), essent:

$$p_0 = p_1 = 1/2$$

\* El nombre mitjà de cel.les generades en l'estat d'activitat, seguint la nostra nomenclatura, és:

$$E[X_1] = 1/q_1 = \bar{L}'A'_a$$

\* Així mateix, el nombre mitjà de ranures que es roman a l'estat de silenci, és:

$$E[S] = 1/q = \bar{I}' \quad (7)$$

\* Com que  $S$  segueix una distribució geomètrica, la variància d' $S$  és:

$$\sigma'_S{}^2 = (1 - q)/q^2$$

a partir de  $\sigma'_S{}^2 = E[S^2] - E[S]^2$  es pot obtenir:

$$E[S^2] = (2 - q)/q^2$$

i segons (7), canviant  $q$  per  $1/\bar{I}'$ , tenim que:

$$E[S^2] = 2 \bar{I}'^2 - \bar{I}'$$

Substituint tots aquests valors en l'expressió (6), tenim que el *moment no central de segon ordre* de la distància entre cel·les de la seqüència generada pel model MMDP de dos estats és:

$$E[D'^2] = \frac{[2\bar{I}'^2 - \bar{I}']A_a' + 2\bar{I}' + \bar{L}'}{\bar{L}' A_a'^2}$$

## ANNEX 2: DETALLS DEL SIMULADOR UTILITZAT

El simulador és un programa de propòsit específic que té com a objectiu bàsic l'optimització del temps d'execució (ocupació de CPU), en aquest sentit el major inconvenient és la simulació dels models de font que s'utilitzen, sobretot com més augmenten en nombre. Està escrit en PASCAL VMS i s'ha executat en estacions VAX 3200.

El programa realitza una simulació de forma discreta i síncrona del funcionament d'un element de commutació "crossbar" 16x16. La unitat de temps és el cicle de simulació que s'ha fixat al temps requerit per a la transmissió d'una cel·la prenent com a capacitat dels canals 600 Mbps i adoptant la dimensió de cel·la proposada pel CCITT (48 octets d'informació i 5 octets de capçalera), la qual cosa fa que aquest temps sigui aproximadament 0.706  $\mu$ s.

Les simulacions es fan d'un nombre determinat de cicles de durada que es reparteixen en diverses tandes idèntiques (repeticions), a l'acabament de cadescuna de les quals es calcula un resultat parcial. Aquests resultats parcials s'obtenen a partir del còmput del comportament (ocupació i retard introduït) de totes 16 cues d'una sola columna del commutador, i promitjant les distribucions obtingudes per a cada una d'elles.

El motiu d'emprar la tècnica de les repeticions és per poder calcular l'interval de confiança dels resultats finals. Els resultats finals s'obtenen promitjant els resultats parcials de les repeticions realitzades, i l'interval de confiança ens dóna el marge de desviació que tenen aquests resultats amb una probabilitat del 95%.

En la primera de les repeticions no es comença a analitzar el comportament fins passat un temps determinat de funcionament (transitori). Això es fa per a no donar més pes del que tenen situacions molt poc freqüents com ho són: que totes les cues estiguin buides i que totes les fonts estiguin sincronitzades, que es produeixen en començar a executar-se el programa. El que ens interessa es reproduir el funcionament del dispositiu durant un interval de temps, més llarg o més curt, però del permanent. La durada d'aquest transitori l'hem fixat, habitualment, a un 10% de la durada de les repeticions.

En l'exemple d'aplicació del mètode d'avaluació proposat al capítol 7, per cada parella de valors seleccionada s'han realitzat 5 repeticions de 10 milions de cicles cada una que, en total, representa la simulació d'uns 35 segons de funcionament del commutador en temps real. L'interval de confiança obtingut és extremadament bó quan s'usen fonts amb valors de la llargària mitjana de les ràfegues baixos, però empitjora a mida que aquests valors són més alts -s'ha de tenir en compte que el nombre de canvis d'estat en una repetició també influeix en la bondat dels resultats obtinguts, com més canvis d'estat s'hagin produït millor-.

Quan el nombre de fonts per entrada era més elevat, s'ha hagut de reduir el nombre de cicles de simulació per tal de mantenir el temps de CPU a un valor raonable, la utilització de temps de permanència als estats relativament baixos també ens ho ha

facilitat. Aquest és el cas de les simulacions del capítol 8 amb tràfic de referència o amb tràfic modelat amb la segona de les estratègies, i el de les simulacions realitzades al capítol 6. Per mantenir el temps de CPU a un valor del mateix ordre que abans (unes 4 hores per repetició, en mitjana) les simulacions s'han fet, també, de 5 repeticions però només de 500000 de cicles cada una, la qual cosa representa menys de dos segons de funcionament en temps real. Això ha fet baixar molt l'interval de confiança respecte a les simulacions mencionades anteriorment, però s'ha pogut mantenir a un valor acceptable (un ordre de magnitud per sota del valor dels resultats).

**GLOSARI DE TERMES**

<b>ATD</b>	"Asynchronous Time Division"
<b>ATM</b>	"Asynchronous Transfer Mode"
<b>B-ISDN</b>	"Broadband ISDN", terme equivalent a IBCN
<b>BS</b>	"Burst Switching"
<b>CBO</b>	"Continuous Bitrate Oriented"
<b>CAC</b>	"Connexction Admission Control"
<b>CS</b>	"Circuit Switching"
<b>FCS</b>	"Fast Circuit Switching"
<b>FDM</b>	"Frequency Division Multiplexing"
<b>FPS</b>	"Fast Packet Switching"
<b>IBCN</b>	"Integrated Broadband Communications Network"
<b>ISDN</b>	"Integrated Services Digital Network"
<b>LX</b>	"Local Exchange"
<b>MIN</b>	"Multistage Interconnection Network"
<b>MRCS</b>	"MultiRate Circuit Switching"
<b>NCMC</b>	"Network Control and Management Capabilities"
<b>NHLF</b>	"Network High Layer Capabilities"
<b>NT2</b>	"Network Terminal 2"
<b>PF</b>	"Policing Function"
<b>PMD</b>	"Physical Medium Dependent"
<b>PS</b>	"Packet Switching"
<b>SDH</b>	"Synchronous Digital Hierachy"
<b>SONET</b>	"Standard Optical Network"
<b>SPC</b>	"Storage Program Control"
<b>SPN</b>	"Subscribers Premises Network"
<b>STM</b>	"Synchronous Transfer Mode"
<b>TDM</b>	"Time Division Multiplexing"
<b>TX</b>	"Transit Exchange"
<b>VBR</b>	"Variable Bit-Rate"