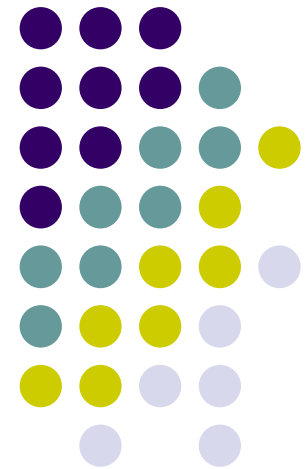
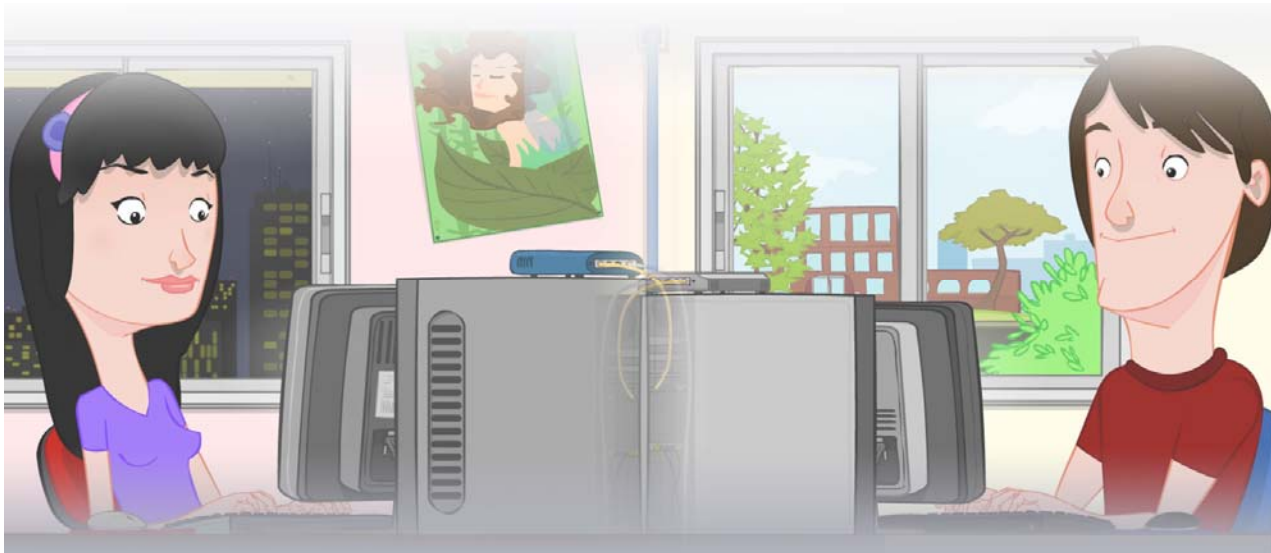


3. gaia: Kommutazioa

Garraio-sareak

Telekomunikazio Teknologiaren Ingeniaritzako gradua (3. maila)



TELEK:O
UPV/EHU Bilbao



3. GAIA - KOMMUTAZIOA

- Helburuak

- Zirkuitu-kommutadoreek egin behar dituzten funtzioak aztertu.
- Kommutadore horiek inplementatzeko erak ezagutu (egitura, funtzionamendua, diseinu-irizpideak...).
- Gauza bera pakete-kommutadoreekin.

- Bibliografia

- Behrouz A. Forouzan, «Transmisión de datos y redes de comunicaciones», 4. arg, 2007. McGraw-Hill
- Williams Stallings, «Comunicaciones y Redes de Computadores», 7. arg., 2004. Pearson Educación
- Jorge Martínez, «Redes de comunicaciones», 2002. Apuntes de conmutación de la UPV (Universidad Politécnica de Valencia).
- Kurose, Ross, «Redes de computadoras, un enfoque descendente», 5. arg., 2010. Pearson Educación.
- Seifert, Edwards, «The All-New Switch Book: The Complete Guide to LAN Switching Technology», 2. arg., 2008. Wiley (17. kapitulua)

Zirkuitu-
kommutazioa

Pakete-
kommutazioa

Pakete-
kommutazioa

OHARRA: bibliografia honetatik hartu dira zenbait irudi

3. GAIA –KOMMUTAZIOA.

Edukia



3.1 Kommutazioa.

3.1.1 Sarrera.

3.1.2 Kommutazio motak: zirkuitu-, pakete- – kon. oin., kon. ez oin.

3.2 Zirkuitu-kommutadoreak.

3.2.1 Espaziozko / denborazko / bi dimentsioko kommutazioa.

3.2.2 Etapa bakarreko / anitzeko kommutadoreak

3.3 Pakete-kommutadoreak.

3.3.1 Osagaiak: sarrerako interfazea, irteerako interfazea, kommutazioaren barne-egitura, prozesadorea.

3.3.2 Ilaren kudeaketa, bidaltze-plangintza, baztertze-irizpideak.

3.3.3 Kommutazioaren barne-egitura bideragailuetan: hiru belaunaldi.

3.3.4 Konexioan oinarritutako sareen bilakaera: X.25, FR, ATM.

3.4 Kommutazio integratua.

3.4.1 Kommutazio hibridoa.

3.4.2 Zirkuitu-kommutazioan oinarritua.

3.4.3 Pakete-kommutazioan oinarritua.

3. GAIA –KOMMUTAZIOA.

Edukia



3.1 Kommutazioa.

3.1.1 Sarrera.

3.1.2 Kommutazio motak: zirkuitu-, pakete- – kon. oin., kon. ez oin.

3.2 Zirkuitu-kommutadoreak.

3.2.1 Espaziozko / denborazko / bi dimentsioko kommutazioa.

3.2.2 Etapa bakarreko / anitzeko kommutadoreak

3.3 Pakete-kommutadoreak.

3.3.1 Osagaiak: sarrerako interfazea, irteerako interfazea, kommutazioaren barne-egitura, prozesadorea.

3.3.2 Ilaren kudeaketa, bidaltze-plangintza, baztertze-irizpideak.

3.3.3 Kommutazioaren barne-egitura bideragailuetan: hiru belaunaldi.

3.3.4 Konexioan oinarritutako sareen bilakaera: X.25, FR, ATM.

3.4 Kommutazio integratua.

3.4.1 Kommutazio hibridoa.

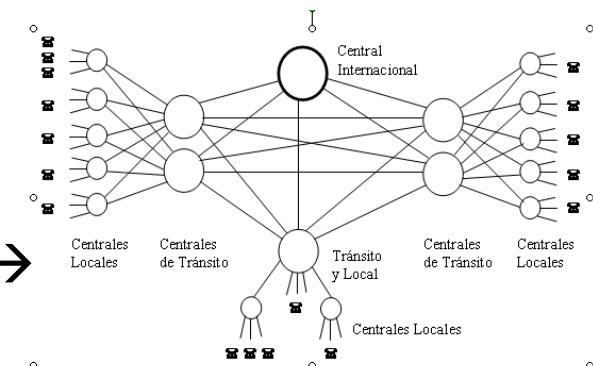
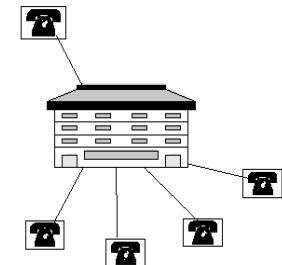
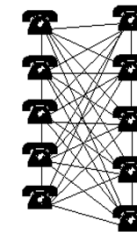
3.4.2 Zirkuitu-kommutazioan oinarritua.

3.4.3 Pakete-kommutazioan oinarritua.

KOMMUTAZIOAREN HASTAPENAK



- Sare telefonikoa garatu zen oinarrizko zerbitzu telefonikoa emateko: ahots-seinalearen bi noranzkoko transmisioa denbora errealean.
 - 1876: telefonoa asmatzea.
- Hasieran, erabiltzaile bikote bakoitzaren artean dedikatutako lerroak: garestia, ez-eskalagarria.
- Hori konpontzeko, erabiltzaile pareen artean aldi baterako zirkuituak ezartzen dituzten **kommutadoreak**.
- Amaierako kommutadoreak elkarren artean lotzeko beharra, igarotze-sare baten bidez → **kommutadoreen egitura hierarkikoa**.



KOMMUTAZIOAREN HASTAPENAK

- Hasieran, kontrola eta kommutazioa ez automatikoak.
 - Erabakiak hartzea (bideraketa)
 - Exekuzioa (konexioen ezarpena/askapena)
- Kommutazioaren automatizazioa
Operadorea kontrol automatikodun sistema batez ordezkatzeko:
 - Zenbakikuntza-plan hierarkikoa
 - Seinaleztapen-sistema
- Sarearen bilakaera
 - Topologia: hierarkizazioa
 - Teknologia: analogikoa → digitala
 - Balio erantsiko zerbitzuak



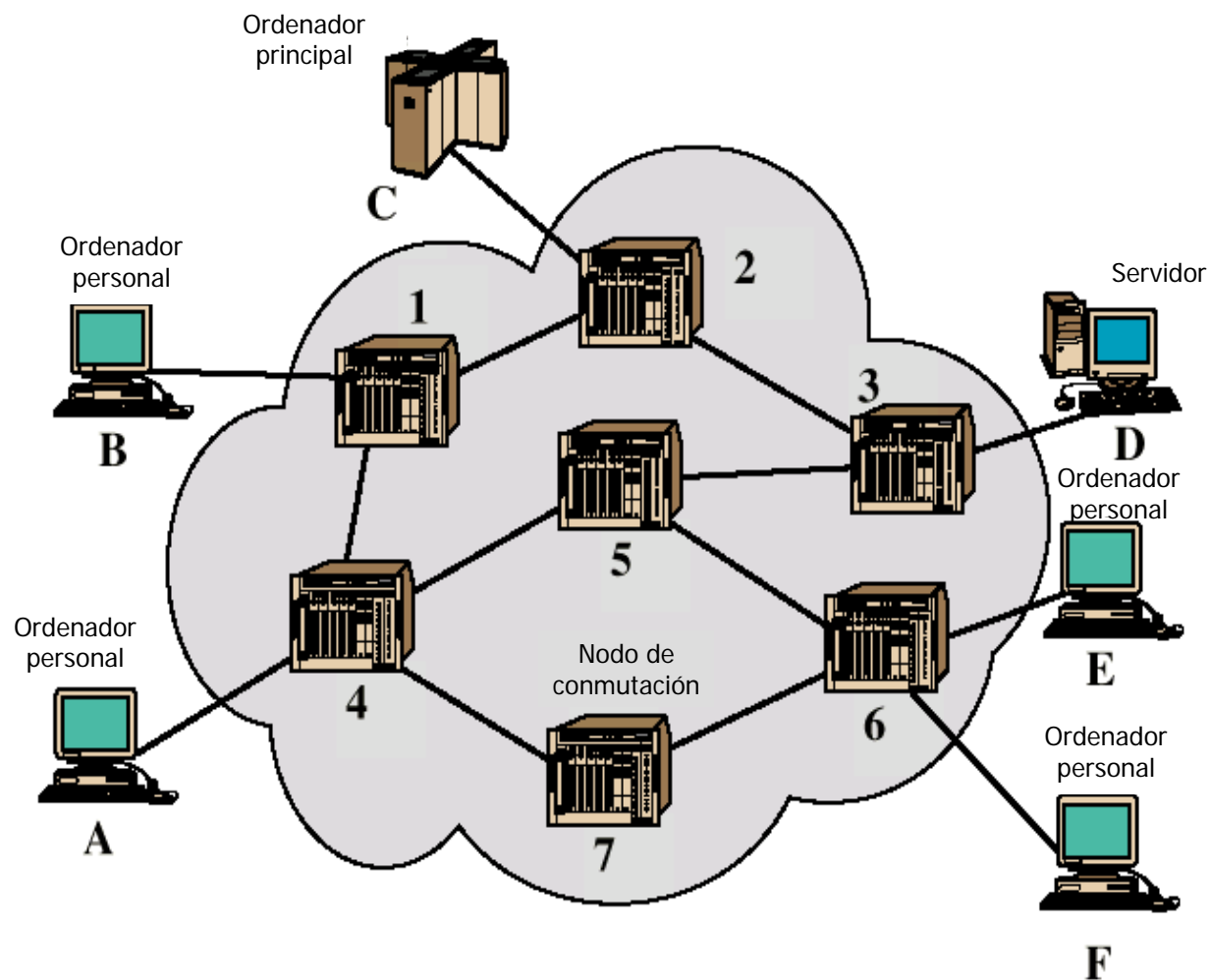
Garraio-sareak 23-24

KOMMUTAZIOA



- Kommutazioaren helburua sareetan (ez bakarrik sare telefonikoan) :
 - Telekomunikazio sare baten erabiltzaile guztiak interkonektatu, arrazoizko kostu bat izanik.
 - ...elkarren artean komunikatu nahi diren bezeroen terminalak ez dira zuzenean (hau da, bikoteka) konektatu behar.
- Nola lortzen da:
 - Informazioa, tartez tarte, edozein jatorritatik edozein helmugatara kommutatzen duten gailu (kommutadore) batzuren bidez.
 - **Kommutatu. To switch (v):** to cause (an electric current or a signal) to start or stop flowing or to change its path by operating a switch.
 - **Kommutadore. Switch (n):** a mechanical, electrical, electronic, or optical device for opening or closing a circuit or for diverting energy from one part of a circuit to another.
 - Kommutadoreek aldi baterako bideak ematen dituzte sarera konektatuta dauden edozein terminal-bikoteren artean informazioa bidali ahal izateko.
 - Helburu hori betetzeko, beharrezkoa da kommutagailuen artean lotura multiplexatuak erabiltzea ere.

KOMMUTAZIOA



KOMMUTAZIOA TEKNIKAK



- Lotura batetik beste batera informazioa kommutatzeko erabiltzen diren prozeduren arabera:
 - Zirkuitu-kommutazioa:
 - Jatorriaren eta helmugaren artean konexio fisikoa ezartzen da. Komunikazioa irauten duen bitartean, konexio horri baliabide batzuk esleitzen zaizkio.
 - Komunikazioak irauten duen denboran, kommutadore bakoitzak konexioa mantentzen du sarrerako kanal baten eta irteerako kanal baten artean.
 - Jatorriaren eta helmugaren artean puntuz puntuko lotura bat edukitzearen baliokidea da.
 - Pakete-kommutazioa:
 - Transmittitzen diren datuak paketetan egituratzen dira. Datuez gain, paketeek kontroleko informazioa daramate ere.
 - Kommutadore batek lotura batetik pakete bat jasotzen duen bakoitzean, zein loturatatik bidali behar duen erabakitzen du kontroleko informazioaren arabera, eta lotura horren irteerako ilaran ipintzen du (zain gelditzen da loturatik igorria izateko txanda heldu arte).

KOMMUTAZIOA TEKNIKAK



- Lotura batetik beste batera informazioa kommutatzeko erabiltzen diren prozeduren arabera:
 - Pakete-kommutazioa:
 - Konexioan oinarritutakoa. Zirkuitu Birtual Modua.
 - Jatorritik helmugara datu-paketeak bidali aurretik, pakete horiek jarraituko duten bidea ezartzen da (hori da zirkuitu birtualaren bidea) → idatzita gelditzen da kommutadoreen konexio-tauletan.
 - Zirkuitu birtuala ezarri aurreko fasea.
 - Behin zirkuitu birtuala ezarrita, konexioko gainerako paketeak kommutatu egiten dira, konexio-tauletan gordetako informazioa jarraituz.
 - Konexioan ez oinarrituta. Datagrama Modua.
 - Kommutadore batera pakete bat heltzen den bakoitzean, irteerako zein loturatatik bidali behar den erabakitzen da (sareko kommutadoreek ez dituzte jotzen pakete ezberdinak komunikazio bereko zatitzat).

KOMMUTAZIOA TEKNIKAK



- Konparaketa
 - Baliabideen erreserba.
 - Banda-zabaleraren bermea.
 - Igorritako informazioaren formatua.
 - Bideraketa noiz/nola egiten da.
 - Kommutazioa noiz/nola egiten da.
 - Funtzio horiek burutzeko kommutadoreek behar duten informazioa.
 - Informazio unitate bakoitzaren igorpenaren atzerapena.
 - Kongestio eta sareko hutsegiteen ondorioak.
 - Trafiko mota ezberdinetarako egokitzapena.

3. GAIA –KOMMUTAZIOA.

Edukia



3.1 Kommutazioa.

3.1.1 Sarrera.

3.1.2 Kommutazio motak: zirkuitu-, pakete- – kon. oin., kon. ez oin.

3.2 Zirkuitu-kommutadoreak.

3.2.1 Espaziozko / denborazko / bi dimentsioko kommutazioa.

3.2.2 Etapa bakarreko / anitzeko kommutadoreak

3.3 Pakete-kommutadoreak.

3.3.1 Osagaiak: sarrerako interfazea, irteerako interfazea, kommutazioaren barne-egitura, prozesadorea.

3.3.2 Ilaren kudeaketa, bidaltze-plangintza, baztertze-irizpideak.

3.3.3 Kommutazioaren barne-egitura bideragailuetan: hiru belaunaldi.

3.3.4 Konexioan oinarritutako sareen bilakaera: X.25, FR, ATM.

3.4 Kommutazio integratua.

3.4.1 Kommutazio hibridoa.

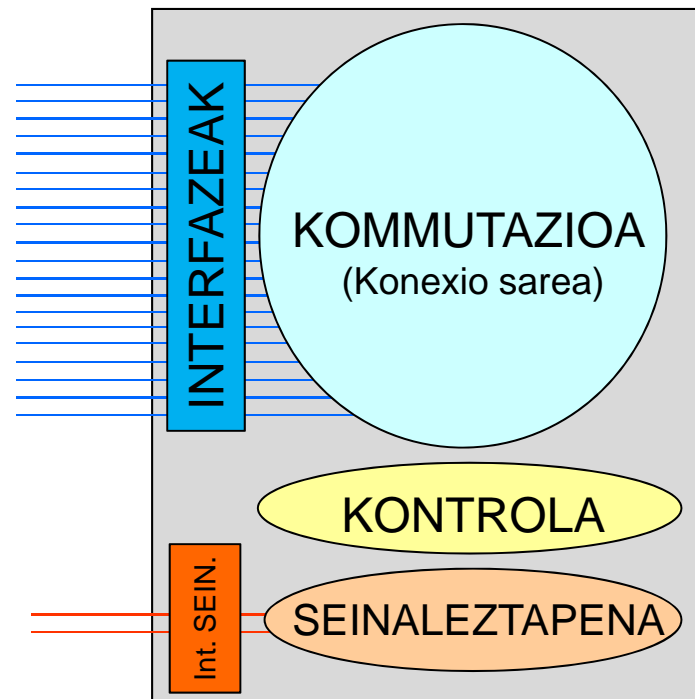
3.4.2 Zirkuitu-kommutazioan oinarritua.

3.4.3 Pakete-kommutazioan oinarritua.

ZIRKUITU-KOMMUTAZIOA



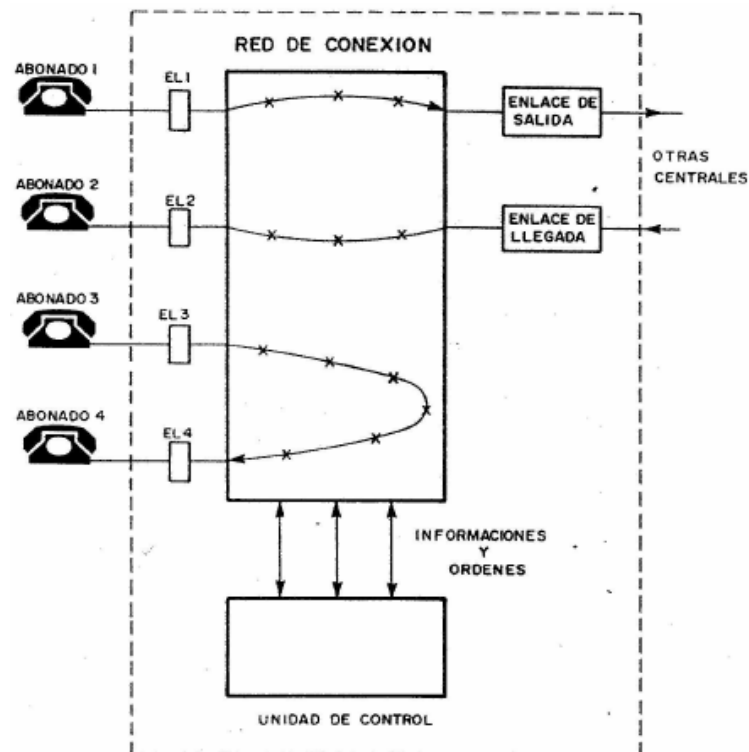
- Zirkuitu-kommutadore baten bloke-egitura.



ZIRKUITU-KOMMUTAZIOA



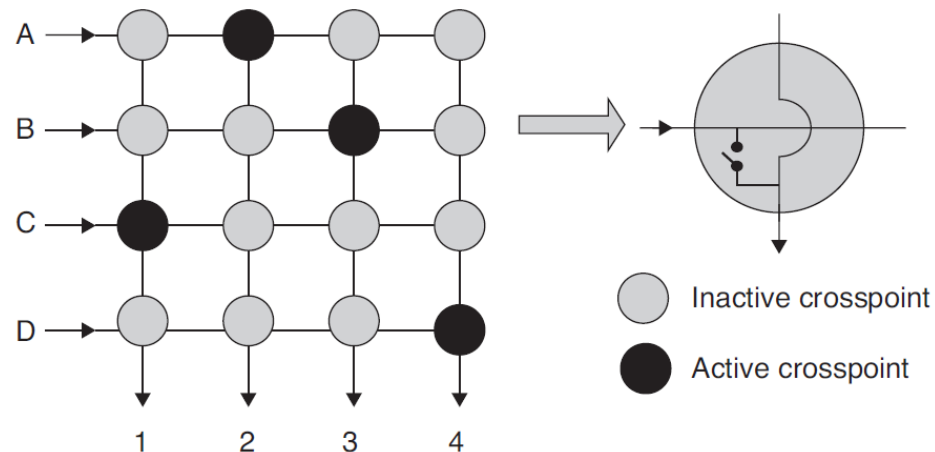
- Konexio-sarea (edo konexio-matrizea):
 - Edozein sarrera/irteera kanal-bikoteren artean, seinalearentzat gardena den bide bat eman.
 - Komunikazioaren euskarri fisikoa.



ZIRKUITU-KOMMUTAZIOA



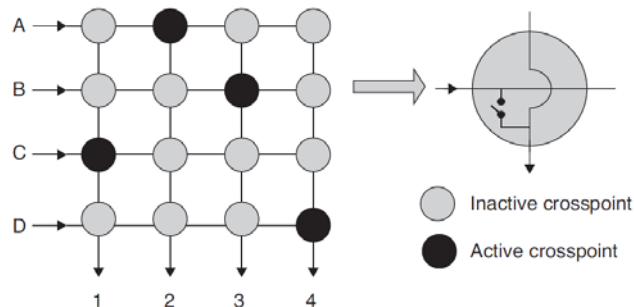
- Espazioaren zatiketa bidezko konmutazioa (espazio-konmutazioa).
 - Helburua: sarrerako kanal baten eta irteerako kanal baten artean konexio bat ezarri, bide fisikoki banandua eta bereizia erabiliz.
 - N^2 gurutzatze-puntuako konexio matrizea. Gurutzatze-puntuak aktibo edo ez-aktibo egon daitezke.



ZIRKUITU-KOMMUTAZIOA



- Espazio-kommutazioa → kontrola.
 - N^2 gurutzatze-puntuako konexio matrizea. Puntu horiek aktibo edo ez-aktibo egon daitezke.
 - Kontrolerako memoria: aktibo egon behar duten gurutzatze-puntuak zein diren adierazteko kommutadoreari.
 - Sarrerako zein lotura kommutatu irteerako zein loturarekin.



KM: Kontroleko Memoria

Baldin Sarrerari Loturiko Kontrola:

KM:

A	B	C	D
2	3	1	4

Sarrerako lotura

Irteerako lotura

C loturatik sartzen dena, 1 loturatik irten dadila.

Baldin Irteerari Loturiko Kontrola:

KM:

1	2	3	4
C	A	B	D

Sarrerako lotura

Irteerako lotura

2 loturatik irten dadila, A loturatik sartzen dena.

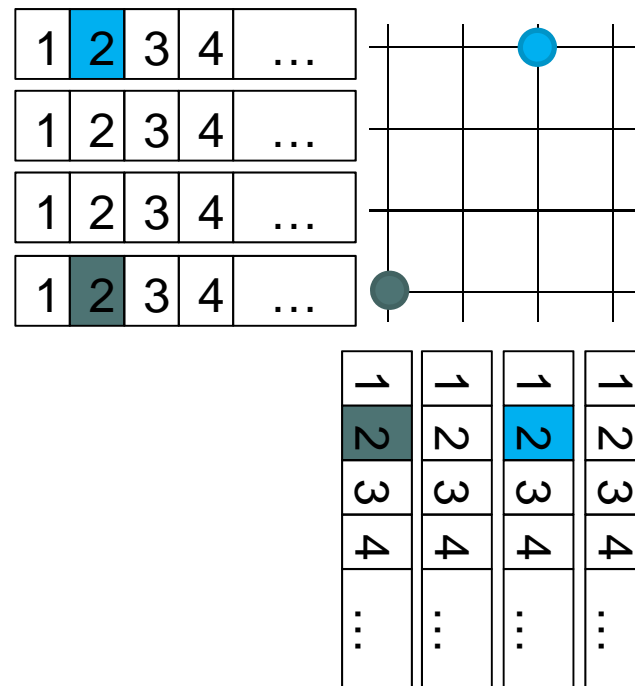
ZIRKUITU-KOMMUTAZIOA



- Espazio-kommutazioa.

- Sarrera/irteerak denboran multiplexatuta badaude (adibidez, MIC), konexioak ez dira mantentzen deiak irauten duen denbora guztian, baizik eta tramaren tarte bakoitzean txandakatzen direlarik.
- Denbora-tarte bakoitzean, ezberdinak dira gurutzatze-puntu aktiboak.

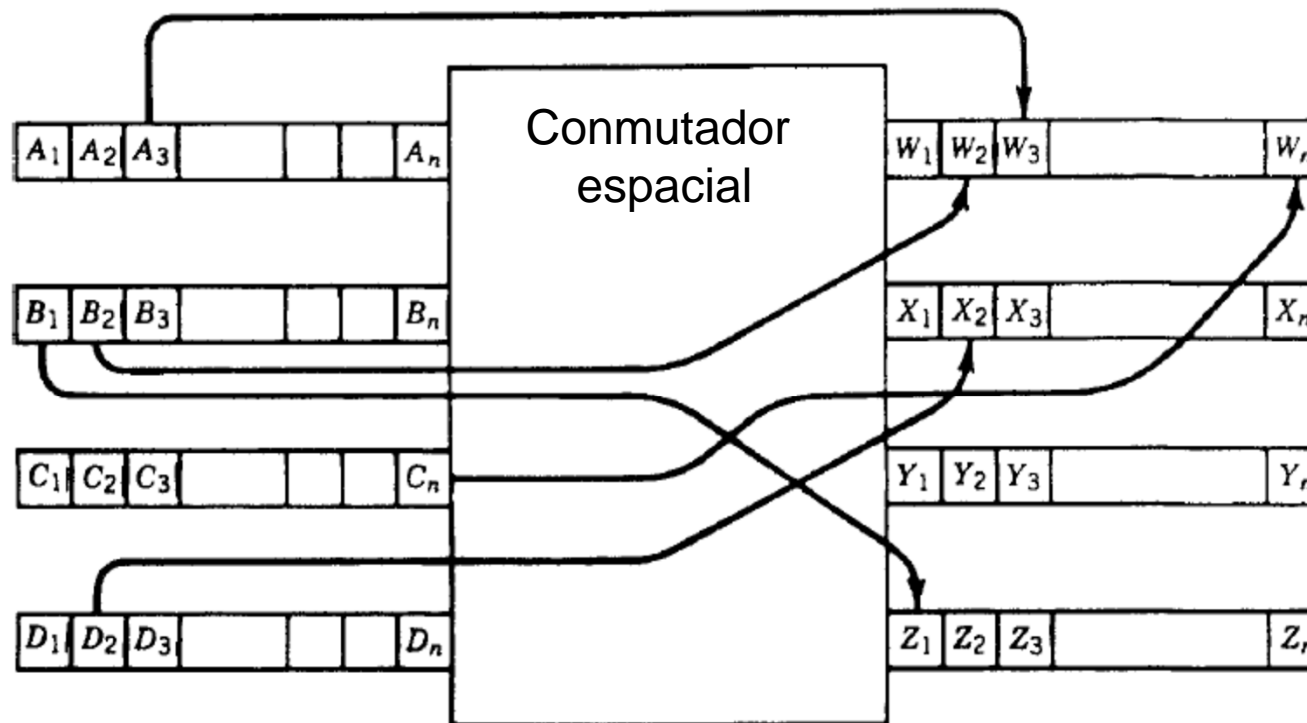
MIC 30+2 = PCM 30+2



ZIRKUITU-KOMMUTAZIOA



- Espazio-kommutazioa.
 - Denboran multiplexatutako sarrera/irteerekin (adibidez MIC).



ZIRKUITU-KOMMUTAZIOA



SLK: Sarrerari Loturiko kontrola

ILK: Irteerari Loturiko kontrola

• Espazio-kommutazioa → kontrola.

- **Baldin denboran multiplexatutako sarrera/irteerak (adibidez MIC), konexioak ez dira mantentzen deiak irauten duen denbora guztian, baizik eta txandakatuz doaz tramaren denbora-tarte bakoitzean.**
 - Denbora-tarte bakoitzean, ezberdinak dira gurutzatze puntu aktiboak.
- Kontrolerako memoria: **tramaren denbora-tarte bakoitzean**, kommutadoreari adierazten dio zein gurutzatze-puntu egon behar duten aktibo.
 - Denbora-tarte bakoitzean, zein sarrerako lotura kommutatu behar da zein irteerako loturara.

1	2	3	4	...
1	2	3	4	...
1	2	3	4	...
1	2	3	4	...

1. Denbora tarte

1	2	3	4
1	2	3	4
1	2	3	4
1	2	3	4

Denbora tarte

1	2	3	4	...
1	2	3	4	...
1	2	3	4	...
1	2	3	4	...

2. Denbora tarte

1	2	3	4
1	2	3	4
1	2	3	4
1	2	3	4

Bilbo

a

Sarrerako lotura

SLKrekin:

	1	2	3	4
1	2		1	
2	3			1
3				
4				
...				
...				

2 denbora-tartean, 1 loturatik sartzen dena, 3 loturatik irten dadila.

Irteerako lotura

ILKrekin:

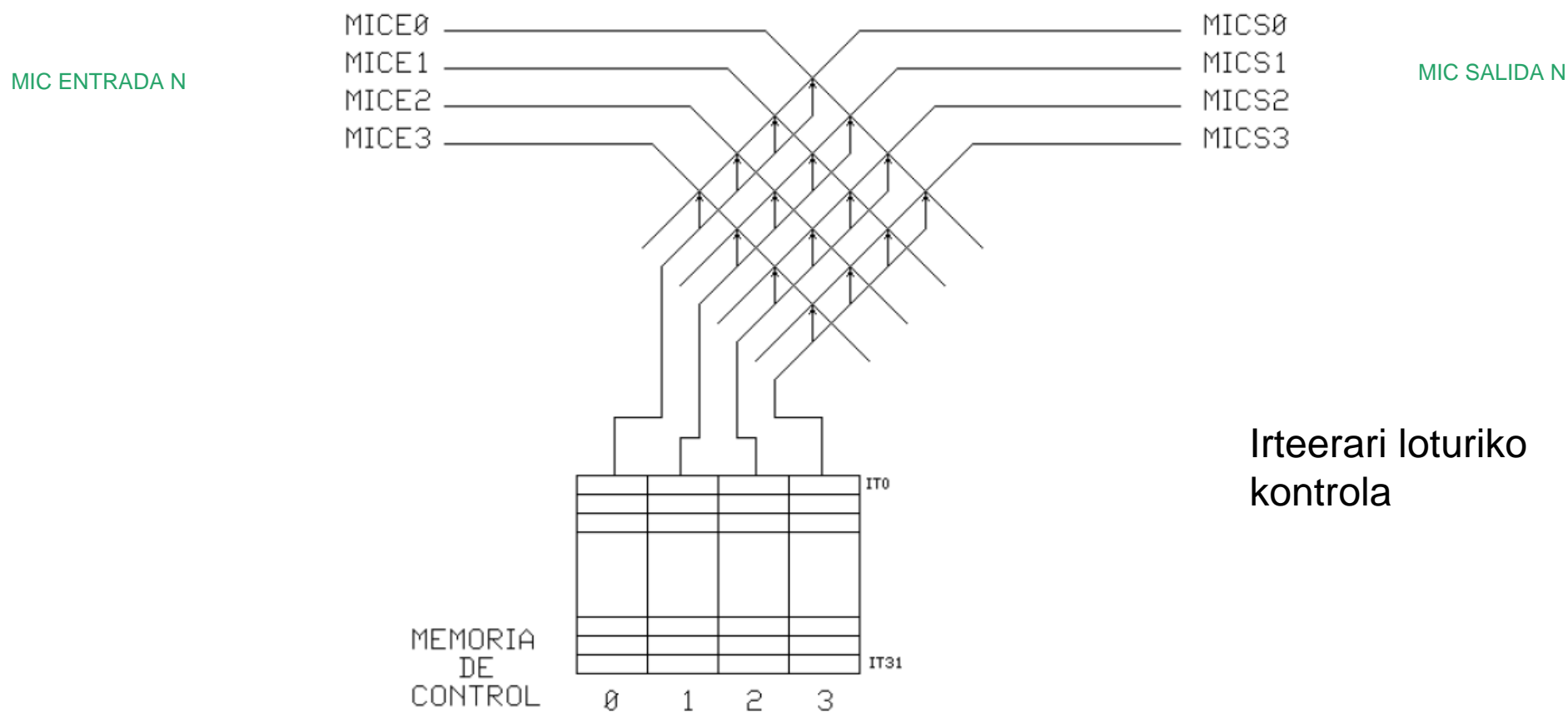
	1	2	3	4
1	3	1		
2	4		1	
3				
4				
...				
...				

1 denbora-tartean, 1 loturatik irten dadila, 3 loturatik sartzen dena.

ZIRKUITU-KOMMUTAZIOA



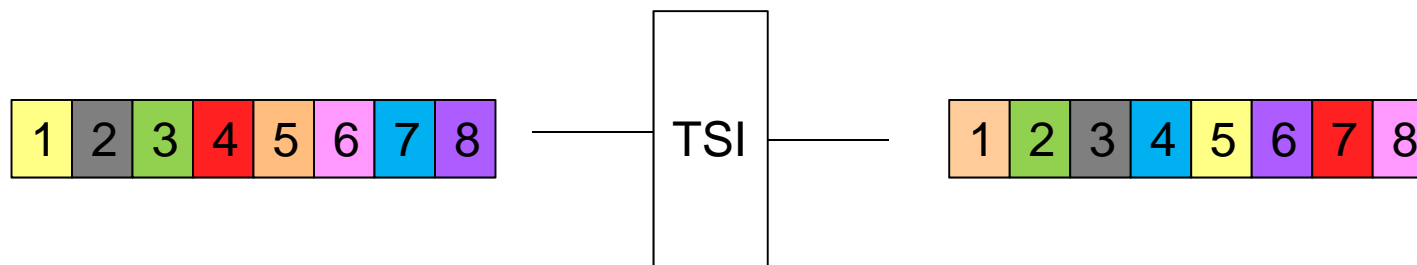
- Espazio kommutazioa → kontrola.
 - Denboran multiplexatutako sarrera/irteerekin (adibidez MIC).



ZIRKUITU-KOMMUTAZIOA



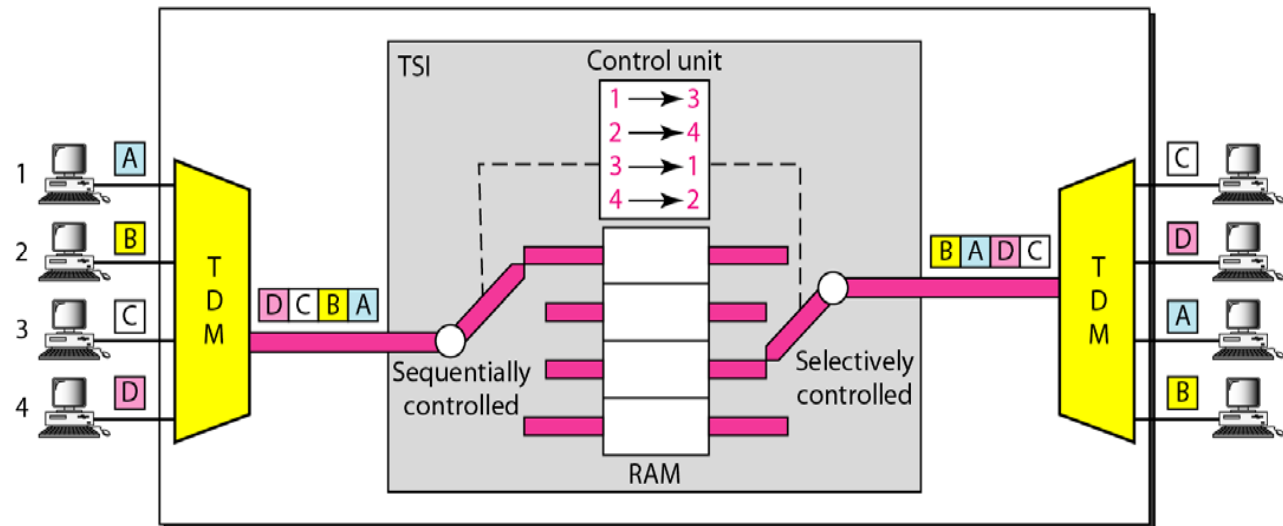
- Denbora-zatiketa bidezko konmutazioa (denbora-konmutazioa).
 - Helburua: lerro batetik doan denbora-tarte bateko informazioa eramán beste lerro batetik doan beste denbora-tarte batera ([animazioa](#)).
 - TSI: Time Slot Interchange



ZIRKUITU-KOMMUTAZIOA



- Denbora-kommutazioa.
 - Datu Memoria (DM) eta Kontrol Memoria (CM) behar dira.
 - Irteerari loturiko kontrola: DMn idazketa sekuentziala, DMko irakurketa CMk adierazten duen moduan.



Iturria: «Transmisión de datos y redes de comunicaciones», Forouzan, 2006

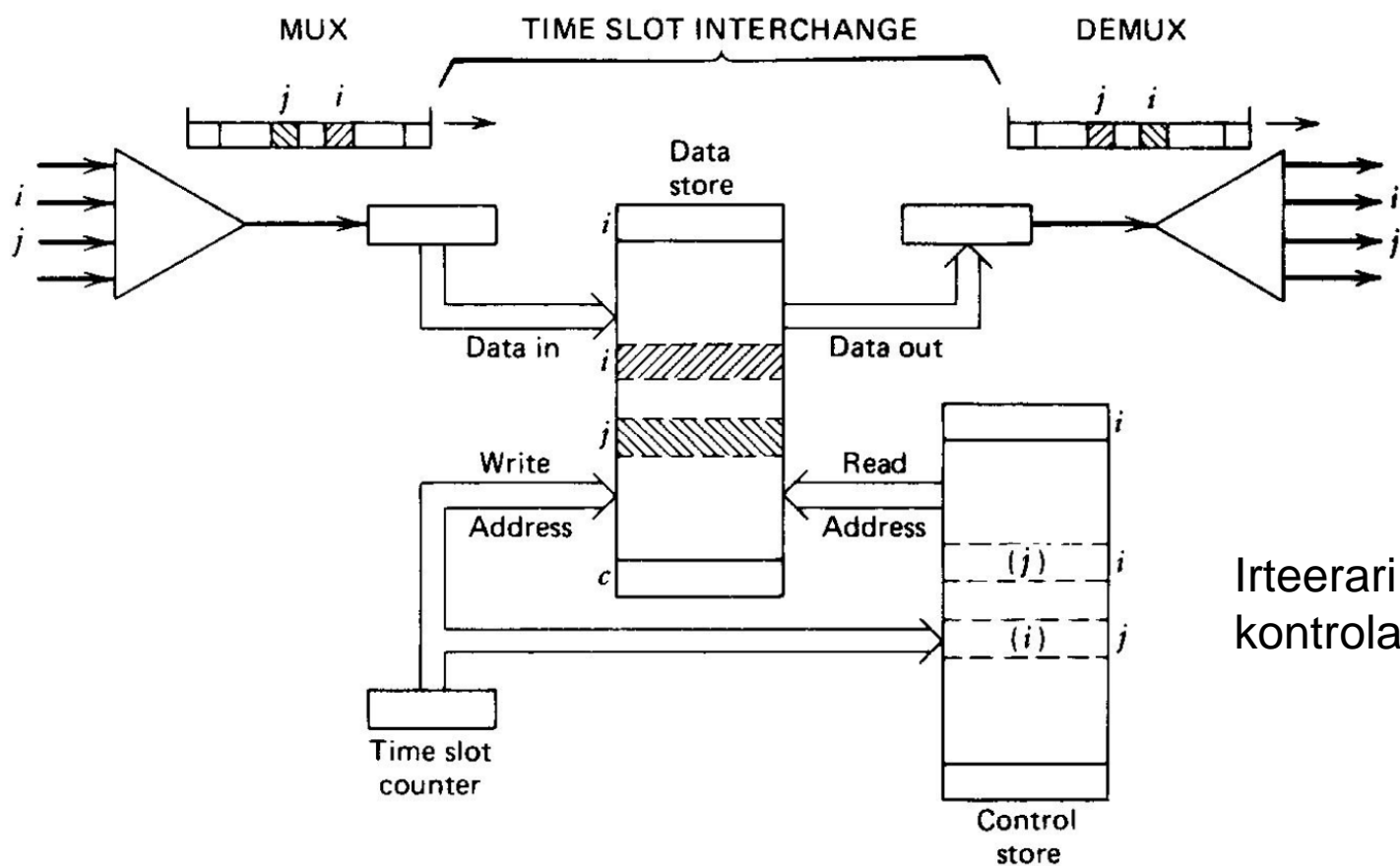
- [Animazioa](#)

- Sarrerari loturiko kontrola: DMn idazketa CMk adierazten duen moduan, DMko irakurketa sekuentziala.

ZIRKUITU-KOMMUTAZIOA

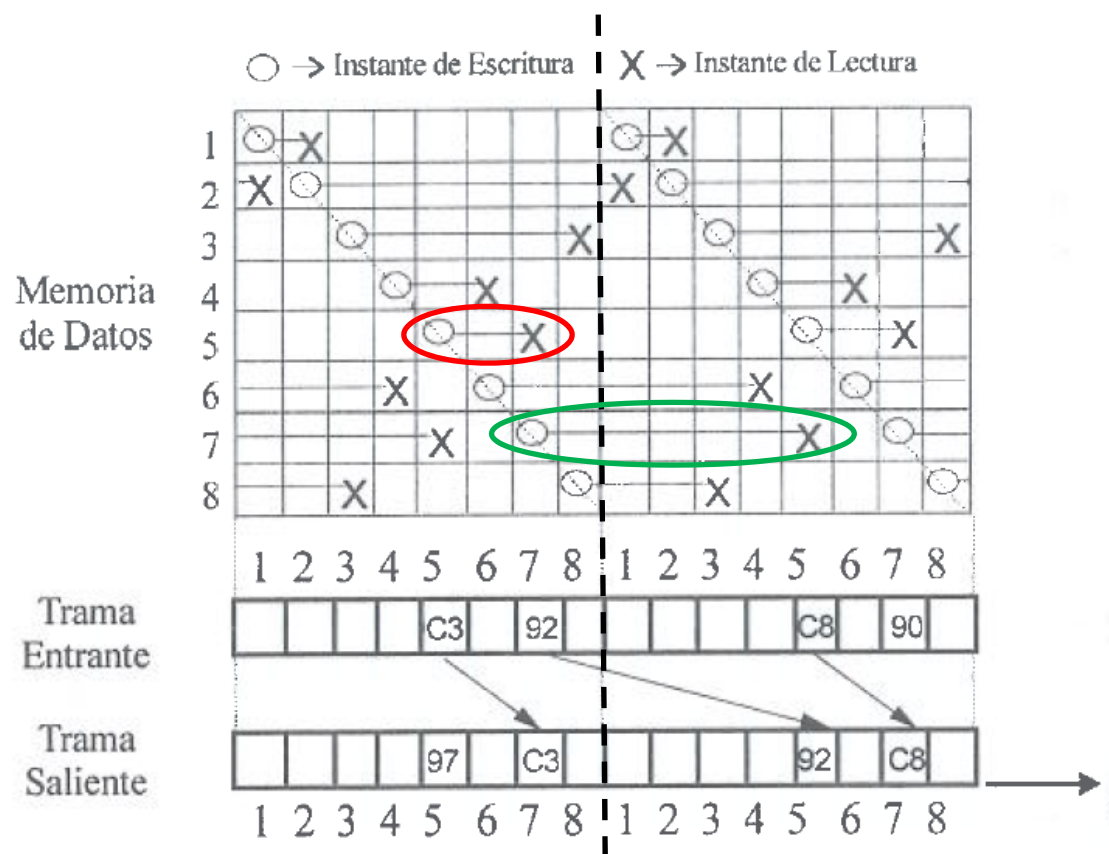


- Denbora-kommutazioa → kontrola.



ZIRKUITU-KOMMUTAZIOA

- Denbora-kommutazioa



Irteerari loturiko kontrola

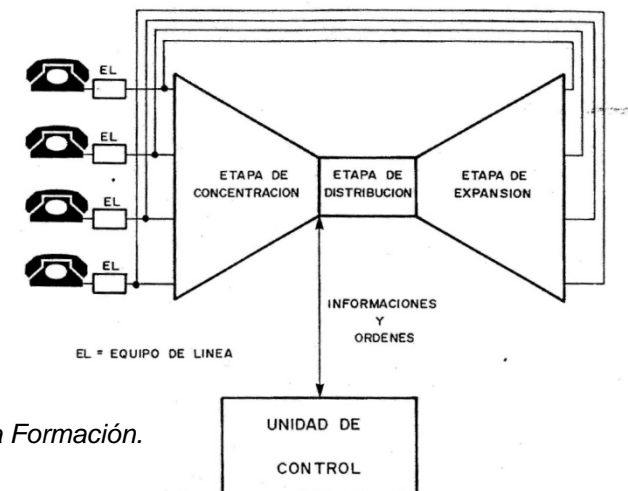
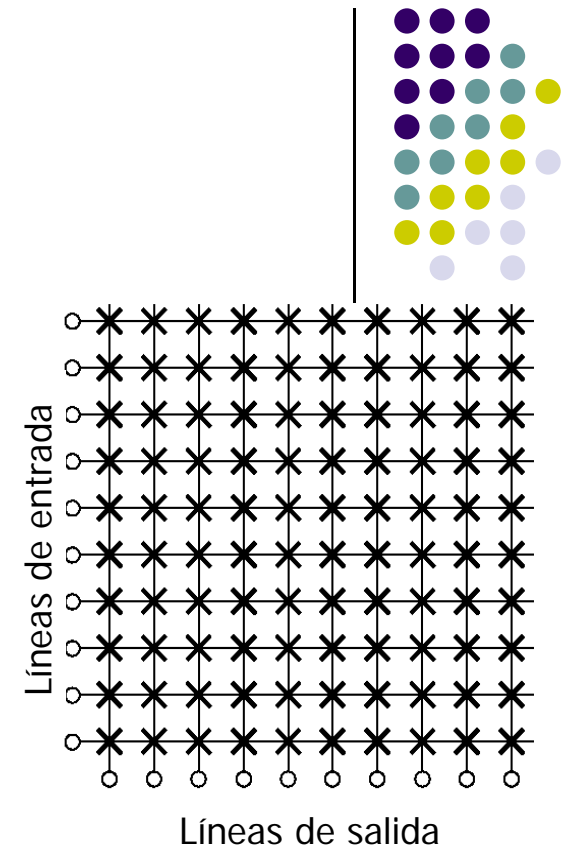
MC

1	2
2	1
3	8
4	6
5	7
6	4
7	5
8	3

Iturria: «Redes de comunicaciones», UPV (Universidad Politécnica de Valencia), Jorge Martínez, 2002

ZIRKUITU-KOMMUTAZIOA

- Etapa bakarreko konmutadoreak.
 - N I/O lerro: N^2 gurutzatze-puntu.
 - x Gurutzatze-puntu bat galtzeak, puntu hori erabili behar duen komunikazioa ezin ezartzea dakar.
 - x Gurutzatze-puntuak era ez eraginkorren erabiltzen dira.
 - ✓ Blokeorik ez dago, sarrera bat eta irteera bat erabili gabe daudenean, beren artean konexio bat ezar daitekeelako (konektatzen dituen gurutzatze-puntu bat existitzen da).
- Alternatiba: etapa anitzeko konmutadoreak.
 - Konplexuagoak dira.

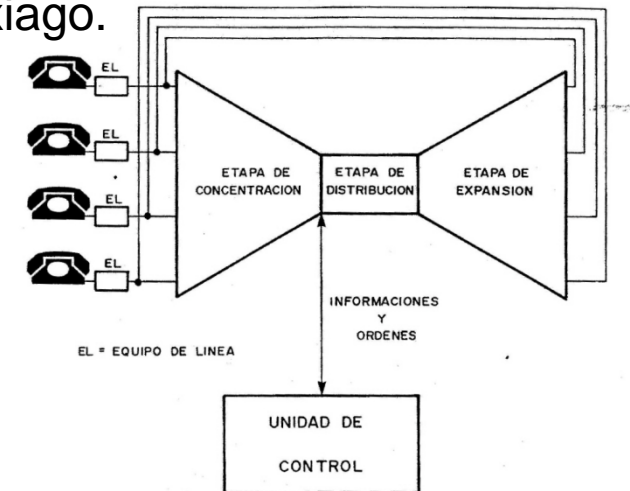


Iturria: Telefónica Formación.
Conmutación

ZIRKUITU-KOMMUTAZIOA



- Etapa anitzeko konmutadoreak abonatuak dituzten telefono-zentraletan.
 - Abonatu-loturetako trafiko-intentsitate baxua kontuan hartuz, gurutzatze-puntuak gutxitu daitezke.
 - Baina komunikazioak hasi/amaitu ahal izan behar du abonatu guztietan.
 - Kontzentrazio – Banaketa – Hedapen etapak.
 - Kontzentrazioa: irteerak sarrerak baino gutxiago.
 - Abonatu kopuru adina sarrera kopurua.
 - Kontzentrazio-indizea.
 - Banaketa: sarrera kop. = irteera kop.
 - Hedapena: irteerak sarrerak baino gehiago.
 - Irteera kopurua abonatu kopurua beste da.
 - Hedapen indizea.
 - Abonatu guztiak ezin dira aldi berean komunikatu → blokeo.

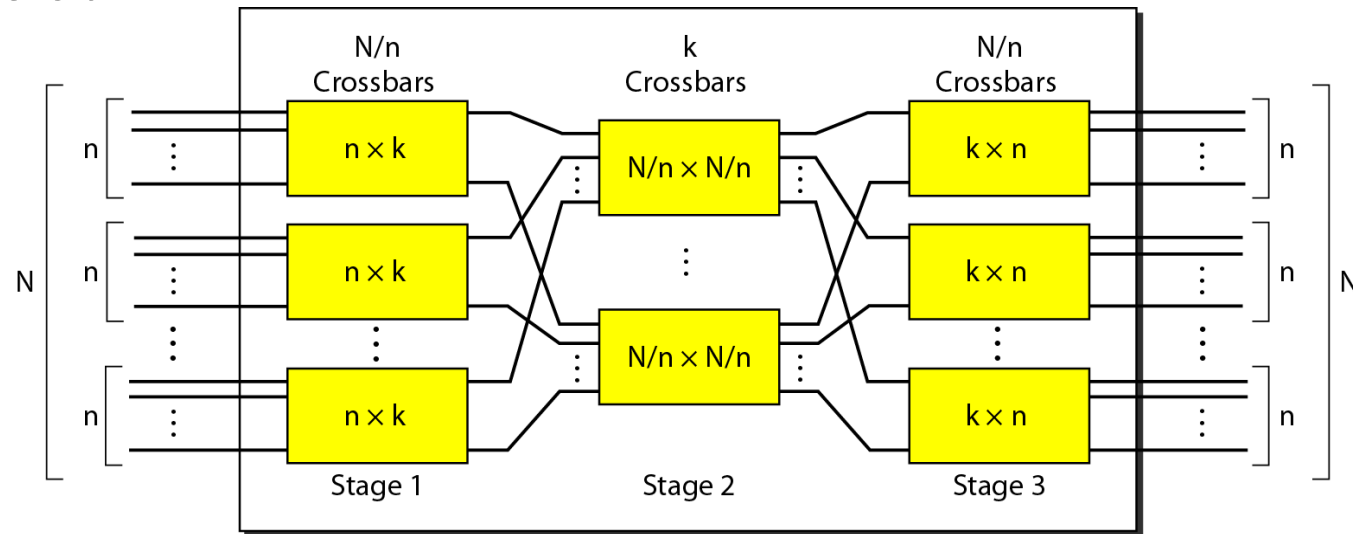


Iturria: Telefónica Formación. Conmutación

ZIRKUITU-KOMMUTAZIOA



- Etapa anitzeko kommutadoreak (orokorra)
 - Helburua: N erabiltzaile jasateko behar diren gurutzatze-puntuak gutxitu, txikiagoak diren kommutadorez osatutako etapa anitz erabiliz.



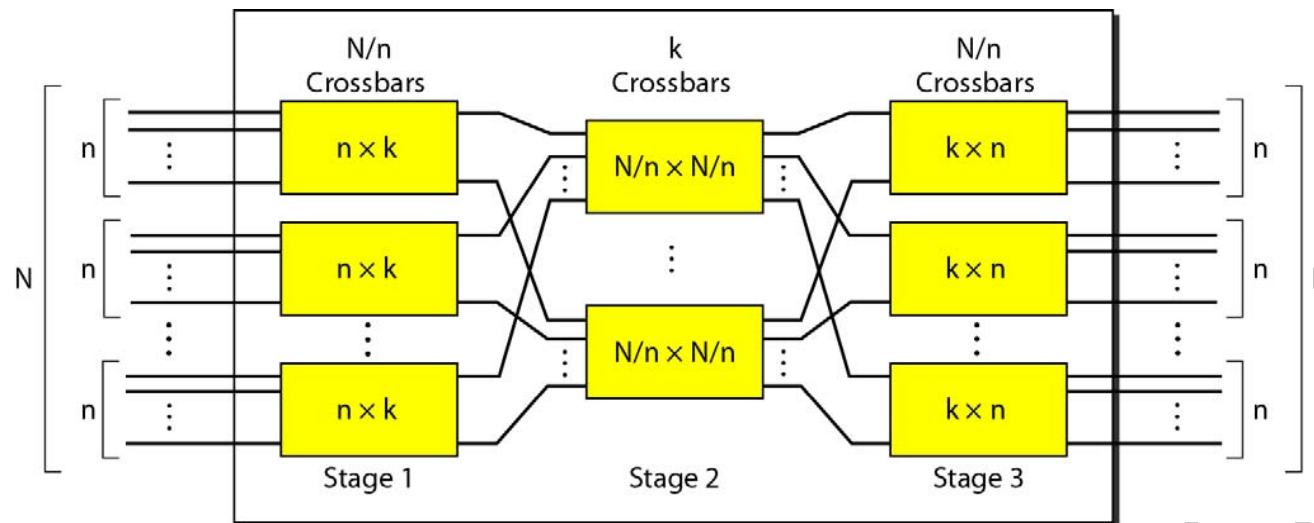
Iturria: «Transmisión de datos y redes de comunicaciones», Forouzan, 2006

- N sarrerak n sarrera-lerro dituzten N/n taldeetan elkartzen dira.
- 1. etapako kommutadore bakoitza 2. etapako k kommutadore bakoitzari lotuta dago lerro batez.
- 2. etapako kommutadore bakoitza 3. etapako N/n kommutadore bakoitzari lotuta dago lerro batez..

ZIRKUITU-KOMMUTAZIOA



- Etapa anitzeko kommutadoreak



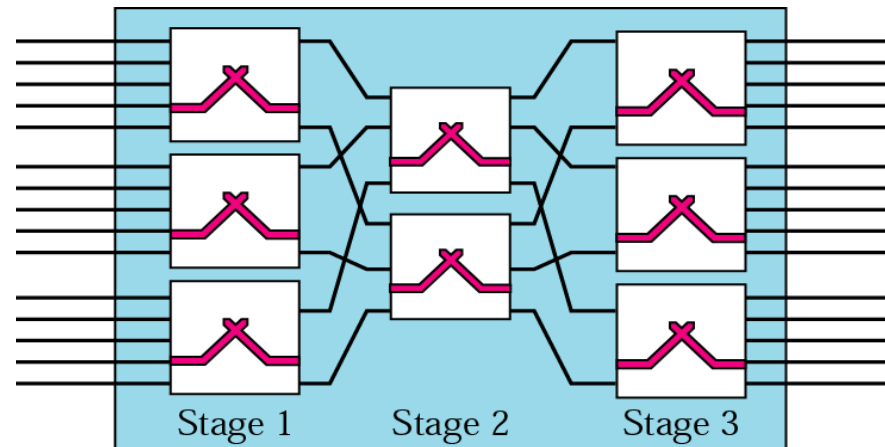
Fuente: «Transmisión de datos y redes de comunicaciones», Forouzan, 2006

- Gurutzatze-puntu kopurua:
 - 1. etapa: $N/n \cdot n \cdot k$ (1. etapako kommutadore kopurua , dimentsioak)
 - 2. etapa: $k \cdot N/n \cdot N/n$ (berdin 2. etapakoak)
 - 3. etapa: $N/n \cdot n \cdot k$ (berdin 3. etapakoak)
 - GUZTIRA: $2 \cdot N \cdot k + k \cdot (N/n)^2 \dots$ (etapa bakarreko kommutadoreetan: N^2)

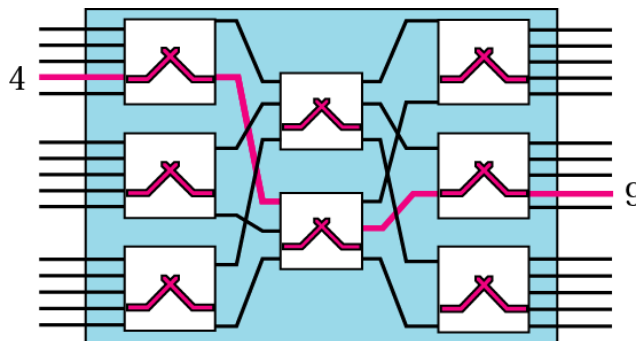
ZIRKUITU-KOMMUTAZIOA



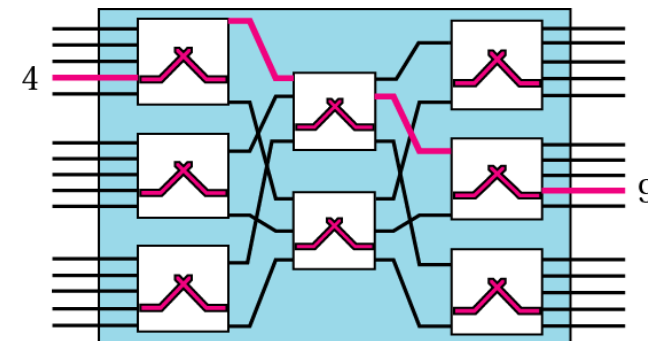
- Etapa anitzeko konmutadoreak
 - Sarrerako lerro baten eta irteerako lerro baten artean bide posible bat baino gehiago dago → fidagarritasun haundiagoa.



*Iturria: «Transmisión de datos y redes de comunicaciones»,
Forouzan, 2006*



a. First option

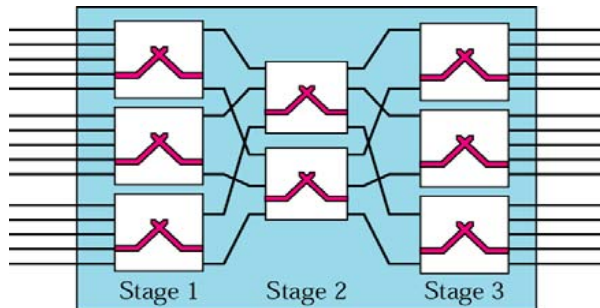


b. Second option

ZIRKUITU-KOMMUTAZIOA



- Etapa anitzeko konmutadoreak: abantailak
 - Irisgarritasun osoa: edozein sarrera-irteera lerro bikoteren artean posible da konexioa ezartzea.
 - Sarrerako lerro baten eta irteerako lerro baten artean bide posible bat baino gehiago dago.
 - Fidagarritasun eta sendotasun gehiago barne-matxureei aurre egiteko
 - Etapa bakarreko matrize baliokideekin konparatuz, gurutzatze-puntu kopuru txikiagoa.
 - Gurutzatze-puntuen berrerabilera konexio desberdinetarako, hau da, sarrera-irteera bikote desberdinen artean.

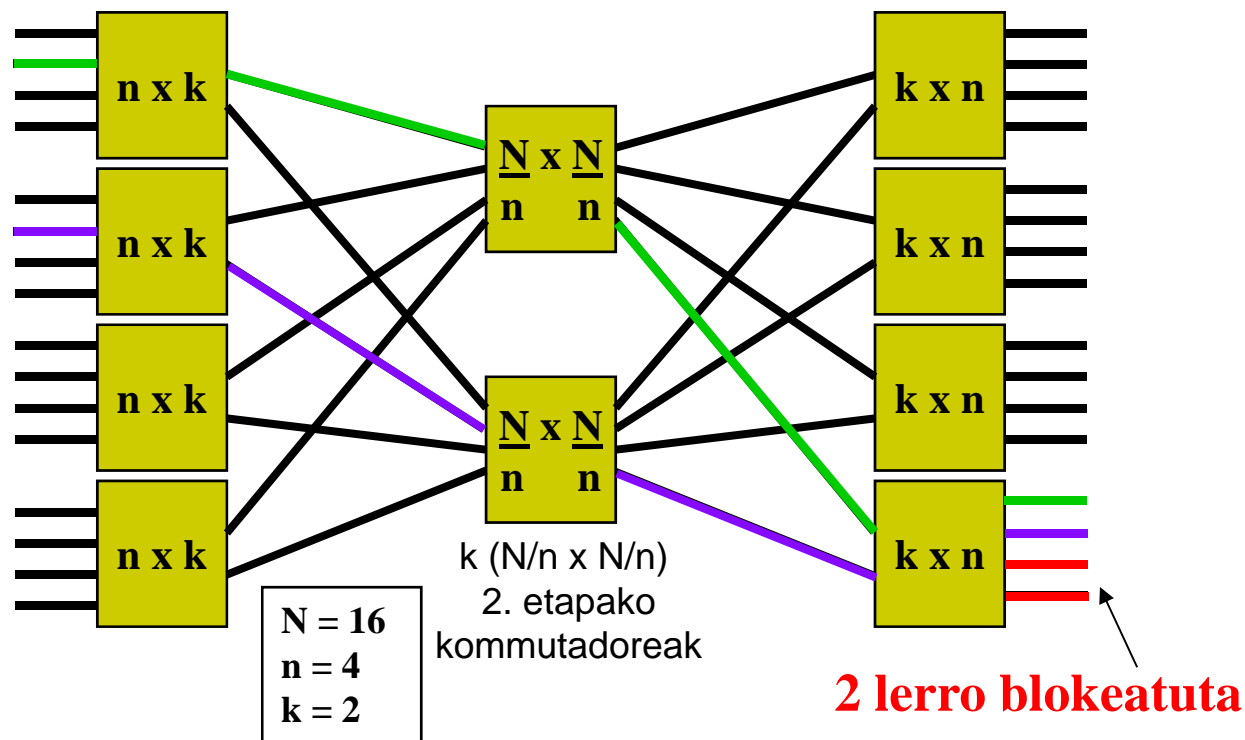


Iturria: «Transmisión de datos y redes de comunicaciones», Forouzan, 2006

ZIRKUITU-KOMMUTAZIOA



- Etapa anitzeko konmutadoreak
 - Blokeoa egon daiteke: sarrera eta irteera libre izanik, bien arteko konexioa ezin ezarri, bide posible guztiak okupatuta daudelako.



Iturria: «Introduction to Networking and Network Management», F. Farahmand, 2016

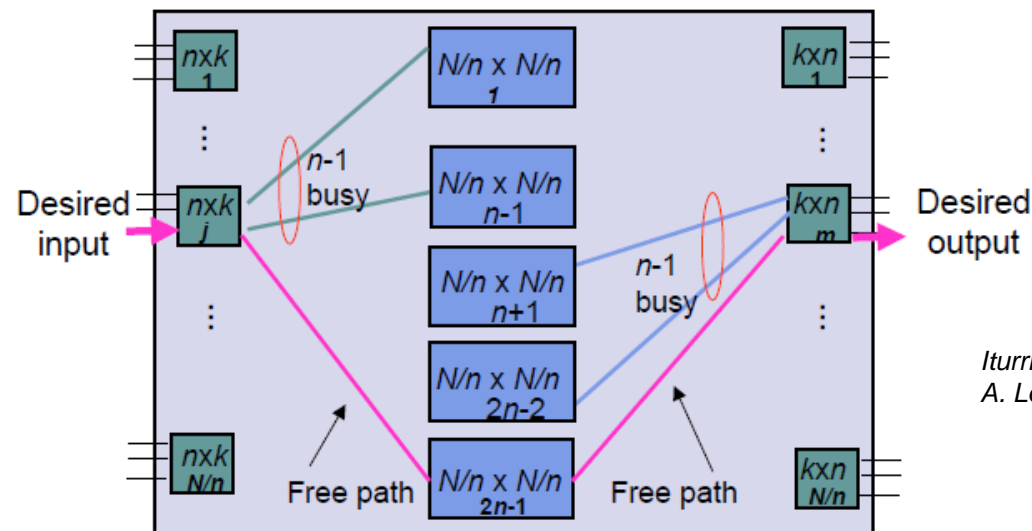
ZIRKUITU-KOMMUTAZIOA



- Etapa anitzeko konmutadoreak

- Blokeoa:

- Zenbat eta k haundiagoa (bitarteko matrize gehiago), orduan eta bide gehiago sarrera eta irteeraren artean.
 - Zenbat bitarteko matrize behar dira blokeo gabeko konmutadore bat egiteko? → Clos (1950s): $k \geq 2n - 1$



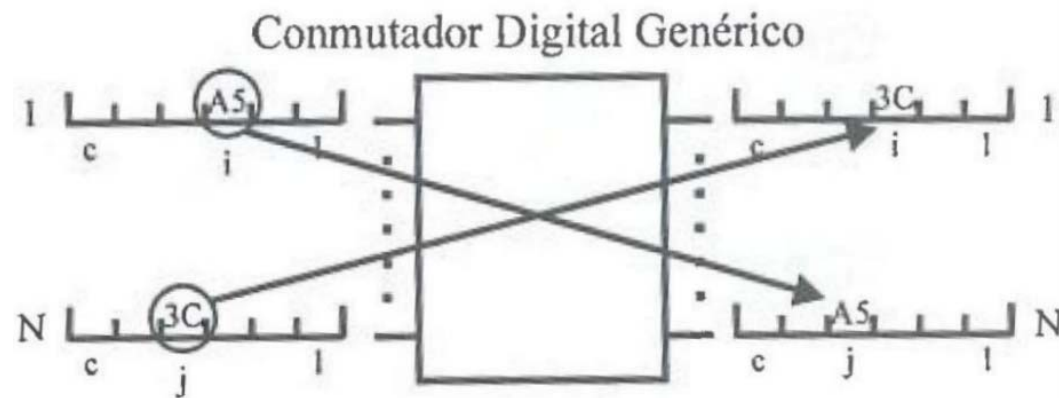
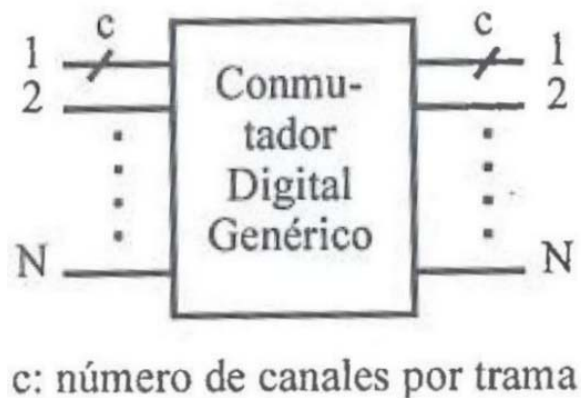
Iturria: «Communication Networks».
A. León-García, I. Widjaja,

- Oharra: k -ren arabera, kontzentrazio-banaketa-hedapen edo hedapen-banaketa-kontzentrazio etapa anitzeko konmutadorea izan daiteke.

ZIRKUITU-KOMMUTAZIOA



- Espazio-kommutazioa: sarrerako lotura → irteerako lotura
- Denbora-kommutazioa: sarrerako TS → irteerako TS
 - Dimentsio bakarreko kommutazioa
- Bi dimentsioko kommutazioa: Sarrerako TS eta lotura → Irteerako TS eta lotura.
 - Espazio-etapak (S) eta denbora-etapak (T) konbinatuz

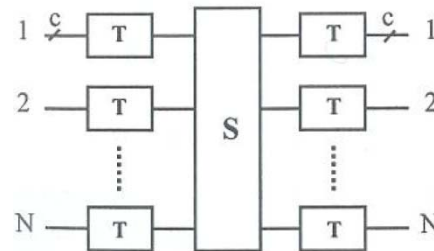


Iturria: «Redes de comunicaciones», Edit. UPV (Universidad Politécnica de Valencia), Jorge Martínez, 2002

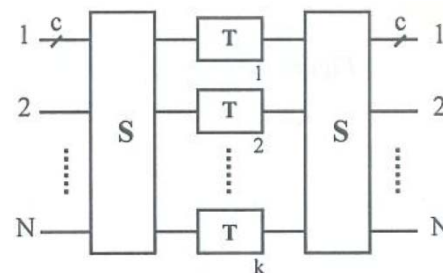
ZIRKUITU-KOMMUTAZIOA



- Etapa anitzeko konmutadoreak (dimentsio bakarra / bi dimentsio)
 - Denbora- eta espazio-etapen hainbat konbinazio.
 - Etapa kopuru ezberdinak.
 - SSS
 - TST



- STS



- TSSST

*Iturria: «Redes de comunicaciones»,
Edit. UPV (Universidad Politécnica de Valencia),
Jorge Martínez, 2002*

3. GAIA –KOMMUTAZIOA.

Edukia



3.1 Kommutazioa.

3.1.1 Sarrera.

3.1.2 Kommutazio motak: zirkuitu-, pakete- – kon. oin., kon. ez oin.

3.2 Zirkuitu-kommutadoreak.

3.2.1 Espaziozko / denborazko / bi dimentsioko kommutazioa.

3.2.2 Etapa bakarreko / anitzeko kommutadoreak

3.3 Pakete-kommutadoreak.

3.3.1 Osagaiak: sarrerako interfazea, irteerako interfazea, kommutazioaren barne-egitura, prozesadorea.

3.3.2 Ilaren kudeaketa, bidaltze-plangintza, baztertze-irizpideak.

3.3.3 Kommutazioaren barne-egitura bideragailuetan: hiru belaunaldi.

3.3.4 Konexioan oinarritutako sareen bilakaera: X.25, FR, ATM.

3.4 Kommutazio integratua.

3.4.1 Kommutazio hibridoa.

3.4.2 Zirkuitu-kommutazioan oinarritua.

3.4.3 Pakete-kommutazioan oinarritua.

PAKETE-KOMMUTAZIOA



- Pakete-kommutazio sare bateko ekipoetan, kommutazioa beharrezkoa da?
 - Bai, paketeak (datu-unitateak) sarrerako loturatik irteerako lotura egokira garraiatu behar dira...
 - ... ahal den abiadurarik handienez.
 - Bai konexioan oinarritutako sareetan, bai konexioan ez oinarritutako sareetan.
 - Irteerako zein loturatarantz kommutatu, paketeen eremu eta taulen arabera erabakitzen da...
 - ... baina egin beharreko azken ekintza berdina da: paketea kommutatu irteerako loturarantz.
 - Bai sare-mailan, bai lotura-mailan.
 - Bai KEOS bateko bideratzaile batek, bai KOS bateko kommutadore batek, bai Ethernet sare bateko lotura-mailako kommutadore batek... datu-unitateak (paketeak edo tramak) kommutatu behar dituzte.

PAKETE-KOMMUTAZIOA

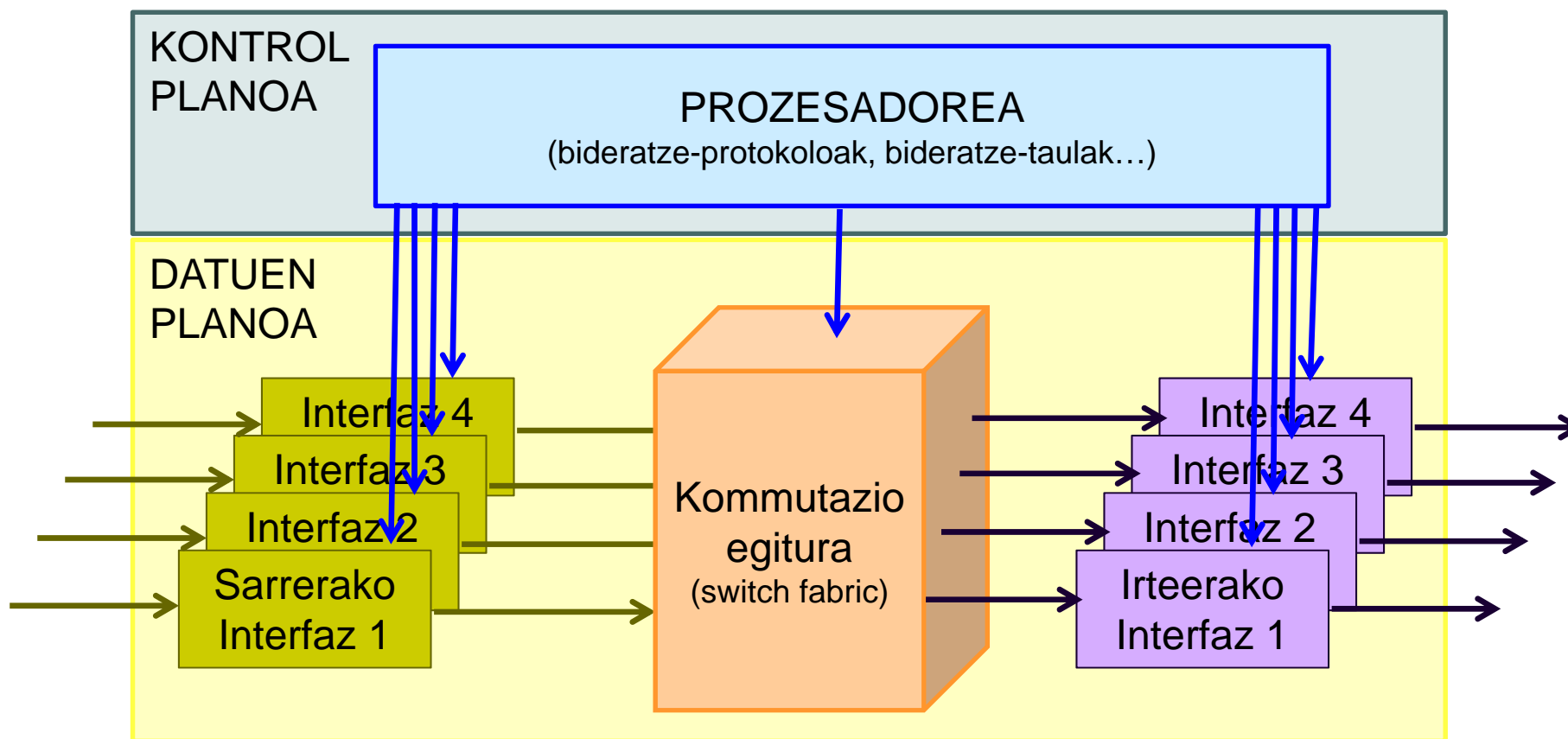


- Adibidez, IP bideratzaile batek...
 - Paketeak (datagramak) kommutatu behar ditu.
 - Sare-mailan lan egiten du.
 - Luzera aldakorreko paketeak bideratzen eta kommutatzen ditu.
 - Paketeek daramaten helbideratze-informazioan oinarrituta, bideratzaileak (router-ak) bideratzearen erabakia hartzen du eta kommutatzen du.
 - Pakete bakoitzarentzat, banan-banan, erabakia hartzen du.
- Pakete-berrigortzearekin lotutako zeregin nagusiak:
 - Paketea begiratu eta aldatu (beharrezkoa bada)
 - Zein irteeratako lotura hartu behar den erabaki.
 - Irteerako interfazerantz kommutatu.
 - Irteerako interfazetik doazen paketeen igorpena kudeatu.

PAKETE-KOMMUTAZIOA



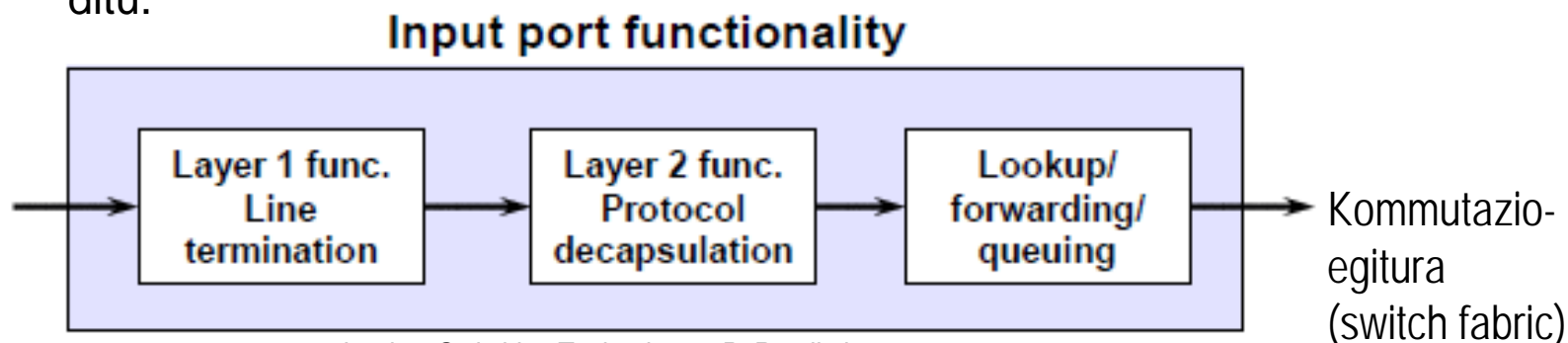
- Pakete-kommutadore baten oinarritzko arkitektura



PAKETE-KOMMUTAZIOA



- Sarrerako interfazea
 - Sarrerako lotura fisikoaren bukaera-funtzioak (1. maila)
 - Lotura-mailako funtzioak (2. maila), loturaren beste muturraren lotura-mailarekin elkarlana egiteko.
 - Bideratzaileen arabera:
 - Kommutazio banatua: zein irteerako portutarantz kommutatzen den erabakitzeko, bideratze-taularen kopia bat dago, sarrerako interfaze bakoitzean.
 - Kommutazio zentralizatua: sarrerako pakete guztiak bideratze-prozesadore zentralizatuari berrigortzen zaizkio, eta honek berrigortzen ditu.

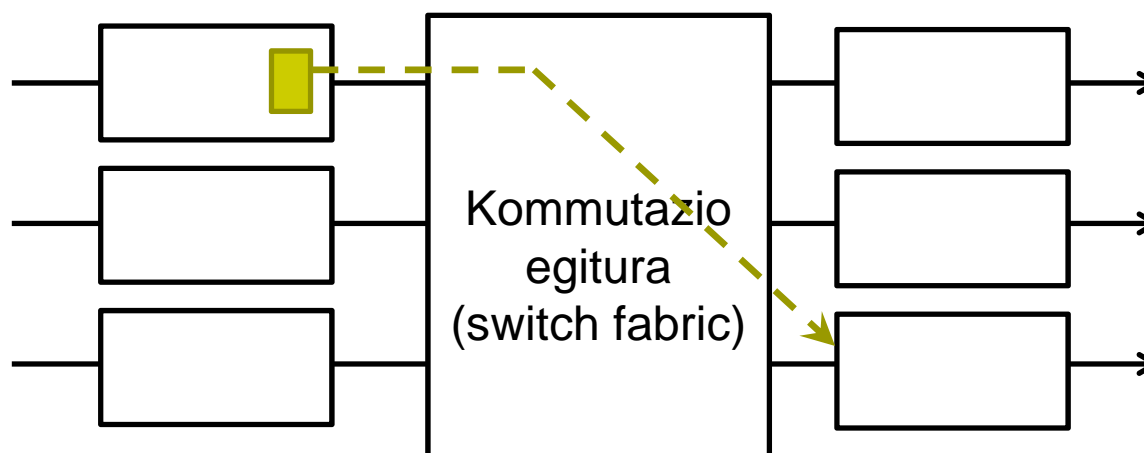


Iturria: «Switching Technology», P. Raatikainen, 2004

PAKETE-KOMMUTAZIOA



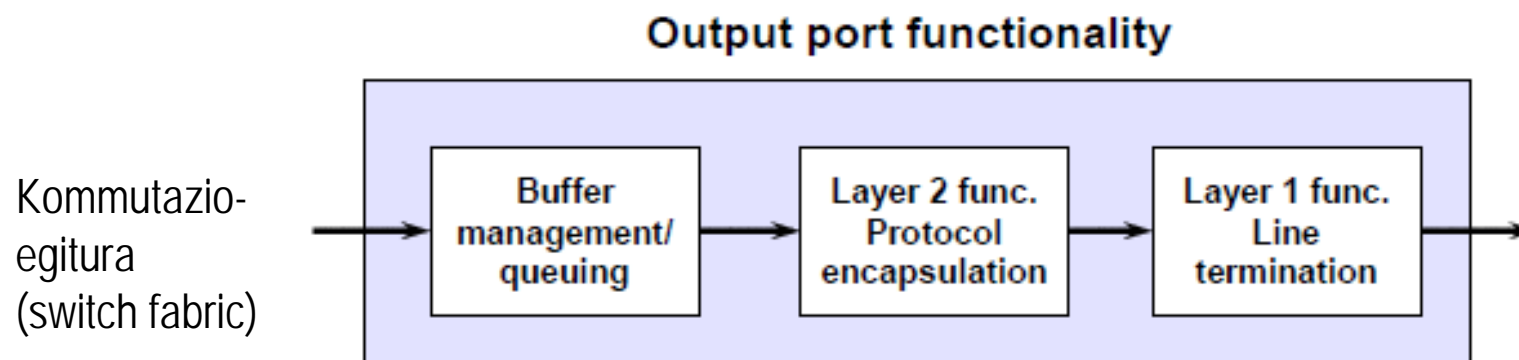
- Kommutazio-egitura (switch fabric)
 - Sarrerako portuetatik irteerako portuetarantz paketeak berrigortzen ditu.
 - Kommutazio-egitura zeharkatzeko, paketearen aurrean, aparteko informazioa gehitzen da, egitura horretatik portu egokirantz bideratzeko.
 - Kommutazio-egituraren irteeran, informazio hori kentzen da.



PAKETE-KOMMUTAZIOA



- Irteerako interfazeak
 - Kommutazio-egituratik jasotako irteerako paketeak gordetzen ditu + gordetako paketeen igorpena planifikatzen du.
 - Lotura-mailako (2. mailako) funtzioak, loturaren beste muturraren lotura-mailarekin lan egiteko.
 - 1. mailako funtzioak: irteerako loturatik bidali behar den seinale fisikoa sortzea.



Iturria: «Switching Technology», P. Raatikainen, 2004

PAKETE-KOMMUTAZIOA

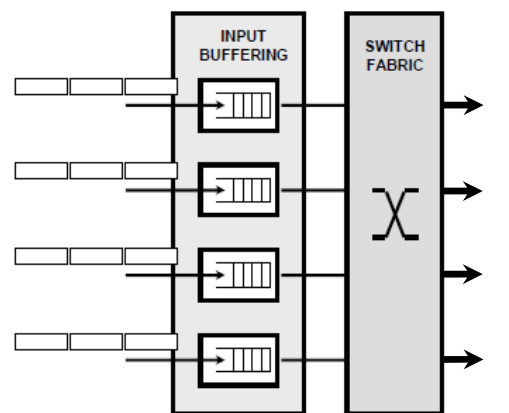


- Prozesadorea
 - Bideratze-protokoloen exekuzioa
 - Bideratze-taula, sare-topologia eta abarren mantenua
 - Sare-kudeaketarako funtzioak
 - Pakete prozesatzea (prozesamendu zentralizatua bada)

PAKETE-KOMMUTAZIOA

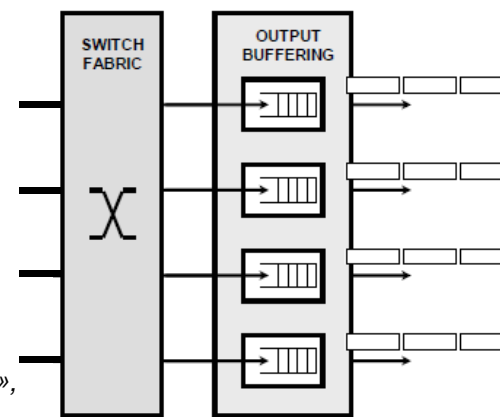


- Biltegitratzea edukitzeko beharra (buffering)
 - Kommutazio-egitura ez bada behar bezain azkarra sarrerako pakete guztiak transferitzeko...
 - Sarrerako interfazean paketea biltegitratu eta bertako ilaran ipini behar da, kommutazio-egiturara bidali ahal izan arte.
 - Irteerako interfazean jasotzen diren paketeak irteerako loturatik une batean bidal daitezkeenak baino gehiago badira...
 - Irteerako interfazean paketeak biltegitratu eta bertako ilaran ipini behar dira, loturatik bidali ahal izan arte.



Biltegitratzea sarreran

*Iturria: «Switching Technology»,
P. Raatikainen, 2004*



Biltegitratzea irteeran

Garraio-sareak 23-24

PAKETE-KOMMUTAZIOA

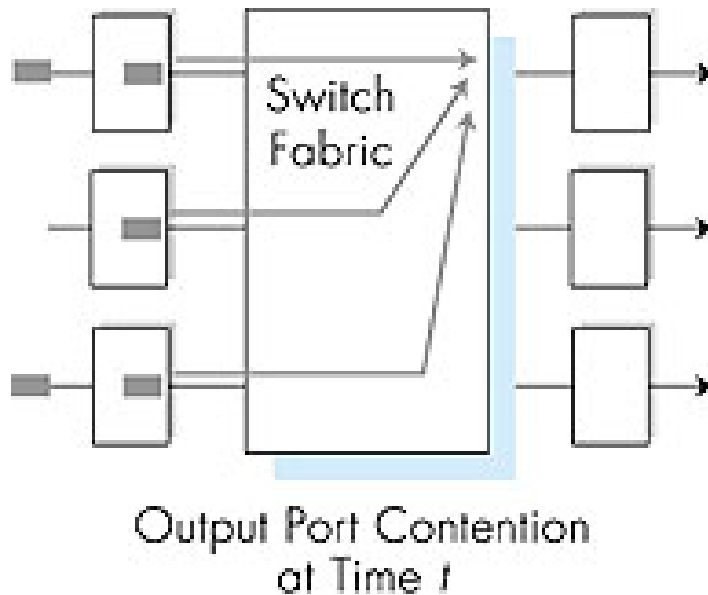


- Paketeen ilarak atzerapenak eragiten dituzte paketeen igorpenetan.
- Ilarak haziz doazen heinean, buffer-aren espazioa agortu egin daiteke → paketeen galera.
- Trafiko zamaren, lerroaren abiaduraren eta konmutazio-egituraren konmutazio-abiaduraren menpekoa da.

PAKETE-KOMMUTAZIOA



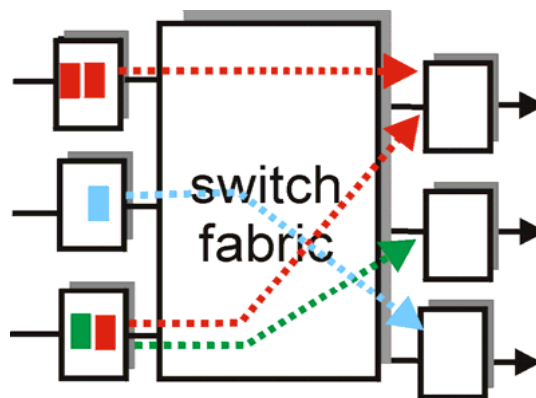
- Biltegitratzea irteeran.
 - Biltegitratzea konmutazio-egiturak datozen paketeen helduerata irteerako lerro-abiadura baino handiagoa denean.





PAKETE-KOMMUTAZIOA

- Biltegitratzea sarreran.
 - Sarrerako interfazeetan biltegitratzea: konmutazio-egitura ez bada behar bezain azkarra sarrerako portuetatik aldi berean hel daitezkeen pakete guztiak konmutatzeko.
 - Head-of-Line (HOL) blokeoaren posibilitatea: irteerako portu batera konmutatu ezin den pakete batek sarrerako portuko gainerako paketeak blokeatzen ditu, nahiz eta pakete horiek igor daitezkeen.
 - Hobekuntza: sarrerako interfazean, buffer bat edukitzea irteerako interfaze bakoitzarentzat → HOL ekiditen da.

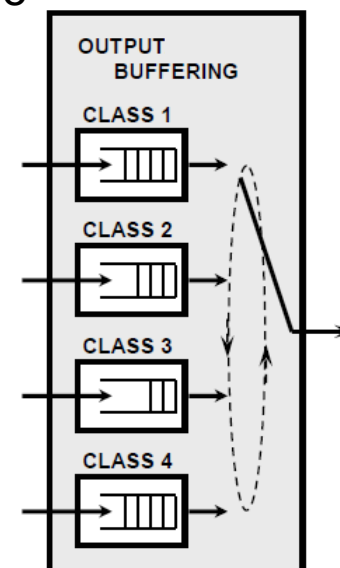


output port contention
at time t - only one red
packet can be transferred

PAKETE-KOMMUTAZIOA



- Paketeen igorpenaren planifikazioa (scheduling) irteerako interfazean.
 - Irteerako ilaran, zenbait pakete daude biltegituta, bidaliak izateko itxaroten; zein bidali lehenengo?
 - Teknika ezberdinak:
 - FCFS (First-Come-First-Served)
 - Trafiko klase ezberdinentzat buffer banatuak. Hainbat irizpide inplementa daitezke:
 - Lehenetasunak: lehenago bidali lehenetasun altuko ilaretako paketeak.
 - Klase ezberdinen artean, irteerako loturaren banaketa zuzena.
 - ...
 - Erabat funtsezkoa QoS (Quality of Service) delakoa bermatzeko



Iturria: «Switching Technology»,
P. Raatikainen, 2004

PAKETE-KOMMUTAZIOA



- Paketeak baztertzeko irizpidea
 - Ez badago lekurik pakete berri bat (sarrerako edo irteerako) buffer baten biltegiratzeko, eta pakete berri bat heltzen bada, zein baztertzen da?
 - Aukera ezberdinak:
 - Heldu berri den paketea.
 - Ilaran dagoen paketeetako bat, heldu berri denari lekua uzteko.
 - Aurrez markatu lehenago baztertu nahi diren paketeak, eta, beharrezkoa bada, markatutako pakete horiek baztertu lehenengo.
 - ...

PAKETE-KOMMUTAZIOA

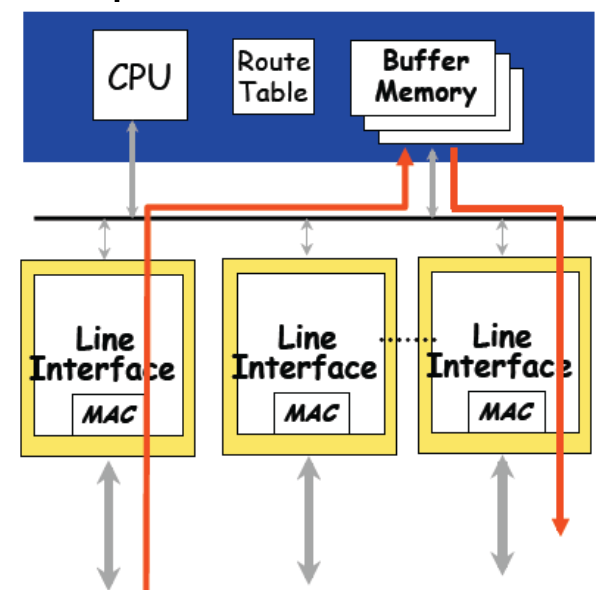


- Ezaugarri hauen mendekoa da pakete batek router bat zeharkatzen behar duen denbora:
 - Sarrera/irteerako portuetan paketeak ilaran jartzea (faktore nagusia).
 - Sarrera/irteerako interfazeen daukan lotura-mailako prozesatze-denbora.
 - Bideratze-taulan (edo konexio-taulan) bilaketa-eragiteka burutzeko daukan abiadura.
 - Desiragarria: pakete bat prozesatzea beste pakete bat jasotzeko behar den denbora baino lehenago → lerroaren abiadurako prozesamendua.
 - Arazoa: lerro-abiadura oso altuak. Adibidez, 2,5 Gbps lotura, 256 byteko paketeak → 1 miloi bilaketa segundoko.
 - Tauletan sarrera baten bilaketa optimizatzeko hainbat teknika.
 - Paketeek zein abiaduratan zeharkatzen duten konmutazio-egitura.
 - Router arkitekturak (hiru nagusiki, guztiak gaur egungo ekipo komertzialetan daudenak).
- Horrek eragina dauka routerraren pakete-prozesatzeko kapazitatean (kommutatutako bit/s-tan neurtua):

PAKETE-KOMMUTAZIOA



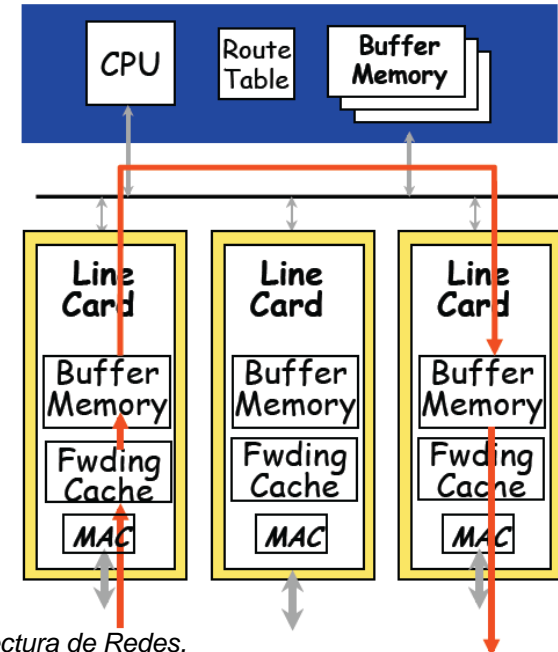
- Memoria zentral bidezko konmutazioa (1. belaunaldia)
 - Prozesadore zentral bakarra + interfaze-txartelak (prozesadore gabe) + bus.
 - Sarrerako portutik memoriara kopiatzen da paketea.
Prozesadoreak irteerako portua begiratzen du bideratze-taulan.
Prozesadoreak irteerako portuan kopiatzen du paketea.
 - Paketea bi bider bidaltzen da busetik → pakete berrigortzeko abiadura maximoa busaren abiaduraren erdia da.
 - 1. belaunaldiko router-ak. Ohiko abiadura agregatua $< 0,5$ Gbps.
 - PC bat horrela konfiguratu daiteke switch edo router gisa funtzionatzeko.



PAKETE-KOMMUTAZIOA



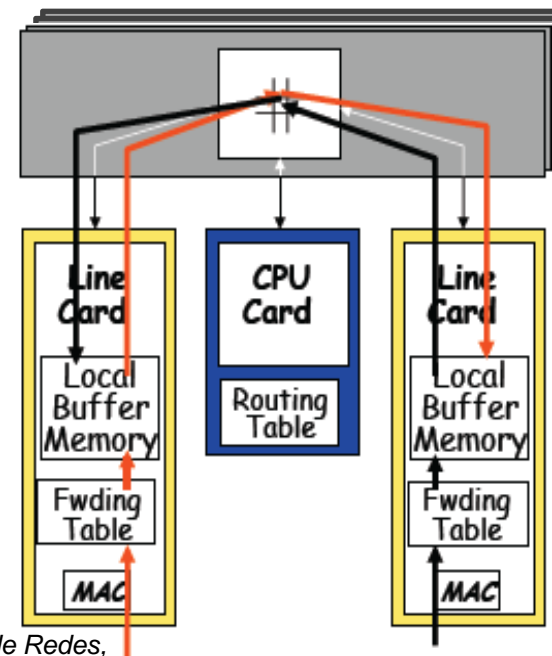
- Bus bidezko konmutazioa (2. belaunaldia)
 - Prozesadorea interfazeko txartelean + bus.
 - Prozesadore nagusiak bideratze-taula sortu eta eguneratzen du, eta sarrerako interfazeetan ere kopiatzen du.
 - Berrigortze-erabakia sarrerako portu bakoitzean har daiteke → berrigortze deszentralizatua (botila-lepoak murrizten ditu).
 - Cache memoriak erabakiak bizkortzeko (oraintsu erabilitako sarrerak).
 - Paketea sarrerako portuko memoriatik irteerako portukora kopiatzen da.
 - Paketea behin pasatzen da busetik → busarena da abiadura maximo agregatua.
 - Istant batean, busetik pakete bakarra pasa daiteke: botila-lepoa.
 - 2. belaunaldiko router-ak. Ohiko abiadura agregatua < 5 Gbps.



PAKETE-KOMMUTAZIOA



- Interkonexio-sare bidezko konmutazioa (3. belaunaldia)
 - Aldi berean hainbat transferentzia jasateko gai den konmutazio-egitura konplexuago batez ordezkutzen da busa (*switched backplane*).
 - NxN gurutzatze-puntuako matrizea (puntuak aktibo daude pakete baten igorpenak irauten duen denboran).
 - N buseko broadcast.
 - Banyan sareak.
 - ...

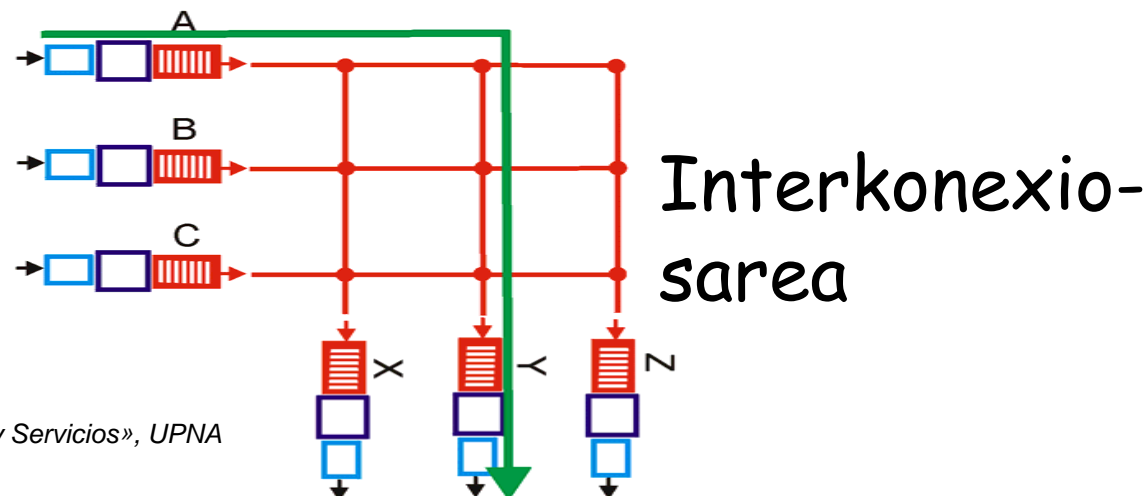
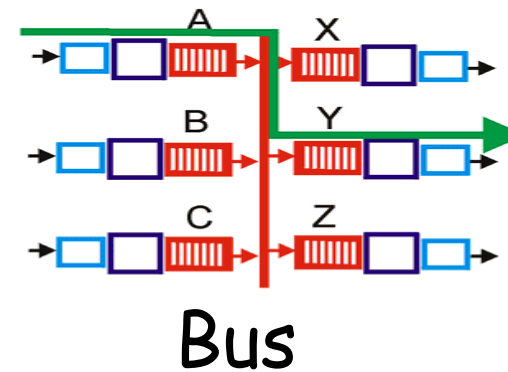
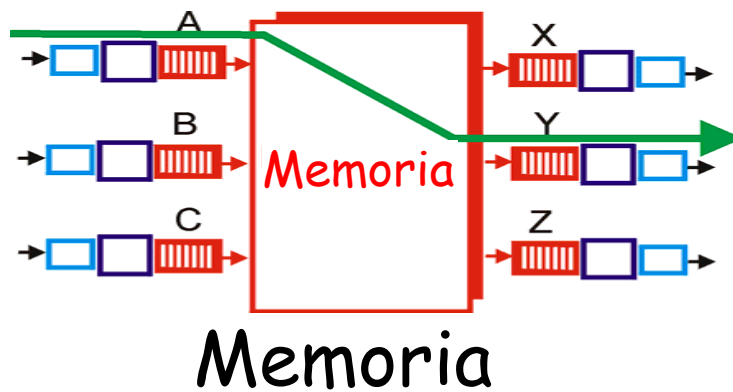


Iturria: «Arquitectura de Redes,
Sistemas y Servicios», UPNA

PAKETE-KOMMUTAZIOA



- Kommutazio-egituren laburpena

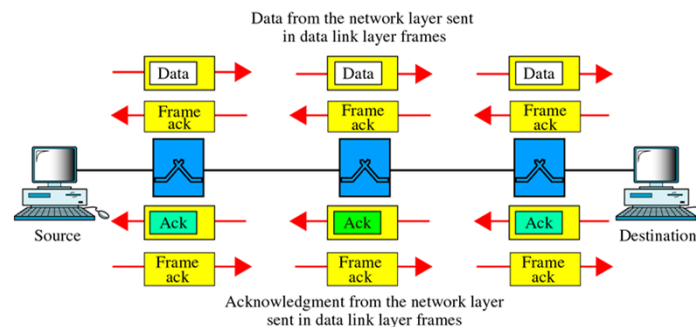


PAKETE-KOMMUTAZIOA



- Konexioan Oinarritutako Sareen bilakaera
 - Hasieran, kalitate baxuko transmisio-bideak, errore-tasa altuekin.
 - Protokolo oso sendoak (adibidez, X.25 protokolo-pila):
 - Errore-kontrol ugari (2. mailan eta 3. mailan)
 - Fluxu-kontrol mekanismo erredundagarriak (2. mailan eta 3. mailan)
 - Paketearen tamaina txikia
 - Komunikazio fidagarri bat lortzeko, berrigorpenak egitea errazten du...
 - ...baina, aldi berean garestia eta geldoa da.
 - Datu-pakete bat igortzeko behar den mezu kopurua.
 - Tarteko nodo bakoitzean, VC bakoitzaren informazioa duen egoera-taula, errore kontrolarekin eta fluxu kontrolarekin erlazionatutako alderdiak kudeatzeko.
 - Tarteko nodo bakoitzaren prozesatze-kostua (2. mailan eta 3. mailan).
 - Transmisioa geldotzea.

Iturria: «Transmisión de datos y redes de comunicaciones», Forouzan, 2006



PAKETE-KOMMUTAZIOA



- Konexioan Oinarritutako Sareen bilakaera
 - Kalitate altuko transmisio-loturen gainean erabiltzen diren transmisio digitaleko teknologietarantz da bilakaera.
 - Errore-probabilitate baxua, datuen transmisio-abiadura altuak
 - Aurreko ikuspuntuaren kostua ez da beharrezkoa, eta, gainera, kaltegarria da.
 - Ikuspuntu berria: protokoloak sinplifikatu, konmutazioa modu azkarragoan egiteko → Fast Packet Switching (pakete-kommutazio azkarra).
 - Eraginkortasuna handitzen dute...
 - ...eta beharrezkoa ez den gainzama kendu.
 - Mailu baxuetako fluxu-kontrola eta errore-zuzenketa kentzen dute, beharrezkoa bada muturretako goi-mailak implementa ditzaten utziz.
 - Kommutazio azkarreko teknikak:
 - Tramak berrigortzea (Frame Relay)
 - Gelaxkak berrigortzea (Cell Relay)

PAKETE-KOMMUTAZIOA



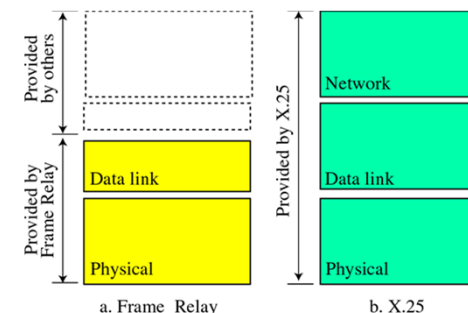
- Frame Relay (FR)
 - FRk, bi DTEren artean, informazio-transferentzia egiten duen konexioan oinarritutako zerbitzu bat ematen du. Abiadura dezentea da eta kostua baxua, hau da, modu soil bat.
 - Eskaintzen duen zerbitzua, oinarrian, hauxe besterik ez da:
 - Tramaren hasiera eta amaiera zehaztea.
 - Transmisioan gertatzen diren erroreak detektatzea
 - Erroredun tramak baztertzea.
 - Lotura-mailako multiplexazioa eta konmutazioa.
 - Lotura-mailako Konexio Identifikatzaileak (Data-Link Connection Identifier, DLCI), lotura bakar baten datu fluxu anitzak multiplexatzeko.
 - Kongestio-kontrola.
 - Sareak erabiltzaileei kongestioa gertatzen ari dela jakinarazteko mekanismo sinpleak.
 - Beharrezkoa bada, amaierako ekipoei gauzatzen dituzte funtzio gehienak, sareak egin beharrean.
 - Fluxu kontrola, errore kontrola...

PAKETE-KOMMUTAZIOA

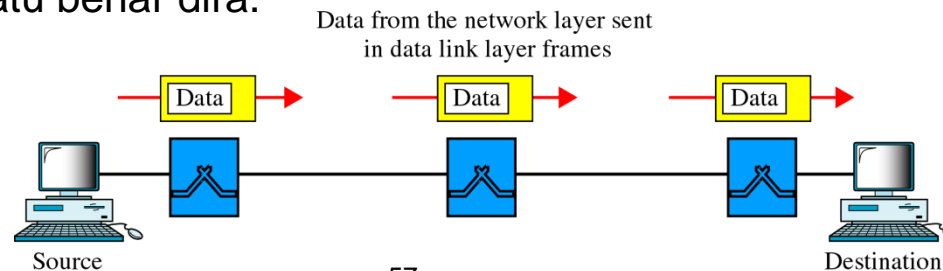


- Frame Relay (FR)
 - VCen multiplexazioa eta konmutazioa 2. mailan egiten da (3. mailan egin beharrean).

- Prozesatze-geruza bat kentzen da (ez dago sare-mailarik).
- Dagoeneko sare-maila baduten protokoloak (adibidez, TCP/IP pila) garraiatzeko eraginkorra, enbor-sare gisa.



- Sareak lan egiten duen mailetan ez dago fluxu-kontrolik, ezta errore-kontrolik ere: hobekuntza errendimenduan.
- Ez dago hartu izanaren adierazpenik (ez positiborik ez negatiborik), ez dago berrigorpenik...
- Kontrol hauek beharrezkoak badira, goiko mailetan, muturretik muturrera, implementatu behar dira.

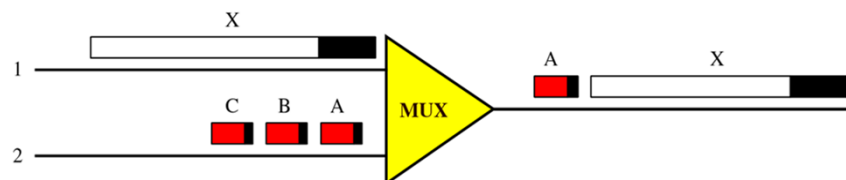


Iturria: «Transmisión de datos y redes de comunicaciones», Forouzan, 2006

PAKETE-KOMMUTAZIOA



- Frame Relay-ren arazoak
 - Tramaren luzera aldakorra → Atzerapen aldakorra.
 - Datuak abiadura konstantez emateko arazoa.



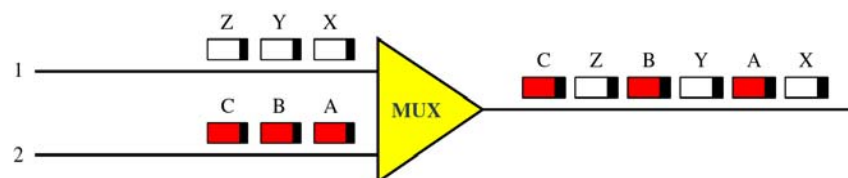
*Iturria: «Transmisión de datos y redes de comunicaciones»,
Forouzan, 2006*

- Datu-trafikoak, normalean datu-unitate handiak.
- Audio- eta bideo-trafikoak, normalean, txikia.
- Biak nahasteak bideo- eta audio-trafikoentzat onartu ezin diren atzerapenak dakartza.
 - Bi motatako trafikoak ez ziren multiplexatu beharko lotura baten: loturen behar handiagoa, beren erabilera txarragoaz.
 - FR ez da egokia atzerapenarekiko sentikorrak diren datuentzat (bideoa eta audioa denbora errealean).
- Tramen software prozesatzea
 - Prozesatze konplexuagoa tamaina ezberdinak maneiatzeko.
 - Goiburutik informazioa irakurri behar da zein bit zein trama den jakiteko.
 - Trama osoa jaso arte itxaron behar da, CRCren egiaztapena egin eta berrigortzeko (beharrezkoa bada).

PAKETE-KOMMUTAZIOA



- Arazo horiek konpontzeko, Cell Relay (gelaxka-kommutazioa) ateratzen da.
 - Cell Relayk atzerapen aldakorak saihesten ditu.
 - Askoz azkarragoa den hardware kommutazioa erabiltzea ahalbidetzen du.
- Cell Relay-ren oinarria:
 - Luzera finkoko datu unitateak erabili (gelaxkak/cells), egitura berdinarekin, garraiatzen ari den zerbitzuarekiko (ahotsa, bideoa, datuak) menpekotasunik eduki gabe.



*Iturria: «Transmisión de datos y redes de comunicaciones»,
Forouzan, 2006*

PAKETE-KOMMUTAZIOA

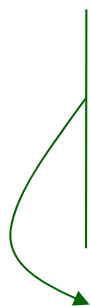


- Cell Relay: kontuan hartu beharreko puntuak gelaxkaren tamaina zehazterako orduan.
 - Transmisioaren efizientzia
 - Kontroleko informazioaren gainzama
 - Gelaxkaren atzerapena
 - Paketatzearen atzerapena
 - Kommutazio atzerapena
 - Despaketatzearen atzerapena
 - Inplementazioaren konplexutasuna
 - Buffer-en memoria
 - Beharrezkoa den kommutazio-azkartasuna

PAKETE-KOMMUTAZIOA



- Cell Relay-n, gelaxka guztiek kontrol-informazioa (minimoa) duen goiburu bat daukate. Goiburuan, beste eremu batzuren artean, zera sartzen da:
 - Gelaxka konmutatzeko beharrezko informazioa.
 - Goiburuaren erroreak begiratzeko kodea.
- Ekipo batek gelaxka bat jasotzen duenean, goiburua irakurri eta prozesatu ondoren, badaki baztertu behar duen ala ez, eta norantz konmutatu behar duen.
 - Goiburuaren erroreak bakarrik begiratzen dira, ez gelaxka osoarenak.
- Abantailak:
 - Hardware konmutazio izan daiteke.
 - Goiburua irakurrita eta irteerako lotura zein den erabakita daudenean, gelaxka irteerako loturatik konmuta daiteke.
 - Gelaxken tamaina finkoa da.
 - Konmutazio-erabakia hartzeko beharrezko informazioa goiburuan dago.
 - Konmutazio-abiaduraren gehitzea lortzen da.
 - Ez da beharrezkoa itzaroten egotea trama osoa jaso arte, errorerik dagoen begiratu eta, ez badago, irteerako lotura zehaztu eta trama berrigorri.
 - Atzerapena nodoan (kasurik hoberenean): goiburuaren hartze (errezepzio) denbora + prozesatze txiki bat.
 - Atzerapen gutxi gorabehera konstateak.
 - Tamaina finkoko gelaxkak, txiki samarrak.
 - Prozesatze berdina.
 - Atzerapen txikiak eta gutxi gorabehera konstanteak.
 - Zirkuitu-konmutazioan daudenen baliokideak: garrantzitsua atzerapenarekiko sentikorra den trafikoarentzat.



PAKETE-KOMMUTAZIOA



- ATM: gelaxka-kommutazioan eta konexioan oinarritutako informazio-transferentziaren teknika.
 - 53 byteko gelaxkak erabiltzen ditu (5+48):
 - Tamaina finkoko gelaxkak: hardware kommutazioa errazten du; atzerapen baxua, konstantea eta aurrean daitekeena; abiadura oso altuak.
 - Gelaxka txikiak: atzerapenarekiko sentikorra den trafikoaren transmisioa errazten du.
 - Errore- eta fluxu-kontroletarako kapazitate minimoa dauka.
 - Gelaxken prozesatze-kostua murrizten da.
 - Gelaxka bakoitzean beharrezkoa den bit gehigarri kopurua murrizten da.

3. GAIA –KOMMUTAZIOA.

Edukia



3.1 Kommutazioa.

3.1.1 Sarrera.

3.1.2 Kommutazio motak: zirkuitu-, pakete- – kon. oin., kon. ez oin.

3.2 Zirkuitu-kommutadoreak.

3.2.1 Espaziozko / denborazko / bi dimentsioko kommutazioa.

3.2.2 Etapa bakarreko / anitzeko kommutadoreak

3.3 Pakete-kommutadoreak.

3.3.1 Osagaiak: sarrerako interfazea, irteerako interfazea, kommutazioaren barne-egitura, prozesadorea.

3.3.2 Ilaren kudeaketa, bidaltze-plangintza, baztertze-irizpideak.

3.3.3 Kommutazioaren barne-egitura bideragailuetan: hiru belaunaldi.

3.3.4 Konexioan oinarritutako sareen bilakaera: X.25, FR, ATM.

3.4 Kommutazio integratua.

3.4.1 Kommutazio hibridoa.

3.4.2 Zirkuitu-kommutazioan oinarritua.

3.4.3 Pakete-kommutazioan oinarritua.

KOMMUTAZIO INTEGRATUA



- Trafiko mota bakoitzarentzat sare-azpiegitura ezberdina:
 - Operadoreen aldetik inbertsio ekonomiko handien beharra izaten da.
 - Erabiltzaileak sare-interfaze ezberdinak behar izaten ditu.
- Sare-azpiegitura bakarra ezaugarri oso ezberdinak dituzten trafikoentzat:
 - Transmittitu nahi diren fluxu guztiei eskaintzen zaien QoS-a optimizatzen duen konmutazio-teknika bat erabili behar du.
 - Konmutazio integratu bat lortzeko soluzioak:
 - Konmutazio hibridoa, zirkuituak eta paketeak.
 - Trafiko mota guztietarako zirkuitu-konmutazioa.
 - Trafiko mota guztietarako pakete-konmutazioa.

KOMMUTAZIO INTEGRATUA



- Kommutazio hibridoa.
 - Sarean kommutazio-teknika biak konbinatu: zirkuitu- eta pakete-kommutazioa.
 - Nodo bakoitzak zirkuitu-kommutadore eta pakete-kommutadore baten funtzionalitateak implementatzen ditu. Bata bestearengandik modu independentean.
 - Trafiko mota bakoitzarekin teknikarik komenigarriena erabiltzen da. Adibidez, zirkuitu-kommutazioa ahotsarekin eta pakete-kommutazioa datuekin.
 - Loturen kapazitatea zatitu egiten da: zati bat zirkuitu-kommutaziorako eta gainerakoa pakete-kommutazioarako.
 - Esleipen finkoa:
 - Zirkuitu-kommutaziorako esleitutako kanal kopurua finkoa da. Erabilera horretarako daude erreserbaturik, berdin dio erabili ala ez erabili.
 - Malgutasun gutxikoa eta eraginkortasun gutxikoa, baina kudeaketa erraza.
 - Esleipen dinamikoa:
 - Une batean zirkuitu-kommutaziorako erabiltzen ez den loturaren kapazitatea, pakete-kommutaziorako erabili daiteke.
 - Zirkuitu-kommutaziorako kanal kopuru minimo bat erreserbatu daiteke.
 - Eraginkortasun handiagoa loturaren kapazitatearen erabileran, baina konplexutasun handiagoa.
 - GPRS trafikorako GSM kanalen erabilera printzipio honetan oinarritzen da.

KOMMUTAZIO INTEGRATUA



- Trafiko mota guztietarako zirkuitu-kommutazioa.
 - Zirkuitu-kommutazioko azpiegitura bakar batean, trafiko mota ezberdinak integratu.
 - Pakete-trafikorako zirkuitu-kommutazioak dituen mugak murrizteko hobekuntzak:
 - Zirkuitu Kommutazio Azkarra (Fast Circuit Switching) edo Boladen Kommutazioa (Burst Switching).
 - Saio osoan zehar ez da mantentzen ezarritako zirkuitua, baizik eta zirkuitua ezarri eta askatu egiten da automatikoki jarduera-periodo edo bolada bakoitzean.
 - Bideragarria da, soilik, zirkuituen ezarpen-denbora oso baxua bada.

KOMMUTAZIO INTEGRATUA



- Trafiko mota guztietarako pakete-kommutazioa.
 - Pakete-kommutazioko azpiegitura bakar batean, trafiko mota ezberdinak integratu.
 - Erronka nagusia: denbora errealeko trafikoaren atzerapena.
 - Denbora errealeko trafiko-fluxuak pakete-kommutaziora egokitzea.
 - Ahots/bideo-fluxuak bihurtu fluxu etenetan, paketeetan bidal daitezkeenak: laginketa, paketizazioa.
 - Hobekuntzak: isiltasunaldiak kendu, ahots/irudi konpresio-teknikak erabili, seinale horietan dagoen erredundantzia oinarrituz, atzerapenaren aldakortasunaren konpentsazioa...
 - QoS (Quality of Service) mekanismoak inplementatu, trafiko mota bakoitzari tratamendu bereizia eman ahal izateko (fluxu-tratamendua).
 - Hasieratik, QoS-a inplementatzen duten arkitekturen eta protokoloen definizioa (adibidez, ATM)
 - Gehitu QoS mekanismoak existitzen diren protokolo eta azpiegiturei (lehenago QoS-a jasaten ez zuten protokolo eta azpiegiturak), adibidez, IP.

BIBLIOGRAFIA



- Behrouz A. Forouzan, «Transmisión de datos y redes de comunicaciones», 4. arg, 2007. McGraw-Hill
- Williams Stallings, «Comunicaciones y Redes de Computadores», 7. arg., 2004. Pearson Educación
- Jorge Martínez, «Redes de comunicaciones», 2002. Apuntes de conmutación de la UPV (Universidad Politécnica de Valencia).
- Kurose, Ross, «Redes de computadoras, un enfoque descendente», 5. arg., 2010. Pearson Educación.
- Seifert, Edwards, «The All-New Switch Book: The Complete Guide to LAN Switching Technology», 2. arg., 2008. Wiley (17. kapitulua)

Zirkuitu-
kommutazioa

Pakete-
kommutazioa

Pakete-
kommutazioa

OHARRA: zenbait irudi bibliografia honetatik hartu dira