



Escola Politècnica Superior  
d'Enginyeria de Vilanova i la Geltrú

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

# RESUM

## PROJECTE FI DE CARRERA

**TÍTOL:**

**Estudi i simulació d'un node OBS**

**AUTOR:** Guillem Miró Closa

**TITULACIÓ:** Enginyeria Superior en Automàtica i Electrònica Industrial

**DIRECTOR:** Daniel Guasch Murillo

**DEPARTAMENT:** Enginyeria Telemàtica, Dept. - 171

**DATA:**

## Introducció

La massificació d'informació en les xarxes de transport fa que la fibra òptica sigui una de les tecnologies que s'estigui implantant, principalment degut a la seva rapidesa i gran capacitat de càrrega.

L'arquitectura OBS (*Optical Burst Switching*) per a xarxes de transport es creu que és el mètode de gestió de tràfic (principalment IP) a través de fibra òptica que s'implantarà a més curt termini. Les seves característiques i el punt on es troba la tecnologia actual el fan prioritari enfront dels altres tipus d'arquitectures existents per a fibra.

Un node OXC és el node que es troba enmig dins una xarxa òptica de transport (OTN) i s'encarrega de gestionar-ne el trànsit.

En les fonts documentals, ja s'han dut a terme estudis del funcionament del node OXC. Molts dels estudis són desenvolupaments matemático-probabilístics que simulen el comportament del node (p.ex. [8][18]). En altres casos, existeixen alguns sistemes tancats que permeten aproximar-se al cas real però amb unes característiques molt restrictives (p.ex. [10][14]). El present treball s'ha centrat en donar una perspectiva més flexible del node OXC i la xarxa OBS, tot desenvolupant un node òptic simulat sobre el qual estudiar la gestió del trànsit entrant.

L'Objectiu principal que s'ha proposat en la realització d'aquest projecte és la simulació d'un node intermig de fibra òptica (altrament anomenat OXC) per a una xarxa de transport del tipus OBS. Per implementar-lo s'ha pensat en l'eina de programació MATLAB, eina ja consolidada per a dur a terme aquestes simulacions.

OBS funciona a partir d'un trànsit format per ràfegues (Bursts) de dades que s'envien per la fibra òptica fins al node destí, precedides prèviament per uns paquets més petits, anomenats reserves, que s'encarreguen de, en ser tractats a través del node, reservar els recursos necessaris per encaminar correctament la ràfega que indexen i així aquestes, quan arriben al node, són reenviades directament.

Aquestes ràfegues poden contenir diversos paquets de diferents tipus de xarxes electròniques (paquets IP, ATM, Frame Relay); els paquets són agrupats i enviats com un conjunt a través de la fibra cap al destí.

Per a l'emulació d'aquest node intermig virtual, objectiu principal del projecte, s'ha proposat assolir-se diferents objectius secundaris però igualment importants, que complementaran el projecte i permetran veure clarament el funcionament d'aquest node.

Un primer objectiu a assolir és la creació d'un trànsit de dades, és a dir, un conjunt de reserves i bursts de dades que circularan per la xarxa òptica i ens permetran veure com són tractades pel node. La creació d'aquest s'hauria de poder fer de forma específica o mitjançant distribucions estadístiques tal i com es troba indicat en les fonts en què s'ha basat el projecte. En el trànsit que es proposa implementar han de quedar ben diferenciats els paquets de reserva dels bursts de dades; per tant, s'intentarà simular una

xarxa WDM que incorpori diferents fluxos (similar a longituds d'ona d'una mateixa fibra) per on circularan reserves i ràfegues.

S'ha de tenir present que un node no només rep un sol flux de dades i les seves reserves, sinó que, degut a les diferents longituds d'ona existents dins d'una mateixa fibra, hi haurà diferents fluxos de dades. Aquests fluxos de dades poden tenir les seves reserves agrupades en el mateix flux de control o no.

Una de les especificacions bàsiques en fibra òptica és la utilització de la fibra en un sol sentit de transmissió, és a dir, per una xarxa de transport (OTN) existiran dos fibres; per una, els nodes intermig (OXC) rebran tot el trànsit que va en un sentit, i, per l'altra, tot el trànsit que va en sentit contrari. Així se'n millora el rendiment i permet al node una millor gestió dels feixos de llum entrants. En aquest projecte, s'estudiarà el processament del node en una única direcció, ja que, per a la implementació del node, gestionant una i altra fibra seria només duplicar la funció que es desenvoluparà.

Un cop s'hagi aconseguit generar un tràfic o trànsit, un factor important seria poder-lo veure de forma clara. La simulació d'un trànsit és un altre dels aspectes importants en què s'ha basat aquest projecte. Dins els paquets existeixen diversos camps a tenir en compte; s'ha de buscar una forma clara de mostrar el trànsit de manera relativament fàcil i que, en una gràfica, es puguin apreciar les seves característiques. Per als estudis que es duran a terme seran necessàries les funcions que ens permetin dibuixar el trànsit i veure'n les característiques d'una forma ràpida i senzilla, ja que, per mínim que sigui aquest trànsit generat, treballar directament amb les estructures del paquet esdevé costós en tots els aspectes.

Un cop assolits aquests objectius, es passaria a la creació d'una funció que simulés el comportament del node (OXC), part principal a desenvolupar. Un node és simplement un sistema que, rebent un trànsit entrant de paquets de dades i reserves, el processa segons les especificacions indicades per OBS i pel desenvolupador, i en dona un trànsit sortint amb els paquets ja tractats i encaminats.

S'intentarà fer el node com una eina oberta i didàctica, és a dir, la forma d'encaminar els paquets, de gestionar la prioritat de les reserves seran funcions molt ben delimitades de manera que un usuari mínimament expert, i seguint les indicacions de la memòria, pugui especificar-li diferents comportaments i fer-ne estudis posteriors.

Com s'ha dit, la finalitat en aquest cas és la creació del node. Els estudis sobre la gestió del trànsit i quin és el millor comportament d'aquest serien futures vies d'implementació.

En algunes fonts s'indica l'existència de software en el mercat per a dur a terme aquest tipus d'estudis. Es tracta d'un software que ens permet fer simulacions d'un entorn real tot restringint-ne les seves característiques. En el present projecte s'intenta donar unes funcions bàsiques, completament obertes, amb les quals l'usuari pot desenvolupar estudis per a un gran nombre de casos possibles. El codi s'intentarà fer el més estructurat i esglaonat possible per a permetre'n l'escalabilitat en futures investigacions.

A més, es gestionaran un conjunt de valors estadístics que ens permetran conèixer el comportament del node a l'hora de càrrega molt massificada d'un flux, colls d'ampolla, dades errònies, ...

Per a facilitar l'accés i les proves a usuaris iniciats i no iniciats, s'ha pensat també en la implementació d'una interfície gràfica, eina de programació gràfica ja existent en les últimes versions de MATLAB, que aclareixi el procés de creació del trànsit, processament a través del node i visualització dels resultats.

Finalment s'englobaran tots els resultats obtinguts i es donarà una idea del funcionament del node, dels seus pros i els seus contres i es veurà la viabilitat de la implementació d'aquest tipus d'arquitectura (OBS) en les xarxes òptiques actuals. A més a més, el fet de deixar-lo obert serveix com una eina per a possibles simulacions futures. N'anomenarem algunes.

## Desenvolupament del Projecte

### Estat de l'Art

Actualment, degut a la massificació de les xarxes d'ordinadors, les dades a transmetre a través d'elles són moltes i de tipus molt variat. Es fa necessari tenir xarxes a llargues distàncies cada cop més ràpides i segures. El procés de transmissió de la informació comporta tres passos diferents des del punt on s'emet fins al punt on es rep la informació transmesa; les dades passen a través de: xarxa d'accés, xarxa de transport i xarxa d'accés. Les xarxes d'accés fan de pont entre l'emissor i la xarxa de transport, aquesta darrera de més grans dimensions. En les xarxes de transport intervien diferents tècniques, com és ara comunicacions sense cable, per satèl·lit, per cable i per fibra. No són tècniques que competeixen entre elles sinó que més aviat es complementen.

La fibra està esdevenint un dels materials més innovadors. Gràcies a la seva major velocitat, capacitat i al fet que és immune a les interferències elèctriques, la fibra s'està implantant en el sector de les comunicacions.

Les anomenades OTN (*Optical Transport Network*) seran la base per a les futures xarxes de transport. L'estructura d'aquestes xarxes és una estructura de commutació òptica similar a l'estructura d'una xarxa elèctrica.

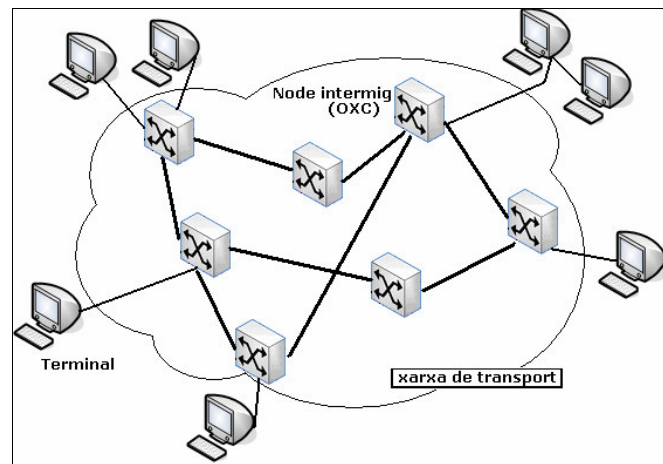


Fig. 1. Xarxa d'interconnexió òptica (OTN)

En la fig. 1 es pot apreciar un esquema d'una xarxa OTN. El node que s'encarrega d'encaminar el flux òptic de dades cap a destí és l'anomenat OXC (Optical Cross Connect) i és el node en què se centrarà el projecte. També existeixen uns nodes frontera o terminals entre la xarxa d'accés i la xarxa de transport que s'encarreguen de fer la conversió del trànsit des del medi elèctric al medi òptic.

Una **Arquitectura** és la manera que s'ha definit per a fer circular els paquets entre extrems terminals. Actualment hi ha diversos estudis per a l'optimització del transport de paquets, principalment paquets IP, a través d'aquestes xarxes de fibra òptica. Una possible arquitectura per a xarxes òptiques és l'anomenada OBS (*Optical Burst Switching*) que se suposa com l'arquitectura a implementar a més curt termini enfront de l'arquitectura OPS (*Optical Packet Switching*).

En el futur, es pensa que les xarxes òptiques es gestionaran segons l'arquitectura OPS, que basa la seva implementació en la utilització d'una RAM òptica que guardaria els paquets òptics abans d'encaminar-los cap a la sortida, però aquesta memòria encara es troba en estudi. El fet que no existeixi actualment cap memòria òptica és el principal handicap per a la utilització d'OPS. Això fa que **OBS** sigui la solució a curt termini per a les xarxes; combina els beneficis d'OPS i d'encaminament per longitud d'ona dins les possibilitats tecnològiques existents i n'intenta suplir les deficiències.

En OBS, les dades a transmetre són agrupades als caps de la xarxa (nodes límit o *edge routers*), segons la seva adreça de destí i amb característiques similars. Donen lloc a unitats de mida variable anomenades ràfegues (**Bursts**), d'un rang comprès entre 10Kb i 30Mb [15], que seran transmeses a través de la xarxa òptica. Abans que el node límit transmeti la ràfega, es crea i s'envia un paquet de control (**reserva**) cap al destí amb informació sobre l'encaminament, la gestió i la prioritat del burst que precedeix [13]; aquest s'encarregarà de reservar els recursos necessaris per encaminar la ràfega fins al node límit destí. Entre una i altra existeix un temps prudencial anomenat temps d'**offset**.

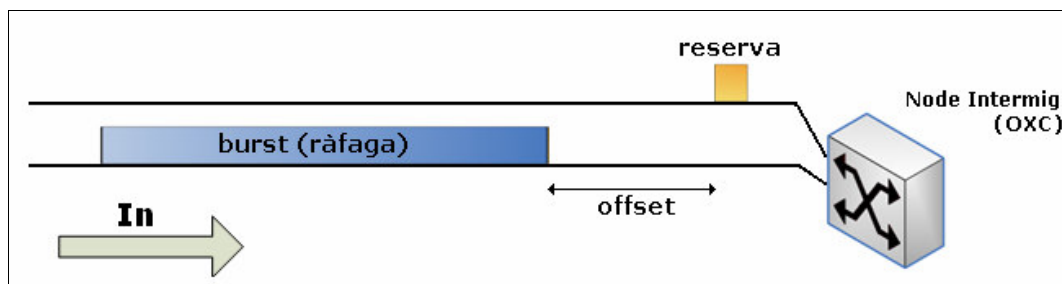


Fig. 2. Etiquetat WDM

En la fig. 2 es mostra el sistema d'etiquetat que s'ha utilitzat per a la gestió del trànsit (existeixen altres tipus d'etiquetatges explicats en la memòria més detalladament). WDM és la tècnica que s'utilitza per a maximitzar la càrrega en el canal i ens permet aconseguir, per a un mateix canal de transmissió, un major ample de banda augmentant el nombre de longituds d'ona amb què es transmet la informació.

Tal i com mostra la fig. 2, l'esquema per al trànsit que ha de gestionar el node tindrà un flux de control per on arribaran les reserves al node i diversos fluxos de dades per on arribaran les ràfegues. Cada reserva contindrà suficient informació per saber la ràfega que indexa. Un node tindrà un trànsit entrant i un trànsit sortint d'ell on haurà encaminat les reserves i ràfegues cap als diferents enllaços que el componen.

El medi per on viatjaran els paquets, l'hem simulat com un eix ranurat de temps; això ens permet emular un accés al medi del tipus OTDM. Així, el que realment es crea serà una macro-estructura com:

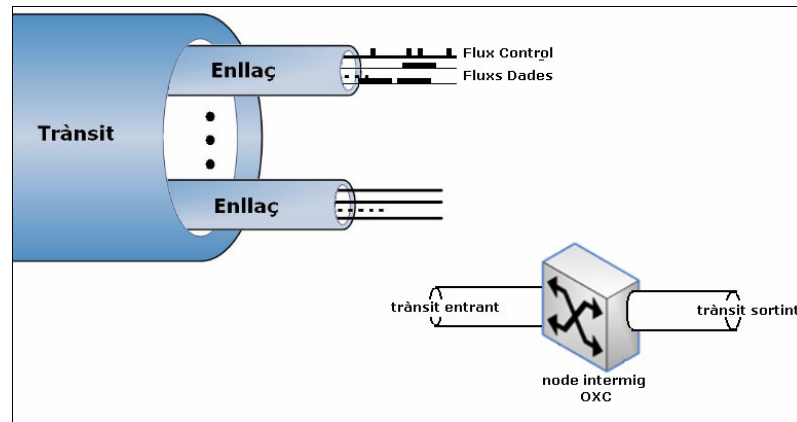


Fig. 3. Esquema trànsit existent en el node

La unió dels diversos fluxos de dades i del flux de control amb les seves reserves forma una estructura que s'ha anomenat **enllaç**. La funció que s'encarrega de la creació dels paquets en un enllaç segons una distribució estadística és **crea\_enllaçVec.m**. Un node rep trànsit de diferents enllaços entrants; per tant, per simplificar la notació, hem ajuntat aquests enllaços en una estructura que anomenarem **trànsit**. Com es pot veure en la fig. 3, el node gestionarà un trànsit entrant i retornarà un trànsit sortint.

És cert que el trànsit a través d'un node no és únicament en un sol sentit, però, en el cas de la fibra, per evitar interferències, se separa el trànsit de cada sentit en diversos enllaços; és a dir, per un enllaç només tindrem trànsit entrant o sortint. Això ens simplifica la funció que s'ha creat per a la gestió del trànsit, ja que se simularà un node que tractarà un únic trànsit entrant; si es volgués simular un node de forma més complexa, seria duplicar la funció. Llavors el node podria tractar el trànsit en un i altre sentit.

Una característica del trànsit creat és el mètode de transmissió; s'implementarà un mecanisme **Envia i Continua (Tell and Go)**, en què, un cop enviada la reserva, el terminal no espera a rebre confirmació del destí sinó que, passat un temps prudencial (temps d'offset), envia el burst.

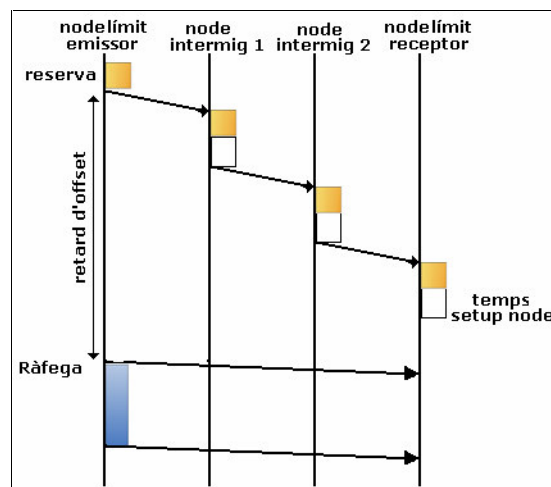


Fig. 4. Espera temps d'offset abans d'enviar la ràfega

Una segona característica important del trànsit creat és el mecanisme de reserva de recursos; dels diferents mecanismes, el node implementat gestiona el que, segons [2], té major rendiment; es tracta del **Just-Enough-Time (JET)**.

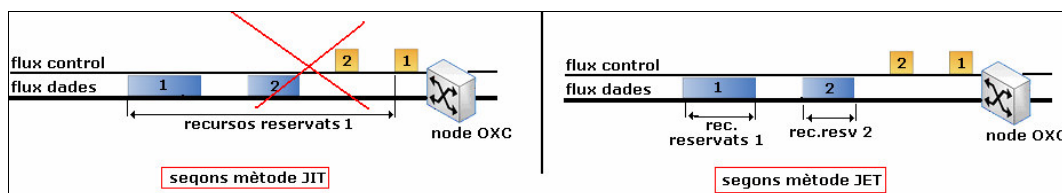


Fig. 5. Comparació dels mètodes JIT i JET

Els paquets de control reserven un temps i espai fix en la sortida. Aquest temps equival al temps necessari per a la transmissió del burst. El sistema esdevé més complex però més eficaç que el JIT, que reserva els recursos des que arriba la reserva fins que s'han enviat les dades (vegeu fig. 5). En el JET, el node només fa la reserva dels recursos durant l'arribada i transmissió del burst, tot alliberant els recursos la resta del temps per a l'enviament d'altres possibles bursts.

El principal problema que presenta una gestió del trànsit és el problema RWA (*routing and wavelength allocation*), on l'arquitectura a desenvolupar ha de resoldre de manera favorable situacions on el trànsit que arriba al node vol obtenir recursos ja reservats, les reserves sol·liciten el mateix espai en la sortida, etc. Aquest problema també s'anomena *contention problem*.

## Disseny

La implementació ha consistit en tres parts fonamentals: Creació del trànsit a gestionar, creació del node OXC per a OBS, i mètodes per a mostrar el trànsit. A part, s'ha dut a terme una interfície gràfica que facilita la gestió del trànsit a l'usuari. El disseny se centra principalment en la funció que implementa el node.

### El medi

Com s'ha dit, el node tindrà un trànsit entrant i un trànsit sortint, i cada trànsit estarà format per un nombre d'enllaços on cada enllaç contindrà un nombre fixat de fluxos (vegeu fig. 3). La flexibilitat en el nombre d'enllaços i de fluxos ens ha permès desenvolupar un node que tracti  $m$  enllaços d'entrada i ens retorni  $n$  enllaços de sortida.

El medi per on viatjaran els paquets, l'hem simulat com un eix ranurat de temps (slots o timeslots). Aquest temps pot variar segons la precisió que es desitgi; normalment són valors de l'ordre de microsegons i nanosegons.

### Estructura dels paquets

Com s'ha explicat, OBS es basa en l'enviament de paquets de reserva i ràfegues, que consten de paquets de dades. Per a la gestió del trànsit en el node a implementar, s'ha pensat la ràfega com un seguit de paquets iguals de dades. Per conèixer si es tracta d'una reserva o d'una ràfega, s'utilitzarà un camp (camp tipus) que ho indiqui específicament dins del paquet.



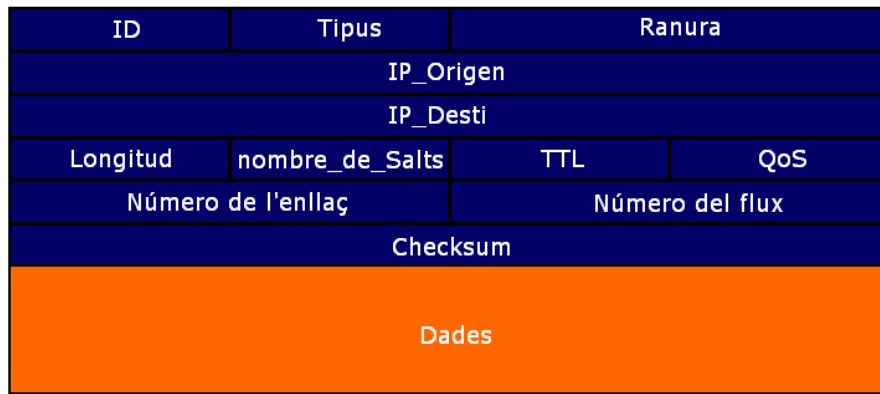


Fig. 6. Estructura del paquet

### Gestió i agrupament del trànsit

Amb la funció **crea\_flux\_traffic.m** simulem el trànsit que podria ser generat per un node límit. Aquest trànsit constarà d'un conjunt de reserves que indexaran un conjunt de ràfegues. A la funció, li passem diferents paràmetres com ara el nombre de l'enllaç que portarà aquest flux, de quin flux es tracta, etc. Els temps de reserves i ràfegues, a l'igual que la longitud de les ràfegues, seran valors fixats per l'usuari i sobre els quals s'aplicarà una de les diferents distribucions implementades.

Si es vigila amb la notació donada, ens trobem que un node límit genera un trànsit, el qual consta d'un seguit de reserves i ràfegues en medi òptic que s'envien a través de la xarxa. I s'ha dit que el node rep un trànsit d'entrada similar al de la fig. 3, on es concentren molts més fluxos de reserves i ràfegues. Això es deu al fet que existeixen funcions que ens multiplexen el trànsit entrant dels diferents nodes límit i dona lloc a un trànsit molt més massiu que viatja per la xarxa de transport (OTN).

L'offset és el retard present entre l'enviament de la reserva i la ràfega. El valor d'aquest temps és un dels punts més importants en l'arquitectura OBS. Aquí s'intentarà que pugui prendre un únic valor o valors dins una distribució.

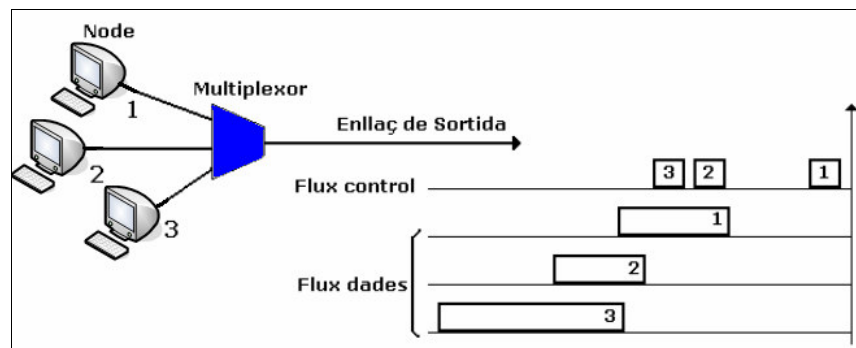


Fig. 7. Agrupament del trànsit entrant a la xarxa de transport

## Mostrejat del trànsit

Com s'ha vist, el paquet esdevé una estructura amb certa complexitat i, per tant, el trànsit com a conjunt es fa difícil de tractar i observar-ne els canvis que es puguin donar en les paquets que hi circulen. Es fa necessari el desenvolupament d'una eina visual que ens aporti informació de forma gràfica i ràpida sobre els canvis o col·locació de les reserves i ràfegues.

En aquest projecte s'han desenvolupat les següents funcions per a dibuixar el trànsit; depenent de la situació, ens anirà millor utilitzar-ne una enfront de les altres:

| Paràmetre a ressaltar                         | Funció implementada       |
|---|---------------------------|
| relació entre reserves i fluxos corresponents | <b>dib_enllac_id.m</b>    |
| la ipdesti dels paquets                       | <b>dib_enllac_ipd.m</b>   |
| el QoS de cada paquet                         | <b>dib_enllac_qos.m</b>   |
| el nombre de salts que pot fer el paquet      | <b>dib_enllac_salts.m</b> |

Taula 1: Funcions per a dibuixar el trànsit

## Creació del node

El node ha de proporcionar a la xarxa les funcions de commutació i enrutament necessàries. I ha d'intentar suplir els problemes de *contention* que hi pugui haver. Les solucions per a aquest problema es trobaran implementades en unes funcions puntuals del node, a les quals l'usuari podrà tenir accés per a estudiar-ne possibles alternatives.

L'algorisme implementat pel node intenta simular la gestió que faria un node intermig (OXC) en el cas real. El trànsit es processarà ranura a ranura intentant simular l'instant actual de temps en què va rebent els diferents fluxos.

En cada instant, el node únicament té informació sobre el trànsit enviat i sobre el trànsit rebut en la ranura actual. En concret, només té informació del flux de control que gestiona, ja que les ràfegues són servides "instantàniament".

A més, s'ha dotat el node d'un temps de processament. Aquest temps simula el temps que requereix el node per, quan rep una reserva, passar-la al medi elèctric, tractar-la, tornar-la al medi òptic i reenviar-la pel trànsit de sortida cap al següent node.

En la figura 8 es poden apreciar dos blocs en color blau fort, que són les funcions que permetran implementar diferents comportaments per al node. Aquestes funcions són: gestió taula d'encaminament i gestió prioritat reserva. Són funcions de les quals se'n proposa alguna implementació però es deixen obertes per a futurs estudis.

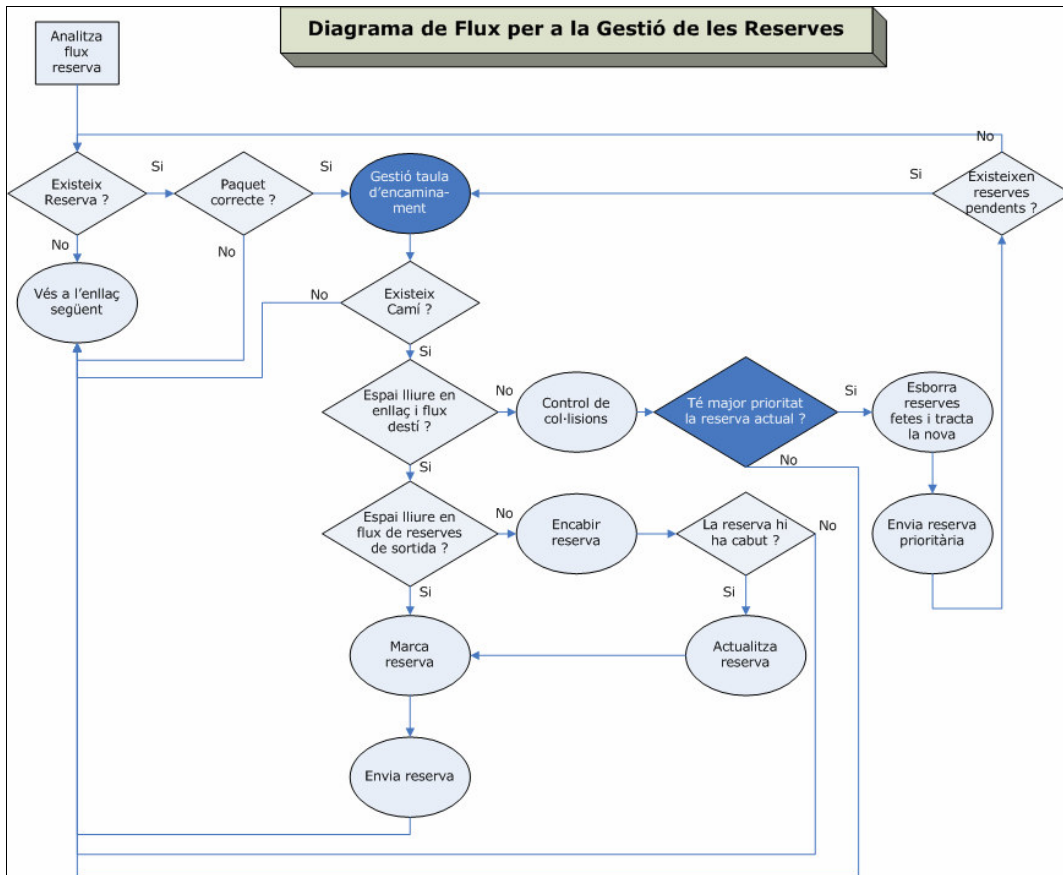


Fig. 8. Gestió de les reserves en el node

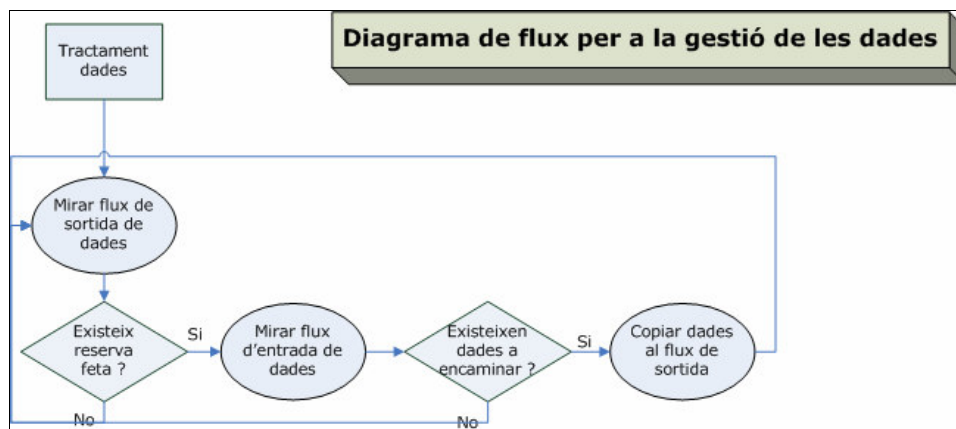


Fig. 9. Gestió de les ràfegues en el node

### Tractament estadístic

El node pot fer moltes i variades accions sobre cada reserva i, per tant, es fa necessari, si més no, tenir uns valors numèrics sobre quants paquets s'han tractat, quants s'han descartat, etc. Aquests valors es troben reflectits en el recull estadístic que fa el node en cada tractament. Les estadístiques són fetes en la funció que implementa el node i retornades per aquesta. A més a més, s'han desenvolupat funcions que guarden directament aquestes estadístiques en un fitxer WORD, tot fent-ne un històric.

### La interfície gràfica

La Interfície gràfica permet un tractament més fàcil i ràpid de les diferents funcions implementades. Ens permet una idea més general i global del que s'està duent a terme i una gestió per part de l'usuari més senzilla i intuïtiva. A continuació se'n descriuen els estats pels quals passa l'usuari:

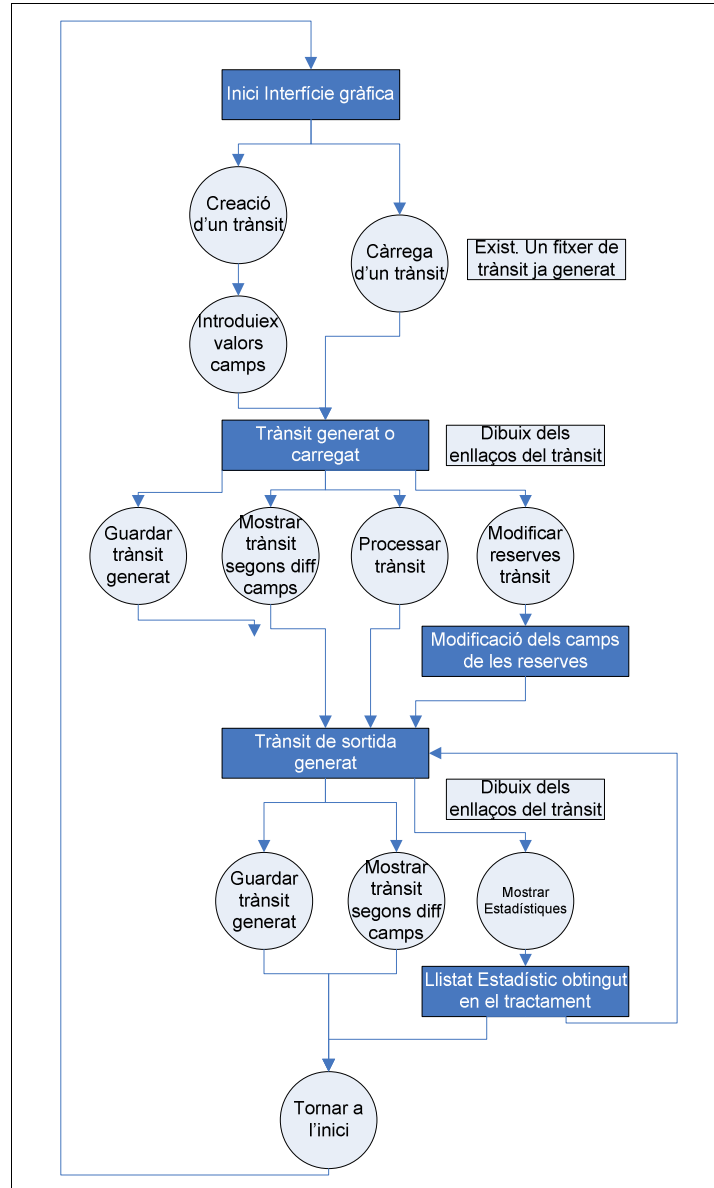


Fig. 10. Diagrama de la interfície

## Estudi realitzat

Per a comprovar el bon funcionament del node òptic (OXC) s'ha pensat un seguit de situacions de conflicte (casos), algunes presentades en [1] i d'altres que s'han pensat, que el node ha de resoldre de manera favorable. Per no fer carregós el resum, els casos es troben presentats detalladament en la memòria. Un cop testejat el node per a les diferents situacions possibles, s'ha comprovat com compleix les expectatives esperades i, per tant, esdevé útil per a l'estudi de la xarxa OBS.

Un cop s'ha demostrat la viabilitat del node, s'han dut a terme simulacions de més envergadura, com ara la càrrega massiva dels fluxos d'entrada. Gràcies a la interfície desenvolupada, s'ha pogut crear un gran nombre de reserves i ràfegues que s'han processat a través del node. Un cop demostrada la fiabilitat del node per poder suportar qualsevol càrrega, en fer diferents simulacions s'ha demostrat com, segons la longitud de la ràfega (burst), el node es comporta com un sistema de commutació de paquets o de circuits. En la memòria se'n mostra l'explicació més detallada, acompanyada de figures que mostren el trànsit i donen una idea més entenedora del comportament del node.

També s'ha de tenir present les funcions que s'ha dit que es deixarien obertes (vegeu fig. 8). En la memòria es troben explicades diferents rutines per a aquestes i se n'ha estudiat el comportament del node en cada cas. S'ha intentat no carregar massa el text amb codi del programa per no dificultar-ne la lectura; si el codi esdevé imprescindible, anirà acompanyat d'un diagrama de flux que en facilitarà la comprensió. Gràcies a les diferents implementacions fetes per a les funcions *gestio\_te* i *gestio\_priori* s'observa com, segons les característiques del trànsit existent en la xarxa, existiran implementacions que ens donaran més rendiment (*throughput*) que d'altres.

Per tenir una idea més clara de la funció del node, s'ha fet una prova de com es comportaria el node en un entorn més pròxim a la realitat. Ja que una xarxa de transport no estarà únicament formada per un node OXC, s'ha modelat el cas de dos nodes consecutius. El procés que se segueix en un estudi com el present és la simulació de dos nodes consecutius, posteriorment la simulació d'una estructura en anell i finalment l'estructura de xarxa; però, degut a la manca de temps, no s'han pogut realitzar tots els passos. En algunes fonts, s'ha indicat que amb només 2 nodes OXC ja s'implementa una xarxa de transport que englobi un país. La simulació de més de dos nodes de forma consecutiva es troba indicada en la memòria; no s'ha dut a terme, ja que el comportament és idèntic al cas de dos nodes (ja estudiat).

Finalment, també s'ha pensat que era convenient fer uns estudis comparatius sobre punts clau de l'arquitectura OBS, com són el temps d'offset, la càrrega en el trànsit entrant, etc., que es troben reflectits en l'apartat 5.5. i que relacionen el present treball amb les fonts consultades.

## Conclusions

La creació d'una funció que simulés el comportament d'un node OXC per a una xarxa OBS s'ha assolit satisfactòriament. Amb els casos que s'han anat estudiant, s'ha comprovat com, portant el node a una situació de conflicte, aquest ha sabut resoldre'l de la forma esperada i satisfactòria.

Com s'ha dit en l'apartat 1, per a la realització d'aquesta funció principal ha estat necessari assolir els diferents objectius secundaris explicats. El primer objectiu que s'havia plantejat en la realització del present projecte era la creació d'un trànsit. Un trànsit que consisteix en una multitud de reserves i ràfegues que arriben al node. Aquestes reserves i ràfegues són, en el fons, paquets que tenen l'estructura descrita en la fig. 3; s'ha comprovat com MATLAB és una eina de computació suficientment potent per treballar amb totes les macroestructures creades.

Les diferents funcions que s'han anat creant per a dibuixar el trànsit han esdevingut molt útils per a tenir una ràpida informació visual de com era el trànsit entrant i sortint del node. Tal i com s'ha vist, la coloració s'ha fet segons els valors que prenen els camps; tot i que no s'ha implementat funcions per a cadascun dels camps del paquet, es podria fàcilment desenvolupar-les seguint les pautes de les funcions ja donades.

Un cop aconseguits els diferents objectius secundaris, s'han anat desenvolupant funcions que gestionessin el trànsit creat. Després de diverses implementacions, s'ha arribat a un algorisme suficientment flexible que ens permetés tractar un trànsit entrant format per  $m$  enllaços d'entrada i que ens pogués retornar un trànsit sortint de  $n$  enllaços de sortida.

Igual que en [7][8] i [9], s'ha dotat el trànsit d'una certa classe de servei a partir del camp QoS dels paquets de reserva. Això ens ha permès classificar el trànsit entre prioritari i no-prioritari. Com indiquen les fonts consultades, una manera possible per tractar el trànsit prioritari és donar-li un temps d'offset major. Això es duu a terme en la creació del trànsit. En el moment que s'assigna el temps d'offset, si no es té en compte cap tipus de QoS, els paquets amb major offset esdevenen prioritaris (vegeu casos apartat 5.1 en la memòria).

Partint del fet que la funció del node generada és una base sobre la qual fer futures investigacions en el camp d'OBS, s'han deixat les funcions gestió taula d'encaminament (*gestio\_te()*) i gestió prioritat (*gestio\_priori()*) fàcilment accessibles per al futur programador. A part, s'han donat algunes implementacions possibles per comprovar-ne el bon funcionament.

També s'ha desenvolupat l'eina gràfica, que facilita la comprensió i gestió del procés a través de la xarxa OBS. És una eina molt útil per a fer diverses simulacions sobre un mateix trànsit, visualització d'aquest segons diferents paràmetres, etc.

L'aproximació al cas real que s'ha dut a terme (apartat 5.4 a la memòria) ens ha permès veure com es fa la gestió del trànsit entrant ranura a ranura a través dels dos nodes; el fet que es faci ranura a ranura, on una ranura equival a una mesura de temps (nanosegons, picosegons, etc), permet veure com seria en la realitat la gestió del trànsit per un node OXC. El fet que l'algorisme del node gestioni la informació entrant

d'aquesta manera fa que el node, en cada moment, únicament tingui informació de les reserves passades i de la reserva actual; en cap moment no té informació sobre el trànsit a venir.

L'estudi final que es mostra en l'apartat 5.5 dóna una idea de quina és la finalitat del node creat. Amb ell es pretén demostrar com es poden dur a terme estudis sobre el node OXC variant els paràmetres del trànsit, del node, etc. Les gràfiques obtingudes són similars a les obtingudes en els estudis probabilístics exposats en [7][11][17]. Tot i això, es recorda que tot l'estudi és només una solució aproximada al cas real; és a dir, per a obtenir valors resultants significatius és necessari conèixer les característiques del trànsit que, en l'actualitat, arribaria a l'entrada del node. Un cop s'hagi estudiat el trànsit que existiria dins la xarxa OTN es poden fer estudis més específics i resolutius.

El projecte realitzat s'ha centrat principalment en la implementació del node sobre l'arquitectura OBS. En una xarxa òptica existeixen molts i diversos aparells per retransmetre el senyal òptic, regenerar-lo, etc. Fins i tot el node OXC conté un switch òptic que s'encarrega de fer les connexions entre les diverses entrades i sortides. El que s'ha pretès és veure la gestió del trànsit per part d'aquest, i per tant no s'ha fet èmfasi en tot l'aspecte físic del node (*hardware*).

Degut a la necessitat d'un gran ample de banda i d'una gran velocitat en les transmissions actuals, la fibra òptica esdevé una de les tecnologies que s'està implantant, actualment, a nivell de LAN o MAN, i que, en un futur molt proper, es podrà implantar a nivell WAN. Llavors es tindrà la necessitat d'encaminar el trànsit òptic cap a destí d'una forma similar al cas elèctric. Per això es faran necessaris els nodes OXC que gestionin aquest trànsit; si l'arquitectura OBS és la que s'imposa finalment, serà necessari especificar un comportament per al node OXC a partir de l'eina desenvolupada i de la resta d'estudis que es duen a terme, i es podrà dir quin ha de ser aquest comportament.

### **Futures línies de recerca**

El projecte realitzat no és un sistema tancat i acabat. Cal considerar-lo com una eina per a futures investigacions en el camp de les xarxes òptiques OBS. Les funcions que s'han deixat obertes i el fet de poder crear un trànsit amb les característiques desitjades el fan propici per a estudis corresponents a quina ha de ser la implementació d'un node OXC, com seria gestionat el trànsit en tal o tal altra situació. El treball present ha de servir com a base per a futurs estudis en aquest camp.

Alguns experts fan incís en el fet que el node OBS no ha de tenir cap mena de buffer on emmagatzemar les dades òptiques; en canvi d'altres pensen el node amb unes mínimes línies de fibra per a retardar la ràfega òptica (anomenades FDLs) i així esquivar-ne la seva destrucció, de forma que la ràfega pugui ser enviada un instant més tard. Es podria realitzar una possible versió del node que simulés aquests buffers òptics i veure si es milloren les prestacions del node (recordem que el retard que pot aportar una FDL és molt limitat).

Es podria aprofundir en els aspectes d'ipdestí i iporigen; en aquest treball únicament s'han tractat com a valor numèric. Un dels reptes de les xarxes òptiques és aconseguir un direccionament del tipus IP per als paquets òptics.

En l'apartat 5.4 s'ha modelat el funcionament de 2 nodes consecutius, que és el primer pas en la simulació d'una xarxa. La simulació de  $n$  nodes consecutius no presenta dificultat ja que únicament es tracta de variar lleugerament el codi donat per a 2 nodes. Una futura investigació possible seria el funcionament de diversos nodes en estructura de malla. Les xarxes de transport en el cas real són, com el seu nom indica, una xarxa de nodes interconnectats entre ells. Fent una bona gestió de l'encaminament es podria veure el funcionament d'una xarxa òptica OBS d'una forma més general.

Els aspectes sobre la Classe de Servei del trànsit a gestionar pel node OXC, s'han pres des del punt de vista d'una xarxa IP, on internament els paquets porten informació sobre la seva prioritats; i a partir d'aquesta prioritats i segons la gestió que s'hagi desitjat en el node, s'assigna o no els recursos sol·licitats. També s'ha vist en algunes fonts [12] un altre tipus de gestió d'aquesta prioritats. Una gestió de les reserves a l'inici del node, on són transformades al nivell elèctric, guardades en cues (buffers) i processades a partir d'algorismes de reserva de recursos tipus RR, fair queuing, weighted fair queuing, etc. Es podria pensar en la implementació d'una gestió de les reserves entrants d'aquesta forma (sempre en el medi elèctric, amb l'ús de buffers elèctrics).