



**Escola Politècnica Superior
de Castelldefels**

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

PROJECTE DE FI DE CARRERA

**TÍTOL: Estudi i simulació de mecanismes de resolució de contencions
en xarxes òptiques de commutació de ràfegues (OBS)**

**AUTORS: Fernando López Muñoz
Jessica Reyes Barbancho**

DIRECTORA: Anna Agustí Torra

DATA: 27 d'Abril 2007

TÍTOL: Estudi i simulació de mecanismes de resolució de contencions en xarxes òptiques de commutació de ràfegues (OBS)

**AUTORS: Fernando López Muñoz
Jessica Reyes Barbancho**

DIRECTORA: Anna Agustí Torra

DATA: 27 d'Abril de 2007

Resum

El ràpid creixement del tràfic a Internet durant la darrera dècada, ha posat de manifest la necessitat de desenvolupar noves xarxes d'alta velocitat. Per tal de fer front a la demanda creixent d'ample de banda, s'han incorporat sistemes de comunicació WDM a moltes de les xarxes troncal de telecomunicació actuals. La clau del procés evolutiu de les xarxes electròniques cap a les xarxes òptiques és la migració de la tècnica de commutació. Tot i que la commutació òptica de circuits (*Optical Circuit Switching, OCS*) proporciona garanties de transferència, ja que l'establiment dels circuits es confirma, el temps per establir i alliberar els recursos requereix com a mínim el *round trip time* (típicament diversos milisegons). Per tant, OCS pot no ser suficientment flexible per suportar el patró de connexions dinàmic i la naturalesa a ràfegues de les xarxes de commutació de paquets. Idealment, per tal d'aconseguir la màxima utilització dels recursos de la xarxa troncal, els nodes haurien de proporcionar commutació de paquets a nivell òptic (*Optical Packet Switching, OPS*). No obstant, les limitacions tecnològiques actuals converteixen la commutació òptica de paquets en un objectiu assolible a llarg termini. Una possible alternativa més factible a mig termini és la commutació òptica de ràfegues (*Optical Burst Switching, OBS*) que, igual que OPS, es va dissenyar per tal de reduir els retards i millorar la utilització dels recursos de la xarxa a través del multiplexat estadístic. En OBS, les unitats dels usuaris s'agrupen formant ràfegues (*bursts*) a l'entrada de la xarxa. Abans de la transmissió de cada ràfega, s'envia un paquet de control amb l'objectiu de configurar els nodes intermedis i reservar els recursos necessaris per tal que la transmissió de la ràfega es pugui realitzar íntegrament en el domini òptic. En el paradigma unidireccional, les ràfegues s'envien sense esperar confirmació sobre la disponibilitat dels recursos en els nodes intermedis. Per tant, es poden produir contencions quan múltiples ràfegues lluiten per utilitzar simultàniament els mateixos recursos en un port de sortida d'un commutador. Aquest projecte consisteix en simular, analitzar, avaluar i comparar diferents mecanismes de resolució de contencions.

Title: Study and simulation of contention resolution mechanisms in Optical Burst Switched (OBS) networks.

Authors: Fernando López Muñoz
Jessica Reyes Barbancho

Director: Anna Agustí Torra

Date: April, 27th 2007

Overview

The fast growth of the Internet traffic during the last decade has shown the need to develop new high speed networks. In order to face the increasing demand, WDM communication systems have been incorporated into many up-to-date backbone telecommunication networks. The key of such evolving process from the electronic towards an optical Internet is the migration of the switching technique in order to achieve all-optical transmission. Although Optical Circuit Switching (OCS) provides transfer guarantees, since circuit establishment is confirmed, the set-up and tear-down of such circuits requires at least the round trip time (typically several milliseconds). Therefore, OCS can not be flexible enough to bear the dynamic connection pattern and the bursty nature of packet-based networks. In order to maximize the resource utilization in the core, it should be desirable the use of Optical Packet Switching (OPS). However, current technological limitations make OPS a long term achievement. A medium-term feasible alternative is Optical Burst Switching (OBS), which combines an out-of-band electronic control with an all-optical data switching in order to reduce delays and increase the resources utilization through statistical multiplexing. In OBS, user data units are grouped into bursts at the edge. Before the transmission of each burst, a control packet is sent in order to configure intermediate resources; so the burst transmission can be carried out entirely in the optical domain. Using one-way reservation mechanisms, burst transmissions start without waiting for acknowledgements of the resource availability in each intermediate node. Therefore, contention can occur, leading to data losses in the worst case. Contention occurs when multiple bursts struggle for using simultaneously the same resources in a given output port. The design of efficient contention resolution mechanisms is a major concern in OBS networks. In this project, we simulate, analyze, evaluate and compare different contention resolution mechanisms.

A l'Anna pel temps invertit en nosaltres i l'ajuda rebuda durant tot aquest temps.

A la família per estar i donar-nos el suport necessari per a continuar.

A tots els que han col·laborat, directa o indirectament, per a que aquest projecte es pugui dur a terme.

ÍNDEX

INTRODUCCIÓ	1
CAPÍTOL 1. INTRODUCCIÓ A LA TECNOLOGIA OBS.....	5
1.1. La commutació de ràfegues a nivell òptic, OBS	5
1.2. Funcionament bàsic d'una xarxa OBS.....	6
1.3. Generació de ràfegues.....	8
1.4. Mecanismes d'Scheduling.....	9
1.5. Protocols de reserva: JET	10
1.6. Classificació de mecanismes de resolució de contencions	11
1.6.1. Mecanismes de resolució de contencions clàssics.....	11
1.6.1.1. <i>Deflection Routing</i>	11
1.6.1.2. Fibres de retard.....	11
1.6.1.3. Conversió de longitud d'ona.....	13
1.6.1.4. Segmentació de ràfegues	15
CAPÍTOL 2. INTRODUCCIÓ AL SIMULADOR DE XARXES OBS.....	17
2.1. Descripció del funcionament bàsic del simulador.....	17
2.2. Propostes analitzades al simulador	20
2.2.1. Proposta Conv (Conversió de Longitud d'Ona).....	20
2.2.2. Proposta PConv (Conversió Parcial de Longitud d'Ona)	20
2.2.3. Proposta FDL (Fibres de Retard).....	21
2.2.4. Proposta CF-RWA.....	21
CAPÍTOL 3. INTERFÍCIE GRÀFICA.....	23
3.1. Introducció	23
3.1.1. Generació dels fitxers d'entrada del simulador de xarxes OBS.....	23
3.1.2. Execució del simulador de xarxes OBS	26
3.1.3. Execució del programa que realitza la pre-assignació de recursos segons l'esquema CF-RWA.....	26
3.2. Descripció de GTK i Glade. Disseny d'interfícies	28
3.2.1. Descripció de GTK+	28
3.2.2. Descripció de Glade	29
3.2.3. Descripció d'interfícies.....	29
3.2.3.1. Fitxer de descripció de la topologia de la xarxa (<i>fnetwork</i>).....	30
3.2.3.2. Fitxer de descripció de les fonts (<i>fsources</i>)	31
3.2.3.3. Fitxer de descripció dels canvis topològics de la xarxa (<i>fevents</i>).....	32
3.2.3.4. Fitxer de descripció de les estadístiques (<i>fstatistics</i>).....	33
3.2.3.5. Execució del simulador	33
CAPÍTOL 4. TESTS.....	35
4.1. Introducció	35

4.2. Topologia senzilla.....	36
4.2.1. Resultats per a la configuració amb dues fonts	37
4.2.1.1. Retard de transmissió de les ràfegues	37
4.2.1.2. Probabilitat de pèrdua de ràfegues	38
4.2.1.3. Utilització de les longituds d'ona	39
4.2.1.4. Ocupació de la cua de peticions endarrerides	42
4.2.1.4.1. Anàlisi de l'ocupació de la cua de ràfegues endarrerides	43
4.2.1.4.1.1 Selecció aleatòria de les longituds d'ona a la font.....	43
4.2.1.4.1.2 Pre-assignació de longituds d'ona a la font.....	46
4.2.2. Resultats per a la configuració amb tres fonts	48
4.2.2.1. Retard de transmissió de les ràfegues	48
4.2.2.2. Probabilitat de pèrdua de ràfegues	51
4.2.2.3. Utilització de les longituds d'ona	52
4.2.2.4. Ocupació de la cua de peticions endarrerides.....	55
4.3. Resultats topologia NSFNet	57
4.3.1. Descripció de la xarxa	57
4.3.2. Resultats.....	58
4.3.2.1. Retard de transmissió de les ràfegues	59
4.3.2.2. Utilització de les longituds d'ona	62
4.3.2.3. Ocupació de la cua de peticions endarrerides.....	65
CAPÍTOL 5. IMPACTE DEL PROJECTE EN EL MEDI AMBIENT.....	67
CAPÍTOL 6. CONCLUSIONS.....	69
BIBLIOGRAFIA I REFERÈNCIES WEB.....	73
GLOSARI	77

ÍNDIX DE FIGURES

Figura 1.1.	Elements bàsics d'una xarxa OBS	7
Figura 1.2.	Horizon/LAUC i LAUC-VF	9
Figura 1.3.	Exemple de contenció entre ràfegues	10
Figura 1.4.	Resolució de contencions mitjançant fibres de retard	13
Figura 1.5.	Resolució de contenció mitjançant conversió de longitud d'ona (A)	14
Figura 1.6.	Resolució de contenció mitjançant conversió de longitud d'ona (B)	14
Figura 2.1.	Processos del pla de control d'una xarxa OBS	19
Figura 3.1.	Generació del fitxer de topologia de xarxa.....	24
Figura 3.2.	Processos associats a la generació del fitxer de fonts	25
Figura 3.3.	Diagrama de processos per l'execució del simulador	27
Figura 3.4.	Pantalla principal de la Interfície gràfica	29
Figura 3.5.	Pantalla principal de configuració del fitxer de la topologia de la xarxa ..	30
Figura 3.6.	Pantalla configuració dels nodes	30
Figura 3.7.	Pantalla configuració dels enllaços	31
Figura 3.8.	Configuració de les FDLs	31
Figura 3.9.	Pantalla de configuració de <i>fsources</i>	31
Figura 3.10.	Paràmetres de configuració d'una font qualsevol.....	32
Figura 3.11.	Pantalla de configuració del events	32
Figura 3.12.	Pantalla de configuració de les estadístiques	33
Figura 3.13.	Pantalla d'execució del simulador	33
Figura 4.1.	Topologia senzilla amb 2 fonts.....	36
Figura 4.2.	Topologia senzilla amb 3 fonts.....	36
Figura 4.3.	Retard S0 sense RTx.....	37
Figura 4.4.	Retard S0 amb RTx	37
Figura 4.5.	Probabilitat de pèrdua S0	38
Figura 4.6.	Utilització de les longituds d'ona de l'enllaç 0-2 sense RTx	39
Figura 4.7.	Utilització de les longituds d'ona de l'enllaç 0-2 sense RTx	40
Figura 4.8.	Utilització de les longituds d'ona de l'enllaç 2-3 sense RTx	41
Figura 4.9.	Utilització de les longituds d'ona de l'enllaç 2-3 amb RTx	41

Figura 4.10.	Cua de peticions endarrerides sense RTx.....	42
Figura 4.11.	Detall de la cua de peticions endarrerides sense RTx.....	42
Figura 4.12.	Cua de peticions endarrerides amb RTx	43
Figura 4.13.	Detall de la cua de peticions endarrerides amb RTx.....	43
Figura 4.14.	Model M/M/4	44
Figura 4.15.	Cua de peticions endarrerides. Comparativa entre el model analític i les propostes de selecció aleatòria de longitud d'ona.....	45
Figura 4.16.	Aproximació al model representatiu de la proposta	46
Figura 4.17.	Cua de peticions endarrerides. Comparativa entre el model analític i l'estratègia CF-RWA.....	47
Figura 4.18.	Detall de la cua de peticions endarrerides. Comparativa entre el model analític i l'estratègia CF-RWA	47
Figura 4.19.	Retard de la S0 sense RTx	49
Figura 4.20.	Retard de la S0 amb RTx	49
Figura 4.21.	Retard de la S2 sense RTx	49
Figura 4.22.	Detall del retard de la S2 sense RTx	49
Figura 4.23.	Retard de la S2 amb RTx	50
Figura 4.24.	Detall del retard de la S2 amb RTx	50
Figura 4.25.	Probabilitat de pèrdua S0.....	51
Figura 4.26.	Utilització de les longituds d'ona de l'enllaç 0-2 sense RTx	52
Figura 4.27.	Utilització de les longituds d'ona de l'enllaç 0-2 amb RTx	53
Figura 4.28.	Utilització de les longituds d'ona de l'enllaç 2-3 sense RTx	54
Figura 4.29.	Utilització de les longituds d'ona de l'enllaç 2-3 amb RTx	54
Figura 4.30.	Cua de peticions endarrerides del N0 sense RTx.....	55
Figura 4.31.	Cua de peticions endarrerides del N0 amb RTx	55
Figura 4.32.	Cua de peticions endarrerides del N0 amb RTx	55
Figura 4.33.	Cua de peticions endarrerides del N2 sense RTx.....	56
Figura 4.34.	Detall de la cua de peticions endarrerides del N2 sense RTx.....	56
Figura 4.35.	Cua de peticions endarrerides del N2 amb RTx	56
Figura 4.36.	Cua de peticions endarrerides del N2 amb RTx	56
Figura 4.37.	Topologia NSFNet 1993	57

Figura 4.38.	Topologia NSFNet utilitzada en les simulacions	58
Figura 4.39.	Retard mig de la xarxa amb l'esquema CF-RWA	59
Figura 4.40.	Retard mig de la xarxa amb la proposta Conv Nack	60
Figura 4.41.	Retard mig de la xarxa amb la proposta FDL.....	61
Figura 4.42.	Retard mig de la xarxa amb les diferents propostes.....	61
Figura 4.43.	Utilització mitja de les longituds d'ona amb l'esquema CF-RWA.....	62
Figura 4.44.	Utilització promig de les longituds d'ona per al mecanisme FDL Nack....	63
Figura 4.45.	Utilització promig de les longituds d'ona per al mecanisme Conv Nack..	63
Figura 4.46.	Utilització promig de les longituds d'ona amb els diferents mecanismes	63
Figura 4.47.	Utilització de la longitud d'ona 0 amb l'esquema CF-RWA	64
Figura 4.48.	Utilització de la longitud d'ona 0 amb la proposta Conv Nack.....	64
Figura 4.49.	Cues de peticions endarrerides amb CF-RWA	65
Figura 4.50.	Cua de peticions endarrerides amb Conv-Nack	66
Figura 4.51.	Cua de peticions endarrerides amb retardades FDL Nack.....	66

ÍNDIX D'EQUACIONS

Equació 4.1.	Temps de servei.....	44
Equació 4.2.	Temps d'espera en cua	44
Equació 4.3.	Temps addicional.....	44
Equació 4.4.	Número de paquets en cua.....	45
Equació 4.5.	Bytes a la cua de retardades	45
Equació 4.6.	Temps d'espera en cua model M/D/1 amb vacances	46

INTRODUCCIÓ

Des de la dècada passada, el camp de les xarxes de telecomunicació està experimentant un creixement espectacular. La ràpida expansió d'Internet i la encara més creixent demanda d'informació multimèdia estan testejant severament els límits de l'actual xarxa de telecomunicacions. Així doncs, hi ha una necessitat immediata per al desenvolupament de noves xarxes d'alta capacitat capaces de suportar aquests requeriments de demanda creixent. Amb aquest objectiu, en moltes xarxes de comunicacions troncales ja s'han instal·lat sistemes de comunicació basats en el multiplexat per divisió en longitud d'ona (*Wavelength Division Multiplexing*, WDM). Als sistemes WDM, cada fibra pot transportar múltiples canals de comunicacions, cadascun operant a una longitud d'ona diferent, oferint així una velocitat de transmissió potencial d'aproximadament 50Tb/s en cada fibra [1].

Un aspecte clau d'aquesta migració cap a xarxes troncales completament òptiques és la commutació. Els emergents sistemes totalment òptics (*all-optical*) proporcionen connexions de circuits commutats òptics (*Optical Circuit Switching*, OCS) o camins de llum (*lightpaths*) entre *routers* frontera sobre una xarxa troncal òptica. No obstant, com que aquestes connexions són força estàtiques, és possible que no siguin capaces de suportar de forma eficient la natura a ràfegues del trànsit d'Internet.

Idealment, per tal de proporcionar la major utilització possible del cor òptic, els nodes haurien de proporcionar commutació de paquets a nivell òptic (*Optical Packet Switching*, OPS) [3]. No obstant, la commutació de paquets completament òptica és poc viable a curt termini a causa d'impediments tecnològics. Una possible alternativa a curt o mig termini és la commutació òptica de ràfegues.

En la commutació òptica de ràfegues (*Optical Burst Switching*, OBS) [1], les unitats de dades es concatenen a l'entrada de la xarxa formant ràfegues de longitud variable. Abans de la transmissió de cada ràfega, s'envia un paquet de control amb l'objectiu de configurar els nodes intermedis, de tal manera que la transmissió de cada ràfega es pugui realitzar íntegrament en el domini òptic. Així doncs, les xarxes OBS permeten un major grau de multiplexat estadístic i són més adequades per suportar trànsit a ràfegues que les xarxes OCS. A més, les xarxes OBS no tenen tantes restriccions tecnològiques com les xarxes OPS.

A les xarxes OBS, en general, l'enviament de les ràfegues es realitza poc després de l'enviament del paquet de control, sense esperar confirmació sobre la disponibilitat dels recursos en tots els enllaços intermedis. Així doncs, és possible que dues o més ràfegues competeixin per l'ús dels mateixos recursos en un enllaç intermedi de la xarxa, la qual cosa pot desencadenar en la pèrdua d'informació. La contenció entre ràfegues (*burst contention*) és una de les principals problemàtiques de les xarxes OBS. L'objectiu del present projecte es realitzar una comparativa de diferents mecanismes de resolució de contencions.

Els resultats que es presenten en aquest projecte s'han obtingut utilitzant un simulador de xarxes OBS per esdeveniments programat en llenguatge C. El simulador accepta quatre fitxers d'entrada que permeten configurar la topologia de la xarxa, les característiques de les fonts, els paràmetres globals de la simulació (temps de simulació, intervals d'estadístiques, etc.) i, finalment, canvis topològics durant la simulació (caiguda d'enllaços, introducció de nous nodes, etc.). Una de les principals tasques d'aquest projecte ha consistit en desenvolupar una interfície gràfica que facilités la interacció entre l'usuari i el simulador. És a dir, que simplifiqués la tasca de definició dels fitxers d'entrada del simulador.

Pel que fa a la comparativa, s'ha partit de la tasca realitzada a [4] on s'utilitza el simulador OBS per a comparar dos mecanismes bàsics de resolució de contencions: (1) conversió total de longitud d'ona, i (2) fibres de retard. En aquest projecte s'ha ampliat la comparativa afegint dos mecanismes de resolució de contencions: (3) conversió parcial de longitud d'ona, i (4) l'esquema *Collision Free- Routing Wavelength Assignment*, CF-RWA [5,6]. Per comparar el correcte funcionament dels diferents mecanismes de resolució de contencions i facilitar l'anàlisi dels resultats, s'ha partit d'una topologia de xarxa senzilla, per tal de, posteriorment, presentar i comentar els resultats obtinguts sobre la xarxa NSFNet.

El projecte s'estructura en tres parts. En la primera es descriu el funcionament bàsic de les diferents propostes de resolució de contencions i la seva implementació al simulador. En la segona part es descriu la interfície gràfica i les funcionalitats que permet executar. Finalment, en la tercera part, es presenten i s'analitzen els resultats de la comparativa dels diferents mecanismes de resolució de contencions sobre una topologia de xarxa senzilla i sobre la xarxa NSFNet.

El desglossament del contingut en capítols és el següent:

Al CAPÍTOL 1. s'introdueixen les característiques bàsiques de la tecnologia OBS i es descriuen els principals mecanismes de resolució de contencions.

Al CAPÍTOL 2. s'expliquen les característiques bàsiques del simulador OBS i es descriuen les estratègies d'*scheduling* i de resolució de contencions que incorporava el simulador i les noves que s'han incorporat.

Al CAPÍTOL 3. es descriu el disseny de la interfície gràfica i la seva interacció amb el simulador.

Al CAPÍTOL 4. recull els resultats més significatius de la comparativa realitzada sobre un escenari senzill i sobre la xarxa NSFNet.

Al CAPÍTOL 5. s'analitza l'impacte del desenvolupament del projecte en el medi ambient i com repercutiria la seva implementació en una xarxa real.

Finalment, a les conclusions del projecte es resumeixen les tasques realitzades, així com els resultats més rellevants obtinguts en les proves que s'han dut a terme.

El treball es complementa amb els annexos on es recullen resultats complementaris de les proves realitzades per a les dues topologies de xarxa i una darrera part que descriu la planificació del projecte mitjançant un diagrama de Gantt.

CAPÍTOL 1. INTRODUCCIÓ A LA TECNOLOGIA OBS

Des de l'aparició d'Internet, el seu ús s'ha anat estenent entre tota la població. L'augment exponencial del nombre d'usuaris i la diversificació de les seves necessitats han generat una redefinició de les característiques de la xarxa.

Aquesta nova xarxa requereix més ample de banda i una gestió més flexible i eficient dels recursos. Així doncs, el camí cap a la Internet del futur (*Next Generation Internet*) passa per dissenyar i construir un nou nucli a nivell òptic que permeti un establiment dinàmic de les connexions i assoleixi velocitats de centenars de Tb/s.

A finals dels anys 80, es va començar a desenvolupar la tecnologia WDM (*Wavelength-Division Multiplexing*), basada en la transmissió d'informació de forma simultània per diferents longituds d'ona en una mateixa fibra òptica. Aquesta tecnologia s'ha utilitzat fins l'actualitat bàsicament com a medi de transport entre dos nodes consecutius de la xarxa. La manca d'una tecnologia que permeti processar el senyal directament en el domini òptic a les velocitats de transmissió actuals i la falta d'un equivalent òptic de les memòries elèctriques, obliga a realitzar una conversió del domini òptic a elèctric per poder emmagatzemar i processar el senyal, i novament reconvertir el senyal al domini òptic per a la seva transmissió en el següent enllaç. Aquestes conversions O/E/O en cada node intermedi són els grans colls d'ampolla en la transmissió d'informació a través de la xarxa.

Una de les possibles solucions a aquest problema seria una xarxa òptica de commutació de paquets on cada unitat de dades disposés d'informació suficient per assolir el destí i en la qual el processat d'informació als nodes intermedis es realitzés directament en el domini òptic, sense alentir la velocitat de transmissió de la informació. No obstant, fins que la tecnologia òptica no estigui suficientment madura per realitzar aquesta proposta, s'ha desenvolupat una alternativa a mig camí entre la commutació òptica de circuits i la commutació de paquets a nivell òptic. Aquesta tecnologia es coneix amb el nom de commutació òptica de ràfegues (*Optical Burst Switching, OBS*).

1.1. La commutació de ràfegues a nivell òptic, OBS

La commutació òptica de ràfegues (OBS) [1,3,4] és una tecnologia de commutació desenvolupada per aprofitar les millors característiques de la commutació òptica de circuits (OCS) i la commutació òptica de paquets (OPS). Tot i que es poden trobar diferents definicions i variants de la tecnologia, totes tenen en comú dues característiques [1]:

- Les dades del client s'agrupen i es desagrupen (*assembly/disassembly*) en els nodes frontera (*edge nodes*) de la xarxa OBS, formant ràfegues de longitud variable.

- El pla de dades és independent del pla de control. La informació de control s'envia per un canal, o longitud d'ona, diferent als utilitzats per a la transmissió de la ràfega, i es processa a nivell electrònic en tots els nodes de la xarxa (frontera i interiors). En canvi les dades es transmeten de forma transparent en el domini òptic.

1.2. Funcionament bàsic d'una xarxa OBS

En les xarxes OBS les dades dels usuaris s'agreguen en els nodes frontera d'ingrés (*ingress nodes*) generant ràfegues de longitud variable. A cada ràfega se li associa un paquet de control encarregat de reservar els recursos necessaris per a la transmissió de la ràfega a través de la xarxa. Les unitats de dades originals contingudes en cada ràfega són recuperades en el node frontera de sortida (*egress node*) de la xarxa OBS i transmeses als usuaris finals corresponents [1,2].

A diferència de la commutació de paquets, les ràfegues no disposen d'una part de dades i una capçalera sinó que la ràfega és l'equivalent a la part de dades i cada ràfega té associada un paquet de control que conté informació pròpia d'una capçalera (longitud de la ràfega, número d'unitats de dades contingudes, node destí, etc.)

El paquet de control es transmet per un canal de control dedicat, i té una longitud molt inferior a la de la ràfega, de manera que un únic canal de control és capaç de senyalitzar varies desenes de canals de dades. El paquet de control és processat, en el domini electrònic, en cada node intermedi de la xarxa que travessa. Si els recursos sol·licitats estan disponibles, el paquet es transmet cap al següent node en direcció al destí. Per tant, el paquet de control és qui estableix un camí extrem a extrem per tal que la ràfega associada es pugui transmetre a nivell òptic sense ser processada als nodes intermedis.

En xarxes metropolitanas i d'àrea extensa, el diàmetre de la xarxa és superior als centenars de kilòmetres. Així doncs, esperar a rebre confirmació sobre la disponibilitat dels recursos en cada node intermedi abans d'iniciar la transmissió d'una ràfega pot suposar un retard excessiu. Per tal de minimitzar el retard, en xarxes de grans dimensions sovint s'utilitzen mecanismes de senyalització unidireccionals (*one-way*). És a dir, l'enviament de la ràfega s'inicia després de la transmissió del paquet de control associat però sense conèixer a priori si aquesta reserva tindrà èxit extrem a extrem o no. El temps que transcorre entre l'enviament del paquet de control i el començament de la transmissió de la ràfega s'anomena *offset*. L'*offset* ha de tenir una durada suficient per garantir que el paquet de control es pugui processar en tots els nodes intermedis fins al destí abans que arribi la ràfega.

Segons la posició dins la xarxa i de les tasques que realitzen, els nodes d'una xarxa OBS es poden classificar en [1]:

- **Nodes Frontera (*edge nodes*)**
 - *Nodes frontera d'entrada (ingress nodes)*: aquests nodes agrupen el tràfic que reben de les diferents xarxes a les quals estan connectats (ATM, IP, etc.) per generar ràfegues d'informació. Abans de l'enviament de cada ràfega, els nodes d'entrada a la xarxa OBS han de generar i transmetre el paquet de control associat a la ràfega a enviar, en el qual s'anunciarà l'enviament de la ràfega i es sol·licitaran els recursos necessaris per a que aquesta es pugui transmetre de forma transparent en el domini òptic.
 - *Nodes frontera de sortida (egress nodes)*: s'encarreguen de recuperar les unitats d'informació originals contingudes dins de cada ràfega.
- **Nodes interiors (*core nodes*)**: els nodes interiors de la xarxa OBS han de processar i gestionar tota la informació de control que reben d'altres nodes interiors o directament dels nodes frontera. Són els encarregats del processament dels paquets de control, tasca que consisteix, bàsicament, en comprovar si els recursos sol·licitats per a la transmissió d'una ràfega d'informació estan disponibles.

Si no es disposa d'algun mecanisme de resolució de contencions, en el cas que els recursos sol·licitats per un paquet de control no estiguin disponibles, la ràfega serà descartada quan arribi al node.

La Figura 1.1. mostra els elements bàsics d'una xarxa OBS.

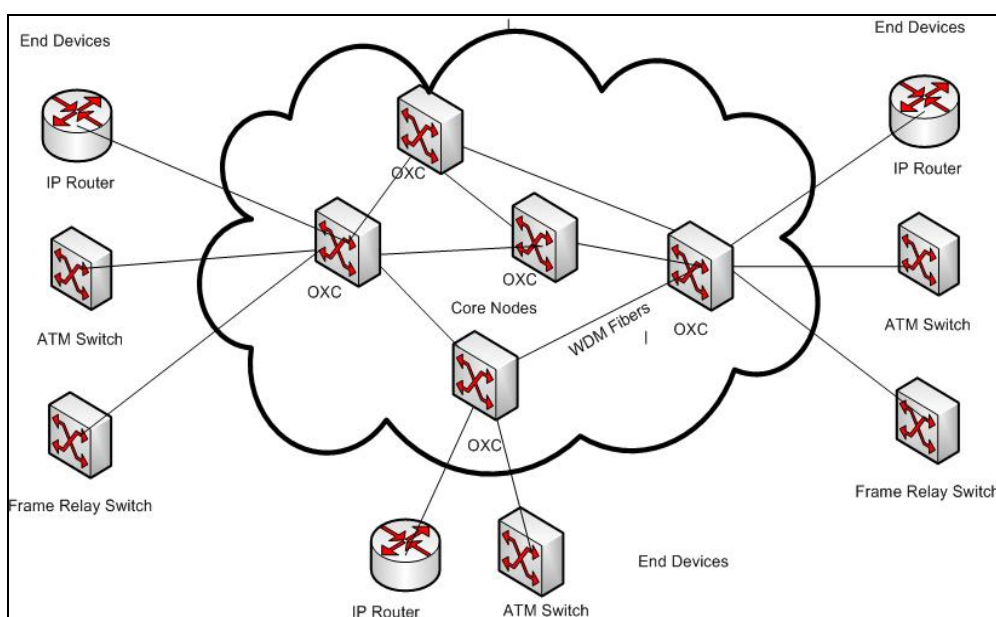


Figura 1.1. Elements bàsics d'una xarxa OBS

La política comuna de reserva de recursos que duen a terme els nodes d'una xarxa OBS ve definida pels protocols de reserva. Aquests protocols de reserva determinen com es realitzarà la reserva de recursos extrem a extrem dins una xarxa OBS i incideix directament sobre el seu comportament. Com ja s'ha comentat, sovint s'utilitzen mecanismes de reserva unidireccionals (*one-way*) per tal de reduir el retard extrem a extrem en la transmissió de ràfegues. Un exemple d'aquest tipus de mecanismes és el protocol *Just-Enough-Time* (JET) [20]. A l'apartat 1.5 es descriuen les principals característiques d'aquest mecanisme.

1.3. Generació de ràfegues

Als nodes frontera de les xarxes OBS es construeixen les ràfegues, aquest procés s'anomena agregació de ràfegues (*burst assembly*). Generalment existeixen diferents cues d'agregació per a cada tipus de tràfic o prioritat i en funció de l'algorisme utilitzat, les característiques del tràfic resultant varien considerablement [12,13]. Els algorismes d'agregació de ràfegues es poden classificar en els següents tipus [1]:

- **Algorismes basats en temps:** Agrupen els paquets que han arribat durant un període de temps, determinat per un temporitzador. El valor del temporitzador ha de fixar-se amb precisió: si el valor és molt gran, el retard introduït a l'extrem de la xarxa pot resultar intolerable, i, si és molt petit, pot donar lloc a la generació de ràfegues petites i, per tant, a un excés de paquets de control.
- **Algorismes basats en longitud de ràfega:** S'estableix un llindar que defineix la longitud mínima de la ràfega. Aquesta tècnica no garanteix un retard mínim perquè es pot trigar molta estona en igualar o superar el llindar.
- **Algorismes híbrids:** Propostes que combinen els dos esquemes anteriors, és a dir, la ràfega es construeix quan es supera un llindar de longitud mínima o bé quan expira un temporitzador.
- **Algorismes adaptatius:** Es modifica dinàmicament el llindar mínim o el valor del temporitzador en funció de les condicions actuals de la xarxa. Aquests algorismes proporcionen un rendiment més elevat però són més complexes.

1.4. Mecanismes d'Scheduling

Els nodes frontera i els nodes intermedis de la xarxa fan servir diferents algorismes d'*scheduling* [19,25] per seleccionar la longitud d'ona per a l'enviament de la ràfega, així com per a decidir-ne l'interval de transmissió. L'ús d'un mecanisme o d'un altre té un impacte sobre el rendiment final de la xarxa. Els algorismes bàsics són [1]:

- **Horizon o LAUC (Latest Available Unscheduled Channel)** [9]: en aquest algorisme es guarda informació de l'horitzó de cada canal, és a dir, l'instant temporal major entre els instants de finalització de transmissió de les ràfegues programades en una determinada longitud d'ona. L'algorisme escull la longitud d'ona amb l'horitzó més proper a l'instant d'arribada de la nova ràfega (els canals amb horitzons superiors als instants d'arribada de la ràfega a programar es consideren no disponibles).
- **LAUC-VF (Latest Available Unused Channel with Void Filling)** [9 10]: es guarda informació de totes les reserves de ràfegues en cada canal, de manera que l'algorisme pot programar la transmissió de la ràfega entre dues ràfegues ja programades. Depenent de com es classifiquin els canals i del criteri per seleccionar-los (en funció de minimitzar el buit inicial, el final o bé el promig) es defineixen diferents variants de l'algorisme.

La Figura 1.2. il·lustra la diferència entre *Horizon/LAUC* i *LAUC-VF*. S'observa com la reserva corresponent a la nova arribada no es pot realitzar utilitzant l'algorisme *Horizon o LAUC* perquè l'horitzó de la longitud d'ona (t_1'') és superior a l'instant d'arribada de la ràfega. En canvi, l'algorisme *LAUC-VF* permet realitzar la reserva ja que disposa d'informació de tots els instants de finalització de ràfegues (en aquest cas, t_1 i t_1'').

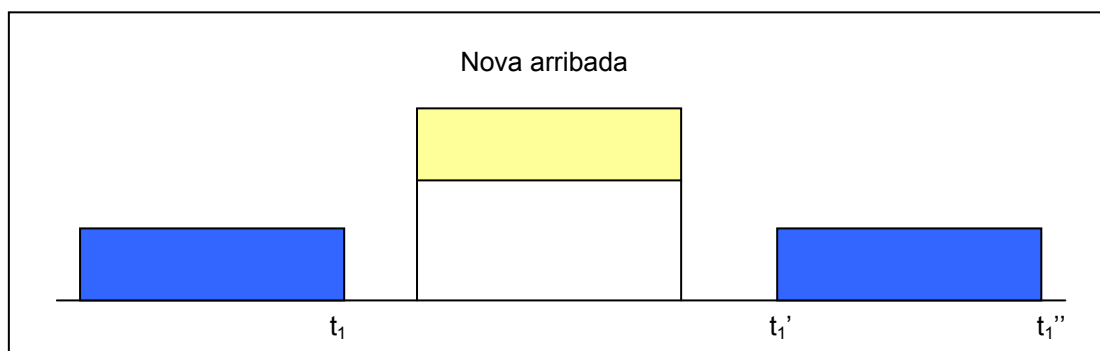


Figura 1.2. Horizon/LAUC i LAUC-VF

1.5. Protocols de reserva: JET

Tal i com s'ha explicat anteriorment existeixen diferents mecanismes de reserva de recursos per a la transmissió de les ràfegues. El protocol *Just-Enough-Time* [20] és un dels protocols de reserva de recursos més populars.

El JET és un protocol distribuït on el paquet de control conté informació referent a la durada de la ràfega i al retard entre el propi paquet de control i la ràfega de dades associada, és a dir, l'*offset*.

Els nodes reserven els recursos únicament durant la transmissió de la ràfega gràcies a la informació continguda en el paquet de control. La reserva comença abans que arribi la ràfega de dades, tècnica que s'anomena de reserva retardada o *delayed reservation*, i finalitza just quan acaba la transmissió de la ràfega, mecanisme conegut com a reserva tancada o *close-ended reservations*. Amb aquesta característica s'aprofita eficientment l'ample de banda de la xarxa ja que se'n fa un ús més exhaustiu.

Una característica a destacar del protocol JET és que les reserves es fan de forma unidireccional: el node origen desconex si el paquet de control ha pogut reservar els recursos extrem a extrem quan inicia la transmissió d'una ràfega. Per tant, es pot produir contenció quan més d'una ràfega vol utilitzar simultàniament una determinada longitud d'ona en el port de sortida d'un determinat node.

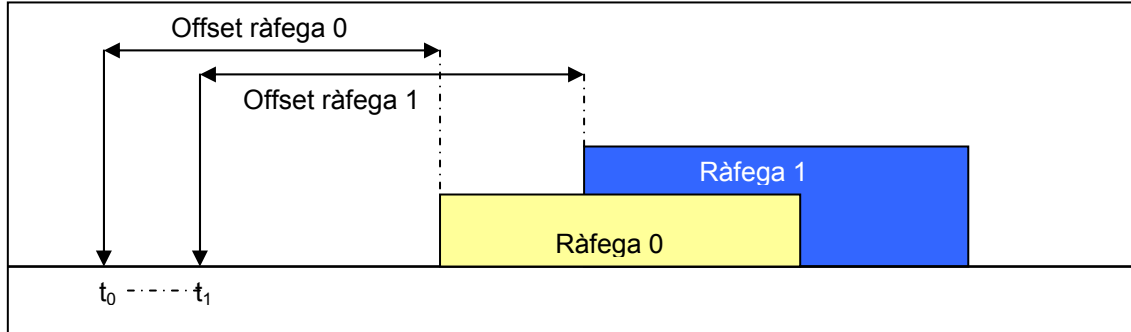


Figura 1.3. Exemple de contenció entre ràfegues

La Figura 1.3. mostra un exemple de contenció entre dues ràfegues. A l'instant t_0 un determinat node OBS processa un paquet de control i programa la reserva de recursos per a la transmissió de la ràfega 0 tenint en compte l'*offset* especificat al paquet. En aquest instant de temps els recursos estan disponibles i es pot fer la reserva, per tant, la ràfega es podrà transmetre amb èxit. A l'instant t_1 , el node processa el paquet de control associat a la ràfega 1. Aquesta vegada, els recursos sol·licitats per a la transmissió (interval temporal, port de sortida i longitud d'ona) estan ocupats. Si no es disposa de mecanismes de resolució de contencions, la ràfega 1 no podrà ser programada i serà descartada quan arribi al node.

1.6. Classificació de mecanismes de resolució de contencions

Quan s'utilitzen mecanismes de reserva unidireccionals, els nodes d'ingrés inicien l'enviament de les ràfegues sense saber si els recursos necessaris estan disponibles extrem a extrem. Aquest comportament, juntament amb la manca d'un equivalent en el domini òptic de les memòries RAM electròniques, implica que es pugui produir contenció entre ràfegues, és a dir, que més d'una ràfega competeixi per utilitzar els mateixos recursos en un enllaç de la xarxa. La contenció és un dels problemes més greus de les xarxes OBS, ja que pot desembocar en la pèrdua d'informació. Per tant, és important desenvolupar mecanismes per eliminar-la o, si més no, reduir-la o controlar-la.

1.6.1. Mecanismes de resolució de contencions clàssics

En aquest apartat es descriuen breument les tècniques bàsiques de resolució de contencions [23,26,28].

1.6.1.1. *Deflection Routing*

Aquest mecanisme permet resoldre la contenció programant la transmissió de la ràfega per un port diferent al sol·licitat. Així doncs, tant el paquet de control com la ràfega associada, segueixen un camí diferent en nombre de salts i/o cost, al camí original.

La complicació del *deflection routing* rau en el càlcul dels *offsets* que, en principi, es basa en el nombre de nodes que ha de travessar el paquet de control. Si el paquet de control travessa més nodes que els del camí predeterminat, la diferència temporal entre el paquet de control i la ràfega es redueix i pot succeir que la ràfega de dades s'avanci al paquet de control i, per tant, la ràfega es perdi. D'altra banda, cal evitar que es produeixin llaços tancats o bucles, possibilitat existent al escollir un camí diferent del predeterminat i que, novament, es tradueixen en la pèrdua de la ràfega.

1.6.1.2. Fibres de retard

Les fibres de retard o FDLs [18] són un cas de desviació a nivell temporal. Una fibra de retard pretén emular un *buffer* electrònic convencional, però el seu funcionament i les seves limitacions són molt diferents, ja que una FDL només pot emmagatzemar una ràfega durant un temps determinat que depèn de la longitud de la fibra.

Hi ha diferents arquitectures dels nodes que disposen de fibres de retard. Els paràmetres que caracteritzen cadascuna de les diferents arquitectures són els següents:

- **Ubicació de les FDL:** les fibres de retard poden estar ubicades a l'entrada o a la sortida del node, és a dir, abans o després, respectivament, del mòdul de control del commutador. En funció de la seva col·locació, el comportament del node serà diferent.
- **Dimensionat [27]:** en el dimensionat es tenen en compte diferents punts:
 - o Nombre de longituds d'ona de les que disposa la fibra de retard.
 - o Retard que proporciona la fibra (en funció de la seva longitud i de la possibilitat o no d'utilitzar una mateixa fibra de retard de forma recursiva).
 - o Ús d'una matriu de fibres de retard per a cada línia d'entrada o bé d'una matriu compartida (és a dir, un conjunt de fibres de retard compartides per totes les entrades del node).
- **Estratègia de reserva.** La reserva del canal de sortida es pot realitzar abans d'entrar a la FDL o just en el moment que la ràfega abandona la FDL.

Un element comú dels nodes OBS amb FDLs [2] és l'ús de convertidors de longitud d'ona. En general, el nombre de longituds d'ona disponibles a les fibres de retard és inferior al nombre de longituds d'ona dels enllaços d'entrada i de sortida, per tant, és necessari realitzar conversió de longitud d'ona abans de poder utilitzar les fibres de retard.

La Figura 1.4. il·lustra un exemple molt senzill on es treu profit de l'ús de fibres de retard. A la Figura 1.4. un node OBS rep i processa dos paquets de control, cp_1 i cp_2 . El cp_1 vol realitzar una reserva per a la ràfega 1 que ha d'arribar al node a l'instant t_1 i que té una durada Δt_1 . Anàlogament, el cp_2 desitja realitzar una reserva per a la ràfega 2 per a l'instant $t_2 > t_1$ de durada Δt_2 . Ambdues ràfegues pretenen utilitzar la mateixa longitud d'ona sobre el mateix enllaç de sortida i els seus intervals de transmissió es superposen en temps, és a dir, $t_1 + \Delta t_1 > t_2$. Per tant, si no s'aplica cap mecanisme de resolució de contencions, la ràfega 2 s'haurà de descartar.

No obstant, el node disposa d'una FDL que proporciona un retard R tal que $t_1 + \Delta t_1 < t_2 + R = t_2'$. Per tant, quan la ràfega 2 arriba al node, és confinada a la fibra de retard Figura 1.4. (b) i es transmet sobre l'enllaç de sortida a l'instant t_2' Figura 1.4. (c) sense que es produeixi contenció amb la ràfega 1.

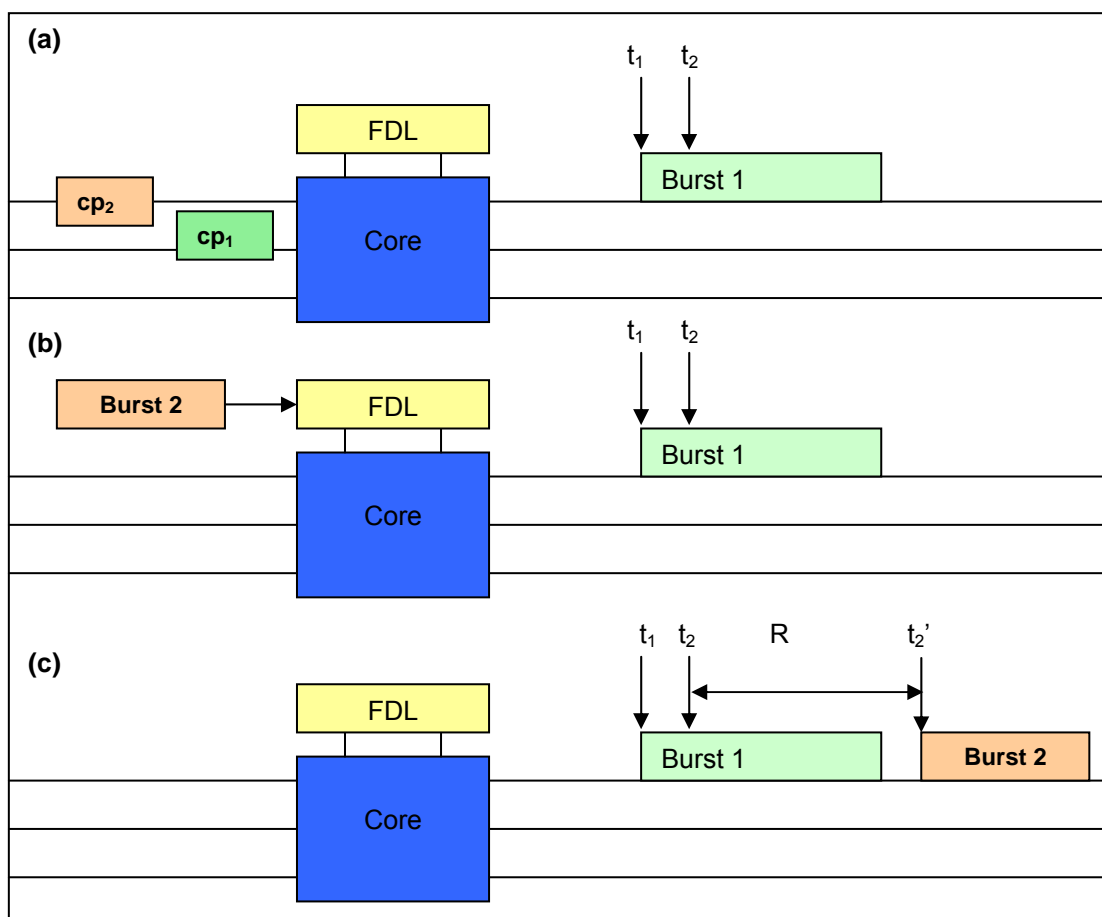


Figura 1.4. Resolució de contencions mitjançant fibres de retard

1.6.1.3. Conversió de longitud d'ona

La tècnica de conversió de longitud d'ona permet resoldre la contenció utilitzant una longitud d'ona lliure diferent de la sol·licitada inicialment per programar la transmissió de la ràfega [3,25,31]. L'ús de la tecnologia WDM fa possible obtenir més de 32 canals (longituds d'ona) operant a 10 Gb/s cadascun. Així doncs, la conversió de longitud d'ona [31] és una funcionalitat clau en les xarxes òptiques WDM per disminuir el bloqueig (o la contenció en el context OBS). No obstant, equipar tots els dispositius de la xarxa amb convertidors, pot suposar un cost elevat. A més, les conversions introdueixen retards i, en excés, poden suposar la degradació excessiva del senyal. És per això que sovint es planteja l'ús de conversió parcial de longitud d'ona o, fins i tot, es persegueix el compliment de la restricció de continuïtat en longitud d'ona (*Wavelength Continuity Constraint*).

Com a alternativa a la conversió total de longitud d'ona (*Full Wavelength Conversion, FWC*), en la que s'assumeix que tota conversió és possible (des de qualsevol longitud d'ona d'entrada a qualsevol longitud d'ona de sortida), es defineixen diverses estratègies de conversió parcial, en les quals la conversió només és possible sobre un conjunt finit de longituds d'ona. Aquesta tècnica, coneguda com a conversió parcial (*Partial Wavelength Conversion, PCW*)

redueix el nombre de convertidors de longitud d'ona (*Tunable Wavelength Converters*, TWC) necessaris i, per tant, abarateix el disseny a canvi d'una major probabilitat de bloqueig [30].

Quan s'utilitza la tècnica de conversió parcial de longitud d'ona, existeixen dues alternatives a l'hora de realitzar la conversió: utilitzar el rang complet de longituds d'ona disponibles als convertidors o utilitzar un rang limitat de longituds d'ona sobre les que realitzar conversió. Aquesta característica del mecanisme de conversió es coneix com a FR-TWC (*Full Range-TWC*) i LR-TWC (*Limited Range-TWC*), respectivament. L'elecció d'un rang o d'un altre modifica la probabilitat de bloqueig de la comunicació.

La Figura 1.5. mostra un exemple de conversió de longitud d'ona. Un node OBS que disposa de dues longituds d'ona (λ_1 i λ_2), rep dos paquets de control consecutius cp_1 i cp_2 que volen programar la transmissió d'una ràfega utilitzant λ_1 . El temps d'arribada de les respectives ràfegues és t_1 i t_2 , amb una durada de Δt_1 i Δt_2 ; tal que $t_1 < t_2 < t_1 + \Delta t_1$. El node reserva els recursos per a la ràfega 1, segons el que s'anuncia al paquet de control cp_1 (Figura 1.5.). Quan arriba el cp_2 , però, la reserva no es pot fer ja que $t_1 < t_2 < t_1 + \Delta t_1$.

En cas de no disposar de mecanismes de resolució de contencions, es produiria la pèrdua de la ràfega 2. No obstant, com que el node disposa de la capacitat de conversió de longitud d'ona, i en l'interval $(t_2, t_2 + \Delta t_2)$ la longitud d'ona λ_2 està lliure, es pot programar la transmissió de la ràfega 2 (Figura 1.6.), evitant així la contenció.

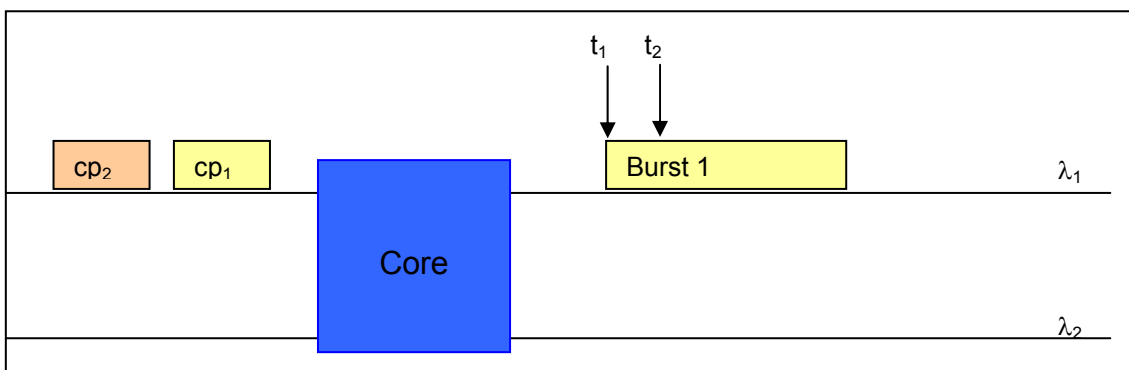


Figura 1.5. Resolució de contenció mitjançant conversió de longitud d'ona (A)

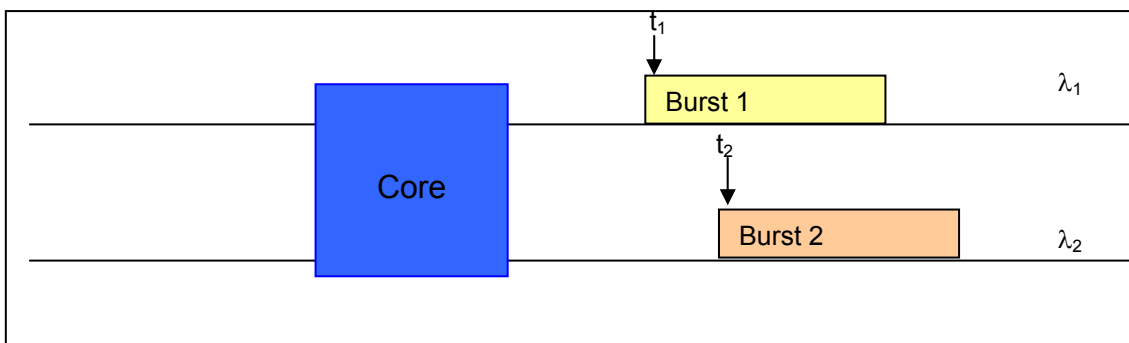


Figura 1.6. Resolució de contenció mitjançant conversió de longitud d'ona (B)

1.6.1.4. Segmentació de ràfegues

El mecanisme de segmentació de ràfegues [18,22] permet, en cas de contenció, descartar només part de la informació de la ràfega (en particular, la que es veu afectada per la contenció). Aquesta tècnica pot tenir un control complicat, però aconsegueix molt bons resultats, sobretot si es combina amb la deflexió. Per a combinar aquestes estratègies existeixen dues variants [4]:

- **Segment-first:** En aquest cas, si hi ha contenció, primer es segmenta la ràfega. Aleshores, sobre el port de sortida original es programa la part de la ràfega que no competeix per l'ús dels recursos amb cap altra ràfega, mentre que la resta de la ràfega es programa sobre algun altre port de sortida disponible.
- **Deflect-first:** En aquest cas, si hi ha contenció, primer es considera l'ús d'un port alternatiu. Si no hi ha cap port alternatiu on programar la ràfega sencera, aleshores es recorre a la segmentació.

CAPÍTOL 2. INTRODUCCIÓ AL SIMULADOR DE XARXES OBS

En aquest capítol es descriu el funcionament bàsic del simulador utilitzat en aquest projecte i la implementació dels diferents mecanismes de resolució de contencions que es consideren en la comparativa.

2.1. Descripció del funcionament bàsic del simulador

El simulador de xarxes OBS utilitzat està basat en esdeveniments i programat en llenguatge C. Com a entrada del simulador, cal especificar el nom de quatre fitxers que, respectivament, descriuen la topologia de la xarxa, les característiques de les fonts, els paràmetres temporals del simulador i els esdeveniments que fan referència a canvis topològics de la xarxa durant la simulació.

El simulador implementa tant el pla de dades com el pla de control d'una xarxa OBS. Com s'ha comentat al capítol anterior, el pla de control d'una xarxa OBS aglutina totes les tasques relacionades amb la generació, la transmissió i el processat dels paquets de control, la finalitat dels quals és distribuir la informació necessària per tal de configurar els dispositius intermedis de la xarxa amb l'objectiu d'aconseguir que la transmissió de les ràfegues es pugui realitzar íntegrament en el domini òptic. La Figura 2.1. il·lustra el funcionament general del pla de control implementat al simulador.

Els mecanismes de resolució de contencions s'activen quan no és possible realitzar la reserva dels recursos sol·licitats pel paquet de control en algun enllaç. Quan un node intermedi de la xarxa OBS (*core node*) rep un paquet de control, n'analitza el contingut per tal de comprovar la disponibilitat dels recursos sol·licitats. La informació que conté aquest paquet de control depèn del mecanisme de senyalització que s'utilitzi. El mecanisme de senyalització que s'utilitza al simulador es basa en el protocol de reserva JET, per tant, el paquet de control ha d'incloure informació sobre l'instant exacte d'inici i de final de la transmissió de la ràfega associada. Aquesta informació temporal no suposa una restricció de sincronisme tan estricta com podria semblar d'entrada, ja que és suficient distribuint informació temporal relativa.

En cas que els recursos sol·licitats (interval de transmissió i longitud d'ona) estiguin disponibles en el següent enllaç direcció al node destí, es realitza la reserva i es transmet el paquet de control al següent node de la xarxa, amb les modificacions pertinents (principalment, actualització de l'interval temporal de transmissió). En cas que els recursos sol·licitats no estiguin disponibles, cal aplicar un mecanisme de resolució de contencions per tal de buscar una alternativa que permeti realitzar la transmissió de la ràfega (ja sigui en un interval temporal diferent, o bé utilitzant una longitud d'ona diferent, o bé seleccionant un enllaç de sortida alternatiu). Si el mecanisme de resolució de

contencions no pot resoldre el conflicte, la ràfega serà descartada quan arribi al node que no ha pogut realitzar-ne la reserva.

La probabilitat que es produeixi contenció en un determinat node depèn en gran mesura del criteri utilitzat per escollir el camí i la longitud d'ona al primer node que programa la transmissió de la ràfega. És a dir, tan bon punt un node frontera d'entrada a la xarxa OBS (*ingress node*) té una ràfega llesta (o inclús durant la generació de la mateixa) s'inicia el procés de reserva de recursos per a la seva transmissió. Aquest procés inclou la cerca d'un camí cap al destí i la selecció d'una longitud d'ona i d'un interval temporal per realitzar la transmissió en el primer dels enllaços d'aquest camí (enllaç local al node d'entrada a la xarxa OBS). Si el mecanisme de selecció utilitzat permet tenir en compte criteris capaços de reduir la probabilitat de bloqueig als nodes intermedis, el rendiment global de la xarxa és millor.

La comparativa realitzada en aquest projecte compara el rendiment de quatre estratègies:

- Conversió de longitud d'ona (Conv)
- Conversió parcial de longitud d'ona (PConv *Near* o PConv *Far*)
- Línies de retard (*Fiber Delay Lines*, FDL).
- Esquema *Collision Free – Routing and Wavelength Assignment* (CF-RWA) + línia de retard única a cada node intermedi de la xarxa.

Cadascuna d'aquestes estratègies defineix un mecanisme de selecció de camí i longitud d'ona a l'origen amb un determinat mecanisme de resolució de contencions en cas de problemes en un node intermedi. Al simulador, la selecció d'una proposta o d'una altra s'especifica mitjançant un paràmetre d'entrada.

Finalment, cal comentar que en totes les proves presentades en aquest projecte s'utilitza encaminament de font (és a dir, el paquet de control inclou informació sobre la seqüència d'identificadors dels nodes que ha de travessar la ràfega a través de la xarxa). No obstant, el simulador permet mantenir taules d'encaminament en tots els nodes intermedis i, en cas de contenció, és possible buscar un camí alternatiu per a la transmissió de cada ràfega.

El següent diagrama il·lustra els processos que realitza el simulador associats al pla de control d'una xarxa OBS.

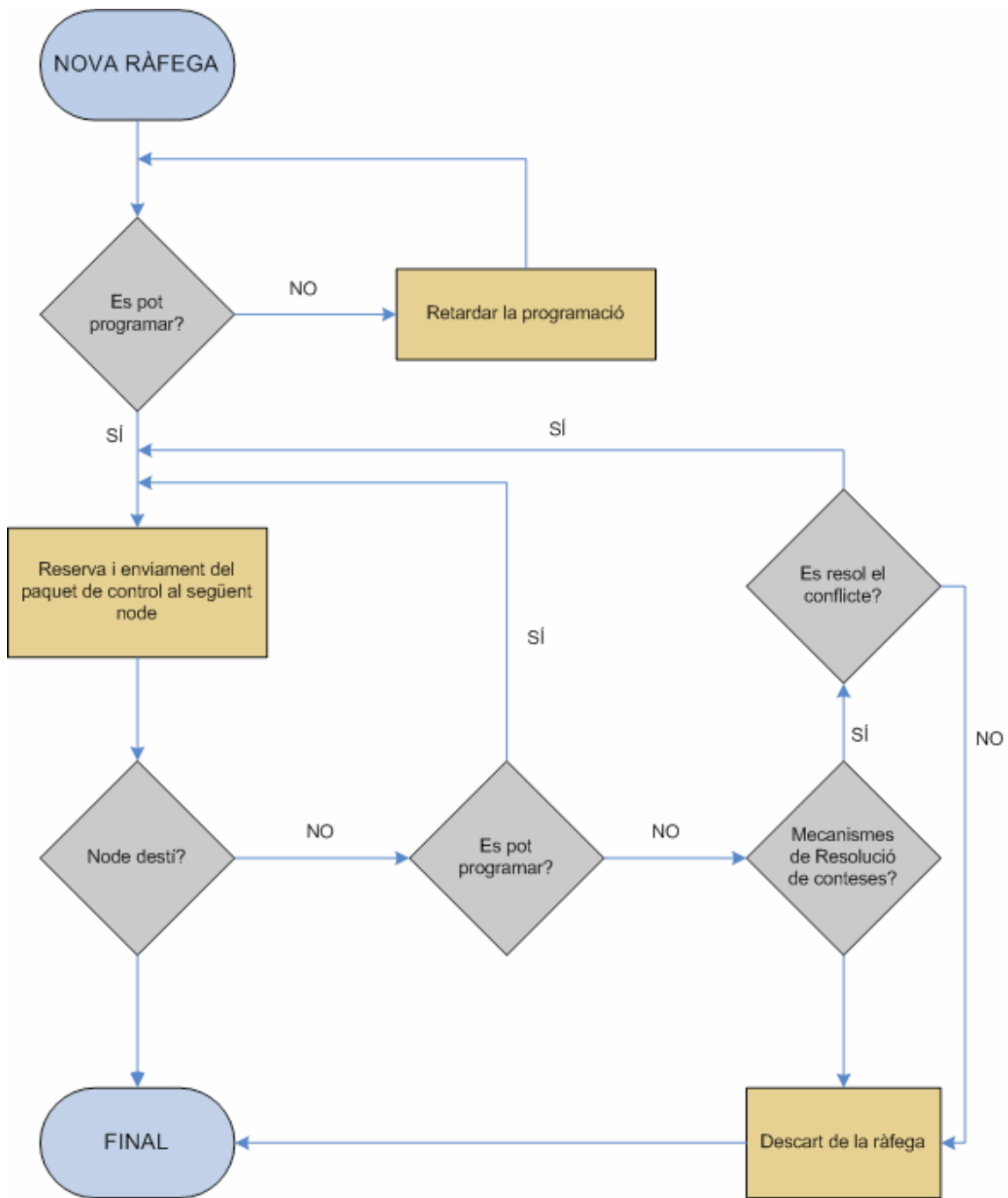


Figura 2.1. Processos del pla de control d'una xarxa OBS

2.2. Propostes analitzades al simulador

A continuació es descriuen breument les diferents estratègies comparades en aquest projecte.

2.2.1. Proposta Conv (Conversió de Longitud d'Ona)

En aquest cas, el mecanisme de resolució de contencions que s'utilitza es basa en la conversió total de longituds d'ona. L'ordre amb el que s'analitzen les diferents longituds d'ona sobre les que realitzar la reserva és aleatori. Un cop programada la transmissió de la ràfega sobre un enllaç de sortida, es modifica la informació del paquet de control per tal que el següent node en direcció al destí intenti reservar els recursos necessaris sobre la nova longitud d'ona, reduint així el nombre de conversions que cal realitzar.

Per a la selecció del camí a la font, les rutes es llegeixen d'un fitxer i, si hi ha més d'un camí possible cap a un determinat destí, s'escull seguint el criteri de camí més curt. La longitud d'ona escollida és la primera sobre la que es pot realitzar la programació (analitzant-les de forma aleatòria i tenint totes elles la mateixa probabilitat de ser escollides).

2.2.2. Proposta PConv (Conversió Parcial de Longitud d'Ona)

Com s'ha comentat anteriorment, el mecanisme de conversió parcial permet conversió només sobre les longituds d'ona d'un determinat rang. Hi ha diverses propostes en les que s'estudia la problemàtica de la conversió parcial de longitud d'ona [25,30,31,32,33] i es discuteix el criteri que cal utilitzar per determinar el rang més òptim per a realitzar la conversió.

En aquest projecte, els criteris de selecció del rang de longituds d'ona sobre el qual es realitza la conversió són els següents:

Mètode NEAR

Aquest mètode considera, només, les longituds d'ona adjacents a la longitud d'ona sol·licitada com a rang vàlid per a realitzar la conversió en cas de conflicte.

Mètode FAR

En aquest cas, el rang que es té en compte a l'hora de realitzar la conversió de longitud d'ona és justament el conjunt de longituds d'ona no adjacents a la inicialment seleccionada.

Com en el cas anterior, les rutes entre cada parell de nodes s'extreuen d'un fitxer i la selecció del camí (en el cas d'existir més d'una alternativa) es fa en funció del camí més curt. Per a la selecció de la longitud d'ona a la font, se segueix un ordre aleatori. En cas de contenció en un node intermedi, es realitza conversió de longitud d'ona tenint en compte només aquelles longituds d'ona definides en funció del criteri utilitzat (*Near* o *Far*). Dins un mateix rang, la selecció de les longituds d'ona es realitza de forma aleatòria.

2.2.3. Proposta FDL (Fibres de Retard)

Les fibres de retard (*Fiber Delay Lines*, FDLs) permeten emmagatzemar temporalment les ràfegues. A diferència d'un *buffer* electrònic, però, una FDL només pot proporcionar un retard constant depenent de la seva longitud. A més, per tal d'aconseguir retards de pocs microsegons, calen fibres de diversos kilòmetres [27].

En cas de contenció, el node comprova si l'enllaç de sortida sol·licitat disposa de FDLs. Si hi ha FDLs, el node comprova també si la longitud d'ona està disponible per a la transmissió de la ràfega tenint en compte el retard que proporciona alguna d'aquestes FDLs i si la FDL en qüestió està lliure en l'interval de transmissió sol·licitat. En cas afirmatiu, es realitza la reserva de la longitud d'ona a l'enllaç de sortida i a la FDL (en els intervals de temps corresponents), es modifica el paquet de control amb informació actualitzada i s'envia al següent node en direcció al destí.

2.2.4. Proposta CF-RWA

Els mecanismes comentats anteriorment, redueixen les contencions però no asseguren pèrdues nul·les (si més no, no asseguren pèrdues nul·les en tots els escenaris). A [5] es descriu una estratègia dissenyada per tal d'evitar completament les pèrdues sense perdre les avantatges principals de les xarxes OBS: baix retard i capacitat de multiplexat estadístic. Per tal d'aconseguir-ho, aquesta estratègia combina: 1) un esquema d'assignació de camins i longituds d'ona que evita col·lisions (*Collision-Free Routing and Wavelength Assignment*, CF-RWA), i 2) l'ús d'una única fibra de retard en cada port de sortida de cada node intermedi de la xarxa.

En aquest context, es considera que dos camins col·lideixen si comparteixen un enllaç intermedi tal que l'enllaç immediatament anterior és diferent en els dos camins. Així doncs, es diu que dues ràfegues col·lideixen si utilitzen la mateixa longitud d'ona en dos camins que col·lideixen i competeixen per l'ús simultani dels mateixos recursos.

A [6] es proposa una tècnica d'acoloriment de grafs que permet garantir la definició d'un esquema CF-RWA adequat, és a dir, un esquema en el qual les comunicacions que utilitzen camins que col·lideixen tenen assignades longituds d'ona diferents. A banda de garantir l'eliminació completa de les col·lisions, sovint resulta interessant avaluar el tràfic que un determinat esquema CF-RWA

permet transportar, o bé condicionar-ne el disseny per aconseguir transmetre un determinat perfil de tràfic. Per tal de vincular el tràfic amb la definició d'un esquema CF-RWA adequat, es poden utilitzar mètodes heurístics o recórrer a l'ús de tècniques de programació lineal (per a una explicació més detallada, veure [6]). En aquest projecte es parteix d'un esquema CF-RWA capaç de proporcionar un conjunt de camins per a cada comunicació (font-destí). A més, l'esquema assigna, per a cadascun d'aquests camins, el conjunt de longituds d'ona que es poden fer servir i el tràfic màxim que es pot transmetre utilitzant cadascuna de les longituds d'ona.

D'aquesta manera, complint l'assignació imposada per l'esquema CF-RWA i proveint cada node intermedi d'una fibra de retard en cadascun dels seus ports de sortida, es pot garantir que totes les ràfegues es transmeten amb èxit (sempre i quan el tràfic ofert a la xarxa no superi l'utilitzat en la pre-assignació de recursos). Per tal de garantir que la fibra de retard és capaç de solucionar amb èxit totes les possibles contencions que es poden produir després d'aplicar una pre-assignació de recursos segons un esquema CF-RWA adequat, cal que aquesta fibra de retard proporcioni un retard superior al màxim valor d'offset assignable més el temps de transmissió de la ràfega més llarga. A més, la fibra de retard no es pot utilitzar mai per endarrerir la transmissió de les ràfegues generades pel propi node (només es pot utilitzar per endarrerir les ràfegues en trànsit, és a dir, provinents d'algun altre node i que han de travessar el node en qüestió per arribar al destí).

CAPÍTOL 3. INTERFÍCIE GRÀFICA

Aquest capítol presenta el disseny i la implementació de la interfície gràfica del simulador.

3.1. Introducció

A més de diversos paràmetres que en determinen el funcionament, l'execució del simulador requereix la definició de diversos fitxers de configuració. El desenvolupament de la interfície gràfica ha permès simplificar el procés de generació d'aquests fitxers de configuració i facilitar la selecció dels paràmetres d'execució del simulador.

El desenvolupament de la interfície gràfica, anomenada **OBS Config File GUI v0.93**, s'ha realitzat utilitzant el llenguatge de programació GTK+ [38,39] amb l'entorn Glade [41,42] i permet realitzar tres processos:

- Generació dels fitxers d'entrada del simulador de xarxes OBS.
- Execució del simulador de xarxes OBS.
- Execució del programa que genera la pre-assignació de recursos segons l'esquema CF-RWA.

3.1.1. Generació dels fitxers d'entrada del simulador de xarxes OBS

Tal i com s'ha comentat anteriorment, el simulador requereix quatre fitxers d'entrada. A continuació es realitza una breu descripció de cadascun d'ells:

- **Topologia de la xarxa.** En aquest fitxer s'especifica el nombre total de nodes i la descripció de cadascun d'ells. Per a cada node, cal introduir el nombre d'enllaços als que està connectat el node, i la longitud i el nombre de longituds d'ona de cada enllaç. A més, cal especificar si hi ha FDLs disponibles en cada port de sortida de cada node; i, en cas d'haver-n'hi, cal especificar el retard que proporciona cadascuna de les fibres de retard.

El següent diagrama mostra els processos associats al desenvolupament de la part de generació del fitxer de topologia de la xarxa.

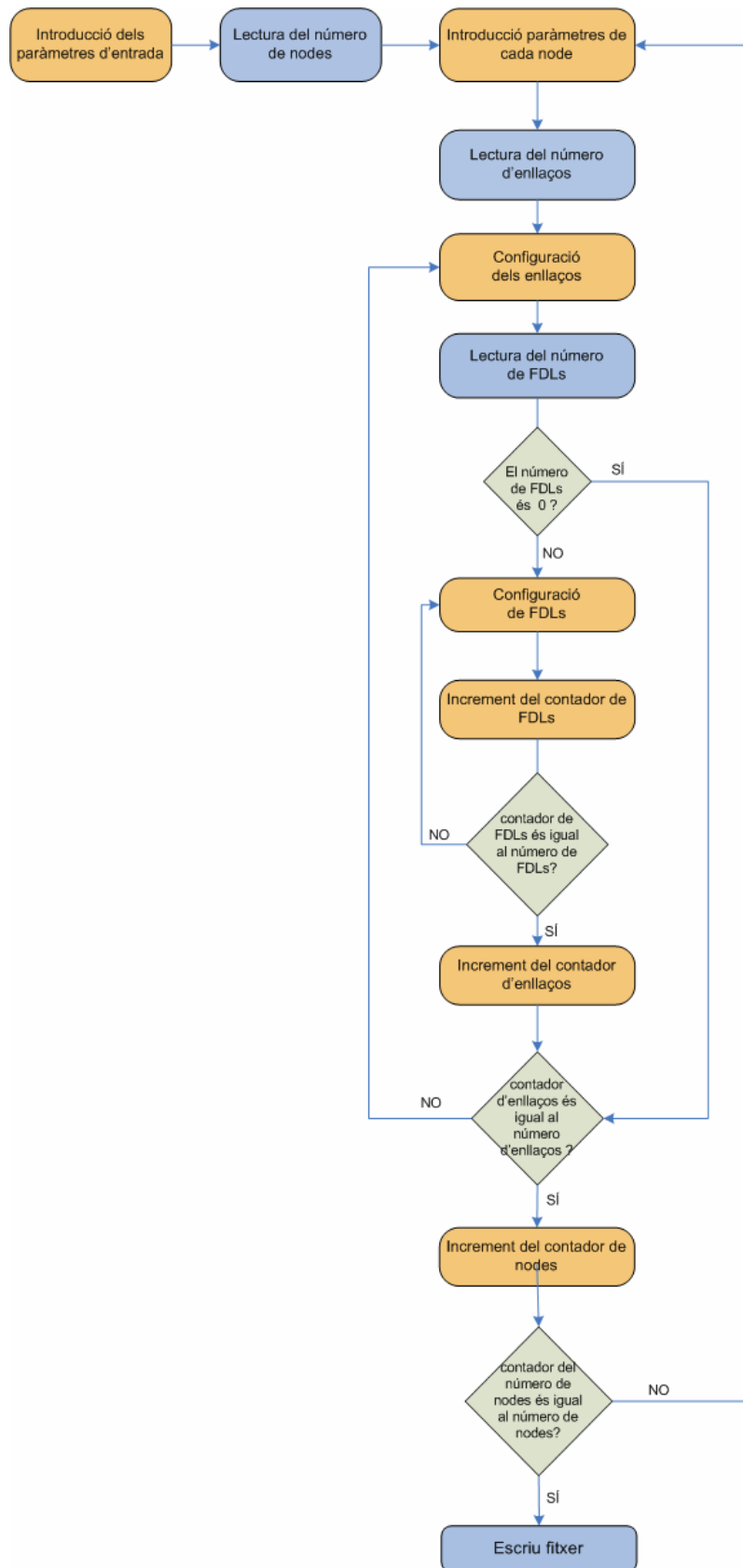


Figura 3.1. Generació del fitxer de topologia de xarxa

- **Característiques de les fonts.** En aquest fitxer s'especifiquen les característiques de les fonts, els nodes a les que estan connectades, els instants d'activació i desactivació, l'estadística de generació de les ràfegues i l'estadística que en governa la longitud. El simulador permet realitzar agregació de paquets basant-se en diferents mecanismes (per temps, longitud o mixtes). No obstant, en totes les proves realitzades en aquest projecte, s'ha treballat directament amb l'estadística de generació de les ràfegues. El diagrama que mostra la Figura 3.2 representa els processos que es succeeixen en la interfície gràfica durant la generació del fitxer de configuració de les característiques de les fonts.

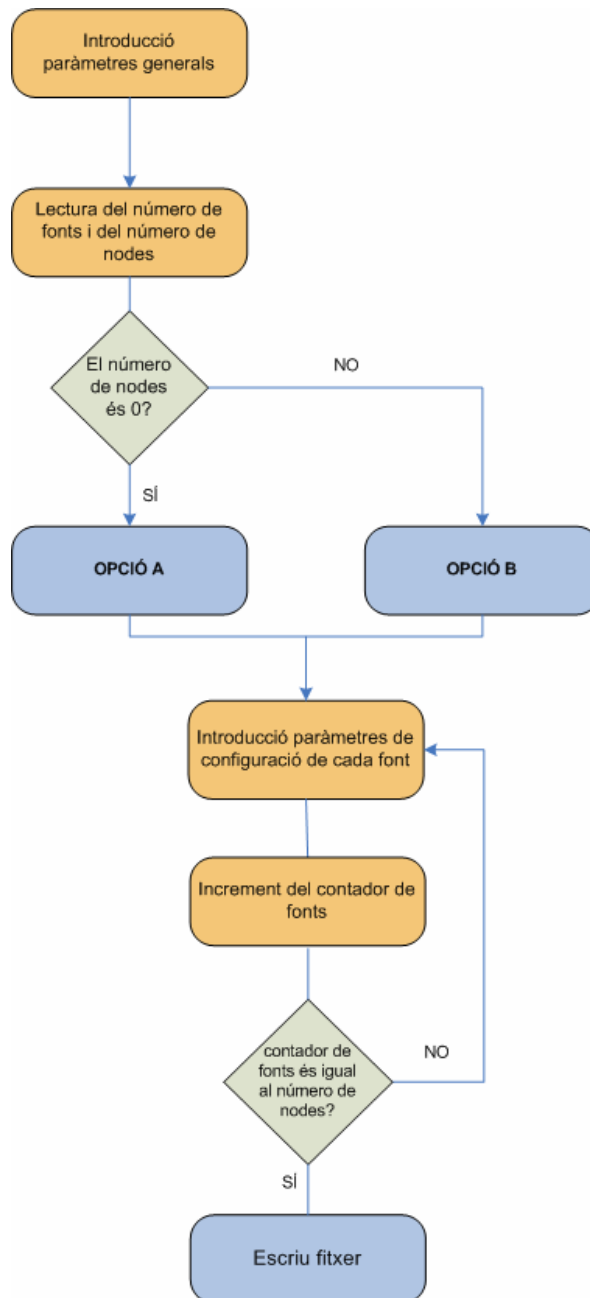


Figura 3.2. Processos associats a la generació del fitxer de fonts

Cal destacar que hi ha dues maneres diferents de configurar les fonts: (A) especificant el node destí, o (B) especificant que el tràfic generat per la font ha de ser distribuït de forma equitativa entre la resta de nodes de la xarxa. La configuració de les fonts influeix en el format en el qual s'obtenen els resultats.

- **Paràmetres temporals del simulador.** En aquest fitxer s'especifica la durada temporal de la simulació, la durada del transitori i la longitud dels intervals d'estadístiques parcials.
- **Canvis topològics de la xarxa durant la simulació.** En aquest fitxer s'especifiquen canvis topològics que es produeixen durant la simulació (caiguda d'enllaços, introducció de nous nodes, etc.). En cap de les proves realitzades en aquest projecte es consideren canvis topològics durant la simulació.

La complexitat de definir correctament els fitxers de simulació (sobretot quan es tracta d'escenaris grans) és la principal motivació per al desenvolupament de la interfície gràfica, que permet a l'usuari oblidar-se del format específic dels fitxers i preocupar-se només d'especificar cadascun dels paràmetres a mesura que la interfície gràfica els sol·licita.

3.1.2. Execució del simulador de xarxes OBS

La interfície gràfica permet l'execució del simulador de xarxes OBS, tant si és necessari generar els fitxers de configuració com si es volen utilitzar fitxers de configuració que es troben ubicats en un determinat directori. En aquest darrer cas, la ruta al directori dels fitxers de configuració es pot introduir manualment o bé cercar-la mitjançant la interfície gràfica. Els fitxers resultants de l'execució del simulador es guarden al mateix directori on hi ha els fitxers de configuració.

3.1.3. Execució del programa que realitza la pre-assignació de recursos segons l'esquema CF-RWA

En el cas d'utilitzar l'estratègia CF-RWA, descrita a l'apartat 2.2.4, l'execució del simulador requereix un fitxer d'entrada addicional que descriu la pre-assignació de recursos que cal tenir en compte per tal d'evitar col·lisions a la xarxa. La generació d'aquest fitxer addicional s'obté com a resultat de l'execució d'un programa independent del simulador. Aquest programa necessita un fitxer d'entrada que especifica la topologia de la xarxa i les característiques de les fonts i utilitza un format diferent del dels fitxers de configuració del simulador.

La interfície gràfica permet executar el programa de pre-assignació de recursos del mecanisme CF-RWA elaborant prèviament el fitxer d'entrada que requereix. Aquest fitxer es genera a partir de la informació que contenen els fitxers de configuració del simulador (tant si es generen de nou com si s'utilitzen fitxers prèviament definits).

L'execució del programa de pre-assignació de recursos és transparent a l'usuari i s'executa només en el cas que s'especifiqui l'ús de l'estratègia CF-RWA per a la simulació. No obstant, la interfície gràfica també permet utilitzar un fitxer de pre-assignació de recursos ja definit, permetent així l'execució de diverses simulacions utilitzant el mateix patró de pre-assignació de recursos sense haver d'executar necessàriament el programa de pre-assignació de recursos cada vegada que es vol fer servir l'estratègia CF-RWA.

El següent diagrama il·lustra els processos que es succeeixen en l'opció d'executar el simulador en la interfície gràfica.

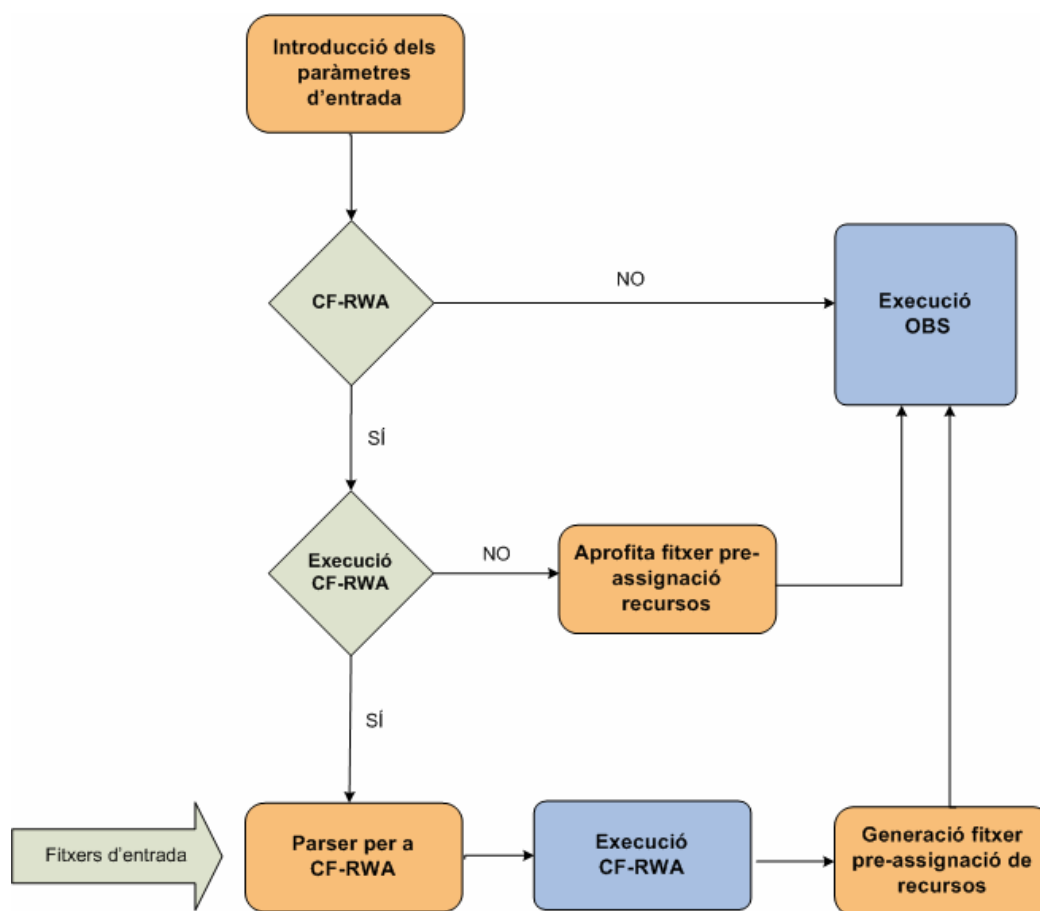


Figura 3.3. Diagrama de processos per l'execució del simulador

3.2. Descripció de GTK i Glade. Disseny d'interfícies

Per a la programació de la interfície gràfica s'ha utilitzat el GTK [38 39 40], un llenguatge dedicat al disseny d'aplicacions gràfiques, i l'entorn de treball Glade [41 42].

3.2.1. Descripció de GTK+

GTK+ és un conjunt de biblioteques o rutines per a desenvolupar interfícies gràfiques d'usuari (GUI), principalment per a entorns gràfics GNOME, XFCE i ROX de sistemes Linux. GTK+ és l'abreviatura de GIMP toolkit (conjunt de rutines per a GIMP). És software lliure (sota llicència LGPL), multiplataforma i part important del projecte GNU.

Inicialment va ser creat per a desenvolupar el programa de tractament d'imatges GIMP, però actualment és molt utilitzat per d'altres programes en els sistemes GNU/Linux. S'ha de mencionar que Qt és una alternativa a GTK que també és molt utilitzada en l'entorn de KDE.

GTK+ s'ha dissenyat per a poder programar amb llenguatges com C, C++, Java (Sun), Perl o Python. Actualment la seva darrera versió és GTK+ 2 (a gener de 2007), amb força millores respecte la primera versió, amb la qual no és compatible.

GTK+ es basa en tres biblioteques de l'equip de GTK+:

- Glib és una biblioteca de baix nivell, és l'estructura bàsica de GTK+ i GNOME. Proporciona la manipulació d'estructures de dades per a C, portabilitat, i interfícies per a funcionalitats a temps d'execució (runtime) com cicles, fils, càrrega dinàmica o sistemes d'objectes.
- Pango és una biblioteca per al disseny i renderitzat de text, de la qual en destaca la internacionalització. És el nucli per a manipular les fonts i el text de GTK+2.
- ATK és una biblioteca per a crear interfícies amb facilitats d'accessibilitat per a persones discapacitades o amb minusvalideses. Permet utilitzar eines com, per exemple, lupes d'augment, lectors de pantalla, o entrades de dades alternatives al clàssic teclat o ratolí d'ordinador.

3.2.2. Descripció de Glade

Glade és una eina de desenvolupament visual d'aplicacions mitjançant GTK/GNOME. Disposa de la llicència GPL i, tot i que es pot utilitzar de forma independent, està integrat a l'Anjuta 2 [43,44]..

Glade pot crear la interfície d'usuari de les aplicacions de dues maneres diferents: (1) generant codi font, o (2) carregant dinàmicament un fitxer XML de descripció de la interfície en temps d'execució. Qualsevol de les dues alternatives està disponible en una gran varietat de llenguatges de programació.

En aquest projecte s'ha utilitzat la versió 3 de Glade, que és una revisió completa del codi base original. La diferència principal amb la versió anterior, glade-2, és la completa desaparició del llenguatge C en la programació.

3.2.3. Descripció d'interfícies

L'aplicació s'estructura en cinc parts, cadascuna de les quals constitueix una pestanya de la pantalla principal de l'OBS Config File GUI v0.93, tal i com es mostra a la Figura 3.4.



Figura 3.4. Pantalla principal de la Interfície gràfica

Aquesta primera il·lustració representa la pantalla de benvinguda del simulador de xarxes OBS. Des de la pantalla principal s'accedeix a un petit manual d'utilització del simulador de xarxes OBS on es descriuen els paràmetres d'entrada necessaris per executar el simulador.

Les quatre pestanyes següents permeten configurar cadascun dels fitxers d'entrada del simulador, i la darrera pestanya permet executar el simulador.

3.2.3.1. Fitxer de descripció de la topologia de la xarxa (*fnetwork*)

La descripció de la topologia de la xarxa es realitza en diferents fases en les que l'usuari ha d'especificar els paràmetres a mesura que l'aplicació els sol·licita. Els processos associats a la configuració de la topologia són:

- Configuració del nombre de nodes i d'altres paràmetres generals.
- Configuració dels enllaços de cadascun dels nodes introduïts.
- Configuració de les FDLs.

La primera pantalla, mostrada a la Figura 3.5, permet introduir el nombre total de nodes, així com d'altres paràmetres generals (temps de procés de cada tipus de paquet, mecanisme d'encaminament utilitzat i algorisme de programació de les ràfegues). Després de prémer el botó "Write fnetwork", que apareix a la part inferior de la pantalla, el programa sol·licita la configuració de cadascun dels nodes (un node darrere l'altre per evitar que s'obrin un nombre excessiu de finestres).

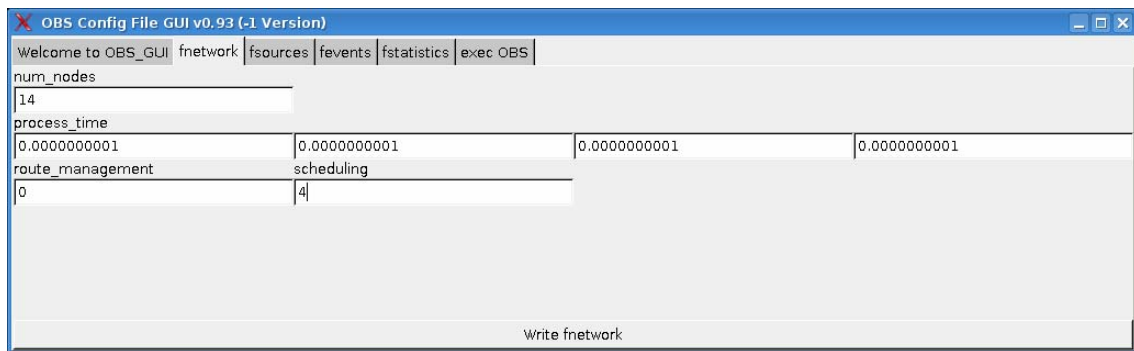


Figura 3.5. Pantalla principal de configuració del fitxer de la topologia de la xarxa

La Figura 3.6 mostra la finestra de configuració d'un node. El camp *type* fa referència al tipus de node que s'especifica (*edge* o *core*). El camp *Num_Links* permet fixar el nombre total d'enllaços (o ports de sortida) del node. La resta de paràmetres corresponen a opcions internes del simulador que no s'han estudiat en aquest projecte.

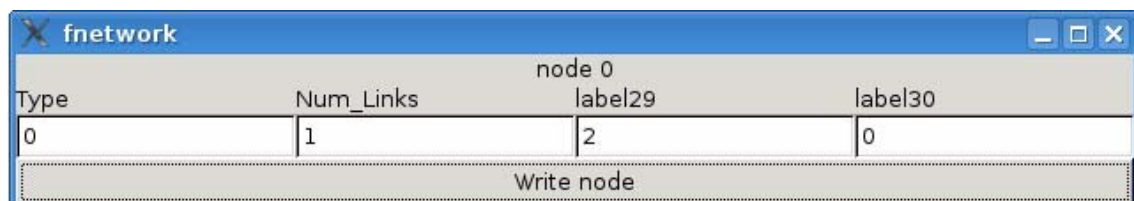


Figura 3.6. Pantalla configuració dels nodes

Al prémer el boto “Write node” de la part inferior de la pantalla de configuració d’un node, apareix una pantalla com la mostrada a la Figura 3.7, que permet configurar els paràmetres de cadascun dels enllaços. (Novament, les pantalles no apareixen totes alhora, sinó una darrera l’altra).

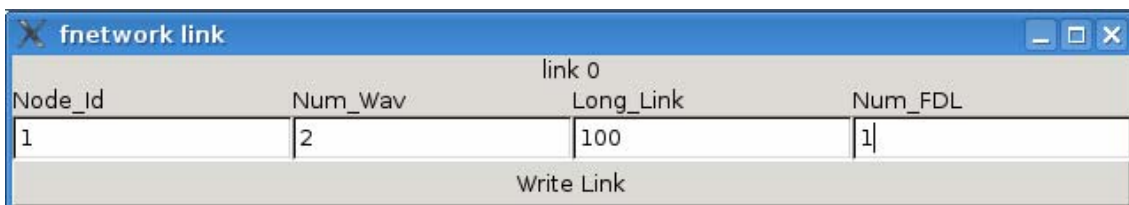


Figura 3.7. Pantalla configuració dels enllaços

En la configuració dels enllaços, a més d’especificar-ne la longitud i el nombre de longituds d’ona, cal decidir el nombre de FDLs de les que es disposarà en cada port de sortida. Al prémer el botó “Write Link”, apareixen tantes pantalles com FDLs s’hagin especificat per tal de configurar el retard que proporciona cadascuna d’elles. La Figura 3.8 mostra la finestra de configuració d’una FDL.

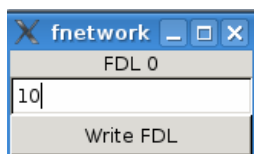


Figura 3.8. Configuració de les FDLs

3.2.3.2. Fitxer de descripció de les fonts (*fsources*)

La pestanya *fsources* de la pantalla principal, mostrada a la Figura 3.9, permet generar el fitxer de configuració de les fonts.

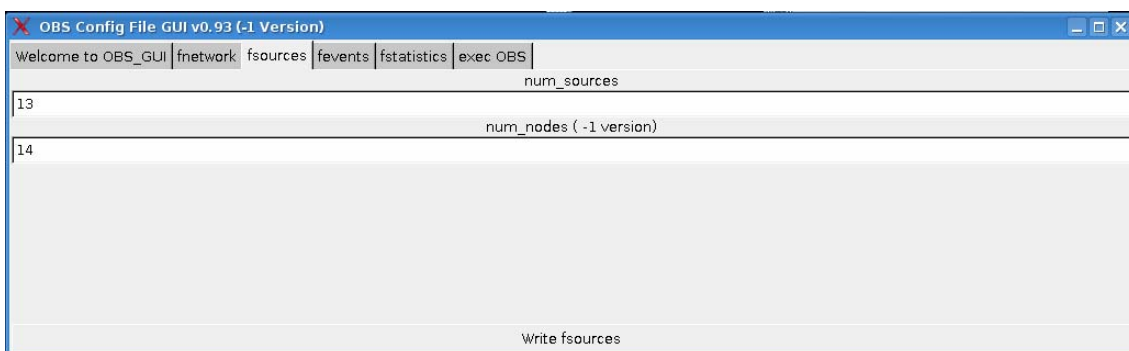


Figura 3.9. Pantalla de configuració de *fsources*

Com s'ha explicat a l'apartat anterior, el fitxer de característiques de les fonts permet diferents configuracions de l'enviament del tràfic. La Figura 3.10 representa la configuració d'una de les fonts on el destí és un node en particular.

source 0				
Simul_Mom	label53			
1000	1000			
Orig_Node	Dest_Node	label40	Gener_type	Burst_Lenght
0	1	0	p	e
Erlang	label45			
0.5	0.0			
Burst_Mean_Lenght	Variance	Vmin	Vmax	
12500	0.0	12500	12500	
RandomSeed1	RandomSeed2	RandomSeed3		
29302930239	2309230203	2390230293		
Write Source				

Figura 3.10. Paràmetres de configuració d'una font qualsevol

3.2.3.3. Fitxer de descripció dels canvis topològics de la xarxa (*fevents*)

La Figura 3.11 mostra la pantalla d'inici per a la generació del fitxer d'esdeveniments, que permet especificar canvis topològics a la xarxa durant la simulació. En aquest projecte no s'ha treballat amb canvis topològics i tampoc s'ha elaborat la part de la interfície gràfica que permet configurar-ne.

OBS Config File GUI v0.93 (-1 Version)	
Welcome to OBS_GUI fnetwork fsources fevents fstatistics exec OBS	
num_events	
0	
Write fevents	

Figura 3.11. Pantalla de configuració del events

3.2.3.4. Fitxer de descripció de les estadístiques (*fstatistics*)

La Figura 3.12 mostra la pestanya de configuració del fitxes d'estadístiques, en el qual s'especifiquen paràmetres temporals del simulador com per exemple la durada de la simulació, la durada del transitori i la longitud dels intervals d'estadístiques parcials.

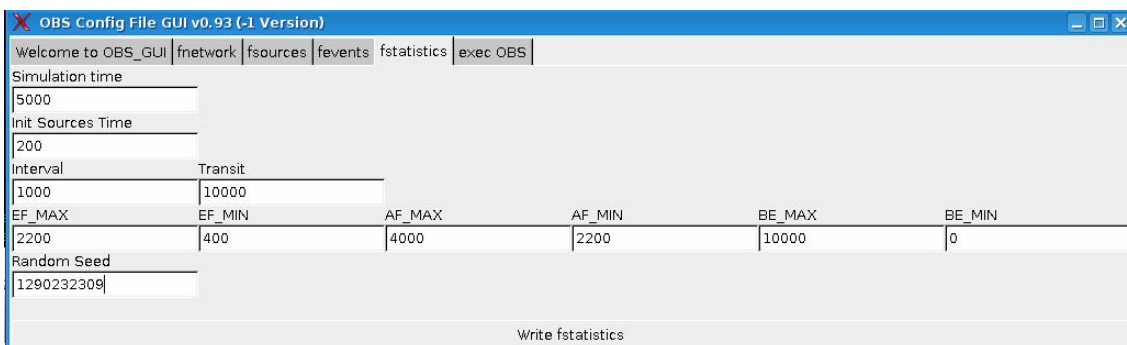


Figura 3.12. Pantalla de configuració de les estadístiques

3.2.3.5. Execució del simulador

L'última pestanya, Figura 3.13, permet executar el simulador i generar els fitxers d'entrada necessaris per a l'execució de l'esquema CF-RWA. Aquesta pestanya executa el simulador reutilitzant els fitxers que troba en el directori indicat, o bé, executa primer l'esquema CF-RWA i, amb el nou fitxer de pre-assignació de recursos i la resta de paràmetres d'entrada, executa el simulador.

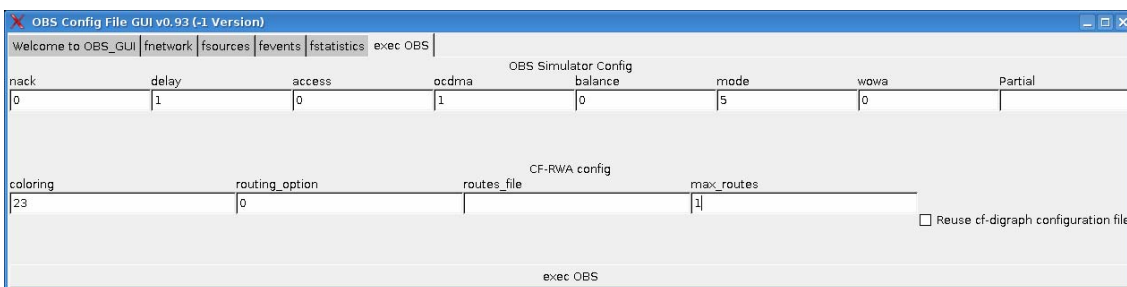


Figura 3.13. Pantalla d'execució del simulador

CAPÍTOL 4. TESTS

4.1. Introducció

Aquest capítol recull els resultats més significatius obtinguts en la comparativa de les diferents estratègies de resolució de contencions descrites a l'apartat 2.2 considerant dues topologies de xarxa diferents:

- Una xarxa en estrella de quatre nodes amb enllaços de 100 Km (en la qual es realitzen proves amb diferents configuracions de les fonts).
- La xarxa NSFNet (amb 14 nodes i 21 enllaços).

La primera topologia, gràcies a la seva simplicitat, permet verificar el correcte comportament dels diferents mecanismes de resolució de contencions avaluats. La segona topologia permet analitzar el comportament de les diferents propostes en un escenari més complex (i real), per tal de valorar la seva possible implementació en una xarxa d'aquestes característiques.

Els paràmetres comparats per als diferents mecanismes són els següents:

- Retard promig de transmissió de les ràfegues per a cada font.
- Utilització de les longituds d'ona.
- Probabilitat de pèrdua.
- Ocupació de la cua on s'emmagatzemen les ràfegues a l'espera que se'n pugui realitzar la programació.

Els mecanismes de resolució de contencions avaluats, excepte l'estratègia CF-RWA, no garanteixen pèrdues nul·les. L'estratègia CF-RWA sí que assegura l'èxit de la transmissió de les ràfegues (sempre i quan es respecti la pre-assignació establerta i les fonts no generin més tràfic del que s'ha tingut en compte a l'hora de realitzar aquesta pre-assignació). No obstant, l'estratègia CF-RWA no sempre utilitza camins de longitud mínima i, per tant, és d'esperar que el retard obtingut en aquest cas sigui superior que en la resta d'estratègies considerades, a canvi de garantir pèrdues nul·les.

Per tal d'avaluar què succeiria en el cas de comparar estratègies sense pèrdues, per a aquelles estratègies que poden tenir pèrdues s'han realitzat simulacions en les que es considera la retransmissió de les ràfegues descartades en un node intermedi a causa de la contenció entre ràfegues. En aquest cas, els nodes frontera han d'emmagatzemar una còpia de totes les ràfegues enviades i mantenir-la fins que puguin assegurar que la ràfega ha arribat amb èxit al destí (temps que es controla mitjançant un temporitzador).

4.2. Topologia senzilla

En aquest apartat es presenten els resultats més significatius obtinguts per a una xarxa de 4 nodes amb topologia en estrella per a la qual es consideren dues configuracions de fonts diferents.

En el primer cas (Figura 4.1), es configuren dues fonts (S0 i S1), amb destí el node 3, que generen ràfegues de longitud constant segons un procés de Poisson de taxa λ .

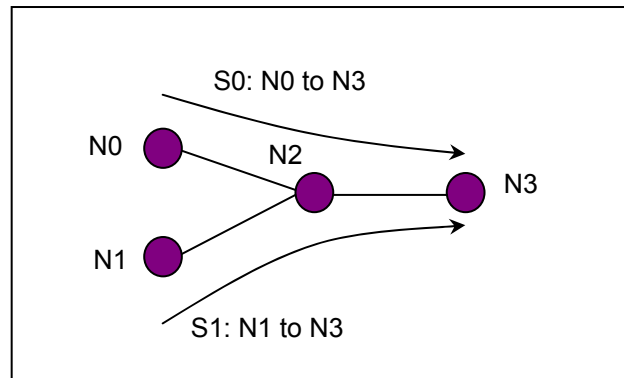


Figura 4.1. Topologia senzilla amb 2 fonts

En el segon cas (Figura 4.2), es configuren tres fonts (S0, S1 i S2), totes tres amb el node 3 com a destí, que generen ràfegues de longitud constant segons un procés de Poisson de taxa λ .

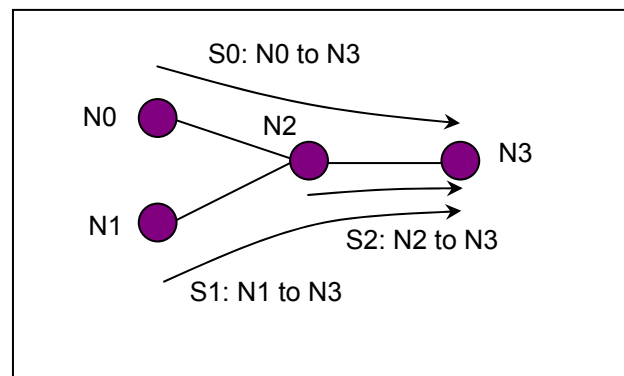


Figura 4.2. Topologia senzilla amb 3 fonts

4.2.1. Resultats per a la configuració amb dues fonts

A continuació es mostren els resultats de les proves referents a la topologia senzilla amb dues fonts. Els resultats mostrats per a aquesta topologia de xarxa corresponen a la comparació de les propostes següents:

- Conversió total de longitud d'ona (Conv).
- Conversió parcial de longitud d'ona pel cas *Near* (PConvNear) i pel cas *Far* (PConvFar).
- Fibres de retard (FDLs) (1 FDL de 40 microsegons).
- Esquema CF-RWA + 1 FDL de 40 microsegons en cada enllaç de sortida.

En cada enllaç es configuren 4 longituds d'ona i, per tant, el màxim tràfic introduït per cadascuna de les fonts (en el cas que totes dues transmetin el mateix tràfic) ha de ser inferior a $2E_r$ (càrrega per a la qual l'enllaç 2-3 arribaria al 100% de la seva utilització).

Tenint en compte que l'estratègia CF-RWA està especialment dissenyada per tal d'evitar pèrdues, també s'han realitzat simulacions que, per als tres primers mecanismes (conversió total i parcial de longitud d'ona i FDLs), consideren retransmissions. Així doncs, es compara el comportament de l'estratègia CF-RWA amb la resta de mecanismes en dos casos. En el primer s'admeten pèrdues i en el segon cas es consideren retransmissions per tal de garantir l'enviament de totes les ràfegues al node destí.

4.2.1.1. Retard de transmissió de les ràfegues

Les Figures 4.3 i 4.4 mostren el retard addicional (sense tenir en compte el retard de propagació) introduït en la transmissió de les ràfegues generades per la font S0 en funció del tràfic ofert. La Figura 4.3 mostra els resultats sense utilitzar retransmissions, mentre la Figura 4.4 mostra els resultats en el cas de considerar la retransmissió de les ràfegues descartades al node intermedi. L'eix d'ordenades representa el retard en microsegons i l'eix d'abscisses representa el tràfic introduït a la xarxa per cadascuna de les fonts.

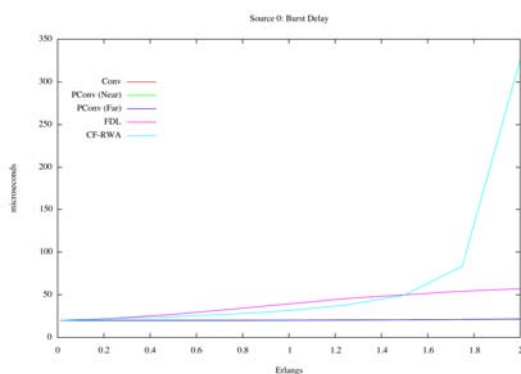


Figura 4.3. Retard S0 sense RTx

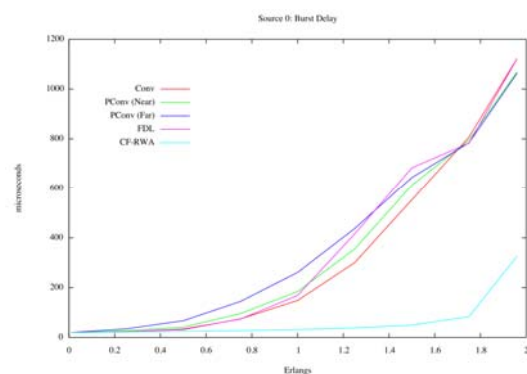


Figura 4.4. Retard S0 amb RTx

En el cas en el que no es consideren retransmissions, el retard addicional per als esquemes de conversió total i parcial és degut exclusivament a l'offset (és a dir, al retard entre la programació de les ràfegues i el seu enviament). En canvi, per a l'esquema de la fibra de retard, el retard de transmissió s'incrementa a mesura que el tràfic ofert a la xarxa s'incrementa, ja que les contencions entre ràfegues augmenten i per tant s'utilitza la fibra de retard amb més freqüència.

L'increment del retard addicional per a l'estratègia CF-RWA és causat exclusivament pel temps d'espera en cua fins que es poden programar les ràfegues. Per a tràfics oferts superiors a $1.5E_r$, aquest temps d'espera en cua augmenta considerablement. Tenint en compte que la pre-assignació de recursos ha de garantir que s'utilitzin longituds d'ona diferents en aquells camins que col·lideixen, cadascuna de les fonts només pot utilitzar dues de les longituds d'ona en el seu enllaç local. Per tant, quan el tràfic generat per la font supera els $1.5E_r$, la utilització d'aquestes dues longituds d'ona és superior al 75% i les fonts tenen dificultats per programar les ràfegues, fet que incrementa el temps d'espera en cua.

Quan s'activen les retransmissions, el retard addicional per a tots aquells esquemes que requereixen retransmissions per tal de garantir pèrdues nul·les (és a dir, tots excepte l'esquema CF-RWA) experimenten un increment considerable en termes de retard causat precisament per les retransmissions.

El retard addicional de les ràfegues generades per la font 1 es mostra a l'ANNEX A ja que els resultats per a ambdues fonts són molt similars.

4.2.1.2. Probabilitat de pèrdua de ràfegues

La Figura 4.5 mostra el percentatge de ràfegues perdudes de la font 0 en el cas de no tenir activades les retransmissions en funció del tràfic ofert.

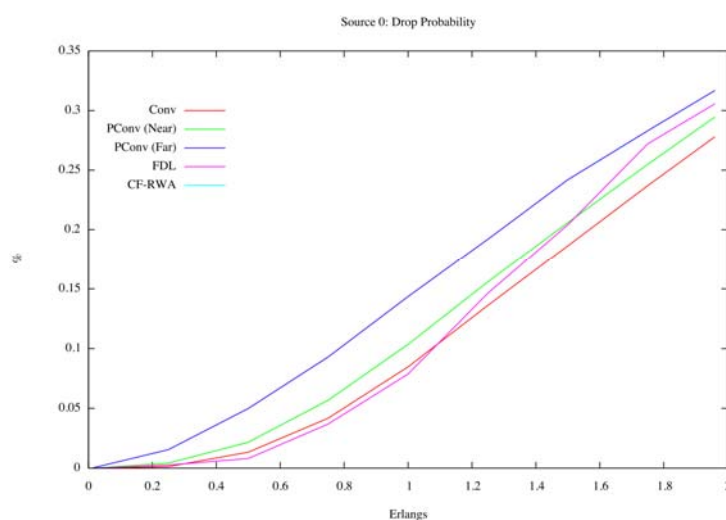


Figura 4.5. Probabilitat de pèrdua S0

Tal i com s'ha comentat a l'apartat anterior, les propostes que presenten pèrdues (quan no s'activen retransmissions) són el mecanisme de conversió total de longitud d'ona, les propostes de conversió parcial de longitud d'ona (*Near i Far*) i la proposta de FDLs.

4.2.1.3. Utilització de les longituds d'ona

La Figura 4.6 mostra la utilització de cadascuna de les quatre longituds d'ona de l'enllaç 0-2, sense retransmissions, en funció del tràfic ofert.

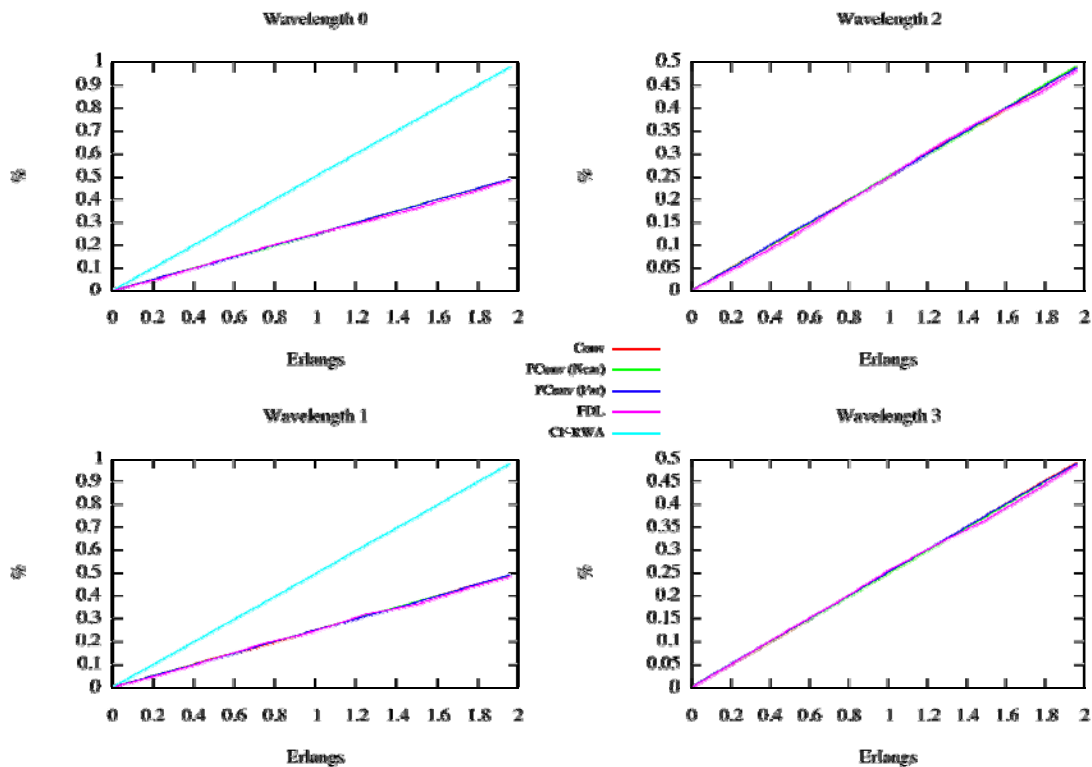


Figura 4.6. Utilització de les longituds d'ona de l'enllaç 0-2 sense RTx

Per tal d'evitar col·lisions, la pre-assignació de recursos de l'esquema CF-RWA només permet que la font S0 utilitzi les longituds d'ona 0 i 1. En canvi, la resta de propostes balancegen el tràfic entre les quatre longituds d'ona, ja que la selecció es realitza aleatòriament, tenint totes elles la mateixa probabilitat de ser escollides.

La Figura 4.7 mostra la utilització de les quatre longituds d'ona a l'enllaç 0-2 en cas d'activar les retransmissions. Com es pot observar, per a les propostes de conversió total de longitud d'ona, els dos casos de conversió parcial de longitud d'ona (*Near i Far*) i la proposta de FDLs, el creixement de la utilització de les longituds d'ona no segueix un comportament lineal a causa de la retransmissió de ràfegues.

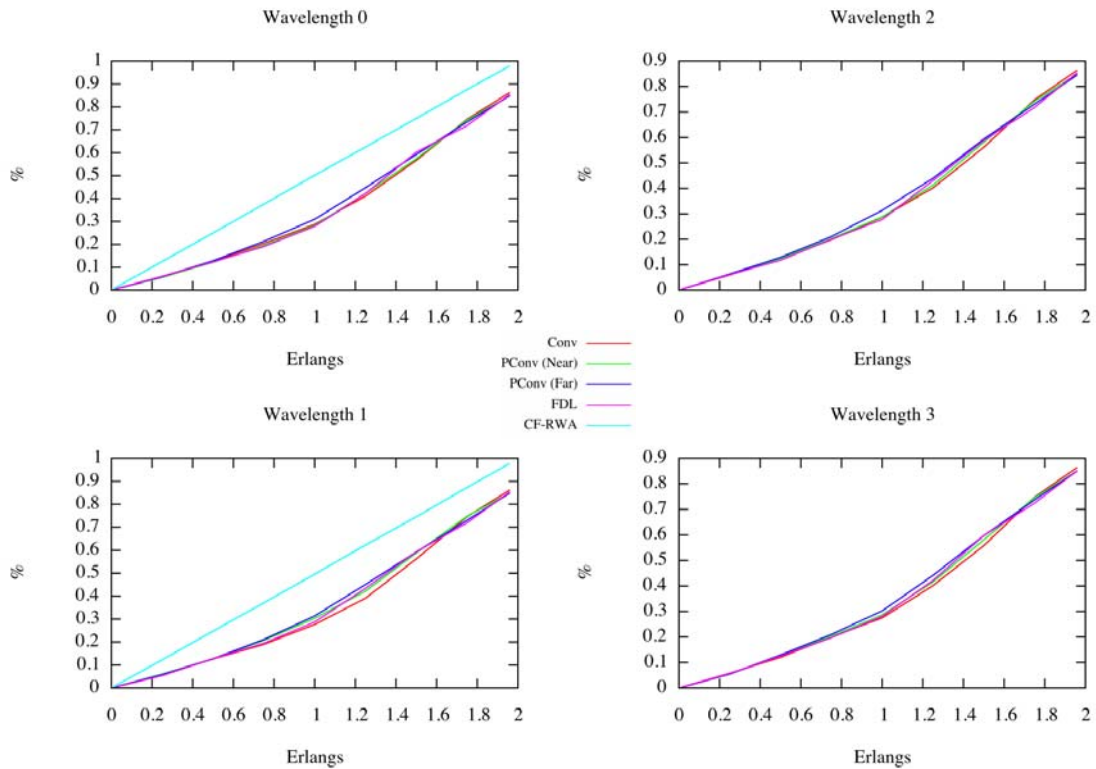


Figura 4.7. Utilització de les longituds d'ona de l'enllaç 0-2 sense RTx

La Figura 4.8 il·lustra la utilització de les quatre longituds d'ona de l'enllaç 2-3 en funció del tràfic ofert per al cas en el que no es consideren retransmissions.

L'enllaç 2-3 és compartit per totes dues fonts, S0 i S1. En tots els esquemes, excepte el CF-RWA, es produeixen contencions. (A l'estratègia CF-RWA no hi ha contencions perquè les dues fonts tenen assignades longituds d'ona diferents). Per als esquemes en els que hi ha contencions, a partir d'un determinat tràfic ofert, no totes les contencions es poden resoldre amb èxit i per tant la utilització de l'enllaç no creix linealment a mesura que el tràfic s'incrementa perquè no totes les ràfegues arriben al destí.

Activant les retransmissions, tal i com es mostra a la Figura 4.9, totes les ràfegues arriben al destí (amb totes les propostes analitzades) i, per tant, la utilització de les longituds d'ona creix linealment a mesura que s'incrementa el tràfic ofert.

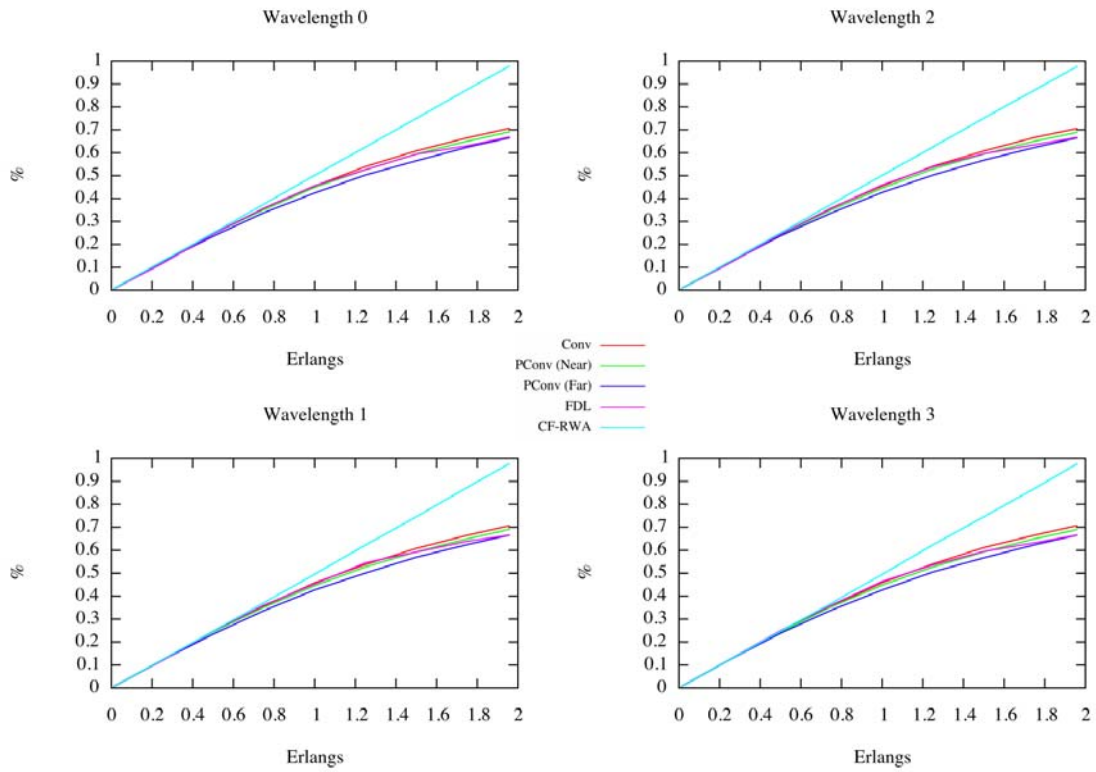


Figura 4.8. Utilització de les longituds d'ona de l'enllaç 2-3 sense RTx

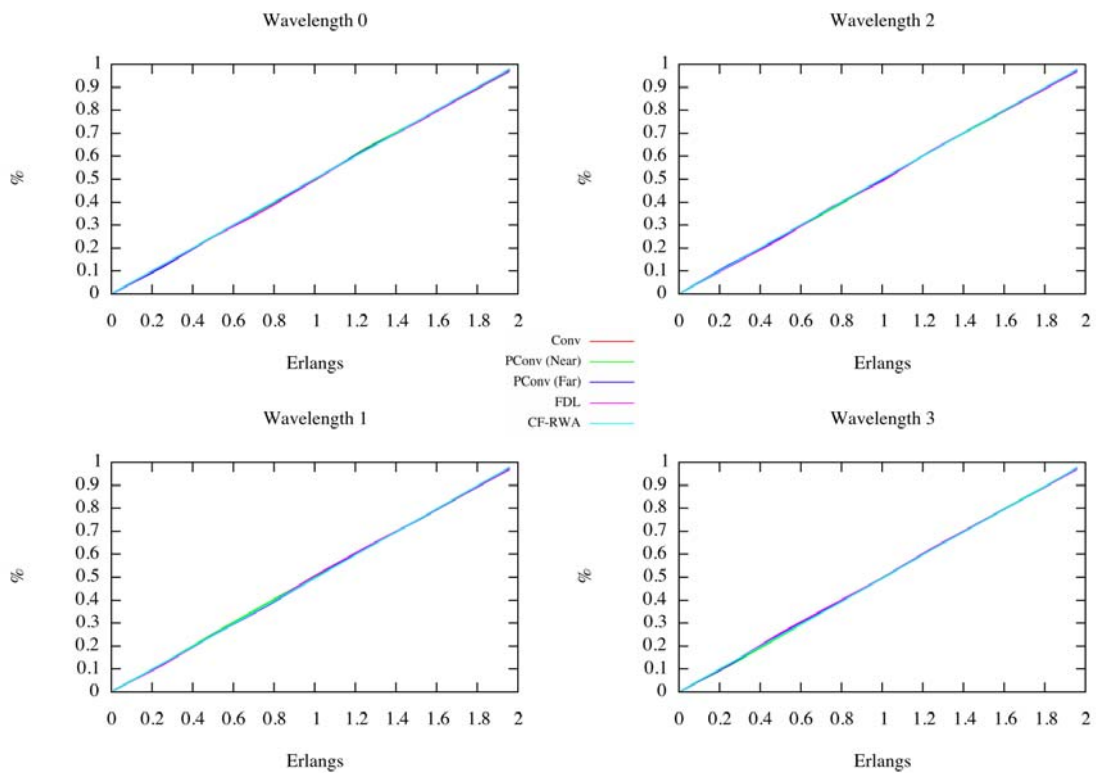


Figura 4.9. Utilització de les longituds d'ona de l'enllaç 2-3 amb RTx

La utilització de les longituds d'ona de l'enllaç 1-2 es mostra a l' ANNEX A, ja que els resultats són similars als mostrats per a l'enllaç 0-2. L'única diferència és que, amb l'estratègia CF-RWA, la font S1 només pot utilitzar les longituds d'ona 2 i 3 per programar les seves ràfegues.

4.2.1.4. Ocupació de la cua de peticions endarrerides

A la font, les ràfegues s'emmagatzemen en una cua fins que és possible programar-ne la transmissió. A continuació es mostra com varia l'ocupació d'aquesta cua per a la font S0 a mesura que s'incrementa el tràfic ofert.

La Figura 4.10 il·lustra la utilització de la cua de peticions endarrerides (en KBytes) sense activar les retransmissions. La Figura 4.11 mostra el detall de la utilització de la cua de peticions endarrerides de 0Er a 1.5Er.

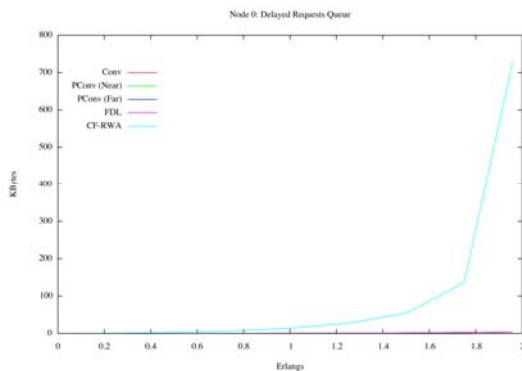


Figura 4.10. Cua de peticions endarrerides sense RTx

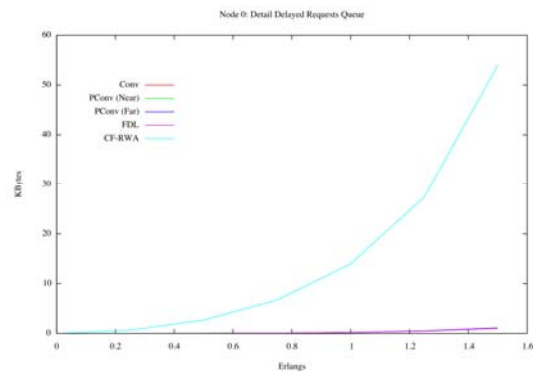


Figura 4.11. Detall de la cua de peticions endarrerides sense RTx

Sense retransmissions, a partir d'1Er, l'ocupació de la cua en les propostes de conversió de longitud d'ona i FDLs és petita en comparació amb l'ocupació per al cas CF-RWA. Cal recordar que en totes aquestes propostes, la font escull qualsevol de les quatre longituds d'ona disponibles a l'enllaç local per a programar la transmissió de les ràfegues; mentre que en el cas CF-RWA cada ràfega és assignada a una longitud d'ona determinada, essent només possible programar-les sobre dues de les longituds d'ona de l'enllaç.

La Figura 4.12 mostra l'ocupació de la cua en el cas d'activar retransmissions. La Figura 4.13 mostra el detall de l'ocupació d'aquesta cua per a tràfics oferts entre 0Er i 1.5Er. Per als esquemes que requereixen retransmissions, l'ocupació de la cua creix en comparació amb el cas sense retransmissions. Aquest increment s'explica pel fet que, com que algunes ràfegues han de ser retransmeses, la font ha de programar un nombre superior de ràfegues i, per tant, l'efecte és equivalent a transmetre un tràfic superior.

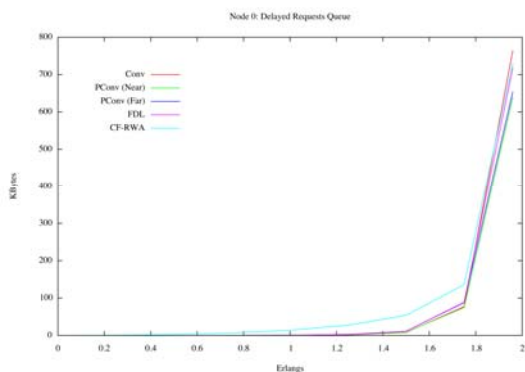


Figura 4.12. Cua de peticions endarrerides amb RTx

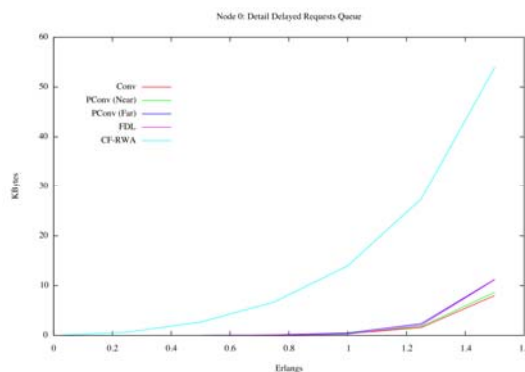


Figura 4.13. Detall de la cua de peticions endarrerides amb RTx

4.2.1.4.1. Anàlisi de l'ocupació de la cua de ràfegues endarrerides

Per tal de validar els resultats que s'obtenen en termes d'ocupació de la cua, es poden aplicar models analítics senzills que donin una idea de l'ordre aproximat dels resultats a esperar.

Considerant qualsevol de les dues fonts de l'escenari anterior, s'observa que, en funció de l'estratègia utilitzada, es poden diferenciar dos comportaments. Per als esquemes de conversió total i FDLs (sense pre-assignació de recursos), les longituds d'ona de l'enllaç de sortida de la font es trien aleatòriament i totes tenen la mateixa probabilitat de ser escollides per transmetre una determinada ràfega. En canvi, amb l'estratègia CF-RWA, la font està obligada a fer servir un determinat camí i una determinada longitud d'ona per a la transmissió d'un cert percentatge de ràfegues cap a un destí determinat. A continuació es proposa un model analític senzill per a cadascun dels dos comportaments.

4.2.1.4.1.1 Selecció aleatòria de les longituds d'ona a la font

Donada una font, suposem que qualsevol de les longituds d'ona de l'enllaç de sortida tenen la mateixa probabilitat de ser escollides per a transmetre una determinada ràfega. Aleshores, suposant que la capacitat de la cua on s'emmagatzemen les ràfegues fins a la seva programació és molt gran (considerada infinita), assumint que la generació de les ràfegues segueix un procés de Poisson i que la distribució de les ràfegues és exponencial, el sistema es pot modelar com un sistema M/M/C.

En el cas de la xarxa utilitzada per a les simulacions mostrades anteriorment, tots els enllaços tenen 4 longituds d'ona. És a dir, cada font es modela com un sistema M/M/4 (veure Figura 4.14).

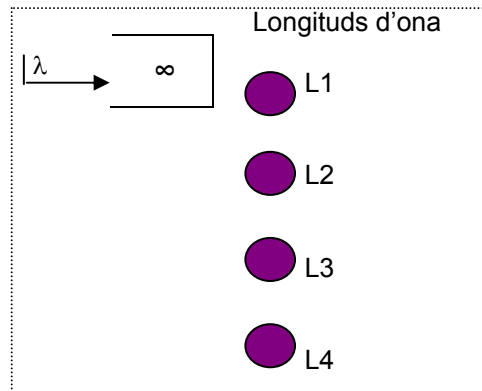


Figura 4.14. Model M/M/4

Cadascuna de les longituds d'ona proporciona una velocitat de transmissió de 10 Gb/s. Així doncs, considerant ràfegues de longitud distribuïda exponencialment de 12500 Bytes en promig, el temps mig de transmissió d'una ràfega és:

$$T_{servei} = \frac{12.500 \text{ Bytes} \cdot 8 \text{ bits/Byte}}{10 \text{ Gb/s}} = 10 \mu\text{s}$$

Equació 4.1. Temps de servei

El temps mig d'espera en cua en un sistema M/M/4, és:

$$W_q = \frac{1}{\mu C} \cdot Er_C(A, C)$$

$$1 - \frac{A}{C}$$

Equació 4.2. Temps d'espera en cua

on, $1/\mu$ és el temps mig de servei, A és el tràfic ofert a l'enllaç, C és el número de longituds d'ona i $Er_C(A, C)$ és la funció Erlang C que caracteritza la probabilitat de bloqueig per a un tràfic ofert A i un nombre de circuits C .

Per modelar que, en el simulador, quan no hi ha cap longitud d'ona disponible per realitzar la programació d'una ràfega, el següent intent no es realitza fins passats 10 microsegons, s'afegeix el següent retard addicional:

$$\left(\frac{A}{4}\right)^4 \cdot 10 \mu\text{s}$$

Equació 4.3. Temps addicional

Per calcular el nombre mig de paquets a la cua, es pot aplicar el teorema de Little:

$$Nq = Wq \cdot \lambda$$

Equació 4.4. Número de paquets en cua

on λ és la taxa de ràfegues cursades (que, en aquest sistema, coincideix amb la taxa de ràfegues que s'ofereixen perquè no es consideren pèrdues).

Si es vol expressar l'ocupació de la cua en Bytes, tenint en compte que cada ràfega té longitud promig 12500 Bytes, aleshores:

$$BytesCua = Nq \frac{12500 Bytes}{1 paquet}$$

Equació 4.5. Bytes a la cua de retardades

La Figura 4.15 mostra els resultats del model analític en contrast amb els obtinguts via simulació.

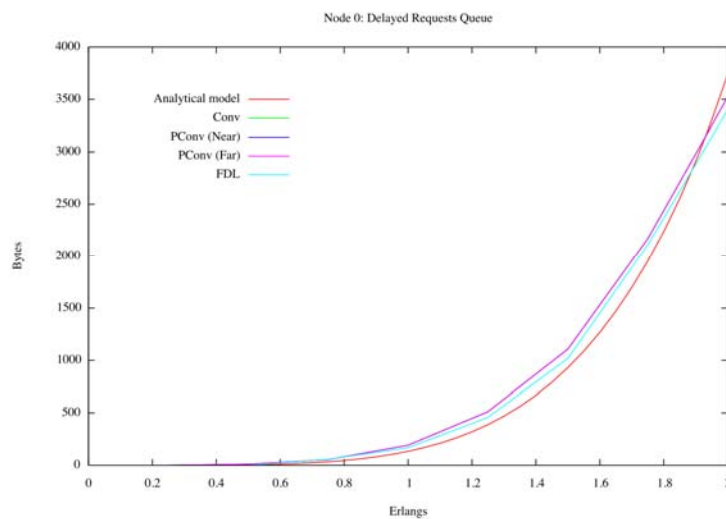


Figura 4.15. Cua de peticions endarrerides. Comparativa entre el model analític i les propostes de selecció aleatòria de longitud d'ona

La gràfica mostra els resultats de la cua de peticions endarrerides per als mecanismes de conversió total de longitud d'ona, conversió parcial de longitud d'ona (*Near* i *Far*) i FDLs ja que aquest model intenta modelar la selecció aleatòria de longituds d'ona a la font, i tots aquests esquemes ho fan.

4.2.1.4.1.2 Pre-assignació de longituds d'ona a la font

En l'estratègia CF-RWA, el tràfic que genera el node ja està pre-assignat a utilitzar una determinada longitud d'ona. Així doncs, considerant el procés d'arribades com un procés de Poisson i tenint en compte ràfegues de longitud fixa, cada longitud d'ona (i la cua corresponent on es s'emmagatzemen les ràfegues fins que se'n pot realitzar la transmissió) es pot modelar com un sistema M/D/1 (Figura 4.16). A més, com que només es permet programar la transmissió de les ràfegues en determinats instants (d'alguna manera com si el medi estigués ranurat), doncs es pot considerar un sistema M/D/1 amb vacances.

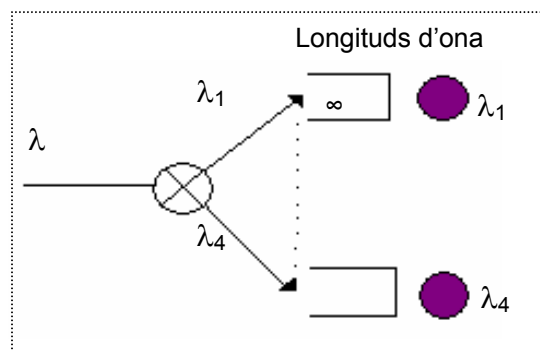


Figura 4.16. Aproximació al model representatiu de la proposta

Tenint en compte ràfegues de longitud constant i ranures de longitud fixa (és a dir, temps de vacances determinista), el temps mig d'espera en cua en un d'aquests subsistemes és:

$$W_q = \frac{1}{2} \cdot \frac{\rho}{1-\rho} \cdot \bar{x} + \frac{1}{2} \cdot \bar{v}$$

Equació 4.6. Temps d'espera en cua model M/D/1 amb vacances

on, x és el temps mig de servei (12500 Bytes *8 / 10 Gb/s), ρ és el tràfic ofert a cada longitud d'ona i v és el temps mig de vacances (fixat a 10 μ s).

A partir del retard promig a la cua, es pot obtenir la ocupació promig aplicant Little.

La Figura 4.17 mostra els resultats del model analític en comparació amb els obtinguts en la simulació en relació a l'ocupació de la cua per a la font S0. La Figura 4.18 mostra el detall del model analític en comparació amb els obtinguts en la simulació. En aquest cas, la font només pot utilitzar dues de les longituds d'ona de l'enllaç de sortida i , aquestes longituds d'ona que es poden utilitzar, ho fan amb la mateixa probabilitat. Així doncs, $\lambda_0 = \lambda_1 = 0.5\lambda$ i $\lambda_2 = \lambda_3 = 0$. Per tant, l'ocupació teòrica s'obté sumant l'ocupació obtinguda per a dos subsistemes M/D/1 amb vacances per als quals la taxa oferta és la meitat de la original.

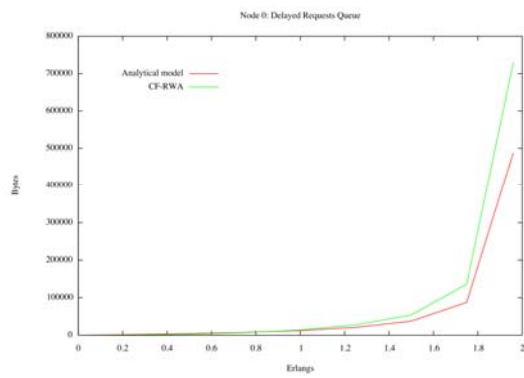


Figura 4.17. Cua de peticions endarrerides. Comparativa entre el model analític i l'estratègia CF-RWA

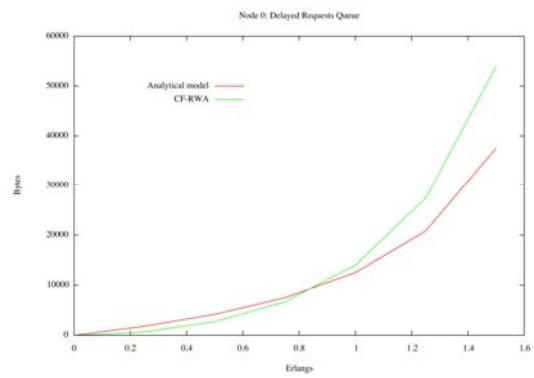


Figura 4.18. Detall de la cua de peticions endarrerides. Comparativa entre el model analític i l'estratègia CF-RWA

4.2.2. Resultats per a la configuració amb tres fonts

En aquest apartat es presenten els resultats obtinguts en el cas de considerar tres fonts sobre la topologia en estrella de 4 nodes. Així doncs, a més de les fonts S0 i S1, es considera una tercera font al node 2 (font S2) que també transmet ràfegues cap al node 3.

A diferència de l'escenari anterior, en aquest cas, l'estratègia CF-RWA permet multiplexat estadístic. És a dir, segons la pre-assignació de recursos utilitzada, la font S0 només pot utilitzar les longituds d'ona 0 i 1, la font S1 només pot utilitzar les longituds d'ona 2 i 3, però la font S2 pot utilitzar qualsevol de les 4 longituds d'ona disponibles a l'enllaç 2-3 per programar la transmissió de les seves ràfegues. Les possibles contencions resultants d'aquesta pre-assignació cal resoldre-les utilitzant la fibra de retard disponible al port de sortida del node 2 i que, en aquest cas, es configura per proporcionar un retard de 40 microsegons.

Igual que en el cas de dues fonts, les simulacions per als casos on es poden produir pèrdues (és a dir, conversió total i parcial de longitud d'ona i l'esquema d'1 FDL) s'han realitzat amb i sense retransmissions.

Com que totes tres fonts comparteixen l'enllaç 2-3, el màxim tràfic que pot introduir cadascuna d'aquestes fonts és d' $1.33E_r$ (màxim valor representat a l'eix horitzontal de les gràfiques).

4.2.2.1. Retard de transmissió de les ràfegues

La Figura 4.19 il·lustra el retard addicional per a les ràfegues transmeses per la font S0 sense activar retransmissions.

Com en l'escenari anterior, s'observa que el retard addicional per als mecanismes de conversió total i parcial de longitud d'ona és causat exclusivament per l'offset entre la programació i l'enviament de la ràfega, mentre el retard per al cas d'1 FDL s'incrementa a mesura que el tràfic ofert s'incrementa perquè s'utilitza la longitud d'ona més sovint per resoldre contencions. No obstant, per a l'estratègia CF-RWA les diferències respecte a l'escenari anterior són més notables. El motiu és que les fonts S0 i S1 comparteixen longituds d'ona amb la font S2 i, per tant, existeixen contencions que cal resoldre utilitzant la longitud d'ona del node 2. A mesura que el tràfic augmenta, l'ús de la fibra de retard també s'incrementa.

El comportament que s'observa a partir d' $1E_r$ és conseqüència que, tot i que hi ha multiplexat estadístic, no es poden aprofitar tots els intervals temporals entre programacions de ràfegues diferents i, per tant, no s'aconsegueix arribar al 100% d'utilització de les longituds d'ona a l'enllaç compartit. És a dir, la font S2 no és capaç d'introduir tot el tràfic que genera i per tant, la xarxa no és capaç d'absorbir tot el tràfic que s'ofereix (aquesta característica s'aprecia millor

observant els resultats de retard addicional per a la font S2 i la utilització de les longituds d'ona a l'enllaç 2-3).

La Figura 4.20 mostra els resultats obtinguts quan s'activen les retransmissions per als esquemes de conversió total i parcial de longitud d'ona i 1 FDL.

Com en l'escenari anterior, l'ús de retransmissions incrementa considerablement el retard addicional per a aquelles propostes que requereixen retransmissions per assegurar la correcta transmissió de les ràfegues.

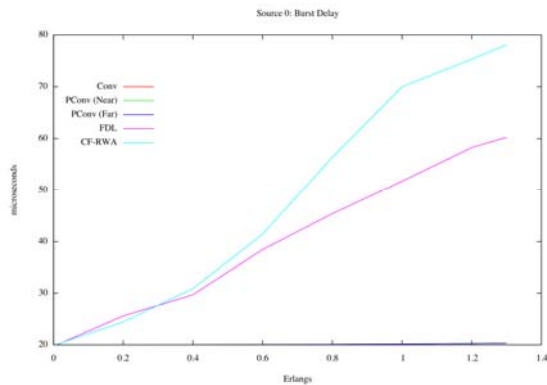


Figura 4.19. Retard de la S0 sense RTx

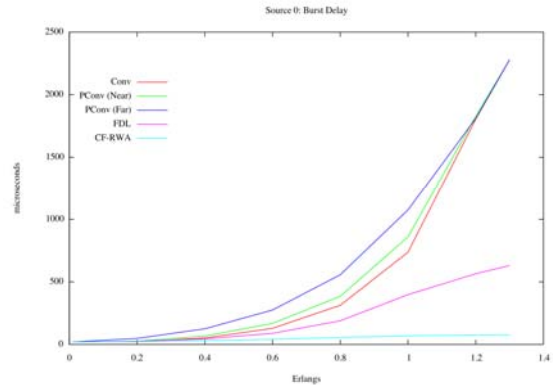


Figura 4.20. Retard de la S0 amb RTx

La Figura 4.21 mostra el retard addicional per a les ràfegues de la font S2 en el cas de no considerar retransmissions. La Figura 4.22 mostra el detall del retard addicional entre 0Er i 1Er.

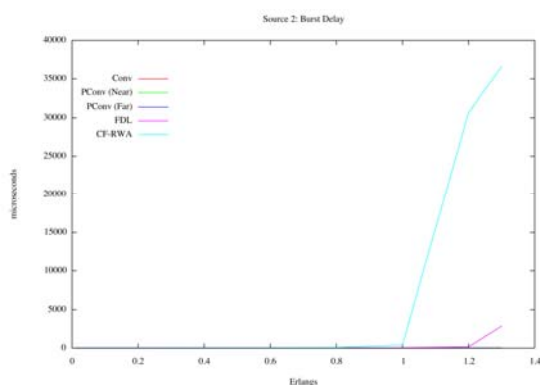


Figura 4.21. Retard de la S2 sense RTx

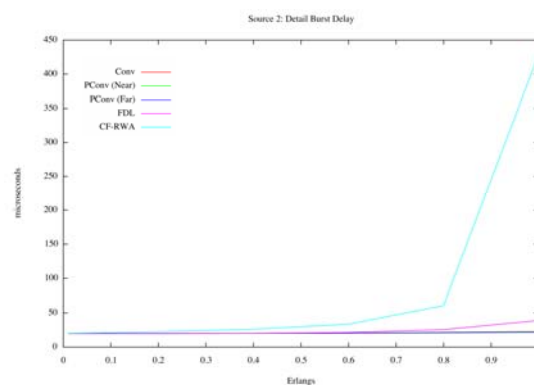


Figura 4.22. Detall del retard de la S2 sense RTx

Per als mecanismes de conversió de longitud d'ona i FDL, el retard addicional per a la font S2 és molt baix i degut exclusivament al temps d'espera en cua fins que s'aconsegueix programar la transmissió de les ràfegues. Per al cas

CF-RWA, com s'ha comentat anteriorment, la font S2 ha de compartir longituds d'ona amb les fonts S0 i S1. A més, la font S2 només pot programar les seves ràfegues quan hi ha un interval lliure suficientment llarg en alguna longitud d'ona per realitzar la programació. A partir de $0.8E_r$, la font comença a tenir problemes per programar les ràfegues. Aquest fet incrementa el retard en cua i, com a conseqüència, el retard de transmissió de les ràfegues. La dificultat per programar la transmissió de les ràfegues s'incrementa a mesura que el tràfic ofert s'incrementa fins que, a partir d' $1E_r$, el comportament que s'observa és indicatiu que la font S2 no pot introduir tot el tràfic que genera.

La Figura 4.23 mostra el retard addicional per a les ràfegues de la font S2 en el cas de considerar retransmissions. Les ràfegues de la font S2 mai es retransmeten (és a dir, un cop programades arriben amb èxit al destí). No obstant, per a l'esquema FDL s'observa que el retard és superior al que s'observa en el cas de no considerar retransmissions. Aquest increment s'explica tenint en compte que l'enllaç 2-3 ha de transmetre més tràfic i, per tant, a la font S2 li resulta més difícil programar les seves transmissions. A més, l'ús de FDLs com a mecanisme de resolució de contencions confereix prioritats a les fonts que tenen possibilitat d'utilitzar-la i per això els esquemes CF-RWA i el de la FDL són més sensibles a l'augment de tràfic de l'enllaç 2-3.

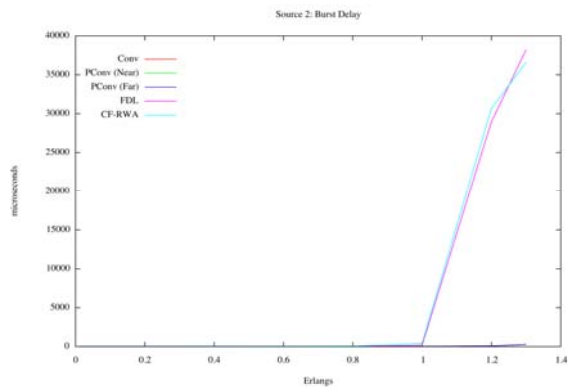


Figura 4.23. Retard de la S2 amb RTx

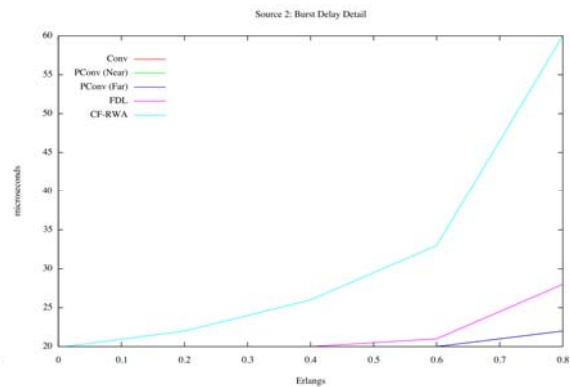


Figura 4.24. Detall del retard de la S2 amb RTx

4.2.2.2. Probabilitat de pèrdua de ràfegues

La Figura 4.25 mostra el percentatge de ràfegues perdudes de la font S0 en funció del tràfic ofert (quan no hi ha retransmissions). S'observa que el mecanisme de conversió parcial de longitud d'ona tenint en compte l'opció *Far* experimenta més pèrdues que la resta de propostes, seguida pel mecanisme de conversió parcial *Near*.

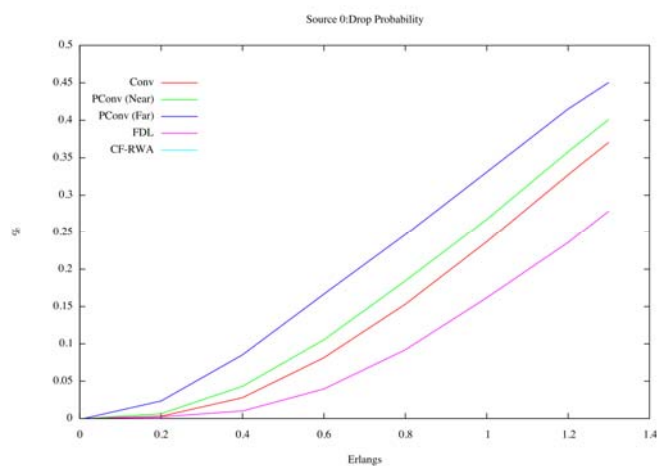


Figura 4.25. Probabilitat de pèrdua S0

Aquestes diferències s'expliquen tenint en compte que, en aquest cas, l'esquema de conversió parcial *Far* només considera una única longitud d'ona (la més allunyada de la longitud d'ona seleccionada a la font) per resoldre les contencions. En canvi, l'opció *Near* considera dues longituds d'ona (les dues adjacents a la longitud d'ona seleccionada a la font) per resoldre les contencions. Finalment, l'esquema de conversió total considera tres longituds d'ona per tal d'intentar resoldre la contenció.

4.2.2.3. Utilització de les longituds d'ona

La Figura 4.26 mostra el percentatge d'utilització de les longituds d'ona a l'enllaç 0-2 en funció del tràfic ofert per al cas sense retransmissions. Aquests resultats són idèntics als obtinguts per a l'escenari amb dues fonts.

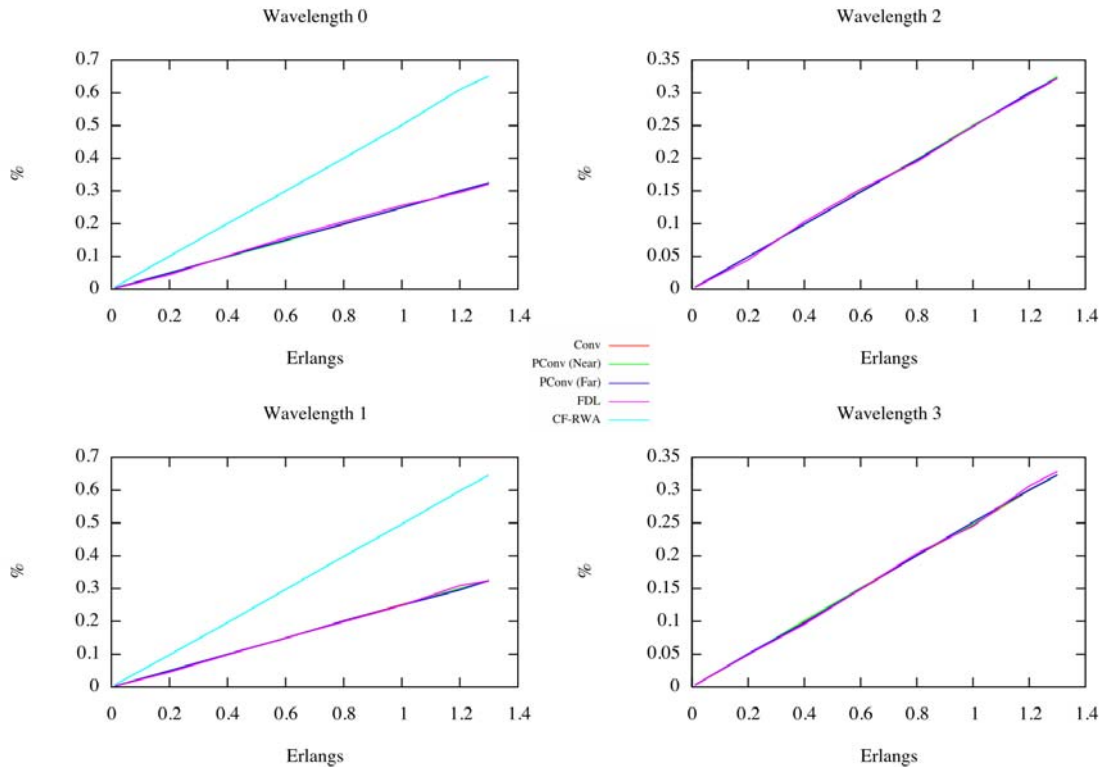


Figura 4.26. Utilització de les longituds d'ona de l'enllaç 0-2 sense RTx

La Figura 4.27 mostra el percentatge d'utilització de les longituds d'ona a l'enllaç 0-2 en funció del tràfic ofert per al cas en el que es consideren retransmissions. S'observa que, en comparació amb l'escenari amb dues fonts, la utilització de les longituds d'ona per als esquemes de conversió de longitud d'ona i FDLs és superior ja que hi ha més contencions a l'enllaç compartit i, per tant, cal retransmetre un nombre major de ràfegues.

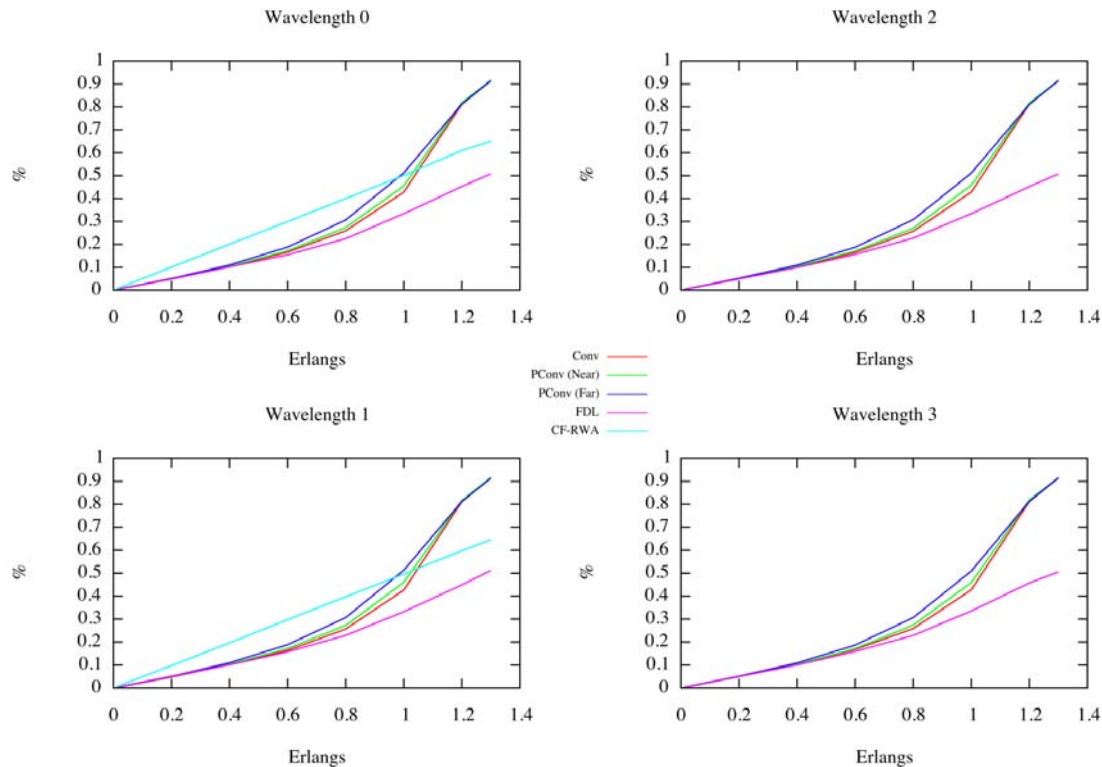


Figura 4.27. Utilització de les longituds d'ona de l'enllaç 0-2 amb RTx

Els resultats de la utilització de les longituds d'ona a l'enllaç 1-2 són molt similars als observats per a l'enllaç 0-2 (per a més detalls, veure l'ANNEX A).

La Figura 4.28 mostra la utilització de les longituds d'ona de l'enllaç 2-3 quan no s'utilitzen retransmissions. A banda d'observar que els mecanismes que tenen pèrdues (conversió de longitud d'ona i FDLs) mostren una menor utilització que en l'estratègia CF-RWA, es pot verificar el que s'ha comentat anteriorment en relació a la màxima utilització assolible tenint en compte el multiplexat estadístic de les fonts. És a dir, per al cas CF-RWA, a partir d'1Er la utilització de les longituds d'ona es situa als voltants del 75%, utilització a partir de la qual la font S2 té molts problemes per trobar espais lliures on programar les seves ràfegues.

La Figura 4.29 mostra la utilització de les longituds d'ona de l'enllaç 2-3 quan s'utilitzen retransmissions. L'increment de la utilització de les longituds d'ona amb les propostes de conversió de longitud d'ona i FDLs és causada, com s'ha explicat anteriorment, al fet de prevenir la pèrdua de ràfegues a canvi d'incrementar el retard de transmissió a causa de les retransmissions. Per als esquemes de conversió, la utilització de les longituds d'ona en aquest enllaç supera el llindar del 75% per a valors de tràfic superiors a 1Er. No obstant, per a aquests valors de tràfic, es pot comprovar que la utilització dels enllaços locals de la font S0 i S1 (veure Figura 4.27) s'incrementa considerablement. És a dir, el nombre de retransmissions necessàries per aconseguir transmetre tot aquest tràfic és molt elevat.

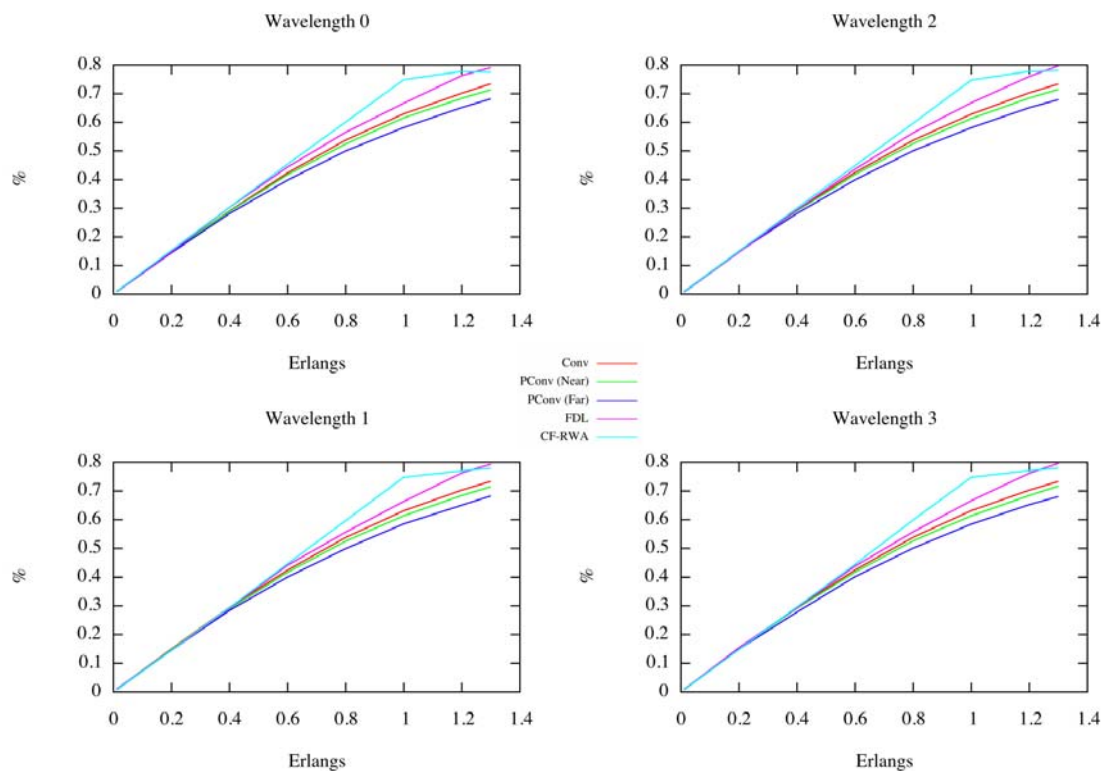


Figura 4.28. Utilització de les longituds d'ona de l'enllaç 2-3 sense RTx

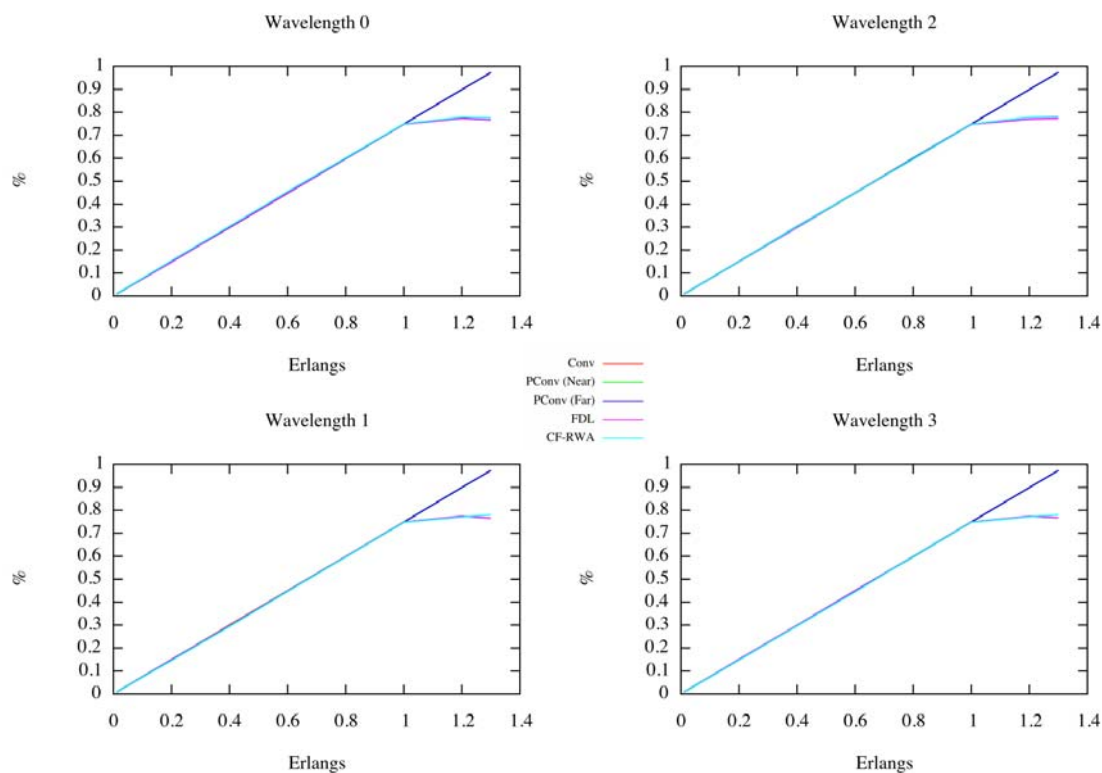


Figura 4.29. Utilització de les longituds d'ona de l'enllaç 2-3 amb RTx

4.2.2.4. Ocupació de la cua de peticions endarrerides

La Figura 4.30 mostra l'ocupació de la cua on s'emmagatzemen les ràfegues fins que poden ser programades al primer enllaç de la xarxa per a la font S0 i en el cas de no considerar retransmissions. L'eix d'abscisses és el tràfic introduït a la xarxa i l'eix d'ordenades l'ocupació de la cua en KBytes. Tal i com succeïa en l'escenari amb dues fonts sense retransmissions, l'esquema CF-RWA és el que mostra una major ocupació de la cua a causa que la pre-assignació de recursos obliga a utilitzar una determinada longitud d'ona per a la programació de cada ràfega, essent possible la utilització de només dues de les quatre longituds d'ona de l'enllaç.

La Figura 4.31 mostra l'ocupació de la mateixa cua en el cas de considerar la retransmissió de ràfegues descartades al node 2. L'efecte d'introduir retransmissions incrementa el tràfic que la font S0 ha d'introduir a la xarxa per aquells esquemes que requereixen retransmissions i, per tant, s'incrementa el nombre de ràfegues a programar i l'ocupació de la cua.

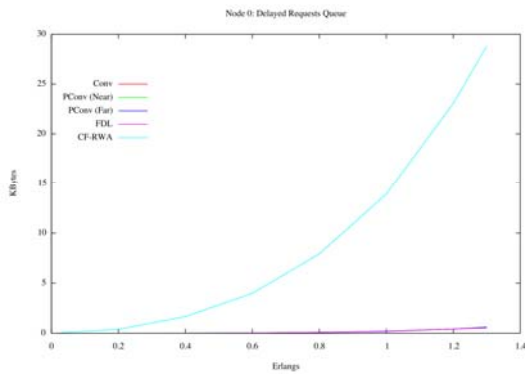


Figura 4.30. Cua de peticions endarrerides del N0 sense RTx

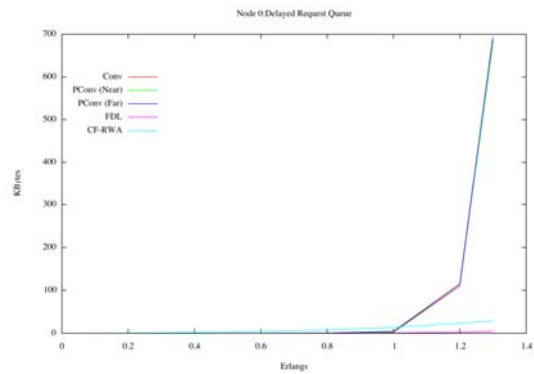


Figura 4.31. Cua de peticions endarrerides del N0 amb RTx

La Figura 4.32 mostra el detall de l'ocupació de la cua per al cas amb retransmissions per a tràfics oferts entre 0Er i 1Er.

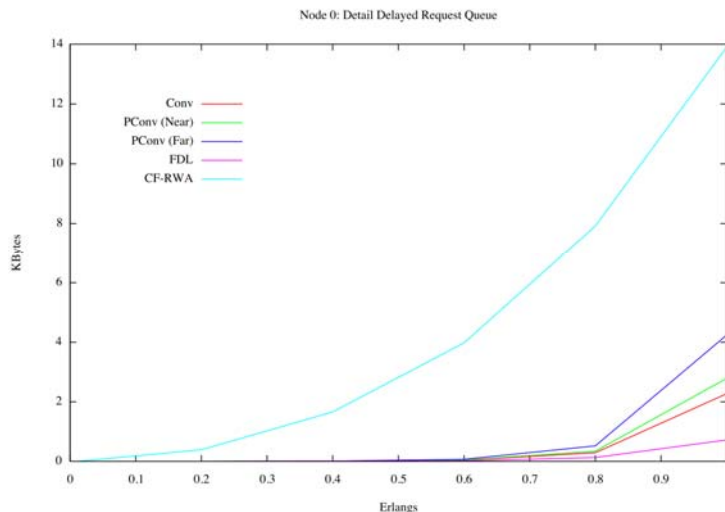


Figura 4.32. Cua de peticions endarrerides del N0 amb RTx

La Figura 4.33 mostra l'ocupació de la cua per a la font S2 en el cas de no utilitzar retransmissions. La Figura 4.34 mostra el detall de l'ocupació d'aquesta cua per a valors de tràfic entre 0Er i 1Er.

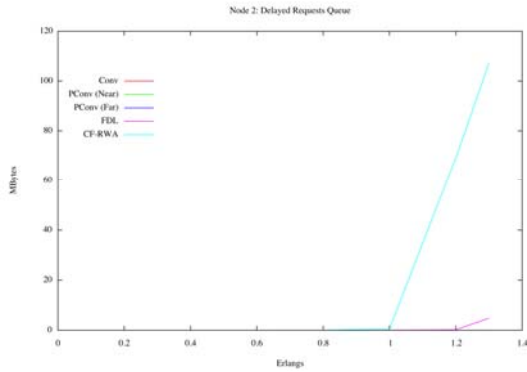


Figura 4.33. Cua de peticions endarrerides del N2 sense RTx

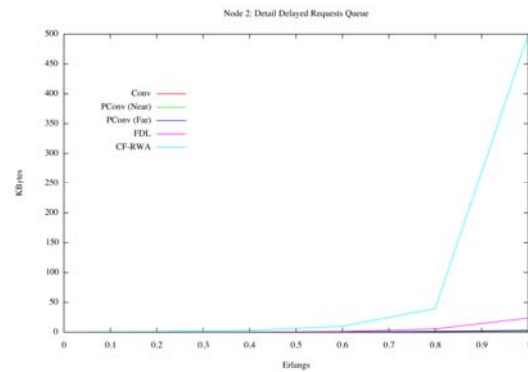


Figura 4.34. Detall de la cua de peticions endarrerides del N2 sense RTx

A partir de 0.8Er, per a l'esquema CF-RWA, l'increment de la ocupació de la cua és el resultat de l'elevada utilització de les longituds d'ona a l'enllaç compartit. Aquest fet provoca que la font S2 comenci a tenir problemes per programar les seves ràfegues. El gran increment en l'ocupació de la cua que s'observa a partir d'1Er indica clarament que la font S2, a partir d'aquest valor de tràfic, té moltes dificultats per programar la transmissió de les seves ràfegues (de fet, no pot introduir tot el tràfic que genera).

La Figura 4.35 mostra l'ocupació de la cua de la font S2 en el cas de considerar retransmissions. La Figura 4.36 mostra el detall de l'ocupació entre 0Er i 1Er. Els resultats són similars als obtinguts per al cas sense retransmissions. Les diferències que s'aprecien són conseqüència de l'increment del retard en cua per a aquells mecanismes que requereixen retransmissions, ja que l'enllaç 2-3 està més ocupat i per tant la font S2 té més problemes per programar les transmissions. No obstant, a diferència del que succeeix per a l'esquema CF-RWA, en els altres esquemes la font S2 no és menys prioritària que les altres dues i per tant l'augment observat és molt inferior.

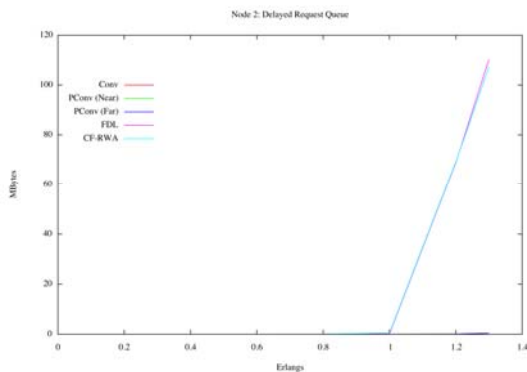


Figura 4.35. Cua de peticions endarrerides del N2 amb RTx

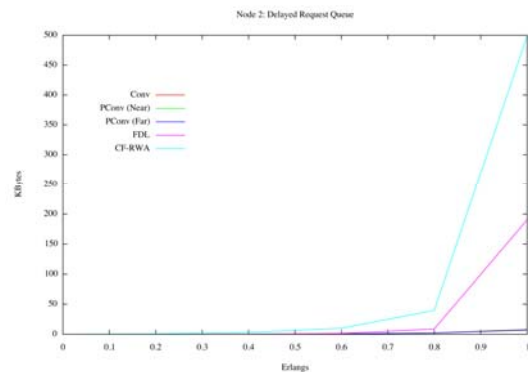


Figura 4.36. Cua de peticions endarrerides del N2 amb RTx

4.3. Resultats topologia NSFNet

En aquest apartat es presentaran els resultats obtinguts en les simulacions realitzades utilitzant la xarxa NSFNet.

4.3.1. Descripció de la xarxa

El 1984, el govern dels EEUU a través de la Fundació Nacional per a la Ciència (*National Science Foundation*) va començar el desenvolupament del successor de la xarxa ARPANET. Aquesta nova xarxa s'anomenaria *National Science Foundation's Network* (NSFNet) [47,48,49] i la seva finalitat era la connexió de diverses xarxes dedicades a la recerca i l'educació. Entre 1985 i 1986 la xarxa NSFNet connectava sis centres de supercomputació dels Estats Units, i poc després es van anar afegint no només centres de supercomputació sinó també institucions educatives amb xarxes més petites. La NSFNet backbone va ser la primera xarxa WAN TCP/IP que permetia enllaços de 56 kb/s. Posteriorment, es va actualitzar a 1.5 Mb/s i després a velocitats de fins a 45 Mb/s i fins a gigabits.

La Figura 4.37 mostra la topologia de la xarxa NSFNet backbone l'any 1993.

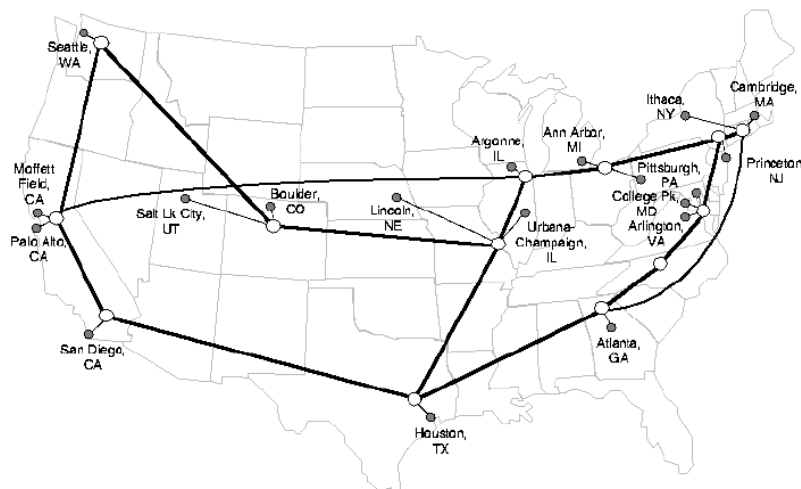


Figura 4.37. Topologia NSFNet 1993

La Figura 4.38 mostra la darrera versió de la xarxa (que és la utilitzada per a les simulacions d'aquest projecte).

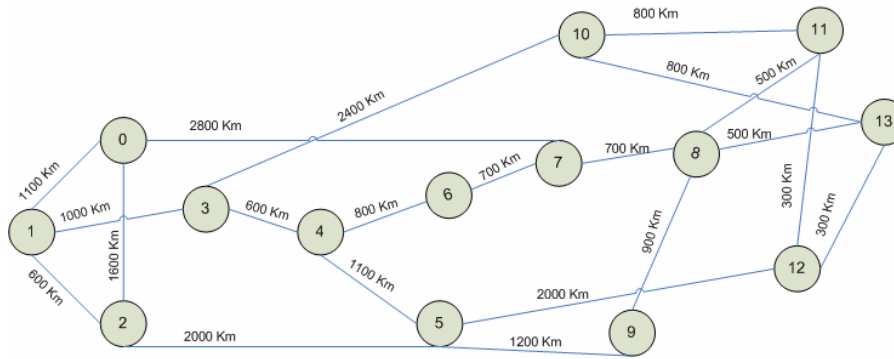


Figura 4.38. Topologia NSFNet utilitzada en les simulacions

Algunes dades significatives d'aquesta xarxa són:

- Número total de nodes: 14
- Número total d'enllaços bidireccionals: 21
- Grau nodal promig: 3
- Distància promig entre nodes: 2.142,86 Km

4.3.2. Resultats

A continuació es presenten els resultats més significatius de l'estudi realitzat sobre la xarxa NSFNet, per al qual s'han utilitzat els paràmetres següents:

- El tràfic introduït per cada font va dels $0.01E_r$ als $0.35E_r$. Com que s'han considerat transmissions entre tots els parells de nodes (és a dir, que cadascun dels 14 nodes transmet contra 13 destins diferents), la xarxa ha de suportar entre $1.83E_r$ i $63.7E_r$.
- Cada enllaç disposa de 8 longituds d'ona operant a 10 Gb/s cadascuna.
- Les ràfegues són de longitud constant i igual a 12500 Bytes.

En aquest cas, es mostren els resultats obtinguts per als mecanismes següents:

- Conversió total de longitud d'ona amb retransmissions.
- FDLs amb retransmissions (1FDL de 30 microsegons).
- CF-RWA + 1 FDL de 30 microsegons.

Així doncs, la comparativa es centra en l'ús d'estratègies sense pèrdues. A l'ANNEX 2 s'adjunten els resultats per als mecanismes de conversió parcial de longitud d'ona (*Near* i *Far*) amb retransmissions.

En els següents apartats es comenten alguns aspectes en relació als paràmetres següents:

- Retard addicional mínim, promig i màxim de transmissió de les ràfegues.
- Utilització de les longituds d'ona.
- Ocupació de les cues on s'emmagatzemen les ràfegues fins que és possible programar-ne la transmissió a l'enllaç local de la font.

(Per veure la totalitat dels resultats obtinguts consultar l'ANNEX B).

4.3.2.1. Retard de transmissió de les ràfegues

La Figura 4.39 mostra el retard addicional (sense tenir en compte el retard de propagació) en la transmissió de les ràfegues per a l'esquema CF-RWA amb una única FDL a cada node intermedi de la xarxa. En verd es representa el promig considerant totes les fonts de la xarxa (és a dir, les 182 comunicacions). En vermell es representa el retard addicional de la font amb menor retard, mentre la línia blava representa el retard addicional de la font que experimenta un major retard.

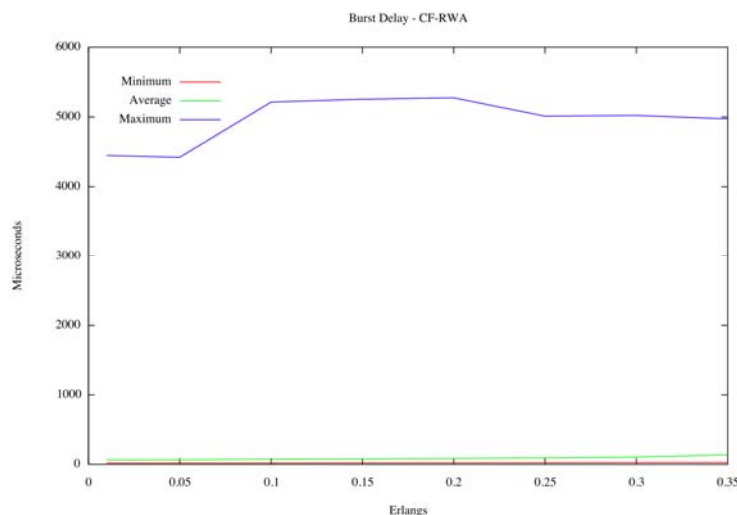


Figura 4.39. Retard mig de la xarxa amb l'esquema CF-RWA

S'observa que el retard addicional promig es manté al voltant dels 136 microsegons, experimentant molt poc increment a mesura que s'incrementa el tràfic. Això és una conseqüència de la pre-assignació de recursos que s'utilitza. En aquest cas, la pre-assignació està optimitzada per a suportar un tràfic ofert per comunicació de fins a 0.35Er sense que cap de les 8 longituds d'ona superi el 75% d'utilització, i per tant, la programació de les ràfegues es realitza amb relativa facilitat. El lleuger increment que s'observa a mesura que el tràfic s'incrementa és causat per dues raons. La primera és que el temps d'espera en cua a la font fins que la ràfega es pot programar s'incrementa a mesura que el tràfic augmenta. La segona raó és que a mesura que el tràfic s'incrementa, s'incrementen les contencions entre ràfegues per a aquelles comunicacions que comparteixen una mateixa longitud d'ona. Aquestes contencions sempre

es resolen amb èxit gràcies a la FDL de la que es disposa en cada node intermedi de la xarxa però el seu ús incrementa el retard de transmissió de les ràfegues.

El retard que experimenta la font amb major retard és una conseqüència del fet que aquesta comunicació utilitza dos camins diferents per a la transmissió de les ràfegues (perquè així ho estableix la pre-assignació utilitzada). El retard addicional que es mostra a la gràfica és el resultat de descomptar el retard de propagació del camí més curt. Per tant, la major part del retard addicional és atribuïble al retard de propagació que hi ha de diferència entre els dos camins utilitzats per la comunicació.

La Figura 4.40 mostra el retard addicional en la transmissió de les ràfegues per a l'esquema de conversió total de longitud d'ona.

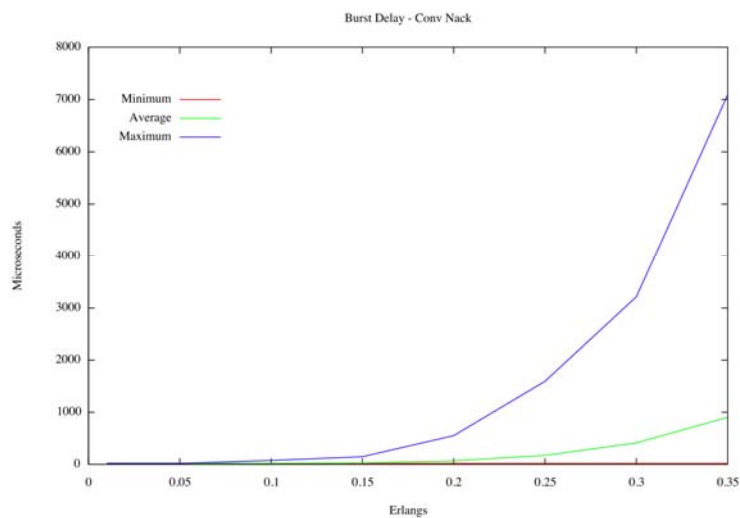


Figura 4.40. Retard mig de la xarxa amb la proposta Conv Nack

En aquest cas el retard addicional promig (línia verda a la figura) és inferior que per al cas CF-RWA quan el tràfic ofert és baix, però s'incrementa exponencialment a mesura que s'augmenta el tràfic ofert. L'increment exponencial és encara més evident quan es considera el retard de transmissió de les ràfegues de la comunicació que experimenta un major retard (línia blava a la figura). Aquest retard tan elevat (comportament que comparteixen bastants fonts) és causat per les retransmissions necessàries per tal de poder transmetre les ràfegues amb èxit. En aquest esquema, les fonts escullen el camí més curt (si hi ha alguna longitud d'ona en la que poden realitzar la programació de la ràfega en el primer enllaç). Com que el nombre de longituds d'ona és elevat (8 longituds d'ona en cada enllaç), la probabilitat de triar el camí més curt és elevada. No obstant, si en algun enllaç intermedi es produeix contenció, s'intenta realitzar conversió de longitud d'ona. Com que la utilització de les longituds d'ona és força uniforme (ja que s'escullen aleatòriament), quan una longitud d'ona està molt utilitzada en un enllaç, les altres longituds d'ona del mateix enllaç és molt probable que també ho estiguin i, com que la contenció no es pot resoldre, es requereix retransmissió. Al tractar-se d'una xarxa de diàmetre considerable, les retransmissions afegeixen un retard addicional molt significatiu. A més, el fet d'haver de retransmetre ràfegues,

incrementa el tràfic que la xarxa ha de transportar. Això explica que, per a tràfics elevats, el retard en la transmissió de les ràfegues sigui pitjor en el cas de conversió total que utilitzant l'esquema CF-RWA.

La Figura 4.41 mostra el retard addicional en la transmissió de les ràfegues en el cas d'utilitzar l'esquema d'una FDL en cada enllaç de sortida de cada node (que en aquest cas proporciona un retard de 30 microsegons).

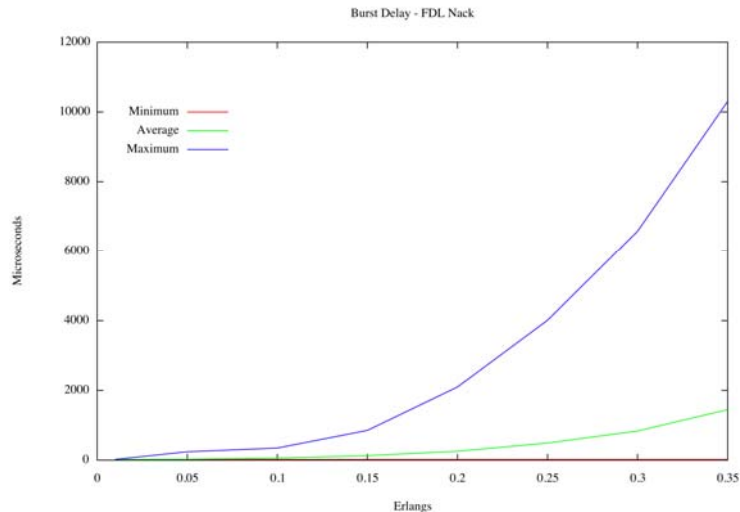


Figura 4.41. Retard mig de la xarxa amb la proposta FDL

Els resultats obtinguts en aquest cas són molt similars als observats per a conversió total. De fet són lleugerament superiors perquè en aquest esquema les contencions que es poden resoldre sense necessitat de retransmissió es veuen afectades pel retard de la fibra de retard (mentre que en cas de conversió total de longitud d'ona, les contencions es resolen sense introduir retard addicional).

Finalment, la Figura 4.42 mostra el retard addicional promig per als tres mecanismes en una mateixa gràfica per tal de facilitar-ne la comparativa.

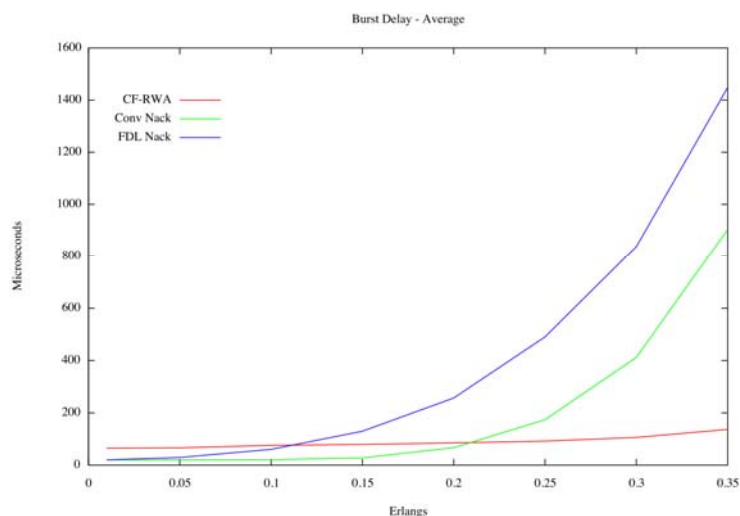


Figura 4.42. Retard mig de la xarxa amb les diferents propostes

Aquesta gràfica posa de manifest el que s'ha comentat prèviament. S'observa que el retard addicional en el cas d'utilitzar l'estratègia CF-RWA és lleugerament superior a les altres dues estratègies per a tràfics baixos però molt inferior per a tràfics alts. Per altra banda, el retard addicional per al cas de FDLs amb retransmissions i conversió total de longitud d'ona amb retransmissions s'incrementa a mesura que el tràfic ofert augmenta a causa de les retransmissions. Les diferències entre ambdós mecanismes són causades per l'ús de la fibra de retard en la resolució de les contencions que incrementa el retard de transmissió de les ràfegues en l'esquema de la FDL, cosa que no succeeix quan s'utilitza conversió total de longitud d'ona.

4.3.2.2. Utilització de les longituds d'ona

A continuació es presenten els resultats obtinguts en relació a la utilització de les longituds d'ona en cadascun dels enllaços de la xarxa.

La Figura 4.43 mostra el valor promig per a cadascuna de les longituds d'ona en el cas de l'esquema CF-RWA. S'observa que la pre-assignació de recursos que s'utilitza no reparteix uniformement el tràfic sobre les diferents longituds d'ona com passa per als altres dos esquemes (veure Figura 4.44 i Figura 4.45). Tant per al cas d'utilitzar 1 FDL sense pre-assignació de recursos com en el cas de conversió total, la selecció de la longitud d'ona a la font es fa aleatòriament i totes les longituds d'ona tenen la mateixa probabilitat de ser escollides. A més, per a l'esquema CF-RWA, la utilització de cada longitud d'ona creix linealment a mesura que el tràfic s'incrementa. Això no succeeix en els altres dos casos, ja que, tal i com s'ha comentat anteriorment, a mesura que el tràfic s'incrementa, ni la FDL ni les conversions de longitud d'ona són suficients per resoldre les contencions i cal recórrer a la retransmissió de les ràfegues.

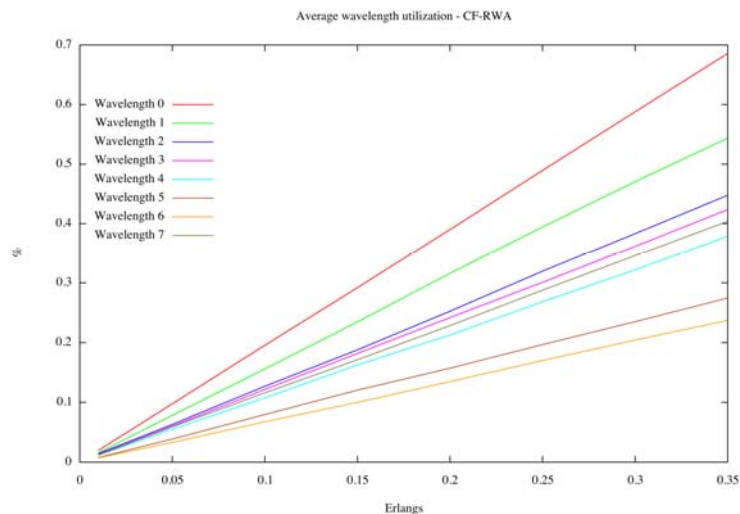


Figura 4.43. Utilització mitjana de les longituds d'ona amb l'esquema CF-RWA

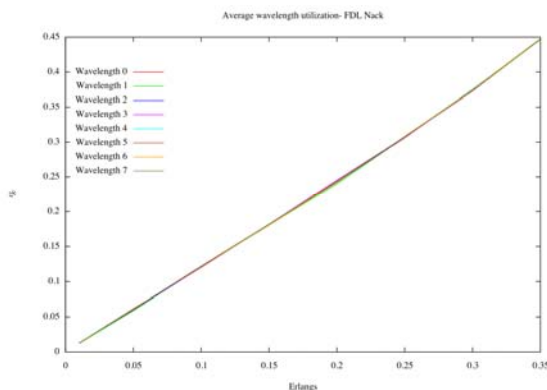


Figura 4.44. Utilització promig de les longituds d'ona per al mecanisme FDL Nack

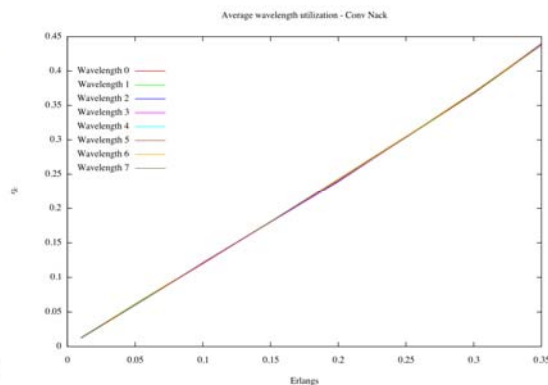


Figura 4.45. Utilització promig de les longituds d'ona per al mecanisme Conv Nack

Comparant el valor promig de la utilització de les longituds d'ona per als diferents mecanismes (veure Figura 4.46) s'aprecia més clarament que la utilització per als mecanismes que requereixen retransmissió per aconseguir pèrdues nul·les és lleugerament superior a la obtinguda utilitzant l'estratègia CF-RWA.

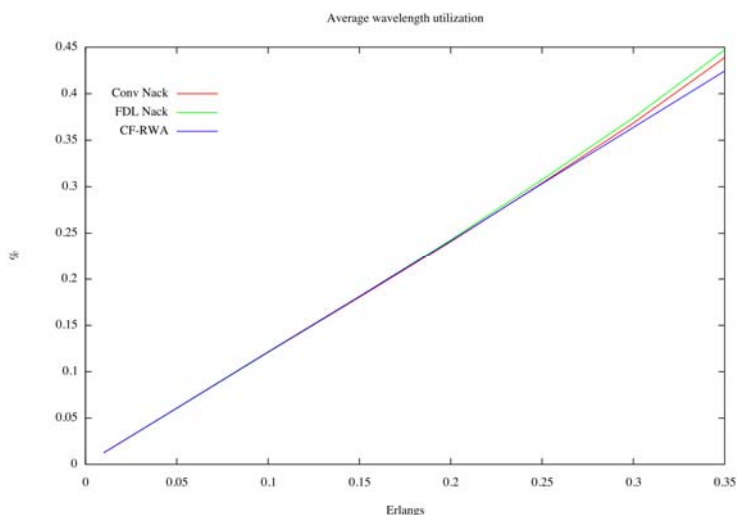


Figura 4.46. Utilització promig de les longituds d'ona amb els diferents mecanismes

La Figura 4.47 mostra el detall de la utilització de la longitud d'ona 0, mostrant-ne la utilització en aquell enllaç on està més utilitzada i en aquell enllaç on n'està menys. Com s'ha comentat anteriorment la pre-assignació utilitzada està definida per a assegurar que cap longitud d'ona superi el 75% de la seva utilització en cap dels enllaços de la xarxa quan el tràfic ofert de cada comunicació és de 0.35Er. La longitud d'ona 0 és la que transporta més càrrega (en promig) de totes les longituds d'ona en la pre-assignació que s'està fent servir (veure Figura 4.43), no obstant, tal i com mostra la línia blava de la figura, la seva utilització màxima per a un tràfic de 0.35 Er no supera el 72% en cap dels enllaços de la xarxa.

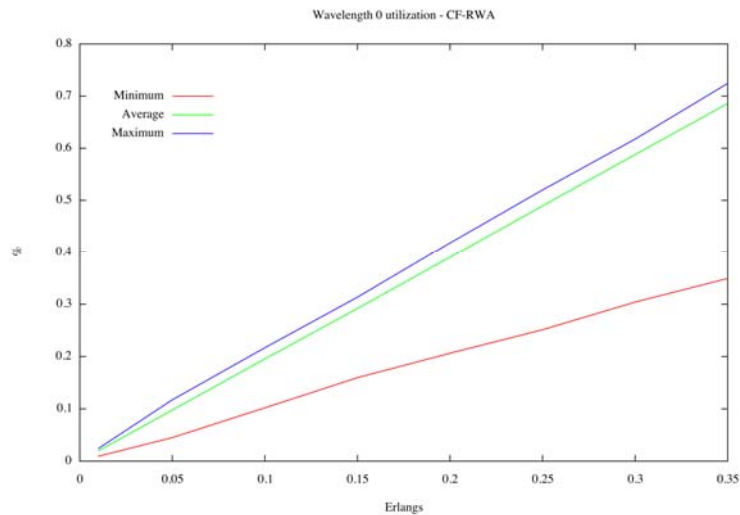


Figura 4.47. Utilització de la longitud d'ona 0 amb l'esquema CF-RWA

Per al cas d'1 FDL i conversió total de longitud d'ona, totes les longituds d'ona tenen un comportament molt similar entre sí. Aquest comportament és conseqüència d'escollir aleatòriament les longituds d'ona a la font. La Figura 4.48 mostra, a mode d'exemple, la utilització màxima i mínima de la longitud d'ona 0 en els diferents enllaços de la xarxa en el cas d'utilitzar la tècnica de conversió total de longitud d'ona.

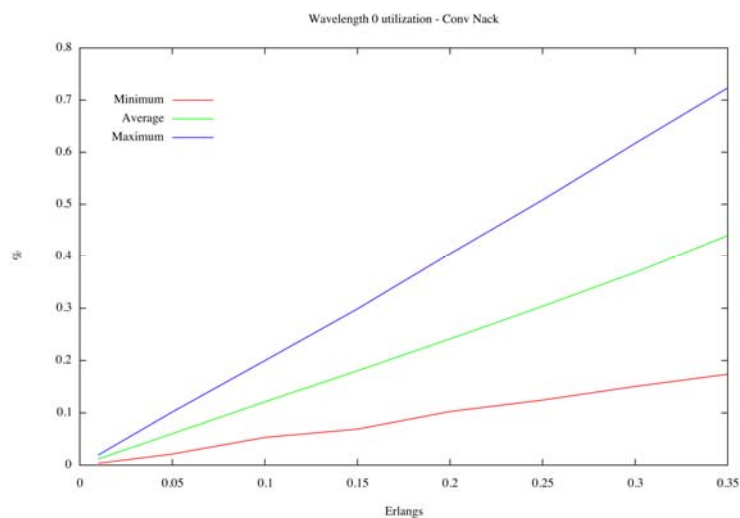


Figura 4.48. Utilització de la longitud d'ona 0 amb la proposta Conv Nack

4.3.2.3. Ocupació de la cua de peticions endarrerides

En aquest apartat s'analitza l'ocupació de la cua on s'emmagatzemen les ràfegues fins que s'aconsegueix programar-ne la transmissió en el primer enllaç cap al destí.

La Figura 4.49 mostra l'ocupació d'aquesta cua (en KBytes) en funció del tràfic ofert per font considerant l'esquema CF-RWA. La figura representa el valor promig de totes les fonts (línia verda), l'ocupació de la cua d'aquella font en la que l'ocupació de la cua és màxima (línia blava) i la font amb menor ocupació de la cua (línia vermella). A mesura que el tràfic augmenta, el retard a la cua creix segons una característica exponencial, ja que les longituds d'ona estan més ocupades i les fonts triguen més a localitzar un espai suficientment gran per programar la transmissió de les ràfegues.

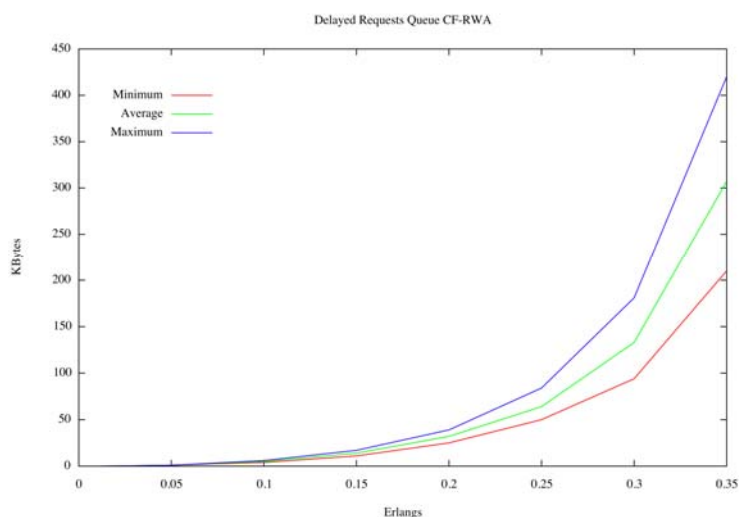


Figura 4.49. Cues de peticions endarrerides amb CF-RWA

La Figura 4.50 mostra l'ocupació de la cua de peticions endarrerides per al mecanisme de conversió total de longitud d'ona amb les retransmissions activades. En aquest cas, l'ocupació de la cua creix menys de pressa que per a l'esquema CF-RWA. De fet, a les fonts els resulta més senzill programar la transmissió de les ràfegues perquè poden escollir qualsevol longitud d'ona de l'enllaç de sortida. No obstant, com que el criteri de selecció de longitud d'ona no segueix cap criteri que minimitzi la contenció de ràfegues, se'n produeixen i, les que no es poden resoldre mitjançant conversió, suposen retransmissions. En aquest cas, l'ús de retransmissions suposa un retard més elevat que l'obtingut en el cas d'esperar-se a que la longitud d'ona pre-assignada a l'esquema CF-RWA estigui lliure (veure Figura 4.49).

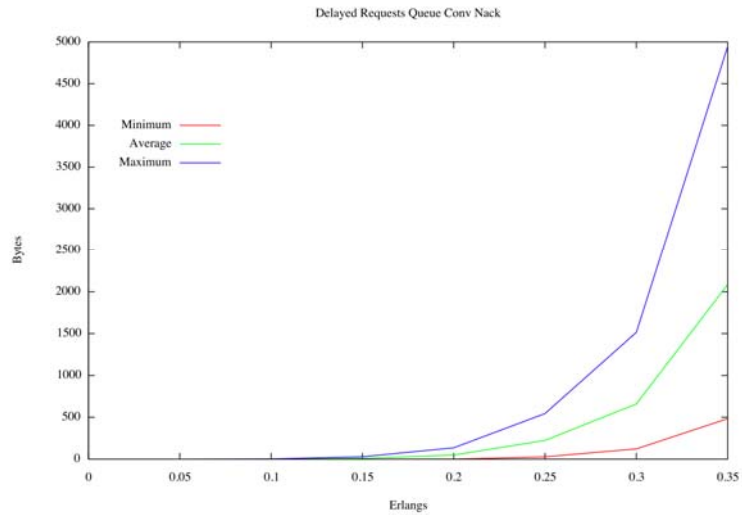


Figura 4.50.Cua de peticions endarrerides amb Conv-Nack

La Figura 4.51 mostra l'ocupació de la cua per al cas d'utilitzar una fibra de retard (sense pre-assignació de recursos) i amb retransmissions. En aquest cas el comportament és similar al comentat per al cas de conversió total, però l'ocupació de la cua és una mica més gran.

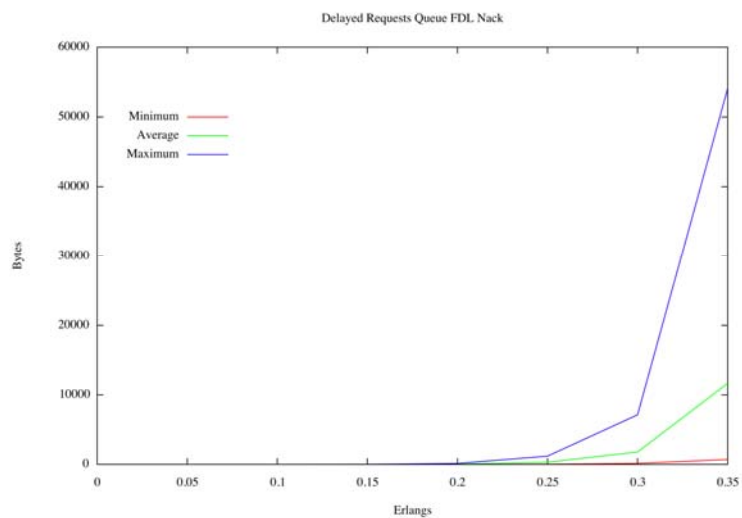


Figura 4.51.Cua de peticions endarrerides amb retardades FDL Nack

CAPÍTOL 5. IMPACTE DEL PROJECTE EN EL MEDI AMBIENT

En el present capítol es descriu l'impacte mediambiental que representa la realització d'aquest projecte. Inicialment es descriuen els materials utilitzats per a la realització i es relacionen amb el consum energètic que ha suposat la implementació. Per altra banda, s'analitza el possible impacte que podria tenir en el medi ambient la implementació d'aquest projecte en un escenari real.

Des del punt de vista de consum energètic per a la realització d'aquest projecte han estat necessàries tres màquines de treball, s'ha utilitzat un ordinador de sobre taula localitzat al laboratori de treball amb dos processadors i dos equips portàtils amb un i dos processadors. La màquina de sobre taula s'ha utilitzat per a realitzar les simulacions i els portàtils s'han usat per a realitzar totes les tasques d'implementació de noves funcions i de realització de la interfície gràfica així com per analitzar els resultats.

La màquina fixa s'ha comprat per a la realització d'aquest projecte i la seva dedicació s'ha destinat exclusivament per a la realització de totes les simulacions. La seva dedicació s'ha limitat per aquestes tasques ja que les proves realitzades han requerit una mitja d'11 hores d'execució per a les proves de la xarxa NSFNet i per a la xarxa senzilla la màquina ha estat simulant una mitja de 3,5 hores. Cal comentar que s'han aprofitat els dos processadors de la màquina, executant dos simulacions simultànies sense afectar els resultats d'una a l'altra. Per tant, amb dos simulacions activades alhora no es podia treballar sobre la màquina fent altres tasques, encara que siguin de cerca d'informació.

El consum energètic derivat de les simulacions ha estat elevat ja que es va configurar l'accés remot per executar contínuament les proves i l'ordinador ha estat encès quatre mesos sense apagar-se més de 2 minuts.

Aquesta màquina que es va comprar per a aquest projecte serà reutilitzada pels pròxims projectistes que treballin ampliant els anàlisis de les xarxes OBS amb el simulador.

Si s'analitza la possible implantació en un escenari real com és la xarxa NSFNet, la qual ha estat analitzada en el present projecte, cal destacar els resultats obtinguts amb l'esquema CF-RWA on a diferència del mecanisme de conversió de longitud d'ona total es redueix el número de convertidors necessaris, és a dir, es produeix un estalvi important de recursos. D'altra banda, el fet d'incloure una FDL augmenta la longitud de fibres òptiques que s'haurien d'utilitzar, però aquest augment és reduït ja que únicament utilitza una FDL per port de sortida de cada node de la xarxa.

CAPÍTOL 6. CONCLUSIONS

El ràpid creixement del tràfic a Internet durant la darrera dècada, ha posat de manifest la necessitat de desenvolupar noves xarxes d'alta velocitat. Per tal de fer front a la demanda creixent d'ample de banda, s'han incorporat sistemes de comunicació WDM a moltes de les xarxes troncales de telecomunicació actuals. La clau del procés evolutiu de les xarxes electròniques cap a les xarxes òptiques és la migració de la tècnica de commutació. Tot i que la commutació òptica de circuits (*Optical Circuit Switching*, OCS) proporciona garanties de transferència, ja que l'establiment dels circuits es confirma, el temps per establir i alliberar els recursos requereix com a mínim el *round trip time* (típicament diversos milisegons). Per tant, OCS pot no ser suficientment flexible per suportar el patró de connexions dinàmic i la naturalesa a ràfegues de les xarxes de commutació de paquets. Idealment, per tal d'aconseguir la màxima utilització dels recursos de la xarxa troncal, els nodes haurien de proporcionar commutació de paquets a nivell òptic (*Optical Packet Switching*, OPS). No obstant, les limitacions tecnològiques actuals converteixen la commutació òptica de paquets en un objectiu assolible a llarg termini. Una possible alternativa més factible a mig termini és la commutació òptica de ràfegues (*Optical Burst Switching*, OBS) que, igual que OPS, es va dissenyar per tal de reduir els retards i millorar la utilització dels recursos de la xarxa a través del multiplexat estadístic. En OBS, les unitats dels usuaris s'agrupen formant ràfegues (*bursts*) a l'entrada de la xarxa. Abans de la transmissió de cada ràfega, s'envia un paquet de control amb l'objectiu de configurar els nodes intermedis i reservar els recursos necessaris per tal que la transmissió de la ràfega es pugui realitzar íntegrament en el domini òptic. En el paradigma unidireccional, les ràfegues s'envien sense esperar confirmació sobre la disponibilitat dels recursos en els nodes intermedis. Per tant, es poden produir contencions quan múltiples ràfegues lluiten per utilitzar simultàniament els mateixos recursos en un port de sortida d'un commutador. Durant aquest projecte s'ha simulat, analitzat, avaluat i comparat diferents mecanismes de resolució de contencions a través d'un simulador de xarxes OBS programat en llenguatge C.

El projecte s'ha estructurat en tres parts ben diferenciades.

En la primera part, s'ha descrit breument la tecnologia OBS per tal d'introduir la problemàtica de la resolució de contencions i la necessitat de desenvolupar mecanismes que resolguin el problema de forma eficient. Posteriorment s'han comentat les diferents funcionalitats de les que disposava el simulador de xarxes OBS utilitzat i s'han descrit les noves estratègies incorporades. En aquest sentit, s'ha partit de l'estudi realitzat a [4] ampliant-lo en base als diferents mecanismes de resolució de contencions que han estat motiu d'estudi en aquest projecte.

En la segona part del projecte, s'ha descrit la interfície gràfica desenvolupada i s'han presentat les diferents funcionalitats que permet l'aplicació. L'execució del simulador de xarxes OBS utilitzat requereix, a més de diversos paràmetres que en determinen el funcionament, la definició de diversos fitxers de

configuració. El desenvolupament de la interfície gràfica ha permès simplificar el procés de generació d'aquests fitxers de configuració i facilitar la selecció dels paràmetres d'execució del simulador.

El desenvolupament de la interfície gràfica, anomenada **OBS Config File GUI v0.93**, s'ha realitzat utilitzant el llenguatge de programació GTK+ amb l'entorn Glade, i permet realitzar tres processos:

- Generació dels fitxers d'entrada del simulador de xarxes OBS.
- Execució del simulador de xarxes OBS.
- Execució del programa que genera la pre-assignació de recursos segons l'esquema CF-RWA.

En l'última part del projecte s'han presentat els resultats més significatius obtinguts en la comparativa de les diferents estratègies de resolució de contencions descrites a l'apartat 2.2:

- Conversió total de longitud d'ona (amb i sense retransmissions)
- Conversió parcial de longitud d'ona (amb i sense retransmissions) tenint en compte dos esquemes de selecció del rang on realitzar la conversió (cas *Far* i cas *Near*)
- Fibres de retard (amb i sense retransmissions).
- Esquema CF-RWA + 1 fibra de retard en cada port de cada node intermedi de la xarxa.

En la comparativa s'han considerant dues topologies de xarxa diferents:

- Una xarxa en estrella de quatre nodes amb enllaços de 100 Km (en la qual s'han realitzat proves amb diferents configuracions de les fonts).
- La xarxa NSFNet (amb 14 nodes i 21 enllaços).

La primera topologia, gràcies a la seva simplicitat, ha permès verificar el correcte comportament dels diferents mecanismes de resolució de contencions avaluats. La segona topologia ha permès analitzar el comportament de les diferents propostes en un escenari més complex (i real), per tal de valorar la seva possible implementació en una xarxa d'aquestes característiques.

Els paràmetres comparats per als diferents mecanismes han estat els següents:

- Retard promig de transmissió de les ràfegues per a cada font.
- Utilització de les longituds d'ona.
- Probabilitat de pèrdua.
- Ocupació de la cua on s'emmagatzemen les ràfegues a l'espera que se'n pugui realitzar la programació.

Les diferents estratègies avaluades, excepte l'esquema CF-RWA, no garanteixen pèrdues nul·les (si més no, no ho garanteixen en tots els escenaris). L'estratègia CF-RWA sí que assegura l'èxit de la transmissió de les ràfegues (sempre i quan es respecti la pre-assignació establerta i les fonts no

generin més tràfic del que s'ha tingut en compte a l'hora de realitzar aquesta pre-assignació).

Amb l'esquema CF-RWA, cada ràfega que es genera, té assignat un camí i una determinada longitud d'ona per realitzar-ne la programació. Així doncs, el retard en la programació de les ràfegues és superior que per als esquemes en els quals és possible seleccionar qualsevol de les longituds d'ona lliures de l'enllaç de sortida. Per tant, l'ocupació de la cua on s'emmagatzemen les ràfegues fins que se'n pot programar la transmissió, és més gran en l'esquema CF-RWA que en les altres estratègies avaluades.

No obstant, amb l'esquema CF-RWA, en el cas de produir-se contenció en algun enllaç intermedi, es pot assegurar que la contenció serà resolta amb èxit utilitzant una única longitud d'ona en cada port de sortida de cada node intermedi de la xarxa. Per als altres mecanismes avaluats, és a dir, conversió total i parcial de longitud d'ona i FDLs (sense pre-assignació de recursos), aquesta garantia d'èxit no hi és. Així doncs, a mesura que el tràfic augmenta, el percentatge de ràfegues perdudes també augmenta.

Per tal de garantir que totes les ràfegues poden arribar amb èxit al destí, és possible considerar un mecanisme de retransmissió de totes aquelles ràfegues que són descartades en algun node intermedi. En aquest cas, cada node frontera ha d'emmagatzemar una còpia de totes les ràfegues enviades i mantenir-la fins que pugui assegurar que la ràfega ha arribat amb èxit al destí (temps que es controla mitjançant un temporitzador). Per a les diferents propostes avaluades, a l'incorporar el mecanisme de retransmissió de les ràfegues, s'assegura l'enviament de tota la informació però, a canvi, el retard de transmissió de les ràfegues supera considerablement el retard de transmissió de l'esquema CF-RWA. Per tant, per tràfics baixos (mentre els mecanismes de resolució de contencions poden resoldre les contencions sense retransmissions), el retard de transmissió de les ràfegues considerant l'estratègia CF-RWA és superior al retard de transmissió dels altres esquemes (a causa del major retard en cua a la font). No obstant, per tràfics alts (a mesura que el nombre de retransmissions necessàries per garantir pèrdues nul·les augmenta) el retard addicional introduït en l'estratègia CF-RWA és molt inferior al retard experimentat per tots aquells mecanismes que requereixen retransmissions (sobretot en xarxes grans).

BIBLIOGRAFIA I REFERÈNCIES WEB

- [1] H.E.-D.M. Hussin, F.Z. El-Halafawy, N.A. El-Fishawy and A.A. Aboul-Enein, "Performance Improvement for Very High-Speed DWDM Optical Metropolitan-Area Networks Using a Passive Star Topology", *Eurocon'2001*, vol. 2, pp. 282-285, 2001.
- [2] Y. Chen, C. Qiao and X. Yu, "Optical burst switching: A new Area in optical networking Research", *IEEE Network Magazine*, 18(3), May/June 2004.
- [3] M. Nord, S. Bjornstad, and C.M. Gauger, "OPS or OBS in the Core Networks? A comparison of Optical Packet and Optical Burst Switching". Telenor R+D ant The Research Council of Norway for Ph.D. funding. 2002. pp. 1-19.
- [4] E. Rodríguez, A. Agustí-Torra, "Mecanismes de resolució de contenses per a xarxes de commutació òptica de ràfegues (OBS)". Treball de fi de carrera. Setembre 2005.
- [5] A. Agustí-Torra, C. Cervelló-Pastor and M.A. Fiol, "A New Approach to Loss-Free Packet/Burst Transmission in All-Optical Networks", *WOBS06*, San José, CA, 2006.
- [6] A. Agustí-Torra, C. Cervelló-Pastor and M.A. Fiol, "Load Balanced Wavelength Assignment Strategies for OBS and OPS Networks", *Submitted Broadnets07* (under review).
- [7] I. Cereijo, M. Fernández, "Simulación y comparativa de mecanismos de conmutación en redes ópticas", Proyecto final de carrera, 2004-2005.
- [8] P. Pradié, A. Agusti-Torra. "Construcció d'una maqueta de xarxa OBS. Disseny i implementació de les funcionalitats d'un node frontera". Treball de fi de carrera. Juliol 2006.
- [9] M. Ljolje, R. Inkret, and B. Mikac, "A comparative analysis of data scheduling algorithms in optical burst switching networks". 2005
- [10] M.C. Fischer, W.L. Zucchi, "Simulation of a optical burst switch using fiber delay lines", 2005
- [11] C.M. Gauger, "Performance of converter pools for contention resolution in optical burst switching", in *OptiComm 2002: optical networking and communications*, Proc. SPIE 4874, pp. 109-117.
- [12] Y. Xiong, M. Vandenhoute and H.C. Cankaya. "Control Architecture in Optical Burst-Switched WDM Networks", *IEEE Journal on selected areas in communications*, vol. 18, nº 10. Octubre 2000

- [13] K. Laevens, "Traffic Characteristics Inside Optical Burst Switched Networks," Proc. Opticomm, 2002, pp. 137–48.
- [14] X. Yu, Y. Chen, and C. Qiao, "Study of Traffic Statistics of Assembled Burst Traffic in Optical Burst Switched Networks," Proc. Opticomm, 2002, pp. 149–59.
- [15] F. Ramos Pascual. Article publicat en la revista Conectronica, núm. 61. "Tecnologías de conversión de longitud de onda en redes ópticas WDM". <http://www.radioptica.com/Fibra/wc.asp>
- [16] M. Yoo, C. Qiao, and S. Dixit. "QoS Performance of Optical Burst Switching in IP-Over-WDM Networks", IEEE Journal on selected areas in communications, vol. 18, núm. 10, Octubre 2000
- [17] C. Qiao, M. Yoo, "Optical Burst Switching (OBS), A new paradigm for an Optical Internet", NSF research, pp. 1-18, 1997
- [18] V. M. Vokkarane, G.P.V. Thodime, V. B. Challagulla and J. P. Jue, "Channel Scheduling Algorithms using Burst Segmentation and FDLs for Optical Burst-Switched Networks", IEEE Journal. 2003.
- [19] J. Xu, C. Qiao, J. Li and G. Xu. "Efficient Channel Scheduling Algorithms in Optical Burst Switched Networks". IEEE, 2003
- [20] M. Yoo and C. Qiao, "Just-Enough-Time (JET): A High Speed Protocol For Bursty Traffic in Optical Networks," Proc. IEEE/LEOS Conf. Tech. Global Info. Infrastructure, Aug. 1997, pp. 26–27.
- [21] K. Laevens, "Traffic Characteristics Inside Optical Burst Switched Networks," Proc. Opticomm, 2002, pp. 137–48.
- [22] V. M. Vokkarane, J. P. Jue, and S. Sitaraman. "Burst Segmentation: An Approach For Reducing Packet Loss In Optical Burst-Switched Networks". IEEE Journal. 2002
- [23] F. Farahmand and J. P. Jue. "Look-ahead Window Contention Resolution in Optical Burst Switched Networks". IEEE Journal. 2003, pp. 147-151
- [24] X. Yu, Y. Chen, and C. Qiao, "Study of Traffic Statistics of Assembled Burst Traffic in Optical Burst Switched Networks," Proc. Opticomm, 2002, pp. 149–59.
- [25] S. Charcranoon, T. S. El-Bawab, H. C. Cankaya, and J. Dugshin. "Group-Scheduling for Optical Burst Switched (OBS) Networks". IEEE Globecom 2003, pp.2745-274.
- [26] C. M. Gauger, M. Köhn, J. Scharf. "Comparison of Contention Resolution Strategies in OBS Networks Scenarios". 6th International Conference on Transparent optical Networks ICTON 2004, July 4-8, 2004 Wroclaw,

Poland. Mo. B1.2, pp. 18-21

- [27] C. M. Gauger. "Dimensioning of FDL Buffers for Optical Burst Switching Nodes". TransiNet project (www.traninet.de). 2002, pp. 1-16
- [28] M. Yoo, C. Qiao and S. Dixit. "A comparative Study of Contention Resolution Policies in Optical Switched WDM Networks" Nokia Research Center. 2001, pp. 1-12.
- [29] S. Suryaputra, J. D. Touch, J. Bannister, "Simple Wavelength Assignment Protocol", USC/ISI TR-99-473, October 26, 1999.
- [30] K. Dogan and N. Akar, "A Performance Study of Limited Range Partial Wavelength Conversion for Asynchronous Optical Packet/Burst Switching", 2006
- [31] K. Xi, S. Arakawa and M. Murata, "How Many Wavelength Converters do We Need?", IEEE, 2005
- [32] B. Wang, N. Lella, "Dynamic Contention Resolution in Optical Burst Switched Network with Partial Wavelength Conversion and Fiber Delay Lines", IEEE Communications Society Globecom 2004.
- [33] J. Conesa, J. Comellas, G. Junyent, "Diseño y evaluación de un nodo óptico con conversión limitada de longitud de onda", 2004
- [34] H. Li and L. Thng, Member, IEEE, "Cost-Saving Two-Layer Wavelength Conversion in Optical Switching Network", Journal of lightwave technology, vol. 24, NO. 2, FEBRUARY 2006, pp-705-712
- [35] X. Jiangchuan Liu, Z. Zhang, "Analysis of Sparse-Partial Wavelength Conversion in Wavelength-Routed WDM Networks", INFOCOM, 2004
- [36] B. Chinoy and H.W. Braun, "The National Science Foundation Network", San Diego SuperComputer Center (CA 92186-9784), 1991, pp-1-10

ENLLAÇOS WEB

- [37] National Lambda Rail
www.nlr.net [data d'accés Març de 2007]
- [38] Pàgina web del projecte GTK.
<http://www.gtk.org/> [data d'accés març de 2007]
- [39] Tutorial de GTK
<http://www.gtk.org/tutorial/> [data d'accés març de 2007]
- [40] Definicions de la tecnologia GTK, llibreries i manuals.
<http://es.wikipedia.org/wiki/GTK> [data d'accés març de 2007]

- [41] Pàgina web del projecte Glade
<http://glade.gnome.org/> [data d'accés març de 2007]
- [42] Definicions de l'entorn Glade.
<http://es.wikipedia.org/wiki/Glade> [data d'accés març de 2007]
- [43] Pàgina web del IDE de programació ANJUTA.
<http://anjuta.sourceforge.net/> [data d'accés març de 2007]
- [44] Manuals del IDE ANJUTA
<http://es.wikipedia.org/wiki/Anjuta> [data d'accés març 2007]
- [45] Pàgina web del IDE KDevelop
<http://www.kdevelop.org/> [data d'accés març de 2007]
- [46] Manuals del IDE KDevelop
<http://es.wikipedia.org/wiki/KDevelop> [data d'accés març de 2007]
- [47] National Science Foundation
<http://www.nsf.gov/about/istory/> [data d'accés abril de 2007]
- [48] A brief History of NSF and the Internet
http://www.nsf.gov/news/special_reports/cyber/internet.jsp [data d'accés abril de 2007]
- [49] Història del NSF
<http://irm.cit.nih.gov/15min/history/sld06.html> [data d'accés abril de 2007]

GLOSARI

A

ATK: *Accessibility Toolkit*

ATM: *Modo de Transferencia Asíncrona*

B

C

C: Llenguatge de programació creat en 1969 per Ken Thompson i Dennis M. Ritchie en els Laboratoris Bell com a evolució de l'anterior llenguatge B, basat en BCPL

C++: Extensió del llenguatge de programació C

CORE NODES: *Nodes Interiors*

D

E

EGRESS NODES: *Nodes frontera de Sortida*

EDGE NODES: *Nodes Frontera*

F

FDL: *Fiber Delay Lines*

FWC: *Full Wavelength Conversion*

G

GIMP: *GNU Image Manipulation Program*

GLIB:

GNOME: *GNU Network Object Model Environment*

GNU:

GTK: Abreviatura de **GIMP toolkit**: conjunt de rutines per a GIMP

GUI: *Graphical User Interface* (IGU en castellà, *Interfaz Gráfica de Usuario*)

GPL: *General Public Licence*

H

I

INGRESS NODE: *Nodes frontera d'entrada*

IP: *Internet Protocol*

J

JET: *Just-Enough-Time*

Java: Llenguatge de programació orientat a objectes desenvolupat per Sun Microsystems a principis dels 90

K

KDE: *K Desktop Environment*

L

LAUC: Latest Available Unscheduled Channel

LAUC-VF: *Latest Available Unscheduled Channel Void Filling*

LGPL: *Lesser General Public License*

M

N

NWC: *No Wavelength Conversion*

O

OBS: *Optical Burst Switching*

OPS: *Optical Packet Switching*

OCS: *Optical Circuit Switching*

P

Pango: El nom *pango* té la procedència del grec **pan**: tot (en grec Παν) més la paraula del japonès **go**: idioma (en japonès 語).

PWC: *Partial Wavelength Conversion*

Python: Llenguatge de programació orientada a objectes, programació estructurada, programació funcional i programació orientada a aspectes.

Perl: *Practical Extraction and Report Language*

Q

Qt: Llenguatge per la programació d'interfícies gràfiques

R

S

SPL: *Share Per Line*

SPN: *Share Per Node*

T

TWC: *Tunable Wavelength Converters*

U

V

W

WDM: Wavelength Division Multiplexing

X

XFCE: XForms Common Environment

Y

Z



Escola Politècnica Superior
de Castelldefels

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

ANNEXOS

TÍTOL: Estudi i simulació de mecanismes de resolució de contencions en xarxes de commutació de ràfegues òptiques, OBS

**AUTORS: Fernando López Muñoz
Jèssica Reyes Barbancho**

DIRECTORA: Anna Agustí Torra

DATA: 27 d'Abril de 2007

ÍNDIX

ANNEX A.	Resultats Tests Topologia Senzilla	1
A.1	Resultats amb dues fonts sense retransmissions.....	1
A.2	Resultats amb dues fonts amb retransmissions	4
A.3	Resultats amb tres fonts sense retransmissions	6
A.4	Resultats amb tres fonts i retransmissions.....	8
ANNEX B.	Resultats Tests NSFNet.....	11
B.1	Retard de transmissió de les ràfegues	11
B.2	Utilització de les longituds d'ona.....	13
B.3	Cua de peticions endarrerides	15
ANNEX C.	DIAGRAMA DE GANTT	17

ÍNDIX DE FIGURES

Figura.A.1.	Retard de la S1 sense RTx	1
Figura.A.2.	Probabilitat de pèrdua de la S1	1
Figura.A.3.	Cua de peticions endarrerides del N1 sense RTx.....	2
Figura.A.4.	Detall de la cua de peticions endarrerides del N1 sense RTx	2
Figura.A.5.	Utilització de les longituds d'ona de l'enllaç 1-2 sense RTx	3
Figura.A.6.	Retard de la S1 amb RTx	4
Figura.A.7.	Utilització de les longituds d'ona de l'enllaç 1-2 amb RTx	4
Figura.A.8.	Cua de peticions endarrerides del N1 sense RTx.....	5
Figura.A.9.	Detall de la cua de peticions endarrerides del N1 sense RTx	5
Figura.A.10.	Retard de la S1 sense RTx	6
Figura.A.11.	Utilització de les longituds d'ona de l'enllaç 1-2 sense RTx	6
Figura.A.12.	Probabilitat de pèrdua de la S1 sense RTx.....	7
Figura.A.13.	Cua de peticions endarrerides del N1 sense RTx.....	7
Figura.A.14.	Retard de la S1 amb RTx	8
Figura.A.15.	Utilització de les longituds d'ona de l'enllaç 1-2 amb RTx	8
Figura.A.16.	Cua de peticions endarrerides del N1	9
Figura.A.17.	Detall de la cua de peticions endarrerides del N1	9
Figura B.1.	Retard promig amb PConv Near Nack	11
Figura B.2.	Retard promig amb PConv Far Nack.....	12
Figura B.3.	Retard mig amb les diferents propostes	12
Figura B.4.	Utilització de les longituds d'ona amb PConv Near Nack.....	13
Figura B.5.	Utilització de la longitud d'ona 0	13
Figura B.6.	Utilització promig de les longituds d'ona amb Pconv Far Nack	14
Figura B.7.	Utilització de la longitud d'ona 0	14
Figura B.8.	Utilització promig de les longituds d'ona. Comparació de diferents propostes.....	15
Figura B.9.	Cua de peticions endarrerides proposta PConv Near Nack.....	15
Figura B.10.	Cua de peticions endarrerides proposta PConv Far Nack	16
Figura B.11.	Cua de peticions endarrerides16. Comparació de diferents propostes.....	16

ANNEX A. Resultats Tests Topologia Senzilla

En aquest capítol es presenten els resultats que complementen els presentats al capítol 4 per al cas de la topologia senzilla.

A.1 Resultats amb dues fonts sense retransmissions

La Figura A.1. i la Figura A.2 mostren el retard en la transmissió de les ràfegues i la probabilitat de pèrdua de ràfegues per a la font S1, respectivament. Els resultats són idèntics als obtinguts per a la font S0 tal i com s'explica al capítol 4

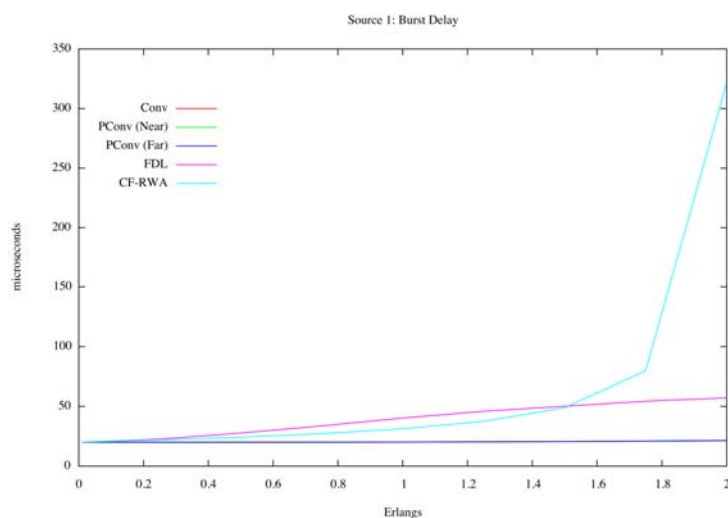


Figura.A.1.Retard de la S1 sense RTx

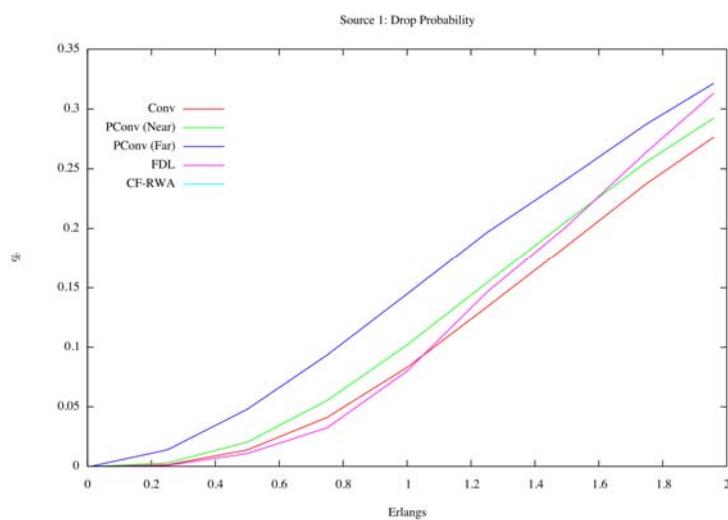


Figura.A.2.Probabilitat de pèrdua de la S1

La Figura A.3 mostra la ocupació de la cua de la font S1 on s'emmagatzemen les ràfegues fins que es poden programar al primer enllaç de la xarxa. La Figura A.4 mostra el detall de la gràfica entre $0E_r$ i $1.5E_r$. S'observa que la ocupació d'aquesta cua és molt similar a la mostrada per a la font S0.

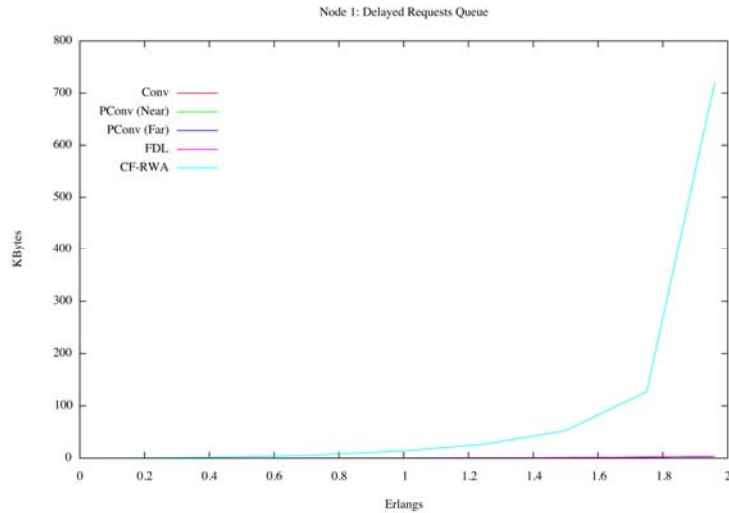


Figura.A.3.Cua de peticions endarrerides del N1 sense RTx

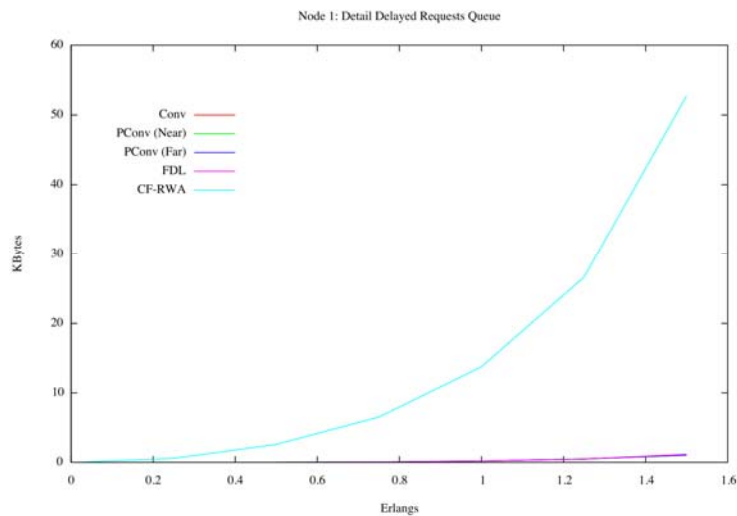


Figura.A.4.Detall de la cua de peticions endarrerides del N1 sense RTx

A continuació es mostra la utilització de les longituds d'ona de l'enllaç 1-2. Com ja s'ha comentat al capítol 4, la pre-assignació de recursos utilitzada en l'esquema CF-RWA, només permet l'ús de les longituds d'ona 2 i 3 per part de la font S1. En canvi, la resta de mecanismes seleccionen una longitud d'ona a l'atzar, tenint totes la mateixa probabilitat de ser escollides.

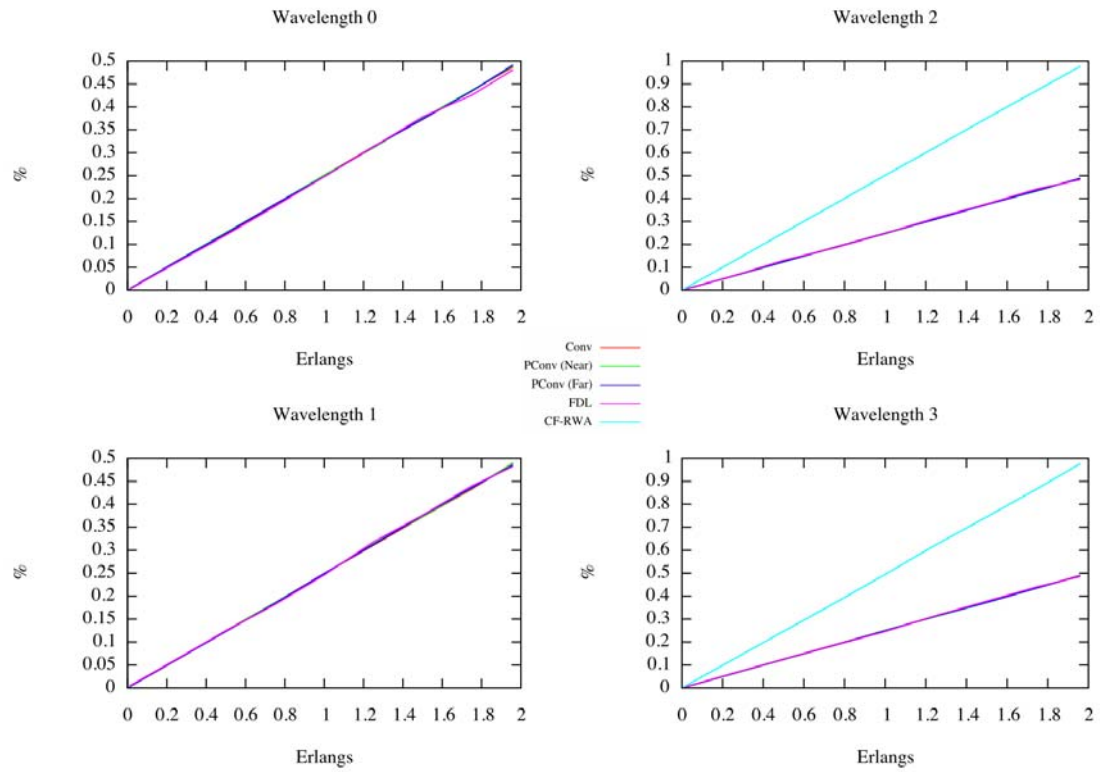


Figura.A.5.Utilització de les longituds d'ona de l'enllaç 1-2 sense RTx

A.2 Resultats amb dues fonts amb retransmissions

La Figura A.6 mostra el retard de transmissió de les ràfegues per a la font S1 (que coincideix amb els resultats obtinguts per a la font S0).

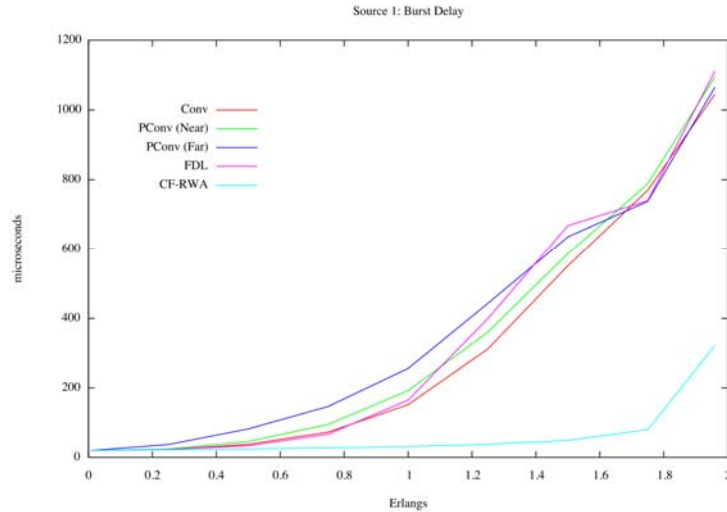


Figura.A.6.Retard de la S1 amb RTx

La Figura A.7 mostra la utilització de les diferents longituds d'ona a l'enllaç 1-2. Aquests resultats són molt semblants als obtinguts per a l'enllaç 0-2.

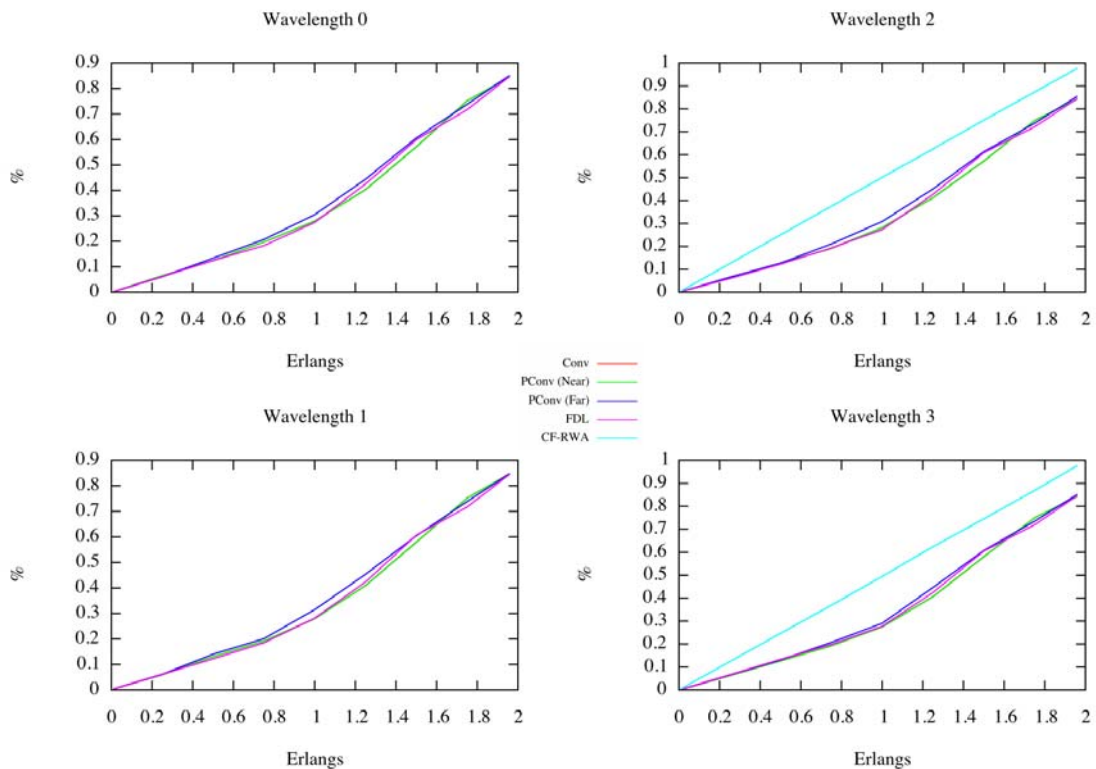


Figura.A.7.Utilització de les longituds d'ona de l'enllaç 1-2 amb RTx

La Figura A.8 mostra la ocupació de la cua de peticions endarrerides de la font S1. Aquesta cua té una ocupació idèntica a la de la cua de peticions endarrerides de la font S0, mostrada al capítol 4.

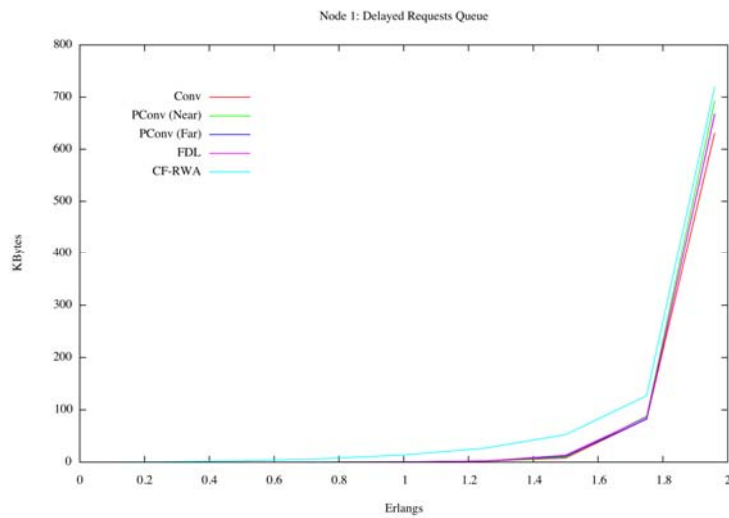


Figura.A.8.Cua de peticions endarrerides del N1 sense RTx

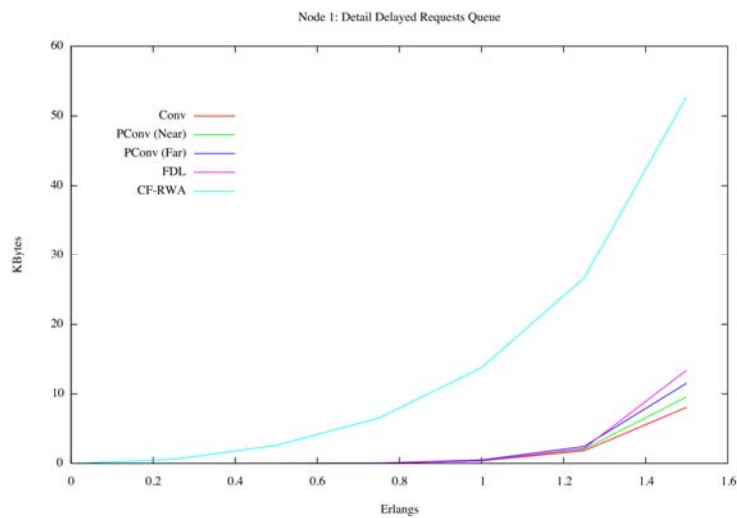


Figura.A.9.Detall de la cua de peticions endarrerides del N1 sense RTx

A.3 Resultats amb tres fonts sense retransmissions

A continuació es mostren els resultats que complementen les proves mostrades al capítol 4 en relació a l'escenari senzill amb la configuració de tres fonts sense retransmissions.

La Figura A.10 mostra el retard de transmissió de les ràfegues per a la font S1.

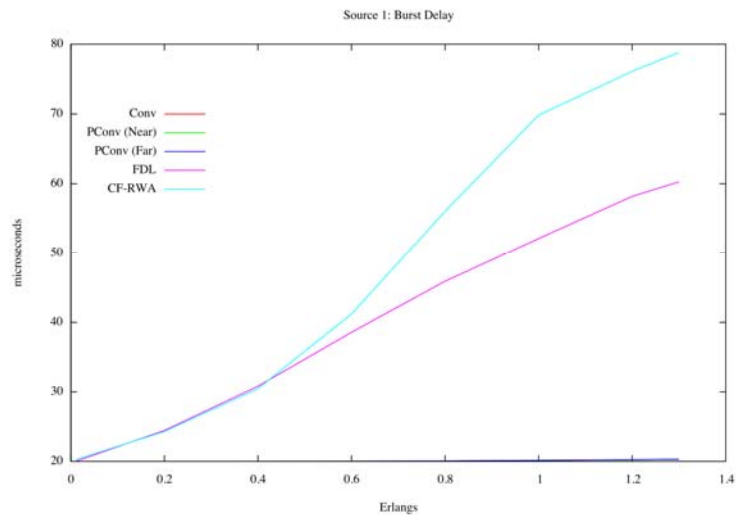


Figura.A.10.Retard de la S1 sense RTx

La Figura A.11 mostra la utilització de les longituds d'ona de l'enllaç 1-2

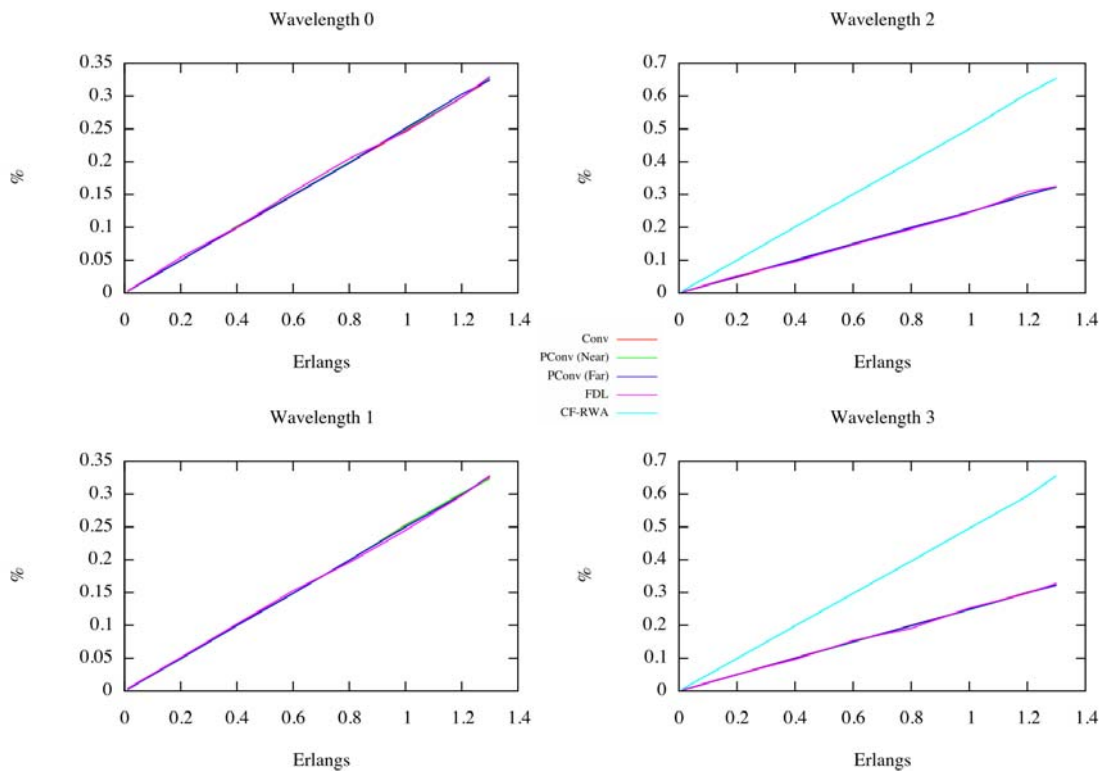


Figura.A.11.Utilització de les longituds d'ona de l'enllaç 1-2 sense RTx

La Figura A.12 mostra el percentatge de ràfegues perdudes de la font S1.

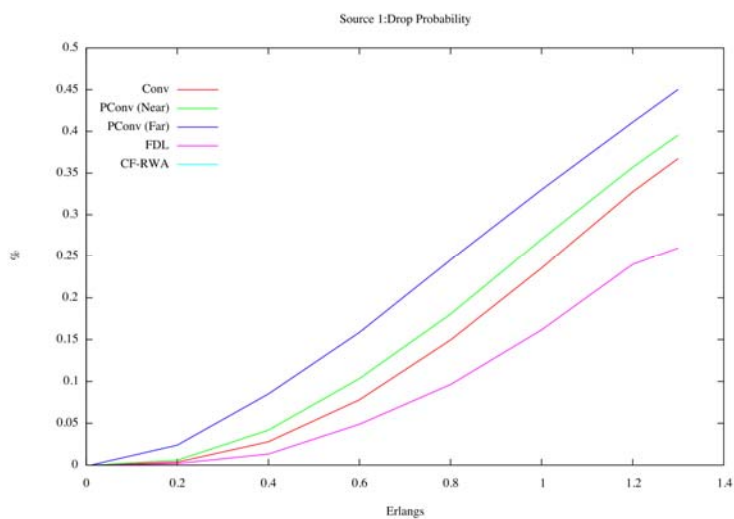


Figura.A.12.Probabilitat de pèrdua de la S1 sense RTx

La Figura A.13 mostra la ocupació de la cua on s'emmagatzemen les ràfegues fins que se'n pot programar la transmissió per a la font S1.

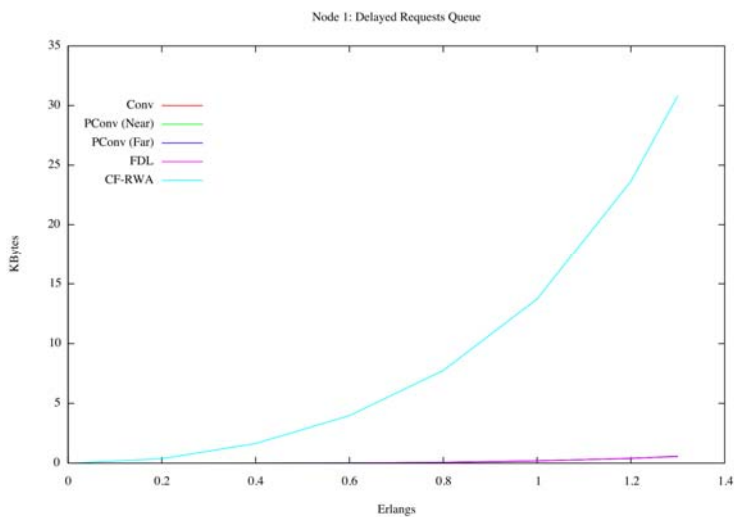


Figura.A.13.Cua de peticions endarrerides del N1 sense RTx

A.4 Resultats amb tres fonts i retransmissions

A continuació es mostren els resultats de les proves realitzades amb tres fonts i les retransmissions activades. Aquests resultats complementen els mostrats a l'apartat 4.2.2.1.

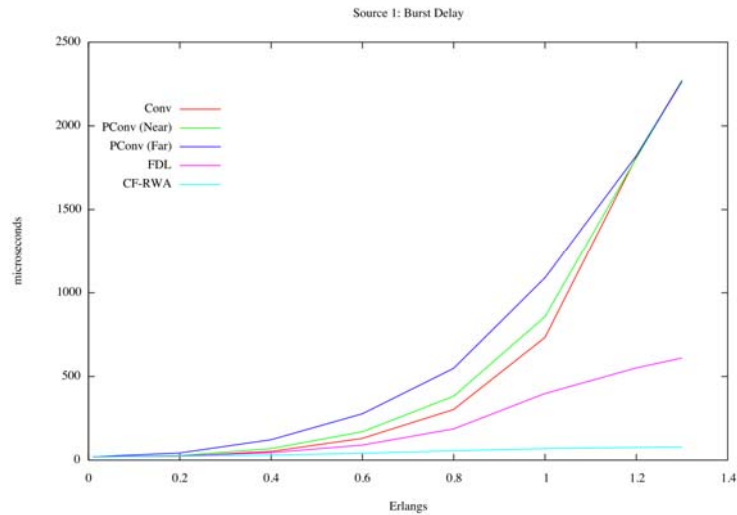


Figura.A.14.Retard de la S1 amb RTx

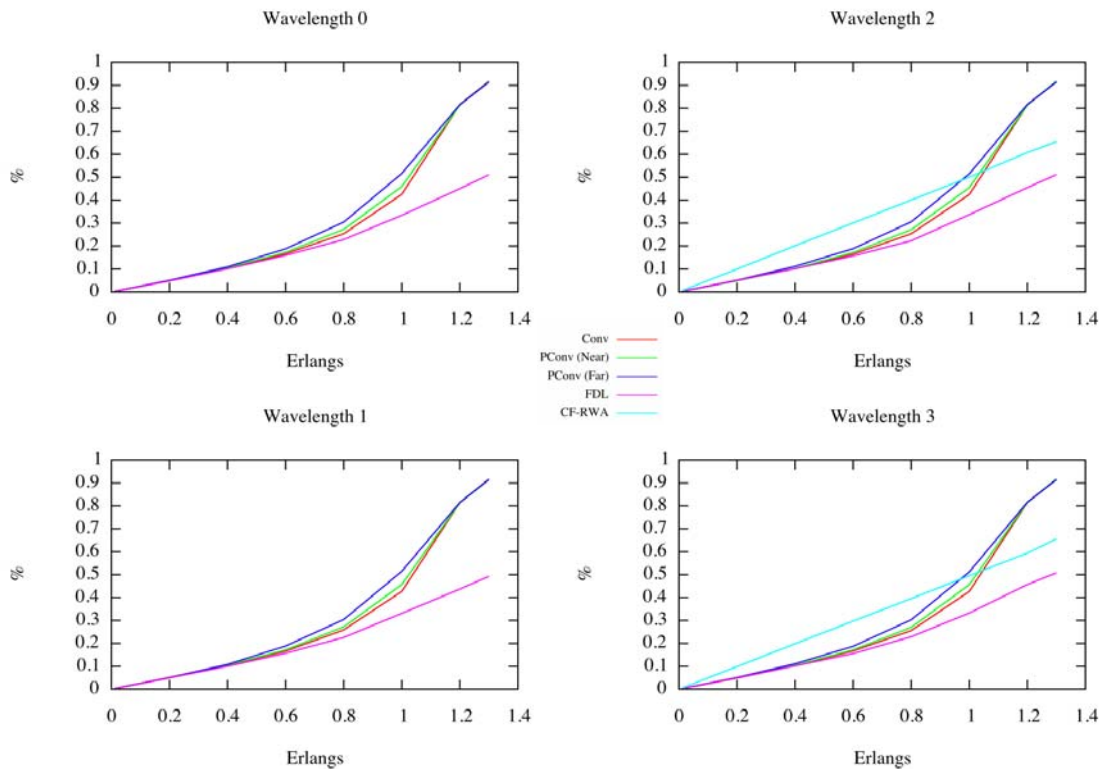


Figura.A.15.Utilització de les longituds d'ona de l'enllaç 1-2 amb RTx

A continuació es mostra l'ocupació de la cua on s'emmagatzemen les ràfegues abans de ser programades per a la font S1.

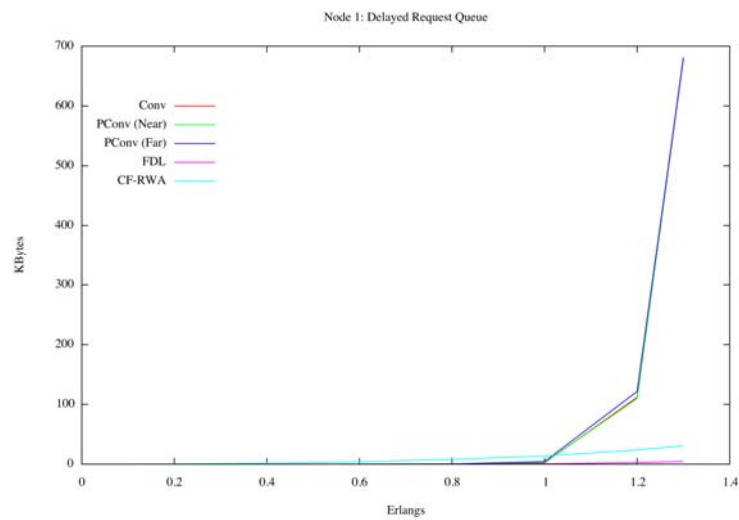


Figura.A.16.Cua de peticions endarrerides del N1

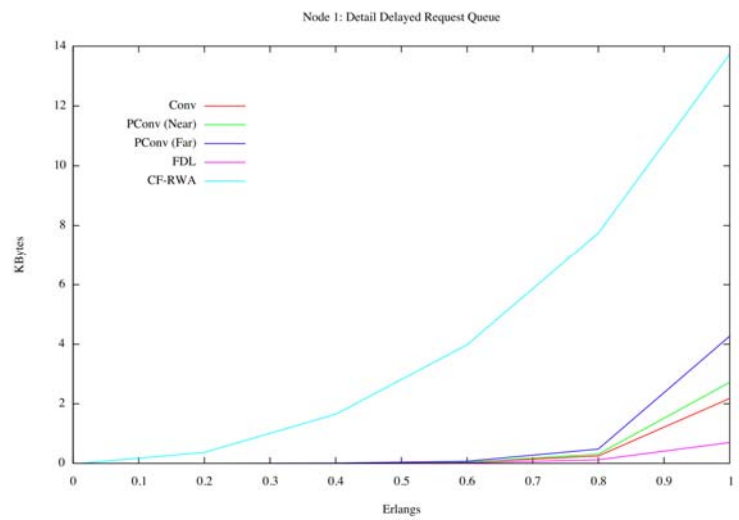


Figura.A.17.Detall de la cua de peticions endarrerides del N1

ANNEX B.Resultats Tests NSFNet

Per a l'escenari de la xarxa NSFNet s'han realitzat simulacions considerant les propostes de conversió parcial de longitud d'ona, per als casos *Near* i *Far*. En aquest annex es descriuen breument aquestes propostes i es comparen els resultats obtinguts amb la resta d'esquemes de resolució de contencions considerats.

B.1 Retard de transmissió de les ràfegues

La Figura B.1 mostra el retard addicional en la transmissió de les ràfegues considerant el mecanisme de conversió parcial de longitud d'ona denotat com a *Near* i tenint en compte retransmissions. La línia blava mostra el retard addicional per a la font que experimenta un major retard, la vermella mostra el retard més petit i, finalment, la línia verda mostra el retard promig tenint en compte totes les fonts de la xarxa.

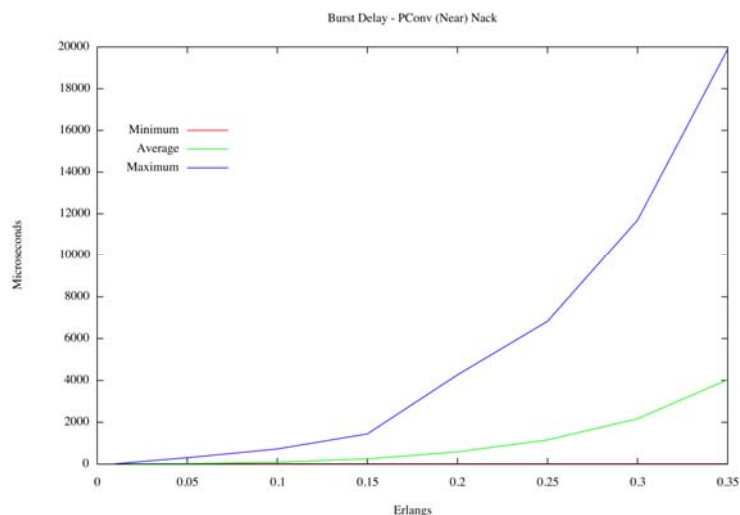


Figura B.1. Retard promig amb PConv Near Nack

En aquest cas, quan es produeix contenció, s'intenta solucionar utilitzant una de les dues longituds d'ona adjacents a la longitud d'ona on hi ha hagut la contenció. Per tant, com que el rang de longituds d'ona sobre les que es pot intentar realitzar conversió és molt inferior al rang utilitzat per al cas de conversió total (on es pot triar entre 7 longituds d'ona per intentar programar la transmissió de la ràfega i així resoldre la contenció), és normal que en el cas de conversió parcial opció *Near* hi hagi més retransmissions i per tant més retard addicional que utilitzant conversió total.

La Figura B.2. mostra el retard addicional mínim, promig i màxim per al cas de conversió parcial opció *Far*, considerant retransmissions. El comportament és similar al que s'observa en el cas *Near* però el retard és lleugerament inferior. En aquest cas, quan es produeix contenció, s'intenta solucionar utilitzant

alguna de les longituds d'ona no adjacents a la longitud d'ona on hi ha hagut la contenció. Per tant, com que en aquest cas hi ha 8 longituds d'ona en cada enllaç, el rang que es considera per a la conversió està constituït per 5 longituds d'ona. Així doncs, com que es tenen en compte un major nombre de longituds d'ona, la probabilitat que una ràfega hagi de ser retransmesa perquè no es pot resoldre la contenció és inferior que en l'opció *Near*.

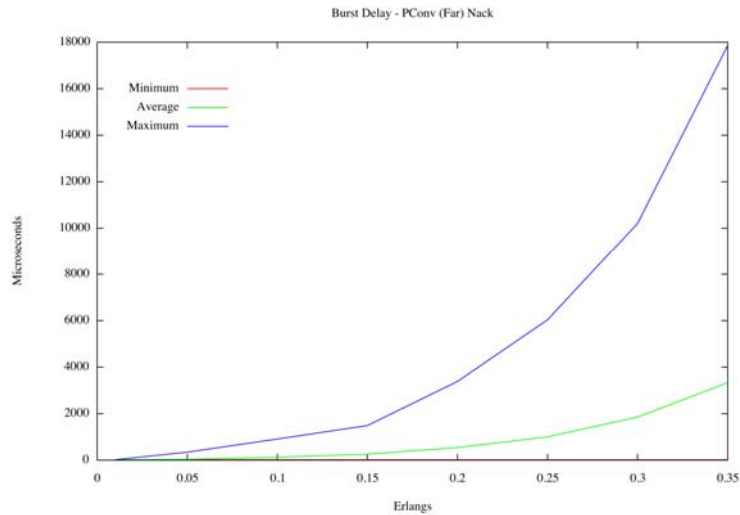


Figura B.2. Retard promig amb PConv Far Nack

La Figura B.3 mostra el retard addicional promig per als diferents mecanismes de resolució de contencions. S'observa que els dos esquemes de conversió parcial són els que presenten un major retard, essent el de conversió parcial opció *Near* superior al retard de l'opció *Far*. Aquesta diferència es causada pel nombre de longituds d'ona considerat a l'hora de realitzar conversió per intentar solucionar les contencions entre ràfegues. En el cas *Near*, es consideren només dues longituds d'ona, mentre el cas *Far* en considera fins a cinc.

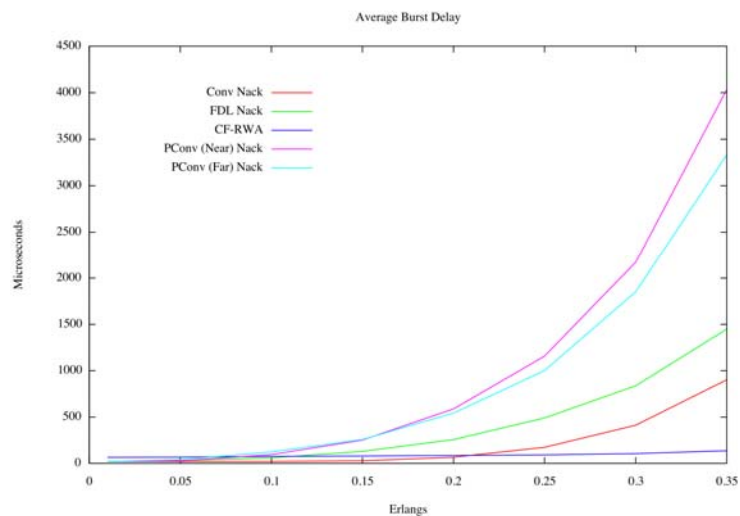


Figura B.3. Retard mig amb les diferents propostes

B.2 Utilització de les longituds d'ona

La Figura B.4 mostra la utilització promig de les longituds d'ona considerant l'estratègia de conversió parcial de longitud d'ona per al cas *Near* amb les retransmissions activades. S'observa que totes les longituds d'ona, en promig, tenen la mateixa utilització.

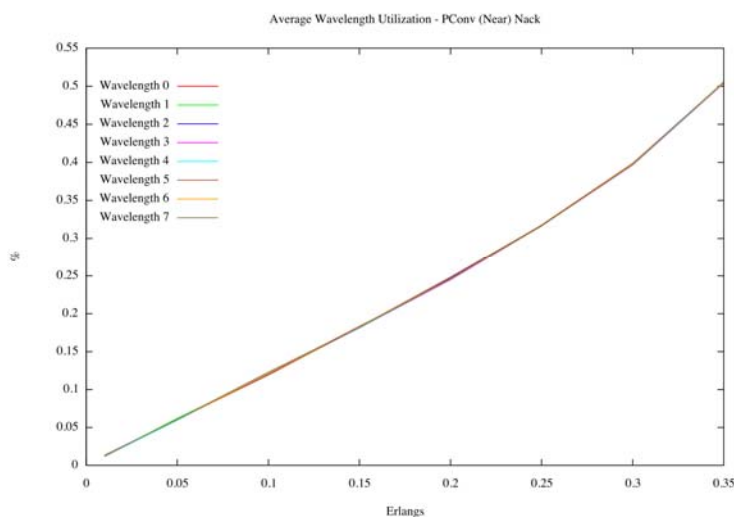


Figura B.4. Utilització de les longituds d'ona amb PConv Near Nack

La Figura B.5 mostra el detall de la utilització de la longitud d'ona 0 en aquell enllaç on està més utilitzada (línia blava), en aquell enllaç on n'està menys (línia vermella) i, finalment, es mostra la seva utilització promig (línia verda). Com que totes les longituds d'ona tenen el mateix comportament, el que s'observa per a la longitud d'ona 0 és pot extrapolar a la resta.

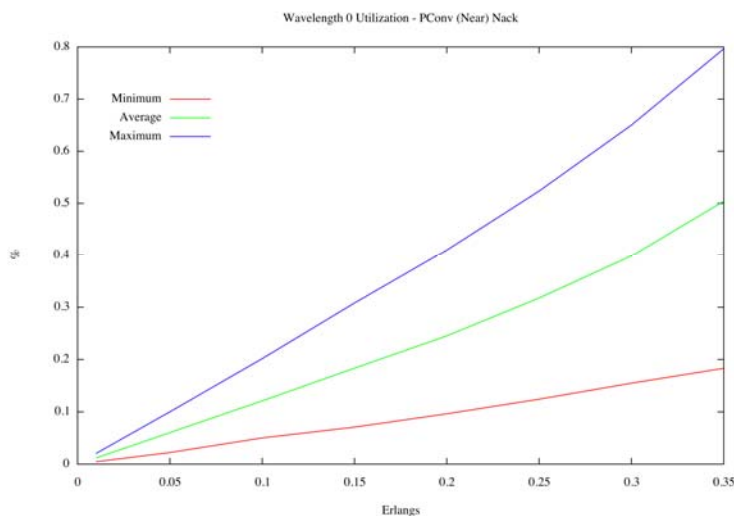


Figura B.5. Utilització de la longitud d'ona 0

S'observa que el creixement és força lineal fins per a valors de tràfic ofert de $0.2E_r$. A partir d'aquest llindar, el comportament indica que l'índex de retransmissions és cada vegada més elevat i per això les longituds d'ona estan més utilitzades.

La Figura B.6 mostra la utilització promig de les longituds d'ona considerant l'estratègia de conversió parcial de longitud d'ona per al cas *Far* amb retransmissions. En aquest cas, no totes les longituds d'ona s'utilitzen per igual.

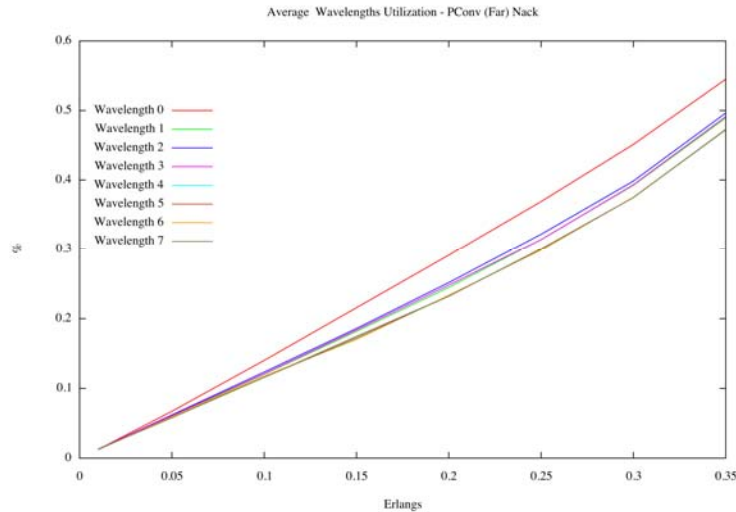


Figura B.6. Utilització promig de les longituds d'ona amb Pconv Far Nack

La Figura B.7 mostra el detall de la utilització de la longitud d'ona 0 en aquell enllaç on està més utilitzada (línia blava), en aquell enllaç on n'està menys (línia vermella) i, finalment, es mostra la seva utilització promig (línia verda).

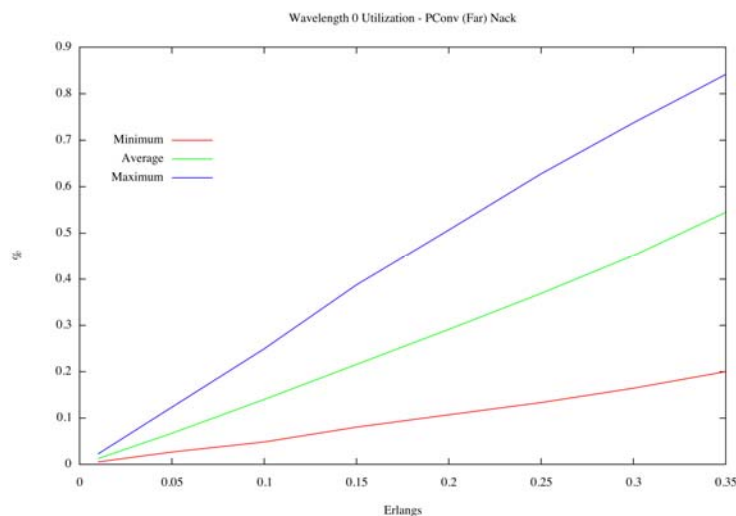
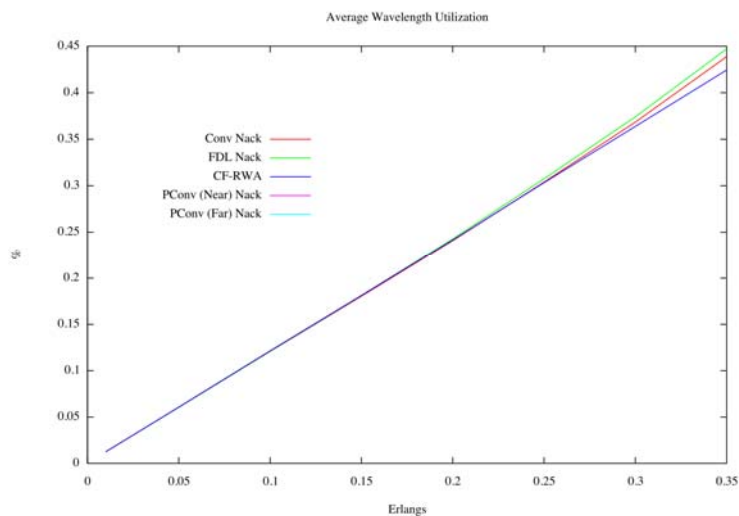


Figura B.7. Utilització de la longitud d'ona 0

La Figura B.8 mostra la utilització promig de les longituds d'ona per a les diferents propostes comparades.

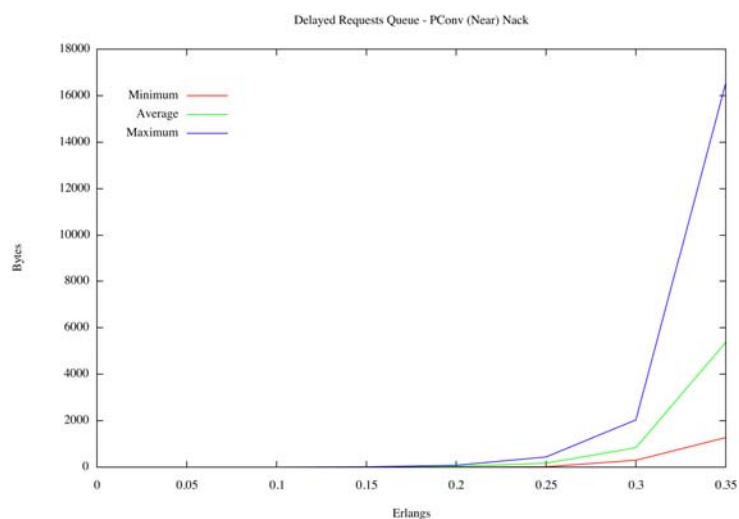


**Figura B.8. Utilització promig de les longituds d'ona
Comparació de diferents propostes**

B.3 Cua de peticions endarrerides

Les Figures B.9 i B.10 mostren l'ocupació de la cua on s'emmagatzemen les ràfegues fins que se'n pot programar la transmissió en el primer enllaç de la xarxa, per als casos *Near* i *Far*, respectivament (considerant retransmissions en ambdós casos).

Tal i com s'ha comentat, amb l'opció *Far* hi ha menys retransmissions i per això la utilització de la cua és inferior que en el cas *Near*.



**Figura B.9. Cua de peticions endarrerides proposta
PConv Near Nack**

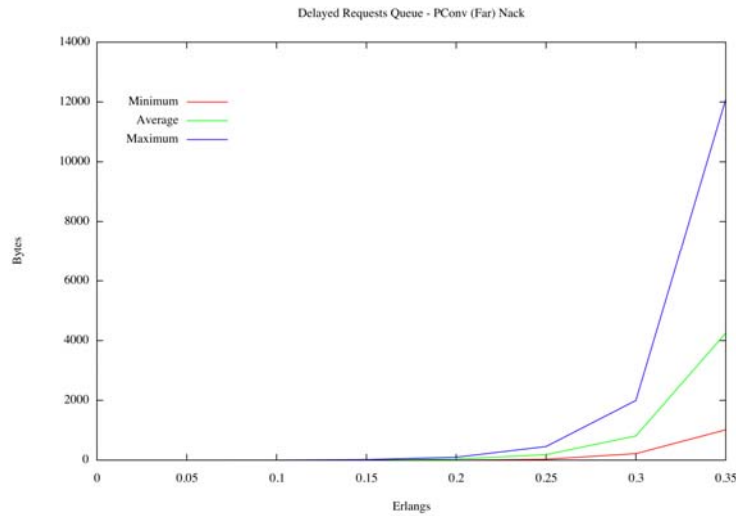


Figura B.10. Cua de peticions endarrerides proposta PConv Far Nack

La Figura B.11 mostra l'ocupació de la cua per a totes les propostes. S'observa clarament que l'esquema CF-RWA és el que té una major ocupació de la cua. En la proposta CF-RWA, no es programa la transmissió d'una ràfega al primer enllaç de la xarxa fins que la longitud d'ona escollida segons la pre-assignació de recursos té un interval lliure suficientment llarg per programar-ne la transmissió. En les altres propostes, la programació en el primer enllaç és més ràpida perquè qualsevol longitud d'ona on es pugui programar la transmissió ja és vàlida, però a canvi, és més probable que hi hagi contenció. En aquest cas, si la contenció no es pot resoldre, caldrà retransmetre la ràfega i això suposa una penalització en termes de retard molt superior a la que suposa endarrerir la programació de la transmissió de la ràfega a la font. Així doncs, malgrat l'ocupació de la cua per a l'estratègia CF-RWA és més elevada (Figura B.11), el benefici d'aquesta espera en termes de retard addicional de transmissió és molt elevat (Figura B.3).

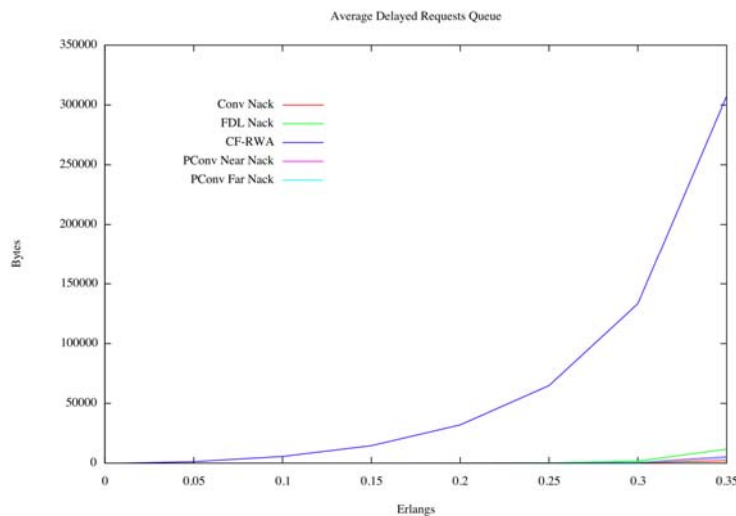


Figura B.11. Cua de peticions endarrerides Comparació de diferents propostes

ANNEX C. DIAGRAMA DE GANTT

En aquest apartat s'adjunta la planificació del projecte realitzada amb un diagrama de Gantt on s'observen les tasques dutes a terme durant el projecte, la duració estimada de cada una d'elles i els recursos necessaris per a la seva execució.

Id		Nombre de tarea	Duración	Comienzo	Fin	Predecesoras	Nombres de los recursos	agosto
1	✓	Estudi de la tecnologia OBS	14 días	mar 12/09/06	vie 29/09/06		JR;FL	
2	✓	Funcionament bàsic d'una xarxa OBS	5 días	mar 12/09/06	lun 18/09/06		FL;JR	
3	✓	Generació de ràfegues	4 días	lun 18/09/06	jue 21/09/06		FL;JR	
4	✓	Mecanisme d'Scheduling	3 días	vie 22/09/06	mar 26/09/06		FL;JR	
5	✓	Protocols de Reserva	3 días	mié 27/09/06	vie 29/09/06		FL;JR	
6	✓	Estudi dels mecanismes de resolució de conteses	9 días	lun 02/10/06	jue 12/10/06	1	JR;FL	
7	✓	Dropping	4 días	lun 02/10/06	jue 05/10/06		FL	
8	✓	Deflection Routing	3 días	vie 06/10/06	mar 10/10/06	7	FL	
9	✓	Fibres de retard	4 días	lun 02/10/06	jue 05/10/06		JR	
10	✓	Conversió de longitud d'ona	3 días	vie 06/10/06	mar 10/10/06	9	JR	
11	✓	Métodes de descart, desviament i segmentació de ràfegues	2 días	mié 11/10/06	jue 12/10/06	10	JR	
12	✓	Estudi del simulador de xarxes OBS	35 días	vie 13/10/06	jue 30/11/06	6	JR;FL	
13	✓	Funcionament bàsic i estat inicial	12 días	vie 13/10/06	lun 30/10/06		JR;FL	
14	✓	Plà de control	12 días	mié 01/11/06	jue 16/11/06	13	JR;FL	
15	✓	Mecanismes de resolució de conteses disponibles al simulador	10 días	vie 17/11/06	jue 30/11/06	14	JR;FL	
16	✓	Estudi de les actualitzacions i millores a realitzar	17 días	vie 01/12/06	vie 22/12/06		JR;FL	
17	✓	Paràmetres d'entrada (fixers)	7 días	vie 01/12/06	vie 08/12/06		FL	
18	✓	Nous mecanismes de resolució de conteses	10 días	vie 01/12/06	mié 13/12/06		JR	
19	✓	Millores en funcions generals	7 días	jue 14/12/06	vie 22/12/06	18	JR;FL	
20	✓	Adaptació del simulador de xarxes OBS de l'esquema CF-RWA	10 días	lun 25/12/06	vie 05/01/07		JR	
21	✓	Implementació de nous mecanismes de resolució de conteses (Conversió de longitud d'ona parcial)	10 días	dom 07/01/07	jue 18/01/07	20	JR	
22	✓	Actualització de funcions generals del simulador	10 días	vie 19/01/07	jue 01/02/07	21	JR;FL	
23	✓	Interfície gràfica	52 días	lun 04/12/06	lun 12/02/07		JR;FL	
24	✓	Estudi de les funcionalitats de la interfície gràfica	10 días	lun 04/12/06	vie 15/12/06		JR;FL	
25	✓	Estudi de GTK i de l'entorn Glade	10 días	lun 04/12/06	vie 15/12/06		JR;FL	
26	✓	Disseny de la interfície	10 días	lun 18/12/06	vie 29/12/06	25	JR;FL	
27	✓	Implementació de la interfície	25 días	lun 01/01/07	jue 01/02/07	26	FL	
28	✓	Modificacions segons actualitzacions finals del simulador	7 días	vie 02/02/07	lun 12/02/07	27	FL	
29		Simulacions	39 días	vie 02/02/07	mié 28/03/07	21	JR;FL	

Proyecto: Proyect2
Fecha: lun 19/03/07

Tarea



Tarea resumida



Tareas externas



Progreso



Hito resumido



Resumen del proyecto



Hito



Progreso resumido



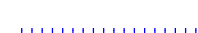
Agrupar por síntesis



Resumen












División



Fecha límite



Id		Nombre de tarea	Duración	Comienzo	Fin	Predecesoras	Nombres de los recursos	agosto
30		Simulacions Xarxa Senzilla	15 días	vie 02/02/07	jue 22/02/07		JR;FL	
31		Simulacions Xarxa NSFNet	25 días	jue 22/02/07	mié 28/03/07		JR;FL	
32		Redacció memòria projecte	154 días	lun 02/10/06	mar 01/05/07			
33		Redacció estudi de la tecnologia OBS	7 días	lun 02/10/06	mar 10/10/06	1	FL;JR	
34		Redacció dels mecanismes de resolució de conteses	7 días	vie 13/10/06	lun 23/10/06	6	FL;JR	
35		Redacció situació inicial del simulador de xarxes OBS	10 días	vie 01/12/06	mié 13/12/06	12	FL;JR	
36		Redacció de les adaptacions realitzades al simulador i de les noves funcionalitats	15 días	lun 05/02/07	vie 23/02/07	22	FL;JR	
37		Redacció de les funcionalitats de la interfície gràfica	10 días	mié 14/02/07	mar 27/02/07	23	FL;JR	
38		Redacció resultats simulacions	15 días	jue 29/03/07	mié 18/04/07	29	FL;JR	
39		Redacció de la memòria final	10 días	mié 18/04/07	mar 01/05/07		FL;JR	

Proyecto: Project2
Fecha: lun 19/03/07

Tarea



Tarea resumida



Tareas externas



Progreso



Hito resumido



Resumen del proyecto



Hito



Progreso resumido



Agrupar por síntesis



Resumen

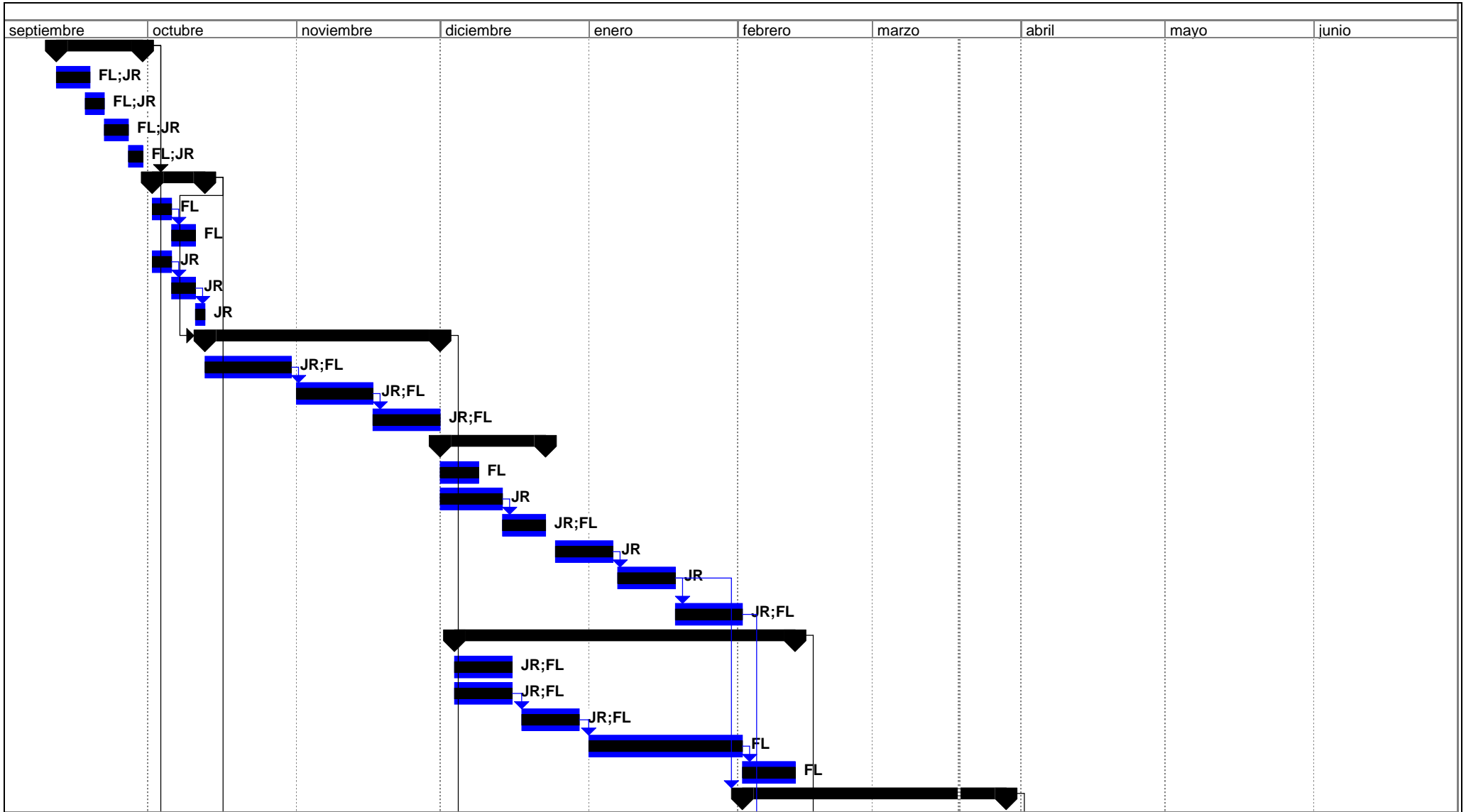


División



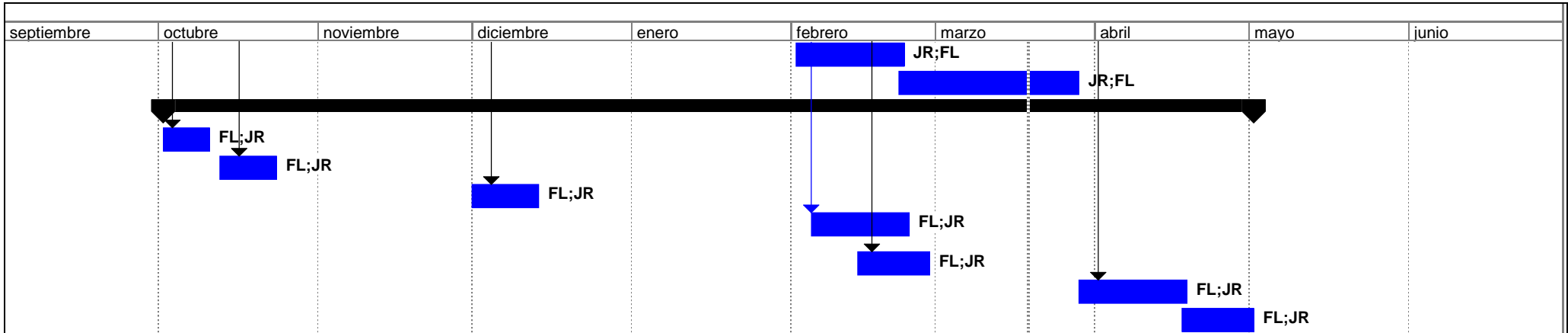
Fecha límite





Proyecto: Project2
 Fecha: lun 19/03/07

Tarea		Tarea resumida		Tareas externas	
Progreso		Hito resumido		Resumen del proyecto	
Hito		Progreso resumido		Agrupar por síntesis	
Resumen		División		Fecha límite	



Proyecto: Project2 Fecha: lun 19/03/07	Tarea		Tarea resumida		Tareas externas	
	Progreso		Hito resumido		Resumen del proyecto	
	Hito		Progreso resumido		Agrupar por síntesis	
	Resumen		División		Fecha límite	

