



Universitat de les
Illes Balears



Treball Final de Grau

Planificació de paquets en entorns femto cel·lulars

ARTURO CAPÓ SÁNCHEZ

Tutor

Jaume Ramis Bibiloni

Escola Politècnica Superior
Universitat de les Illes Balears
Palma, 7 de setembre de 2017

SUMARI

Sumari	i
Índex de figures	iii
Acrònims	v
1 Introducció	3
1.1 LTE	4
1.1.1 Introducció	4
1.1.2 Evolució fins arribar a Long Term Evolution (LTE)	5
1.1.3 Característiques de LTE	6
1.2 Femto cel·les	10
1.2.1 Introducció	10
1.2.2 Aspectes tècnics	11
1.2.3 Infraestructura de la xarxa	11
1.2.4 Control d'interferències	12
2 Desenvolupament	15
2.1 Introducció	15
2.2 Model del sistema	15
2.3 Round robin	18
2.4 Algoritme DS Priority	19
3 Resultats i discussió	21
3.1 Introducció	21
3.2 Estructura cel·lular	21
3.3 Estudis i proves	24
3.3.1 Proves amb tots els usuaris tolerants al retard Delay-Tolerant (DT)	24
3.3.2 Proves amb tots els usuaris sensibles al retard Delay-Sensitive (DS)	28
3.3.3 Proves amb usuaris DS i usuaris DT	32
4 Conclusions	41
Bibliografia	43

ÍNDIX DE FIGURES

1.1	Evolució fins a arribar a LTE: Velocitats aconseguides [1]	5
1.2	Evolució fins a arribar a LTE: Comparativa dels nodes base [2]	6
1.3	Estructura d'una xarxa femto cel·lular: Interfícies X2 i S1 [2]	7
1.4	Reresentació de les portadores Orthogonal Frequency Division Multiple Access (OFDMA) i Single Carrier Frequency Divison Multiple Access (SC-FDMA) [2]	8
1.5	<i>Multimedia Broadcast Multicast Service (MBMS)</i> [2]	9
1.6	Representació de la femto cel·la, Home evolved NodeB (HeNB) [2]	9
1.7	Representació connexió femto cel·la amb macro cel·la [3]	10
2.1	Gràfica del sistema	17
2.2	Round Robin: Diagrama	19
3.1	Estructura Macro cel·lular	22
3.2	Ampliació de l'estructura Macro cel·lular	23
3.3	Round Robin: Histograma de 4 usuaris DT per femto cel·la	25
3.4	Algoritme DS Priority: Histograma de 4 usuaris DT per femto cel·la	25
3.5	Roun Robin: Capacitat per a 2 i 4 usuaris vs nombre de femto cel·les	26
3.6	Algoritme DS Priority: Capacitat per a 2 i 4 usuaris vs nombre de femto cel·les	27
3.7	Round Robin: Capacitat per a 6 i 10 usuaris vs nombre de femto cel·les	27
3.8	Algoritme DS Priority: Capacitat per a 6 i 10 usuaris vs nombre de femto cel·les	28
3.9	Algoritme DS Priority: Capacitat de 2 i 4 usuaris que satisfan R_u vs R_{us} baixos	29
3.10	Algoritme DS Priority: Capacitat de 6 i 10 usuaris que satisfan R_u vs R_{us} baixos	30
3.11	Algoritme DS Priority: % Usuaris sensibles al retard DS que assoleixen R_u per 2 i 4 usuaris vs R_u	30
3.12	Algoritme DS Priority: % Usuaris sensibles al retard DS que assoleixen R_u per 6 i 10 usuaris vs R_u	31
3.13	Algoritme DS Priority: Capacitat de 2 i 4 usuaris sensibles al retard DS vs R_u	33
3.14	Algoritme DS Priority: Capacitat de 6 i 10 usuaris sensibles al retard DS vs R_u	34
3.15	Algoritme DS Priority: Capacitat de 2 i 4 usuaris tolerants al retard DT vs R_u	35
3.16	Algoritme DS Priority: Capacitat de 6 i 10 usuaris tolerants al retard DT vs R_u	35
3.17	Algoritme DS Priority: Capacitat de 2 i 4 usuaris totals vs R_u	36
3.18	Algoritme DS Priority: Capacitat de 6 i 10 usuaris totals vs R_u	37
3.19	Algoritme DS Priority: % Usuaris sensibles al retard DS que assoleixen R_u per 2 i 4 usuaris vs R_u	38
3.20	Algoritme DS Priority: % Usuaris sensibles al retard DS que assoleixen R_u per 6 i 10 usuaris vs R_u	39

ACRÒNIMS

ADSL Asymmetric Digital Subscriber Line

IP Internet Protocol

HSPA High Speed Packet Access

3GPP 3rd Generation Partnership Project

LTE Long Term Evolution

E-UTRAN Evolved Universal Terrestrial Access Network

EPS Evolved Packet System

FTP File Transfer Protocol

GSM Global System for Mobile communications

GPRS General Packet Radio Service

SINR Signal-to-interference-plus-noise ratio

TDD Time Division Duplexing

FDD Frequency Division Duplexing

SC-FDMA Single Carrier Frequency Division Multiple Access

OFDMA Orthogonal Frequency Division Multiple Access

UMTS Universal Mobile Telecommunications System

MAC Medium Access Control

WCDMA Wideband Code Division Multiple Access

eNB evolved NodeB

HeNB Home evolved NodeB

TTI Transmission Time Interval

TB Transport Block

HARQ Hybrid Automatic Repeat Request

PAPR Peak-to-Average Power Ratio

QoS Quality of Service

VoIP Voice over IP

TDMA Time Division Multiple Access

TFG Treball de Fi de Grau

MBS Macro Base Station

FBS Femto Base Station

DS Delay-Sensitive

DT Delay-Tolerant

RNC Radio Network Controller

AWGN Additive white Gaussian noise

MBMS Multimedia Broadcast Multicast Service

IMS Internet Media Sub-System

SIP Session Initiation Protocol

RAN Radio Access Network

UMA Unlicensed Mobile Access

RESUM

El Treball de Fi de Grau (TFG) que es tracta a continuació contempla el problema de la cobertura *Long Term Evolution (LTE)* que ofereixen les macro cel·les a l'interior dels edificis, siguin oficines o habitatges. Per oferir una millor cobertura s'introduiran les femto cel·les.

Les femto cel·les són estacions base desplegable pels usuaris amb una zona de cobertura limitada, normalment habitatges i oficines, que connecten la xarxa troncal a través d'una connexió de banda ampla, sent un *Asymmetric Digital Subscriber Line (ADSL)* o fibra òptica. La causa darrera l'impuls de les femto cel·les són els darrers estudis realitzats, estudis que revelen que la gran majoria del tràfic de dades es genera a l'interior, on la cobertura cel·lular proporcionada per una macro cel·la sol ser més pobre. Si aquest tràfic interior s'encamina a la xarxa mòbil a través d'una *Femto Base Station (FBS)* pròxima, els usuaris experimentaran un augment de la capacitat i s'estalviaran recursos a la *Macro Base Station (MBS)*, fent que hi hagi un estalvi de manteniment i infraestructura per part de l'operador mòbil. A més, les femto cel·les operen en una banda de freqüència amb llicència regulada.

La finalitat d'aquest Treball de Fi de Grau (TFG) és estudiar l'assignació de recursos, subcanals, en un sistema amb múltiples femto cel·les repartides dins una macro cel·la. Hi haurà dos tipus d'usuaris: usuaris sensibles al retard i usuaris tolerants al retard (amb requisits de *Quality of Service (QoS)* i sense requisits). El desenvolupament es troba basat en l'estudi de H. Zhang, i el procés és calcular la interferència que sofriran els usuaris femto a causa de les *Femto Base Station (FBS)* restants i la *Macro Base Station (MBS)*, per després calcular la *Signal-to-interference-plus-noise ratio (SINR)* i obtenir la capacitat de cada usuari.

Així, s'obté una aproximació al rendiment que podrà assolir el sistema. Aquest estudi servirà per avançar en la gestió eficient de recursos ràdio, millorar l'eficiència i incrementar el rendiment dels sistemes ràdio.

INTRODUCCIÓ

Als darrers anys, la societat ha anat evolucionant en les seves necessitats. L'ús d'aplicacions i serveis de jocs en línia, televisió mòbil o web 2.0 han anat augmentant de manera significativa. Aquest augment del flux de dades mòbils varen ser algunes de les motivacions per les quals el *3rd Generation Partnership Project (3GPP)* desenvolupés el projecte **LTE**.

Abans de l'any 2010, les xarxes *Universal Mobile Telecommunications System (UMTS)* eren utilitzades pel 85% dels abonats mòbils. És per això que el **3GPP** va voler desenvolupar el sistema **LTE** partint de **UMTS**. Així, és dissenyà un sistema capaç de millorar significativament el servei a l'usuari, permetent una total mobilitat, utilitzant el protocol *Internet Protocol (IP)* per realitzar qualsevol tipus de tràfic de dades garantint la **QoS** i recolzant-se en *Voice over IP (VoIP)* per donar servei de tràfic de veu, fet que permet una millor integració amb altres serveis multimèdia. Per tant, amb **LTE** s'aconsegueix proporcionar diferents tipus de serveis a l'usuari, incloent-hi la navegació web, File Transfer Protocol (**FTP**), vídeo streaming, **VoIP**, jocs en línia, vídeo en temps real...

La major part d'aquest tràfic de dades es genera a l'interior de les cases i/o edificis. A vegades la cobertura **LTE** rebuda a l'interior dels edificis és bastant pobra, ja que es veu atenuada per les parets dels edificis, altres obstacles i/o la distància amb les estacions base macro (*evolved NodeB (eNB)*). Es varen pensar moltes solucions distintes per resoldre aquest problema, però algunes d'elles eren molt costoses de dur a terme. Per això, una de les solucions proposades va ser la instal·lació de femto cel·les (**HeNB**) a l'interior de les cases i edificis. Es tracta d'una solució barata i fàcil tant per a l'usuari final com per al proveïdor de servei. Així, l'usuari veurà com augmenta la capacitat i el rendiment del servei dins l'edifici o la casa i, per altra banda, els proveïdors aconseguiran estalviar recursos de l'estació base macro cel·lular, així com reduir els costos de manteniment i d'instal·lació.

Amb la instal·lació de les estacions base femto (**HeNB**) a l'interior dels edificis, tot el

tràfic produït s'encamina a la xarxa mòbil a través d'aquestes estacions. Aquesta estació base femto (**HeNB**) es connecta a través d'una connexió de banda ampla cablejada (fibra òptica, **ADSL...**) a la xarxa del proveïdor de servei. El telèfon mòbil de l'usuari es connecta a l'estació base femto, on es converteixen les cridades de veu en paquets de veu sobre **IP (VoIP)** i es transmeten a través d'aquesta connexió de banda ampla.

En aquest **TFG** es tractarà aquest problema de la cobertura cel·lular dins edificis i entorns on el senyal de l'estació central (**eNB**) és escassa o nul·la. Per això s'introduiran les femto cel·les (**HeNB**), per garantir cobertura a un nombre limitat d'usuaris dins un edifici o entorn, on la cobertura de l'estació base central, **eNB**, és escassa o inexistent. Una vegada introduïdes les femto cel·lules, **HeNB**, s'haurà de tenir en compte les possibles interferències generades entre la **eNB** i les **HeNB**. A partir d'aquí es realitzarà una anàlisi de la capacitat assolible i s'estudiaran distintes estratègies d'assignació dels recursos ràdio en aquest tipus d'entorns cel·lulars heterogenis.

A continuació d'aquesta petita introducció, on s'ha definit el problema i la solució que es proposa en aquest **TFG**, s'explicarà d'una forma més extensa i amb més profunditat el sistema **LTE** i les femto cel·les.

En el capítol 2 explicarà el desenvolupament del problema i la solució, així com el model del sistema i cada un dels planificadors i algorismes utilitzats per a l'assignació dels recursos ràdio en aquest estudi. En el següent capítol (capítol 3) es mostraran els resultats que s'han obtingut dels diferents estudis realitzats i es farà una anàlisi de cada un d'ells. Per acabar aquest **TFG**, en el darrer capítol (capítol 4) serà on es donaran i s'argumentaran les principals conclusions que s'han pogut extreure dels estudis realitzats del problema i la seva solució estudiats en aquest **TFG**.

1.1 LTE

1.1.1 Introducció

LTE és un estàndard que sorgeix de la necessitat d'una velocitat més elevada a causa de l'augment en la demanda de tràfic i amplada de banda des de terminals mòbils. Cada vegada hi ha més descàrregues a través dels terminals mòbils, més serveis de contingut en línia, un major ús de vídeo transmès en directe i una major demanda de contingut multimèdia en general. Per poder satisfer totes aquestes demandes, va sorgir un nou estàndard, **LTE**, ja que l'anterior, **UMTS**, havia quedat obsolet i incapaç de cobrir la cada vegada més elevada demanda de contingut.

LTE defineix les comunicacions sense fils d'alta velocitat per telèfons mòbils i terminals de dades. Es basa en les tecnologies utilitzades per *Global System for Mobile communications (GSM)* i per *UMTS/High Speed Packet Access (HSPA)* [2]. Amb **LTE** s'incrementen la capacitat de l'enllaç i la velocitat, utilitzant una interfície ràdio diferent que **GSM** i **UMTS** i una millor xarxa central.

L'estàndard va ser desenvolupat per **3GPP** i va ser introduït a la *Release8*. **LTE**, o *Evolved Universal Terrestrial Access Network (E-UTRAN)* (la interfície aèria de **LTE**) és la part d'accés al *Evolved Packet System (EPS)*. Per accedir a la nova xarxa és indispensable una alta eficiència espectral, altes velocitats de dades, latència mínima, flexibilitat en freqüència i en l'amplada de banda.

1.1.2 Evolució fins arribar a **LTE**

Tot va començar amb el desenvolupament de **GSM**. **GSM** va néixer de la necessitat de proporcionar serveis en temps real en els terminals mòbils. A la figura 1.1, **GSM** assolía unes taxes molt baixes, no arribaven al Mbps. Això es deu al tipus de commutació que utilitza **GSM**, tal com mostra la figura 1.2 [2] en color blau.

GSM funcionava utilitzant una connexió mòdem amb commutació de circuits. Aquest fet no permetia a **GSM** assolir grans taxes de descàrrega ni pujada de dades.

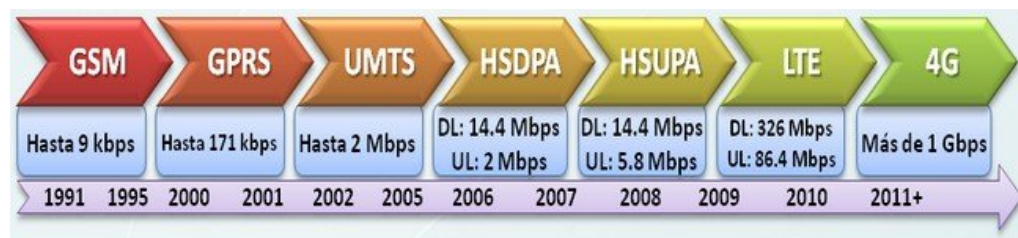


Figura 1.1: Evolució fins a arribar a **LTE**: Velocitats aconseguides [1]

El primer pas per aconseguir utilitzar la commutació de paquets, en verd a la figura 1.2, va ser l'evolució de **GSM** cap a *General Packet Radio Service (GPRS)*. **GPRS** utilitza la mateixa interfície aèria i mètode d'accés que **GSM**. Tal com es pot apreciar a la figura 1.2, tant **GPRS** com **GSM** utilitzen *Time Division Multiple Access (TDMA)* per accedir al medi de transmissió. La figura 1.1 mostra com **GPRS** aconseguia millors taxes que **GSM**, 170 kbps aproximadament. Però això encara no era suficient. Per intentar millorar **GPRS** es va desenvolupar **UMTS**.

UMTS utilitza un mètode d'accés al medi de transmissió diferent que **GSM** i **GPRS**. Utilitza un mètode desenvolupat només per **UMTS**, *Wideband Code Division Multiple Access (WCDMA)*. **UMTS** emula un accés mitjançant commutació de circuits per oferir serveis en temps real, mentre que utilitza commutació de paquets per oferir serveis de dades. Com es pot apreciar a la figura 1.2, l'usuari **UMTS** accedeix utilitzant **WCDMA** i fa servir commutació de paquets o circuits, segons les necessitats explicades abans. A la figura 1.1 es pot veure com **UMTS** oferia taxes de fins a 2 Mbps.

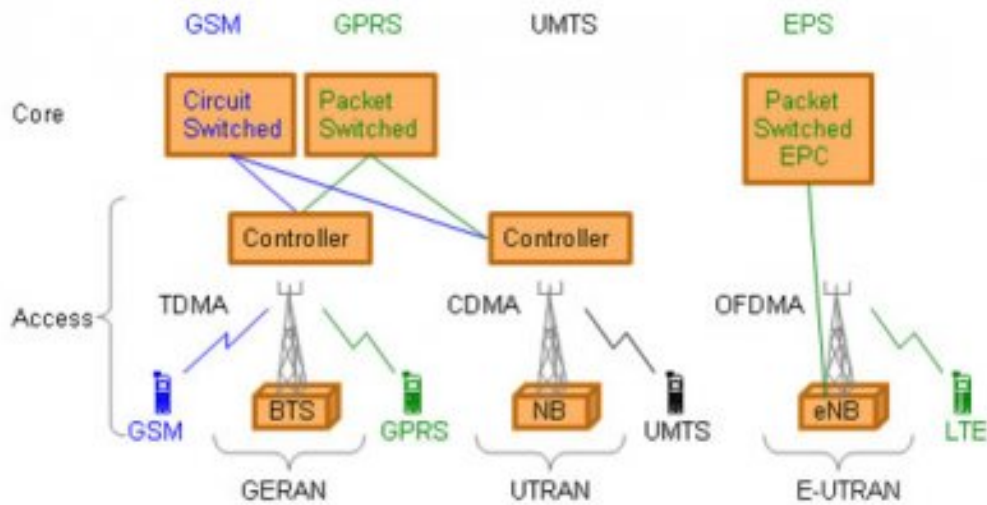


Figura 1.2: Evolució fins a arribar a **LTE**: Comparativa dels nodes base [2]

Com ja s'ha explicat prèviament, la nova xarxa creada per utilitzar **LTE** rep el nom de **EPS**. Per accedir a aquesta xarxa s'han de complir els requisits abans mencionats (alta eficiència espectral, altes velocitats de dades, latència mínima, flexibilitat en freqüència i en l'amplada de banda). **EPS** és una xarxa purament basada en **IP**. Tant els serveis en temps real com els serveis de dades són proporcionats pel protocol **IP**. El terminal mòbil rep una adreça **IP** quan aquest s'encén i la deixa lliure quan s'apaga.

Com es pot observar en la figura 1.2 [2], **LTE** utilitza **OFDMA** com a tècnica d'accés múltiple. Combinant l'ús de **OFDMA**, altes modulacions (fins de 64QAM), grans quantitats d'amplada de banda (fins de 20 MHz) i multiplexació al *Downlink* s'aconsegueixen altes taxes. Tal com mostra la figura 1.1, **LTE** pot arribar a assolir unes taxes teòriques de 300 Mbps en l'enllaç de baixada i d'uns 80 Mbps en la pujada.

1.1.3 Característiques de **LTE**

La xarxa d'accés de **LTE** és una xarxa formada per estacions base, **eNB**, amb una estructura plana. És a dir, no hi ha cap tipus de controlador, és una xarxa formada per nodes **eNB** (figura 1.3). Les estacions base, **eNB**, estan connectades entre elles utilitzant la interfície X2. Totes elles es connecten amb la xarxa central mitjançant la interfície S1. La raó de distribuir la intel·ligència entre els nodes **eNB** és la de reduir el temps del procés de *handover* i incrementar la velocitat del procés de connexió d'un usuari a la xarxa. Des del punt de vista de l'usuari, el temps de connexió per establir una sessió de transferència de dades en temps real pot ser crucial. Amb el temps necessari per realitzar el procés de *handover* passa el mateix. Si el procés triga massa temps, l'usuari pot arribar a tallar la trucada. Per evitar això es va decidir dotar els nodes **eNB** amb intel·ligència.

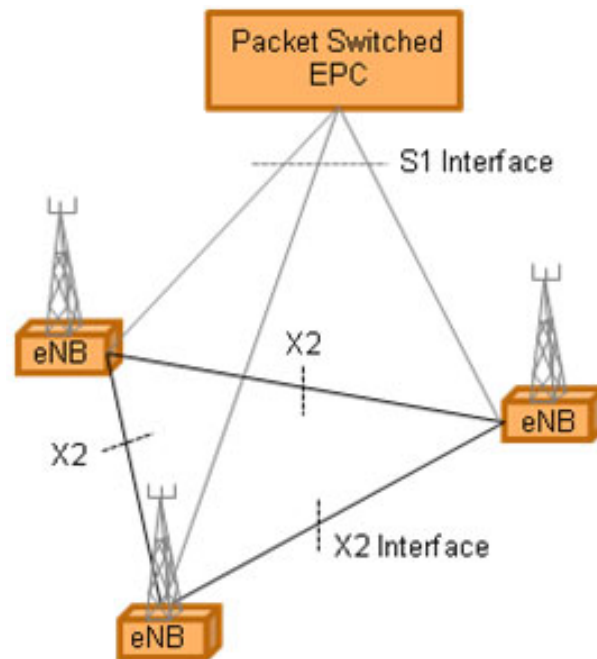


Figura 1.3: Estructura d'una xarxa femto cel·lular: Interfícies X2 i S1 [2]

Un altre avantatge de distribuir la xarxa és que la capa de protocol *Medium Access Control (MAC)*, encarregada de la planificació, només es troba present a l'usuari i al node **eNB**. D'aquesta manera la comunicació entre usuari i **eNB** és més ràpida. El planificador és un component clau per fer un ús eficient dels recursos ràdio. El *Transmission Time Interval (TTI)* està configurat en 1 ms.[2]

A cada **TTI** el planificador de cada **eNB** ha de:

- Comprovar l'estat del medi físic per cada usuari. Els usuaris informen el planificador de la qualitat ràdio que perceben. El planificador decideix quina modulació i codificació s'utilitza. Aquesta solució es basa en una adaptació ràpida a les variacions del canal utilitzant *Hybrid Automatic Repeat Request (HARQ)*.
- Informar els usuaris dels recursos ràdio assignats. El node **eNB** planifica els usuaris que utilitzaran l'enllaç de pujada i el de baixada. A cada **TTI** les dades d'un usuari seran transportades en un *Transport Block (TB)*. Utilitzant multiplexació es poden generar un màxim de dos **TBs** per **TTI** per l'enllaç de baixada.

LTE utilitza **OFDMA** per l'enllaç de baixada i suporta sistemes de duplexació en temps, *Time Division Duplexing (TDD)*, i en freqüència, *Frequency Division Duplexing (FDD)*. També suporta comunicacions *half-dúplex* amb **FDD**.

OFDMA divideix una portadora en diferents subportadores ortogonals de poca amplitud de banda. **OFDMA** aconsegueix alts Peak-to-Average Power Ratio (**PAPR**) a costa d'utilitzar grans amplificadors de potència a la part de l'emissor. Per evitar això als usuaris, l'enllaç de pujada utilitza **SC-FDMA**. **SC-FDMA** genera un senyal amb caracte-

rístiques de portadora simple amb un *PAPR* baix.

La figura 1.4, [2], representa la forma de les portadores de pujada (*SC-FDMA*) i de baixada (*OFDMA*).

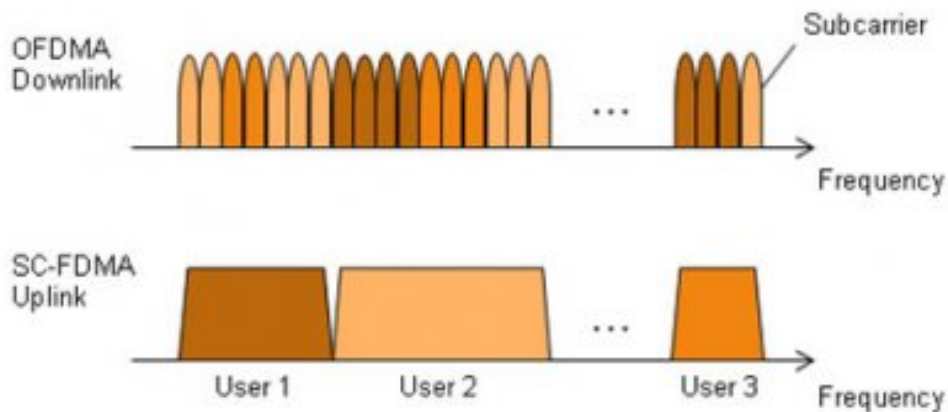


Figura 1.4: Reresentació de les portadores *OFDMA* i *SC-FDMA* [2]

Pensat per donar-li un ús global, *LTE* funciona en múltiples bandes freqüencials. Pot donar servei dins el rang freqüencial que va des dels 700 MHz fins als 2,7 GHz. Això permet augmentar la flexibilitat de l'amplada de banda disponible, podent utilitzar portadores d'1,4 MHz, 3 MHz, 5 MHz, 10 MHz, 15 MHz i 20 MHz.

A la *R9*, tal com mostra la figura 1.5, es va afegir *MBMS* i, figura 1.6, els nodes femto, *HeNB*.

MBMS dona informació *broadcast* a tots els usuaris, anuncis, o a grups d'usuaris tancats subscriptors d'un servei, TV en directe. Els nodes *HeNB* s'incorporen per donar cobertura a l'interior de llars i oficines. Les femto cel·les, *HeNB* seran explicades a la secció 1.2.

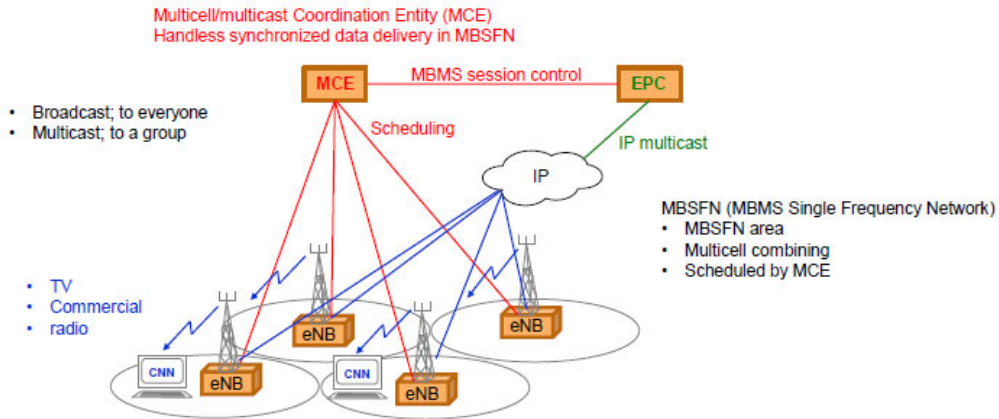
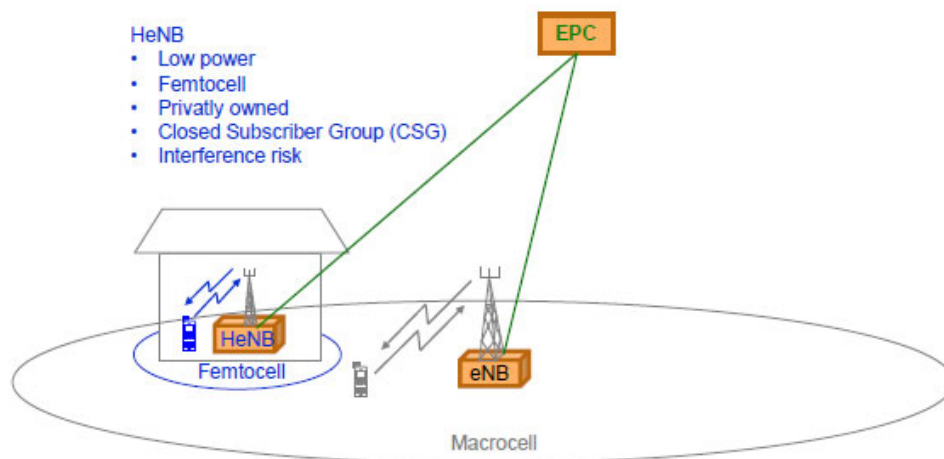
a) Multimedia Broadcast Multicast Service (MBMS)Figura 1.5: *Multimedia Broadcast Multicast Service (MBMS)* [2]b) Home eNB (HeNB)

Figura 1.6: Representació de la femto cel·la, HeNB [2]

LTE coexisteix amb els anteriors estàndards (GSM i UMTS). Això fa possible donar servei als diferents usuaris utilitzant LTE, i en cas que els usuaris accedeixin una àrea sense cobertura, podrien utilitzar UMTS o GSM, depenent de la cobertura oferida per cadascun.

1.2 Femto cel·les

1.2.1 Introducció

Les femto cel·les, també anomenades *Home evolved NodeB (HeNB)*, són petites estacions base de poca potència dissenyades per utilitzar-se a les llars i oficines. Estan connectades a la xarxa del proveïdor de servei a través d'una connexió de banda ampla cablejada, típicament una connexió **ADSL** o fibra, tal com es pot veure a la fig 1.7.

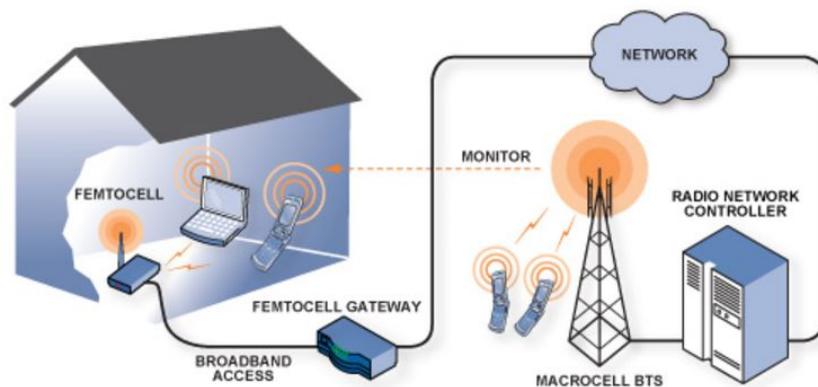


Figura 1.7: Representació connexió femto cel·la amb macro cel·la [3]

La funció bàsica de les femto cel·les és proporcionar dades i veu a usuaris a l'interior de llars i oficines, on el servei de la macro cel·la es pot veure afectat i perdre **QoS**.

Des del punt de vista de l'usuari, les femto cel·les ofereixen una millora del servei de veu i dades amb un cost mínim, ja que només s'ha d'utilitzar la infraestructura d'accés de banda ampla de l'usuari i una estació femto cel·lular.

Des del punt de vista del proveïdor de servei, el client rebrà un bon servei utilitzant el seu telèfon connectat a la **HeNB**, que li proporcionarà veu sobre IP (**VoIP**) i servei de dades.

Tant la **VoIP** com les dades seran encaminades cap a la xarxa mòbil a través de la connexió de banda ampla de l'estació femto **HeNB**, com es mostra a la fig 1.7. S'aconsegueix així que la càrrega de la xarxa macro sigui més reduïda a causa que molts de clients utilitzaran les femto cel·les, **HeNB**, deixant més recursos lliures a l'estació macro cel·lular, **eNB**.

Per tant, la instal·lació de femto cel·les a l'interior dels edificis i/o cases ens proporciona els següents avantatges davant el problema de la cobertura de les macro **eNB** a interior d'edificis [4]:

- Millor cobertura i capacitat: A causa de la petita distància entre emissor i receptor, les femto cel·les poden reduir molt la potència de transmissió, augmentar la dura-

ció de les bateries i aconseguir millors relacions senyal-renou més interferències (**SINR**). Amb millor **SINR**, s'aconsegueix millor cobertura i una capacitat més elevada.

- Increment de la fiabilitat de la macro cel·la: Quan el tràfic generat a interiors l'administren les femto **HeNB** a través dels enllaços de banda ampla, la macro **eNB** pot redirigir tots els seus recursos cap als usuaris mòbils.
- Beneficis sobre el cost econòmic: Amb la diferència de cost entre plantar un node macro cel·lular i un node femto cel·lular, i afegint el baix cost de manteniment de les femto cel·les en front de les macro, com més nodes femto **HeNB** s'instal·lin, més s'estalviarà per part dels operadors.
- Reducció en el canvi d'operador per part dels clients: Gràcies a la millora de la cobertura a interiors que proporcionen les femto cel·les, els usuaris veuen incrementat el seu nivell de satisfacció amb el servei proporcionat pel seu operador.

1.2.2 Aspectes tècnics

La capacitat potencial de les femto cel·les es pot determinar amb la llei de Shannon, la qual explica la capacitat dels enllaços sense fils, en bits per segon, en una amplada de banda pel càlcul de la **SINR**. La **SINR** és una funció calculada mitjançant la recepció de potència desitjada i la interferència rebuda.

Les femto cel·les tenen una potència de transmissió reduïda mentre que mantenen una bona cobertura a l'interior dels edificis. Les pèrdues per penetració aïllen a les femto cel·les de les transmissions d'altres femto cel·les i de les macro cel·les de manera parcial.

Una qualitat de les femto cel·les és que pot donar servei d'un a quatre usuaris de forma eficient, assignant bona part dels recursos a cada una dels usuaris. Mentre que una macro cel·la té un gran radi de cobertura i molts usuaris dins ella. Això fa que sigui més complicat garantir una bona qualitat de servei. Les femto cel·les, a causa del que acabem d'explicar, poden assegurar la **QoS** dels seus usuaris.

Estandardització i desplegament

A causa del repte econòmic que suposa el desplegament de les femto cel·les, el primer que s'hauria de fer per mantenir el baix cost, és un estàndard a partir dels requisits dels clients. Per aquest motiu, el 2007 es va crear l'organització coneguda com a Femto-Forum. El Femto-Forum està format per diferents venedors i operadors de femto cel·les que es dediquen a crear estàndards per la interoperabilitat del producte.

1.2.3 Infraestructura de la xarxa

En una xarxa femto cel·lular l'operador ha de ser capaç de proveir una interfície segura i escalable sobre **IP** a un cost raonable.

Els controladors de xarxes ràdio (*Radio Network Controller (RNC)*) típicament estan preparats per donar suport a un gran nombre de macro cel·les.

Fent ús d'aquests controladors i, també, utilitzant uns altres conceptes i estàndards, es varen proposar les tres interfícies de xarxa següents [4]:

- Interfície Iub sobre IP: Els controladors de xarxes ràdio, (RNC), connecten les femto cel·les mitjançant interfícies estàndards Iu-CS (*circuit-switched*) i Iu-PS (*packet-switched*) ja existents a les xarxes macro cel·lulars. Els avantatges que tenen és que no s'ha de fer una gran inversió, ja que l'operador de la xarxa pot fer servir els controladors RNC ja existents. Té com a desavantatge la no escalabilitat. També, la interfície no es troba estandarditzada encara.
- Interfície *Internet Media Sub-System (IMS)/Session Initiation Protocol (SIP)*: Aquesta interfície proporciona una xarxa central entre les femto cel·les i els operadors. La interfície IMS converteix el tràfic en paquets IP i utilitza SIP per donar servei VoIP coexistent amb la xarxa macro cel·lular. És fàcilment escalable i ja compta amb estàndards. Té com a desavantatge el gran cost d'actualització d'una xarxa d'aquestes característiques i també el gran cost de mantenir dues xarxes centrals diferents: la femto cel·lular i la macro cel·lular.
- Interfícies *Unlicensed Mobile Access (UMA)* basades en una porta d'enllaç predeterminedada Radio Access Network (RAN): Les xarxes RAN tenen una porta d'enllaç predeterminedada per defecte que les connecta, mitjançant IP, amb les xarxes de l'operador, afegint-hi el tràfic de femto cel·lular. La porta d'enllaç predeterminedada es connecta amb la xarxa de l'operador utilitzant la interfície estàndard Iu-Ps/CS. Entre la femto cel·la i la sortida de la RAN, el protocol UMA utilitza els túnels segurs IP pel transport del tràfic femto cel·lular per Internet. Els serveis que ofereixen UMA requereixen dispositius duals per connectar-se al WI-FI interior i la xarxa cel·lular exterior.

De totes aquestes interfícies de xarxa, les predominants han estat les interfícies basades en subsistemes multimèdia IP (IMS), en SIP i en accés mòbil sense llicència (UMA).

1.2.4 Control d'interferències

A causa de la topologia *ad hoc* de les xarxes femto cel·lulars, a on tots els nodes HeNB es trobaran en igualtat de condicions i no seran controlats per cap node central, les tècniques per suprimir les interferències no són suficients. Les tècniques de cancel·lació d'interferències successives tampoc són eficients. La cancel·lació d'errors ràpidament degrada l'eficàcia de les tècniques per suprimir interferències.

Per això, el més aconsellable és optar per evitar els errors en lloc de suprimir-los.

Per intentar controlar les interferències, s'han intentat utilitzar les següents estratègies [4]:

- Bots en temps i freqüència: Les xarxes (GSM) utilitzen els bots en freqüència per evitar interferències. Aquest mecanisme permet, als usuaris femto cel·lulars i

als usuaris macro cel·lulars propers, evitar les col·lisions a l'hora de transmetre dades.

De forma semblant, amb **OFDMA** s'utilitza l'assignació de subcanals aleatoris per disminuir la probabilitat de col·lisions entre femto cel·les veïnes.

En els bots temporals utilitzats CDMA, cada usuari selecciona aleatòriament un espai temporal per transmetre. De forma que mentre no li toqui transmetre, estarà en silenci.

- Antenes direccionals: Serveixen per evitar les interferències dins les femto cel·les restringint les interferències ràdio dins un sector de l'antena.

Proporcionar un desplegament senzill en l'àmbit d'usuari i el cost per unitat són els reptes que s'han de superar.

- Control adaptatiu de la potència: Aquesta estratègia fa variar la potència de recepció segons la localització de l'objectiu. Una de les propostes per evitar les interferències amb el node macro, **eNB**, és disminuir la potència de transmissió dels nodes femto, **HeNB**, segons augmenta la distància entre ells i el node macro **eNB**.

DESENVOLUPAMENT

2.1 Introducció

En aquest capítol s'explicarà el desenvolupament seguit en aquest TFG, així com el model del sistema, els càlculs realitzats per obtenir la capacitat del sistema, i els planificadors/algoritmes utilitzats per assignar els canals als diferents usuaris.

2.2 Model del sistema

Tenim una xara OFDMA dual amb una MBS central i diferents femto cel·les repartides per la macro cel·la, cada una amb la seva FBS.

L'assignació de recursos en l'enllaç de pujada a les femto cel·les s'estén a la baixada també.

L'assignació de potència és equitativa entre els usuaris macro. Aquests es trobaran uniformement distribuïts per l'àrea de cobertura de la macro cel·la.

L'assignació de potència, també, és equitativa entre els usuaris femto. Però aquests usuaris es trobaran equitativament distribuïts entre les K femto cel·les.

El sistema tindrà M usuaris macro i F usuaris femto. A més, l'amplada de banda B, es dividirà entre N subcanals.

Se suposarà que les pèrdues de canal estan compostes de les pèrdues de gran escala (pèrdues de propagació degudes a la distància i pèrdues degudes al *shadowing*) i de les pèrdues de petita escala (pèrdues degudes als esvaïments *Rayleigh*), causades pel moviment i la propagació multicamí.

Les pèrdues de propagació degudes a la distància dependran de si l'usuari es troba dins el mateix edifici que l'estació base i també de la distància que hi haurà entre

l'usuari i l'estació base. Així, s'estudiaran tres casos diferents: pèrdues de propagació entre l'usuari femto i la seva **FBS**, entre l'usuari femto i les diferents **FBS** i entre l'usuari femto i la **MBS**.

Per realitzar el càlcul de les pèrdues de propagació amb la distància d'un usuari femto i la seva **FBS**, es considera que es troben dins el mateix edifici. El resultat obtingut és en dB. La fórmula utilitzada serà (2.1) [5]:

$$PL(dB) = 38.46 + 20 \log_{10} R + 0.7 d_{2D,indoor} + 18.3 n^{((n+2)/(n+1)-0.46)} \quad (2.1)$$

on R i $d_{2D,indoor}$ estan calculades en metres (m), i n és el nombre de plantes penetrades. En aquest cas, el darrer terme de l'equació es podrà menysprear, ja que l'usuari es trobarà a la mateixa planta que la **FBS**.

Per les pèrdues de propagació amb la distància entre un usuari femto i la **MBS** s'utilitzarà la següent fórmula (2.2) [5]:

$$PL(dB) = 15.3 + 37.6 \log_{10} R + L_{ow} \quad (2.2)$$

on R està calculada en metres (m) i les pèrdues per penetració (L_{ow}) són de 10dB.

Per realitzar el càlcul de les pèrdues de propagació amb la distància entre un usuari femto i la resta de **FBS**, la fórmula utilitzada serà la següent (2.3) (El resultat obtingut és en dB) [5]:

$$PL(dB) = \max(15.3 + 37.6 \log_{10} R, 38.46 + 20 \log_{10} R) + 0.7 d_{2D,indoor} + 18.3 n^{((n+2)/(n+1)-0.46)} + L_{ow,1} + L_{ow,2} \quad (2.3)$$

on R i $d_{2D,indoor}$ estan calculades en metres (m), n és el nombre de plantes penetrades i les pèrdues per penetració ($L_{ow,1} = L_{ow,2}$) són 10 dBs. En aquest cas també, el darrer terme de l'equació es podrà menysprear, ja que l'usuari es trobarà a la mateixa planta que la **FBS**.

El *Shadowing* és un tipus d'esvaïment produït pels obstacles que impedeixen la visió directa entre l'estació base i l'estació mòbil. Es tracta d'un esvaïment que depèn del medi i de l'entorn en el qual es troba. Per calcular aquests esvaïments es considera una variable aleatòria amb distribució Gaussiana, de mitjana nul·la i desviació típica σ_{shad} .

Per això, el càlcul dels esvaïments per *Shadowing* es realitzen multiplicant la desviació típica per un nombre aleatori amb una distribució normal. Així, cada un dels usuaris tindrà un valor d'esvaïment *Shadowing* diferent, ja que dependrà dels obstacles de l'entorn de cada un dels usuaris.

Els esvaïments *Rayleigh* es tracten d'un model estadístic que mostra l'efecte de l'entorn de propagació sobre un senyal ràdio. Aquests esvaïments són produïts per la propagació multicamí i pel moviment del mòbil o de l'entorn, on es produeixen múltiples fronts d'ona. L'amplitud del senyal rebut serà la suma dels fasors complexos, cada un amb magnitud i fase, que s'associaran als components multicamí. Les components

segueixen una distribució ortogonal Gaussiana i el mòdul, una distribució de *Rayleigh*.

Com es pot veure a la figura 2.1, que mostra la gràfica del sistema, s'assumeix que el guany de cada subcanal n de cada usuari u dins la femto cel·la k cap a la FBS és $g_{k,u,n}^F$, així com el guany de cada subcanal n de cada usuari u dins la femtocel·la k cap a la MBS és $g_{k,u,n}^{FM}$ i el guany de cada subcanal n de cada usuari u dins la femto cel·la k cap a les FBSs restants és $g_{k',k,u,n}^{FF}$, on $k \in \{1, 2, \dots, K\}$, $u \in \{1, 2, \dots, F\}$ i $n \in \{1, 2, \dots, N\}$. N és el nombre de subcanals, F és el nombre d'usuaris femto en una femto cel·la i K és el nombre de femto cel·les.

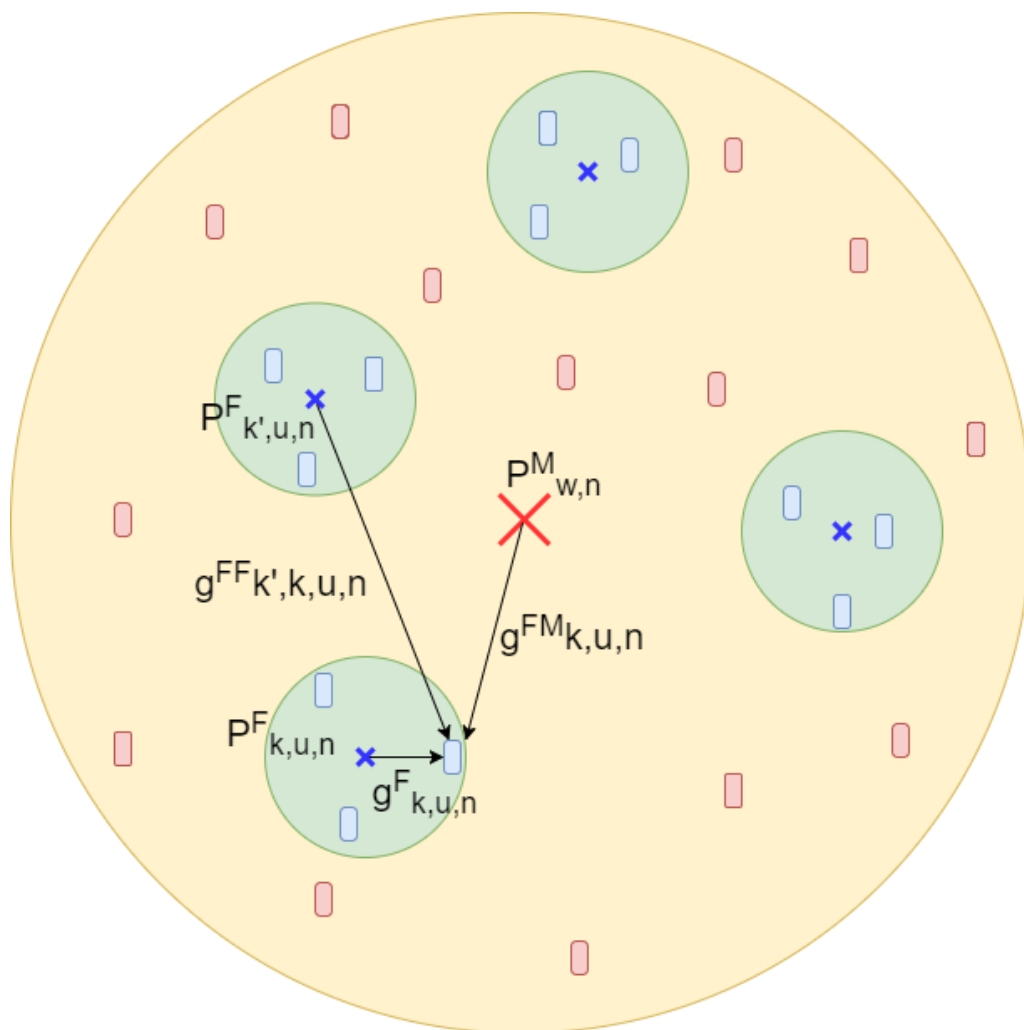


Figura 2.1: Gràfica del sistema

Es diferencien dos tipus d'usuaris de les k femto cel·les com a usuaris sensibles al retard (**DS**) i com a usuaris tolerants al retard (**DT**), on $|\text{DS}| + |\text{DT}| = F$, $\text{DS} \cap \text{DT} = \Phi$. Els usuaris **DS** tenen una taxa mínima, R_u , de requisit per assegurar una qualitat de servei (**QoS**).

Es defineix la potència de transmissió des de la **MBS** a un usuari macro w en un subcanal n , on $w \in \{1, 2, \dots, M\}$, com $p_{w,n}^M$. La potència de transmissió des de la **FBS** k a un usuari u en un subcanal n es defineix com $p_{k,u,n}^F$. Per últim, es defineix la potència de transmissió des de la resta de **FBSs** k' a un usuari u' en un subcanal n com $p_{k',u',n}^F$.

La matriu d'assignació de subcanals $\mathbf{A} = [a_{k,u,n}]_{k,u,n}$, on $a_{k,u,n} = 1$ significa que el subcanal n s'ha assignat a l'usuari femto u de la femto cel·la k , i $a_{k,u,n} = 0$ en els altres casos (canal n no assignat a l'usuari femto u de la femto cel·la k).

Així, la relació senyal a renou, **SINR**, rebuda a la **FBS** k per a l'usuari femto u sobre el subcanal n és (2.4):

$$\gamma_{k,u,n}^F = \frac{p_{k,u,n}^F g_{k,u,n}^F}{p_{w,n}^M g_{k,u,n}^{FM} + \sigma^2 + p_{k',u',n}^F g_{k',k,u,n}^{FF}} \quad (2.4)$$

on $p_{k,u,n}^M g_{k,u,n}^{FM} + p_{k',u',n}^F g_{k',k,u,n}^{FF}$ és la interferència ($I_{k,u,n}$) causada per la macro cel·la i la resta de femto cel·les, i σ^2 és la potència de renou blanc additiu gaussià (*Additive white Gaussian noise (AWGN)*) [4], [6], [7].

La fórmula de la capacitat de Shannon en un subcanal n d'un usuari femto u en una femtocel·la k és la següent (2.5):

$$C_{k,u,n}^F = \log_2(1 + \gamma_{k,u,n}^F). \quad (2.5)$$

2.3 Round robin

Round robin es tracta d'un planificador senzill, fàcil d'aplicar i posar en pràctica, que fa servir un mètode per distribuir els recursos de forma equitativa i racional entre els usuaris els diferents recursos de la xarxa, normalment començant pel primer element de la llista fins a arribar al darrer i tornant a començar.

Round robin no permet garantir la **QoS** d'un usuari a causa de l'assignació equitativa que fa dels canals.

Round robin assigna tots els canals equitativament entre tots els usuaris seguint torns. Quan tots els usuaris han tingut el torn i encara queden canals lliures, torna a començar pel primer usuari i segueix l'ordre establert, com es pot veure a la figura 2.2.

Per obtenir l'ordre per assignar els canals als diferents usuaris femto, se'ls hi ha assignat un nombre aleatori entre 0 i 100 a cada un dels usuaris de cada femto cel·la. L'usuari al qual se li ha assignat un nombre major, serà l'usuari amb el primer torn i així successivament amb la resta d'usuaris de cada femto cel·la.

En el cas que s'estudia en aquest **TFG**, Round robin s'encarrega de l'assignació de canals entre els diferents usuaris femto.

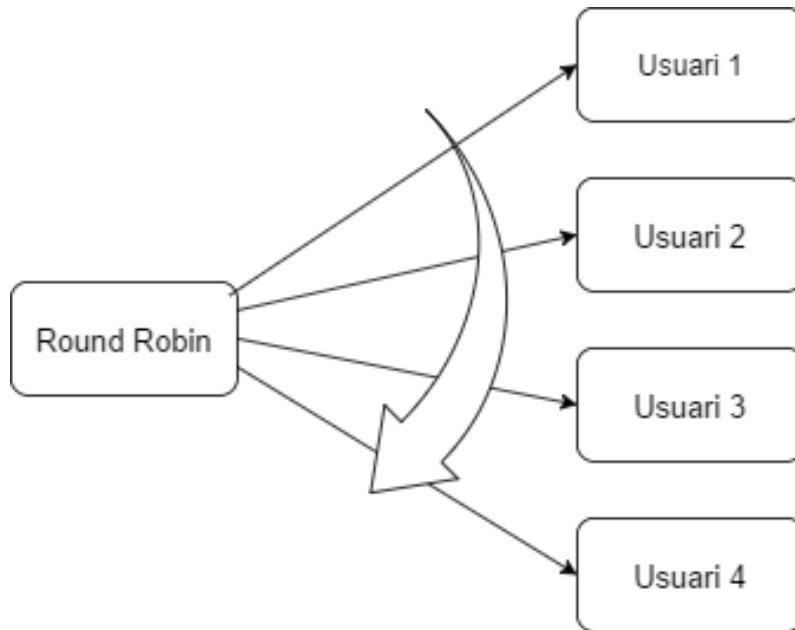


Figura 2.2: Round Robin: Diagrama

2.4 Algoritme DS Priority

L'algoritme DS Priority [8] és un algoritme d'una complexitat un poc més elevada que el Round robin, però relativament fàcil d'aplicar i dur a la pràctica. És utilitzat per fer l'assignació de subcanals, tenint en compte la taxa mínima R_u , garantint la QoS dels usuaris DS.

Això és a causa del procediment que segueix per assignar els canals, ja que primer servirà als usuaris amb requisits de QoS i després, si encara hi ha canals disponibles, servirà als usuaris sense requisits de QoS.

A continuació s'explicarà l'assignació de subcanals que fa l'algoritme DS Priority [8].

Assignació de subcanals

A cada un dels subcanals s'assigna la mateixa potència i s'inicialitza la matriu d'assignació de subcanals, $a_{k,u,n} = 0 \forall k, u, n$.

A l'hora d'assignar els subcanals a cada un dels diferents usuaris u de la femto cel·la k , on $u \in \{1, 2, \dots, F\}$ i $k \in \{1, 2, \dots, K\}$, primer es calcula el guany de cada usuari femto u per cada subcanal n , per la seva femto cel·la k , $g_{k,u,n}^F$, i la interferència, $I_{k,u,n}$.

A continuació, per a cada FBS, i mentre hi hagi usuaris DS en aquesta femto cel·la, es calcula n^* (2.6):

$$n^* = \operatorname{argmax}_{n \in N} \left(\frac{g_{k,u,n}^F}{I_{k,u,n}} \right) \quad (2.6)$$

Es mira quin usuari u obté millor n^* i, per tant, el subcanal se li assignarà a aquest usuari **DS**.

Per assignar el subcanal, a la matriu d'assignació de subcanals **A** es canvia el valor de $a_{k,u,n} = 1$. Així, la matriu d'assignació de subcanals indicarà que el canal en qüestió ha estat assignat a l'usuari **DS**.

Quan s'ha assignat el subcanal n a l'usuari u , s'ha de comprovar si aquest usuari ha estat satisfet abans d'assignar canals a un altre usuari. Per això, mentre la capacitat d'aquest usuari no sigui major o igual que la taxa mínima R_u , se li seguiran assignant subcanals.

Això es troba reflectit a la següent fórmula (2.7):

$$\sum_{n=1}^N a_{k,u,n} C_{k,u,n}^F \geq R_u \quad (2.7)$$

Una vegada la capacitat C de l'usuari u sigui igual o major que la taxa mínima R_u , aquest usuari haurà estat satisfet.

El procés d'assignació de subcanals continuarà mentre quedin usuaris **DS** sense satisfer i subcanals per ser assignats als usuaris.

Per trobar al següent usuari **DS** al qual assignar-li subcanals, el procediment serà el mateix abans descrit (es calcularà n^* utilitzant la fórmula 2.6 i se satisfarà a l'usuari amb major n^* i s'actualitzarà el valor de $a_{k,u,n} = 1$).

Una vegada tots els usuaris **DS** han estat satisfets, si encara queden subcanals lliures, es repartiran entre tots els usuaris (**DS** i **DT**).

Això es deu a que si els usuaris **DS** han assolit la taxa mínima, R_u , seran tractats com usuaris sense requisit de qualitat de servei, **DS**.

Per repartir els canals es torna a calcular quin usuari té una major n^* i se li assigna el subcanal. Aquest procés, segueix la fórmula (2.8):

$$(u^*, n^*) = \operatorname{argmax}_{u \in F, n \in N} (g_{k,u,n}^F / I_{k,u,n}) \quad (2.8)$$

S'assigna el subcanal al corresponent usuari, $a_{k,u,n^*} = 1$, i es repeteix aquest procés fins que tots els subcanals han estat repartits.

Una vegada tots els subcanals s'han assignat, ja es pot calcular la capacitat del sistema.

RESULTATS I DISCUSSIÓ

3.1 Introducció

En aquesta secció s'explicarà l'estructura cel·lular de la qual s'ha partit per realitzar tots els càlculs i proves relacionant la macro cel·la amb les diferents femto cel·les i els diferents usuaris repartits en aquest entorn.

Es mostraran les proves realitzades i es compararan les gràfiques obtingudes amb diferents algoritmes per determinar en quins casos s'obté una millor capacitat. Els diferents algoritmes que s'han utilitzat són Round Robin i l'Algoritme DS Priority.

3.2 Estructura cel·lular

En aquesta secció es descriurà l'estructura cel·lular utilitzada, representada tal com la podem veure en la figura [3.1](#)

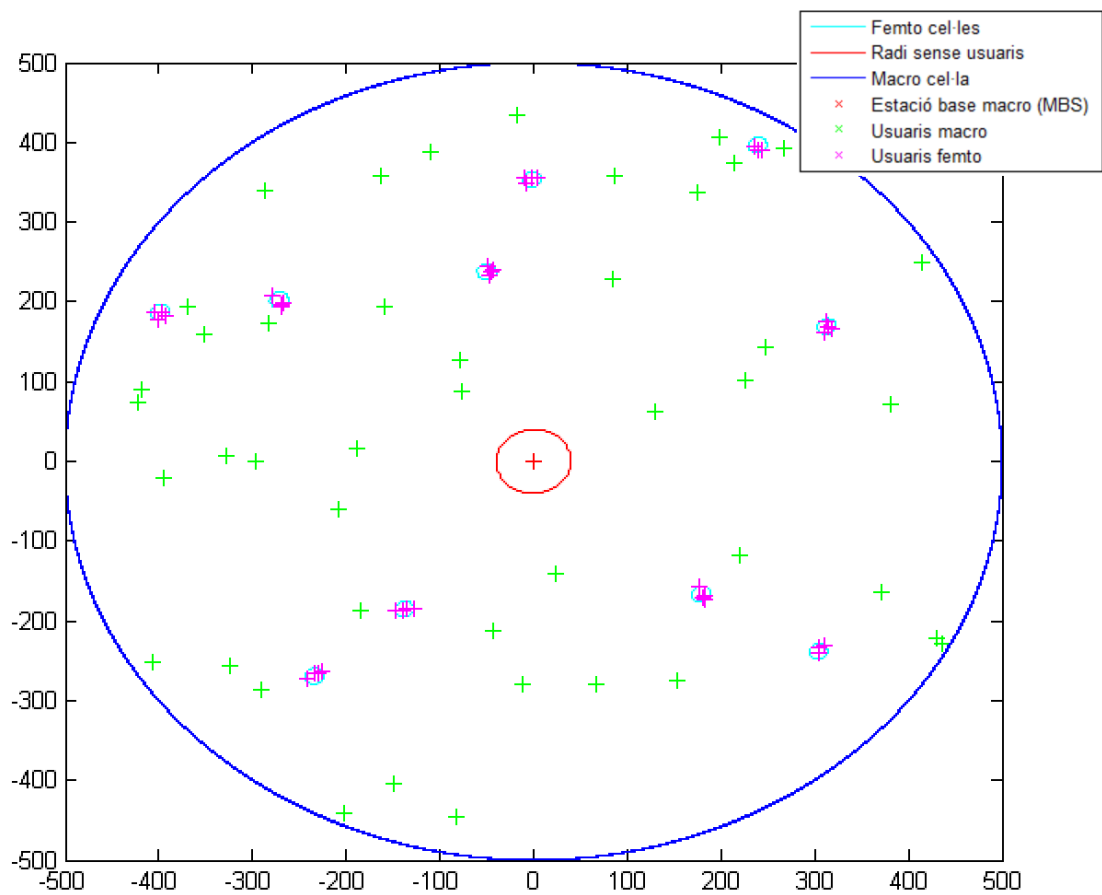


Figura 3.1: Estructura Macro cel·lular

La macro cel·la circular, amb 500 metres de radi, té situada al centre l'estació base macro (MBS). Totes les femto cel·les i usuaris macro es troben a una distància mínima de 40 metres de la MBS. Les femto cel·les són circulars i tenen un radi de cobertura de 10 metres. Al centre de cada una d'elles, trobarem les estacions base femto (FBS). Les FBS es troben a una distància major de 40 metres entre les diferents femto cel·les, i entre una FBS i un usuari macro ha d'haver-hi una distància mínima de 15 metres.

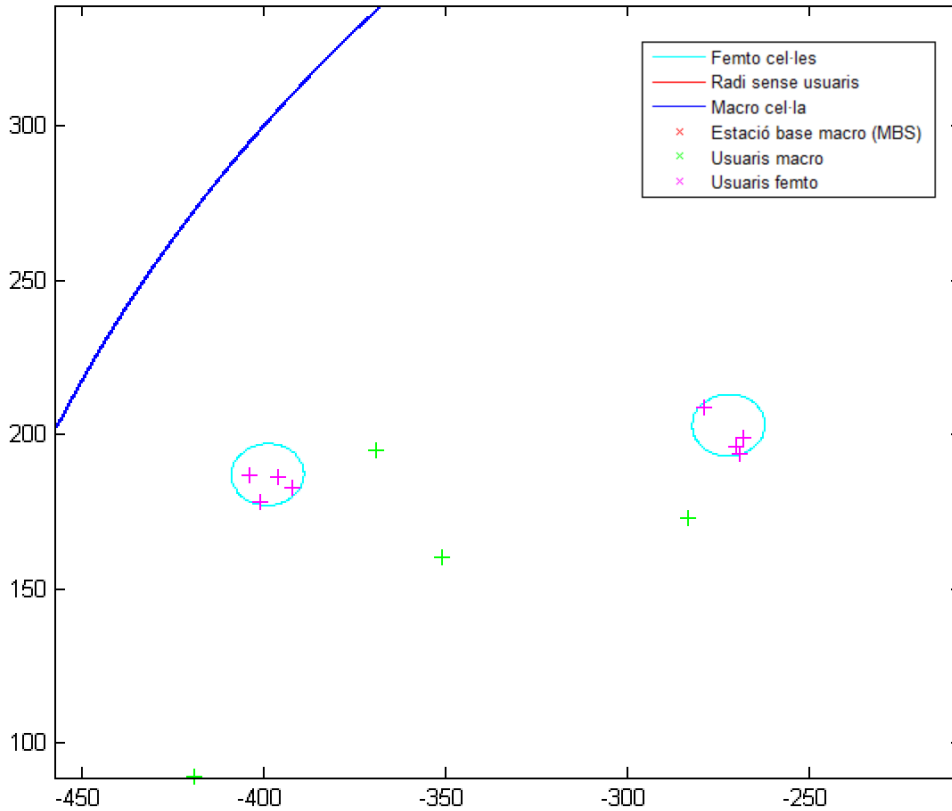


Figura 3.2: Ampliació de l'estructura Macro cel·lular

A la figura 3.2 veiem una ampliació de la figura 3.1. A l'ampliació es pot veure amb més detall l'estructura d'una femto cel·la i els seus usuaris, també els usuaris macro que hi ha més propers a la femto cel·la amplificada. En aquesta ampliació també podem veure la distància que hi haurà entre la FBS i els usuaris macro més propers.

La freqüència de les portadores és 2 GHz, l'amplada de banda del sistema, B , és 10 MHz. El sistema té 50 canals, N , i el nombre d'usuaris macro, M , és 50. Els usuaris femto es troben uniformement distribuïts dins el radi de cobertura de la FBS a la que es troben connectats. La densitat espectral de potència (AWGN) és $\sigma^2 = (B/N)N_0$, on $N_0 = -174$ dBm/Hz.

En el nostre estudi, el valor de la desviació típica del càlcul del Shadowing entre estació femto i usuari femto és $\sigma = 10$ dB.

En el cas que s'estudiarà en aquest TFG se suposarà que la potència de transmissió de les FBS serà de 20dBm i la de la MBS serà de 47Bm, repartides equitativament entre tots els canals (n).

3.3 Estudis i proves

En aquesta secció s'explicarà cada una de les gràfiques obtingudes realitzant diferents estudis. Es realitzaran estudis utilitzant l'algoritme Round Robin i l'Algoritme DS Priority i després es compararan i s'explicaran els resultats obtinguts. Hi haurà casos en els quals tots els usuaris seran sensibles al retard (**DS**), casos en els quals tots els usuaris seran tolerants al retard (**DT**) i casos en els quals es tindran usuaris **DS** i **DT**.

En tots els estudis s'ha utilitzat el mateix model del sistema. Té les següents característiques:

- El sistema compta amb N co-canal·ls repartits entre els F usuaris femto repartits entre les K femto cel·les.
- Dins la macro cel·la trobarem distribuïts M usuaris macro.

3.3.1 Proves amb tots els usuaris tolerants al retard **DT**

A continuació s'explicaran una sèrie de figures per il·lustrar diferents estudis. A tots ells, només s'han contemplat els resultats obtinguts pels usuaris **DS**. Per realitzar aquests estudis s'han fet servir el planificador Round Robin i l'Algoritme DS Priority.

Estudi de l'assignació espacial dels usuaris vs capacitat

A la figura 3.3 es representaran els resultats de l'estudi, i es mostraran a quins valors hi ha més concentració de la capacitat segons cada usuari, utilitzant el planificador Round Robin.

Per mostrar aquesta informació, s'utilitzarà un histograma a on es podrà veure representat el nombre d'usuaris en funció de quina capacitat obté cadascun d'ells. És a dir, es van agrupant els usuaris segons la seva capacitat. Els usuaris amb la mateixa capacitat s'agruparan i aniran incrementant el nombre d'usuaris per aquella capacitat.

En aquesta figura (3.3) podem veure com quasi tots els usuaris tenen una capacitat entre els 0 i els 100 bps/Hz. A causa de l'assignació de canals que fa el planificador Round Robin, s'aprofitarà molt poc la diversitat espacial i per tant, no s'aconseguiran els millors valors de capacitat possibles.

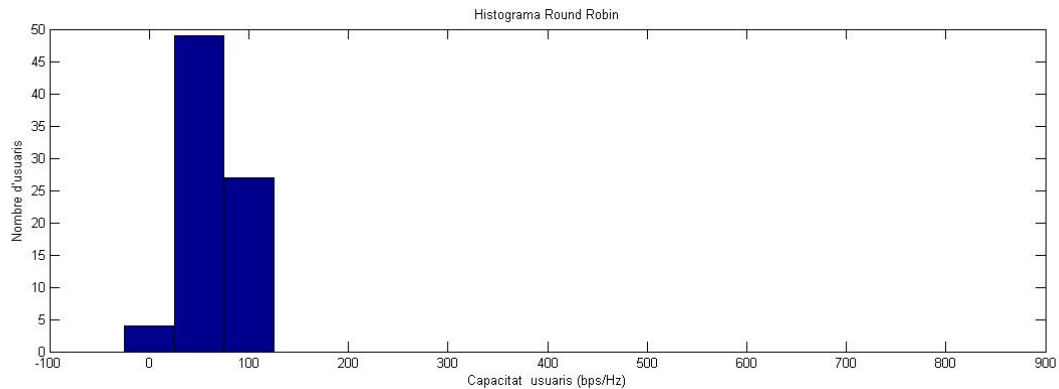


Figura 3.3: Round Robin: Histograma de 4 usuaris DT per femto cel·la

A la figura 3.4, com en el cas anterior, s'estudiarà la distribució de la capacitat segons cada usuari. També es farà servir un histograma per veure la relació entre el nombre d'usuaris i les capacitats que assoleixen cada un d'ells, però en aquest cas s'utilitzarà l'Algoritme DS Priority.

A diferència de la figura 3.3, a la figura 3.4 podem veure un millor aprofitament de la diversitat espacial. Aquest fet es pot observar en que hi ha més usuaris amb un major valor de capacitat i els seus valors de capacitat es trobaran més distribuïts, no tan concentrats en una sèrie de valors, com en el cas de la figura 3.3.

A més, no només la capacitat d'alguns usuaris serà major, també la capacitat sumada total de tots els usuaris serà major que en el cas de la figura 3.3. Això és a causa del fet que amb l'Algoritme DS Priority es fa una millor distribució dels canals, on és diferència entre canals bons i dolents a l'hora de repartir-los entre els diferents usuaris. A cada usuari se li assignaran els millors canals possibles per ell. Mentre que amb el planificador Round Robin, els canals es repartiran equitativament entre tots els usuaris sense tenir en compte quin canal és millor per a cada usuari.

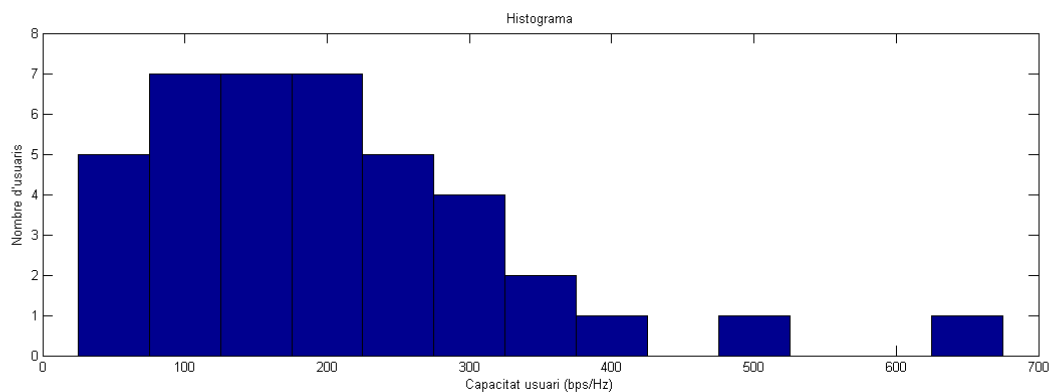


Figura 3.4: Algoritme DS Priority: Histograma de 4 usuaris DT per femto cel·la

Per tant, a la figura 3.4 s'observarà com els usuaris assoleixen valors de capacitat més alts i s'obtindrà una major capacitat per a tot el sistema que a la figura 3.3. Aquests resultats són a causa que en la figura 3.4 els usuaris faran un millor ús de la diversitat

espacial gràcies a l'assignació de canals que fa l'Algoritme DS Priority. Mentre que a la figura 3.3, la diversitat espacial no s'aprofita a causa del mètode d'assignar canals que té el planificador Round Robin.

Estudi de la capacitat vs l'increment del nombre de femto cel·les

A la figura 3.5 s'estudiarà la capacitat utilitzant el planificador Round Robin per a dos casos diferents. En el primer cas es tindran 2 usuaris, dels quals tots seran DT, i en el segon cas es tindran 4 usuaris també DT. Augmentarà el nombre de femto cel·les de 10 en 10, des de 10 fins a 50 femto cel·les, per veure com impacta en la capacitat del sistema.

La gràfica següent, figura 3.5, mostra com els canals es reparteixen equitativament, per a 2 o 4 usuaris DT. En els dos casos, els canals es repartiran equitativament entre tots els usuaris i les gràfiques augmentaran de manera molt semblant arribant quasi a la mateixa capacitat final en els dos casos.

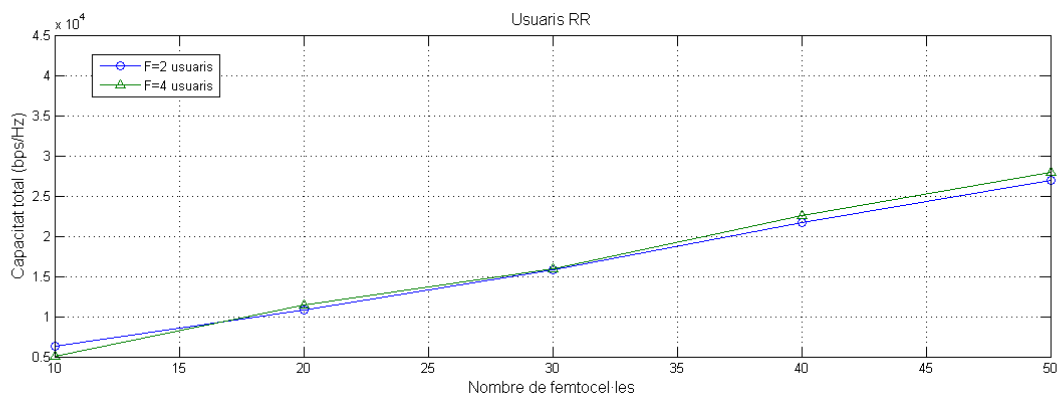


Figura 3.5: Round Robin: Capacitat per a 2 i 4 usuaris vs nombre de femto cel·les

A la figura 3.6 s'ha utilitzat l'Algoritme DS Priority i es tenen els dos mateixos casos que a la figura anterior, fig 3.5.

Pel cas amb 2 usuaris DT es veu com la capacitat va en augment a mesura que augmenten les femto cel·les. Això és degut al fet que a mesura que augmenten el nombre de femto cel·les, augmenten el nombre d'usuaris i així hi ha una millor assignació dels canals entre els usuaris. A cada usuari se li assignen els canals de forma que aquest usuari sigui el que més profit els hi tregui.

Aquest fet es fa encara més evident quan tenim 4 usuaris. Passar de 2 a 4 usuaris fa que augmenti la diversitat espacial i que hi hagi més usuaris entre els quals elegir al millor per a cada canal. D'aquesta manera, l'assignació de canals és encara més eficient. Per això, amb 4 usuaris per femto cel·la, s'aconsegueix una millor capacitat que tenint 2 usuaris.

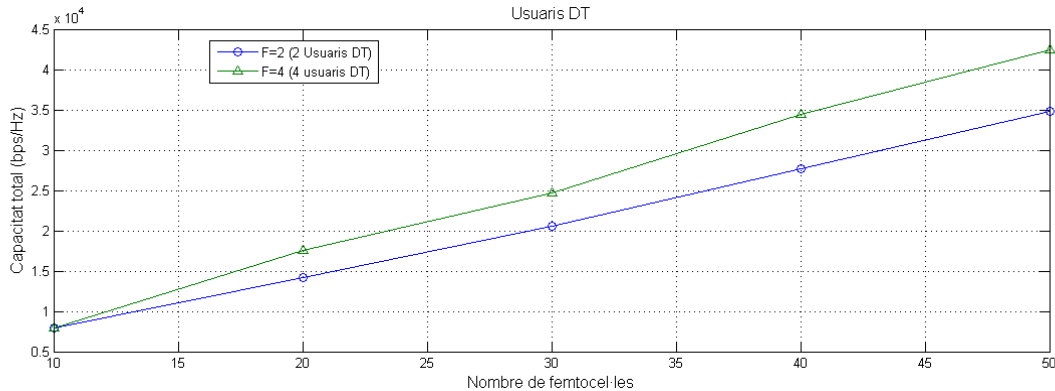


Figura 3.6: Algorisme DS Priority: Capacitat per a 2 i 4 usuaris vs nombre de femto cel·les

A més, utilitzant l'Algorisme DS Priority s'assoleixen majors capacitats que amb l'ús del planificador Round Robin a causa de l'assignació de canals que fa cada un d'ells. Com ja s'ha explicat a l'estudi de l'assignació espacial dels usuaris vs capacitat, l'Algorisme DS Priority fa una millor assignació de canals que el planificador Round Robin, fet que provoca que els usuaris aprofitin millor els canals i la diversitat espacial i, per tant, aconseguixin millors capacitats utilitzant l'Algorisme DS Priority que Round Robin.

A la figura 3.7 es pot observar com s'ha representat la capacitat per a 6 i 10 usuaris DT utilitzant el planificador Round Robin. Es representa la capacitat en funció de les femto cel·les que formen el sistema. Les femto cel·les augmentaran de 5 en 5 des de 10 fins a 50.

Es pot observar com entre les figures 3.5 i 3.7 no hi ha gaire diferència. Això és a causa de l'assignació de canals que fa el planificador Round Robin. El planificador no tindrà en compte quin usuari li traurà més profit a cada canal, simplement els assigna de manera aleatòria i equitativa de forma que tots els usuaris tinguin el mateix nombre de canals assignats.

Així, a la figura 3.7, la capacitat total no s'incrementa gaire en comparació amb la capacitat total de la figura 3.5.

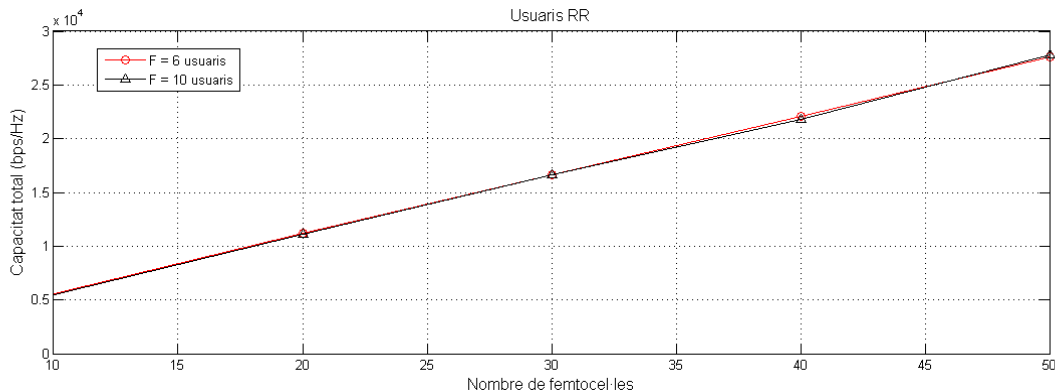


Figura 3.7: Round Robin: Capacitat per a 6 i 10 usuaris vs nombre de femto cel·les

3. RESULTATS I DISCUSSIÓ

A la figura 3.8 s'ha utilitzat l'algoritme DS Priority i s'han estudiat dos casos:

- En el primer cas tenim 6 usuaris, dels quals tots són DT.
- En el segon cas tenim 10 usuaris DT.

Entre tenir 6 o 10 usuaris l'únic canvi que es produeix és un augment de la capacitat.

La diferència més significativa la podem trobar entre les figures 3.7 i 3.8, ja que en el cas de la figura 3.8, la capacitat és major que en el cas de la figura 3.7.

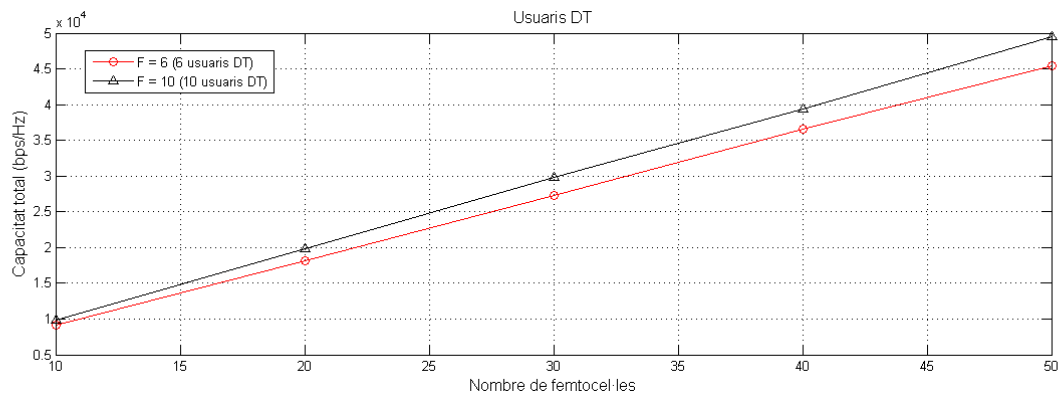


Figura 3.8: Algoritme DS Priority: Capacitat per a 6 i 10 usuaris vs nombre de femto cel·les

En canvi, a diferència de la figura 3.7, en el cas de la figura 3.8 sí que es pot observar una millora respecte de la figura 3.6 gràcies a l'augment dels usuaris de 2 i 4 a 6 i 10. Augmenta la diversitat espacial amb l'augment del nombre d'usuaris per femto cel·la i per tant, amb més usuaris s'assoleixen majors nivells de capacitat.

Per tant, es pot concloure que entre el planificador Round Robin i l'Algoritme DS Priority, és el segon el que fa una millor assignació dels canals a cada usuari aconseguint millors capacitats.

3.3.2 Proves amb tots els usuaris sensibles al retard DS

En aquesta secció es realitzarà un estudi amb tots els usuaris DS i s'utilitzarà l'Algoritme DS Priority. No s'utilitzarà el planificador Round Robin, ja que aquest planificador no pot satisfer als usuaris DS. S'estudiarà la capacitat que s'aconsegueix amb 2 i 4 usuaris que satisfan la taxa mínima R_u per valors de taxa baixos, la capacitat que aconseguiran 6 i 10 usuaris que satisfan la taxa mínima requerida R_u també per valors de taxa baixos, i el percentatge d'usuaris DS que assoleixen la taxa mínima R_u per 2 i 4, 6 i 10 usuaris.

Estudi de la capacitat enfront de l'increment de R_u

En la figura 3.9 es pot veure representat, per valors petits de la taxa mínima R_u , la capacitat que s'obtindrà en els dos casos següents:

- En el primer cas es tenen 2 usuaris DS.

- En el segon cas es tenen 4 usuaris DS.

Com s'observa a la figura 3.9, la capacitat anirà en augment en els dos casos. Encara que creixerà més amb 4 usuaris que amb 2 usuaris DS. Això és a causa del fet que per a valors de R_u baixos tots els usuaris DS satisfaran la taxa mínima R_u i per tant se'ls assignaran tots els canals necessaris i la capacitat anirà en augment. Per tant, amb 4 usuaris DS la capacitat que s'aconsegueix és més gran que la que s'obté amb només 2 usuaris DS.

Pot passar, com és el cas, que la capacitat per a un determinat valor de taxa mínima R_u sigui més gran que la necessària per satisfer R_u . Això és deu al fet que els canals assignats a cada un dels usuaris els hi han proporcionat un valor de capacitat major el necessari. Així, es pot tenir una capacitat més gran a la necessària per satisfer la taxa mínima pel fet que els canals assignats als usuaris són millors del necessari, fent que la capacitat total estigui per damunt de la taxa mínima R_u .

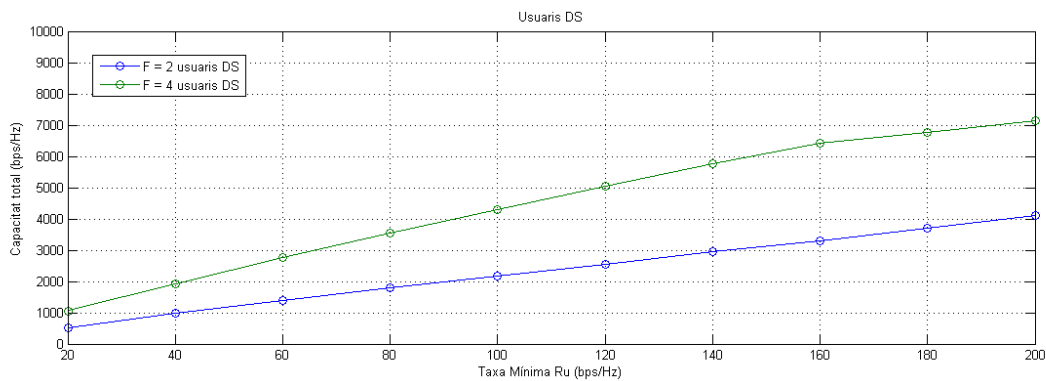


Figura 3.9: Algoritme DS Priority: Capacitat de 2 i 4 usuaris que satisfan R_u vs R_u s baixos

Per tant, com es pot veure en la figura 3.9, amb 4 usuaris DS s'obtindran majors capacitats que amb 2 usuaris DS perquè hi haurà més usuaris entre els quals assignar els canals. Fet que ajudarà a fer una assignació més òptima que amb només 2 usuaris DS, ja que amb 2 usuaris DS els canals es repartiran de manera semblant a com ho fa Round Robin. Mentre que tenint 4 usuaris DS hi ha més possibilitats d'assignar un canal a un usuari que li tregui el millor profit i per tant, una millor capacitat.

Com passava en el cas anterior, figura 3.9, en la figura 3.10 hi ha representat, per valors petits de la taxa mínima R_u , la capacitat que s'obtindrà en els dos casos següents:

- En el primer cas es tenen 6 usuaris DS.
- En el segon cas es tenen 10 usuaris DS.

Com s'observa a la figura 3.10, la capacitat anirà en augment en els dos casos, augmentant més quan es tenen 10 usuaris DS. S'observa com arribats a un cert valor de la taxa mínima R_u , tant per 6 com per 10 usuaris, la capacitat començarà a saturar-se i augmentarà més lentament. Aquest comportament es deu al fet que sent tots els

3. RESULTATS I DISCUSSIÓ

usuaris **DS**, encara que la taxa mínima R_u sigui baixa, pot no haver-hi canals suficients per assignar a tots els usuaris i fer que aquests satisfacin la taxa mínima. Per això es pot observar que la línia vermella (6 usuaris **DS**) creixerà més temps abans d'arribar a saturació que la línia negra (10 usuaris **DS**).

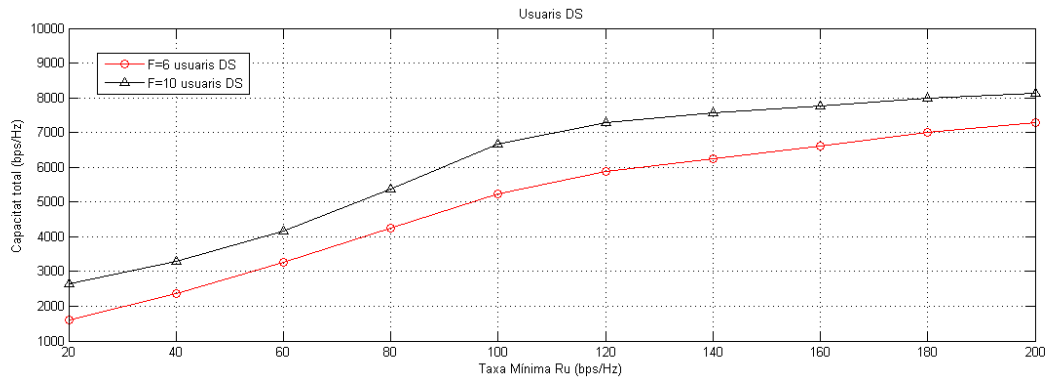


Figura 3.10: Algoritme DS Priority: Capacitat de 6 i 10 usuaris que satisfan R_u vs R_u baixos

Per tant, com passava a la figura 3.9, en aquest cas també s'obtingran millors valors de capacitat amb un major nombre d'usuaris pel motiu abans explicat. Així, amb 10 usuaris **DS** s'obté una millor capacitat que amb 6 usuaris **DS**.

A la figura següent, 3.11, s'estudiarà el percentatge d'usuaris sensibles al retard **DS** que assoleixen la taxa mínima R_u en funció de la taxa mínima R_u .

L'estudi es realitzarà amb l'Algoritme DS Priority i hi haurà dos casos:

- En el primer cas es tenen 2 usuaris sensibles al retard **DS**.
- En el segon cas es tenen 4 usuaris sensibles al retard **DS**.

Els valors de R_u s'han agafat de 20 en 20, des de 20 fins a 200.

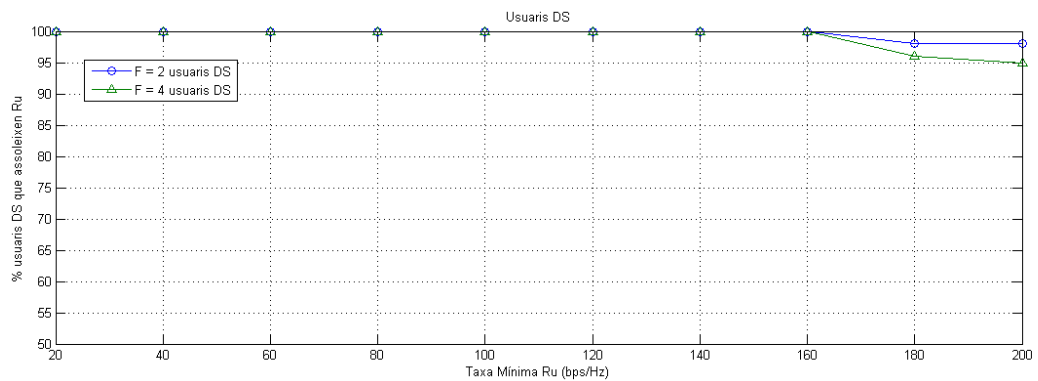


Figura 3.11: Algoritme DS Priority: % Usuaris sensibles al retard **DS** que assoleixen R_u per 2 i 4 usuaris vs R_u

La figura 3.11 mostra com per valors de taxa mínima Ru baixos, el 100% dels usuaris DS, tant si són 2 com a 4 usuaris, assoliran la taxa mínima Ru.

A causa del fet que el valor de taxa mínima Ru és relativament petit, els usuaris DS la satisfaran el 100% de les vegades, en el cas de tenir 2 usuaris DS. Això és degut al fet que tenint només dos usuaris DS per femto cel·la, fins a arribar a un valor límit de Ru, sempre hi haurà canals suficients per satisfer-los. Fent així, que el percentatge no disminueixi del 100%.

En el cas de tenir 4 usuaris DS, segons augmenti Ru, arribarà a assolir valors relativament grans a on el percentatge d'usuaris DS que l'assoleixen baixarà del 100%. Això és a causa del fet que com més usuaris es tinguin en compte, més usuaris DS hauran de ser satisfets, i es pot donar el cas en què algun d'ells no rebi els canals suficients per satisfer la taxa mínima Ru.

A la figura 3.12, com en el cas anterior (figura 3.11), s'estudiarà el percentatge d'usuaris sensibles al retard DS que assolixen la taxa mínima Ru.

S'utilitza l'Algoritme DS Priority i hi haurà dos casos:

- En el primer cas es tenen 6 usuaris sensibles al retard DS.
- En el segon cas es tenen 10 usuaris sensibles al retard DS.

Com es pot observar a la figura 3.12 en els dos casos anomenats anteriorment el comportament serà el mateix. A mesura que la taxa mínima Ru va en augment, cada vegada hi haurà menys usuaris que la satisfaran, ja que necessitaran assignar més canals per usuaris per poder satisfer-la.

D'aquesta manera, tant per 6 com per 10 usuaris, pot donar-se el cas en què hi hagi usuaris que no hagin estat satisfets o, inclús, que no tinguin assignat cap canal.

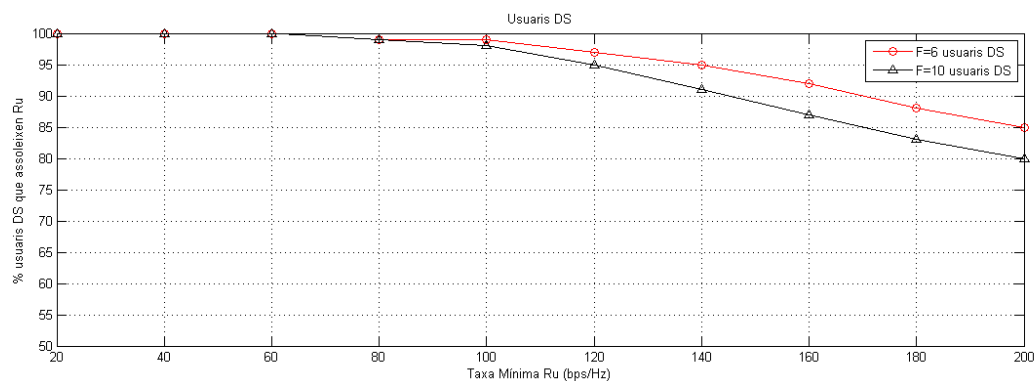


Figura 3.12: Algoritme DS Priority: % Usuaris sensibles al retard DS que assolixen Ru per 6 i 10 usuaris vs Ru

Tant amb 6 com amb 10 usuaris, la tendència és la mateixa. A mesura que augmenta la taxa mínima Ru, disminueix el percentatge d'usuaris DS que l'assoleixen.

Si es compara la figura 3.11 amb la figura 3.12, es pot observar com a la figura 3.11 el percentatge d'usuaris DS que assolixen la taxa mínima Ru és del 100%. Mentre que

a la figura 3.12, així com augmenta la taxa mínima R_u , sent encara valors petits, va disminuint el percentatge d'usuaris **DS** que l'assoleixen.

Això és degut al fet que en la figura 3.12 hi ha més usuaris **DS**, 6 i 10 en lloc de 2 i 4, i això fa que hi hagi més usuaris als quals garantir la taxa mínima. Fet, que com demostra la figura 3.12, no és possible en el 100% dels casos, com a la figura 3.11.

3.3.3 Proves amb usuaris **DS** i usuaris **DT**

En aquesta secció es realitzarà l'estudi de la capacitat en funció del nombre d'usuaris sensibles al retard **DS**, usuaris tolerants al retard **DT** i usuaris totals que assoleixen la taxa mínima R_u mentre R_u va en augment.

Tots els estudis d'aquesta secció s'han realitzat utilitzant l'Algoritme DS Priority, ja que el planificador Round Robin no permet fer-los a causa del mètode d'assignació de canals que utilitza.

Estudi del nombre d'usuaris sensibles al retard **DS** i tolerants al retard **DT** que assoleixen la taxa mínima R_u enfront de l'increment de R_u

Per estudiar com afecta l'increment de la taxa mínima R_u als diferents usuaris (sensibles al retard **DS**, tolerants al retard **DT** i als dos junts) s'han realitzat diverses gràfiques i s'aniran estudiant i comparant les unes amb les altres per veure en quins casos l'increment de la taxa mínima R_u afecta els diferents usuaris.

Primer s'estudiarà la capacitat des del punt de vista dels usuaris **DS**, després s'estudiarà des del punt de vista dels usuaris **DT** i per últim, s'estudiarà la capacitat tenint en compte a tots els usuaris, tant usuaris **DS** com usuaris **DT**.

A la figura 3.13 s'ha representat la capacitat dels usuaris sensibles al retard **DS** segons l'augment de la taxa mínima R_u , per als dos casos següents:

- En el primer cas es tenen 2 usuaris, 1 usuari sensible al retard **DS** i 1 usuari tolerant al retard **DT**.
- En el segon cas es tenen 4 usuaris, 2 usuaris sensibles al retard **DS** i 2 usuaris tolerants al retard **DT**.

A la figura 3.13 s'ha utilitzat l'Algoritme DS Priority i la taxa mínima R_u augmenta de 50 en 50 des de 50 fins a 500 bps/Hz.

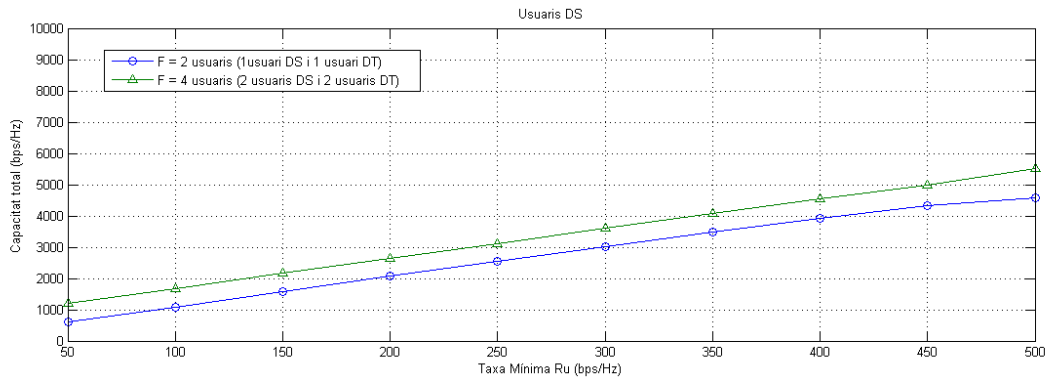


Figura 3.13: Algoritme DS Priority: Capacitat de 2 i 4 usuaris sensibles al retard **DS** vs **Ru**

Es pot observar com en els dos casos de la figura 3.13 la capacitat anirà en augment. Si es tenen dos usuaris, augmentarà menys que tenint-ne 4, a causa del fet que hi haurà més usuaris **DS** amb una major diversitat espacial i per tant, més usuaris satisfets. Això es traduirà en un augment de la capacitat.

Però també, després de satisfer als usuaris **DS** amb 4 usuaris, hi haurà menys capacitat sobrant per assignar als usuaris **DT**.

En la figura 3.14 s'observa la capacitat que assoleixen els usuaris **DS**, utilitzant l'Algoritme DS Priority, per als dos casos següents:

- En el primer cas es tenen 6 usuaris, dels quals 3 són **DS** i 3 són **DT**.
- En el segon cas es tenen 10 usuaris, dels quals 5 són **DS** i 5 són **DT**.

En els dos casos es pot veure com la tendència és la mateixa. Segons va augmentant la taxa mínima R_u , la capacitat per als usuaris **DS** va en augment. Però en un cert punt, diferent per als dos casos, la capacitat deixa de créixer i es manté estable.

Això és deu a què una vegada els usuaris **DS** són satisfets, se satisfan els usuaris **DT**.

Però, segons augmenta la taxa mínima R_u , s'arriba a un punt a on és més costós satisfer als usuaris **DS**, ja que R_u és cada vegada més elevada i pot requerir que cada usuari **DS** necessiti més canals per satisfer-la. En aquest cas, els usuaris **DT** podran ser satisfets.

A més, en el cas de tenir 10 usuaris (dels que 5 són **DS**), com que la diversitat espacial serà major que tenint-ne 6 (només 3 usuaris **DS**), la capacitat a la qual arribaran amb la taxa mínima R_u petita, serà major que en el cas de tenir 6 usuaris. Els canals es repartiran més eficientment i els usuaris els hi trauran més profit.

3. RESULTATS I DISCUSSIÓ

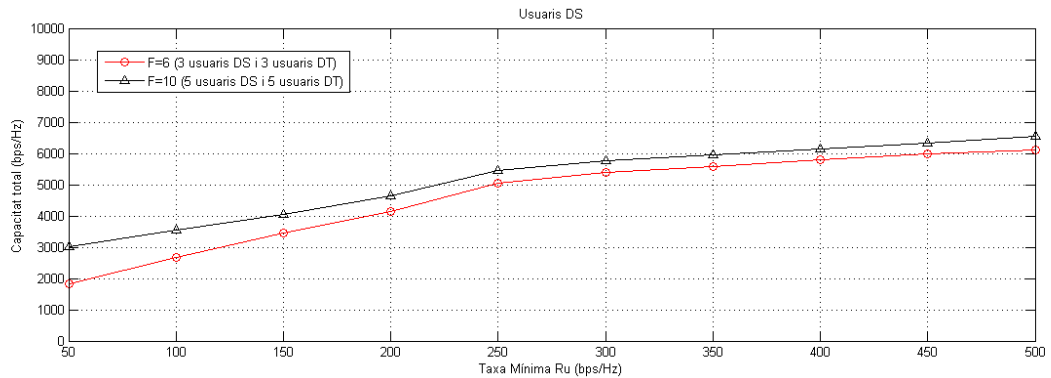


Figura 3.14: Algoritme DS Priority: Capacitat de 6 i 10 usuaris sensibles al retard DS vs Ru

Per tant, a les figures 3.13 i 3.14, a mesura que augmenta el nombre d'usuaris DS, augmenta la diversitat espacial i es fa una millor assignació de canals. Fet que provocarà que la capacitat augmenti fins que per certs valors de Ru, s'arribi a un punt al qual alguns usuaris DS puguin no ser satisfets.

A la figura 3.15 es representa la capacitat per als usuaris DT, en els dos casos següents:

- En el primer cas tenim 2 usuaris dels quals només 1 és DT.
- En el segon cas tenim 4 usuaris dels quals 2 són DT.

En els dos casos la capacitat anirà reduint-se, sent en el cas en què es tenen 4 usuaris el cas en el qual s'obtindrà un valor més petit.

Amb 4 usuaris, dels quals 2 són DT, la capacitat arriba a zero quan la taxa mínima Ru pren valors grans.

Això és degut al fet de tenir més usuaris DS. Com que hi ha més usuaris DS que en el cas de tenir 2 usuaris (dels quals només 1 serà DS), primer se satisfarà als usuaris DS i amb l'augment de la taxa mínima Ru serà més difícil garantir el servei als usuaris DS.

D'aquesta forma i com es pot apreciar a la figura 3.15, hi haurà casos, amb la taxa mínima Ru elevada, en què no es podrà servir als usuaris DT, ja que els usuaris DS seran satisfets primer i no quedaran canals per repartir entre els usuaris DT.

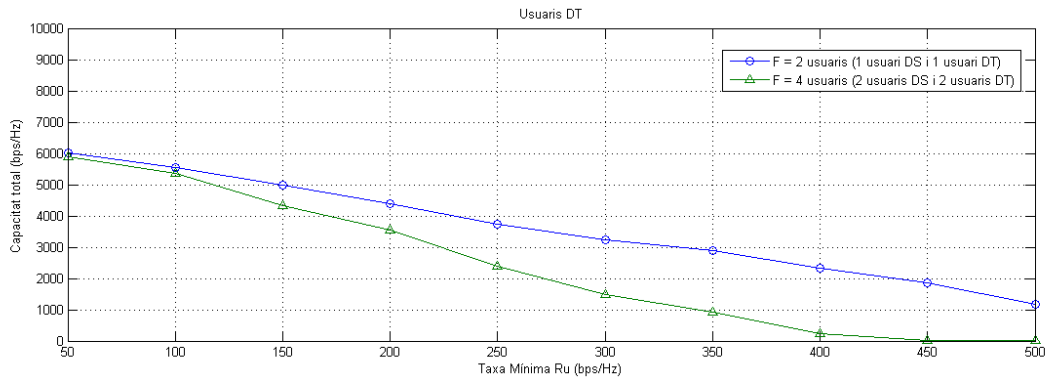


Figura 3.15: Algoritme DS Priority: Capacitat de 2 i 4 usuaris tolerants al retard **DT** vs Ru

A la figura 3.16 es representa la capacitat per als usuaris **DT**, en els dos casos següents:

- En el primer cas es tenen 6 usuaris dels quals 3 són **DT**.
- En el segon cas es tenen 10 usuaris dels quals 5 són **DT**.

A la figura 3.16, com a la figura 3.15, s'observa com la capacitat total dels usuaris tolerants al retard **DT** va disminuint així com s'incrementa la taxa mínima Ru.

En aquest cas, el decrement és més notable que a la figura 3.15. Això és deu al fet que a la figura 3.16 hi haurà més usuaris sensibles al retard **DS**, fent més costós satisfer el requeriment de retard.

A la figura 3.16 es pot observar com tant pel cas de tenir 6 usuaris, com pel cas de tenir 10 usuaris, la capacitat arriba a 0 amb Ru més petites que a la figura 3.15. A més, en el cas de la figura 3.16, els dos casos arriben a 0, mentre que a la figura 3.15, la capacitat només arriba a 0 en el cas de tenir 4 usuaris.

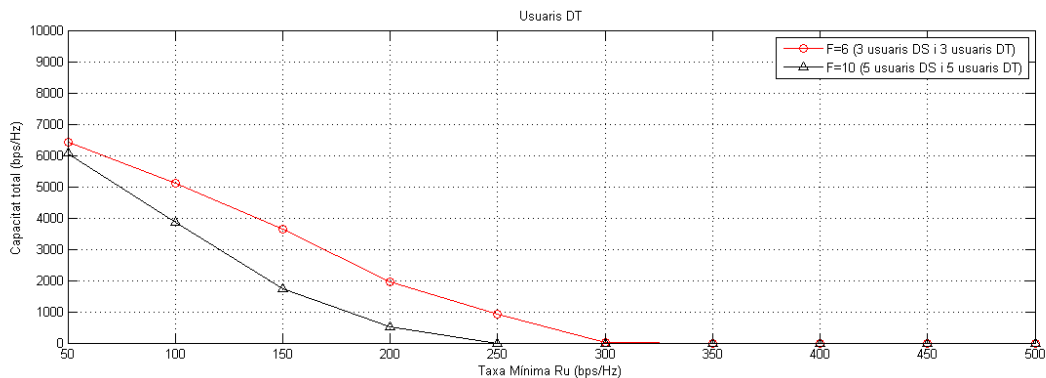


Figura 3.16: Algoritme DS Priority: Capacitat de 6 i 10 usuaris tolerants al retard **DT** vs Ru

3. RESULTATS I DISCUSSIÓ

Això es degut al fet que tenint 6 i 10 usuaris, dels quals 3 i 5 seran **DS**, quan R_u pren valors grans, és possible que no tots els usuaris **DS** puguin ser satisfets. Deixant, així, sense cap recurs als usuaris **DT**.

A la figura 3.17 es representa la capacitat per tots els usuaris. Es tenen en compte els usuaris **DT** i els **DS**, en els dos casos següents:

- En el primer cas es tenen 2 usuaris, 1 usuari **DS** i 1 usuari **DT**.
- En el segon cas es tenen 4 usuaris, 2 usuaris **DS** i 2 usuaris **DT**.

A la figura 3.17 es pot observar com la capacitat manté una tendència lineal entorn dels 6000 bps/Hz.

Aquesta tendència s'obté de la suma de les figures 3.13 i 3.15. Les capacitats resultants són complementàries i es contraresten. Això fa que la recta resultant, a la figura 3.17, segueixi una tendència lineal entorn de valors compresos entre 6000 i 8000 bps/Hz.

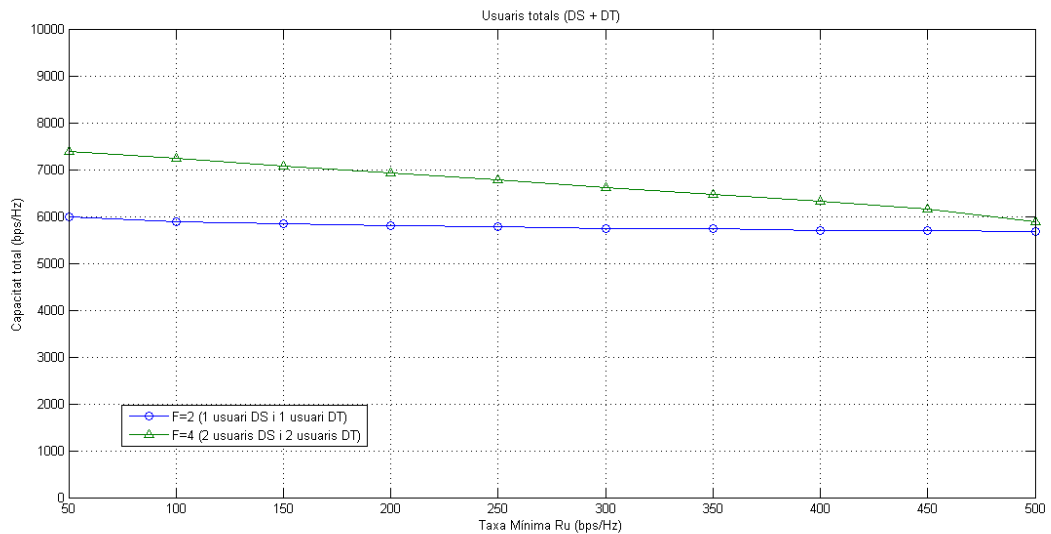


Figura 3.17: Algoritme DS Priority: Capacitat de 2 i 4 usuaris totals vs R_u

A la figura 3.18 es representa la capacitat per als usuaris totals. Es tenen en compte els usuaris **DT** i els **DS**, en els dos casos següents:

- En el primer cas es tenen 6 usuaris, 3 usuaris **DS** i 3 usuaris **DT**.
- En el segon cas es tenen 10 usuaris, 5 usuaris **DS** i 5 usuaris **DT**.

Com s'ha explicat a la figura anterior, 3.17, a la figura 3.18 es donarà el mateix cas.

A causa del fet que la capacitat de les figures 3.14 i 3.16 són complementàries, la suma de capacitats que es representa a la figura 3.18, les contraresta resultant en una gràfica de tendència lineal entre els valors de capacitat situats entre els 8000 i els 9500

bps/Hz.

En funció de l'augment de la taxa mínima R_u , la capacitat total va disminuint. Això és deu al fet que segons augmenta R_u , satisfer als usuaris **DS** és més costós, i això pot provocar que no es pugui satisfer a alguns dels usuaris **DS**.

Per tant, com hi pot haver usuaris **DS** que no han estat satisfets, la diversitat espacial disminueix, i amb ella la capacitat total.

Aquest fet també provoca que, si la taxa mínima R_u és molt alta, els usuaris **DS** puguin necessitar quasi tots els canals per satisfer aquesta taxa mínima i, per tant, no quedin canals disponibles per als usuaris **DT**.

A diferència de la figura 3.17, a la figura 3.18 els resultats de capacitat són majors, ja que hi haurà més usuaris (5 i 10 usuaris). Així, amb més usuaris s'aconsegueixen millors valors de capacitat a causa de l'increment de la diversitat espacial fent que l'assignació de canals sigui millor que en el cas de la figura 3.17.

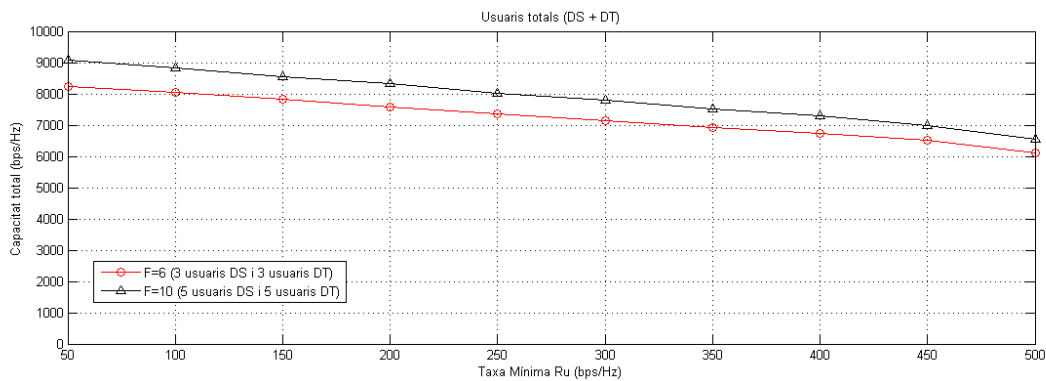


Figura 3.18: Algoritme DS Priority: Capacitat de 6 i 10 usuaris totals vs R_u

A la següent figura, figura 3.19, es representarà el percentatge d'usuaris que assolixen la taxa mínima R_u .

Hi haurà dos casos:

- En el primer cas es tenen 2 usuaris, 1 usuari sensible al retard **DS** i 1 usuari tolerant al retard **DT**.
- En el segon cas es tenen 4 usuaris, 2 usuaris sensibles al retard **DS** i 2 usuaris tolerants al retard **DT**.

A la figura 3.19 es pot observar com quan es té una taxa mínima R_u baixa, la taxa és assolida pel 100% dels usuaris sensibles al retard **DS**.

A mesura que la taxa mínima R_u va en augment, el percentatge d'usuaris que assolixen la taxa mínima va reduint-se en els dos casos, tant per 2 com per a 4 usuaris.

Es pot apreciar com per als dos casos, 2 o 4 usuaris, es reduirà a un mínim d'un 65% aproximadament.

3. RESULTATS I DISCUSSIÓ

En el cas de tenir 2 o 4 usuaris hi ha una petita diferència. Segons augmenta la taxa mínima Ru, una vegada les taxes comencin a baixar, la línia que representa als 2 usuaris tindrà un major percentatge d'assoliment que tenint 4 usuaris.

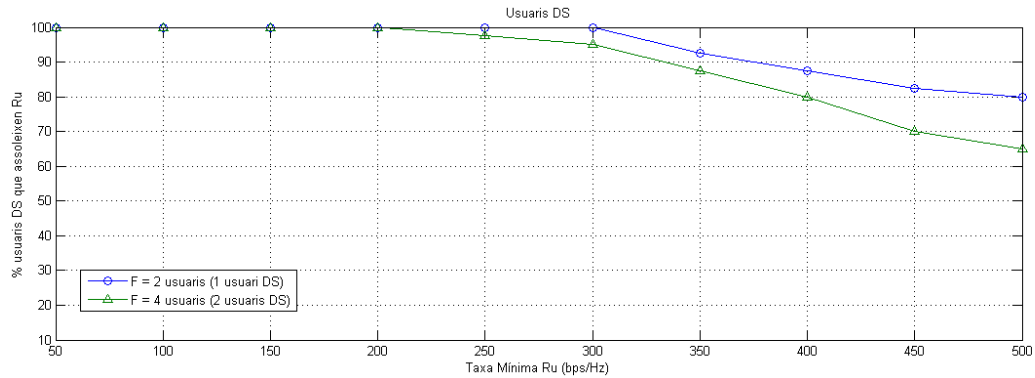


Figura 3.19: Algorisme DS Priority: % Usuaris sensibles al retard DS que assolixen Ru per 2 i 4 usuaris vs Ru

A la següent figura, figura 3.20, igual que a la figura anterior, es representarà el percentatge d'usuaris que assolixen la taxa mínima Ru.

Hi haurà dos casos:

- En el primer cas es tenen 6 usuaris, 3 usuaris sensibles al retard DS i 3 usuaris tolerants al retard DT.
- En el segon cas es tenen 10 usuaris, 5 usuaris sensibles al retard DS i 5 usuaris tolerants al retard DT.

Tant a la figura 3.19 com a la figura 3.20 es pot observar que les gràfiques van de creixent.

A la figura 3.20, amb 6 i 10 usuaris, el percentatge d'usuaris que assoliran la taxa mínima Ru serà menor que en el cas de la figura 3.19, on es tenen 2 i 4 usuaris.

Això és a causa del fet que com més usuaris es tinguin, més usuaris sensibles al retard DS hi haurà i, per tant, segons augmenti la taxa mínima Ru, més costós serà satisfer els requeriments dels usuaris DS. Aquest fet provoca que hi hagi usuaris DS que no puguin ser satisfets. Per tant, menor serà el percentatge d'usuaris que assoliran la taxa mínima Ru.

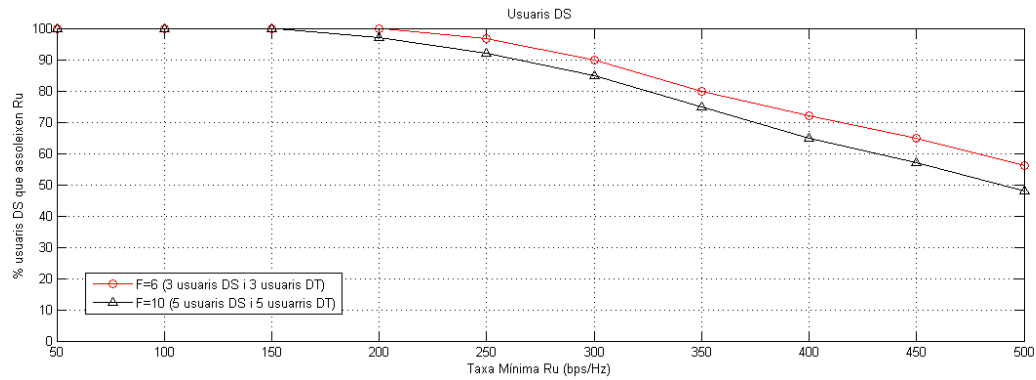


Figura 3.20: Algoritme DS Priority: % Usuaris sensibles al retard DS que assoleixen R_u per 6 i 10 usuaris vs R_u

Per tant, si es compara la figura 3.19 amb la figura 3.20, es pot observar que amb un major nombre d'usuaris (usuaris DS i usuaris DT), a la figura 3.20, el percentatge d'usuaris que assoleixen la taxa mínima R_u és més baix que en el cas de la figura 3.19.

CONCLUSIONS

En aquest TFG s'ha considerat un escenari amb una macro cel·la i una sèrie de femto cel·les repartides dins l'àrea de cobertura del node macro. L'estació base macro, eNB, dona servei a una sèrie d'usuaris macro, mentre que els diferents nodes femto, HeNB, donen servei a una sèrie d'usuaris femto cada un. Partint d'aquest escenari, s'han repartit una sèrie de recursos ràdio, en forma de subcanals de l'espectre radioelèctric, entre els diferents usuaris femto, alguns d'ells amb requisits de QoS.

Per dur a terme la repartició dels diferents recursos i comparar els resultats obtinguts, s'han tingut en compte dos planificadors diferents:

- Algoritme Round Robin
- Algoritme DS Priority

El planificador Round Robin té una complexitat molt inferior a l'algoritme DS Priority i no té en compte els usuaris amb requeriments de QoS. Per altra banda, l'algoritme DS Priority és més complex i permet distribuir els recursos ràdio considerant els requisits de QoS dels usuaris.

Durant el desenvolupament d'aquest TFG s'han realitzat una sèrie d'estudis per comparar els dos algoritmes i s'ha pogut comprovar que amb l'algoritme DS Priority s'obtenen millors resultats que amb el planificador Round Robin. Gràcies als estudis fets en el sistema abans descrit amb l'Algoritme DS Priority, s'han pogut extreure les següents conclusions:

- Si s'incrementa el nombre d'usuaris per femto cel·la s'obté una major capacitat, això es deu a la diversitat del sistema, que es veu incrementada quan es disposa d'una major quantitat d'estacions mòbils.
- Per tal que es pugui garantir el servei als usuaris amb requeriments de QoS és recomanable que no hi hagi més de 4 usuaris en cada femto cel·la. Si s'incrementa

4. CONCLUSIONS

el nombre d'usuaris per femto cel·la, se saturarà el sistema i existeix la possibilitat que alguns dels usuaris no puguin ser servits per la manca de recursos.

- L'augment de la taxa mínima R_u provoca que la capacitat disminueixi. Aquesta disminució de la capacitat és deguda al fet que segons augmenta R_u , es fa més costos satisfer als usuaris **DS**. Es pot donar el cas que algun usuari **DS** no pugui ser satisfet. Aquest fet fa disminuir la diversitat espacial i, amb ella, la capacitat. L'augment de la taxa mínima R_u pot provocar que els usuaris **DS** necessitin tots els canals per satisfer la taxa mínima i no quedin canals disponibles per als usuaris **DT**.

Com una possible opció per a futurs treballs es podria investigar com afectarien les femto cel·les als usuaris macro, quines interferències provocarien i com afectaria la seva capacitat. També es podria completar l'estudi actual incloent-hi nous algoritmes d'assignació de recursos. Així es podria estudiar si l'algoritme DS Priority seguiria sent el més adequat o si, com és de suposar, encara té possibilitat de millora.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Todo sobre el 4G LTE, [Online] Disponible: <http://www.omicrono.com>. (document), 1.1
- [2] M. Nohrborg. LTE, [online] Disponible: <http://www.3gpp.org/technologies/keywords-acronyms/98-lte>. (document), 1.1.1, 1.1.2, 1.2, 1.1.2, 1.3, 1.1.3, 1.4, 1.5, 1.6
- [3] T. Cameron and P. Forbes. Analog front end for 3G femto base stations brings wireless connectivity home, [online] Disponible: <http://www.analog.com/en/analog-dialogue/articles/3g-fem-to-base-stations.html>. (document), 1.7
- [4] V. Chandrasekhar and J. G. Andrews, "Femtocell networks: A survey," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 46, p. 59–67, setembre 2008. 1.2.1, 1.2.3, 1.2.4, 2.2
- [5] G. T. 36.814, "3rd generation partnership project; technical specification group radio access network; evolved universal terrestrial radio access (E-UTRA); further advancements for e-utra physical layer aspects (release 9)," pp. 66–67, març 2010. 2.2, 2.2, 2.2
- [6] J. Zhang, Z. Zhang, K. Wu, and A. Huang, "Optimal distributed subchannel, rate and power allocation algorithm in OFDM-based two-tier femtocell networks," *Proc. Veh. Technol. Conf.*, pp. 1–5, maig 2010. 2.2
- [7] X. Kang, R. Zhang, and M. Motani, "Price-based resource allocation for spectrum-sharing femtocell networks: A stackelberg game approach." *IEEE J. Sel. Areas Commun.*, vol. 30, p. 538–549, abril 2012. 2.2
- [8] H. Zhang, C. Jiang, N. C. Beaulieu, X. Chu, X. Wen, and M. Tao, "Resource allocation in spectrum-sharing OFDMA femtocells with heterogeneous services," *IEEE Transactions on commun.*, vol. 62, juliol 2014. 2.4
- [9] D. López-Pérez, A. Valcarce, G. de la Roche, and J. Zhang, "OFDMA femtocells: A roadmap on interference avoidance," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 47, p. 41–48, setembre 2009.
- [10] H.-S. Jo, C. Mun, J. Moon, and J.-G. Yook, "Interference mitigation using uplink power control for two-tier femtocell networks," *IEEE Trans. Wireless Commun.*, vol. 8, p. 4906–4910, octubre 2009.
- [11] P. by ABI Research, Picochip, Airvana, I. access, Gartner, T. España, and 2nd International. Conference on home access points and femtocells, [online] Disponible: http://www.avrevents.com/dallasfemto2007/purchase_presentations.htm.

- [12] J.-H. Yun and K. G. Shin, "Adaptive interference management of OFDMA femtocells for co-channel deployment," *IEEE J. Sel. Areas Commun.*, vol. 29, pp. 1225–1241, juny 2011.
- [13] K. Son, S. Lee, Y. Yi, and S. Chong, "Refim: A practical interference management in heterogeneous wireless access networks," *IEEE J. Sel. Areas Commun.*, vol. 29, pp. 1260–1272, juny 2011.
- [14] V. Chandrasekhar, J. G. Andrews, T. Muharemovic, Z. Shen, and A. Gatherer, "Power control in two-tier femtocell networks," *IEEE Trans. Wireless Commun.*, vol. 8, pp. 4316–4328, agost 2009.
- [15] I. Guvenc, M.-R. Jeong, F. Watanabe, and H. Inamura, "A hybrid frequency assignment for femtocells and coverage area analysis for co-channel operation," *IEEE Commun. Lett.*, vol. 12, pp. 880–882, desembre 2008.
- [16] L. Giupponi and C. Ibars, "Distributed interference control in OFDMA-based femtocells," *Proc. IEEE PIMRC*, pp. 1201–1206, setembre 2010.
- [17] J. W. Huang and V. Krishnamurthy, "Cognitive base stations in LTE/3GPP femtocells: A correlated equilibrium game-theoretic approach," *IEEE Trans. Wireless Commun.*, vol. 59, pp. 3485–3493, desembre 2011.
- [18] D.-C. Oh, H.-C. Lee, and Y.-H. Lee, "Power control and beamforming for femtocells in the presence of channel uncertainty," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 60, pp. 2545–2554, juny 2008.
- [19] M. Tao, Y.-C. Liang, and F. Zhang, "Resource allocation for delay differentiated traffic in multiuser OFDM systems," *IEEE Trans. Wireless Commun.*, vol. 7, pp. 2190–2201, juny 2008.
- [20] C. Jiang, Y. Chen, R. K. J. Liu, and Y. Ren, "Renewal-theoretical dynamic spectrum access in cognitive radio networks with unknown primary behavior," *IEEE J. Sel. Areas Commun.*, vol. 31, pp. 406–416, març 2013.
- [21] D. T. Ngo and T. Le-Ngoc, "Distributed resource allocation for cognitive radio networks with spectrum-sharing constraints," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 60, pp. 3436–3449, setembre 2011.
- [22] R. Xie, F. R. Yu, and H. Ji, "Dynamic resource allocation for heterogeneous services in cognitive radio networks with imperfect channel sensing," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 61, pp. 770–780, febrer 2012.
- [23] K. W. Choi, E. Hossain, and D. I. Kim, "Downlink subchannel and power allocation in multi-cell ofdma cognitive radio networks," *IEEE Trans. Wireless Commun.*, vol. 10, pp. 2259–2271, juliol 2011.
- [24] Y. Ma, D. I. Kim, and Z. Wu, "Optimization of OFDMA-based cellular cognitive radio networks," *IEEE Trans. Commun.*, vol. 58, pp. 2265–2276, agost 2010.
- [25] "Way forward proposal for (H)eNB to HeNB mobility 3GPP std. r3-101 849," 2010.

- [26] D. W. K. Ng and R. Schober, "Resource allocation and scheduling in multi-cell OFDMA systems with decode-and-forward relaying," *IEEE Trans. Wireless Commun.*, vol. 10, pp. 2246–2258, juliol 2011.
- [27] C. Y. Wong, R. Cheng, K. Lataief, and R. Murch, "Multiuser OFDM with adaptive subcarrier bit power allocation," *IEEE J. Sel. Areas Commun.*, vol. 17, pp. 1747–1758, octubre 1999.
- [28] Z. Shen, J. G. Andrews, and B. L. Evans, "Adaptive resource allocation in multiuser OFDM systems with proportional rate constraints," *IEEE Trans. Wireless Commun.*, vol. 4, pp. 2726–2737, novembre 2005.
- [29] J. K. Chen, G. de Veciana, and T. S. Rappaport, "Site-specific knowledge and interference measurement for improving frequency allocations in wireless networks," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 58, pp. 2366–2377, juny 2009.
- [30] "Further advancements for E-UTRA physical layer aspects 3GPP std. TR 36.814 v9.0.0," 2010.