

# Xarxes SR-WLAN: Coexistència i prestacions

García García, Álvaro

Curs 2013-2014



Universitat  
Pompeu Fabra  
Barcelona

Escola  
Superior Politècnica

Director: BORIS BELLALTA

GRAU EN ENGINYERIA TELEMÀTICA



## Agraïments

M'agradaria expressar la meva profunda gratitud al tutor del meu treball final de grau, Boris Bellalta, per la seva paciència durant tot el procés i la seva ajuda en els trams més complexos del treball.

També agrair especialment l'ajuda d'en Toni Adame per solucionar tots els dubtes relacionats amb el programa Omnet++ així com tots els consells que em va donar per a realitzar el projecte.

Graciés també al meu germà per l'ajuda en tots els gràfics fets amb Matlab i al meu cosí per l'ajuda alhora d'entendre com es comportaven les xarxes.

Per últim, agrair de tot cor als meus pares i a la meva parella el seu gran suport i ajuda durant el projecte i els meus estudis.



## **Abstract – Català**

Les xarxes WLAN són una tecnologia gairebé fonamental per les comunicacions d'avui en dia, però n'hi ha tantes per tal de cobrir les necessitats de la gent que arriba un moment que es provoquen interferències entre elles. Aquest treball presenta una solució a aquest problema; fer ús de xarxes de curt abast (SR-WLAN) per tal de millorar el rendiment de l'accés a Internet.

L'ús d'aquestes xarxes permet intercanvi d'informació de manera més veloç, però també té inconvenients ja que les interferències provocades pel node ocult poden causar l'efecte contrari, és a dir, que la xarxa vagi més lenta.

En aquest projecte es presenten dos casos d'estudi de xarxes SR-WLAN. Per una banda, observar com funcionen aquestes xarxes entre elles i per altre banda, veure si és possible la coexistència de xarxes SR-WLAN amb WLANs convencionals.

## **Abstract – English**

WLANs are almost essential to communications technology today, but there are so many wireless networks to cover the users' needs that there comes a time that they are causing interference between them. This paper presents a solution to this problem; use little network coverage range (SR-WLAN) to improve the performance of Internet access.

The use of these networks allows information exchange so faster, but also has drawbacks because the interference caused by hidden node can cause the opposite effect, that means that the network slow down.

In this project we present two case studies of SR-WLAN networks. On one hand, observing how these networks works between them and, on the other hand, confirms if it is possible the coexistence of SR-WLAN networks with conventional WLANs.



# ÍNDEX

Agraïments.....	iii
Abstract – Català.....	v
Abstract – English .....	v
Llista de figures .....	viii
1 Introducció.....	1
1.1 Problema.....	1
1.2 Objectiu.....	2
1.3 Contribucions .....	3
1.4 Estructura.....	4
2. Estat de l'art .....	5
2.1 Història de les xarxes WLAN .....	5
2.2 Usos del WiFi en la societat actual .....	7
2.3 IEEE 802.11ac .....	8
2.4 Hidden Node & Exposed Node .....	12
2.5 SR- WLANs.....	14
2.5.1 Channel bonding SBCA .....	16
2.6 Cel·les 5G .....	17
3. Eina Omnet ++ .....	19
3.1 Funcionalitat de Omnet++.....	21
3.2 Exemples amb Omnet++ .....	21
3.2.1 CAS 1: AP envia missatges a 4 nodes .....	22
3.2.2 CAS 2: Hidden node .....	26
4. Coexistència entre xarxes SR-WLAN, entre sí i amb altres WLAN .....	31
4.1 Mesures/Valors usats.....	31
4.2 Escenari a estudiar .....	32
4.2.1 CAS 1 .....	34
4.2.2 CAS 2 .....	37
4.2.3 CAS 3 .....	40
4.2.4 CAS 4 .....	45
4.2.5 Conclusions de les xarxes SR- WLAN.....	49
4.3 Coexistència WLAN .....	51
4.3.1 Introducció a la coexistència entre xarxes .....	52
4.3.2 Coexistència entre SR-WLAN i WLAN .....	54
4.4 Problemàtica amb l'Omnet++.....	58
5. Conclusions.....	59
6. Referències .....	61

## Llista de figures

Figura 1. Interferència produïda per dos WLAN. Imatge obtinguda de [2] .....	2
Figura 2. Història de les WLAN. Imatge obtinguda de [4].....	7
Figura 3. Diferències entre single-user MIMO i multi-user MIMO. Imatge obtinguda de [4] .....	10
Figura 4. Beamforming a xarxes WLAN. Imatge obtinguda de [4] .....	10
Figura 5. Interferència produïda per dos WLAN. Imatge obtinguda de [2] .....	11
Figura 6. Ús de RTS/CTS per prevenir el <i>hidden node</i> . Imatge obtinguda de [8] .....	13
Figura 8. Problema del <i>exposed node</i> . Imatge obtinguda de [8] .....	13
Figura 9. Exemple de xarxes SR-WLAN coexistent amb xarxes WLAN. Imatge obtinguda de [1] .....	15
Figura 10. <i>Channel bonding</i> amb SBCA. Imatge obtinguda de [1].....	16
Figura 11. Els mòduls que componen una simulació de Omnet++ i les seves interaccions. ....	20
Figura 13. Arxiu .ned que surt per pantalla un cop fet la simulació .....	23
Figura 14. Components que hi ha dintre de cada host.....	24
Figura 15. Arxiu tknev on es veuen en blau tots els events que van passant. ....	24
Figura 16. Paquets rebuts entre paquets enviats generat per cada node en la primera simulació. ....	25
Figura 17. Paquets rebuts entre paquets generat per cada host al enviar paquets al punt d'accés. ....	26
Figura 18. Simulació en l'omnet++ d'un exemple de hidden node on s'observa en vermell l'enviament de paquets realitzat. ....	27
Figura 19. Arxiu .anf des de on s'extreuen els resultats de la simulació. ....	28
Figura 20. Resultats de paquets rebuts entre enviats per a cada host .....	28
Figura 21. Escenari de les xarxes SR-WLAN en una llar.....	33
Figura 22. Escenari de les xarxes SR-WLAN en una llar amb coexistència d'una WLAN convencional. ....	33
Figura 23. Possible situació de les xarxes SR-WLAN, cadascuna amb dos host que envien a un AP i separades totalment. ....	34
Figura 24. Possible evolució temporal dels paquets de dades en el cas 1. ....	35
Figura 25. Situació del cas 1 passat al Omnet++.....	35
Figura 26. Resultats en paquets rebuts i enviats del cas 1. ....	36
Figura 27. Disposició de les xarxes SR-WLAN en el cas 2, es sol·lapen de tal manera que dos nodes de xarxes diferents es veuen entre sí. ....	37
Figura 28. Previsió de la evolució temporal dels paquets en el cas 2. ....	38
Figura 29. Cas 2 simulat en Omnet++.....	39
Figura 30. Resultats de la simulació del cas 2. ....	39



Figura 31. Cas 3 on un node d'una xarxa interacciona amb el punt d'accés de la xarxa veïna. En aquest cas cap node veu el seu veí de xarxa provocant-se el problema de <i>hidden node</i> . .....	40
Figura 32. Previsió de l'evolució temporal entre els nodes 1 i 2 en el cas 3. ....	41
Figura 33. Previsió de l'evolució temporal dels nodes 3 i 4 en el cas 3.....	42
Figura 34. Previsió de l'evolució temporal entre els nodes 1,2 i 3 en el cas 3. ....	42
Figura 35. Situació de tots els dispositius del cas 3 en la simulació de Omnet++.....	43
Figura 36. Resultat de les col·lisions en el cas 3. ....	43
Figura 37. Evolució temporal en el cas 3 quan hi han col·lisions. ....	44
Figura 38. Evolució temporal de tots els nodes de la simulació quan no es produeixen col·lisions. ....	45
Figura 39. Cas 4, tots els nodes es veuen entre sí. ....	45
Figura 40. Previsió de l'evolució temporal del cas 4. ....	46
Figura 41. Cas 4 simulat al omnet++.....	47
Figura 42. Col·lisions en el cas 4 provocades pel <i>exposed node</i> .....	47
Figura 43. Evolució temporal del cas 4 quan els nodes pateixen col·lisions. ....	48
Figura 44. Evolució temporal del cas 4 quan els nodes no pateixen col·lisions, s'observa un problema de <i>exposed node</i> .....	48
Figura 45. Millor percentatge de paquets rebuts entre paquets enviats de cada cas tenint en compte la llargada dels paquets. ....	49
Figura 46. Exemple de coexistència entre una WLAN i diferents xarxes SR-WLAN.....	51
Figura 47. Exemple de coexistència entre WLAN i WPAN. Imatge obtinguda de [15].	53
Figura 48. Interferències entre WLAN i WPAN al estar a la mateixa freqüència. Imatge obtinguda de [15] .....	53
Figura 49. Coexistència entre WLAN i SR-WLAN amb diferent freqüència. ....	55
Figura 50. Evolució temporal dels missatges en la coexistència entre SR-WLAN 1 i 2 i la xarxa WLAN. ....	55
Figura 51. Escenari de coexistència entre WLAN i SR-WLAN amb la mateixa freqüència. ....	56
Figura 52. Evolució temporal del escenari amb dues xarxes SR-WLAN i una WLAN a la mateixa freqüència quan emet el node 5. ....	57
Figura 53. Col·lisions entre les xarxes SR-WLAN i la WLAN convencional al emetre totes a la mateixa freqüència. ....	57
Figura 54. Posició de les xarxes SR-WLAN per poder coexistir amb xarxes WLAN.....	60



# 1 Introducció

## 1.1 Problema

En els últims anys hi ha hagut un augment molt significatiu de l'ús i desenvolupament de les tecnologies inalàmbriques en vers de les tecnologies de xarxes cablejades i això és degut al canvi de mentalitat de la societat per tal de fer que les tecnologies siguin més fàcils i més accessibles.

Tot això ve donat pel creixement de la societat de la informació on Internet s'ha convertit en un mitjà a vegades indispensable per a moltes empreses que necessiten saber que passa en els seus negocis en tot moment i en domicilis particulars on l'ús de les tecnologies inalàmbriques ha passat d'una eina a gairebé una necessitat.

Però l'augment de tantes tecnologies provoca un creixement de xarxes WLAN, tal com s'explica en l'article *Channel Bonding in Short-Range WLANs* [1], on al haver-hi tantes xarxes mòbils això provoca que pugui haver interferències entre xarxes WLAN i no siguin tot l'eficients que poden ser. Això sense comptar amb els sensors que poden haver a qualsevol empresa o domicili (temperatura, moviment...) i que també tenen un petita xarxa inalàmbrica al seu voltant.

Tots aquests factors provoquen que a curt termini pugui haver un problema seriós de interferències entre xarxes. Posem per exemple una illa de cases del Eixample que tingui 30 edificis, a cada edifici hi haurà aproximadament entre 20 i 30 pisos i suposant que, a males, un 50 % té WiFi això suposa 325 xarxes inalàmbriques interferint entre elles això sense comptar amb les illes de cases properes.

Tot i aquest escenari no podem negar la utilitat de les xarxes inalàmbriques ja que ofereixen connectivitat, mobilitat i són peça clau en la productivitat de molts negocis; per tant cal buscar una solució per continuar fent ús de WLANs extraient el màxim rendiment.

En definitiva el problema, el qual serà el cas d'estudi d'aquest treball, són les interferències de les xarxes WLAN degut a la coexistència d'aquestes dintre d'un edifici, on cada habitatge té la seva pròpia xarxa WiFi, i com provoquen que la informació no arribi al cent per cent, ja que aquest problema és creixent avui en dia i necessita una solució pràctica sense necessitat de recórrer a xarxes cablejades.

A la figura 1 es pot observar el problema de manera gràfica, on una estació rep interferències des d'una AP veïna que no pertany a la seva xarxa WLAN.



Figure 3: Interference Scenario

Figura 1. Interferència produïda per dos WLAN. Imatge obtinguda de [2]

## 1.2 Objectiu

L'objectiu d'aquest treball és el donar una possible solució al problema de la coexistència de xarxes WLAN en el mateix espai físic, ja que la popularitat del WiFi fa que cada cop hi hagin més xarxes i al final el consum que fa l'usuari d'Internet no és el que voldria. Per tant la solució proposada en aquest treball és el de desplegar petites xarxes WLAN en una llar per tal de millorar l'eficiència del servei sense fils i evitar al màxim la pèrdua d'informació.

Tot i que qualsevol solució proposada suposa que es perdi informació, l'objectiu d'aquest treball és la de comprovar si es viable la creació de xarxes SR-WLAN (short WLAN) usant l'eina OMNET++, per simular un possible escenari en una casa on hi han

petites xarxes. També saber com s'han de situar les xarxes per obtenir millors resultats i menys pèrdues, per tal de dictaminar de quina manera es podrien fer servir les xarxes SR-WLAN.

Per una altre banda, es viable estudiar en aquest treball si poden coexistir xarxes WLAN amb xarxes SR-WLAN per tal de saber quanta pèrdua d'informació hi hauria i, sobretot, si en el cas de que les xarxes WLAN més petites tinguessin millors resultats que les que hi ha ara mateix si seria possible que les dos conviessin sense problemes o bé s'eliminessin de mica en mica les WLAN que hi ha ara per tal de donar pas a xarxes més viables i ràpides, però amb menys rang de cobertura.

En definitiva, el objectiu és el de fer entendre que són i com funcionen les xarxes SR-WLAN a partir de petites simulacions que determinaren el seu rendiment. Tots aquests experiments serviran per saber si és possible tenir xarxes de poc rang operant amb l'estàndard 802.11ac, si poden coexistir amb altres xarxes WLAN, i com seria la seva disposició si es vol aprofitar el màxim el seu rendiment.

### **1.3 Contribucions**

Amb aquest treball el que s'ha intentat és trobar una altre manera de posicionar i fer servir les xarxes per tal de millorar el rendiment de les xarxes sense fils i fer-les més eficients en termes de paquets rebuts entre paquets enviats i evitar al màxim les interferències.

D'igual manera la idea del projecte és la de fer entendre les utilitats de les SR-WLAN envers les WLAN convencionals, i determinar que la coexistència entre aquests dos tipus de xarxes és possible, sempre i quant es pugui variar la freqüència de l'estàndard 802.11n.

## 1.4 Estructura

Aquest treball busca explicar que són les xarxes SR-WLAN i l'entorn amb el que estan relacionades, per aquest motiu el projecte es dividirà en quatre parts ben diferenciades.

Primerament al estat de l'art s'explicarà l'entorn en el que s'engloben les xarxes SR-WLAN així com el primer apropament a aquestes xarxes i al futur d'aquestes, les cel·les 5G. A continuació s'introduirà l'eina usada per a fer les simulacions, l'Omnet++, i en el quart apartat es descriuen totes les simulacions realitzades amb aquest programa i els diferents casos en que es poden trobar les xarxes SR-WLAN. Per últim, en el cinqué apartat després d'analitzar tots els resultats de les simulacions s'arriba a les conclusions que podem extreure del projecte.

## 2. Estat de l'art

L'augment de les noves tecnologies ha fet que creixes la popularitat del WiFi per tal de estar sempre connectat a Internet, això fa que en el món de les telecomunicacions es pensin i es desenvolupin sistemes i protocols per tal de fer això possible. I com a resultat de tenir més dispositius mòbils i oferir servei, cal tenir xarxes inalàmbriques (WLAN) per tal donar cobertura a tots els usuaris. Però, l'augment d'aquestes xarxes WLANs degut al creixement del WiFi, fa que moltes d'aquestes xarxes es sol·lapin degut a la coexistència entre elles, ja que hi ha un número finit de canals pels quals enviar informació, i provoca interferències i la pèrdua d'informació.

En aquest apart es descriurà tota la història de les xarxes WLAN i dels seus respectius estàndards, el problemes de la coexistència entre xarxes WLAN, com el problema del *hidden node* i del *exposed node*, així com una possible solució a aquesta casuística que són les xarxes SR-WLANs.

### 2.1 Història de les xarxes WLAN

En l'any 1971 es va desenvolupar a la Universitat de Hawaii la primera xarxa basada en comunicacions de ràdio anomenat ALOHANET, que es podria considerar com la primera xarxa WLAN. Aquesta xarxa consistia en 7 hosts, situats en quatre de les illes de Hawaii, que es comunicaven bi-direccionalment entre elles en una tipologia de estrella i sense utilitzar línies telefòniques. Durant els següents anys els ordinadors van anar evolucionant i es va passar de computadores fixes d'escriptori a ordinadors portàtils i altres dispositius mòbils els quals necessitaven estar connectats a Internet per tal de poder complir les necessitats del usuari allà on estiguessin. I a la vegada que els ordinadors canviaven, els protocols i les xarxes WLAN que proporcionaven el servei a Internet també evolucionaven, però tal com s'indica en l'article [3] les empreses que es dedicaven a les xarxes WLANs no trobaven gairebé cap èxit en la venda a empreses o campus universitaris per tal de oferir facilitadors de mobilitat, ja que els productes WLAN d'aquells dies (principis dels noranta) eren massa lents, massa cars i

massa voluminosos. I es per això que a principis dels anys noranta el comitè executiu del IEEE 802 va establir el grup de treball anomenat 802.11 per tal de crear un estàndard per a les xarxes locals sense fils (WLANs), que especificava una freqüència compresa en la banda ISM de 2.4 GHz.

Set anys més tard de la seva creació, el 1997, el grup 802.11 va aprovar el IEEE 802.11 com a primer estàndard sense fils del món amb velocitats de dades de 1 i 2 Mbps. Dos anys més tard van aparèixer dos estàndards nous: el 802.11a que tenia 5 GHz de *throughput* i velocitats de 54 Mbps i el 802.11b, els quals ja es coneixien amb el nom de WiFi. Anys més tard en el juny del 2003 neix l'estàndard 802.11g que usava la freqüència de 2.4 GHz i amb velocitat de 54 Mbps. El penúltim estàndard més rellevant és el 802.11n, va néixer el 2009 i opera en les freqüències de 2.4 GHz i de 5 GHz amb una velocitat de transferència de dades màxima de 600 Mbps. Com a característiques importants la capacitat de suportar canals de 20 i 40 MHz, que només té una transmissió per usuari i que suporta quatre fluxos espacials. L'últim estàndard important és el 802.11ac el qual va veure la llum en el 2014, tot i que va ser desenvolupat entre el 2011 i el 2013, i que usa només la freqüència de 5 GHz i té una velocitat de transferència de 500 Mbps.

A la figura 2 es pot observar cronològicament la història de les WLANs així com la seva evolució des de la creació del estàndard 802.11 al 1997 al últim estàndard creat el febrer del 2014, el 802.11ac:



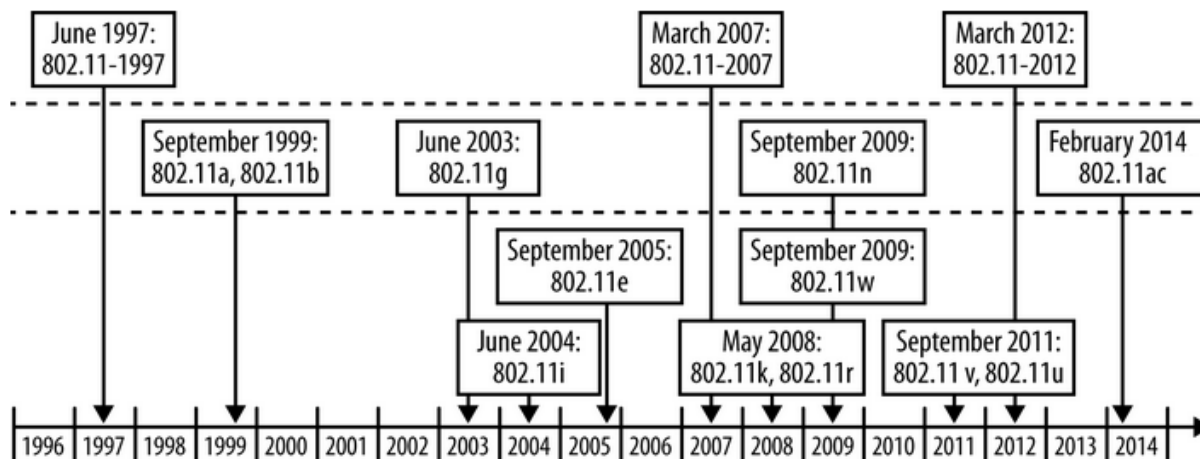


Figura 2. Història de les WLAN. Imatge obtinguda de [4]

## 2.2 Usos del WiFi en la societat actual

El WiFi és una tecnologia sense fils que permet connectar e intercanviar informació entre dispositius sense la necessitat de tenir cap cable endollat per a dur a terme aquesta funció, però com s'ha observat en l'apartat 2.1 les característiques del WiFi s'han anat adaptant a la demanda dels usuaris que l'utilitzen.

El WiFi en principi permetia intercanviar arxius amb dos o més ordinadors de sobretaula i a mesura que la tecnologia a evolucionat s'han adaptat els estàndards per tal de poder tenir connectivitat a Internet des de qualsevol punt amb el mòbil o un ordinador portàtil. Però aquest no és l'únic ús que se li dóna, amb l'aparició i la popularitat dels smartphones cap al any 2007, tot i que el primer smartphone data del 1992 (IBM Simon), s'ha intentat que tots els dispositius amb connectivitat a Internet es poguessin comunicar entre ells per tal de tenir accés a totes les eines informàtiques que aporta un dispositiu en concret.

A continuació es detallaren uns petits exemple de usos que se li donen al WiFi i que mostren perquè aquesta eina és tan útil avui en dia:

- Un smartphone es pot usar com a control remot de tots els dispositius que tinguin connexió a Internet de una casa, com ara controlar la televisió (SmartTV) a partir del telèfon mòbil o bé entrar al escriptori des del ordinador de sobretaula.

- Un altre ús és el de poder accedir al smartphone des de qualsevol ordinador per tal de veure notificacions, trucades ... tot usant el WiFi.
- Amb l'aparició de les televisions intel·ligents és possible connectar-se a Internet des de el propi dispositiu, veure pel·lícules on-line o bé passar i compartir arxius des del ordinador a la televisió.
- També amb les càmeres digitals es poden transferir arxius a altres dispositius amb connexió a la xarxa WLAN.
- Alguns smartphones poden usar-se per crear una xarxa WLAN on el mòbil sigui el punt d'accés que proporciona Internet a diversos usuaris.
- També gràcies el WiFi es pot accedir a la impressora per tal d'imprimir arxius sense necessitat d'estar físicament connectat al aparell.
- Per últim, cal tenir en compte l'ús del WiFi en les noves innovacions com ara els rellotges amb accés a Internet o electrodomèstics com ara neveres que també usen el WiFi per indicar l'estat en el que es troben.

Tot aquests exemples mostren la importància de les xarxes WLANs en la societat i la seva popularitat en augment, ja que en quaranta anys s'ha passat d'intercanviar informació només entre ordinadors, a fer-ho entre mòbils, rellotges, impressores i fins i tot electrodomèstics.

### **2.3 IEEE 802.11ac**

Tal i com s'explica en l'article [5] el IEEE 802.11ac és un estàndard WLAN desenvolupat per la IEEE Standards Association i que aporta un *throughput* més elevat, 5GHz de freqüència i una velocitat de transferència de 500 Mbps. Aquest estàndard va

ser desenvolupat entre els anys 2011 i 2013 i aprovat finalment el 2014, i s'espera que s'estengui a un billó [6] el seu ús al 2015 i per tant passi a ser l'estàndard més usat.

Aquest nou estàndard és una evolució de 802.11n, tal com s'explica en l'article [4] totes les millores en quant a velocitat es refereixen apareixen després de la introducció de MIMO, ja que el 802.11ac utilitza tècniques familiars i les porta a un nou nivell, és a dir les millora, però amb l'excepció de que usa MIMO no només per augmentar els fluxos de dades enviades a un sol client sinó que també permet que un únic punt d'accés (AP) pugui enviar a diversos clients a la vegada.

Com a característiques principals respecte al seu predecessor, 802.11ac suporta canals d'ample de banda de 20, 40, 80 i 160 MHz respecte als 20 i 40 MHz de 802.11n, ja que canals més amples augmenten la velocitat de la transmissió. Tot i així en alguns llocs el canal de 160 MHz és difícil de trobar i per tant 802.11ac introdueix dues formes de canals de 160 MHz, o bé en un sol bloc o un canal de 80 + 80 MHz que combina dos canals de 80 i ofereix el mateix ample de banda.

Per entendre més beneficis que aporta 802.11ac podem adreçar-nos al article [4] on s'expliquen les noves tecnologies que aporta 802.11ac respecte al seu predecessor 802.11n. les més remarcables són els canvis en MU-MIMO i el *beamforming*.

MU-MIMO és la gran diferència d'aquest estàndard respecte la resta, ja que en els estàndards predecessors un únic usuari envia una sola transmissió a un sol usuari, mentre que en 802.11ac un mateix punt d'accés pot enviar transmissions a diferents usuaris, tal i com mostra la figura 3. També conjuntament amb MU-MIMO apareix el concepte DL MU-MIMO que és un mode que permet a una estació ser la transmissora i que hi hagin múltiples receptores.

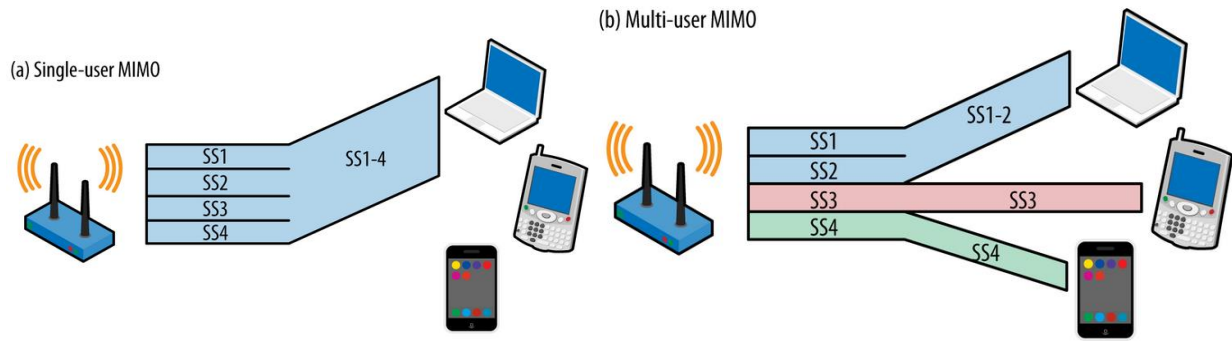


Figura 3. Diferències entre single-user MIMO i multi-user MIMO. Imatge obtinguda de [4]

I el *beamforming* s'utilitza en aquestes xarxes com un mitjà d'augmentar la potència del senyal sobre una porció del territori de l'AP per tal de que augmentar la velocitat de dades en el receptor. Dit d'una altra manera, una AP sense *beamforming* emet a una determinada àrea circular tota la potència assignada, en canvi amb *beamforming* es redirigeix tota la potència de la AP cap a un o més punts assignats i d'aquesta manera s'utilitza millor l'espai i es poden evitar interferències amb punts d'accés propers, tal i com es mostra a la figura 4.

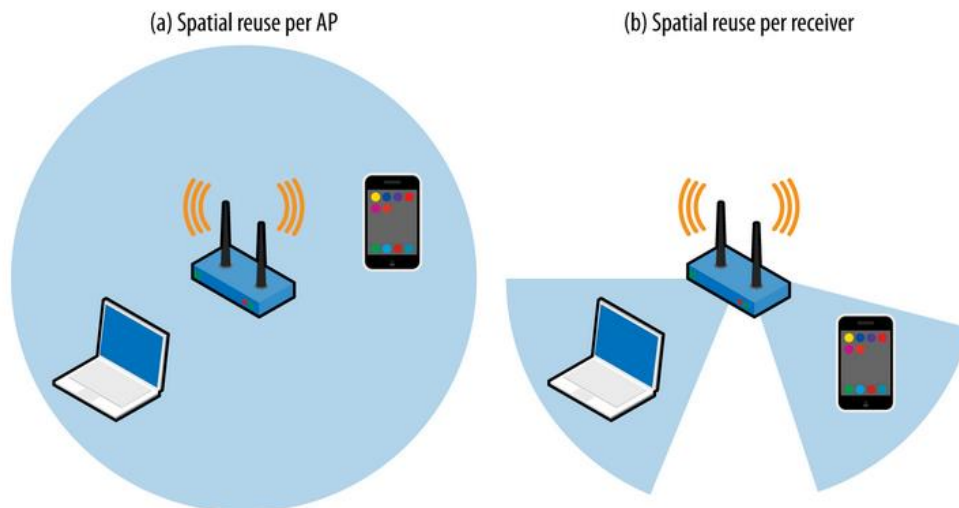


Figura 4. Beamforming a xarxes WLAN. Imatge obtinguda de [4]

Un altre canvi de tecnologia respecte 802.11n s'observa en la modulació, ja que 802.11ac utilitza 256-QAM amb un rate de  $\frac{3}{4}$  i  $\frac{5}{6}$  que aporta un 20% i un 30%, respectivament, de millora en la velocitat de les dades respecte la modulació de 64-QAM i un codi rate de  $\frac{5}{6}$  de 802.11n.

Un altre punt molt important de 802.11ac és que té mecanismes de coexistència per a canals de 20, 40, 80 i 160 MHz, així com també per a dispositius de 802.11ac i 802.11a/n la qual cosa permet tenir una AP1 transmetent a 20 MHz, per exemple, i un altre AP2 emetent en canals solapats del canal de AP1. D'aquesta manera les estacions es poden interferir entre elles però la interferència no es sentirà des dels punts d'accés [7].

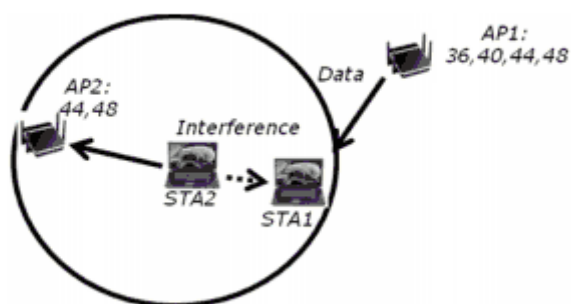


Figure 3: Interference Scenario

Figura 5. Interferència produïda per dos WLAN. Imatge obtinguda de [2]

A la taula [diferències] es pot observar de manera resumida els avantatges del estàndard 802.11ac respecte a 802.11n les quals totes juntes es poden usar per a crear petites xarxes WLANs, SR-WLANs, que puguin funcionar entre elles sense interferències i que poden resoldre el problema de la coexistència de les xarxes WLAN.

802.11n	802.11ac
Suporta canals de 20 i 40 MHz	Suporta canals de 20, 40, 80 i 160 MHz
Suporta bandes de freqüència de 2,4 i 5 GHz	Suporta bandes de freqüència de 5 GHz

Modul·lació BPSK, QPSK, 16-QAM i 64-QAM	Totes les modul·lacions anteriors i 256-QAM
Suporta només una transmissió per usuari	Suporta múltiples transmissions per usuari i <i>Beamforming</i>

Taula 1. Diferències entre els estàndards 802.11n i 802.11ac.

## 2.4 Hidden Node & Exposed Node

El *hidden node*, o node amagat, és un problema que afecta a les xarxes sense fils i succeeix quan un node és visible per un punt d'accés, però els altres nodes o estacions que estan transmeten i reben informació del mateix punt d'accés no el veuen, és a dir, no és visible.

Això comporta, seguint l'article [8], que quan les dos estacions o hosts emeten a la vegada paquets cap al punt d'accés, aquests propis nodes no poden detectar la portadora i per tant la prevenció de col·lisions (CSMA/CA) no funciona. En CSMA/CA el problema de *hidden node* es tracta de la següent forma: si el canal està inactiu es transmet la informació; si el canal està lliure llavors es transmet i si es nota que el canal està ocupat s'espera un temps aleatori mitjançant BEB i després s'envien els paquets.

Per tal de combatre aquest fenomen el estàndard 802.11 incorpora el mecanisme opcional RTS/CTS que el que fa és utilitzar ACKs i *handshake* per tal de resoldre parcialment el problema, però cal tenir en compte que això pot disminuir encara més el rendiment de la xarxa i per altre banda, els ACKs de l'estació base ajuden de la mateixa manera. Aquest protocol funciona tal i com es pot veure en la figura [Kapadia] on C necessita dels nodes A, B i D per poder comunicar-se amb E i s'envien els altres nodes paquets ACK per tal de que no hi hagin col·lisions.

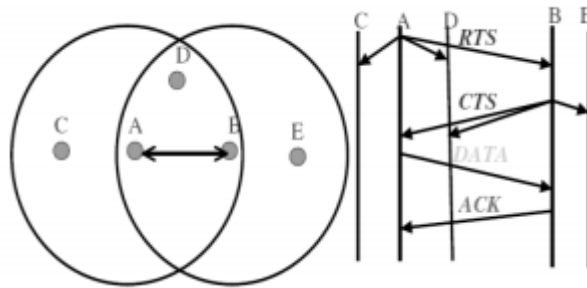


Figura 6. Ús de RTS/CTS per prevenir el *hidden node*. Imatge obtinguda de [8]

A la figura 7 es pot observar gràficament el problema, on els nodes C i B no es veuen, i emeten missatges a la vegada cap el node A, la qual cosa fa que els missatges de C o bé no es rebin correctament o provoquin col·lisions d'aquests paquets i per tant es perdi la informació de les dues maneres.

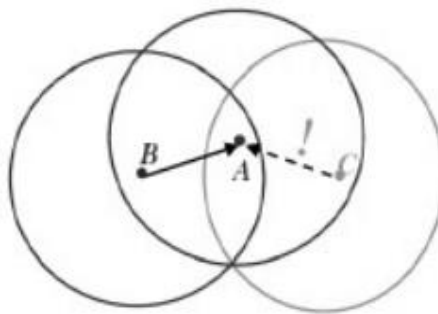


Figura 7. Problema del *hidden node*. Imatge obtinguda de [8]

Conjuntament amb el problema del *hidden node* apareix el problema del *exposed node*, aquest ocorre quan un node 1 impedeix a un node veí 2 emetre quan el primer està emetent. Tal com mostra la figura 8 on s'observa un cas de node exposat. En la figura el node emissor S1 està emetent cap a R1 i el node S2 s'espera a emetre cap a R2, per tal de que no hi apareguin col·lisions entre ells, per tant els dos nodes receptors observen els nodes emissors però no entre ells.



Figura 8. Problema del *exposed node*. Imatge obtinguda de [8]

Per tal de resoldre el problema de *hidden node*, apart de RTS/CTS s'han trobat nous mètodes per tal intentar fins a cert punt pal·liar els efectes d'aquest problema.

Un dels mètodes és el ús del protocol FAMA (*floor acquisition multiple access*) el qual s'explica en l'article [9]. L'objectiu del protocol FAMA és la de garantir que una estació que té dades per enviar controlï el canal, el qual s'anomena *floor*, abans d'enviar qualsevol paquet de dades, i també la de garantir que cap paquet de dades col·lisió amb un altre en el receptor. Per tal d'aconseguir aquest objectiu el protocol FAMA utilitza la detecció de paquets o detecció de portadora i RTS/CTS a tres bandes (entre la AP i els altres dos nodes). La conclusió que extreuen en l'article [9] es que el protocol FAMA obté millors resultats en quant a *throughput* respecte a CSMA i ALOHA en el problema del *hidden node*, però no aconsegueix eliminar completament la interferència produïda pel node amagat.

En conclusió, no hi ha un mètode del tot útil per tal de solucionar els problemes dels nodes amagat i exposat ja que el problema i continua existint i només es pot alleugerir la pèrdua de paquets, una altre manera per a resoldre el problema (per tal de tenir més *throughput*) i de la qual es parlarà en el següent apartat és la creació de petites xarxes WLAN.

## 2.5 SR- WLANs

Com s'ha explicat en el apartat 2.2, l'estàndard 802.11ac aporta la coexistència de WLANs, un escenari on això pot passar i passa és a una llar domèstica on hi han molts dispositius amb xarxes mòbils i funcionant a un gran rendiment, com ara una televisió amb Internet, tablets i smartphones amb vídeos en alta definició, ordinadors descarregant-se arxius...la qual cosa provoca que amb les WLANs pensades fins ara la xarxa vagi lenta i els usuaris no puguin fer servir Internet tan ràpid com voldrien.

Per tal de combatre aquest problema, apareixen les xarxes Short WLANs, que són petites xarxes WLAN amb poc rang de cobertura però amb més potència, la qual cosa fa que siguin més ràpides en la transmissió de dades si s'està dintre del rang del punt



d'accés. La idea d'aquestes xarxes és de tenir-ne moltes de petites en una mateixa llar per tal utilitzar la potència de la xarxa el màxim sense interferències.

Les avantatges d'utilitzar aquest tipus de xarxes són que el *throughput* és major i la velocitat de les dades des del punt d'accés al host és més ràpida. Però també té inconvenients, ja que el problema del *hidden node* i continua existint degut a que xarxes més petites implica xarxes més juntes, on és molt possible que hi hagi nodes que no vegin a la resta i per tant provoquin interferències. Degut a que les Short WLANs han de coexistir amb altres SR-WLAN o amb WLANs que tenen un rang de potència tan gran que inclouen a les WLANs petites, però s'ha de comprovar si aquesta pèrdua de informació és major que en les altres solucions per a *hidden node*.

Un exemple de short WLAN seria el de la figura 9, on la SR-WLAN tindria un rang de cobertura més petit que una altre WLAN normal i per tant interferirien entre elles.

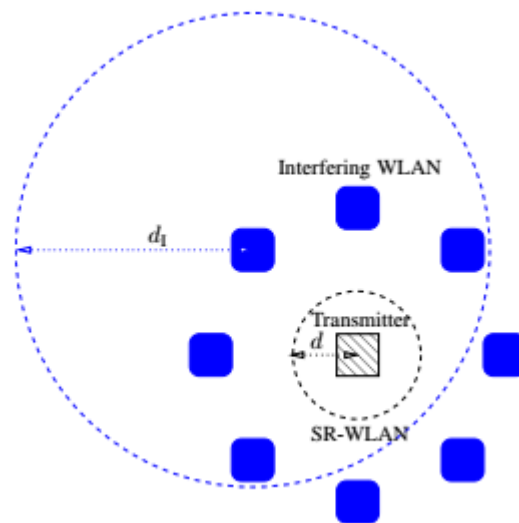


Figura 9. Exemple de xarxes SR-WLAN coexistent amb xarxes WLAN. Imatge obtinguda de [1]

## 2.5.1 Channel bonding SBCA

El *channel bonding* tal com es mostra en l'article [Bellalta] és una de les estratègies considerades a l'hora de pensar l'estàndard 802.11ac per tal de millorar les xarxes WLAN. Primer de tot, cal saber que el *channel bonding* consisteix en agrupar diversos canals per tal d'obtenir un amb més ample que permet obtenir més *throughput* i més taxa de transmissió.

Per tal de donar suport al *channel bonding* dintre de les WLAN hi ha dos tipus d'extensió basades en CSMA, la primera opció té un ample de banda dinàmic d'accés al canal, DBCA, i la segona té un ample de banda estàtic (SBCA). En el cas de les SR-WLANs estudiarem el protocol SBCA, aquest protocol utilitza un número finit de canals i necessita saber que tots aquests canals que utilitza estan buits abans d'enviar qualsevol transmissió.

Tal com es pot observar en la figura 10 el funcionament de SBCA comença quan el seu backoff arriba a zero, quan un node vol enviar algun paquet escolta que la WLAN estigui buida. Si esta buida durant un temps AIFS llavors s'espera un backoff determinat, que s'anirà decremant fins que arribi a zero i en aquest instant el node començarà a emetre usant tots els canals, si aquests estan lliures durant el període PIFS, si no ho estan es torna a repetir el procediment fins que es doni la circumstància idònia.

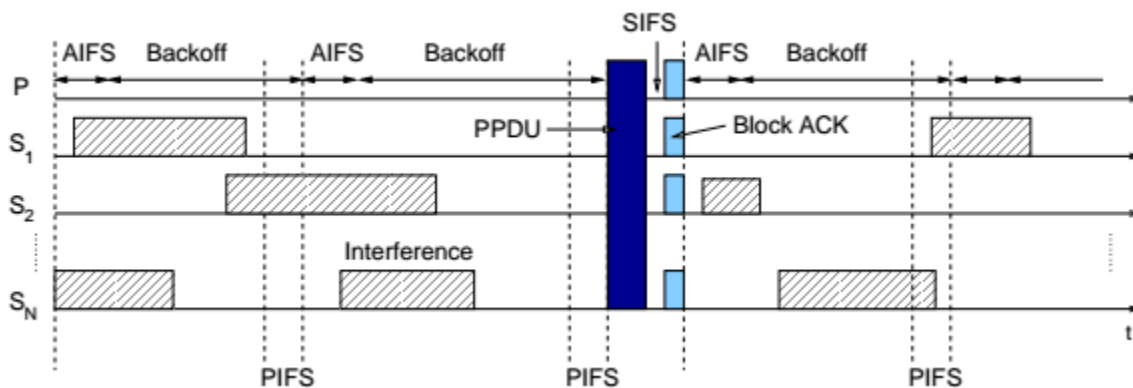


Figura 10. *Channel bonding* amb SBCA. Imatge obtinguda de [1]

## 2.6 Cel·les 5G

La demanda d'un Internet via WiFi més ràpid que l'actual així com que hi hagi més penetració de WLAN per tal d'estar sempre connectat són les causes de l'aparició de les xarxes 5G, ja que d'aquesta manera la tecnologia canvia per fer més fàcil l'ús d'aquesta per l'usuari.

Aquestes xarxes 5G el que aporten de nou és, tal i com s'explica en l'article [10], el poder tenir accés WiFi des de tots els punts (World Wide Wireless Web) així com reemplaçar les xarxes mòbils actuals per un estàndard basat en IPv6 per el control de vídeo, veu i paquets de dades. Aquesta tecnologia es basa en 4G però té més velocitat de transmissió, però abans de que es passi a la pràctica cal solucionar dos problemes importants que pateixen les cel·les 5G; un és el poc rang de cobertura que tenen i l'altre és que no tenen llibertat de moviment per tal d'anar a una altra tecnologia.

Els problemes apareixen alhora de trobar la freqüència idònia per la qual es mouran aquestes xarxes, ja que els primers estudis [11] revel·len que les ones transmises és cert que envien més informació de manera més veloç però que poden ser bloquejades per edificis, persones o qualsevol element que es trobi en la trajectòria de la transmissió. Per tant, les cel·les 5G han d'intentar tenir millors característiques que el 4G per tal de poder-ne implementar.

Per tal de veure les avantatges del 5G respecte el seu predecessor s'han realitzat molts estudis per determinar la viabilitat d'aquestes com intentar fer més viable la mobilitat d'aquestes cel·les i reduir les interferències [12][13], la qual cosa s'ha aconseguit amb l'ús de diferents punts de transmissió amb cobertura superposada i que provoca un ús flexible dels recursos del enllaç.

Aquesta tecnologia es preveu que comenci a aparèixer al 2020 quan tots els problemes explicats disminueixin ostensiblement per tal de facilitar l'ús del 5G. Per una altra banda, aquesta tecnologia es basa en xarxes SR-WLAN les quals tenen els mateixos

problemes, poc rang de cobertura i les interferències produïdes per la coexistència entre xarxes, així com el problema del *hidden node*.

### 3. Eina Omnet ++

L'eina *omnet++* és un programa que permet dissenyar, crear i desenvolupar simulacions de xarxes de telecomunicacions, per tant no és un simulador en sí sinó que dona les eines i la infraestructura adequades per a tal de crear simulacions. Aquesta eina que es pot trobar a la pròpia pàgina web: <http://www.omnetpp.org/> consta del kernel del simulador, una llibreria on estan totes les simulacions de cada component, d'una xarxa i de un GUI, o bé gràfic (tkenv) o bé amb text (cmdenv); i es pot executar tan a Windows com a Linux.

Per a fer-lo funcionar és necessari tenir un framework que permeti la simulació i per això tenim un seguit de possibilitats:

- INET: simulació de xarxes WiFi en l'espai, que conté models de xarxes WLAN i protocols d'aquestes xarxes.
- INETMANET: és una millora del framework INET per tal de poder aplicar-hi també sensors a les simulacions i serà l'utilitzat per a crear els escenaris.
- MiXiM: framework usat en simulacions de sensors al igual que INETMANET.
- Castalia: framework usat en la simulació de xarxes que generalment s'utilitza en dispositius integrats de baixa potència.
- Veins: framework utilitzat sobretot per la interacció de xarxes WiFi amb obstacles.

L'*omnet++* es basa en C++ i consta d'una arquitectura de components de models de simulació anomenats mòduls, i consisteix en connectar aquests mòduls entre sí que al compilar-los amb el programa adequat dona una xarxa de telecomunicacions real que permet mesurar el tràfic de paquets, dissenyar la xarxa, veure quina és la distribució de paquets en una xarxa WiFi...

L'arquitectura de OMNET++ basada en mòduls és el més important, ja que aquests mòduls es connecten entre sí mitjançant portes, tot i que també es poden usar ports, i es combinen per poder fer mòduls més complexos. Aquests mòduls es comuniquen entre sí a través de missatges, que tenen una estructura arbitrària, a través de rutes

predefinides usant portes i connexions o directament al seu destí en el cas de fer simulacions de xarxes sense fils. Per una altra banda, els mòduls estan programats en C++ i permeten parametritzar la topologia del model.

A la figura 11 es pot observar com funciona l'estructura de mòduls, on hi ha una xarxa que agrupa tots els mòduls de l'estructura, on cada mòdul per si mateix es un mòdul simple, però si s'agrupa amb un altre passa a ser un mòdul compost o complexe. Les fletxes mostren les comunicacions entre mòduls on a cada sortida i/o entrada de cada mòdul hi ha una porta des de on es connecta amb la resta.

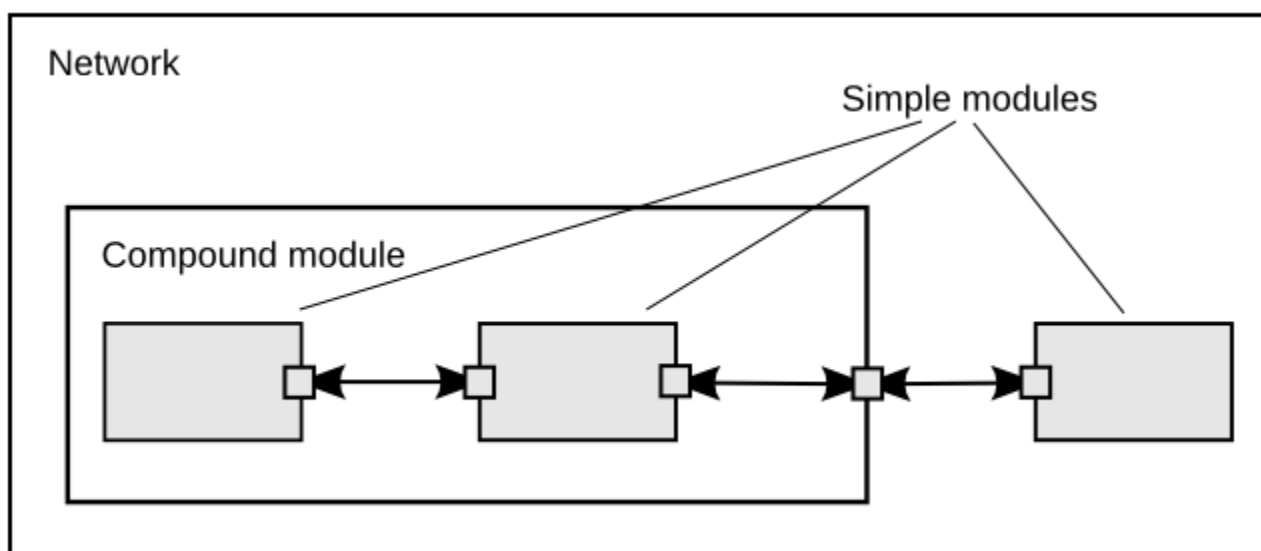


Figura 11. Els mòduls que componen una simulació de Omnet++ i les seves interaccions.

Els mòduls simples contenen algorismes com a funcions de C++ dels quals es pot usar el seu llenguatge de programació per modificar els mòduls segons la necessitat de la simulació usant les llibreries que ens proporciona OMNET ++. L'usuari pot usar amb total llibertat els conceptes d'orientació d'objectes i patrons de disseny per tal d'estendre les funcionalitats del simulador, així com també tots els objectes de simulació que han estat dissenyats per treballar junts de manera eficient.

### 3.1 Funcionalitat de Omnet++

Un cop que s'ha explicat com funcionen els mòduls d'OMNET++ cal saber com funciona OMNET++ al fer una simulació, com es construeixen i es compilen. L'eina es divideix en les següents parts:

- Arxius NED que descriuen l'estructura del mòdul amb paràmetres, portes i altres elements.
- Mòduls simples escrits en C++.
- Arxius amb la terminació .msg, definicions de missatges.

I al simular-ho obtenim:

- El Kernel de la simulació on està el codi en C ++ que s'ha de compilar i es pot modificar segons convingui.
- Les interfícies que rep el usuari al compilar la simulació, per una banda apareix el gràfic que mostra l'escenari descrit en el Kernel i on es poden veure les connexions entre cada element de la xarxa i com es mouen els paquets a través d'aquesta. Per altre banda, apareix una altre finestra on es mostra per pantalla els events, ja que Omnet++ no es basa en temps sinó en events, que són totes les operacions a nivell físic i MAC que es realitzen durant la simulació.
- Per una altre banda, quan acaba la finestra d'events, és a dir, la simulació es completa o bé perquè el temps simulat s'ha esgotat o la simulació ja ha comès el seu objectiu, es poden veure els resultats de la simulació o bé per escalars o bé per vectorials a la carpeta corresponent a la simulació que posa *results*.

### 3.2 Exemples amb Omnet++

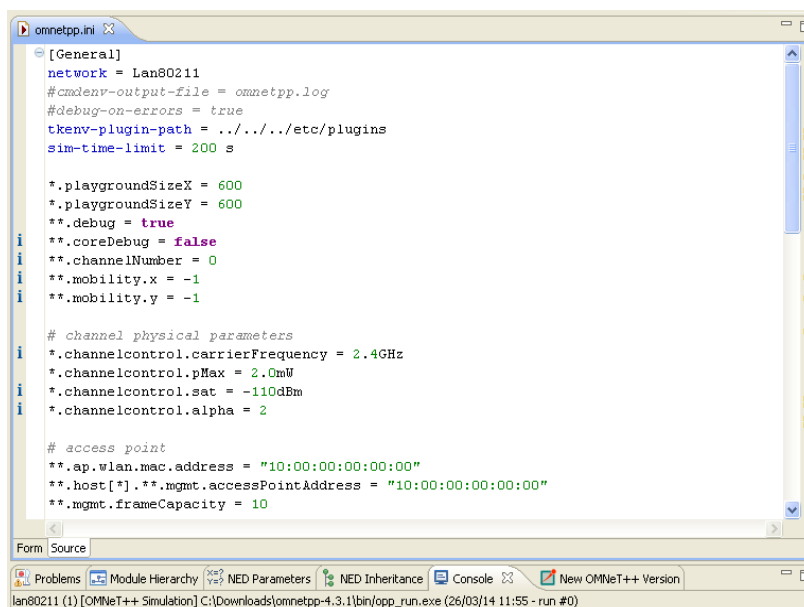
Per tal d'explicar com funciona Omnet++, en aquest apartat es mostraran dos exemples de simulació per tal de veure tots els elements d'aquesta eina. Aquests exemples

aniran relacionats amb les xarxes sense fils, primer es mostrarà un punt d'accés que dona Internet a 4 hosts i després un cas de *hidden node*.

### 3.2.1 CAS 1: AP envia missatges a 4 nodes

Primerament quan es fa una simulació en Omnet++ cal saber que és en el arxíu omnetpp.ini tenim el nom de la xarxa, el tamany del taulell on estaran els elements de la xarxa i si tenen mobilitat per anar movent-se mentre intercanvien informació, també està el temps límit de la simulació que en aquest cas, tal i com indica la comanda *sim-time-limit*, serà de 200 segons. Per tant, aquest és el element des del qual es crea la xarxa i tots els seus components i també des de on s'executa.

També es determina sobre quin estàndard es mourà la simulació, en aquests cas es farà una simulació per 802.11n, on es farà un ping de un AP a un host, i després pel 802.11ac, on la simulació consistirà en que cada host envii un paquet cap al punt d'accés. En els dos casos el arxíu gràfic serà el mateix, els canvis només afecten en l'arxíu omnet.ini i els resultats finals. El primer exemple és en 802.11n:



```
[General]
network = Lan80211
#cmdenv-output-file = omnetpp.log
#debug-on-errors = true
tkenv-plugin-path = ../../etc/plugins
sim-time-limit = 200 s

*.playgroundSizeX = 600
*.playgroundSizeY = 600
**.debug = true
i **.coreDebug = false
i **.channelNumber = 0
i **.mobility.x = -1
i **.mobility.y = -1

# channel physical parameters
i *.channelcontrol.carrierFrequency = 2.4GHz
i *.channelcontrol.pMax = 2.0mW
i *.channelcontrol.sat = -110dBm
i *.channelcontrol.alpha = 2

# access point
**.ap.wlan.mac.address = "10:00:00:00:00:00"
**.host[*].**.mgmt.accessPointAddress = "10:00:00:00:00:00"
**.mgmt.frameCapacity = 10
```

Figura 12. Arxíu omnetpp.ini des de on es creen els paràmetres de la simulació



Un cop executat s'obté aquest mateix escenari en un pla on es mostren tots els elements abans descrits i es poden veure com es van enviant paquets entre ells segons la configuració que li haguem donat tal com mostra la següent figura:

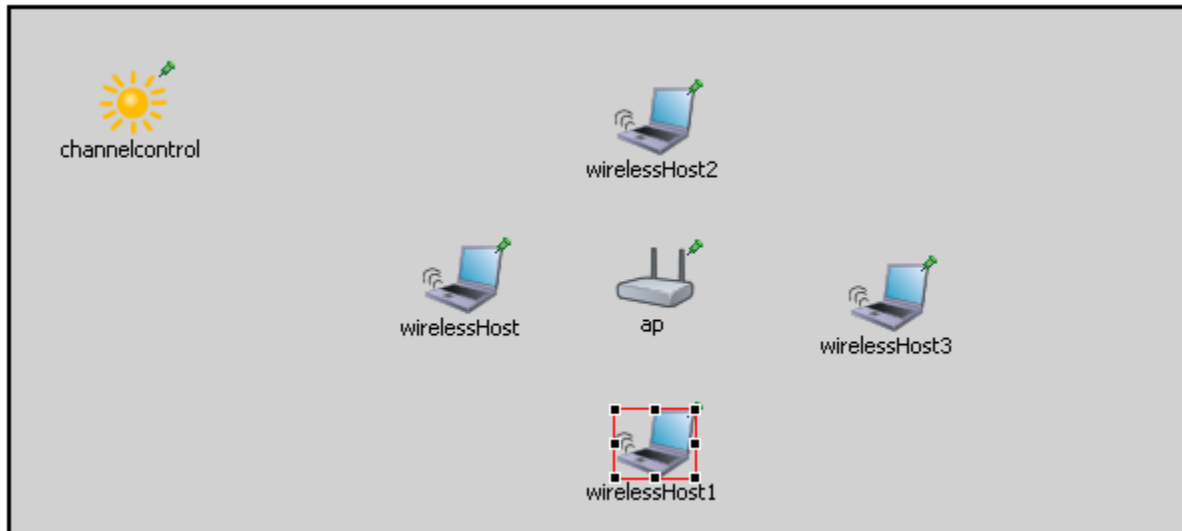


Figura 13. Arxiu .ned que surt per pantalla un cop fet la simulació

I tal i com s'ha explicat, Omnet++ està format per mòduls i la unió de diferents mòduls simples dóna mòduls complexos, i si cliquem en el host [1] de l'anterior figura veiem que dintre del host hi han més mòduls que permeten observar que passa dintre del ordinador, així com els seus components tal i com mostra la figura següent:

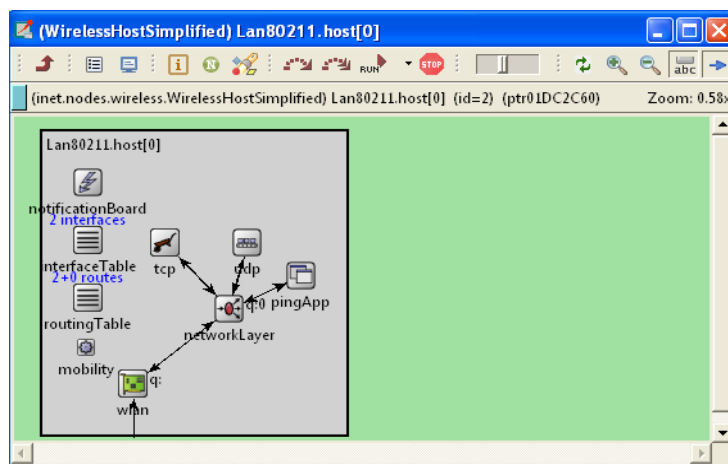


Figura 14. Components que hi ha dintre de cada host

En últim terme està la plataforma Tkenv que es la que mostra per pantalla que està fent la simulació a cada moment, tant a nivell físic com a mac. Per on es mouen els paquets i la informació que ofereixen. Així com el tamany de la cua, el període de backoff o el paquets rebuts i ens espera a la cua.

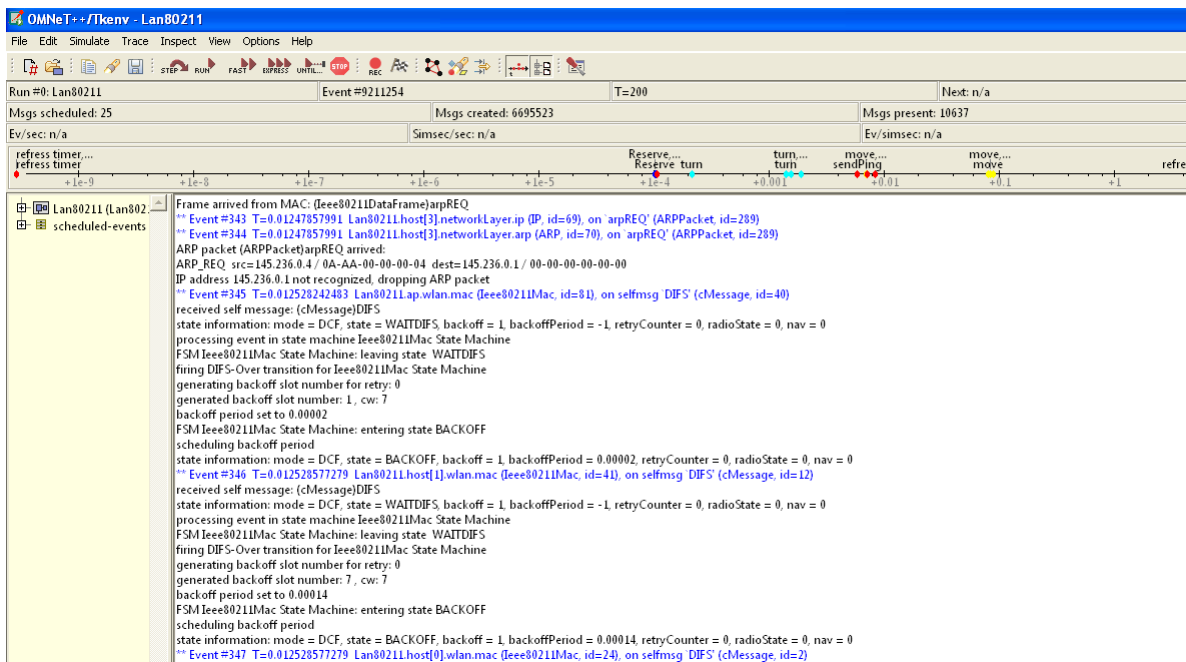


Figura 15. Arxivi tknev on es veuen en blau tots els events que van passant.

Al finalitzar la simulació en la carpeta *results* dintre de la simulació s'obtenen els resultats i des d'aquí es poden extreure gràfics com ara el percentatge entre paquets rebuts/enviats:

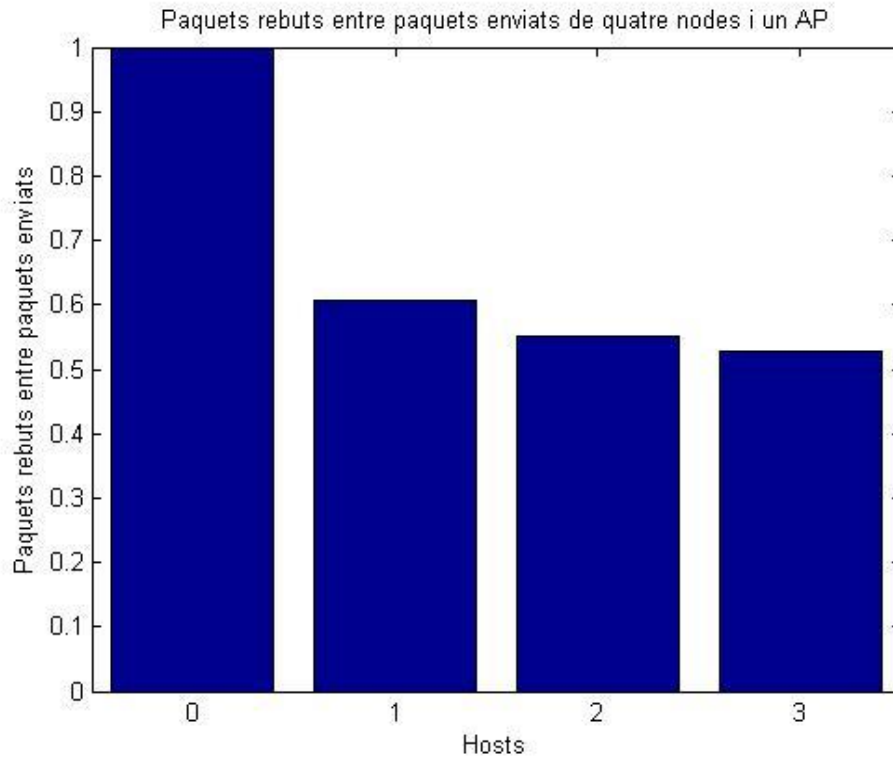


Figura 16. Paquets rebuts entre paquets enviats generat per cada node en la primera simulació.

Al gràfic es pot observar com el tràfic entre paquets rebuts i paquets enviats va disminuint segons el host, i podem extreure que com que la simulació consistia en una comunicació entre el AP i el host 0 tenint tres hosts més veiem que això es pot donar en un medi físic i aquesta simulació aporta que en el host 0 es reben 42745 paquets de 42752 enviats i per tant es perden només 8 paquets.

En el cas de la simulació per l'estàndard 802.11ac el valor dels paquets rebuts entre enviats és el mostrat a la figura 17, en aquesta simulació s'ha fet que els hosts enviïn un paquet a la AP per tal de saber quan hi ha col·lisions dintre d'un canal de 800 megabits per segon. A simple vista s'aprecia que a partir del segon host, la resta de host pateixen col·lisions en el seus paquets enviats.

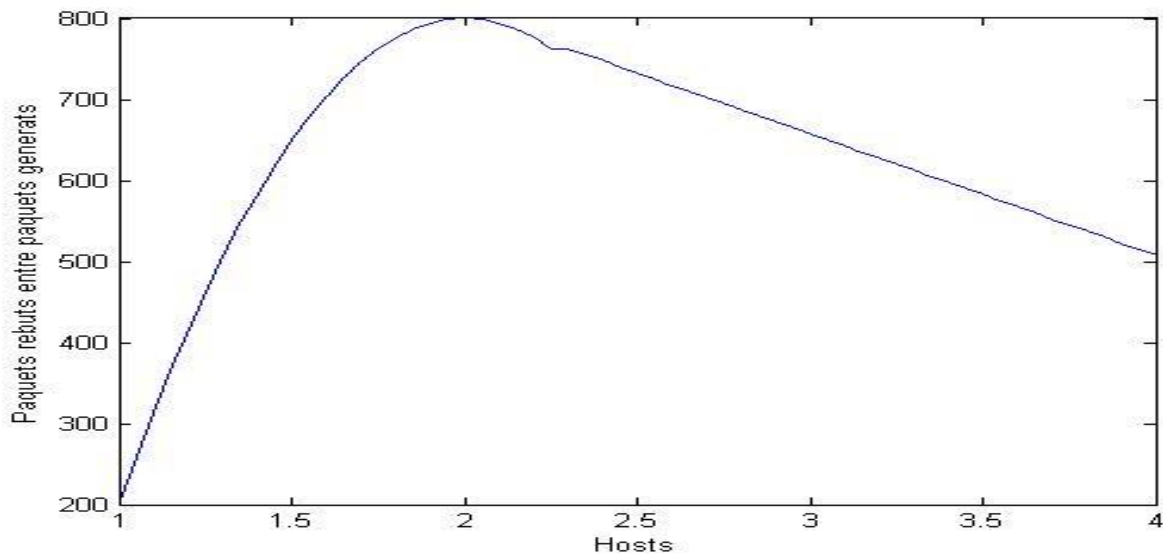


Figura 17. Paquets rebuts entre paquets generats per cada host al enviar paquets al punt d'accés.

Entre els dos estàndards el gran canvi que s'observa en l'Omnet++ és que el rang de cobertura del 802.11n és més gran que el del 802.11ac, així com la velocitat de transmissió és més ràpid en l'últim estàndard.

### 3.2.2 CAS 2: Hidden node

De la mateixa manera que el anterior exemple, la simulació consta del arxiu executable omnetpp.ini, dels dos arxius on es pot veure el intercanvi de paquets i de la carpeta on es mostren els resultats de manera escalar, vectorial i per histogrames.

Per aquest exemple es crea un arxiu on hi ha un punt d'accés que es comunica amb dos host veïns i aquests hosts no es veuen entre sí, i un host servidor que no és visible per ningun host però envia dades al AP. Els paràmetres per tal de fer la simulació són els de 802.11ac.

Un cop que es realitza l'execució del codi omnet.ini s'obté el resultat de forma gràfica en la figura [18] on s'aprecia l'intercanvi de paquets entre la AP i els altres nodes. Com

els nodes no es veuen entre sí, la teoria diu que el percentatge entre paquets rebuts i enviats ha de ser menor al del primer cas on cada node s'observa entre sí, i amb la simulació s'observarà si a la pràctica això és cert o no.

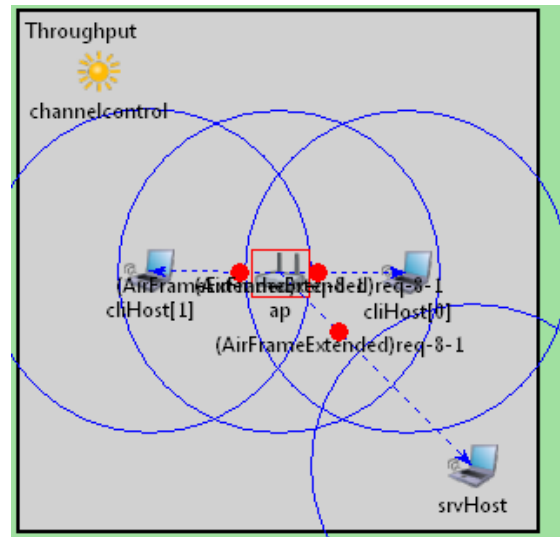


Figura 18. Simulació en l'omnet++ d'un exemple de hidden node on s'observa en vermell l'enviament de paquets realitzat.

Un cop acabada la simulació els resultats que surten per pantalla són els que mostra la figura 19 d'on extrèiem les dades que ens interessen, per tal de poder calcular el percentatge de paquets rebuts entre paquets enviats des de cada host per poder arribar a entendre la problemàtica del hidden node des d'una vessant pràctica.

**Browse Data**

Here you can see all data that come from the files specified in the Inputs page.

All (82 / 82) Vectors (18 / 18) Scalars (64 / 64) Histograms (0 / 0)

runID filter module filter statistic name filter

Folder	File name	Config name	R	Run id	Module	Name	Value
/inetma...	Throughput1-0-...	Throughput1	0	Throughput1-0-...	Throughput.cliHost[0].wlan...	numReceived	0.0
/inetma...	Throughput1-0-...	Throughput1	0	Throughput1-0-...	Throughput.cliHost[0].wlan...	numSentBroadc...	0.0
/inetma...	Throughput1-0-...	Throughput1	0	Throughput1-0-...	Throughput.cliHost[0].wlan...	numReceivedBr...	0.0
/inetma...	Throughput1-0-...	Throughput1	0	Throughput1-0-...	Throughput.cliHost[0].wlan...	numReceivedOt...	28909.0
/inetma...	Throughput1-0-...	Throughput1	0	Throughput1-0-...	Throughput.cliHost[0].wlan...	numCollision	253.0
/inetma...	Throughput1-0-...	Throughput1	0	Throughput1-0-...	Throughput.cliHost[0].wlan...	numGivenUp	0.0
/inetma...	Throughput1-0-...	Throughput1	0	Throughput1-0-...	Throughput.cliHost[0].wlan...	numAckSend	0.0
/inetma...	Throughput1-0-...	Throughput1	0	Throughput1-0-...	Throughput.cliHost[0].wlan...	numRetry	70130.0
/inetma...	Throughput1-0-...	Throughput1	0	Throughput1-0-...	Throughput.cliHost[1].cli	packets sent	398815.0
/inetma...	Throughput1-0-...	Throughput1	0	Throughput1-0-...	Throughput.cliHost[1].cli	packets rcvd	0.0
/inetma...	Throughput1-0-...	Throughput1	0	Throughput1-0-...	Throughput.cliHost[1].cli	end-to-end del...	0.0
/inetma...	Throughput1-0-...	Throughput1	0	Throughput1-0-...	Throughput.cliHost[1].cli	end-to-end del...	NaN
/inetma...	Throughput1-0-...	Throughput1	0	Throughput1-0-...	Throughput.cliHost[1].cli	end-to-end del...	0.0
/inetma...	Throughput1-0-...	Throughput1	0	Throughput1-0-...	Throughput.cliHost[1].cli	end-to-end del...	0.0
/inetma...	Throughput1-0-...	Throughput1	0	Throughput1-0-...	Throughput.cliHost[1].wlan...	packets receive...	398815.0
/inetma...	Throughput1-0-...	Throughput1	0	Throughput1-0-...	Throughput.cliHost[1].wlan...	packets droppe...	390041.0
/inetma...	Throughput1-0-...	Throughput1	0	Throughput1-0-...	Throughput.cliHost[1].wlan...	numSent	8762.0
/inetma...	Throughput1-0-...	Throughput1	0	Throughput1-0-...	Throughput.cliHost[1].wlan...	numSentWithou...	1.0
/inetma...	Throughput1-0-...	Throughput1	0	Throughput1-0-...	Throughput.cliHost[1].wlan...	numReceived	1.0
/inetma...	Throughput1-0-...	Throughput1	0	Throughput1-0-...	Throughput.cliHost[1].wlan...	numSentBroadc...	0.0
/inetma...	Throughput1-0-...	Throughput1	0	Throughput1-0-...	Throughput.cliHost[1].wlan...	numReceivedBr...	0.0
/inetma...	Throughput1-0-...	Throughput1	0	Throughput1-0-...	Throughput.cliHost[1].wlan...	numReceivedOt...	28902.0

Figura 19. Arxiu .anf des de on s'extreuen els resultats de la simulació.

Amb els resultats que ens donen per pantalla usem qualsevol programa que pugui fer gràfics, en aquest cas Matlab, i posem els valor del tràfic entre paquets rebuts i els enviats:

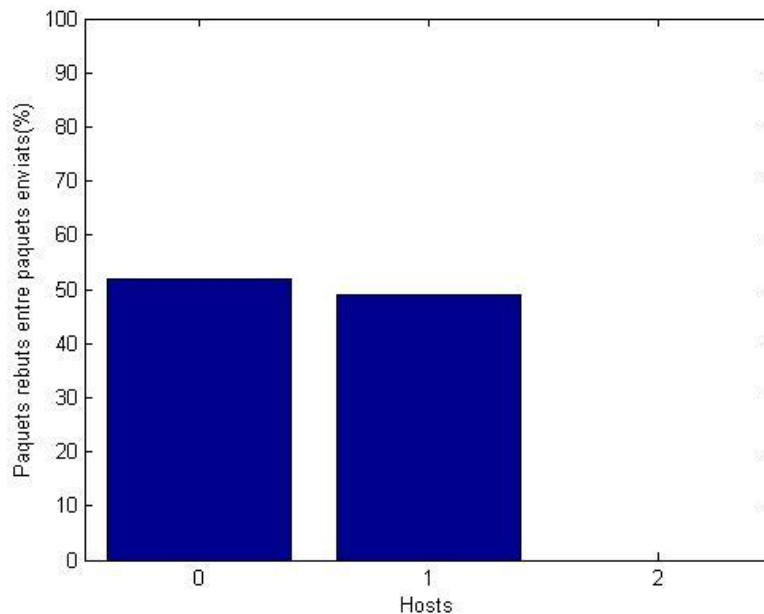


Figura 20. Resultats de paquets rebuts entre enviats per a cada host

D'aquests resultats s'observa un resultat de paquets rebuts entre enviats molt baix comparat a quan tots els nodes es veuen entre sí, és a dir es perd molta més informació que en el cas 1, el primer node només rep un 52% dels paquets enviats, mentre que el host[1] rep un 49% i el node que no es vist per cap dels altres hosts té un percentatge de paquets rebuts entre enviats de 0%, com es obvi. Amb aquestes dades es pot afirmar que el problema del hidden node a la pràctica provoca moltíssima pèrdua d'informació així com també interferències amb els nodes que no es veuen.





## 4. Coexistència entre xarxes SR-WLAN, entre sí i amb altres WLAN

En aquest apartat s'explicaren les simulacions que s'han fet així com els resultats d'aquests experiments que ajudaran a determinar si les SR-WLAN són útils dintre de la societat de la informació d'avui en dia, i en cas que així sigui, si poden coexistir amb les xarxes WLAN de les quals fem ús ara mateix i que utilitzen l'estàndard 802.11n.

Aquest capítol està dividit en la introducció del escenari d'estudi i els resultats que es desprenguin alhora de fer les simulacions. Els primers exemples són les primeres proves de xarxes short-WLAN que s'han anat aproximant al escenari que es volia estudiar i per últim la simulació amb coexistència de xarxes WLAN.

### 4.1 Mesures/Valors usats

El primer pas alhora de crear el escenari d'estudi és assentar les bases de amb quins valors es realitzaren les proves, ja que segons el estàndard que s'utilitzi amb les xarxes WLAN el rang d'activitat dels nodes, la velocitat de transmissió i la potència a la que s'emet pot variar.

Per aquest estudi s'ha decidit que l'estàndard apropiat per a les simulacions sigui el 802.11ac ja que el rang d'acció és més petit però més potent i concorda amb les característiques que una SR-WLAN ha de tenir.

Les característiques que s'entraren per a crear les short-WLAN són les següents:

```
# nic settings
**.mac.address = "auto"
**.mac.maxQueueSize = 150
**.mac.rtsThresholdBytes = 3000B
```

```
** .mac.bitrate = 2Mbps
** .wlan.mac.retryLimit = 7
** .wlan.mac.cwMinData = 7
** .wlan.mac.cwMinBroadcast = 31

** .radio.bitrate = 2Mbps
** .radio.transmitterPower = 2.0mW
** .radio.carrierFrequency = 5GHz
** .radio.thermalNoise = -110dBm
** .radio.sensitivity = -85dBm
** .radio.pathLossAlpha = 2
** .radio.snirThreshold = 4dB

* .channelcontrol.carrierFrequency = 5GHz
* .channelcontrol.pMax = 2.0mW
* .channelcontrol.sat = -110dBm
* .channelcontrol.alpha = 2
```

## 4.2 Escenari a estudiar

L'escenari a estudiar es basa en una possible distribució en una llar amb xarxes SR-WLAN on des del punt que dóna accés a Internet al domicili s'aniran desplegant petits punts d'accés usant el cable principal fins que es doni cobertura a tota la casa. La idea és que d'aquesta manera hi hagi Internet a tot arreu per tal de que els dispositius mòbils estiguin sempre comunicats i amb la millor potència possible. Un exemple d'aquest escenari és el descrit a la figura 21 on cada dispositiu amb connexió WiFi de la casa, (SmartTV, smartphones, ordinadors portàtils...) té accés a un punt de connexió el qual es mostra en vermell.

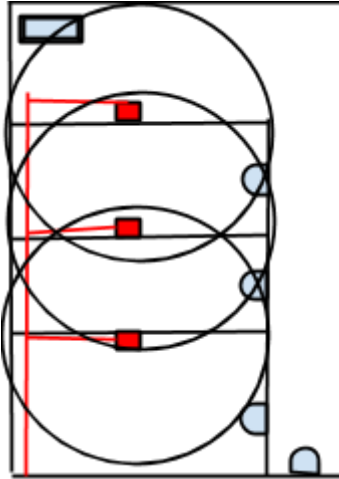


Figura 21. Escenari de les xarxes SR-WLAN en una llar.

El segon escenari es basa en la coexistència d'aquesta xarxa short-WLAN, amb una convencional que s'ha pensat que representi el veí del costat d'aquesta llar per veure els problemes que es tindrien dintre d'un edifici.

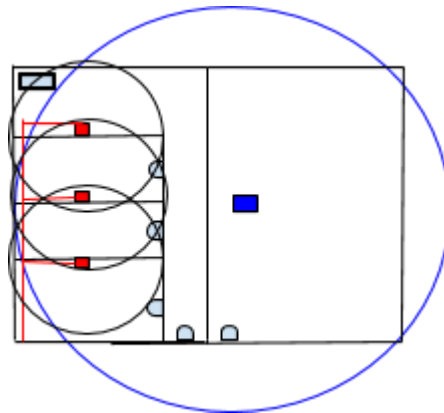


Figura 22. Escenari de les xarxes SR-WLAN en una llar amb coexistència d'una WLAN convencional.

Aquesta és la idea sobre la qual es mou el treball tot i que alhora de definir la simulació s'explicaren totes les possibles situacions de com es poden disposar les xarxes short-WLAN en l'espai per tal de determinar quines són més efectives i que tenen menys interferències per tal de adaptar-les a una llar.

### 4.2.1 CAS 1

El primer cas de les xarxes Short WLAN és el cas més optimista, on hi han dos xarxes que no es veuen entre si, i cada xarxa té el seu propi punt d'accés que rep els paquets dels seus respectius hosts. Aquests hosts estan representats en vermell en SR-WLAN 1 i en groc en SR-WLAN2 i es veuen entre sí, per tant, en teoria, el problema del *hidden node* no afecta a aquesta simulació.

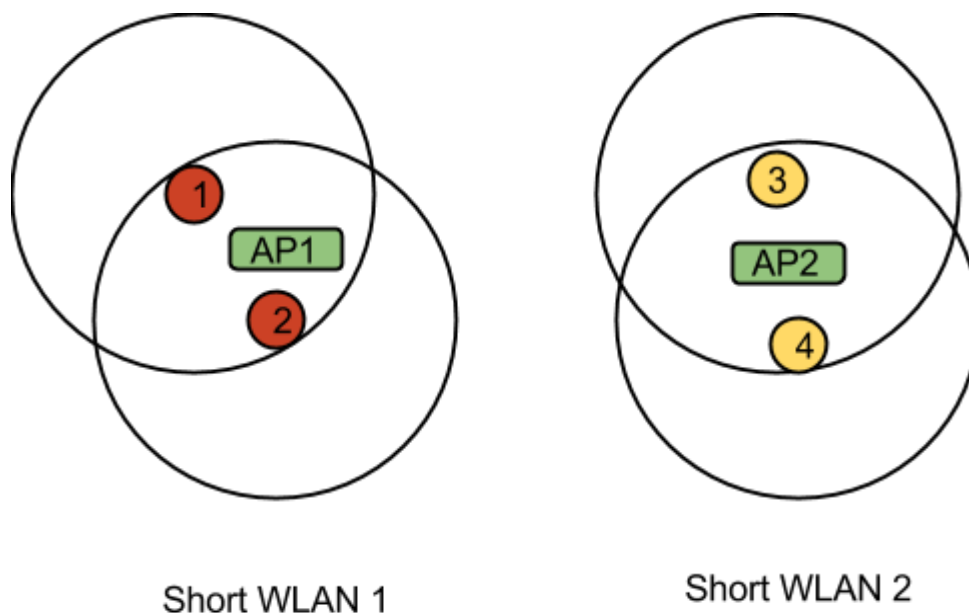


Figura 23. Possible situació de les xarxes SR-WLAN, cadascuna amb dos host que envien a un AP i separades totalment.

En aquest primer cas s'espera que la simulació respongui de la següent manera, els host 1 i 3 s'esperaren un back-off i després començaren a enviar paquets als seus respectius punts d'accés. Quan acabin d'enviar s'esperaren un temps determinat i llavors seran els hosts 2 i 4 els que començaren a emetre paquets cap als AP 1 i 2 respectivament de la mateixa manera que els dos primers hosts. Donat que les xarxes no es sol-lapen entre elles, no existeixen problemes de coexistència i cada xarxa actua independent a l'altre.

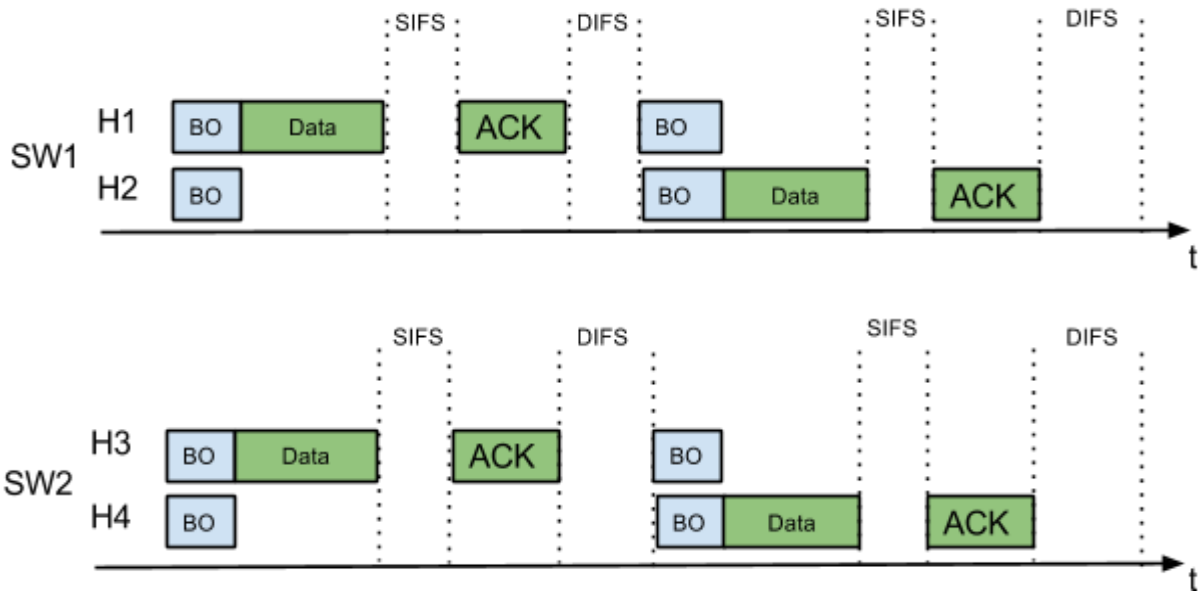


Figura 24. Possible evolució temporal dels paquets de dades en el cas 1.

Un cop que s'estableix la teoria del cas és l'hora de contrastar-ho amb la pràctica a veure si es compleix el que s'ha explicat. Per tant es passa a disposar els elements amb l'omnet++ seguint l'estructura ideal per cada cas:

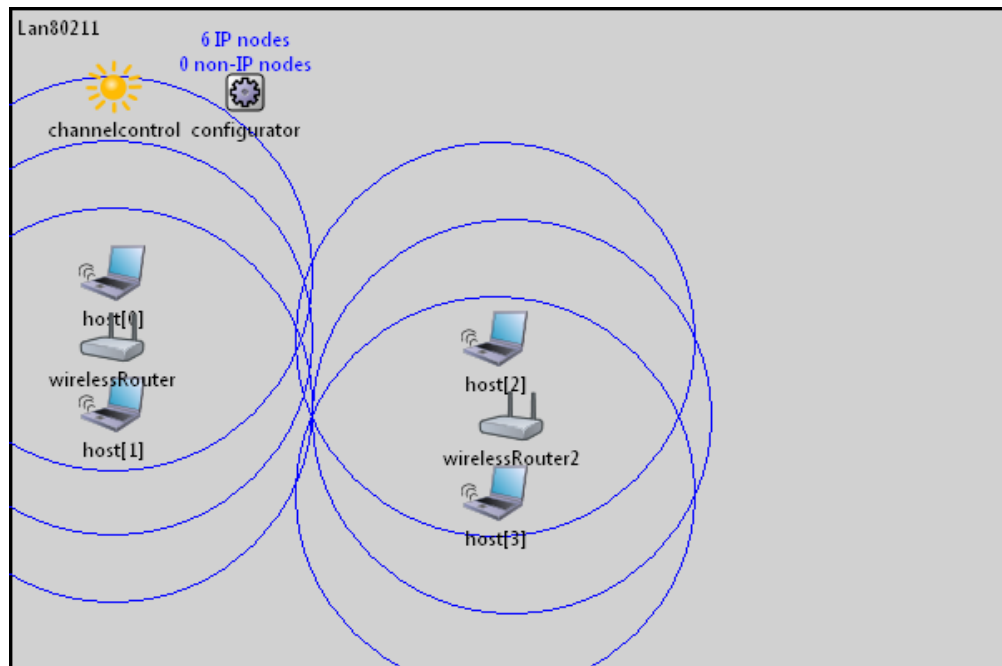


Figura 25. Situació del cas 1 passat al Omnet++.

Cada estació envia paquets de 1000 Bytes al wirelessRouter corresponent fins que s'acaba el temps descrit o s'esgota l'ample de banda, en aquest cas la simulació es compleix de manera correcta tardant 124 segons en enviar i rebre tota la missatgeria i els dos punts d'accés reben tots els paquets enviats, ja que a la carpeta de resultats de la simulació es veu que els 200 paquets enviats per cada node arriben al seu respectiu AP.

/inetma...	Ping1-0.sca	Ping1	0	Ping1-0-201405...	Lan80211.host[0].wlan.mac	numReceived	0.0
/inetma...	Ping1-0.sca	Ping1	0	Ping1-0-201405...	Lan80211.host[1].wlan.mac	numReceived	0.0
/inetma...	Ping1-0.sca	Ping1	0	Ping1-0-201405...	Lan80211.host[2].wlan.mac	numReceived	0.0
/inetma...	Ping1-0.sca	Ping1	0	Ping1-0-201405...	Lan80211.host[3].wlan.mac	numReceived	0.0
/inetma...	Ping1-0.sca	Ping1	0	Ping1-0-201405...	Lan80211.wirelessRouter.wl...	numReceived	400.0
/inetma...	Ping1-0.sca	Ping1	0	Ping1-0-201405...	Lan80211.wirelessRouter2....	numReceived	400.0
/inetma...	Ping1-0.sca	Ping1	0	Ping1-0-201405...	Lan80211.host[0].wlan.mac	numSent	200.0
/inetma...	Ping1-0.sca	Ping1	0	Ping1-0-201405...	Lan80211.host[1].wlan.mac	numSent	200.0
/inetma...	Ping1-0.sca	Ping1	0	Ping1-0-201405...	Lan80211.host[2].wlan.mac	numSent	200.0
/inetma...	Ping1-0.sca	Ping1	0	Ping1-0-201405...	Lan80211.host[3].wlan.mac	numSent	200.0
/inetma...	Ping1-0.sca	Ping1	0	Ping1-0-201405...	Lan80211.wirelessRouter.wl...	numSent	0.0
/inetma...	Ping1-0.sca	Ping1	0	Ping1-0-201405...	Lan80211.wirelessRouter2....	numSent	0.0

Figura 26. Resultats en paquets rebuts i enviats del cas 1.

Per una altre banda, en la pestanya de tknev, que és on es mostren tots els events de la simulació, es pot observar que esta passant a cada moment en l'enviament i rebuda de paquets. En aquest cas, OMNET++ pren que les dues xarxes és una de sola, ja que és un sol mòdul, i per tant comença enviant paquets pel host[0] i continua en ordre fins arribar al últim.

D'aquesta manera la representació de com s'envien els paquets és idèntica a la descrita però primer s'executa la SR-WLAN1 i després la SR-WLAN2.

En un espai físic normal les xarxes es comportarien de manera autònoma i no dependrien una del altre, ja que no comparteixen cap element de la xarxa. D'aquesta manera l'escenari descrit és viable i les xarxes només dependrien de sí mateixes, per tant un conjunt de xarxes que no es sol-lapin entre sí podria comportar bons resultats i un model de SR-WLAN òptim.

## 4.2.2 CAS 2

El segon cas a les xarxes SR-WLAN és aquell on un host de la xarxa SR-WLAN 1 i un de la xarxa SR-WLAN 2 es veuen entre sí, és a dir, estan dintre del mateix rang de cobertura. No obstant, veuen el altre host de la seva mateixa xarxa i per tant el problema del *hidden node* no existeix amb nodes de la mateixa SR-WLAN però sí amb l'altre.

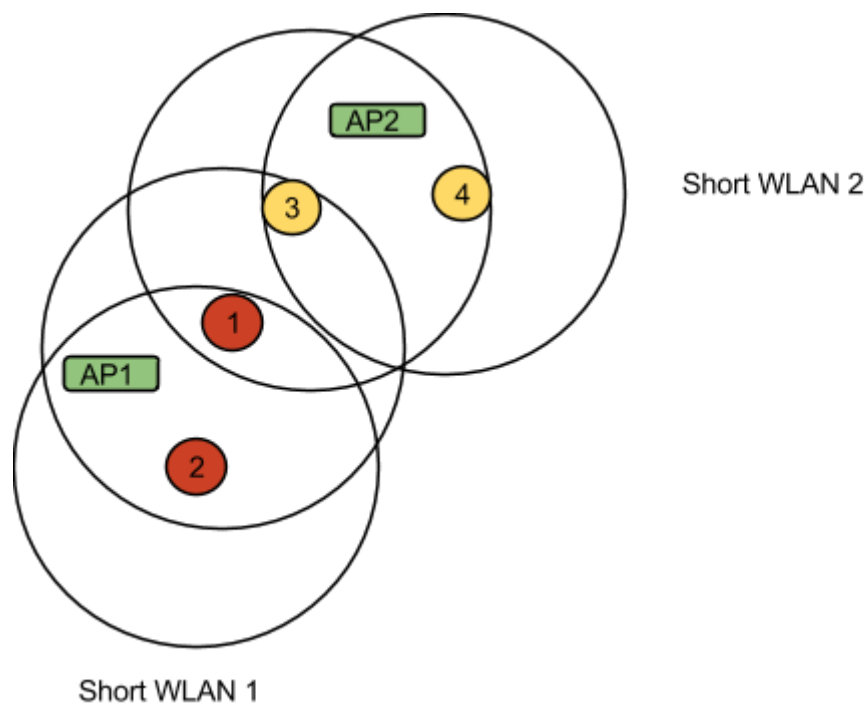


Figura 27. Disposició de les xarxes SR-WLAN en el cas 2, es sol·lapen de tal manera que dos nodes de xarxes diferents es veuen entre sí.

L'únic problema que es pot generar en aquest cas és quan el node 1 està emetent, el node 3 detecta que la xarxa està ocupada i per tant no emet res cap al punt d'accés número 2, la qual cosa fa que hi hagin moments on els punts d'accés siguin ineficaços.

En aquest cas com són xarxes independents, el node 1 i el node 3 s'esperen un temps de backoff inicial, passat aquest temps i veient que la xarxa està buida un dels dos

començarà a enviar paquets. Com estan en xarxes diferents i s'observen, un dels nodes estarà esperant mentre l'altre envii informació. D'aquesta manera, quan el node 1 vagi a enviar tindrà que veure si els nodes 2 i 3 estan enviant informació, d'igual manera, si el node 3 vol emetre tindrà que veure si el canal que comparteix amb els nodes 1 i 4 està buit o no.

Per una altra banda, el node 2 només tindrà que esperar que el node 1 no estigui emetent per enviar informació, mentre que el node 4 tindrà que fer el mateix amb el node 3. Per tant hi hauran dos casos, quan emetin els nodes 1 o 3 que afectarà a tot l'escenari, i quan ho facin el 2 i el 4, els quals podran emetre a la vegada ja que són independents entre ells.

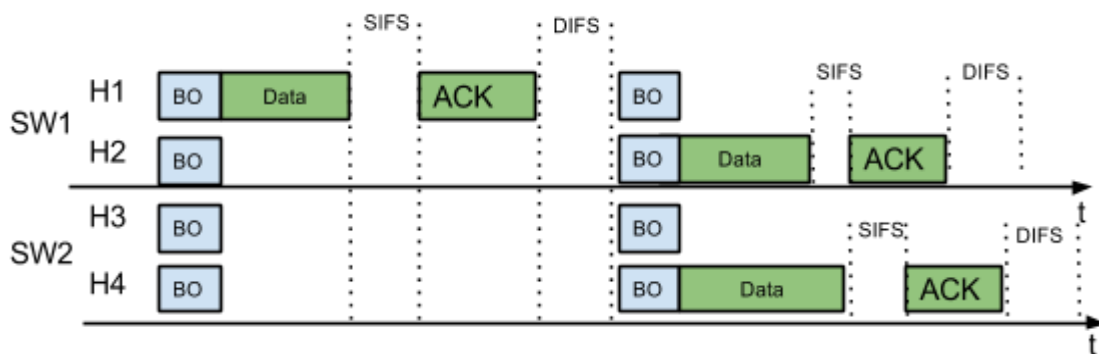


Figura 28. Previsió de la evolució temporal dels paquets en el cas 2.

De la mateixa forma que en el primer cas, s'executa la xarxa final amb el omnet++ per poder obtenir resultats de com es comportarà aquesta xarxa en un espai físic normal. Cal dir que tot i que a la simulació s'observa que el punt d'accés número 2 intercedeix amb el host[0] no preocupa alhora del enviament de paquets, ja que l'AP només rep i no envia missatges.



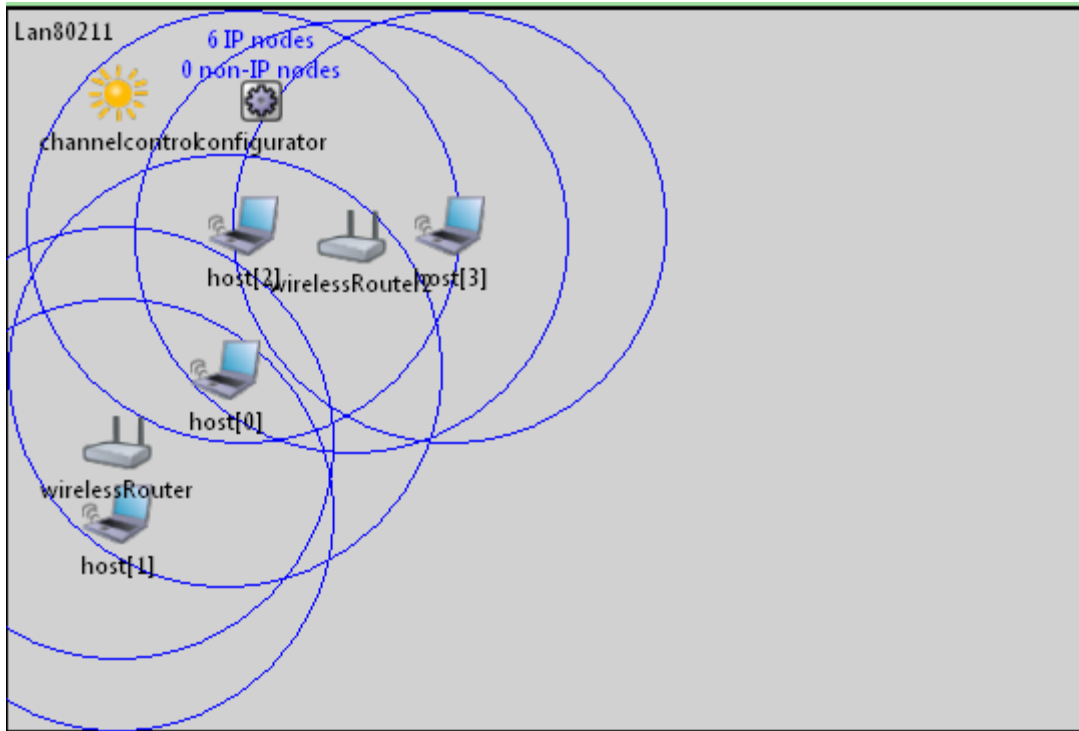


Figura 29. Cas 2 simulat en Omnet++.

D'igual manera que en el primer cas, s'envien tots els paquets que té la simulació dintre del temps estipulat, però aquesta vegada es tarden 168 segons en fer tota la simulació i, n'hi han paquets que han petit col·lisió tal i com s'observa en la carpeta results.

/inetma...	Ping1-0.sca	Ping1	0	Ping1-0-201405...	Lan80211.host[0].wlan.mac	numReceived	0.0
/inetma...	Ping1-0.sca	Ping1	0	Ping1-0-201405...	Lan80211.host[1].wlan.mac	numReceived	0.0
/inetma...	Ping1-0.sca	Ping1	0	Ping1-0-201405...	Lan80211.host[2].wlan.mac	numReceived	0.0
/inetma...	Ping1-0.sca	Ping1	0	Ping1-0-201405...	Lan80211.host[3].wlan.mac	numReceived	0.0
/inetma...	Ping1-0.sca	Ping1	0	Ping1-0-201405...	Lan80211.wirelessRouter.wl...	numReceived	400.0
/inetma...	Ping1-0.sca	Ping1	0	Ping1-0-201405...	Lan80211.wirelessRouter2....	numReceived	400.0
/inetma...	Ping1-0.sca	Ping1	0	Ping1-0-201405...	Lan80211.host[0].wlan.mac	numCollision	9.0
/inetma...	Ping1-0.sca	Ping1	0	Ping1-0-201405...	Lan80211.host[1].wlan.mac	numCollision	15.0
/inetma...	Ping1-0.sca	Ping1	0	Ping1-0-201405...	Lan80211.host[2].wlan.mac	numCollision	14.0
/inetma...	Ping1-0.sca	Ping1	0	Ping1-0-201405...	Lan80211.host[3].wlan.mac	numCollision	12.0
/inetma...	Ping1-0.sca	Ping1	0	Ping1-0-201405...	Lan80211.wirelessRouter.wl...	numCollision	1.0
/inetma...	Ping1-0.sca	Ping1	0	Ping1-0-201405...	Lan80211.wirelessRouter2....	numCollision	14.0

Figura 30. Resultats de la simulació del cas 2.

Per tant, al haver-hi col·lisió de paquets entre hosts, aquests dos nodes reben un NACK confirmant que el punt final no ha rebut res, s'esperen un backoff més gran que l'inicial i llavors tornen a enviar la informació. Com s'observa en els resultats el punt

d'accés més afectat per pèrdua de paquets és el AP2 degut a que el node 3 al intercedir en la xarxa veïna provoca que la xarxa 2 no funcioni com tindria que fer-ho.

La conclusió amb aquest model de xarxa és que, tot i que compleix a l'hora de rebre i enviar paquets amb poques pèrdues de paquets, ho fa de manera més lenta degut a que existeix un problema de *exposed node*, fent ineficaç el propòsit de ser xarxes més ràpides que les convencionals ja que estan més a prop del punt d'accés.

### 4.2.3 CAS 3

Un altre cas, que es podria classificar com a pessimista, és el d'una xarxa short WLAN, on les dues xarxes es sol·lapen i d'aquesta manera un host és visible pels dos punt d'accés. A més en cada xarxa SR WLAN independent els nodes de la xarxa no es veuen entre sí, creant-se d'aquesta manera el problema del *hidden node*.

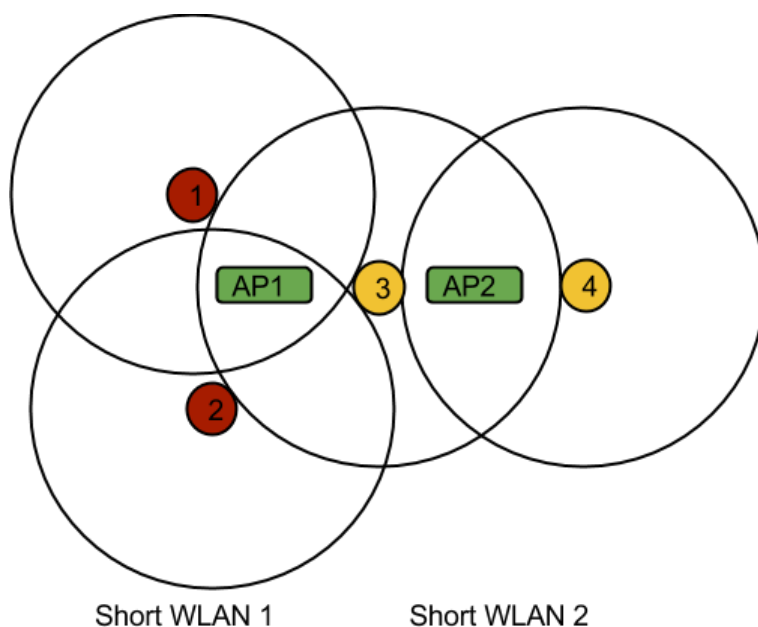


Figura 31. Cas 3 on un node d'una xarxa interacciona amb el punt d'accés de la xarxa veïna. En aquest cas cap node veu el seu veí de xarxa provocant-se el problema de *hidden node*.

El principal problema d'aquesta xarxa és que com els nodes de cada xarxa no s'observen entre sí, al acabar els seus respectius backoff pensaren que la xarxa està buida i enviaren la informació, provocant d'aquesta manera col·lisions. Per una altre banda, com el host 3 està emetent a la mateixa freqüència que els altres nodes de la xarxa SR-WLAN 1, quan aquest enviï paquets cap el AP2 també estarà creant interferències amb el AP1 provocant col·lisions amb la xarxa veïna.

Per tant, poden passar tres casos diferents de *hidden node*, un per cada SR-WLAN i l'altre pel conjunt del escenari.

En SR-WLAN 1 quan al node 1 se li esgoti el temps de backoff inicial començarà a emetre, d'igual manera el node 2 quan acabi el seu BO al veure que la xarxa està buida, ja que no observa al altre node, també enviarà paquets al punt d'accés 1 provocant d'aquesta manera una col·lisió. Al veure que no s'ha rebut un ACK de confirmació, s'esperaren un altre temps de backoff i tornaren a emetre.

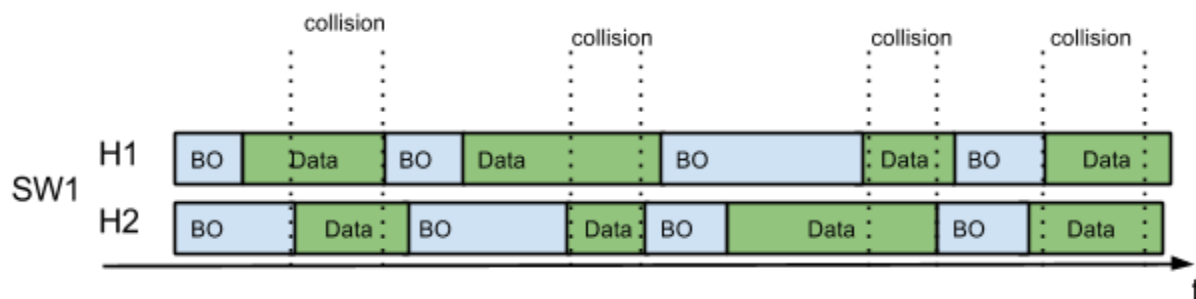


Figura 32. Previsió de l'evolució temporal entre els nodes 1 i 2 en el cas 3.

En SR-WLAN 2 passarà d'igual forma, quan el node 3 se li acabi el backoff emetrà la informació, i a la vegada el node 4 el veure que el canal està lliure també enviarà missatges la qual cosa farà que es produeixin col·lisions.

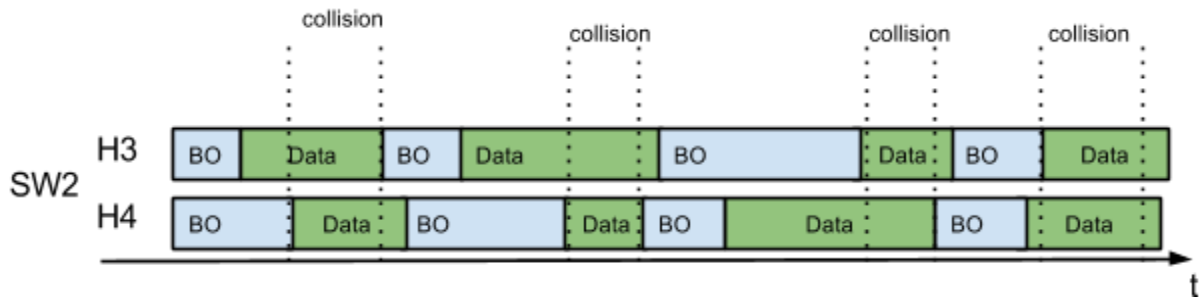


Figura 33. Previsió de l'evolució temporal dels nodes 3 i 4 en el cas 3.

En el conjunt del escenari el que passarà és que cada xarxa per separat col·lisionarà degut al problema del node amagat i també s'ha de tenir en compte que cada cop que el node 3 emeti, es produirà col·lisió en SR-WLAN 1.

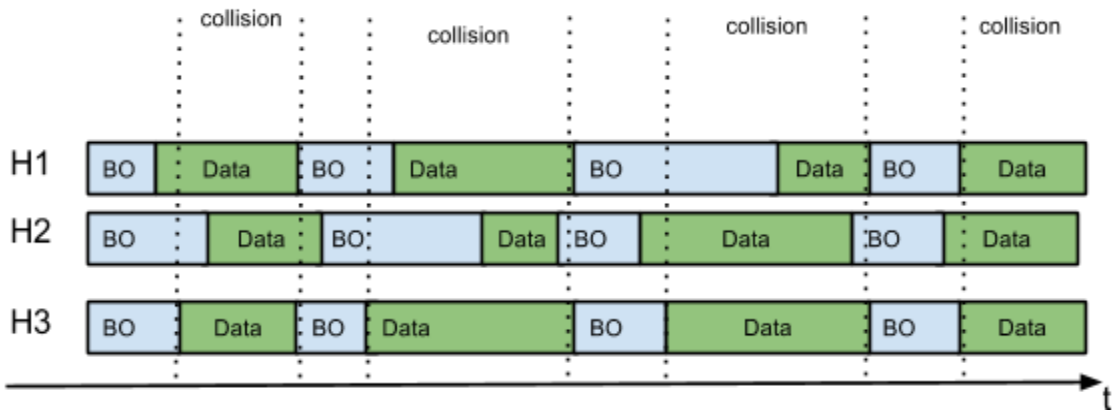


Figura 34. Previsió de l'evolució temporal entre els nodes 1,2 i 3 en el cas 3.

Alhora de simular aquest cas queda situat de la forma que s'observa en la figura 35, cal dir que tot i que els punt d'accés es sol·lapen amb ambdues xarxes aquest fet afecta al resultat final, ja que és cert que els AP només reben paquets però alhora d'enviar els ACK de confirmació poden patir col·lisions.

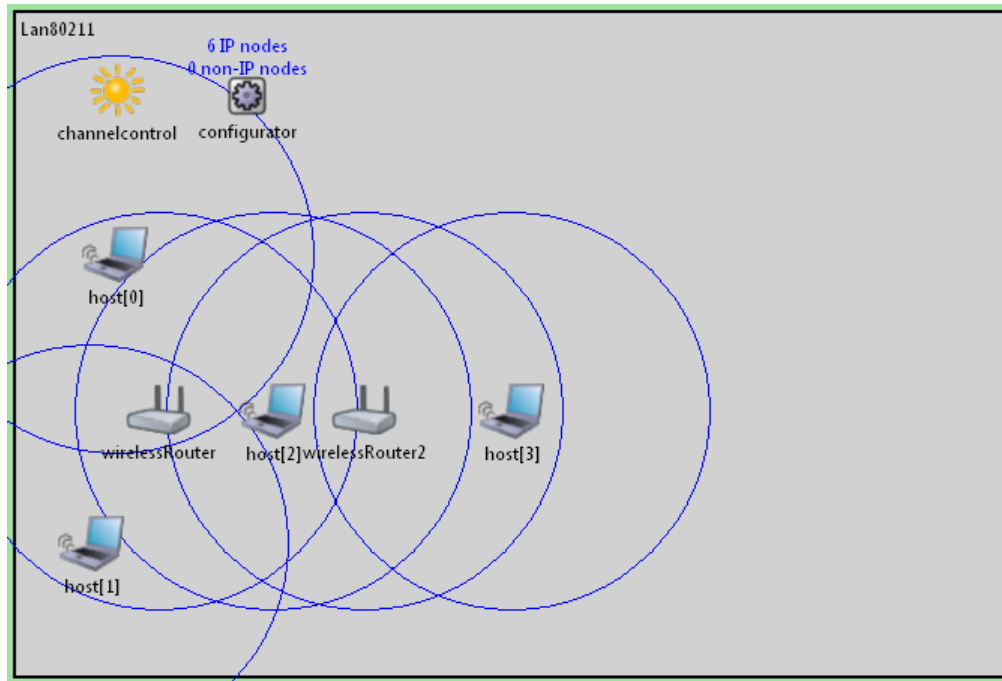


Figura 35. Situació de tots els dispositius del cas 3 en la simulació de Omnet++

Al executar la simulació el que es pot observar en el arxíu tknev és la successió de paquets que es van intercanviant entre els hosts, en aquest cas la simulació s'esgota als 200 segons sense que s'hagin enviat tots els paquets degut a les col·lisions.

/inetma...	Ping1-0.sca	Ping1	0	Ping1-0-201405...	Lan80211.host[0].wlan.mac	numCollision	25.0	
/inetma...	Ping1-0.sca	Ping1	0	Ping1-0-201405...	Lan80211.host[1].wlan.mac	numCollision	14.0	
/inetma...	Ping1-0.sca	Ping1	0	Ping1-0-201405...	Lan80211.host[2].wlan.mac	numCollision	11.0	
/inetma...	Ping1-0.sca	Ping1	0	Ping1-0-201405...	Lan80211.host[3].wlan.mac	numCollision	16.0	
/inetma...	Ping1-0.sca	Ping1	0	Ping1-0-201405...	Lan80211.wirelessRouter.wl...	numCollision	5.0	
/inetma...	Ping1-0.sca	Ping1	0	Ping1-0-201405...	Lan80211.wirelessRouter2....	numCollision	9.0	

Figura 36. Resultat de les col·lisions en el cas 3.

Per tant, els paquets enviats del host[0] són 123, del host[1] 143, 147 del host[2] i 142 del host[3]; el que fa que un 12% dels paquets es perdi la qual cosa indica que la previsió anterior es poc acurada degut a la relativa poca quantitat de paquets perduts en aquest interval tenint en compte el problema del *hidden node* i les interferències entre xarxes provocades pel host[2].

Amb aquestes dades a la mà i amb el gràfic de tknev el gràfic de l'evolució temporal s'inicia al instant que el host [2] se li esgota el backoff i comença a enviar paquets,

durant l'enviament de paquets d'aquest node als altres se'ls hi esgota el backoff i comencen a enviar paquets el que provoca col·lisions. Quan els punts d'accés no reben cap informació envien un NACK els seus respectius hosts per indicar que no s'ha transmès el missatge correctament i per tant tots els host tornen a començar amb un nou backoff, aquesta vegada més gran que l'anterior, i torna a passar el mateix, un node se li esgota el backoff i a la resta li passa el mateix i torna a haver-hi col·lisions. Això passarà fins un moment que el backoff sigui tan gran que s'enviaren els paquets sense problemes.

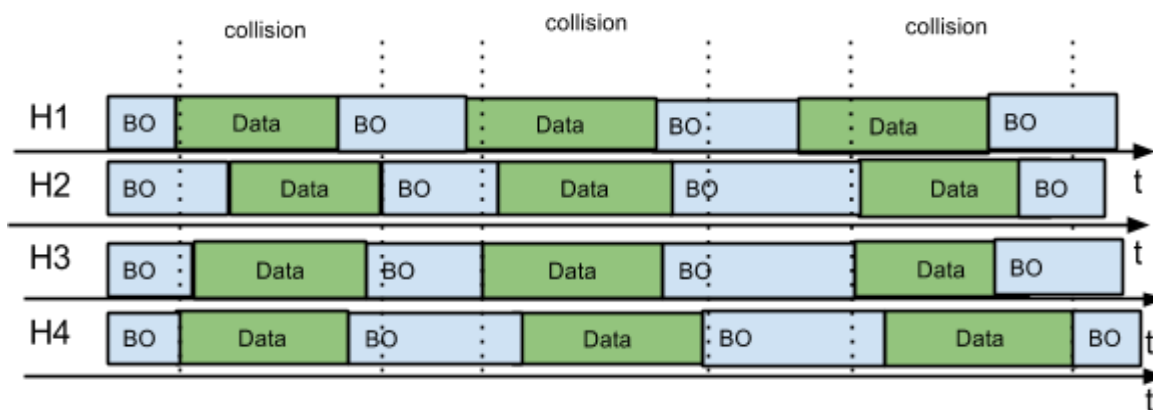
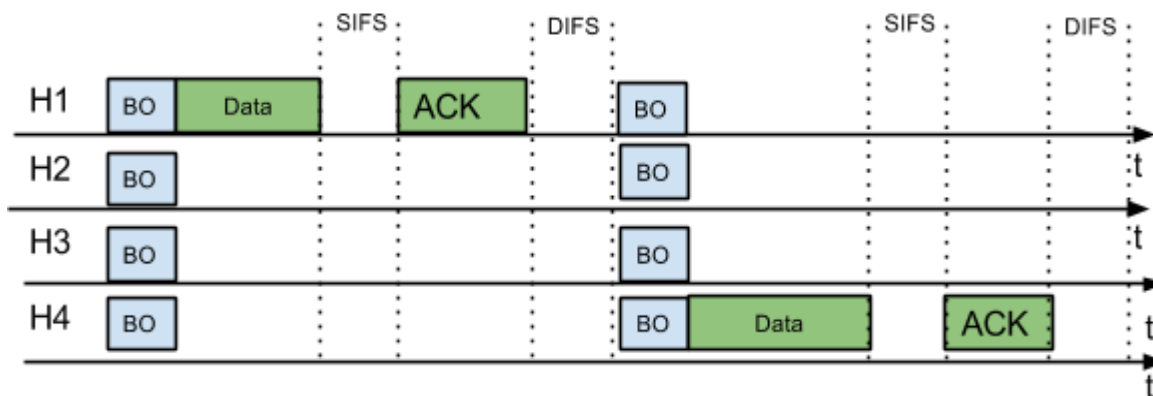


Figura 37. Evolució temporal en el cas 3 quan hi han col·lisions.

I en el cas que no hi hagi col·lisions l'evolució temporal queda de la següent manera:



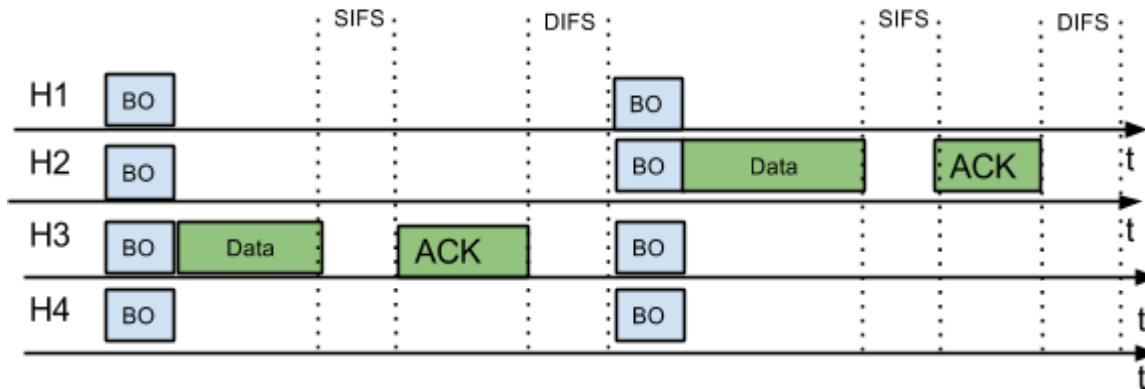


Figura 38. Evolució temporal de tots els nodes de la simulació quan no es produeixen col·lisions.

Per tant, amb aquests resultats s'extreu que és una xarxa molt lenta alhora de transmetre degut a que apart de les interferències que es produeixen entre hosts, quan s'emeten els paquets només hi ha un host enviant paquets i la resta esperen.

#### 4.2.4 CAS 4

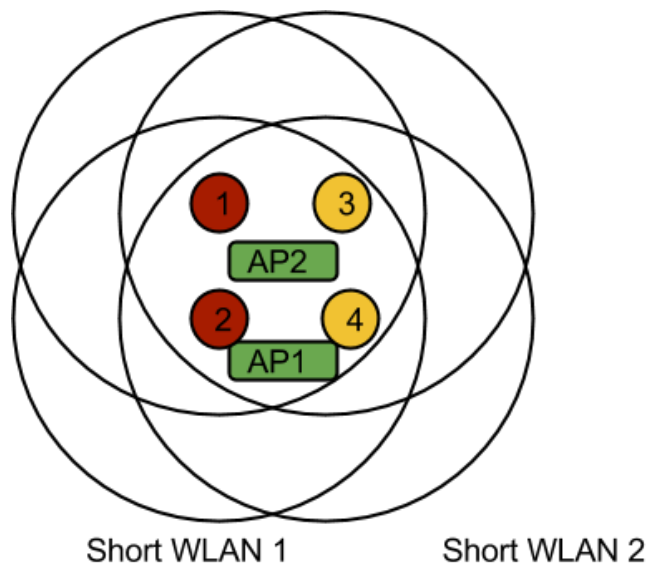


Figura 39. Cas 4, tots els nodes es veuen entre sí.

En aquesta xarxa els quatre nodes són visibles entre ells, per tant quan un envii els altres romandran escoltant la xarxa fins que el node emissor pari la seva transmissió.

Quan aquest acabi d'emetre, el primer dels altres tres nodes que acabi el backoff serà el següent en transmetre. D'aquesta manera la xarxa només tindrà un node emetent a la vegada la qual cosa la farà ser molt lenta i per tant gairebé inútil en termes d'optimització.

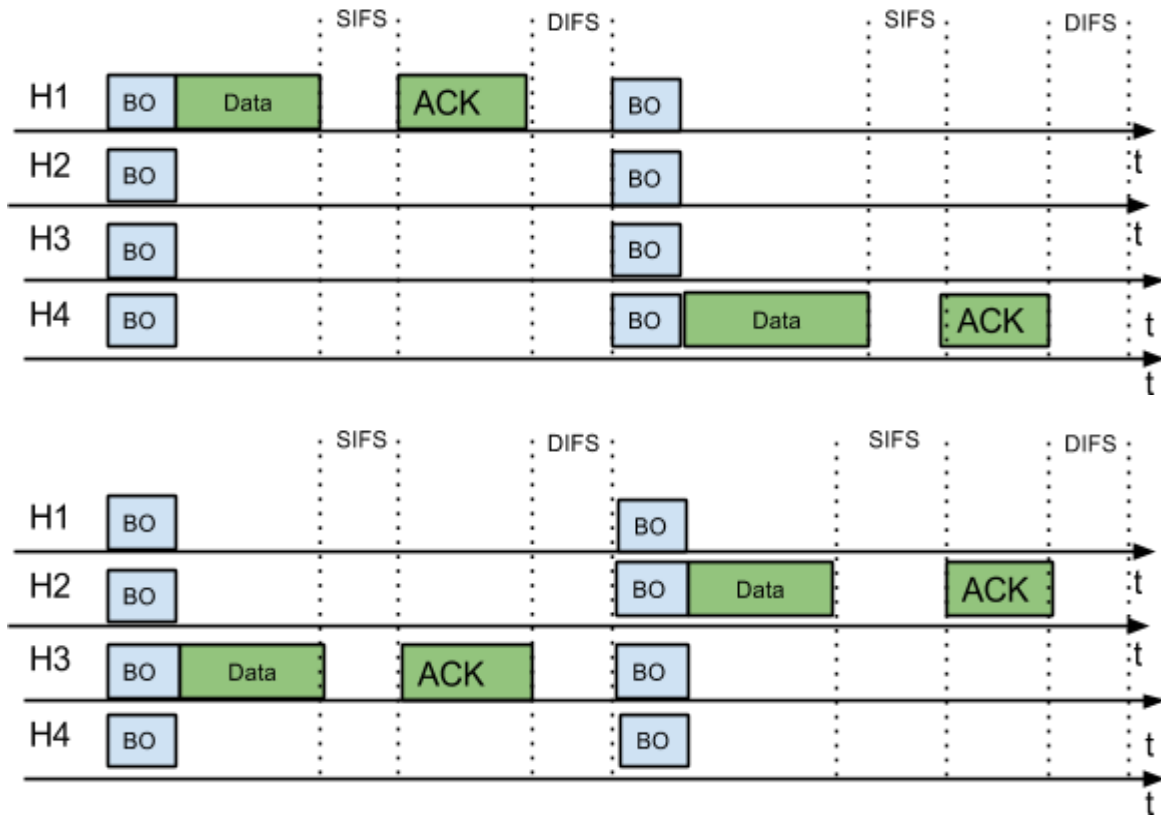


Figura 40. Previsió de l'evolució temporal del cas 4.



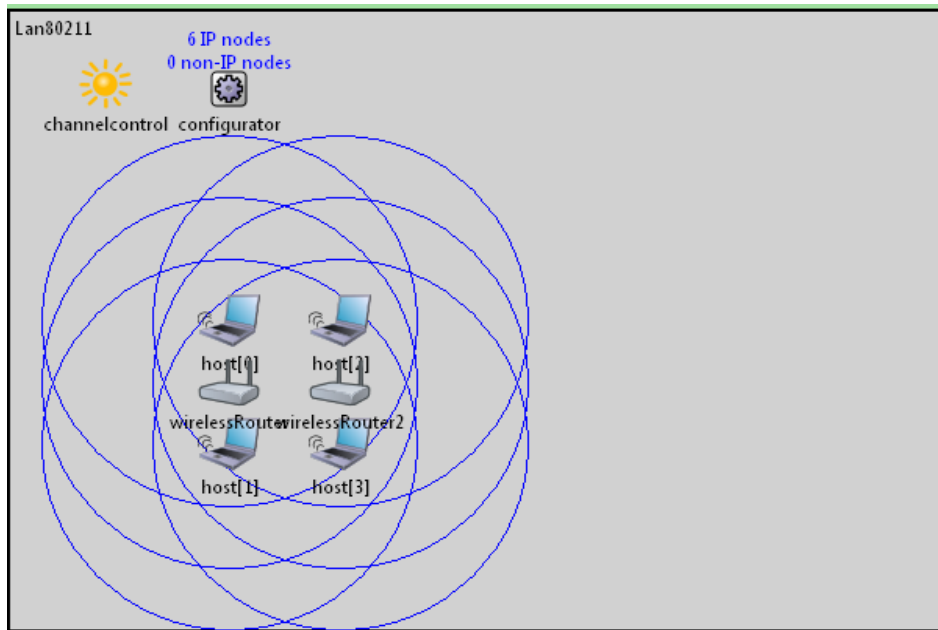


Figura 41. Cas 4 simulat al omnet++.

Al executar la simulació del escenari el que s'obté és que els paquets s'envien seguint l'ordre dels hosts, primer comença a enviar el host [0] i després el host[1], host[2] fins el host[3]; tot i que es pot trobar una coincidència alhora de posar aleatòriament els backoff.

A diferència de com s'havia establert el que passaria, hi han col·lisions entre host, ja que els hosts de la SR-WLAN1 i els de la SR-WLAN2 treballen com a xarxes separades dintre del mateix rang i quan s'emeten paquets cap al AP1 també é fa en el AP2; la qual cosa fa que es perdin molt paquets tal i com es mostra a la figura. On els paquets perduts entre els nodes és de 65 paquets sobre un total de 800 paquets enviats el que comporta unes pèrdues de només un 8'125 %, una data casi negligible però sumat a que la simulació ha tardat en fer tot el procés en 178 segons fa que sigui una xarxa lenta.

/inetma...	Ping1-0.sca	Ping1	0	Ping1-0-201405...	Lan80211.host[0].wlan.mac	numCollision	17.0	
/inetma...	Ping1-0.sca	Ping1	0	Ping1-0-201405...	Lan80211.host[1].wlan.mac	numCollision	18.0	
/inetma...	Ping1-0.sca	Ping1	0	Ping1-0-201405...	Lan80211.host[2].wlan.mac	numCollision	20.0	
/inetma...	Ping1-0.sca	Ping1	0	Ping1-0-201405...	Lan80211.host[3].wlan.mac	numCollision	10.0	
/inetma...	Ping1-0.sca	Ping1	0	Ping1-0-201405...	Lan80211.wirelessRouter.wl...	numCollision	6.0	
/inetma...	Ping1-0.sca	Ping1	0	Ping1-0-201405...	Lan80211.wirelessRouter2....	numCollision	5.0	

Figura 42. Col·lisions en el cas 4 provocades pel *exposed node*

Per una altre banda, si ens atenem a les conclusions que ens havíem plantejat al inici de la xarxa, l'evolució temporal quedaria de la següent manera al principi de la xarxa, on els nodes patirien col·lisions:

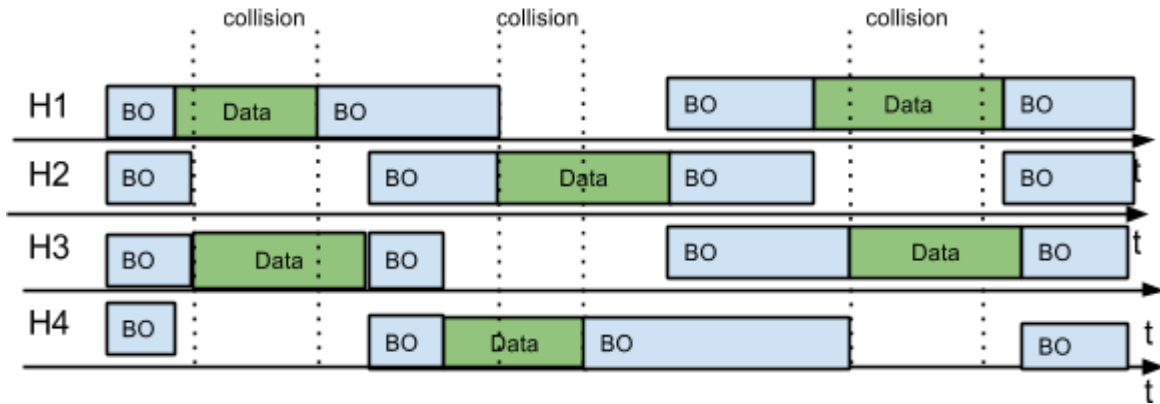


Figura 43. Evolució temporal del cas 4 quan els nodes pateixen col·lisions.

I després al tenir els backoff tan grans cada host enviaria sense tenir problemes amb els altres:

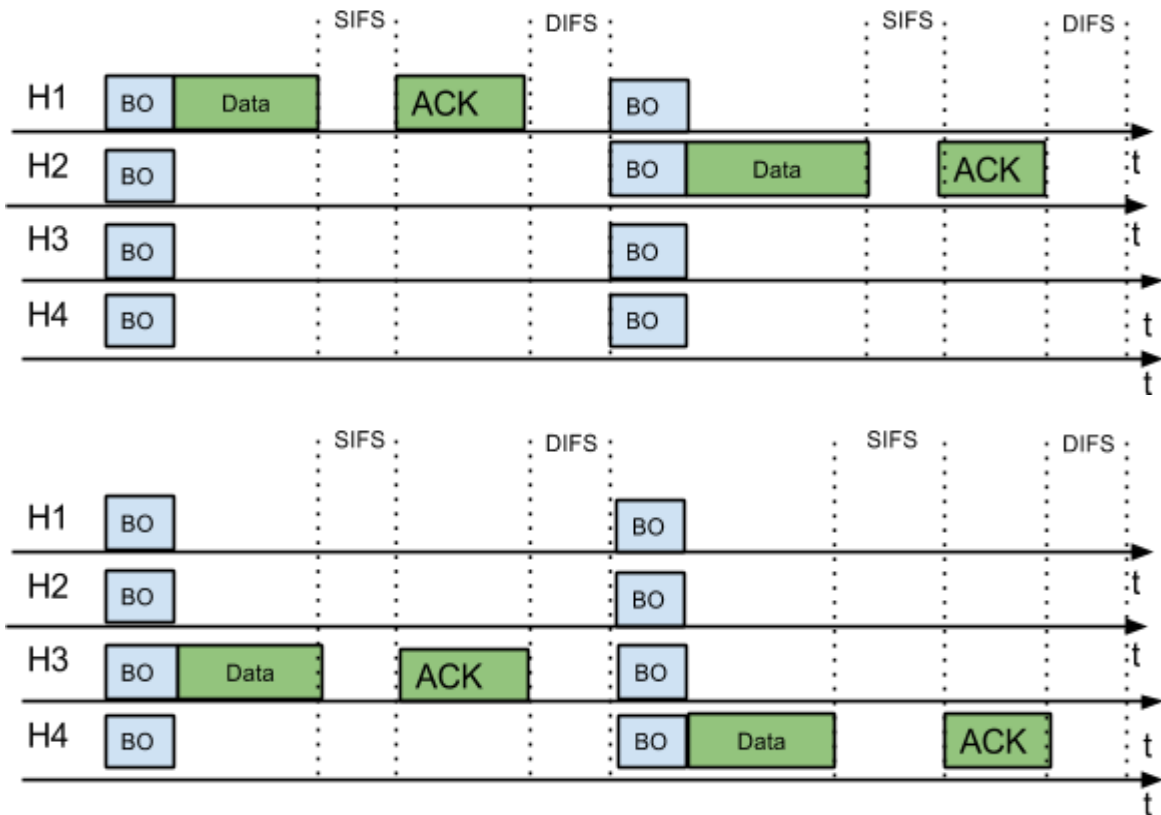


Figura 44. Evolució temporal del cas 4 quan els nodes no pateixen col·lisions, s'observa un problema de *exposed node*.

Per tant, com a conclusió cal dir que aquesta xarxa impedeix el problema del *hidden node* ja que tots els nodes s'observen entre ells, però es una xarxa lenta ja que pateix col·lisions, la qual cosa fa que al inici la xarxa perdi paquets però després al tenir cada host un backoff tan gran degut a les col·lisions els paquets s'enviïn esglaonadament. És una xarxa lenta que només permet que enviï un host a cada instant.

#### 4.2.5 Conclusions de les xarxes SR- WLAN

Per últim, s'han anat provant mides de paquets diferents a la simulació per saber el percentatge entre els paquets rebuts i enviats resultant en cada host, tenint en compte el número de paquets que envien i el número de paquets que reben el nodes. El resultat ha sigut el que mostra la figura, només posant el millor node de cada simulació per tal de veure la millor opció en cada cas.

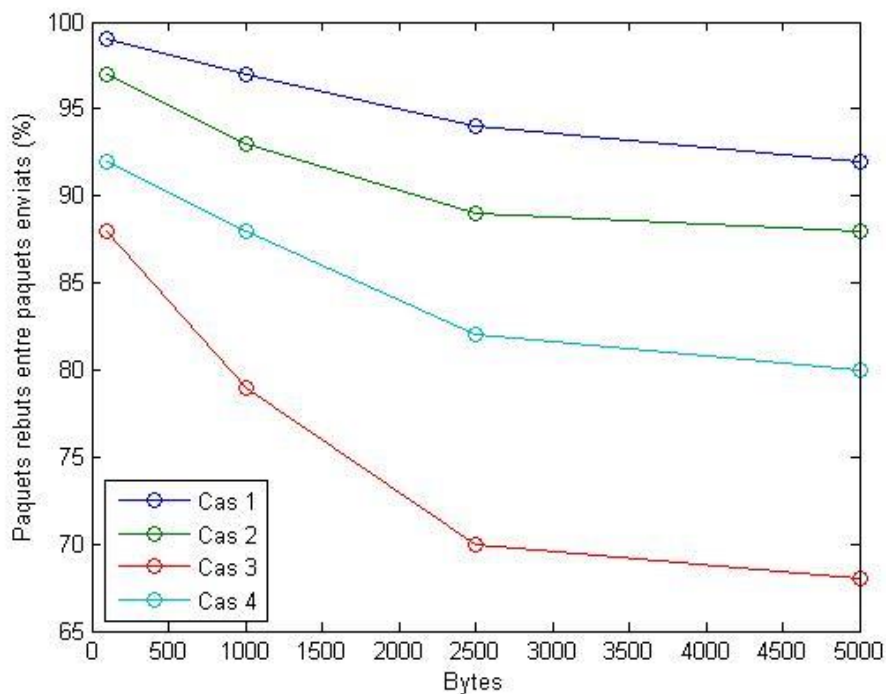


Figura 45. Millor percentatge de paquets rebuts entre paquets enviats de cada cas tenint en compte la llargada dels paquets.

Com s'observa el cas en que les dues xarxes no es sol·lapen (cas 1) és el millor obtenint gairebé un 99% amb paquets de 100 bytes que va disminuint a mesura que els paquets són més grans, gairebé un 97% amb paquets de 1000 bytes i va disminuint fins a 92% amb 5000 bytes.

El cas 2 en canvi comença amb un 97% de paquets rebuts entre paquets enviats amb 100 bytes i va disminuint el seu rendiment fins a arribar a un 88% amb 5000 bytes. Tot i que només existeix una diferència d'un 4% entre els dos primers casos amb el enviament de paquet més gran, cal tenir en compte que el cas 1 acaba la simulació molt abans que el cas 2, que és una xarxa més lenta.

Per una altre banda, el pitjor dels casos és el tercer on s'experimenta que amb més bytes que conté el missatge a enviar, la xarxa té més problemes degut al *hidden node* i, tot i que el backoff de cada node es va incrementant, al tenir més bytes que enviar la probabilitat de que dos nodes enviïn paquets a la vegada és molt elevada. Per tant, un 68% de *throughput* amb paquets de 5000 bytes és una data normal i, fins i tot, es podria dir que bastant bona considerant del cas del que es tracta.

Per últim, el cas 4 presenta un *throughput* moderat de 92 % en el millor cas i amb el paquet més gran un 80%, la qual cosa fa que sigui un resultat esperat degut a les pèrdues provocades alhora d'enviar paquets grans i, per l'altre banda, la proximitat dels nodes amb els punts d'accés que fa que a la mateixa vegada es perdin més paquets.

Amb aquests resultats, s'obté que el millor cas per representar les xarxes short-WLAN és el primer, xarxes que no es sol·lapen, tot i que també donarien bons resultats els casos 2 i 4 però serien més lents que el primer cas i per tant, es perdria velocitat i rapidesa alhora de usar xarxes WLAN. El cas 3 quedaria completament descartat per formar xarxes WLAN degut a la gran pèrdua d'informació que provoca el problema del node amagat.

Com a incís cal dir que tots els casos han sigut provats amb paquets més grans de 10MB i 25MB però donaven un *throughput* del 50%, per tant a més quantitat d'informació que s'envia pitjor és la xarxa, i a paquets més grans més ràpid es satura. Per tant, les xarxes WLAN per ser mitjanament útils han d'enviar i rebre paquets curts.

Com a conclusió final, el millor escenari per a xarxes SR-WLAN és el de xarxes que estiguin molt juntes però sense sol-lapar-se degut al bon resultat que obtenen en el nombre de paquets rebuts per paquets enviats. No obstant els paquets que s'enviïn d'aquesta xarxa han de ser paquets de mida més aviat petita, com a màxim 5000 bytes, ja que com més gran siguin els paquets més col·lisions poden haver.

### 4.3 Coexistència WLAN

Un cop acabat el primer experiment s'assenten les bases del segon exercici, que es tindria que basar en el primer, que estudia si es possible i viable que coexisteixin dues WLAN de diferent estàndard dintre del mateix espai físic. Tal i com es representa en la figura 46, on el punt d'accés 3 cobreix totes les altres WLAN.

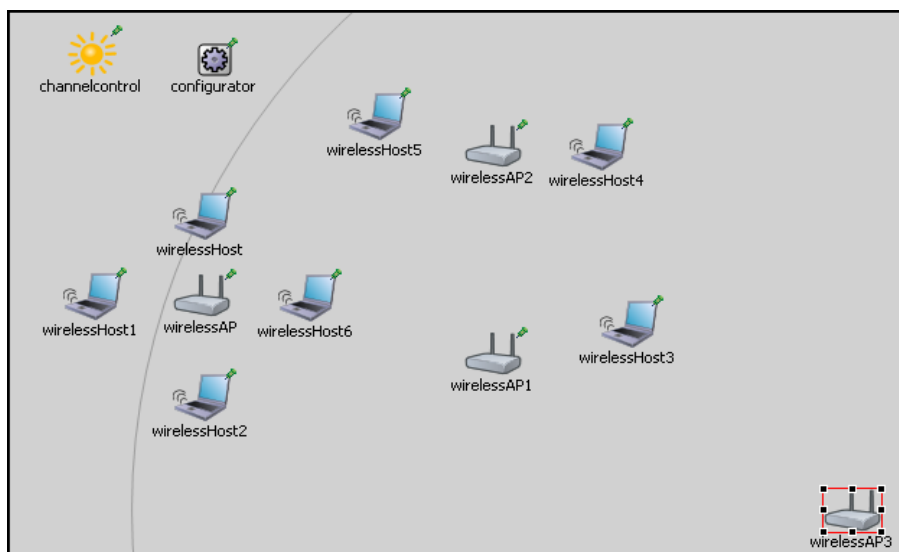


Figura 46. Exemple de coexistència entre una WLAN i diferents xarxes SR-WLAN.

Però abans d'entrar en detall si es possible que el cas de la coexistència sigui viable en dos xarxes WLAN, cal estudiar altres casos de xarxes sense fils on ha sigut possible que xarxes diferents que actuen en el mateix espai físic puguin emetre a la vegada sense interrompre's.

### **4.3.1 Introducció a la coexistència entre xarxes**

Tal com s'explica en l'article [14], a principis del segle XXI les tecnologies sense fils més populars eren el bluetooth i el WiFi les quals s'usaven de manera complementaria per a fer servir diverses aplicacions.

Per una banda el bluetooth és una xarxa sense fils personal (WPAN) que permet enviar i rebre informació a través de connectivitat ad hoc i té un rang de cobertura aproximat d'uns deu metres en totes les direccions. Aquesta xarxa WPAN que crea el dispositiu bluetooth permet a una única persona compartir informació mitjançant el peer-to-peer amb un altre dispositiu amb bluetooth que estigui dintre del rang estimat.

En canvi, i com s'ha explicat en l'apartat 2.1, les xarxes WLAN comprenen un rang de cobertura moderat d'uns 100 metres i poden compartir informació amb més d'un aparell la qual cosa fa que tinguin més usos que el bluetooth i que comparteixin el rang de cobertura.

Per tant, entre els anys 2003 i 2004 es va pensar que aquestes dues tecnologies podien treballar juntes per tal de crear noves funcionalitats, tal com es mostra en l'article [15] on es posa per exemple el poder tenir connectats uns cascos amb micròfon mitjançant *bluetooth* amb el mòbil, mentre que el mòbil està connectat a un punt d'accés a través de una xarxa WLAN figura 47 entre altres aplicacions.

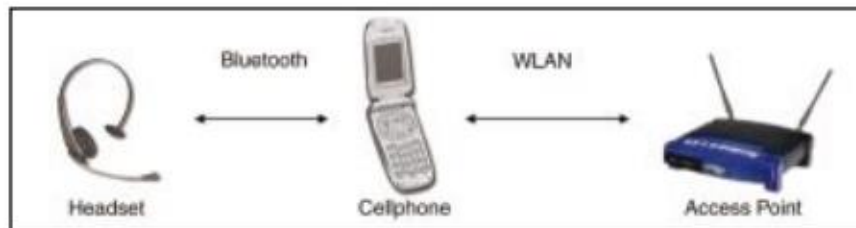


Figura 47. Exemple de coexistència entre WLAN i WPAN. Imatge obtinguda de [15].

Però el problema sorgeix quan molts fabricants de telèfons mòbils planegen operar amb una freqüència de 2,4 GHz que és una banda sense llicència, per tal de donar solucions a les ràdios de baix cost, en la qual també operen les xarxes WLAN i per aquest motiu les dues xarxes sense fils provoquen interferències com les que s'aprecien a la figura 48. Ja que quan es va fer l'estudi l'estàndard usat era el 802.11b/g que compartia freqüència amb el *bluetooth*. Per tant si es vol treballar amb les dos tecnologies s'ha de tenir en compte que pot resultar problemàtic quan es necessita un mode d'operació simultani.



Figura 48. Interferències entre WLAN i WPAN al estar a la mateixa freqüència. Imatge obtinguda de [15]

El que es va fer en el seu moment per saber si podien coexistir les dues tecnologies va ser comprovar quina probabilitat havia de que les dues xarxes col·lisionessin i tal com es mostra en un estudi [15] aquest va ser d'un 25%. Per tant, era un nivell de pèrdua d'informació molt alt i es tindria que pensar quelcom per a resoldre-ho.

Es va arribar a la conclusió que els problemes de convivència entre Bluetooth i WiFi es trobaven en el complicat disseny radio degut a la baixa potència, cost i grandària dels

aparells. I la solució més adient era la de barrejar pràctiques del disseny de radiofreqüència amb mecanismes de coordinació de propietat per tal de garantir que els dispositius no operessin entre ells. La qual cosa produïa impacte en el rendiment de les xarxes però gairebé insignificant per l'usuari final.

### **4.3.2 Coexistència entre SR-WLAN i WLAN**

La xarxa està formada per les dues SR-WLAN que han donat millor rendiment en el cas anterior, que són les que estan completament juntes però sense arribar a sol·lapar-se, i per un dispositiu mòbil que compren una xarxa WLAN junt amb el seu punt d'accés sense fils.

En aquest cas s'ha de pensar que és el node 5 el que emet paquets cap al seu punt d'accés el que s'ha anomenat AP3, aquesta xarxa WLAN convencional segueix els paràmetres del estàndard 802.11n mentre que les dues SR-WLAN fan servir l'estàndard 802.11ac. Com l'estàndard 802.11n pot emetre amb dues freqüències diferents s'ha pensat en els dos possibles casos, que les dues xarxes comparteixin la mateixa freqüència, i que la freqüència sigui diferent.

En el primer cas, si la xarxa convencional opera en 2'4 GHz i les dues xarxes SR-WLAN emeten a 5GHz en principi no ha de passar res, ja que al emetre amb freqüències diferents i ser xarxes independents no es sol·lapa la seva informació.



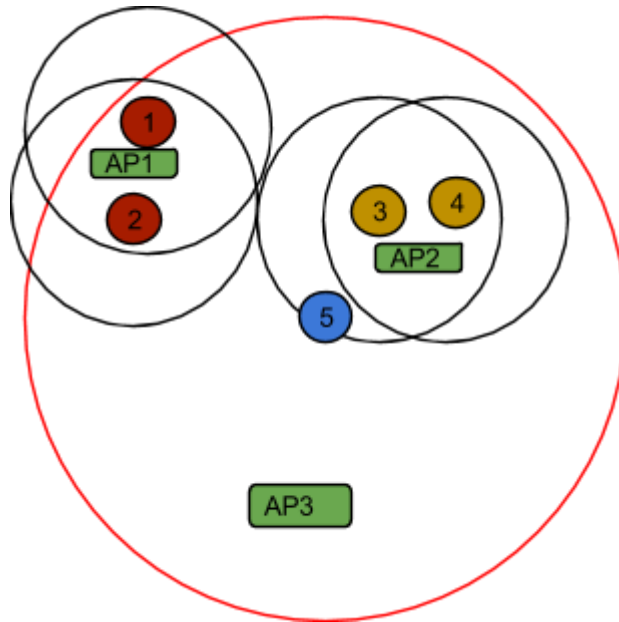


Figura 49. Coexistència entre WLAN i SR-WLAN amb diferent freqüència.

Per tant, per entendre la evolució temporal de les xarxes s'ha de tenir en compte que el ser xarxes independents cada qual emetrà de manera autònoma sense col·lisionar entre elles. Degut a que les dues xarxes SR-WLAN són independents i donaren el mateix resultat que en el cas 1.

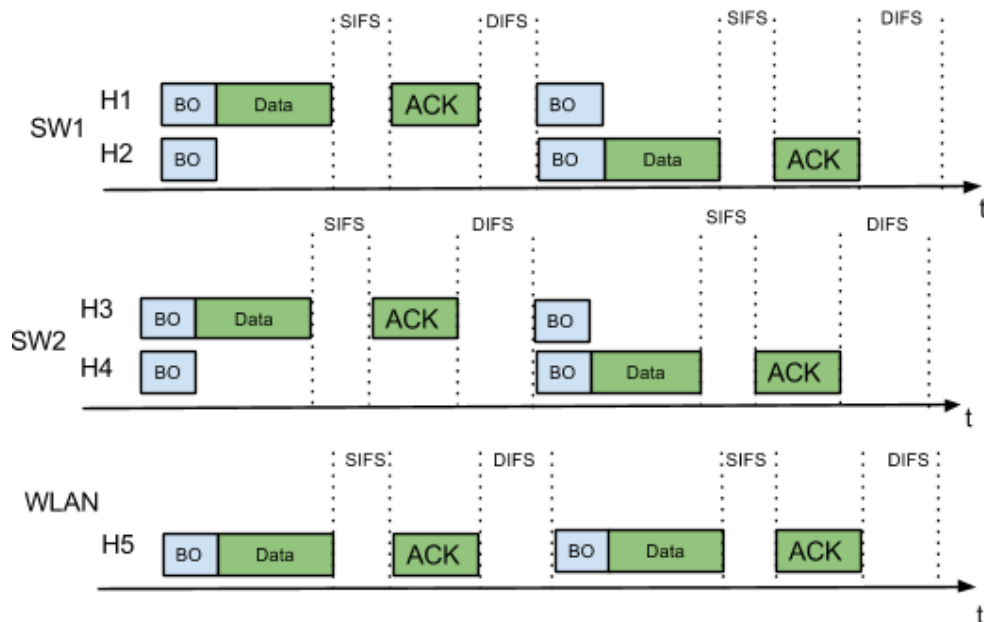


Figura 50. Evolució temporal dels missatges en la coexistència entre SR-WLAN 1 i 2 i la xarxa WLAN.

Per altre banda, si els dos estàndards emeten a la mateixa freqüència hi hauran col·lisions, ja que quan el node 5, que pertany a la WLAN convencional, emeti paquets cap al seu punt d'accés qualsevol element que estigui dintre del seu rang de cobertura notarà que el canal està ocupat i ningú podrà emetre, per tant succeirà un problema de node exposat.

Un altre problema que es produeix a la xarxa és que quan els dispositius de les xarxes SR-WLAN estiguin emeten cap al seus punts d'accés, i a la vegada ho vulgui fer el node 5 es produiran col·lisions.

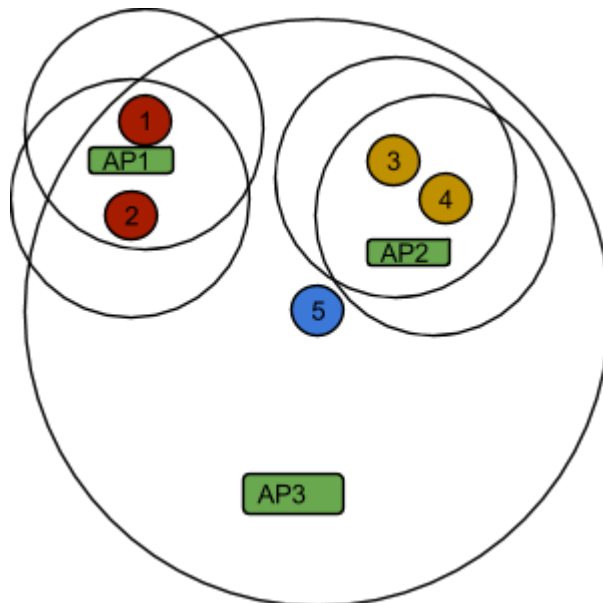


Figura 51. Escenari de coexistència entre WLAN i SR-WLAN amb la mateixa freqüència.

Amb aquestes dades es pot extreure la possible evolució temporal que pateixen els paquets en els dos casos, quan emet el node 5, i quan emeten els altres nodes.

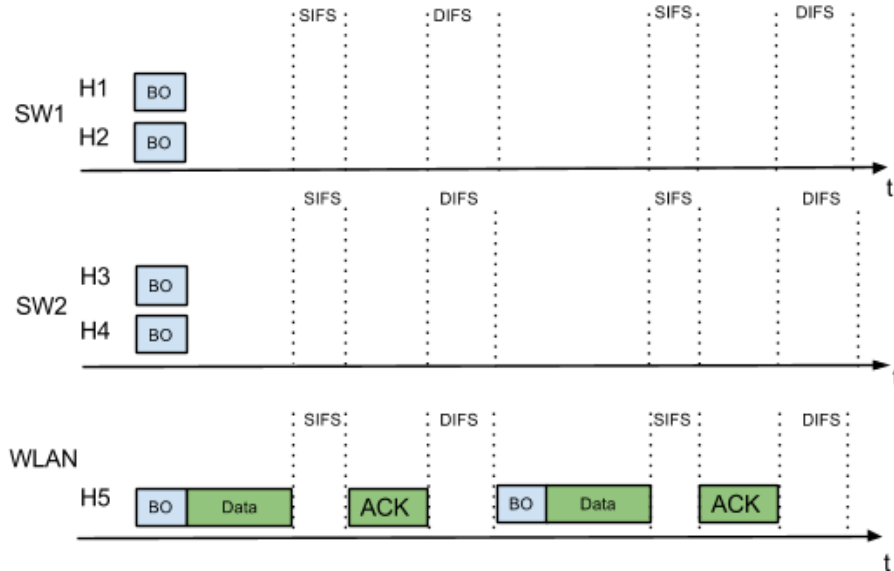


Figura 52. Evolució temporal del escenari amb dues xarxes SR-WLAN i una WLAN a la mateixa freqüència quan emet el node 5.

A la figura 52 s'observa clarament un cas de *exposed node* on quan emet el host número 5 la resta de dispositius no poden emetre creant-se d'aquesta manera una xarxa lenta i poc eficient.

Per altre banda, en la segona figura s'aprecia un cas clar de *hidden node* on els paquets col·lisionen al no veure el node 5, que correspondria al node de la xarxa WLAN convencional.

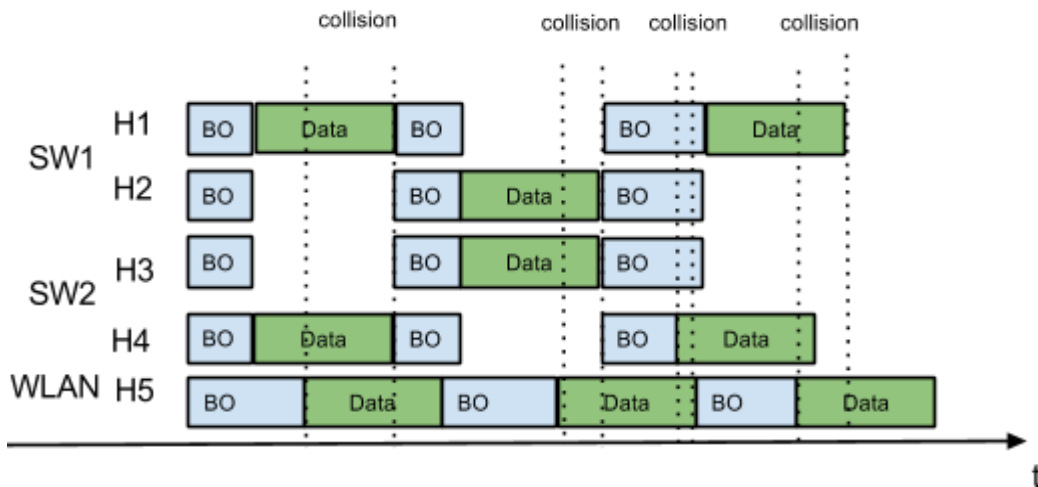


Figura 53. Col·lisions entre les xarxes SR-WLAN i la WLAN convencional al emetre totes a la mateixa freqüència.

## 4.4 Problemàtica amb l'Omnet++

L'Omnet++ no és una eina fàcil d'usar i d'entendre en primer terme, tot i que anant fent proves amb els exemples de mostra i mirant si tenen sentit els resultats obtinguts, al final és una eina útil per tal de confirmar si les suposicions sobre les xarxes fetes al inici eren correcte o no. Tot i així han sigut diversos els problemes trobats durant el projecte.

Un dels problemes que ha ocasionat més mal de caps és el fet que segons el mòdul usat el programa no deixa usar segons quines funcions. En el cas del projecte no ha sigut possible fer la coexistència amb xarxes amb diferents estàndards, ja que el mòdul usat no deixava fer-ho possible. D'igual manera ha passat el mateix alhora de fer servir enviaments de paquets UDP o TCP.

També alhora de crear les connexions entre xarxes, és a dir la manera d'enviar paquets entre dispositius, va haver-hi problemes, degut a que els punts d'accés amb xarxes sense fils no tenen IP per defecte, per solucionar això s'ha de posar `@node` dintre del AP en el `.ned` i en el arxiu `tknev` es veurà la IP que té el punt d'accés.

Omnet++ és un programa que quan es fan servir xarxes sense fils cal ser el més acurat possible alhora de situar als dispositius, ja que quan es situa un host o qualssevol altre element en l'escenari que tingui un rang de cobertura i aquest no està en una posició que el programa consideri adequada per fer la simulació, el sistema entre en fallida i la simulació resulta infructuosa.

Tot i tenir més dificultats amb l'Omnet++, els exemples explicats són els que han tingut més transcendència alhora de realitzar el projecte.

## 5. Conclusions

La tecnologia en que es basen les xarxes sense fils està en expansió constant per tal d'apropar-se a les necessitats del usuari. Per tal motiu quan hi ha un problema de coexistència amb el 802.11n i totes les solucions proposades amb aquest estàndard no són satisfactòries és necessita innovar amb altres tecnologies per tal de resoldre els problemes.

Usant el estàndard 802.11ac i les xarxes de curt abast SR-WLAN és possible evitar els problemes de coexistència entre xarxes WLAN. Les noves WLAN tot i ser més petites utilitzant les característiques del estàndard per tal de tenir més velocitat alhora d'enviar la informació i la dirigeixen cap al objectiu final usant *beamforming*.

Tot i així, s'ha demostrat que és possible tenir diferents xarxes SR-WLAN en el mateix espai físic i amb bons resultats. Tenint en compte que el millor exemple de xarxes de poc rang és aquell que té xarxes contigües sense solapaments i que a cada xarxa individual tots els nodes es veuen entre sí, és a dir, no existeix el problema del *hidden node*. En cas contrari, una xarxa diferent a aquesta suposa un *trouhgput* molt baix així com problemes que provoquen pèrdues d'informació com el node exposat o el abans esmentat, node amagat.

En conclusió, en cas que es vulgui substituir una xarxa WLAN convencional per un entrellat de xarxes SR-WLAN s'ha de tenir en compte les interferències que provoquen les xarxes d'Internet veïnes. En aquest cas, sempre poden coexistir una xarxa WLAN convencional amb diferents SR-WLAN sempre i quan es pugui determinar que la xarxa WLAN emetrà a 2'4 GHz de freqüència i les SR-WLAN a 5 GHz. Per tant, quan es pugui canviar la freqüència de una de les xarxes serà possible la coexistència, però si la xarxa WLAN és veïna el usuari no tindrà dret o capacitat per modificar la freqüència. En tot cas, en cas de que pugui haver coexistència entre xarxes el resultat seria el mostrat a la figura 54.

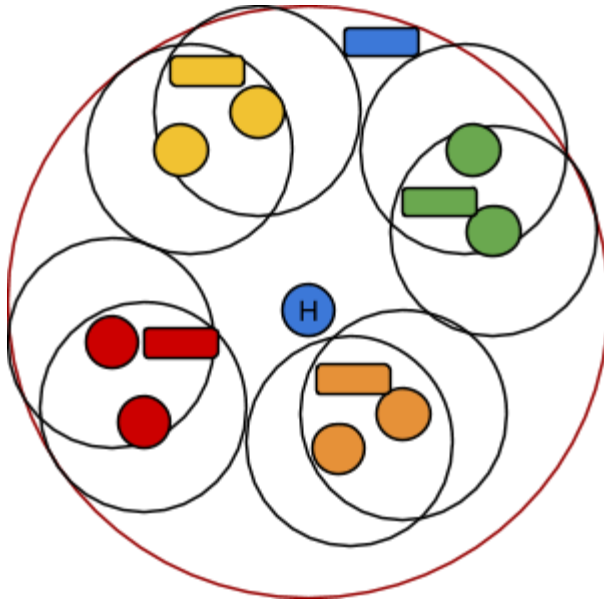


Figura 54. Posició de les xarxes SR-WLAN per poder coexistir amb xarxes WLAN

## 6. Referències

- [1] Bellalta, B., Faridi, A., Barcelo, J., Checco, A., & Chatzimisios, P. Channel Bonding in Short-Range WLANs.
- [2] Gong, M. X., Hart, B., Xia, L., & Want, R. (2011, December). Channel Bounding and MAC Protection Mechanisms for 802.11 ac. In *Global Telecommunications Conference (GLOBECOM 2011), 2011 IEEE* (pp. 1-5). IEEE.
- [3] Negus, Kevin J., and Al Petrick. "History of wireless local area networks (WLANs) in the unlicensed bands." *info* 11.5 (2009): 36-56.
- [4] Gast, Matthew. *802.11 ac: A Survival Guide*. " O'Reilly Media, Inc.", 2013.
- [5] Ong, Eng Hwee, et al. "IEEE 802.11 ac: Enhancements for very high throughput WLANs." *Personal Indoor and Mobile Radio Communications (PIMRC), 2011 IEEE 22nd International Symposium on*. IEEE, 2011.
- [6] Huang, Pi. "Understanding IEEE 802.11 ac VHT Wireless." (2012).
- [7] Perahia, Eldad, and Michelle X. Gong. "Gigabit wireless LANs: an overview of IEEE 802.11 ac and 802.11 ad." *ACM SIGMOBILE Mobile Computing and Communications Review* 15.3 (2011): 23-33.
- [8] Kapadia, Viral V., Sudarshan N. Patel, and Rutvij H. Jhaveri. "Comparative study of hidden node problem and solution using different techniques and protocols." *arXiv preprint arXiv:1003.4070* (2010).
- [9] Fullmer, Chane L., and J. J. Garcia-Luna-Aceves. *Solutions to hidden terminal problems in wireless networks*. Vol. 27. No. 4. ACM, 1997.

[10] Li, Xichun, et al. "The future of mobile wireless communication networks." *Communication Software and Networks, 2009. ICCSN'09. International Conference on*. IEEE, 2009.

[11] Bansal, R. "IMS 2014 Quiz [Microwave Surfing]." *Microwave Magazine, IEEE* 15.4 (2014): 22-167.

[12] Baldemair, Robert, et al. "Evolving Wireless Communications." *IEEE Vehicular Technology Magazine* (2013).

[13] Björnson, Emil, and Eduard Jorswieck. "Optimal resource allocation in coordinated multi-cell systems." (2013).

[14] Golmie, Nada, Nicolas Chevrollier, and Olivier Rebala. "Bluetooth and WLAN coexistence: challenges and solutions." *Wireless Communications, IEEE* 10.6 (2003): 22-29.

[15] Wojtiuk, Jeffrey. "Bluetooth and WiFi integration solving co-existence challenges." *RF DESIGN* 27 (2004): 20-27.

## **Recursos electrònics**

Manual d'Omnet++ < <http://www.omnetpp.org/doc/omnetpp/manual/usman.html>>



