



UNIVERSIDAD
POLITECNICA
DE VALENCIA



Thesis for the degree of PhD

Common Radio Resource Management
Strategies for Quality of Service Support
in Heterogeneous Wireless Networks

Daniel Calabuig Soler

Valencia, February 2010

Supervised by:

Dr. Narcís Cardona Marcet

Dr. José F. Monserrat del Río

Abstract

Nowadays several technologies coexist in the same area composing a heterogeneous system. Moreover, this fact is expected to become more and more accentuated with all new technologies that are currently being standardized. So far, generally users are who select the technology they are going to connect to, either configuring the user equipment or using different equipments. Nevertheless, this approach does not take the maximum advantage of the available resources. To this aim, a new set of strategies is necessary. These strategies must manage the radio resources of all technologies commonly and jointly, and they must ensure the satisfaction of users Quality of Service (QoS).

Following this idea, this Thesis proposes two new algorithms. The first one is a Joint Dynamic Resource Allocation (JDRA) algorithm capable of allocating resources to users and distributing users among technologies at the same time. The algorithm is formulated as a multi-objective minimization problem that is solved using Hopfield Neural Networks (HNNs). HNNs are interesting because they are supposed to find suboptimal solutions in very short times. Nevertheless, actual implementations of HNNs in computers lose this fast response. For that reason, this Thesis analyses the causes and studies possible improvements.

The second algorithm is a Joint Call Admission Control (JCAC) algorithm that admits and rejects users taking all technologies into account at the same time. The main difference with other proposed algorithms is that they decide on call admission in each technology separately. Thus, a previous mechanism is needed to select which technology users are going to connect to. On the other hand, the technique proposed in this Thesis is capable of deciding on call admission in the whole heterogeneous system. Therefore, users are not attached to any technology prior to admission.

As a result, this Thesis paves the way to an efficient resource management in heterogeneous systems with new ideas and techniques. The functions of the Radio Resource Management (RRM) are divided into the JDRA and JCAC algorithms so they could work together.

ABSTRACT

Resumen

Hoy en día existen varias tecnologías que coexisten en una misma zona formando un sistema heterogéneo. Además, este hecho se espera que se vuelva más acentuado con todas las nuevas tecnologías que se están estandarizando actualmente. Hasta ahora, generalmente son los usuarios los que eligen la tecnología a la que se van a conectar, ya sea configurando sus terminales o usando terminales distintos. Sin embargo, esta solución es incapaz de aprovechar al máximo todos los recursos. Para ello es necesario un nuevo conjunto de estrategias. Estas estrategias deben gestionar los recursos radio eléctricos conjuntamente y asegurar la satisfacción de la calidad de servicio de los usuarios.

Siguiendo esta idea, esta Tesis propone dos nuevos algoritmos. El primero es un algoritmo de asignación dinámica de recursos conjunto (JDRA) capaz de asignar recursos a usuarios y de distribuir usuarios entre tecnologías al mismo tiempo. El algoritmo está formulado en términos de un problema de optimización multi-objetivo que se resuelve usando redes neuronales de Hopfield (HNNs). Las HNNs son interesantes ya que se supone que pueden alcanzar soluciones sub-óptimas en cortos periodos de tiempo. Sin embargo, implementaciones reales de las HNNs en ordenadores pierden esta rápida respuesta. Por ello, en esta Tesis se analizan las causas y se estudian posibles mejoras.

El segundo algoritmo es un algoritmo de control de admisión conjunto (JCAC) que admite y rechaza usuarios teniendo en cuenta todas las tecnologías al mismo tiempo. La principal diferencia con otros algoritmos propuestos es que éstos últimos toman las decisiones de admisión en cada tecnología por separado. Por ello, se necesita de algún mecanismo para seleccionar la tecnología a la que los usuarios se van a conectar. Por el contrario, la técnica propuesta en esta Tesis es capaz de tomar decisiones en todo el sistema heterogéneo. Por lo tanto, los usuarios no se enlazan con ninguna tecnología antes de ser admitidos.

Como resultado, esta Tesis prepara el camino hacia una gestión eficiente de recursos en sistemas heterogéneos con nuevas ideas y técnicas. Las funciones de la gestión de recursos radioeléctricos se dividen entre los algoritmos JDRA y JCAC de forma que puedan trabajar los dos juntos.

RESUMEN

Resum

Hui en dia ni hi ha diverses tecnologies que coexistixen en una mateixa zona formant un sistema heterogeni. A més, este fet s'espera que es torne més accentuat amb totes les noves tecnologies que s'estan estandarditzant actualment. Fins ara, generalment són els usuaris els que elegixen la tecnologia a què es van a connectar, ja siga configurant els seus terminals o usant terminals distints. No obstant, esta solució és incapaç d'aprofitar al màxim tots els recursos. Per a això és necessari un nou conjunt d'estratègies. Estes estratègies han de gestionar els recursos ràdio elèctrics de conjuntament i assegurar la satisfacció de la qualitat de servici dels usuaris.

Seguint esta idea, esta Tesi proposa dos nous algoritmes. El primer és un algoritme d'assignació dinàmica de recursos conjunt (JDRA) capaç d'assignar recursos a usuaris i de distribuir usuaris entre tecnologies al mateix temps. L'algoritme està formulat en termes d'un problema d'optimització multi-objectiu que es resol usant xàrcies neuronals de Hopfield (HNNs). Les HNNs són interessants ja que se suposa que poden aconseguir solucions subòptimes en curts períodes de temps. No obstant, implementacions reals de les HNNs en ordinadors perden esta ràpida resposta. Per això, en esta Tesi s'analitzen les causes i s'estudien possibles millores.

El segon algoritme és un algoritme de control d'admissió conjunt (JCAC) que admet i rebutja usuaris tenint en compte totes les tecnologies al mateix temps. La principal diferència amb altres algoritmes proposats és que estos últims prenen les decisions d'admissió en cada tecnologia per separat. Per això, es necessita algun mecanisme per a seleccionar la tecnologia a què els usuaris es van a connectar. Al contrari, la tècnica proposada en esta Tesi és capaç de prendre decisions en tot el sistema heterogeni. Per tant, els usuaris no s'enllacen amb cap tecnologia abans de ser admesos.

Com resultat, esta Tesi prepara el camí cap a una gestió eficient de recursos en sistemes heterogenis amb noves idees i tècniques. Les funcions de la gestió de recursos radioelèctrics es dividixen entre els algoritmes JDRA i JCAC de forma que puguen treballar tot junts.

RESUM

Acknowledgements

More than four years have passed since I started this Thesis. Four years is too much time for facing any project all alone. Obviously, this has not been the case. This Thesis would never be what it is without the help of other people.

First of all, I would like to thank my supervisors. Thanks to Professor Narcís Cardona for giving me the opportunity of being part of the Mobile Communications Group (MCG) and the Instituto de Telecomunicaciones y Aplicaciones Multimedia (iTEAM) at the Universidad Politécnica de Valencia (UPV). Without him I would never started this Thesis. I will be always obliged for the support and guidance of Dr. José F. Monserrat, and, what is more important, for believing in me even when I did not. Thanks for all the valuable discussions and comments, and for helping me with all my publications too.

The MCG is a big group with many people I had to thank, but the list would be too long. Nevertheless, I could not forget three Davids that have improve this Thesis with their estimable work. Thanks to David Martín-Sacristán for his knowledge in HSDPA and his comments in some of my publications. Thanks to David Gozávez for helping me with WLAN and for his friendliness that always makes the routine more bearable. Finally, thanks to Dr. David Gómez-Barquero for his help with the JDRA algorithm in the beginning of this Thesis.

The MCG is not the only group inside the iTEAM. During this four years I had the opportunity to know the people of the Electromagnetic Radiation Group (GRE). Thanks to all of them for their estimable company and for sharing their office with me for almost four years.

I would also like to thank Professor Jie Zhang and all the people of the Centre for Wireless Design (CWIND) at the University of Bedfordshire for their great welcome in Luton. Thanks for making possible those four months I stayed there.

Y aunque lo deje para el final, esta Tesis nunca podría haberse realizado sin el apoyo de mi familia. Gracias por darme la oportunidad de llegar hasta aquí. Ser doctor no es algo que se consiga en cuatro años, en realidad hace falta mucho más tiempo y personas que sepan guiarte en todo momento.

ACKNOWLEDGEMENTS

Table of contents

List of Figures	xiii
Acronyms	xvii
1 Introduction	1
1.1 Background	1
1.2 State of the art	3
1.2.1 Initial RAT and cell selection	3
1.2.2 Call or connection admission control	5
1.2.3 Resource allocation	6
1.2.4 Handover	7
1.3 Challenges	7
1.4 Objectives	9
1.4.1 JDRA algorithm	10
1.4.2 JCAC algorithm	10
1.5 Thesis outline	11
1.6 Publications	12
I JDRA Algorithm	17
2 Hopfield neural networks	19
2.1 Hopfield model	19
2.1.1 Convergence points	22
2.1.2 Energy second term and the extensively used neuron model	24
2.1.3 Implementation	25
2.2 Discrete-time Hopfield neural networks	25
2.2.1 Optimum neuron outputs update	26
2.3 Energy gradient projections	28
2.3.1 Projections computation	30

TABLE OF CONTENTS

2.3.2	Projections in the hypercube facets	32
2.3.3	Practical realization of the projection	32
2.3.4	Different projection alternatives	33
2.3.5	Study of the different alternatives using the MQP	37
2.4	Conclusion	39
3	HNN-based JDRA algorithm	41
3.1	QoS provision	41
3.1.1	QoS based on minimum bit rate	42
3.1.2	QoS based on maximum delay	43
3.2	Resources to bit rate mapping	43
3.3	HNN for JDRA	44
3.3.1	Energy function	45
3.3.2	Benefit function	47
3.3.3	Resource saturation control	49
3.4	Weighting coefficients	49
3.4.1	Fifth term	50
3.4.2	Third term	50
3.4.3	Sixth term	51
3.4.4	Fourth term	51
3.5	Simulation environment	51
3.5.1	Technologies used in the simulations	51
3.5.2	Reference algorithms	53
3.5.3	Scenario	54
3.5.4	Mobility model	55
3.6	Study of different HNN implementation alternatives	67
3.7	Results	70
3.7.1	Joint scheduling improvement	70
3.7.2	JDRA algorithm evaluation	75
3.7.3	Evaluation of the HNN optimality	80
3.7.4	Parallel JDRA algorithm implementation	82
3.8	Conclusion	85
II	JCAC Algorithm	87
4	Equivalent resource consumption	89
4.1	Equivalent bandwidth	89
4.1.1	EBW generalization	90
4.1.2	Objective of this chapter	91
4.2	ERC definition	91

TABLE OF CONTENTS

4.2.1	ERC calculation	92
4.3	Measurement-based ERC calculation method	95
4.3.1	Histogram definition	95
4.3.2	Histograms as PDF estimate	96
4.3.3	$f_{\rho_i}(v)$ computation with histograms	98
4.3.4	Convolution of histograms	99
4.3.5	ERC computation accuracy	101
4.4	Gaussian approximation	101
4.5	Example of ERC calculation	103
4.5.1	Performance vs. number of users	104
4.5.2	Performance vs. QoS requirement	105
4.5.3	Performance vs. number of histogram intervals	107
4.6	ERC application to CAC	108
4.7	Conclusion	111
5	ERC-based JCAC algorithm	113
5.1	Main concept	113
5.2	Description of the algorithm	114
5.3	Feasibility and infeasibility of optimization problems	118
5.4	Simulation and results	119
5.4.1	Perfect JCAC	120
5.4.2	Results	122
5.5	Conclusion	125
III	Results and Conclusions	127
6	JDRA and JCAC operation performance	129
6.1	New aspects of the system simulator	129
6.2	Simulation results	132
6.2.1	System dynamics	133
6.2.2	Performance vs. hysteresis level	134
6.2.3	Performance vs. histogram updating rate	138
6.2.4	Performance vs. guard band	139
6.3	Conclusion	142
7	Conclusions and further work	143
7.1	Conclusions	144
7.2	Further work	146
	Appendices	149

TABLE OF CONTENTS

References	151
-------------------	------------