

Técnicas CRRM para la gestión coordinada de recursos radio en redes móviles heterogéneas

Javier Gozávez⁽¹⁾, M^a Carmen Lucas Estañ⁽¹⁾, Joaquín Sánchez Soriano⁽²⁾, Javier Gimeno Blanes⁽¹⁾

j.gozalvez@umh.es, m.lucas@umh.es, joaquin@umh.es

⁽¹⁾ Laboratorio Uwicore de sistemas de comunicaciones móviles e inalámbricas (www.uwicore.umh.es).
Universidad Miguel Hernández. Avda. de la Universidad S/N. 03202 Elche.

⁽²⁾ Centro de Investigación Operativa. Universidad Miguel Hernández. Avda. de la Universidad S/N. 03202 Elche.

Abstract. A key aspect of Beyond 3G heterogeneous wireless systems is the definition of Common Radio Resource Management (CRRM) techniques capable to efficiently manage the radio resources from different Radio Access Technologies physically coexisting. This work proposes and evaluates a set of CRRM policies based on bankruptcy theory that simultaneously assigns to each user an adequate combination of RAT and number of radio resources within such RAT, aimed at maximizing the resource's efficiency and guaranteeing user QoS fairness.

I. INTRODUCCIÓN

Los sistemas de comunicaciones móviles e inalámbricas *Beyond 3G* integrarán distintas Tecnologías de Acceso Radio (RATs, *Radio Access Technologies*) con características técnicas complementarias coexistiendo físicamente. Gracias a la posibilidad de interoperación entre las distintas RATs, el nuevo desafío es la definición de políticas que exploten eficientemente el conjunto de los recursos radio disponibles decidiendo la RAT (selección de RAT) y el número de recursos (RRM intra-RAT) dentro de la RAT seleccionada que deben ser asignados al usuario para satisfacer sus requisitos de QoS obteniendo el máximo beneficio global del sistema. Considerar de forma conjunta ambos aspectos es un complejo problema técnico que recientemente comienza a ser abordado. Una propuesta inicial realizada en [1] ha sido el uso de redes neuronales y lógica difusa, aunque la propuesta sólo determinaba la tasa de transmisión necesaria en cada RAT y no el número de recursos radio, lo que complica notablemente el problema. En este contexto y observando el gran potencial y rendimiento obtenido con la aplicación de la teoría de bancarrota al reparto de recursos en redes de comunicaciones móviles con tráfico heterogéneo para transmisiones multi-canal en una sola RAT [2], este trabajo propone la aplicación de las técnicas diseñadas en [2] al caso de sistemas de comunicaciones móviles heterogéneos. En situaciones de bancarrota [3], el valor de una empresa es inferior a la suma de sus deudas, siendo necesarias adecuadas metodologías para dividir su valor neto entre sus acreedores. Debido a la similitud entre esta situación y el dilema de la distribución de recursos radio en sistemas de comunicaciones móviles con elevada carga de usuarios, este trabajo propone su aplicación para la definición de técnicas CRRM.

II. TÉCNICAS CRRM BASADAS EN REPARTO DE BANCARROTA

Este trabajo propone la aplicación de las técnicas diseñadas en [2] basadas en la teoría de bancarrota a la gestión CRRM de sistemas de comunicaciones móviles

heterogéneos. En particular, este trabajo está centrado en la aplicación de la técnica DCEAM (*Discrete CEA for Mobile radio resources distribution*) [2]. DCEAM realiza el reparto de los recursos radio intentado alcanzar valores de utilidad homogéneos para todos los usuarios. En su diseño como técnica RRM, DCEAM distribuye uno a uno los recursos radio de una RAT determinada, asignando cada recurso al usuario que menor valor de utilidad experimenta en cada momento. Cuando varios usuarios son candidatos a recibir un mismo recurso, éstos son servidos en el orden de prioridades establecido entre servicios. En sistemas de redes heterogéneas *Beyond 3G*, las distintas RATs que forman el sistema trabajan con recursos radio de distinta naturaleza (códigos para HSDPA y *timeslots* para GPRS y EDGE), por lo que es necesaria una adaptación de la técnica DCEAM a las nuevas condiciones del entorno.

A. Funciones de utilidad

La técnica RRM DCEAM basa su criterio de decisión en funciones de utilidad que expresan la QoS percibida por el usuario según el tipo de servicio solicitado y el número de recursos radio asignado. En [2] fueron definidas unas funciones discretas que relacionaban valores de utilidad con las distintas asignaciones de recursos radio posibles en EDGE. En este nuevo escenario, es necesaria una redefinición de estas funciones pues el sistema incorpora nuevas RATs y por tanto, nuevas asignaciones de recursos radio para las cuales debe ser hallada su relación con el nivel de utilidad que proporcionan al usuario. Siguiendo la metodología definida en [2], este trabajo considera las funciones de utilidad mostradas en la Fig.1 para los servicios de navegación web, email y vídeo en tiempo real. Estas funciones de utilidad fueron definidas en función a la tasa de transmisión de datos para los servicios de email y web, y en función al porcentaje de tramas enviadas de manera completa antes del comienzo de la transmisión de la siguiente para el servicio de vídeo en tiempo real. Aunque la extensión del artículo no permite mostrar el proceso de definición de estas funciones, es importante destacar que su obtención está basada en el establecimiento previo de tres niveles de QoS y sus correspondientes valores de utilidad; [2] demostró la validez de estas funciones de utilidad para expresar la QoS percibida por el usuario. La figura muestra que para cualquier servicio, el usuario percibirá valores de utilidad nulos por debajo de su nivel de QoS mínimo.

Una vez definidas las funciones de utilidad continuas, es necesario establecer la relación entre valores de utilidad y

número de recursos radio dentro de cada RAT. Para ello, a cada combinación RAT/recursos radio le ha sido asociada una tasa de transmisión. Todas las RATs emuladas implementan técnicas de adaptación al medio, por lo que las tasas de transmisión varían con la calidad del enlace radio. Por este motivo, para definir esta relación se ha optado por considerar aquella tasa proporcionada por el modo de transporte (modulación y codificación) de la RAT bajo análisis que proporciona un balance entre tasa de transmisión y robustez ante errores. En particular, el modo de transporte considerado corresponde a CS2 para GPRS y a MCS5 para EDGE (13.4 y 22.4 kbps/*timeslot* respectivamente). En HSDPA, al existir distintos modos de transporte por cada número de códigos posible, ha sido escogido de nuevo el modo de transmisión que logra un balance entre prestaciones y fiabilidad. Una vez establecida la tasa de transmisión alcanzable para cada combinación RAT/recursos, la correspondencia con el valor de utilidad es obtenida a través de la Fig. 1. Para los servicios de vídeo en tiempo real es necesario un paso adicional para calcular la tasa de datos necesaria para transmitir cada trama de vídeo antes del comienzo de la transmisión de la siguiente [2]. Una vez obtenida esta tasa de transmisión y según el procedimiento explicado previamente es posible obtener la relación entre utilidad y combinación RAT/recursos radio para los servicios de vídeo. La Tabla 1 muestra un ejemplo de la relación entre utilidad y las distintas combinaciones RAT/recursos posibles para el servicio de vídeo en tiempo real a 64kbps. Las asignaciones de recursos posibles en cada RAT han sido denotadas como *xY*, correspondiendo a *x* recursos radio de la RAT *Y* (GPRS está representado por *G*, EDGE por *E* y HSDPA por *H*). Es importante destacar que ciertas combinaciones RAT/recursos no consiguen alcanzar un valor de utilidad mayor que cero, y que para otras determinadas combinaciones, el valor de utilidad experimentado no aumenta después de alcanzar ciertas tasas de transmisión.

B. Algoritmos DCEAM-CRRM

En un escenario compuesto por una sola RAT, la técnica

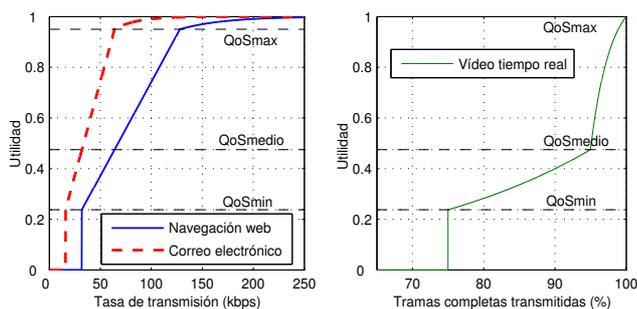


Fig. 1. Funciones de utilidad por tipo de servicio.

Rec./ RAT	Tasa datos (kbps)	Utilidad	Rec./ RAT	Tasa datos (kbps)	Utilidad	Rec./ RAT	Tasa datos (kbps)	Utilidad
1G	13.4	0.0000	4E	89.6	0.2983	3H	741	1.0000
1E	22.4	0.0000	7G	93.8	0.3127	4H	1139.5	1.0000
2G	26.8	0.0000	8G	107.2	0.3532	5H	2332	1.0000
3G	40.2	0.0000	5E	112	0.3654	7H	4859.5	1.0000
2E	44.8	0.0000	1H	116.5	0.3775	8H	5709	1.0000
4G	53.6	0.0000	6E	134.4	0.4350	10H	7205.5	1.0000
5G	67	0.0000	7E	156.8	0.9338	12H	8618.5	1.0000
3E	67.2	0.0000	8E	179.2	0.9819	15H	11685	1.0000
6G	80.4	0.0000	2H	396	1.0000			

Tabla 1. Valores de utilidad para el servicio de vídeo a 64kbps.

DCEAM asigna los recursos de manera que, cada vez que un usuario recibe un recurso, éste pasa de tener una asignación determinada de recursos (*n* recursos) a otra (*n+1* recursos) que le proporciona el nivel de QoS inmediatamente mayor que éste puede experimentar según las distintas asignaciones de recursos posibles. Del mismo modo, al aplicar DCEAM en un sistema compuesto por varias RATs, cada vez que un usuario deba ser servido, éste pasará de tener asignada una combinación RAT/recursos radio determinada a otra que le proporcione el nivel de QoS inmediatamente mayor (según el orden mostrado en la primera columna de la Tabla 1). Mientras que en una única RAT, cuando un usuario recibe un recurso conserva los que ya tuviera asignados, en un sistema heterogéneo, este aumento en el nivel de QoS asignado puede suponer una asignación de recursos de una RAT distinta a los que ya tuviera asignados, por lo que el usuario no mantendrá los recursos asignados hasta el momento. Por este motivo, en el diseño de una técnica CRRM que debe realizar el reparto de los recursos radio de varias RATs, este trabajo ya no considerará los recursos radio como los elementos a repartir, sino que en este caso, los elementos que deben ser repartidos entre los usuarios de un sistema serán las distintas combinaciones RAT/recursos radio posibles. De este modo, al aplicar la técnica DCEAM-CRRM, un usuario recibirá, por ejemplo, la combinación 3E después de haber recibido la combinación 5G, y si según el criterio de decisión de la técnica CRRM el mismo usuario debe volver a recibir recursos, recibirá la combinación 6G (cuando un usuario recibe una combinación RAT/recursos libera la anterior que tuviera asignada). Supongamos que tenemos un sistema compuesto por las RATs GPRS y EDGE, con 8 *timeslots* disponibles en cada RAT y en el que 3 usuarios del mismo servicio compiten por los recursos de ambas. Como los tres usuarios presentan los mismos requisitos de QoS, DCEAM asigna las mismas combinaciones RAT/recursos a los usuarios para alcanzar los mismos valores de utilidad. Llegado un determinado momento del reparto, los tres usuarios tendrán asignados la combinación 2G, debiendo recibir a continuación la combinación 3G (según el orden mostrado en la primera columna de la tabla 1). En este momento surge una situación de conflicto pues, mientras todavía quedan recursos sin asignar en el sistema, no se dispone de recursos suficientes para satisfacer a uno de los usuarios. Cómo abordar esta situación es el dilema que intentan resolver las distintas adaptaciones de la técnica DCEAM propuestas a continuación.

La primera propuesta (Prop.1) asigna al usuario la siguiente combinación RAT/recursos posible (en orden del nivel de QoS proporcionado, primera columna de la Tabla 1) de acuerdo a la disponibilidad de recursos radio de cada RAT. En la situación de conflicto ejemplificada, este esquema asignaría al usuario la combinación 2E y continuaría con el reparto. Aunque a priori esta situación no parece justa, pues pueden ser asignados a un usuario recursos que le proporcionen mejores niveles de QoS que los proporcionados a usuarios más prioritarios, al continuar con el proceso de reparto el propio comportamiento de la técnica DCEAM puede llegar a distribuciones de los recursos que consigan el objetivo buscado de homogeneidad entre usuarios. En este contexto, ha sido planteada una segunda propuesta (Prop.2), la cual actúa de la misma manera que la anterior propuesta,

pero en caso de que un usuario, por no disponibilidad de recursos en alguna RAT, vaya a recibir una asignación de recursos que le proporcione prestaciones mayores que las asignadas a un usuario más prioritario, será este último usuario el que reciba dichos recursos. El usuario de menor prioridad deberá competir de nuevo por recibir recursos.

Por último, una tercera propuesta (Prop.3) con un principio de funcionamiento distinto al anterior ha sido diseñada. La tercera propuesta establece que un usuario no puede alcanzar una determinada combinación RAT/recursos radio sin haber tenido asignadas previamente todas las combinaciones RAT/recursos que le proporcionan niveles de QoS menores. Para ello es posible asignar a los usuarios cualquier combinación RAT/recursos aunque el sistema no disponga de recursos suficientes. Esta consideración de recursos ilimitados no es aplicable a la RAT que consigue las tasas de transmisión mayores, estableciendo así un límite para que el algoritmo finalice; cuando todos los recursos de dicha RAT hayan sido asignados el reparto finaliza. Los usuarios que hayan obtenido recursos de dicha RAT mantendrán dichas asignaciones, mientras que el resto de usuarios deberá competir en un nuevo reparto por los recursos del resto de RATs. Este nuevo reparto será realizado del mismo modo hasta que hayan sido asignados los recursos de todas las RATs disponibles en el sistema.

III. RENDIMIENTO DE LA TÉCNICA CRRM

El rendimiento de la técnica CRRM propuesta ha sido evaluado en una plataforma de simulación implementada en Matlab que considera un sistema de redes heterogéneas compuesto por las RATs GPRS, EDGE y HSDPA. En las simulaciones realizadas han sido consideradas transmisiones de vídeo H.263 en tiempo real (servicio más prioritario), navegación web e email (menor prioridad) para distintas situaciones de carga del sistema, representando cada tipo de servicio un tercio de la carga total en términos de distribución de tráfico. Los usuarios de vídeo en tiempo real son distribuidos de manera equitativa entre las tasas de transmisión de vídeo seleccionadas de entre todas las emuladas en el sistema: 64, 128, 256 y 512kbps (cuanto mayor tasa de transmisión mayor prioridad para el servicio de vídeo). Solamente ha sido emulada una única celda con la misma cobertura para GPRS, EDGE y HSDPA, considerando 8 *timeslots* para GPRS, 8 *timeslots* para EDGE y 14 códigos para HSDPA. Han sido realizadas simulaciones en dos escenarios distintos. El primero de ellos (E1) son simuladas transmisiones de email, web y vídeo en tiempo real a 64 y 128kbps, mientras que en el segundo escenario (E2) los servicios de vídeo operan con tasas medias de transmisión de 64, 256 y 512 kbps. En ambos escenarios han sido simuladas 15, 20 y 30 usuarios por celda siguiendo las distribuciones de tráfico enunciadas previamente.

La Fig. 2 muestra los niveles de utilidad alcanzados por tipo servicio al aplicar las adaptaciones 1 y 2 de la técnica DCEAM en el escenario E1. Antes de comenzar el análisis de los resultados mostrados, cabe resaltar que en los escenarios emulados, la carga de usuarios y tráfico es notablemente superior a los recursos ofrecidos en la red heterogénea, razón por la cual no son alcanzables niveles de utilidad que permitan satisfacer las exigencias de QoS más altas para todos los servicios. La figura muestra que las dos

adaptaciones CRRM propuestas de la técnica DCEAM logran servir a la mayoría de los servicios con su nivel de QoS mínimo; cuando la carga de usuarios aumenta y el sistema no dispone de recursos radio suficientes para cubrir los requisitos mínimos de todos los usuarios presentes en el sistema, son los usuarios de email, los usuarios menos prioritarios, los más perjudicados al no recibir recursos en determinadas ocasiones. Con la primera propuesta, los usuarios que en un mayor porcentaje logran alcanzar niveles de QoS por encima del mínimo corresponden a los usuarios menos prioritarios, perdiendo de esta manera la homogeneidad entre usuarios buscada. Por otro lado, la segunda propuesta consigue una mayor homogeneidad en escenarios donde la carga de usuarios no es demasiado elevada. Es posible observar como en E1 con 15 usuarios por celda, la segunda propuesta consigue que altos porcentajes de usuarios para todos los servicios alcancen el nivel de QoS medio y que, a excepción del servicio de navegación web, también logren alcanzar el nivel de QoS máximo. Al aumentar la carga, aunque no consigue la homogeneidad lograda en escenarios con menor carga, el porcentaje de usuarios servidos con el nivel de QoS mínimo aumenta considerablemente con respecto a la primera propuesta. Antes de profundizar en el modo de operación de estos esquemas, son mostrados los resultados logrados al aplicar la tercera propuesta de la técnica DCEAM-CRRM.

La Fig. 3 muestra los resultados obtenidos con la tercera propuesta. Al igual que las propuestas anteriores, la propuesta 3 consigue satisfacer el nivel de QoS mínimo para la mayoría de los servicios en escenarios con cargas de usuario medias, aunque los porcentajes en E1 con 15 usuarios por celda resultan ligeramente inferiores que los conseguidos con las propuestas anteriores. Cuando las demandas de recursos en el sistema aumentan, debido al aumento de la carga de usuarios o al aumento en los requisitos de QoS de los servicios, aumentando la dificultad para satisfacer los niveles máximos de QoS para todos los usuarios del sistema, este esquema proporciona los mayores niveles de utilidad a los servicios más prioritarios, es decir, en los escenarios en los que no es posible alcanzar los mismos niveles de utilidad para todos los usuarios, esta propuesta asigna mayor satisfacción a los usuarios con mayor prioridad. Es posible observar que en escenarios con 20 usuarios por celda, un elevado porcentaje de usuarios, especialmente de los servicios más prioritarios, logran alcanzar los niveles de QoS medios y máximos.

Comparando el rendimiento obtenido con las tres versiones propuestas de la técnica DCEAM para realizar el reparto de los recursos radio en sistemas heterogéneos, es posible apreciar una clara diferencia entre los resultados obtenidos con las adaptaciones que asignan la combinación RAT/recursos posible según la disponibilidad actual de recursos en el sistema, propuestas 1 y 2, y el esquema en el que las distintas asignaciones de recursos son asignadas en estricto orden según el nivel de QoS que proporcionan al usuario, propuesta 3 (en la cual es posible asignar más recursos de los disponibles en el sistema en pasos intermedios del reparto para alcanzar la solución de distribución final). Debido a no poder realizar alteraciones en el orden en que son asignados las distintas combinaciones RAT/recursos a los usuarios con la tercera propuesta, las

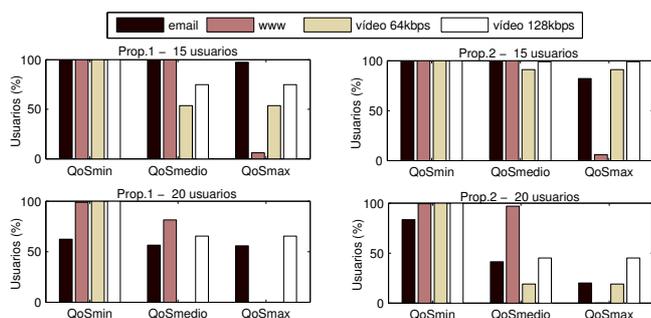


Fig. 2. Asignación de utilidad por clase de servicio en el escenario E1 para las propuestas 1 y 2.

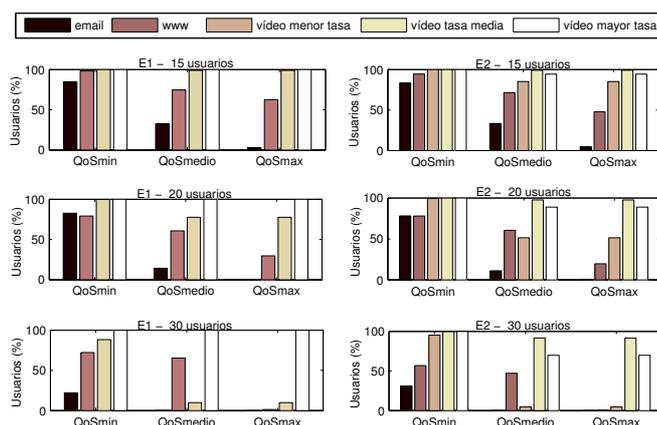


Fig. 3. Asignación de utilidad por clase de servicio para la propuesta 3.

asignaciones de recursos son más ajustadas a los requisitos de QoS de los distintos servicios, de manera contraria a las propuestas 1 y 2. Al comenzar un reparto todos los usuarios parten sin ningún recurso asignado, por lo que, según los principios de DCEAM, las propuestas 1 y 2 asignarán recursos a los usuarios más prioritarios en primer lugar. Mientras no estén agotados los recursos de ninguna RAT, las combinaciones RAT/recursos asignadas a los usuarios se ajustarán a sus requisitos de QoS. En el momento en que no haya recursos suficientes para asignar una determinada combinación RAT/recursos, los usuarios pueden recibir combinaciones RAT/recursos radio que le proporcionen prestaciones muy por encima de sus necesidades de QoS. Por este motivo, son los usuarios servidos en último lugar (en situaciones de alta carga de usuarios suelen ser los usuarios de menor prioridad), los que mayores posibilidades tienen de conseguir asignaciones de recursos que les proporcionen prestaciones mayores a sus necesidades. La Tabla 2 muestra la distribución de las distintas combinaciones RAT/recursos radio realizada por cada una de las propuestas de la técnica DCEAM-CRRM en el escenario E1 con 20 usuarios por celda (ORS indica que no se ha recibido recursos). La tabla muestra que, con la primera propuesta, los servicios menos prioritarios, como son los servicios de navegación web e email, reciben la asignación 1H en un elevado porcentaje de transmisiones; con esta asignación, los usuarios de email alcanzan el nivel de QoS máximo mientras que usuarios de vídeo en tiempo real a 64 y 128 kbps, ni siquiera alcanzan el nivel de QoS medio con la asignación de recursos recibida. Con la mejora introducida en la segunda propuesta, el número de veces que el servicio de email recibe recursos de HSDPA se reduce, siendo estos recursos asignados a otros servicios más prioritarios y consiguiendo que estos usuarios

	Propuesta 1		Propuesta 2		Propuesta 3	
	RAT/Rec.	%	RAT/Rec.	%	RAT/Rec.	%
email	ORS	31.16	ORS	30.11	ORS	16.36
	1G	6.48	2G	8.34	1G	0.96
	2G	5.87	3G	15.62	1E	65.17
	3G	0.67	2E	11.01	2G	4.7
	1H	55.79	1H	23.97	2E	11.50
navegación web	3G	8.76	3G	1.15	ORS	13.79
	2E	8.66	7G	0.80	3G	16.05
	1H	81.02	1H	96.33	1H	30.03
vídeo 16kbps	4E	43.74	1H	95.06	4E	12.93
	7G	29.31	2H	4.94	1H	7.89
	1H	26.95	2H	4.94	2H	77.06
vídeo 128kbps	8E	34.59	8E	60.44	2H	99.89
	2H	65.41	2H	39.56	3H	0.11

Tabla 2. Recursos radio asignados por clase de servicio en escenario E1 con 20 usuarios por celda.

alcanzen niveles de QoS más elevados. A pesar de esta mejora, la segunda propuesta sigue sin ajustarse a las necesidades de los distintos servicios cuando la escasez de recursos aumenta debido al aumento de las demandas de recursos radio. Por último, las asignaciones realizadas por la tercera propuesta son más ajustadas a las necesidades de los distintos servicios. El 67.5% de las veces, los usuarios de email reciben recursos que satisfacen su nivel de QoS mínimo y sólo en el 16.4% de las veces recibe recursos por encima de este nivel, mientras que los usuarios de los servicios de vídeo más prioritarios logran alcanzar combinaciones RAT/recursos para garantizar sus niveles de QoS máximo. Como mostró la Fig. 3, esta tendencia permanece independientemente de la cantidad de demandas de recursos radio en el sistema.

IV. CONCLUSIONES

Este trabajo ha propuesto y evaluado la aplicación de técnicas RRM basadas en teoría de bancarrota para la definición de políticas CRRM que gestionen eficientemente las distintas RATs disponibles en redes de comunicaciones móviles heterogéneas *Beyond 3G* y sus correspondientes recursos radio. Los resultados obtenidos han mostrado que realizando una adecuada adaptación al nuevo entorno, es posible satisfacer los requisitos de QoS de los distintos servicios, obteniendo un buen rendimiento e incluso cumplir con las prioridades entre servicios establecidas. Además, las distintas propuestas realizadas son capaces de conseguir la adaptación de las asignaciones de recursos de forma dinámica según la carga del sistema y las demandas de QoS de los distintos servicios.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido financiado por el Ministerio de Educación y Ciencia y fondos FEDER bajo los proyectos TEC2005-08211-C02-02 y MTM2005-09184-C02-02.

REFERENCES

- [1] L. Giupponi, et al., "A novel approach for joint radio resource management based on fuzzy neural methodology", *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 57, pp. 1789-1805, Marzo 2008.
- [2] M. C. Lucas-Estañ, J. Gozávez, J. Sánchez-Soriano, "Multi-channel radio resource distribution policies in heterogeneous traffic scenarios", en *Proc. 66th IEEE VTC2007-Fall*, pp. 1674-1678.
- [3] W. Thomson, "Axiomatic and game-theoretic analysis of bankruptcy and taxation problems: a survey", *Mathematical Social Sciences*, vol. 45, pp 249-297, 2003.