

Políticas de reparto de recursos radio móviles para tráfico heterogéneo

M. Carmen Lucas Estañ⁽¹⁾, Javier Gozávez⁽¹⁾, Joaquín Sánchez Soriano⁽²⁾, Daniel Calabuig⁽³⁾.
maria.lucas@alu.umh.es, j.gozalvez@umh.es, joaquin@umh.es

⁽¹⁾ Área de Teoría de la Señal y Comunicaciones. Universidad Miguel Hernández. Avda de la Universidad, 03202 Elche

⁽²⁾ Centro de Investigación Operativa. Universidad Miguel Hernández. Avda de la Universidad, 03202 Elche

⁽³⁾ Universidad Politécnica de Valencia

Abstract- Multi-channel operation in wireless systems has been proposed to increase user throughput and reduce transmission delays. However, multi-channel operation requires adequate resource allocation policies to guarantee user fairness and avoid channel access stagnation. The definition of such policies is particularly challenging in heterogeneous traffic scenarios where each traffic service has different quality of service requirements. In this context, this work proposes and evaluates various multi-channel radio resource distribution policies designed to operate under heterogeneous traffic environments. In particular, this paper proposes the application of bankruptcy policies to guarantee user fairness, and compares their performance to other schemes. The proposed policies can also be extended to manage radio resources in heterogeneous wireless systems.

I. INTRODUCCIÓN

El aumento en la demanda de servicios móviles y las distintas exigencias de calidad de servicio (QoS) que cada uno presenta, imponen la necesidad de realizar un uso eficiente de los escasos recursos radio disponibles. Éste es el objetivo de las técnicas de gestión de recursos radio, entre las que destaca la asignación multicanal. Esta técnica permite asignar distintos recursos radio (intervalos de tiempo, códigos, potencia de transmisión, etc) simultáneamente a un usuario, aumentando su tasa de transmisión y disminuyendo los retardos.

En el diseño de un mecanismo de asignación multicanal deben considerarse los diferentes requisitos de QoS de cada usuario con el fin de maximizar el rendimiento global de un sistema de comunicaciones móviles. El trabajo citado en [1] muestra que considerar todos los posibles patrones de distribución de los canales en una asignación multicanal resulta en un coste computacional excesivo para los sistemas actuales. En [2] se presenta una política *weighted round robin* con asignación de los pesos según el tipo de servicio. Los resultados obtenidos muestran como el rendimiento logrado tiene una gran dependencia con los pesos escogidos, y la necesidad de adaptar estos pesos a la carga experimentada en el sistema. El uso de políticas de distribución de canales basadas en funciones de utilidad es sugerido en [3] y [4]. Mientras que [3] define las funciones de utilidad en base a la calidad del canal radio, [4] considera para su definición el precio que los usuarios están dispuestos a pagar por los recursos radio. [4] propone subastas de tipo Vickrey para satisfacer los requisitos de QoS para servicios con tasas de transmisión constantes. Por otro lado, [5]

propone una técnica que busca un reparto equitativo de los recursos entre usuarios. Este trabajo define el ancho de banda necesario por cada usuario para garantizar una transmisión adecuada y según estos, los recursos son distribuidos en partes iguales entre los usuarios. Si se logra satisfacer a todos los usuarios y todavía quedan recursos disponibles, estos recursos se distribuyen nuevamente en partes iguales. Es importante destacar que [5] trabaja con bandas de frecuencia, un recurso continuo e infinitamente divisible, situación que difiere del problema de asignación multicanal planteado en este trabajo, en el cual los recursos radio (intervalos de tiempo) representan un recurso discreto.

En este contexto, este artículo propone un innovador enfoque en la asignación multicanal usando teorías de bancarrota. En situaciones de bancarrota, el valor de una empresa es inferior a la suma de sus deudas. Así pues, se hacen necesarias metodologías adecuadas para dividir su valor neto entre sus acreedores [6]. Por la similitud en los planteamientos de ambos problemas, este trabajo propone la aplicación de reglas de bancarrota para la definición de políticas de asignación multicanal en escenarios con tráfico heterogéneo. Además de las propuestas derivadas de esta teoría, también se presenta un esquema de reparto de canales cuya política de asignación se basa en la tasa de transmisión requerida para garantizar una transmisión satisfactoria.

II. REPARTO MULTICANAL DE LOS RECURSOS RADIO

Para garantizar la máxima eficiencia en el uso de los canales radio y la consecución de los niveles de QoS requeridos por los usuarios, este trabajo propone mecanismos de reparto que aprovechan la diversidad de requisitos de QoS impuestos por los distintos tipos de servicios.

A. Funciones de utilidad

La definición de las adecuadas funciones de utilidad es una de las claves para lograr los objetivos citados. Las funciones de utilidad propuestas en este trabajo han sido definidas considerando el nivel de satisfacción (concepto subjetivo que depende de la percepción del usuario) logrado por el usuario según el número de recursos radio asignados y el servicio demandado; este trabajo considera un escenario con tráfico heterogéneo compuesto por transmisiones de correo electrónico (*background*), web (interactivo) y vídeo H.263 en tiempo real (con velocidades medias de 16, 32 y 64 kbps). Según establece el 3GPP [7], este trabajo considera

satisfactoria la transmisión de una página web o de un correo electrónico si se realiza en un tiempo no superior a 4 segundos. La transmisión de una trama de vídeo en tiempo real será considerada satisfactoria si se transmite de forma completa antes del comienzo de la siguiente. Para obtener las funciones de utilidad se han establecido unos niveles de satisfacción mínimo, medio y máximo (Tabla 1) definidos en base a la tasa de transmisión para los servicios de navegación web y correo electrónico, y al porcentaje de tramas transmitidas a tiempo para el servicio de vídeo.

	Min. QoS	Medio QoS	Max. QoS
Navegación web	32kbps	64kbps	128kbps
Correo electrónico	16kbps	32kbps	64kbps
Vídeo H.263	75%	95%	100%
Valor de utilidad establecidos	0.95/4	0.95/2	0.95

Tabla 1. Niveles de satisfacción del usuario.

La Fig. 1 muestra los valores de utilidad establecidos, omitiendo el proceso seguido para su consecución por los límites de extensión. Al utilizar el sistema de comunicaciones móviles EDGE (*Enhanced Data Rate for GSM Evolution*) para evaluar las técnicas propuestas, los recursos radio corresponden a intervalos de tiempo (TS) TDMA, siendo 8 intervalos temporales el número máximo de recursos que pueden ser asignados a un usuario. Como consecuencia del nivel mínimo de QoS establecido en la Tabla 1, algunos servicios necesitan más de un recurso radio para alcanzar un valor de utilidad mayor que cero. A pesar de no detallar el proceso de definición de estas funciones de utilidad, el análisis de los resultados realizado en la Sección IV confirmará su validez.

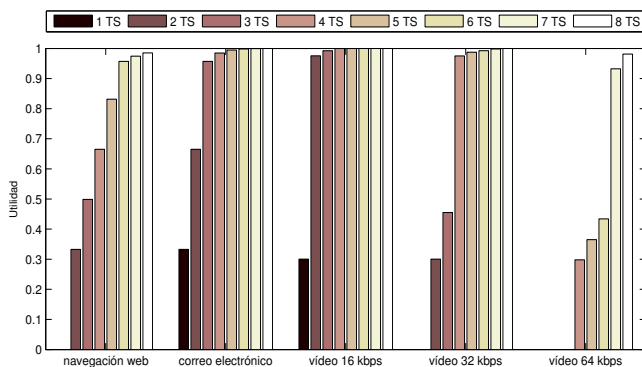


Fig. 1. Valores de utilidad según número de recursos radio y tipo de servicio.

B. Técnica de reparto DCEAM

Este artículo evalúa el potencial de las reglas de reparto basadas en la teoría de Bancarrota como posibles candidatas para abordar el problema de la asignación multicanal en sistemas de comunicaciones móviles; en particular se considera la técnica *Constraint Equal Award* (CEA) [6], originalmente diseñada para realizar repartos igualitarios de recursos escasos. Para definir esta regla se considera una cantidad $E \in R_+$ que debe ser dividida entre N agentes cuya suma de demandas sobrepasan E . Para cada $i \in N$, $c_i \in R_+$ denota la demanda del agente i , y $c \equiv (c_i)_{i \in N}$ el vector de demandas. Así pues, un problema de demandas se denota por el par $(c, E) \in R_+ \times R_+$, tal que $\sum c_i \geq E$. La regla CEA asigna la

misma cantidad de recursos a cada agente sin asignar más de la cantidad demandada. Según esta regla, los agentes con menores demandas obtienen un mayor nivel de satisfacción que los que realizan demandas mayores. La definición de la regla de reparto CEA puede realizarse como sigue: $CEA(c, E) \equiv \min\{c, \lambda\}$, donde λ se elige de manera que $\sum \min\{c, \lambda\} = E$. Para aplicar la regla CEA al problema de asignación multicanal en sistemas móviles, este trabajo propone la definición de la técnica CEA en modo discreto (*Discrete CEA for Mobile radio resources distribution*, DCEAM). Conservando la filosofía de la regla CEA original, DCEAM intenta satisfacer a todos los usuarios por igual considerando valores de utilidad que, a diferencia de la técnica original, no son directamente proporcionales al número de recursos radio asignados. De esta manera, se representan las características de un escenario con tráfico heterogéneo donde usuarios de distintos servicios pueden experimentar niveles de satisfacción diferentes con el mismo número de recursos radio asignados. Además, DCEAM ha sido diseñada para repartir recursos de naturaleza discreta (intervalos temporales para sistemas TDMA o códigos para CDMA), a diferencia de CEA que considera recursos continuos. Así pues, considerando los niveles de QoS establecidos y las funciones de utilidad definidas (Tabla 1 y Fig. 1), asignar el mismo nivel de QoS a todos los usuarios resulta en una distribución de los recursos radio desigual por tipo de servicio. Si no se dispone de recursos suficientes para satisfacer a todos los usuarios por igual, los usuarios son atendidos en el siguiente orden de prioridades: vídeo a 64 kbps, vídeo a 32 kbps, vídeo a 16 kbps, navegación web y correo electrónico. DCEAM actúa de la siguiente manera: los recursos radio son asignados uno a uno, recibiendo cada recurso el usuario con menor valor de utilidad, y en el caso de que existan varios usuarios con el mismo valor de utilidad, el recurso es asignado al usuario más prioritario.

C. Técnica de reparto RATE

En este trabajo también se propone la técnica RATE (*Required data rate*). RATE no basa su decisión en funciones de utilidad, sino que estima la tasa de datos necesaria para que cada usuario realice su transmisión de manera satisfactoria según lo establecido en la Sección II.A; RATE asignará pues el número de recursos radio necesario para satisfacer las tasas de datos calculadas. En caso de que la transmisión de una trama de vídeo en tiempo real no se haya completado antes de la generación de la siguiente trama, ésta es abortada. Sin embargo, aunque una página web no se transmita en el tiempo establecido por el 3GPP, no será abortada. Para transmisiones que superen los 4 segundos, RATE considera como la tasa de datos requerida, una tasa fija correspondiente al nivel de QoS mínimo definido en la Tabla 1. Una vez establecida la tasa requerida por cada usuario, se proponen dos versiones de la técnica RATE. La primera de ellas atiende las peticiones de los usuarios de mayor a menor tasa de datos demandada, sin tener en cuenta las prioridades entre servicios. La segunda versión agrupa a los usuarios por servicios y aplica la técnica DCEAM previamente definida sobre cada grupo de peticiones. En este caso, DCEAM basará su decisión en las tasas de datos calculadas y no en las funciones de utilidad definidas. El orden de prioridades considerado es el mismo que el establecido para DCEAM.

III. PLATAFORMA DE SIMULACIÓN

El rendimiento de las políticas de asignación multicanal propuestas se ha valorado utilizando una avanzada plataforma de simulación denominada SPHERE (*Simulation Platform for HETerogeneous wiREless systems*) [9]. Esta plataforma integra tres avanzados simuladores a nivel de sistema que emulan las tecnologías radio GPRS (*General Packet Radio Service*), EDGE y HSDPA (*High-Speed Downlink Packet Access*). SPHERE ofrece la posibilidad de trabajar sobre un entorno heterogéneo o sobre una única tecnología, como en este caso, en el que se ha utilizado la interfaz radio EDGE, en la cual han sido implementados todos sus modos de transmisión y modelado su comportamiento adaptativo mediante la técnica LA (*Link Adaptation*). La retransmisión de datos recibidos con error se realiza a través de un protocolo ARQ selectivo siguiendo las especificaciones dadas en el 3GPP; los protocolos de retransmisión han sido desactivados para los servicios de vídeo en tiempo real sensibles al retardo. La Tabla 2 resume la configuración de la plataforma SPHERE utilizada en el presente trabajo.

Parámetros	Valor
Células simuladas	25
Tamaño de cluster	4
Sectorización	120°
Células interferentes	Celdas del 1° y 2° anillo interferente
Radio celular	1 km
Canales por sector	8 (1 portadora)
Usuarios por sector	16: 5 web, 5 email, 2 vídeo 16kbps, 2 vídeo 32kbps, 2 vídeo 64kbps
Mobilidad	50 km/h velocidad de usuario
Pathloss	COST 231 Hata
Shadowing	Log-normal con 6dB desviación estándar
Selección de canal	Aleatorio
Scheduling	<i>First Come First Served</i>
ARQ	Tamaño de ventana= 384 bloques RLC Confirmación cada 32 bloques RLC
Link Adaptation	Periodo inicial=60ms Resto de periodos=100ms

Tabla 2. Parámetros de la simulación a nivel de enlace.

IV. EVALUACIÓN

Para analizar el potencial de las técnicas propuestas DCEAM y RATE, se utilizan como referencia los resultados obtenidos por una técnica de asignación multicanal fija que o bien asigna todos los recursos demandados o pone al usuario en espera. Esta técnica se aplica en tres escenarios diferenciados por las demandas de los usuarios (Tabla 3) establecidas en base a los valores de utilidad definidos previamente. Para cualquier política propuesta, todos los recursos se reasignan cada vez que un usuario realiza una nueva petición de canal o finaliza su transmisión. Solamente los usuarios activos de los servicios en tiempo real mantendrán los recursos radio asignados en el reparto anterior siempre que estos no superen el número de recursos radio que garantizan el nivel de QoS mínimo, si fuese el caso sólo mantendrán el número de recursos que corresponden al nivel de QoS mínimo. Partiendo de esta situación, los usuarios de vídeo deberán volver a competir con el resto de

usuarios para obtener más recursos. El principal marcador del rendimiento logrado por las políticas de asignación es la satisfacción de usuario, parámetro que mide el porcentaje de transmisiones satisfactorias realizadas, según lo establecido en la Sección II.A.

Escenario	Navegación web	Correo electrónico	Vídeo 16kbps	Vídeo 32kbps	Vídeo 64kbps
QoS mínima	2	1	1	2	4
QoS media	3	2	2	4	7
QoS máxima	6	3	4	8	8

Tabla 3. Demanda de recursos radio para la política de asignación fija.

La Tabla 4 y la Tabla 5 muestran el nivel de satisfacción de usuario logrado por las distintas políticas de reparto propuestas en el escenario descrito en la Tabla 2. La técnica de asignación fija destaca por su ineficiencia, especialmente para los servicios en tiempo real, servicios con mayores exigencias de QoS. Por otro lado, DCEAM consigue niveles de satisfacción elevados para los usuarios más exigentes, es decir, los usuarios de vídeo en tiempo real, para los cuales se consigue que en torno al 90% reciban recursos en cada reparto (Tabla 6). Además se observa como el número de recursos radio asignados a estos usuarios es el número de recursos que garantiza el nivel de QoS mínimo. El alto rendimiento logrado para los servicios en tiempo real se consigue sacrificando los servicios de tipo interactivo y *background*. Para comprender estos resultados, debe indicarse como en cada nuevo reparto, la mayoría de usuarios comienzan con un valor de utilidad igual a cero (excepto los usuarios de vídeo que mantienen recursos previamente asignados). Así pues, los usuarios con mayor prioridad (los usuarios de tiempo real), son atendidos en primer lugar hasta alcanzar el nivel de QoS mínimo, lo que explica el bajo porcentaje de tramas no enviadas. Por tanto, sólo cuando los usuarios prioritarios alcanzan dicho nivel, los usuarios de servicios interactivos y *background* son atendidos, aunque con una baja disponibilidad de recursos debido a la alta carga del sistema y al número de recursos radio emulados. Este hecho también explica la tendencia a asignar el número de recursos correspondiente al nivel de QoS mínimo. Esta asignación mínima conlleva bajas velocidades y elevados tiempos de transmisión, implicando un número considerable de usuarios solicitando canales al mismo tiempo y justificando la dificultad de los usuarios menos prioritarios para obtener canales. Esta baja tasa de transmisión también explica al porcentaje de tramas de vídeo abortadas. El rendimiento logrado para servicios interactivos y *background* con DCEAM mejoraría relajando el criterio seguido al definir transmisión satisfactoria. Por ejemplo, ampliando el tiempo límite de transmisión de una página web para que sea considerada satisfactoria a 5 o 6 segundos se alcanzaría un nivel de satisfacción del 59% y 67% respectivamente. Otra posibilidad para mejorar el rendimiento logrado para estos servicios es considerar el tiempo en espera experimentado por los usuarios en el reparto de los recursos. La Tabla 5 y Tabla 7 muestran el rendimiento de una propuesta que conserva los principios de DCEAM, pero modifica el orden de prioridades, asignando mayor prioridad al usuario que experimenta mayor tiempo en espera. Los resultados muestran que al considerar el tiempo en espera se realiza un reparto más igualitario entre los distintos servicios, aunque

esto supone reducir el nivel de QoS alcanzado por los usuarios del servicio en tiempo real.

	QoS mínima	QoS media	QoS máxima
Navegación web	79.38	79.99	76.32
Correo electrónico	66.05	77.22	70.59
Vídeo 16kbps	74.88	81.11	43.42
Vídeo 32kbps	57.17	38.22	23.20
Vídeo 64kbps	25.93	9.93	22.11

Tabla 4. Satisfacción de usuario (%) para las técnicas de asignación fija.

	DCEAM	DCEAM modificada	RATEv1	RATEv2
Navegación web	48.94	60.31	60.08	46.38
Correo electrónico	11.31	44.27	25.02	10.09
Vídeo 16kbps	86.52	70.91	34.93	89.91
Vídeo 32kbps	87.54	71.08	62.37	88.54
Vídeo 64kbps	87.18	70.45	78.25	85.15

Tabla 5. Satisfacción de usuario (%) para las técnicas DCEAM y RATE.

	Tasa de transmisión media (kbps)	Tiempo espera medio (segundos)	nº slots asignados	% de tramas abortadas	% de tramas no enviadas	% de usuarios servidos
Navegación web	52.28	6.7944	1.80	-	-	36.77
Correo electrónico	33.44	125.2817	1.11	-	-	5.03
Vídeo 16kbps	24.48	0.0162	1.05	10.49	2.99	86.74
Vídeo 32kbps	45.10	0.0127	1.99	11.04	1.42	90.99
Vídeo 64kbps	80.96	0.0081	3.70	12.68	0.14	97.26

Tabla 6. Rendimiento DCEAM¹.

	Tasa de transmisión media (kbps)	Tiempo espera medio (segundos)	nº slots asignados	% de tramas abortadas	% de tramas no enviadas	% de usuarios servidos
Navegación web	55.95	3.4728	1.97	-	-	47.48
Correo electrónico	32.82	7.9923	1.13	-	-	44.11
Vídeo 16kbps	26.21	0.0426	1.22	15.12	13.97	64.48
Vídeo 32kbps	46.00	0.0389	2.11	16.86	12.06	69.16
Vídeo 64kbps	80.24	0.0309	3.65	19.73	9.82	74.47

Tabla 7. Rendimiento DCEAM modificada.

El rendimiento logrado por ambas versiones de la técnica RATE es mostrado en la Tabla 5. Los resultados obtenidos muestran que no considerar las prioridades entre servicios degrada considerablemente el rendimiento de los servicios en tiempo real a favor de los servicios interactivos y *background*. Por otro lado, se observa como la segunda

¹ El tiempo de espera medio corresponde al tiempo que el usuario espera hasta que reciben recursos. El modelo de vídeo implementado aborta la transmisión de una trama si ésta no finaliza antes de que la siguiente trama sea transmitida. Para tiempos de espera largos, puede ocurrir que el usuario nunca reciba recursos para enviar la trama. El porcentaje de usuarios servidos representa el cociente de usuarios que reciben recursos con respecto a los que demandan.

versión de RATE y DCEAM alcanzan resultados muy similares, indicando que las funciones de utilidad definidas en este trabajo y utilizadas por DCEAM reflejan de manera adecuada las necesidades de cada usuario, validando el procedimiento seguido en su definición. Aunque ambas propuestas alcanzan resultados muy similares, DCEAM presenta un menor coste computacional en tiempo real, pues sólo requiere un proceso de planificación *off-line* y no debe calcular en cada reparto las tasas de datos requeridas por cada usuario.

V. CONCLUSIÓN

Este trabajo ha propuesto distintas técnicas para abordar el problema de la asignación multicanal en escenarios con tráfico heterogéneo, incorporando técnicas de bancarrota a este campo y demostrando su valía y potencial. Las técnicas propuestas basan su decisión en la estimación en tiempo real de la tasa de transmisión necesaria o en funciones de utilidad. Los resultados destacan la importancia de una definición adecuada de las funciones de utilidad, con las que se consigue una adaptación fácil y automática a las condiciones de carga de la red, y de unas prioridades acorde con la política del operador. Actualmente, los autores trabajan en la aplicación de estas prometedoras técnicas en la gestión de los recursos radio en sistemas inalámbricos heterogéneos 4G.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido financiado por el Ministerio de Educación y Ciencia de España y fondos FEDER a través del proyecto TEC2005-08211-C2-02 y MTM2005-09184-C02-02, y por la Generalitat Valenciana, a través del proyecto GV05/189.

REFERENCIAS

- [1] E. Vivier, M. Terré, B. Fino, "Determination of all possible resource allocations in a packet communication network", in Proc. of the IEEE Vehicular Technology Conference, September 2002, pp. 2346-2350.
- [2] A. Kuumu, D. Fernández, R. Sánchez, "Service Based Prioritization in (E)GPRS Radio Interface", in Proc. of the IEEE Vehicular Technology Conference, September 2004, pp. 2625-2629.
- [3] P. Y. Kong, D. He, "An Efficient Resource Allocation Scheme For Time-Sensitive Traffic in Wireless Networks", in Proc. of the IEEE PIMRC conference, 7-10 September 2003, pp. 2312-2316.
- [4] M. Dramatinos, G. D. Stamoulis, C. Courcoubetis, "Auction-based Resource Allocation in UMTS High Speed Downlink Packet Access (HSDPA)", in Proc. of the Next Generation Internet Networks conference, 18-20 April 2005, pp. 434-441.
- [5] A. Malla, M. El-Kadi, S. Olariu, P. Todorova, "A Fair Resource Allocation Protocol for Multimedia Wireless Networks", *IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems*, vol.14, pp. 63-71, January 2003.
- [6] W. Thomson, "Axiomatic and game-theoretic analysis of bankruptcy and taxation problems: a survey", *Mathematical Social Sciences*, vol. 45, pp 249-297, 2003.
- [7] 3GPP, Services and service capabilities, 3GPP TS 22.105, version 6.3.0, 2005.
- [8] C. Herrero and R. Martínez, "Balanced Allocation Methods for Claims Problems with Indivisibilities", CORE Discussion Paper 2006/66, July 2006. Available at SSRN: <http://ssrn.com/abstract=944416>
- [9] M. López-Benítez, M. Lucas-Estañ and J. Gozalvez, "A dynamic radio simulation platform for the study of radio resource management techniques in heterogeneous wireless systems", in Proc. of the 9th ACM/IEEE MSWIM conference (Demos Session), October 2006.