

Scheduling y Control de Flujo en HSDPA

Gaspar Pedreño López, Juan José Alcaraz Espín, Fernando Cerdán Cartagena
Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Telecomunicación. Universidad Politécnica de Cartagena
Campus Muralla del Mar. C/ Dr. Fleming s/n.
Teléfono 968 32 65 44 Fax: 968 32 59 77
E-mail: {gaspar.pedreno, juan.alcaraz, fernando.cerdan}@upct.es

Resumen. En los próximos años, se espera que los servicios de datos se conviertan en la principal fuente de tráfico en redes móviles celulares 3G. Esta evolución del mercado de las comunicaciones móviles supondrá la demanda de sistemas de mayor capacidad y de mayores tasas de transferencia. Dentro de este contexto, el 3GPP ha introducido una nueva funcionalidad dentro de las especificaciones de Release 5 [1] que se conoce como High Speed Downlink Packet Access (HSDPA) y que representa una evolución de la interfaz radio WCDMA. Los principales objetivos de HSDPA son incrementar la tasa de transferencia por usuario, mejorar la calidad de servicio percibida por el usuario y conseguir reducir el coste por bit de datos entregado. El logro de estos objetivos está fuertemente condicionado por la elección e interacción de dos mecanismos clave dentro del funcionamiento de HSDPA: el scheduling realizado en el Nodo B y el control de flujo entre Nodo B y RNC. En este artículo se pretende recoger y resumir los distintos tipos de uno y otro mecanismo aparecidos en la literatura científica hasta la fecha, identificando sus bondades e inconvenientes.

1. Introducción

El concepto HSDPA supone la introducción de un nuevo tipo de canal de transporte, conocido como High Speed Downlink Shared Channel (HS-DSCH) [1], y el desplazamiento de cierta funcionalidad de la capa MAC desde la Radio Network Controller (RNC) hasta el Nodo B. HS-DSCH se diferencia de los anteriores canales compartidos DSCH por la incorporación de los siguientes cambios y mecanismos: Modulación y Codificación adaptativas, *Hybrid ARQ*, *fast Packet Scheduling* y una reducción del TTI a 2ms [1]. Estas características son soportadas gracias a la introducción de una nueva capa en el Nodo B, conocida como MAC-hs. En la figura 1 se puede observar la estructura de protocolos para la interfaz radio de UMTS con funcionalidad HSDPA.

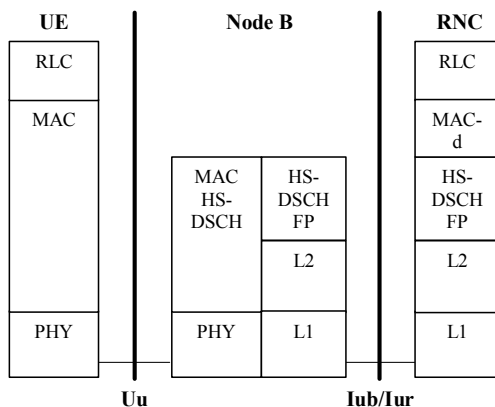


Figure 1. Estructura de protocolos del interfaz radio de UMTS con HSDPA.

Comparada con la arquitectura de Release '99, el traslado del *Packet Scheduler* (planificador de paquetes) desde la RNC hasta el Nodo B es el cambio estructural más significativo. Este cambio

viene motivado por la necesidad de dicho *scheduler* de disponer de información reciente acerca del estado del canal.

Dicha entidad MAC-hs también se encarga de almacenar los datos de los usuarios que esperan ser transmitidos a través del interfaz radio. El hecho de que las colas de datos estén ahora en el Nodo B implica la necesidad de un control de flujo para gestionar el transporte de datos entre RNC y Nodo B (*HS-DSCH Frame Protocol*). El diseño de este control de flujo no es una tarea trivial pues, su funcionalidad, en cooperación con el planificador de paquetes, determina las prestaciones del sistema y, por tanto, la QoS percibida por el usuario final.

En este artículo se han recogido los distintos tipos de *schedulers* y controles de flujo propuestos para HSDPA, analizando las ventajas y desventajas de cada uno de ellos.

2. Scheduling

La planificación de paquetes (*scheduling*) juega un importante papel en HSDPA. El objetivo del *scheduler* es maximizar el throughput global de la red a la vez que satisface las restricciones particulares de QoS de cada usuario. El 3GPP señala que dicha funcionalidad de *scheduling* se ha desplazado desde el Radio Network Controller (RNC) hasta el Nodo B pero, sin embargo, no ha especificado ningún mecanismo de *scheduling* para HSDPA. En la literatura científica encontramos numerosas publicaciones que proponen y analizan distintos algoritmos de *scheduling*. Los tres más comunes son los siguientes:

- *Round Robin* (RR). Los recursos son asignados de forma cíclica sin tener en cuenta las condiciones del canal radio. De este modo, todos los usuarios son servidos por igual.

- *Maximum Carrier-to-Interference-Ratio* (Max. C/I). En cada TTI se sirve al usuario con mejor relación portadora a interferencia, es decir, el que experimenta el mejor canal instantáneo. Con este esquema, se maximiza el throughput de la celda a costa de ser injusto con los usuarios situados en los límites de la misma.
- *Proportional Fair* (PF). Es una opción intermedia entre las dos anteriores. Considera las variaciones del canal radio a la vez que aplica un cierto grado de justicia.

PF es el mecanismo más utilizado. Se trata de seleccionar al usuario que presente la mejor relación entre su estado actual del canal y la cantidad de datos enviada al mismo en los instantes anteriores. Así, por ejemplo, en el algoritmo presentado en [2] el usuario con el mejor *Relative Channel Quality Indicator* ($RCQI_k$) es el servido:

$$RCQI_k[n] = \frac{R_k[n]}{T_k[n]} = \frac{\min\left\{CQI_k, \frac{B_k[n]}{t_{TTI}}\right\}}{T_k[n]}$$

dónde $R_k[n]$ es el throughput soportado por el usuario k en el próximo TTI, $T_k[n]$ es el throughput medio entregado al usuario k en el pasado, n es el número de secuencia de TTI y B_k es la cantidad de datos en el buffer del Nodo B pendientes de transmitir al usuario k en el instante actual.

Una evolución del método *PF* es el *Adaptive Proportional Fair* (APF) [3] donde los autores añaden una exponencial al término de tasa instantánea del usuario (R_k) para tratar de impartir mayor justicia entre los usuarios:

$$RCQI_k[n] = \frac{R_k[n]^{c_k}}{T_k[n]}$$

Con *PF* los usuarios que experimentan mayor variabilidad en su canal son los que obtienen mayores tasas de transmisión. Para evitar esta situación, en *APF* se añade un término exponencial asociado a cada usuario con el fin de mantener la tasa proporcional de cada usuario y la tasa promedio de todos los usuarios dentro de unos márgenes aceptables $[-\varepsilon, \varepsilon]$:

$$\begin{cases} c_k = c_k + \Delta c & \text{if } \left(\frac{T_k}{R_k} - \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N \frac{T_j}{R_j} \right) < -\varepsilon \\ c_k = c_k - \Delta c & \text{if } \left(\frac{T_k}{R_k} - \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N \frac{T_j}{R_j} \right) > \varepsilon \end{cases}$$

dicha actualización del valor de c_k se produce cada 50 TTIs eligiendo el valor de Δc en función de la velocidad de convergencia deseada.

3. Control de Flujo

El control de flujo en el interfaz *Iub* (RNC - Nodo B) tiene una importancia crítica sobre el servicio HSDPA, ya que su funcionamiento, en

cooperación con el *scheduler*, determina la QoS percibida por los usuarios. El mecanismo de control de flujo descrito en las especificaciones del 3GPP [4] para HSDPA es el mismo que el propuesto para canales dedicados (DSCH) en la Release '99, basado en un sistema de créditos. El 3GPP presenta dicho control de flujo como un intercambio de tramas *HS-DSCH Capacity Request* y *HS-DSCH Capacity Allocation* entre Nodo B y RNC por cada cola de prioridad (ver Figura 2, seminario). Por su parte, los datos se transfieren a través del envío de tramas *HS-DSCH Data Frames*. Los formatos de cada una de estas tramas pueden consultarse en [4].

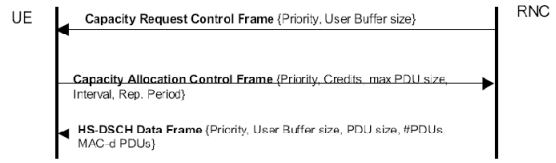


Figura 2. Control de Flujo basado en créditos.

La implementación del control de flujo se deja abierta a operadores y fabricantes de equipos y es un tema de creciente interés dentro de la comunidad científica. En [5] se presenta un esquema de control de flujo entre Nodo B y RNC por flujo MAC-d, es decir, cada conexión MAC-d es controlada independientemente por un proceso de control de flujo. Este tipo de mecanismo es el más habitual. Dicho control de flujo trata de seguir las variaciones del canal radio, controlando la tasa de transferencia de tramas desde la RNC hasta el Nodo B. La meta es mantener los buffers del Nodo B para cada flujo MAC-d a un nivel objetivo B_w , de forma que el tiempo de espera de los datos en el Nodo B no supere un valor predefinido T_w . Dicho nivel B_w viene dado por:

$$B_w = R_0 \cdot T_w$$

dónde R_0 es la tasa efectiva sobre el canal radio de la conexión considerada. Dicha tasa R_0 es medida y promediada durante un tiempo configurable T_m . Dado el nivel del buffer deseado B_w , el control de flujo trata de compensar la diferencia entre dicho nivel y el nivel real del buffer en un tiempo predeterminado T_u . Teniendo en cuenta esta diferencia entre los niveles ideal y real, una nueva tasa de transferencia es calculada para la capa RLC (*Radio Link Control*) de la RNC, R_i , la cual estará en uso durante el siguiente periodo T_u :

$$R_i = \max\left(0, R_0 + \alpha \frac{B_w - B}{T_u}\right)$$

Consecuentemente, durante el siguiente periodo de actualización T_u la RNC podrá transferir un número máximo de créditos D_i (tramas *HS-DSCH DATA FRAMES*):

$$D_i = R_i \cdot T_u$$

En [6] se presentan dos modelos distintos de control de flujo, uno similar a éste, realizado de

forma independiente para cada flujo, y otro denominado *control de flujo por Nodo*. En este último los créditos se conceden de forma global al conjunto de usuarios y se reparten entre todos los buffers del Nodo B mediante un factor de ponderación basado en un promediado del CQI. Su principal inconveniente es que los factores de ponderación no garantizan que haya suficientes tramas para transmitir al usuario seleccionado por el *scheduler* en un instante determinado. Los controles de flujo de HSDPA descritos hasta ahora actúan de forma reactiva, basándose principalmente en las medidas del tamaño de los buffers del Nodo B y la tasa de transmisión por el interfaz radio. En todos ellos no se tienen en cuenta los recursos disponibles en la red de transporte del Iub, los cuales son compartidos con otros servicios *Real Time* (RT) y *Non Real Time* (NRT). Sin embargo, el mecanismo de control de flujo descrito en [7], llevado a cabo desde la RNC, actúa de forma proactiva considerando los recursos disponibles en la red de transporte que da soporte al Iub.

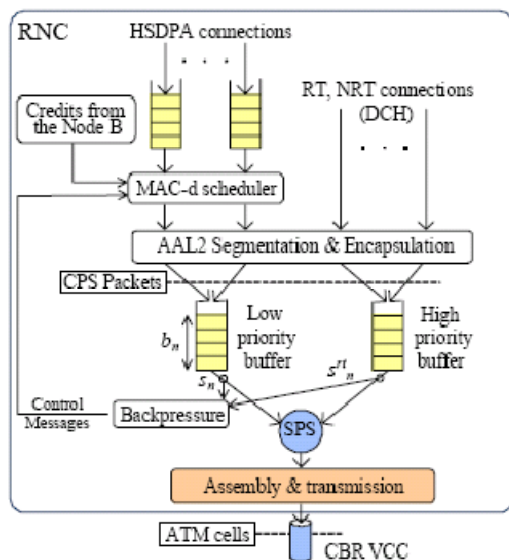


Figura 3. Arquitectura del algoritmo "Backpressure" [7].

Tal y como se puede observar en la figura 3, en [7] se supone la existencia de dos buffers en la capa AAL2 de la RNC, uno de baja prioridad y otro de alta (RT y NRT). El objetivo de este control de flujo es gestionar la ocupación del buffer de baja prioridad para que el retardo de la capa AAL2 no supere el máximo retardo permitido (impuesto por el tipo de tráfico). Para ello se realiza una gestión activa de dicho buffer mediante la definición de una serie de umbrales cuyo rebasamiento implica la generación de mensajes de control. Dichos mensajes indican a RLC la máxima tasa permitida para HSDPA (número de créditos). Se trata pues de un

mecanismo de control de flujo puramente *cross-layer*.

Por otro lado, además del mecanismo de control de flujo entre RNC y Nodo B, las especificaciones recogen la posibilidad de implementar un esquema de control de congestión entre ambas entidades. Tal y como se describe en ellas [8], consiste en un mecanismo que actuaría como freno de emergencia ante posibles situaciones de congestión, situaciones que se detectarían por retrasos excesivos en la llegada de tramas HS-DATA FRAMES al nodo B, o bien, por la pérdida de alguna de éstas.

4. Conclusiones

Scheduling y control de flujo son dos temas de interés creciente dentro de la tecnología HSDPA. Dicho interés se debe a que empieza a conocerse el efecto que ambos tienen sobre las prestaciones del sistema.

Partiendo de un extenso trabajo de documentación, en este artículo se han resumido las soluciones más relevantes publicadas hasta el momento en uno y otro campo. Dentro del proceso de investigación llevado a cabo, el siguiente paso consistirá en el estudio y análisis de las interacciones entre cada uno de estos mecanismos con el fin de hallar las combinaciones más ventajosas en cuanto a prestaciones se refiere.

5. Referencias

- [1] 3GPP TS25.308, "UTRA High Speed Downlink Packet Access (HSDPA); Overall description; Stage 2", version 7.5.0. (2008-01).
- [2] Kolding, T. E. "Link and system performance aspects of proportional fair scheduling in WCDMA/HSDPA." Vehicular Technology Conference, vol 3, October 2003, pp 1717-1722.
- [3] Aniba, G., Aïssa, S. "Adaptive Proportional Fairness for Packet Scheduling in HSDPA". Globecom 2004.
- [4] 3GPP TS25.877. "High Speed Downlink Packet Access: Iub/Iur protocol aspects". Version 5.1.0, June 2002
- [5] Necker, M. C., Weber, A. 2005. "Impact of Iub flow control on HSDPA system performance". PIMRC 2005 (Berlin, Germany).
- [6] Whillans, N. "End-to-End Network Model for Enhanced UMTS". 1ST SEACORN Project Deliverable D3.2v2, October 2003.
- [7] Bajzik, L et Al. "CrossLayer Backpressure to Improve HSDPA Performance". PIMRC 2006.
- [8] 3GPP TS25.902. "Iub/Iur Congestion Control". Version 7.1.0, March 2007