

3 Principios HSDPA

HSDPA ha sido introducido en los estándares del 3GPP a partir de la versión 5 (Release5).

Las principales características que pueden describir a grandes rasgos qué es HSDPA son:

- Es un servicio de transferencia de datos exclusivamente, donde los recursos se orientan a la transmisión de paquetes de datos en el interfaz aire a diferentes terminales basados en "*best effort*", es decir, la calidad de servicio será lo mejor posible dentro de las posibilidades de la red, sin tener unos valores umbrales a cumplir.
- Es un servicio para el canal descendente (Downlink, DL). En el canal ascendente (Uplink, UL) no introduce ninguna mejora. Por ello está sobre todo orientado a descarga de información desde la red.
- La tasa de transferencia que se puede conseguir actualmente varía entre 1 – 5 Mbit/s (max. teórico de HSDPA es 13,98 Mbit/s)

En UMTS R'99 existen básicamente 3 métodos para la operación en el enlace descendente: DCH o canal dedicado, FACH o canal común descendente y DSCH o canal dedicado compartido. El canal DSCH ha sido reemplazado con la llegada del HSDPA e incluso ha sido reconocido en el 3GPP que ha sido eliminado de las especificaciones a partir de la versión 5.

- El canal FACH se usa para transferencias de poco volumen o durante el establecimiento y cambio de estado de las conexiones.
- El canal DCH es la parte clave del sistema incluso con la introducción de HSDPA. De hecho, las conexiones HSDPA están siempre formadas por canales DCH en paralelo a los canales específicos HSDPA. Si el servicio es únicamente de datos, la portadora de señalización, así como los datos de usuario en el enlace ascendente serán transportados por el DCH. Se usa para cualquier tipo de servicio y tiene un factor de ensanchamiento fijo en DL durante la conexión. Además, se reserva los recursos del árbol de códigos correspondientes a la tasa máxima de las conexiones. En capas superiores se pueden modificar los factores de ensanchamiento, en lo que se conoce como adaptación de la tasa de bits (*Bit Rate Adaptation*) pero en ocasiones este sistema es demasiado lento para reaccionar a los cambios en el tráfico. En caso de tener múltiples servicios, la capacidad reservada será la suma de las tasas de los diferentes servicios. La tasa máxima implementada ha sido hasta los 384 Kbps. Utiliza el control de potencia y el *soft-handover*.

HSDPA se basa en el uso de la adaptación del enlace, la rápida asignación de recursos y las retransmisiones de capa física. Estos métodos tienen el objetivo de mejorar el rendimiento de las descargas de paquetes de datos tanto en términos de capacidad como de velocidades netas de descarga. HSDPA no utiliza técnicas como el control de potencia o el *soft-handover*.

Nuevos canales han sido introducidos para la operación de HSDPA. Para los datos de usuarios existe el **HS-DSCH**, *High Speed Data Shared Channel*, y su correspondiente canal físico. Para la señalización asociada necesaria hay dos canales físicos, **HS-SCCH** (*High Speed Shared Control Channel*) en DL y el **HS-DPCCH** (*High Speed Dedicated Physical Control Channel*) en UL.

El principio de operación general en HSDPA, se basa en el Nodo B que estima la calidad del canal de cada usuario HSDPA activo gracias a la información de nivel físico recibido en UL. La asignación de recursos y la adaptación del enlace son realizadas de forma rápida dependiendo de los esquemas de priorización de los usuarios y a los algoritmos de asignación de recursos implementados.

Por otro lado existen las retransmisiones a nivel físico. En UMTS R'99, cuando los datos no son recibidos de forma correcta se hace necesaria la retransmisión desde el RNC. A nivel físico no hay diferencia si el paquete de datos es una retransmisión o uno nuevo. Con HSDPA “acercamos” el proceso al interfaz aire, es decir, los paquetes son almacenados en el Nodo B incluso cuando son enviados al usuario. En caso de fallo, la retransmisión es llevada a cabo por el Nodo B sin intervención del RNC. Si a pesar de esto sigue existiendo el fallo, las retransmisiones a nivel RNC siguen aplicando (protocolo superior RLC Ack/Nack) aunque es esperado una frecuencia mucho menor de éstas.

Las diferencias en HSDPA respecto al sistema UMTS (también llamado R'99):

- Tasa de transferencia más altas para los servicios de conmutación de paquetes. HSDPA se basa en canales comunes compartidos que permiten hasta 10 Mbps. Está diseñado para servicios que requieren tasas de transferencia instantáneas altas en DL y tasas de datos más bajas en UL. También se disminuye el nivel de retransmisiones, permitiéndose con ello la reducción en los tiempos de espera. Ejemplos de estos servicios son la navegación en Internet y la descarga de videos.
- Consideración del tiempo de procesado y memoria en los terminales. HSDPA tiene en cuenta las limitaciones de los terminales como la memoria disponible para transmisión y especialmente para las retransmisiones. También se tiene en consideración las diferentes capacidades para el procesado de los canales físicos. Los terminales son agrupados en categorías del 1 al 12.
- Mayor eficiencia espectral. Aplicando la modulación 16-QAM en DL, las velocidades de transferencia pueden ser duplicadas comparándolas con la modulación QPSK usada en R'99. La cantidad de bits/Hz es aumentado de esta forma ya que 1 símbolo en 16-QAM

corresponde a 4 bits, mientras que en QPSK cada símbolo representa 2 bits. Incluso cuando HSDPA utiliza QPSK, la eficiencia espectral es mejorada ya que HSDPA explota las buenas condiciones radio ajustando las tasas de codificación dando más capacidad para los datos de usuario.

- Pequeños cambios en arquitectura y técnicas utilizadas. HSDPA minimiza las actualizaciones y cambios necesarios en la red de acceso radio (UTRAN) y en los terminales. No obstante, son necesarios algunos nuevos protocolos en el Nodo B y terminales así como mejoras en algunos procesos y protocolos existentes.
- Reparto eficiente de recursos en DL entre los usuarios. HSDPA introduce un nuevo tipo de canal de transporte que hace un uso eficiente de los recursos radio. Además de esto, tiene en cuenta la naturaleza “a ráfagas” de la conmutación de paquetes compartiendo los códigos, potencia de transmisión e infraestructuras entre los usuarios.

3.1 Categoría de los terminales

Los terminales revelarán sus capacidades físicas HSDPA en un mensaje de capa RRC (el mensaje “RRC CONNECTION SETUP COMPLETE”). Este mensaje no es nuevo, sino que ya existía en R’99 pero al que se añaden nuevos elementos de información o campos para intercambiar información relativa a HSDPA a partir de R’5. Entre estos nuevos campos podemos comentar los siguientes que dan información a la red UTRAN de las capacidades del terminal respecto a HSDPA:

- **Categoría HSDPA:**
Esta información nos da la información principal respecto a las capacidades físicas del terminal en HSDPA. Estas categorías van de 1- 12. Las categorías 1 al 10 indican principalmente la posibilidad de utilizar la modulación 16-QAM (nueva en HSDPA). Las categorías 11 y 12 sólo utilizan modulación QPSK (como en R’99). Ya que existe un mapeo entre la categoría y el resto de parámetros (figura 13) que se verán a continuación, la red UTRAN sólo necesitará recibir la categoría del terminal para conocer todas sus capacidades físicas.
- **Máximo número de canales de datos a recibir:**
Esta información indica la capacidad de trabajar en multi-código del terminal, es decir cuantos canales físicos es capaz de procesar en paralelo.
- **Mínimo intervalo entre TTI:**
Los terminales pueden tener un diseño menos complejo utilizando un periodo entre TTI mayor como ocurre con los terminales de categoría 11 o los de categoría 1 al 4. Para todos ellos no será necesario recibir datos cada TTI.
- **Máximo número de bits de un bloque de transporte HS-DSCH en un TTI:**

Este valor informa del tamaño máximo del bloque de transporte HSDPA. Este valor junto con el mínimo intervalo entre TTI determinará *throughput* físico del terminal

- Número de bits para la memoria de capa 1 (*IR Memory*):
Con esta información el terminal indica el tamaño de memoria para *soft-combining*. En HSDPA la capa física no descarta los bloques con errores sino que estos se mantienen para combinarlos con posibles retransmisiones aumentándose la probabilidad de decodificación correcta.

HS-DSCH Category	Maximum Number of HS-DSCH Multi Codes	Minimum inter-TTI Interval	Maximum Number of HS-DSCH Transport Channel Bits received within HS-DSCH TTI	Total Number of Soft Channel Bits over all HARQ Processes
Category 1	5	3	7298	19200
Category 2	5	3	7298	28800
Category 3	5	2	7298	28800
Category 4	5	2	7298	38400
Category 5	5	1	7298	57600
Category 6	5	1	7298	67200
Category 7	10	1	14411	115200
Category 8	10	1	14411	134400
Category 9	15	1	20251	172800
Category 10	15	1	27952	172800
Category 11	5	2	3630	14400
Category 12	5	1	3630	28800

Figura 1 Categoría de terminales

3.1.1 Memoria para redundancia y procesos Stop & Wait.

La cantidad de memoria para redundancia de capa 1 está normalmente dividida en varios procesos “*Stop&Wait Machines*” (SAW) o también llamados procesos ARQ híbridos (H-ARQ). La tarea de un proceso H-ARQ es decodificar con éxito los bloques de transporte HSDPA. Estos procesos pueden estar en estado de reposo (IDLE), de confirmación positiva (ACK) o de confirmación negativa (NACK).

El proceso SAW es bastante robusto, ya que trabaja sin necesidad de números de secuencia y no requiere cabeceras. Tan sólo es necesario un identificador de proceso de 3 bits y el esquema usado que debe ser indicado al terminal. Esto implica la necesidad de un canal de control (HS-SCCH).

Estos procesos se suelen llamar esquemas SAW de N canales, y en HSDPA se utiliza con N=6. Un proceso SAW también se llama canal N-SAW.

En cada sub-trama del canal HS-DSCH (2 ms) los bits de información procedentes de la codificación son transmitidos desde el Nodo B hasta el terminal y almacenados en un proceso SAW para su decodificación. El terminal tiene alrededor de 5 ms (7.5 slots) para el procesamiento de la información recibida y responder al Nodo B con ACK o NACK. Ahora bien, como los diferentes procesos SAW siguen siendo servidos de forma ininterrumpida, si el terminal tiene un intervalo mínimo entre TTI de 1 (es decir, 2 mseg.), éste deberá tener varios decodificadores en paralelo para atender a los diferentes procesos SAW a los que atiende.

Por otro lado, el Nodo B debe esperar por el ACK o NACK procedentes del terminal. Para permitir una transmisión continua se establecen varios procesos o canales SAW en HSDPA. El tiempo mínimo de ida y vuelta para un proceso (HARQ_RTT) posible en HSDPA es de 12 mseg. Por tanto la cantidad de canales o procesos SAW establecidos con un terminal depende del tiempo mínimo entre TTI. Se pueden apreciar estas características en la figura 14.

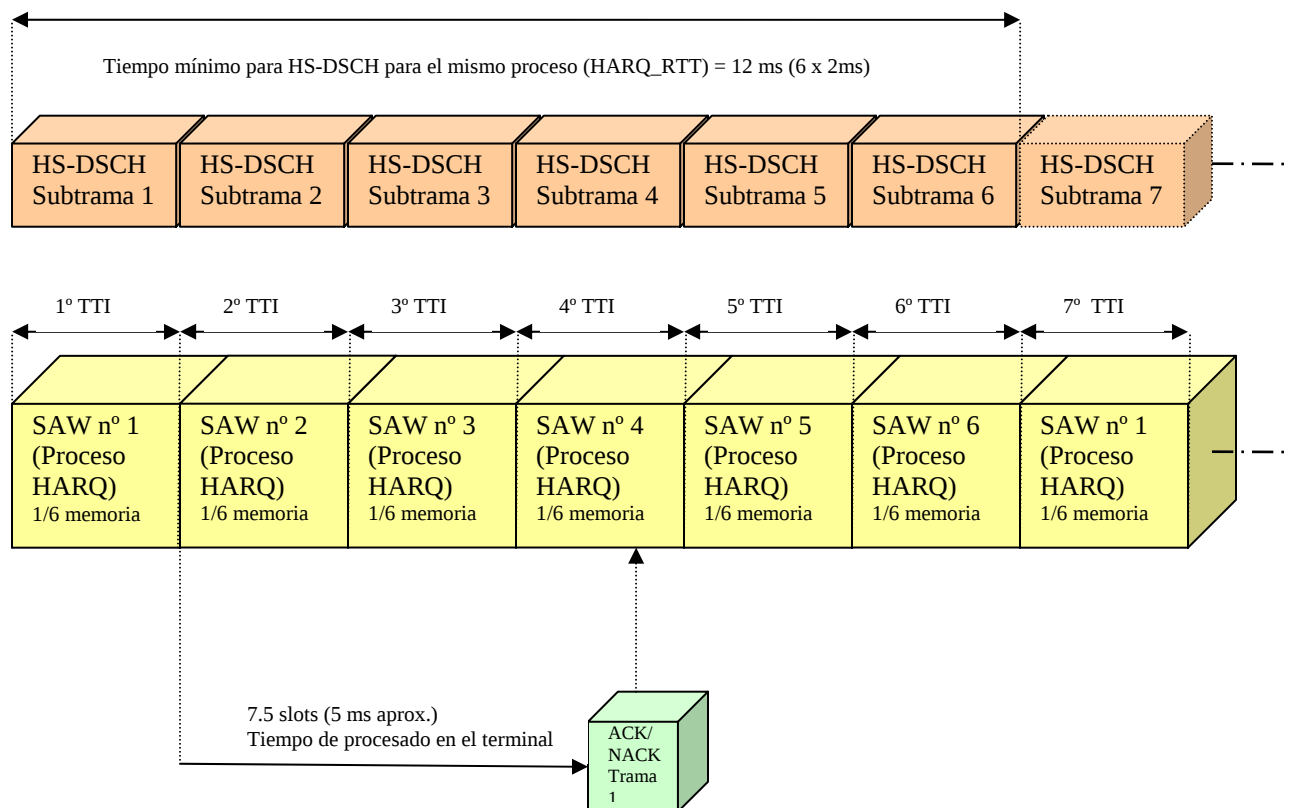


Figura 2 Procesos SAW

Si el terminal falla en la decodificación del HS-DSCH, almacena los bits recibidos (*soft bits*) en su memoria y transmite un NACK (reconocimiento negativo) al NodoB.

Para cada canal SAW el terminal realiza una combinación a nivel de *soft bits*, utilizando éstos y los recibidos en siguientes retransmisiones para aumentar la probabilidad de decodificar correctamente esos bits.

3.2 Características HSDPA

Se nombran a continuación las principales características de HSDPA:

3.2.1 Tipo de modulación

QPSK es una modulación ya conocida en UMTS R'99. Además, en HSDPA se incorpora la modulación 16-QAM para incrementar la tasa de datos para usuarios que se encuentren en condiciones radio favorables. La modulación QPSK es obligatoria mientras que 16-QAM es opcional tanto para la red como para los terminales. Con esta modulación se dobla la tasa de datos, incrementándose por ello la eficiencia espectral respecto al UMTS R'99.

En la figura 15 se puede apreciar el plano fase-cuadratura para las modulaciones QPSK y 16-QAM.

En QPSK cada símbolo se corresponde con 2 bits. Los cuatro símbolos están representados por la diferencia de fase. Se puede apreciar que los cuatro puntos de la constelación descansan en el mismo círculo lo que nos indica que la amplitud es constante para los cuatro símbolos.

En 16-QAM cada símbolo se corresponde con 4 bits. Por ello, la tasa de datos puede ser doblada respecto a QPSK. Los 16 símbolos están representados en el plano por diferentes fases y amplitudes. Por esto el espacio de decisión está fuertemente influenciado por variaciones de amplitud, con lo que existen mayores restricciones en cuanto a la linealidad del transmisor. Además es necesaria una estimación más precisa de la fase ya que los diferentes símbolos tienen diferencias de fase menores comparadas con QPSK.

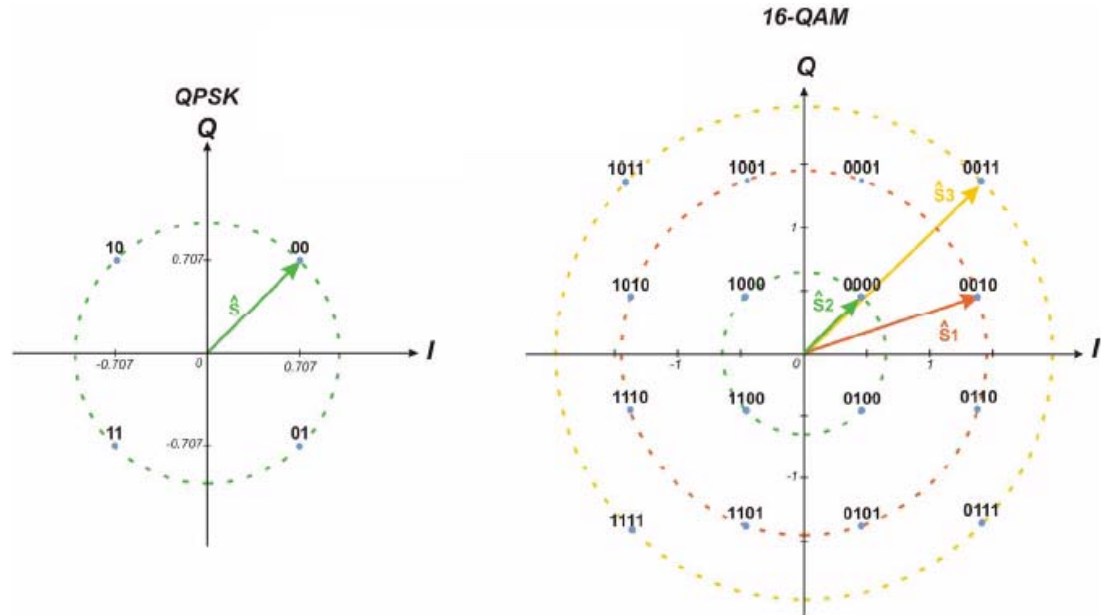


Figura 3 Modulación QPSK y 16-QAM

3.2.2 Mayor tasa de transferencia en el enlace descendente

Teóricamente bajo condiciones óptimas se pueden conseguir 14,4 Mbps. Sin embargo, en condiciones más reales, las tasas esperadas bajo condiciones favorables son en torno a 10,8 Mbps y por supuesto menor a medida que las condiciones empeoren.

3.2.3 Modulación y codificación adaptativa (AMC)

AMC es una característica clave de HSDPA ya que permite el ajuste de modulación entre QPSK y 16-QAM según las condiciones radio y las tasa de retransmisiones. Además se utiliza una tasa de código variable para adaptar de forma flexible la tasa de datos a la capacidad del canal físico dependiendo también de las condiciones radio del terminal.

Para enlaces ruidosos (debido a pérdidas o interferencia) la adaptación del enlace elegirá modulación QPSK mientras que para enlaces más “limpios” la modulación 16-QAM puede ser usada.

En cuanto a la tasa de código usada (FEC- Forward Error Correction) el código base usado es el turbo código con tasa de 1/3, pero puede ser variada gracias al HARQ y a un proceso de eliminación o repetición de bits llamado *Rate Matching*.

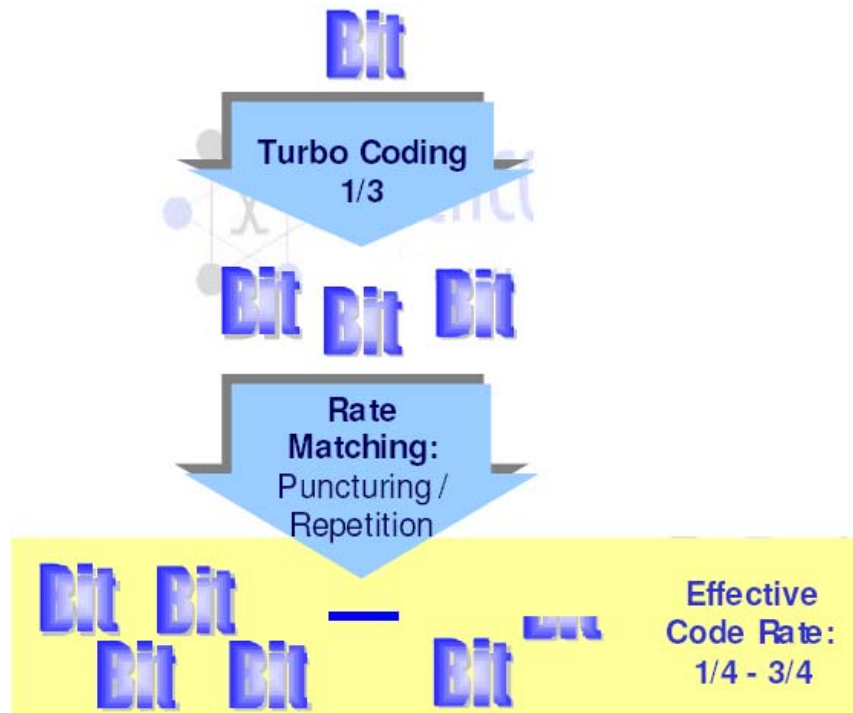


Figura 4 Adaptación de código

3.2.4 H-ARQ con N-SAW

Ya se ha hablado de esta función anteriormente. Principalmente combina las retransmisiones con las transmisiones originales para aumentar la probabilidad de decodificar correctamente cada bit. Existen dos formas de operar, cuando las retransmisiones son idénticas a la transmisión original, o cuando éstas difieren ya sea en los datos o en los bits de paridad comparadas con la transmisión original. El primer caso se le conoce como *chase combining* y al segundo como *incremental redundancy*.

Los esquemas de HARQ pueden ser clasificados como tipo I, tipo II o tipo III, dependiendo de la complejidad en su implementación.

Tipo I – Complejidad baja:

Es el método usado en UMTS R'99. A cada bloque se le añade un CRC y los datos se codifican a través de turbo códigos con tasa 1/3 (FEC). En recepción, tras la decodificación se comprueba el CRC y si el bloque presenta errores, se solicita la retransmisión del bloque. El bloque erróneo se deshecha y la retransmisión utiliza la misma codificación que la primera transmisión.

Tipo II – Complejidad alta:

En este caso, también llamado *Full IR* (redundancia incremental total), las retransmisiones se basan tan sólo en bits de paridad (procedentes de la

codificación). La transmisión original debe poder ser decodificada sin información adicional (*self-decodable*), pero las retransmisiones no y normalmente no son iguales a la transmisión original. El receptor combina los bits adicionales de paridad procedentes de la retransmisión con los de la transmisión original lo cual hace tener una tasa de codificación efectiva menor. Cada retransmisión utiliza un patrón de *puncturing* diferente del usado en la transmisión original, por lo que la redundancia se incrementa en cada retransmisión.

Tipo III – Complejidad media:

Como el tipo II, este esquema de HARQ pertenece al grupo de redundancia incremental (HARQ IR). Esto quiere decir que las transmisiones y retransmisiones se mantienen en el receptor para su combinación antes de la decodificación. En este caso cada retransmisión puede ser decodificada sin información adicional (*self-decodable*), pero se transmiten diferentes bits de redundancia en cada retransmisión. De esta forma los datos pueden ser decodificados a partir de una retransmisión incluso sin combinarlos con los de transmisiones previas. Dentro de este tipo existe un caso especial (*chase combining*) en el que la transmisión original y las retransmisiones contienen los mismos bits.

En la figura 17 resumimos estos tipos de esquemas HARQ.

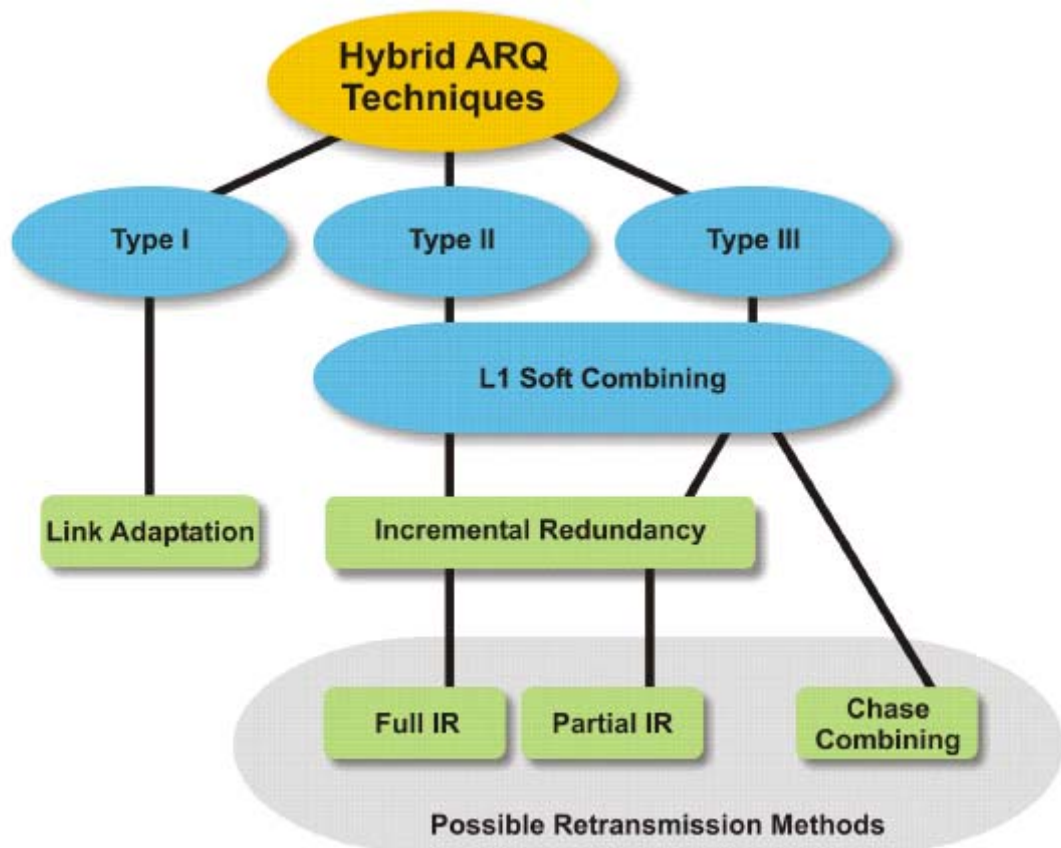


Figura 5 Tipos de esquema HARQ

A continuación se muestra con un ejemplo el significado de los conceptos nombrados anteriormente como son el turbo coding, los bits de paridad o transmisiones self-decodable:

Partiendo de un bloque de datos de 100 bits, en una codificación “*Turbo Coding 1/3*” se obtienen los llamados bits de decodificación propia llamados “*self-decodable*” o semánticos y los bits de decodificación no propia o “*non-self-decodable*” en los que los primeros pueden ser decodificados sin información adicional mientras que los segundos no. La codificación Turbo genera además de los bits de información o semánticos (*Systematic Bits*), los bits de redundancia o de paridad (*Parity Bits*). Cuando una transmisión contiene los bits de información, ésta se dice que es *self-decodable* mientras que si la transmisión sólo contiene bits de redundancia, ésta será *non-self-decodable*.

Se conoce como Tasa de Código R:

$$R = \frac{\text{BitsDeEntradaTurboCoding}}{\text{BitsDeSalidaTurboCoding \& RateMachine}}$$

A partir del bloque de ejemplo con 100 bits, se generan:

X=100 bits de sistema o semánticos

P1=100 bits de redundancia 1

P2=100 bits de redundancia 2

Si se supone una tasa de código inicial $R=2/3$ es decir, que en la transmisión inicial tendremos $100 / (2/3) = 150$ bits tras la codificación, con lo que tendremos los 100 bits X + 50 bits de paridad (25 bits P1 y 25 bits P2).

- En un esquema tipo II – Full IR:

Las retransmisiones contienen sólo bits de redundancia P1 y P2. Por ello el denominador en la ecuación anterior se ve incrementado con 75 bits P1 y 75 bits P2 (nuevos 150 bits) en la segunda transmisión, por lo que la tasa efectiva conjunta será de:

$$R = 100 / (100 + 25 P1 + 25 P2 + 75 P1 + 75 P2) = 100 / 300 = 1/3$$

- En un esquema **tipo III – Partial IR:**

Comparado con el caso anterior, las retransmisiones contienen cada vez los bits de sistema (X) pero desde el punto de vista de la tasa de codificación sólo debemos tener en cuenta los nuevos bits que se introducen tras la retransmisión es decir, los nuevos bits de redundancia (25 bits P1 y 25 bits P2):

$$1^{\text{a}} \text{ retransmisión: } R = 100 / (100 + 50 + 25 P1 + 25 P2) = 100/200 = 1/2$$

$$2^{\text{a}} \text{ retransmisión: } R = 100 / (100 + 50 + 50 + 25 P1 + 25 P2) = 100/250 = 2/5$$

$$3^{\text{a}} \text{ retransmisión: } R = 100 / (100 + 50 + 50 + 50 + 25 P1 + 25 P2) = 100/300 = 1/3$$

- En un esquema **tipo III – Chase Combining:**

La tasa de codificación R nunca cambia ya que cada retransmisión es idéntica a la transmisión original. El receptor simplemente se beneficia del hecho de los cambios de condiciones radio así como del aumento de la probabilidad de correcta

decodificación tras cada retransmisión. El número de retransmisiones estará limitado por tiempo o fijado en el NodoB.

3.2.5 Programación de transmisiones y retransmisiones en el NodoB

Todos los canales de transporte de UMTS R'99 están terminados en el RNC, por lo que el proceso de retransmisión está localizado también en el RNC. Para conseguir aumentar la velocidad de transferencia y reducir los retardos debidos a la retransmisión, se añade “inteligencia” al Nodo B que pasa a controlar las retransmisiones.

En el Nodo B existe un algoritmo para los paquetes de datos que evalúa las condiciones radio, los datos pendientes por transmitir, el tiempo que ha transcurrido sin ser atendido y las retransmisiones pendientes para cada usuario. Con estos datos el algoritmo del Nodo B obtiene una decisión de cuando y cuantos recursos serán asignados a cada usuario.

3.3 Cambios importantes con HSDPA

La introducción de HSDPA implica cambios significativos en la red de acceso radio UMTS (UTRAN) que se traducen en nuevas técnicas en el nivel físico y una serie de cambios funcionales, que afectan a la señalización del sistema y que permiten agilizar los procesos radio:

- **Intervalo de Tiempo de Transmisión (TTI) más corto.**

Es 2 mseg frente a los 10 mseg en R'99. De esta forma se acelera las retransmisiones de bloques de datos erróneos. Además con este nuevo intervalo el NodoB puede adaptarse mejor a las condiciones radio existentes (gracias a la modulación y codificación adaptativa AMC).

- **Nuevos Canales Físicos y de Transporte:**

HS-PDSCH, HS-SCCH, HS-DPCCH y HS-DSCH. Serán descritos más adelante.

- **Eliminación del Fast Power Control y del factor de ensanchamiento variable.**

Para los nuevos canales HSDPA estas dos características claves en R'99 son eliminadas y sustituidas por la modulación y codificación variable y los esquemas HARQ. El factor de ensanchamiento se mantiene fijo a 16 chips/símbolo.

- **Nuevos Terminales HSDPA.**

Ya se han visto las distintas categorías para alcanzar diferentes tasas máximas de transferencia, que indican a la red las capacidades del terminal a nivel físico. Entre otros parámetros tenemos el número de códigos que puede mantener el terminal en paralelo para operación multi-código. Un terminal puede mantener 5, 10 o 15 códigos en paralelo.

- **Nueva entidad MAC (Medium Access Control) en el Nodo B y terminal: MAC-hs.**

La implementación de esta capa de protocolo (MAC High Speed) es un requisito fundamental para permitir al NodoB la planificación de transmisiones y retransmisiones, mantener los canales específicos HSDPA y trabajar con AMC y HARQ.

- **Impacto en procedimientos asociados a protocolos de comunicación RRC, NBAP y Frame Protocol.**

Los protocolos RRC y NBAP necesitan cubrir la capacidad de HSDPA y los mensajes relacionados con HSDPA. El aumento de ancho de banda necesita ser soportado por un nuevo protocolo de trama (Frame Protocol) que incluya información de control de flujo, manejo de prioridades e información de las capacidades de los terminales.

3.4 Nuevos canales en HSDPA

Para la introducción de HSDPA es necesaria la introducción de nuevos canales que permiten las nuevas tasas de transferencia objetivo en HSDPA. En el proximo capítulo se entrara en detalle a describir la estructura de estos canales pero a continuación se hace una breve descripción de los mismos.

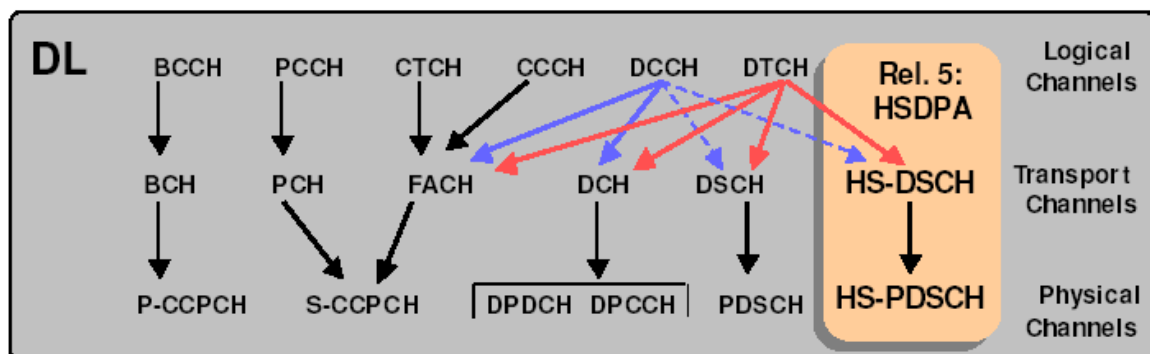


Figura 6 Mapeo Canales Radio en DL

Con HSDPA tenemos varios nuevos canales físicos y un nuevo canal de transporte.

3.4.1 Canales físicos:

HS- PDSCH (High Speed Physical Downlink Shared Channel).

Este canal físico se transmite únicamente en DL y es utilizado por el canal de transporte HS-DSCH para transmitir los datos de usuario (y CRC).

- Utiliza un TTI (intervalo de transmisión) fijo de 2 ms. Esto hace que la asignación de los recursos a los usuarios sea cada 2 ms.
- Tamaño de CRC de 24 bits con 1 CRC por TTI.
- Factor de ensanchamiento (SF) fijo de 16.
- Esquemas de modulación QPSK o 16QAM. Con 16 QAM, los bits por símbolo se doblan respecto a QPSK, pero al ser necesario conocer no sólo la fase sino también la amplitud, la calidad de la señal debe ser mejor cuando se usa 16QAM.
- Se pueden transmitir hasta 15 canales HS-PDSCH por celda. El número teórico de códigos con SF=16 es precisamente 16 pero como es necesario ubicar los canales comunes y los canales DCH, el máximo establecido ha sido de 15 códigos. Cada canal HS-PDSCH utilizará uno de estos códigos.
- Esquema de codificación fijo (Turbo Coding) con relación 1/3.
- No funciona en *Soft Handover*. Los datos son enviados desde los canales HS-PSDCH de una celda únicamente.
- Gestionado por la capa MAC-hs, que asignará los datos de usuario en el tiempo y en los códigos disponibles.
- No se transmite información de control. Esta será transmitida o bien por los canales HS-SCCH o el DCH asociado.
- No utiliza transmisión discontinua (DTX) a nivel de slot. Es decir, el canal es transmitido o bien completamente o no transmitido durante los 2 mseg del TTI.

HS-SCCH (High Speed Shared Control Channel).

Este canal físico está configurado únicamente en DL y transporta la señalización de nivel físico relacionado al canal HS-DSCH. Es un canal de capa física que no tiene mapeo en ningún canal de transporte. En teoría se pueden configurar hasta 127 canales en un sector, sin embargo, desde el terminal sólo se requiere capacidad para monitorizar hasta 4 canales HS-SCCH en paralelo. Este canal permite el uso compartido eficiente de 1 o más canales HS-PDSCH entre diferentes usuarios. No obstante, cada terminal debe ser informado a través de mensajes RRC en el canal DCCH sobre los canales HS-SCCH a monitorizar para recibir los datos en el HS-PDSCH.

Utiliza un factor de ensanchamiento de 128, TTI de 2 mseg y modulación QPSK. Este canal tiene un desfase de 2 *time slots* respecto al canal HS-PDSCH. Esto hace posible que se transporte señalización crítica en tiempo que permite al terminal de usuario demodular los códigos correctos. El factor de ensanchamiento de 128 permite 40

bits por slot. Debido a que parte de la información debe estar disponible antes de empezar a decodificar el HS-DSCH, el canal HS-SCCH está dividido en 2 partes:

- La primera parte contiene la información necesaria para el correcto desensanchamiento de los códigos así como la información de la modulación usada.
- La segunda parte contiene información menos urgente como los procesos ARQ transmitidos. También si se trata de una nueva transmisión o una retransmisión. Por último, la versión de redundancia y constelación usada así como el tamaño de los bloques de transporte es también transmitida en esta parte.

HS-DPCCH (High Speed Dedicated Physical Control Channel).

Este canal está configurado únicamente en UL. Tiene un factor de ensanchamiento fijo igual a 256 y es configurado únicamente en el enlace ascendente. También utiliza un TTI de 2 mseg. Su propósito es proporcionar una información de realimentación acerca de la calidad radio recibida (CQI) así como de la información de si los datos recibidos están sin errores o necesitan ser retransmitidos (Realimentación HARQ).

3.4.2 Canales de transporte:

HS-DSCH (High Speed Downlink Shared Channel). Este canal es el recurso utilizado para el transporte de los paquetes de datos del usuario. El HS-DSCH describe el procesado del canal físico, a través del protocolo MAC-hs, de un bloque de transporte (TB):

- La parte dinámica de esta descripción es el tamaño del bloque de transporte que va desde 1 a 200000 bits con una granularidad de 8 bits, el esquema de modulación y la versión de redundancia.
- La parte estática es el intervalo TTI igual a 2 mseg. el tipo de codificación de canal (Turbo Coding), la tasa de codificación de origen (1/3) y el tamaño del CRC (24 bits)

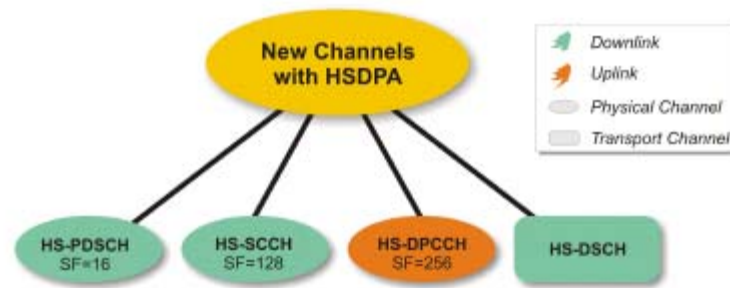


Figura 7 Nuevos canales en HSDPA

Este canal se mapea al canal físico HS-PDSCH.

- Único por celda. Compartido por todos los usuarios acampados en la misma.
- Tamaño de Bloque de Transporte dinámico para la primera transmisión. Pero se aplicará un tamaño de bloque idéntico para cualquier retransmisión posterior.
- El *transport block size set* siempre estará compuesto por un único bloque de transporte.
- Parámetros de Codificación: el tipo de protección de error es *turbo rate 1/3*, pero la tasa de código efectiva varía después de aplicar un proceso de *Rate Matching*.
- Modulación dinámica para la primera transmisión y retransmisiones sucesivas. Los terminales deben soportar *QPSK* obligatoriamente, mientras que *16QAM* es opcional.
- Codificación y modulación adaptable (AMC).
- Tamaño CRC fijo a 24 bits. Hay un CRC por *TTI*, esto es, un CRC por *transport block set*.
- El *TTI* del canal HS-DSCH es fijo e igual a 2 milisegundos (3 slots).
- Versión de Redundancia: dinámica. Codificación y modulación adaptable (AMC).
- Siempre asociado a un DPCCH y uno o varios HS-SCCHs.

La compartición de este canal por los usuarios es tanto temporal (multiplexación en el tiempo) como de códigos (operación multicódigo).

La asignación de recursos a los usuarios es llevada a cabo por el NodoB.

El concepto de **operación multicódigo** significa que un mismo usuario puede tener asignados varios códigos de canalización que decodifica en paralelo, de modo que su ancho de banda se multiplica en función del número de códigos que lea simultáneamente. La **multiplexación en el tiempo** significa que dentro de una misma subtrama, diferentes usuarios pueden usar distintos códigos de canalización. En la figura 20 se muestran estos conceptos.

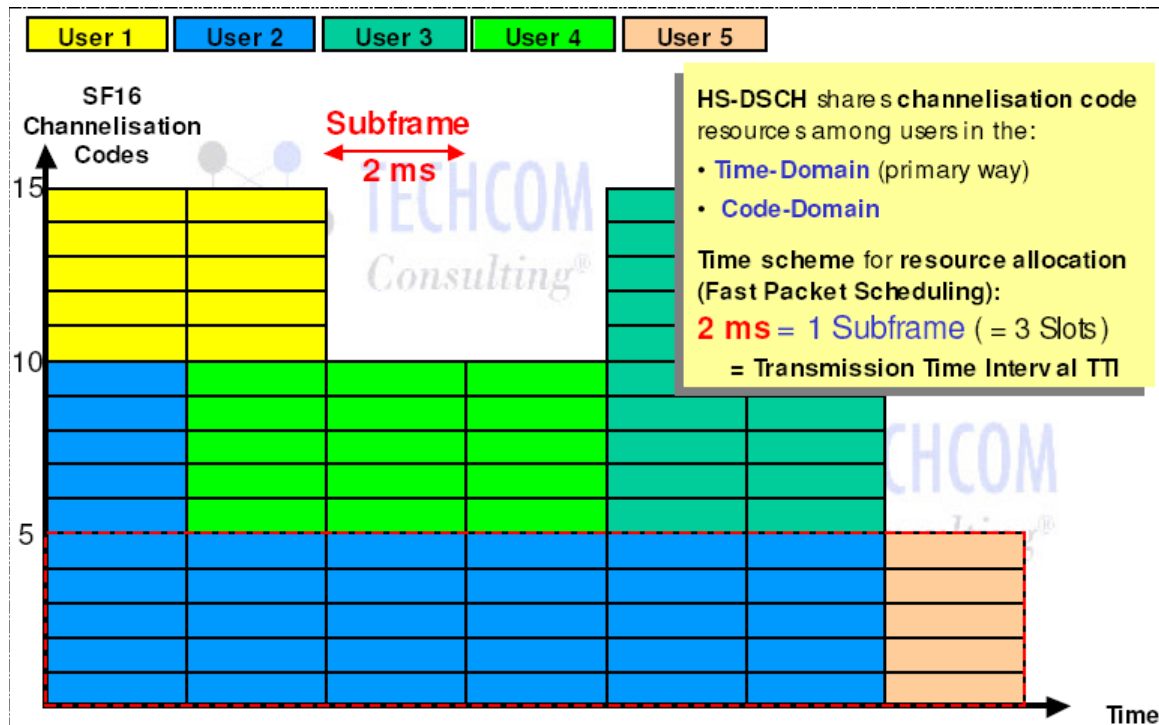


Figura 8 Compartición del HS-DSCH

En la primera subtrama, se observa que el usuario 2 está usando 10 códigos (operación multicódigo) y a la vez el usuario 1 utiliza los restantes 5 códigos (multiplexación en el tiempo para los usuarios 1 y 2)

El canal HS-DSCH utiliza un factor de ensanchamiento (*Spreading Factor-SF*) fijo igual a 16. Pero este canal tiene que compartir los recursos radio con el resto de canales existentes en la celda.

3.4.2.1 Operación multi-código en HSDPA

El uso compartido del canal HS-DSCH por los usuarios es tanto temporal (multiplexar en el tiempo) como de códigos (operación multicódigo). Se describe a continuación un ejemplo donde 2 terminales están operando en HSDPA para observar estos conceptos.

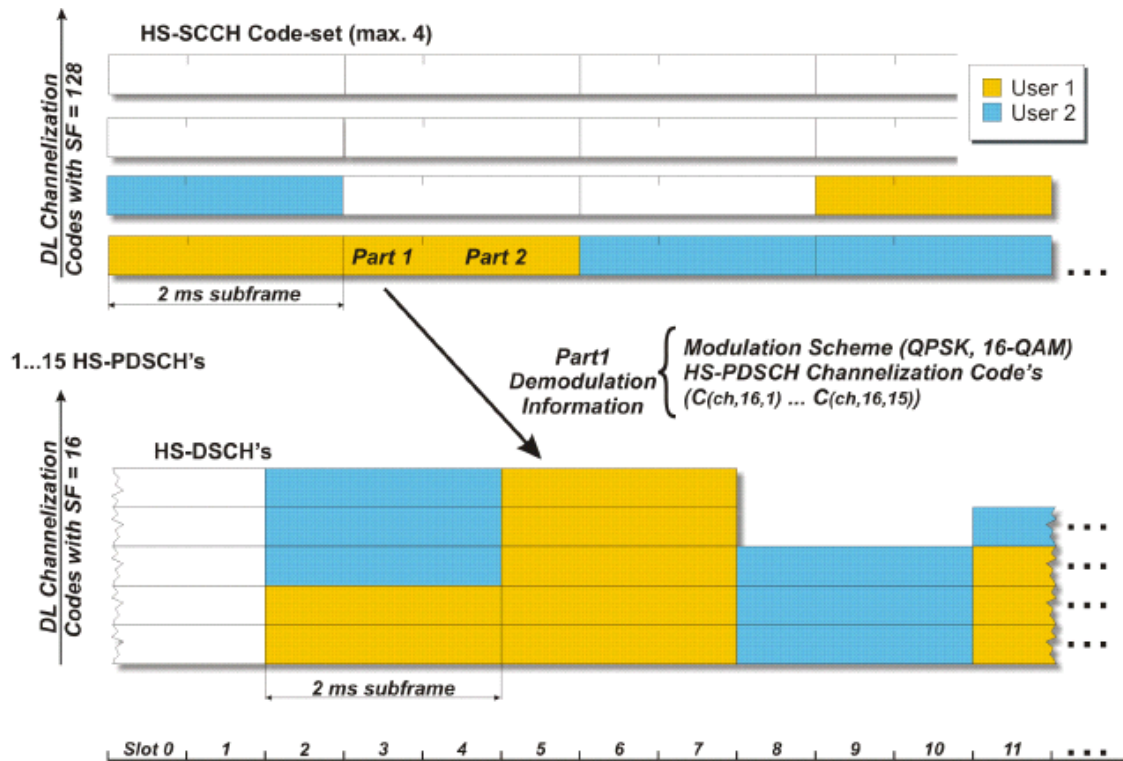


Figura 9 Operación multi-código

Decodificación del HS-SCCH

Ambos usuarios tienen que decidir en primer lugar el conjunto de HS-SCCH's asignado antes de poder intentar decodificar los canales HS-PDSCH. En este caso, se supone que ambos usuarios tienen el mismo conjunto de canales HS-SCCH a monitorizar. Sólo uno de estos canales contiene información válida para un usuario por TTI. Toda la información necesaria para demodular la trama HS-DSCH asociada que seguirá 2 mseg después del HS-SCCH es transmitida al terminal en la parte 1 del HS-SCCH. La segunda parte contiene información de cómo decodificar el HS-DSCH. Por tanto, como resumen podemos decir que la parte 1 permite la demodulación del canal físico HS-PDSCH mientras que la parte 2 indica cómo decodificar el canal de transporte HS-DSCH. Además se debe añadir que el canal HS-SCCH está concebido para cada terminal una vez éste reconoce su identificador en la parte 1 del HS-SCCH. Es decir, si el terminal detecta información consistente en un canal HS-SCCH, será suficiente monitorizar únicamente el mismo canal HS-SCCH en adelante hasta que deje de recibir información para él. A partir de ese momento tendrá que monitorizar de nuevo el grupo completo de canales HS-SCCH definidos. Como se ha dicho una vez el terminal ha detectado un canal HS-SCCH con información destinada a él mismo, se prepara para recibir los canales HS-PDSCH. El terminal tiene alrededor de 1 slot de tiempo tras la recepción de la parte 1 del HS-SCCH para preparar la recepción de los canales HS-PDSCH. El terminal indica el número de canales HS-PDSCH que puede recibir en paralelo (5, 10 o 15). En la figura 21 se puede observar con los colores usados la relación entre los canales HS-SCCH y HS-DSCH

asociado a cada uno de los usuarios en cada instante. Multiplexar en el tiempo significa que cada usuario obtiene los canales HS-PDSCH uno después del otro en diferentes instantes de tiempo. La operación multi-código o multiplexación en código significa que los usuarios obtienen diferentes canales HS-PDSCH en el mismo instante de tiempo. Por supuesto los canales HS-PDSCH están diferenciados por su codificación de canal. En la figura 22 se puede observar un ejemplo de un árbol de códigos con la asignación de diferentes códigos tanto para canales R'99 como para canales HSDPA. Los usuarios UMTS o R'99 tendrán la parte izquierda del código. Como factor de ensanchamiento (SF) en UMTS no es fijo, sino que varía de 4 a 256 en UL y de 4 a 512 en DL, el árbol se puede expandir hacia abajo, copando códigos con SF mayores. Conforme mayor es el SF, menor es la tasa de *bits*, pero mayor es el número de códigos disponibles, esto es, mayor es la capacidad de la celda de poder asignar canales a usuarios. Pero además, esa parte izquierda deberá ramificarse para poder atender a las necesidades de señalización común y dedicada que toda llamada HSDPA necesita, esto es, DCH asociado, HS-SCCH y los canales de señalización común FACH, RACH. En cuanto a los canales de transporte HS-DSCH, éstos tienen un SF fijo e igual a 16, Tenemos 8 HS-PDSCH asignados en el ejemplo mostrado. Ocupan la parte derecha del árbol. Pueden estar asignados a un único usuario o a varios.

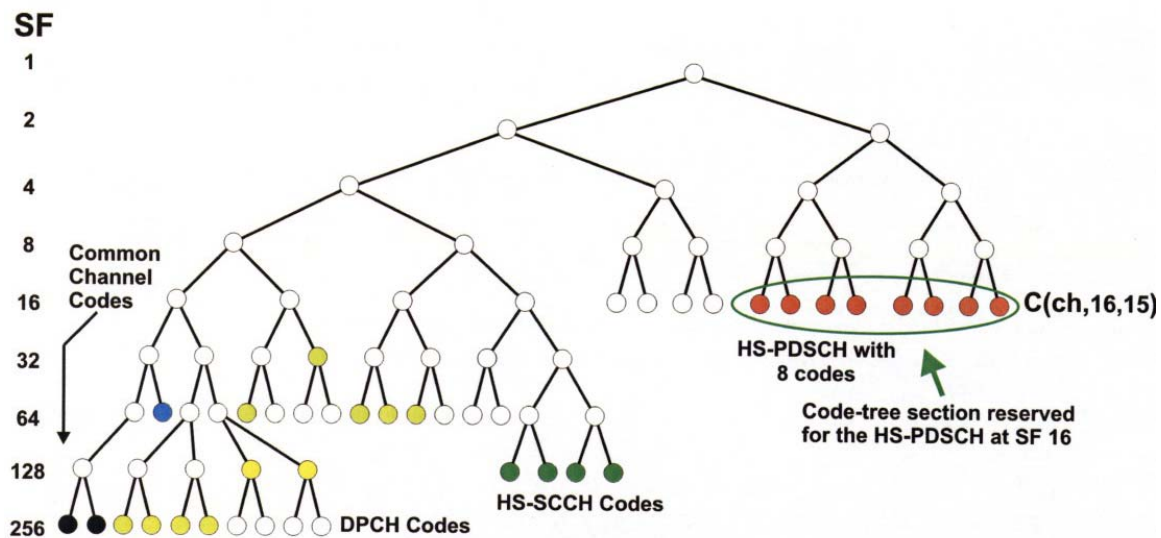


Figura 10 Ejemplo de árbol de códigos

3.4.3 Canal DCH Asociado

Toda llamada HSDPA lleva asociada un canal de transporte dedicado de datos, esto es, un DCH. Los datos de usuario dedicados del canal lógico DTCH son transmitidos a través del HS-DSCH, pero los datos de control dedicados del DCCH sí son enviados a

través del DCH y realiza las mismas funciones fundamentales que en cualquier llamada UMTS:

- o Lleva la señalización de Capa 3 o protocolo RRC
- o Utilizado tanto en UL, datos dedicados de control y usuarios, como en DL, solo datos de control (también puede llevar datos de usuario en DL, caso de que el usuario realice simultáneamente una llamada de datos HSDPA y una llamada de voz. Los datos de usuario de la llamada de voz van por el DCH y los datos de la llamada HSDPA por el HS-DSCH).
- o Lo utiliza el Nodo B para estimar la calidad del canal radio y asignar potencia en DL.
- o Se usa en UL y DL para propósitos de sincronización

Este canal DCH estará activo desde el comienzo de la llamada y se mantendrá hasta la liberación de la misma. Realmente existe la opción de llevar la señalización RRC por canales de control común, pero el DCH es necesario porque el terminal debe monitorizar otras celdas constantemente y evaluar si realiza traspaso a otra celda (*Handover*). Existen ciertos mensajes de Capa 3, como algunos *Measurement Control o Report* que no pueden ser transportados en canales de control común, sino dedicados (canal lógico DCCH).

3.5 Funcionamiento básico en HSDPA

La figura 23 resume el funcionamiento de HSDPA y consta de tres partes principales. La parte superior muestra la comunicación entre terminal y nodoB a través del protocolo MAC-hs para transmisiones y retransmisiones de paquetes de datos. En la parte inferior izquierda muestra el interfaz aire (Uu) junto con los nuevos canales físicos y de transporte. En la parte inferior derecha se puede observar un ejemplo básico de algoritmo de asignación de recursos HS-DSCH entre los terminales o usuarios.

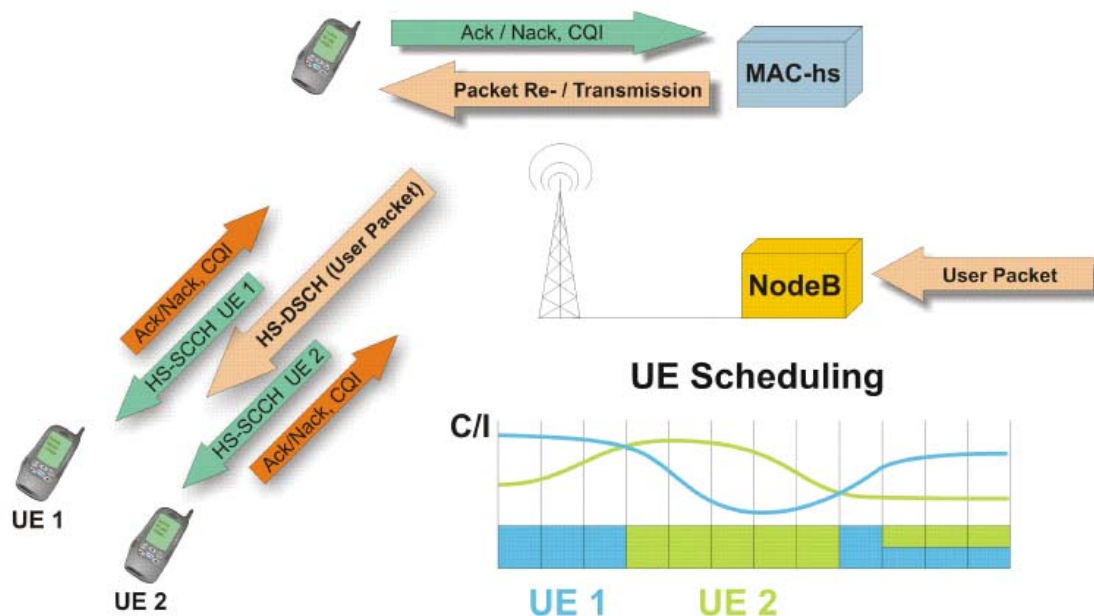


Figura 11 Funcionamiento Básico HSDPA

MAC-hs

La entidad MAC-hs en el NodoB recibe los paquetes de datos de usuario procedentes del RNC. MAC-hs es el responsable de las transmisiones y en caso de recepciones erróneas, de las retransmisiones de los paquetes de usuario. Las retransmisiones de los paquetes de usuario están gobernadas por la entidad MAC-hs del NodoB lo cual representa el cambio fundamental en HSDPA respecto a R'99. En este último caso, las retransmisiones son siempre realizadas por las entidades RLC entre terminal y RNC.

Nuevos canales

En la figura anterior se muestran dos terminales recibiendo paquetes de usuario a través del HS-DSCH. Los canales físicos en UL y DL son necesarios para indicar que terminal puede decodificar cada HS-DSCH. Esto se indica codificando el identificador de cada terminal (UE-id) en cada HS-SCCH. A continuación, tras la decodificación de los paquetes de usuario, cada terminal tiene que indicar a la entidad MAC-hs del NodoB, la correcta o no recepción de estos paquetes de datos.

Asignación de terminales

El Nodo B contiene una función de asignación de terminales que determina si una transmisión o retransmisión será efectuada en cada momento. En el ejemplo de la figura anterior, las líneas azul y verde muestran la calidad del canal descendente reportado por el terminal. Un posible método puede ser asignar los recursos a cada terminal en función de la mejor calidad reportada por los terminales y de esta forma, siempre aprovechar al máximo las mejores condiciones radio, maximizándose velocidades de transmisión. Otra

opción es asignar recursos a los terminales de forma secuencial entre ellos a pesar de las posibles malas condiciones radio. Esto beneficia a los usuarios con peores condiciones radio ya que al menos consiguen un mínimo de velocidad de transferencia en HSDPA.

3.6 Pila de protocolos en HSDPA

La pila de protocolos en HSDPA, al igual que en R'99, puede ser dividida en plano de control y plano de usuario. Hay también que recordar que HSDPA está sólo presente en el dominio del servicio de paquetes de datos de una red UMTS.

3.6.1 Plano de control

El plano de control es usado para el intercambio de información de control relacionada con los servicios de paquetes de datos entre el terminal y la red de acceso así como entre el terminal y el núcleo de red (SGSN).

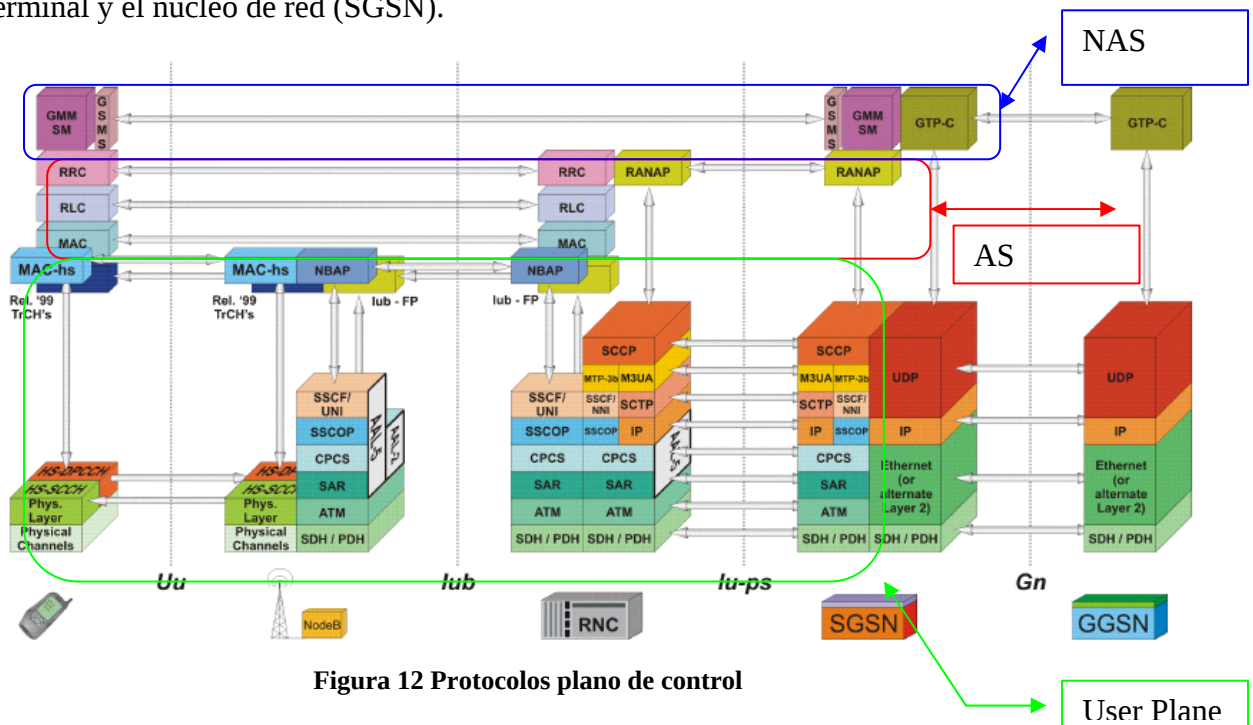


Figura 12 Protocolos plano de control

Protocolos de la capa de acceso (AS – Access Stratum)

La capa de acceso son todos los protocolos comprendidos entre el RRC y MAC (entre terminal y RNC) y el protocolo RANAP (entre RNC y SGSN).

Protocolos fuera de la capa de acceso (NAS – Non Access Stratum)

Estos protocolos son GMM (GPRS Mobility Management), SM (Session Management) y GSMS (SMS en el dominio de PS).

MAC-hs

Este protocolo controla el funcionamiento de los recursos compartidos utilizando los nuevos canales de control HS-SCCH y HS-DPCCH. La entidad MAC-hs está localizada en el NodoB y se configura para cada terminal a través de los mensajes intercambiados en el protocolo NBAP, que sólo se ve modificado por nuevos elementos de información específicos de HSDPA. El RNC establece los contextos HSDPA en el terminal a través de mensajes de señalización RRC, que también se ve modificado con nuevos elementos específicos para HSDPA.

3.6.2 Plano de usuario

En la figura 25 se puede observar el plano de usuario para HSDPA donde las modificaciones respecto al R'99 se producen en el protocolo de acceso al medio (MAC). A continuación veremos como están distribuidas las entidades MAC para HSDPA.

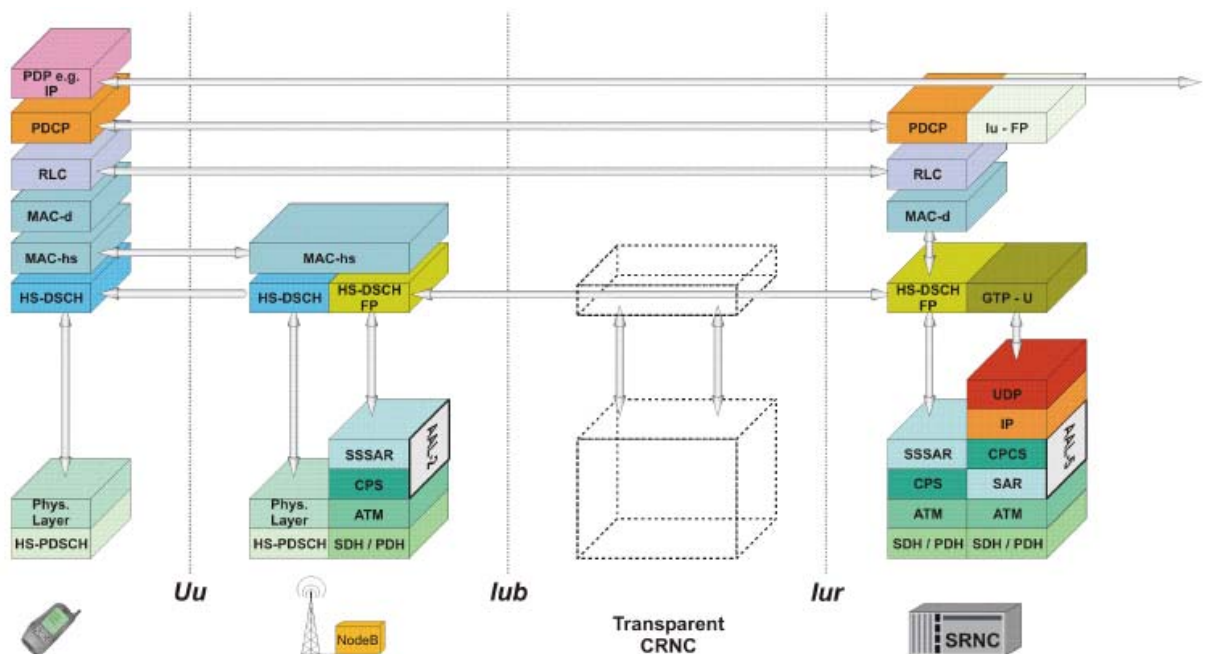


Figura 13 Protocolos plano de usuario

MAC-d en el terminal

La entidad MAC-d está conectada a la entidad MAC-hs para recibir los datos procedentes del canal de transporte HS-DSCH, que es gestionado por la entidad MAC-hs

MAC-hs en el terminal

La entidad MAC-hs gestiona las funciones específicas HSDPA como los procesos HARQ, la distribución de la cola de datos, ordenación y desensamblado de las PDUs MAC-hs.

MAC-d en la red UTRAN

La entidad MAC-d cubre las siguientes funcionalidades: Conmutación del tipo de canal de transporte, multiplexación del tipo de canal, cifrado/descifrado a nivel RLC, programación de transmisión en DL, gestión de prioridades y control de flujo. MAC-d es responsable del mapeo de los canales lógicos dedicados en los canales de transporte dedicados disponibles.

MAC-hs en la red UTRAN

Existe una entidad MAC-hs en el NodoB para cada celda que soporta transmisión del HS-DSCH. La entidad MAC-hs es responsable de la transmisión de datos en el canal HS-DSCH así como de la gestión de los canales físicos (HS-PDSCH, HS-SCCH y HS-DPCCH) dedicados para HSDPA.

Más adelante se explicará en detalle el funcionamiento de la capa MAC en HSDPA.

3.7 Comparación DCH/HS-DSCH

En la figura 26 se comparan el canal DCH característico de UMTS R'99 y el nuevo canal HS-DSCH de HSDPA.

Feature	DCH	HS-DSCH
Variable Spreading Factor	✗ 4 ... 512	✗ SF = 16 (fixed)
Fast Power Control	✓ (every 2/3 ms)	✗ every 2 ms
AMC	✗	✓
Multicode Operation	✓ limited	✓ extended (up to 15)
Fast L1 Hybrid ARQ	✗ (on RLC Level)	✓
16-QAM Modulation	✗ QPSK only	✓ QPSK / 16-QAM
2 ms Interleaving	✗ 10 - 80 ms	✓ 2 ms
Channel Coding Scheme	✓ Convolutional / Turbo	✓ Turbo Coding
TrCH Multiplexing	✓	✗ (1 CCTrCH per HS-DSCH)
Soft(er) Handover	✓	✗ (only for associated DCH)

✗ not supported / implemented	✓ supported / implemented
-------------------------------	---------------------------

Figura 14 Comparación DCH/HS-DSCH

Factor de ensanchado variable (SF variable)

El SF no varía trama a trama en el caso del canal DCH una vez establecido. Eso sí, el SF es elegido (4-512) durante el establecimiento de acuerdo con la máxima tasa de transferencia esperada y puede ser modificada a través de la reconfiguración del canal a través de señalización RRC.

El SF para el canal HS-DSCH sin embargo está fijado siempre a 16 (SF=16). La variación de la tasa de transferencia se consigue gracias a la modulación y codificación adaptativa (AMC), no siendo necesario señalización RRC.

Control rápido de potencia (Fast Power Control)

El canal físico del DCH (DPCH) consigue un control de potencia en DL basado en comandos de control de potencia del bucle interior (inner-loop) enviados por el terminal en UL.

Como el HS-DSCH utiliza AMC, el control rápido de potencia en DL no es posible por un lado cuando se usa la modulación 16-QAM. 16-QAM requiere estimación de amplitud por el receptor.

Por otro lado, no sería necesario ya que el rango del control de potencia es limitado (20 dB aproximadamente) debido a la interferencia dentro de la propia celda así como de limitación HW de los equipos (NodosB). La interferencia se produce entre usuarios en canales de códigos paralelos y se produce por los retardos de propagación en DL. Los códigos originalmente ortogonales transmitidos por el NodoB no son completamente ortogonales cuando llegan al terminal.

En HSDPA, se utiliza la función de adaptación del enlace. Se puede seleccionar una combinación de codificación y modulación (gracias al AMC) que requiere relaciones E_c/N_0 que sólo serán posibles para usuarios muy cerca de la celda. Además cada usuario

puede utilizar hasta 15 códigos de HS-DSCH en paralelo para mantener una buena eficiencia espectral.

En resumen, el uso de codificación más robusta, ARQ híbrido y la operación multi-código elimina la necesidad de SF variable y el control rápido de potencia.

Modulación y codificación adaptativa (AMC)

La entidad MAC-hs en el NodoB aplica el AMC sólo para el canal HS-DSCH.

Operación multi-código

Tanto el HS-DSCH como el DCH pueden usar más de un código de canalización, pero es en el caso del HS-DSCH donde se ha implementado de forma efectiva. El terminal puede obtener hasta un máximo de 5, 10 o 15 códigos de canal en paralelo con SF=16, dependiendo de la categoría del terminal.

Procesos rápidos en capa 1 de ARQ híbridos (H-ARQ)

Ya ha sido descrito con anterioridad los procesos H-ARQ. La principal diferencia entre el canal DCH y el HS-DSCH es que la entidad MAC-hs permite retransmisiones directamente en el NodoB en el interfaz aire una vez el terminal ha indicado una recepción negativa (a través del canal HS-DPCCH). Por tanto la capa RLC localizada en el RNC servidor no está involucrado en las retransmisiones en primer lugar. Para el caso del DCH, sin embargo, esta entidad RLC es la encargada de las retransmisiones.

Modulación 16-QAM / Interleaving / Esquema de codificación de canal

El DCH utiliza la modulación QPSK (exclusivamente) con un intervalo de transmisión entre 10 y 80 mseg y puede ser configurado con codificación Turbo y Convolutiva. El HS-DSCH, utiliza únicamente codificación Turbo. Además utiliza un intervalo de transmisión de 2 mseg. y puede cambiar entre modulación QPSK o 16-QAM dependiendo de las características del terminal y de las condiciones radio.

Multiplexión de los canales de transporte

El HS-DSCH es un canal de transporte con un solo bloque de transporte (TB) por intervalo de transmisión por terminal. Por tanto, no hay necesidad de adaptación de tasa estática o concatenación de los bloques de transporte como ocurre con el DCH.

Traspaso suave (Soft/Softer Handover)

No existe diversidad para el canal HS-DSCH ya que es un canal compartido o común de la celda. Sólo sigue existiendo el concepto de Soft HO para el canal DCH asociado al HS-DSCH.