

CONTRIBUCIÓN AL DISEÑO DE LA ARQUITECTURA DE RED  
PARA LA INTEGRACIÓN DE SERVICIOS DE PAQUETES DE  
DATOS EN EL SISTEMA UMTS

Tesi Doctoral presentada en la  
Universitat Politècnica de Catalunya

Autora: **Anna Umbert Juliana**  
Directora: **Pilar Díaz Romero**

Julio 2008

El parámetro  $k$  de la Figura 4-12 determina el número de bits por slot del DPDCH, y está relacionado con el SF utilizado según:

$$SF = \frac{256}{2^k} \quad (4.24)$$

Para el DPCCH siempre hay 10 bits por slot y se utilizan para enviar: los bits piloto necesarios para la estimación de canal de la detección coherente (Pilot), un indicador opcional de combinación de formato de transporte (TFCI: **T**ransport **F**ormat **C**ombination **I**ndicator), información de realimentación (FBI: **F**eedback **I**nformation) y los comandos a transmitir para realizar el control de potencia (TPC: **T**ransmit **P**ower **C**ontrol). La configuración de cuantos bits se utilizan para cada uno de estos campos la realizan las capas superiores, que también disponen de la opción de reconfiguración.

La velocidad de los bits en el DPCCH es fija a 15 kbps, lo que corresponde a un SF de 256, mientras que en el DPDCH esta velocidad puede variar hasta un máximo de 960 kbps tal como recoge la Tabla 4-3.

**Tabla 4-3. Relación entre el SF y la velocidad de bit del uplink DPDCH**

SF	Tasa de bit del canal (kbps)
256	15
128	30
64	60
32	120
16	240
8	480
4	960

Otro canal interesante en el enlace ascendente es el PRACH (**P**hysical **R**andom **A**ccess **C**hannel), que se basa en una aproximación del método slotted ALOHA con una indicación rápida de adquisición. El usuario móvil inicia el acceso, en uno de los 15 intervalos de acceso de 5120 chips que le indican las capas superiores, enviando unos preámbulos de 4096 chips, y cuando recibe permiso por el AICH (**A**cquisition **I**ndication **C**hannel), emite el mensaje. El mensaje puede ocupar una trama radio (10 ms) o dos tramas radio (20 ms). En la Figura 4-13 se muestran las dos posibles estructuras.

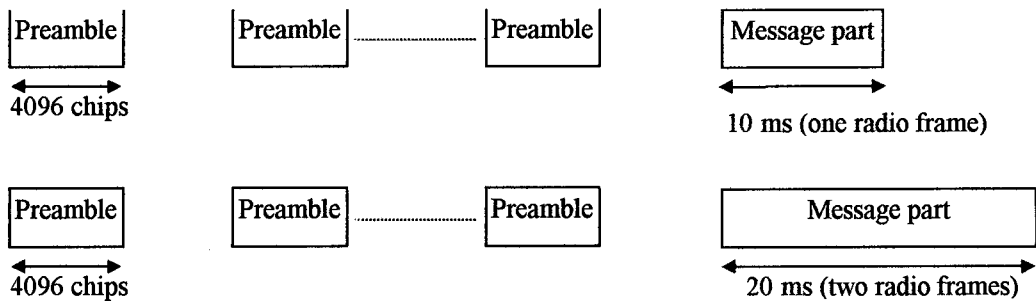


Figura 4-13. Estructura de la transmisión por acceso aleatorio

(Fuente: 3GPP)

La parte de preámbulo del PRACH consiste en 256 repeticiones de una signatura de 16 bits. Existen 16 signaturas distintas que son secuencias de Hadamard, ortogonales entre sí. Dependiendo de la signatura la red esperará un mensaje de 10 ms o de 20 ms.

La parte de mensaje enviará simultáneamente datos y control multiplexados en fase y cuadratura. El campo de datos puede usar cuatro SFs diferentes: 32, 64, 128 ó 256, que corresponden a las velocidades de la Tabla 4-3. Mientras que el campo de control usa siempre SF=256 y contiene dos campos: Pilot y TFCI tal como muestra la Figura 4-14.

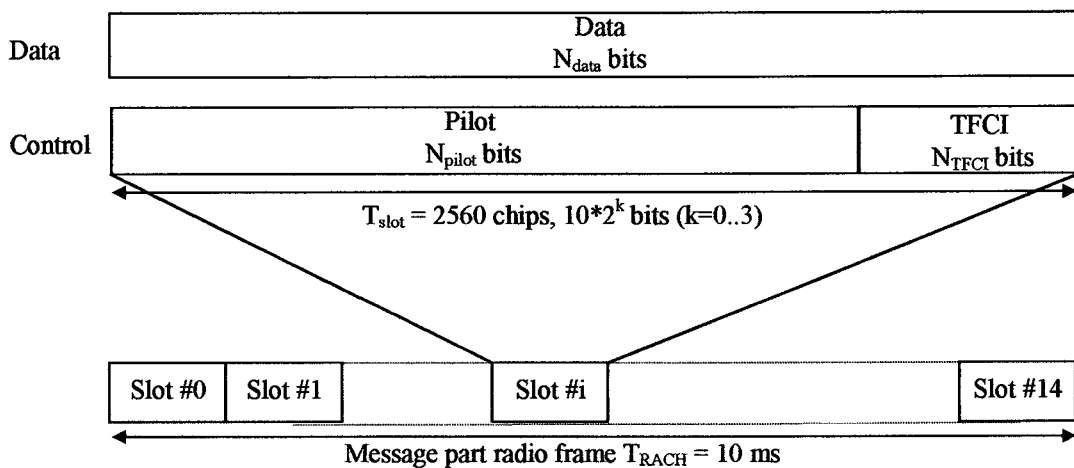
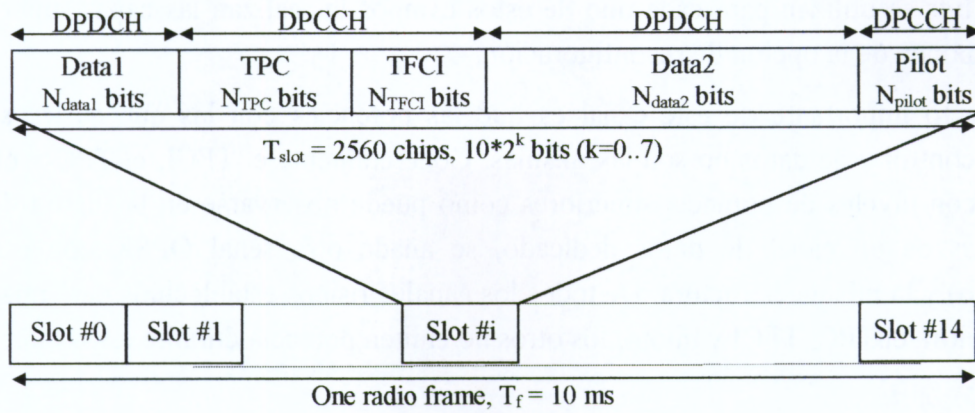


Figura 4-14. Estructura de la parte de mensaje de la trama radio en el acceso aleatorio

(Fuente: 3GPP)

En el enlace descendente existe un único canal dedicado que lleva la información del usuario y el control: el *downlink* DPCH (**D**edicated **P**hysical **C**hannel) la estructura de cual se muestra en la Figura 4-15.



**Figura 4-15. Estructura del downlink DPCH**

(Fuente: 3GPP)

El parámetro  $k$  determina el número de bits por slot del *downlink* DPCH, y está relacionado con el SF utilizado según:

$$SF = \frac{512}{2^k} \tag{4.25}$$

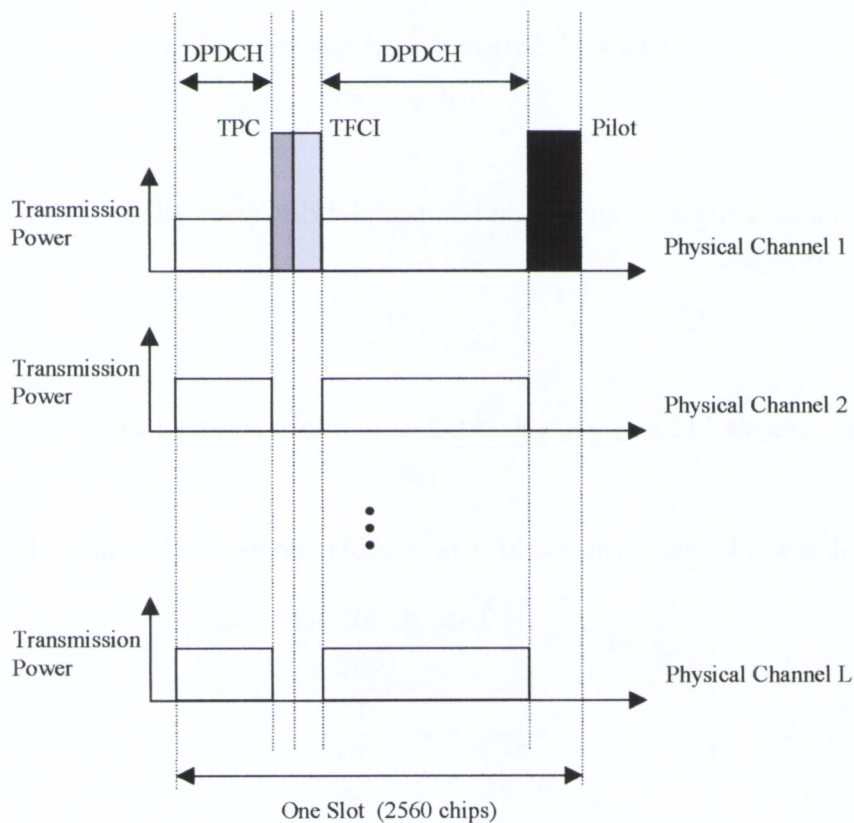
El SF puede variar de 512 a 4, y la velocidad de la información en cada caso es la indicada en la Tabla 4-4.

**Tabla 4-4. Relación entre el SF y la velocidad de bit del *downlink* DPCH**

SF	Tasa de bit del canal (kbps)
512	15
256	30
128	60
64	120
32	240
16	480
8	960
4	1920

Además de la información de usuario (*Data*) se envían los bits piloto necesarios para la estimación de canal de la detección coherente (Pilot), un indicador opcional de combinación de formato de transporte (TFCI: **T**ransport **F**ormat **C**ombination **I**ndicator), y los comandos a transmitir para realizar el control de potencia (TPC: **T**ransmit **P**ower **C**ontrol). La configuración de cuantos bits se utilizan para cada uno de estos campos la realizan las capas superiores, que también disponen de la opción de reconfiguración.

Un aspecto importante de este canal es que las potencias con las que se transmiten los campos de control y de datos no son las mismas. Concretamente el TFCI, el TPC y el piloto se transmiten con niveles de potencia superiores como puede observarse en la Figura 4-16. Si se requiere más de un canal de datos dedicado, se añade otra señal QPSK con otro código (multicódigo) y la misma estructura. De todos los canales físicos establecidos para una conexión sólo uno emitirá el TPC, TFCI y piloto, los otros no emiten potencia durante estos intervalos.



**Figura 4-16. Formato de un slot en caso de usar multicódigo en el downlink**  
(Fuente: 3GPP)

Otro canal interesante en el enlace descendente es el S-CCPCH (**S**ecundary **C**ommon **C**ontrol **P**hysical **C**hannel), pues es el encargado de transportar el FACH (**F**orward **A**ccess

CHannel) y el PCH (Paging CHannel). Existen dos tipos de S-CCPCH: el que lleva TFCI y el que no lo lleva. Además puede llevar 0,8 o 16 bits piloto. Los SF permitidos son de 256 a 4, con la misma relación de velocidades indicada en la Tabla 4-4. La estructura del S-CCPCH se muestra en la Figura 4-17.

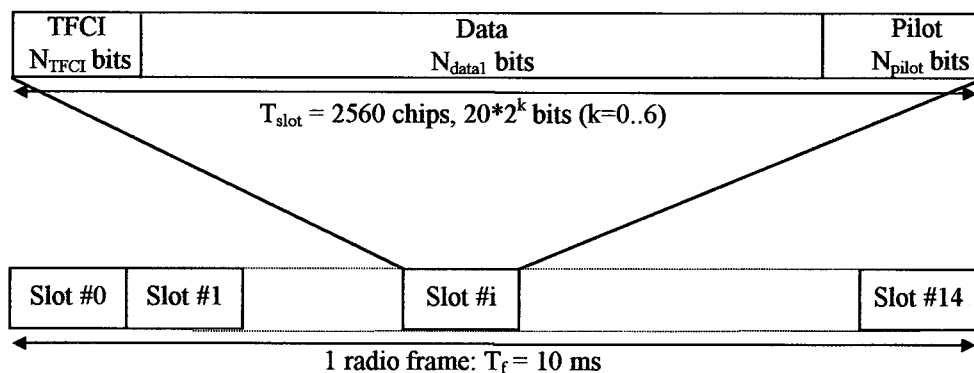


Figura 4-17. Estructura del Secondary Common Control Channel (S-CCPCH)

(Fuente: 3GPP)

#### 4.4.2.2. Codificación y multiplexación

Tal y como se ha descrito al principio de este capítulo, el canal produce sobre la señal el llamado desvanecimiento rápido (fast fading) que provoca unas caídas en el nivel de la señal en recepción muy elevadas. Estos desvanecimientos dificultan en gran medida la recepción libre de errores, por esta razón los sistemas de banda ancha utilizan contramedidas para paliar este problema en la medida de lo posible. Las soluciones implementadas por UTRA para mejorar la recepción y detección libre de errores son:

- una fuerte codificación de canal, un doble entrelazado y protocolos de retransmisión
- utilización del receptor Rake que permite aprovechar la dispersión temporal de energía que provoca el multicamino

El tratamiento aplicado a los bloques de transporte desde que son creados por la capa MAC o superiores hasta que los canales de transporte son proyectados (“mapeados”) en los distintos canales físicos es una combinación de detección de errores, corrección de errores, ajuste de velocidad y entrelazado [16].

En la Figura 4-18 se muestra el esquema de codificación de canal/multiplexación para el enlace ascendente y en la Figura 4-19 para el descendente. Estos esquemas son aplicables únicamente a los canales de transporte: DCH, RACH, CPCH, DSCH, BCH, FACH y PCH.

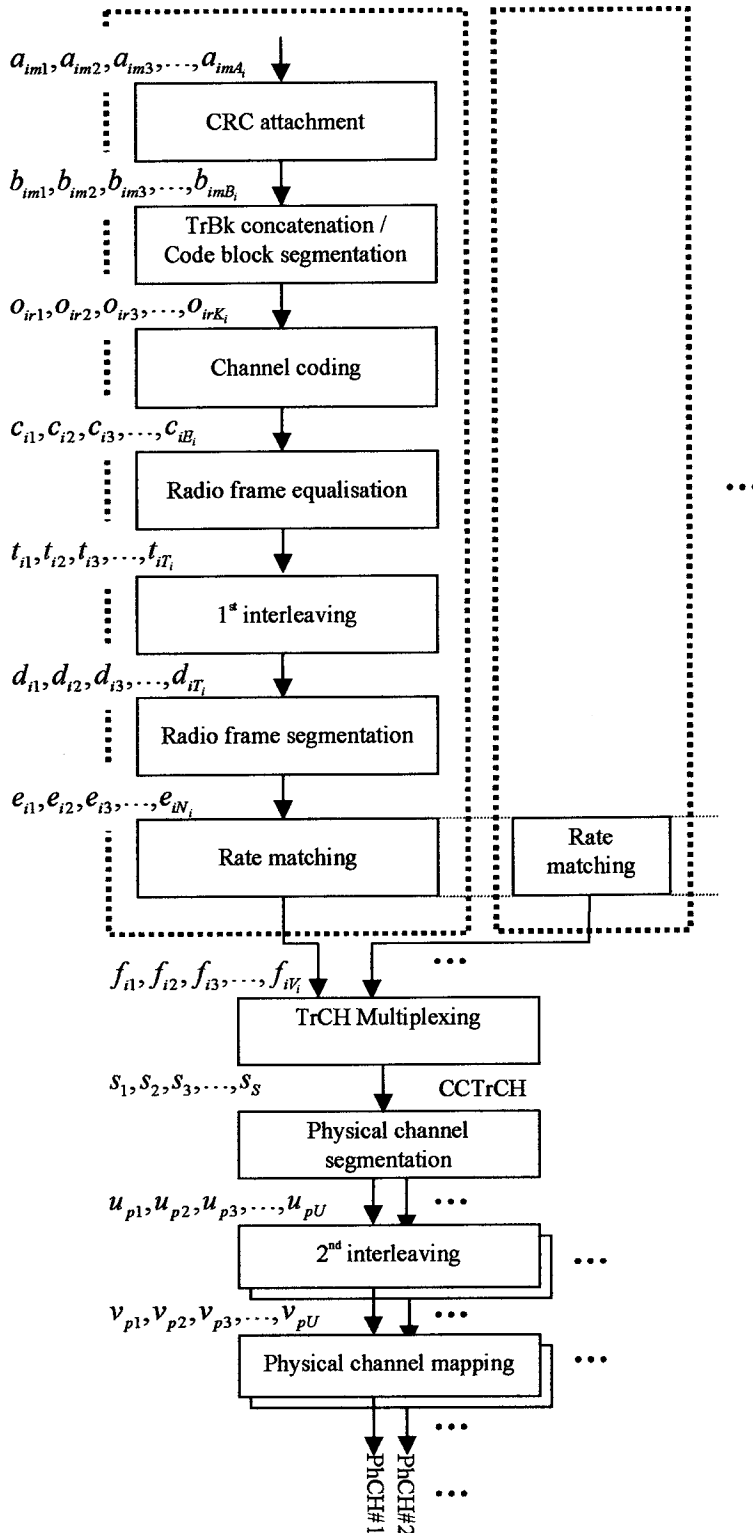


Figura 4-18. Estructura del multiplexado de los canales de transporte en el uplink FDD

(Fuente: 3GPP)

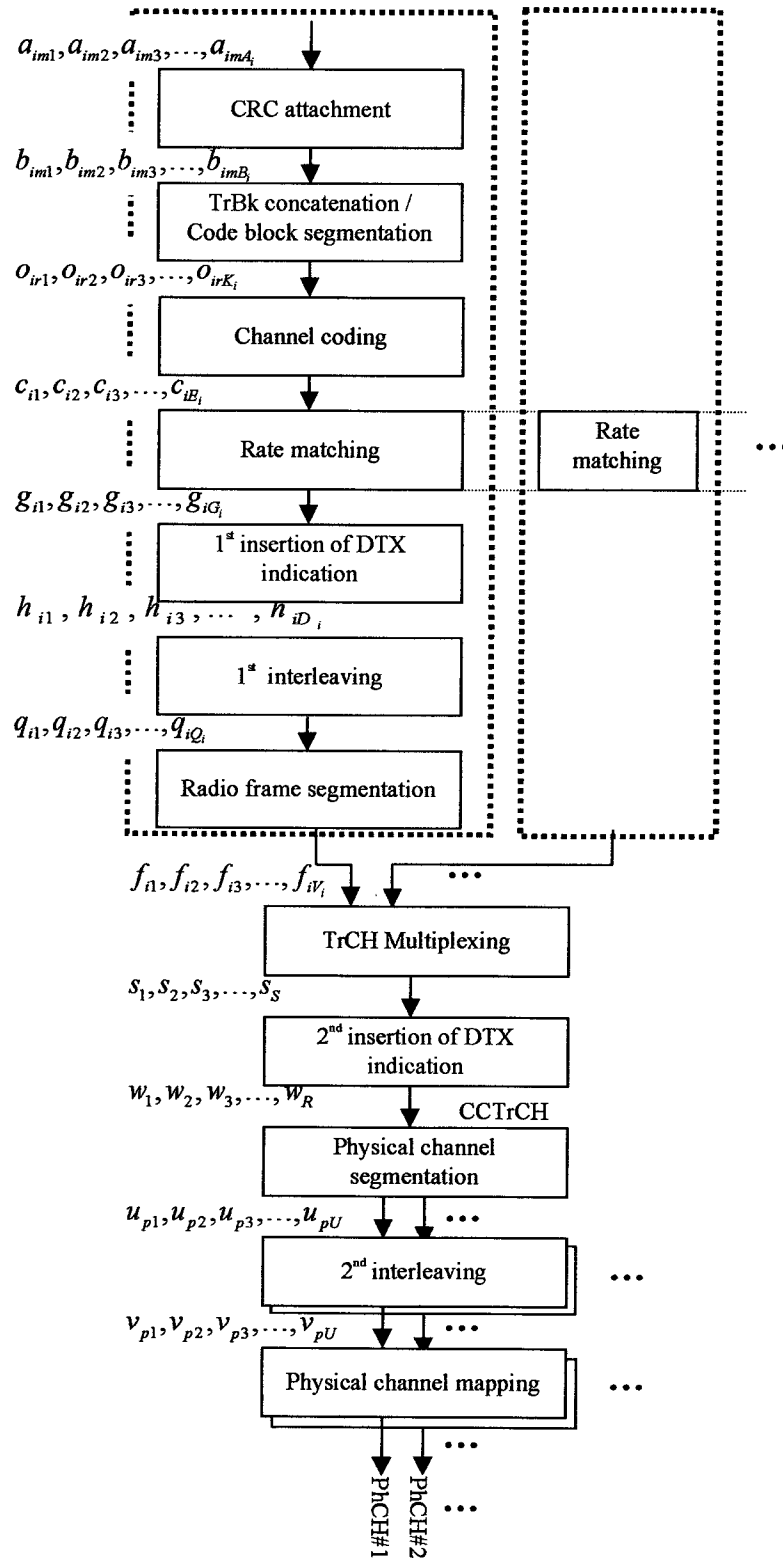


Figura 4-19. Estructura del multiplexado de los canales de transporte en el downlink FDD

(Fuente: 3GPP)



El flujo de datos resultante del multiplexado de canales de transporte se denomina CCTrCH (Coded Composite Transport CHannel), y puede ser mapeado en uno o varios canales físicos.

Los diferentes pasos identificados en las figuras anteriores son:

- 1) Añadir el CRC (Cyclic Redundancy Check) a cada bloque de transporte para la detección de errores. La longitud del CRC puede ser de 24, 16, 12, 8 o 0 bits, y viene predeterminado por las capas superiores. Para el cálculo del CRC se utiliza todo el bloque de transporte utilizando unos polinomios generadores en función de la longitud de CRC determinada.
- 2) Concatenación de los bloques de transporte pertenecientes a un mismo canal de transporte e intervalo temporal de transmisión. Si una vez realizada la concatenación, el número de bits es mayor que el tamaño de un bloque de codificación, entonces se realiza la segmentación en bloques de codificación. El tamaño de estos bloques depende de la codificación de canal utilizada: 504 para la codificación convolucional y 5114 para la turbo codificación.
- 3) Codificación de canal, que a partir de un bloque de codificación de K bits obtiene un bloque de Y bits, donde Y depende del método de codificación utilizado:  $2K+16$  para la codificación convolucional de tasa  $1/2$ ,  $3K+24$  para la convolucional de tasa  $1/3$  y  $3K+12$  para la turbo codificación de tasa  $1/3$ . La Tabla 4-5 muestra los esquemas de codificación y tasas que pueden usarse en cada canal de transporte.

**Tabla 4-5. Uso de los esquemas de codificación de canal y sus tasas**

Tipo de Canal de Transporte	Esquema de codificación	Tasa de codificación
BCH	Código Convolucional	1/2
PCH		
RACH		
CPCH, DCH, DSCH, FACH	Turbo Código	1/3

- 4) Ecuación de la trama radio, consiste en rellenar la trama de bits para asegurar que posteriormente podrá ser fragmentada en N bloques del mismo tamaño. Este paso sólo se realiza en el enlace ascendente.
- 5) Primer entrelazado, se trata de un entrelazado con permutación de columnas donde el número de columnas de la matriz y el patrón de permutación de las columnas dependen del TTI (Transmission Time Interval). Después de decidir el número de filas, se escriben los bits por filas, se realiza la permutación de las columnas según el patrón establecido y se lee la matriz por columnas.
- 6) Segmentación de la trama radio, en el caso que sea necesario, es decir, que el intervalo temporal de transmisión sea mayor de 10ms (tiempo de trama), la secuencia de bits es segmentada y mapeada en tramas consecutivas.

- 7) Ajuste de tasa (rate matching), consistente en la repetición o el diezmado (puncturing) de bits en los canales de transporte para asegurar que la tasa de bit total después del multiplexado de estos canales es idéntica a la suma de las tasas de los canales físicos en los que se repartirá el CCTrCH.
- 8) Multiplexado de los canales de transporte, cada 10ms todos los canales de transporte entregan una trama radio que son multiplexadas en serie formando un CCTrCH. Las secuencias de bits entregadas por cada canal de transporte no tienen por qué ser de la misma longitud.
- 9) Segmentación de canal físico, cuando se utiliza más de un canal físico, los bits son separados entre distintos canales físicos para su transmisión.
- 10) Segundo entrelazado, al igual que el primer entrelazado se escriben los bits por filas en una matriz de 30 columnas para luego permutar las columnas según un patrón preestablecido. Luego se lee la matriz por columnas para obtener la secuencia de salida del entrelazador.
- 11) Mapeo sobre los canales físicos, los cuales, en cada trama, o son utilizados en toda su capacidad o no se utilizan; sólo en el caso de transmisión en modo comprimido puede darse la situación que el terminal móvil deje de transmitir durante algunos slots consecutivos de la misma trama.

Como puede observarse estos pasos siguen el orden indicado para el enlace ascendente. Para el enlace descendente hay un par de diferencias. La primera es la no realización del paso “4) Ecuilibración de la trama radio”, en su lugar se realiza el ajuste de tasa (Paso 7) y la primera inserción de bits de indicación de transmisión discontinua (DTX).

- 12) Primera inserción de bits de indicación de transmisión discontinua (DTX), consiste en insertar bits para indicar que se debe dejar de transmitir, y ellos mismos no se transmiten. Este paso sólo se aplica si las posiciones de los canales de transporte en la trama radio están fijadas.

La segunda diferencia es la realización de una segunda inserción de bits de indicación de transmisión discontinua (DTX) después del multiplexado y antes de la segmentación de canal físico.

- 13) Segunda inserción de bits de indicación de transmisión discontinua (DTX), ocurre una vez que se tiene la secuencia que ocupará una trama del CCTrCH. Los bits de indicación de DTX se añaden al final de la secuencia, aunque luego se diseminarán debido al segundo entrelazado.

En resumen, los pasos para el enlace descendente son: 1,2,3,7,12,5,6,8,13,9,10,11.

---

Todo este proceso sirve para añadir redundancia a los bits de información de los bloques de transporte, de forma que en recepción es mucho más sencillo decidir cuando es correcta o incorrecta una trama. Además, gracias al doble entrelazado, los errores producidos por un desvanecimiento rápido están repartidos en diversas tramas, lo que facilita la tarea de detección y corrección de errores.

#### 4.4.2.3. *Ensanchamiento*

El ensanchamiento (spreading) se realiza sobre los denominados canales físicos [17]. Tal y como se ha presentado en el capítulo 3, existen diferentes tipos de canales físicos en el sistema UMTS, que soportan la transmisión de todo tipo de señales, datos, control de potencia, señalización, petición de recursos, etc... Los canales de interés para este estudio son, dada su finalidad, el DPDCH (**D**edicated **P**hysical **D**ata **C**Hannel) y el PRACH (**P**hysical **R**andom **A**ccess **C**Hannel) para el enlace ascendente, y el DPCH (**D**edicated **P**hysical **C**Hannel) y el S-CCPCH (**S**econdary **C**ommon **C**ontrol **P**hysical **C**Hannel) para el enlace descendente.

El ensanchamiento se produce en dos fases. Una primera fase, llamada **canalización** en la que se realiza el ensanchamiento propiamente dicho, donde cada símbolo es transformado en un número determinado de chips. Esto se realiza mediante la multiplicación de la señal por el código de canalización correspondiente, cuya misión en el enlace descendente es separar las transmisiones entre usuarios de una misma célula, y en el enlace ascendente es separar diferentes conexiones (servicios) simultáneas de un mismo terminal (usuario).

En la segunda fase, llamada **scrambling**, la trama de chips complejos es multiplicada por el código de scrambling o aleatorización antes de ser modulada. En el enlace descendente este código es igual para todos los usuarios de una misma célula y diferente para las otras células, y su misión es separar las transmisiones entre células.

En la Figura 4-20 se puede observar el diagrama de bloques del ensanchamiento para los canales DPCCCH, DPDCH y HS-DPCCCH del enlace ascendente, y en la Figura 4-21 el ensanchamiento de la parte de mensaje del PRACH.

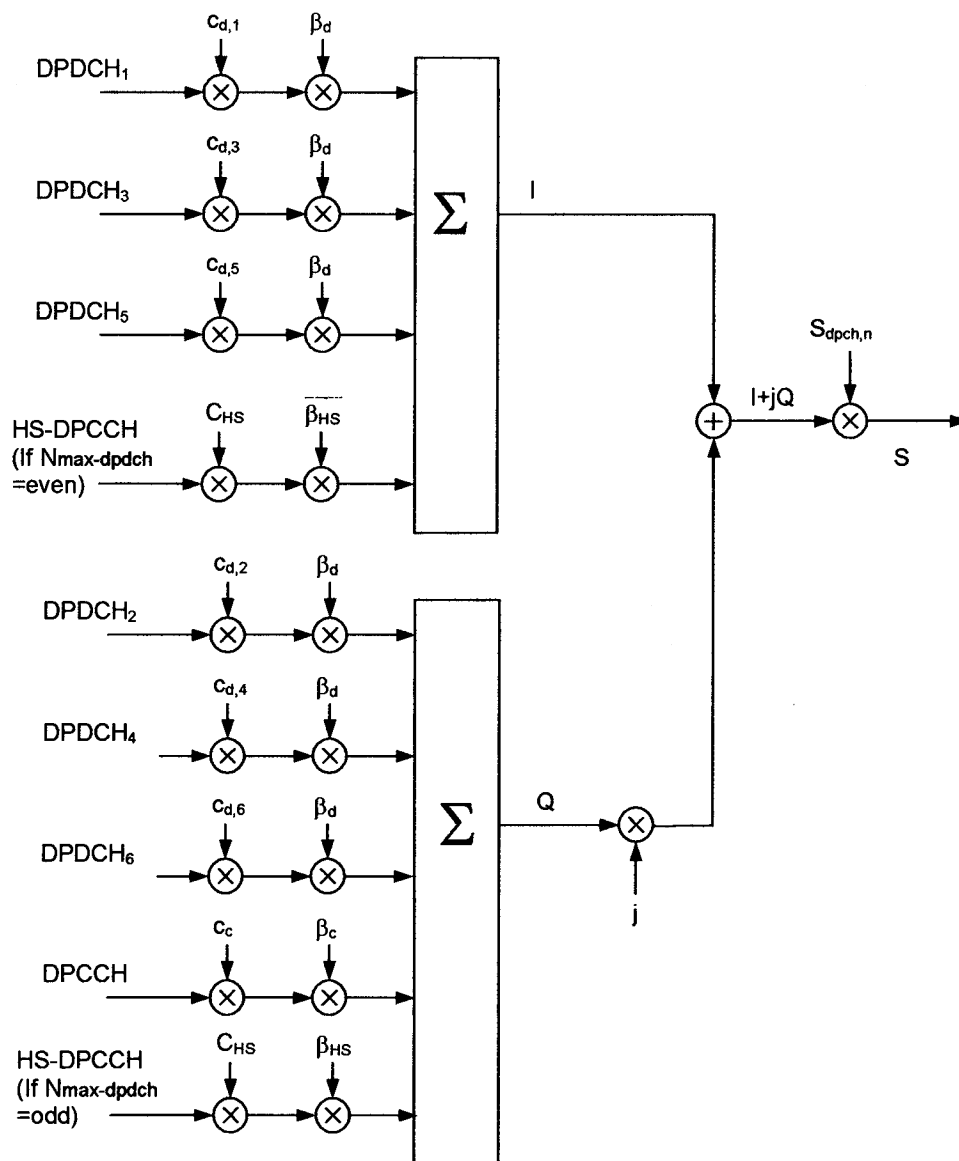
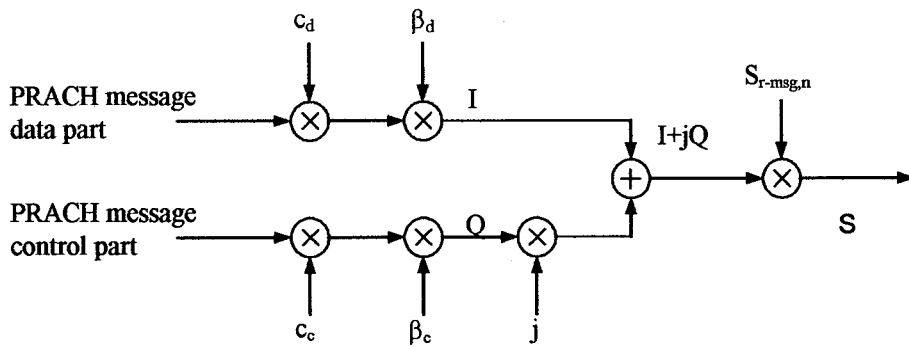


Figura 4-20. Ensanchado de los DPDCH, HS-DPCCH y DPCCH del uplink

(Fuente: 3GPP)

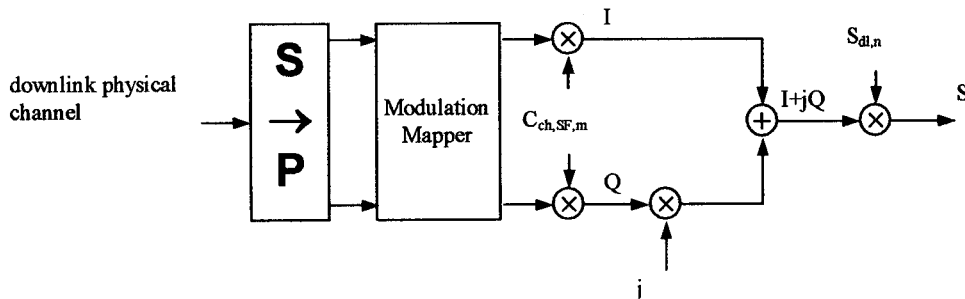
Como se puede observar, el sistema permite que se transmitan simultáneamente un máximo de 6 canales de datos (DPDCH), un canal HS-DPCCH, y un canal de control DPCCH que se transmite siempre, cualquiera que sea el número de DPDCH transmitidos y exista o no un HS-DPCCH.



**Figura 4-21. Ensanchado de la parte de mensaje del PRACH**

(Fuente: 3GPP)

En el enlace descendente, a diferencia del ascendente, no se separan la parte de control y la de datos en los ejes I y Q, sino que se genera una única señal que se distribuye mediante un convertidor serie-paralelo entre los dos ejes. La canalización se aplica a las dos ramas separadas, y el scrambling se aplica a la secuencia compleja de símbolos como muestra la Figura 4-22. Este proceso de ensanchamiento es aplicado a todos los canales del enlace descendente excepto el SCH que no sufre canalización ni aleatorización.



**Figura 4-22. Ensanchado en el enlace descendente excepto para el SCH**

(Fuente: 3GPP)

Como se ha mencionado los códigos de canalización cumplen dos misiones importantísimas: ensanchar la señal y separar diferentes conexiones. Para ello los distintos códigos  $c_{d,i}$ ,  $c_c$  ... deben mantener ortogonalidad absoluta. Esto permite que el receptor pueda recuperar los diferentes

canales independientemente unos de otros sin interferirse mutuamente. El principal reto de estos códigos es el manejo de canales con velocidad variable, combinados con otros de velocidad fija. En efecto, el manejo de velocidades variables implica que la longitud de símbolo varía con ello el número de chips.

Para solventar este problema, se recurre a lo que se conoce como códigos ortogonales de factor de ensanchamiento variable OVVSF (Orthogonal Variable Spreading Factor). Se trata de códigos ortogonales cuya longitud es igual al factor de ensanchamiento (SF), y que mantienen la ortogonalidad con códigos de diferentes factores de expansión siempre que se seleccionen tal como se explica a continuación. Los códigos de canalización son los mismos en FDD y en TDD, tanto para el UL como para el DL.

Las códigos OVVSF se obtienen según el esquema con forma de árbol de la Figura 4-23. Partiendo de un código de factor de ensanchamiento uno, se derivan dos ramas correspondientes a una pareja de códigos de factor de ensanchamiento dos (longitud el doble del original) repitiendo el mismo código en la rama superior, y negando la repetición en la rama inferior. De cada uno de ellos, se derivan a su vez, dos códigos de factor cuatro, y así sucesivamente. Una propiedad muy importante de dichos códigos es que una vez utilizado uno en concreto, no es posible seleccionar ninguno que pertenezca a alguna rama derivada de dicho código. Por ello, los sistemas que recurren a las secuencias OVVSF, como es el caso del UMTS, han de disponer de algoritmos que asignen las secuencias de la forma más eficiente posible, procurando aprovechar al máximo el árbol.

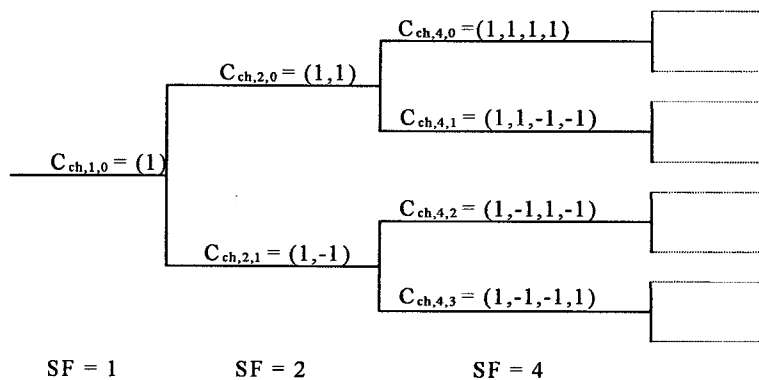


Figura 4-23. Árbol generador de los códigos OVVSF

(Fuente: 3GPP)

---

La nomenclatura utilizada para representar estos códigos es  $C_{ch,SF,k}$  donde  $ch$  indica que es un código de canalización (channelization),  $SF$  indica el factor de ensanchamiento que depende a su vez de la tasa en bps del canal y  $k$  indica el número de código ( $0 \leq k \leq SF-1$ ).

La ortogonalidad de estos códigos se comprueba realizando el producto escalar de cualquier par de ellos que estén situados en una misma columna del árbol, o en caso de que pertenezcan a distintas columnas, siempre que el más largo no provenga de la misma rama que el más corto. Para que esta ortogonalidad sea efectiva es necesaria una perfecta sincronización entre códigos. Es por este motivo que estos códigos son utilizados en el enlace ascendente para garantizar la separabilidad de las conexiones de un mismo usuario, ya que entonces puede sincronizarse el inicio de todas ellas, y en el enlace descendente para separar conexiones de diferentes usuarios.

La ortogonalidad entre usuarios en el DL es una gran ventaja, sin embargo el número de códigos OVVSF es limitado, y puede ser necesario ampliar este número recurriendo a códigos de aleatorización diferentes, con lo que se perderá la ortogonalidad. El resultado de multiplicar un código OVVSF por dos códigos de aleatorización diferentes da dos códigos diferentes no ortogonales pero con buenas propiedades de autocorrelación y de correlación cruzada. Cuando en una celda se requiera un código de canalización de un SF para el que ya no haya ninguno libre, será necesario utilizar un segundo árbol, que deberá agotarse antes de utilizar un tercero, etc.

Para el DL en UTRA se han fijado 512 grupos de 16 códigos de aleatorización o scrambling. Cada celda puede usar uno de estos grupos por lo que dispone de 16 árboles OVVSF, aunque se recomienda usar un único árbol. Estos códigos de aleatorización son segmentos de secuencias de Gold de longitud 38400 chips que duran, por lo tanto, 10 ms.

En el UL no existe ortogonalidad entre usuarios, pues es imposible conocer los códigos que están usando los otros, y todavía es más difícil sincronizarse. La diferenciación entre usuarios se consigue con los códigos de aleatorización. Para el UL en UTRA se han definido  $2^{24}=16777216$  códigos de scrambling. Estos códigos pueden ser de tipo largo o de tipo corto. Los primeros son segmentos de secuencias de Gold de longitud de 38400 chips, la misma que la trama que va a multiplicar, y son utilizados en el caso que la estación base utilice un receptor Rake. En el caso que la estación base utilice detectores multiusuario más avanzados o receptores con cancelación de interferencia podrían utilizarse los códigos cortos, de longitud 256 chips, a fin de facilitar la implementación de estos receptores avanzados. En la presente tesis se han utilizado los códigos largos puesto que en recepción se ha considerado la utilización del receptor Rake.

Los procesos de ensanchamiento y modulación están mezclados, en el sentido que la multiplicación por el código de canalización siempre se hace sobre chips reales correspondientes a las ramas I y Q, mientras que la multiplicación por el código de aleatorización se realiza siempre sobre chips complejos resultado de sumar las ramas en fase y en cuadratura.

4.4.2.4. Modulación

La modulación empleada es QPSK (Quaternary Phase-Shift Keying) tanto para el enlace ascendente como para el descendente. Una modulación de este tipo consiste en dividir la secuencia a modular en otras dos secuencias de velocidad mitad de la de entrada, una tomando los símbolos pares de la secuencia original y la otra, con los impares. A continuación cada una de las secuencias obtenidas se multiplica por una portadora, que se encuentra desfasada  $90^\circ$  con respecto a la del otro camino (fases Q e I respectivamente). Y en último lugar, ambas señales se suman, produciendo una señal conforme a la modulación QPSK. La Figura 4-24. muestra un diagrama general del modulador QPSK usado en UTRA.

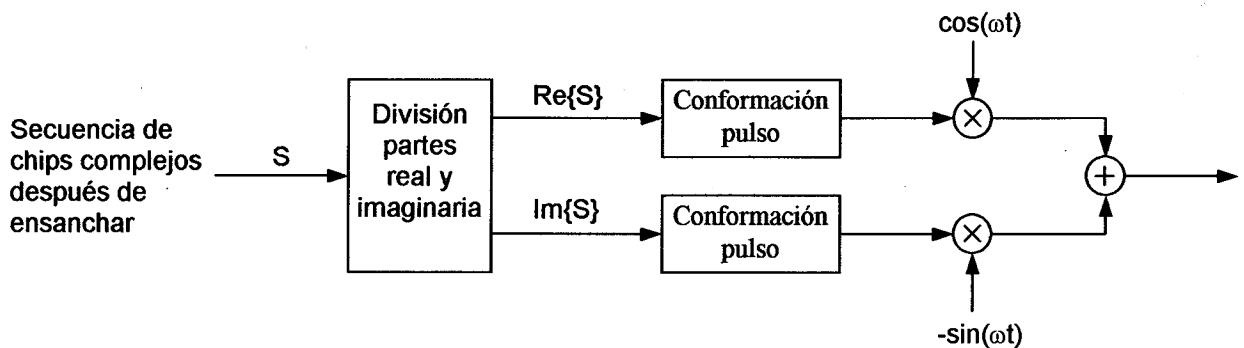


Figura 4-24. Esquema general del modulador QPSK

No obstante en el enlace ascendente, se produce una variación en el sistema de modulación, ya que en lugar de aplicar a cada camino una parte de una misma señal, se introduce en cada uno de ellos una señal diferente, de manera que se transmiten simultáneamente las dos, cada una de ellas sobre una fase diferente (I o Q). Este esquema de modulación se conoce como QPSK dual. Esta es la razón por la que con el mismo SF se puede transmitir a doble velocidad en el enlace descendente que en el enlace ascendente.



### 4.4.3. Modo TDD

En el modo TDD una transmisión se identifica por la frecuencia portadora en que se realiza, el código empleado para el CDMA y el intervalo de tiempo en que se efectúa. Es decir que, a diferencia del modo FDD y semejanza del sistema GSM, en este modo, la división de las transmisiones en intervalos de tiempo sí tiene un significado de separación entre canales. Aunque en la Release 5 se consideren dos versiones de UTRA TDD, con velocidades de chip de 3.84Mcps y 1.28Mcps, este trabajo de investigación sólo ha analizado la primera de ellas que corresponde a la primera versión de UTRA TDD.

Los enlaces ascendente y descendente en TDD se soportan en una misma frecuencia portadora. No existe, como en FDD, una banda de frecuencias para el enlace ascendente y otra para el descendente. En efecto, los 15 *slots* de cada trama deben repartirse entre los dos enlaces. Dicha asignación puede cambiar de trama a trama, lo que confiere a este modo una gran flexibilidad en el manejo del tráfico asimétrico, tanto por el grado de asimetría que puede adoptar como por la rapidez con que puede variar en el tiempo. Es por esa razón que se considera el modo TDD especialmente idóneo para el soporte de servicios con perfiles de tráfico asimétrico, como la navegación por Internet.

Sin embargo, esta flexibilidad también tiene sus problemas, pues puede generar situaciones de interferencia entre dos Nodos B adyacentes que no coordinen el uso de sus intervalos. Este tipo de situación se ilustra en la Figura 4-25.

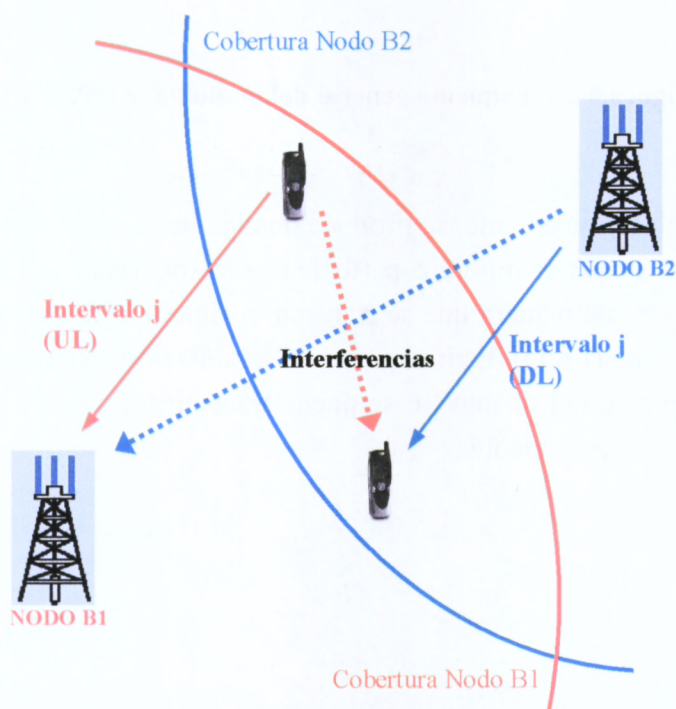


Figura 4-25. Situación potencial de interferencia en TDD

Para evitar estas interferencias en TDD, es muy aconsejable que se coordine el uso de los intervalos entre células vecinas. Esta coordinación es factible cuando se habla de estaciones de una misma red, pero resulta más difícil -en realidad casi imposible- en el momento en que se habla de redes de operadores diferentes.

El hecho de que los intervalos de tiempo sirvan de frontera entre canales implica que el modo TDD sea síncrono, esto es, que exista un reloj común a los Nodos B de todas las estaciones de una red.

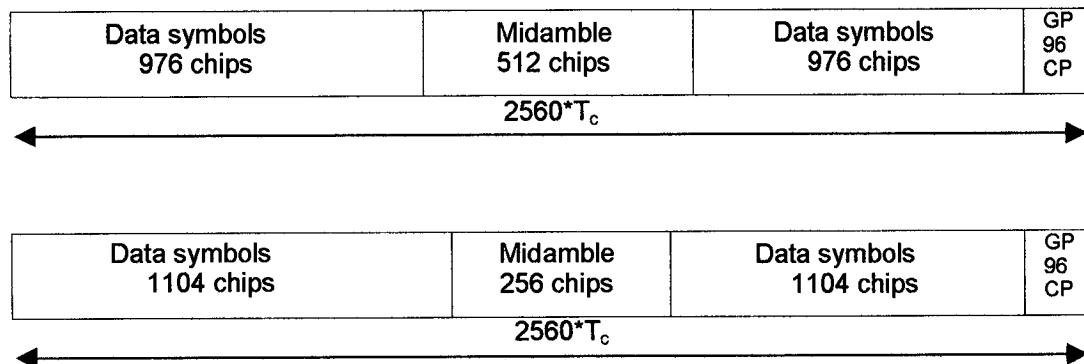
Por último, es interesante mencionar que actualmente este modo contempla la combinación futura con otro, denominado ODMA (**O**pportunity **D**riven **M**ultiple **A**ccess), pensado para expandir la cobertura de las células TDD a altas velocidades. La base de esta técnica es utilizar los terminales móviles activos en una célula como repetidores que contribuyan a cubrir el trayecto radio que hay entre el Nodo B y el terminal móvil en conexión. Este modo dispone de sus propios canales físicos y de transporte. No obstante, esta propuesta se está todavía estudiando en el RAN WG1 del 3GPP y no se ha considerado en la presente tesis.

Parte de la descripción anterior del modo FDD es aplicable al modo TDD, por lo que en esta sección únicamente se indicaran las diferencias entre ambos.

#### 4.4.3.1. Estructura de los canales físicos

La estructura de los canales físicos para el UTRA TDD está definida en la especificación 25.221 [18]. En general las ráfagas de los canales físicos contienen campos de datos junto con otros de control, secuencias intermedias de entrenamiento y un período de guarda (GP: **G**uard **P**eriod), para tener cierta holgura en los instantes de tiempo de comienzo o final de los slots de transmisión.

A modo de ejemplo se presenta la estructura del DPCH (**D**edicated **P**hysical **C**hannel), el único canal físico bidireccional entre el Nodo B y el terminal. En la Figura 4-26 se muestra la estructura de los dos tipos de ráfagas (*bursts*) que existen para este canal físico: Tipo 1, con una secuencia de entrenamiento larga; Tipo 2, con una secuencia de entrenamiento corta para situaciones de carga (de usuarios) baja.



**Figura 4-26. Estructura de las ráfagas Tipo 1 y 2 del DPCH de TDD**

(Fuente: 3GPP)

Las secuencias de entrenamiento constan de cierto número de símbolos (512 o 256) conocidos de antemano, que le sirven al extremo receptor para estimar la respuesta impulsiva del canal radioeléctrico, de manera que puedan compensarse los efectos del multicamino. En este modo no se recurre a la recepción RAKE.

El modo TDD puede utilizar una estimación de avance temporal (*timing advance*), para intentar que todas las transmisiones de los móviles lleguen al Nodo B correspondiente al mismo tiempo. De no utilizarse, las variaciones de tiempo causadas por las diferentes distancias de los móviles al Nodo B habrán de ser absorbidas por el tiempo de guarda de las ráfagas de los canales utilizados. En el caso de los canales de tráfico, este tiempo de guarda establece un límite al radio de la célula de 3,75 km. Este valor sube a 9,2 km. cuando se emplea el avance temporal [19]. Ambos, sin embargo, son muy superiores a los radios de célula habituales en este modo, que se circunscribe al ámbito micro y sobre todo pico celular.

#### 4.4.3.2. Codificación y multiplexación

La codificación y multiplexación de los canales de transporte en TDD es muy similar al enlace ascendente del modo FDD [20]. En la Figura 4-27 se muestra la estructura de estos procesos. Las únicas diferencias en los pasos comunes se encuentran en la segmentación de canales físicos que es más flexible debido a que los canales físicos pueden tener longitudes distintas; en el segundo entrelazado que se realiza de forma diferente; y en la proyección sobre los canales físicos que es distinta al modo FDD. Además aparece un nuevo paso después del multiplexado que se llama "Bit Scrambling".

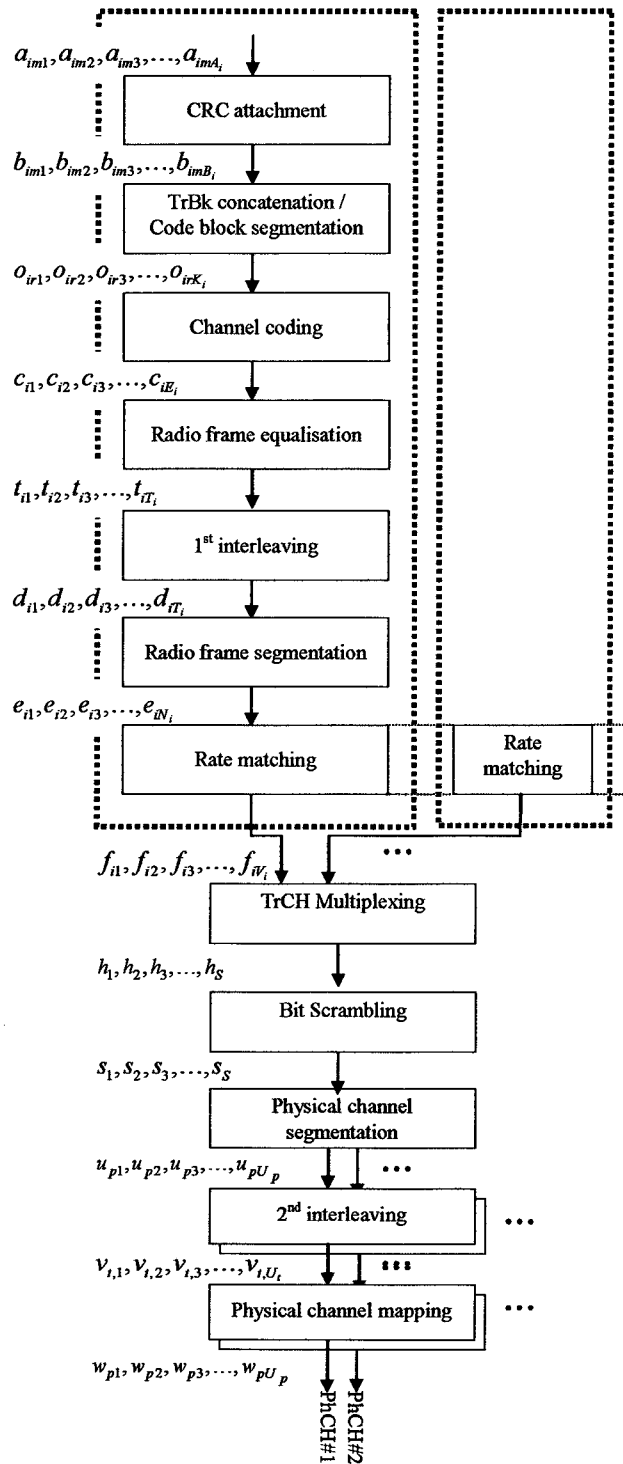


Figura 4-27. Estructura del multiplexado de los canales de transporte en TDD

(Fuente: 3GPP)

---

#### **4.4.3.3. Ensanchamiento**

Al igual que en FDD el ensanchamiento es resultado de dos procesos: canalización y aleatorización (scrambling) comunes para el enlace ascendente y descendente [21]. Los códigos de canalización son los OVSF. Y los de aleatorización son 128 secuencias de 16 bits cada una, de las cuales cada célula dispone de 4. Eso quiere decir que el patrón de reutilización es de 32 células.

Dentro de un mismo intervalo de tiempo es posible simultanear varias transmisiones, separadas mediante secuencias diferentes (aquí es donde entra la técnica DS-CDMA).

#### **4.4.3.4. Modulación**

La modulación empleada en TDD es QPSK en ambos sentidos.

#### **4.4.4. Diversidad**

Los sistemas de comunicaciones móviles, en general, utilizan técnicas de diversidad para combatir los efectos del canal radio. El sistema UMTS (tanto en modo FDD como en TDD) presenta diferentes mecanismos de diversidad en recepción (diversidad en el tiempo, diversidad de frecuencia, diversidad de polarización cruzada...).

La técnica de diversidad más utilizada es la diversidad en espacio, se trata de tener dos antenas separadas una cierta distancia de forma que las señales que llegan a ambas estén incorreladas. Las salidas de las antenas se llevan a cadenas de recepción separadas, extrayéndose la señal por algún método de selección o combinación. En el enlace descendente se usa MRC (Maximal Ratio Combining) y en el enlace ascendente puede ser MRC (en caso de un softer handover) o por selección de trama (en caso de un soft handover).

En función de la separación existente entre las dos o más antenas pueden definirse dos tipos de diversidad en espacio: la microdiversidad, cuando las antenas están en la misma estación base, y la macrodiversidad cuando las antenas están en estaciones base distintas. En la Figura 4-28 se puede observar la mejora obtenida utilizando macrodiversidad en función de la tasa de bit considerando 2 usuarios a 120 Km/h (canal outdoor).