

Mecanismos de asignación de recursos para la mitigación de interferencias intercelulares en UTRA TDD

J. Pérez-Romero, R. Agustí, O. Sallent, F. Casadevall
Universitat Politècnica de Catalunya (UPC)
Jordi Girona 1-3, 08034 Barcelona
email: [[jorperez](mailto:jorperez@tsc.upc.es), [ramon](mailto:ramon@tsc.upc.es), [oriol](mailto:oriol@tsc.upc.es), ferranc@tsc.upc.es]

Resumen

En esta ponencia se aborda el estudio de estrategias apropiadas de asignación dinámica de canales en un entorno de comunicaciones móviles TDD-TD/CDMA como el planteado en la propuesta UTRA TDD. Dichas estrategias deben combatir la presencia de fuertes interferencias que se pueden originar en condiciones de operación flexible. Los resultados muestran que las estrategias planteadas pueden mitigar en gran medida la problemática originada.

I.- INTRODUCCIÓN

Las comunicaciones móviles junto con Internet son las dos áreas de las telecomunicaciones que han experimentado un crecimiento más explosivo en los últimos años y han penetrado en la sociedad de manera definitiva, en parte debido a los rápidos avances tecnológicos y la reducción de los precios de terminales y conexiones.

Motivado por este espectacular crecimiento se han visionado y desarrollado diversas tecnologías a lo largo de los últimos años con el objetivo de poder ampliar el espectro de servicios y aplicaciones a ofrecer al usuario final. La concepción de estos desarrollos incorpora además un alto grado de flexibilidad sobre los sistemas, con el fin de poder acomodar nuevas demandas y requerimientos que a día de hoy no somos capaces ni siquiera de imaginar.

UMTS es la apuesta europea para la tercera generación de comunicaciones móviles y 3GPP es el encargado de desarrollar las especificaciones. La solución finalmente adoptada en cuanto al interfaz aire se refiere incluye dos modos de operación: UTRA-FDD y UTRA-TDD. Mientras que en el modo UTRA-FDD el duplexado de la comunicación es en frecuencia y la técnica de acceso múltiple es DS/CDMA, en el modo UTRA-TDD el duplexado es temporal y el acceso es TD/CDMA. Por tanto, el desarrollo de las especificaciones debe abordarse por separado en la medida que se presentan problemáticas distintas y particularidades en cada caso, manteniendo obviamente una base común en cuanto a parámetros fundamentales del sistema.

Aunque inicialmente el interés se centra en UTRA-FDD, en un entorno UMTS maduro sólo la complementación de ambos modos de operación va a ofrecer a los operadores auténticas plataformas de tercera generación capaces de soportar toda la gama de servicios móviles avanzados y en todos los escenarios que se plantean y así poder satisfacer la expectativas generadas alrededor de UMTS. En particular, de entre las motivaciones para la introducción de UTRA-TDD puede citarse la capacidad de aprovechar espectro disponible no pareado así como la mayor adecuación para soportar tráfico asimétrico. Por el contrario, su utilización se ve restringida a entornos micro y pico celulares.

Con la previsible importancia de los servicios interactivos, en especial aquellos asociados a Internet, la adecuación al tráfico asimétrico aprovechando la facilidad que supone el duplexado temporal, esto es, poder dedicar más tiempo de la trama en el sentido descendente que en el ascendente, se convierte en una de las mejores potencialidades de UTRA-TDD. Sin embargo, la posibilidad de que células distintas operen bajo estructuras de trama también distintas abre la posibilidad de que se presenten

situaciones de alta interferencia que mitiguen en gran parte esta ventaja inicial. Las técnicas DCA se desarrollan precisamente para combatir estos efectos, y son el objeto de la presente comunicación. En particular, la sección 2 repasa brevemente las características más destacadas de UTRA-TDD, en la sección 3 se plantea el problema de las interferencias que pueden inducirse y se proponen algunas soluciones, que se evalúan mediante simulación en la sección 4. Finalmente, la sección 5 recopila las conclusiones obtenidas en este trabajo.

II.- ALGUNAS CARACTERÍSTICAS DE UTRA-TDD

El modo UTRA-TDD, con su acceso TD/CDMA, tiene estrictos requerimientos de sincronización y se plantea para entornos micro y picocelulares. La definición de un canal físico en este marco está caracterizada por una frecuencia, un código y un slot dentro de la estructura de trama que, al igual que para UTRA-FDD, tiene una duración de 10 ms y se subdivide en 15 slots. Puesto que la tasa de chips es 3.84 Mchips/s, un slot estará compuesto de 2560 chips y un número variable de bits según sea la ganancia de procesamiento (SF) empleada. Los posibles valores de SF son 1, 2, 4, 8 y 16, lo que representa un rango de velocidades desde 3.84 Msímbolos/s a 240 Ksímbolos/s. La estructura de la ráfaga que se transmite en un slot está compuesta de dos campos de datos entre una secuencia midámbulo y un cierto tiempo de guarda. Cada slot puede contener una o varias ráfagas, expandidas todas ellas con secuencias código (esto es, el acceso tiene una componente CDMA), que incluyen dos componentes: el código de canalización y el código de scrambling. Estas ráfagas pueden a su vez corresponder a sólo uno o varios usuarios. Tanto el número de usuarios como de ráfagas, así como la identidad de los usuarios puede variar en el siguiente slot (esto es, el acceso tiene una componente TDMA). Estos aspectos se resumen en la Fig. 1. Usuarios que requieran velocidades elevadas puedan acomodarse bien mediante el uso de SF variables y/o multicódigo bien mediante multislot. La flexibilidad para soportar servicios asimétricos se refleja a nivel de configuración de trama mediante la diferente asignación de los slots al enlace ascendente y descendente. En la Fig. 2 se muestra (a) una configuración simétrica y (b) asimétrica.

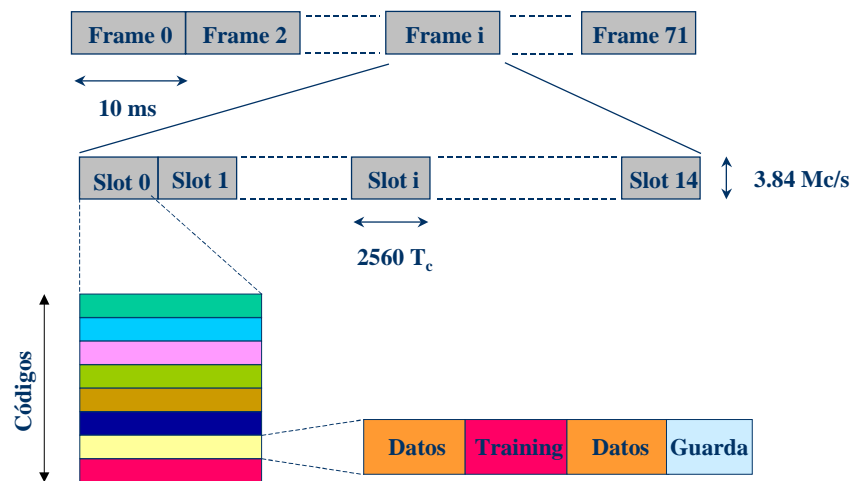


Fig. 1 Estructura del nivel físico en UTRA-TDD

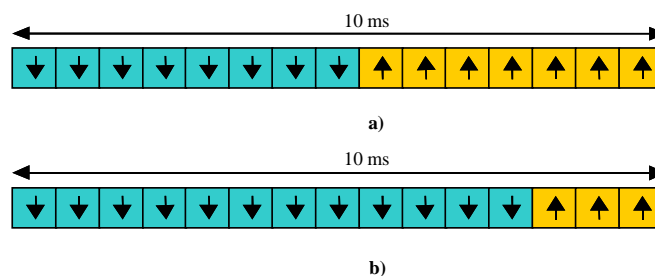


Fig. 2 Ejemplos de configuración de la trama UTRA-TDD

III.- INTERFERENCIA EN UN ESCENARIO TDD TD/CDMA

Tal y como se ha comentado en la sección anterior, dentro de esta estructura de trama existe flexibilidad para adaptar su grado de asimetría en función de las características del tráfico que deba transmitirse, por medio de asignar más o menos ranuras a los enlaces ascendente o descendente. Uno de los principales inconvenientes a los que se debe hacer frente es la aparición de dos nuevos tipos de interferencia motivados por la diferente estructura asimétrica que puede existir entre estaciones base vecinas. A efectos de ilustrar esta problemática, considérese el ejemplo mostrado en la Fig. 3, en la que aparecen dos estaciones base, BS1 y BS2, y dos terminales móviles, MS1 conectado a BS1 y operando en el enlace descendente (DOWN), y MS2, conectado a BS2 y operando en el enlace ascendente (UP). Ambos terminales trabajan en la misma ranura, dentro del período ΔT de la estructura de trama de ambas bases, que también se muestra en la figura. Bajo estas condiciones, la interferencia intercelular debe tener en cuenta las siguientes contribuciones:

1.- Interferencia Móvil a Móvil (MS a MS): Se da en el enlace descendente de MS1 y viene originada por la presencia del terminal MS2. En el caso de que la separación entre ambos terminales sea pequeña, especialmente si MS2 se encuentra ubicado lejos de su estación base BS2, con lo que requerirá de mayor potencia transmitida, el nivel de potencia interferente recibido en MS1 proveniente de MS2 puede ser excesivamente elevado comparado con la señal útil de MS1. Dado que ambos terminales trabajan con la misma frecuencia portadora y en el mismo tiempo, el único mecanismo de separación de ambas señales es el diferente código de scrambling empleado, que puede resultar insuficiente al tener las señales útil e interferente niveles de potencia muy diferentes.

2.- Interferencia Base a Base (BS a BS): Se da en el enlace ascendente de MS2 y viene originada por la potencia transmitida en el enlace descendente por BS1, que puede llegar a enmascarar la señal recibida del terminal móvil. Este problema es especialmente crítico cuando existe visibilidad directa entre las diferentes estaciones base de un sistema TDD, puesto que en este caso las condiciones de propagación son más favorables en el camino entre estaciones base que en el camino de base a móvil, con lo que la señal interferente puede estar muy por encima de la señal útil. Así pues, al igual que ocurre con la interferencia MS a MS, el mecanismo de separación de las señales útil e interferente, basado en los códigos de *scrambling*, puede resultar insuficiente, por lo que se deberá recurrir a otros mecanismos, principalmente basados en la aplicación de algoritmos DCA y en el empleo de inclinaciones eléctricas en las antenas de las estaciones base, de modo que la línea de visibilidad directa no coincida con ningún lóbulo principal del diagrama de radiación.

La solución a esta problemática no es sencilla, hasta tal punto que muchas veces se plantea la posibilidad de que todas las celdas de un mismo operador trabajen con una misma estructura asimétrica, es decir, con las mismas ranuras destinadas a los enlaces ascendente y descendente. También debe tenerse en cuenta la coexistencia entre operadores, ya que la separación entre portadoras adyacentes en TDD será muy inferior a la separación que pueda existir, por ejemplo, entre los enlaces ascendente y descendente de un esquema FDD [2].

En términos de un mismo operador la visión que se tiene a medio/largo plazo es la de una cobertura continua FDD e islas de cobertura TDD, allí donde las necesidades de capacidad para proveer ciertos servicios así como la adecuación a servicios asimétricos lo requiera. Por lo tanto, en caso de no hacer uso de estrategias DCA, serían todas las células de un mismo entorno las que deberían configurarse con la misma estructura de trama, que podría ser distinta en otra isla de células TDD suficientemente alejada geográficamente de la anterior.

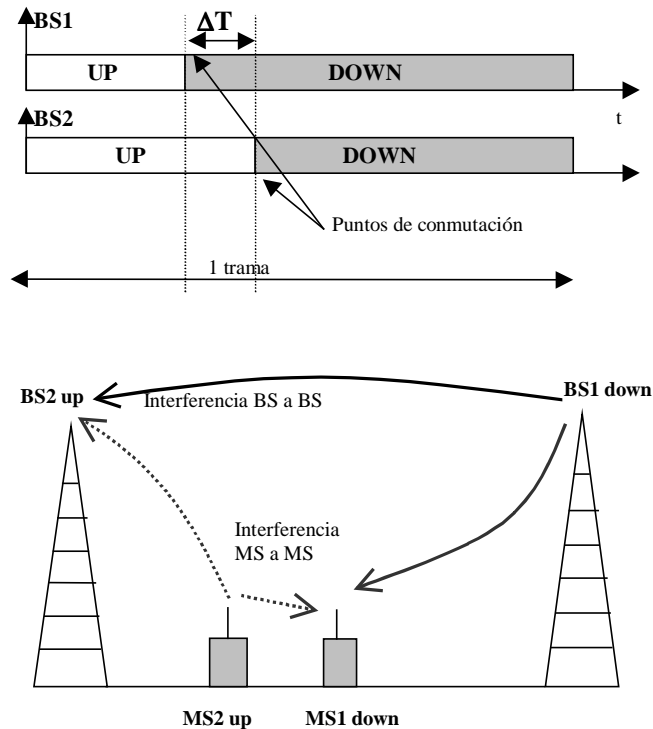


Fig. 3 Escenario de aparición de interferencias

Una de las alternativas para minimizar esta interferencia consiste en asignar las diferentes ranuras de la trama entre los terminales teniendo en cuenta esta problemática. En la presente comunicación se plantean y comparan tres alternativas diferentes para este propósito, tal y como se detalla a continuación:

1.- Estrategia de distribución ordenada

Consiste en distribuir las ranuras tratando de evitar en la medida de lo posible el uso de las ranuras en la zona conflictiva ΔT afectada por la interferencia. Para ello, basta con asignar las ranuras y códigos ordenadamente empezando a medida que sean necesarios y únicamente asignar los de la zona conflictiva cuando el nivel de carga lo requiera. Si bien esta estrategia reduce totalmente la interferencia MS a MS y BS a BS para cargas reducidas, puede presentar problemas para cargas altas.

2.- Estrategia basada en avance temporal

Consiste en distribuir las diferentes ranuras entre los usuarios teniendo en cuenta un criterio de distancia a la estación base, que puede ser medida a través del avance temporal empleado en TDD. De este modo, los terminales a menor distancia de su base pueden ser ubicados en la zona conflictiva mientras que los terminales más alejados serán ubicados en la zona más protegida de la trama. Considerando SP como el número de la primera ranura del enlace descendente de la trama (numeradas las ranuras de 0 a 14 según la trama de UTRA TDD), la asignación para un terminal con avance temporal TA en una celda de radio R:

$$UL\ slot = \left\lceil \left(1 - \frac{TA \cdot c}{2R} \right) \cdot SP \right\rceil \quad (1)$$

$$DL_{slot} = SP + \left\lfloor \frac{TA \cdot c}{2R} (15 - SP) \right\rfloor \quad (2)$$

siendo $c=3 \cdot 10^8$ m/s. Tras esta asignación, en el caso de quedar ranuras disponibles en la zona no conflictiva, se procedería reasignándolas y también tratando de evitar usar la zona conflictiva. Nuevamente, para cargas bajas, dicha región no será empleada.

3.- Estrategia basada en niveles de potencia

La distribución sería análoga al caso anterior pero ahora se utiliza como criterio de reparto la medida de las pérdidas de propagación hacia su base de cada terminal. Sean PL (dB) dichas pérdidas, el reparto sería ahora como:

$$UL_{slot} = \left\lfloor \left(\frac{PL_{max} - PL}{PL_{max} - PL_{min}} \right) SP \right\rfloor \quad (3)$$

$$DL_{slot} = SP + \left\lfloor \left(\frac{PL - PL_{min}}{PL_{max} - PL_{min}} \right) (15 - SP) \right\rfloor \quad (4)$$

donde PLmax y PLmin se ajustan según las dimensiones de las celdas.

IV.- RESULTADOS

A partir de estas tres estrategias se han efectuado un conjunto de simulaciones en un escenario con únicamente dos células y siguiendo el modelado que se resume en la Tabla 1. Se asume sincronismo entre estaciones base y en cada simulación se distribuyen aleatoriamente los usuarios en ambas células y se evalúa la probabilidad de outage como medida del efecto de la interferencia sufrida por el sistema. Se entiende por outage el hecho de recibir las señales con un nivel de Eb/No inferior al mínimo necesario. Nótese que el control de potencia ideal toma en consideración el nivel de interferencia observado en la trama anterior para determinar las potencias necesarias en la siguiente trama, de manera que la posible aparición adicional de las interferencias anteriormente citadas puede originar las situaciones de outage para los distintos terminales. El nivel de carga considerado en el sistema origina un alto grado de ocupación de los slots, de manera que se plantea el escenario de mayor interés en el que la estrategia DCA juega un papel relevante.

Tabla 1 Parámetros del entorno de simulación

Estructura asimétrica	BS1: UL: Slots 0-3, DL: Slots 4-14. BS2: UL: Slots 0-7, DL: Slots 8-14
Carga del sistema	BS1: UL: 60, DL: 162. BS2: UL: 112, DL: 100
Ganancia de procesamiento	16
Control de potencia	Ideal. Mantiene Eb/No constante
Potencia máxima	BS: 43 dBm. MS: 33 dBm
Potencia de ruido térmico	-103 dBm
Radio de la célula	1 Km
Eb/No target	5.8 dB para UL, 8.3 dB para DL [3]
Condición de outage	Eb/No medida por debajo de Eb/No target
Propagación BS a BS	Espacio libre, con 12 dB de desacoplo adicionales por downtilts
Propagación MS a BS	$L=128.1 + 37.6 \log d(\text{km})$ con 10 dB slow fading
Propagación MS a MS	$L=128.1 + 37.6 \log d(\text{km})$ con 12 dB slow fading

Los resultados obtenidos se muestran en las Fig. 4 y Fig. 5, donde se presenta la variación de la probabilidad de outage en función de la distancia a la celda a la que cada móvil está conectado. Como puede observarse, mediante las estrategias puramente ordenada y aleatoria, para distancias grandes, la probabilidad de outage adquiere valores elevados debido a las interferencias MS a MS y BS a BS. Por el contrario, al emplearse las estrategias basadas en avance temporal y en potencias se consigue una importante reducción en la probabilidad de outage. Nótese como la reducción se consigue tanto en el enlace descendente, pues los móviles de la zona conflictiva se encontrarán a mayor distancia (originando menor interferencia MS a MS), como en el enlace ascendente, pues la base interferente debe destinar menos potencia en la zona conflictiva al ir dirigida a los terminales más próximos (originando menor interferencia BS a BS). En cualquier caso, en el enlace descendente, el efecto de la interferencia es en general menor al tratarse de problemas que pueden tener móviles específicos según su posición con respecto al resto de terminales, mientras que en el enlace ascendente la interferencia de la base vecina tiende a afectar a todos los terminales de forma similar.

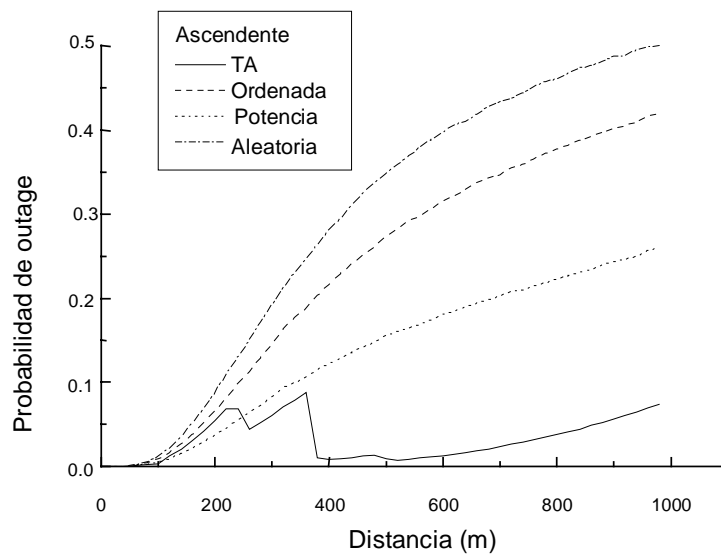


Fig. 4 Probabilidad de outage según la distancia para las diferentes estrategias empleadas en el enlace ascendente

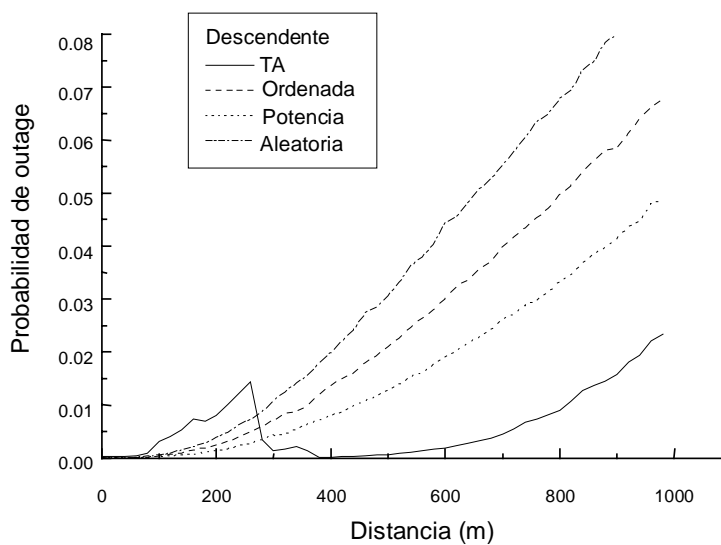


Fig. 5 Probabilidad de outage según la distancia para las diferentes estrategias empleadas en el enlace descendente

Obsérvese también como, con la estrategia basada en avance temporal, al existir una dependencia directa entre distancia y número de ranura, la probabilidad de outage presenta marcadas variaciones con la distancia, según las diferentes ranuras. Por el contrario, la estrategia basada en potencias presenta una variación continua. Por último, nótese el mejor comportamiento de la estrategia basada en avance temporal en relación a la estrategia basada en potencias, pues en esta última sólo se tiene en cuenta la propagación hacia la estación base útil, y puede darse el caso de terminales alejados de su base que presenten buenas condiciones de propagación no sólo con su base sino también con la vecina, de modo que podrían estar ubicados en la zona conflictiva mientras que, según el criterio de distancias estos terminales estarían fuera de dicha zona.

Finalmente, la Tabla 2 muestra la probabilidad de outage promediada sobre todos los slots y todas las distancias entre móviles y base. En estas condiciones se observa que una estrategia de asignación ordenada de slots proporciona una ligera ventaja frente a una asignación de usuarios a slots totalmente aleatoria. Por otra parte, una distribución por potencias reduce la probabilidad de outage en un factor aproximadamente igual a 2, ya que en realidad supone una estimación de la distancia radio pero no de la distancia geográfica. Por último, la distribución de acuerdo con TA, en tanto en cuanto se trata de una medida de distancia geográfica fiable, es la que proporciona mejores resultados, con un factor de reducción del outage alrededor de 10.

Tabla 2 Probabilidad de outage para las diferentes estrategias

	UL	DL
Aleatoria	0.29	0.034
Ordenada	0.23	0.025
Potencias	0.13	0.016
TA	0.031	0.0057

V.- CONCLUSIONES

A lo largo de esta comunicación se ha analizado un conjunto de estrategias de asignación de canales con objeto de minimizar las interferencias MS a MS y BS a BS propias de un entorno TDD-TD/CDMA con diferentes estructuras asimétricas en celdas vecinas. En particular se ha visto que estrategias que asignan las ranuras temporales mediante criterios de distancia o de pérdidas de propagación permiten una reducción significativa de dichas interferencias, lo que puede ser relevante de cara a mantener la flexibilidad de los entornos TDD-TD/CDMA para hacer frente a tráficos de tipo asimétrico como el característico de los servicios de Internet.

VI.- REFERENCIAS

- [1] 3G TS 25.221 v 3.5.0, "Physical channels and mapping of transport channels onto physical channels (TDD)", *3GPP Technical Specification Release 1999*, Diciembre, 2000.
- [2] H. Holma, G. J. R. Povey, A. Toskala, "Evaluation of Interference between Uplink and Downlink in UTRA/TDD", VTC in Fall Conference, Amsterdam, Países Bajos, Septiembre, 1999, pp. 2616-2620.
- [3] 3G TR 25.942 v 2.1.3. "RF System Scenarios", *3GPP Technical Report Release 1999*, Marzo, 2000.