

ANÁLISIS DE LAS PRESTACIONES DE LOS MÉTODOS DE CONTROL DE POTENCIA EN LAZO CERRADO EN EL MODO UTRA-FDD

José Ramón Gállego, María Canales, Antonio Valdovinos, Jesús de Mingo

Departamento de Ingeniería Electrónica y Comunicaciones
Universidad de Zaragoza

[jrgalleg, mcanales, toni, mingoj}@posta.unizar.es](mailto:{jrgalleg, mcanales, toni, mingoj}@posta.unizar.es)

ABSTRACT

Fast power control is perhaps the most important aspect in a WCDMA system like UTRA-FDD. In this paper, closed loop power control procedures in UTRA-FDD are studied. A physical layer simulator, which has been implemented in the C language from the standard of the UTRA-FDD mode [1]-[4], has been the tool to get the results included in this research. Simulations have been made for different mobile speeds (3, 30, 50 and 120Km/h) getting very different results. Power control gets worse quickly as the mobile speed grows. The implementation of an adaptive algorithm to predict the received power to try to improve the power control has been studied, but large improvements have not been obtained. Probability distribution of the power control error and influence of SIR estimation error has also been studied.

1. INTRODUCCIÓN

El control rápido de potencia es posiblemente el aspecto más importante en un sistema WCDMA como UTRA-FDD [5]-[7]. Sin él, un único móvil que llegue a la estación base con una potencia muy elevada puede bloquear la célula entera. Todos los terminales móviles transmiten al mismo tiempo y en las mismas frecuencias. Son separados en la estación base gracias a los códigos de ensanchamiento, pero estos códigos no son completamente ortogonales y existe una interferencia debida a la correlación cruzada entre los códigos. Cuanto mayor es la potencia recibida, mayor es la interferencia producida. Éste es el conocido efecto cerca-lejos de CDMA. La capacidad del sistema se maximiza cuando todos los móviles alcanzan la estación base con la misma potencia.

Los mecanismos de control de potencia en lazo abierto son demasiado imprecisos para conseguir esto. El motivo es que los desvanecimientos rápidos están incorrelados entre el enlace ascendente y el descendente, debido a la gran separación frecuencial de las bandas asociadas a cada enlace en UTRA-FDD.

A pesar de esto, el control de potencia en lazo abierto se usa en UTRA-FDD, pero sólo en los accesos al comienzo de una conexión. El control de potencia en lazo cerrado es la solución para este problema. Este control en lazo cerrado también se

emplea en el enlace descendente, aunque en este caso los objetivos son distintos: no existe el problema cerca-lejos, pero es recomendable proporcionar un margen de potencia adicional para los terminales móviles que se encuentran en los extremos de la célula, ya que ellos sufren importantes interferencias de células adyacentes. En este artículo se han llevado a cabo simulaciones del control de potencia en lazo cerrado para obtener resultados sobre la eficiencia de este método.

2. CONTROL DE POTENCIA EN LAZO CERRADO

El control de potencia en lazo cerrado sólo existe en los canales dedicados [4]. Se divide en lazo interno y lazo externo. El lazo interno tiene prácticamente la misma estructura en ambos enlaces.

El **lazo interno** del control de potencia del **enlace ascendente** ajusta la potencia transmitida por la estación base para mantener la relación señal a interferencia (SIR) recibida en el terminal móvil en un valor dado SIR objetivo, SIR_{target} . La estación base (o las estaciones si el móvil se encuentra en soft handover) debe estimar la relación señal a interferencia recibida SIR_{est} del DPCH recibido y entonces generar los comandos TPC y transmitirlos una vez por slot según la siguiente regla:

- Si $SIR_{est} > SIR_{target}$, el comando TPC a transmitir es "0"
- Si $SIR_{est} < SIR_{target}$, el comando TPC a transmitir es "1"

A partir de la recepción de uno o más comandos TPC en un slot, el terminal móvil genera un único comando TPC, TPC_{cmd} , para cada slot. Existen dos algoritmos para generar los comandos TPC. Capas superiores determinan cuál de estos dos algoritmos debe usarse.

El tamaño del paso de control puede tomar dos valores, 1dB y 2dB. También capas superiores determinan estos valores. Después de obtener el comando TPC_{cmd} usando uno de estos algoritmos, el terminal móvil ajusta la potencia transmitida en el DPCH del enlace ascendente con un paso Δ_{DPCH} (en dB) que viene dado por:

$$\Delta_{DPCH} = \Delta_{TPC} \times TPC_{cmd}$$

Este estudio se centra en cuando un único comando TPC es recibido en cada slot, es decir, cuando terminal móvil no se encuentra en soft handover. En este caso, los algoritmos son los siguientes:

Algoritmo 1

- Si el comando TPC recibido es igual a 0, entonces TPC_cmd para ese slot es -1
- Si el comando TPC recibido es igual a 1, entonces TPC_cmd para ese slot es 1

Algoritmo 2

Este algoritmo hace posible emular tamaños de paso menores que el nominal. El terminal móvil procesa los comandos TPC recibidos en ciclos de 5 slots. El valor de TPC_cmd se obtiene del modo siguiente:

- Para los 4 primeros slots de un ciclo, TPC_cmd = 0.
- Para el quinto slot de un ciclo, el terminal móvil emplea decisión hard en los 5 comandos TPC recibidos de este modo:
 - Si las 5 decisiones hard del ciclo son 1, entonces TPC_cmd = 1 en el quinto slot
 - Si las 5 decisiones hard del ciclo son 0, entonces TPC_cmd = -1 en el quinto slot
 - En cualquier otro caso, TPC_cmd = 0 en el quinto slot.

El **lazo interno** del control de potencia del **enlace descendente** también ajusta la potencia transmitida por el móvil para mantener la relación señal a interferencia (SIR) recibida en la estación base en un valor dado SIR objetivo, SIR_target. Los comandos TPC también se generan según la regla siguiente:

- Si SIR_est > SIR_target, el comando TPC a transmitir es “0”
- Si SIR_est < SIR_target, el comando TPC a transmitir es “1”

En enlace descendente, existen dos modos de control de potencia:

DPC_MODE = 0

El terminal móvil envía un comando TPC distinto en cada slot y el comando TPC generado se transmite en el primer campo TPC disponible en el DPCCH del enlace ascendente.

La estación base estima el comando TPC recibido TPC_est para ser 0 o 1 y actualiza la potencia cada slot.

DPC_MODE = 1

El terminal móvil repite el mismo comando TPC durante 3 slots y el nuevo comando TPC se transmite de modo que haya un nuevo comando al comienzo de la trama.

La estación base estima el comando TPC recibido TPC_est para ser 0 o 1 y actualiza la potencia cada 3 slots.

Después de estimar el k-ésimo comando TPC, la estación base ajusta la potencia actual P(k-1) (dB) a una nueva potencia P(k) (dB) según la siguiente ecuación:

$$P(k) = P(k-1) + P_{TPC}(k)$$

Donde P_TPC(k) es el k-ésimo ajuste (similar a Δ_DPCCH en el enlace ascendente) y se calcula según lo siguiente:

$$P_{TPC}(k) = \begin{cases} +\Delta_{TPC} & \text{si } TPC_{est}(k) = 1 \\ -\Delta_{TPC} & \text{si } TPC_{est}(k) = 0 \end{cases}, \text{ (dB).}$$

El tamaño del paso de control Δ_TPC puede tomar cuatro valores: 0.5, 1, 1.5 o 2 dB. Es obligatorio para todas las estaciones base soportar un Δ_TPC de 1 dB, mientras que el resto de valores son opcionales.

En el enlace descendente, el **lazo externo** del control de potencia ajusta la SIR objetivo establecida en la estación base según las necesidades, normalmente definidas como una cierta tasa de error en el bit (BER) o en el bloque (BLER). En el enlace ascendente existe otro procedimiento que no está especificado, sino abierto a la optimización de los fabricantes. En este estudio los mecanismos del lazo externo no se han incluido. La SIR objetivo ha sido un parámetro de simulación.

La figura 1 muestra el estudio de tiempos del control de potencia [4]. Una trama del DPCH del enlace ascendente está retrasada 1024 chips respecto a la trama correspondiente del DPCH del enlace descendente, medidos en la antena del terminal móvil. Debido a esto, puede observarse que en el enlace ascendente no hay retraso entre el slot cuya potencia es estimada y el slot donde se actualiza la potencia. Sin embargo, en el enlace descendente existe un slot de retraso.

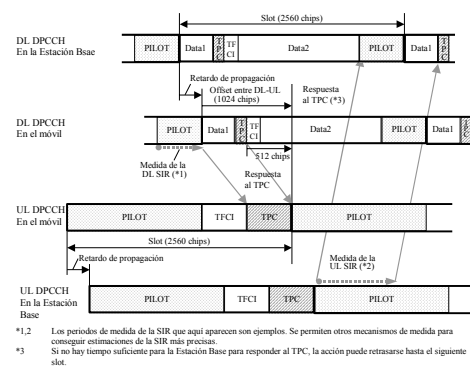


Figura 1. Estudio de tiempos del control de potencia

Para mejorar el control de potencia en lazo cerrado, se ha implementado un algoritmo adaptativo para predecir la potencia que se va a recibir en el siguiente slot. La idea principal es la siguiente: el control de potencia en lazo cerrado usa la potencia recibida en un slot para actualizar la potencia recibida en el siguiente slot. Si la potencia recibida en ese siguiente slot (sin actualizar) pudiera estimarse, la actualización podría ser más precisa. El algoritmo que se ha empleado es el LMS normalizado, cuyas expresiones son [9]:

$$\mathbf{w}_{n+1} = \mathbf{w}_n + \beta \frac{\mathbf{x}(n)}{\|\mathbf{x}(n)\|^2} e(n)$$

$$y(n) = \mathbf{w}_n \mathbf{x}(n)$$

$$e(n) = d(n) - y(n)$$

Donde $\mathbf{x}(n)$ es el vector de potencias de entrada, \mathbf{w}_n es el vector de pesos, $y(n)$ la potencia estimada, $d(n)$ la potencia real y β el parámetro de diseño del algoritmo.

3. SIMULACIÓN

Las simulaciones se han llevado a cabo en C, con un simulador de la capa física de UMTS que se ha implementado previamente. El simulador consta de una única estación base conectándose con un único terminal móvil. El objetivo de las simulaciones es medir el error del control de potencia en términos de desviación estándar. En la tabla 1 se incluyen los principales parámetros que se han empleado en las simulaciones.

Parameter	Value (for both links)	
Modelo de propagación	28,6 + 35log10(d) dB, d en metros	
Ganancia de la antena de BS	14 dB	
Ganancia de la antena de MS	0 dB	
Potencia de Ruido+Interferencia	-84 dBm	
Modelo de desvanecimientos rápidos	3, 30, 50 and 120Km/h	
	Relative Delay [ns]	Average Power [dB]
	0	0
	976	-10
Clase de potencia del terminal móvil	Clase 4: 21 dBm	
Tasa de transmisión	240 Kbps (SF _u =16 and SF _d =32)	
SIR _{target}	-8,6 dB	
Receptor RAKE	5 ramas retardadas un chip cada una	
Tramas transmitidas	400	
Codificación de canal y Entrelazado	No incluido	
Estimación del canal y Estimación de la SIR	No incluido	

Tabla 1. *Parámetros de simulación.*

La distancia entre el terminal móvil y la estación base se ha fijado a 200 metros. Se ha realizado un estudio en paralelo para diferentes velocidades de desplazamiento del terminal móvil. El análisis se ha realizado para los dos valores de paso de control que se permiten en los dos enlaces: 1dB y 2dB. Para 1dB, se ha simulado el algoritmo LMS normalizado. Los resultados obtenidos en el enlace ascendente y descendente se muestran en las figuras 2 y 3 respectivamente.

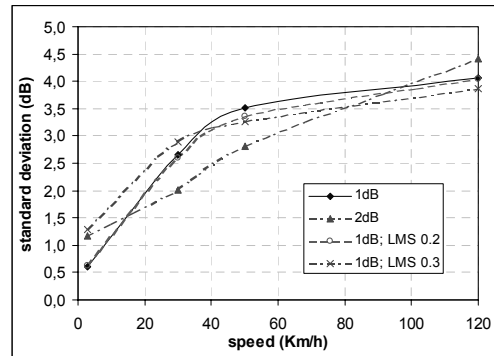


Figura 2. *Error del control de potencia frente a la velocidad en el enlace ascendente*

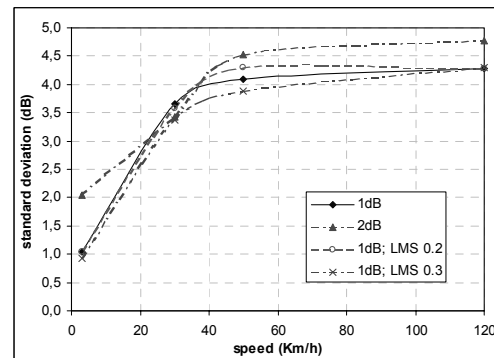


Figura 3. *Error del control de potencia frente a la velocidad en el enlace descendente*

Las figuras 2 y 3 son similares, pero el error es mayor en el enlace descendente, debido al retardo de un slot que hay en el control de potencia del enlace descendente. El control de potencia funciona correctamente a bajas velocidades, pero el error crece rápidamente conforme aumenta la velocidad de desplazamiento del móvil, ya que los desvanecimientos Rayleigh son más rápidos. El control de potencia no puede seguir las variaciones del canal a altas velocidades. Además, cuando la velocidad del móvil crece, hay más errores en la comunicación, por lo que hay más errores en la recepción de los comandos TPC, lo que también influye en un aumento del error en el control de potencia.

Con 1dB, el error es bastante reducido a 3Km/h. Si el paso de control aumenta hasta 2dB, el error crece. 1dB es suficiente para seguir las variaciones del canal a esa velocidad, y este incremento en el paso de control sólo introduce ruido adicional. Sin embargo, a medida que la velocidad del móvil crece, los resultados son mejores con 2dB, ya que variaciones mayores del canal pueden seguirse mejor con pasos mayores. Cuando las variaciones del canal son demasiado grandes, hay muchos errores en el control de potencia, y esto hace que el error sea de nuevo menor con 1dB. Esto ocurre a una velocidad menor en el enlace descendente debido al retardo en el control de potencia de dicho enlace.

En estas figuras no se incluye ningún resultado del Algoritmo 2 y del DPC_MODE=1. Estos algoritmos son

apropiados para condiciones cuasi-estáticas, en las que el canal de propagación varía muy lentamente, ya que su objetivo es emular pasos de control menores que el nominal. La desviación estándar del error en el enlace ascendente con el Algoritmo 2 y en el enlace descendente con DPC_MODE=1 (ambos con un paso nominal de 1dB) a 3Km/h son 1,20dB y 2,05dB en ese orden, ambos mayores que con el Algoritmo 1 y DPC_MODE=0. Lógicamente, los resultados serán peores a velocidades más altas.

Con respecto al uso de un algoritmo adaptativo para predecir la potencia recibida, no se ha encontrado una gran mejora. Dependiendo de la velocidad del móvil y del enlace, los resultados son mejores con $\beta=0,2$ o con $\beta=0,3$, pero la mejora con respecto a no usarlo no llega a ser superior a 0,3dB.

Existe otro problema en el control de potencia que no se ha tenido en cuenta en las anteriores simulaciones: el error en la estimación de la SIR. En este estudio no se ha implementado ningún algoritmo para dicha estimación, pero su efecto se ha simulado mediante un error aditivo gaussiano. Las simulaciones para valorar el efecto de este error se han realizado a distintas velocidades para ambos enlaces (figuras 4 y 5). A altas velocidades este error apenas tiene influencia, ya que los errores debidos a las grandes variaciones del canal de un slot al siguiente son mucho más importantes. Por otro lado, a bajas velocidades el este error es más significativo con respecto a las variaciones del canal, aunque sigue siendo bastante reducido.

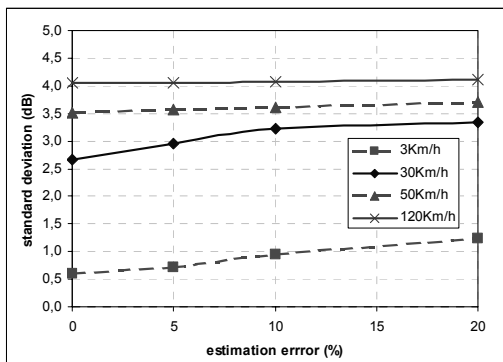


Figura 4. Error del control de potencia frente al error de estimación de la SIR en el enlace ascendente

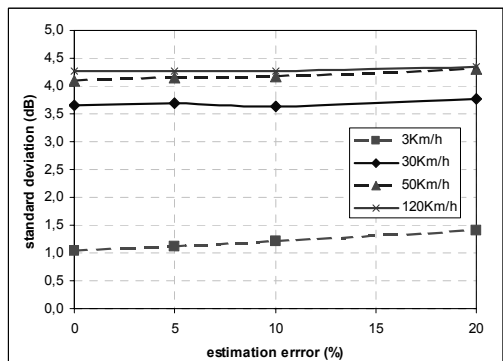


Figura 5. Error del control de potencia frente al error de estimación de la SIR en el enlace descendente

Otro aspecto importante ha sido demostrar que el error del control de potencia en lazo cerrado sigue una distribución lognormal, es decir, gaussiana en dBs. En la figura 6 se representan la distribución del error del control de potencia frente a una distribución lognormal de la misma desviación estándar. Esto puede permitir introducir este error en simulaciones de capas superiores sin tener que incluir los mecanismos de control de potencia.

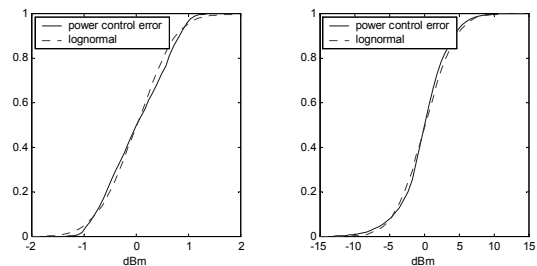


Figura 6. Error del control de potencia frente a la función de probabilidad lognormal. $\Delta_{TPC}=1dB$; Algoritmo 1. A la izquierda a 3Km/h, a la derecha a 50Km/h.

4. CONCLUSIONES

En este artículo se han analizado los métodos de control de potencia en lazo cerrado del modo UTRA-FDD. Dependiendo de las características del canal, diferentes algoritmos y tamaños del paso de control son los más adecuados para reducir el error del control de potencia. Estos métodos funcionan correctamente para bajas velocidades de desplazamiento del móvil. Sin embargo, el error crece cuando aumenta la velocidad del móvil, ya que el control de potencia no puede seguir las variaciones del canal a esas velocidades. Este incremento del error en el control de potencia en el enlace ascendente supondrá una reducción en la capacidad de la célula. Para poder calcular esta reducción, debería realizarse un estudio con varios terminales móviles accediendo a una estación base.

Aunque no se ha estudiado en detalle ningún algoritmo de estimación de la SIR, a partir de los resultados obtenidos se observa que un error en la estimación entorno a un 5 o 10% no parece tener una gran influencia sobre el control de potencia.

Con respecto al algoritmo LMS, se ha conseguido una cierta reducción del error, aunque no muy significativa. A bajas velocidades, el error en el control de potencia es muy pequeño y se debe fundamentalmente a que los pasos de control tienen un tamaño fijo, de modo que apenas puede reducirse. Por otro lado, a altas velocidades, debido a la escasa correlación en las características del canal para slots consecutivos, el algoritmo adaptativo no puede proporcionar una gran mejora. Su uso no parece una buena solución, ya que la pequeña mejora no compensa la complejidad del algoritmo así como el riesgo de divergencia.

5. AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido financiado por el Ministerio de Ciencia y Tecnología del Gobierno español y FEDER con el Proyecto TIC2001-2481.

6. REFERENCIAS

- [1] 3GPP TS 25.211 v3.5.0 (2000-12): Technical Specification Group Radio Access Network; Physical channels and mapping of transport channels onto physical channels (FDD).
- [2] 3GPP TS 25.212 v3.5.0 (2000-12): Technical Specification Group Radio Access Network; Multiplexing and channel coding (FDD).
- [3] 3GPP TS 25.213 v3.5.0 (2000-12): Technical Specification Group Radio Access Network; Spreading and modulation (FDD).
- [4] 3GPP TS 25.214 v3.5.0 (2000-12): Technical Specification Group Radio Access Network; Physical layer procedures (FDD).
- [5] L. Song, N. Mandayan, Z. Gajic. "Analysis of an Up/Down Power Control Algorithm for the CDMA Reverse Link Under Fading" IEEE J. Select. Areas Commun., vol. 19, pp 277-286, Feb 2001.
- [6] Wai-Man Tam, Francis C. M. Lau, "Analysis of Power Control and its Imperfections in CDMA Cellular Systems" IEEE Trans. Veh. Technol., vol 48, pp 1706-1717, Sep 1999.
- [7] D. M. Ionescu, A. Boariu, "Predictive Closed-Loop Power Control for Frequency-Division Duplex Wireless Systems" IEEE Commun. Lett., vol. 5, pp. 248-250, Jun 2001.
- [8] 3GPP TS 25.101 v3.5.0 (2000-12): Technical Specification Group Radio Access Network; UE Radio transmission and Reception (FDD).
- [9] Monson H. Hayes. "Statistical Digital Signal Processing and Modelling" Ed. Wiley, 1996.