

以滿意度為基礎的 LTE 上行鏈路排程

Wei-Ting So (索維廷)

國立中央大學

985402001@cc.ncu.edu.tw

Yu-Shun Liu (劉有順)

國立中央大學、萬能科技大學

rescue@vnu.edu.tw

Jiun-Yu Tu (杜俊育)

國立中央大學

guguracoona@gmail.com

Jehn-Ruey Jiang (江振瑞)

國立中央大學

jrjiang@csie.ncu.edu.tw

Jung-Shyr Wu (吳中實)

國立中央大學

jswu@ee.ncu.edu.tw

摘要

LTE 系統中上行鏈路的存取技術採用單載波分頻多工(SC-FDMA)機制,可以達成較低的峰均功率比(peak-to-average power ratio, PAPR),因而節省用戶上行鏈路傳輸所消耗的能量。在 SC-FDMA 機制中的,配置給單一用戶(subscriber)的資源區塊(resource blocks)必須是相連的(continuous),因此降低了資源區塊配置給用戶時的彈性。如何在 SC-FDMA 機制下即時配置資源區塊給用戶並且滿足用戶頻寬需求是重要的議題。本論文對於 LTE 上行鏈路資源區塊配置提出新的排程演算法,方法為先將所有資源區塊依用戶數量分成含相同數量資源區塊的群組,然後依照用戶資源需求量由高到低配置資源區塊,依照通道狀態,需求量高的用戶優先配置可以達到該用戶最大效能的資源區塊群組。配置完成後,檢查所有用戶是否有超出需求的多餘資源區塊可以配置給使用相鄰資源區塊的用戶以提高整體用戶的滿意度。由模擬結果顯示我們所提出的排程演算法相較於平均增強貪婪(MEG)演算及遞迴最大擴展(RME)演算法有較佳的效能。

關鍵詞：單載波分頻多工存取、資源區塊配置、LTE 系統、用戶滿意度

一、簡介

隨著無線通訊技術的發展及智慧型手持式裝置所帶來的方便,行動數據用戶已快速增加,用戶對於網路通訊的應用需求,已從傳統的 2G 語音服務,擴增到今日各式各樣的多媒體應用,如同網際網路般,全球行動寬頻的數據傳輸量呈現巨量的成長,以往的 3G、3.5G 技術顯然已漸漸不敷使用,為了追求更好的服務品質及更高的傳輸速率,第四代行動電話行動通訊標準(Fourth Generation

of Mobile Phone Mobile Communications Standards,縮寫為 4G),於焉誕生。

LTE 系統被國際電信聯盟接受成為 4G 行動網路的候選技術之一。LTE 採用正交分頻多工(Orthogonal Frequency Division Multiplexing Access, OFDMA)為下行鏈路多工存取(multiple access)機制,並在上行鏈路上採用單載波分頻多工技術以提供較佳的峰均功率效益,而使行動終端設備的功率放大器設計得以簡化,並擁有較高的電池電力使用效率。然而,單載波分頻多工技術的較佳峰均功率效益實來自於對每一行動終端用戶於頻譜上配置連續資源區塊的限制。此一限制令 LTE 的上行鏈路資源配置成為一個複雜的問題。

事實上,過去已有許多的文獻企圖針對 LTE 的上行鏈路資源配置問題提供良好的解決方案[5][6][10],但這些解決方案大體上俱僅針對諸如系統吞吐量或用戶公平性等指標進行討論。綜觀行動通訊網路的發展軸向,電信運營商在有限的行動資源上較有可能往分級滿足行動用戶滿意度的軸向發展,因此,本論文將就 LTE 上行鏈路資源的分配問題,以使用者滿意度的評估為切入點,重新探討 LTE 上行資源分配的問題,並以 MEG 演算法為基礎,提出 Best-first Satisfaction Improvement (BSI)演算法針對 LTE 上行鏈路在使用者滿意度的效益上進行效能提升。

本論文於文後的組織如下:第二節針對 LTE 上行資源分配的問題進行問題定義,第三節為本論文所提出之 BSI 演算法的說明,第四節以本論文所提出之 BSI 演算法與其他較經典的演算法進行效能比較,第五節則為結論。

二、問題定義

(一)單載波分頻多工

LTE 系統之所以能取得高速傳輸，使用 OFDMA 技術是原因之一。OFDMA 技術適用於高速無線寬頻通訊是無庸置疑的，它能夠有效消除多重路徑所帶來的影響，克服通道的頻率選擇性衰落，以獲得較高的頻譜利用率。但是，OFDMA 將高速傳輸的資料分配到多個低速通道上進行傳輸，故輸出信號便為資料符元在每個低速通道上時域的疊加，如此會導致傳輸功率的波幅變化較大。

SC-FDMA 系統的基地台端，在每個傳輸時間間隔內，對用戶發送數據時，都分配一個獨立的頻段，以確保不同的用戶獲得不同的頻段和時間，也有效的減小同頻干擾。因此 SC-FDMA 具有和單載波系統相似的低 PAPR 值[4]，同時又具備和多載波系統類似、能實現簡單與靈活調度資源的特性，所以成為了 LTE 上行鏈路的標準多址接入方案，其原理就是減少發射端的功率放大器的線性範圍，並避免使用昂貴的功率放大器，終究降低行動用戶終端的成本，同時提高用戶電池的使用時間和效率。

LTE 在時域(Time Domain)和頻域(Frequency Domain)上，指配給用戶到實體通道上的一個基本傳輸資源，被稱為資源區塊(Resource Block, RB)。一個資源區塊周期為 0.5ms(一個 time slot)，以及 180Khz(12 個子載波)的頻寬。分配給每個用戶最基本的單位資源即為一個資源區塊，而一個 RB 同一時間也只能被一個用戶所使用。如何將這些資源區塊做有效分配[5][6]，成為一個重要的課題。

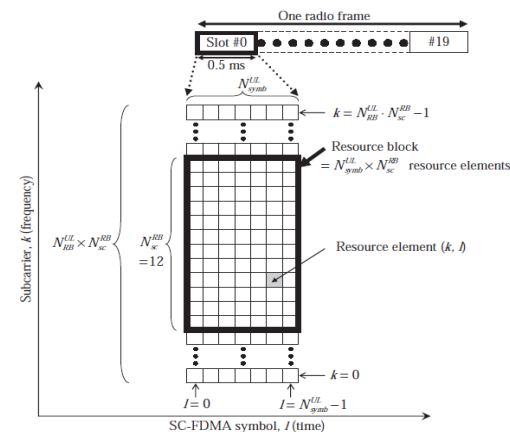


圖 2-1 LTE 的上行資源架構圖

來源: ETSI (European Telecommunications Standards Institute)

(二)用戶滿意度指標

用戶滿意度 (User Satisfaction Index,

USI) [7][8]是本文最重要的評估指標，此概念於文獻[9][10]中提出，其定義為用戶實際可達成的資料速率和用戶所要求的速率比值，滿意度標準最高上限為 100%，其計算方式如下：

$$USI_k = \Phi\left(\frac{V}{R}\right) \quad (1)$$

$$\Phi(x) = \begin{cases} 1, & x \geq 1 \\ x, & x < 1 \end{cases}$$

其中，V 為用戶 K 實際獲得的速率，而 R 為該用戶所要求的速率。然而在本文中，用戶滿意度的評估方法是針對所有瞬時時刻的傳輸情形去評估，而非指平均速率，舉例如下：

表 3-1 USI 計算範例

需求資料速率：UE ₁ =50 kbps、UE ₂ =50 kbps。			
	UE ₁	UE ₂	Avg. USI
T1	20(40%)	20(40%)	40%
T2	100(100%)	90(100%)	100%
Avg.	60 kbps	55 kbps	70%

需求資料速率：UE ₁ =50 kbps、UE ₂ =50 kbps。			
	UE ₁	UE ₂	Avg. USI
T1	75(100%)	45(90%)	95%
T2	45(90%)	75(100%)	95%
Avg.	60 kbps	60 kbps	95%

上例是兩種不同的資源分配結果，在相同的用戶速率要求下，用戶均擁有相同的平均速率(50kbps)，而其平均速率也都滿足各自用戶的需求條件(50kbps)，然而兩者之間的平均用戶滿意度差距卻甚大。因為在本文中，用戶滿意度所代表的真正意義是傳輸品質的優劣，若用戶傳輸情況時而優、時而劣，表示所獲得的資源是極不穩定的，用戶滿意度自然就會降低。

三、BSI 演算法

本文提出之 Best-first Satisfaction Improvement (BSI)演算法步驟流程如下：

(一)步驟 1：

先將每個 UE 對應到的 RB 除以 UE 之需求頻寬。

User requirements:
UE1: 40 kb/sec, UE2: 60 kb/sec, UE3: 80 kb/sec

	RB1	RB2	RB3	RB4	RB5	RB6
UE1	0.25	0.5	0.8	1	1.125	0.875
UE2	0.3333	0.1667	0.4167	0.7	0.7833	0.667
UE3	0.375	0.4375	0.1875	0.125	0.25	0.3125

(二)步驟 2：

將 RB 以連續且平均的方式組合成
Chunk，再將 USI 值最高之 Chunk 分配給
對應的 UE。

User requirements:
UE1: 40 kb/sec, UE2: 60 kb/sec, UE3: 80 kb/sec

	RB1	RB2	RB3	RB4	RB5	RB6
UE1	0.25	0.5	0.8	1	1.125	0.875
UE2	0.3333	0.1667	0.4167	0.7	0.7833	0.667
UE3	0.375	0.4375	0.1875	0.125	0.25	0.3125

(三)步驟 3：

比較每個相鄰 Chunk。

	RB1	RB2	RB3	RB4	RB5	RB6
UE1	0.25	0.5	0.8	1	1.125	0.875
UE2	0.3333	0.1667	0.4167	0.7	0.7833	0.667
UE3	0.375	0.4375	0.1875	0.125	0.25	0.3125

(四)步驟 4：

比較相鄰之 RB 互相搬移給對方之 USI 是
否上升且上升較高。

User requirements:
UE1: 40 kb/sec, UE2: 60 kb/sec, UE3: 80 kb/sec

	RB1	RB2	RB3	RB4	RB5	RB6
UE1	0.25	0.5	0.8	1	1.125	0.875
UE2	0.3333	0.1667	0.4167	0.7	0.7833	0.667
UE3	0.375	0.4375	0.1875	0.125	0.25	0.3125

	RB1	RB2	RB3	RB4	RB5	RB6
UE1	0.25	0.5	0.8	1	1.125	0.875
UE2	0.3333	0.1667	0.4167	0.7	0.7833	0.667
UE3	0.375	0.4375	0.1875	0.125	0.25	0.3125

	RB1	RB2	RB3	RB4	RB5	RB6
UE1	0.25	0.5	0.8	1	1.125	0.875
UE2	0.3333	0.1667	0.4167	0.7	0.7833	0.667
UE3	0.375	0.4375	0.1875	0.125	0.25	0.3125

(五)步驟 5：

將 RB 重新分配給 USI 值上升且最高者之
Chunk。

User requirements:
UE1: 40 kb/sec, UE2: 60 kb/sec, UE3: 80 kb/sec

	RB1	RB2	RB3	RB4	RB5	RB6
UE1	0.25	0.5	0.8	1	1.125	0.875
UE2	0.3333	0.1667	0.4167	0.7	0.7833	0.667
UE3	0.375	0.4375	0.1875	0.125	0.25	0.3125

	RB1	RB2	RB3	RB4	RB5	RB6
UE1	0.25	0.5	0.8	1	1.125	0.875
UE2	0.3333	0.1667	0.4167	0.7	0.7833	0.667
UE3	0.375	0.4375	0.1875	0.125	0.25	0.3125

	RB1	RB2	RB3	RB4	RB5	RB6
UE1	0.25	0.5	0.8	1	1.125	0.875
UE2	0.3333	0.1667	0.4167	0.7	0.7833	0.667
UE3	0.375	0.4375	0.1875	0.125	0.25	0.3125

(六)步驟 6：

重複步驟(三)至步驟(五)，直到所有可能都
檢查過一次。

四、模擬與討論

(一) 模擬參數

本論文所提演算法之模擬參數如表 4-1 所
示。

表 4-1：實驗所使用的系統參數設定

參數名稱	值域
Multi access scheme	SC-FDMA
Distance	50m~250m
Antenna scheme	SISO (1x1)
Number of users	5~25
Traffic Model	Full buffer
Packet Scheduler	RME, MEG, USB, BSI
System bandwidth	10MHz
Used subcarriers	600
Subcarrier spacing	15KHz
Subcarriers per RB	12
Number of RBs	50
Scheduling time	100ms

(二)數據分析

1.用戶具有相同速率需求之平均用戶滿意度

在考慮所有用戶上行的速率需求皆為
2Mbps 的情況下，我們針對四種演算法來做
比較，其結果如圖 4-1 所示，由於 BSI 採用
Chunk Base 的演算法，各個 UE 皆採用 USI
值最佳的 Chunk，且重新比較各個 Chunk 相鄰
的 RB 間相互搬移是否另 USI 值提升，資源分

配上相較於 USB[7]、RME[11]及 MEG[12]演算法，不會有消極或過度貪婪而使資源分配不均，因此有更加較佳的性能表現。

2.用戶具有不同速率需求組合之平均用戶滿意度（固定用戶 12 人時）

當系統用戶的總需求為相同的負載，但具有不同速率組合時，在固定用戶 12 人時，系統總需求皆為 30Mbps 時，觀察平均用戶滿意度的變化。速率需求組合如表 4-2。

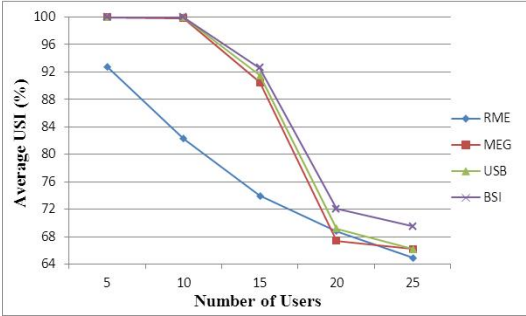


圖 4-1 相同速率需求之平均用戶滿意度

表 4-2 速率需求組合

Case 1	2.5M bps (100%)			
Case 2	2M bps	(50%)	+	3M bps (50%)
Case 3	1.5M bps	(50%)	+	3.5M bps (50%)
Case 4	1M bps	(50%)	+	4M bps (50%)
Case 5	0.5M bps	(50%)	+	4.5M bps (50%)

在考慮用戶上行的五種組合速率需求的情況下，我們針對四種演算法來做比較，其結果如圖 4-2 所示，BSI 演算法相較於 USB、RME 及 MEG 演算法，有更加較佳的性能表現。

3.用戶具有不同速率需求組合之平均用戶滿意度（固定用戶 18 人時）

當系統用戶的總需求為相同的負載，但具有不同速率組合時，在固定用戶 18 人時，系統總需求皆為 30Mbps 時，觀察平均用戶滿意度的變化。速率需求組合同表 4-2。

在考慮用戶上行的五種組合速率需求的情況下，我們針對四種演算法來比較 18 個 UE 時的狀況，其結果如圖 4-3 所示，BSI 演算法相較於其他演算法，有更加較佳的性能表現。

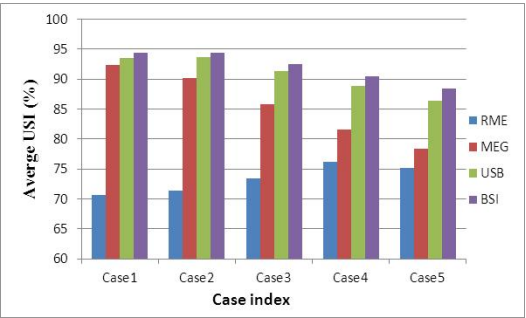


圖 4-2 不同速率需求組合之平均用戶滿意度
UE=12

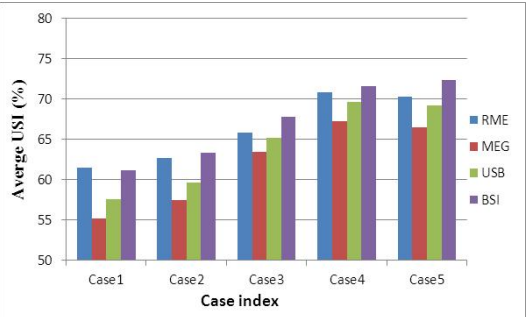


圖 4-3 不同速率需求組合之平均用戶滿意度
UE=18

五、結論

近年來，由於行動上網用戶的數量快速增加，傳輸流量也因此暴增，以往電信業者選擇以吃到飽的方案或總流量來計費的方式服務客戶，在經過本文的模擬結果分析可知，其往往造成資源分配成果不佳，資源過度浪費，也使得各用戶之間使用的品質差距甚大，傳輸狀況也不夠穩定可靠。

因此，本文在考慮所有用戶的資料速率需求後，而提出一個新的分配方法，在有限的頻譜資源下，可保證公平而穩定的分配資源給所有用戶，所以在達到一定程度的用戶滿意度下，也就可以容納更多的用戶使用，做到使用率最大化的效果。

參考文獻:

[1] Stefania Sesia, Issam Toufik and Matthew Baker, "LTE-the UMTS long term evolution from theory to practice", John Wiley & Sons, 2008

[2] Hyung G. Myung, David J. Goodman, "Single Carrier FDMA: A New Air Interface for

- Long Term Evolution ” , John Wiley & Sons, 2009
- [3] H. G. Myung, “Introduction to Single Carrier FDMA,” *15th European Signal Processing Conference*, pp. 2144-2148, Sep. 2007.
 - [4] M. M. Rana, Md. S. Islam and A. Z. Kouzani, “Peak to Average Power Ratio Analysis for LTE Systems,” *IEEE 2nd International Conference on Communication Software and Networks (ICCSN)*, pp. 516-520, Feb. 2010.
 - [5] I. C. Wong, O. Oteri and W. McCoy, “Optimal Resource Allocation in Uplink SC-FDMA Systems,” *IEEE Trans. on Wireless Communication*, Vol. 8, pp.2161-2165, May 2009.
 - [6] M. Wang, Z. Zhong and Q. Liu, “Resource Allocation for SC-FDMA in LTE Uplink,” *IEEE International Conference on Service Operations, Logistics and Informatics (SO-LI)*, pp. 601-604, July 2008.
 - [7] F. R. M. Lima, R. B. dos Santos, F. R. Cavalcanti and W. C. Freitas, “Radio Resource Allocation for Maximization of User Satisfaction,” *IEEE 9th Workshop on Signal Processing Advances in Wireless Communications*, pp. 565-569, July 2008.
 - [8] U. Toseef, M. A. Khan, C. Gorgy and A. Timm-Gielz, “User Satisfaction Based Resource Allocation in Future Heterogeneous Wireless Networks,” *9th Communication Networks and Service Research Conference (CNSR)*, pp. 217-223, May 2011.
 - [9] J.-S. Wu, S.-F. Yang, C.-M. Hsu, J.-Y. Tu and J.-R. Jiang, “User Satisfaction-Based Scheduling Algorithm for Uplink Transmission in Long Term Evolution System,” *IEEE 18th Conference on Parallel and Distributed Systems (ICPDS)*, pp. 930-935, Dec. 2012.
 - [10] P.-C. Zheng, S.-J. Jia, H.-T. Song and X.-L. Mo, “QoS Guaranteed Packet Scheduling Algorithm for LTE Uplink Systems,” *Journal of University of Electronic Sci. Tech. China*, Vol. 38, pp. 186-189, March 2009.
 - [11] L. Ruiz de Temino, G. Berardinelli, S. Frattasi and P. Mogensen, “Channel-aware Scheduling Algorithms for SC-FDMA in LTE Uplink,” *IEEE 19th International Symp. on Personal, Indoor and Mobile Radio Communication (PIMRC)*, pp. 1-6, Sep. 2008.
 - [12] O. Nwamadi, X. Zhu and A. K. Nandi, “Enhanced Greedy Algorithm Based Dynamic Subcarrier Allocation for Single Carrier FDMA Systems,” *IEEE Wireless Communication and Networking Conference (WCNC)*, pp. 1-6, Apr. 2009.