

LTE 上行鏈路中基於用戶滿意度之資源分配演算法研究

Yu-Shun Liu (劉有順)

萬能科技大學、國立中央大學
rescue@vnu.edu.tw

Jiun-Yu Tu (杜俊育)

國立中央大學
jiunyu.tu@gmail.com

Wei-Ting So (索維廷)

國立中央大學
985402001@cc.ncu.edu.tw

Jung-Shyr Wu (吳中實)

國立中央大學
jswu@ee.ncu.edu.tw

Jehn-Ruey Jiang (江振瑞)

國立中央大學
jrjiang@csie.ncu.edu.tw

摘要

3GPP 長期演進系統 (Long Term Evolution, LTE) 的上行鏈路採用單載波分頻多工技術 (Single Carrier – Frequency Division Multiple Access, SC-FDMA), 對上行鏈路的無線電資源進行多工存取的規劃與管理。從頻譜的角度來看, SC-FDMA 需遵從將各個終端用戶的可得資源, 配置於連續的子載波上, 以提供較低的峰值平均功率比 (Peak to Average Power Ratio, PAPR)。為滿足此一限制, LTE 系統的上行鏈路之無線電資源配置及其效率便成為一個重要且難解的問題。本論文係從使用者所受服務平均滿意度的評測為指標, 立基於知名的貪婪型演算法, RME (Recursive Maximum Expansion) 的基礎之上, 進行使用者平均滿意度的增進。實驗的結果顯示本論文針對 RME 演算法所提出的增強型設計, 俾能更有效的配置上行鏈路的無線電資源, 而令終端用戶在服務滿意度的指標上, 取得較佳的評測結果。

關鍵詞: 長期演進技術、單載波分頻多工、上行鏈路資源分配、RME

Abstract

3GPP Long Term Evolution (LTE) adopts Single Carrier – Frequency Division Multiple Access (SC-FDMA) technology for its uplink direction communications. The SC-FDMA provides better performance in Peak to Average Power Ratio (PAPR), but it introduces a limitation of allocating continuous subcarriers to each subscriber at the same time. The limitation results in difficulties to optimize the uplink resource allocation problem. In this paper, we solve the uplink resource allocation problem from the aspect of user satisfaction degree. Based on the Recursive Maximum Expansion (RME) algorithm, our proposed heuristic resource allocation algorithm does improve the performance. Simulation results show that the proposed algorithm introduces not only the system throughput but also the user satisfaction degree when comparing with original RME algorithm.

Keywords: Long Term Evolution, SC-FDMA, uplink

resource allocation, RME

1.前言

無線通訊技術跨世代的快速發展, 令智慧型手機及手持式行動裝置帶來革命性的變化, 而且行動數據用戶爆炸性的增加, 讓用戶對於網路通訊的應用需求, 從傳統第二代行動通訊(2G)的語音服務, 變化到今日各式各樣的多媒體應用與即時通訊。如同當初的網際網路一樣, 現今的全球行動寬頻的數據傳輸量呈現驚人且大量的成長, 以往的 3G、3.5G 技術所提供的傳輸率已漸漸無法滿足大眾用戶了, 為了追求更好的無線上網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), 便在各界引頸企盼下誕生。

然而, 有很多事情不是那樣的水到渠成, 事實上, 走到哪裡用到哪裡而且一路的飆速上網, 是需要很多技術的協同才能達到的, 而資源的分配成為 4G 成敗與否關鍵因素之一。眾家云云的排程方法皆有其好的一面, 以及因為達成特定目的所必須犧牲的妥協不一定是壞事, 但過度的資源浪費卻是拖垮系統效能的殺手, 本論文將提出更加令人滿意的排程演算法, 以提高對使用者服務滿意度的指標。

本論文於第二章, 將介紹 LTE 中的 SC-FDMA[1]的相關研究及技術概要, 第三章則介紹系統模擬環境與相關分配演算法流程, 並提出圖例解說與性能分析與討論, 於第四章進行模擬結果的驗證與數據分析探討, 第五章則為結論。

2.相關研究

LTE 一本通用行動電信系統(Universal Mobile Telecommunications System, UMTS)無線協定[2]的框架, 在第三代合作夥伴計畫(3rd Generation Partnership Project, 3GPP)的主導研發研發, 目的是使蜂巢式網路成為全 IP 網路, 增加其相容性及其擴充性。在 LTE 的目標中明顯強調需要更高的下載及上傳速率; 而低延遲對無線 IP 電話等新服務的重要性也不斷提高。為了獲得良好的系統輸出與使用者

滿意度，該技術還必須提供更大的頻譜效率、更大的容量並降低單位通訊成本，才能獲得更多用戶的青睞。

2.1 SC-FDMA 的使用背景

LTE 的下行和上行方向，包含了多樣性的調變方案、靈活的通道頻寬以及支援多天線的多輸入多輸出 (Multi-input Multi-output, MIMO) 架構。在下行鏈路方向採用正交多頻分工 (Orthogonal frequency-division multiplexing, OFDM) 調變技術；上行鏈路則採用從 OFDM 衍生出來的 SC-FDMA 技術。上行鏈路採用 SC-FDMA 的原因，在於它可延長手機電池的使用時間，提供比 OFDM 更高的功率放大效率。而 OFDM 採用具有 15Khz 間隔的 2,048 個子載波，這樣多的子載波可增強 OFDM 的多路徑 (Multi Path) 能力、強化其抗干擾的性能、提高頻譜效率並提升資料傳輸速率。

LTE 系統之所以能實現高速傳輸，使用 OFDMA 技術是原因之一。OFDM 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。然而他並不是沒有缺點的，他的缺陷之一是，OFDM 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。

通訊系統中，經常使用峰值平均功率比 (Peak to Average Power Ratio, PAPR) [3] 指標來測量功率的振幅，PAPR 定義為傳送所有資料符元的峰值功率和其均值功率的比值。

對於下行鏈路而言，PAPR 過高，表示必須選用線性範圍較大且昂貴的功率放大器，為了提高數據傳輸速率，在基地台端尚可接受採用，然而在行動用戶端，在系統的上行鏈路中，過高的 PAPR 值卻降低了行動用戶終端電池的續航力，付出的代價頗高，在行動用戶端就不適合使用 OFDM 技術了。然而，SC-FDMA 因為可以有效降低系統的 PAPR，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。

2.2 SC-FDMA 的鏈路模型 [4]

SC-FDMA 與 OFDM 系統具有相似的性能及整體複雜度，是一種經過離散傅立葉變換 (Discrete Fourier Transform, DFT) 擴展的 OFDMA，它將時域信號通過 DFT 轉換成為頻域信號後，再送進 OFDM 系統中。SC-FDMA 結合單載波調變與頻域均衡技術，基本原理和 OFDMA 相類似，二者主要的不同點是 SC-FDMA 比 OFDMA 多一個 DFT 轉換的步

驟，以解決 PAPR 值過高的問題。因此，SC-FDMA 系統又被稱為基於 DFT 預編碼或是 DFT 擴展的 OFDM 多用戶系統。

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，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。

SC-FDMA 和 OFDM 具有很多相似之處。包括，調變訊號和處理方式、傳輸頻寬、通道頻域均衡以及循環前綴 (Cyclic Prefix) 的用法。資料輸入首先為進行點數為 M 的 DFT 轉換，點數 M 的大小取決於 OFDM 調變的 IDFT 點數 N，在一般情況下要求 $M < N$ ，因為有多個用戶的數據需要同時進行子載波映射以傳輸資料。

2.3 LTE 上行鏈路的時頻域資源

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。一個 20MHz 的 LTE 系統，能夠提供 1200 個子載波，即 100 個資源區塊。LTE 的上行資源架構如圖 1 所示。

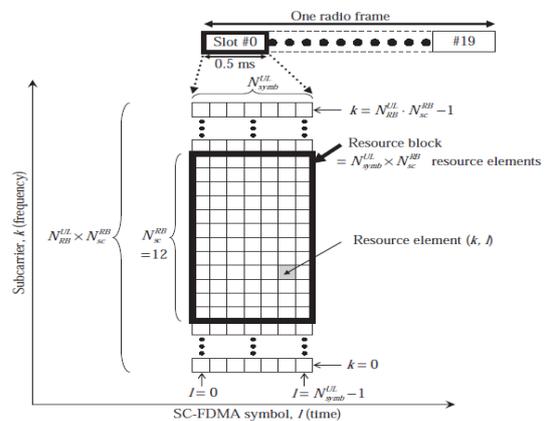


圖 1 LTE 的上行資源架構圖

來源：ETSI (European Telecommunications Standards Institute)

3. 系統架構與模擬方法

本論文假設為單一區域的 LTE Cell，基地台位於正中央，用戶隨機分布在其中，每個用戶擁有各自的數據速率需求，而無線通道亦會隨著時間和頻率變化，歷經各種程度的衰落 (Fading)，因而導致用

戶間的通道狀況會大不相同。

3.1 效能指標 (Performance Metric)

用戶滿意度(User Satisfaction Index, USI)[5]-[7]是本文最重要的評估指標，其定義為用戶(User Equipment, UE)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%，其計算方式如公式 1：

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

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

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。然而本文中的用戶滿意度是針對所有瞬時時刻的傳輸情形去評估，而非指平均速率。USI 計算範例如表 1 與表 2：

表 1 USI 計算範例 1

| 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% |

表 2 USI 計算範例 2

| 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。

3.2 演算法流程分析

本論文三種演算法流程分別說明如下：

3.2.1 RME (Recursive Maximum Expansion)

RME [8]可視為 SC-FDMA 版本上的貪婪演算

法(Greedy Algorithm)，可為系統帶來相對大的總傳輸量為其主要的特性，但對於個別用戶間的傳輸公平性，卻顯得相對疲弱，在較極端的情況下，會造成少數通道情況相對良好的用戶，佔據了系統大部分的資源，而其他通道情況不佳的用戶，卻會得到不成比例的資源分配。RME 演算法的執行流程如圖 2 所示。

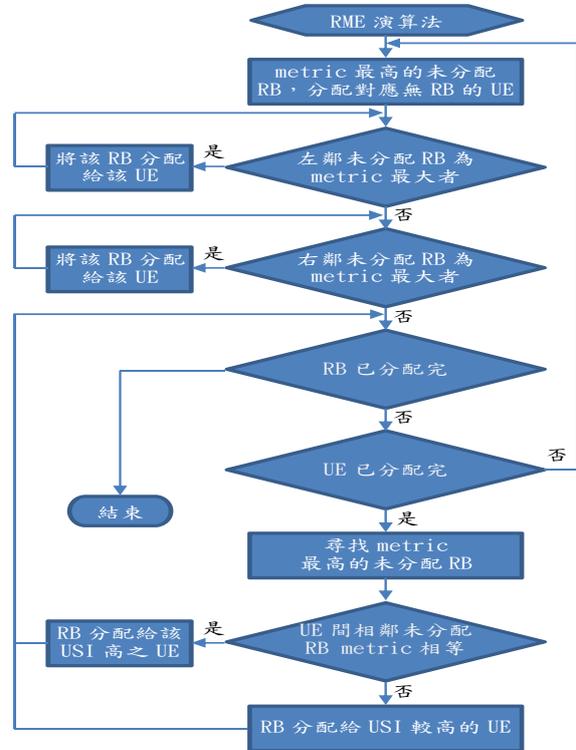


圖 2 RME 演算法的執行流程

3.2.2 RMEM (RME-base Min USI First)

本演算法最大的特色，在於設定 USI 的上限門檻值為 100%，使貪婪演算法於獲得 100% 的速率需求後，無法繼續獲得額外且浪費之資源。後續比較剩餘未分配 RB 的相鄰 UE，讓 USI 值較小之 UE 先分配 RB，直到所有未分配 RB 皆完成分配。RMEM 演算法的執行流程如圖 3 所示。

3.2.3 RMEF (RME-base Fuzzy)

這是本文所提出的另一個演算法，是基於 RME 演算法改良而來，可適用範圍更加寬廣，可針對不同用戶的速率需求改變，其特色為在 RME 架構下，另一個貪婪演算法 USI 門檻值 (Threshold) 上限，使各 UE 分配 RB 後之 USI 值低於 100%，不以 100% 為上限，再以 RMEM 演算法分配剩餘未分配 RB。

而當基地台因各所在地理位置、UE 使用習性等因素，可記錄下一套各基地台最佳 USI 值、UE 數量與 Threshold 之模糊圖形 (Fuzzy Pattern)，快速套用於 RB 分配，使之得到最佳之 USI 分配。

RMEF 演算法的執行流程如圖 4 所示。

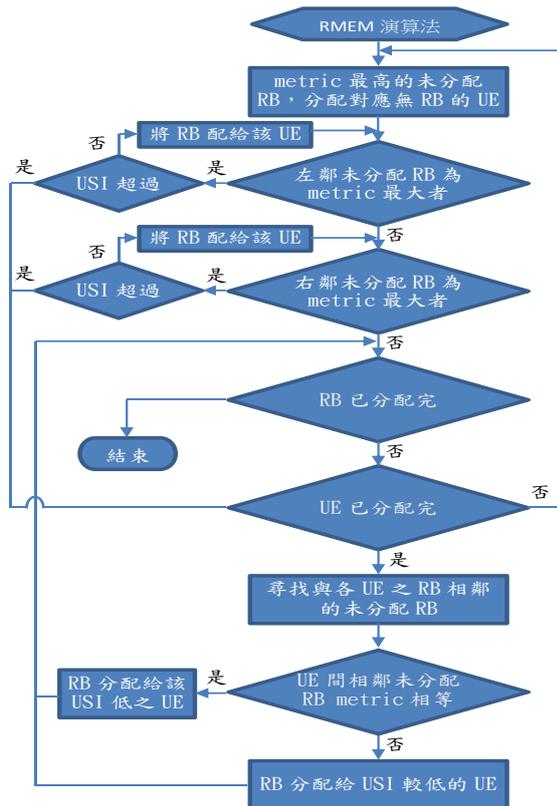


圖 3 RMEM 演算法的執行流程

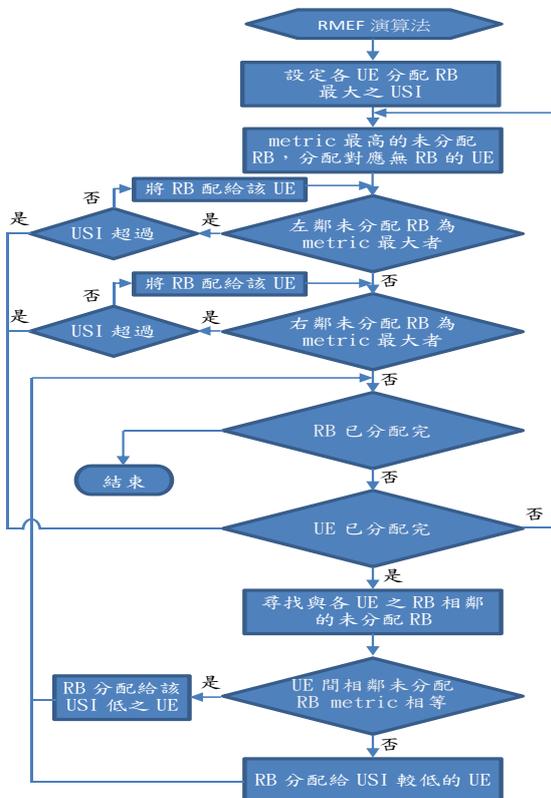


圖 4 RMEF 演算法的執行流程

4 模擬結果及討論

三種演算法在以下所設定的系統環境下，所做出的模擬數據結果加以分析與討論如下。

4.1 系統模擬參數設定

在 LTE 上行鏈路的系統下，各式模擬參數[9]，如表 3 所列。

表 3 模擬參數設定

| Parameter | Value |
|---------------------|-----------------|
| Multi access scheme | SC-FDMA |
| Distance | 50m~250m |
| Antenna scheme | SISO (1x1) |
| Number of users | 5 ~ 25 |
| Traffic Model | Full buffer |
| Packet Scheduler | RME, RMEM, RMEF |
| System bandwidth | 10MHz |
| Used subcarriers | 600 |
| Subcarrier spacing | 15KHz |
| Subcarriers per RB | 12 |
| Number of RBs | 50 |
| FFT size | 1024 |
| Scheduling time | 100ms |

4.2 數據討論

模擬數據區分為 3 部分，分別為：

1. 用戶具有相同速率需求之平均用戶滿意度(相同速率下用戶滿意度)。
2. 用戶等於 12 時且具有不同速率需求組合之平均用戶滿意度(UE=12 之下不同速率組合用戶滿意度)。
3. 用戶等於 18 時且具有不同速率需求組合之平均用戶滿意度(UE=18 之下不同速率組合用戶滿意度)。

針對模擬結果分別說明如下：

4.2.1 相同速率下用戶滿意度

在考慮所有用戶上行的速率需求皆為 2Mbps 的情況下，我們針對三種演算法來做比較，其結果如圖 5 所示，RMEM 及 RMEF 演算法由於降低了過度貪婪的程度，因此相較於 RME，有更加較佳的用戶滿意度性能指標。

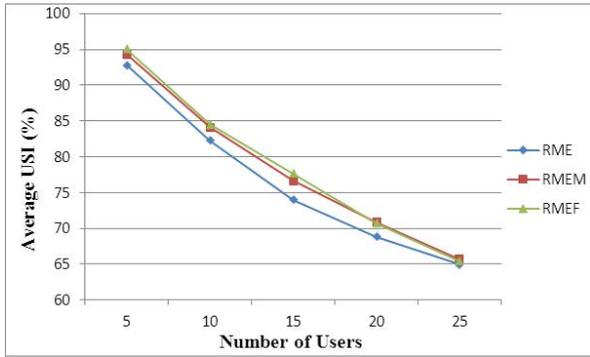


圖 5 相同速率下用戶滿意度模擬結果

4.2.2 UE=12 之下不同速率組合用戶滿意度

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。

表 4 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%) | |

由圖 6 可看出，當系統出現不同的速率需求時，RMEM 及 RMEF 演算法皆能做到依據各種不同速率變化來作分配，平均用戶滿意度較佳，表現較為穩定，而 RME 則敬陪末座。

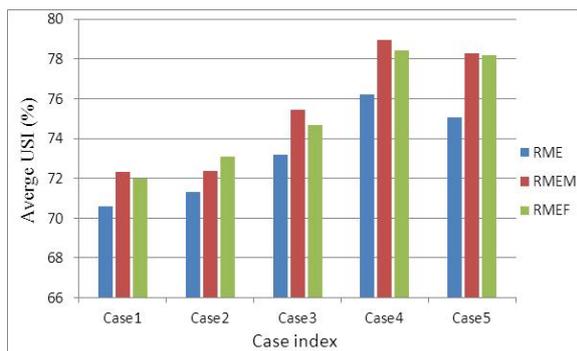


圖 6 UE=12 用戶滿意度模擬結果

4.2.3 UE=18 之下不同速率組合用戶滿意度

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。速率需求組合如表 4。

由圖 7 可看出，當系統出現不同的速率需求時，RMEM 及 RMEF 演算法皆能做到依據各種不同速率變化來作分配，平均用戶滿意度較佳，表現較為穩定，而 RME 則相對較差。

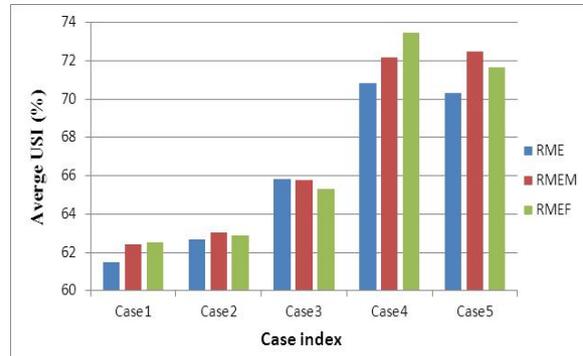


圖 7 UE=18 用戶滿意度模擬結果

分析了用戶需求相同的情況下，隨著人數的增加，其系統的總傳輸量、平均用戶滿意度的變化。也分析了在相同用戶，相同需求總負載下，但系統具有不同速率組合時，其平均用戶滿意度和公平性的變化。在這些例子中，我們都可以明顯觀察出，RMEM 及 RMEF 演算法具有較穩定，能適應各種速率需求變化的特性。RMEM 及 RMEF 平均用戶滿意度則高於 RME。是否成為良好的用戶滿意度演算法，關鍵應該在於系統能否依據使用者需求的條件不同，適當的給予資源，因為用戶的服務滿意度才是本文最關心的結果。RMEM 及 RMEF 演算法在經過上述比較驗證後，可成為一個不錯的解決方法。

五、結論

本文在考慮用戶的資料速率需求後，提出新的資源分配方法，在有限的系統資源下，可保證相對公平而穩定的分配資源給用戶，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，做到系統資源使用率最大的效果。

日前差別費率的方案，已經成為政府討論系統資源分配的議題之一，有相關電信業者在提供下一代行動寬頻網路服務方案時，不論是上行或是下行鏈路的資源分配方法，或許都可以本文的角度或概念為基礎出發，更進一步探討和研究其他更符合使用者滿意度的資源分配方法，相信在不斷付出驗證下，將會有更多更好的新演算法來造福這個世界。

參考文獻：

[1] H. G. Myung, and D. J. Goodman, "Single carrier fdma: a new air interface for long term evolution," John Wiley & Sons, 2009.

- [2] S. Sesia, I. Toufik, and M. Baker, “ LTE – the UMTS long term evolution from theory to practice,” John Wiley & Sons, 2008.
- [3] M. M. Rana, M. S. Islam, and A. Z. Kouzani, “Peak to average power ratio analysis for LTE systems,” on the Proc. of 2nd International Conference on Communication Software and Networks, 2010 (ICCSN 2010), pp.516-520.
- [4] J. Lim, H. G. Myung, K. Oh, and D. J. Goodman , “Channel dependent scheduling of uplink single carrier fdma systems ,” on the Proc. of IEEE Vehicular Technology Conference, 2006 (VTC Fall 2006), pp.1-5.
- [5] 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 Science and Technology of China, Vol. 38, No. 2, 2009, pp. 186-189.
- [6] F. R. M. Lima, R. B. dos Santos, F. R. Cavalcanti and W. C. Freitas, “Radio resource allocation for maximization of user satisfaction,” on the Proc. of IEEE 9th Workshop on Signal Processing Advances in Wireless Communications, 2008 (SPAWC 2008), pp. 565-569.
- [7] U. Toseef, M. A. Khan, C. Gorgy and A. Timm-Gielz, “User satisfaction based resource allocation in future heterogeneous wireless networks,” on the Proc. of 9th Communication Networks and Service Research Conference (CNSR 2011), pp. 217-223.
- [8] L.Á.M.R.D. Temiño, G. Berardinelli, S. Frattasi, and P.E. Mogensen , “Channel-aware scheduling algorithms for SC-FDMA in LTE uplink,” on the Proc. of IEEE 19th International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications, 2008 (PIMRC 2008), pp.1-6.
- [9] WINNER II interim channel models · IST-4-027756 WINNER II · D1.1.1 V1.1