

# 蜂巢式網路基地台節能睡眠排程之研究

陳政毅

虎尾科技大學碩士生

Email:10263126@gm.nfu.edu.tw

張朝陽

虎尾科技大學副教授

Email:jychang@nfu.edu.tw

## 摘要

無線通訊技術快速發展提供使用者無論何時何地都能享受網路服務，但隨之而來的能量耗損成了必須研究的重要問題。耗能最小化是綠色節能無線通訊的基本目標，其中最有效且最有潛力的方法之一是根據使用者(UE)的資訊來適應性開關基地台無線電收發器，本篇提出在 LTE 蜂巢式通訊系統動態睡眠排程策略，針對基地台(eNodeB)的天線具方向性，藉由探討不同睡眠模式下影響使用者的移動資訊，並分析電量消耗和服務品質(QoS)造成之影響。基於動態門檻值基地台睡眠演算法是利用收集動態 UE 的資訊與基地台天線環境來管理能量，讓天線進入睡眠模式控制其能源強度以提高能源使用效率。經過模擬與分析，本篇所提出的基於動態門檻值基地台睡眠演算法運用較佳的效能且維持更好的 QoS。

**關鍵詞：**LTE、蜂巢式通訊網路、基地台睡眠模式、動態睡眠排程策略、增強服務品質。

## Abstract

With the rapidly developing of wireless communication technical have been providing user services anytime. Indeed, energy consumptions become a problem must solve. Energy consumption minimization is a fundamental aim for green wireless communications. One of the most effective and promising way to save energy is to power off radio transceivers adaptively according to information of UE. In this paper, we explore the “sleep mode” scheduling strategy operations in LTE cellular communication networks. Focus on each eNodeB is equipped with sectorized antennas. With study the effect of UE's dynamic information, analyzing energy consumption and Quality of Service in different sleep mode. The eNodeB's antenna can control the energy in sleep mode to increase energy

efficiency by using dynamic UE information. The better method we explored is base on dynamic threshold base station sleep algorithm. Simulation results show that base on dynamic threshold base station sleep schedules it is outstanding to improve the energy efficacy, and maintain the QoS. **Keywords:** LTE, cellular network, base station sleep mode, dynamic sleep scheduling strategy, increase Quality of Service.

## 1. 前言

近年來，行動通訊用戶增加快速，為了服務大量的無線通訊使用者，國際電信標準制定組織第三代合作計畫(3GPP)提出高速且高傳輸量的行動通訊技術 Long Term Evolution (LTE)，提供行動通訊使用者更便利的通訊環境。由於全球暖化以及蜂巢式網路基礎設施的能量消耗，造成網路營運商的經濟負擔及社會責任與日俱增，綠色能源蜂巢式網路已成為熱門的研究議題。節能可透過採用再生能源或改善某些硬體設計來實現，然而替換及安裝新設備的採購成本往往令人望之卻步[16]。綠色能源一詞最初是為了減少不必要的溫室氣體排放(如：二氧化碳)，對於網路營運商來說，發展綠色蜂巢網路除了節省能量，另一目的是降低營運成本，獲得額外的商業利益，因此綠色蜂巢式網路主要目的為有效率的降低能量消耗及減少營運成本。本文在現有的網路協議以及通訊標準結構條件下模擬網路環境，利用較少的成本，且更容易測試和確實執行。然而高速、高傳輸量對通訊網路特別是對營運者的電力消耗是個嚴重的問題，基地台提供網路必須由營運者承擔大量電力消耗，正因如此，基地台能源效率成為網路營運業者需要著手研究改善的問題。

本文的目的是在 LTE 系統標準的環境下，設計基地台睡眠排程策略演算法，分析不同個數的動態使用者的使用行為在天線睡眠排程模式下所造成能量消耗和服務品質的影響，探討不同的睡眠排程策略是否有效節省能量並且不會造成不佳的服務品質，基地台是行動無線網路的最主要耗能單位之一，若能利用基地

台天線的睡眠模式來減少電力消耗，讓資源更有效的利用並分析導致電力浪費的各種因素絕對有其必要性，進而達到節能的目的。理論上能量成本使用越多可達到更好效能，減少能源消耗則會得到較低的效能，探討如何在能源與效能之間取得平衡有其必要性與重要性。綠色細胞網路其目的在於降低能源消耗。但若只考慮到降低能源的消耗，則會使效能降低，甚至無法接受，本文的目標是設計出在理想的能源使用下得到可接受的效能睡眠排程演算法，在耗能與效能上同時達到滿意且有貢獻的結果。

## 2. 相關研究

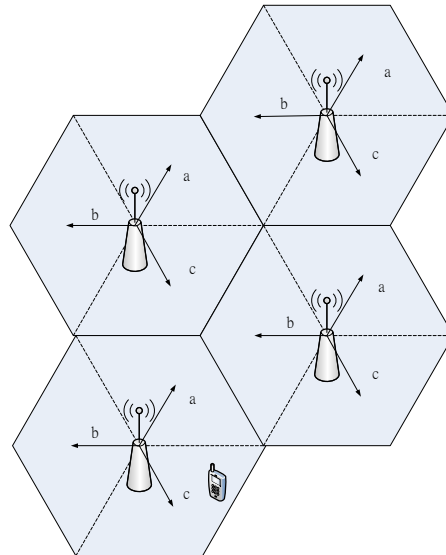
在蜂巢式網路的相關研究文獻中，針對不同節省能量消耗模型規劃陸續被提出，由於行動網路的設計，維護和運作需要大量的能量，能源效率是成為未來無線網路的關鍵問題[20]。所謂的綠色蜂巢網路，其設計和運行時能源消耗是有著嚴格的限制[21]。因此，對於用戶設備許多睡眠模式方案已經被提出，例如文獻[14]已經利用流量模式導出移動 WiMAX 設備的最佳睡眠模式參數。在文獻[3,17,19]也特別評估針對設置在室內的通用移動通訊系統(UMTS)不連續傳輸方案的性能，提出了智能喚醒機制休眠模式。然而，研究移動網路的能量消耗時，可以觀察到基地台是最消耗能量的節點(約 80% 的整體移動網路成本[12])，且基地台的能量消耗必須是任何綠色節能方案的核心。綠色節能工程的重要的一部分是致力於降低基地台的發射功率，找到最佳發送功率，以確保覆蓋率[4,7]。此方法非常重要是可以減少人接觸電磁輻射。大量的能量消耗即使是降低輸出功率，然而這些單獨的方案都不足以減少無線網路中的能量消耗。如果目標是顯著的減少網路能量消耗，睡眠模式是至關重要的方向。文獻[11,12]實現基地台的睡眠模式，啟動少數的基地台可以在低流量的情況下確保使用者受服務範圍所覆蓋。

在 LTE 環境基地台睡眠模式，關掉基地台以達到節能的結果，這是個複雜且代價很高的做法。文獻[2]，作者提出一種新穎的時間域睡眠模式設計於基地台，根據流量負載選擇最佳的數量開啟子 frame，改善 LTE 網路中的能量消耗。而文獻[15]提出了另一種節能演算法，作者的特點是不僅基於流量負載，也考慮相關連的用戶平均距離並進行睡眠 eNode，作者認為更大的平均距離會導致較大的傳輸電量。文

獻[7]中，作者考慮一個基於 LTE 的蜂巢式通訊網路由多個 cell 組成，eNodeB 提供 cell 的覆蓋範圍，每個 eNodeB 裝置三個收發器和具方向性的天線，作者評估了不同的睡眠排程效能，模擬結果顯示只有透過協調是睡眠調度才有顯著的提高能量效率。於文獻[6,20]中都提到雖然設計演算法是為了達到減少能量消耗，但確保較好的服務品質始終是必須堅持的目標。在 LTE 通訊環境中，從行動端到基地台的服務品質 QoS 調度程序設計了基於可適應性連結在通道品質指標(CQI)回饋[8]。

## 3. 研究方法

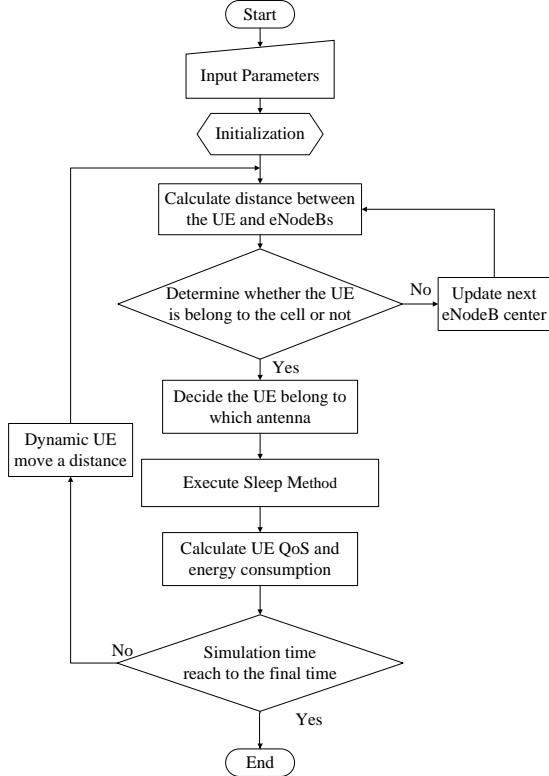
本文考慮基於 LTE 環境的蜂巢式網路 eNodeB 睡眠排程，提出了兩個睡眠排程演算法：天線依時間輪流睡眠演算法和基於動態門檻值天線睡眠演算法。這兩個創新的方法目的是：有效利用能量、調節天線開啟時間以及維持服務品質。環境中定義了模擬環境為 500x500m<sup>2</sup>，總共使用 30 個半徑為 60 公尺的蜂巢，假設每一單位時間下所有 UE 有可能因為移動而改變蜂巢位置，蜂巢範圍大小由基地台(eNodeB)覆蓋，每個 eNodeB 裝載三個收發器和具有方向性的天線。



圖一：蜂巢網路模擬系統示意圖

如圖一所示，每個 eNodeB 裝載三個具有方向性的天線，在同個蜂巢內的 UE 根據天線方向及範圍不同而屬於各自的天線(天線 a, 天線 b 和天線 c)提供服務，動態 UE 移動速度每小時 5 公里。能量計算方面，當天線啟動時消耗每秒一個單位能量，而在天線睡眠時每秒將會消耗 0.1 個單位能量。隨著使用

者的移動、地點的改變、周遭環境的變化，手機接收的訊號品質也不斷變動，而基地台為了讓傳輸更有效率，必須依據手機的訊號品質調整調變格式和編碼機制等，長程演進計畫(LTE)行動裝置量測到訊號雜訊比(SNR)的好壞，然後回報一個通道品質指標(CQI)給基地台。



圖二:演算法流程圖

首先，依使用者決定 UE 數量產生節點，建立初始化模擬環境，UE 各自隨機均勻分布於模擬環境中，並利用兩點距離公式計算出 UE 至最近的蜂巢中心位置的距離，判斷 UE 位置處於哪一個 eNodeB 服務範圍內，如果不屬於此 eNodeB 範圍則會進行資料更新，判斷此 UE 是否屬於下一個 eNodeB。假設坐標平面上兩點 UE(x1,y1)，eNodeB(x2,y2)，UE 與 eNodeB 的距離 D，公式如下：

$$D(UE, eNodeB) = \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2} \quad (1)$$

第二步，利用斜率公式判斷 UE 的位置是落在 eNodeB 的哪個區域，來決定服務此 UE 的是哪個天線。假設坐標平面上兩點 UE(x1,y1)，eNodeB(x2,y2)，公式如下：

$$m(UE, eNodeB) = \frac{\Delta y}{\Delta x} = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} \quad (2)$$

第三步，由於蜂巢與蜂巢之間會有相互重疊的區域，假設蜂巢的 a 天線進入睡眠狀態，如圖二，若是 UE 位置落於 eNodeB[1,0]的天線

a 內，會先判斷此 UE 到相鄰兩蜂巢 NodeB[0,0]和 eNodeB[0,1]中心的距離，若是此 UE 與其中一個蜂巢中心距離小於 60 則代表此 UE 能夠被鄰居蜂巢的天線所繼續服務。若是此 UE 與兩個蜂巢中心距離都小於 60，再進行比較兩個長度距離，選擇距離較短、比較近的蜂巢的天線服務。若是此 UE 與兩個鄰居距離都大於 60，則會進入連線中止狀態。而第四步，進入睡眠方法介紹：

### 3.1 天線依時間輪流睡眠

在天線依時間輪流睡眠演算法中，會計算均勻隨機分佈的 UE 秒所在的蜂巢，先判斷總模擬時間單位 Time(例如模擬" $\Delta$ " t=1800 秒)，並依一個 eNodeB 裝載三個天線數量 n(n=3)進行計算出睡眠時間：

$$\tau = \Delta t / n \quad (3)$$

$\tau$  定義為睡眠時間週期的時間單位，依序  $\tau 1$ (1~600 秒)睡眠天線 a、 $\tau 2$ (601~1200 秒)睡眠天線 b 且  $\tau 3$ (1201~1800 秒)睡眠天線 c，每次依時間讓三個天線輪流睡眠，因此同時間一個蜂巢內會有一個天線處於睡眠狀態，兩個天線處於啟動狀態，在天線依時間輪流睡眠演算法中，睡眠與判斷 UE 是否繼續被服務規則如下：

於  $\tau 1$  時間內，所有蜂巢 eNodeB[x,y]睡眠 a 天線，判斷 [x-1,y]、[x-1,y+1]兩天線。

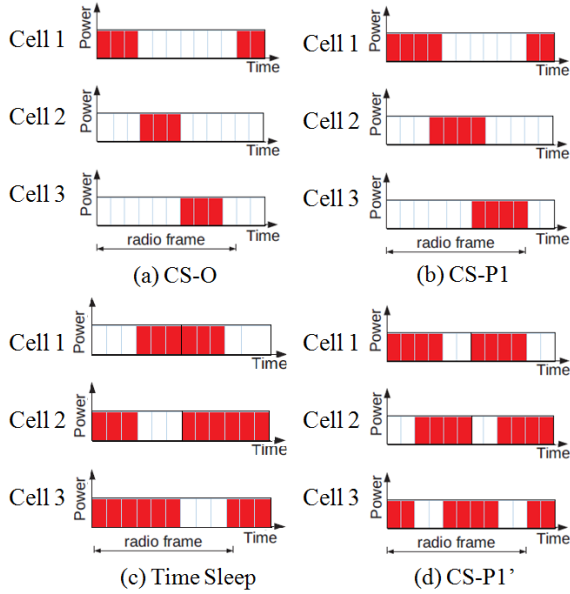
於  $\tau 2$  時間內，所有蜂巢 eNodeB[x,y]睡眠 b 天線，判斷 [x,y-1]、[x+1,y-1]兩天線。

於  $\tau 3$  時間內，所有蜂巢 eNodeB[x,y]睡眠 c 天線，判斷 [x+1,y]、[x,y+1]兩天線。

在[7]文獻中，該作者的基地台睡眠方法是利用睡眠排程開啟較少的天線以及比較多種睡眠排程模式(US、CS-O、CS-P1 和 CS-P2)。本文在第四節實驗結果有模擬文獻[7]的四種方法的 UE 犧牲分佈以及各睡眠排程之服務品質分佈。本文並設計出更具特色的 CS-P1'新穎方法，利用增加多一些時間使天線醒著，來確保更多的 UE 被服務到。

如圖三所示，各天線的排程中紅色代表天線 Switch ON，白色代表天線 Switch OFF，圖中(a) CS-O 以及(b) CS-P1 是文獻[7]的睡眠排程方法，方法(c)為我們的天線依時間輪流睡眠演算法，方法(d)是我們設計的 CS-P1'睡眠排程示意圖。文獻[7]的睡眠排程(a) CS-O 是同個時間只開啟一個天線，三個天線輪流開啟，並在第十個時間單位三個天線都關閉；(b) CS-P1 是在兩天線開關交替的時間兩個天線同時開啟；而我們設計的方法(c) Time Sleep 是天線依

時間輪流睡眠演算法，在同一時間只有一個天線睡眠，而另外兩個天線是開啟狀態；方法(d) CS-P1'是改良(b) CS-P1 方法，延長兩天線開關交替時 Switch ON 重疊的時間。我們設計的方法(c)和(d)是運用較多時間單位讓天線開啟，相較文獻[7]我們的方法利用調整基地台的天線睡眠排程，增加一些能量消耗來獲得更好的服務品質。



圖三：天線依時間睡眠排程

### 3.2 基於動態門檻值天線睡眠

在動態門檻值睡眠演算法中，依據均勻隨機分佈的 UE 每秒所在的蜂巢，若是蜂巢內 UE 小於門檻值(Threshold)，天線會保持睡眠模式。若是蜂巢內 UE 超過門檻值，則此 eNodeB 之天線將會處於喚醒狀態，在模擬數個門檻值實驗結果後分析得出動態門檻值規則：

- If  $UE \leq 30$ , Threshold = 1
- If  $30 < UE \leq 70$ , Threshold = 2
- If  $70 < UE \leq 100$ , Threshold = 3

表 1 各 UE 得到的門檻值

UE	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
門檻值	1	1	1	2	2	2	2	3	3	3

最後，判斷是否達到最終模擬時間，完成一次模擬，本文各實驗共模擬 50 次，每次 900 秒。相較於其他方法，動態門檻值睡眠演算法減少的相當程度的電量且得到的服務品質也是最佳，因為在 UE 少的環境中只會開啟區域內有 UE 的天線，大多數的天線都低於門檻值，故持續保持睡眠狀態。如表 2 為基於動態門檻值天線睡眠虛擬碼。

表 2 基於動態門檻值天線睡眠虛擬碼

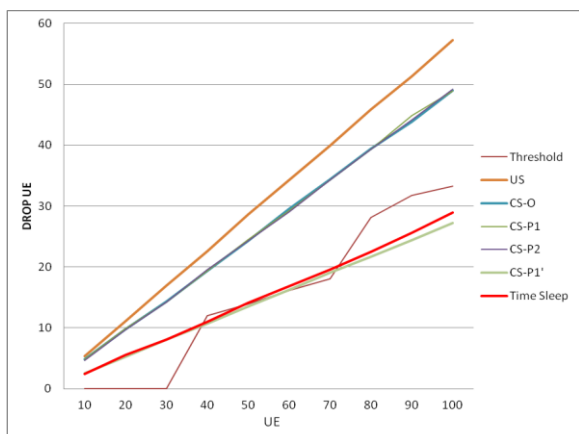
```

1. Input: number_of_user_equipment,
2. number_of_threshold,
3. time_of_simulation_count
4. Initialization: sim_round = 1;
5. //sim_round = 1 to time
6. of simulation_cound
7. While sim_round <=
6. time_of_simulation_count
7. For A = 1 to number_of_user_equipment
8. distance [A] ← dis(location [d],
9. eNodeB)
10. End For
11. Foreach A In distance [] // A = 1 to
12. number_of_user_equipment
13. If (distance [A] is minimal)
14.     If (T >= threshold)
15.         antenna_awake++ // Calculate
16. QoS and awake energy
17.     Else
18.         antenna_sleep ++ // Calculate
19. Drop UE and sleep energy
20.     End If
21. End If
22. End Foreach
24. End While
25. Do UE_move
26. Output: link_list

```

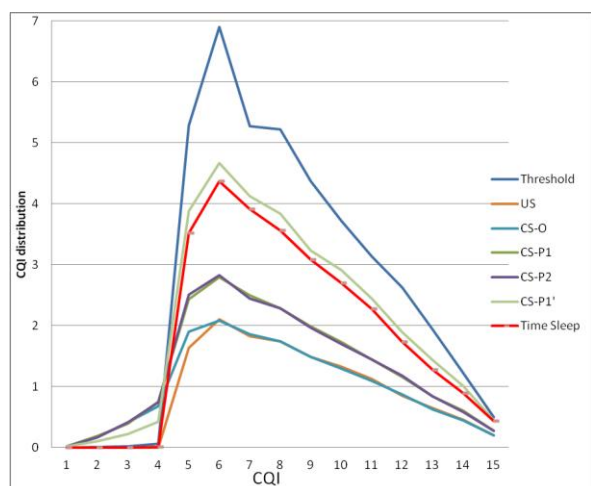
### 4. 實驗結果

本文主要目的除了提出睡眠模式排程演算法，更重要的是在睡眠模式中研究如何有效減少能量消耗並且維持服務品質，因為在實際的通訊環境中不方便讓營運商模擬真正的關閉基地台天線，因此研究計畫希望藉由建立模擬系統以客觀的角度觀察天線進入睡眠狀態時的服務品質。以 UE 與基地台的距離可得出通道品質指標，當訊號品質很差為例，手機會回報一個小的 CQI 引數(Index)，當基地台收到一個小的 CQI Index 時，便知道手機的通道狀況不佳，透過 CQI 的測量可以推測服務品質的高低。在能量計算是定義每個天線處於開啟狀態會消耗每秒 1 個單位，若是處於睡眠狀態會消耗 0.1 個單位。



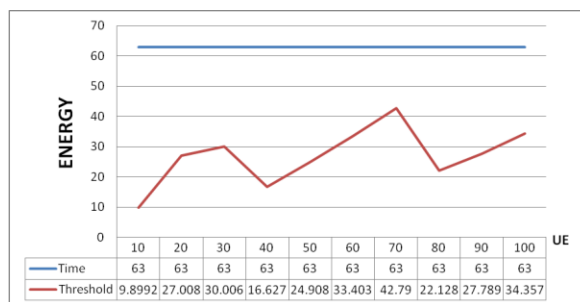
圖四: 不同睡眠模式下犧牲的 UE 分佈

如圖四模擬結果所示，依時間睡眠的方法和動態門檻值方法所犧牲的 UE 皆少於文獻[7]的四個方法 US、CS-O、CS-P1 和 CS-P2，而動態門檻值方法所犧牲的 UE 又比依時間睡眠方法來的好。



圖五: 不同睡眠模式下 CQI 分佈

圖五是在 UE 總數為 10~100 共十次的模擬，經過每次 50 回合，每回合 900 秒模擬後，平均各睡眠模式下的 CQI 分佈，可以明顯看出動態門檻值方法所得到的 UE 個數相較之下得到較多的個數，也就是相較之下得到比較好的服務，且 CS-P1' 得到的 CQI 數量僅次於動態門檻值方法，我們設計的這兩種演算法比其他方法更具優勢。



圖六: 依時間睡眠與動態門檻值的能量消耗

如圖六所示，動態門檻值睡眠的另一個優勢是消耗能量明顯比依時間睡眠方法少，動態門檻值睡眠方法是讓蜂巢內數量到達門檻值才會啟動天線，提供服務，若是範圍內使用者低於門檻值則持續保持睡眠狀態。而依時間睡眠方法是部分天線保持睡眠，部分天線持續保持開啟，所以能量的需求仍然非常大量。

## 5. 結論

本篇論文在蜂巢式網路環境針對基地台的睡眠排程方法改善效能，在減少能量消耗的目的下也得到可以接受的服務品質。讓基地台進入睡眠模式，減少溫室氣體的產生，這也是綠色蜂巢網路的重要目標。

模擬結果顯示我們使用動態門檻值睡眠演算法的規則在睡眠排程方法節省了非常多的基地台能量消耗及維持最佳的服務品質，改良文獻[7]的方法設計出的 CS-P1' 方法有效的管理天線睡眠排程，得到很好的服務品質。動態門檻值睡眠演算法隨著 UE 數目增加調整動態睡眠模式，維持了大多數使用者的服務權益，也讓基地台天線於使用者稀少或甚至沒有使用者的空間處於睡眠狀態。未來研究可運用此睡眠模擬系統於新的通訊系統上，討論更多樣化的天線和更多變化的使用者行為，甚至更具創意的睡眠模式。

為了滿足人們對通訊的需求，增加投資成本往往是捷徑，然而透過基地台睡眠模式建立綠色蜂巢式網路，有效運用能量來確保使用者的服務品質依舊是非常重要的且值得研究的議題。

## 参考文献

- [1] A. Bousia, A. Antonopoulos, L. Alonso, and C. Verikoukis, "'Green' distance-aware base station sleeping algorithm in LTE-Advanced," *IEEE International Conference on Communications*, pp. 1347-1351, 2012.
- [2] A. Arshad, E. E. Salah, "Design and performance evaluation of site sleep mode in LTE mobile networks," *International Teletraffic Congress*, pp. 1-6, 2014.
- [3] C. Jen-Jee, C. Hung-Hsin, T. Yu-Chee, "An energy-efficient sleep scheduling with qos consideration in 3gpp lte-advanced networks for internet of things," *IEEE Journal on Emerging and Selected Topics in Circuits and Systems*, Vol. 3, No. 1, pp. 13-22, 2013.
- [4] Chin Li, Jen-Yi Pan, and Ming-Hung Hsu, "Reception cycle-aware resource block allocation for real time video traffic in 3GPP LTE system," *Asia-Pacific Network Operations and Management Symposium*, pp. 1-6, 2013.
- [5] F. Cucchietti, G. Griffa, and L. Radice, "Eco-efficiency indicator: an operators energy performance indicator," *International Telecommunications Energy Conference*, pp. 743-748, 2007.
- [6] H. Holma and A. Toskala, *LTE for UMTS: Evolution to LTE-Advanced*, 2<sup>nd</sup> ed., Wiley, 2011.
- [7] K. Abdallah, I. Cerutti, and P. Castoldi, "Energy-efficient coordinated sleep of LTE cells," *IEEE International Conference on Communications*, pp. 5238-5242, 2012.
- [8] L. Correia, "Challenges and enabling technologies for energy aware mobile radio networks," *IEEE Communications Magazine*, Vol. 48, No. 11, pp. 66-72, 2010.
- [9] M.A. Marsan, L. Chiaraviglio, D. Ciullo, and M. Meo, "Optimal energy savings in cellular access networks," *IEEE International Conference on Communications Workshops*, pp. 1-5, 2009.
- [10] Martin L. Puterman, *Markov Decision Processes: Discrete Stochastic Dynamic Programming*, 1<sup>st</sup> ed., Wiley-Interscience, 1994.
- [11] N. Enderle, X. Lagrange, "User satisfaction models and scheduling algorithms for packet-switched services in UMTS," *IEEE Semiannual Vehicular Technology Conference*, Vol.3, pp. 1704-1709, 2003.
- [12] P. Frenger, P. Moberg, J. Malmudin, Y. Jading, and I. Godor, "Reducing energy consumption in LTE with cell DTX," *IEEE 7<sup>th</sup> Vehicular Technology Conference*, pp. 1-5, 2011.
- [13] P. Pace, "Green antenna switching to improve energy saving in LTE networks," *IEEE Online Conference on Green Communications*, pp. 92-97, 2012.
- [14] P. Auer, N. Cesa-Bianchi, and P. Fischer, "Finite-time analysis of the multiarmed bandit problem," *Journal of Machine Learn*, Vol.47, pp. 235-256, 2002.
- [15] R. Combes, S. E. Elayoubi, A. Ali, L. Saker, and T. Chahed, "Optimal online control for sleep mode in green base stations," *Elsevier Journal of Computer Networks*, Vol.78, pp. 140-151, 2015.
- [16] R. Wang, J. Thompson, and H. Haas, "A novel time-domain sleep mode design for energy-efficient LTE," *International Symposium on Communications, Control and Signal Processing*, pp. 1-4, 2010.
- [17] S-E. Elayoubi, L. Saker, and T. Chahed, "Optimal control for base station sleep mode in energy efficient radio access networks," *IEEE International Conference on Computer Communications*, pp. 106-110, 2011.
- [18] S-E. Elayoubi, T. Chahed, and G. Hebuterne, "Mobility-aware admission control schemes in the downlink of third generation wireless systems," *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, pp. 245-259, 2007.
- [19] T. Bonald, A. Proutiere, "Wireless downlink data channels: user performance and cell dimensioning," *Annual International Conference on Mobile Computing and Networking*, pp. 339-352, 2003.
- [20] W. Jingjin, Z. Yujing, M.Zukerman, and E.Yung, K.N. "Energy-efficient base-stations sleep-mode techniques in green cellular networks: A survey," *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, Vol.17, pp. 803-826, 2015.
- [21] X. Guo, O. Hernandez-Lerma, *Continuous-time Markov decision processes: theory and applications*, Vol.62, Springer, 2009.