

適用於行動 WiMAX 環境中可應變式服務品質保證之省電機制

An Adaptive QoS-Guaranteed Power Saving Mechanism for Mobile WiMAX

Yen-Wen Lin (林熾雯) Jhih-Siang Wang (王治翔)
Department of Computer and Information Science, *Department of Computer and Information Science,*
National Taichung University *National Taichung University*
ywlin@ms3.ntcu.edu.tw bsc096102@ms3.ntcu.edu.tw

Wei-Ting Syu (許惟婷) Fang-Yu Syu (許芳瑜) Jheng Ci Liang (梁政棋)
Department of Computer and Information Science, *Department of Computer and Information Science,* *Department of Computer and Information Science,*
National Taichung University *National Taichung University* *National Taichung University*
bsc096105@ms3.ntcu.edu.tw bsc097105@ms3.ntcu.edu.tw bsc097109@ms3.ntcu.edu.tw

摘要

近年來 WiMAX 的迅速發展，不僅協助電信業者解決網路佈建時所面臨的最後一哩問題；同時，也給予使用者在進行網路存取服務時可獲得更多的行動性支援，為使行動服務得以實現，行動設備節能的需求更顯關鍵。在省電機制的運作過程中，增加行動設備的休眠時間可大幅減少電力消耗；然而，卻也同時增加資料封包因等候行動設備結束休眠週期所造成的封包回應延遲。本論文提出一具自適應力之可應變式服務品質保證省電機制，在面對變動的網路環境時，可依據當前網路流量的情況對省電機制當前的參數設定進行調整，不僅達成省電的目的，同時也降低因等候行動設備結束休眠週期所造成的封包回應延遲。經模擬實驗驗證，本論文所提出的可應變之服務品質保證省電機制，不僅有效縮減電力消耗，改善行動設備的可用性；同時，亦可降低因等候行動設備結束休眠週期所造成的封包回應延遲，讓使用者進行網路存取服務時可獲得更好的連線品質。

關鍵詞：全球微波互通存取、省電機制、自適性、服務品質、封包回應延遲

Abstract

WiMAX is used to solve “last mile” in network deployment. Due to the limited power of mobile devices, power saving becomes a key issue for mobile applications. Though plenty of efforts have been proposed to save power, the problems are partially solved. In this paper, an adaptive power saving mechanism with low response delay is proposed. In our design, parameters related to power management are dynamically set according to current network traffic. As shown in the simulation results, the power efficiency and

response delay of the proposed method are better than those of the well-known power saving mechanisms.

Keyword: WiMAX, Power Saving Mechanism, Adaptability, QoS, Packet Response Delay

1 簡介

隨著無線通訊技術的蓬勃演進，無線存取網路已成為基礎通訊架構中不可或缺的部份。在無線存取網路的環境中，使用者可藉由具備通訊能力的行動設備，如行動電話、筆記型電腦等，獲得隨時隨地存取網路服務的能力。然而，行動設備的使用時間，受制於電池所供應之有限的電力。為了改善此一問題，根據 [1-2] 的研究內容指出，利用有效的電力管理方法，可節省行動設備運作時所使用的資源，降低單位時間的電力消耗，同時也能延長行動設備的使用時間。於是，省電機制 (Power Saving) 的運作與管理便成為現今無線通訊技術中重要的議題之一。

近幾年，由產業界組成的聯盟所推行之無線通訊技術 WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access) [3-4]，其實體層 (PHY: Physical Layer) 與媒體存取控制層 (MAC: Medium Access Control Layer) 的運作內容中結

合了數種先進的技術，包括正交分頻多工 (OFDM: Orthogonal Frequency Division Multiplexing)、多輸入多輸出天線系統 (MIMO: Multiple-Input Multiple-Output)、混合式自動重送請求 (Hybrid Automatic Repeat reQuest)等。

電信網路業者而言，WiMAX 可用來解決在佈建網路時所遭遇之最後一哩 (Last Mile)問題，取代傳統網路佈建方式，節省網路佈建與維護的成本；對使用者而言，以目前 WiMAX 發展的階段，可支援下行鏈路 (Downlink)傳輸速率與上行鏈路 (Uplink)傳輸速率達 70Mbit/s，最遠的資料傳輸距離達 100 公里，並支援在高速移動中資料傳輸的能力。在其修訂的標準規格書中，新增的功能給予使用者更多的行動性支援，其中，也包括了電力管理的部份。

根據新修訂的 IEEE Std 802.16e 標準規格書 [4]中提到，WiMAX 所提出之節能的概念，是希望當行動型設備在沒有進行資料傳輸的情況下，關閉部份非必要性的裝置，從一般正常傳輸模式切換為休眠模式 (Sleep Mode)以進入節能的狀態，藉此減少行動型設備的電力耗費 (Power Consumption)，同時也減低與基地台通訊時所佔用的資源。如何在電力管理 (Power Management)與封包回應延遲時間 (Packet Response Delay)兩項互相衝突的問題之間取得平衡，在 WiMAX 省電機制的運作上是值得探究的議題。

1.1 研究動機

根據 IEEE Std 802.16e 省電機制相關研究的內容指出，在 IEEE Std 802.16e 標準規格文件中 [4]支援了三種不同等級的省電機制 Power Saving Class Type I (PSC I)、Power Saving Class Type II (PSC II)和 Power Saving Class Type III (PSC III)，但即使是屬於同樣等級省電機制的流量，其應用服務類型也不一定相同，因此休眠參數設定也不盡相同，譬如網頁瀏覽 (Web Browsing)與 FTP 資料傳輸皆推薦使用 PSC I 運作方式，但網頁瀏覽屬於盡力服務 (Best Effort, BE)的流量，而 FTP 資料傳輸屬於非即時性可變動速率 (Non-Real-Time Variable Rate, NRT-VR)的流

量。根據 [5-8]的研究內容所述，IEEE Std 802.16e 省電機制規範了不同等級省電機制所用到的參數與運作方式，也推薦使用流量的類型，但對於同等級下不同流量類型之休眠參數的設定、調整與修正並無任何指示。

當 MS 所收受的流量類型改變時，原本的休眠模式參數設定不一定適合新的流量類型，電力與服務品質管理也因此無法達到最佳的效益；即使 MS 想要更改休眠參數的設定，也必須透過發送 MOB_SLP-REQ 的 MAC 管理訊息重新請求 BS 來進行參數設定，等到 BS 有所回應之後才能開始調整，整體的延遲時間不但沒有減少，訊息交遞的過程反而增加頻寬佔用，同時也造成額外的電力消耗。當同時服務的 MS 數量增加時，BS 可能因此而增加負載量 (Load)，成為 WiMAX 網路架構中的瓶頸 (Bottleneck)。

於是，在 [7]中所提出的 REAPM² 省電機制便針對了上述的問題來對 IEEE Std 802.16e 標準 [4]中的省電機制進行改良，其內容主要為根據 MS 所剩餘的電力來對休眠模式參數設定進行動態地調整，所要調整的參數有兩項，一為用來設定起始休眠週期的休眠時間，稱為 Initial-Sleep Window；二為用來侷限所有休眠週期最大值的休眠時間，稱為 Maximum-Sleep Window。

如公式 (1)所示，Maximum-Sleep Window 是由 IEEE Std 802.16e 所定義的兩個休眠參數 Final-Sleep Window Base 與 Final-Sleep Window Exponent 所計算而得。

$$\text{Maximum-Sleep Window} = \text{Final-Sleep Window Base} \times 2^{\text{Final-Sleep Window Exponent}} \quad (1)$$

在運作 REAPM² 省電機制中，當 MS 電力充裕時，便把 Initial-Sleep Window 與 Maximum-Sleep Window 設定為較小的數值，使得 MS 在節省電力之餘，同時能夠縮短封包回應延遲時間；當 MS 電力微弱時，便把 Initial-Sleep Window 與 Maximum-Sleep Window 設定為較大的數值，使得 MS 能夠藉由休眠時間的增加，來節省更多的電力，換取更長的待機時間。

然而，REAPM² 省電機制並無法妥善的兼顧

電力與服務品質管理兩項需求，所謂的電力管理就是對於 MS 在休眠模式時平均電力消耗的控管，而服務品質管理則是控制封包回應延遲時間在合理的範圍內。雖然在 MS 電力充裕時，REAPM² 可動態地將 Initial-Sleep Window 和 Maximum-Sleep Window 調整成較小的數值，使得平均封包回應延遲時間降低；但當 MS 電力微弱時，REAPM² 會動態地將 Initial-Sleep Window 和 Maximum-Sleep Window 調整成較大的數值，而設定過大的 Initial-Sleep Window 和 Maximum-Sleep Window 將嚴重地造成封包回應延遲時間的增加，同時也降低了電力管理的效益。

本文結構如下，第二節介紹本文提出的方法；第三節說明模擬實驗與討論；第四節做一簡單結論。

2 可應變式服務品質保證省電機制

本論文所提出的可應變式服務品質保證省電機制，重點在於針對不同的流量類型與網路流量情況調整合適的 Initial-Sleep Window 與 Maximum-Sleep Window 數值大小，以降低省電機制運作過程所造成的電力消耗與封包回應延遲時間。運作的過程主要分為三個階段，包括：評估網路流量、調整 Maximum-Sleep Window 及 Initial-Sleep Window 參數設定值等。

2.1 觀察網路流量

根據 [5] 的研究內容指出，實際上 MS 無法準確得知網路流量負載的情況，只能根據評估資料封包抵達間隔時間 (Packet Inter-Arrival Time) 來進行分析，所謂的資料封包抵達間隔時間表示的是連續兩次封包抵達 BS 的相隔時間。如 Figure 1 所示，圖中有三個時間軸 (Time Line) TL₁、TL₂ 和 TL₃，其中 TL₁ 表示連線 (Session) 維持的時間，每段連線所維持的時間都不一定相等，因此不同的連線分段依次序以 Session_i 表示，其中 $i=\{1,2,3,\dots,n\}$ ；TL₂ 表示每段連線中資料封包群 (Packet Call) 發送的時間，由於資料傳輸時封包總是成群出現，因此以資料封包群來表示，而不同資料封包群之間

的間隔表示封包群抵達間隔時間 (Packet Call Inter-Arrival Time)；TL₃ 表示每群資料封包群中所有資料封包實際抵達的時間，不同資料封包之間的間隔即表示是資料封包抵達間隔時間 (Inter-Arrival Time)，是用來分析網路流量情況的評估項目之一。

然而，MS 無法直接得知資料封包抵達間隔時間，必須利用前一次休眠週期 (Sleep Cycle) 的最後一段休眠時間 (Final-Sleep Window) 來進行推測。如 Figure 2 所示，圖中有三個時間軸，其中 TL₁ 表示為 BS 運作的時間軸，代表執行休眠模式期間，BS 傳送下行封包給 MS 的過程；TL₂ 表示為 MS 運作的時間軸，代表執行休眠模式期間，MS 接收 BS 下行封包的過程；TL₃ 表示為 MS 狀態的時間軸，代表執行休眠模式期間，MS 狀態變化的過程，其中 s_j 表示第 j 次休眠週期， L 表示聆聽時間， $T_{(j,k)}$ 表示為第 j 次休眠週期中第 k 次休眠時間。

在 Figure 2 中，假設在 BS 運作期間收到兩個要送給 MS 的封包，序號 (SN: Sequence Number) 分別為 i 與 $(i+1)$ ，由於 MS 還處於休眠模式中，因此 BS 必須將封包暫存並且等待 MS 休眠模式結束後才可傳送。當 BS 有封包要轉送給 MS 時，便會在收到封包之後的聆聽時間通知 MS，MS 便可結束休眠模式來收取封包，其中 MS 在當次休眠週期中最後一段的休眠時間，也就是封包抵達的時段。

由此可知，封包抵達的時間點必定落在 MS 最後一段休眠時間的區間裡，如 Figure 2 所示，當最後一段休眠時間增加時，表示此次封包抵達時間比前一次久，也代表封包抵達間隔時間增長。而封包抵達間隔時間如果增長，表示單位時間內封包抵達的數量變少，則代表網路流量變輕。因此，MS 便可藉由最後一段休眠時間 (Final-Sleep Window) 來推測封包抵達間隔時間 (Packet Inter-Arrival Time)，再經由評估過後的封包抵達間隔時間來推斷當前網路流量的狀況，進而調整休眠模式的參數設定。

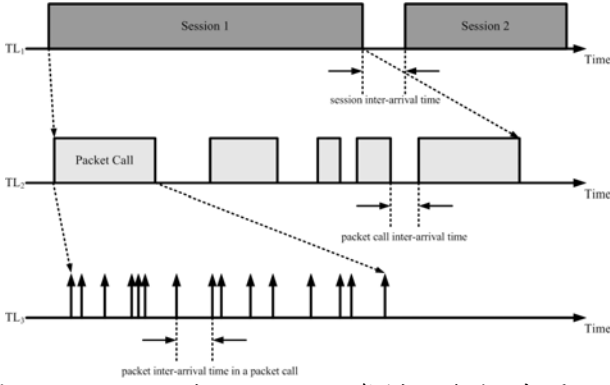


Figure 1: 改編自[5]之評估資料封包抵達間隔時間示意圖

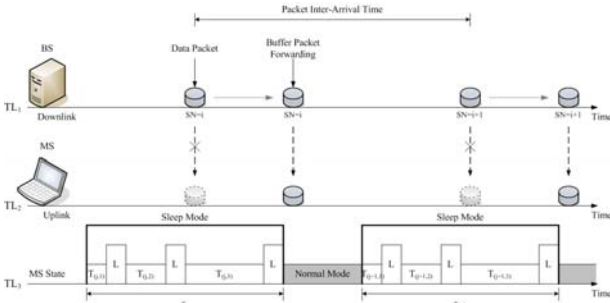


Figure 2: Final-Sleep Window 與封包間隔時間關係圖

2.2 調整 Maximum-Sleep Window 參數設定值

此次休眠週期的最後一段休眠時間，以 $T_{current_max}$ 表示，以及前一次休眠週期的最後一段休眠時間，以 T_{last_max} 表示。比較這兩段休眠時間，如果 $T_{current_max} = T_{last_max}$ ，則表示此次設定之 Maximum-Sleep Window 數值太小，必須調整成較大的數值，因此便將此次所得之數值加倍，並以 $T_{estimated_max}$ 表示由此休眠週期所蒐集的評估數值，如果 $T_{current_max} \neq T_{last_max}$ ，此次所得之數值便不須做任何調整，如公式 (2) 所示。

$$T_{estimated_max} = \begin{cases} T_{current_max} \times 2 & \text{if } T_{current_max} = T_{last_max} \\ T_{current_max} & \text{if } T_{current_max} \neq T_{last_max} \end{cases} \quad (2)$$

如公式 (3) 所示， α 為用來修正 Maximum-Sleep Window 之歷史記錄權重數值，在本論文中所設定 α 之數值為 0.875。

$$T_{next_max} = (1 - \alpha) \times T_{estimated_max} + \alpha \times T_{history_max} \quad (3)$$

2.3 調整 Initial-Sleep Window 參數設定值

調整 Initial-Sleep Window 參數設定。 $T_{current_min}$ 表示此次休眠模式之參數設定，倘若 T_{next_max} 數值高於 $T_{current_max}$ ，表示休眠時間被調整為較長的時間，於是 Initial-Sleep Window 也依照 Maximum-Sleep Window 成長之比例來調整。其中，Initial-Sleep Window 的數值最小為 1。

3 模擬與結果

3.1 自適性(Adaptability)的效能表現

如 Figure 3 所示，本論文所提出之可應變式服務品質保證機制對於 Initial-Sleep Window (T_{min}) 之自適性的效能表現較佳。如 Figure 4 所示，本論文所提出之可應變式服務品質保證機制對於 Maximum-Sleep Window (T_{max}) 之自適性的效能表現較佳。

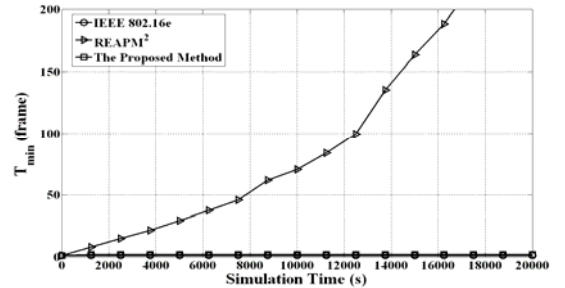


Figure 3: Comparing the Adaptability of T_{min}

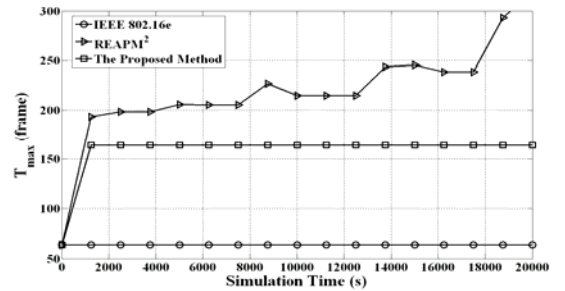


Figure 4: Comparing the Adaptability of T_{max}

3.2 節能(Power Saving)的效能表現

如 Figure 5 所示，本論文所提出之可應變式服務品質保證機制對於 Average Power Consumption 之效能表現改善情況較佳。

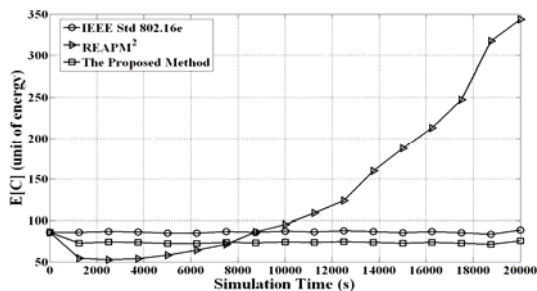


Figure 5: Comparing the Average Power Consumption

3.3 服務品質(QoS)的效能表現

如 Figure 6 所示，本論文所提出之可應變式服務品質保證機制對於 Average Packet Response Delay 之效能表現改善情況較佳。

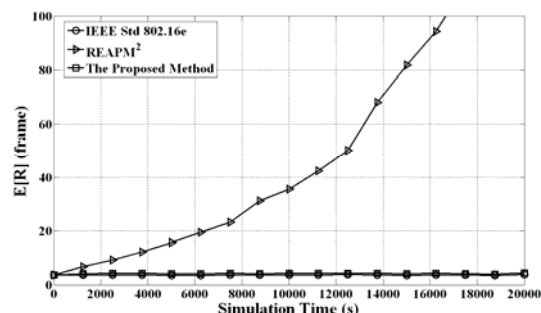


Figure 6: Comparing the Average Packet Response Delay

4 結論

本論文提出一可應變之服務品質保證省電機制，即使面對變異的網路流量環境時，仍可依據當前網路流量的情況與歷史的參數設定記錄對省電機制當前的參數設定進行調整，不僅可達成省電的目的，同時也降低因等候行動設備結束休眠週期所造成的封包回應延遲。經模擬實驗驗證，本論文所提出之可應變式服務品質保證省電機制，可依據網路流量情況動態地調整省電機制的參數設定，以應變當前的網路環境。相較於 IEEE Std 802.16e 與 REAPM² 省電機制，本論文所提出之可應變式服務品質保證省電機制不僅能有效縮減電力消耗，改善行動型設備的可用性；同時，亦可降低因等候行動型設備結束休眠週期所造成的封包回應延遲，讓使用者進行網路存取服務時可獲得更好的連線品質。

誌謝

This work was supported in part of by the Taiwan National Science Council under grant no. NSC-97-2221-E-142-005

參考文獻

- [1] C. E. Jones, K. M. Sivalingam, P. Agrawal, J. C. Chen, "A Survey of Energy Efficient Network Protocols for Wireless Networks," *ACM Wireless Networks*, Vol. 7, No. 4, pp. 343-358, Aug. 2001.
- [2] N. Bambos, "Toward Power-Sensitive Network Architectures in Wireless Communications: Concepts, Issues, and Design Aspects," *IEEE Personal Communications*, Vol. 5, No. 3, pp. 50-59, Jun. 1998.
- [3] IEEE Std 802.16-2004, "IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks – Part 16: Air Interface for Fixed Broadband Wireless Access Systems," Oct. 2004.
- [4] IEEE Std 802.16e-2005, "IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks – Part 16: Air Interface for Fixed and Mobile Broadband Wireless Access Systems – Amendment 2: Physical and Medium Access Control Layers for Combined Fixed and Mobile Operation in Licensed Bands," Feb. 2006.
- [5] S. Cho, Y. Kim, "Improving Power Savings by Using Adaptive Initial-sleep Window in IEEE 802.16e," *Proceedings of IEEE 65th Vehicular Technology Conference*, pp. 1321-1325, Apr. 2007.

- [6] M. G. Kim, J. Choi, M. Kang, "Adaptive Power Management Mechanism Considering Remaining Energy in IEEE 802.16e," IEICE Transactions on Communication, Vol. E90-B, No. 9, pp. 2621-2624, Sep. 2007.
- [7] M. G. Kim, M. Kang, J. Choi, "Remaining Energy-Aware Power Management Mechanism in the 802.16e MAC," Proceedings of IEEE 5th Consumer Communication and Networking Conference, pp. 222-226, Jan. 2008.
- [8] M. G. Kim, J. Choi, M. Kang, "Adaptive Power Saving Mechanism Considering the Request Period of Each Initiation of Awakening in the IEEE 802.16e System," IEEE Communication Letters, Vol.12, No.2, pp. 106-108, Feb. 2008.