

在IEEE 802.16e網路下以流量為基礎之BS與MSS整合省電機制

郭育辰
國立暨南國際大學資
訊工程系研究生
s98321539@ncnu.edu.tw

*麥毅廷
修平技術學院資訊網
路技術系助理教授
wkb@mail.hit.edu.tw

陳振庸
修平技術學院資訊網
路技術系助理教授
jychen@mail.hit.edu.tw

楊峻權
國立暨南國際大學資
訊工程系教授
ccyang@csie.ncnu.edu.tw

摘要

在傳統的 IEEE 802.16 網路中，Base Station (BS)下的 Subscriber Station (SS)是固定不動的，而之後在 2006 年提出了 IEEE 802.16e 讓 SS 增加了具行動能力之 Mobile Subscriber Station (MSS)。目的是希望可以提供一個高頻寬及具移動性的無線寬頻都會網路，然而面對行動設備如 MSS，主要的電力來源為電池，自然能源節省就成為一個不可或缺的條件，在 IEEE 802.16e 標準裡的有針對能源節省機制中作了基本訂定，然而原有的標準中並沒有考慮當時網路負載的變化量來做有效地調整，因此我們之前的研究提出根據網路流量負載變化的去訂定省電機制(Load Based Power Saving, LBPS)，然而考量到節能減碳的全球議題，如果在考量行動設備進行省電之流量分配，同時面對流量負載並沒有很重時，也思考提供行動設備連接之基地台有休眠之機會，相信能進一步讓省電機制有更高之省電效能。因此如果同時針對 MSS 與 BS 進行整合省電機制，除了可以節省電池電力之外，基地台之高耗電量也可以有效作節省，本篇論文初步針對基地台(BS)與行動設備(MSS)一同做省電機制之排程設計，期望可以進一步有效節省能源，論文中也透過模擬分析的結果，可以看出我們所提出的機制其 power saving 將有不錯之成效，並且仍然提供原有 IEEE 802.16 行動網路上有效之資料傳輸功能。

關鍵詞：802.16e、LBPS、BS、Power Saving

1. 前言

由於早期的無線通訊並沒有標準的訂定，IEEE 於 1997 年為無線區域網路(WLAN)訂定第一個標準 IEEE 802.11

[3][4]，至今 IEEE 802.11 的技術仍被人類廣泛的應用，但是 802.11 Wi-Fi 仍有訊號涵蓋範圍較小，而且可被服務的用戶量較少...等缺點。於是在 2004 年 IEEE 802.16 [5] 被提出，其目的是設計為一個固定式的寬頻廣域都會型網路(WMAN)，所以基地台(BS、SS)並未考量到其行動能力，直到 2006 年 IEEE 提出來了新的版本 IEEE 802.16e [6]/802-2009 [7]。IEEE 802.16e 與 IEEE 802.16 最大的不同是在於讓 SS 增加了行動能力，稱為 MSS。然而 MSS 具備了行動能力，而其能源節省(power saving)的管理自然成為一個重要的討論議題。

而省電機制在 IEEE 802.16e 標準中開始制定，針對不同的資料模式，訂定了三種睡眠省電機制。其運作方式在第二章會詳細介紹。近年來有許多學者針對 IEEE 802.16e 標準所提出的能源節省機制做效能及數學分析[2][8][16]，另外還有其他學者提出改善標準的效能方法，這些機制都必須要遵守兩項條件，一是 delay 的限制，另外是頻寬分配的限制，在[11][15]中使用不同的 traffic 行為模式。或是在一個 BS 下有不同種類的 traffic，如[13][14]。在傳統的能源節省機制中，分為睡眠模式(sleep mode)及操作模式(awake mode)，若有資料要傳輸給 MSS，MSS 就必須切換至 awake mode 接收資料，即便在負載很輕的時候。也容易造成 MSS 的能源節省效能低落。在先前研究中提出了一個根據網路流量負載的變化的省電機制(LBPS) [1]，將每一個 MSS 設置一個門檻值(threshold)，當 MSS 累積的資料量超過門檻值時，才切換到操作模式(awake mode)清除資料，來增加 MSS 的睡眠時間。之前的論文中我們針對 MSS 的 traffic 作流量預估，當面對 total MSS 的 traffic 並非滿載時，我們可以進一步考量讓基地台(BS)也有休眠的機制，本論文中我

們針對MSS流量透過BS控管之特性，提出了BS與MSS同時排程之省電機制概念，並整合MSS資料於BS上統一排程的特性，提供BS與MSS同時節能省電的排程方法，期望達到進階的power efficiency。經過模擬實驗結果顯示，本論文中所提出的機制其power efficiency有不錯的效能，也同時可以符合MSS資料傳輸之基本要求，進而達到較佳於傳統僅MSSs的省電效能。

論文編排如下，在第2章當中會詳細介紹IEEE 802.16e標準所介紹的power saving機制，以及一些相關研究。而第3章會介紹我們提出能源節省機制架構。接下來第4章會針對我們提出的機制與其它機制做比較並且分析。最後第5章是結論與未來展望。

2. 相關研究

在 IEEE 802.16e 無線網路中，為MSS定義了兩種運作模式，第一種模式是操作模式(awake mode)，當MSS需要傳送或接收資料的時候，便會切換到此種模式；另外一種是睡眠模式(sleep mode)，當MSS無須傳送或接收資料的時候，便會轉換到此模式以節省電源。在標準中根據傳輸的資料特性訂定出三種能源節省模式。Type I主要是給BE及nrtPS這些非即時性的資料傳輸使用，而Type II則給rtPS、UGS等即時性的資料運用，最後使用Type III則是用來傳輸multicast的資料及網路上地管理。在下面我們將會介紹三種標準省電機制的基本特性及LBPS機制。

2.1 Type I 能源節省模式

Type I 其主要之設計概念為sleep window大小會呈現倍數關係的成長，直到sleep window到達系統所訂定的最大sleep windows長度，便以此大小繼續進行sleep mode。如圖1所示。

2.2 Type II 能源節省模式

Type II為支援有delay bound限制的即時性資料流，與Type I主要不同的部分有

兩點，第一是它的睡眠週期是固定的，第二，當BS所要傳送給此MSS的資料在此listen mode之後無法完成時，則MSS必須轉換到操作模式(awake mode)來接收資料，反之若在此listen mode便可完成資料傳送，則進入與前一次相同長度的睡眠時間，維持相同長度的睡眠時間。如圖2所示。

2.3 Type III 能源節省模式

在Type III 能源節省模式中，當MSS要進入到睡眠模式之前都必須與BS溝通睡眠的時間，因此每次的睡眠時間都不一定會相同，會以MSS實際傳輸需求作為考量。還有一點要注意的是，Type III沒有listening window的部份，MSS直接睡完整段與BS溝通的睡眠時間。而我們所提出的機制便是針對Type III作改良，如圖3所示。

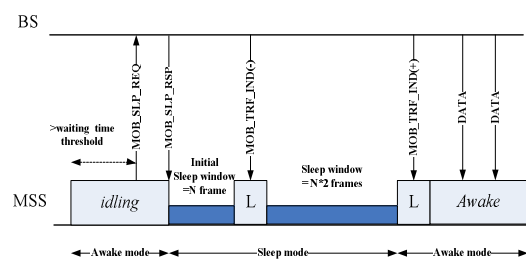


圖1 Type I 能源節省模式

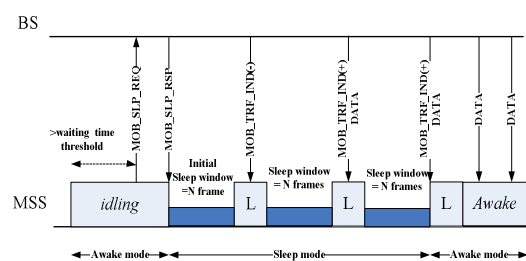


圖2 Type II 能源節省模式

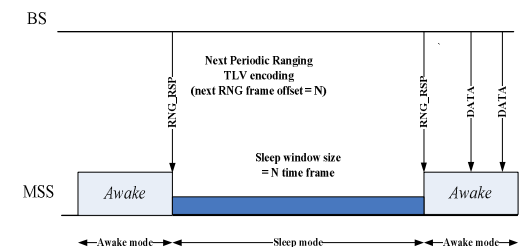


圖3 Type III 能源節省模式

2.4 BS 省電觀念

在802.16e無線網路的環境下，MSS為

行動設備，電力來源為電池，所以MSS本身在如何能夠延長MSS的電力壽命一直是十分值得探討的，而除了增加及延長電池能力之外，如何適時的進入休眠也就是power saving，是重大的研究議題，所以在MSS節能方面，現今已有許多優異的研究產生，但是BS節能方面的研究卻極為少被探討到，主要因素為，本來BS就是固定電源供應模式，但隨著世界日益重視節能省碳的觀念，BS在省電的部分是需要重視的，由於現今BS都是屬於運作模式，但是並非所有的時間BS都是有必要隨時保持在運作模式下，如：BS底下的所有MSS都是處於睡眠模式，此時BS是有睡眠或是轉換成待機狀態的空間的。如果考慮了BS的省電，則能帶來對於網路整體的耗電量降低許多，因為一台BS正常模式下所消耗的電量(260~300W)是一個MSS (750mW)的三四百倍之多[9][10]，因此我們也希望在符合原來MSS上傳需求及休眠省電機制之外，也可以在省電機制中一併考量BS的休眠，將可以讓整體電力作更佳的節省。

3. 以流量基礎之有效睡眠排程機制

BS 與 MSS 整合節能協定架構

3.1 同時考量 BS 與 MSS 休眠之問題

一般而言當MSS在睡眠模式底下，BS是不會傳送資料讓MSS接收的，所以此時BS所需負責的就是將MSS睡眠期間到達BS的資料buffer，依正常而言BS都是處於運作模式，所以當然不會構成問題，但如今BS也將進入睡眠模式，在BS睡眠期間是無法接收資料的，所以我們所規劃的網路的Topology形狀如下圖4所示：

最上層由802.16e BS所連接Backhaul network中所連接之Gateway，第二層才是BS，當BS處於睡眠時，所有要傳送到MSS的資料將由Gateway給buffer。另一個問題是，由於BS要進入睡眠的條件是所有的MSS都在休眠的狀況，不然MSS醒的一點意義都沒有，基於這一點，我們就必須要掌握住所有MSS睡眠與醒來的行為模式，所以在IEEE 802.16原來標準中訂定的

Type I與Type II方面是無法直接運作於BS整合睡眠機制，因為Type I與Type II中sleep interval結束時不一定要醒來，所以我們無法預先掌握MSS的睡眠與醒來的行為模式，所以我們所運作的環境是在改善於Type III的LBPS中。

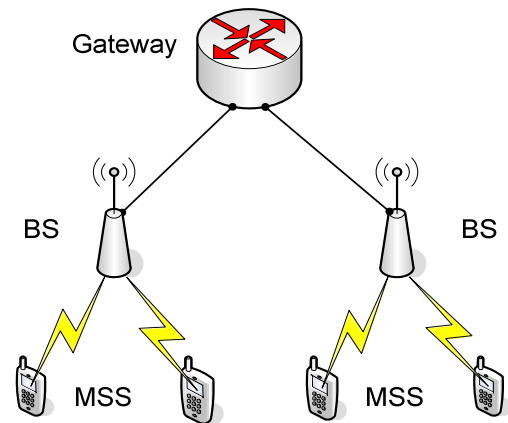


圖4 BS與MSS整合省電機制之Topology

3.2 LBPS-Aggr Protocol

由於之前相關研究與標準都沒有探討到 traffic pattern 與 traffic load 的關聯，因此我們在先前的研究提出了改善的機制: LBPS [1]，其最基本的版本為 LBPS-Aggr，概念主要為設置一個 Data threshold，當所有MSS所累積的資料量超過Data threshold的時候，才需要回到操作模式(awake mode)與MSS做資料的傳送或接收。BS根據量測到的 traffic load 以及 traffic pattern 來預估MSS經過多久時間後，MSS累積的資料量會超過訂定的門檻值，而MSS則在經過這段時間後才進入awake mode，下圖5說明LBPS-Aggr的基礎概念及運作構想。

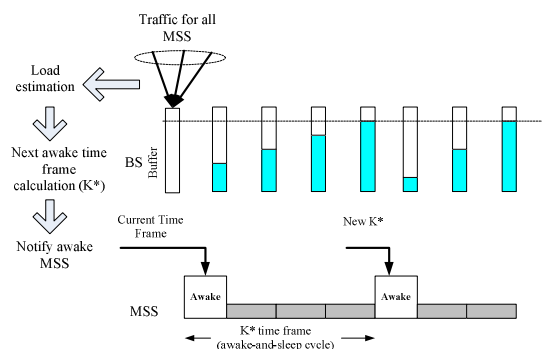


圖5 LBPS-Aggr 概念示意圖

3.2.1 睡眠週期計算

我們假設 traffic pattern 為 Poisson process，且我們只探討 downlink 的情形。BS 透過測量到的 traffic load 去計算 awake-and-sleep cycle [12]，此步驟為 *LengthAwkSlpCyl* (λ, Th)。其 λ : BS 為 MSS 量測的 arrival rate，以及 Th : BS 為 MSS 訂定的 Data threshold。由此步驟 BS 能透過此兩參數值預估出，需要經過幾個 time frame，累積的資料量才會超出我們所定的 Data threshold 達一定機率，則 MSS 必須回到 awake mode 來接收資料。由於我們的假設中，traffic pattern 為 Poisson process，所以我們可以透過公式得到在一個 time frame 時間內會來 i 個 packet 的機率為：

$Prob [i \text{ packet arrivals in a time frame}] = \frac{e^{-\lambda T} (\lambda T)^i}{i!}$ ，其中 λ 是 BS 為 MSS 量測的 arrival rate， T 為一個 time frame 的長度。所以我們又可以得知在多長的時間內，累積的資料會超過所定下的 Data threshold 之機率值：

$Prob[\# \text{ of packet arrivals in } K \text{ time frames} > \text{Data_TH}]$

$$= \sum_{i=\text{Data_TH}+1}^{\infty} \frac{e^{-\lambda KT} (\lambda KT)^i}{i!}$$

$$= 1 - \sum_{i=0}^{\text{Data_TH}} \frac{e^{-\lambda KT} (\lambda KT)^i}{i!}$$

而我們希望的是所得到的機率值，能達到一定的程度，所以在此定下了 Probability threshold，則表示：

$$K \equiv \text{Min}\{K \mid P_{Acc}(K, \text{Data_TH}) \geq \text{Prob_TH}\}$$

在此所得到的 K 值代表的是，在 K 個 time frame 時間內，累積的資料會超出 Data threshold 的機率大於 Probability threshold，則 BS 便決定了 MSS 的睡眠週期為 K 。

3.3 LBPS-Split Protocol

在 LBPS-Aggr 中我們計算 MSS 的 Sleep-and-Awake cycle 方式為，是當作將所有的 MSS 結合在一起，將其 load 的總和進行運算求得睡眠周期，但這方式算出來的週期對單一 MSS 來看是過小的，造成有些 load 較輕的 MSS 醒來時，所收的資料量是

很少的，因此節效率較不理想，所以有個改善方式就是 LBPS-Split，做法如圖 6：第一步驟為，結合所有 MSS 的 load 下去做運算算出其 K 值，圖所顯示 K 值為 2，則表是以目前總負載量所算出的睡眠週期是 2，代表著有 1 格 time frame 的 BS 資源是空著的(此格所有 MSS 都在睡眠)，則我們想法是，代表著我們可以把 MSS 們分成兩組，讓他們一組一組分別醒來，而我們分組方式是盡量讓各個組別的 MSS 之 load 總和接近，如第二步驟所示，因為分組的關係，各組別的 load 相對原本用來計算出睡眠週期的 load 值是小許多的，代表著可以拉長睡眠週期來增加省電效率，所以我們挑組別中，load 最大的那組所求出的 K 值當成新的睡眠週期，圖中第二步驟所選出之新的睡眠周期為 3，則如第三步驟所式，再將 MSS 分成 3 組，一直遵循此模式，直到前一次所算出的睡眠週期，等於本次時，則終止且選定此 K 值為最終睡眠週期(如步驟四與五)，或者是本次算出的週期大於 MSS 個數，則代表著 MSS 能夠自己個別占用一個 time frame，那我們則選定 MSS 中 load 最大的值來算出最終睡眠週期。

3.4 BS 節能機制-Philosophy I

首先我們加入 BS 省電考量的想法稱為 Philosophy I，其主要概念為，當此 time frame，所有的 MSS 都是處於睡眠模式時，則我們就讓 BS 也進入睡眠模式來做節能，如圖 7 所示，我們的想法就是，在紅色的那區段中所有 time frame 是 BS 能夠進入睡眠的空間。

3.4.1 Philosophy I. LBPS-Aggr

就以 Philosophy I 觀點來看，LBPS-Aggr 除了睡眠周期等於 1 的情況外，都有能夠讓 BS 作睡眠的省電的空間如圖 8 所示，在 LBPS-Aggr 中，只要是 MSS 進入睡眠的 time frame，BS 則可跟著也進入睡眠以做節能，依圖八而言，BS 能節省大約 2/3 的能源。由於我們的睡眠週期是經

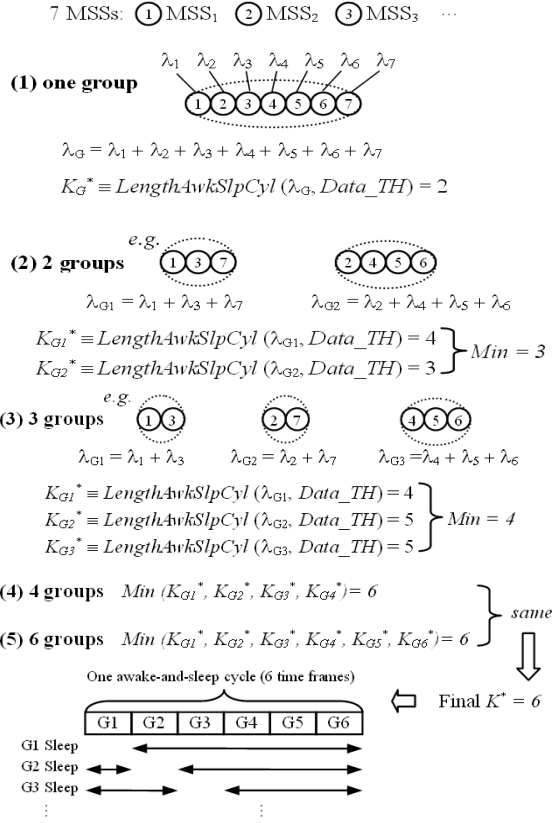


圖6 LBPS-Split 概念示意圖

由機率估計，我們的 threshold 值之外會有一些機率在當 Awake 起來時，所累積的資料是無法在一個 time frame 中所全部 delivery，所以原先的 LBPS-Aggr 中發現一個 time frame 無法處理完累積的資料時，則 MSS 會在下一個 time frame 繼續醒著，直到所有資料處理完畢，不然會造成資料累積，導致資料的 delay 上升，但是由於此方法我們無法預先就知道是否累積的資料會超過一個 time frame 的負荷，也因此無法預先掌握 MSS 睡眠與醒來的行為模式，所以我們做了修改，當所累積的資料超過一個 time frame 負荷的機率大於 0.5 時就將其 K 值減 1，直到超過的機率低於 0.5。超出 1 個 time frame 負荷的機率算法如下：

$$Prob[\# \text{ of packet arrivals in } K \text{ time frames} > \text{slotnum_per_TF}] = 1 - \sum_{i=0}^{\text{slotnum_per_TF}} \frac{e^{-\lambda KT} (\lambda KT)^i}{i!}$$

slotnum_per_TF 代表一個 time frame 中所擁有的 slot 數，而我們假設每 packet 大小等於一個 slot，因此一個 time frame 所能負荷的最多 packet 數等同於 slotnum_per_TF。

3.4.2 Philosophy I. LBPS-Split

就原本的 LBPS-Split 而言，此演算法的運作是會經過多個 iteration 一直產生新的睡眠週期，而其演算法終止條件有兩種，第一種是本次 iteration 所計算出的睡眠週期等同於上個 iteration 計算出的睡眠週期，第二種是此次算出的睡眠週期大於 MSS 的個數，第一種終止條件下是無法在 Philosophy I 中有讓 BS 做省電空間的，原因如下圖 9 所示：

依圖九我們能看出，在第一種終止條件下，每一個 time frame 都是會有 MSS 醒來做資料接收的，因此是沒有能夠做節能的空間給 BS。然而當 LBPS-Split 是在第二種情況終止時，也就是最後算出的睡眠週期大於 MSS 個數時，則 BS 就能有數個 time frame 能夠進入睡眠模式，如圖十所示：

從圖 10 中我們能看見，在此種情況下 BS 能有 $K_{final} - \# \text{ of MSS}$ 個 time frame 的節能空間，就圖 10 而言 BS 能節省約 2/5 的能源。

3.5 BS 節能機制-Philosophy II

在先前提到的 Philosophy I 中雖然 BS 能達到有效的節能，但是處於 MSS 主導一切，必須等 MSS 排程結束，才能看有沒有多餘的空間，來讓 BS 做節能，因此 BS 無法預先設定節能目標，且就算是 light load 的情況下 BS 也不一定能做到節能，另一個觀點是，既然 BS 做節能來說，會省下的能源遠大於 MSS，那麼為何要讓 MSS 來主導一切，因此在 Philosophy II 中，我們是以 BS 為主導，為 BS 定下一個節能目標，我們以 PSE (Power Saving Efficiency) 為標準，讓 BS 能達到訂定的 PSE 下，達成 MSS 有效率的節能。

因此我們在 Philosophy II 中，對原本的 LBPS-Split 做改善，使其能夠達成我們在 Philosophy II 中的理念，概念就是求出一個 K 值也就是 Sleep-and-Awake cycle，然後在這 K 個 time frame 中，BS 選定一個 time frame 做節能，因此 BS 的 $PSE=1/K$ ，而此 time frame 是不允許有 MSS 是 awake 的，因此 MSS 只能在剩餘的 $K-1$ 個 time frame

中 awake，所以我們必須在 LBPS-Split 的演算過程中找出一個 K_{final} ，讓 BS 的 PSE 大於且最趨近於 BS 的節能目標，所以必須在 LBPS-Split 每個 iteration 運算出新的睡眠週期 K_n 時做檢查是否 $1/K_n$ 小於 BS 節能目標，假如小於節能目標時演算法終止，然後在此 K_n 值與上個 iteration 求得的 K_{n-1} 值之間選擇，選擇一個數值 N 使其 $1/N$ 能大於且最接近 BS 省電目標則 $K_{final}=N$ ，此為第一種 K_{final} 的選定情形，示意如圖 11：

第二種和第三種就如同原本的 LBPS-Split 的選擇方式，原因為在第二與第三種情況下，MSSs 的 load 分布情形在 LBPS-Split 運算過程中不會造成所算出的 K_n 無法滿足 BS 節能目標的情形。

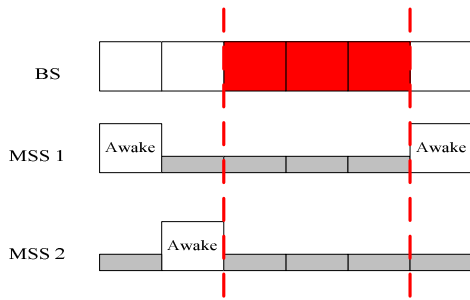


圖7 Philosophy I 概念示意圖

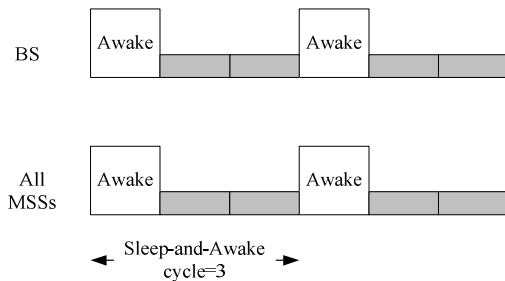


圖8 Philosophy I. LBPS-Aggr 示意圖

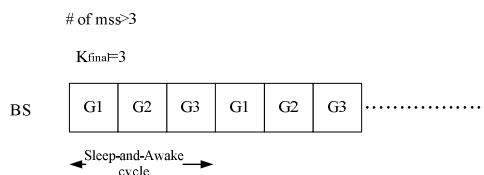


圖9 LBPS-Split無法加入BS節能情況

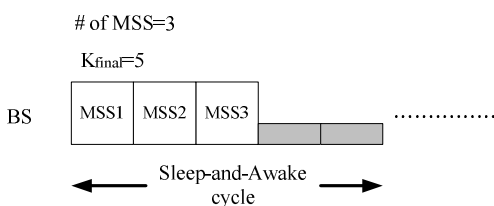


圖10 LBPS-Split能加入BS節能情況

BS_PSE_Target : 0.25

5 MSSs: ① MSS1 ② MSS2 ③ MSS3

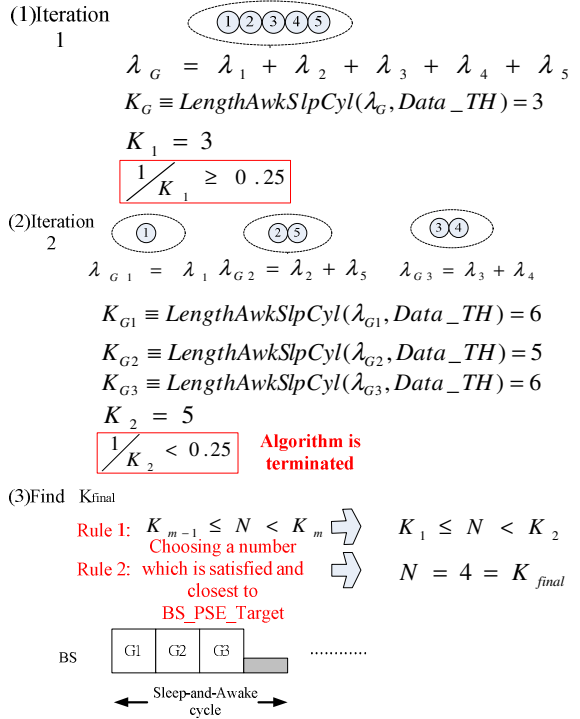


圖11 Philosophy II. LBPS-Split

4. 效能評估與模擬結果

4.1 模擬環境

我們的模擬環境為 PMP 網路拓樸，traffic pattern 為 Poisson process，其他相關模擬環境如表 1 所示。

表 1 網路模擬參數

(# of BS , # of MSS)	(1,10)
Minslots of time frame	100
Probability threshold	0.8
Size of packet	1 minslot
Simulation time	$1 * 10^7$ time frames
Traffic distribution	Poisson
BS PSE target	0.5

4.2 實驗效能參數

在模擬實驗中，我們先介紹所使用的效能參數PSE (power saving efficiency)，其每個MSS與BS所代表的意義為：

$$\frac{\text{sleep_window_size}}{\text{sleep_window_size} + \text{awake_window_size}}$$

因此每個MSS的PSE為 $\frac{K-1}{K}$ ，而整體MSS

的PSE值為：
$$\frac{\sum_{i=1}^n PSE \text{ of } ith \text{ MSS}}{\# \text{ of } MSS}$$

4.3 實驗效能參數

模擬結果所呈現的是，在各個不同的 total load 情況下，我們所提的三種BS節能機制中，BS的PSE與MSS的平均PSE之比較，而我們所設定的Data threshold為一個 time frame之最大負荷量的80%。在圖12中我們可看見Phil. I.LBPS-Aggr所呈現出BS的PSE與MSS的Avg. PSE是相同的，是由於在LBPS-Aggr裡所有的MSS都是一起同時 awake 同時 sleep，所以BS能夠跟所有的MSS一同進入節能模式，而在total load=0.6之後BS和MSS皆無法節能原因為，此時所算出的睡眠週期為1，因此MSS需要在每一個time frame都awake。而圖13中可看見，單就BS的PSE而言Phil I.LBPS-Split是不及Phil I.LBPS-Aggr，主要原因為Phil I.LBPS-Split不是所有的情況都能夠讓BS做節能，只有在Sleep-and-Awake cycle大於MSS個數時才能實行，且LBPS-Split有將MSS分組的概念，使其依組別分別awake，相對的減少了BS能夠進入節能模式的空間。在Phil II.LBPS-Split的呈現上我們所定的BS之PSE目標為0.5，因此可以在圖14中看見，BS大至能夠滿足我們的節能目標，且MSS也能夠達到一定的節能，圖13-圖14在total load為0.9~0.95時，會導致BS與MSS的PSE都為0主要原因為，當LBPS-Split演算法開始執行時，使用total load所算出的睡眠週期為1，因此LBPS-Split則終止，而導致兩圖所呈現的現象。

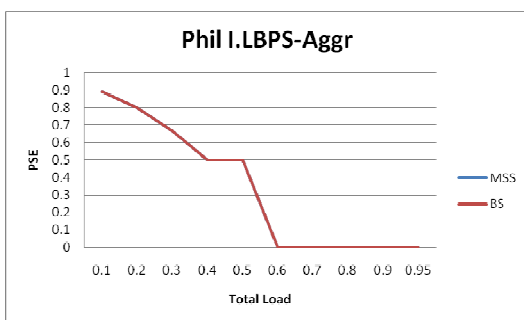


圖12 PSE : MSS vs. BS (Phil I.LBPS-Aggr)

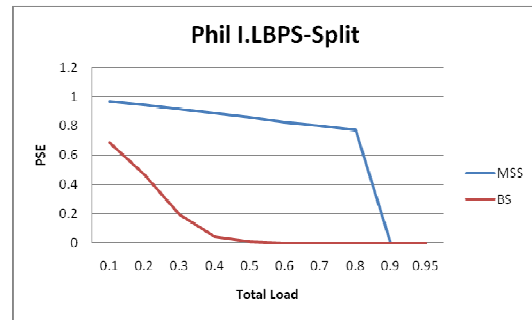


圖13 PSE : MSS vs. BS (Phil I.LBPS-Split)

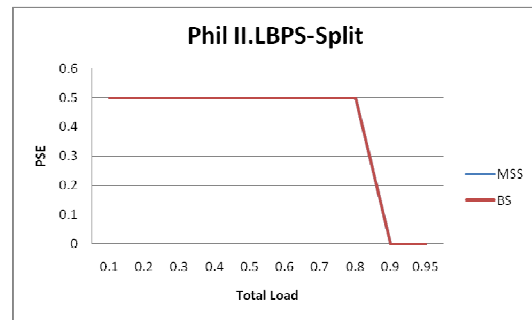


圖14 PSE : MSS vs. BS (Phil II.LBPS-Split)

5. 結論

在 IEEE 802.16e 無線網路中，原來針對以電池為電力來源之MSS行動用戶訂定省電休眠機制，但是傳統 802.16 標準中訂定之機制並未考量傳輸流量之特性去做省電休眠排程，而我們先前的論文針對流量進行整合計算，可以預估合適轉換到 awake mode 之排程而提出的 LBPS-Aggr 機制來提升整體的 power efficiency，然而考量在MSS上流量之控管來源設備為BS，如果能夠掌握MSS的流量特性，在Load較輕時，BS也是有省電休眠的機會，所以本篇論文中提出流量為主之機制來整合BS與MSS共同省電睡眠機制，使得BS除了能替所有不同 traffic 的MSS做資料傳輸排程外，還可以在Load較輕時同時作BS與MSS的休眠，透過此機制可以大幅增加省電效能，而在實驗效能分析結果中我們可以看出此作法有較佳的效能結果，提升BS與MSS的整體 power saving。

參考文獻

- [1] C. C. Yang, C. H. Fang, and J. R. Lin, "Adaptive Power Saving Strategy Based on Traffic Load in the IEEE 802.16e

- Network,” in *Proceedings of the International Conference on Information and Communication Technologies (ICICT 2010)*, Tokyo, Japan, May 2010.
- [2] C.H. Hsu, K.T. Feng, and C.J. Chang, “Statistical Control Approach for Sleep Mode Operations in IEEE 802.16m Systems,” *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 59, no. 9, Nov. 2010, pp. 4453-4446.
- [3] IEEE Std. 802.11a, “Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications: Higher Speed Physical Layer in the 5GHz band,” Sept. 1999.
- [4] IEEE Std. 802.11b, “Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications: Higher Speed Physical Layer in the 2.4 GHz band,” Sept. 1999.
- [5] IEEE Std. 802.16-2004, “Part 16: Air Interface for Fixed Broadband Wireless Access Systems, Standard for Local and Metropolitan Area Networks,” Oct. 2004.
- [6] IEEE Std. 802.16e-2006, “Part 16: Air Interface for Fixed and Mobile Broadband Wireless Access Systems -Amendment for Physical and Medium Access Control Layers for Combined Fixed and Mobile Operation in Licensed Bands,” Feb. 2006.
- [7] IEEE Std. 802.16-2009, “IEEE Standard for Local and metropolitan area networks Part 16: Air Interface for Broadband Wireless Access Systems,” May 2009.
- [8] J. R. Lee, and D. H. Cho, “Performance Evaluation of Energy-Saving Mechanism Based on Probabilistic Sleep Interval Decision Algorithm in IEEE 802.16e,” *Journal of IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 56, no. 4, July 2007, pp. 1773-1780.
- [9] S. Aleksic, “Analysis of Power Consumption in Future High-Capacity Network Nodes,” *IEEE/OSA Journal of Optical Communications and Networking*, vol. 1, no. 3, Aug. 2009, pp. 245-258.
- [10] S.A. Tawfik, and V. Kursun, “Buffer Insertion and Sizing in Clock Distribution Networks with Gradual Transition Time Relaxation for Reduced Power Consumption,” in *Proceedings of the 14th IEEE International Conference on Electronics, Circuits and Systems (ICECS 2007)*, Dec. 2007, pp. 845-848.
- [11] S. Jin, and W. Yue, “Performance Evaluation of Self-similar Traffic in Multimedia Wireless Communication Networks with Power Saving Class Type III in IEEE 802.16e,” in *Proceedings of the 2010 IEEE International Conference on Wireless Communications, Networking and Information Security (WCNIS)*, June 2010, pp. 436-440.
- [12] S. K. Bose, *An Introduction to Queueing System*, Springer, Jan. 2002.
- [13] S.W. Kwon, and D.H. Cho, “A Harmonization Among Power Saving Class in the IEEE 802.16e Systems,” in *Proceedings of the 2010 7th IEEE Consumer Communications and Networking Conference (CCNC)*, Jan. 2010, pp. 678-679.
- [14] S.W. Kwon, and D.H. Cho, “Enhanced Power Saving through Increasing Unavailability Interval in the IEEE 802.16e Systems,” *IEEE Communications Letters*, vol. 14, no. 1, Jan. 2010, pp. 24-26.
- [15] Y. Wu, Y. Le, and D. Zhang, “An Enhancement of Sleep Mode Operation in IEEE 802.16e Systems,” in *Proceedings of the IEEE 69th Vehicular Technology Conference (VTC 2009-Spring)*, April 2009, pp. 1-6.
- [16] Y. Xiao, “Performance Analysis of An Energy Saving Mechanism in the IEEE 802.16e Wireless MAN,” in *Proceedings of the IEEE 3rd Consumer Communications and Networking Conference (CCNC)*, vol. 1, Jan. 2006, pp. 406- 410.