

IEEE 802.16e 移動寬頻無線存取系統動態交互式省電機制

張朝陽
國立虎尾科技大學
資訊工程系
jychang@nfu.edu.tw

林育辰
國立虎尾科技大學
光電與材料科技研究所
s5891115@gmail.com

摘要 (Chinese Abstract)

IEEE 802.16 移動寬頻存取系統 (Mobile Broadband Wireless Access Systems) 提供新型態的無線行動通訊網路架構，這類型的移動寬頻無線存取設備，電力主要的來源是電池，為了延長這些移動設備的使用時間，必須有效率的使用電池達到省電的目的。IEEE 802.16e 定義了一個睡眠模式操作，來保持行動終端的電力，然而在省電的同時亦容易造成行動終端接收封包的延遲。在本文中，提出一個動態交互式睡眠間隔決定 (Dynamic Alternately Sleep Interval Decision; DASID) 演算法，此演算法根據每次封包的到達率以及預測的誤差值，來動態調整睡眠模式的順序及睡眠間隔的大小。模擬結果表示我們提出的演算法在封包延遲方面表現很好，功率消耗方面也達到可接受的省電效率。

關鍵詞：IEEE 802.16e、省電、動態交互式睡眠間隔決定 (DASID) 演算法、封包延遲。

Abstract

The IEEE 802.16e Mobile Broadband Wireless Access Systems provide new infrastructure of wireless mobile communication networks. The major power supply is battery in this type of mobile wireless access devices. In order to extend the using time for these devices, we must use battery efficiently and reach the goal of power saving. The IEEE 802.16e has defined a sleep mode operation for the power of mobile terminals. However, the power saving is easy to result the receiving packet delay for mobile terminals. In this paper, we propose a Dynamic Alternately Sleep

Interval Decision (DASID) algorithm. According to the packet arrival rate and the forecast deviation value, the sleep mode in sequence and the size of sleep interval are dynamic adaptive. The simulation results show that our proposed scheme outperform the previously proposed scheme for packet delay. Also, the power consumption can be maintained at an acceptable level.

Keywords: Dynamic Alternately Sleep Interval Decision (DASID) algorithm, IEEE 802.16e, packet delay, Power saving.

1. 前言 (Introduction)

WiMAX 是 Worldwide Interoperability for Microwave Access 的簡寫，中文為全球互通微波存取，是一種新興的通訊技術，透過利用正交多頻分工 (OFDM; Orthogonal Frequency Division Multiplexing) 的調變方式，可以提供 40~50 公里的遠距離傳輸，以及每秒 70~75Mbps 的傳輸速率。這項技術的規格又可分為固定式和移動式，其規範分別定義在 IEEE 802.16 和 IEEE 802.16e 中，最具代表性的標準包括 802.16d 固定無線連接服務和 802.16e 移動式無線連接服務。

802.16d 主要定位在企業用戶，需要長距離的無線傳輸；802.16e 主要是針對移動式的個人用戶，如使用 PDA、NB、Handset 等用戶，並增加移動換手 (Hand-Off)，Wi-Fi AP 的連接能力及服務品質的保證 (Qos)，由於支援移動性的設備，因此傳輸距離受限較多，約 3~5 公里，傳輸速度約每秒 15Mbps。WiMAX 這項無線寬頻通訊技術，具有傳輸距離長、涵蓋範圍廣、傳輸速率快，通訊品質高，造就了絕佳的環境 [1-2]。

近年來，行動手持裝置如 PDA、NB、手

機，變得非常流行，為了提供聲音、影像等需要高頻寬的資料服務，而發展了新系統。最初，IEEE 802.16 只設計了固定式的用戶站 SSs(Subscriber Stations)，為了對服務的提供有更進一步的目標，因此發展了 IEEE 802.16e，支援移動式的用戶站 MSSs(Mobile Subscriber Stations)，透過可擴展的正交多頻分工(SOFDM; Scalable Orthogonal Frequency Division Multiplexing)技術來達到移動性和行動性，所以 802.16e 非常適合在非視距傳輸(NLOS; NonLine-of-Sight)及移動的環境下。

在 IEEE 802.16e 的架構中，提供了較遠的傳輸距離及較高的傳輸速度，相對的 MSSs 需提供較多的功率，因此在此環境中消耗了較多的電源，所以要如何達到省電就是一個相當重要的課題。在 IEEE 802.16e 標準下，MSSs 可能會在兩種操作模式下，即 awake-mode 和 sleep-mode。MSSs 在 awake-mode 下，可以根據基地台的排程傳送和接收資料。而 sleep-mode 下為了節省電源的消耗而關閉一個或多個實體部分的電源，以達到省電之用。省電機制的基本原理就是使用睡眠模式操作，由於在睡眠模式中功率消耗較小，使得 MSSs 電源的使用減至最小。但是，因為在睡眠模式中 MSSs 無法接收到來自 BS (Base Station)的資料，必須等到 listening 期間，才會結束睡眠模式操作，去接收資料封包，所以對於 MSSs 來說，造成封包接收的延遲，因此為了達到省電的同時，亦須考量封包延遲的效應[3-7]。

本文其他部分如下。第二節的部份，探討一些相關論文裡面所使用的方法及分析，以及各方法的優缺點。第三節的部份，描述 IEEE 802.16e 標準規範的行動無線寬頻系統，在 BS 及 MSSs 之間如何做溝通，並介紹 IEEE 802.16e 標準省電機制類型。第四節的部分，介紹我們提出的動態交互式睡眠間隔決定(DASID)演算法。第五節的部份，透過模擬，我們與 IEEE 802.16e Mobile WiMAX system 採用的 Binary Truncated Exponent (BTE) 演算法 [2, 4] 和 Adaptive Power Saving [6]演算法做比較，證明所提出的演算法是有效的，最後第六節是本篇論文的結論。

2. 論文探討

Adaptive Power Saving Strategies for IEEE

802.16e Mobile Broadband Wireless Access [3]，主要是介紹 IEEE 802.16e 睡眠模式 (sleep-mode)的操作和操作底下相關的參數，並且根據不同的交通型態(CBR (Constant Bit Rate) traffic 和 FTP (File Transfer Protocol) traffic)找出適合的參數來達到省電。在 CBR 情況下，必須有效的限制 initial-sleep window size 的大小，因為當 initial-sleep window size 增加時，平均延遲也會增加，所以在限制的最大延遲中，同時也能達到省電的功能。FTP 情況下，延遲就不是這麼重要了，取而代之的是總傳輸時間。總傳輸時間也會根據網路延遲時間 RTT (round trip time)而不同，例如當網路延遲時間增加，因為 TCP (Transmission Control Protocol) 的特性，所以總傳輸時間也會增加。

Performance evaluation of energy-saving mechanism based on probabilistic sleep interval decision algorithm in IEEE 802.16e [4]，在 IEEE 802.16e Mobile WiMAX system 的環境中，提出了新的省電機制，他是以機率性來決定睡眠間隔稱為 Probabilistic Sleep Interval Decision (PSID)演算法，並比較 IEEE 802.16e Power Saving Mode (PSM)中的 BTE 演算法和 PSID 演算法在延遲和能源消耗表現上的分析，證明在 ON-OFF 延遲和能源消耗彼此間的相對平衡，表現出 PSID 演算法優於 BTE 演算法。PSID 演算法主要是重視能源消耗和緩衝延遲方面，因為 BTE 演算法會因為較早達到飽和點而導致延遲較長。

Performance Study of Power Saving Classes of Type I and II in IEEE 802.16e [5]，為了二種省電型態提供簡單且正確分析的模組，因此使用馬爾可夫鏈條的數學模型去描述 Power Saving Classes of Type I and Type II 這個系統的行為，來計算功率和封包存取延遲，此外，比較二種省電型態之間的能源效率和延遲表現。借助於模型和計算，可以在不同的 traffic 情況下，在兩種 Type 之間交換來獲得理想的功率，並提供計算和模擬的結果來證實。在流量較小時，Type I 能達到較好的省電表現。也就是 Type I 在 traffic 較小的情況下，MSSs 會傾向常常進入和退出睡眠模式，達到高省電效率，但是睡眠所導致延遲很長。Type II 則是能保持小延遲，但是會受到常常的 listening，導致額外的功率消耗。

Adaptive Power Saving Algorithm for

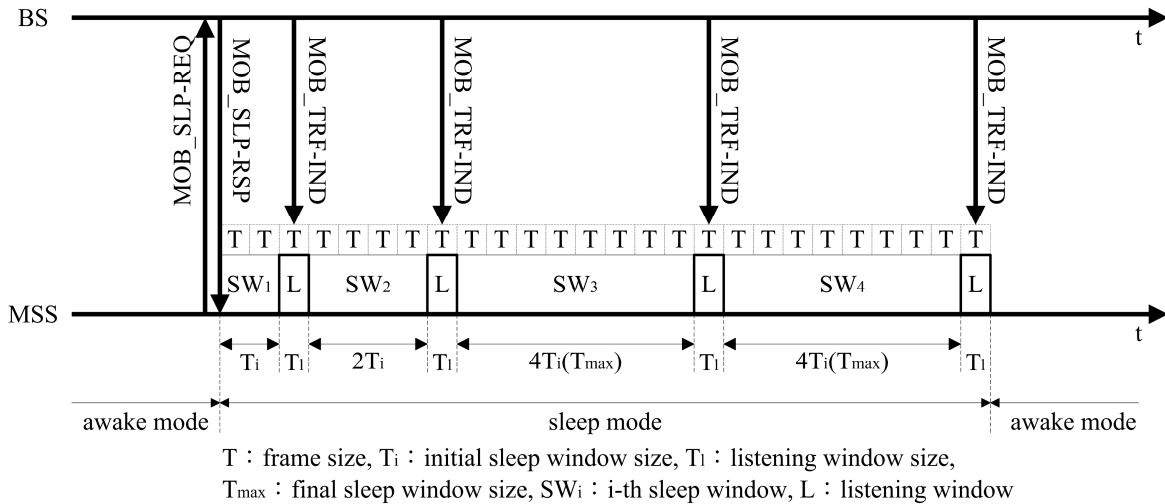


圖 1 : Illustration of the sleep mode operation in IEEE 802.16e

Mobile Subscriber Station in 802.16e [6]，主要是提出一個適應性睡眠模式間隔控制演算法。修改IEEE 802.16e標準下的Power Saving Classes of Type I，使它會考慮downlink traffic pattern (Type I or Type II)來使能源消耗減到最小。且分析了不同睡眠情況下的能源和延遲的狀態分成四種類型：第一種類型是在BS沒有DL (Downlink)框架到達，直到MSS到 n^{th} (第 n 個)睡眠間隔有UL (Uplink)框架要傳輸(也就是說第 n 個睡眠間隔還沒結束時，到目前為止都沒有DL框架到達BS，而MSS有UL框架要傳輸而醒來)。第二種類型是MSS在 n^{th} 睡眠間隔完成後，有UL框架要送出，DL框架也在 n^{th} 睡眠間隔到達BS(第 n 個睡眠間隔還沒結束時且在睡眠時已經有DL框架到達BS，因為MSS有UL框架要傳輸而醒來)。第三種類型是MSS在 n^{th} 睡眠間隔完成之後的聽間隔有UL框架要送出，但是之後沒有DL框架從BS給MSS(在第 n 個睡眠結束後的聽間隔有UL框架要送出而醒來。第四種類型是：DL框架在 n^{th} 睡眠間隔到達BS給MSS，但是沒有UL在 n^{th} 睡眠週期中斷睡眠模式(DL框架在第 n 個睡眠間隔到達BS，所以當睡眠結束後的聽間隔就會醒來)。最後依據以上分析，如果在睡眠期間預料到達的traffic pattern來減少聽間隔數量，來達到有效的能源保存，最後透過模擬出的平均能源消耗、延遲以及睡眠時間來與IEEE 802.16標準來比較。可以看出此演算法在流量低時，可以保存相當的能源。

Enhanced Power Efficient Sleep Mode

Operation for IEEE 802.16e Based WiMAX [7]，這篇主要是針對Power Saving Classes of Type I，提出一個啟發式的演算法，透過動態調整參數的大小，提供在功率消耗和平均延遲之間一個適當的平衡，結果顯示所提出的演算法跟IEEE 802.16e標準比較起來可以改善功率消耗達30%以上。透過使用馬爾可夫鏈條的數學模型去描述Power Saving Classes of Type I這個系統的行為。此演算法會根據封包服務的數量動態調整MSS回復的initial sleep window的大小，透過犧牲一點點延遲的代價，使得功率消耗比IEEE 802.16e標準改善達30%以上。

3. 系統描述

3.1 IEEE 802.16e 睡眠模式

在IEEE 802.16e所規範的省電機制中，首先介紹MSS和BS之間的溝通方式，IEEE 802.16e典型的睡眠模式如圖1所示。

MSS和BS之間是透過MOB_SLP-REQ (Sleep-Request message)、MOB_SLP-RSP (Sleep-Response message)和MOB_TRF-IND (Traffic-Indication message)來做溝通。在進入sleep mode前，MSS會送出MOB_SLP-REQ message到BS，然後等候BS同意之MOB_SLP-RSP message

接收到同意的MOB_SLP-RSP message之後，MSS就會進入睡眠模式。當睡眠期間完成

時，MSS 會醒來去檢查在 listening 期間是否有封包。如果要送給 MSS 的封包在 BS 的緩衝器中，MSS 就會回到 awake mode。

在 listening 期間，BS 會透過 broadcast mode 下傳送 MOB_TRF-IND message 來警告 MSS 有 downlink 流量。當 MSS 接收到正確的 MOB_TRF-IND message 指示，MSS 就會保持在 awake mode，直到所有的封包都從 BS 的緩衝器接收完。如果沒有接收到封包，它會使 sleep window size 增加一倍，直到下一個 listening window。當 MSS 的 sleep window size 達到 final sleep window size，它就不會更進一步去增加 sleep window size，然後繼續不斷的重複 sleeping 和 listening 的事件直到結束睡眠模式。

3.2 IEEE 802.16e 省電類型

省電類型分為 Type I、II 和 III，區別在於參數的設定不同。根據連線的需求，Power Saving class 可以是不斷的重複動作與睡眠。

3.2.1 Power Saving Classes of Type I

這個省電類型建議的連線為非即時變動速率 NRT-VR (Non-Real-Time Variable Rate)，通常應用於機場或飯店定位、銀行交易、FTP 等具有突發性但不需要即時做出反應的資料服務；以及盡力而為 BE (Best-Effort)，是最簡單的資料傳送，如 Web 瀏覽、收發 E-mail，但是毫無服務品質的保證。Type I 省電類型操作如圖 2。

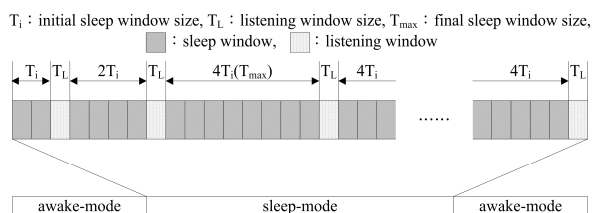


圖 2：Operation of power saving classes of Type I

3.2.2 Power Saving Classes of Type II

這個省電類型建議的連線為非請求的頻寬分配 UGS (Unsolicited Grant Service)，主要是提供給固定封包大小及週期性的即時性資

料，如 T1 及 VoIP 等 CBR 資料連線服務，且基地台會主動配置頻寬給這類型的連線資料流。此外這個省電類型亦適用即時變動速率 RT-VR (Real-Time Variable Rate)，主要是以突發性且即時性的資料服務，如現場轉播、視訊會議、MPEG video 等，封包的延遲在這種服務類型中，對於服務品質就有相當重要的影響。Type II 省電類型操作如圖 3。

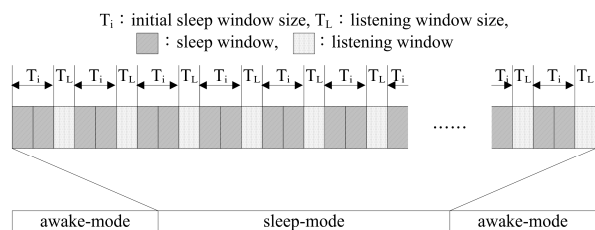


圖 3：Operation of power saving classes of Type II

3.2.3 Power Saving Classes of Type III

針對管理連線與群播連線這類的應用所設計的，基地台可直接指定睡眠的時間，用戶裝置則在經過這段睡眠時間後結束睡眠模式。Type III 省電類型操作如圖 4。

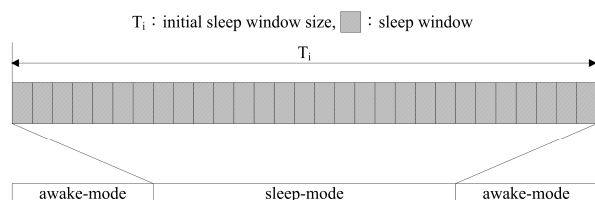


圖 4：Operation of power saving classes of Type III

3.3 實際狀況描述

一般而言，在同一時間內 BS 和 MSS 之間會有超過一種以上的連接，也就是連接之中有不同的省電類型。如圖 5。

在長時間不同的連接當中，想要提高節約能源的效率，MSS 需要共同的睡眠時間。在本文中，只考慮在單一連接時，採用不同的省電類型，以達到省電的功能。

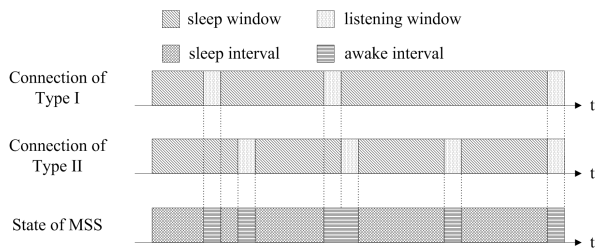


圖 5：Example of operations of two power saving classes

4. DASID 演算法

4.1 動態睡眠間隔決定演算法

在 IEEE 802.16e 中，BTE [2, 4]演算法的睡眠間隔是由下列式子決定：

$$SW_1 = T_{min} \quad (1)$$

$$SW_n = \min \left\{ 2^{n-1} \times T_{min}, T_{max} \right\} \text{ for } n \geq 2 \quad (2)$$

T_{min} 和 T_{max} 分別表示最短(initial)和最長(final)的睡眠間隔。如(1)式，當 $SW_1 = T_{min}$ 時代表 initial sleep window size 的大小。如(2)式， n 是一個常數，代表第 n 個睡眠間隔，當 n 值增加時， SW_n 也會增加。因為 SW_n 是指數增加的，為了避免過大的封包延遲，當 SW_n 比 T_{max} 大時， SW_n 就會縮短至 T_{max} 大小，如圖 6 表示：

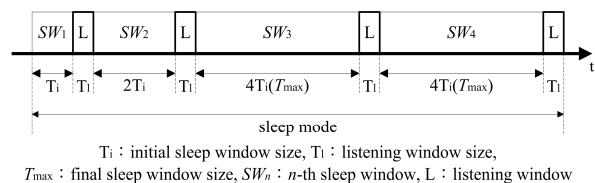


圖 6：Schematic representation of the BTE algorithms

假如在睡眠間隔期間沒有任何封包到達，在聽間隔之後，sleep window 的大小會成長一倍，如果是 SW_{n+1} ，則會是 SW_n 的兩倍， SW_{n+2} 也是 SW_{n+1} 兩倍，以此類推，一直成長至 T_{max} 為止。所以當 MSSs 每次進入睡眠模式時，BTE 就必須不斷的重複前面比較耗電的部份，因此我們設計了動態睡眠間隔決定演算法，透過適應性的調整 initial sleep window 的大小，來減少部分功率消耗，在省電類型 Type I 的部份，

我們定義 T_{min_d} 如下：

$$T_{min_d} = (1 - u) \times T_{min_c} + u \times T_w \quad (3)$$

如(3)式 u 是一個常數為 $0 \leq u \leq 1$ ， T_{min_c} 表示這次的 initial sleep window size， T_{min_d} 表示下一次的 initial sleep window size， T_w 表示進入睡眠模式時，有封包到達 BS，直到 MSSs 到聽間隔，得知有資料要接收，才醒來去接收資料時的這段時間。如圖 7 表示：

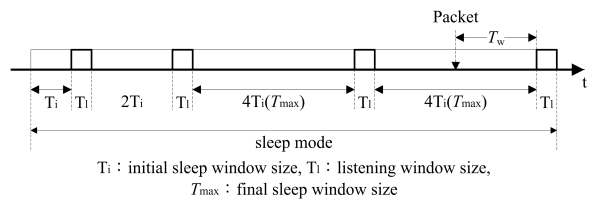


圖 7：Schematic representation of the T_w variable

$$T_{min} = 16 \times 2^{\left\lceil \log_2 \left[\frac{T_{min_d}}{16} \right] \right\rceil} \quad (4)$$

最後透過(4)式來決定 T_{min} 的大小，假如 T_{min_d} 的計算介於 1~16 frame，則 initial sleep window size 設定為 16 frame；如果 T_{min_d} 介於 17~32 frame，則 initial sleep window size 設定為 32 frame，依此類推。且 T_{min} 一定大於等於 initial sleep window size。為了減少睡眠模式下 listening 間隔的數量，所以給予一個適當的睡眠間隔大小，來減少睡眠模式下的功率消耗。在 Type II 的省電類型的計算，亦是以相同的方式。

4.2 交互式排程演算法

此演算法會考慮封包的到達率和預測的誤差值，來決定 Type II 的 sleep window 要排入 Type I 睡眠模式的位置，計算出理想的睡眠模式。決定睡眠間隔的步驟如下：

- 1) 計算封包到達時間的平均值。
- 2) 真正封包到達時間與預測封包到達時間的誤差值。
- 3) 透過封包到達平均值和誤差值計算 Type II 的 sleep window 排入適當位置。
- 4) 在 Type II 的 sleep window 之後，會從目前的 sleep window 以 Type I 的方式

繼續成長至 final sleep window 的大小。

我們更詳細解釋前面的步驟：

第一步：為了能準確預測封包到達的時間，首先要由每個封包到達的時間來計算出平均值， arr'_d 的計算方式如下：

$$arr'_d = (1-u) \times arr_d + u \times (arr_c - arr_p) \quad (5)$$

在這裡 u 是一個常數。 arr_p 是上一次封包到達的時間， arr_c 是目前封包到達的時間， arr_d 是這次預測的封包到達時間， arr'_d 是下次預測的封包到達時間。如圖 8 表示：

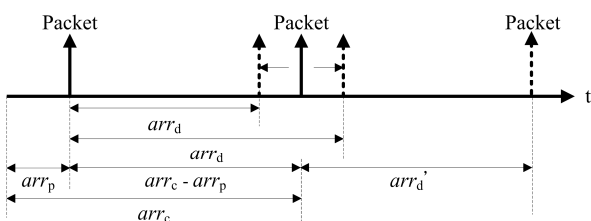


圖 8：Schematic representation of forecast packet arrival time

第二步：透過(5)式，來預測封包到達時間，目的是接近實際封包到達的時間，因此我們將計算誤差值的算式分成兩個部份如算式(6)和(7)。算式(6)，表示落在預測點的前面， dev_c 表示這次預測的誤差值， arr_{dc} 是目前的實際封包到達時間， dev_{f_d} 是目前的誤差值， dev_{f_d} 是下次的預測誤差值。算式(7)，表示落在預測點的後面： dev_{b_d} 是目前的誤差值， dev_{b_d} 是下次的預測誤差值。如圖 9 表示：

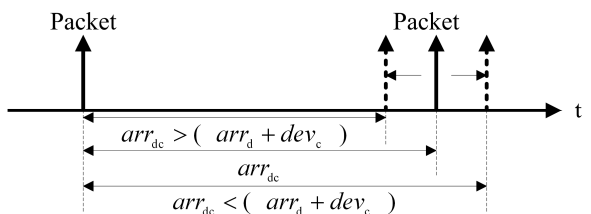


圖 9：Schematic representation of forecast deviation value

當 $arr_{dc} > (arr_d + dev_c)$ 時，表示目前預測的

$$dev_{f_d}' = (1-u) \times dev_{f_d} + u \times (arr_{dc} - (arr_d + dev_c)) \quad (6)$$

$$dev_{b_d}' = (1-u) \times dev_{b_d} + u \times (arr_{dc} - (arr_d + dev_c)) \quad (7)$$

$$dev_d = dev_{f_d}' + dev_{b_d}' \quad (8)$$

arr_{dc} 實際出現的時間比我們 ($arr_d + dev_c$) 所預測的時間點晚，當 $arr_{dc} < (arr_d + dev_c)$ 時，表示目前預測的 arr_{dc} 實際出現的時間比我們 ($arr_d + dev_c$) 所預測的時間點早。最後分別計算落在實際封包到達時間前後數值。 dev_d 為(6)式和(7)式相加的結果，代表下次的預測誤差值，如算式(8)。

第三步：透過先前步驟所預測的封包到達時間，以及計算的偏差值將 Type II 的睡眠間隔排入一個適當的位置，如圖 10 所示：

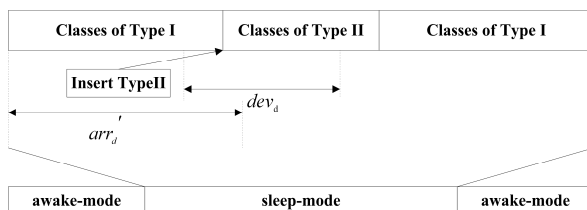


圖 10：Scheduling of sleep mode

因為計算出來所預測的位置，會受到每次封包到達時間的不同而改變，可能的三種情況如圖 11 所示：

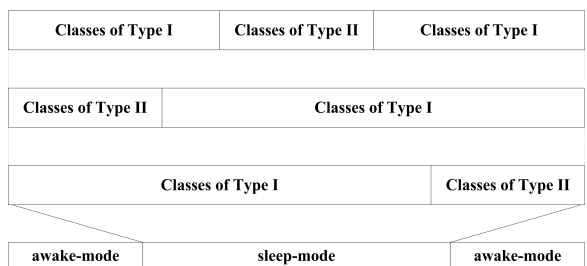


圖 11：Possible of sleep mode

圖 11 可能的情况是 Type II 刚好放置在 Type I 中間，或者一開始進入睡眠時，就進入 Type II，也許可能到最後才進入 Type II 直到睡眠模式結束。

第四步：如同 BTE 演算法 T_{max} 只會停留在 final sleep window 的大小，沒有更進一步的增加，而我們提出的演算法，則是當 Type II 結束時，會從目前的 sleep window 以 Type I 的方式繼續成長至 final sleep window 的大小，除了避免過大的封包延遲，亦能達到省電的目的。如圖 12

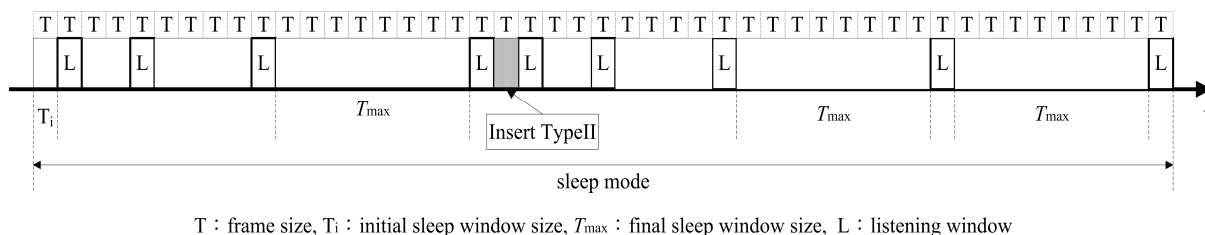


圖 12 : Schematic representation of insert Type II

表示。

5. 模擬結果與分析

在這節中，我們模擬 BTE [2, 4]、Adaptive Power Saving [6]和本文提出的 DASID 演算法，比較總功率消耗和封包延遲的模擬結果。在 IEEE 802.16e 裡，frame 的大小為 5 ms。參數的使用，如表 1。

表 1 : Numerical and Simulation Parameters

參數	設定
Listening interval size	1 Frame
Initial sleep window size of Type I	16, 32, 64, 128, 256, 512 Frame
Final sleep window size of Type I	1024 Frame
Sleep window size of Type II	16, 32, 64, 128, 256, 512 Frame

以 initial sleep window 大小為依據模擬回合數，分為 16、32、64、128、256、512 frame 的 initial sleep window 大小，模擬時間為 2000 秒，封包到達率分別為 0.1 packet/sec 和 0.2

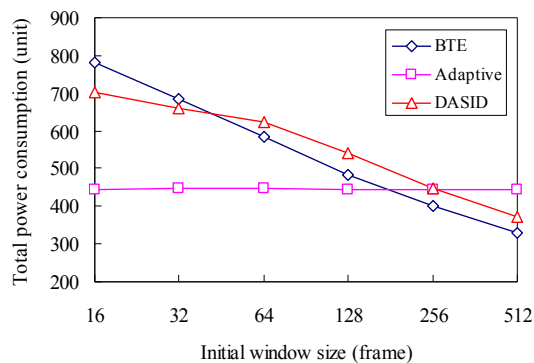


圖 13 : Total power consumption

packet/sec, $u=0.022$ [6]，每個封包的持續時間以均勻分布為 1 到 10 秒。Listening interval 的功率消耗為 1 (unit)=1.5 W [4]，Type II 的 sleep window 大小與 Type I 的 initial sleep window 大小是相同設定，如果 Type I 的 initial sleep windows 為 16 frame，Type II 的 sleep window 大小也會是 16 frame。

圖 13、14 是封包到達率為 0.1 packet/sec 的模擬結果。圖 13 所表示的是總功率的消耗，我們提出的演算法結果趨近於 BTE，當 initial sleep window 為 16 和 32 frame 時，比 BTE 演算法有更好的表現。當 initial sleep window 為 512 frame 時，我們的演算法比 Adaptive 省電。如圖 14，整體的延遲表現，尤其是在 initial sleep window 為 256 和 512 frame 時，比其他兩者都還要好。

我們將總延遲分為 class I (非即時性資料) 和 class II (即時性資料)，因為 BTE 演算法的睡眠模式是針對 class I，所以我們只與 Adaptive 比較。圖 15 可以看到我們提出的 DASID 演算法在所有的 initial sleep window 大小下都比 Adaptive 好。圖 16 則是在 initial sleep window 為 128、256 和 512 frame 時，比 adaptive 的延

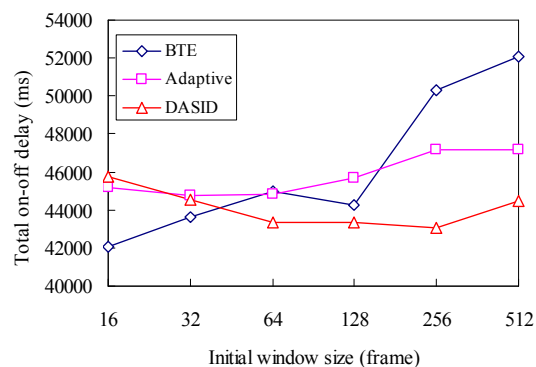


圖 14 : Total packets delay

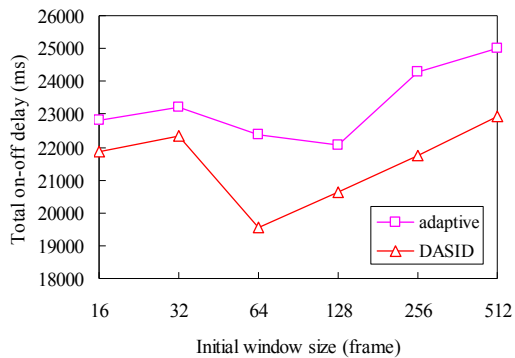


圖 15：Total packets delay of class I

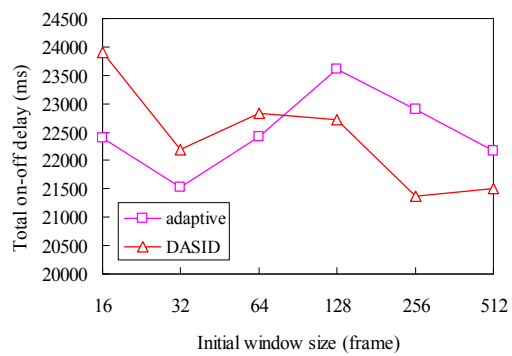


圖 16：Total packets delay of class II

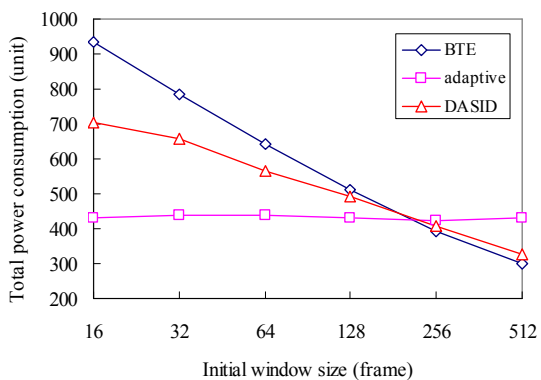


圖 17：Total power consumption

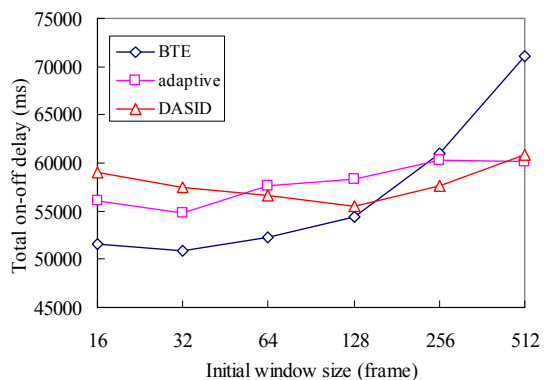


圖 18：Total packets delay

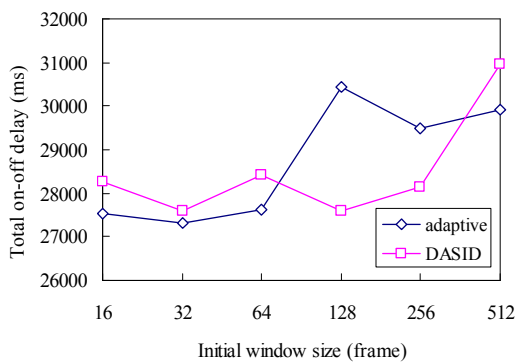


圖 19：Total packets delay of class I

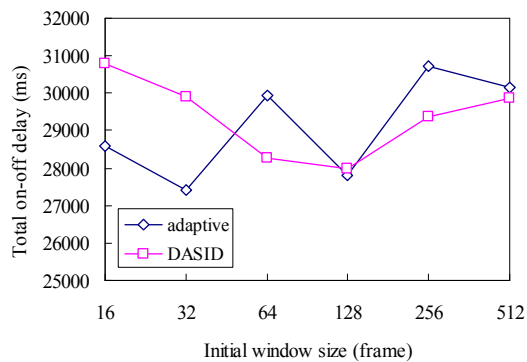


圖 20：Total packets delay of class II

遲表現還要好。

圖 17、18 是封包到達率為 0.2 packet/sec 的結果。因為在此模擬環境中，封包到達率較高，相對到達的封包次數也較多，MSSs 會更頻繁的 sleep 及 awake，所以當睡眠模式中排入 Type II 時，對我們的省電機制整體而言，不會因為排入過多的 Type II 而導致耗電率較高。如圖 17 表示三種演算法的總功率消耗，在 initial sleep window 較小的功率消耗表現比 BTE 好，

同樣的當 initial sleep window 為 256 frame 以上時，我們的演算法比 adaptive 省電。圖 18 為三種演算法的總延遲，可以看到我們提出的演算法，在延遲方面和 Adaptive 相差並不多。

圖 19 可以看到 DASID 演算法在 initial sleep window 為 128 和 256 frame 時，有明顯不錯的表現。而圖 20 則是在 initial sleep window 為 64 和 256 frame 時有不錯表現。整體延遲方面，我們提出的 DASID 演算法，略勝 Adaptive

一籌。

由上面所述，可以看到我們提出的演算法，在封包到達率(0.1 packet/sec)較低時，在延遲方面有很好的表現，功率消耗方面也在可接受的範圍。而封包到達率(0.2 packet/sec)較高時，則是在功率消耗方面有不錯的表現，延遲方面也在可接受的範圍。

6. 結論

在本文中，嘗試修改 IEEE 802.16e 標準下的 Power Saving Classes of Type I 的睡眠模式間隔決定演算法，以及排入 Power Saving Classes of Type II 至適當的位置。經模擬分析可以觀察到當封包到達率較低時，不會因為睡眠間隔過度成長，而導致延遲太長。封包到達率較高時，不會因為省電效率上升，而導致延遲上升，也不會因為頻繁的 listening，造成而外的功率消耗。本文提出的方法可以根據封包到達時間動態的調適 initial sleep window，目的是達到功率消耗和延遲之間的平衡，為了達到理想的省電效率，根據測量的到達率及預測，MSSs 和 BS 應該預先協商適合的轉換，模擬實驗結果證明我們提出的方法在封包延遲及省電效率都有良好的表現。

參考文獻 (References)

[1] IEEE 802.16-2004, Part 16: Air Interface for Fixed Broadband Wireless Access Systems, Standard for Local and Metropolitan Area

Networks, October 2004.

- [2] IEEE 802.16e-2006, IEEE Standard for Local and metropolitan area networks, Part 16: Air Interface for Broadband Wireless Access Systems C Amendment for Physical and Medium Access Control Layers for Combined Fixed and Mobile Operation in Licensed Bands, February 2006.
- [3] Jaehyuk Jang, Kwanghun Han and Sunghyun Choi, "Adaptive Power Saving Strategies for IEEE 802.16e Mobile Broadband Wireless Access", in *Proc. APCC 2006*, Aug. 2006.
- [4] Jung-Ryun Lee, Dong-Ho Cho, "Performance evaluation of energy-saving mechanism based on probabilistic sleep interval decision algorithm in IEEE 802.16e", *IEEE Trans. Veh. Tech.*, vol.56, no.4, pp.1773-1780, 2007/07.
- [5] Lei Kong and Danny H.K.Tsang, "Performance Study of Power Saving Classes of Type I and II in IEEE 802.16e," in *Proc. of IEEE Local Computer Networks Conference*, Tempa, Florida, Nov. 14-16, 2006, pp.20-27.
- [6] Omanand Jha Vatsa, Mayank Raj, Ritesh Kumar K, Deepak Panigrahy and Debabrata Das, "Adaptive Power Saving Algorithm for Mobile Subscriber Station in 802.16e", *CoMsware IEEE Conference*, Bangalore, 2007.
- [7] Shengqing Zhu and Tianlei Wang, "Enhanced Power Efficient Sleep Mode Operation for IEEE 802.16e Based WiMAX", in *Proc. of IEEE Mobile WiMAX Symposium*, Mar. 25-29, 2007, Orlando, FL, USA, pp. 43-47.