

Performance Analysis of Voice Streams over 802.16e

802.16e 網路之語音串流性能分析

王居尉教授

亞洲大學光電與通訊學系

台中霧峰柳豐路 500 號

jw.wang@msa.hinet.net

林俊宏

亞洲大學光電與通訊學系

台中霧峰柳豐路 500 號

a73365312000@yahoo.com.tw

摘要

本論文探討語音串流於 802.16e 網路的性能，當語音源處於靜音(Silence)的狀態下無封包產生，而當處於講話(Talkspurt)狀態時週期地產生封包，此一語音活動性偵測(Speech activity detection, SAD)機制可由一個二狀態的馬可夫鏈描述。在不違反現行已定的標準下，我們建議於上行鏈路 generic MAC header 中加入 subheader，並利用 Type 欄位的位元 0 來定義管理許可次標頭來傳遞 SS 所需的上行頻寬請求。此外我們也建議使用 Type 欄位的位元 1 來定義裝包次標頭，用以將一 SS 中多個語音連線所產生的較短封包多工成較長的封包而以一個上行封包傳送，如此可以大大的減少 MAC 的標頭耗損。在另外一方面因 WiMAX 在 TDD 結構下的訊框架中下鏈及上鏈次訊框邊界是可動態調整，這特性極為適合具 SAD 的語音串流，我們比較了固定邊界及可動邊界的性能。在給定的系統參數下及封包漏失率不超過 1% 的情況下我們的結果顯示可動邊界可以比固定邊界多出兩個語音連線。

Keywords:

802.16e(WiMAX),

語音活動性偵測 (SAD)，
網際網路電話，
封包遺漏機率。

Abstract

This paper studies the performance of voice streams over 802.16e networks. We assume the voice source employs a speech activity detection (SAD) mechanism so no packets are generated when the source stays in silence state and packets are periodically generated when it stays in talkspurt state. The SAD mechanism can be described by a two-dimensional Markov chain. Without violating what have been standardized, we suggest to use extension subheaders in uplink generic MAC header of each MAC protocol data unit (MPDU). The Type field bit 0 in the header is used as an indicator of the presence of grant management subheader which is used for the subscriber station (SS) to ask for uplink bandwidth. In addition, the Type field bit 1 is an indicator of the presence of packing subheader which is for multiplexing the shorter packets from individual voices into a longer packet. By this way, the MAC

overhead can be significantly reduced. On the other hand, as the TDD frame structure allows for dynamical boundaries between downlink and uplink subframes, a feature extremely suitable for voice streams with SAD, we investigate the performance merit of using dynamical boundary for voice streams with SAD. For given system parameters and the constraint of packet dropping probability no more than 1%, our results show that the movable boundary scheme can achieve 2 more voice connections in comparison with the fixed boundary scheme.

Keyword:

802.16e (WiMAX),

Speech activity detection (SAD),

VoIP,

Packet dropping probability.

1. 前言

IEEE Standard 802.16-2001[1]是一項第二代的無線都會型區域網路(Wireless MANTM)的寬頻無線通訊標準，又稱 WiMAX (World Interoperability for Microwave Access, 全球互通微波存取；或稱無線都會區域網路)，於 2001 年 10 月完成標準的審核與制定，並在 2002 年 4 月對外正式發表，宣示出寬頻無線接取技術將成為一項用來連接家庭、企業用戶與電信核心網路的主要工具。因 802.16 規定使用的頻帶為 10-66 GHz 的高頻帶，不利於人通訊領域的使用，於 2003 年 1 月 29 日又通過了 802.16a 的標準，頻率範圍介於 2-11GHz。此外，IEEE 也於 2005 年 12 月通過 802.16e 標準，正式名稱稱為 802.16e-2005，此標準是 fixed 和 Mobile

寬頻接取技術標準，頻帶於 2-6 GHz，採用 SOFDMA (Scable Orthogonal Frequency Division Multiplexing Access)技術來實現對行動性的支援。

WiMAX 協定中定義了兩種網路結構: Point to multipoint (PMP, 單點對多點)及 Mesh (網狀網路)。在 PMP 結構中分為兩部份: BS (基地台, Base Station)及 SS (用戶站, Subscriber Stations), SS 為分散的使用端台, 其訊務傳達於空中介面到達 BS, BS 彙整來自各地的 SS 訊務並將其傳達至網路, 本計畫將探討在此種網路拓撲架構下, 語音串流於 WiMAX 網路的性能。

Wi-MAX 提供的基本傳輸架構有兩種:

(1) 一種為分頻雙工 (Frequency Division Duplex, FDD), 即上行和下行使用不同的頻帶同時進行傳輸。

(2) 一種為分時雙工 (Time Division Duplex, TDD), 即上行和下行是以不同的時間來進行傳輸。

本論文採用 TDD 的架構進行研究, 系統上行與下行傳輸使用 TDM 結構, 每一訊框 (frame) 分成上行 subframe 與下行 subframe, 圖 1 所示, 下行和上行 subframe 的分界是可由基地台適應性的調動。每個 frame 由若干個實體時槽 (Physical slot, PS) 所組成, 一個 PS 時槽由四個 symbol 組成, 所以一個 frame 裡 PS 的數目, n , 可由下式求得:

$$n = \frac{\text{Symbol Rate} \times \text{Frame Length}}{4}$$

在圖 1 的 Downlink subframe 的結構中, 最前端的 preamble 是用於 Physical layer 的同步和等化, 接下來的是 broadcast control burst, burst 的 DIUC (Downlink interval usage code) 編碼固定是 0 包括一個對應到下行通道其它 bursts 的 DL-MAP 和對應到上行 subframe 的 UL-MAP, 此外也包含其它廣播訊息如 DCD (Downlink channel descriptor) 和

UCD(Uplinklink channel descriptor) 等。接下來的是若干個來傳送 data 的 TDM bursts，而最後是一個 TTG(Tx/Rx Transition Gap)作為傳送與接收的區隔，亦即是 downlink 和 uplink subframe 的區隔。Uplink subframe 中的 Contention initial ranging 是用來給新加入系統尚未取得 CID (Contention Identifier) 的使用者使用競爭的方式和系統取得連接，而 Contention BW-Request 是用於已連接中的使用者的以競爭的方式向系統要求頻寬。在此之後接著是若干個在 downlink subframe UP-MAP 廣播的 data bursts，定的 SS 可傳送訊務於這些 bursts. 最後是個 RTG (Receive/Transmit transition gap), 在此時間，BS 由接收模式切換至傳送模式，而 SS 由傳送模式切換至接收模式，這個間隔是 PS 的整數倍而且開始於 PS 的邊界。

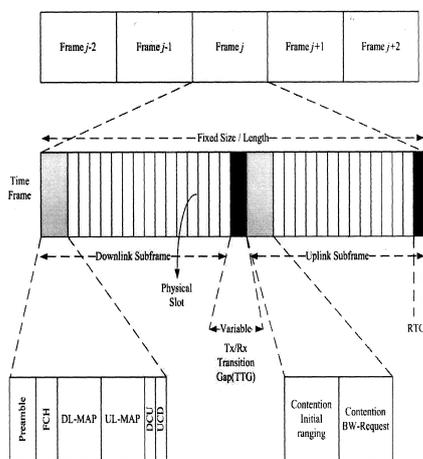


圖 1：IEEE 802.16 TDM frame structure

IEEE 802.16 MAC 能夠支援多種不同 QoS 需求的服務 (例如：資料、語音、影像…)且有連線導向 (Connection-oriented)的 MAC 技術，每個連線擁有各自的佇列，儲存待處理的封包。當收到 UL-MAP 時，MAC 會通知封包排程器根據各連線的服務品質進行頻寬配置，並組成協定資料單元 (PDU)再轉送到實體層。

IEEE 802.16 定義 5 種 scheduling 的服務類別：UGS (Unsolicited Grant Service)、rtPS (real-time Polling Service)、Extended-Real-Time Polling Service (ertPS)、nrtPS (non-real-time Polling Service)及 BE (Best Effort)，其中 ertPS 級別極為適合本研究所提之具 SAD 之語音通話服務。

2. 研究方法

在 WiMAX 的相關研究中，具有 SAD 功能的語音源已被泛的探討應用於 WiMAX 網路的 VoIP 語音服務中 [3-6]，為了增加網路頻寬資源的效率，對語音源考慮 SAD 可在靜音時抑制語音封包傳送，如圖 2 所示，其中 SIL 代表靜音 (Silence)而 TLK 代表講話(Talkspurt)。於靜音時無封包產生而於講話時週期性地產生封包，所以如何進行頻寬的釋放與保留是一個重要的課題。如在無線網路的下行鏈結或是有線 VoIP 網路的語音彙整閘道(Gateway)因每一語音源有獨立專用的線路連至多工器，多工器知道每一語音源的狀態，則通道資源分配可由多工器進行，並不需要有競爭或其它複雜的機制 [7]，但若是像無線網路的上行鏈結因 BS 並不知道語音源所處的狀態，必需要有特定的機制使得語音源能將語音是處理於靜音或講話的狀態傳達至 BS，這機制可用競爭預約的方式 [8]、保留特定時槽給所有通話中的語音源 [9] 或是用輪詢(Polling)的方式如 WiMAX 的 rtPS 服務。

文獻 [3] 探討並比較使用 802.16 協定提供 UGS、rtPS 及 ertPS 服務的性能，但在 ertPS 服務方面作者僅簡單說明利用預先配置的頻寬給 SS 使用，並未說明詳的操作細節。文獻 [4] 提出一種增強式的 802.16e 上鏈 VoIP 訊務排程的演算法，文中提議使用傳送於上鏈的 MPDU(MAC

Protocol Data Unit)封包中的 Generic MAC header 的兩個保留位元中的一個作為靜音和講話的指示，使得 BS 知道語音源的狀態，但此提議有兩個主要的問題，其一是當 SS 於靜音時並無需傳送 MPDU，且若 SS 也沒有其它類別服務的封包傳送時便無法透過保留位元傳達狀態，另一問題是 802.16e 除支援 mobile stations 外也支援 fixed stations，而每 fixed station 可能同時有多個語音的連接，而該文中並未探討此情況，僅探討一 SS 有單一連接的情況。

本論文主要是參考文獻中現有提出使用 802.16e 提供具有 SAD 語音源服務的方法，在不違反現有已定的標準的情況下，提出修正的操作方法，使得語音串流於 802.16e 中能獲得更佳的性能。我們考慮的是 PMP 的網路連接模式，亦即一 BS 連接至數個 SS，且每一 SS 同時有數個語音連結，每個語音連結可由圖 2 的馬可夫模型描述。最主要的觀念是我們提議結合 802.16e 所提供的 ertPS 及 rtPS 服務類別及可調式下行及上行鏈路長度的特性提供語音源於靜音及講話交替時的頻寬釋放及取得操作，且利用可變上下鏈長度提供更佳的語音性能，我們的提議如下列說明。

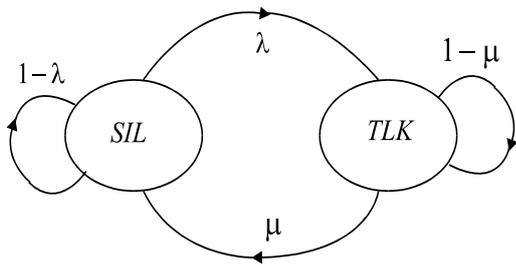


圖 2 Two-state Markov process for characterizing voice sources.

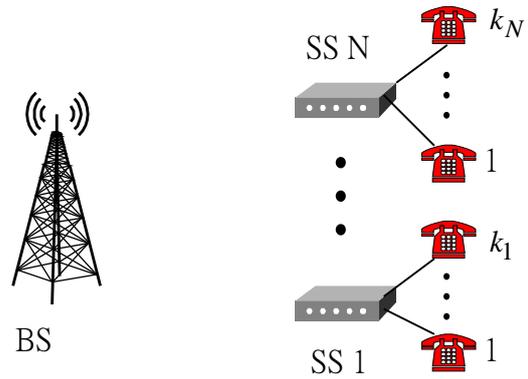


圖 3 系統架構圖

2.1 系統架構

我們假設有 N 個 SSs 和 BS 連線，每一 SS 中有 $k_i, i=1, \dots, N$, 個語音，如圖 3 所示，每個語音可用圖 2 示的馬可夫模型特徵化，處在靜音的語音不產生封包，所以每個 SS 所需的傳送頻寬隨時會改變。因在下行方向 BS 可以控制頻寬的分配，我們在本論文中僅探討上行方向的操作及性能。在上行方向當每一 SS 的依據處於講話的數目向 SS 請求頻寬，當沒有改變時頻寬就持續保持，所以就不需有頻寬請求的動作，所以這是一種 ertPS 的服務。

2.2 操作方法

在 802.16e 協定的一般 MAC 標頭(Generic MAC header)的欄位中有一個 6 位元的 Type 欄位，其中和本提議有關的有兩個欄位，一為最低位元 0，此欄位於上行方向為許可管理次標頭(Grant management subheader)的有無標記，另一為位元 1 的裝包(packing subheader)的有無標記 [10]，兩者都是 0 表示沒有出現，而 1 表示有出現。如前所提每個 SS 的講話中語音會隨時改變，所以於改變時需通知 BS 以進行上行頻寬調整，於此我們建議當 SS 至少有一語音連接時使

用附帶(Piggyback Request)請求的方式，將所要請求的頻寬位元組的數目以次標頭的方式附掛於傳送封包的一般標頭之後。802.16e 的規格指出當服務級別不是 UGS 時附帶請求次標頭有 16 位元，這 16 位元可用於指出所需的位元組數目，如圖 4 所示，所以當 SS 至少有一語音處於講話中時 SS 便可利用傳送語音封包時將請求的訊息附帶送出。但當 SS 的全部語音都處於靜音時因 SS 沒有封包傳送，此時若狀態改變時無法以附帶請求的方式請求頻寬，我們提議於此狀態下 BS 需以單播(Unicast)的方式定期詢呼(Polling)SS，SS 被詢呼時若狀態沒有改變則不理會詢呼，若狀態改變時則可使用無承載標頭(Header Without Payload)的方式傳送頻寬請求。當 SS 的語音連線數目很多時全部語音均處於靜音狀態的機率極低，所以詢呼所造成的頻寬耗費(Overhead)不會很大。

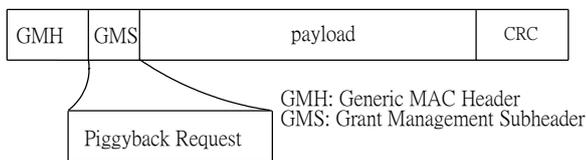


圖 4 附帶請求次標頭

2.3 語音封包多工

現今的語音壓縮技術已相當進步，其速率已相當低，如使用 G.728 時其速率只有 16 kbps，若使用 G.729 時速率更是只有 8 kbps，因速率低，每語音連線在一個訊框時間內所產生的封包並不是很大，若單一語音的封包每次均以一個 MPDU (MAC protocol data unit) 傳送將造成很大的標頭耗費，形成頻寬的使用效率極差。為了提升頻寬效率，在本論文中我們將每一 SS 的語音封包以裝包的方式多工成一個(或多個)MPDU，多工的方式可以利用前述 802.16e 協定規定的裝包次標頭，亦即於每個 SS 所產生的封包前加入包次標頭，這次標頭指出封包所屬

的 CID，多個語音封包再組成一個 MPDU 傳送於無線電介面，如圖 5 所示。在接收端收到 MPDU 以後可依次標頭所指出的 CID 將每個小的語音封包解多工至所屬的 CID，如此可降低 MAC 層的標頭耗費。

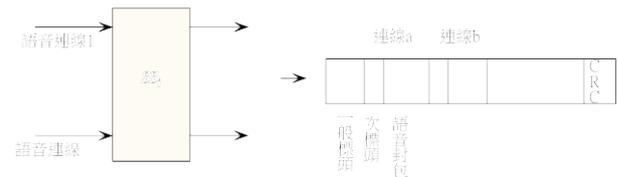


圖 5 語音封包多工

3. 性能分析

在 WiMAX 的通道中有可能同時有多種不同 QoS 級別的服務，如 UGS, rtPS 或 Best effort 等，這些服務分別依協定所規定的操作方式操作。在此我們著於具有靜音偵測的語音通話的性能，所以不考慮其他服務級別。假設所有語音通話都使用相同的 codec (如 G.728)，而 BS 可以提供給所轄語音連線最多 C 個通話所產生的封包的無線頻寬，其他無線電資源則提供給其他級別的服務，因而在所有 N 個 SS 中最多有 C 個語音可以同時進行封包傳遞，若處在講話串狀態的語音數目大於 C，則超過的部份其所產生的封包將丟棄，我們所關心的是在 C 個容量及語音封包漏失不超過一定百分比(如 1%)的情況下，系統可以同時支援最大的語音連線數目。

在另一方面，在 TDD 結構的 WiMAX 中，其訊框結構的上行和下行邊界是可以於所訊框中改變，因語音通話的上行及下行同時處在講話的數目是一統計的隨機變數，因而上下行邊界依同時講話的數目改變將可提升頻寬的使用彈性，因而也可以減少語音通話的封包漏失率，更進一步可以同時提供更多的語音連線數目。依此考量我們將比較 TDD 結構固定邊界及可動邊界對系統性能的影響。

於圖 3 中我們指出系統中有 N 個 SS 同時和 BS 通訊，每一 SS 有 k_i 個語音連線，且假設所有語音處於假講話串的機率是 p ，則 SS_i 中同時有 x_i 個講話串的機率為

$$P_r(X_i = x_i) = b(k_i, x_i, p) = \binom{k_i}{x_i} p^{x_i} (1-p)^{k_i - x_i}, \quad (1)$$

假設所有語音均使用相同的 codec，則對固

定訊框邊界方法的封包漏失率，當 $\sum_{i=1}^N x_i > C$ 時

可以依下式求得，

$$P_{drop}(x_1, \dots, x_N) = \frac{\sum_{i=1}^N x_i - C}{\sum_{i=1}^N x_i}, \quad (2)$$

若 $\sum_{i=1}^N x_i \leq C$ ，則 $P_{drop}(x_1, \dots, x_N) = 0$ 。對所有系統

可能的狀態平均可求出系統的平均封包漏失機率，如下：

$$P_{drop} = P_{drop}(x_1, \dots, x_N) \pi(x_1, \dots, x_N), \quad (3)$$

$\pi(x_1, \dots, x_N) = b(k_1, x_1, p) \cdots b(k_N, x_N, p)$ 。當考慮可動邊界時，我們假設語音通話的兩端的講話行為是統計獨立的，則由每一 SS_i 的下行方向同時的講話數目 y_i 一樣可由(1)式的 Binomial 分佈求得。則對可動訊框邊界方法的封包漏失

率，當 $\sum_{i=1}^N (x_i + y_i) > 2C$ 時可以依下式求得：

$$P_{drop}(x_1, \dots, x_N, y_1, \dots, y_N) = \frac{\sum_{i=1}^N (x_i + y_i) - 2C}{\sum_{i=1}^N (x_i + y_i)}. \quad (4)$$

之後可以用和(3)式相似，對所有系統的狀態機率進行平均求得系統的平均封包漏失機率。

4. 數值結果

在所有語音通話採用相同的語音編碼的假設下，每訊框期間每一語音產生一速率為 R_b 的短封包，每一 SS 的短封包再經多工成一較大之封包傳送。假設當採用固定邊界時 BS 可以提供最多單向 $C \cdot R_b$ 的通道容量來傳送語音，所以在可動邊界時則最多可提供 $2C \cdot R_b$ 的頻寬來傳送語音。為求數值解，我們假設共有 4 個 SS 連接至 BS，其中 $k_2 = k_3 = k_4 = 5$ ，而以 k_1 為變數。由圖 6 中我們可以看出，當使用固定次訊框邊界時 P_{drop} 於 $k_1 = 3$ 時便超過 10^{-2} ，所以若可接受的漏失率為不超過此數值，則允許的 k_1 是 2，因尚有 15 個語音連接於其他 SS，則系統共可提供 17 個連接，若不採用靜音抑制，系統僅能提供 10 個連接，顯見靜音抑制可以提升不小的系統容量。在另一方面，當採用可移動次訊框邊界時，因上行和下行的頻寬可彈性調用，使用效率會比固定邊界好，圖 6 中顯示當採用可移動邊界時，在 $P_{drop} \leq 0.01$ 的條件下可允許的 k_1 數是 4，比固定式多出 2 個語音連接。

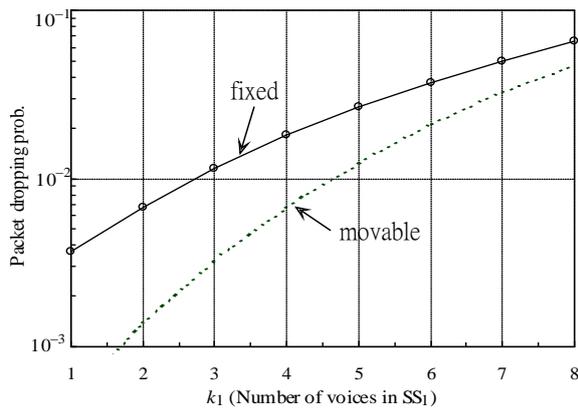


圖 6 Packet dropping probability as a function of k_1 with $N=4$ and $k_i=5$, $i=2 \sim 4$.

5. 結語

在本論文中我們探討了在 WiMAX 中傳送具靜音抑制的語音傳送方法。我們建議當 SS 中語音連線處講話狀態的數目改變時，採用一般訊框次標頭附帶的方式將所需的頻寬訊息傳至 BS 使之能據以分配頻寬。在另一方面，我們也建議將在 SS 中將每個語音連線所產生的封包多工成較大的封包，相較於每一個語音封包單獨以一個 MPDU 傳送，此法可以大大減少標頭耗費，增加頻譜的使用效率。此外，我們也比較固定次訊框邊界及可動式次訊框邊界方法於傳送抑制語音靜音的性能，結果顯示在我們給定的系統參數及相同的 P_{drop} 要求下，可動式邊界的方法可以增加 2 個語音連線。

6. 參考文獻

[1] IEEE 802.16-2004, "IEEE standard for local

and metropolitan area networks-part 16: air interface for fixed broadband wireless access systems," Oct. 2004.

[2] IEEE 802.16e/D8-2005, "IEEE standard for local and metropolitan area networks-part 16: air interface for fixed and mobile broadband wireless access system," May 20, 2005.

[3] D. Zhao and X. Shen, "Performance of packet voice transmission using IEEE 802.16 protocol," *IEEE Wireless Comm.*, pp. 44–51, Feb. 2007.

[4] H. Lee, T. Kwon, and D.-H. Cho, "An enhanced uplink scheduling algorithm based on voice activity for VoIP services in IEEE 802.16d/e," *IEEE Comm. Letters*, vol. 9, no. 8, pp. 691–693, Aug. 2005.

[5] C. Cicconetti, A. Erta, L. Lenzini, and E. Mingozzi, "Performance evaluation of the IEEE 802.16 MAC for QoS support," *IEEE Trans. Mobile Computing*, vol. 6, no. 1, pp. 26–38, Jan. 2007.

[6] H. Lee, T. Kwon, and D.-H. Cho, G. Lim, and Y. Chang, "Performance Analysis of Scheduling Algorithms for VoIP Services in IEEE 802.16e Systems," *IEEE VTC 2006-spring*, pp. 1231–1235, 2006.

[7] J. W. Wang and Y. H. Chen, "Voice Streams Multiplexing for IP Telephony Systems," *International Journal of Electrical Engineering*, vol. 14, no. 5, pp. 349–356, Oct. 2007.

[8] D. J. Goodman and S. X. Wei, "Efficiency of packet reservation multiple access," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 40, no. 1, pp. 170–176, Feb. 1991.

[9] J. H. Wen and J. W. Wang, "Performance Analysis of non-collision packet reservation

multiple access protocol for wireless communications,” *International Journal of Parallel and Distributed Systems and networks*, vol. 2, no. 1, pp. 10–16, 1999.

- [10] Loutfi Nuaymi, “*WiMAX Technology for Broadband Wireless Access*,” John Wiley & Sons Ltd.,