

WiMAX 中繼系統之回授干擾消除機制

李永定

台灣可億隆(股)公司/協理
yungting.lee@coiler.com.tw

尹華強

台灣可億隆(股)公司/經理
hcyin@coiler.com.tw

摘要

基於 OFDMA 技術之移動式 IEEE 802.16e WiMAX 目前陸續在全球展開營運佈建中。然而面對都會地區多變的地形地物影響，尤其是如建築物室內及地下室地區，WiMAX 基站與用戶端之間的通訊相對顯得困難。加上 WiMAX 網路所強調的是無線數據服務，因此對 WiMAX 信號品質的要求較高。綜觀上述環境及條件，若僅透過室外 WiMAX 基站來達到所有覆蓋需求的話，無疑需要相當昂貴的成本支出，也相對不切實際。因此，使用具有中繼能力的中繼器(Repeater)或中繼站(Relay)便成為符合經濟效益的解決方案。然而上述的 WiMAX 二項中繼系統在傳送端傳送之信號會對接收端形成回授干擾，嚴重時將造成中繼系統無法正常操作。因此本論文提出一種回授干擾消除機制，以確保即便在隔離度不足的環境下，WiMAX 中繼系統仍能正常工作。

關鍵詞：WiMAX、中繼器、中繼站、干擾消除

Abstract

At present, many Mobile WiMAX networks, which are based on IEEE 802.16e OFDMA technology, have been deployed worldwide. Although WiMAX is originally designed to deliver broadband data services to the end users, it still faces the coverage problems in outdoor and indoor environments. One typical approach is to install more and more base stations to enhance the coverage as well as the capacity. However, it is not a cost-effective way under the considerations of expense of installation and maintenance, especially when a WiMAX network is just initially launched. As a result, utilizing WiMAX repeaters or transparent relays should be a better way to resolve the coverage problems in WiMAX networks. One traditional issue to deploy the above two WiMAX relaying systems is the insufficient RF isolation between the

transmitter antenna and the receiver antenna. In worse case, the insufficient RF isolation will make the WiMAX relaying system unable to work normally. In this paper, we propose an Interference Cancellation Scheme (ICS) for the WiMAX relaying systems to resolve the problem of insufficient RF isolation.

Keywords: WiMAX, Repeater, Relay, Interference Cancellation

1.前言

隨著科技日新月異，原有的主流行動通訊系統技術已由第二代 GSM 技術發展到第三代行動電話 WCDMA 技術。各家業者除了在語音優化技術與服務提昇外，對於 Data 方面的運用有了更多發展及運用，尤其近期的 3.5G/HSPA 技術在全球更是快速發展。然而在 3G/3.5G 系統發展的同時，基於正交分頻多工(Orthogonal Frequency Division Multiplexing, OFDM)技術的 IEEE 802.16e WiMAX[1][2] 卻以黑馬的姿態出現，且 IEEE 802.16j [3] 已規範可提供無排程演算的穿透式中繼站(Transparent Relay)和有排程演算的非穿透式中繼站(Non-transparent Relay)等二項中繼系統。一般預期 OFDM 將為第四代行動通訊的無線技術核心，因此全球各界一開始便對 WiMAX 產業寄予厚望。然而面對都會地區多變的地形地物影響所造成的遮蔽，尤其是如建築物室內及地下室地區等通訊死角，使得 WiMAX 基站與用戶端之間的通訊相對顯得困難。

上述的問題的一種解決方式為縮小基地台有效覆蓋範圍，以確保用戶端在訊號遭嚴重遮蔽時，仍有一定的機率可維持連線，此外亦可透過小基地站的設立，來填補大基地站的通訊死角。另一方式則為使用中繼系統來使覆蓋範圍能夠擴大及補強。透過縮小基地台有效覆蓋範圍或增加小基地站的設立等作法都將會提高設備成本及日後的營運維護成本；而對同頻(In-band) 中繼系統而言，典型的問題在於傳送端傳送之信號會對接收端形成回授干擾，造成

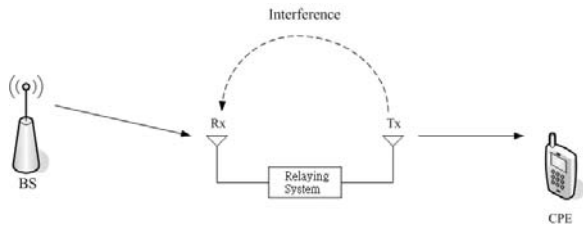


圖 1 WiMAX 中繼系統回授干擾示意圖

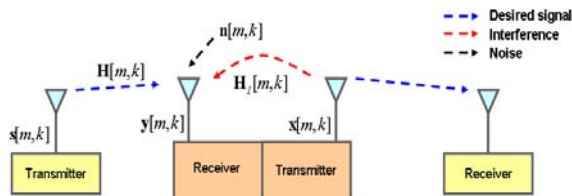


圖 2 回授干擾模型

中繼系統無法正常操作。傳統解決此回授干擾的辦法是透過拉遠傳收天線之間的距離，再加上自動增益控制(Auto Gain Control, AGC)來達到降低回授干擾的目的，然而這對小型 WiMAX 中繼系統來說，由於主機本體較小，能提供的隔離本來就比較有限，加上室內佈建的限制及非專業使用者的不適當安裝，將會導致回授干擾在室內小型 WiMAX 中繼系統上會更加嚴重。以下圖為例，對 1W 的中繼系統來說，Rx 端收到來自基地的訊號強度大約是 -80dBm 左右，而在全功率下 Tx 發射出的訊號強度為 30dBm。即使傳送天線與接收天線背對背，同時距離 1.5m，該回授干擾到達接收天線也將近有 -50dBm。相較於 -80dBm 的信號來說，這是一個非常大的干擾。此時僅靠傳統類比的濾波方式在技術上是根本不可能把該同頻干擾給濾掉。

綜合上述，在本論文中將透過數位信號處理的技術並結合 WiMAX 物理層信號的特性，提出適用於 WiMAX 之回授干擾消除機制 (Interference Cancellation Scheme; ICS)，以便在回授干擾導致中繼系統震盪進而毀損 WiMAX 中繼系統的問題上，得到較佳的解決。

2. WiMAX ICS 機制

2.1 回授干擾模型

圖 2 說明 WiMAX 中繼系統同時收發無線射頻信號所造成的干擾問題，其中由於 Transmitter Antenna 及 Receiver Antenna 之間的距離為固定且有直線通訊 (Line-of-Sight; LOS) 的條件，因此可假設圖 2 中的回授干擾通道響

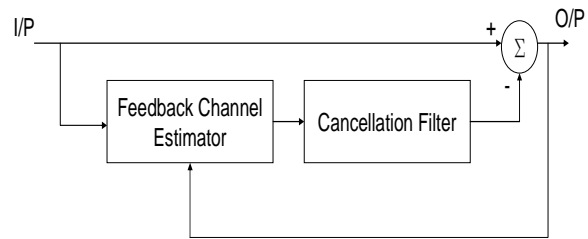


圖 3 WiMAX ICS

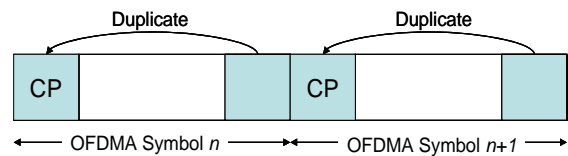


圖 4 OFDMA Symbol Structure

應 $H_i[m,k]$ 為緩慢變化且為 One-Tap Delay 的通道模型。

基本上，透過天線的前後比 (Front-to-back ratio; F/B ratio) 以及天線之間的空間距離，Relaying Transmitter Antenna 及 Relaying Receiver Antenna 之間的隔離度可以達到 80dB 左右。而 WiMAX 中繼系統的接收來自基地的信號強度大多在 -80dBm 與 -90dBm 之間，因此如果能透過 ICS 再增加 $(10+n)$ dB 的回授干擾衰減，其中 n 為 Relaying Maximum Transmit Power，那麼對於中繼系統的接收部分就不會有太大的影響。

2.2 WiMAX ICS 演算法

圖 3 說明 WiMAX ICS 主要由 Feedback Channel Estimator 及 Cancellation Filter 所組成，其中 Feedback Channel Estimator 的目的在於估計出回授干擾對應 Channel Response，而 Cancellation Filter 基本上為 Feedback Channel Response 與輸出信號的旋積 (Convolution) 來產生回授干擾信號的估測值，以便後續之干擾消除使用。

由於 Interference Channel 為具有微量頻偏 (≤ 5 Hz) 的 One-Tap Delay Channel，因此可透過 Blind CP Detection 及 Preamble Correlation 兩步驟來取得 Feedback Channel Response 的大小及相位等通道參數，說明如下。

2.2.1 Blind CP Detection

主要利用 OFDMA Symbol CP (Cyclic Prefix) 的特性來估計粗略的 Preamble 延遲相位 [4]。相關工作原理為如圖 4 所示，在 OFDMA

Symbol 結構中，CP 為複製 OFDMA Symbol 的一部份，因此可以在取樣的樣本上，盲目地擷取 CP 長度的接收資料並與應對應的接收資料部分作 Correlation，如果擷取到的取樣恰為 OFDMA Symbol CP 時，理論上此時的 Correlation 值為最大。在得到 CP 的估計位置的同時，亦可求出 Fractional CFO (Carrier Frequency Offset)。

2.2.2 Preamble Correlation

由於 WiMAX 系統中，不同 Segment 的 Preamble Cross-correlation 低，因此可以以 Interference Preamble 為參考信號來進行通道的估測得到 Feedback Channel Response 的大小及相位。

估測 Interference Preamble 的相關工作原理如下[5]：由於在 WiMAX 系統中，Preamble Sequence 之前定義為 RTG (Receive to Transmit Transition Gap)，也就是說在 RTG 時間區間內視沒有任何 WiMAX 信號存在，因此可以先透過 Power Detection 及 2.2.1 中 Blind CP Detection 來估計得到 Preamble OFDMA Symbol 的大概起始位置。接著以該起始位置為中心，定義一個 Search Window，在該 Search Window 內每次擷取對應之 N_{FFT} 點的接收信號取樣作為 Candidate Preamble Sequence，接著將此 Candidate Preamble Sequence 與 Interference Preamble Sequence 的共軛向量進行 Time Domain 的向量點對點相乘。由於存在 CFO，因此該 Time Domain 向量可以用下式表示：

$$P_d^*(n) \times [A \times P(n - m + T_d) \times e^{-j2\pi \times \frac{CFO}{N_{FFT}} \times (n - m + T_d)}]$$

其中 $P_d(n)$ 為已知之 Interference Preamble Sequence，而 $P(n)$ 為接收的 Preamble，此外 A 為接收 Preamble 的大小， T_d 為接收 Preamble 的時延，而 m 為 Search Window 中的 Time Offset。

假設 T_d 落在 Search Window 內，即存在一個 m 值可滿足 $|m - T_d| \sim 0$ ，在補償 T_d 後做 FFT 運算所得的 Frequency Domain 向量中，當某一 Element 的絕對值為最大值時，意味該 Element 已補償 Integral CFO，同時此時的最大值為 $A \times |P_d(n)|^2$ 。因此根據上述，將在 Search Window 內每一個 Time Offset 所對應的 Time Domain 向量進行 FFT 轉換成 Frequency Domain 的向量，針對該 Frequency Domain 向量中取出最大絕對值及對應之位置。如此一來，在 Search

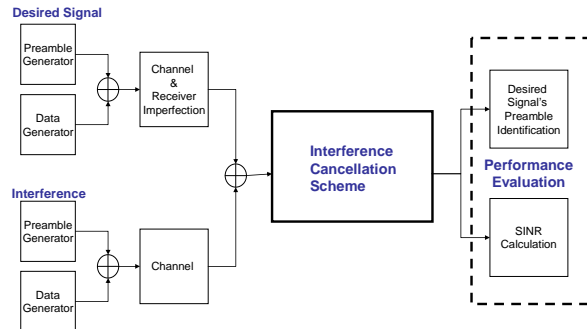


圖 5 WiMAX ICS 模擬架構

Window 內所有最大絕對值中的最大值所對應的位置即為 Interference Preamble 之 Time Delay 的估測值，同時該最大絕對值的最大值除以 $|P_d(n)|^2$ 後，即為 Interference Preamble 大小的估測值。

3. WiMAX ICS 模擬

WiMAX ICS 的模擬架構如圖 5 所示。

3.1 信號產生器

信號產生器包括 Preamble Generator 及 Data Generator。前者依據 IEEE 802.16 標準產生 2 個不同 Segment 的 Preamble OFDMA Symbols，其中一個作為 Desired Signal，而另一個作為回授干擾信號；而後者則是隨機產生 Data OFDMA Symbols。

3.2 通道效應及接收端不匹配

在通道效應部分，針對 Desired Signal 及 Interference 的每一個 OFDMA Symbol 加上對應的通道響應及依據接收端所預期之 SNR 加上對應的 AWGN。另外在接收端不匹配方面，針對 Desired 接收資料的每一個 Sample 產生載波誤差 (Carrier Frequency Offset, 含 Integral CFO 及 Fractional CFO)、取樣誤差 (Sampling Offset)。至於 Interference 接收部分，因 Interference 的接收與傳送為用同一頻率振盪源及 Clock，故以 2.5GHz 載波且 10MHz 通道下，僅需考慮 <10.94kHz 的頻偏。

3.3 效能評估

為評估 WiMAX ICS 演算法之效能，分成 Desired Signal's Preamble Identification 及 SINR (Signal-to-Interference and Noise Ratio) Calculation 二方面進行，其中前者主要是透過 Desired Signal 中 Preamble 的辨識正確率，來評估干擾消除演算法的效能；而後者則是以

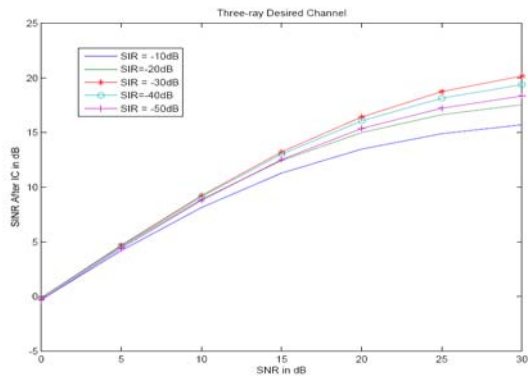


圖 6 Example 1 模擬結果

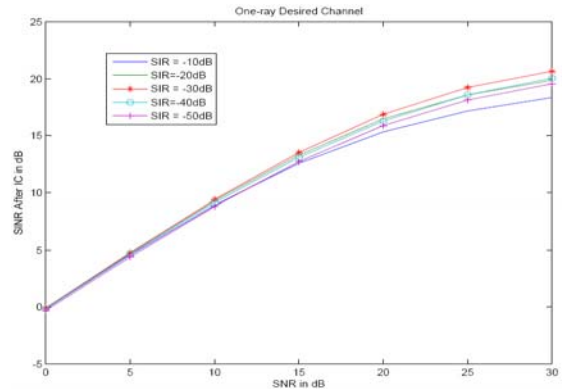


圖 8 Example 3 模擬結果

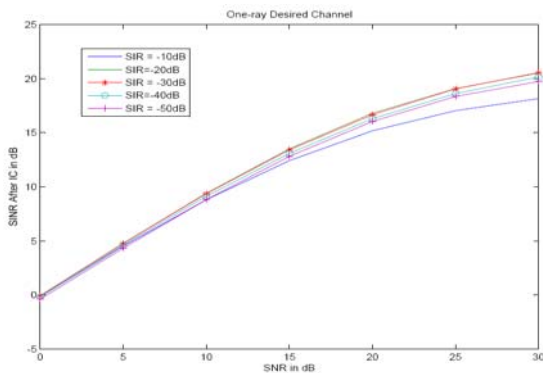


圖 7 Example 2 模擬結果

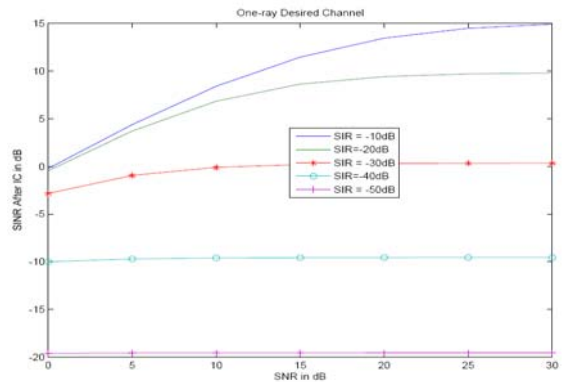


圖 9 Example 4 模擬結果

Desired Signal's Preamble 部分來計算干擾消除前後所對應的 SINR 之變化。基本上在評估此項效能時，考慮在不同 SIR (Signal-to-Interference Ratio) 下，輸入信號的 SNR (Signal-to-Noise Ratio) 與 ICS 輸出信號的 SINR 關係。理論上，當 ICS 完全消除回授干擾時，輸出信號的 SINR 會等於輸入信號的 SNR。

Example 3: Desired Signal Channel 為 One-ray Channel 且 Interference Channel 有 5Hz 頻偏。模擬結果如下圖所示，在 Desired Signal Preamble 偵測上僅在 SIR=-50dB 時出現一次錯誤，即錯誤機率為 1%，其餘 SIR 值均偵測正確。

3.4 模擬結果

圖 5 之模擬架構進行 MATLAB 模擬。模擬參數設定如表 1 所示。

Example 1: Desired Signal Channel 為 Three-ray Channel 且 Interference Channel 並無任何頻偏。模擬結果如下圖所示，在 Desired Signal Preamble 偵測上僅在 SIR=-50dB 時出現一次錯誤，即錯誤機率為 1%，其餘 SIR 值均偵測正確。

Example 2: Desired Signal Channel 為 One-ray Channel 且 Interference Channel 無任何頻偏。模擬結果如下圖所示，在 Desired Signal Preamble 偵測上僅在 SIR=-50dB 時出現兩次錯誤，即錯誤機率為 2%，其餘 SIR 值均偵測正確。

表 1: 模擬參數設定

Parameter	Value
Carrier frequency	2500MHz
Channel bandwidth	10MHz
Cyclic prefix factor	1/8
Preamble power boost	6dB
SNR of desired signal	0~30dB
Signal-to-Interference Ratio	-10~-50dB
Channel response of desired signal	One-ray channel or Three-ray channel
Channel response of feedback interference	One-ray channel
Noise	Complex AWGN
Total frequency deviation of desired signal at receiver	50ppm
Number of Iteration	100

Example 4: Desired Signal Channel為 One-ray Channel且Interference Channel有12kHz頻偏。模擬結果在Desired Signal Preamble偵測上在SIR=-40dB及-50dB時全部都偵測錯誤，其餘SIR值均偵測正確。

4. 結論

本論文提出了一種適用於WiMAX中繼系統之回授干擾消除機制，模擬結果顯示該回授干擾消除機制在One-ray Interference Channel下能有效地消除回授信號。當Feedback Interference Channel Response存在Multi-ray時，可以搭配Power Ramp-up的方式來進一步處理，也就是說一開始先將WiMAX中繼系統的輸出功率設為最低，此時輸出信號所造成的回授干擾將接近One-ray，因此可先透過本論文中的ICS演算法將其消除，之後逐漸提高WiMAX中繼系統的輸出功率，每當輸出功率到一個階段，將會產生新的One-ray回授干擾，亦可再藉由本論文的ICS演算法將之消除。以此類推，便可解決Multi-ray Feedback Interference的問題。

誌謝

本論文計畫由經濟部技術處獎勵研究，契約編號：S09800030263-129。

參考文獻

- [1] IEEE Std. 802.16e-2005, Amendment to IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks - Part 16: Air Interface for Fixed Broadband Wireless Access Systems-Physical and Medium Access Control Layers for Combined Fixed and Mobile Operation in Licensed Bands,” IEEE Standard, February 2006.
- [2] IEEE Std. 802.16-2009, IEEE Standard for Local and metropolitan area networks - Part 16: Air Interface for Broadband Wireless Access Systems , IEEE Standard, May 2009.
- [3] IEEE Std. 802.16j-2009, Amendment to IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks - Part 16: Air Interface for Broadband Wireless Access Systems -Multihop Relay Specification, IEEE Standard, June 2009.
- [4] J.-C. Lin, “Maximum-likelihood frame timing instant and frequency offset estimation for OFDM communication over a

fast Rayleigh fading channel,” IEEE Trans. Vehicular Technology, vol. 52, no. 4, pp. 1049–1062, July 2003.

- [5] Kun-Chien Hung and David W. Lin, “Joint detection of integral carrier frequency offset and preamble index in OFDMA WiMAX downlink synchronization,” pp 1959 – 1964, Wireless Communications and Networking Conference, March 2007.