

IEEE 802.16 Mesh Networks 排程之設計

麥毅廷
修平技術學院資網系
e-mail :
wkb@mail.hit.edu.tw

陳振庸
修平技術學院資網系
e-mail :
jychen@mail.hit.edu.tw

楊峻權
國立暨南國際大學
資工系
e-mail :
ccyang@csie.ncnu.edu.tw

文振榮
國立暨南國際大學
資工系
e-mail :
gunfighter@mail2000.com.tw

摘要

隨著 Wi-Fi(IEEE 802.11 系列)的普及，相對無線與行動網路的使用者與日俱增，因而對品質與服務的要求也越來越高，在新一代的無線網路之中，最熱門的莫過於 WiMAX (IEEE 802.16 系列)，台灣政府也預計在今年開標 WiMAX 使用頻段執照。隨著研究 WiMAX 的人增加，瞭解這個新一代無線網路技術的人也逐漸增加，大家所熟知 802.16 最主要的特性，以提供長距離(30miles)及高速網路(75Mbps)，作就為最後一哩(last mile)技術，提供一種新選擇，且建立在過去 ATM (Asynchronous Transfer Mode)高速網路的基礎之上，除此之外就是有別於傳統 802.11，還提出了差異品質服務(Quality-of-Service)，也就是俗稱 QoS 的概念，期望根據使用者傳送不同類型媒體所需要的服務品質與傳輸速度，來進行資源分配並試圖滿足每位使用者的需求，更進一步充分有效的利用網路的資源。但在 IEEE 802.16 家族之中，從 2004 年固定網路的 802.16d 到最新行動網路的版本在 2006 年版，也就是 802.16e 之中，仍有許多未制定完善之處例如 Scheduling Part，另在傳統 802.16 之中，主要分成兩種建置環境，Mesh 與 PMP，同時在 Mesh mode 中提出了集中式與分散式的兩種排程原則。

我們的研究重點在於整合式的排程機制，能夠在 802.16 mesh 網路使用集中式排程，但路徑選擇(route selection)以分散式排程的走法，傾向選擇最短路徑，同時加入我們所提出的 EQ (Expedited Queue)approach，期望針對特別要求較低 end-to-end delay 的 Service Type，提供縮短 E2E delay 的可行性，達到網路資源分配的彈性，以期建立 802.16 mesh 網路上適合的 QoS 排程。

關鍵詞：802.16 Mesh, Expedited Queue, QoS

Abstract

IEEE 802.16 is the new wireless standard, it has some advantages, including wider coverage, higher bandwidth, and QoS support. As the new wireless technology for last mile solution, there are two models in IEEE 802.16 standard. One is PMP (point to multipoint) the other is Mesh. In this paper we focus on Mesh model. According to the IEEE 802.16 standard description, Mesh model has two scheduling modes, centralized and distributed. Considering the pros and cons of the two scheduling, we propose the combined scheduling QoS framework that the BS (Base Station) controls time frame scheduling and selects the shortest path from source to destination directly. On the other hand, we propose the Expedited Queue mechanism to cut down the transmission time. Expedited Queue can reduce a lot of end-to-end delay in our framework. Simulation study has shown that the average delay is smaller than contrasts. Furthermore, our proposed scheme can have higher performance.

Keywords: 802.16 Mesh, Expedited Queue, QoS

1. 前言

隨著傳統電信網路出現無線手機的型態，大大提昇了使用的便利性；而資料網路出現 802.11 [1]無線區域網路之後，Notebook 的使用率更是隨著隨處上網的方便而提高，從許多不同的角度都可以瞭解 IEEE 802.11 是很成功的網路應用之一，並且在 IEEE 802.11e [2]中提出 QoS 支援的服務。但是 802.11 仍有待突破的地方，例如訊號範圍太小，頻寬不足等。而 IEEE 802.16 [3]的出現解決了 802.11 不足之處，相對

於傳統電信網路可以支援數公里收訊範圍，除了訊息涵蓋範圍可延展到 50 公里，頻寬上也提升到 75Mbps，同時還加上了 QoS 的服務，滿足了新一代無線網路的需求。

因為 802.16 的特性，無線網路也出現了新的應用，從原來 last mile 的應用變成足以擔負骨幹網路的媒體，也因為長距離的特性，在美國卡崔娜颶風後便以 802.16e [4]快速佈建出災後救難網路，在新加坡海盜出名的麻六甲海峽，也開始利用 802.16j [5][6]技術配合衛星在海上建置商船海盜預警的系統。但是 802.16 仍然還有許多未盡完善之處，例如時槽(time slot)的排程，許多細節並未在 IEEE 802.16 的 standard 中清楚定義，而 802.16 又分為兩種佈建模式，PMP 與 Mesh，在 PMP mode 中，基本上像是以 BS (Base Station)為中心的網路，所有的 SS (Subscriber Station)有資料需要傳送時，必須先以 Uplink 傳送到 BS，且不經其他 SS 直接傳送到 BS，換言之，所有的 SS 都在 BS 的訊號涵蓋範圍之內，之後再由 BS 以 downlink 將資料傳送到 destination SS，而對外 BS 的角色類似網路中的 Gateway，負責將網路內的資料傳送至 Internet，此種模式架構較 Mesh 簡單，近年也有許多論文著墨，但 Mesh 方面的研究則較缺乏，Mesh mode 跟 PMP 不同之處在於，SS 之間所要傳送的資料可以靠 SS 之間互相 relay，所以網路可延伸的範圍較廣，佈建的方式類似以 BS 為 root 來建出一個 tree 或是星狀，因此在較廣大的區域或是人口較不密集的鄉鎮，Mesh mode 是較適合的選擇，而我們研究的背景與重點便在探討在 Mesh mode 之下的資料排程。

在之前的研究中[7]，我們可以發現傳統的集中式排程與分散式排程各有優缺點，但若將兩者整合，在 time slot 的排程上使用集中式的方法，由 BS 來統一管理分配，使得 time frame 的 utilization 較高，而在 BS 有足夠的資訊下，由 BS 來指定傳送路徑，data transmission 可以更有效率，另外我們主要的研究方向希望降低 E2E delay，在傳統 Ethernet network 中，過去的研究中對於一些 real time 的資料或是優先權較高的資料，有別於傳統 store & forward，採用了 bypass queue 的方式[8]，以設置具有快速通關功能的 queue 來減少處理資料的時間，或是以硬體來加速通過 switch 的處理速度，我們設計的靈感便來自於此，因為在 802.16 之中，頻寬的利用與 time slot 的分配都是由 BS 統一管理，若 BS 可以預先為某一個 flow 中的

一個 packet，在一個 time frame 中有順序的排入接下來此 packet 會經過的 SS，在這樣的想法上，即使 packet 經過的 hop count 數量大於 2，還是有機會在一個 time frame 的時間內，將 packet 送達 destination SS，如此則可大幅縮短 E2E delay，所以將這樣的機制使用在 UGS 這類對 E2E delay 要求較小的 QoS type，同時有別於其他 service type 每次都要發出 bandwidth request，UGS 僅在每次傳送前做一次的 bandwidth request，適用性就很高。

2. IEEE 802.16 無線網路簡介

2.1 IEEE 802.16 Mesh 模式

在 IEEE 802.16 標準中，除了傳統的 PMP 與 Mesh 的不同，主要在於 PMP 是 SS 直接與 BS 建立 connection，而 Mesh (如圖 1)可透過與其他 SS 建立 connection 並由鄰近的 SS 來 relay 資料，類似在 802.11 之下的 Ad Hoc mode，也因為如此，不可避免的是 Mesh 也有 hidden node problem，也就是說在 SS 佈建太密集，彼此多在其他 SS 訊號範圍時，很可能同一段時間整個 Mesh network 僅能有一個 active SS 可以傳送資料，其他 SS 在此時必須保持安靜，以避免干擾問題，但在互不干擾的前題之下，則同一段時間內，就有機會有多部 SS 可以一起傳送資料，讓 Mesh 有機會可以提升整個網路的 utilization。IEEE 802.16 Mesh 標準中即有訂定 Centralized scheduling 與 Distributed scheduling 的兩種模式。在 Centralized scheduling 中，BS 如同 cluster head 是一個管理者的角色，統一進行 scheduling 及 data transmission，因此 SS 要進行資料傳送時，必須透過 control channel 來向 BS 發出需求，由 BS 進行 time slot 分配，並透過 DL-MAP(downlink map)讓 SS 的資料依照 BS 分配的次序進行傳送，而 SS 之間傳送的 path 上必須經由 BS，而在多個 flow 同時傳送時，將造成資料彙集在 BS 而產生嚴重的 congestion 而降低傳送效率。而另一種 Distributed scheduling 的傳輸方式，為了可以讓 Mesh 網路有較高擴充性，透過交換 topology 資訊將可以決定一條 shortest path 才能來完成 data transmission，再由 SS 與其鄰近 2 hop 的 SS 來進行 time slot 的競爭，如果傳送範圍不重疊的情形，有可能增加資料同時傳送的機會。然而在 Distributed scheduling 中 SS 間為了競爭傳送機會而交換訊息，無形中也提高了 signal

overhead。因此在 802.16 Mesh 下如何進行高效的 data transmission，良好 scheduling 方式將是重要的關鍵。

在集中式排程中，Wei [9]所提出的構想，就是以 Mesh 形成一個 tree，當新的 SS 要加入 Mesh network 時，以 Sponsoring node 最小的 SS 為 parent，加入 parent 的下方，Sponsoring node 最小的 SS，代表其相鄰(連線)的 SS 個數最少，也就是當以 BS 為 root 的 tree 在建立時，每個 SS 加入時，擺放的位置在 topology 上可以盡量分散，如此 SS 之間的干擾便可減少，干擾減少時，就有可能多個 SS 同時傳送，達到提高網路 throughput 的目的。

另外類似的想法也在 Liqun Fu [10]等人發表的論文中可見，一樣是在 Mesh 中的集中式排程環境下，他們的想法不考慮 Mesh 建構階段，而是直接在 Mesh 建立後，在 BS 可以掌握每個 SS 之間干擾的關係之下，由 BS 排出每個 slot 最多同時可以給那些 SS 使用，達到充分的 Spatial Reuse 與 throughput 提升的目的，Jian Tao [11]等人的論文也是類似的方法，如此我們可以瞭解，同時多個 SS 使用一個 slot，不但具有可行性，同時在以上論文的結論都可發現，能夠實際的增加整個網路的 throughput，最後在 Haitang Wan [12]等學者的研究中，發現可以利用 Chernoff Bound 來推算 blocking probability，在 blocking probability 小於某一個值的狀況下，來增加 admission control 可以容許的 load，藉此來增加網路的 utilization，這與 Spatial Reuse 的概念不相衝突，雖不是此篇研究重點，但可在未來的研究中延伸。

而透過以排程的角度來思考，傳統有線網路許多現有的研究，運用在無線網路還是有許多相同的地方，例如在 queue 的管理與網路資源合理分配，過去都有過很多相關研究，在傳統有線網路中，不管是 Ethernet，或是 ATM network 中，為了優先權高的資料，或是需要以 real time 方式處理的封包，都有所謂 bypass 或是 cut through 的處理方式，也就是說對 priority 高的資料或是需要緊急處理的封包，另外以特殊的 queue 或 buffer 來放置處理，甚至加上硬體的配合採用非傳統 store and forward 的方式來加快處理速度，或是以軟體的方式，減少對資料的處理，達到快速通關的效果，在經過每個 SS 所花的時間越少，整體的 E2E delay 自然就會縮短，這也是我們研究的主要方向之一。

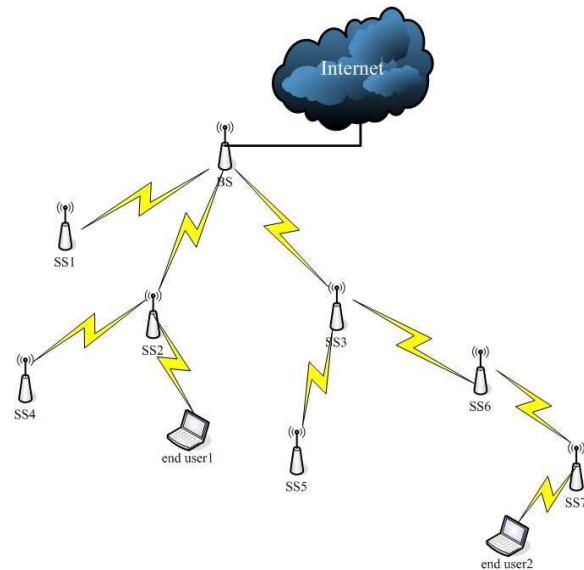


圖 1. IEEE 802.16 Mesh network 架構

2.2 合併式的排程法

前面提到在 IEEE 802.16 標準中的集中與分散式的兩種方法，而我們針對兩者的優點加以整合而成為合併式的排程，這並不在 802.16 的標準之內，在之前我們的研究中發現[7]，以集中與分散兩種方式來截長補短，整合兩種的優點，不但具有可行性，同時也可兼具兩種排程法的好處，合併式的排程方式，time frame & QoS scheduling 是由 BS 處理，由 SS 定期將資訊告知 BS，向 BS 發出 bandwidth request，BS 便可排出適當的 time frame，同時在路徑的選擇上，合併式排法中，因為 BS 擁有整個網路 topology，所以 BS 當可區分出訊號互不干擾的 SS；在決定路徑時，可以選擇類似分散式排程的最短路徑，同時在互不干擾的狀況下，多個 SS 也可在同一時間傳送，也就是 BS 有足夠的資訊時，一個 time slot 其實可以排給兩個以上的 SS 使用，所以後來對分散式的研究發展出 Spatial Reuse 的概念。

3. 系統架構與 Scheduler 分析比較

3.1 IEEE 802.16 QoS 架構

我們主要研究的方向在針對一個 flow 的路徑選擇，與不同的 Scheduler 所造成的影響，還有對 UGS 特別設計了 Expedited Queue，讓 UGS 的資料可以快速達到 destination SS，為了達到以上的目標，在我們模擬程式的架構中，admission control 時，對 load 的計算，是以 data rate * hop count，也就是說，一個 50kbps 的 flow，如果到 destination SS 經過 3 hop count，則實際的 load 是增加了 150kbps，假設 802.16e 五個 QoS type 的 queue 之中，以 time frame 大

小為時間單位，每經過一個 frame time，會有資料進入 UGS、ertPS、rtPS、nrtPS、與 BE 的 queue 裡，UGS 的資料以 Poisson process 的方式產生一個 CBR (constant bite rate) 的資料流 (flow)，其餘的 service type 資料以 Poisson process 產生後，再經過亂數產生器變化後，產生 VBR (variable bite rate) 的資料流，資料進入 SS 的 queue 之後，BS 可知道那一個 SS 目前有什麼樣的資料與多少資料要傳送，假設每次產生的資料單位大小等同於 slot 的大小，BS 會排出資料從 source SS 到 destination SS 的路徑，接著經過 scheduler 之後，會排出 time frame，確定每個 slot 的使用權，另外我們也加入 Spatial Reuse 機制，在確定那一個 slot 被那一個 SS 使用之後，會利用程式算出沒有干擾關係(2 hop count 以外)的 SS，再將此 SS 排入共同使用，以此類推，找出每個 slot 可以被最多 SS 同時使用的狀況，接著再按照所排定的 time frame，來轉送資料到下一站 SS。

資料在 queue 中所等待的次數(round)會被記錄，等待太久的資料會被擺放到 emergent queue 之中，UGS 的資料則是每次都被擺在 emergent queue 中，意思就是 UGS 資料越多的 SS，在計分時分數因 emergent 的資料較多，有較高的機率在計分時勝出，在 BS 排程時，normal queue 與 emergent queue 分別被給予不同的 weight(x:y)值，經過計算總分後，BS 按照分數高低來排程，queue 中有較多資料，或是 emergent data 較多的 SS，會被優先分配到 slot，因為並未模擬實際完整的 frame，所以 control subframe 中的訊息交換，以及 header information 並不處理，僅以必要的資訊來處理，加快程式模擬速度同時不超出系統記憶運算限制。

另外在路徑的選擇上，傳統集中式的做法，從 source SS 出發後，會先將資料往 BS 傳送，再由 BS 傳送到 destination SS，因為 BS 有完整的 topology 資訊，所以在我們對分散式與合併式的模擬上，這兩段路徑都是由 BS 以 Dijkstra's Algorithm 方式算出最短路徑來選擇，不同於集中式要經過 BS 轉送資料，分散式與合併式透過其他 SS 轉送資料，因此在路徑的選擇上，直接選擇 source SS 到 destination SS 的最短路徑。

3.2 Admission Control

在 admission control 部分，不同的 SS 所送出 flow 的頻寬要求一樣，但因為經過的 hop count number 不一樣，實際上對 load 影響也不

一樣，經過 hop count 越多的 flow，對 load 的增加會較多，因此我們也修正 load 的計算方式。

Input Load = 原始要求頻寬 * flow hop count

所以在頻寬限制的管理採取以下的作法：

1. 頻寬的總量上限計算為原始系統頻寬乘上 SRF(Spatial Reuse Factor)。
2. 當收到請求建立 UGS flow 的 connection，假如它所需的頻寬 (b_{UGS}) 加上目前已被要求使用的頻寬 (b_c)，小於分配給 UGS 的固定頻寬(U)，則可被接受。否則，拒絕它。
3. 當收到請求建立 ertPS flow 的 connection，假如它所需的頻寬 (b_{ertPS}) 加上目前已被要求使用的頻寬 (b_c)，小於分配給 ertPS 的固定頻寬(E)，則接受他的請求建立連線。否則，拒絕此 flow 的請求。
4. 當收到請求建立 rtPS flow 的 connection，假如它所需的頻寬 (b_{rtPS}) 加上目前已被要求使用的頻寬 (b_c)，小於總共可用的頻寬減去保留給 UGS 與 ertPS 所使用的固定頻寬(B-U-E)，則接受他的請求建立連線。否則，拒絕此 flow 的請求。
5. 當收到請求建立 nrtPS flow 的 connection，假如最少給予它的頻寬保證 ($b_{min-nrtPS}$) 加上目前已被要求使用的頻寬 (b_c)，小於總共可用的頻寬減去保留給 UGS 與 ertPS 所使用的固定頻寬(B-U-E)，則他請求建立連線可以被接受。否則，拒絕它的請求。
6. 至於 BE flow 的 connection，總是會接受他的請求，但不保證任何的頻寬給他。因為他的優先權是所有 service type 中最低的，所以當 BS 排完其他的 service type 的 flow，才會輪到它。

3.3 Expedited Queue 架構與方法

所謂 Expedited Queue (EQ) 的概念，就是在每個 SS 假設對應的 5 個 service type 都分別由不同的 queue 來處理，而我們的想法是除了這 5 個之外，再加入一個 EQ，用來擺放需要快速通關 bypass 處理的資料，在我們的架構下，任何一個 SS 所有的 queue 裡面的資訊，BS 都會知道，所以當有資料需要以 EQ 方式排程時，BS 在排 time frame 時會優先處理。

如果將 EQ 應用在 UGS 上，假設 queue 中資料單位大小等於一個 slot time 可傳送的資料，因此後面我們將 slot 做為資料單位，BS 會先找出 UGS 擁有最多資料要傳送的 SS，假設為 SS1，接著 BS 會依據 SS1 裡面 UGS queue 的第一個 slot(x) 的 destination SS，來決定經過

的路徑，假設為 SS2~SS4，SS1 的 UGS queue 裡的 slot(x) 會被排在 time frame 的第一個 slot，用來讓 SS1 將 slot(x) 傳送到下一站 SS2，time frame 的第二個 slot 被排入讓 SS2 傳送 slot(x) 到 SS3，time frame 的第三個 slot 被排入讓 SS3 傳送 slot(x) 到 SS4，依此類推，接著再看 SS1 的 UGS queue 中第二個 slot(y)，接續排入 slot(y) 接下來會經過 SS，直到將 SS1 的 UGS queue 資料排完，再換 UGS queue 資料第二多的 SS，對 time frame 排程時先排完所有 UGS 的資料，再排非 UGS (不使用 EQ) 的資料，非 UGS 的資料再排程時，僅分配 next SS 的 slot，也就是說非 UGS 的資料如傳統資料傳送方式，一次僅能傳送 1 hop (hop by hop)。

另外在 admission control 的處理下，假設 time frame 大小為 100 slots，如前所述，load 的計算已將 hop count 考慮進去，也就是說假設 UGS flow 1 平均每隔一個 frame time 有 10 slots 進入 queue，flow 1 的 path hop count = 3，則對 admission control 來說 total load 就是 30%，因為在計算 load 時已有考慮 hop count，所以如果在 admission control 限制 UGS load 不超過 total load 時，平均每次進入 UGS 的 slot number，利用 EQ 類似 bypass 的機制仍可控制在一個 time frame 中排完，也就是說只要 UGS flow 的 load 不超過 100% 時，都可以讓在 UGS queue 的資料，在一個 frame time 之內到達 destination SS，對照傳統的方式，即使 UGS 在每個 SS 裡面都優先處理，不考慮路徑中的 SS 在競爭的等待時間，如果經過 hop count n，則最短也要在 n 個 frame time 之後才會送到 destination，因此 EQ 的排程方式，在 hop count number 越多時，越可見其效益。

4. 效能評估

我們的實驗主要以模擬程式為主，並由模擬程式來分析 UGS 使用 EQ 排程方式所帶來對 delay 的影響，以及在 throughput 上的結果。實驗中我們將分三大類 scheme，集中式、分散式、與我們所提出的合併式，三大類方式中在各種 service type 上的影響，我們只有針對集中式與合併式兩種，來分析及探討有使用 EQ 與沒使用 EQ 的 UGS E2E delay 的影響變化，同時觀察 throughput 的情況，且因為分散式設計上是 SS 競爭，並無統一管理的 BS，故 EQ 的作法無法運用於分散式之中。

4.1 模擬實驗架構

我們的實驗環境 topology 主要是一個 5 * 5 的棋盤格式的 mesh network，並且 C 來設計及規畫模擬實驗環境，每個 SS 所間隔的距離是一樣的，假設尤拉距離(Euler Distance)超過 2(hop count)的 SS 訊息互不干擾，SS 編號從 node 1~node 24，BS 編號為 node 0，frame duration 為 10ms，每個 frame 有 100 slots，flow data rate 定義為 bps，total capacity 5Mbps，mesh network topology 如下圖 2：

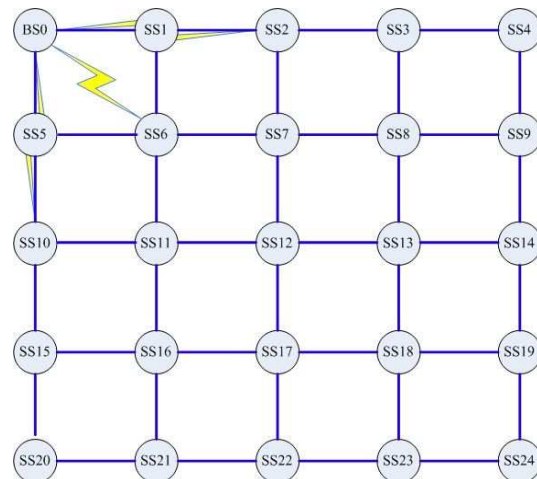


圖 2. 模擬實驗架構圖

4.2 Delay 效能評析

實驗中假設每個 service type 一個 flow，每個 flow rate 為 50kbps，flow hop count 設定為 3，隨機決定滿足條件的 source 與 destination SS，input load 考慮 hop count，因此 input load 值計算為 $5 (\# \text{ of service type/SS}) * 1(\text{flow/service type}) * 3 (\text{hop count/flow}) = 15$ slot/frame duration = 750kbps = 0.15%。增加 input load 時以增加 number of flow 的方式處理，另外在 distributed 與 combined 的程式模擬上加入了 Spatial Reuse 的機制。因為分散式是 SS 與鄰近 SS 競爭，在架構上沒有 BS 來統一管理，因此無法預先從 source SS 到 destination SS 保留頻寬來排程，故實驗中 Distributed 僅以傳統的作法(without EQ)的方式為對照組來呈現。由圖 3 可以發現，使用 EQ scheduler 來處理 time frame 時，幾乎都可在一個 frame time 到達 destination SS，隨著 input load 上升，使用 EQ 的 UGS 其 E2E delay 並無明顯上升，大約都在 5ms~7ms 上下，Centralized_w/o_EQ 與 Combined_w/o_EQ 較高一些，由於 BS scheduler 部分使用傳統 PQ 的做法，獨厚較高

priority 的部分如 UGS, 因此 3 hop count 的 E2E delay 也保持在約 3.5 frame duration (10ms) 左右, Distributed 的部分 delay 值最高, 原因在於 Distributed 是整個 Mesh 的 SS 去競爭, 每次一個 SS 勝出, 即使是 UGS 要傳送, 也必須等待所屬的 SS 與其他 active SS 競爭勝出後才有機會傳送, 相較 Centralized 與 Combined, 是以所有 active SS 的 UGS queue 來競爭, 每次所排出的 timeframe 在 UGS 的部分, 大部分的 SS 都可平均被分配到 slot, 所以 E2E delay 因為在每個 hop 等待時間較短而較低。由圖 4 觀察發現, EQ 這樣 bypass 的做法理論上可以用在所有的 service type, 但由於我們只用在 UGS 上, 所以不管 UGS 是否有使用 EQ, 對 ertPS 的影響並不大, 因此 Centralized_EQ、Centralized_w/o_EQ、Combined_EQ、Combined_w/o_EQ 四條線是很接近的, 但 Centralized 由於沒有 spatial reuse 的機制, 所以在 load 較重時, 逐漸開始有上升的趨勢, 在 Distributed 部分, 與圖 3 的原因類似, 所以就 算是 ertPS, 也必須要所屬的 SS 勝出後, 才可傳送到下一站, 因此 active SS 越多, 會造成競爭者多, 在每一個 SS 等待被傳送的時間也越久, 因而影響 E2E delay 值, 不過因為 Distributed 中有使用 spatial reuse, 所以在 heavy load 時 ($\rho = 0.9-1$) 上升的趨勢比較無 spatial reuse 的 Centralized 來說, 較為和緩。

我們將圖 5-7 在這一併討論, rtPS(圖 5) 部分最大的不同, 就是 Centralized delay 在 heavy load 時超過了 Distributed, 原因也如同之前所述, Centralized 並未使用 spatial reuse 機制, 因此在一些 priority 較低的 service type(rtPS、nrtPS、BE) 在使用 PQ scheduler 在 heavy load 時, 常有可能無法順利的在每一個 frame 中排到使用權, 所以發生了 starvation 使得 E2E delay 暴增, 以圖 7 的 Centralized_noEQ 為例, 在 input load=1 時, E2E delay=5712ms。另外從圖 3-7, 我們可以觀察到, 因為 EQ 僅用於 priority 最高的 UGS, 而在 ertPS~BE 這些 service type 中發現, 有無使用 EQ 其實幾乎沒有影響, 並不會因為 UGS 使用 EQ 而增加或減少 low priority type E2E delay, 因為在 admission control 計算 bandwidth request 時, 就已經將 hop count 加入計算, 不管 bypass 或 hop by hop, 平均每次 timeframe 要傳送 UGS slots 其實是一樣多的, 所以對 low priority type 幾乎沒有影響, 也是合乎我們的設計邏輯。

此外, 我們特別將 UGS 中有無使用 EQ 在

Combined 與 Centralized 的狀況以從圖 3 中可以看到, 使用 EQ 時即使總 input load 在很高的狀況之下, E2E delay 也幾乎沒有上升, 同時 delay 也維持在一個 frame duration 之內, 而沒有使用 EQ 時, 不管是 Combined 與 Centralized, E2E delay 則因為 load 增加開始有微幅上升的趨勢, 同時隨著 load 增加, 有無使用 EQ 所造成 E2E delay 的差距也越來越大。最後我們分別觀察 UGS 在 light load 與 heavy load 時, 有無使用 EQ, 在 E2E delay 上的 variation, 圖 8 可以看到在 light load 時, 有使用 EQ 時, 不管是 centralized 或是 combinational, delay 最大值約在 10ms 左右, 相對沒有使用 EQ 時, delay 最大值約 75ms, 在 heavy load 時, 狀況也是類似(圖 9), 使用 EQ 時 delay 的 variation 較小, 因此可以觀察出使用 EQ 也有縮短 jitter 的效果。

4.3 Throughput 效能評析

在探討 Total capacity = 5 Mbps, frame duration = 10ms, 100 slots/frame, EQ 排程法在設計邏輯上與使用, 其實對 throughput 並沒有提升效果, 主要影響 throughput 的因素還是 spatial reuse 機制。以上從圖 10, 這三個長條 input load 分別是 0.3、0.6 與 0.9, 在 light load 時 Centralized, Combined 與 Distributed 之間的差異不大, 但隨著 load 上升, Centralized 沒有使用 spatial reuse, Combined 與 Distributed 則是有加入 spatial reuse 機制, 在 heavy load 時就可以明顯看出, 加入 spatial reuse 對 throughput 增加的效果, 而 EQ 本身設計上並不是用來增加 throughput, 由圖 10 也可發現有無使用 EQ 對 throughput 的幾乎沒有影響。

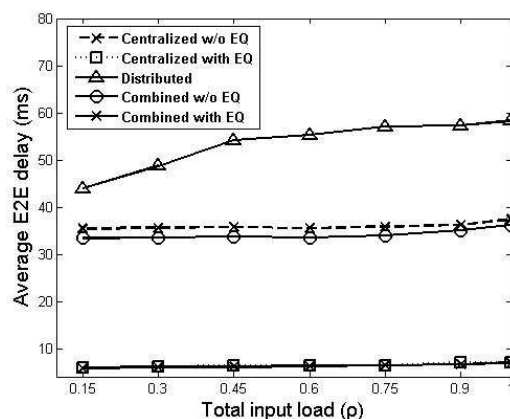


圖 3. 平均 E2E delay (UGS)

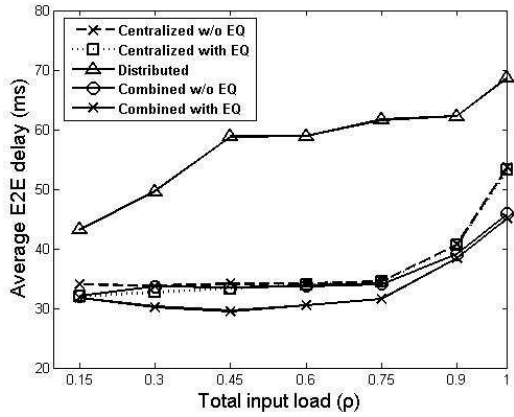


圖 4. 平均 E2E delay (ertPS)

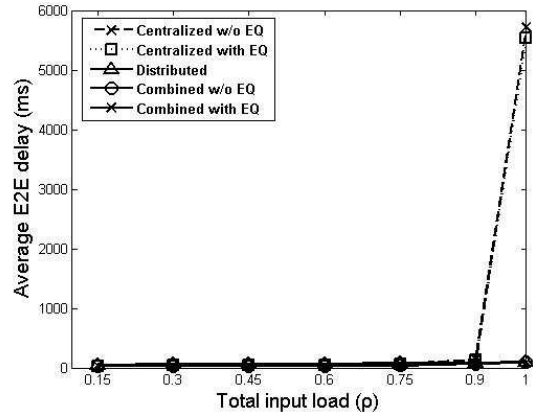


圖 7. 平均 E2E delay (BE)

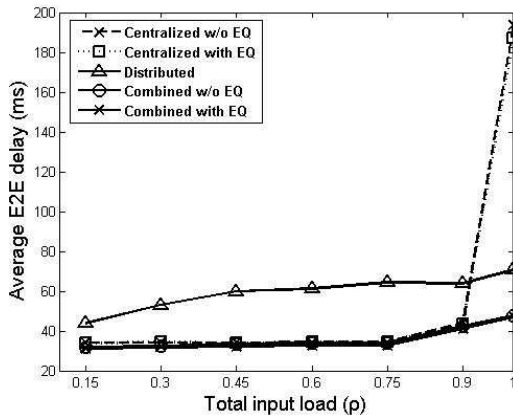


圖 5. 平均 E2E delay (rtPS)

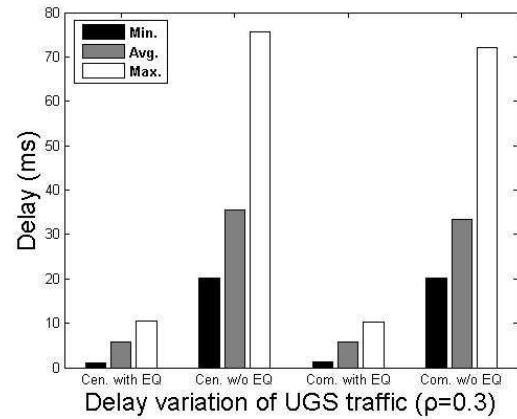


圖 8. 平均 E2E delay (rtPS)

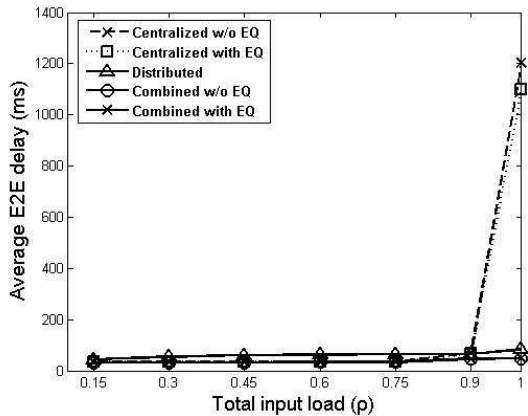


圖 6. 平均 E2E delay (nrtPS)

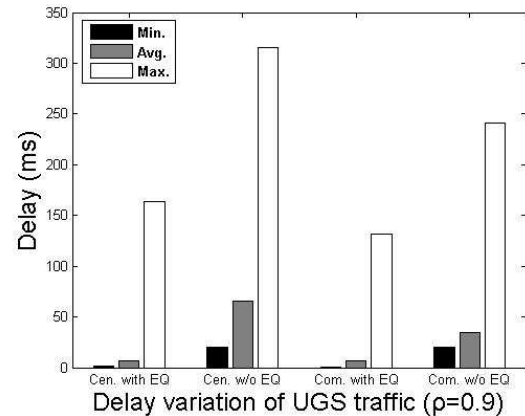


圖 9. 平均 E2E delay (nrtPS)

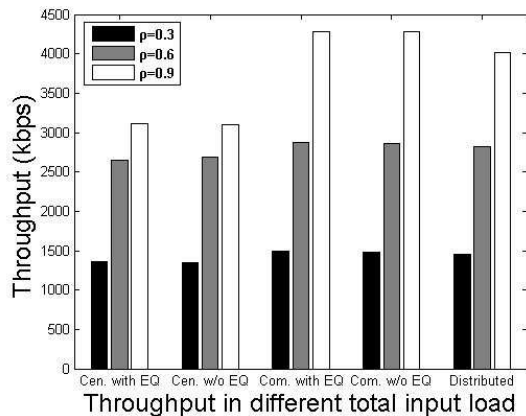


圖 10. 平均 E2E delay (rtPS)

5. 結論

在本篇論文中，我們延續了原有合併式的機制的概念，將路徑的選擇，與 spatial reuse 機制加入了我們的系統架構，且我們修正了 admission control 對 bandwidth request 的計算，考慮傳輸距離(hop count)來反應真實情況，同時針對 802.16 Mesh network 提出了改善 UGS E2E delay 的辦法；EQ 排程法使用類似 bypass 的方式來處理 UGS 的資料，結果使得 E2E delay 縮減，更貼近 UGS 所傳送資料類型的需求，E2E delay 值在路徑不會太長的狀況下，皆不會超過一個 frame time，且不會因為使用 EQ 而增加 signal cost，僅在 BS scheduler 部分調整，所以不會增加系統額外的資源，達成大幅縮短 E2E delay 的目標，進而來增加網路資源 (time slots) 分配的彈性，以及整體的效能。

參考文獻

- [1] IEEE Std 802.11, "Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications," June, 2003.
- [2] IEEE Std 802.11e, "Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications Amendment 8: Medium Access Control (MAC) Quality of Service Enhancements," Nov., 2005.
- [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 Broadband Wireless Access Systems—Amendment 2: Physical and Medium Access Control Layers for Combined Fixed and Mobile Operation in Licensed Bands," Feb. 2006.
- [5] IEEE 802.16j, IEEE 802.16's Mobile Multihop Relay (MMR) Study Group, "http://grouper.ieee.org/groups/802/16/relay/".
- [6] IEEE 802.16j, "Part 16: Air interface for fixed and mobile broadband wireless access systems: Multihop relay specification", IEEE Baseline Document for Draft Standard for Local and Metropolitan Area Networks, Apr. 2007.
- [7] C. C. Yang, Y. T. Mai, and L. C. Tsai, "Cross-Layer QoS Support in the IEEE 802.16 Mesh Network," Proceedings of Wireless Personal Multimedia Communications (WPMC 2006), pp. 567-571, La Jolla, San Diego, California, USA, Sept. 2006.
- [8] K.W. Sarkies, "The Bypass Queue in Fast Packet Switching," IEEE Transactions on Communications, vol. 39, no. 5, pp. 766-774, May 1991.
- [9] H. Y. Wei, S. Granguly, R. Izmailov, and Z. J. Haas, "Interference-Aware IEEE 802.16 WiMax Mesh Networks," in Proceedings of the IEEE 61st Vehicular Technology Conference (VTC 2005-Spring), vol. 5, pp. 3102-3106, May 2005.
- [10] L. Fu, Z. Cao, and P. Fan, "Spatial Reuse in IEEE 802.16 Based Wireless Mesh Networks," in Proceedings of IEEE International Symposium on Communications and Information Technology (ISCIT 2005), vol. 2, pp. 1358-1361, Oct. 2005.
- [11] J. Tao, F. Liu, Z. Zeng, and Z. Lin, "Throughput Enhancement in WiMax Mesh Networks Using Concurrent Transmission," in Proceedings of International Conference on Wireless Communications, Networking and Mobile Computing 2005, vol. 2, pp. 871-874, Sept. 2005.
- [12] H. Wang, B. He, and D. P. Agrawal, "Admission Control and Bandwidth Allocation above Packet Level for IEEE 802.16 Wireless MAN," in Proceedings of the 12th International Conference on Parallel and Distributed Systems (ICPADS 2006), vol. 1, pp. 1-6, July 2006.