

IEEE 802.16 集中式排程控制訊息成本之效能分析

陳子宏
國立暨南國際大學資工系
e-mail :
blackren@gmail.com

麥毅廷
修平技術學院資網系
e-mail :
wkb@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

摘要

在 IEEE 802.16 的標準中，訂定了兩種網路連線架構，一種是在 802.16 網路中，所有 subscribe stations (SSs) 都只能直接連線到 base station (BS) 上的 PMP 架構，另一種則是 SS 跟 SS 可以互相連接，透過 hop-by-hop 的方式一直 relay 資源到目的地的 Mesh 架構。而在 Mesh 架構中又訂定出兩種不同的排程方式 (scheduling)，分別是集中式排程和分散式排程，在集中式排程中，所有的頻寬分配、排程等工作都是由 BS 負責完成，且在資料傳輸路徑上，資料都必須先往 BS 送，再由 BS 傳送到目的端。

在本篇論文中，主要是探討在 IEEE 802.16 的 Mesh 架構中，以控制訊息成本的角度而言，當集中式的排程機制資料傳輸過程時在各種不同的網路狀態中對網路帶來的負擔、以及對效能上的影響為何，我們將對其分析以及模擬測試，以觀察集中式排程的控制訊息之成本。

關鍵詞：WiMAX、Mesh、Scheduling、Signaling Cost

1. 前言

新一代的無線網路技術 - IEEE802.16 (WiMax) [1][2]，提供了不同於 IEEE802.11 (WiFi) [3]-[5] 的技術，以訊號傳輸範圍而言，WiMax 可提供到最遠 50 公里的距離，並且頻寬可達 75Mbps，和 WiFi 無線區域網路 (WLAN) 相比，WiMax 被定位成無線都會型網路 (Wireless Metropolitan Area Network, WMAN)。除此之外，IEEE 802.16 更具備了 QoS 的機制，對於無線網路使用者提供了更完善的服務品質。

以網路建置的角度而言，IEEE 802.16 可視為是連接骨幹網路 (backbone network) 和區域網路之間的媒介，IEEE 802.16 對外是和骨幹網路相連，而底下是連接區域網路，形成階層

式的網路連接型態。其實在連接型態上和目前普及 ADSL 以及 Cable 很類似，但其優勢是在於 IEEE 802.16 為最後一哩 (last mile) 的問題提供更好的解決方案，IEEE 802.16 的無線技術可以克服一些實體線路無法佈建的地勢，或是範圍太大的區域。

在 IEEE 802.16 的標準 [1] 中定義了兩種不同的 802.16 的佈建架構：Point to Multipoint (PMP) 如圖 1(a) 以及 Mesh 圖 1(b)：在 PMP 的佈建架構中，base station (BS) 和 subscriber stations (SSs) 直接相連，BS 是負責管理協調各 SS 之間的連線而由 BS 向外連接到骨幹網路，當 SS 有資料要傳送時，不論傳送目的地是否在 IEEE 802.16 網路內部的 SS 還是外部其他的主機，其傳送的資料都必須經過 BS，而在 PMP 模式下所有的 SS 都是跟 BS 直接連線的，也就表示，所有的 SS 都是在 BS 的訊號可傳輸的範圍之中；在 PMP 中資料傳輸主要分為 Uplink (SS 到 BS) 以及 Downlink (BS 到 SS)，而所有的傳輸都是由 BS 來做頻寬分配以及排程等相關工作，除此之外，在 PMP 中 BS 還必須擔任 IEEE 802.16 網路閘道器的角色。

而在 Mesh 的佈建中，和 PMP 最大的不同處就是在於 SS 之間是可以彼此相連的，雖然在傳輸到骨幹網路的資料仍需經由 BS，但 SS 不用直接與 BS 連接，因此在 Mesh 的架構之下，BS 底下的 SS 若是想要傳輸資料給其他的 SS，若不是在自身鄰近的 SS，可能就必須以 multi-hop 的方式做傳輸，先送給附近連接的鄰居 SS，再由附近的鄰居幫忙轉送資料，以 hop-by-hop 的方式送到目的地 SS。也由於 SSs 不用直接和 BS 連接，Mesh 所能夠支援的佈建範圍也就比 PMP 大的多。

在 IEEE 802.16 Mesh 之中制定兩種不同的 scheduling 機制：集中式 (centralized scheduling) 和分散式 (distributed scheduling)。在集中式排程之中，BS 的工作較為複雜，和 PMP 架構很像，BS 需要負責做排程以及 time slots 分配的工作，在 Mesh 下的所有 SS 在傳送資料之前，都必需發出一個 Bandwidth Request (*BW_REQ*)

的 control signal 到 BS，BS 在一段時間之後，收集了各 SS 的 BW_REQ 之後，會進行排程的工作，接著會將排程資訊廣播給各個 SS，此時 SS 就知道自己什麼時候可以開始傳送資料，以及資料傳送的時間長度。而相較於集中式排程，在分散式排程中，傳輸權是由 SS 互相協調、競爭之下而取得的。由於在分散式排程中並沒有一個集中控管的裝置來決定資料傳送的時機，因此所有的 SS 都必須和相鄰 two hop counts 之內的鄰居做競爭(contention)的動作，並且只有在競爭成功之後，才能取得下一個回合的傳輸權。

本篇研究重點是著重於在 Mesh 的集中式排程在傳輸過程時所需要的訊息控制成本(signaling cost)的計算以及分析。觀察此機制在不同的網路流量負擔(input load)下，個別的 SS 做訊息控制以獲得傳輸機會的成本是多少，和探討其增加或減少的因素為何以及做進一步的探討。

2. 文獻探討

IEEE 802.16 Mesh 中，將 frame 分割成兩部份-資料以及控制部份，而在控制的 sub-frame 中，又區分成兩類，一個是網路控制(network control)，一個則是排程式控制(schedule control)，本篇的重點則都放在排程式控制的 control sub-frame 上。在標準中，將 control sub-frame 可區分為許多個傳輸機會(transmission opportunities)，在排程中所需的 signaling 就被裝載在不同的 transmission opportunity 上；而在同一個 frame 中，另一部份的 sub-frame，data 部份則是切割成數個的 minislots，而這 minislots 就是 802.16 Mesh 中所分配的頻寬單位如圖 2。

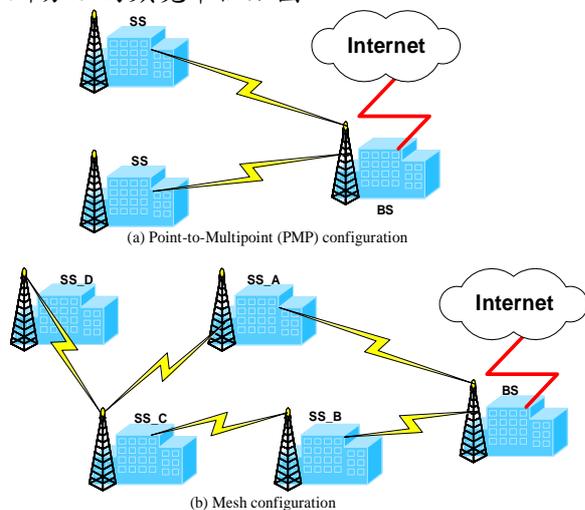


圖 1 IEEE 802.16 網路架構

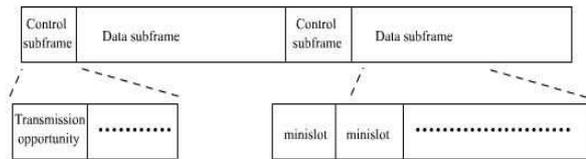


圖 2 IEEE 802.16 TDD 示意圖

2.1 集中式排程的控制訊息

在 IEEE 802.16 的標準中，Mesh mode 的集中式排程訂定，所有的傳輸要求、排程或是資料傳輸路徑都是由 BS 決定的，因此所有的 SS 都必須向 BS 提出頻寬的要求 BW_REQ，而 BS 會依據提出的頻寬要求來做頻寬分配以及排程的動作。當使用者有資料要送時，透過 SS 在 control channel 向 BS 發出 BW_REQ (BW_REQ 是包含在集中式排程的控制訊息 MSH-CSCH 中)，BS 在收到各 SS 發送的 BW_REQ 之後，會依據目前所有的頻寬對 SS 的要求做比例上的分配，BS 在經過分配之後，會將分配之後的結果(包括 time slots 分配的資訊、排程的結果)，廣播(broadcast)給所有的 SS，當 SS 收到廣播的訊息之後，會依據 BS 發出的排程資訊中屬於自己的排程時間的部份在 data sub-frame 傳送資料給 next hop 的 SS，而 next hop 的 SS 在收到資料之後，若是要再將資料傳送給在 routing path 上的下一個 SS，就必須再發一次 BW_REQ 給 BS 要求頻寬，即以 hop-by-hop 的傳送方式將資料傳送到 BS，再由 BS 以 hop-by-hop 的方式傳送到 Destination SS，不同的是，當資料經過 BS 時，BS 本身不用對自己發出 BW_REQ，只須檢查資料本身的路徑資訊，然後再傳送給 next hop SS 即可。因此，在集中式排程中，BS 需有一份整個 Mesh 的拓撲(topology)資訊，以及所有 SS 的狀態資訊，用以決定資料傳輸路徑以及排程結果。

2.2 分散式排程的控制訊息

而在 IEEE 802.16 Mesh 的分散式排程中，和集中式排程不同的地方在分散式排程中，是由 SS 互相協調、競爭之下而取得的傳輸權，也因為如此，SS 會在目前的一個回合中競爭的是下一個回合的傳輸權。當 SS 有資料要送時，會發出 BW_REQ 的訊息給本身的鄰居們，當鄰居們經過一段時間收集鄰近 SS 發出的這個訊息之後，會開始計算誰可贏得下回合的傳輸權，在計算之後，會由贏得傳輸權的 SS 其 next hop SS 發出 grant 訊息給贏得傳輸權的 SS，在

SS 收到 grant 之後，會再回覆一個 confirm 的訊息給 next hop SS，然後就開始了資料傳輸的過程，並且當 SS 回覆 confirm 之後，SS 都必須等待一個 holdoff time，然後才能再開始發出 BW_REQ 的訊息，以進行下一次的競爭。在分散式排程中，SS 都掌握整個 Mesh 的拓撲，以及資料傳輸時其 routing path，如此一來才知道如何將資料從一個 SS 傳送到另一個 SS，因此，所有在 Mesh 中的 SS 就必須定時透過 MSH-NCFG message 廣播本身的狀態資訊給整個 Mesh，以便其他 SS 維護 Mesh 資訊。

在 Mesh 的相關文獻部份，由於 Mesh 的傳輸方式是以 hop by hop 的方式傳輸，大都是注重在路徑上的選擇，及著重在於 spatial reuse 的加強[6]-[10]，由於 IEEE 802.16 本身是屬於第 2 層的協定，在傳輸資料時若不作控制，有可能資料會因為相互碰撞而導致傳輸失敗，因此上在標準上訂定的時候原則上只有一個 SS 可以傳送資料，但是實際上在傳輸過程中，不一定是每個 SS 傳輸時，其他所有的 SS 同時傳輸時都會干擾，因此，在 spatial reuse 上的研究就是在希望能在同一段時間內在彼此不會干擾到的情況下能夠有多一點的 SS 能夠傳輸，而在[11]中提出的 even-odd 架構，更是把 spatial reuse 的概念發揮到極致。除了 spatial reuse 上的研究，在 Mesh 也有在 QoS 相關的研究[6][12]，不過主要都還是著重在集中式排程的機制上，在分散式排程的部份，由於 SS 之間要相互競爭才可以傳輸資料，在實行上到達到真正的 QoS，是比較困難的。而本篇論文將試著針對集中式排程進行 signal 的分析。

3.集中式排程控制訊息效能分析

3.1 控制訊息的計算方式

為了瞭解 IEEE 802.16 標準中，在 Mesh 模式下的集中式排程。在運作時其為了控制而交換訊息所耗費的成本，我們列出了這些機制在運中會產生 signaling 的一些動作，以及其影響和範圍。

在 IEEE 802.16 中，控制的訊息分成兩大類，網路控制(network control)的訊息和排程控制(schedule control)的訊息。在 IEEE 802.16 網路控制訊息的部份，主要是針對在 IEEE 802.16 中若有新的 SS 加入或離開時的控制，以及在 IEEE 802.16 和不同的網路做傳輸時的控制。

3.2 集中式排程的控制訊息分析

在集中式排程中，對 queue 中有資料的 SS 在一個 time frame 的時間而言，不論資料量的多寡，都只會在目前的 time frame 中對 BS 發出 BW_REQ，對於 BS 來說，收到 SS 各別發出的 BW_REQ 之後，會依據各個 SS 要求的頻寬來處理不同比例的上 time slots 分配以及排程處理，並將 slots 分配以及排程的結果記錄在 UL-MAP 的資訊中。

在經過排程之後 BS 會對所有的 SS 廣播 UL-MAP 的資訊給在 Mesh 中的所有的 SS，而在 SS 在收 UL-MAP 之後便會依據其內容就開始傳輸的動作。

而由於在資料傳輸的過程中，每個 SS 只要有資料在 queue 都會發出 BW_REQ 給 BS，而不論資料量是多少，一個 SS 在一個 time frame 中只會發一次的 BW_REQ，在經過分析之後，發現在整個資料傳輸的過程中，在控制訊息交換的部份是以 SS 發送的 BW_REQ 為大量的控制訊息，因此我們接下來在計算時也是以著重在於部份的 BW_REQ 計算。

以下是針對 IEEE 802.16 集中式排程中 SS 發 BW_REQ modeling，在開始 modeling 之前，我們先說明設定的假設條件以及名詞定義：

- (1)在整個 Mesh 中，我們假設當 SS 有資料要送的時候，其資料流(flow)的產生是以 Poisson process 的方式，因此在 flow 中，資料進入的速率(input rate, λ)是呈現 exponential distribution 的形態。
- (2)各 SS 的 buffer size 是無限大的，使得不會有資料遺失的情況，由此 SS 也不需要重新傳送的動作 (retransmission)。
- (3)所有有資料要送的 SS，其傳資料進入整個 Mesh 網路的加總不會超過整個 Mesh 的 capacity。
- (4) N_i ，有資料要送的 SS 數量。
- (5) T ，在一個 time frame 週期

以此我們可列出某個 SS 其 BW_REQ 發送的頻率為：

$$BwReqRate = 1 - Prob[\text{沒有資料來要送的 time frame}]$$

$$BwReqRate = 1 - e^{-\lambda N_i T}$$

而在 Mesh 中所有的 SS 發送的 BW_REQ，TotalBwReqRate 是：

$$TotalBwReqRate = \sum_i (1 - e^{-\lambda N_i T})$$

4. 實驗結果與分析

4.1 模擬環境設定

我們是以 $N \times N$ 個 SS 組成棋盤式的 Mesh 網路作為我們的實驗環境如圖 3，在 $N \times N$ 中的 SS 我們選擇一個點作為 BS，且其位置是在於角落上。Link capacity 是設成 C Mbps，一個 time frame 的是由 K 個 time slots 組成，且一個 time slot 的長度是 1 ms，因此每個 time frame 可傳送的資料為 $C * K$ kb，以下為我們的實驗環境的參數如表 1：

表 1. 模擬實驗參數

Description	Value
Network Size(N*N)	5*5 Mesh
Link Capacity (C)	5Mbps
Packet size	5Kbits
Frame Duration	64 ms
# of data slots per frame	64 slots
slot duration	1 ms

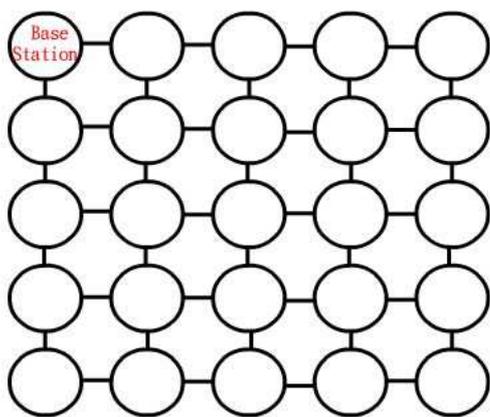


圖 3 模擬環境

我們將模擬環境設定成 5×5 的 Mesh 大小，並且將 BS 的位置設定在左上角的位置，因此對於集中式排程而言，所有的資料都必須先往左上角的 BS，然後再往 destination 的 SS 方向送。

在 time frame 的 data sub-frame 部份，我們設為 64 個 mini-slots，而 total capacity 則是設為 5Mbps。

4.2 集中式排程效能

在集中式排程的模擬實驗中，我們針對會以 flow 數以及各個 flow 的 hop counts 數做為主要的實驗變數，測試在不同的 flow 以及 hop count 數中，對於 signaling cost 的影響。在圖 4 的模擬實驗中，我們固定 flow 的數量之後可以很明確看出，在同樣的 flows 數量中，hop count 數量多寡是影響 signaling 發送頻率的主因，其原因是在於有資料要送的 SS 數量可能增加了。此外，其 flow 經過的 hop counts 都相同的情況，但是 flow 的數量不同，我們也同時觀察，在不同 flow 數量情況下對 signaling 的影響為何。在圖 5 中每個 flow 都是相同的 hop counts 數時，signling 發送的頻率在不同的 flow 數量上也有所差別，綜合以上兩個觀察結果我們認為在 Centralized scheduling 中，影響

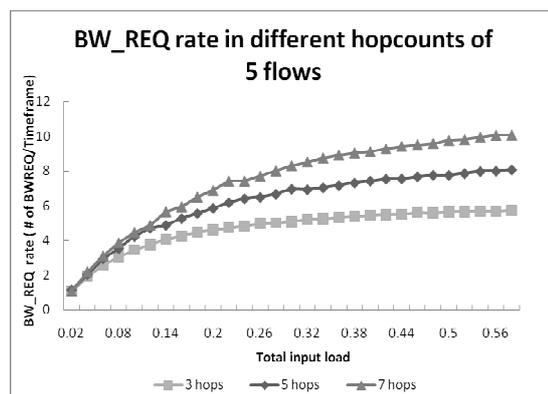


圖 4 不同 hop counts 的影響

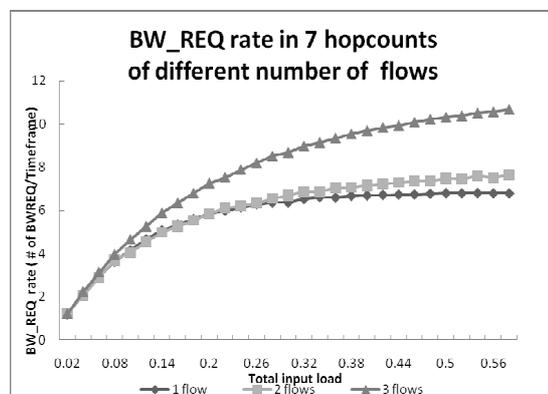


圖 5 不同 flows 的影響

signaling cost 最重要的因素是在於 active SS 的數量，當 load 輕的時候，由於有可能有些 SS 目前尚未有資料要送，因此其影響還不顯著，但當 input load 變大時，同時有資料要送的 SS 機率變大時，其影響的效果就會比較顯著。

此外，以數學模型推出在集中式排程中 signaling 數量的理論數據，我們也對理論值和模擬程式的結果做了比較。

在圖 6 中，我們針對在 Mesh Networks 中每次只會有 10 個資料流，且每個資料流平均是 6 個 hop counts 的情況下做的實驗，在實驗結果我們可以發現 SS 在不同的 flow rate (SS 被經過的 flow 數量)下，其成長的分佈跟我們在理論分析是相符合的。

5. 結論

在本篇論文主要的重點是在對 IEEE 802.16 集中式排程做訊息成本的分析，在影響集中式排程的 BW_REQ rate 因素中，最重要的因子是在同時間有資料要送的 SS 的數量有多少，當同時間有資料要送的 SS 數量愈多，發出的 BW_REQ 的數量也愈多，而影響有資料要送的 SS 數量的原因是在於 flow 的數量以及各個 flow 的 hop count 數。另外，我們在針對集中式排程的部份也提出一個簡單的數學分析模型，而我們在實驗模擬的結論也符合我們原來所預期分析情況。

參考文獻

- [1] 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.
- [2] 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.
- [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 2.4GHz band," Sept. 1999.
- [5] IEEE Std. 802.11g, "Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications: Higher Speed Physical Layer in the 2.4GHz band," June 2003.
- [6] H. Shetiya, and V. Sharma, "Algorithms for Routing and Centralized Scheduling to Provide QoS in IEEE 802.16 Mesh Networks," in Proceedings of the 1st ACM workshop on Wireless multimedia networking and performance modeling (WMuNeP 2005), pp. 140-149, Oct. 2005.
- [7] 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.
- [8] 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.
- [9] 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.
- [10] J. Chen, C. Chi, and Q. Guo, "A Bandwidth Allocation Model with High Concurrence Rate in IEEE 802.16 Mesh Mode," in Proceedings of IEEE 2005 Asia-Paific Conference on Communications, pp. 750-754, Oct. 2005.
- [11] G. Narlikar, G. Wilfong, and L. Zhang, "Designing Multihop Wireless Backhaul Networks with Delay Guarantees," in Proceedings of 25th IEEE Conference on Computer Communications (INFOCOM 2006), pp. 1-12, Apr. 2006.
- [12] F. Liu, Z. Zeng, J. Tao, Q. Li, and Z. Lin, "Achieving QoS for IEEE 802.16 in Mesh Mode," in Proceedings of 8th International Conference on Computer Science and Informatics, July 2005.

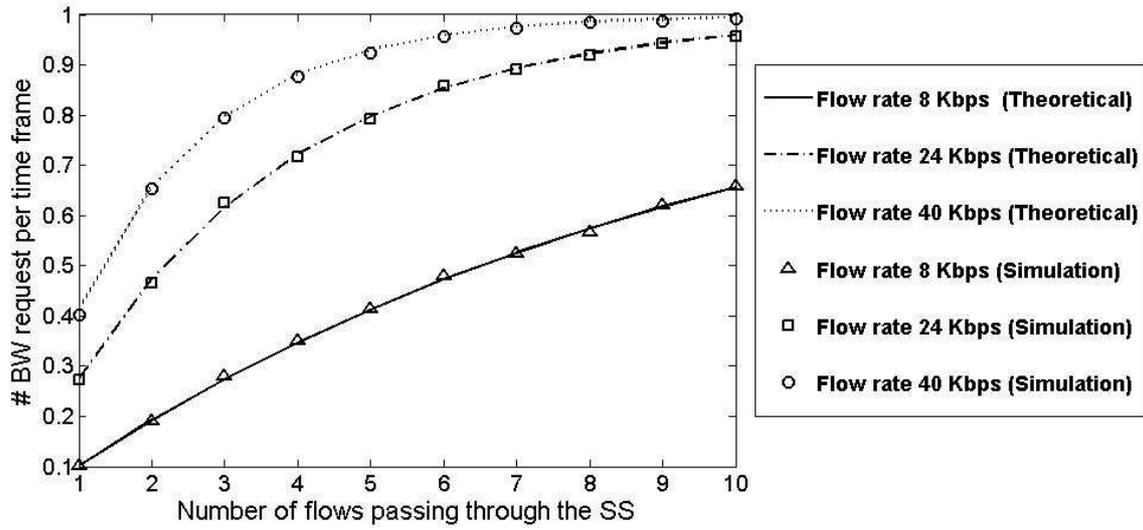


圖6 理論值和模擬數據之比較