

改良式階層頻寬管理系統

施宏旗¹, 何俊輝², 潘正祥¹, 廖斌毅¹

¹ 高雄應用科技大學, ² 正修科技大學

hqshi@bit.kuas.edu.tw

摘要

因應網際網路用途的多元化及使用人口的增加, 目前網路的頻寬實已達瓶頸。要疏解網路頻寬擁塞的壓力, 擴大頻寬是最直接的方法, 但這只是治標的短程解決辦法, 最有效、最實際解決的治本方法就是將網路頻寬資源使用在真正需要使用的地方。尤其近年來, 隨著網際網路之迅速發展, 各種網路相關的應用軟體也如雨後春筍般的出現在網際網路上。舉凡 World Wide Web、Voice over IP、MP3、FTP、POP3.....等等, 不同類型的應用軟體各有其特色與需求, 有些屬於即時性的應用對於網路所造成的時間延遲相當敏感, 有些則側重資料傳輸的完整性。而當這些多元化的應用軟體在企業網路或是校園網路上同時使用時, 往往會因為網路頻寬的不足而造成擁擠不堪的窘境, 嚴重影響服務品質。

因此本論文主要是根據相關之論文[4]提出一改良式階層式頻寬管理機制, 結合子網路階層頻寬管理演算法及使用者階層頻寬管理演算法, 來公平的分配使用者及子網路可使用的網路頻寬量, 並搭配使用者連線狀態機來給予異常使用者懲罰, 同時確保正常使用者的網路服務品質。

Keyword: 網路管理、階層式、SNMP、使用者連線狀態機。

1.前言

目前而言, 校園網際網路傳輸頻寬朝向 10Gbps 乙太網路的方向發展, 但於傳統的網路傳輸協定僅提供盡力式的傳輸服務, 這種傳輸服務缺乏服務品質, 在傳輸的過程中會因為當時的網路流量而影響傳輸速度, 而且不同網路服務對頻寬的要求不同, 但卻只能在相同立足點上搶奪頻寬資源, 因此對網路使用者的行為無法有效管理與控制而遭遇了許多問題, 其遭遇到的相關問題有:

個別使用者取得的網路頻寬無法滿足其網路服務要求:

由於 Multimedia 與 VoIP 等即時資訊傳遞服務的大量興起, 除了加重網路頻寬負擔外, 如網路頻寬不足亦無法滿足各個應用程式所需的網路服務品質要求。

網路頻寬易遭少數使用者佔用:

校園網路雖擁有大量的傳輸頻寬, 但每位使用者之網路傳輸頻寬無法獲得一定程度之保障, 主要原因是有少數不正常的使用者佔據大量的網路頻寬, 使得正常網路使用者反而無法得到該有的服務品質而造成的不公平現象。

中毒電腦癱瘓及佔用網際網路:

由於層出不窮的電腦病毒, 使用者很容易在不經意間中毒而產生大量垃圾封包, 當網路頻寬愈大, 其產生的垃圾封包量就愈驚人, 除了佔用本身網段的頻寬外, 亦危害到整個骨幹網路的正常運作。

網路頻寬是所有網路使用者所共同享有的, 如何有效地運用有限的網路頻寬, 是網路管理者必須時時刻刻注意與關心的重要工作。因此管理者必需要瞭解每位使用者使用了多少的網路頻寬, 同時要防止不當使用行為的發生, 因此勢必需要建置一套網路資料蒐集機制, 才能從蒐集到的數據中, 判斷出那些使用者在濫用網路資源, 然後針對這些不當使用者做適當的處置, 以減輕網路頻寬的負擔, 保持網路之暢通與網路的服務品質。彙集、分析每位使用者其使用網路資源的流量, 以及各個主要網路設備的負載統計資料, 且從蒐集的資料中自動判斷出不當使用者, 並立即做出相關通知與限制使用的處置。

本篇論文架構組成如下: 第二節將介紹過去相關論文之研究方式之探討; 本論文提出之管理架構將於第三節介紹; 第四節則介紹本論文所提出之架構其演算法及虛擬碼; 第五節則依本論文提出之架構利用 NS2 模擬之演算法所繪之模擬圖形; 第六節則對我們所提出的階層式頻寬管理作一個簡單的結論。

2.相關研究:

目前已有多篇關於公平的網路頻寬的論文提出, 如 Ion Stoica 等所提的 CSFQ [8]架構, 其依功能將 Router 分為 Edge Router 與 Core Router 兩種, 依 Edge Router 與 Core Router 之數據與各個封包的 flow rate 比較, 決定該封包丟棄的機率, 以達到絕對頻寬公平共享的效果。

而 Xiaobo Zhou 和 Cheng-Zhong Xu 所提出的 Harmonic Proportional Scheme [6]可保證每個 streaming 要求最低的頻寬使用, 若系統有多餘的頻寬時, 則按照requests的等級來分配, 等級越高的 flow 得到越多的頻寬。

Maria-Dolores Cano 和 Fernando Cerdan [7]則是以Diff-Serv為架構，在 Edge 端監控各個使用者的傳輸速率與其所租用的傳輸速率比對，以保證使用者所租用的傳輸速率。

上述之相關論文中，分別以不同角度來提供絕對公平或是相對公平的頻寬管理機制，然而這些機制都需修改現有的路由設備以達到公平分享頻寬目的。有別於目前相關文獻所提之方法，本論文是架構在現有的網路設備下，根據相關之論文[4]提出一改良式階層頻寬管理系統，來達到網路頻寬使用的公平性。

3.管理架構：

本系統架構如圖 1 所示，分為四個部份，分別為流量監視器模組(Traffic Monitoring Module)、子網路分析模組(Subnet Analyze Module)、使用者分析模組(User Analyze Module)及頻寬管理模組(Bandwidth Management Module)。

系統初始化分析子網路及使用者頻寬時，需先經由子網路分析模組利用各子網路類別人數及類別權重，來分析各子網路所能使用之頻寬量，後再經由使用者分析模組利用各類別下使用者之人數，來分析得到各子網路下使用者所能使用之頻寬量。當任一子網路有新登入之使用者，而該子網路之剩餘頻寬不足時，則向其餘子網路借用平均總剩餘頻寬，且當平均總剩餘頻寬不足時則需重新初始化系統，其餘週期時間各模組獨立運作。

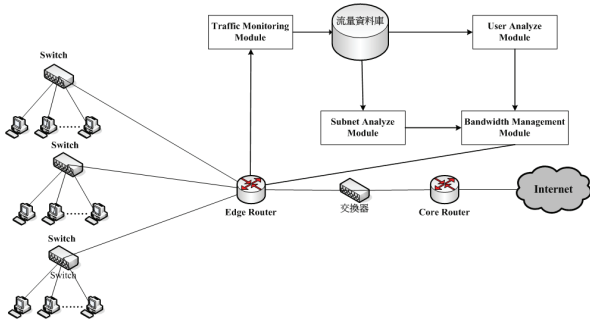


圖 1. 系統架構

流量監視器模組(Traffic Monitoring Module)：

流量監視器模組週期性的搜集各網段中網路設備的流量資訊，統計各子網路及使用者實際使用網路的頻寬量，並儲存至流量資料庫供其它模組使用。

子網路分析模組(Subnet Analyze Module)：

子網路分析模組根據流量資料庫所儲存的即時資料，配合前一個時間週期分析後回傳予流量資料庫之歷史資訊，利用子網路階層頻寬分配演算法計算每個子網路可使用的頻寬量，來執行差異式流量控制，詳細演算法於4.1節說明。

使用者分析模組(User Analyze Module)：

使用者分析模組與子網路分析模組相似，其根據流量資料庫的資料，配合前一個週期時間分析後回傳

予流量資料庫之歷史資訊，且利用使用者階層頻寬分配演算法依據使用者類別及使用者連線狀態機來分析、計算每位使用者可使用的頻寬量，詳細演算法於4.2節說明。

頻寬管理模組(Bandwidth Management Module)：

頻寬管理模組將子網路及使用者分析模組分析後的資訊，透過SNMP協定來設定各子網路及使用者可使用的總頻寬量。

4.階層式頻寬分配演算法：

我們透過流量監視器的回報統計結果資訊以公平為原則並且將網路架構分成子網路階層及使用者階層來決定每個子網路及使用者可送到骨幹網路的頻寬量。

4.1 子網路階層頻寬分配演算法：

在子網路階層方面，本論文的子網路分析模組其頻寬分配機制，是利用流量監視器模組的回報資訊及使用者類別，來執行差異式服務的流量控制。

我們將使用者分成 n 個類別，在時間 t_i 期間內類別 j 所能傳輸的總頻寬為 $BW_c(t_i)$ ：

$$BW_c(t_i) = \sum_{j \in C} \frac{w_j}{\sum w_j} * BW_d \quad (1)$$

$$w_i = N_i * weight_i \quad (2)$$

其中 $c \in \{\text{總類別數}\}$ ， N_i 為類別 i 中的使用者人數且 $i \in c$ ， $weight_i$ 為各類別下每位使用者所分配到的權重值，通常同一類別下之使用者權重值相同， BW_d 為網路骨幹頻寬。

依據式子(1)可以求得類別 c 所能傳輸的總頻寬，後再依據式子(3)將各類別總頻寬頻平均分給各類別之總使用者 N_i 即可求出各類別使用者在 t_i 時間所能傳輸的最大基本頻寬 $BW_{cb}(t_i)$ ：

$$BW_{cb}(t_i) = \frac{BW_c(t_i)}{N_i} \quad (3)$$

依據式子(3)求得各類別使用者之基本頻寬 $BW_{cb}(t_i)$ ，依據各子網路之使用者人數 N_{si} 及其類別之基本頻寬 $BW_{cb}(t_i)$ 再根據式子(4)即可求得時間 t_i 時子網路 s 之總頻寬量 $BW_s(t_i)$ ：

$$BW_s(t_i) = \sum_{k=1}^h (BW_{cb}(t_i) * N_{si}(t_i)) \quad (4)$$

頻寬管理模組利用子網路分析模組依據式子(3)、(4)所得出各類別使用者之基本頻寬及子網路總

頻寬量後，利用SNMP協定來設定子網路硬體設備及其下各使用者之網路頻寬，並且週期性的根據流量監視器模組的回報資訊來做更新。

當有新使用者登入子網路時，頻寬管理模組也會根據新登入之使用者所需之類別基本頻寬，並根據流量監視器回報新使用者登入之子網路其實際使用之頻寬 $BW_{es}(t_i)$ ，並且依照式子(5)來分配新使用者頻寬 $BW_{sp}(t_i)$ ：

$$BW_{sp}(t_i) = (BW_{s(t_i)} - BW_{es}(t_i)) - BW_{cb} \quad (5)$$

$$\begin{cases} BW_{sp}(t_i) > 0 & \text{新使用者得到基本頻寬} \\ otherwise & \text{向其它類別借頻寬} \end{cases}$$

當剩餘頻寬足夠給予使用者類別基本頻寬時則新登入之使用者得到其類別基本頻寬，當頻寬不足時則需根據式子(6)向其他子網路數 n 借平均總剩餘頻寬 $BW_{tsp}(t_i)$ ：

$$BW_{tsp}(t_i) = \frac{1}{n} \left(\sum_{s=1}^n BW_{s(t_i)} - BW_{es}(t_i) \right) - BW_{cb} \quad (6)$$

$$\begin{cases} BW_{tsp}(t_i) > 0 & \text{新使用者得到基本頻寬} \\ otherwise & \text{重新分配各類別總頻寬} \end{cases}$$

我們使用下述之虛擬碼來描述子網路階層頻寬分配演算法：

Step 1：

Calculate class bandwidth

Calculate base bandwidth for users of each class

Calculate bandwidth for each subnet

Step 2：

Wait for a period or let subnet add new users

If add new user to subnet

then goto step 3

else if Wait for a period

then goto Step 4

end If

Step 3：

if subnet logged by new user have enough

remainder bandwidth for new user class base

bandwidth

then new user gets enough base bandwidth

else if average total remainder bandwidth for total subnet has enough bandwidth for new user class base bandwidth

then new user gets enough base bandwidth

else

then goto Step 1

end If

goto Step2

4.2使用者階層頻寬分配演算法：

在使用者階層方面，流量監視器模組週期性的

回報之每位使用者在 t_i 時間之傳輸量，其後使用者分析模組再根據其資料利用式子(7)、(8)及(9)得出每位使用者在 t_i 時間內所佔用之總網路傳輸量 $TH_p(t_i)$ 、平均傳輸量 $r_p(t_i)$ 及總平均傳輸量 $R_p(t_i)$ ，並且根據使用者狀態連線狀態機來決定各使用者是否需要調整頻寬：

$$TH_p(t_i) = TH_p(t_{i-1}) + T_p(t_i) \quad (7)$$

$$r_p(t_i) = \frac{T_p(t_i)}{t_i} \quad (8)$$

$$R_p(t_i) = \alpha * R_p(t_{i-1}) + (1 - \alpha) * r_p(t_i) \quad (9)$$

式子(7)、(8)及(9)中， $T_p(t_i)$ 為 t_i 時間時使用者 p 之網路傳輸量， $TH_p(t_i)$ 為到 t_i 時間為止使用者 p 的總傳輸量， $r_p(t_i)$ 為使用者 p 在 t_i 期間內所使用之平均傳輸量， $R_p(t_i)$ 為使用者 p 平均傳輸速率。根據式子(7)與(8)，我們設定兩個門檻值，分別為網路使用者的最大網路傳輸量 TH_{max} 及網路使用者之最大的平均傳輸速率 R_{max} 。

我們將每位使用者之狀態分為正常權重 Weight 1、次一級權重 Weight 2、Minimum Weight 及 Discard 四種狀態如圖4。其狀態轉換條件說明如下：

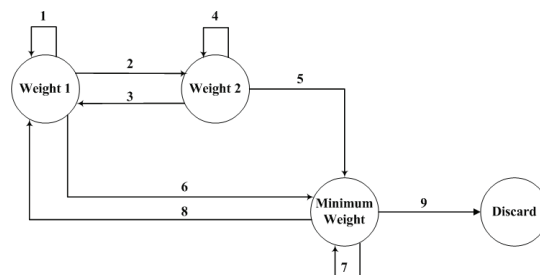


圖2. 使用者連線狀態機

1. 一般使用者正常使用網路下 $TH_p(t_i) < TH_{max}$ 且 $R_p(t_i) < R_{max}$ ，使用者擁有正常頻寬量。
2. 當使用者瞬間佔據大量頻寬時 $TH_p(t_i) < TH_{max}$ 但 $R_p(t_i) > R_{max}$ ，使用者將會被限至次一級權重 Weight 2。
3. 當使用者在次一級權重 Weight 2 下正常使用網路時 $TH_p(t_i) < TH_{max}$ 且 $R_p(t_i) < R_{max}$ ，即恢復至正常權重。
4. 使用者在次一級權重 Weight 2 下繼續異常使用網路 $TH_p(t_i) < TH_{max}$ 但 $R_p(t_i) > R_{max}$ 。
5. 使用者在次一級權重 Weight 2 下繼續異常使用網路，導致 $R_p(t_i) > R_{max}$ 且 $TH_p(t_i) > TH_{max}$ ，使用者將被限至 Minimum Weight 狀態。
6. 使用者在正常使用網路下 $R_p(t_i) < R_{max}$ ，但已超過當天網路流量門檻 $TH_p(t_i) > TH_{max}$ ，使用者亦會被限至 Minimum Weight 狀態。
7. 使用者網路流量 $TH_p(t_i) > TH_{max}$ 超過系統上限。

8. 系統週期性重置 $R_p(t_i)$ 及 $TH_p(t_i)$ 。
9. 使用者 $TH_p(t_i) > TH_{max}$ 次數超過系統上限，期將被限至 Discard 狀態。

我們使用下述之虛擬碼來描述使用者階層頻寬分配演算法：

Step 4 :

Calculate every user's average throughput for a period and total average throughput

Calculate every user's total throughput

If user's total throughput is over the user's total limited throughput given by system

then reduce bandwidth to minimum weight and increase the counting for the exceeding total throughput

end If

If the number of counter is more than the limited by system

then discard the user bandwidth

end If

If user's average throughput is over the total average throughput

then reduce bandwidth to sub-class weight a.

else if user's bandwidth normally but user's bandwidth had been reduced

then adjust bandwidth to the base bandwidth

end If

goto Step 2

5.Simulation :

我們根據子網路及使用者階層頻寬分配演算法之虛擬碼及 NS2 網路模擬軟體，來驗證子網路階層及使用者階層頻寬管理機制。模擬環境架構如圖3：

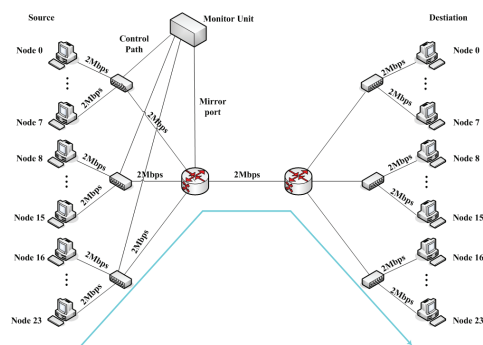


圖3. 模擬環境架構

模擬環境設定實體網路頻寬皆為2Mbps，左邊，Node0 ~ Node23為來源端為來源端，其有3個子網路，每個子網路下有8 個使用者，使用者類別共有四個類別，權重分別為1~4。模擬環境設定每個使用者傳輸狀態皆為Pareto on/off distribution，其on週期為200ms，off週期為100ms，每個封包長度為500bytes，Node24 ~ Node47為目的端。

Case 1 :

- a. 3個子網路同時登入，子網路皆無使用頻寬管理，由圖4可知如果只使用單純FIFO方式來傳遞封包，大部分的網路頻寬皆由某一子網路佔有，造成不公平現象。

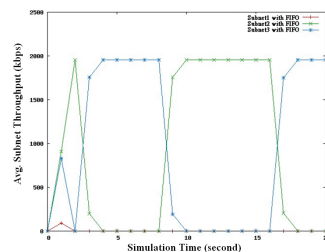


圖4：未使用頻寬管理機制

- b. 3個子網路同時登入，各類別使用者平均分配於各子網路。由圖5可知子網路階層頻寬管理機制可以平均分配各子網路之頻寬，使其不會有某一子網路佔有骨幹網路頻寬之現象發生。

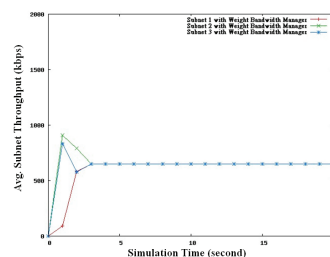


圖5：使用頻寬管理機制

Case 2 :

3個子網路同時登入，相關子網路使用者類別設定如表1：

表1 各子網路相對應使用者人數

子網路	類別1 使用者	類別2 使用者	類別3 使用者	類別4 使用者
1	4	1	2	1
2	1	4	2	1
3	1	1	2	4

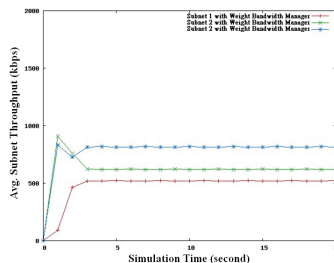


圖6 各子網路使用頻寬量

Case 3 :

- a. 3個子網路不同時間登入，各類別使用者平均分配於各子網路，
- b. 3個子網路不同時間登入，子網路相關使用者設定如表2：

表2 各子網路相對應使用者人數

子網路	類別1 使用者	類別2 使用者	類別3 使用者	類別4 使用者
1	4	1	2	1
2	1	4	2	1
3	1	1	2	4

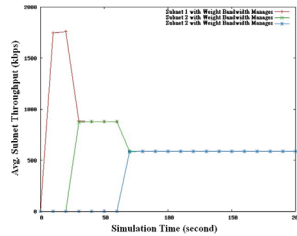


圖7 各子網路使用頻寬量

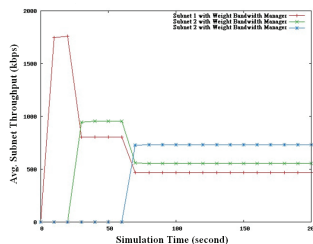


圖8 各子網路使用頻寬量

由圖6、圖7及圖8經由模擬所描繪之圖形可知，子網路階層頻寬管理機制可以依據各類別人數及權重來平均分配各子網路頻寬，使得使用者類別權重較重之子網路所得之總頻寬量較多。

Case 4：

- a. 3個子網路同時登入，子網路1其類別1初始僅有1位使用者，其餘設定如表3。

表3 各子網路相對應使用者人數

子網路	類別1 使用者	類別2 使用者	類別3 使用者	類別4 使用者
1	1	2	2	2
2	2	2	2	2
3	2	2	2	2

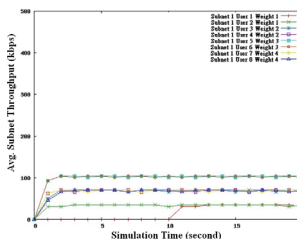


圖9:子網路1使用者頻寬使用量

圖9中子網路1類別4的2位使用者只使用1/2頻寬，當子網路1有一位類別1之使用者在時間10秒時登入子網路1，因類別4的2位使用者只使用1/2頻寬，其尚有多餘頻寬，因此給與使用者其類別1之基本頻寬。

- b. 子網路1其類別4初始僅有1位使用者，其餘設定如表4。

表4 各子網路相對應使用者人數

子網路	類別1 使用者	類別2 使用者	類別3 使用者	類別4 使用者
1	2	2	2	1
2	2	2	2	2
3	2	2	2	2

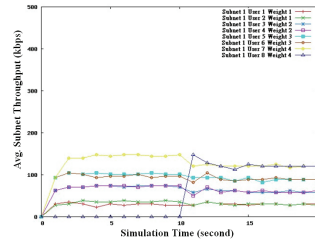


圖10 子網路1使用者頻寬使用量

圖10中3個子網路同時登入，模擬設定各子網路之使用者充分使用頻寬，當子網路1有一位類別4使用者在時間10秒時登入子網路1，因子網路1無多餘頻寬且其它子網路亦無多餘頻寬，因此需重新分配各類別頻寬及子網路頻寬。

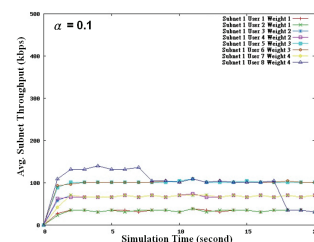
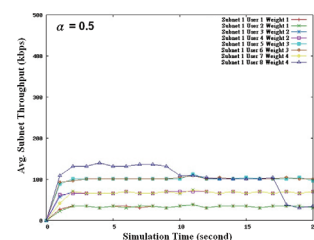
由圖9及圖10經由模擬所描繪之圖形可知，在新使用者登入子網路時，子網路階層頻寬管理機制會先確認登入之子網路及其他子網路是否有足夠之頻寬可供使用，若無足夠之頻寬則再重新分配各類別之寬，因此可大幅減少頻寬管理伺服器及各網路設備之負擔。

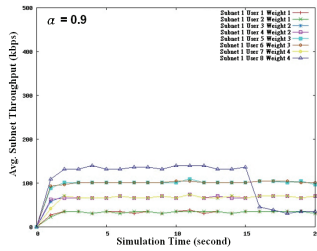
Case 5：

3個子網路同時登入，相關使用者設定如表5。子網路1類別4只有一位使用者使用全部頻寬，且 $TH_{max} = 250KB$ 、 $R_{max} = 17KB$ ， $\alpha = 0.1$ 、 0.5 及 0.9 來觀察使用者階層頻寬管理機制。

表5 各子網路相對應使用者人數

子網路	類別1 使用者	類別2 使用者	類別3 使用者	類別4 使用者
1	2	2	2	2
2	2	2	2	2
3	2	2	2	2

圖11 $\alpha = 0.1$ 圖12 $\alpha = 0.5$

圖 13. $\alpha = 0.9$

由圖11經由模擬所描繪之圖形可知在 $\alpha = 0.1$ 時，當使用者平均大量的使用頻寬時，經由式(9)可知 R_p 會快速的增加，當超過 R_{max} 後使用者會被降速至下一級之類別頻寬，且因為使用者持續大量的使用頻寬經過一段時間後總傳輸量會超過 TH_{max} 後，使用者會被限制頻寬至 Minimum Weight。將 α 設定為0.1之優點為，使用者階層頻寬管理機制對於使用者瞬間頻寬使用量的敏感度將會提高，當使用者突然大量的使用網路時將會快速的使 $R_p(t_i) > R_{max}$ 後將使用者降速至次一級類別頻寬，但缺點為可能使得使用者平均可使用的頻寬皆在次一級頻寬下，造成使用者沒有正常情況下的最大頻寬量。

由圖12經由模擬所描繪之圖形可知在 $\alpha = 0.5$ 時，如果使用者平均大量的使用頻寬時，相較於 $\alpha = 0.1$ 時 R_p 並不會快速的增加，使得其平均傳輸速率相較於 $\alpha = 0.1$ 將會較慢超過 R_{max} ，但如果依然持續大量的使用網路頻寬使得總傳輸量會超過 TH_{max} 依然會被限制頻寬至 Minimum Weight。因此可知在 $\alpha = 0.5$ 時之優點為，較不會將使用者持續歸類在次一級頻寬，但缺點為 R_p 較不敏感因此較無法及時反應使用者頻寬使用狀況。

由圖13經由模擬所描繪之圖形可知在 $\alpha = 0.9$ 時，如果使用者平均大量的使用頻寬時， R_p 將會以非常慢的速度增加，使得其平均傳輸速率超過 R_{max} 將會需要經過非常長的一段時間，但如果持續大量的使用網路頻寬使得在平均傳輸速率超過 R_{max} 前，總傳輸量先超過 TH_{max} ，將會使得使用者頻寬直接被限制至 Minimum Weight。因此可知在 $\alpha = 0.9$ 時之優點對於使用者持續使用大量頻寬較為敏感而將其直接限制至 Minimum Weight，但缺點為可能會跳過降速至次一級頻寬，使得使用者突然大量被降速。

由以上頻寬管理機制模擬結果可知，本論文提出之頻寬管理演算法根據模擬結果所描繪之圖形，可有效且公平的分配的子網路及子網路下各使用者之頻寬。

6. 結論：

本論文利用階層式管理的架構將網路分成子網路階層及使用者階層，利用子網路階層及使用者

階層頻寬管理演算法，來解決頻寬分配不公等問題。最後將經由子網路及使用者分析模組分析後的資訊，透過頻寬管理模組利用 SNMP 協定來設定各子網路設備及使用者可以使用的總頻寬量。

經由 NS2 模擬結果，可驗證『子網路階層頻寬管理演算法』的有效性。該演算法可以依據各類別人數及權重來平均分配子網路頻寬，滿足頻寬分配之公平性要求。而『使用者階層頻寬管理演算法』，可因應管理者不同的管理需求，調整相關參數設定，提供不同形式的使用者階層頻寬管理。

實驗中使用各種不同的模擬條件，而其結果顯示，本論文提出的階層式管理架構皆可以達到頻寬使用之公平性，此外使用者連線狀態機可在使用者異常使用網路時給予懲罰。此一機制可以當使用者在頻寬遭降低時產生警惕，且當使用者異常使用網路超過一定次數時才予以收回頻寬，此機制同時亦確保正常使用者的網路服務品質。

7. 參考文獻：

- [1] 范綱祥¹、潘仁義²、田至德³。網路流量即時監測與節制系統之研究 以 PC 實做之低成本解決方案。TANET 2002。清華大學計算機與通訊中心¹、清華大學資訊工程學系²、逢甲大學電機工程學系³。
- [2] 林鳳銘、吳守豪、李蔡彥。Distributed Netflow Analysis for Limiting User Data Rates。TANET 2002。國立政治大學電算中心。
- [3] 林廷皆、賴薇如。階層式自動偵測頻寬管理系統之設計與實做。元智大學電機工程學系。
- [4] 張慶龍、楊智淵、徐正哲。以分層公平頻寬使用考量之校園網路管理架構設計與實現。TANET 2006。國立雲林科技大學學資訊工程所。
- [5] 張安平、黃世銘。新世紀宿舍網路管理系統。TANET 2003。中原大學電算中心。
- [6] Cheng-Zhong Xu and Xiaobo Zhou "Harmonic Proportional Bandwidth Allocation and Scheduling for Service Differentiation on Streaming Servers," IEEE TRANSACTIONS ON PARALLEL AND DISTRIBUTED SYSTEMS, VOL. 15, no. 9, pp.835-848, 2004.
- [7] Fernando Cerdan and Maria-Dolores Cano, "Proportional Bandwidth Distribution in IP Networks Implementation the Assured Forwarding PHB," Proceeding of the 10th IEEE Symposium on Computer and Communication (ISCC 2005.)
- [8] Hui Zhang, Ion Stoica and Scott Shenker, "Core-Stateless Fair Queueing: Achieving Approximately Fair Bandwidth Allocations in High Speed Networks," IEEE/ACM TRANSACTIONS ON NETWORKING, VOL. 11, NO. 1, FEBRUARY 2003.