

Integration and Performance Evaluation of Airtime Metric and Geocast in P2P-based VoD Streaming Cache

吳庭育

淡江大學

tyw@mail.tku.edu.tw

詹弘麟

淡江大學

697450327@s97.tku.edu.tw

李維聰

淡江大學

wtlee@mail.tku.edu.tw

廖冠綸

宜蘭大學

b9426002@niu.edu.tw

摘要—以點對點為基礎的視訊隨選系統(P2P-based VoD System)已被大量的提出與應用。隨著行動網路的蓬勃發展，我們提出一適用於行動網路上的 VoD 系統，透過系統的群組分類並各自建立起骨幹(Backbone)網路進行串流影像資料的分享及傳輸。然而不在骨幹網路上的行動節點，透過我們的路徑選擇機制可以快速地經由適當的路徑去接收影像的資料，並作系統負載平衡的動作，我們不僅考慮了地域性對行動節點的影響，劃定新的無線 mesh 網路(Wireless Mesh Networks, WMNs)範圍，並透過 IEEE 802.11s 提出的 Airtime metric 去計算各 Mesh 迴路的成本值，選取最佳的轉傳路徑。

關鍵詞—P2P-based VoD、WMNs，Airtime metric

Abstract—Peer-to-peer based systems have been widely proposed to provide the Video-on-Demand (VoD) service on the internet in recent years. With the deployment of mobile networks, we proposed a suitable VoD system for mobile networks. Classify peers into groups and establish the backbone networks, peers in the same group can share and transmit the streaming video through the backbone networks. Some mobile nodes were not located on backbone networks can receive the streaming video through the WMNs. Through our path selection mechanism, peer can route faster and the system will be load-balancing. We consider not only the influence of the locality but also calculate the airtime cost to every mesh loop which had been defined in IEEE 802.11s.

Keyword—P2P-based VoD、WMNs，Airtime metric

一、前言

以點對點為基礎的隨選視訊系統隨著寬頻網路的迅速發展，已被提出許多的應用 [8][13][14][15][16]。以 P2P 為基礎的 VoD 系統最基本的概念是允許各節點同時存取與分享暫存在各節點緩衝區 (buffer) 內的影像資料，此方式可以充分的使用網路上的頻寬，減輕影像伺服器 (Video server) 的負載，如此一來，可減少伺服器建置的成本。

P2P-based VoD 系統通常能提供較少的存取延遲時間，即快速地加入系統並取得影像資料 [8]，然而 P2P-based VoD 系統所面臨到的問題有每個使用者或節點對影像伺服器存取的時間不同，而存著影像的不同片段，如何有效的將這些影像片段作有效的管理與其它節點作分享的程序是需要一些機制的。另外 P2P-based VoD 系統也常藉由快取 (Cache) 的管理機制，對於各節點的緩衝區資料做有效的管理與分配，增強 P2P-based VoD 系統的錄放影 (VCR) 功能。

在無線網路中，VoD 系統所面臨的挑戰更大，隨著行動節點 MN (Mobile Node) 位置的變化不容易預測，在原始網路分配好的傳輸路徑也可能在短時間由於節點的移動而產生變化或失效。

本論文提出的 VoD 系統也採用點對點的為基礎的 VoD 系統的概念 [14]，但在群組的分類與管理上有著不一樣的定義，我們在群組內另外建立了骨幹網路的部份，並且探討在無線的網路環

境中可能面臨的狀況，我們考慮了行動節點間的傳輸範圍，也考慮了骨幹 (Backbone) 網路外的節點的影像資料傳輸路徑如何去做選擇。藉由其它行動節點進行 Multi-hop 傳送資料至不在傳輸串流的骨幹網路上的其它節點，然而為了確保繞徑的品質與穩定性，必需選擇最適當的路徑，選擇路徑的權重不一定是 Hop 數最少或是路徑最短的路徑才是最佳的傳送路徑。

本機制使用地域性傳輸 (Geocast) 的概念定義出新的傳輸區域，將傳輸範圍縮小，透過範圍內的行動節點形成一新的 Mesh 網路，並使用 802.11s 中提出的 Airtime cost 概念，計算出最佳的傳輸路徑，做為 VoD 主要骨幹網路之外的行動節點接收的最佳路徑。透過我們的機制不但減輕 Server 的負擔也可使 VoD 系統間的各傳輸節點作負載平衡的動作，挑選最佳的路徑傳送串流影像資料，使網路 QoS 有所提升。

二、相關資料

(一) 相關研究

在論文[15]就提出了一套混合管理的策略，介紹 Buffer map 的概念，並對 Buffer 內的資料作管理。而在論文[16]也提出了機率性的快取機制，對各節點的 Buffer 有效率的去分配也提供了 VCR 的功能。

在 [13]中，提出了 DCMM 的模型，介紹了由環形 (Ring) 網路形成的 VoD 系統，對各節點的資料作管理與分享，而此篇論文場景沒有探討到除了環形網路上的其它節點。且在論文[14]中提到了群組的概念，將影像串流的部份分為 Direct delivery 及 Relay delivery。Direct delivery 為直接由串流伺服器 (Streaming server) 提供影像資料，Relay delivery 則為群組間的傳送方式。

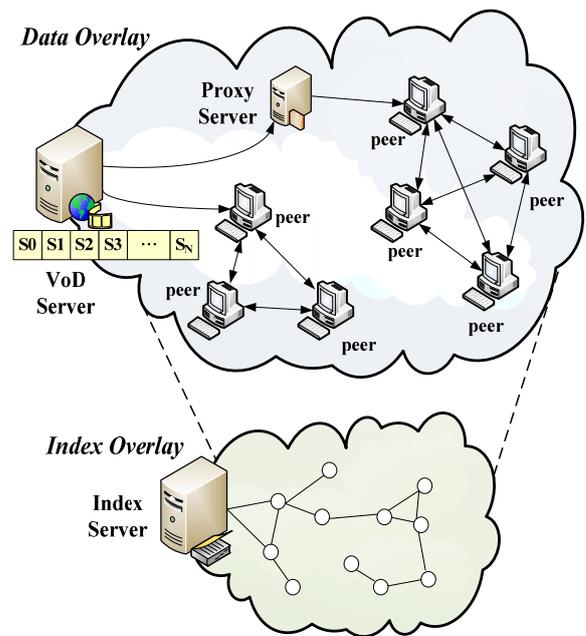
(二) P2P-based VoD 系統

相較於傳統的 Client/Server 架構，是很難滿足持續增加的 Client 節點，使得服務的能力有所受限。以 P2P-based 的 VoD 系統已經被大量的討

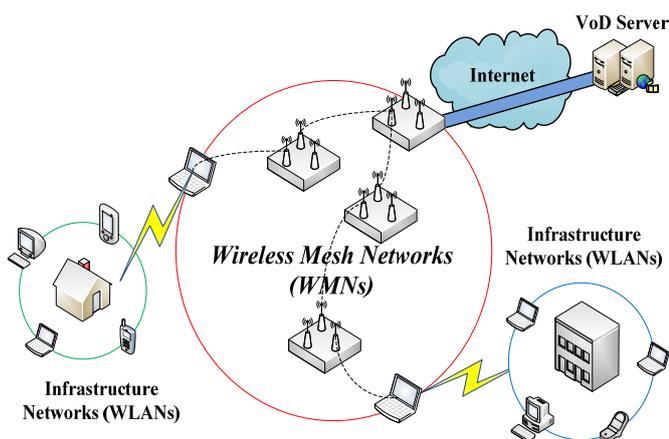
論，並有著相當多的機制可減少 Server 端的負載，並使想收看同一段影像的所有節點能夠有效的共享資料，節省網路的頻寬，進而提升服務品質及減少伺服器的建置成本。一般來說，以 P2P 為基礎的 VoD 系統架構如圖一所示，由所有的線上節點組成 Data overlay 及 Index overlay[16]。

在 P2P-based 的 VoD 系統中，串流影像通常被切割為數等份，當作最小播放單位，而節點間就以這個單位當成請求 (Request) 或快取 (Cache) 的單位，以此單位的影像資料去做互相分享的動作。Index overlay 通常由所有的線上節點組成並提供與管理節點間的資訊，像是節點的相鄰節點及目前播放的片段，也包含著節點加入、離開及節點使用 VCR 的功能資訊等。Data overlay 的連結會形成於當影像資料需要作交換時，並實際透過有相同資料的節點去作交換的動作。

我們提出的 P2P-based VoD 系統將實現於跨層別 (cross-layer) 的網路環境之中，如圖二所示，並主要研究於 WMNs (Wireless Mesh Networks) 的環境，探討 VoD 系統的最佳傳輸路徑與如何做到系統負載的平衡。



圖一、P2P-based VoD system



圖二、Cross-layer WMNs

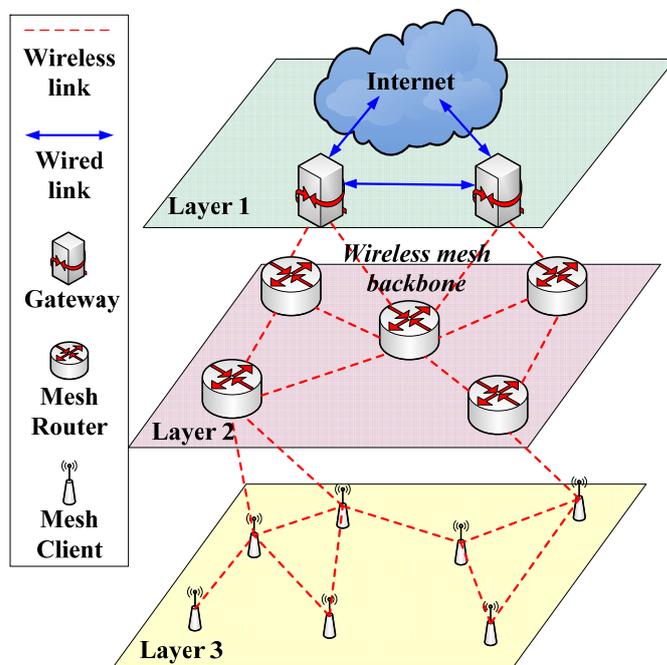
(三) Hybrid WMNs

Wireless Mesh networks (WMNs) 是一個有著自我組織 (Self-organized) 和自我配置 (Self-configured) 特性的無線網路，其網路中的每個節點能夠自動建立起一個 Ad Hoc Network，並且保持其連結。而在 WMNs 下的每個 Mesh node 都有可能成為行動節點以及路由器 (Router)，亦即每個 Mesh node 都可以成為 Mesh router 或是 Mesh client。而 Mesh router 用於組成骨幹網路，透過骨幹網路可連結至 Mesh client 以及 Gateway。而 Mesh client 能夠以自我組織的方式成為一個 Ad Hoc network，透過發送或轉傳的方式發送 Request 至 Mesh router 所組成的骨幹網路，再經由骨幹網路透過 Gateway 以有線的方式與網際網路通訊。

我們 P2P-based VoD 系統是可實現於混合型 WMNs (Hybrid WMNs) 之中[8][15]，其架構可以分為三層。如圖三所示，第一層為 Gateway 以有線的方式連結至網路，第二層是由無線 Mesh router 所組成，連結著第一層的 Gateway 及第三層的 Mesh client，Mesh router 將透過無線骨幹網路提供 Mesh client 連結上網路。

在 WMNs 下，為了能夠在終端用戶之間去決定一條最好的路徑，必須使用特定的 Metric 去對 Mesh router 到 Gateway 的路徑做路由的動作。而傳統的 Metric，例如 Hop count metric，會

讓 Mesh router 去選擇 hop 數最少的 Gateway，但是有可能會對某些 Gateway 造成負載過重，因此我們採用 Airtime metric 機制對 WMNs 做負載平衡 (Load Balance) 的動作。



圖三、Hybrid WMNs 架構圖

(四) Airtime Metric

為了提供終端用戶對於路徑能夠做出最好的選擇，因此在論文[16]中建議使用 Radio Metric 為 Mesh network 下提供路徑選擇的協定。Airtime metric 是藉由傳輸 Test frame 的方式反映出在一條特定的路徑上所耗費 Channel 的資源。該 Metric 所考慮的因素有 Radio 型式、Frame 傳輸的錯誤率和目前資料的傳輸率。公式(1)是於論文[9]中定義計算每條連結 Airtime cost 的公式

$$C_a = \left[O_{ca} + O_p + \frac{B_t}{r} \right] \frac{1}{1 - e_{pt}} \quad (1)$$

O_{ca} 為 Channel access overhead， O_p 為 Protocol overhead， B_t 是 Test frame 的大小，單位為 bits，

而輸入的參數為 r 和 e_{pt} ， r 為資料的傳輸速率，其單位為 Mb/s， e_{pt} 是 Test frame 的錯誤率。在論文[9]中提及一些代表性的常數如表一所列的數值。

表一、Airtime metric 的代表性常數

	802.11a	802.11b/g	描述
O_{ca}	75 μ s	335 μ s	Channel access overhead
O_p	110 μ s	364 μ s	Protocol overhead
B_t	8192bits	8224bits	Bits in test frame

Airtime cost 可以反映出在特定路徑上耗費的 Channel 資源。因此，基於 Airtime metric 透過資料傳輸率、Radio 的型式和 Test frame 錯誤率獲得每條路徑的 Airtime cost，使得 Mesh node 可以藉此去選擇最少 Airtime cost 的路徑。

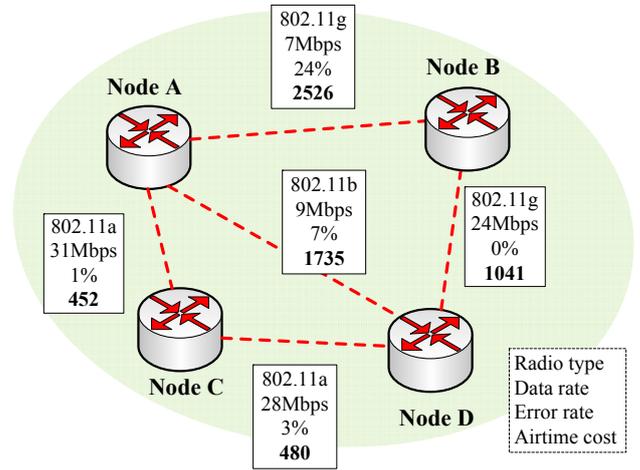
在 Frame 錯誤率的部份我們採用 ETX (Expected Transmission Count) 值來計算，ETX 衡量藉由節點間週期性的傳送一個訊息，也週期地以傳送回應給鄰居訊息遺失的情形，而節點根據這些數據產生新的 ETX 值。節點依據此新的 ETX 產生新的衡量，在論文[5]中定義了 ETX 衡量值，預期被傳送的數值如公式(2)所示。

$$ETX = \frac{1}{d_f \times d_r} \quad (2)$$

順向傳送比率 (Forward Delivery Ratio) d_f 是指週期時間訊息封包成功到達接收端的機率值，而反向傳送比率 (Reverse Delivery Ratio) d_r 是指週期時間內成功的回應訊息封包 (ACK packet) 機率值， d_f 與 d_r 相乘之後的倒數即是衡量 ETX 的數值。

如圖四，為一基於 Airtime metric 的路徑選擇範例，若 Node A 需要連向 Node B，依據最短路徑的方式去選擇路徑，由 Node A 直接連向 Node B 只需經過一個 Hop。但是，基於 Airtime

metric 的方式來選擇路徑，根據所計算出的 Airtime cost 會選擇由 Node A 經過 Node C 和 Node D 到達 Node B 這條路徑，即使 Hop 的數目較多，但是這條路徑所造成的 Airtime cost 為最低，網路的傳輸品質較好。



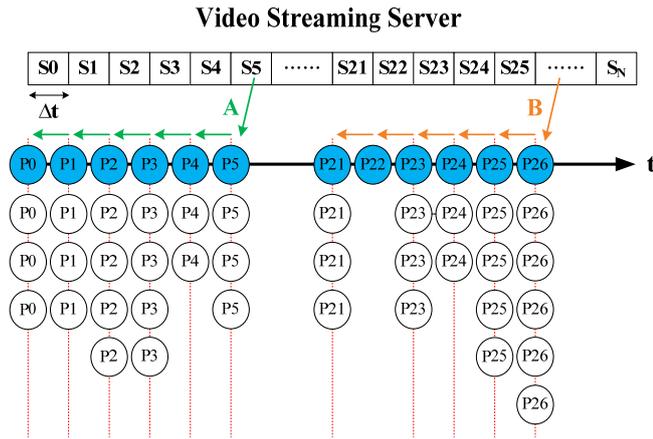
圖四、基於 Airtime metric 的路徑選擇範例

三、以骨幹網路為基礎的 P2P-based VoD System

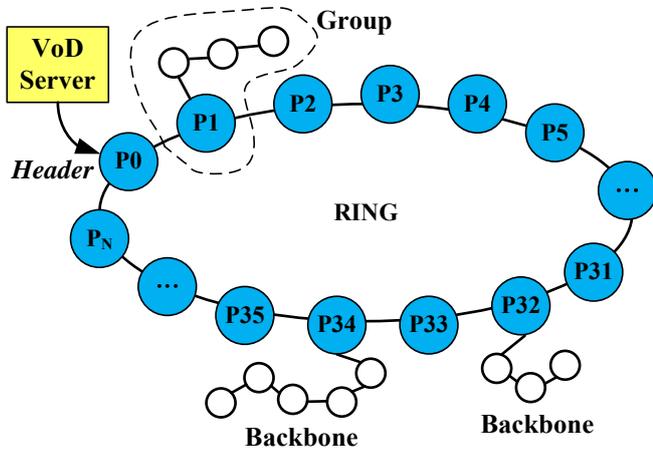
圖五是我們提出的 P2P-based VoD 系統，將 Video Server 中的一段影片切割為 N 等份，即為 S_0, S_1, \dots, S_N 。此段影片的總時間為 t ，故每一片段等份的時間為 $\Delta t = t/(N+1)$ ，我們定義此 Δt 為系統的等待時間，亦即當有節點要觀賞這段影片時，最長的等待時間不會超過 Δt ，在此段時間內同時想觀賞這段影片的節點，我們將他們歸為同一群組，並各自建立起骨幹網路做影像資料的傳輸。

以時間軸的角度來看，節點 P_N 節點表示目前由 VoD Server 接收到 S_N 的影像部份，例如圖五中 A 串流部份中 P_5 表示此節點目前正接收著 S_5 的影像資料，而每個節點會在不同時間點選或存取需要的影像資料，將每個節點分別歸類群組後，以 A 串流部份來看， P_4 節點將繼承 P_5 節點內所暫存的 S_5 部份，而 P_5 也將繼續透過 VoD Server 所提供的 A 串流接收下一個影像片段 S_6 ，如此一來從 A 串流接收到的影像資料可一直傳送至後面新加入系統的節點，除非新加入的節

點與前一段系統提供的資料無法連接，系統將再提供另外一條串流影像資料來滿足其它使用者的需求。資料無法連接的狀況有當相鄰兩群組間無任何節點可直接互相通訊，或是相鄰群組的時間間隔超過 Δt ，如圖中 B 串流部份即因 P21 群組與 P5 群組之間相距時間過長，使得 B 串流部份無法繼續分享給 P5 群組及之後的節點。



圖五、Proposed P2P-based VoD



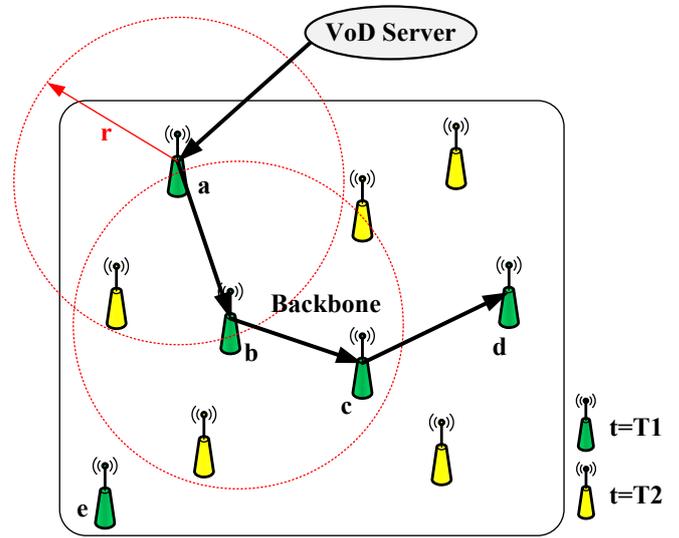
圖六、Backbone-based ring network

當在每個時間點皆有節點要存取同一段影像時，VoD Server 僅需傳送第一個群組中的 Header，透過群組間的連結與群組內的骨幹網路連結，其它節點依序繼承此影像的資料。就如圖六所示，形成一環狀 (Ring) 網路，各群組也將透過 WMNs 中建立起各群組的骨幹 (Backbone)

網路去傳輸影像資料，將資料有效率地透過骨幹網路傳送給自己群組的其它節點。

四、不同地域的節點鏈結方式

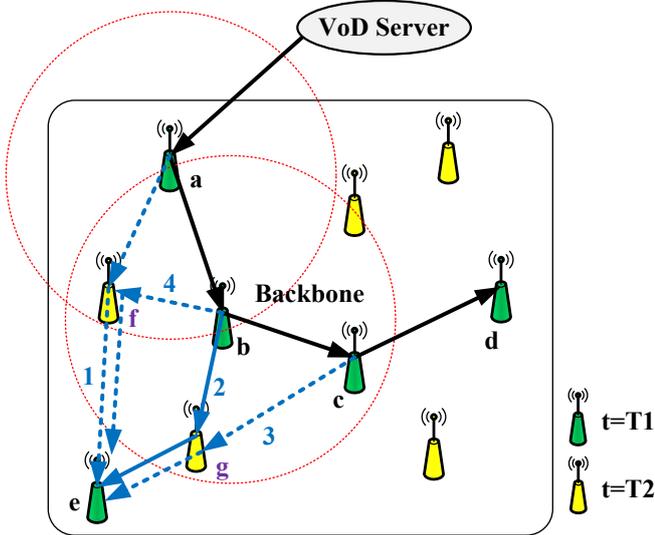
在一實際的行動網路當中，如圖七所示，假設各行動節點的通訊範圍固定為 r ，綠色節點與黃色節點分別在不同的時間觀賞影片，即 T_1 與 T_2 時刻。節點 a 與 b 可互相通訊，相距的距離在通訊範圍 r 之內，如此一來，透過系統建立起的骨幹網路可作影像串流的分享，即節點 a,b,c,d 建立起的骨幹網路，然而行動節點 e 無法直接與骨幹網路通訊並接收影像。



圖七、Backbone-based WMNs

我們可透過行動節點 Multi-hop relay 的方式將影像資料傳送至節點 e，如圖八所示，節點 e 可以透過骨幹網路上的節點 b 將影像資料經由節點 g 作 Multi-hop 的方式接受影像資料。以圖中的場景可發現節點 e 可以透過骨幹網路延伸出的四條路徑來取得影像資料，分別為路徑 1,2,3,4，即節點 f 或節點 g 將成為透過骨幹網路中的節點作 Multi-hop 的中繼點。直觀來說，由於行動節點的移動性與多變的特性，當我們作資料轉傳時，應考慮到地域性的概念，應選取最短距離的路徑似乎是較可靠的。像是以圖八中的四條路徑來看，每條的轉傳中繼節點數均為 1 個節點，即

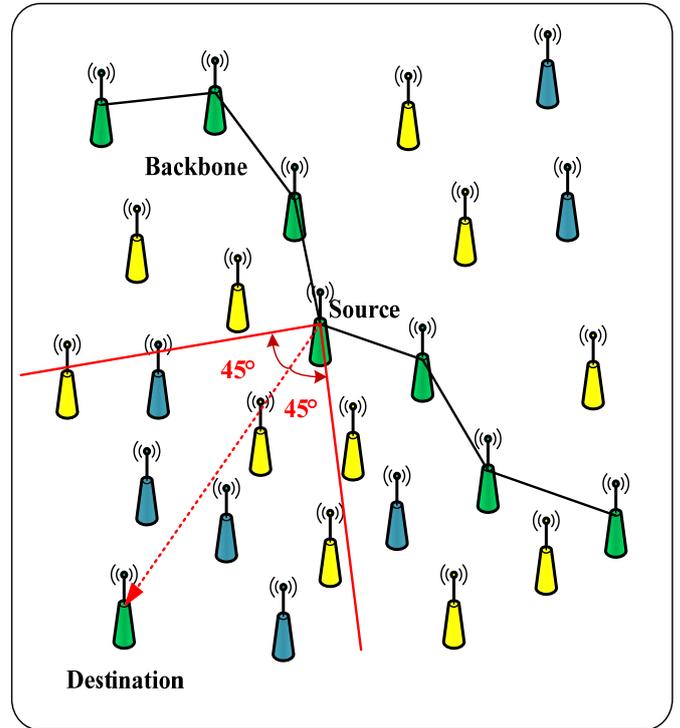
Hop 數目為 2，而路徑 2 的傳輸距離是最短的，故有可能選取路徑 2 當為骨幹網路外的節點接收資料的路徑。但是在這些路徑所形成的 Mesh 網路中，路徑最短並不代表其傳輸品質是最佳，也不能保證其傳輸速度是最佳。



圖八、Backbone-based WMNs

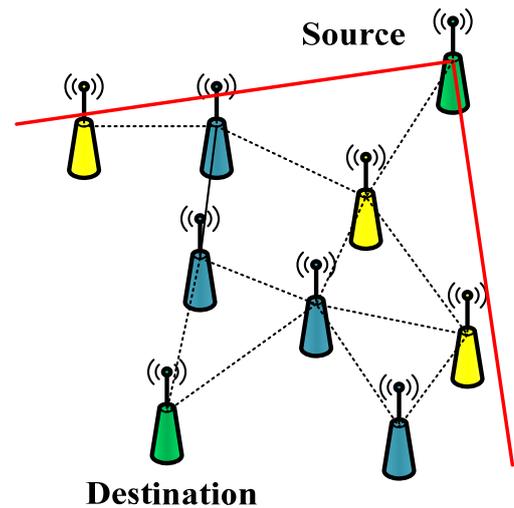
在我們提出的機制中除了考量地域性的概念也加入了 Mesh 網路中各迴路 Airtime cost 的計算，幫助我們選取最適當的路徑，做為骨幹網路外的節點接收影像資料的最佳路徑。我們的方法是首先透過地域性的傳輸 (Geocast) 選取適當的方向，縮小 Mesh 的網路範圍，再做各迴路 Airtime cost 的計算挑選出最佳的傳輸路徑。

如圖九所示，同一顏色的行動節點為同一群組，當綠色群組各節點間形成一主要的骨幹網路，而左下角有一個綠色節點無法直接與骨幹網路的任一節點通訊，所以要藉由其他鄰近節點幫忙作影像資料轉傳的動作。我們將此節點定義為目的地端節點 (Destination peer)。我們首先透過目的地端節點與骨幹網路上的各節點計算出最短距離的節點，我們定義此節點為資料來源節點 (Source peer)，在決定出來源節點後，從 Source 跟 Destination 節點間的連線自 Source 端往外各劃出一個 θ 角度的範圍，如圖九中往外個 45° 劃分出的紅線區域，稱為傳送區域。



圖九、傳送區域範圍的選取

我們從傳送區域中建立新的 Mesh 網路，如圖十所示，再由新建立的 Mesh 網路去計算從 Source 節點到 Destination 節點間的各路徑的 Airtime cost，並選取 Airtime cost 最小為最佳路徑。



圖十、新形成的 WMNs

五、效能分析

我們使用 ETX 值當為我們計算 Airtime cost 的關於錯誤率的部份，ETX 公式也可定義為成功傳送率 (Successful delivery rate) 的倒數或可靠連結 (Reliability) 的倒數，表示於式子(3)，我們將 ETX 套用於 Airtime cost 計算式(1)中，定義如公式(4)所示。

$$ETX = \frac{1}{d_f \times d_r} = \frac{1}{\text{successful delivery rate}} = \frac{1}{\text{reliability}} \quad (3)$$

$$ETX = \frac{1}{1 - e_{pt}} \quad (4)$$

將第公式(4)代入公式(1)，形成公式(5)來計算各回路的 Airtime cost，其中將 Channel access overhead 與 Protocol overhead 合併為 O 參數。

$$C_a = \left[O + \frac{B_t}{r} \right] \times ETX \quad (5)$$

對於一行動節點 p 有 n 條連結 (Link) 到鄰近的行動節點，其 Airtime cost 如公式(6)所示。節點 p 本身要處理並計算 n 組的 Airtime cost 資料。

$$C_{ap} = \sum_{l=1}^n C_{al} = C_{a1} + C_{a2} + \dots + C_{an} \quad (6)$$

在我們提出透過 Geocast 選定範圍機制中，我們將傳輸的範圍透過指向性的概念而縮小其範圍，相對原本來說，新形成的 Mesh 網路產生的路徑數目減少，假設行動節點常態性的分佈時，行動節點 p 的新連結數目 n' 應如公式(7)所示。如此一來透過範圍的選定也能減少行動節點 p 的計算量，行動節點 p 將計算 n' 組的 Airtime cost 資料，如公式(8)所示，將可透過角度的適當

選取去調整處理的資料數，進而提升節點運算速度。

$$n' = \frac{2\theta}{360} n \quad (7)$$

$$C_{ap}' = \sum_{l=1}^{n'} C_{al} = \sum_{l=1}^{n'} \left[O_l + \frac{B_t}{r_l} \right] ETX(l) \quad (8)$$

因此，也考慮了行動節點的移動性，藉由 Geocast 先定出傳輸區域，增加傳輸路徑的可靠性，再由新形成的 Mesh 網路中透過計算 Airtime cost 選出最佳的傳輸路徑，達到負載的平衡 (Load Balance)。藉由 Geocast 所定出的傳輸區域也可以減少計算 Airtime cost 的計算量，反應時間相對變快，增加網路的傳輸效能，提升 QoS。

由於節點是可移動的，因此可能遇到中繼節點或是目標節點因為移動造成路由變化，甚至可能離開傳送區域。此時若沒有一個回復機制，可能會因路由改變而造成 Airtime Cost 增加。嚴重時，甚至會造成網路負載過重。因此我們必須在路由變化過大時，做重新路由的動作。然而過度的重新路由反而會造成網路不穩定。因此我們必須限制一個最小的路由周期，保持網路的穩定度。我們依照[2]中提及的方法，自行定義兩個參數做為回復機制。

為了防止路由變化過大，定義 C_p 參數。其定義為當更新連結後的總 Airtime Cost 累積超過該百分比數時，會做重新路由的動作。防止過度的重新路由，我們又定義了 T_m 。其定義為必須經過的最小周期，才能再次做路由的動作。而這兩個參數數值必須根據經驗依照網路實際狀況來設定。

六、結論

我們提出一個適用於 WMNs 的點對點為基礎的視訊隨選系統，我們考量了行動節點的傳輸特性與行動的特性，在分類節點的群組裡建立群組的骨幹網路，分享串流影像的資料，減輕影像伺服器的負載，有效利用網路的頻寬。並考量到在骨幹網路外的其它節點，透過提出的路徑選擇

機制能選擇較佳的傳輸路徑，並使系統達到負載平衡。

致謝

本論文感謝國科會提供的研究計畫來完成本篇論文，研究計畫編號為. NSC 98-2219-E-032-001。

參考文獻

- [1] Akyildiz, I.F. and Xudong Wang, "A Survey on Wireless Mesh Networks", IEEE Communications Magazine, Volume 43, Issue 9, Page(s):S23 - S30, Sept. 2005.
- [2] Aure, T. and Li, F.Y., "An optimized path-selection using airtime metric in OLSR networks: Implementation and testing", IEEE International Symposium on Wireless Communication Systems. 2008. ISWCS '08, Page(s):359 – 363, 21-24 Oct. 2008.
- [3] Athanasiou, G., Korakis, T., Ercetin, O. and Tassiulas, L., "Dynamic Cross-Layer Association in 802.11-Based Mesh Networks", IEEE INFOCOM 2007. 26th IEEE International Conference on Computer Communications, Page(s):2090 – 2098, 6-12 May 2007.
- [4] Chao Liang, Yang Guo and Yong Liu, "Hierarchically Clustered P2P Streaming System", IEEE Global Telecommunications Conference, 2007. GLOBECOM '07, Page(s):236 – 241, 26-30 Nov. 2007.
- [5] D Liang Ma and Denko, M.K., "A Routing Metric for Load-Balancing in Wireless Mesh Networks", 21st International Conference on Advanced Information Networking and Applications Workshops, 2007, AINAW '07.
- [6] Guowei Chen, Sato, T. and Itoh, K., "Beaconless Location-Based Routing with Signal Strength Assisted for Ad-Hoc Networks", 2007 IEEE 66th Vehicular Technology Conference, 2007. VTC-2007 Fall, Page(s):86 – 90, Sept. 30 2007-Oct. 3 2007.
- [7] H. Frey, "Scalable geographic routing algorithms for wireless ad hoc networks", IEEE Network, Volume 18, Issue 4, Page(s):18 – 22, July-Aug. 2004.
- [8] Hua, K.A., Tantaoui, M.A. and Tavanapong, W., "Video delivery technologies for large-scale deployment of multimedia applications", Proceedings of the IEEE Volume 92, Issue 9, Page(s):1439 – 1451, Sep 2004.
- [9] S. Abraham, et al., "802.11 TGs Simple efficient extensible mesh (SEE-Mesh) proposal", IEEE 802 Wireless Meeting, IEEE 802.11-05/0562r4, Jan. 2006.
- [10] Javaid, N., Javaid, A., Khan, I.A. and Djouani, K., "Performance study of ETX based wireless routing metrics", 2nd International Conference on Computer, Control and Communication, 2009. IC4 2009, Page(s):1 – 7, 17-18 Feb. 2009.
- [11] Po-Chang Huang, Kuo-Chih Chu, Hsiang-Fu Lo, Wei-Tsong Lee, Tin-Yu Wu, "A Novel Adaptive FEC and Interleaving Architecture for H.264/SVC Wireless Video Transmission", The Fifth International Conference on Intelligent Information Hiding and Multimedia Signal Processing, Kyoto, Japan, September 12-14 2009.
- [12] Sheau-Ru Tong and Sheng-Hsiung Yang, "Buffer Control to Support a Seamless Stream Handoff in a WLAN that Employs Simulcast Streaming", IEEE Transactions on Wireless Communications, Volume 7, Issue 1, Page(s):260 – 268, Jan. 2008.
- [13] Weifang Liang, Jihai Huang and Jianhua Huang, "A Distributed Cache Management Model for P2P VoD System", Computer Science and Software Engineering, 2008 International Conference on Volume 3, Page(s):5 – 8, 12-14 Dec. 2008.
- [14] Takano, R. and Yoshizawa, Y., "Offloading VoD Server Organized Dynamically Distributed Cache Using P2P Delivery", International Conference on Information Networking, 2008. ICOIN 2008. Page(s):1 - 5, 23-25 Jan. 2008.

- [15] Xiaofei Liao and Hai Jin, "OCTOPUS: A Hybrid Scheduling Strategy for P2P VoD Services", Sixth International Conference on Grid and Cooperative Computing, 2007. GCC 2007. Page(s):26 – 33, 16-18 Aug. 2007.
- [16] Ye Tian, Di Wu and Kam-Wing Ng, "A novel caching mechanism for peer-to-peer based media-on-demand streaming", Journal of Systems Architecture: the EUROMICRO Journal archive Volume 54, Issue 1-2 (January 2008) table of contents, Pages 55-69.
- [17] Yu-Liang Tang, Rung-Shiang Cheng, Tin-Yu Wu and Jian-Ping Yu, "On Centralized Scheduling and Channel Assignment Scheme for WiMAX Mesh Networks" Journal of Internet Technology, Volume 10, No.3, pp.207-215, July 2009.