

# 行政院國家科學委員會專題研究計畫 期中進度報告

## 含行動隨意網的 MPLS 無線基礎網路(1/3)

計畫類別：個別型計畫

計畫編號：NSC92-2213-E-009-077-

執行期間：92年08月01日至93年07月31日

執行單位：國立交通大學資訊工程研究所

計畫主持人：曾建超

報告類型：精簡報告

處理方式：本計畫可公開查詢

中 華 民 國 93 年 6 月 1 日

## 含行動隨意網的 MPLS 無線基礎網路(1/3)

計畫類別： 個別型計畫           整合型計畫

計畫編號：NSC 92 - 2213 - E - 009 - 077 -

執行期間：2003 年 8 月 1 日至 2004 年 7 月 31 日

計畫主持人：曾建超

共同主持人：

計畫參與人員：

成果報告類型(依經費核定清單規定繳交)： 精簡報告           完整報告

本成果報告包括以下應繳交之附件：

赴國外出差或研習心得報告一份

赴大陸地區出差或研習心得報告一份

出席國際學術會議心得報告及發表之論文各一份

國際合作研究計畫國外研究報告書一份

處理方式：除產學合作研究計畫、提升產業技術及人才培育研究計畫、  
列管計畫及下列情形者外，得立即公開查詢

涉及專利或其他智慧財產權， 一年 二年後可公開查詢

執行單位：交通大學資訊工程系

中 華 民 國 九 十 三 年          五 月          三 十 一 日

## 1. 中英文摘要

本計畫主要之目的是要在行動隨意網(Mobile Ad-hoc Network, MANET)上加入 Multi-Protocol Label Switching (MPLS)的機制，以加速無線網路的封包傳遞(Packet forwarding)速度以及支援 End-to-End 的服務品質(Quality of Services, QoS)。

根據 Wireless World Research Forum (WWRF)和 Information Society Technologies Advisory Group (ISTAG)兩個機構分別提出的兩份報告預測，未來的網路將廣泛使用 Ad-hoc 網路，因為 Ad-hoc 網路具有低成本、容易建構的優點，我們可以利用 Ad-hoc 網路填補 Infrastructure 骨幹網路不能涵蓋之處，作為 Infrastructure 骨幹網路的延伸(Extension)。此外，有鑑於多媒體傳輸的需求快速增加，各項 QoS 的要求亦不斷提昇，同時網路使用的安全存取機制也日益受到重視，未來 QoS 以及安全存取的需求也將會出現在 Ad-hoc 網路中，以便在含 MANET 的 wireless Infrastructure 上提供 End-to-End 的 QoS 以及安全存取的機制。

目前 MANET 有著 long routing delay 的缺點，以及由於 connectionless 的特性，無法 support bandwidth reservation、bandwidth sharing 以及 traffic engineering、QoS control。因此在本計畫中藉由整合 MPLS 使 MANET 具 connection-oriented 之特性，同時達到支援上述的能力。我們將 MPLS Label distribution and switch 的機制加以改良，採用可預測和便於管理的新式 label distribution 方法，以便於在 Ad-hoc 網路中執行 Label Switch 更加有效率。

**關鍵字：**行動隨意網路 (MANET)、多協定標籤交換技術 (MPLS)。

This project aims to embed Multi-Protocol Label Switching (MPLS) mechanism into the Mobile Ad-hoc networks. With the embedded MPLS mechanism, we can thus expedite packet forwarding, and support better Quality of Services.

According to the reports from Wireless World Research Forum (WWRF) and Information Society Technologies Advisory Group (ISTAG), mobile Ad-hoc networks would be used extensively in the future because they are easy to deploy and the cost of their deployment is extremely low. It is expected that mobile Ad-hoc network can be used to extend the coverage area of the Infrastructure network.

Since multi-media data transmission grows rapidly, the support of Quality of Services (QoS) is becoming more and more important. Moreover, the needs to provide secure accesses to wireless Infrastructure are also gradually emerging. As a consequence, it is necessary to support QoS and access control mechanisms in the Ad-hoc extension network in order to provide end-to-end QoS services and secured accesses in the Extended Infrastructure.

Presently, MANET except has the disadvantage of long routing delay, it also could not support bandwidth reservation, bandwidth sharing, traffic engineering, and QoS control due to the property of connectionless. Thus in this paper, we embed MPLS into MANET so that MANET could has the property of connection-oriented . At the same time, we could also support bandwidth reservation, bandwidth sharing, traffic engineering, and QoS control in MANET. We would use our modified new MPLS mechanism to carry out the Label Switching mechanism in MANET.

**Keywords : MANET、MPLS。**

## **2. 計畫研究背景**

### **(1) MANET簡介**

MANET(Mobile Ad-hoc Network)是由一群可以隨意移動的無線通訊設備點(MN)所組成。在 MANET 中，MN 不需 AP 的支援來作為各 mobile host 間通訊的橋樑，MN 透過無線網路介面彼此互相通訊。然而無線網路介面通訊範圍有限，當欲通訊的來源(source host)及目的地(destination host)彼此不在通訊範圍

圍內時，兩者之間的通訊就需經由其他中繼的 MN 來轉送代傳以建立通訊路徑。由於 MN 移動的因素，MANET 的網路拓樸可說是隨時在變動，與傳統有線網路的性質不同，因此有線網路的繞徑協定並不適用於 MANET，主要原因在於它們無法應付 MANET 中由於 MN 頻繁的移動所造成的訊息資料傳遞路徑中斷以及網路拓樸的改變。因此，近年來，許多專家學者針對 MANET 環境研發了許多的路由協定(routing protocols)供移動中的 MN 互相通訊。[錯誤! 找不到參照來源。 \[36\]](#)。一般而言，在 MANET 路由(routing)過程中，當 MN 在尋找路徑，或維護路徑資訊時，須採用氾濫(flooding)或廣播(boardcasting)的方式交換訊息，而氾濫的路由方式有著廣播風暴(broadcast storm)的問題[\[35\]\[34\]](#)，其將有可能造成網路上大量資訊的冗餘(redundancy)，競爭(contention)與衝撞(collision)，使網路負荷增大，成本亦相對提高。因此，限制參與路由的節點個數並盡可能減低訊息交換的次數及減少重複資訊的傳送，可減少電源的損耗，並可保留有限的頻寬資源。因此，虛擬骨幹(virtual backbone)連線之議題即為考量上述因素所提出的相關研究。

虛擬骨幹連線之方法是選出某些節點之集合來負責做路由，事實上，觀念相當近似於有線網路的骨幹網路。因此，傳統在 MANET 利用氾濫來做路由的方式，將替換為只由虛擬骨幹連線上的節點來負責。藉由原本網路中的每一點都須轉送路由資訊，簡化成只有某些節點才做路由的動作，將可有效減少廣播風暴問題所造成的影響，並同時可減低網路的負荷。然而，如何選出虛擬骨幹連線上的節點來做路由，近來已有許多相關研究[\[30\]\[29\]\[31\]\[30\]\[32\]\[34\]\[33\]\[32\]](#)，稍後我們將探討本發明與虛擬骨幹連線的相關之處。

## (2) MPLS基本原理

- MPLS 標籤交換路徑隧道及標籤堆疊(MPLS LSP Tunnel and Label Stack)

MPLS LSP Tunnel就是簡單地利用標籤堆疊(Label Stack)的技術完成隧道

(Tunnel)傳送的動作[1]。隧道就是一條LSP  $\langle R1, R2, \dots, Rn \rangle$ ，其中R1是隧道的發送端點(Transmit Endpoint)，即為隧道的匯入節點(Ingress Node)，Rn是隧道的接收端點(Receive Endpoint) 即為隧道的匯出節點(Egress Node)。我們用FIG1.當作例子來說明封包之標籤堆疊原理，LSR A是隧道發送端點，LSR D是隧道接收端點，FIG1.中由LSR A到LSR D的LSP 隧道為 $\langle \text{LSR A, LSR B, LSR C, LSR D} \rangle$ ，當封包經過LSR A時，利用執行Push Label 5的運算，在Label Stack多加上了一層標籤，將封包導入隧道裡面，隧道裡面的所有Label運算都在stack頂層(Top Level)執行，等到封包要在LSR D離開隧道的時候，封包會在LSR D執行Pop Label 7和Swap Label 33到Label 101的運算，Pop這一個運算表示刪除Stack的頂層，離開隧道，而Swap這一個運算則是將繼續封包傳送下一個LSR。

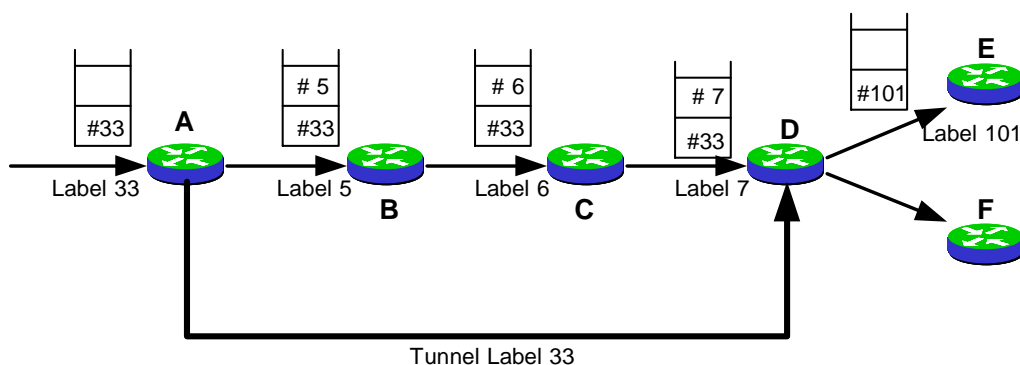


FIG1. MPLS LSP Tunnel

### (3) MPLS Ad-hoc網路相關研究

MPLS 的標籤交換以及連線導向(connection-oriented) LSP 的建立方式具有指定路由傳輸的特性，有利於支援與 QoS 相關的頻寬保留與管理機制，可以輕易地支援各項 QoS。目前 MPLS 在有線骨幹網路上，已經有相當明確的方法去支援 DiffServ 的 QoS 控制機制。而在行動隨意網路中，近來雖然有一些研究提出利用 MPLS 來加速其路由的效率，並且希望可以藉由 MPLS 來支援在行動隨意網路中的 QoS。然而，這些研究在支援 QoS 的部分，都只是處於構想的狀態，沒有具體的方法。

在 2002 年 IEEE VTC 的 Ad-hoc MPLS for virtual-connection-oriented Mobile Ad-hoc Network (AMPLS)的論文中[5]，就提出了許多想法與建議關於如何應用 MPLS 在 Ad-hoc network 上，其中作者提到採用階層的方式來管理行動隨意網路中的 MNs，也就是將整個行動隨意網路分成若干叢集(clusters)，再從每個 cluster 中選出管理者(manager)來管理 LSP, manager 會負責其 MNs 成員的資源管理及訊息傳送，將原本 end-to-end 的傳送資料，轉變成 manager-to-manager 的傳送資料。並將這種由 manager 到 manager 所建立的路由路徑稱為 Virtual LSP (VLSP)。此論文是將原本屬於非連線(connectionless)特性的行動隨意網路，加上具連線導向(connection-oriented)特性的 MPLS，讓行動隨意網路能提供更佳的 QoS,以期在無線網路環境中也能提供 end-to-end 的 QoS 服務。但是，如何結合 MPLS 與 Ad-hoc 網路卻是一大挑戰，在此論文中並無具體方案。因此本發明將針對如何將 MPLS 協定應用在於行動隨意網路作深入的研究探討與分析。

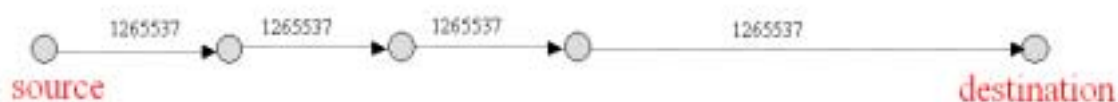


FIG2. Single-label LSP

### 3. 研究方法

#### ● 建立 Agent-Based 階層式的管理

我們將採用 virtual backbone[30][31][32][33]的架構，將整個 mobile ad-hoc network 做階層式的管理。首先我們先考慮 network layer，也就是設計 Ad-hoc network topology 上所運作的 routing protocol。我們採用隸屬於階層式管理的 routing protocol。在較早的文獻中，曾提出一階層的管理[26]，此方式先將整個 Ad-hoc 網路分成若干 clusters，再從每個 cluster 中選出若干 core 來管理。然而，當 Ad-Hoc 無線網路密度變大時，也就是有很多的 mobile hosts 在同一區域時，

以一層的管理方式不但 flooding 量多，同時如果我們希望對不同 core 指定管理不同 IP prefix 範圍的 mobile hosts 時，也將因就單一 core 而言，所管理的 mobile hosts 數亦太少，而失去階層式管理的意義。因此我們考慮採用兩階層的管理方式，也就是先將整個 Ad-hoc 網路分成若干 clusters，再從每個 cluster 中選出一個 agent 來管理，每一個 agent 會負責其 MNs 成員的資源管理及訊息傳送。接著將所有選出的 agents 再分成若干個 clusters，並從每個 cluster 中選出一個 core manager (而後簡稱為 core)來管理。一旦選出 core 後，原本在 network 中為 end-to-end 的訊息傳送，將轉變成 agent to core、core to core 和 core to agent 的溝通方式(如 FIG3 所示)，藉此可減少 signal 封包所發送的数量以及傳送 data packet 的 routing delay。事實上，只要是採用階層式管理的 Ad-hoc network routing protocol，都適用我們所提出的 MPLS 改良機制，我們可採用之前相關 virtual backbone 的 survey 來建立[30][31][32][33]，或是指定某些移動較慢，且具較強傳輸能力的點，甚或指定某些固定的點來建立階層式的架構。

一般而言，選擇 virtual backbone 的方式可採用 general 的方法或是 clustering 的方式，而在本論文中，我們將採用 clustering 的方式，我們稱之為 Agent-Based 兩階層的管理方式[20]。藉此我們可以將 core 與相鄰 core 之間的連線可以視為 Ad-hoc 網路的 backbone，而 cluster 內的 agent 與 core 之間的連線則可視為 Ad-hoc 網路的 access network，所有在 cluster 內的 agent 都可以經由 core 將資料流匯入 backbone Ad-hoc 網路，轉送到其他 cluster。如此架構有利於執行為了支援 QoS 的頻寬保留動作，而有關此頻寬保留動作，我們將於稍後做深入探討。而在這一小節中，我們將先建構 Agent-Based 架構的方法詳述如下。

我們採用的 Agent-Based 架構，做法主要分成兩階段，第一個階段是先把所有在無線網路上的 host 化簡為一個 Agent-based Graph，第二個階段是將簡化完的 Agent-based Graph，再透過 Core-based Graph 來管理。



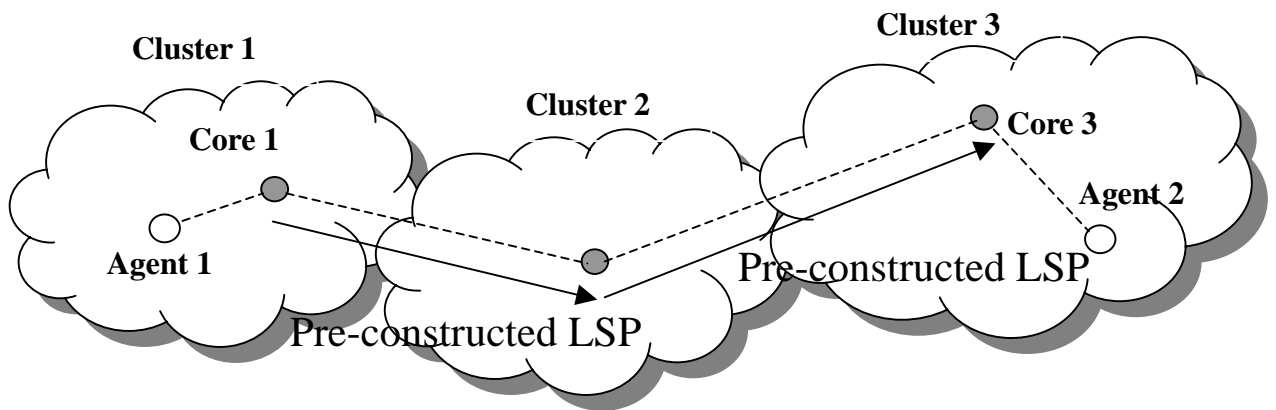


FIG3. MANET 階層式管理

- 改良 MPLS 之 Label Distribution and Switch

在上一個小節中，我們藉由將 MANET 轉成 AG，再藉由 AG 轉成 CG，分別為 mobile hosts 選出了 agent 與 core 來管理。在建立完 virtual backbone 後，在這個章節，我們將考慮如何改良 MPLS 之 Label Distribution and Switching 的方法以適用於我們在 MANET 所建構的階層式架構。

如前所述，由於 MPLS 協定在 MANET 中，必須用 MAC 位址而非 link port no.來對應 routing 用的 Label，造成原本 MPLS 協定在有線網路上的 Label distribution and switching 的方法並不適用，而前述相關文獻所提之 Single Label LSP 有著 Label 指定的問題[5]。所以我們將針對 MANET 的特殊需求，改良前述 Single Label LSP,重新設計出一套新的 Label distribution 和 switching 的方法

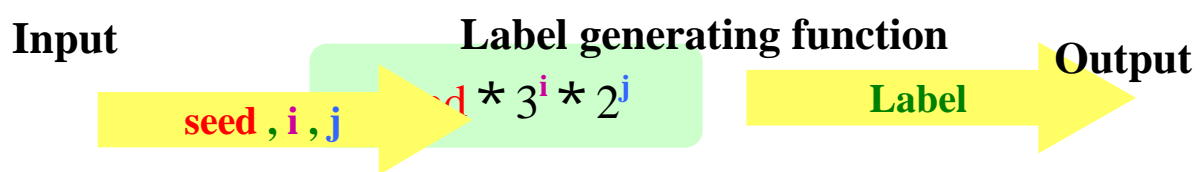
如前所述，在無線網路中不能像有線網路以 link port 對應 Label，因此我們採用 LSR 的 MAC address 來對應 Label，同時，由於利用 MAC address 來產生 Label 的方式將造成產生的 label 數有限，以及有 label assignment 的問題。因此我們所提出的方法，將利用分散式的機制選出 label manager 來負責 LSP 的 label distribution 與 label assignment。其中的每一個 LSR 將紀錄 MAC address/Label

的對應,因此一條 LSP 隧道就是由 routing path 所經過的每一 LSR 所紀錄 MAC address/Label 的對應關係串聯而成的。這樣的作法除了更為簡單、更具組織性之外,也可以藉由一次完成雙向傳輸的 Label 指定而快速的分配 Label,而能進一步支援 LSP 的快速重建,達到某種程度的 Fault Tolerance。不但可以避免前述利用 Source MN 和 Destination MN 的 MAC address 組合成 Label 的問題,也可以提高 Label assignment and distribution 的彈性。

由於 label 是由 label manager 所產生,因此,每一個 label manager 將由以下的 label generating function 來產生 label。

$$\text{Label generating function: } \text{seed} * 3^i * 2^j$$

Label generating function 的 Input 有三個,分別為 seed、i、j。seed 代表 label manager 可透過分散式的機制所取得的一個 unique 質數,我們用 i 代表不同分類或不同用途的 LSP,同一類別的 LSP 可能不只一條,因此 j 代表同一類別但不同編號的 LSP。由於 j 的使用量比 i 大很多,因此我們用 3 做為 i 的基底,2 做為 j 的基底。在輸入 seed、i、j 到 label generating function 後,output 就是 label manager 所產生的 label 值。舉例來說,如果 Input 的 seed 為 5, i 為 2, j 為 0,經過 label generating function 的運算後,所產生的 label 為  $5 * 3^2 * 2^0 = 45$ 。



**FIG4. label generating function**

附帶一提的是,如果輸入值中,seed、i、j 其中有一值不同,則產生的 output 值就一定不會相同,因為每一個 label manager 都將配予一唯一的 seed,因此不同的 label manager 將產生不同的 label space,所以我們的 label generating

function 利用質數所產生的 label ,可以保證不會重複,也可藉由 seed 與 i 值,辨別出不同 core 所產生不同用途的 LSP,而能根據不同 LSP 提供不同的 QoS。

#### **4. 計畫第一年成果**

第一年的研究內容為 Integration of Ad-hoc network and MPLS Technologies,在這方面我們完成了所有預定的目標:(1) Ad-hoc network 在 network layer 中的 Routing protocol 設計:建立 Agent-Based 階層式的管理;(2) 改良 MPLS 的 Label Distribution and Switch 以適用於 Ad-hoc network;(3) 整合 AMPLS 與 infrastructure 架設 Extended Infrastructure 網路。

##### **(1) 建立 Agent-Based 階層式的管理**

首先我們先考慮 network layer,也就是設計 Ad-hoc network topology 上所運作的 routing protocol。我們採用隸屬於階層式管理的 routing protocol,較詳細的內容如研究方法所提。如此架構有利於執行為了支援 QoS 的頻寬保留動作,而有關此頻寬保留動作,我們將於第二年計畫中深入探討。

##### **(2) 改良 MPLS 的 Label Distribution and Switch 以適用於 Ad-hoc network**

本計畫針對 Mobile Ad-hoc 網路環境的特殊需求,改良 Single Label LSP,重新設計出一套新的 Label distribution 和 switching 的方法,而這一套方法將可以支援 Single label 的方式在 AMPLS network 中,並且希望可以一次完成雙向傳輸的 Label 指定。此外,希望這套方法能夠非常快速地分配的 Label 且能支援 LSP 的快速重建,達到某種程度 Fault Tolerance。同時也可使用在有線網路上原本的 MPLS 協定中。其中針對 LSP 快速重建的問題,我們將列為研究重點,在第二和三年的研究中深入探討。

##### **(3) 整合 AMPLS 與 infrastructure 架設 Extended Infrastructure 網路**

我們改善目前 MPLS 應用在無線網路上時，標籤管理上的缺點，使得標籤的分配與交換能夠在有線和無線的網路間，快速且有效的完成。

## 5. 計畫第二年的預定研究項目

我們將利用第一年的研究成果，在建好的 hierarchical Ad-hoc network 上，建立 pre-constructed LSP，目的是加快 Signal 和 data packet 的傳送速度和便於支援 end-to-end QoS。研究內容分成三部分：第一部份是研究如何建立 pre-constructed LSP 及 On-demand LSP；第二部份是研究 QoS negotiation for Differentiated services through pre-constructed LSPs；第三部份則是設計 Pre-constructed LSP 的即時動態重建方法。

## 6. 文獻參考:

- [1] Rosen et al., "Multiprotocol label switching Architecture," IETF RFC-3031, January 2001
- [2] Faucheur et al., "MPLS support of Differentiated Services," IETF Internet Draft:draft-ietf-mpls-diff-ext-09.txt, April 2001.
- [3] D. Awduche, L. Berger, D. Gan, T. Li, V. Srinivasan, G. Swallow, "RSVP-TE: Extensions to RSVP for LSP Tunnels," IETF RFC 3209, December 2001.
- [4] L. Andersson, P. Doolan, N. Feldman, A. Fredette, B. Thomas, "Label Distribution Protocol Specification," IETF RFC3036, January 2001.
- [5] Chi-Hsiang Yeh, "Ad-hoc MPLS for Virtual-connection-oriented Mobile Ad Hoc Networks," Proc. IEEE Vehicular Technology Conf., 2002.
- [6] Chi-Hsiang Yeh, "DEAR:An extension of traffic engineering for routing and resource management in ad hoc wireless networks," Proc. IEEE Vehicular Technology Conf., 2002.
- [7] J. Broch, D. Amaltz, D.B. Johnson, Y.-C. Hu, and J. Jetcheva, A performance comparison of multi-hop wireless Ad Hoc network protocols, Proceedings of the MobiCom'98, (1998), 85-97.

- [8] S. Corson and A. Ephremides. A distributed routing algorithm for mobile wireless networks, *ACM/Baltzer Journal of wireless networks* 1(1995), 61-81.
- [9] R. Dube, C.D. Rais, K. -Y. Wang, and S. K, Tripathi. Signal Stability Based adaptive routing(SSA) for AD-HOC mobile networks, *IEEE Personal Communications*(1997), 36-45.
- [10] M. Gerla and J. T. Tsai, Malticulster, mobile, Multimedia radio network, *ACM/Baltzer Journal of wireless networks*, (1995), 255-265.
- [11] D. B. Johnson and D.A.Maltz, Dynamic source routing in Ad Hoc wireless networks. In *Mobile Computing*, chapter 5,1996,153-181, Kluwer Academic publishers.
- [12] "A review of current routing protocols for ad hoc mobile wireless networks", E. Royer and C.-K. Toh, *IEEE Personal Communications*, April 1999, vol. 6, no. 2, pp. 46..
- [13] Y.-B. Ko and N. H. Vaidya, "Location-Aided Routing (LAR) in Mobile Ad Hoc Networks", *Proc. of the Fourth ACM/IEEE International Conference on Mobile Computing and Networking (MobiCom'98)*, Dallas, 1998.
- [14] W.-H. Liao, Y.-C. Tseng, and J.-P. Sheu, "GRID: A Fully Location-Aware Routing Protocol for Mobile Ad Hoc Networks", *Telecommunication Systems*, Vol. 18, no. 1, 2001, pp. 37-60.
- [15] Nicolas Rouhana and Eric Horlait, "Differentiated Services and Integrated Service use of MPLS," *Computers and Communications*, 2000. *Proceedings. ISCC 2000*, July 2000..
- [16] S. Blake, D. Black, M. Carlson, E. Davies, Z. Wang, W. Weiss, "An Architecture for Differentiated Services," *IETF RFC2475*, December 1998.
- [17] Vivek Alwayn. "Advanced MPLS Design and Implementation," *CISCO PRESS*, September 2001.
- [18] Ivan Pepelinjal, et al "MPLS and VPN Architectures," *CISCO PRESS*, March 2001.
- [19] Elizabeth M.Royer, and Chai-Keong Toh, "A Review of Current Routing Protocol for Ad Hoc Mobile Wireless Networks", *IEEE Personal Communication*, April 1999. (Full paper).
- [20] Pei-Hsuan Wu, Chih-Yung Chang, Cho-Tsu Chang, " Agent-Based Hierarchical Management for Constructing a QoS Communication Path in

- Wireless Ad Hoc Networks," International Conference on Computer Assisted Instruction and Internet Computing, Taipei ,Oct. 23-24, 2000, pp. A23-A30
- [21] Young-Bae Ko, and Nitin H.Vaidya, "Location-Aided Routing(LAR) in Mobile Ad Hoc Networks", MobiCom'98, 1998. (Full paper).
- [22] David B.Johnson, and David A.Maltz, "Dynamic Source Routing", Mobile Computing, 1996
- [23] Elizabeth M.Royer, Charles E. Perkins, "Multicast operation of the Ad-hoc On-demand Distance Vector Routing Protocol," Mobicom '99 Seattle Washington USA.
- [24] J.J.Garcia-Luna-Aceves, and E. L. Madruga , "The Core-Assisted Mesh Protocol," IEEE Journal on Selected Area in Communications, Vol. 17, No. 8, August, 1999.
- [25] Young-Bae Ko, and Nitin H. Vaidya, "Geocasting in Mobile Ad Hoc Networks : Location-Based Multicast Algorithm," IEEE Workshop on Mobile Computer Systems and Applications, Feb 1999.
- [26] R. Sivakumar, P. Sinha, and V. Bharghavan, "CEDAR: A Core-Extraction Distributed Ad Hoc Routing Algorithm," IEEE Journal on Selected Areas in Communications, pp. 1454-1465, Vol. 17, No. 8, Aug., 1999.
- [27] S. Chen and K. Nahrstedt, "Distributed Quality-of-Service Routing in Ad Hoc Networks," IEEE Journal on Selected Areas in Communications, pp. 1488-1505, Vol. 17, No. 8, Aug., 1999.
- [28] Sandeep K. S. Gupta and Pradip K. Srimani, "An Adaptive Protocol for Reliable Multicast in Mobile Multi-hop Radio Networks", Second IEEE Workshop on Mobile Computer Systems and Applications, Feb. 1999.
- [29] Rohit Dube, Cynthia D.Rais,Kuang-Yeh Wang, and Satish K.Tripathi , "Signal Stability-Based Adaptive Routing (SSA) for Ad Hoc Mobile Networks", IEEE Personal Communications, February 1997. (Full paper)
- [30] B. Liang and Z.J. Haas, Virtual backbone generation and maintenance in ad hoc network mobility management, *INFOCOM 2000*, Vol. 5,pp. 1293-1302
- [31] S. Butenko, X. Cheng, D.-Z. Du and P. M. Pardalos. On the construction of virtual backbone for ad hoc wireless network. In *Cooperative Control: Models, Applications and Algorithms*, pp. 43-54,Kluwer Academic Publishers, 2002
- [32] B. Das and V. Bharghavan, "Routing in Ad-hoc Networks Using Minimum Connected Dominating Sets," in IEEE International Conference on Communications ICC 1997.
- [33] U.C. Kozat, G.Kondylis, B.Ryu, M.K. Marina, Virtual dynamic backbone for mobile ad hoc networks, ICC 2001.
- [34] E. Rosen, D. Tappan, G. Fedorkow, Y. Rekhter, D. Farinacci, T. Li, A. Conta,

- “MPLS Label Stack Encoding,” IETF RFC-3032, January 2001
- [35] S.-Y. Ni, Y.-C. Tseng, Y.-S. Chen and J.-P. Sheu, The broadcast storm problem in a mobile ad hoc network, *Proc. MOBICOM*, Seattle, Aug. 1999, pp. 151-162.
- [36] Xukai Zou, Byrav Ramamurthy and Spyros Magliveras, Routing Techniques in Wireless Ad-Hoc Networks-Classification and Comparison, Mobile Communication Research Project
- [37] Shih-Lin Wu, Sze-Yao Ni, Yu-Chee Tseng, Jang-Ping Shen, Route Maintenance in a Wireless Mobile Ad Hoc Network, Proc. Of the 33<sup>rd</sup> Hawaii International Conference on System Sciences-2000 IEEE