

無線Ad Hoc行動隨意網路架構之技術發展評析

◎惠汝生

一、前言：

無線Ad Hoc行動隨意網路係一種無線區域網路的架構，其可經由所有的行動節點連結建構而成，主要是以無基礎建設(Infrastructure Less)，以及無集中式管理所形成的無線網路，讓具有無線連網的使用者，能隨時隨地加入無線通訊網路。而每個節點都會有繞送 (Routing)的功能，能夠主動去尋找(Discover) 和維護(Maintenance) 其所繞送的資料。但每個移動的節點，會一直不斷地改變整個網路的拓撲，所以必須為每個移動的節點，尋找出一個聯絡的路徑，與選擇適合的繞徑協定(Routing Protocol)是相當重要的議題，而最常被使用的協定如AODV、DSR等。

在無線網路蓬勃發展的今天，已有愈來愈多的研究致力於發展 Ad Hoc 網路的繞徑協定，其中又以備份繞徑(Backup Route)，與多重繞徑(Multiple Route)的方法最常被提及，由此可見繞徑協定扮演著很重要的角色。在許多的學術研究中，大多是著重在多重跳接式無線網路(Multi-hop Wireless Networks)技術，與虛擬區域網路的討論結合，其所創造出來的Multi-hop Mobile Virtual LAN(MVLAN)無線網路環境。

在本文中，將提出幾個議題來說明如何有效的與廣泛的支援VLAN網路，以及無線網路擷取點(VLAN Support Access Point；VSAP)的系統架構。在相關的無線通訊協定之設計，其中包含有成員的追蹤協定(Member Tracking Protocol)與訊框前送協定(Frame Forwarding Protocol)等機制。亦可透過成員追蹤協定的設計，經由移動性工作站註冊，使其成為某個特定的VLAN成員後，再以廣播領域的方式去涵蓋整個VLAN的範圍為限，且不會因每個節點所在的位置不同而有所改變。

二、行動隨意網路與衛星通訊之基本架構

近些年來，在寬頻無線存取技術(Broadband Wireless Access)的發展已日趨成熟之際，使用者可以直接利用各種的存取裝置，在任何時間(Anytime)、任何地點(Anywhere)透過無線網路(Wireless Network)來進行資料的存取，也不是一個遙不可及的夢想。早期的無線網路是由無線存取設備與基地台(Base Station)及橋接器(Access Point, AP)所組成，所以被稱為有基礎建設網路(Infrastructure Network)如下圖所示。



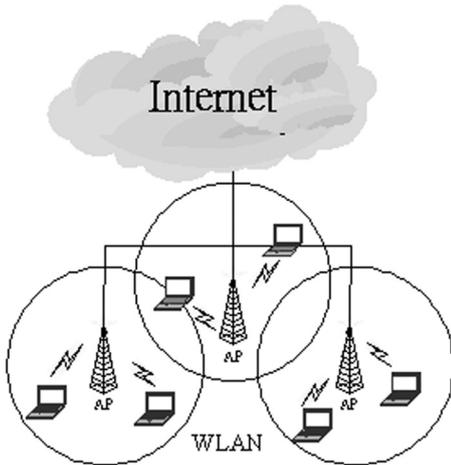


圖1 Infrastructure network

此種網路類型的無線存取設備，必需透過基地台或是橋接器，與其它的無線網路設備聯絡，或是直接連接到有線的區域網路，不過當其距離超過橋接器的電波涵蓋範圍時，或是所在的地點附近，並未設有橋接器的設備時，則無法以無線網路的方式進行資料存取，此時就必需使用另一種型態的無線網路，稱為隨意網路(Ad Hoc Network)如下圖所示。

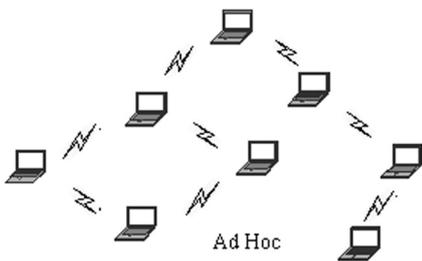


圖2 Ad Hoc network

在隨意網路中，所有的成員可以直接與鄰近的網路設備，以無線傳輸方式進行資料傳輸，因此隨意網路裡的成員通常是具有移動性，所以被稱為行動隨意網路(Mobile Ad Hoc Networks, MANET)。由於行動隨意網路，會有因動態路由及地理位置因素的限制，如前者之行動隨意網路無法太大，後者則會造成通信上受限制，或是無法將訊息傳送太遠，因此結合衛星通信成為另一無線網路解決之道。簡單的說，衛星通訊必須透過衛星定位來達到傳送訊息，而衛星定位的基本原理是，衛星A和地表距離固定的點會有無限多個；若有兩枚衛星A、B，則地表上與A、B距離固定的點只有兩個；但加入第三衛星是C，則地面與A、B、C距離相同的點，就只有1個。所以地表任何一個接收者只要同時接收3顆衛星訊號，監測系統就可透過這第3顆衛星位置，以及衛星和這人的距離，算出接收者的位置。衛星連結架構如下圖所示。

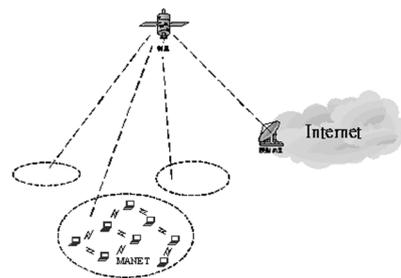


圖3 MANET and Satellite System

在高度資訊化的時代中，未來戰爭的成敗將會是由數位戰場所主宰，例如美軍針對未來戰爭所進行的一系列規劃，就以陸軍而言，最具指標意義的便是陸地戰

士計畫 (Land Warrior)。在CIDDS子系統中，其所定義的CRS系統 (Computer/Radio Subsystem)，乃是結合全球定位系統 (GPS) 及電腦為主要角色，進而整合單兵與各式武器系統，包括敵我辨識、雷射測距儀等。皆可提供戰場資訊如地理資訊、友軍位置以及敵軍位置等，能有效提高對敵軍之警覺。同時提供第一線指揮官即時有效資訊，以作為作戰決策的依據。而部隊指揮官在得到各戰場之即時資訊後，便可透過其通訊介面迅速下達各種指令。若以無線區域網路與衛星網路結合，便可提供地理環境、即時戰情、聯合作戰、作戰資料庫以及決策系統等多項功能，達到快速部署於惡劣多變的戰場環境，堪稱無線行動網路運用於軍事的範例。

因此，不難看出無線網路及行動演算，在未來軍事應用之重要性，可由單兵之各種裝備，以至各種戰情、戰術系統之連結。無線網路皆扮演一個神經脈絡的角色，其提供各種資訊之即時傳遞管道，同時亦能免除鋪設線路所耗費之時間，提供精準且有效的資訊，往往是戰場決勝之關鍵。由行動隨意網路與衛星網路結合的相關議題，包括動態路由技術研究、整合行動隨意網路與衛星通信系統、評估整合架構性能與運算複雜度等。

三、無線網路常見的問題

在無線網路與傳統有線網路在使用上最大的不同，是無線網路的機動性可隨使用者的移動而隨時改變，其仍然能獲取網路的訊息；因為其利用無線電波傳訊方式，與可任意移動的特性，也會產生許多的問題：

1. 無線網路頻寬與傳輸問題：

目前無線網路的傳輸速度只能達到10MB/sec，尚無法與有線網路的100 MB/sec或1000 MB/sec的傳輸速度相提並論。所以無線網路的繞徑演算法，與有線網路的繞徑演算法一樣，可以不在乎頻寬的限制。但在無線網路的繞徑演算必須仔細考慮頻寬分配，因此可知頻寬分配對無線網路而言極為重要。

2. 電池續航力：

對所有的無線網路設備而言，無論其週邊設備的大小，電池的壽命長短對通訊是有絕對的影響。所以電池的電量始終無法與市電相提並論，如果強制要求各個移動節點轉成待命的狀態，最多也只能維持數天的電力而已。一般在對無線網路探討時，是無法確保行動主機(Mobile Host)不會消失，所以省電或休眠模式仍是降低耗電最有效的方法。

3. 處理能力：

行動主機的處理器，在處理資料的能力是比較弱，對於訊號或是其他方面的處理能力，還是無法和固定式主機相比較，所以在行動無線網路上所設計的演算法，不可太過複雜，必須是能以短暫的時間來完成所有的工作。

4. 位置與網路拓樸之管理：

無線網路中，行動主機可以任意移動確實是一個優點，但卻也帶來了很多需要解決的問題，由於位置的不

固定，所以就必須時常追蹤行動主機的位置，甚至有些無線網路的目的地址（Destination Address）通常不等於目的位置（Destination Location）。例如Mobile IP、國際漫遊，更是難以估算其所花費的成本。

5. 記憶體容量：

行動主機的記憶體容量和處理器與電池一樣，會隨著IC技術的發展，記憶體容量愈來愈大。不過在行動主機追求小型化的要求下，記憶體的容量還是無法達到任意擴充的地步，所以行動主機無法紀錄大量的資料，只能紀錄些許重要的資訊。

6. 網路安全性：

在傳統的有線網路中，由於資料的傳遞是藉由實體網路線路為媒介，此為一個封閉的區域網路中，只要沒有其他主機的實體連線，網路安全問題便較易於管理；但對於使用無線網路而言，在傳送資料時，只要在其訊號傳輸的範圍內，所有的無線裝置便有可能接收到該裝置發送之電波訊號。此時若無適當加密或編碼的動作，在空氣中傳送的資料便有可能無形的洩漏，導致安全上的疑慮。

四、無線網路的通訊模式

無線網路依其通訊的方式可分成兩個模式，分別為Single hop與Multi-hop。在我們一般無線通訊網路中，大都屬於Single Hop的模式，如蜂窩式系統（Cellular Sys-

tem），基地台和基地台之間是利用有線的網路相連通，在這種網路架構中的行動節點(Mobile Node)，彼此間的通訊都必須經過基地台來輔助，是無法直接通訊，但此種網路的優點就是較簡單，行動主機只需負責發出訊息和接收訊息，其他有關網路的資訊和資料處理都交由基地台處理，行動主機的負擔可以相對的減輕，而Single Hop缺點就是因為太依賴基地台，一旦基地台出問題，整個基地台涵蓋範圍內的行動主機便無法通訊，所以在無基地台的環境中，行動主機就沒有作用。

在圖4中，A、B、C三個基地台，可經由一條有線網路相串連，每個基地台皆有些行動主機在其範圍內，而Single Hop的架構下，在同一個基地台，甚至相鄰的兩個行動主機，如1號點和2號點，他們兩點間的通訊，都必須經過基地台A來轉接，個別是無法直接通訊；若是基地台B無法運作時，則在其涵蓋範圍下的行動主機3、4，就無法繼續通訊，便會形成一個沒作用的點。

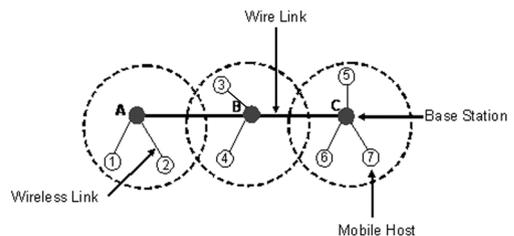


圖4 Single hop架構

Multi-hop 網路是 Single Hop 網路功能的延伸，其中的不同，就是行動主機間可以互相通訊，而不用經過基地台的轉

接，但在跨基地台的通訊方面，還是和 Single Hop 一樣，由起始點的行動主機送無線訊號給所屬基地台，基地台在經由有線網路把訊號送至目的基地台，當目的基地台收到訊號後，再經由無線電波送至目的點之行動主機，所以其優點就是當基地台無法運作時，便可以其他行動主機當中繼點繼續通訊，不過 Multi-hop 缺點就是行動主機必須擔任轉接訊息的中繼點。因此，當中繼點的 mobile host 就會增加頻寬和處理訊號上的負擔。

在圖5中，由於 Multi-hop 兩個行動主機間可以互相通訊，所以只要在通訊範圍互相涵蓋的點，就可以通訊如 6 號點和 7 號點，他們都處於彼此的通訊範圍內，所以可以互相通訊，而不須經過基地台的轉接；當基地台 B 無法作用時，其涵蓋範圍內的點3、4，還是可以繼續通訊，甚至如果經過基地台B的有線網路也無法使用，2 號點亦可以經由 4 號點，再跨過 3 號點，然後和 6 號點連線，或是經由 3 號點把訊息傳給基地台 C，再由基地台 C 藉由有線網到達目的基地台。

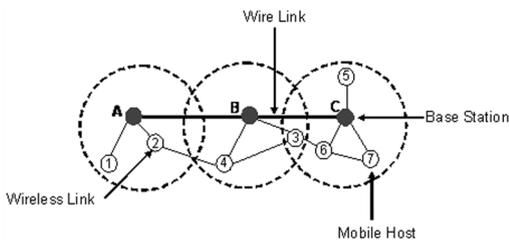


圖5 Multi-hop 架構

五、Ad Hoc網路的通訊協定

雖然 Multi-hop 改善了 Single Hop 功能，但其各自亦有所適用之環境。因此 Single Hop 適合使用在商業用通訊環境下，提供服務的廠商是可以向使用者收取通訊費用，然而 Multi-hop 則是多用於公共的無線網路架構下，因為在付費的環境下，是沒有人會願意免費提供別人，將自己當成中繼站傳訊，而讓自己的行動主機處於一直忙碌的狀態。在 Ad Hoc 網路的基本要求是所有的訊息，皆可透過網路中的各節點來傳遞，所以如何建立傳遞路徑便是通訊協定的重點。基本上，Ad Hoc 網路的通訊協定可分為兩大類：Table-driven 與 On-demand 等通訊協定，目前將路由選擇協定分成三大類：Table-driven/Proactive Routing Protocol、On-demand-driven/Reactive Routing Protocol 以及 Hybrid 如圖6所示。

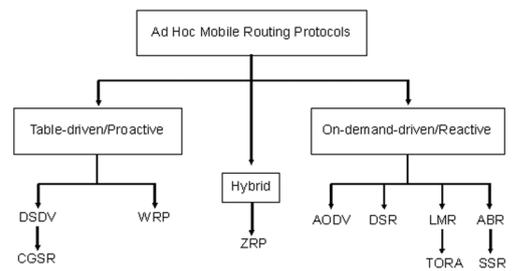


圖6 Ad Hoc Mobile Routing Protocols

在上圖的 Table-driven 中，包括 DSDV (Destination Sequenced Distance Vector) 及 CGSR (Cluster Gateway Switch Routing)，由於 DSDV 會有太多的控制信

令在網路中傳輸的問題，因此才又發展出 CGSR。支援 On-demand-driven 的路由選擇協定則較多包括 AODV(Ad hoc On-demand Distance Vector)、DSR (Dynamic Source Routing)、TORA (Temporally Ordered Routing Algorithm)、ABR (Associatively-Based Routing)、SSA (Signal Stability-Based Adaptive Routing)，其中 DSR 是基於 Source Routing，ZRP (Zone Routing Protocol) 為 On-demand-driven 與 Proactive 之組合。

Table-driven 通訊協定，主要為各節點都儲存一個對於網路中各個其他節點之繞徑的表格，並依此表格來傳送封包，如 DSDV。為維護各節點之間的路徑暢通，會每間隔一段時間發出更新的訊息，以確保表格資訊的更新，來應付隨時通訊可將正確資料送達。所以 Table-driven 通訊協定的優點，在於縮短尋找封包繞徑搜尋的反應時間，當網路拓撲改變時便能立即更新訊息，所以各節點必須周期性廣播自己的訊息，告知網路中的每個節點，以提供更新表格所需的資訊，但此動作會消耗大量的網路資源。而每個節點皆須隨時記憶並儲存大量資料與表格訊息，這對於較大的 Ad Hoc 網路，會佔用相當多的記憶體資源與硬體資源。對現今的無線網路硬體設備與網路資源而言，無線隨意網路並不適合使用 Table-driven 通訊協定。

On-demand 導向式繞送協定中，當一個來源端想傳送資料給目的端時，在找不到到達目的端的路徑時，才會發出尋找路徑的請求，當路徑被找到之後才會把資料傳送出去，例如 Dynamic Source

Routing(DSR)、Zone Routing Protocol、Ad hoc On-Demand Distance Vector Routing (AODV) 等就屬於這一類。因為沒有工作節點，且不需要維護任何表格，所以 On-demand 協定最大好處就是頻寬的使用量較小，相較於 Table-driven 通訊協定以表格演算法的周期性廣播，而大量消耗網路資源，On-demand 導向繞送協定只在尋找路徑時，才會需要開啟洩流。

因此對頻寬受限的無線網路環境較為適合，行動隨意網路中有幾項議題值得探討，包括電源問題 (Power Budget)、傳輸延遲 (Latency)、無線傳輸效能 (TCP Over Multi-hop Wireless Links)、網路安全 (Security) 以及路由選擇 (routing) 等問題，其中路由選擇議題也較為大家所關注，所以其也是影響系統效能的重要因素。在行動隨意網路中資料封包，必需經過中間節點(Node) 的多重轉送 (Multi-hop Communication)，所以中間節點本身具有移動性，網路拓撲 (Topology) 會隨時做改變，其尚且需要支援動態路由選擇 (Dynamic Routing)。而路由選擇法亦包含三個部份 Route Discovery、Packet Forwarding 及 Route Maintenance，不同於路由選擇協定 (Routing Protocol)，上述的三種程序所採用的方法不同，因此具有其各自的特性或是優缺點。

早期的衛星網路在探討如何結合其他網路之研究，或是傳送多媒體之研究，本文則是介紹如何結合行動隨意網路與衛星網路，探討此架構下所衍生之問題。另外在一個單一結構(Flat Structure)行動隨意網路中，若採用動態路由選擇，則會有延展性



的問題(Scalability Problems)，而目前行動隨意網路中研究主題都採用階層式架構(Hierarchical Architecture)，也就是叢集的方法(Cluster Structure) 如圖7所示。

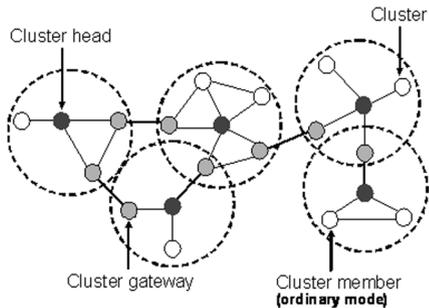


圖7 Cluster structure

目前叢集的方法大概分成六大類，如下面的表1所示。採用不同的動態路由及叢集法則將對整合系統產生不同影響。

	Objectives
DS-based clustering	Finding a (realist) connected dominating set to reduce the number of nodes participating in route search or routing table maintenance.
Low-maintenance clustering	Providing a cluster infrastructure for upper layer applications with minimized clustering-related maintenance cost.
Mobility-aware clustering	Utilizing mobile nodes' mobility behavior for cluster construction and maintenance and assigning mobile nodes with low relative speed to the same cluster to tighten the connection in such a cluster.
Energy-efficient clustering	Avoiding unnecessary energy consumption or balancing energy consumption for mobile nodes in order to prolong the lifetime of mobile terminals and a network.
Load-balancing clustering	Distributing the workload of a network more evenly into clusters by limiting the number of mobile nodes in each cluster in a defined range.
Combined-metric-based clustering	Considering multiple metrics in cluster configuration including node degree, mobility, battery energy, cluster size, etc., and adjusting their weighting factors for different application scenarios.

表1 six clustering schemes.

有鑑於在未來的數位戰場中，行動隨意網路在無線網路的應用，已日漸彰顯其重要性，在配合軍事野戰機動通信的運用，與戰術通信之所需，及基於彈性連網與機動傳輸的運用，整合行動隨意網路無線路由與衛星通訊系統，可使其達到衛星廣域戰術資料鏈的功能，為戰術通信重要選項之一。

可先以筆記型電腦搭載移動式伺服系統，並利用LabVIEW系統軟體建構行動隨意網路的監控平台，此平台除可傳送即時及非即時資料封包之外，亦透過GPS或GPRS定位系統，將每個節點的位置傳回伺服系統，以達到遠端監控的目的，並將此作為整合系統平台。

在根據先期研究所得結果，評估各種路由選擇在傳送各種資料時之影響，並根據此結果設計適合於整合系統之路由選擇。

六、行動隨意網路之動態路由技術研究

Ad hoc On-Demand Distance Vector 簡稱 AODV，AODV 這個 Routing Protocol 允許行動節點 (Mobile Nodes) 很快的獲得許多路徑到達它所想要到達的目的地，而且並不要求這些行動節點在沒有 Active Communication 去維護這些到目的端的路徑。它也允許行動節點當 Link Breakages 和網路拓樸有所改變的時候，能夠快速的去回應，並且去作一些應對的措施。

(1) 繞徑協定的運作採用 AODV Routing Protocol 重點有下列四點：

① Route Requests(RREQs)的發送與處理方式：

當某一 Mobile Node 欲傳送封包(Packet)給某一個 Destination node，封包在 IP Header 建立時，便會去檢查它的 Routing Table，若找不到可到達 Destination Node 的 Route Entry，此時行動節點便會去廣播 Route Requests (RREQs) 去尋找新路徑。然後在收到 RREQs 的行動節點會先去檢查看看此封包的 Destination Address 是否為

自己。如果不是，則再看看此 Intermediate Node 是否有一條 “Fresh Enough” 的路徑可以到達 Destination Node。如果沒有，先依據封包已有的 Address Sequence 資訊修改 Routing Table，再把它廣播出去。

而每一個 RREQs 都配有一個 ID，當某一個 Mobile Node 收到一個 RREQs 之後，會先去給它檢查看之前是否也有收過。假如有收過便將此封包丟棄，因此可以防止 RREQs 的無限制充斥在這個無線的 Ad Hoc 網路中，而且避免各個行動節點中 Routing Table 的路徑形成迴圈的情況，它就會以廣播 Route Requests (RREQs) 去找尋到達 Destination Node 的新路徑。

② Route Replies (RREPs) 之發送與處理：

當 RREQs 的訊息到達它所指定的 Destination Node，便會傳回 Route Replies (RREPs) 給原本發送 RREQs 的行動節點。在 Intermediate Node 收到 RREQ 的訊息後，發現 RREQ 中所記載的 Destination Address 是自己，則會先依據 RREQ 中所記載的 Address Sequence 去更改 Routing Table，而且由於每一個 Mobile Node 在接收了這個 RREQ 的要求後，它們就會去 Cache 住一個 Route 去返回到當初發出 RREQ 要求的來源端，然後利用 Unicast 的方法送出 Route Reply (RREP) 從 Destination Node 到這個 Source Node，或者從能夠滿足這個要求的任何一個 Intermediate Node 返回到這個來源端，途中的行動節點根據 RREP 中所記載的 address sequence 去更改 Routing Table，最後 Source Node 的 Routing Table 就含有到達 Destination Node 的 En-

try，接下來就是真正的 Data Packet 開始傳送了。

③ Route Errors (RERRs) 之確認與處理：

在處理封包轉送的途中，若發生找不到路徑的情況時，會由 Route Errors (RERRs) 處理。一個 Mobile Node 會在下列的兩種情況下，開始發出一個 RERR 的訊息。假如有一個行動節點偵測到在自己的 Routing Table 裡的一個 Active Route，而它無法與此 Active Route 的下一個 Hop 做溝通時，也就是有一個 Link Break 的情況發生。假如有一個行動節點獲得的一個資料封包 (Data Packet)，它要去傳送到某一個行動節點，但它並沒有一個 Active Route，可以讓它去做這樣的傳送。

④ Hello Message 所扮演的角色及功能。

⑤ 採用 Local Repair 的方式，去處理 Link Break 的情況發生：

當有一個 Active Route 突然發生 Link Break，也就是說當某一個行動節點 (Mobile node1, MN1) 可以轉交資料封包給它鄰近的某一個 MN2，再經由它轉交資料封包給其它的 MN3，就這樣一直做 Forwarding 的動作就可到達 Destination Node，但是 MN3 突然跑走了，這個時候 MN2 就無法偵測到 MN3，於是乎就有 Link Break 的情況發生。於是 MN2 就局部的廣播一個小範圍 RREQs，去尋找 MN3，並且限制了 RREQs 所經過的節點數。便設定 Hop Count 一個上限值，Hop Count 的值可視為一個可變動的參數，若網路結構變動很小，Hop Count 的值不必很大。反之 Hop Count 的值就必須加大，不過網路若真的

變動的很劇烈，則此方法就不適用了。若發送了這個 RREQs 後還是找不到一條到達 MN3 的路徑，則可能藉由別條路徑來到達我們的 Destination Node。

(2)DSR

Dynamic Source Routing 顧名思義利用的是 Source Routing 的觀念，將路由資訊直接紀錄在每個封包裡，但為了可以在 MANET 這樣特殊的環境中使用，DSR 也是在需要路徑的時候才去找尋路徑，也就是 On-demand，如圖8所示。



圖8 Cluster structure

Route Discovery 與 AODV 類似，也是從 Source 端 (1) 以廣播方式送出一個 Route Request，所不同的是 Route Request 每經過一個 hop，就會將這個 Hop 的 ID 記在 Route Request 的 Router Record 裡，當 Route Request 到達 Destination (8) 時，就會有該路徑所有節點的資訊，Destination 在眾多 Request 裡選出一條最佳路徑，根據 Router Record 傳送一個 Router Reply 回到 Source，Source 會將其紀錄在 Route Reply 裡的 Route Record 儲存在 Routing Table 中，以後所有要送給該 Destination 的封包都會有這個 Route Record 在裡面，只有 Source 需要這條路徑的相關資訊，Source 與 Destination 路徑之間的其他節點，只要先檢視封包裡的

Route Record 然後 Forward 出去即可，不需重新選擇路徑。

七、結論

動態路由技術對整合系統實驗平台之無線網路頻寬、傳輸、電池、及記憶容量具有重大影響，因此如何有效提升動態路由演算技術，並評估各種可能的動態路由選擇技術相當重要；因此，除了，Table-driven 通訊協定、On-demand 導向繞送協定之外，Hybrid 協定也是研究的重點。

整合行動隨意網路與衛星通信系統，係利用動態路由技術以整合行動隨意網路，透過手機漫遊的方式與衛星通信系統，以達到遠距遙控與監控的目的。其採以移動式伺服器工作平台，利用衛星通信系統提升行動隨意網路的系統效能，如擴增涵蓋範圍、增加系統記憶容量、資料傳輸速率、及各節點之間的監控。並滿足數位通信之彈性、行動、廣域及無盲區之需求。

MVLAN 的技術將使有限及無線網路頻寬獲得有效的利用；可藉由 Multi-hop 的技術與衛星通訊，將 MVLAN 的範圍拓展到通信基礎設施不足、或因天災導致斷訊的區域，能隨時隨地通訊的資訊網路。