

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(2/3)

計畫類別：個別型計畫

計畫編號：NSC93-2213-E-009-031-

執行期間：93年08月01日至94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 94 年 6 月 15 日

行政院國家科學委員會補助專題研究計畫期末進度報告

含行動隨意網的 MPLS 無線基礎網路(2/3)

計畫類別：個別型計畫

計畫編號：NSC 93-2213-E-009-031-

執行期間：93 年 08 月 01 日至 94 年 07 月 31 日

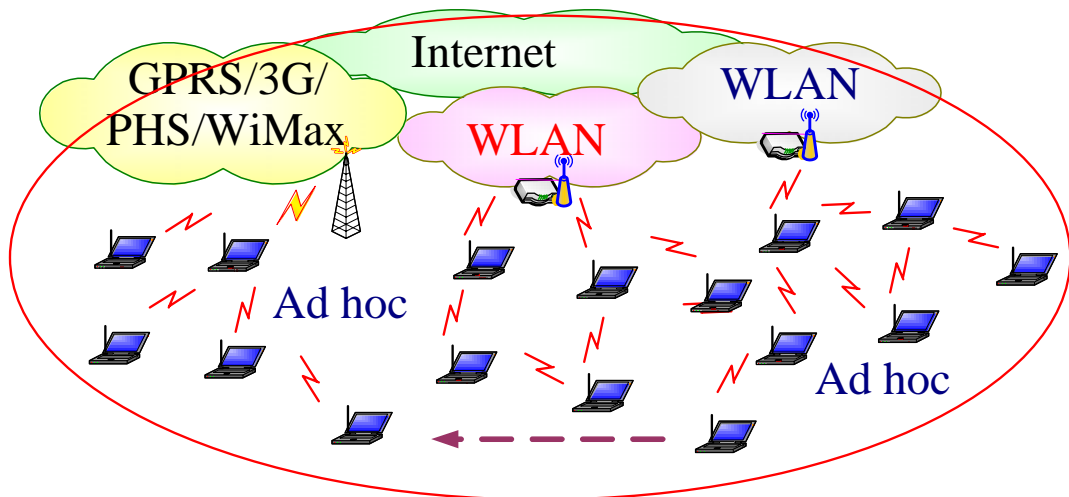
計畫主持人：曾建超

執行單位：國立交通大學資訊工程研究所

中 華 民 國 94 年 6 月 16 日

中文摘要

本研究計畫為期三年，主要之目的是透過 Multi-Protocol Label Switching (MPLS) 的機制整合各種型態網路 (Internet、Ad-hoc、GRPS 和 WLAN) (如圖一所示)。透過此機制不僅可以加速網路封包傳遞 (Packet Forwarding)，也同時提供網路使用者擁有 End-to-End 的服務品質保證 (Quality of Service, QoS) 同時我們也利用行動智慧代理人 (Mobile Intelligent Agent) 的機制提供在兩個網路之間無接縫換手 (Seamless Handoff)。



圖一：各種網路型態 (Internet、GPRS、WLAN、Ad-hoc) 的結合

審視目前 GPRS 傳輸網路的協定堆疊，我們研究發現在 GPRS 傳輸網路內利用 IP-in-IP 隧道技術來定址行動主機與傳輸行動主機的封包時，會造成 1.較長的封包標頭 2.IP 路由延遲長、3.不易支援服務品質控制服務等不易克服的缺點。最根本的問題在於 IP-in-IP 隧道技術的協定額外負擔 (protocol overhead) 太大了。另外，由於 GPRS 傳輸網路內的封包其外層 IP 所定址的 GPRS 傳輸網路與內層 IP 所定址的外部網際網路 (Internet) 兩者的 QoS 控制機制必須協調以符合一致的 QoS 需求，這將會提高即時資料流在建立連線時的複雜度。

而在無線區域網路方面，網路大致上可以分為 Infrastructure 和 Ad-hoc 兩種網路架構。無線 Infrastructure 網路是在有線骨幹網路末端設置無線網路的基地台 (Access Point, AP)，行動主機 (Mobile Host, MH) 利用這些 AP 可以連結有線骨幹網路，進行資訊通訊，無線通訊僅發生於 AP 與 MH 之間。而 Ad-hoc 網路則不需要有線的骨幹網路，沒有 AP 的支援，MH 利用無線網路介面彼此通訊。我們利用 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)。

有鑑於多媒體傳輸的需求快速增加，網路使用者使用網路的方式也越來越多樣化，相對的各種網路型態的結合也日趨重要。未來服務品質保證 (QoS) 不僅可以在當地 (Local Region) 有很完整方案可以提供之外，也可以在各種網路型態之間，提供一套很簡單的完整

End-to-end 服務品質保證。同時也希望有一套機制提供完整的不斷線的換手 (Seamless Handoff), 讓網路使用者可以很快速不斷線又同時擁有固定的服務品質保證漫遊在各種網路之間。

MPLS 是由 Internet Engineering Task Force (IETF) 所提出來的的新一代封包傳遞技術。MPLS 整合標籤交換 (Label Swapping) 和網路層路由 (IP Routing), 利用標籤交換以及連線導向的方式取代傳統的 hop-by-hop 的 IP Routing , 不但可以提升封包路由(Packet Routing) 的效能, 同時也可以方便有效地支援各種 QoS 的頻寬保留與管理機制。

本研究計畫之目的, 先提供 Ad-hoc 網路與 GPRS 傳輸網路一套完整 QoS 的機制。接下來再利用 MPLS 的技術連接各種網路, 並且在各種網路型態之間提供 End-to-end QoS 的機制與無接縫換手 (Seamless Handoff)。在本計畫中, 我們將特別針對 Ad-hoc 網路與 GPRS 傳輸網路整合 MPLS 和其相關 QoS 以及與其他網路結合的支援方法提出我們的研究方案。希望藉由改良 MPLS Label distribution and switch 的機制, 在 Ad-hoc 網路中加入 MPLS, 並利用 MPLS 特點, 進一步提出支援 QoS 的機制, 以期所開發出來的 MPLS、服務品質控制的機制, 可以讓使用者能夠在未來整合多種無線網路(GPRS、Wireless LAN、Bluetooth 等) 的 Extended Infrastructure 中, 仍能擁有端點到端點(end-to-end)的服務品質保證與無接縫換手。

關鍵詞： 無線隨意行動網路, 省電模式, IEEE 802.11, 藍芽

目錄

報告內容	1
I. 前言	1
II. 研究目的	3
III. 研究方法	3
IV. 研究成果	30

報告內容

I. 前言

根據多項研究報告的預測，無線（Wireless）網路的用戶量可能在五年內超越有線（Wireline）網路的用戶量。由於無線網路帶來許多方便也充滿商機，近幾年來有大量研究人員投入無線網路的相關研究，提出許多項標準。網路使用者使用網路可以透過行動主機使用網路服務。而行動主機可以選擇最經濟或者最方便的方式連上網路（Internet），如透過 GPRS 傳輸網路、WLAN 或者 Ad-hoc 網路連上網路。此時必須依靠緊密地結合各種型態網路，並且提供 End-to-end 服務品質保證（QoS）與不斷線的換手（Seamless Handoff）。這其實不是很容易，因為除了要維持已經建立好的 Routing Path 之外，進而提供 QoS 保證，而同時漫遊在各種型態網路之間，還要保持網路服務連線不中斷。

而近來的研究顯示，未來 QoS 將傾向藉由 DiffServ，也就是 differentiated services 來達成，為了達到 DiffServ 的 QoS，大多數研究採用在資料鏈結層(datalink layer)加入以標籤(Label)交換為主的 MPLS(Multi-Protocol Label Switch)協定，藉由建立連線導向的資料連線，以利於支援與 QoS 相關的頻寬保留與管理機制。MPLS 協定的優點是：在相鄰 router 之間利用快速且簡易的 Label 交換以及連線導向的方式取代慢而複雜的 hop-by-hop 的 IP routing，因此可以方便有效地支援各項 QoS。

本研究計畫之目的，先提供 Ad-hoc 網路與 GPRS 傳輸網路一套完整 QoS 的機制。接下來再利用 MPLS 的技術連接各種網路，並且在各種網路型態之間提供 End-to-end QoS 的機制與無接縫換手（Seamless Handoff）。在本計畫中，我們將特別針對 Ad-hoc 網路與 GPRS 傳輸網路整合 MPLS 和其相關 QoS 以及與其他網路結合的支援方法提出我們的研究方案。希望藉由改良 MPLS Label distribution and switch 的機制，在 Ad-hoc 網路中加入 MPLS，並利用 MPLS 特點，進一步提出支援 QoS 的機制，以期所開發出來的 MPLS、服務品質控制的機制，可以讓使用者能夠在未來整合多種無線網路(GPRS、Wireless LAN、Bluetooth 等)的 Extended Infrastructure 中，仍能擁有端點到端點(end-to-end)的服務品質保證與無接縫換手。

我們首先要改善 Ad-hoc 的 routing 效率以及達到最佳的 QoS 控制，因此將針對 Ad-hoc 網路，設計並改良 Multi-Protocol Label Switch (MPLS)協定，以便在 Ad-hoc 網路中加入 MPLS 協定，提昇 Ad-hoc 無線網路的傳輸效率，以及利用 MPLS 的特性來達到最佳的 QoS 控制。但是要再說明的是，由於一般的 Ad-hoc 網路其 network topology 會隨時變換，需要適時重建 routing path，topology 如果變換太頻繁會造成很大的計算負擔和支援 QoS 的困難。因此本計畫之 Extended Infrastructure 網路架構將先以 network topology 不經常變換的 Ad-hoc 網路為主。

審視目前 GPRS 傳輸網路的協定堆疊，我們研究發現在 GPRS 傳輸網路內利用 IP-in-IP 隧道技術來定址行動主機與傳輸行動主機的封包時，會造成 1.較長的封包標頭 2.IP 路由延遲長、3.不易支援服務品質控制服務等不易克服的缺點。最根本的問題在於 IP-in-IP 隧道技術的協定額外負擔 (protocol overhead) 太大了。另外，由於 GPRS 傳輸網路內的封包其外層 IP 所定址的 GPRS 傳輸網路與內層 IP 所定址的外部網際網路 (Internet) 兩者的 QoS 控制機制必須協調以符合一致的 QoS 需求，這將會提高即時資料流在建立連線時的複雜度。我們利用 Multi-protocol Label Switching (MPLS) 的標籤交換技術來建構 GPRS 傳輸網路，這是由於 MPLS 的標籤交換技術具有 1.比 IP 標頭較短的位址欄位 2.局部區域尋址等特性，而且標籤定址動作於數據鏈結層和網路層之間就能迅速完成，能讓傳輸網路內的路由器利用標籤快速定址傳送封包，不需要每個路由器再將封包上傳至網路層去作定址，克服原本 IP-in-IP 隧道技術的缺點。所以利用 MPLS 標籤交換技術取代 IP-in-IP 隧道機制，一方面可以降低封包標頭佔整個封包大小的比例，另一方面可以降低 IP 路由延遲，進而降低封包的平均傳輸延遲與封包的丟失率，以及增進網路的頻寬傳輸效率。

另外，由於目前網路型態多樣化，使用者上網方式也日新月異。各種型態網路之間常需要緊密相結合，以提供網路使用者有最好的上網方式與最佳網路服務品質。尤其是在無線網路的環境底下，除了提供使用者方便的上網方式之外，當使用者漫遊在各種型態網路之間，同時也要提供保持網路服務品質 (QoS) 與網路服務不斷線的服務。我們將針對此項需求，利用 MPLS 特性，我們會提出一套完整的方案，可以很輕易的結合各種型態網路，讓使用者漫遊各種型態網路之間，擁有網路服務不斷線之外，也可以保持其網路品質 (QoS)。

II. 研究目的

本研究計畫目前已經完成設計與評估 Multi-Protocol Label Switching (MPLS) in GPRS (MiGPRS) Ad-hoc MPLS (AMPLS) 之 routing 功能以及將其架設成 Infrastructure 無線網路的 extension。MiGPRS 的研究成果如下：

- (一) Pre-configured LSPs in MiGPRS 網路。
- (二) 支援 Differentiated Service 於 MiGPRS 網路。
- (三) MiGPRS without GTP Tunneling。
- (四) 支援 QoS 於 Inter-SGSN 平滑換手流程。
- (五) 完成頻寬估計模型機制的設計，以祈在可容忍的強制中斷率要求下，確保即時資料流連線在執行 inter-SGSN 換手時之服務品質要求。
- (六) 完成 MiGPRS 網路模擬模型。

Ad-hoc MPLS (AMPLS) 的研究成果如下：

- (一) 完成 Ad-hoc Network 在 network layer 中的 Routing Protocol 設計
- (二) 完成改良 MPLS 的 Label Distribution and Switch 方法以適用於 Ad-hoc network 網路
- (三) 結合前兩部分的研發成果，完成整合 AMPLS 與 infrastructure 架設 Extended Infrastructure 網路
- (四) 完成建立 Pre-constructed LSP 及 On-demand LSP 的機制
- (五) 完成 QoS negotiation for Differentiated services through Pre-constructed LSPs
- (六) 完成 AMPLS 網路的效能評估

本研究計畫在第三年將會繼續前兩年的研究，並且完成 Extended Infrastructure MiGPRS 傳輸網路與其他網路的緊密地相互結合。整合的網路架構，使用者可以選擇 GPRS、WLAN、Ad-hoc 網路或者一般有線網路上網，除了可以提供使用者擁有 end-to-end 的服務品質保證，並且透過使用行動智慧代理人 (Mobile Intelligent Agent) 的機制，還可以提供網路使用者在漫遊於各種網路之間擁有無接縫換手 (seamless handoff)。除此之外，我們還會設計一個演算法讓網路使用者選擇合適的閘道 (Gateway)，避免造成網路部分擁塞。

III. 研究方法與結果

MiGPRS 研究成果詳細描述如下：

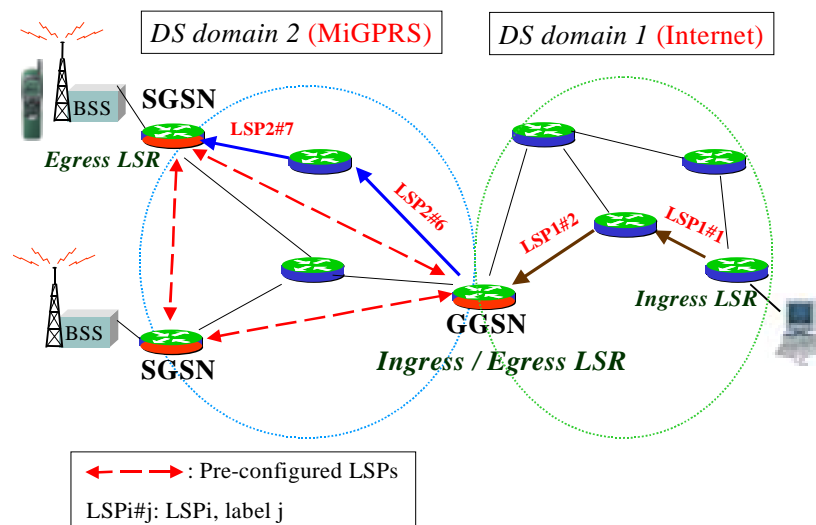
A. Pre-configured LSPs in MiGPRS 網路

參考圖二，其簡單地表示我們 MiGPRS 傳輸網路的架構。其中我們的 MiGPRS 網路為

一個 Diff-Serv domain (DS domain 2), 而外部的 Internet 封包交換網路也假設為一 Diff-Serv domain (DS domain 1)。MiGPRS 網路內的每個節點皆具有 MPLS 的能力, 而外部的 Internet 封包交換網路中的 router 可以是具有 MPLS 能力, 也可以是不具有 MPLS 能力的, 這不會影響 MiGPRS 傳輸網路的架構。在這裡我們假設外部 Internet 的 router 也具有 MPLS 能力, 可以建立 label switched paths。

因為 MiGPRS 網路內的 GGSN 以及 SGSN 個數不多, 因此我們可以於 MiGPRS 網路初始時, 在每個 SGSN 之間以及每對 GGSN-SGSN 之間預先建立好 label switched paths, 稱為 pre-configured LSPs。如圖二所示, 當外部 Internet 上的 CN 端欲傳送資料封包給行動台端時, 資料封包會先被繞送到 MiGPRS 網路的 GGSN 節點。此時由於 GGSN 知道資料封包所屬的行動台位於哪個 SGSN 之下, 所以 GGSN 只需要將行動台所屬的資料封包導入到對應的 pre-configured LSP, 而資料封包將經由 label switching 的方式到達 SGSN。

由於我們在 MiGPRS 傳輸網路內預先建立好 pre-configured LSPs, 因此可以增進網路系統整體的封包傳輸速度與效率。同時, 我們也可以對每一條 pre-configured LSPs 預先保留頻寬以提供 QoS 服務。



圖二：Pre-configured LSPs in MiGPRS Networks

B. 支援 Differentiated Service 於 MiGPRS 網路

前面我們描述在 MiGPRS 傳輸網路內, 於每個 SGSN 之間以及每對 GGSN-SGSN 之間預先建立 pre-configured LSPs。因為 label switched paths 具有連線導向(connection-oriented)的特性, 所以很適合用於支援 QoS control 服務。而為了使得 MiGPRS 傳輸網路能夠支援 Diff-Serv, 我們可以將前面所描述的 pre-configured LSPs 建立為 EXP-Inferred-PSC LSPs (E-LSPs) 或是 Label-only-Inferred-PSC LSPs (L-LSPs)。

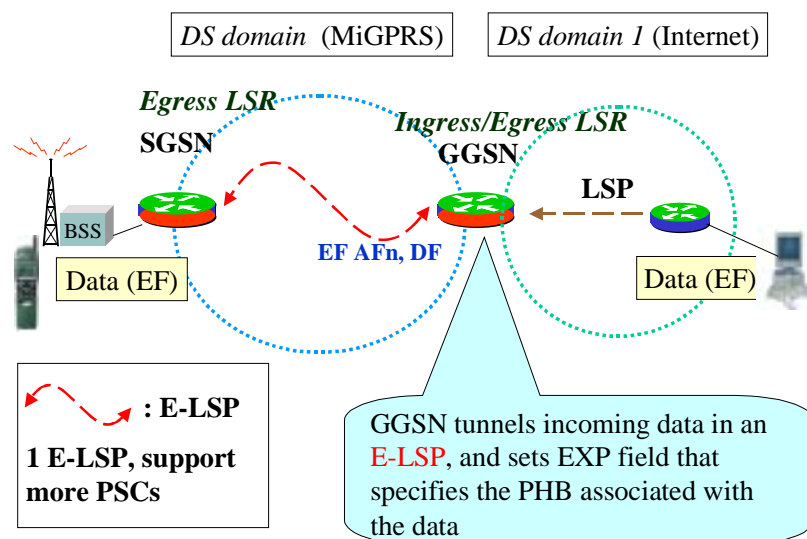
圖三所顯示的是在 MiGPRS 傳輸網路內, 我們將 pre-configured LSPs 建立為 E-LSPs 以

支援 Diff-Serv 的方法 而圖四所顯示的是在 MiGPRS 傳輸網路內,我們將 pre-configured LSPs 建立為 L-LSPs 以支援 Diff-Serv 的方法。

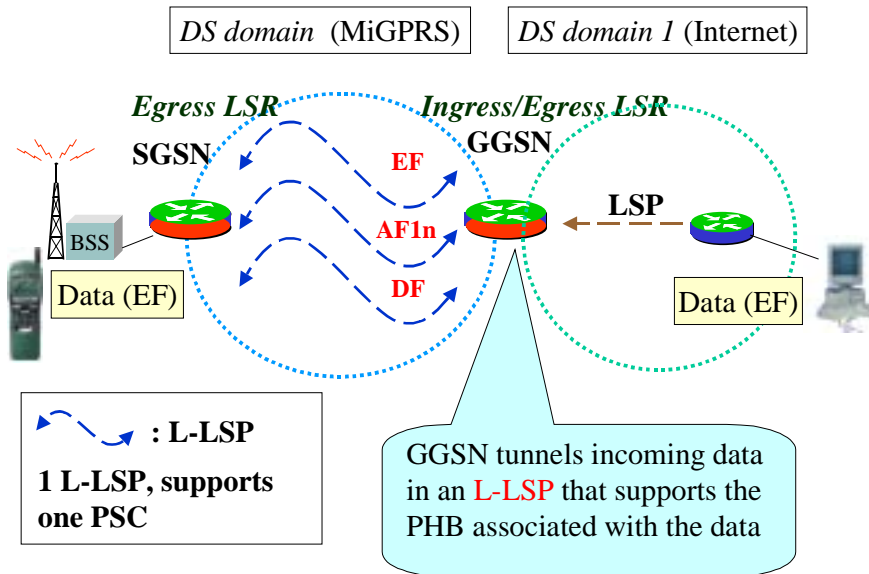
在圖三中,我們將 MiGPRS 網路內的 pre-configured LSPs 建立成 E-LSPs。一條 E-LSP 可以支援多種 PHB Scheduling Classes (PSCs), 例如 Expedited Forwarding (EF)、Assured Forwarding (AF)或是 Default Forwarding (DF)等。當具有 QoS control 要求的資料封包由 CN 端經由外部封包交換網路(Internet)繞送到 MiGPRS 網路欲傳送給行動台端時,GGSN 會依據此資料封包的 QoS 需求,設定封包標籤標頭的 EXP field 以提供相同的 QoS 等級,再將資料封包導入進 E-LSP,傳送到 SGSN。

而在圖四中,我們將 MiGPRS 網路內的 pre-configured LSPs 建立成 L-LSPs。一條 L-LSP 只支援一種 PHB Scheduling Class (PSC), 所以為了能在 MiGPRS 傳輸網路內支援各種的 QoS 等級,我們必須在每個 SGSN 之間以及每對 GGSN-SGSN 之間建立多條的 L-LSPs, 以支援各種不同等級的 QoS 服務。當具有 QoS control 要求的資料封包由 CN 端經由外部封包交換網路 (Internet) 繞送到 MiGPRS 網路欲傳送給行動台端時,GGSN 會依據此封包的 QoS 需求,將資料封包導入進可支援其 QoS 要求的 L-LSP,傳送到 SGSN。

因此,利用 pre-configured E-LSPs 或是 pre-configured L-LSPs 的方法,我們可以在 MiGPRS 傳輸網路內輕易地支援 Differentated Service。



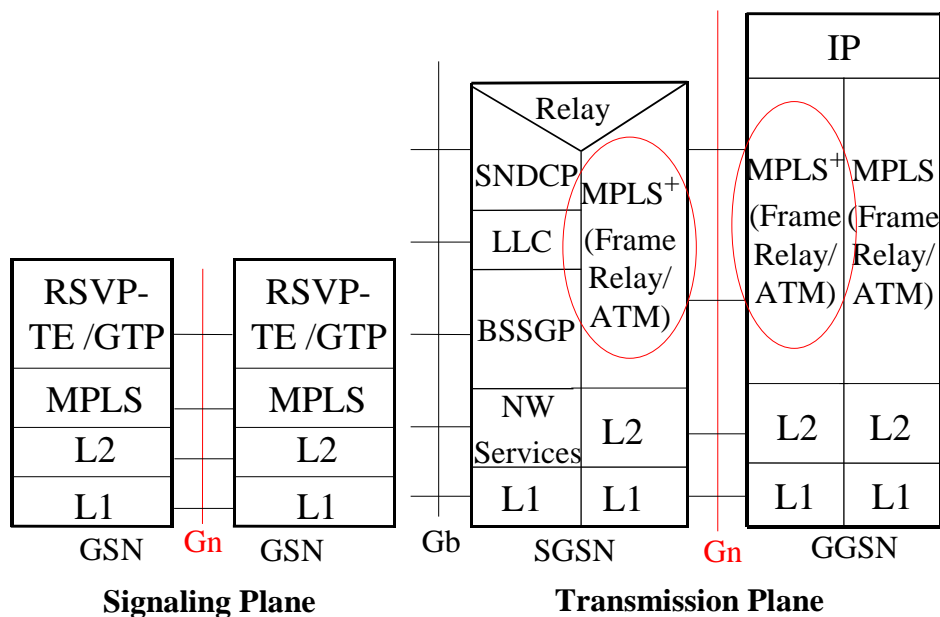
圖三：Pre-configure E-LSPs in MiGPRS Networks to Support Diff-Serv



圖四：Pre-configure L-LSPs in MiGPRS Networks to Support Diff-Serv

C. MiGPRS without GTP Tunneling

本小節說明 MiGPRS without GTP tunneling 的網路架構。由於我們發現原先 GPRS 網路中的資料封包帶有 GTP 標頭，此 GTP 標頭佔有 20 bytes，為了希望能更縮短資料封包的標頭長度，我們將 Gn 介面中 transmission plane 的 GTP layer 移除，以期能達到更縮短封包標頭的目標。以下描述改良後的協定堆疊以及描述使用 label stacking 的機制來支援原 GTP layer 在 transmission plane 的功能。



圖五：Protocol Stack of Gn Interface of the MiGPRS without GTP Tunneling

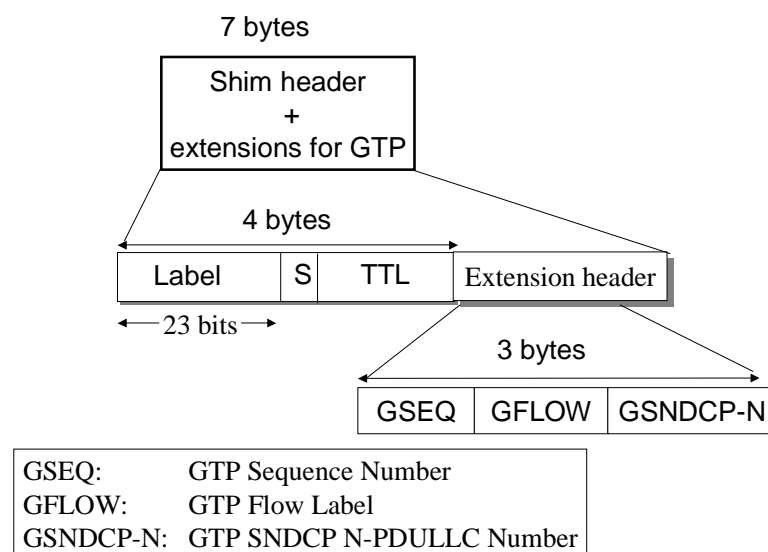
1. Protocol Stack of MiGPRS without GTP Tunneling

圖五為 MiGPRS without GTP Tunneling 的 Gn 介面 protocol stack，我們一樣在 Gn 介面協定堆疊中，使用 MPLS 協定來取代 GGSN 與 SGSN 之間的 IP 協定，因而不再需要使用 IP-in-IP tunneling 的技術。我們也拿掉了原先在 transmission plane 的 TCP/UDP 層以及在 signaling plane 的 UDP 層，使得整個 MiGPRS 網路的封包傳輸變得更有效率。我們也需要在 signaling plane 上加入 RSVP-TE 協定，負責標籤分配的動作與交換相關的 QoS 控制訊息，得以在 MiGPRS 網路中建立 pre-configured LSPs。

而為了再縮短封包標頭的長度，我們將 transmission plane 中的 GTP layer 移除。先前我們提過 GTP layer 在 transmission plane 上具有攜帶 Mobile Station Identification 以及攜帶 data flow control 資訊，為了將 GTP layer 由 transmission plane 移除並支援其原有的功能，我們使用了 label stacking 的機制。下個小節將詳細描述 label stacking 機制的方法。

2. 使用 Label Stacking 機制支援原 GTP Header 功能

我們提到 transmission plane 中的 GTP layer 功能為在封包標頭攜帶 Tunnel ID(TID) 以及攜帶一些 data flow control 的資訊(例如: GTP Sequence Number GTP Flow Label GTP SNDSCP N-PDULLC Number 等資訊)。為了保持原先 GTP layer 在 transmission plane 的功能，其中攜帶 TID 的功能我們使用攜帶一個 another label (inner label) 的方法來取代。此 inner label 位於 inner shim header 裡，由原 MPLS 定義的 label(20 bits) 加上 EXP 欄位(3 bits)，共有 23 bits 構成。這是因為 inner shim header 的 EXP 欄位實際上不會使用到，因此我們將之併入 label 的欄位，可增加標籤分配的範圍。而此 inner label 在一個 MiGPRS domain 中為一個 unique label，可讓 SGSN 分配對應到一組 TID 來辨識行動台，因此這個 inner label 又稱為 MS Identification Label (MID Label)。



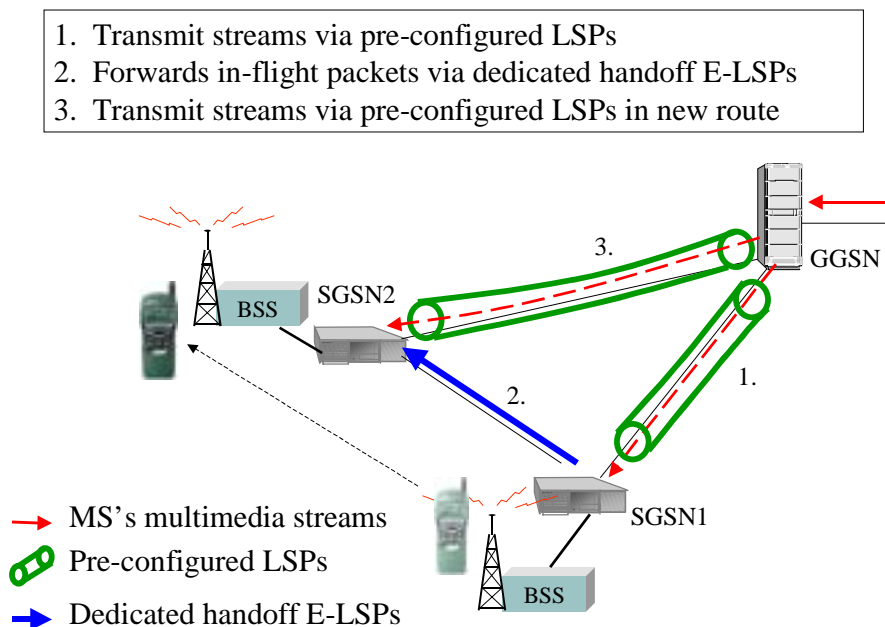
圖六：MPLS Shim Header Extension for GTP data flow control

而原 GTP layer 攜帶 data flow control 資訊的功能我們則使用自行定義的 shim header 延伸欄位(extension fields) 方式來取代。如圖六所示，我們針對在 MiGPRS 網路上傳輸的 inner shim header 作一些改良,利用 S bit 來表示是否帶有 extension fields。這是因為 MiGPRS 傳輸網路的運作是獨立於外部封包交換網路，因此在 MiGPRS 網路中的節點可以設計成讓 inner shim header 帶有 extension fields，且只有 MiGPRS 傳輸網路中的 GGSN 和 SGSN 節點會正確解讀 inner shim header 的 S 位元。所以當 S bit 為 1 時,表示目前 MPLS shim header 是 label stack 的最後一個 entry,其帶有 extension 欄位，其順序分別為原 GTP 協定層的 GTP Sequence Number、GTP Flow Label、以及 GTP SMDCP N-PDULLC Number，其各佔一個 byte 大小。

使用上述的機制，我們使得 inner shim header 的 label (MID label) 具有可以讓 SGSN 使用來辨識行動台的功能，也可以讓 inner shim header 攜帶 GTP data flow control 的資訊，以支援原 GTP layer 在 transmission plane 的功能，同時縮短封包標頭。

D. 支援 QoS 於 Inter-SGSN 平滑換手流程

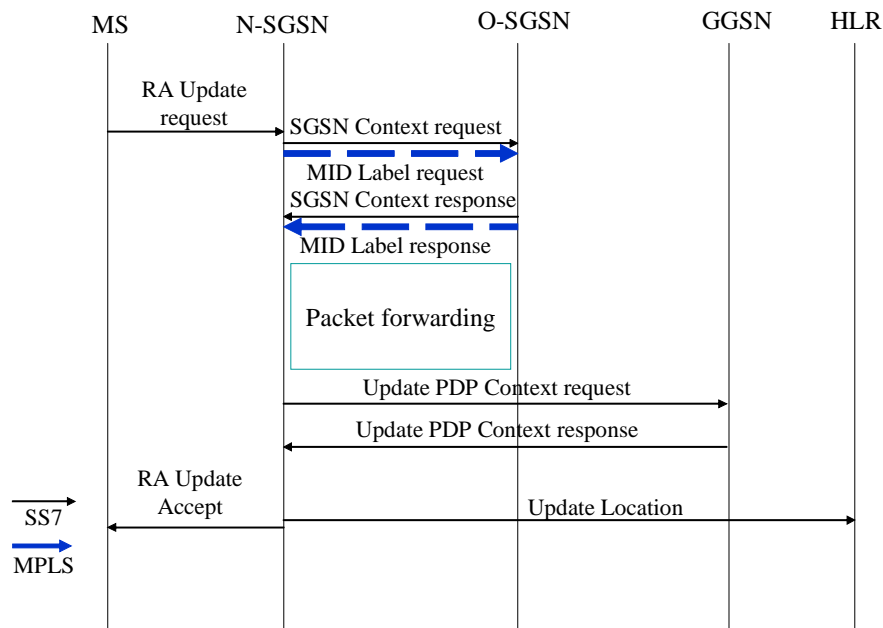
為了支援 inter-SGSN 平滑換手，我們在 MiGPRS 網路初始化時，即在每個 SGSN 之間預先建立兩條互通、單向的 E-LSPs，我們稱這些 E-LSPs 為 dedicated handoff E-LSPs。由於一條 E-LSP 可以利用 MPLS 標頭內 3-bits 的 EXP 欄位來決定封包的 CoS，所以最多可以支援到八種 PHB。因此，MiGPRS 網路預先在各個 SGSN 之間建立 dedicated handoff E-LSPs 來支援行動台各種不同 QoS 的資料連線。



圖七：QoS Support for Inter-SGSN Handoff

當行動台從舊的 SGSN 涵蓋範圍移動到新的 SGSN 涵蓋範圍時，由於 GGSN 還未認知行動台已正在執行 inter-SGSN 換手程序，可能會將某些封包繼續送往舊的 SGSN，因而造成行動台的封包遺失或是封包傳輸延遲變大。依照 GPRS 的標準文件程序，在原 GPRS 傳輸網路中，舊的 SGSN 會轉傳(forwarding)行動台 in-flight 的資料封包，但並不支援 QoS 服務。而 MiGPRS 傳輸網路則使用預先建立於新 SGSN 與舊 SGSN 之間的 dedicated handoff E-LSP 來轉傳(forwarding)行動台 in-flight 的資料封包，同時保證 in-flight 資料封包的 QoS 要求。

參考圖七，當行動台位於 SGSN1 時，行動台的即時資料流是經由 GGSN 與 SGSN1 之間的 pre-configured LSP 繞送。當行動台從 SGSN1 移動至 SGSN2 時，即發生了 inter-SGSN handoff。此時，SGSN1 會使用其與 SGSN2 之間的 dedicated handoff E-LSP(圖七中動作 2)來轉傳 in-flight 的資料封包。而當 inter-SGSN handoff 程序完成之後，行動台的即時資料流再經由 GGSN 與 SGSN2 之間的 pre-configured LSP 繞送。



圖八：Signal Flows for Inter-SGSN Handoff in MiGPRS (without GTP tunneling)

由於 dedicated handoff E-LSP 所保留的頻寬會被許多行動台端共同分享使用，所以為了能夠支援平滑的 inter-SGSN 換手，MiGPRS 必須靜態地保留足夠的頻寬給 dedicated handoff E-LSPs 以提供給同時進行換手的行動台使用。

另外，我們於前節提出 MiGPRS 傳輸網路可以使用 label stacking 的機制將封包的 GTP header 移除，並使用一個 MID label 以讓 SGSN 能夠對應到行動台的 Tunnel ID。所以在 MiGPRS without GTP tunneling 模式下，我們需要修改行動台端的 inter-SGSN handoff 控制訊號流程，使得 MID Label 的轉移流程伴隨運作。參考圖八，當行動台移動到新的 SGSN 管

轄範圍內，新的 SGSN 會向舊的 SGSN 發出 SGSN Context Request 控制訊號，並伴隨著發送一個 MID Label Request 控制訊號給舊的 SGSN。之後舊的 SGSN 回應 SGSN Context Response 給新的 SGSN，也伴隨發送一個 MID Label Response 給新的 SGSN。此 MID Label Response 包含換手進入之行動台的 MID Label 以及其 Tunnel ID (IMSI, NSAPI)。接著新的 SGSN 會建立相關的 LTMIE 對應表格來辨識換手進入之行動台的資料封包。之後的流程即與原 GPRS 網路流程相同。

E. 完成頻寬估計模型機制的設計，以祈在可容忍的強制中斷率要求下，確保即時資料流連線在執行 inter-SGSN 換手時之服務品質要求

由於 dedicated handoff E-LSPs 的頻寬保留分析，會與行動台的移動行為(mobility behavior)有相關性。在本研究計畫的分析裡，我們假設行動台的 mobility model 為 random walk model，並配合六邊形的蜂巢狀細胞基地台架構。

1. MiGPRS Dedicated Handoff E-LSP 的頻寬估計模型

由於 dedicated handoff E-LSPs 具有 connection-oriented 的特性，所以非常適合用來支援 inter-SGSN 平滑換手，換句話說，當行動台執行 inter-SGSN 換手而必須使用到 dedicated handoff E-LSPs 來傳輸資料封包時，若此 dedicated handoff E-LSP 剩餘的頻寬足以支援行動台的 QoS 要求時才允許被行動台使用，一旦行動台被允許使用此 dedicated handoff E-LSP 時，表示 MiGPRS 網路能保證行動台在執行 inter-SGSN 換手時所需要 QoS 協議。反之，若此 dedicated handoff E-LSP 剩餘的頻寬不足以支援行動台的 QoS 要求時，則 MiGPRS 網路不會允許行動台在執行 inter-SGSN 換手時，使用此 dedicated handoff E-LSP 來傳輸資料封包。因此，為了要保證行動台的即時資料連線在換手前和換手後的最低可容忍服務品質，每一條 dedicated handoff E-LSP 的頻寬保留預估就十分重要。這裡我們使用 Erlang-B capacity model，並依據我們所設定可容忍的 forced termination probability 條件之下，來評估一條 dedicated handoff E-LSP 需要保留多少的頻寬給予行動台們執行 inter-SGSN handoff 時使用。

因此 MiGPRS 網路的 dedicated handoff E-LSPs 的頻寬估計模型使用 Erlang-B 公式， $B(m, \lambda h/\mu)$ ，其中 m 表示同時可以分享一條 dedicated handoff E-LSP 的行動台個數，也就是指一條 dedicated handoff E-LSP 可以服務的行動台最大數量。 h 表示行動台處於有資料連線狀態時，在兩個相鄰的 SGSN 之間平均從某一 SGSN 移動到另一 SGSN 的換手率 (inter-SGSN handoff occurrence rate)。而 $1/\mu$ 則表示平均的 inter-SGSN 換手所需執行完成的時間 (duration of handoff time)，也就是表示舊的 SGSN 使用 dedicated handoff E-LSP 轉傳 (forward) in-flight 資料封包給新的 SGSN 所需要的時間。

我們利用 Erlang-B 公式， $B(m, \lambda h/\mu)$ ，來計算一條 dedicated handoff E-LSP 所需

要保留的頻寬。由於 dedicated handoff E-LSP 具有 connection-oriented 的特性，可以視為一條資料通道，根據 Erlang-B 公式，將行動台的強制中斷率 (forced termination probability) P_f 套入下列的不等式：

$$\frac{\left(\frac{\lambda_h}{\mu}\right)^m / m!}{\sum_{k=0}^m \left(\frac{\lambda_h}{\mu}\right)^k / k!} \leq P_f \quad (1)$$

我們可以根據系統需求，訂定一個最低可容忍的強制中斷率 (例如 $P_f = 2\%$)，將 λ_h 與 $1/u$ 代入式子 (1) 運算，可以求出最大的 m 值。進一步地，我們可以估計一條 dedicated handoff E-LSP 所需保留的頻寬 (B_{E-LSP}) 將是：

$$B_{E-LSP} = m \times B_{ms} \quad (2)$$

其中 B_{ms} 是表示一個行動台其即時資料流平均最低的需求頻寬。一般而言， $1/u$ 為常數值，然而 λ_h 所代表的是行動台處於有資料連線狀態時，在兩個相鄰的 SGSNs 之間平均從某一 SGSN 移動到另一 SGSN 的換手率 (inter-SGSN handoff occurrence rate)，其會隨著一個 SGSN 管轄的行動台數量和行動台的行為模式而變動。因此，我們在下一小節提出 inter-SGSN 換手分析模型，以分析出 λ_h 值。

2. Inter-SGSN 換手分析模型

本小節將描述 inter-SGSN handoff 分析方法，我們使用行動模型和資料流連線模型來說明。

I. 行動模型假設

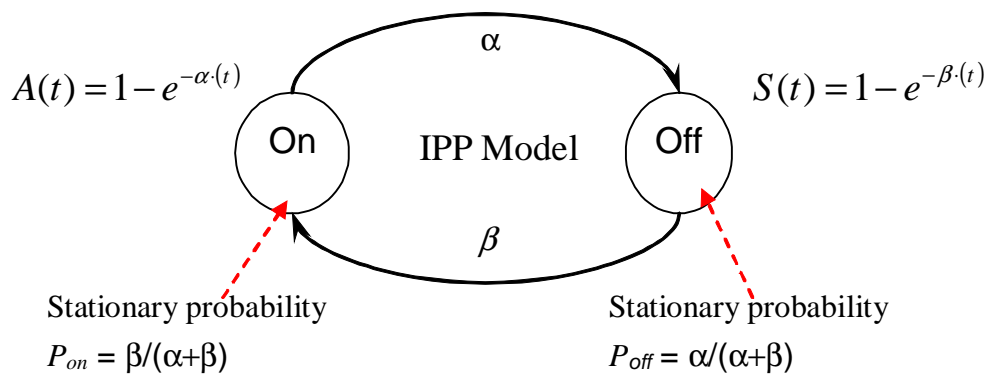
- ◇ 細胞台結構：蜂巢狀結構，每個細胞基地台皆相鄰六個其他細胞基地台。
- ◇ SGSN 服務範圍結構：由 n 層子區域(subarea)的細胞基地台們所形成的一個叢集。
- ◇ 行動台在一個 SGSN 之中的行動方式：二維的隨機行走模型 (random walk model)，表示一個行動台從某一個細胞基地台換手到六個相鄰的細胞基地台其中之一的機率是相同的。也就是說，行動台各有 $1/6$ 的機率會往六個不同的方向移動到相鄰的任一細胞基地台。
- ◇ 行動台在一個細胞基地台停留時間的隨機分佈：Exponential distribution。
- ◇ 行動台在一個 SGSN 服務範圍停留的隨機分佈：General distribution。

II. 資料流連線模型假設

- ◇ 行動台中的即時資料流連線模型：two-state Interrupt Poisson Process (IPP) model。參考圖九，IPP model 有兩個連線狀態：On 和 Off 狀態，On 狀態表示行動台目前有即時資料流連線，也就是處於資料傳輸狀態，其 On 狀態的 duration 即表示一條連線的持續時間長度；而 Off 狀態表示行動台目前沒有即時資料流連線，即不處於資料傳輸狀態，其 Off 狀態的 duration 表示每條連線之間的靜音間隔時間。因此，我們設

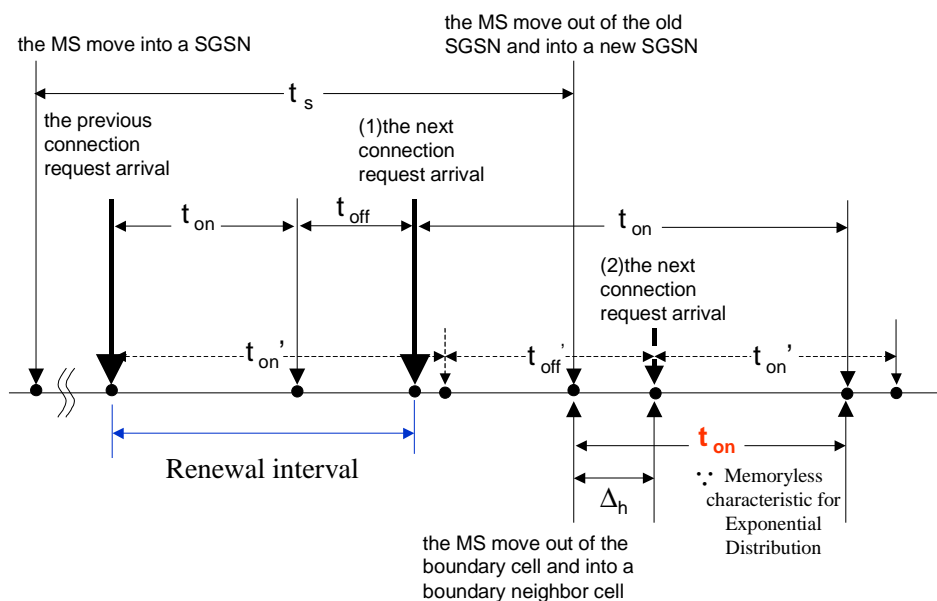
定行動台從沒有資料傳輸 (Off 狀態) 到產生有資料傳輸 (On 狀態) 的機率為 α ，反之，行動台一條連線從有資料傳輸 (On 狀態) 到沒有資料傳輸 (Off 狀態) 的機率為 β 。

- ◇ 一條即時資料流連線的連線時間的隨機分佈：Exponential distribution。
- ◇ 兩條即時資料流連線中間的靜音間隔時間的隨機分佈：Exponential distribution。因此行動台處於有連線狀態和無連線狀態的穩定機率可被計算如圖九所示， $P_{on} = \beta / (\alpha + \beta)$ ； $P_{off} = \alpha / (\alpha + \beta)$ 。



圖九：Two-state Interrupt Poisson Process (IPP) model

III. Inter-SGSN 換手時序圖



圖十：Inter-SGSN 即時資料流連線換手之時序圖

圖十時序圖的符號說明如下：

t_s ：在一個 SGSN 內停留時間的變數 (跨越一個 SGSN 的時間變數)。

t_{on} 、 t_{on}' ：一個即時資料流連線的傳輸時間的隨機變數。

t_{off} 、 t_{off}' ：前後兩個即時資料流連線之間的靜音間隔時間(idle period)的隨機變數。

Δ_h ：換手時間常數。

3. Inter-SGSN 換手率的分析結果

假設一個 SGSN 的服務範圍為包含 n 層子區域的細胞基地台們所形成的一個叢集，每一個 SGSN 服務範圍內平均有 $MSSGSN$ 個行動台。

I. 分析目標

求出在兩個相鄰的 SGSN 之間，當行動台處於有資料連線狀態時，從某一個 SGSN 換手到另一個 SGSN 的換手率: λ_h 。

II. 分析原理

1. 即時資料流連線的模型為 IPP model，在每一回 On state \rightarrow Off state \rightarrow On state 的循環形成一個更新區間 (renewal interval, 參考圖十所示)，根據其特性，時間前後相鄰的兩個 renewal interval 沒有機率的相依性。所以，On state 和 Off state 的機率只和同屬一個 renewal interval 的 Off state 和 On state 機率相關。
2. 行動模型和資料流連線模型之間是兩個各自發生的獨立事件，所以其機率可以相乘。
3. Exponential distribution 具有無記憶 (memoryless) 的特性。參考圖十，一旦某一個連線在傳送時 (t_{on}) 剛好跨越兩個 SGSN，則可視為連線開始時間和跨越時間同時發生。
4. 由於要降低網路系統因處理新的連線要求所產生的負荷，我們假設行動台在執行 inter-SGSN 換手時間 (Δ_h) 內禁止產生新的連線要求，因為換手時間內已經有很多控制訊號需要交換。

III. 分析步驟與結果

透過使用 random walk model，我們可以得知一個行動台具有 $P_{c(x)}$ 的機率位於一個 SGSN 服務區域 (包含 n 層子區域) 中的一個 cluster x sub-area，此行動台在一個 cell residential time 的單位時間內，會從此 cluster x sub-area 移動到邊垂鄰居之外的 rate，也就是移出此 SGSN 的 rate 為 $\prod_{j=x}^{j=n-1} R_{outer}(j)$ 。因此，假設共有 MS_{SGSN} 個行動台位於一個 SGSN 服務區域內，inter-SGSN 換手率為以下式子：

$$\lambda_h = MS_{SGSN} \times \sum_{x=0}^{n-1} [P_{c(x)} \times \prod_{j=x}^{j=n-1} R_{outer}(j)] \times P_{on} \quad (3)$$

where

n : sublayers for a SGSN

$R_{outer}(j)$: rate for an MS moves from cluster j to
the outer cluster $(j+1)$ in a cell residential time

$P_{c(x)}$: probability for an MS locates within cluster x

$$R_{outer}(j) = \begin{cases} 1, & \text{for } j = 0, \\ [1/2 + (j-1)/3]/j, & \text{for } 1 \leq j < n. \end{cases}$$
$$P_{c(x)} = \begin{cases} 1/[n \cdot (n-1)/2 + 1], & \text{for } x \leq 1 \\ x/[n \cdot (n-1)/2 + 1], & \text{for } x > 1 \end{cases}$$

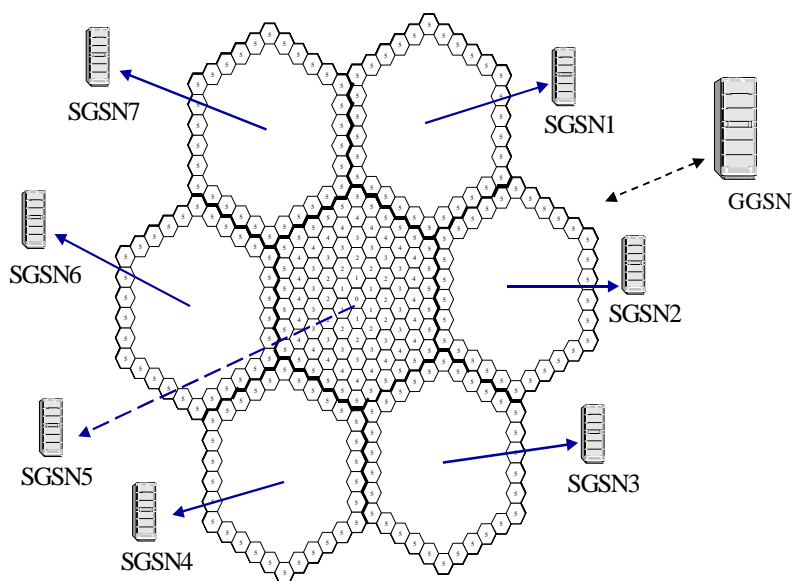
依據式子(3)分析出來的 inter-SGSN handoff rate, 前一節所提出的 bandwidth estimation model 式子(1), 再將求出的 m 值代入 bandwidth estimation model 式子(2), 即可針對 dedicated handoff E-LSPs 保留適當的頻寬, 以支援行動台在換手時, 仍能保持其即時資料流所需的服務品質。

F. 完成 MiGPRS 網路模擬模型

在這一個小節, 我們進一步利用量化的模型來說明 MiGPRS 的優點, 我們將比較目前 GPRS 傳輸網路和 MiGPRS 傳輸網路在封包平均傳輸延遲(packet mean delay)和封包丟失率(packet dropping ratio)的差異。另外, 我們針對有 QoS 需求的連線傳輸, 比較 pre-configured E-LSPs 和 pre-configured L-LSPs 在 MiGPRS 網路中的連線要求中斷率(connection blocking ratio)的差異。

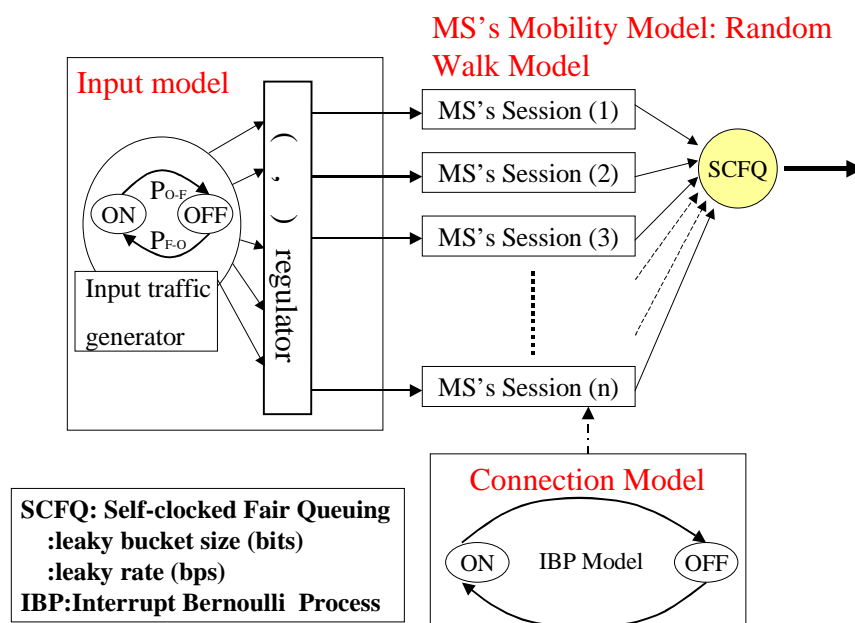
1. 網路拓撲架構

圖十一顯示我們 MiGPRS 網路的拓撲模型, 為一由 7 個 SGSN 所組成的蜂巢狀結構網路。每一個 SGSN 與其餘 6 個 SGSN 相鄰, 而每一個 SGSN 具有 6 層子區域, 負責管理 91 個蜂巢狀細胞基地台, 同時每個細胞基地台也相鄰其他 6 個細胞基地台。在模擬環境中, 此拓撲模型具有循環性, 也就是說, 一個行動台會從邊界細胞基地台移動到另一邊相對位置的邊界細胞基地台。而在模擬的 GPRS 網路中, 其 GGSN 和每一個 SGSN 之間以及每個 SGSN 彼此之間是使用 IP-in-IP tunneling 技術; 而在模擬的 MiGPRS 網路中, 將會在 GGSN 和每一個 SGSN 之間以及每個 SGSN 彼此之間預先建立好 pre-configured LSPs, 也會在每個 SGSN 之間預先建立好 dedicated handoff E-LSPs, 使用 MPLS label switching 的技術來傳送資料封包。



圖十一：Topology Model for Simulation

2. 模擬架構



圖十二：Simulation Architecture

在模擬環境中，我們使用如圖十二的 simulation architecture。其中每個行動台的 input traffic model 是經由 traffic generator 和一個 leaky-bucket 的 regulator 來控制調節流量輸出。而行動台的 connection model 為一 two-state 的 IBP model，負責行動台的連線要求控制。而每個行動台的移動方式為二隨的隨機行走模型 (random walk

model), 表示行動台移動到任一相鄰的細胞基地台的機率為均等的。網路中的每一個 SGSN 皆是使用 Self-clocked Fair Queuing 排程演算法來傳輸行動台的資料封包。各個模型的詳細描述如下：

I. 行動模型：

在模擬環境中，我們使用前面所描述的行動模型假設，表示一個行動台的移動模式為具有六個方向的 random walk model，並在細胞基地台間換手，每一次移動的移動方向的機率都是相同的。

II. 連線模型：

在模擬環境中，我們使用似前面所描述的資料流連線模型假設。然因 simulation 中使用 discrete time mode，所以每一個行動台的連線要求產生被模型成 two-state Interrupted Bernoulli Process (IBP) model，而連線所傳輸的媒體資料皆為如視訊般的即時資料流。

III. 流量模型：

行動台的資料流量被模型成 two-state (*on* and *off*) Interrupted Bernoulli Process (IBP) model，其中資料流量狀態(input traffic state)分為兩種狀態：ON 和 OFF 狀態，ON 表示目前連線有資料流量輸出；而 OFF 表示目前連線沒有資料流量輸出，其 ON 到 OFF 的機率為 P_{on-off} ，而 OFF 到 ON 的機率為 P_{off-on} 。每條連線的資料流量會經由一個 leaky-bucket 的調節器來作流量管制，然後再經由排程器安排封包輸出。其中 leaky-bucket 調節器的流量管制有兩個參數，(β , α)，其中 β 表示著 bucket size (單位是 bits)，而 α 表示著 leaky rate (單位是 bits/sec.)。在模擬環境中，我們可以改變 arrival peak rate 和 leaky rate 來調整資料流量 (input traffic) 的 arrival rate。另外，每一個 SGSN 使用 Self-clocked Fair Queuing 排程演算法來排程行動台們的資料流量。表一為模擬環境中使用的參數設定。

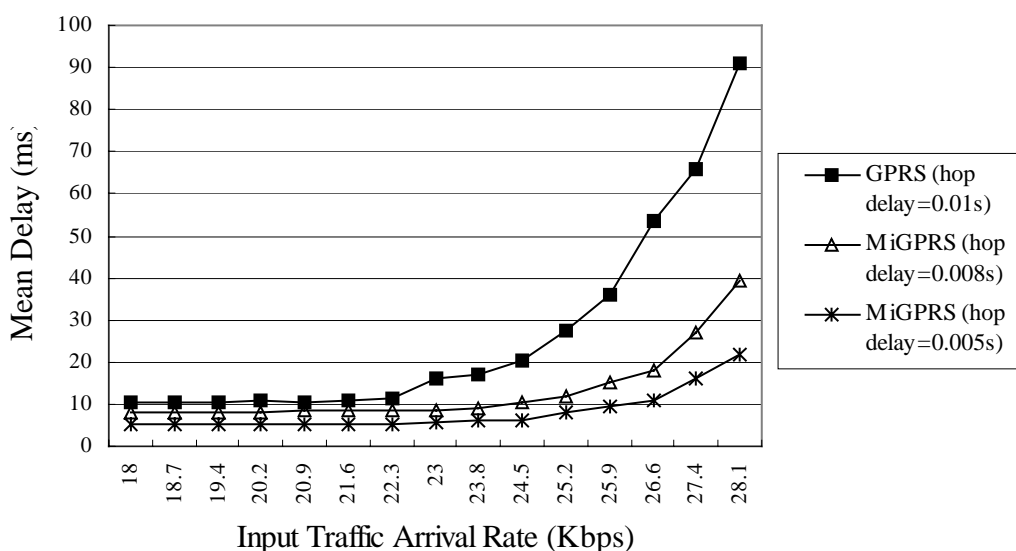
表一：Input Parameters in simulations

Parameter	Value	Unit	Note
Bandwidth per link between GGSN and SGSN	800,000	Bps	
Packet Size	4,000	Bits	
Average Packet routing delay in a hop for GPRS	0.01	Sec.	Statistical value
Average Packet routing delay in a hop for MiGPRS	0.008 or 0.005	Sec.	

Inter-SGSN handoff rate	4.23	times/hour per MS	only for Figure 5.3, 5.4
Packet's delay-bound	30	msec.	only for Figure 5.5, 5.6

3. 模擬結果分析

本小節將比較 MiGPRS 傳輸網路與 GPRS 傳輸網路在封包平均傳輸延遲(packet mean delay)與封包丟棄率(packet dropping ratio)的差異。在模擬環境中，我們設定 MiGPRS 傳輸網路是採用 label switching 技術，而 GPRS 傳輸網路是使用 pure IP-forwarding 技術。

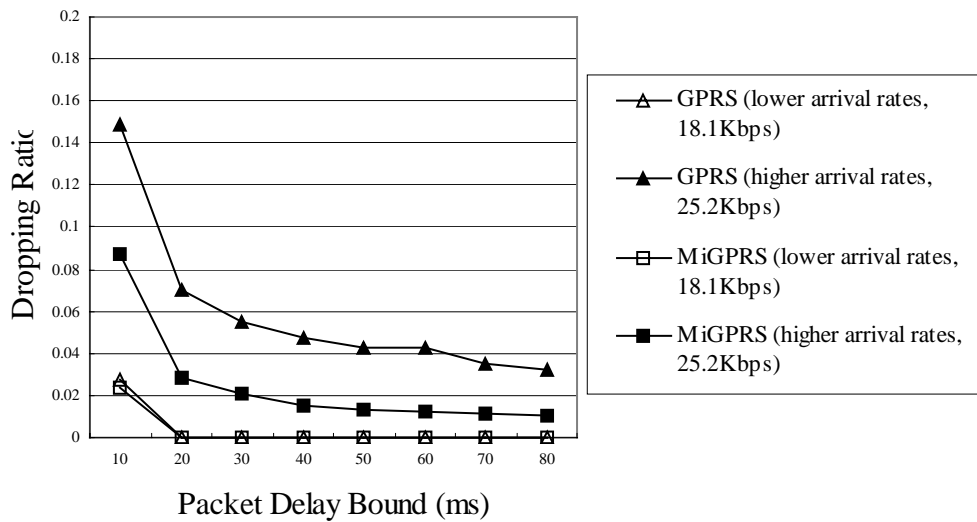


圖十三：Mean delay under various arrival rates

圖十三顯示出 MiGPRS 與 GPRS 傳輸網路，對於不同的 input traffic rates 所反應出來的 packet mean delays 差異。其中 GPRS 網路的 routing delay 是依據統計上得到的數值。而 MiGPRS 網路的 routing delay 則需要依據實際的 MPLS 實作技術來決定，因此我們使用兩種不同的假設值。由圖十三可以看出，MiGPRS 網路對於 packet mean delay 的反應較 GPRS 網路反應較為緩慢，例如當 input traffic 的 arrival rate 大於 23 Kbps 時，MiGPRS 網路的 packet mean delay 沒有什麼改變，但是 GPRS 網路的 packet mean delay 卻突然往上增加。這是因為 MiGPRS 的協定堆疊比 GPRS 的協定堆疊較為簡化，封包標頭長度較短，所以 MiGPRS 的頻寬使用率會比 GPRS 的頻寬使用率較好；同時 MiGPRS 使用較快速的 label switching 機制來傳輸封包，因此封包的 routing delay 也較小。

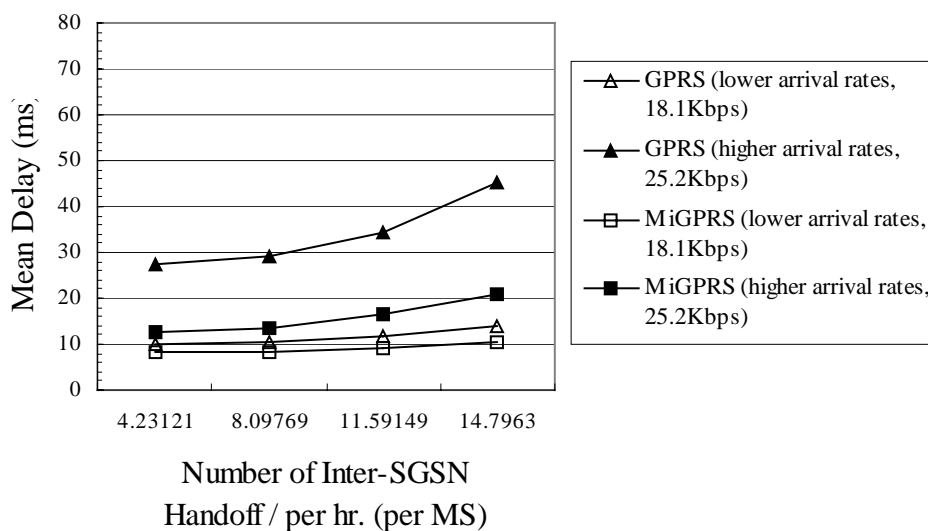
當封包的平均傳輸延遲較小，也表示著此封包較容易滿足行動台所要求的 delay bound，因此具有較低的封包丟棄率 (packet dropping ratio)。圖十四顯示出 MiGPRS

與 GPRS 傳輸網路,對於不同的 delay bound values 所反應出來的 packet dropping ratio 差異。我們可以發現, MiGPRS 傳輸網路在兩種不同的 traffic arrival rate 狀況下,其 packet dropping ratio 皆比 GPRS 傳輸網路來的低,表示 MiGPRS 傳輸網路的效能優於 GPRS 傳輸網路的效能。

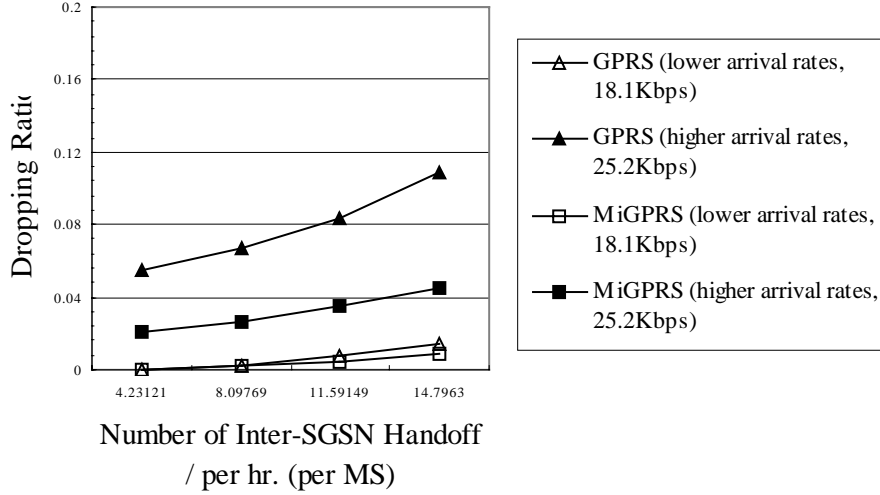


圖十四：Dropping ratio under different delay bounds

此外,我們欲表現 MiGPRS 傳輸網路預先建立 dedicated handoff E-LSPs 的優點。我們考慮一般情況,假設 packet 的 delay-bound 為 30 ms,而圖十五與圖十六顯示出 MiGPRS 傳輸網路對於行動台執行 inter-SGSN handoff 時,所反應出來的 mean delay 與 dropping ratio 表現皆優於 GPRS 傳輸網路。這是因為 MiGPRS 網路預先建立的 dedicated handoff E-LSPs 能滿足當行動台執行 inter-SGSN 換手時的 QoS 要求。



圖十五：Mean delay under various inter-SGSN handoff rates



圖十六：Dropping ratio under various inter-SGSN handoff rates

4. Inter-SGSN 換手率之 Analysis result 與 Simulation result

我們在前面提出了 MiGPRS 傳輸網路中的 dedicated handoff E-LSPs 的頻寬估計公式，目的是在於期望能對 dedicated handoff E-LSPs 作適當的頻寬保留，以維持行動台在執行 inter-SGSN handoffs 時，仍能維持行動台資料連線在換手期間所需要的 QoS 需求。我們採用 Erlang B 公式， $B(m, \lambda h/\mu)$ ，並根據以下的式子，進一步地計算一條 dedicated handoff E-LSP 需要保留的頻寬。

$$\frac{\left(\frac{\lambda_h}{\mu}\right)^m / m!}{\sum_{k=0}^m \left(\frac{\lambda_h}{\mu}\right)^k / k!} \leq P_f \quad (1)$$

$$B_{E-LSP} = m \times B_{ms} \quad (2)$$

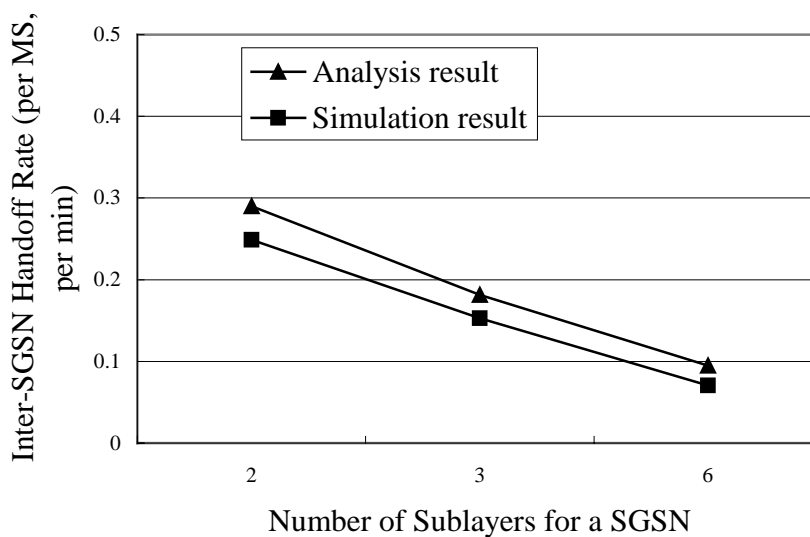
其中 λ_h 為行動台處於資料傳輸狀態時，在兩個相鄰的 SGSN 之間平均從某一 SGSN 移動到另一 SGSN 的換手率 (inter-SGSN handoff occurrence rate)，其會隨著在 SGSN 之中的行動台數量和行為模式而變動 因此我們推導出下列 inter-SGSN handoff rate:

$$\lambda_h = MS_{SGSN} \times \sum_{x=0}^{n-1} [P_{c(x)} \times \prod_{j=x}^{n-1} R_{outer}(j)] \times P_{on} \quad (3)$$

為了驗證我們利用連線模型與行動模型所分析出來的 inter-SGSN 換手率，我們將比較 inter-SGSN 換手率的 analysis result 與 simulation result。圖十七顯示出當一行動台利用二維的隨機行走 (random walk) 模型，位於包含有不同層數子區域的細胞基地台叢集的 SGSN 服務範圍內，其所反應出來的 inter-SGSN handoff occurrence rate。

當 SGSN 服務範圍內所包含的子區域層數愈多時，則行動台的 inter-SGSN handoff occurrence rate 也愈低。這是因為當 SGSN 的服務範圍變大時，行動台依照二維隨機行走模式會跨越不同 SGSN 的次數也跟著降低。由圖 5.8 可以看出，analysis result 與 simulation result 隨著細胞基地台叢集的層數變化，其 inter-SGSN handoff occurrence rate 的變化幅度是相似的。

Analysis result 與 simulation result 之間誤差的產生可能是因為我們在分析步驟中是利用 continuous time 觀念來分析 inter-SGSN handoff occurrence rate，同時連線模型也是使用 continuous time 的 IPP 模型；而在 simulation 中，我們是使用 discrete time model，而連線模型是使用 discrete time 的 IBP 模型，所以會造成些許誤差。另外，simulation 中 random walk model 是否夠亂也是個影響誤差的考量

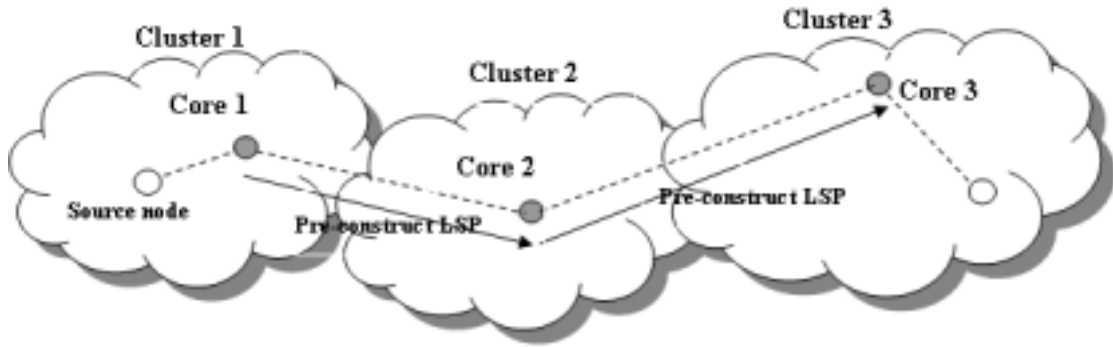


圖十七：Analytical Result vs. Simulation Result (inter-SGSN handoff rate)

Ad-hoc MPLS 研究成果詳細描述如下：

A. 完成 Ad-hoc Network 在 Network Layer 中的 Routing Protocol 設計

我們將採用 Virtual Backbone 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 Mobile Hosts(MHs)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(如圖十八所示)，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，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。



圖十八：MANET 階層式管理

一般而言，選擇 Virtual Backbone 的方式可採用 general 的方法或是 clustering 的方式，而在本計畫中，我們將採用 clustering 的方式，我們稱之為 Agent-Based 兩階層的管理方式。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。如此架構下是非常有利於執行為了支援 QoS 的頻寬保留動作。

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。以下將分兩個小節分述之。

5. 建立 Agent-Based Graph (AG)

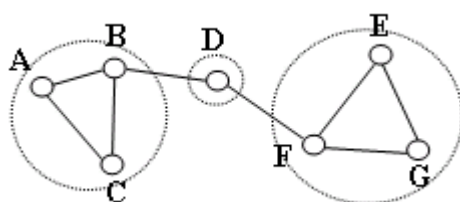
在這個部分，我們將說明如何把 Ad-Hoc 無線網路的 topology 簡化為 Agent-based Graph (AG)。為了簡單說明建立的方法，我們利用圖形解釋 Ad-hoc 無線網路的環境。我們以圖上的點代表網路中的 MH，以邊代表 MH 之間可以彼此互相通訊。

我們首先在 Ad-Hoc 無線網路 topology 中找 complete graph，再把這個 complete graph 視為一個 Supernode，將原來的 MANET topology 簡化為 AG。complete graph 代表在 complete graph 裡的 MH 可以彼此互相通訊，而 k-complete 代表此 complete graph 中共有 k 個 MH。

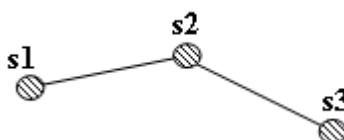
以下我們將介紹，如何將 Ad-Hoc 無線網路 topology 簡化為 AG。我們將以一個 Supernode $s=C_k$ 來代表 k-complete 的集合。屬於同一個 Supernode 的 MHs，化簡後將視同合併成一點，化簡後的 Supernode 與非 Supernode 的 link，須與化簡前的連結狀況相同。至於非 Supernode 與非 Supernode 之間的連結狀況無論化簡與否都和化簡前相同。

如圖十九所示，host A、B、C 在原來的 Ad-Hoc 無線網路 topology 中構成一個 3-complete，因此在圖二十的 AG 中我們以一個 Supernode s_1 來表示。圖十九中的 host D 與 Ad-Hoc 無線網路 topology 中 A、B、C 所構成的 3-complete 有邊相連，因此，在圖二十的在 AG 中，host s_2 亦有邊與 Supernode s_1 相連。同理圖十九中的 hosts E、

F、G 亦可簡化成 AG 中的 s3，如圖二十所示。



圖十九：為一般的網路圖，圍起來的部分為完全子圖



圖二十：為一般的網路圖，圍起來的部分為完全子圖

6. 建立兩階層管理的 Core-Based Graph(CG)

當建構完成 Agent-based Graph 後，接下來就開始進入建構 Core-based Graph 的階段。接下來我們將討論建立 core 的方式。較早的文獻中，R. Sivakumar 曾提出以 core 作為管理 MH 的作法，這樣的作法可以減少在建立 QoS routing 時的 flooding 量。在前一節中，我們已建構完成 AG，而在這一節中，我們建構 Core-based Graph(CG) 的方法，將採用類似 R. Sivakumar 所提出推選 core 的方式。建構 CG 的方法詳述如下。

在 AG 中，每個點都代表著一個 complete graph，Supernode 因此可以用 manager 來代表。在 AG 中，每一個 agent 都要在鄰居中挑選出一點做為他在 core 層級的管理者，這個管理者我們將它設為 $dom(v)$ ，而這個 $dom(v)$ 就是所謂管理 agent 的 core node。在 AG 中，Supernode 的 agent MS 將互相競爭為 core node 的候選者，這些 MS 將藉由以下的演算法來競爭成為 core node。

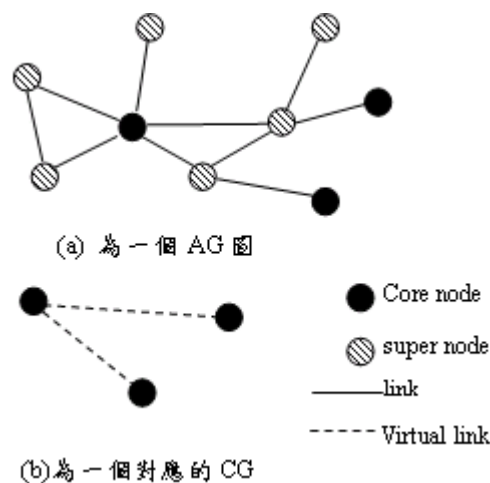
- (1) 我們定義 agent u 的 degree $d(u)$ 為 u 的鄰居個數。令 $d^*(u)$ 為所有選擇 u 做為 core node 的 host 總數。
- (2) u 會週期地 broadcast 一個 message 包含 $(u, d^*(u), d(u), dom(v))$
- (3) 若此時沒有 MH 來管理 u ，即 $dom(u)$ 為一個空集合。則
 - i. 在 u 的鄰居中選出一點 v ，且 v 具有 $(d(v), d^*(v))$ 的最大值。這表示 degree 越大者越容易形成 core，而 degree 相同者就看自己所管理的 host 越多，則越容易競爭為 core node。

- ii. u 接著送給 v 一個訊息，告訴 v ， u 即將接受 v 的管理，而後 $d^*(v)$ 加上 1。
- (4) 若結果 u 發現 $d^*(u) > 0$ ，則 u 須進行加入 core 的演算法。

加入 core node 的方法，如下所示：

- i. 當 u 要加入 core 時， u 會 broadcast 一個 message 包含 $(u, 3, \text{path_traversed} \leftarrow \text{null})$ ， path_traversed 會記錄這個 message 目前及以前走過的路徑。這是為了讓 core 與 core 間知道路徑要如何才能走到鄰近的 core。
- ii. 當 agent w 收到這種 message 時，他會回送一個 $(u, i-1, \text{path_traversed}+w)$ 的 message。(當 $i-1 > 0$) 若 $i-1=0$ 時，表示在 AG 圖中 agent u 已傳送訊息到距離最多三個 hops 數的 agent w ，因此，不再往外傳送此 message。

如此一來，就 core 的層級來看，任一個 core 在三個 hop 數內，必可和另一個 core 通訊。爾後在利用 core 找 routing 時，就可避免過多的 flooding。這樣的架構，是透過 core 來管理所有的 manager，選出的 core 將儲存紀錄其所管理的 agent 之資源狀況及相關資訊。因此我們可將 Ad-Hoc 無線網路 topology 簡化為一個 Core-based Graph，如圖二十一所示。當 AG 中的 core 已由分散式方法算出後，我們可將 AG 轉換成 CG。



圖二十一：將 AG 圖轉換為 CG 圖

實際上，動態 clustering 的方式所產生的 Virtual Backbone 會提升 Link Failure 的機率，所以我們選出半固定的點（即 core）來建立 Virtual Backbone，舉例來說，若在火車上加裝 router，而火車上 router 之間的距離關係雖為固定，但實際上這些 router 卻是一直在地面上移動的，我們稱這類 router 為半固定式的 router。我們將藉由 core 建立 Virtual Backbone，來達成 QoS guarantee 及 traffic engineering，以及使 MANET 具 connection-oriented 之特性。

B. 完成改良 MPLS 的 Label Distribution and Switch 方法以適用於 Ad-hoc

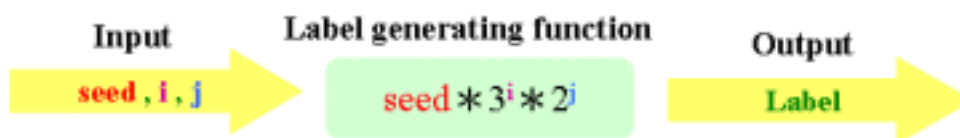
Network

我們完成改良 MPLS 的 Label Distribution and Switch 方法。這一個新的方法針對 MANET 階層式架構的特殊需求，改良前述 Single Label LSP，是一套全新的 Label Distribution and Switch 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。因此我們所提出新的方法，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 MH 和 Destination MH 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。

Label generating function : $seed \times 3^i \times 2^j$

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 $5 \times 3^2 \times 2^0 = 45$ 。



圖二十二：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。

C. 結合前兩部分的研發成果,完成整合 AMPLS 與 infrastructure 架設 Extended Infrastructure 網路

我們將 AMPLS 網路架設成 infrastructure 無線網路的 extension,是為了提高 MN 的通訊範圍和其上連線的生存力。這個整合架構還有使用以下的技術來克服整合上的問題：

1. 使用 Mobile IP 技術解決 MH 上的連線,在 Infrastructure 無線網路和 AMPLS 網路之間漫遊解決 handoff 時的不斷線問題。
2. 如果在有線網路上仍然使用一般的 MPLS label distribution and switching,則我們必需將 Infrastructure 無線網路上直接連接有線網路的第一個 router,架設成一個 Edge-LSR,作為 wireless 和 wireline 兩個 domain 的出入點。此 Edge-LSR 要有轉換我們的 AMPLS 和一般 MPLS 兩種不同 label distribution and switching 機制的能力(兩個相鄰網域使用相同一個 Seed manager 或者是事先溝通錯開 Seed 的使用即可)。

綜觀上述方法,當 data packet 真正要在 AMPLS 網路內傳送時,就可利用 Label switching 的方式來 forward data。也就是說,source node 可以依據目的地的 IP 位址和傳輸的服務品質要求,選定適當的 LSP 通道,並在 packet headers 上加上適當的 Label,之後便可藉由 Label switching 的方式,能將 data 快速的從 source node forward 到 destination node,而不需檢查 IP header 的目的地 IP 位址。在這種方式下,由於 Label 的長度較短且 routing 方式較 IP routing 簡單快速,因此可增快在 Ad-hoc 網路中 routing 的速度。

我們可以透過 Tier Manager (TM) 來完成階層間無縫換手的機制。TM 的主要功能為監視無線區域網路連線狀態與負責切換連線介面,當系統啟動時,TM 便會隨時監視無線區域網路的連線狀況,假若無線區域網路是可用的,TM 即修改路由表以及對 HA 發出 update 訊號更改目前所使用的 IP 讓封包皆經由無線區域網路繞送,然而一旦發現無線區域網路中斷,TM 便立即修改路由表以及啟動 GPRS 和對 HA 發出連線 update 的訊號讓封包透過 GPRS 網路來繞送,同時它也將通知 MIP 做適當的註冊流程,使連線維持暢通。

D. 完成建立 Pre-constructed LSP 及 On-demand LSP 的機制

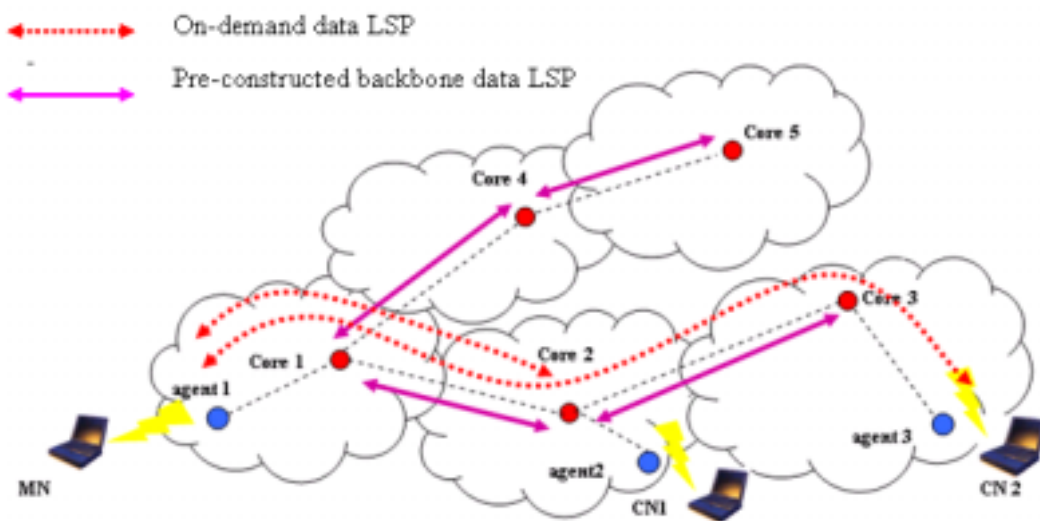
我們利用之前所描述改良 Label distribution and switching 的機制,在我們之前所建立的 Virtual Backbone 上預先建立 LSP 隧道,也就是建立 Pre-constructed LSP。我們將在相鄰 core 之間的 Backbone Ad-hoc 網路以及 core 與 agent 之間的 Access Network,預先建立 Pre-constructed LSP。Pre-constructed LSP 會在 MANET 系統啟動時建立好,當 routing topology 變化時,而導致 Pre-constructed LSP 斷掉時,也會在局部重建。依照用途可將 Pre-constructed LSP 分為兩種,分別為 Signal LSP 以及 Backbone Data LSP。

Signal LSP 分別會在 core 與 agent 以及 core 與 core 之間建立。當有 MH 向其 agent 提出 On-demand 連線要求時(On-demand connection request),agent 會利用其與 core 之間所建立的

Signal LSP 而快速向其 core 提出 On-demand connection request。另外，當 core 收到 On-demand connection request 時，如果 core 不曉得目的端的位置，則 core 會利用與相鄰 core 所建的 Signal LSP，而快速向相鄰 core 提出找尋目的端之要求，並進一步建立 On-demand data LSP，供稍後 data forwarding 所用。Signal LSP 目的在於，當發送端向 agent 提出 connection request 時，能藉建立由事先建好的 LSP，透過 label switching 的方式，而快速的建 On-demand LSP 到目的端。爾後當 MH 真正提出連線要求時，也就是建 On-demand data LSP 時，可以藉由參考 data packet 的目的地 IP address 的 prefix 以及其他 QoS 相關資訊，直接指定適當的 Signal LSP，快速地將 data packet 從 source 端的 core 送到 destination 端的 core。

Backbone Data LSP 主要在 core 與 core 之間建立，當發送端找到目的端，同時也建立好 On-demand data LSP 後，發送端將利用 Backbone Data LSP 來做 data forwarding 的動作。由於 Signal LSP 與 Backbone Data LSP 所需的 QoS 保證不盡相同，因此我們將利用不同的 label 值來表示 Signal LSP 與 Backbone Data LSP 的不同。建立 Backbone Data LSP 目的在於，可能有多條 On-demand data LSP 經過相同的 Backbone Data LSP，因此 Backbone Data LSP 可分享頻寬及保留頻寬給 On-demand data LSP 所用。

On-demand data LSP 會在 MH 要求建立連線時所建，是一條 end-to-ends 的 LSP。On-demand data LSP 將 tunnel 在 Pre-constructed Backbone Data LSP 中(如圖二十三)，由於多條 On-demand data LSP 可能經過同一條 Pre-constructed Backbone Data LSP，因此 Pre-constructed Backbone Data LSP 可用以做為 On-demand data LSP 分享頻寬用。



圖二十三：Pre-constructed Backbone Data LSP 與 On-demand data LSP

E. 完成 QoS negotiation for Differentiated services through Pre-constructed LSPs

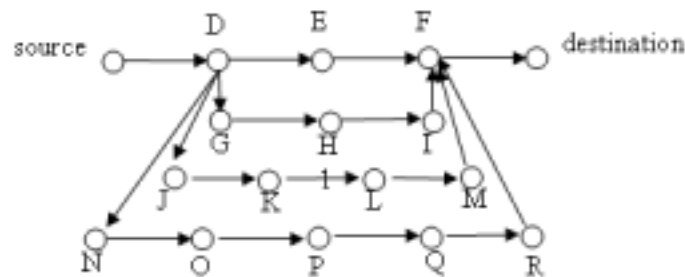
在 Pre-constructed LSP 上保留適當的頻寬資源，用以提供 Ad-hoc 網路 Differentiated Service(DiffServ)。為了達到 DiffServ 的 QoS，可利用此 Pre-constructed LSP 隧道其所預先

保留的頻寬，分享頻寬給所有經過此 LSP tunnel 的 On-demand LSP，進而做到他們的 QoS 保證。除此之外，也可以在 core 之間建立多條的 Pre-constructed LSP 隧道，並設定不同的 Label，如此可針對不同的 LSP 隧道而提供不同等級的 CoS，用以支援不同等級 end-to-end QoS。抑或在 core 之間覆置多條相同 CoS 的 Pre-constructed LSP 隧道，先啟用一條 Pre-constructed LSP 隧道，一旦 Ad-hoc network topology 不穩定，原本的 routing path 中斷時，可選擇一條覆置的 Pre-constructed LSP，快速的替代原本的 LSP，藉此簡易地解決 fault tolerance 的問題，而達到 QoS 維持的目標，這個機制我們稱為 LSP 連線的維護與重建機制。

然而，在 LSP 連線的維護與重建機制中，如果每一條覆置的 Pre-constructed LSP 的頻寬都比原 Pre-constructed LSP 小，無法滿足通過之 On-demand LSP 的 QoS 需求，抑或覆置的 Pre-constructed LSP 根本不存在或都斷掉了，則我們會在下一個研究項目，利用即時動態的 Pre-constructed LSP 重建方法來解決，另外，為了保持兩個 core 之間覆置的 Pre-constructed LSP 數量，以維持高的 fault tolerance 能力，我們也會利用此即時動態重建 LSP 的方法來重建斷掉的 Pre-constructed LSP。

F. 完成 AMPLS 網路的效能評估

我們使用 Simulation 方法來評估我們所提出之 AMPLS 的效能。我們考慮 AMPLS 在具備 Backup Path Recovery Scheme 之能力下，與 Flooding 比較，平均每次連線要求時，連線中斷率(Connection Blocking Ratio)、平均所須發送的 signal 次數，以及需轉送 signal packet 的 Host 個數。我們評估 Flooding 與 AMPLS 兩者在連線中斷率、平均所須發送的 signal 次數，以及需轉送 signal packet 的 Host 個數上的比較。以下為我們的網路拓樸。



圖二十四：AMPLS 與 Flooding 網路拓樸

從 source 到 destination 有四條路徑，第一條為 Source→D→E→F→Destination，第二條路徑為 Source→G→H→I→Destination，第三條路徑為 Source→J→K→L→M→Destination，第四條路徑為 Source→N→O→P→Q→R→Destination。首先，我們假設第一條路徑斷線機率為 0.2，第二條路徑斷線機率為 0.3，第三條路徑斷線機率為 0.4，第四條路徑斷線機率為 0.5。如果四條路徑都斷線時，我們稱之為一次的 Connection Block，最後會統計出 Connection Block 的機率。

在我們的 AMPLS 中，在網路拓撲中的每一點都是 core，並且 Pre-constructed LSP 為 peer-to-peer 的 Signal LSP。在 AMPLS 中我們將採用 Backup Path Recovery Scheme，也就是當第一條路徑斷線時，我們將啟用第二條路徑；當第二條路徑斷線時，我們再啟用第三條路徑；當第三條路徑斷線時，我們再啟用第四條路徑。若第四條路徑也斷線時，就算一次的 Connection Block。

我們 signal 次數的計算方式是考慮 control packet 的複製個數以及 connection request 的 acknowledge。就 flooding 來說，由於 source 到 destination 有四條路徑，因此當 packet 到達 D 時，共須複製四份 control packet，若 connection 建立成功，則 destination 會回傳 success 的 acknowledge，此 acknowledge 也算一次的 signal 次數。而 AMPLS 中，由於我們採用 peer-to-peer Signal LSP 的建立方式，因此在 source 端時，就可以知道 destination 端在哪，也就是說不需透過 Flooding 的方式去找路徑 因此一次 connection 的建立，signal 的次數為 2(包含 Source 到 Destination 為一次，destination 到 source 之 acknowledge 為一次)。如果某條路徑斷線時，由於收不到 acknowledge，因此 signal 的次數為 1。舉個例子來說，若第一條路徑斷線，並啟用第二條路徑成功時，signal 次數為 3，包含在第一條路徑發 connection request 的 signal(由於斷線故不包含 acknowledge)，以及第二條路徑 connection request 與 acknowledge 的 signal 次數。

以下為我們在一百萬次的模擬連線測試中，平均每次建立 connection 時，flooding 與 AMPLS 所比較的結果。其中 blocking prob.代表平均每次連線 connection block 的機率，Avg.signal 代表平均每次連線所需的 signal 次數，Avg.hop 代表平均每次連線需轉送 signal packet 的 host 個數。在 AMPLS 的 Backup path 欄位中，1 代表啟用一條備用路徑，也就是 Source→G→H→I→Destination，2 代表啟用兩條備用路徑，也就是 Source→G→H→I→destination 與 Source→J→K→L→M→Destination，3 代表啟用三條備用路徑，也就是 Source→G→H→I→Destination，Source→J→K→L→M→Destination，與 Source→N→O→P→Q→R→Destination。

表二：Flooding

Blocking prob.	Avg.Signal	Avg.hop
1.1912%	6.6	26.03

表三：AMPLS

Backup path	Blocking prob.	Avg.Signal	Avg.hop
1	5.9645%	4.0213	5.1023
2	2.3917%	4.1886	5.3172
3	1.1966%	4.2478	5.3999

由上兩表之比較，我們可得知，當 AMPLS 啟用三條路徑時，Blocking 機率與 Flooding blocking 的機率是相當接近的，也就是說，雖然 Blocking 機率相當接近，然而 AMPLS 的 Avg.Signal 與 Avg.hop 卻都比 Flooding 低。此外，須注意的是，在 AMPLS 中，當啟動越多條備用路徑，Avg.Signal 與 Avg.hop 也會相對的增加。

IV. 研究成果

目前本計畫已發表四篇國際期刊論文以及三篇會議論文，也已提出申請 4 個美國及台灣的專利。