

A Survey on AAA in 3G/WLAN Interworking Network

鄭欣明

台灣大學 資訊工程學研究所
shimi@pcs.csie.ntu.edu.tw

黃培崇

台灣大學 資訊工程學研究所
tang@pcs.csie.ntu.edu.tw

林風

台灣大學 資訊工程學研究所
plin@csie.ntu.edu.tw

摘要

無線區域網路 WLAN 的發展日益成熟，其高頻寬與低成本的特性將帶動 VoIP 的發展。另一方面，3G 基地台涵蓋範圍廣，支援使用者移動性管理的技術成熟，並且提供穩定的通話傳輸品質，不過其高昂的頻帶授權費用，以及有限的頻寬，與 WLAN 相比，將是其未來發展的瓶頸。因此雙網整合就成了勢在必行的發展方向。目前許多國際標準組織也在積極的制定雙網整合的各種規範，而依照技術來分類，雙網整合大致可分為緊密結合與寬鬆結合兩種架構。寬鬆結合的整合方式已經有許多論文探討當中的授權、認證及計費機制的運作。但是在緊密整合的架構中，3GPP 在 2005 年中才訂定相關的規範，我們將以寬鬆結合為鏡，探討在緊密結合中授權、認證及計費機制的運作。

關鍵詞：雙網整合 (3G/WLAN Interworking)、異質網路 (Heterogeneous Network)、寬鬆結合 (Loosely Coupled)、緊密結合 (Tightly Coupled)

一、簡介

近年來，行動通訊服務日益普及，使用者對傳輸速度及存取裝置的要求逐日提升，各式各樣的無線網路快速地成長，許多的研究、標準制定以及研發在這個領域如火如荼地展開。下一個世代的網路將是個整合各類異質網路，並能提供使用者隨時隨地都能使用各式服務的環境。為了達到這個目的，終端裝置必須使用不同的無線電技術來存取異質網路。因此，如何將各類無線電技術整合成異質網路便成了一項重要的議題。目前已有不少專家學者及業界廠商致力於 WLAN 無線區域網路與 3G 行動通訊網路的整合。

表一 3G 與 WLAN 之比較

	3G	WLAN
穿透力	好	壞
無線電範圍	大	小
資料安全性	強	弱
傳輸速率	低	高
硬體架設費用	高	低
頻譜使用費用	貴	免費
移動性支援	高	低

WLAN 無線區域網路與 3G 行動通訊網路在本質上有許多差異，表一列出主要的不同點：WLAN 無線區域網路具有低成本及高頻寬的優點，普及率越來越高；另一方面，3G 行動通訊網路經過長期

的發展演進，目前已提供極高的涵蓋範圍，讓使用者能不受地域的限制使用行動服務，並擁有優越的使用者移動性管理及服務品質保障機制。WLAN 使用非授權頻帶，使用上無需支付授權金，同時也提供了比 3G 更高的上下傳頻寬，不過在移動性管理及認證付費機制上不及 3G 體系來得健全，涵蓋範圍也小很多。顯然這兩種網路是能彼此互補的。

2002 年，[21] 提到關於無線區域網路及 GPRS/UMTS 網路之整合技術中的可能架構。大致上可分為緊密結合 (Tightly Coupled) 與寬鬆結合 (Loosely Coupled) 兩種架構。在緊密結合架構中，必須新增或更動網路現有的節點，才能使兩網路能互相溝通，以達整合的目的。這樣的方式能有效率的整合不同網路，但相對的，所需付出的成本也比較高，佈建的複雜度甚至會隨著欲整合之網路個數而呈指數增加；而在寬鬆結合之架構中，兩網路只需透過一新增節點，開道器 (Gateway)，便能達到整合之目標。這樣的方式不需更動每個異質網路內部節點之功能，整合之複雜度也不會隨欲整合之異質網路個數增加而提高。

3GPP 在[24]中提出了 3G 與 WLAN 整合架構的規範，是一種寬鬆結合架構的整合方式，是經由新增封包資料開道器 (Packet Data Gateway；PDG)，連接現有之 3G 及 WLAN 網路。雖然在架構上可行，但是仍有許多技術上的挑戰必須突破，包括跨網路的無縫交接 (Seamless Handover)、安全性的確保、通用的認證方式、統一計費、WLAN 共享 (共享給不同的數個 3G 網路)、一致的服務品質 (Quality of Service；QoS) 保障與一致的服務提供模式。

對業界而言，雙網整合是兵家必爭之地，3GPP 的解決方案，雖然是以全方位的整合為目標，這也是未來全 IP 網路的必然趨勢，不過對市場而言，這樣的時程規劃似乎是緩不濟急。所以多家電信設備廠商便聯合制定了 Unlicensed Mobile Access (UMA) 技術[28]，其為一種緊密結合的架構，將目前使用非授權頻帶的無線接取技術 (例如 Wi-Fi) 與 3G 進行整合，並且已經在 2005 年將其規範提交到 3GPP，由於 3GPP 在寬鬆結合架構下的發展已有一段時日，相關研究技術以及規範制定已趨成熟，因此 3GPP 新增一工作項目“Generic Access to A/Gb interfaces” [26] [27]，將原本 UMA 一詞更改為 GA (Generic Access) 繼續制定緊密結

合的異質網路架構。

不論是在緊密或寬鬆結合架構的異質網路中，使用者都必需能使用兩種以上不同的網路。因此如何認證使用者（Authentication）、授權使用者使用服務（Authorization）、統計使用者所使用的資源以供計費（Accounting），是最迫切也最基本的議題。本文將針對 AAA 在緊密結合與寬鬆結合架構網路中的實際運作進行詳細探討。本文編排如下：在第二章中，我們將深入介紹寬鬆結合架構以及目前相關的研究；第三章介紹 GA 網路架構；第四章詳細介紹 GA 網路下之 AAA 運作流程及步驟，並與寬鬆結合架構下 AAA 的運作流程作一比較；最後，再對全文提出總結。

二、雙網寬鬆整合架構網路

3GPP 22.934 [23] 依整合的程度規劃出六種方案，詳述如下：

方案一、共用計費與客戶管理：只要求提供相同的計費與客戶管理，其他的整合特色都不需考慮。

方案二、經由 3GPP 之存取控制與計費：在這個方案中，使用者在 WLAN 下的認證與授權過程必需與在 3G 環境下類似。也就是使用者在 WLAN 中也是使用 USIM 與 3G Home PLMN 中的 AAA 伺服器進行認證。在這裡只是讓使用者能使用 WLAN 所提供的網路連線服務，而不能經由 WLAN 存取 3G 領域下的服務。

方案三、存取 3G 的 PS 服務：方案三最重要的是提供 3G 使用者在 WLAN 仍可以使用 3G PS 服務，舉例來說，若一電信業者提供使用者 WAP 或 MMS 服務，則此使用者即使在 WLAN 上仍可以使用相同的服務。為了達到這個目標，使用者的資料封包必須透過一個由 WLAN 到 3G 的通道（tunnel）來傳送。

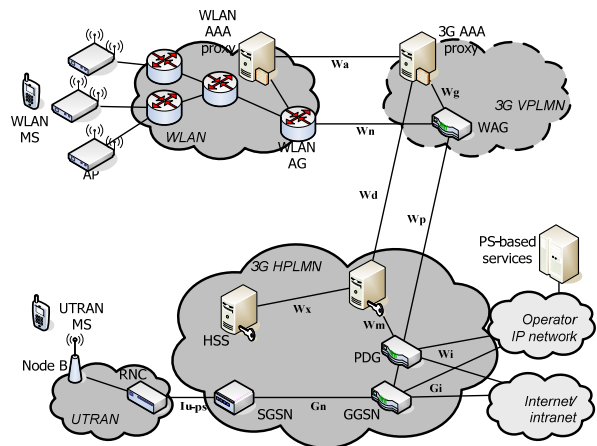
方案四、服務不間斷：在此方案當中，除了需如方案三般允許存取 PS 服務外，還要是能讓使用者在 WLAN 及 3G 網路間切換後還能不間斷原本的服務。這裡的不間斷條件並不是很嚴格，就是以 PS 為主的服務中品質要求較低的服務，例如 WAP、MMS、網頁服務等。

方案五、無縫存取服務：「無縫」表示使用者無法察覺在網路更換的動作，此方案適合提供 PS 為主的服務中服務品質要求較高的服務（例如 VoIP）。

方案六、存取 3G 的 CS 服務：在此方案中，必需能提供經由 WLAN 存取 3G CS 服務（一般的電話）的能力。

[24] 建議實際的網路架構如圖一所示，在此圖當中，PDG 與 WAG 即為寬鬆整合架構中的開道

器，使用者在 WLAN 中會連回 3G 核心網路中的 AAA 伺服器對使用者的身份作認證（即為信令的資料傳送），而當使用者要使用 3G 的服務的時候，會透過 WAG 與 PDG 傳送資料。在此方案中，只有 AAA 信令訊息需要在 WLAN 與 3G Home PLMN（可以透過 3G Visited PLMN）之間交換，所以在這個架構下的關鍵元件為我們之前所提及的 AAA 伺服器，在 Home PLMN 中的 AAA 伺服器要對 WLAN 中 AAA 伺服器傳送來的信令訊息加以處理，並且要與核心網路中的 HSS、HLR、CGW/CCF 或 OCS 做溝通。此外，也可能會繞送 AAA 信令訊息給其他的 PLMN，在這樣的情況下，此伺服器就為一代理人的身份。圖一中，在 Visited PLMN 中的 AAA 伺服器就是這樣的身份，而圖中有許多介面，在此我們將之前沒有提及，但是對認證有關的介面提出討論。



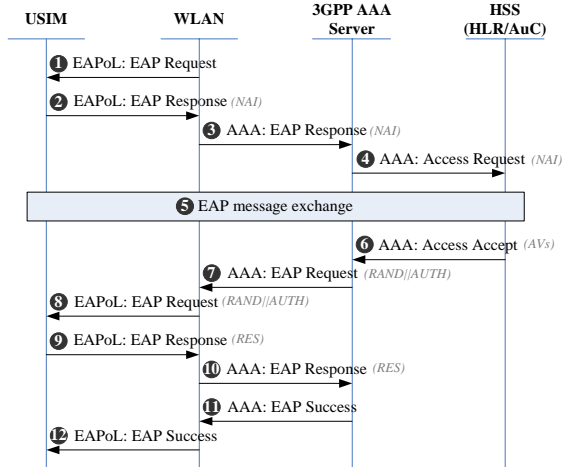
圖一 雙網寬鬆整合架構

Wr/Wb 介面：這個介面透過一個安全的方式，在 WLAN 與 3G 網路之間傳輸 AAA 訊息，適用的協定有 Diameter 和 Radius 協定。其中 Wr 介面負責夾帶認證與授權的訊息；而 Wb 則是傳送計費資訊的介面。

Ws/Wc 介面：此介面提供等同於 Wr/Wb 的功能，只是其環境是在 3G AAA 代理人與伺服器之間，並且只提供 Diameter 協定。同樣地，Ws 是用來表示這個介面可以夾帶認證與授權的訊息；而 Wc 是夾帶計費的訊息。

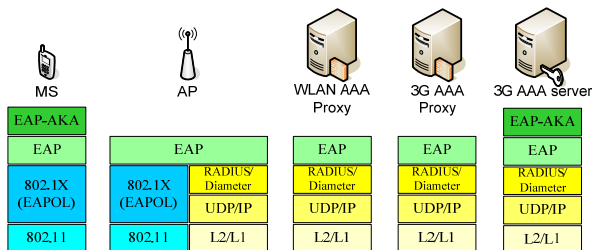
Wx 介面：此介面位於 3G AAA 伺服器與 HSS 之間，為 Mobile Application Part (MAP) 或者是 Diameter 協定，其主要功用是用來存取使用者 WLAN 的署名，擷取使用者的認證資訊等等。

Wm 介面：此介面位於 3G AAA 伺服器以及 PDG 之間，專門用來服務 IP 網路的安全性資料等。



圖二 雙網寬鬆整合架構下認證流程圖

圖二描述了當 UE 在 WLAN 中，與 3G AAA 伺服器註冊時的訊息流程。UE 首先將其身份放入 EAP-Response/Identity 訊息中，傳送給 WLAN（表示 AP 與 WLAN AAA 代理人），而 UE 的身份的格式如下：使用者名稱@領域（realm），使用者可為永久的 International Mobile Subscriber Identity（IMSI）；領域可為 homeMNC.homeMMC.WLAN.3Gnetwork.org。此時 WLAN 會探索是否他可以將這個 AAA 訊息繞送到相對應的 3G PLMN，通常是以此領域詢問 DNS 以得到實際的 IP 位置，若可以繞送到此 PLMN，則此 AAA 訊息會透過 Wx 介面與此 3G PLMN 中的 AAA 伺服器溝通。否則，WLAN 會回傳網路宣傳（Advertisement）給 UE，其中包含 WLAN 能夠服務的 3G PLMN。這個宣傳資料可以透過 EAP 的方式回傳，則 UE 會在回傳資料中選擇適合的 3G Visited PLMN，並且再次地重複上一步驟，只是此時 UE 的身份格式必須同時表明 3G Visited PLMN 與 3G Home PLMN，故其格式為：homeMNC.homeMCC//username@visitedMNC.visitedMCC.WLAN.3Gnetwork.org。



圖三 雙網寬鬆整合架構下認證協定階層示意圖

當 3G Home PLMN AAA 伺服器接收到訊息之後，便會透過 Wx 介面與 HSS 溝通，以擷取 WLAN 使用者認證資訊，並進行 EAP 的認證以及金鑰協議，此認證的詳細訊息流可參考[25]。在成

功認證之後，3G AAA 伺服器會將 (i) 用來對資料加密的金鑰以及 (ii) 對資料行為作規定的策略，放在 AAA 允許存取的訊息裡面，傳送給 WLAN。而 WLAN 會傳送 EAP-success 訊息給 UE，則整個認證的流程結束。此時 UE 可以透過 DHCP 得到 WLAN 所配置的 IP 位置而連上網際網路。圖三描述了信令訊息的傳輸協定架構。

當使用者通過認證之後，可以透過 WAG 與 PDG 連回 3G 網路當中的 GGSN，使用 3G 網路所提供的各式各樣的服務，例如 WAP 或者是 IMS 的服務。在 WLAN 中的 AAA Proxy 負責控制 WAG 作存取控制以及計費的動作，而 3G 網路中的 HSS 負責控制 PDG 作存取控制以及計費的動作。

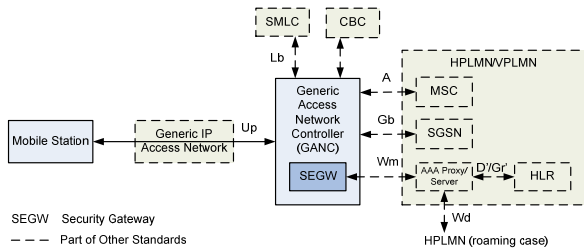
目前有許多的研究著重於雙網寬鬆整合架構異質網路上，其中[21]對於目前的雙網整合架構作一全盤性的分類分析；[2][7]將 3GPP 所提出的訊息流程與網路架構加以整理分析、[3] [5] [22] 針對了此架構下安全議題作深入的研究；[11]設計在此網路架構下，利用 SSL/TLS 的方式來作雙向的認證，而不是原本規範所定義的 AKA 的方式；[9]針對使用者在 Visited 網路當中如何快速地認證，設計出了 AAA Context 傳送的機制；[4][16]則是針對服務品質保障以及原則存取控制做了相關的分析。

[6]針對未來異質網路中各式各樣無線電資源整合以及服務方面提出了一些介紹與分析；[10]提出了許多未來可能在雙網架構下被使用者接受的服務。由於規範並沒有明確定義如何在雙網當中 Vertical 交接的訊息流程，[8]透過 SCTP 訊息來達到 Vertical 交接；[14][20]透過 SIP 訊息來達到；而在[13]當中，作者使用影像服務，並且實際分析了 Vertical 交接時之效能。

[12]實際設計出 GPRS 與 WLAN 整合時的閘道器，實作並測試其效能。[15]針對不同方案可提供的的能力加以分析介紹，由於透過 WLAN 使用者可能會想要使用 3G 網路中的 IMS 服務，此論文還將 IMS 架構整合入雙網，並且分析其 IMS 之 SIP 訊息與傳統的 SIP 訊息有何不同之處。[15][17]設計了在雙網整合網路當中 VoIP 服務的繞送方式。[18]分析了這個異質網路當中的無線電資源管理。[19]透過數學分析在雙網整合架構下面的 Push-to-Talk 服務的效能。

但是上述的相關研究都著重於雙網寬鬆整合架構網路，或者只是對雙網緊密整合架構網路作簡單概念性的介紹，並沒有任何文章詳細探討雙網緊密整合架構網路中認證、安全、行動性管理甚至效能分析的問題。我們會在下一章詳細介紹雙網緊密整合架構網路的代表性網路：GA 網路。

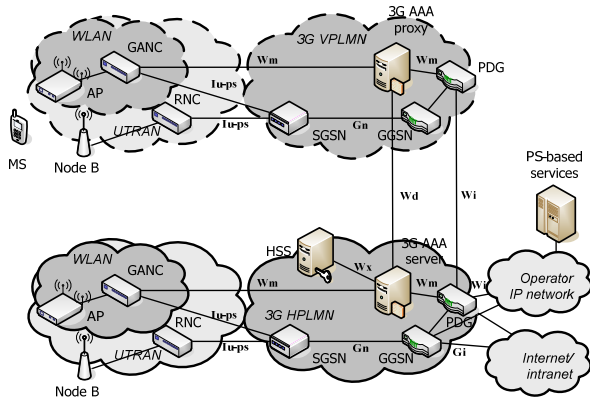
三、雙網緊密整合架構網路



圖四 GAN 系統架構示意圖

GAN[26][27]的架構如圖四所示。為了不大幅的更動到整個行動通訊網路的系統架構，GAN 提出了 GANC (GAN Controller) 這個新的元件，對核心網路而言，GANC 就跟一般的 BSC 或 RNC 相同，主要負責轉換 MS 與核心網路溝通時的信令及資料。而為了支援兩種不同的無線技術，MS 也必需能同時存取 Radio Access Network 以及 Generic Access Network。

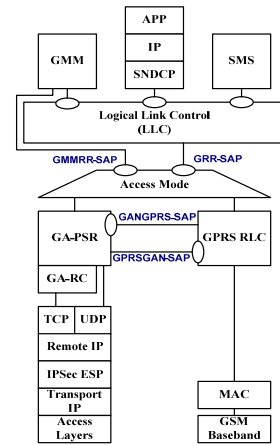
Up 介面是整個 GAN 的重點所在，定義了 MS 與 GANC 間透過 IP 連線互相傳送資料的標準。而 Generic IP Access Network 可以是任意形式的 IP 網路，例如 Bluetooth 標準的 Personal Area Network (PAN)，或是 Wi-Fi 標準的無線網路 (IEEE 802.11)，也可以是其他寬頻存取技術 (Cable, xDSL...等)。透過 Up 介面使用者連上 GANC，然後信令透過 Wm 介面連到 AAA Proxy；CS 資料透過 A 介面連到 MSC；PS 資料透過 Gb 介面連到 SGSN。其中 Wm 介面原本是使用於 AAA 伺服器以及 PDG 之間，用來承載 IP 網路的安全性資料，因此被套用於 SEGW (Security Gateway) 與 AAA 伺服器之間，也符合了 Wm 網路設計的初衷。而 A/Gb 介面則是與傳統 GPRS 網路一樣，可想而知，若是整合 UMTS 網路，則 A/Gb 介面會由 Iu-CS/Iu-PS 介面所取代，如圖五所示。



圖五 雙網緊密整合架構

除了網路端多了一個與 UMTS 網路當中 RNC

相似的 GANC 之外，UE 上也需要略作修改，如圖六所示，MS 上的 GMM/LLC (負責用來處理 Mobility Management) 與 APP/IP/SNDCP/LLC (負責用來傳送 IP 資料封包) 都沒有改變，只是下面多了一個存取控制 (Access Mode) 的元件可以讓 MS 處於其中的一個模式當中：GERAN/UTRAN 模式或 GAN 模式。當 MS 切換到 GERAN/UTRAN 模式時，信令封包會透過 RLC/MAC/GSM baseband 來傳送；資料封包會透過 GPRS RLC/MAC/GSM baseband 來傳送。當 MS 切換到 GA 模式時，信令封包 GA-PSR/UDP /Remote IP/IPsec ESP/Transport IP/Access Layer 來傳送；而資料封包要透過 GA-PSR/GA-RC/TCP/Remote IP/IPsec ESP/Transport IP/Access Layer。



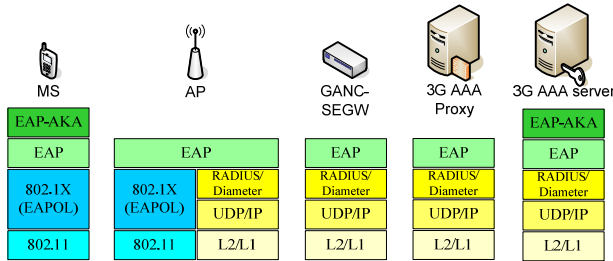
圖六 UE 協定階層示意圖

其中 GA-PSR 的功能與 GPRS RLC 一樣，負責透過安全的通道 (Tunnel) 傳送 GPRS 信令以及 SMS 訊息，此外，也負責呼叫 (Paging)、流量控制 (Flow Control) 與 GPRS 傳輸頻道控制，當然，其也負責 GPRS 使用者資料的傳送。而 GA-RC 負責 GANC 的尋找 (Discovery) 與註冊 (Registration)；GANC 的註冊更新 (Registration Update)；GANC 的應用程式持續上線 (Application level keep-alive) 等。

當存取模式選擇 GAN 模式，且 MS 已經建立了連線到傳統的 IP 存取網路之後，MS 會透過執行尋找流程決定適合的 GANC-SEGW 來連接，透過此程序可以得到 Default GANC 的 IP 位置，並且透過註冊程序與 Default GANC 連線。當 MS 與 SEGW 連接的時候，必須透過 Up 介面執行認證程序，可以使用 EAP-SIM 或者是 EAP-AKA IKE2。接下來我們會對這三個程序稍加描述。

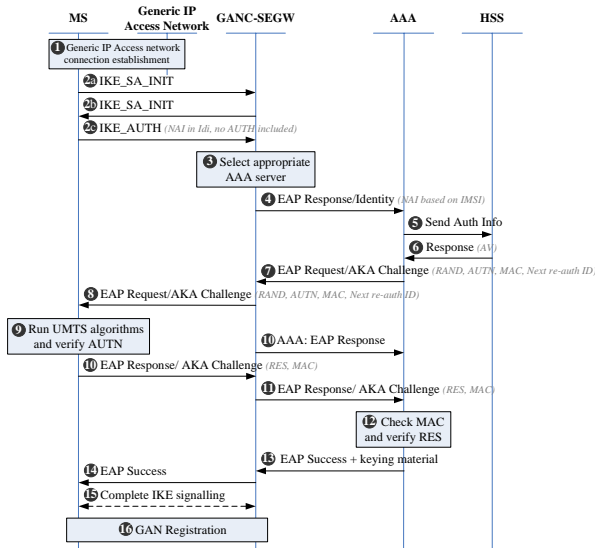
- **認證程序 (Authentication)**。Up 介面應該要支援 GANC 透過 UMTS 的 USIM 認證 MS 的能力，其目的用來建立 MS 與 GANC-SEGW 安全

的 IPsec 通道來保護信令、語音與資料的傳送。認證的協定是 IKEv2，而相互認證與金鑰產生是透過 EAP-SIM 或 EAP-AKA 來提供的，如圖七所示為 GAN 認證協定堆疊圖。



圖七 GAN 架構下認證協定階層示意圖

由於本文是著重於 GAN 的 AAA，因此我們在圖八將詳細的 EAP-AKA 認證流程畫出。在此圖中，MS 在第一步連接上 IP 網路，在第二步 MS 取得 GANC-SEGW 的 IP 網路，這裡的 GANC 應該為 Provisioning GANC，並且 MS 開始 IKEv2 的程序。GANC-SEGW 在第三步中透過 Wm 介面與本地的 AAA 伺服器連線，並選擇出一個適合的 AAA 伺服器。GANC-SEGW 與 MS 在第四到十二步與 AAA 伺服器交換許多 EAP 訊息，並且透過 3GPP 所定義的 AKA 程序來作認證。若是認證成功，則在第十三步將金鑰傳送給 GANC-SEGW，而 MS 在第十四步收到 EAP Success 的訊息自己也會產生出金鑰，第十五步時，IKE 訊息結束，之後就可以進行註冊的流程了。



圖八 GAN 架構下認證流程圖

上一章中我們稍微介紹了寬鬆整合式的架構，其認證的流程與 GAN 的方式幾乎是完全一模一樣，由於 3GPP 是先制定寬鬆整合式架構的雙

網整合網路，因此會有這樣的結果是很自然的。

- **尋找程序 (Discovery)**。在 MS 的 USIM 中會包含 Provision GANC (在 Home PLMN 中) 的 FQDN (或者是 IP 位置) 與相關的 SEGW 資訊。接著 MS 透過這些資訊與 Provisioning GANC-SEGW 和 GANC 建立安全的 IPsec 通道和 TCP 連線，並且得到 Default GANC (在 Home PLMN 中) 與 SEGW 的 FQDN 與 IP 位置。
- **註冊程序 (Registration)**。在尋找程序之後，MS 會想辦法嘗試與 Default GANC 註冊，則 Default GANC 有可能透過接受這個註冊要求而成為 Serving GANC 或者將此註冊轉向 (redirect) 給另外一台 GANC。這種轉向的動作是根據 MS 註冊程序當中所包含的資訊、營運業者的策略原則或者是為了平衡負荷 (Load Balancing)。註冊程序通知 GANC 目前 MS 已經透過 IP 存取網路連接上，並且可以透過某個 IP 位置存取到這個 MS，其原因是為了將呼叫此使用者的電話順利地繞送給此 MS。此外，這個程序也提供了 MS 與 GAN 服務相關的系統參數，讓 MS 可以順利地切換到 GAN 模式。

四、結論

透過本文讀者可以詳細瞭解 3G/WLAN 雙網整合的架構、運作流程，本論文詳細探討了兩種整合方式：緊密整合以及寬鬆整合，並且仔細介紹兩種整合架構下 AAA 運作的流程。

參考文獻

- [1] Salkintzis, A.K., Fors, C., and Pazhyannur, R., "WLAN-GPRS integration for next-generation mobile data networks," *IEEE Wireless Communications*, 9(5):112-124, Oct. 2002
- [2] Ahmavaara, K., Haverinen, H., and Pichna, R., "Interworking architecture between 3GPP and WLAN systems," *IEEE Communications Magazine*, 41(11): 74 - 81, Nov. 2003
- [3] Koien, G.M. and Haslestad, T., "Security aspects of 3G-WLAN interworking," *IEEE Communications Magazine*, 41(11):82 - 88, Nov. 2003
- [4] Zhuang, Wei, Gan, Yung-Sze, Loh, Kok-Jeng, and Chua, Kee-Chaing, "Policy-based QoS-management architecture in an integrated UMTS and WLAN environment," *IEEE Communications Magazine*, 41(11):118-125, Nov. 2003
- [5] Salgarelli, L., Buddhikot, M., Garay, J., Patel, S., and Miller, S., "Efficient authentication and key

- distribution in wireless IP networks,” *IEEE Wireless Communications Magazine*, 10(6):52 – 61, Dec. 2003
- [6] Huber, J.F., “Mobile next-generation networks,” *IEEE Multimedia*, 11(1):72-83, Jan-March 2004
- [7] Salkintzis, A. K., “Interworking techniques and architectures for WLAN/3G integration toward 4G mobile data networks,” *IEEE Wireless Communications Magazine*, 11(3): 50 - 61, June 2004
- [8] Ma, L., Yu, F., Leung, V.C.M., and Randhawa, T., “A new method to support UMTS/WLAN vertical handover using SCTP,” *IEEE Wireless Communications*, 11(4):44-51, Aug. 2004
- [9] Politis, C., Chew, K. A., Akhtar, N., Georgiades, M., Tafazolli, R., and Dagiuklas, T., “Hybrid Multilayer Mobility Management with AAA Context Transfer Capabilities for All-IP Networks,” *IEEE Wireless Communication*, 11(4):76 – 88, Aug. 2004
- [10] Axiotis, D.I., Al-Gizawi, T., Peppas, K., Protonotarios, E.N., Lazarakis, F.I., Papadias, C., and Philippopoulos, P.I., “Services in interworking 3G and WLAN environments,” *IEEE Wireless Communications*, 11(5):14-20, Oct. 2004
- [11] Kambourakis, G., Rouskas, A., Kormentzas, G., and Gritzalis, S., “Advanced SSL/TLS-based authentication for secure WLAN-3G interworking,” *IEE Proceedings-Communications*, 151(5):501-506, Oct. 2004
- [12] Chen, J.-C. and Lin, H.-W., “A gateway approach to mobility integration of GPRS and wireless LANs,” *IEEE Wireless Communications*, 12(2):86-95, April 2005
- [13] Salkintzis, A. K., Dimitriadis, G., Skyrianoglou, D., Passas, N., and Pavlidou, N., “Seamless continuity of real-time video across UMTS and WLAN networks: challenges and performance evaluation,” *IEEE Wireless Communication*, 12(3):8-18, June 2005
- [14] Gazis, V., Alonistioti, N., and Merakos, L., “Toward a generic “always best connected” capability in integrated WLAN/UMTS cellular mobile networks (and beyond),” *IEEE Wireless Communication*, 12(3):20-29, June 2005
- [15] Marquez, F.G., Rodriguez, M.G., Valladares, T.R., de Miguel, T., and Galindo, L.A., “Interworking of IP multimedia core networks between 3GPP and WLAN,” *IEEE Wireless Communication*, 12(3):58-65, June 2005
- [16] Lera, A., Molinaro, A., Polito, S., and Ruggeri, G., “End-to-end QoS provisioning in 4G with mobile hotspots,” *IEEE Network*, 19(5):26-34, Sept.-Oct. 2005
- [17] Lin, Y.-B., Chen, W.-E., and Gan, C.-H., “Effective VoIP call routing in WLAN and cellular integration,” *IEEE Communications Letter*, 9(10):874-876, Oct. 2005
- [18] Karetos, G. T., Kyriazakos, S. A., Groustiotis, E., Di Giandomenico, F., and Mura, I., “A hierarchical radio resource management framework for integrating WLANs in cellular networking environments,” *IEEE Wireless Communications*, 12(6):11-17, Dec. 2005
- [19] Chang, M.-F., Wu, L.-Y., and Lin, Y.-B., “Performance evaluation of a push mechanism for WLAN and mobile network integration,” *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 55(1):380-383 Jan. 2006
- [20] Wu, Wei, Banerjee, N., Basu, K., and Das, S.K., “SIP-based vertical handoff between WWANs and WLANs,” *IEEE Wireless Communications*, 12(3):66-72, June 2006
- [21] Leu, J.-S., Lai, R.-H., Lin H.-I, and Shih, W.-K., “Running cellular/PWLAN services: practical considerations for cellular/PWLAN architecture supporting interoperator roaming,” *IEEE Communication Magazine*, 44(2):73-84, Feb. 2006
- [22] Shin, M., Ma, J., Mishra, A., and Arbaugh, W.A., “Wireless network security and interworking,” *Proceedings of the IEEE*, 94(2):455-466, Feb. 2006
- [23] 3GPP, “Feasibility Study on 3GPP System to WLAN Interworking,” TR 22.934, 3GPP
- [24] 3GPP, “3GPP system to Wireless Local Area Network (WLAN) interworking, System description,” TS 23.234, 3GPP
- [25] 3GPP, “WLAN interworking security,” TS 33.234, 3GPP
- [26] 3GPP, “Generic access to the A/Gb interface; Stage 2,” TS 43.318, 3GPP
- [27] 3GPP, “3GPP, “Generic Access (GA) to the A/Gb interface; Mobile GA interface layer 3 specification,” TS 43.234, 3GPP
- [28] Alcatel, BT PLC, Cingular Wireless LLC, Ericsson AB, Kineto Wireless Inc., Motorola, Inc., Nokia, Nortel, O2, Research In Motion Limited, Rogers Wireless Inc., Siemens AG, Sony Ericsson, T-Mobile USA., Unlicensed Mobile Access (UMA), Architecture (Stage 2).