



【技術專欄-017】

異質網路整合大躍進 LWA 技術上線試水溫

文·工業技術研究院資訊與通訊研究所 / 包偉丞 資深工程師

3GPP 已於 2017 年 3 月，完成 LTE 與無線區域網路聚合(LTE-WLAN Aggregation, LWA)技術細節，在 3GPP Rel-13 和 Rel-14 版本中，提供了一項使用非授權頻段的無線網路接取技術，換句話說，電信商將擁有更多無線通訊資源，用於服務其顧客或用戶設備，進而改善用戶設備的使用體驗，減少客訴的發生機率。

LWA 的技術本質，顧名思義，其目的即在於用戶設備可無感地同時使用 LTE 與 Wi-Fi 進行網路連線，所有的連線或資料傳輸動作將受到 LTE 網路端的妥善配置，用戶設備最直接的感受就是效能的提升，上網不卡卡，而其根本原因在於 LTE 盡情享用了 Wi-Fi 的固有技術與便利性，以及非授權頻段的自由使用，造就一種 3GPP 與 WLAN 共生共榮的現象。

3GPP 欲納入 Wi-Fi 於其運作系統中的發展歷史，可說是淵遠流長，可參考表 1，從 2008 年起，即開始發展融合 Wi-Fi 技術，但一直到了 2015 年才從網路與系統端的整合技術，向下整合至無線存取網路(Radio Access Network, RAN)層級，也就是更接近基地台端(eNB)與貼近用戶設備(UE)的聚合技術，如表 1 所述之 Rel-12：Offload based on RAN-level policies and UE measured quality of 3GPP and Wi-Fi(對應於標準規格文件 3GPP TS 36.300 之 RAN Controlled LTE WLAN Interworking)，雖然網路選擇功能依舊保留於用戶設備，但會更進一步考量通道量測結果，相對於早期發展之整合技術，可預期會有最佳的運作成效，然而，這也只是 LWA 技術發展的前身；受限於無線存取網路解決方案(RAN Solution)與存取網路探索與選擇功能(Access Network Discovery and Selection Function, ANDSF)之設計，基地台或網路端仍舊無法精準地掌握用戶設備的運作狀況，因此，期望能將更多的控制權交由基地台進行管理，讓基地台可得知用戶設備的即時狀態與通訊品質，大幅改善用戶設備的使用體驗。

技術版本(日期)	主要相關技術
Rel-8 (Dec. '08)	<ul style="list-style-type: none"> • Mobility with IP address preservation of all traffic from 3GPP access to Wi-Fi access (and policing through ISMP)
Rel-10 (Jun. '11)	<ul style="list-style-type: none"> • Mobility with IP address preservation for selected IP flows (IFOM) • Simultaneous IP connectivity to 3GPP and Wi-Fi access networks (MAPCON)
Rel-11 (Jun. '13)	<ul style="list-style-type: none"> • Improved definition of IP flows for enhanced traffic steering (DIDA) • Transparent IP connectivity via trusted Wi-Fi using GPRS Tunneling Protocol (SaMOG) • IP connectivity via Broadband Access, such as DSL line
Rel-12 (Mar. '15)	<ul style="list-style-type: none"> • Multiple IP connectivity via Trusted WLAN using GTP (eSaMOG) • Prioritization of different 3GPP access networks with respect to Wi-Fi (WORM) • APN selection based on the type of traffic (IARP) • Enhanced Wi-Fi network selection policies (integration with HotSpot 2.0) • Offload based on RAN-level policies and UE measured quality of 3GPP and Wi-Fi

表 1 3GPP 納入 Wi-Fi 技術發展簡表

LTE 與 WLAN 在 RAN 層級的整合，於 2015 年 3 月無線存取網路第 67 次全會會議，通過的無線存取網路第 2 工作組工作項目：LTE-WLAN Radio Level Integration，開始起跑！工作項目與內容，其中之一便在討論 LTE 與 WLAN 在 RAN 層級的整合，而 LWA 採用了 3GPP 既有的雙連結(Dual-Connectivity, DC)架構進行設計；接下來，本文將介紹 LTE 與無線區域網路聚合之主要技術演進與重要技術特徵，其包含以下部分：LWA 整體架構、LWA 協定架構、LTE 與無線區域網路聚合適配協定層、流量控制、行動集、WLAN 連線狀態回報、上行資料傳送、WLAN 上行資料存取種類設定、加密機制、WLAN 網路認證、移動管理優化之安全連線、移動管理優化之封包加密金鑰等。

LWA 整體架構

標準規格文件 3GPP TS 36.300 對於 LWA 整體架構之呈現，如圖 1，可知 WLAN 端點(WLAN Termination, WT)直接連接於基地台，WLAN 端點與核心網路(Core Network, CN)的唯一介面為基地台的 S1 介面，基地台和 WLAN 端點則是透過 Xw 介面溝通，且支援必要功能如介面建立(Xw Setup)、流量控制(Flow Control)、狀態回報(Status Report)、與多載體(Multiple Bearer)傳輸等；LWA 的建立，除介面建立外，用戶設備與 WT 端點的連線建立，如圖 2，待用戶設備收到網路端的配置資訊後，即會展開一連串的 WLAN 連線過程，當然也包含了後端網路確認等程序。

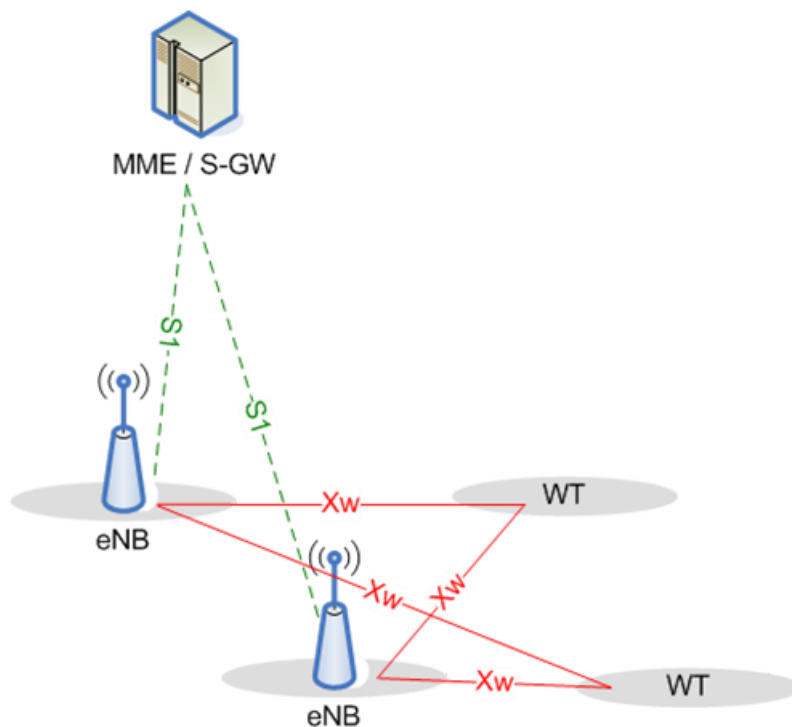


圖 1 LWA 整體架構

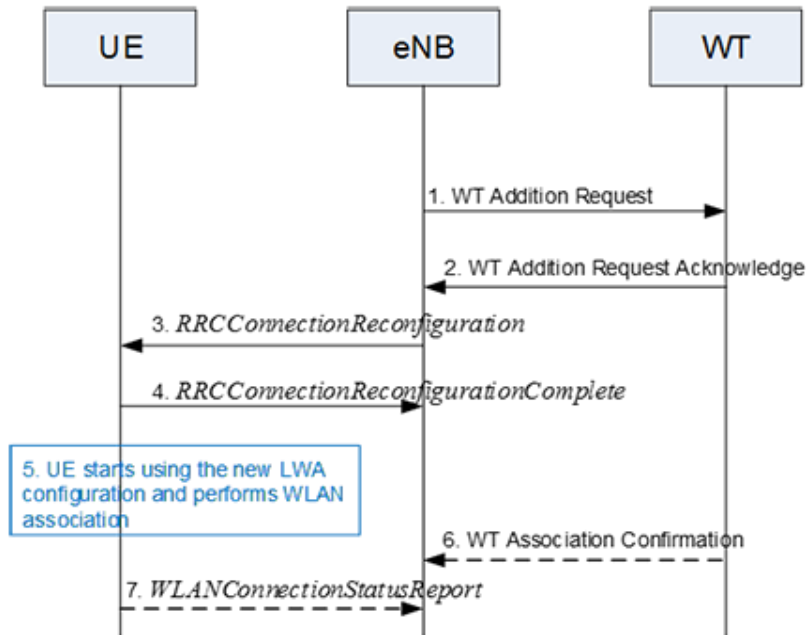


圖 2 WT 端點連線建立

LWA 協定架構

如圖 3，在 LWA 的下行部分，經由分封數據匯聚協定(Packet Data Convergence Protocol, PDCP)層進行分流，協定數據單元(Protocol Data Unit, PDU)經由基地台的 PDCP 單元產生後，除藉由 LTE 的無線鏈路控制(Radio Link Control, RLC)層與媒體存取控制(Medium Access Control, MAC)層，也可以透過 LTE 與無線區域網路聚合適配協定(LTE-WLAN Aggregation Adaptation Protocol, LWAAP)層，藉由 WLAN 送至使用者端的 PDCP 單元；上行部分，也是同樣此道理；值得注意的是，LWAAP 層附加了數據無線載體(Data Radio Bearer, DRB)識別的功能，用以識別數據無線載體之相對應的 LWA 載體，而 WLAN 端點會利用新設定的 EtherType 0x9E65 或是 WLAN 端點 MAC 位址，用以轉傳資料。

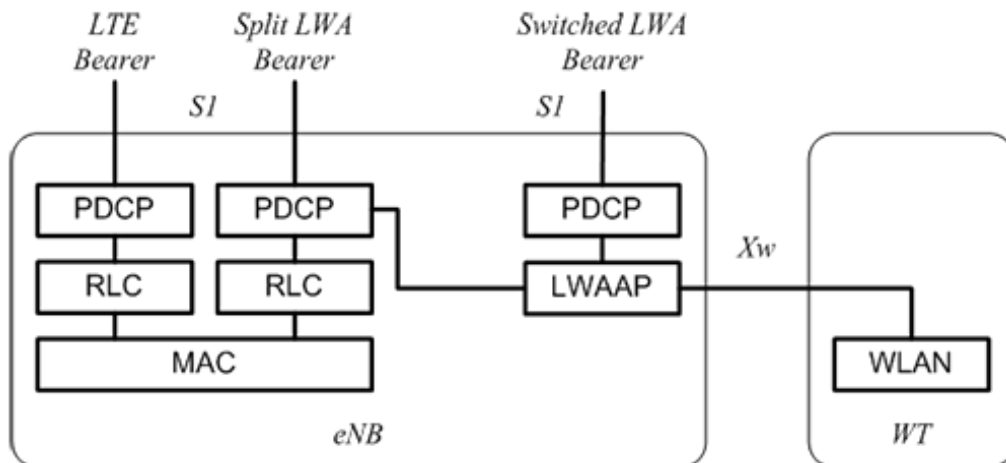


圖 3 非共站之 LWA 協定架構

LTE 與無線區域網路聚合適配協定層

此層可說是讓資料能轉傳於 LTE 與 WLAN 的重要設計，可參考標準規格文件 3GPP TS 36.360，為因應支援多載體傳輸，須於 PDCP PDU 上，新增標頭加入載體識別碼(Bearer ID)資訊以分辨不同的載體，如圖 4，其包含了載體識別附加與移除之功能，如圖 5，上行與下行資料傳送皆使用此概念。

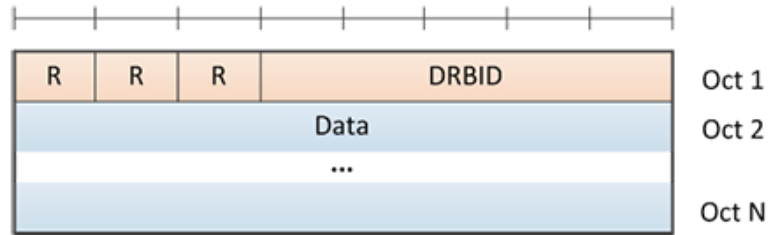


圖 4 LWA 協定數據單元

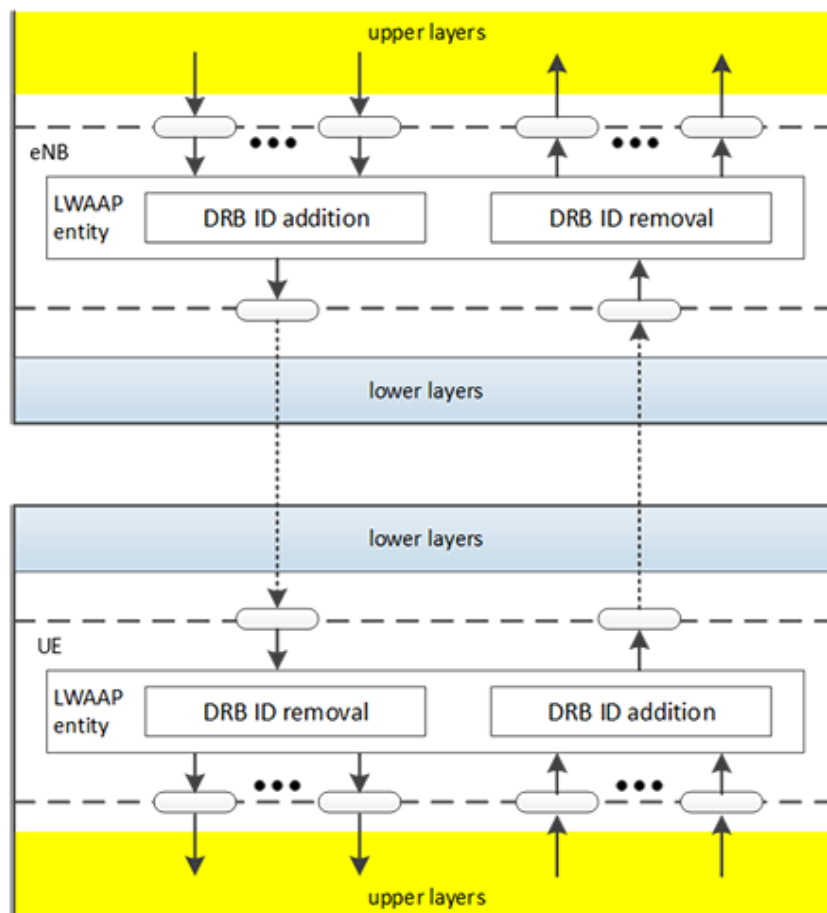


圖 5 LTE 與無線區域網路聚合適配協定層



流量控制

流量控制機制主要作用於 Xw 介面，讓基地台決定將多少的流量透過 WLAN 轉傳，目的在於能將資料順利傳送到用戶設備，而不至於丟失或編號亂序，因此，需要讓基地台得知當下的資料傳送狀況，例如是否有資料遺失；而這邊有趣的地方是，WLAN 不受控制於 LTE，因此，同時設計了由 WT 端點與用戶設備回報資訊的方案，讓電信商可以因應不同狀況，例如 WT 端點或用戶設備能力，讓 LWA 運作順暢；WT 端點資料狀態回報格式，可參考 3GPP TS 36.425，如圖 6，主要資訊即包含成功傳送的部分(Highest successfully delivered PDCP Sequence Number)、所需之暫存能力(Desired buffer size for the E-RAB、Minimum desired buffer size for the UE)、資料遺失的部分(Number of lost X2-U Sequence Number ranges reported、Start of lost X2-U Sequence Number range、End of lost X2-U Sequence Number range)；用戶設備資料狀態回報格式，可參考 3GPP TS 36.323，如圖 7，主要資訊即包含成功傳送的部分(Highest successfully received PDCP SN on LTE link)、資料遺失的部分(First Missing PDCP SN、Number of missing PDCP PDUs)；用戶設備回報資訊的方案為一優化方法，主要作用於當 WT 端點回報資訊不可得時；另一個地方要注意的是，LTE 原有設計的 PDCP 回報部分，不會有規則限制用戶設備傳送的方向，可依據所設定的上行傳輸方向，留給用戶設備自行決定；而在上行資料傳輸方面，可能造成的封包序號不同步的議題，會仰賴目前的 PDCP 回報與 LWA 狀態回報(即 WT 端點和用戶設備資料狀態回報)，來處理封包序號不同步的問題，除了留給用戶設備自行處理外，基地台可以可能參考狀態回報，進行相對應的動作，但皆留給用戶設備或基地台自行處理。



Bits								Number of Octets
7	6	5	4	3	2	1	0	
PDU Type (=1)				Spare		Final Frame Ind.	Lost Packet Report	1
Highest successfully delivered PDCP Sequence Number								2
Desired buffer size for the E-RAB								4
Minimum desired buffer size for the UE								4
Number of lost X2-U Sequence Number ranges reported								1
Start of lost X2-U Sequence Number range								4* (Number of reported lost X2-u SN ranges)
End of lost X2-U Sequence Number range								
Spare extension								0-4

圖 6 WT 端點資料狀態回報格式

Bits			Number of Octets
D/C	PDU Type	FMS	
FMS (cont.)			Oct 1
HRW			Oct 2
HRW (cont.)		NMP	Oct 3
NMP (cont.)			Oct 4
			Oct 5

圖 7 用戶設備資料狀態回報格式

行動集

為了因應 WLAN 的特有架構，即 Thin AP(Access Point)與 Fat AP 的概念，由於布建的各種可能性，預見了用戶設備移動時與 WLAN 建立連線的狀況，因此，LTE 引進了行動集(Mobility Set)的概念，也就是說用戶設備，在行動集內的 AP 漫遊，可由用戶設備自己決定所要連結的 AP，基地台不會也不需要知道，也不會有進一步的控制，這概念可以想像成，行動集為受到同一個接取控制器管理的一組 Thin APs，但跨行動集的漫遊，則需用戶設備回報量測報告給基地台，再由基地台決定其漫遊的行動集或下一步動作；基地台為確保用戶設備的控制



權，用戶設備同時間只會保有一個行動集，且一次只能連上一個行動集；行動集所包含的 WLAN 識別碼，可以是基本服務集識別碼(Basic Service Set Identifier, BSSID)、服務集識別碼(Service Set Identifier, SSID)、同質延伸服務集識別碼(Homogenous Extended Service Set Identifier, HESSID)等，其組成與數量於網路端自行決定；在量測回報方面，除了週期性回報之外，亦設計三種觸發條件，如表 2，可詳見於標準規格文件 3GPP TS 36.331，其重點亦是呼應了行動集之設計，讓用戶設備於 AP 漫遊的可行性。

Event	Description
Event W1	WLAN becomes better than a threshold
Event W2	All WLAN inside WLAN mobility set becomes worse than threshold1 and a WLAN outside WLAN mobility set becomes better than threshold2
Event W3	All WLAN inside WLAN mobility set becomes worse than a threshold

表 2 量測報告之回報條件

WLAN 連線狀態回報

簡單來說，由於 WLAN 之運作並不受 LTE 所控制，因此，需要由用戶設備，回報當下的 WLAN 連線狀態(WLAN Connection Status Report)，讓基地台能夠確保 WLAN 運作順暢；在 WLAN 的無線鏈路監控(Radio Link Monitoring, RLM)方面，包含了以下四項回報內容：

(1)WLAN 連線失敗(WLAN Connection Failure)：當用戶設備在行動集內，有至少一條的 LWA 載體無法建立或繼續時，用戶設備送出「WLAN 連線失敗」的訊息給基地台，但 WLAN 連線失敗發生時，用戶設備的 LTE 載體不受影響，不會執行 LTE 連線重建，但 WLAN 的資料接收則暫停或傳送。

(2)WLAN 連線成功(WLAN Connection Success)：當用戶設備可以成功連上，基地台所提供行動集內的 AP 時，用戶設備會回報「WLAN 連線成功」給基地台，值得注意的是，一個行動集只需傳送一次「WLAN 連線成功」訊息，此外，也搭配時間的限制，以避免用戶設備在收到指示執行 LWA 後，卻長時間無法執行 LWA 的情況。

(3)WLAN 連線暫時中止(WLAN Temporary Suspension)：目的即考量 WLAN 之運作，可能某段時間用於作業系統所需，暫時中止 WLAN 之傳送與接收，但不表示失去 WLAN 連線，因此新加入此原因回報，在此訊息傳送後，用戶設備依然要保持 LWA 的設定與配置。

(4)WLAN 連線恢復(WLAN Connection Resumption)：接續於 WLAN 連線暫時中止之訊息，當可恢復運作時，用戶設備則送出此訊息讓基地台知悉；第三與第四訊息是否傳送，可經由基地台控制，但其認定標準則由用戶設備自行決定。

上行資料傳送

WLAN 的上行資料傳送，可說是為 LWA 技術完成很重要的一塊拼圖，同樣地，上行資料傳送也採用了資料分流之設計，包含了上行傳送方向的控制與設定方式，技術採用臨界型分割(Threshold Based Splitting)機制之概念，如圖 8 所示，但又保有用戶設備自主決定資料封包的傳送方向，藉此達到網路端控制與用戶設備端自主控的平衡點。首先，關於觸動緩衝區狀態回報(Buffer Status Report, BSR)傳送，當上行傳送的載體設定為僅透過 WLAN，此載體則不會觸動緩衝區狀態回報傳送。所有可能透過 LTE 的上行傳送資料，才會計算於 BSR 中，即排除已送到或決定送到 WLAN MAC 的上行資料，即目的在於正確估計用戶設備所需之 LTE 上行傳送資源。

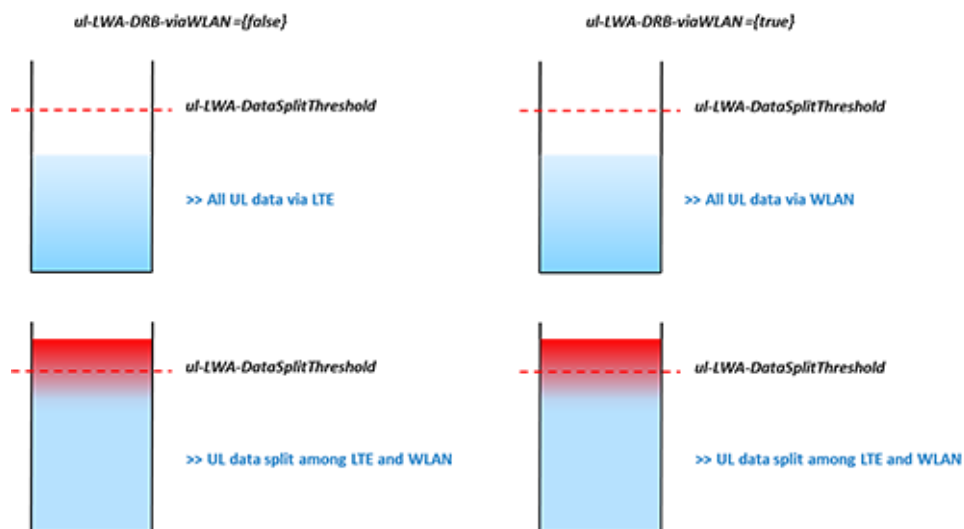


圖 8 臨界型分割機制

換句話說，透過 WLAN 傳送之資料，不會再透過 LTE 重傳之設計，不支援 PDCP 上行傳輸重傳的機制，也就是從 PDCP 層完全分流，透過 WLAN 的上行傳送，將不影響 LTE MAC 的程序，例如觸動緩衝區狀態回報之內容、格式與傳送，以及邏輯通道之多工與組件等，協定數據單元資料透過 WLAN 分流之決定權，不會由 LTE 的 MAC、RLC、LWAAP 層決定，須注意的是，觸動緩衝區狀態回報僅透過 LTE，不透過 WLAN；LWA 上行傳送所採用臨界型分割機制，網路端會設定臨界型的判斷方式給用戶設備，當可傳送的資料量(Data Available for Transmission)超過臨界值時，用戶設備便可將資料傳往 LTE 和 WLAN。

舉個例子，上行載體被賦予分流設定時，基地台會配置臨界值給用戶設備，其設定方式為未超過臨界值時，僅有單一上行傳送方向，即透過 LTE 傳送或 WLAN 傳送，如圖 8 的兩個例子，但當可傳送的資料量超過臨界值時，用戶設備便可將資料傳往 LTE 和 WLAN，其資料分流量或比例，則留給用戶設備自行決定，沒有細部的限制或設計，留給製造商或研究單位，各展身手。

WLAN 上行資料存取種類設定

此設計主要用於上行載體的服務品質級別指標(QoS Class Identifier, QCI)和存取種類(Access Category)之對應的決定與通知方式，參考表 3 與表 4 的例子，不外乎是要讓 WLAN 的服務品質能如 LTE 的預期。原則上，即在設定 WLAN 將不同訊務(Traffic)分類成多種的存取種類，而不同存取種類則有相對應的競爭參數及優先權值。

AC	CWmin	CWmax	AIFS	TXOP limit		
				For PHYs defined in Clause 16 and Clause 17	For PHYs defined in Clause 18, Clause 19, and Clause 20	Other PHYs
AC_BK	aCWmin	aCWmax	7	0	0	0
AC_BE	aCWmin	aCWmax	3	0	0	0
AC_VI	$(aCWmin+1)/2 - 1$	aCWmin	2	6.016 ms	3.008 ms	0
AC_VO	$(aCWmin+1)/4 - 1$	$(aCWmin+1)/2 - 1$	2	3.264 ms	1.504 ms	0

表 3 存取種類表

延伸出要注意的事項是，由於在下行傳送的 LWA 運作中，網路端會先將此載體的服務品質級別指標送到 WLAN 端點，因此 WLAN 端點會決定適當的存取種類，進行非授權頻的通道存取；然而，在上行傳送時，用戶設備該要如何決定存取種類？依照 WLAN 的運作原則，是由傳送端決定存取種類，但 LWA 採用的，則是 LWA 載體的服務品質級別指標和 IEEE 802.11 存取種類的對應，皆會由 WLAN 端點決定，再利用 RRC 訊務通知用戶設備，但當沒有通知用戶設備有關存取種類的設定時，才由用戶設備自行決定。是的，LTE 總是想要走出自己一條不同的道路。

QCI	DSCP	802.1D	AC	Example services
1	EF	6 (VO)	3 AC_VO	conversational voice
2	FI	6 (VO)	3 AC_VO	Conversational video
3	FF	6 (VO)	3 AC_VO	real-time gaming
4	AF41	5 (VI)	2 AC_VI	buffered streaming
5	AF31	4 (CL)	2 AC_VI	signaling
6	AF32	4 (CL)	2 AC_VI	buffered streaming
7	AF21	3 (FI)	0 AC_BI	Interactive gaming
8	AF11	1 (BE)	0 AC_BE	web access
9	BE	0 (BK)	1 AC_BK	email

表 4 對應表格

加密機制

不知讀者是否有發現，當資料封包透過 WLAN 傳送接收時，加密機制 (Encryption) 會同時進行於 PDCP 層與 WLAN，當支援傳送速率增加後，分封數據匯聚協定層的負擔，可能也會大大地增加，進而成為傳輸的瓶頸，而重覆的加密動作，會對用戶設備造成額外的電量消耗與負擔，那是否可取消 PDCP 層的加密動作，藉以減輕分封數據匯聚協定層的負擔呢？結論很簡單，還是進行重覆加密動作，在此方面未進行優化的動作。

WLAN 網路認證

關於網路認證(Authentication)，LTE 在這邊也設計了一套新的做法，參考 3GPP TS 33.401，如圖 9 所示，和 WT 端點的安全金鑰產生方式，主要是藉由基地台的金鑰(KeNB)與網路端給用戶設備的數值(WT Counter)，推導出用戶設備與 WT 端點共同的金鑰(S-KWT)，用戶設備便可與 WT 端點進行網路連接，換句話說，當基地台金鑰或網路端給用戶設備的數值有更新時，用戶設備便要適時地進行網路重新授權與連接。

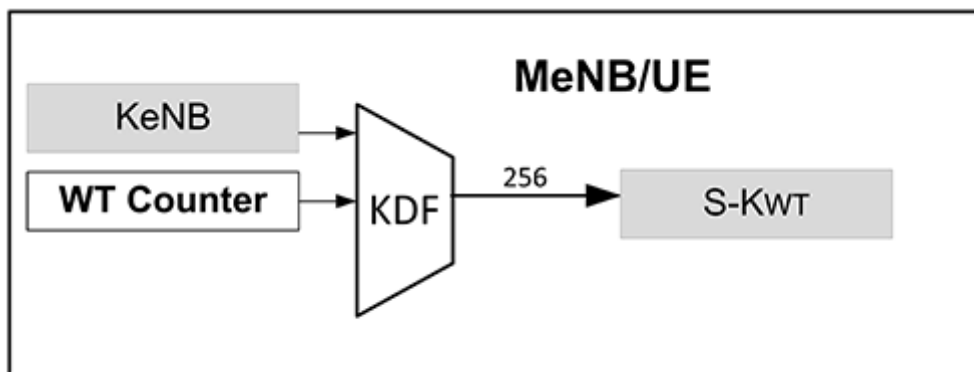


圖 9 安全金鑰產生功能

移動管理優化之安全連線

原則上，當用戶設備進行 LTE 換手程序時，LWA 可先進行連線釋放，有需求時再次進行 WLAN 的連線，而在用戶設備保持使用相同無線區域網路時，則有進一步的優化設計，但須考慮無線區域網路的安全連線問題；於上點所述，既然用戶設備進行 LTE 換手服務，基地台金鑰更新後，共同金鑰也隨之更新，用戶設備應當進行網路重新授權與連接，但，用戶設備是否需要重新進行連結服務的程序呢？其答案也相當有趣！



來自系統架構第 3 工作群組(SA3)的回覆，需要更新但不必立即更新，而在 LTE 換手過程中，網路端不需要改變 WLAN 的共同金鑰，但在之後的某個時間點，仍需要更新，但共同金鑰更新程序可獨自運作，不必然伴隨於 LTE 換手程序中；也就是說，LTE 換手程序和共同金鑰更新程序，為兩個可獨立運作的程序，例如先執行 LTE 換手程序，但不觸發共同金鑰更新程序，之後在某個時間點，再觸發執行共同金鑰更新程序，用戶設備可只需在再連接時，再進行共同金鑰更新即可。

移動管理優化之封包加密金鑰

同樣於用戶設備進行 LTE 換手服務時，延伸的問題，用戶設備端與無線區域網路，金鑰(PDCP Key)同步更新或生效的時機？基地台或是用戶設備在加解密 PDCP PDU 所應使用的金鑰，原則上的設計理念包含：保證不管是基地台或用戶設備不會使用錯誤的 PDCP Key；何時該停止透過 WLAN 傳送下行資料留給基地台實作；對 WT 端點影響最小；用戶設備可不需要同時保有兩把 PDCP Key，留給 UE 實作。

而標準設計的方案，則歸納到使用用戶平面(User Plane)的解法，使用封包中夾帶 End Marker 與先新的封包序號，來處理 PDCP Key 改變的問題，此方法會同時運用在上行與下行方向的資料傳輸中，封包遺失或亂序的處理方式，則留給實作處理或是重複傳送夾帶 End Marker 的封包，甚至可能因為沒有正確 PDCP Key 下而丟棄封包。

在此，參考 3GPP TS 36.300，如圖 10 所示，綜觀於 LTE 換手服務時的相關程序。當網路端發起換手服務時，來源端基地台通知目標端基地台時，會將用戶設備目前使用 LWA 的資訊與相關量測資訊，一起通知目標端基地台，之後目標端基地台會確認是否要讓用戶設備持續執行 LWA，確定持續運作 LWA 時，目標端基地台會與 WLAN 端點進行溝通，建立溝通介面等程序，並通知及取得用戶設備資料。目標端基地台回應來源端基地台時，除了相關所需設定外，亦會包含保留 LWA 設定及運作的訊息，來源端基地台通知用戶設備進行換手時，即會包含適當的行動集與先新的封包序號，用戶平面的封包轉傳也會加上 End Marker，確保加解密封包用了適當的 PDCP 金鑰。

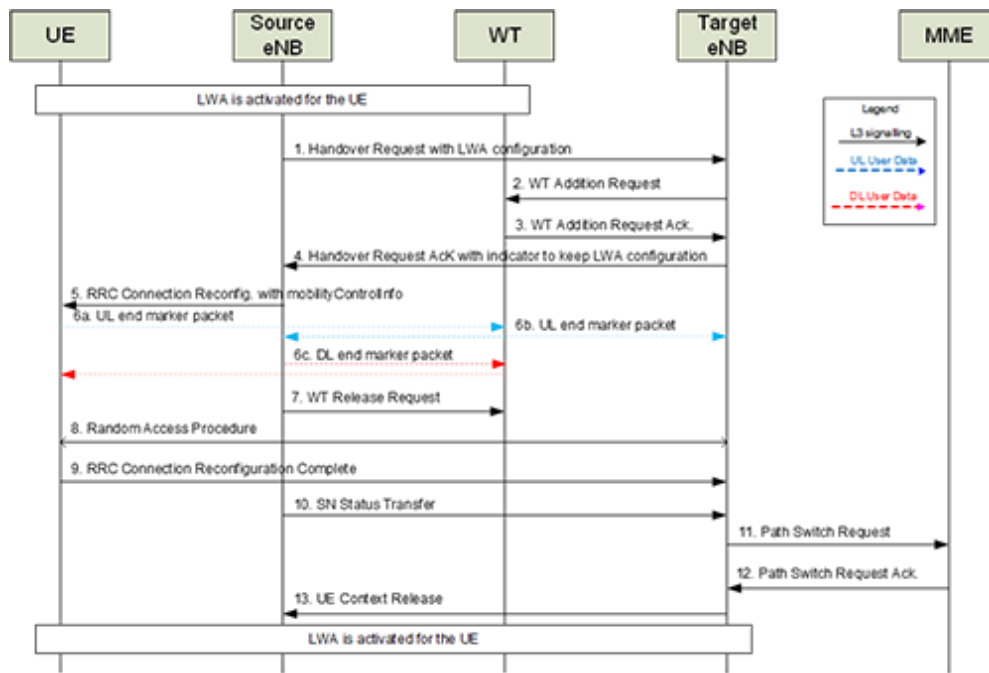


圖 10 相同無線區域網路下的 LTE 換手程序

完成 LTE 換手服務程序後，用戶設備在需再連接時，再進行共同金鑰更新程序，之後的 LWA 運作，即會包含本文所述之重點技術等程序，例如量測與回報、流量控制、服務品質管理等等。

突破層層關卡桎梏 LWA 技術指日可待

談到這裡，讀者們應該有發現，LWA 技術之實現，包含了非常多層面的考量，Xw 新介面的建立與溝通、通道量測與回報、狀況回報用於傳輸改善、WLAN 的安全認證程序、PDCP 金鑰的更新、移動管理優化、流量控制、服務品質管理、資料轉傳、數據無線載體之識別、LWAAP 層之加入、WLAN 上行傳輸之實現等的技術，每一項都可用相當大的篇幅於以說明，更多的細節則僅能留給讀者自行發掘。

文末，附上一點說明，LWA 所能支援的運作頻帶，除了 2.4/5GHz 的無線網路基地台外，亦了支援 60GHz 頻段，也就是說，即使是 IEEE 未全部制定完備的版本，例如 802.11ax、802.11ad 和 802.11ay 版本的無線網路基地台，也會納入支援 LWA 的麾下。目前已經可看到，台灣有電信公司採用 LWA 技術，企圖商用運轉，期望未來有更多電信公司實際部署 LWA 技術。

(本文同步刊載新通訊元件雜誌 2018 年 8 月號 210 期《技術前瞻》)