

基站雲架構對於行動基站回程網路耗能之影響

林勤偉*、黃英欽

中華電信研究院寬頻網路研究所

摘要 — 基站雲是行動接取網路朝向提高容量、降低成本、減少耗能等方向演進的一種新型架構，其射頻單元與基頻單元分離，並將射頻單元盡可能靠近天線，而基頻單元則拉遠集中設置在同一地點，射頻單元與基頻單元之間透過高速光纖網路相連。本論文探討在基站雲架構之下，基站雲基頻單元集中地點對於行動基站回程網路架構之影響及其耗能。

一、前言

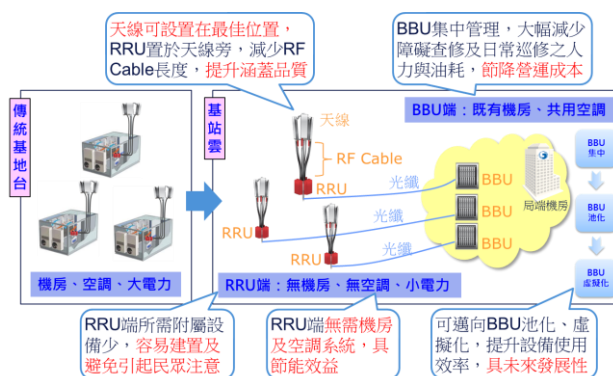
隨著智慧型手機的日益成長，大幅提高行動網路的訊務承載量，預計 2011 年至 2015 年全球行動網路總訊務量將成長 7.7 倍[1]，這使得行動網路對於頻譜和基站站點的需求成為影響行動接取網路（Radio Access Network；RAN）發展的關鍵因素，行動營運商必須藉由建置更多的基站、引進更高速的行動通訊技術等，以擴充行動接取網路之容量，這同時也導致行動網路耗能持續增加。

根據傳統基站建設工法，基站相關附屬設備多、占地面積大、租用成本高、佈署時間長，並且伴隨著民眾對於電磁波影響健康的疑慮，基站位置的取得一直是個棘手的問題，既有基站站點經常因住戶抗爭而搬遷，造成額外的支出並影響行動通訊的品質。

中國移動在 2010 年首次提出創新的基站雲（Cloud RAN；C-RAN）架構，期望能融合集中式處理、協作式無線電、即時雲端運算等技術特點[2]，並且已與合作廠商成功開發出基站雲架構雛型設備及完成 C-RAN 實驗網路試驗。在基站雲架構下，傳統基站設備拆分成基頻單元（Base Band Unit；BBU）與遠端射頻單元（Remote Radio Unit；RRU）兩部份，其中 BBU 集中設置在同一地點，實現集中式處理，而 RRU 則藉由光纖拉遠分散在各地，與天線一同組成分散式無線網路。

在基站雲架構下，由於遠端基站設備僅剩下 RRU 及天線，對於空間的需求大幅降低，可節省基站租用成本，亦較容易找到適合的基站站點，遠端基站也因不再需要空調系統，具備節能效益。RRU 體積小、容易設置，可置於戶外緊鄰天線，藉此減少 RRU 至天線所使用的饋線之長度，降低饋線損失，進而提高該基站的涵蓋範圍及可收容的訊務容量。BBU 集中在同一地點使得各基站在實體層是相鄰的，有助於實現基站之間的協同運作機制，例如多點協調（Coordinated Multi-Point；CoMP）、增強型細胞間干擾消除（Enhanced Inter-Cell Interference Cancellation；eICIC）等技術。此外，BBU 集中之後便於基站的管理維護及查修，亦有助於未來邁向集中式基頻處理池或將 BBU 的功能進行虛擬化，具

備未來發展性。圖一為基站雲架構及其優點。



圖一：基站雲架構之優點

傳統行動網路中，基站的所有訊務必須先彙集到基站的控制器，由控制器決定不同類型訊務的處理方式，各基站與其控制器之間的網路即稱為行動基站回程網路（Mobile Backhaul；MBH），其網路架構會隨著 RAN 而改變。由於電信公司 80% 以上的溫室氣體排放量來自於電力消耗，其中最主要的耗能則是來自於行動網路[3]，在追求永續經營、推行節能減碳、善盡企業社會責任之時，從行動網路著手進行節能措施，可獲得事半功倍之效果。

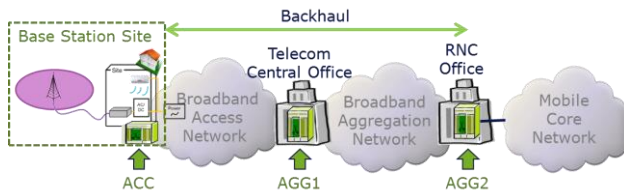
[4]已分析多種 RAN 架構及其行動基站回程網路的總耗能，其中的基站雲架構採用 BBU 小區域地集中，對於 RAN 及其行動基站回程網路，皆具備良好的節能效益，然而基站雲 BBU 集中設置之地點，對於基站雲的行動基站回程網路之耗能亦會有很大的影響。本論文第二章將根據電信業者的網路架構，探討基站雲架構下，BBU 集中地點的多種情境，並於第三章分析各種 BBU 集中情境下的行動基站回程網路之耗能。

二、基站雲架構與行動基站回程網路

行動基站回程網路包含寬頻接取網路以及寬頻彙集網路兩部份，可採用有線網路技術或無線網路技術，各國的情況皆不相同。我國的行動基站回程網路主要採用有線網路技術，目前皆以新一代同步數位階層（New Generation Synchronous Digital Hierarchy；NG SDH）光纖網路為主，故本論文所探討的行動基站回程網路即為 NG SDH 網路。

圖二為傳統基站及其行動基站回程網路之架構圖，基站設備與天線設置在同一個站點，該站點具備空調系統等附屬設備。行動基站回程網路設備則分成置於基站旁的接取型設備與置於電信機房的彙集型設備，其中彙集型設備又可分为置於一般電信機房的第一階彙集型設

備與置於基站控制器旁或行動核心網路之前的第二階彙集型設備，在此將行動基站回程網路之接取型設備簡稱為 ACC，而第一階彙集型設備簡稱為 AGG1，第二階彙集型設備簡稱為 AGG2，ACC 與 AGG1 之間即為寬頻接取網路，AGG1 與 AGG2 之間即為寬頻彙集網路。



圖二：傳統基站及其行動基站回程網路之架構 (BD)

在圖二的架構下，每一個傳統基站皆會設置一個 ACC 設備，然後逐一收容至電信機房中的 AGG1 設備，最後再由位於行動核心網路之前的 AGG2 收容各地電信機房中的 AGG1，並將這些行動訊務傳送至行動核心網路。ACC、AGG1、AGG2 等設備的耗能與相關空調系統的耗能之總和即為此行動基站回程網路之總耗能。

基站雲架構將傳統基站設備拆成 BBU 與 RRU 兩部份，BBU 與 RRU 之間的距離拉遠並以光纖相連接，因此產生了一個新的光纖網路，相對於行動基站回程網路是位於基站與控制器之間，在 BBU 與 RRU 之間的光纖網路被稱為行動基站去程網路 (Mobile Fronthaul; MFH)，其特性及需求迥異於行動基站回程網路。

BBU 與 RRU 之間的介面使用通用公共射頻介面 (Common Public Radio Interface; CPRI) 或開放基地台架構創始聯盟 (Open Base Station Architecture Initiative; OBSAI)。相較於一般行動基站回程網路主要使用 Ethernet 介面，其頻寬需求為數十 Mbps 至數百 Mbps，但是 CPRI/OBSAI 介面的速率為數百 Mbps 至將近 10Gbps，如表 I 所示。

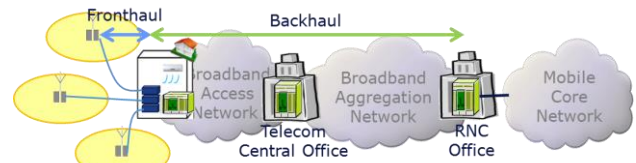
表 I
行動基站去程網路介面速率

CPRI	OBSAI
Option 1: 614.4 Mbps (1x)	768 Mbps (1x)
Option 2: 1228.8 Mbps (2x)	1536 Mbps (2x)
Option 3: 2457.6 Mbps (4x)	3072 Mbps (4x)
Option 4: 3072.0 Mbps (5x)	6144 Mbps (8x)
Option 5: 4915.2 Mbps (8x)	
Option 6: 6144.0 Mbps (10x)	
Option 7: 9830.4 Mbps (16x)	

目前 CPRI 的主流速率為 2457.6 Mbps，OBSAI 則是 3072 Mbps，一個三區 (3 Sector) 基站最多會有 3 個 CPRI/OBSAI 介面，並且已有行動運營商正朝向 6144 Mbps 或甚至 9830.4 Mbps 邁進。如此高的頻寬需求對於行動基站去程網路是非常嚴苛的挑戰，現行的各種接取網路技術皆無法滿足行動基站去程網路的需求，因此目前通常採用光纖直連方式建立行動基站去程網路，並不會增加額外的耗能。

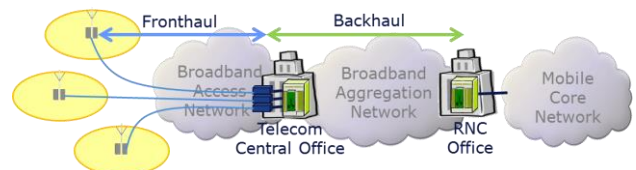
[4]所探討的基站雲架構將小區域範圍內的 BBU 集中至一大型基站，一般來說 ACC 設備具備數個 Ethernet 介面，因此只要 ACC 設備可提供的最大頻寬足以收容多個基站，則多個 BBU 僅需要一台 ACC 設備即可收容，可減少 ACC 設備的數量，同時也減少行動基站回

程網路的耗能，圖三即為其網路架構。



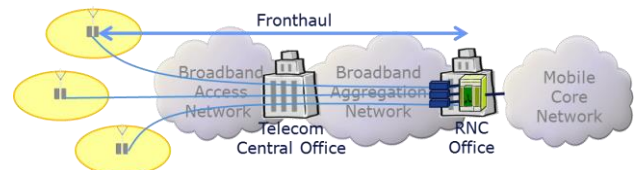
圖三：BBU 小區域集中的行動基站回程網路 (CBD1)

若將 BBU 集中的地點從大型基站後移至最接近基站的電信機房，由於電信機房的服務範圍較大，可以比大型基站集中更多的 BBU，並且可以直接由 AGG1 設備收容 BBU，藉由節省 ACC 設備而獲得更大的節能效益，其網路架構如圖四所示。



圖四：BBU 集中在電信機房的行動基站回程網路 (CBD2)

若再更進一步將 BBU 集中於基站控制器旁或行動核心網路之前的電信機房，則連 AGG1 設備亦可省略而獲得最高的節能效益，如圖五所示。在 CBD3 的架構下雖然已無行動基站回程網路，仍然需要 AGG2 設備匯集 BBU，以降低基站控制器或行動核心網路的介面數量。



圖五：BBU 集中在基站控制器機房的行動基站回程網路 (CBD3)

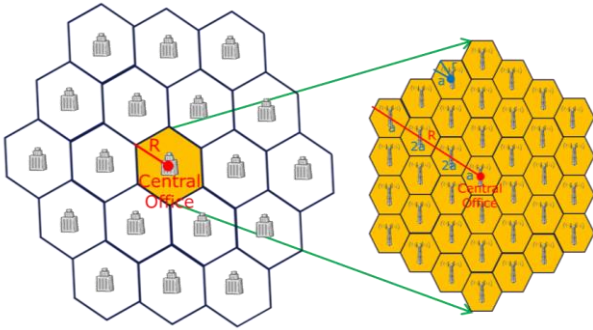
綜觀圖二至圖五可以發現行動基站回程網路與行動基站去程網路其實是此消彼長的，當行動基站去程網路的涵蓋範圍越廣，行動基站回程網路的涵蓋範圍也就會越小，由於行動基站去程網路之特性及需求迥異於行動基站回程網路，這種架構的演進對於電信業者的網路建設是非常巨大的影響。

本論文將圖二的傳統基站之行動基站回傳網路稱為基礎部署 (Baseline Deployment; BD)，圖三的基站雲架構下的行動基站回程網路及去程網路稱為第一型集中式 BBU 部署 (Centralized BBU Deployment Case 1; CBD1)，圖四及圖五分別為第二型集中式 BBU 部署 (CBD2) 及第三型集中式 BBU 部署 (CBD3)，第三章即以 BD 為比較基準，分析這四種情境的行動基站回程網路之耗能。

三、行動基站回程網路耗能分析

本論文採用[4]的耗能分析模型，假設整個行動基站回程網路皆使用單一行動基站回程技術，電信機房因普及性地提供各種電信服務，以服務範圍半徑 R 均勻分布 (Uniform Distribution) 在總面積為 A_{RAN} 的 RAN 網路之

中，而在一電信機房服務範圍之中，基站亦以基站間隔距離 $2a$ 的方式均勻分布，如圖六所示。



圖六：電信機房與基地台之分布

因此分別計算 ACC、AGG1、AGG2 等網路設備之總耗能即可得到整個行動基站回程網路之耗能 P_{MBH} ：

$$P_{MBH} = P_{ACC} \cdot n_{ACC} + 2 \cdot P_{AGG1} \cdot n_{AGG1} + 2 \cdot P_{AGG2} \cdot n_{AGG2} \quad (1)$$

其中 P_{ACC} 、 P_{AGG1} 、 P_{AGG2} 分別代表一台 ACC、AGG1 與 AGG2 設備之耗能； n_{ACC} 、 n_{AGG1} 、 n_{AGG2} 則是行動基站回程網路中的 ACC、AGG1、AGG2 之數量；常數 2 為電信機房空調系統的耗能。表 II 為本論文所假設的各項參數之數值，表 III 則是本論文所採用的行動基站回程網路耗能數值，來自於實測數據與設備規格。

表 II
各項參數的數值

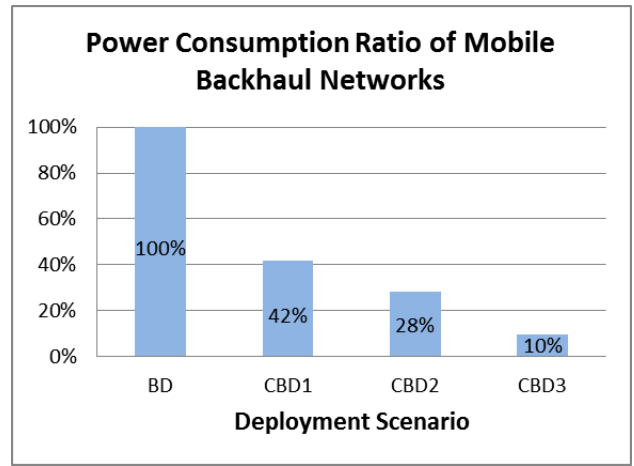
RAN 面積 (A_{RAN})	電信機房服務範圍之半徑(R)	基站間距($2a$)	基站行動基站回程頻寬 (BW_{BS})
1200km ²	6km	1.732km	100Mbps

表 III
行動基站回程網路耗能數值

ACC 耗能(P_{ACC})	AGG1 耗能(P_{AGG1})	AGG2 耗能(P_{AGG2})
70W	330W	330W

圖七為 NG SDH 行動基站回程網路的耗能分析結果，以 BD 架構的行動基站回程網路耗能为基準（100%），CBD1 架構下的行動基站回程網路之耗能僅為 BD 耗能的 42%，CBD2 則是 BD 耗能的 28%，CBD3 之耗能为 BD 的 10%。更大規模地進行 BBU 集中的確可帶來最佳的節能效益，然而基站雲架構也面臨一些現實網路環境的挑戰。

首先，基站雲架構對於網路建設造成很大的壓力。行動基站回程網路主要使用 Ethernet 介面，頻寬需求為數十 Mbps 至數百 Mbps，並且為分封化訊務，網路設備可藉由統計多工功能降低整體網路的建置成本。然而行動基站去程網路的 CPRI/OBSAI 介面因內含同步訊息，即使基站處於低負載狀態，目前主流的 CPRI/OBSAI 介面仍然會固定占用 2.5 Gbps 以上的頻寬。當 BBU 集中的地點越接近行動核心網路，代表行動基站去程網路越大，占用固定頻寬的 CPRI/OBSAI 介面之使用範圍也更加廣泛。



圖七：行動基站回程網路的耗能分析結果

其次，現行的各種接取網路技術皆無法滿足行動基站去程網路的需求，因此目前通常採用光纖直連方式建立行動基站去程網路，一個三區基站可能具有 3 個 CPRI/OBSAI 介面，需要 6 芯光纖。由於光纖的建設並非一蹴可幾，一旦用盡既有光纖資源，新光纖的建設將曠日費時，必須事先妥善規劃。隨著基站的數量持續成長，CBD1 及 CBD2 的基站雲架構將會使用大量寬頻接取網路中的用戶光纖資源；若為 CBD3，除了用戶光纖之外，還會使用大量寬頻彙集網路中電信機房之間的中繼光纖資源。

對於未自行建設行動基站回程網路及去程網路的行動運營商來說，基站雲架構雖然便於建設基站並且可節省基站相關費用，但除了原本須支付的行動基站回程網路之電路費用，還必須支付行動基站去程網路之電路費用或光纖費用。基站雲架構所帶來的優勢與行動基站去程網路之費用是否可損益平衡，依各行動運營商的情況而定，但以節能觀點則如圖七之分析結果，基站雲架構的確具備良好的節能效益。

除此之外，行動基站去程網路若採用光纖直連方式，將缺乏 50ms 保護切換機制，萬一發生障礙，光纖修復時間較長。如果基站與行動基站去程網路分屬不同的電信運營商，發生障礙時不容易釐清責任歸屬。

面臨以上問題，一些解決方案也正在發展中[2]，例如：使用 CPRI/OBSAI 壓縮技術以降低 CPRI/OBSAI 介面的頻寬需求，使行動基站去程網路較有機會採用更多樣化的網路解決方案；或是在寬頻接取網路引進分波多工技術（Wavelength Division Multiplexing；WDM），藉此減少基站雲所需的行動基站去程網路之光纖數量。

一般的 WDM 設備對於寬頻接取網路來說價格較為昂貴，應配合寬頻接取網路之環境以及基站雲之需求加以調整，盡可能地降低使用 WDM 技術的成本，才足以將 WDM 技術引進至寬頻接取網路，這些措施包含：優先使用稀疏式波分多工（Coarse WDM；CWDM）技術，直到有必要時才採用密集式波分多工（Dense WDM；DWDM）技術；行動基站去程網路的端對端距離不至於太遠，網路架構的設計應避免使用光放大器，並且可考慮採用被動光網路（Passive Optical Network；PON）的方式，在同一芯光纖中以不同波長雙向收送信號，以更進一步地減少所使用的光纖數量等等。

目前已被電信業者使用在行動基站回程網路的 CWDM 技術又可分為 CWDM 元件方案以及 CWDM 設備方案。CWDM 元件方案將 BBU 及 RRU 的 CPRI/OBSAI 介面之一般光收發器更換為 CWDM 光收發器，並於行動基站回程網路中設置 CWDM 被動元件光多工器及光解多工器來建立 CWDM 網路，為低成本的解決方案。CWDM 設備方案則是以可收容 CPRI/OBSAI 介面之 CWDM 設備組成行動基站回程網路，具備完整營運、管理與維護功能及 50ms 保護切換機制，便於維護及責任釐清。由於 CWDM 設備方案需要額外供電，因此本論文也針對行動基站回程網路若使用 CWDM 設備的情況進行耗能分析。

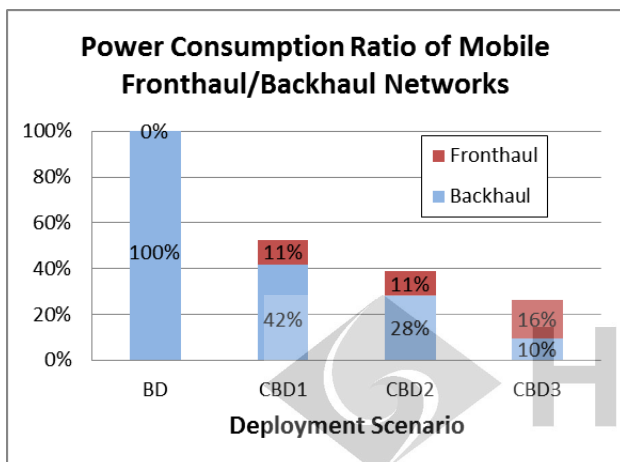
行動基站回程網路的 CWDM 設備的分布方式與行動基站回程網路的 NG SDH 設備非常類似，亦可分為 MFH_ACC、MFH_AGG1、MFH_AGG2 等三種設備，CBD1 及 CBD2 僅有 MFH_ACC 與 MFH_AGG1 設備，CBD3 則有會 MFH_ACC、MFH_AGG1、MFH_AGG2 等三種設備。

假設每個三區基站具有 3 個 CPRI/OBSAI 介面，因此 CBD1、CBD2、CBD3 的每個 RRU 皆設置一台 MFH_ACC 設備，MFH_AGG1 設備位於一般電信機房，MFH_AGG2 位於基站控制器旁或行動核心網路之前，沿用(1)即可計算行動基站回程網路之總耗能。本論文所採用的行動基站回程網路耗能數值整理於表 IV，來自於實測數據。

表 IV
行動基站回程網路耗能數值

ACC 耗能 (P_{MFH_ACC})	AGG1 耗能 (P_{MFH_AGG1})	AGG2 耗能 (P_{MFH_AGG2})
20W	70W	120W

圖八即為 NG SDH 行動基站回程網路加上 CWDM 行動基站回程網路之總耗能分析結果。以 BD 架構的行動基站回程網路耗能为基準（100%），CBD1 架構下的行動基站回程網路及去程網路之總耗能为 BD 耗能的 53%，CBD2 則是 BD 耗能的 39%，CBD3 之耗能为 BD 的 26%。



圖八：行動基站回程網路及去程網路的耗能分析結果

結論

從節能減碳的觀點，基站雲架構對於行動網路本身以及屬於固網領域的行動基站回程網路皆可帶來良好的節能效益。基站雲架構將 BBU 集中設置在同一地點，而 RRU 則藉由光纖拉遠分散在各地，在 BBU 與 RRU 之間形成一行動基站回程網路，目前通常採用光纖直連。本論文根據 BBU 集中的地點，將基站雲架構及其行動基站回程網路與去程網路分為 CBD1、CBD2、CBD3 等三種網路架構，一一分析其耗能並與傳統基站行動基站回程網路的耗能相比較，分析結果顯示更大規模地進行 BBU 集中的確可帶來更佳的節能效益。

本論文亦探討行動基站回程網路在現實網路環境所面臨的挑戰。隨著行動訊務的持續成長，當基站雲越來越密集時，採用光纖直連的行動基站回程網路將會大量消耗寬頻接取網路的光纖資源，行動基站回程網路引進 WDM 技術將會越來越重要。本論文分析以 CWDM 設備方案建置行動基站回程網路之耗能，分析結果顯示即使納入 CWDM 行動基站回程網路之耗能，基站雲架構仍然具備良好的節能效益。

參考文獻

- [1] ITU-R, "Assessment of the Global Mobile Broadband Deployments and Forecasts for International Mobile Telecommunications," Report ITU-R M.2243, Nov. 2011.
- [2] China Mobile Research Institute, "C-RAN: The Road Towards Green RAN," White Paper Version 2.5, Oct. 2011.
- [3] GeSI, "SMART 2020: Enabling the Low Carbon Economy in the Information Age," Global e-Sustainability Initiative and The Climate Group, London, 2008.
- [4] 林勤偉, 唐之璇, 陳文宗, "因應行動接取網路演進趨勢的基站回程網路之耗能分析," 2012全國電信研討會, 2012年11月.