

5G 行動 通信與光纖網路 (二)

交通部中華技術服務社 顧問 劉時淼老師
兼台灣區電信工程工業同業公會 技術諮詢顧問

在前一篇文章「5G行動通信與光纖網路在（一）」提到5G的應用情境及經營商業模式，在2022年初本會的雙月刊也提到5G採用的技術，但一直未提到5G與光纖網路的關係。其實，4G已經大量的使用光纖，5G也使用光纖，而且使用的效率更高。

一、5G處理通信的量能是4G的一千倍

1920年，科學家哈利耐奎斯（Harry Nyquist）和拉飛爾哈特雷（Ralph Hartley）提出許多有關資訊傳輸的基礎想法（Fundamental Ideas）。1940年，克勞迪夏農（Claude Shannon）以這兩位科學家的理

論為基礎，推出夏農—哈特雷理論（Shannon-Hartley Theorem），論述“在有雜訊干擾及特定頻寬的條件下，一個頻道的最大傳輸量”，如下式：

Capacity（容量）

B：傳輸頻寬

C：頻道數量

S/N：信號雜比

依此公式，如果要增加傳輸容量，可以把式子右邊的B、C、或S/N數值提高。提高B或C都可以將式子左邊的傳輸容量呈比例增加，例如提高2，就增加兩倍；提高10就增加十倍。但是若提高S/N，則得到“事倍功



不到一半”的效率，因為刮弧前面有一個以2為底的對數（ $\log_2$ ），例如提高8倍只增加3倍的容量，提高100倍只增加6.6倍，提高1000倍只增加9.9倍，所以只能提高B或C才能達到該有效率。

而每一個世代行動通信容量的增加，幾乎直接跳過S/N，又依下式：

$$\frac{\text{容量(Capacity)}}{\text{bit/s/km}^2} = \frac{\text{細胞密度}}{\text{Cell/km}^2} \times \frac{\text{頻寬效率}}{\text{bit/Hz/Cell}} \times \frac{\text{可用頻寬}}{\text{Hz}}$$

	細胞密度 Cell/km ²	頻寬效率 bit/Hz/Cell	可用頻寬 Hz
×10	×10	×10	×10
×56	×6	×3	
×10	×20	×5	

式子下面橫向有三排數字，每一數字各代表該項目增加的倍數，任一排相乘都等於1000，也就是增加1000倍的意思。5G系統有三種不理S/N的方式直接將系統容量增加1000倍，表示傳輸量相當大。這就是為什

麼5G非得與光纖網路掛在一起不可的主要理由之一，另一理由是5G的基地台結構。

二、基地台結構

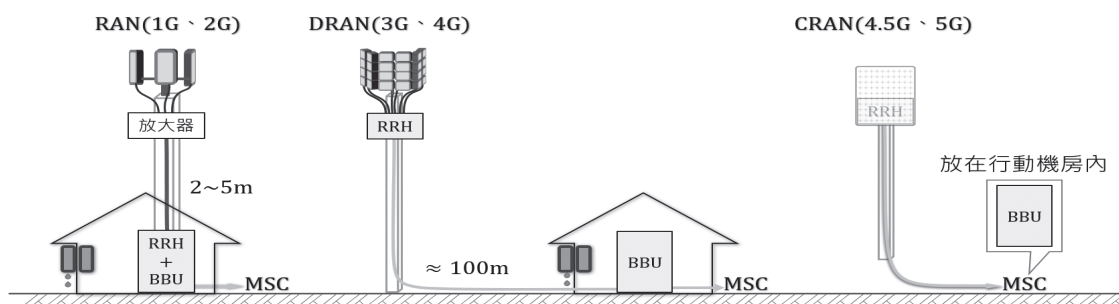
如圖一最左側是1G和2G時代的基地台。1G、2G基地台用到放大器，用一條2~5m的同軸電纜連接無線收發信機（Radio Receiving Head，RRH）及基頻處理器（Basic Band Unit、BBU），在下方還有一間不算小的房間裝冷器維持RRH和BBU的工作溫度，然後才透過光纖把信號送到行動交換機房（Mobil Switch Center，MSC）。

3G、4G則較為進步，把同軸電纜換成光纖，RRH與BBU之間可延伸100公尺的距離，使基地台地點的選擇得到很大的伸縮空間。不過，仍然需要一間小房間設置冷氣維持基站的工作溫度。5G更進步，把RRH藏到天線下方，BBU則移到機房內，天線與機房間全部用光纖連接，如圖一最右方。

一、5G行動通信

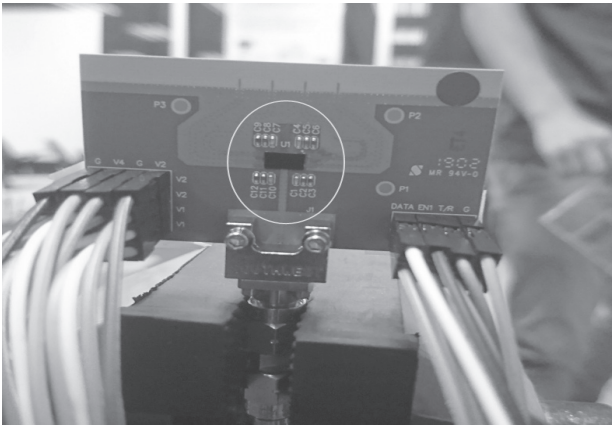
d. 小細胞與回載(Small Cell & Backhaul)

5G天線與4G不同，RRH被內建到天線裡，BBU移到交換機房內，整把天線利用光纖跟著BBU到機房。



◆圖一 1G、2G、3G、4G、與5G基地台

5G基地台因天線體積小，如圖二黃圈圈內所示，可以不用高大鐵塔。如此小的天線可以用擬態的方式直接嵌在建築物牆面、電桿上、橋墩、或地面物上，若不予注意，幾乎不覺得它們的存在。因5G使用毫米波，在空中傳輸時衰減大，故涵蓋範圍小，要做到足夠的涵蓋，則基地台的數量相當龐大！



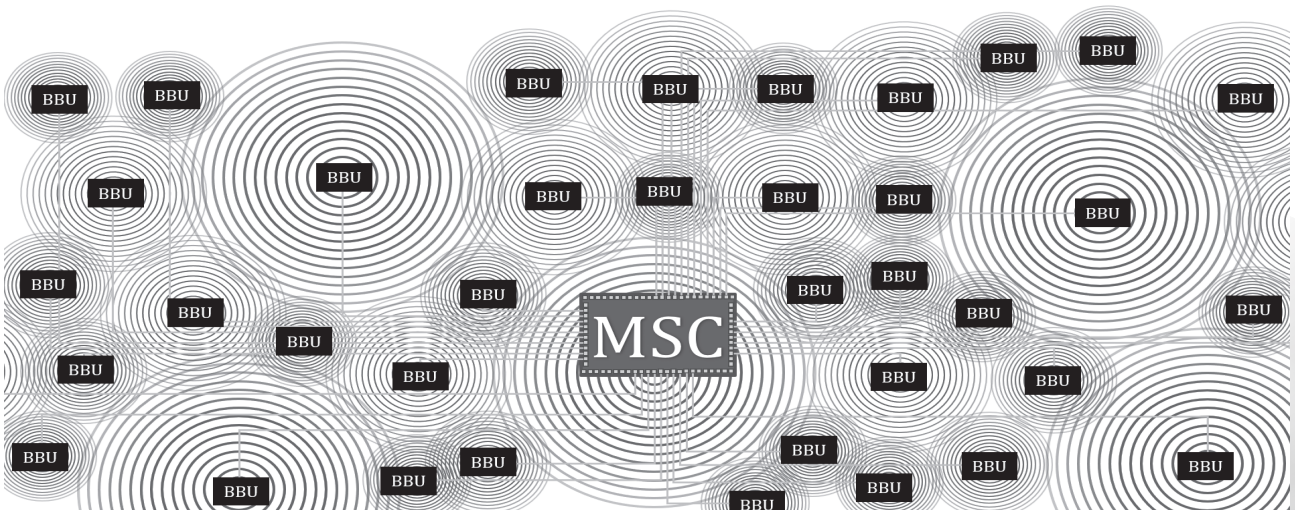
◆圖二 5G的小天線

三、光纖網路

1G到4G，因基地台涵蓋面積大，基地台數量相對於5G少了許多，而BBU設在基地台附近，形成如圖三的光纖網路：

這一大片的行動通信光纖網路引發了許多問題。大量的基地台、天線、通信設備…投資金額非常大！基地台需租金、需要空調、佈線要路權…，要接洽的單位有市政府、電力公司、私人、公家機關…忙不完。線路設備有人孔、手孔、管道，是營建大工程。大量的光纖等著佈放、維護、改接、擴充…等。除了纜線，還有電路層管理與維運、訓練、人員青黃接續…等問題。不過，這也創造不少商機！

一、5G行動通信

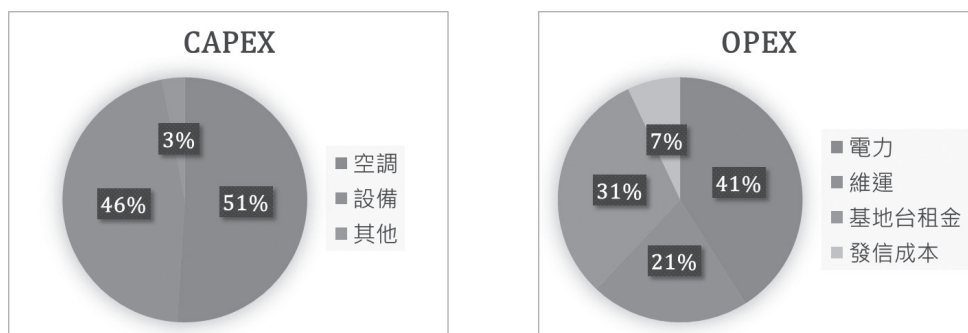


◆圖三 分配式無線網使用大量光纖連接BBU



因BBU分散各地，故又稱為分散式無線網路（Distributed Radio Access Network，DRAN）。設備分散，相對的工作移動範圍大，需要更多的維運人力與交通工具。其經營模式如圖四，左邊是資本支出，也就是一個行動通信業者必須購買的營運

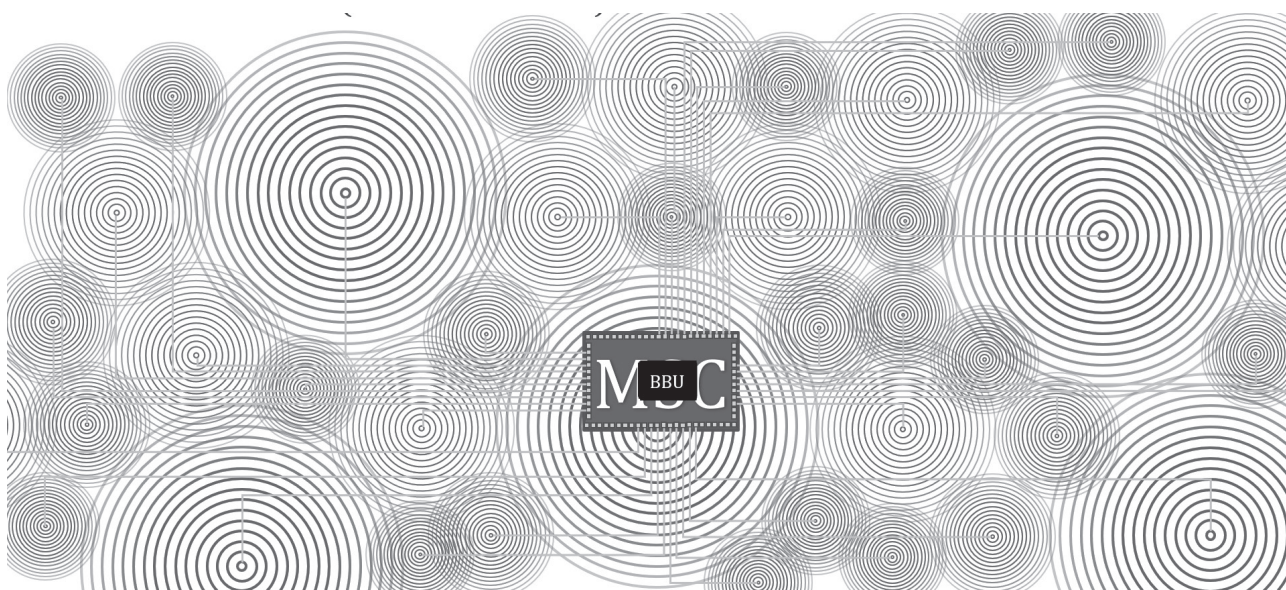
設備，其中空調佔比為51%。右邊是維運支出，電力（41%）、維運（21%）、基地台租金（31%）佔了絕大部份。圖左及圖右的空調與電力都是最大支出。剩下的7%是發信成本，是業者賺錢的部份。顯然這不是一個好的商業模式。



資料來源：
<https://www.youtube.com/watch?v=aEvVsL9Em2E&t=1083s>
IEEE Communication Magazine Feb 2014

◆圖四 分散式無線網路的成本支出與利潤比較

和圖三的分散式無線接取網路，5G的BBU利用光纖網路可以集中放置在行動機房內，形成集中式無線網路（Centralize Radio Access Network，CRAN），如圖五。因為光纖的損失很小，離行動機房數公里的5G BBU放在機房內，其運作效能仍然良好。



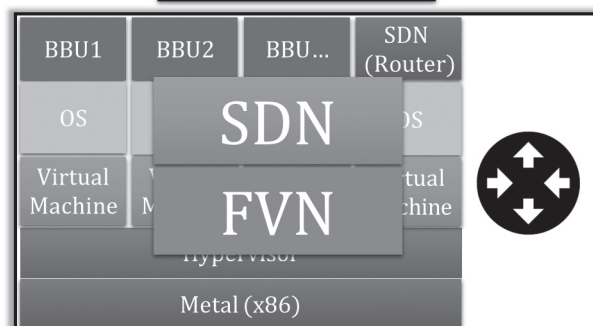
◆圖五 5G大小細胞回載使用光纖

把BBU集中機房後，基地台的運作可用電腦軟體控制，即軟體定義網路（Software Define Network，SDN），而網路功能則可以虛擬化（Network Functions Virtualization，FVN）²，形成雲端無線接取網路（Cloud Radio Access Network）如圖六：

此作法有下列優點：容易管理彈性佳、基地台參數設定容易、快速提供服務、經統計節能70%、維運支出減少50%、資本支出減15%、集中供電、中央空調、空間自主。相對的，業者的利潤得以大幅提昇。

雖然把BBU集中放在機房內解決了許多問題，但外線的問題仍在。圖五的光纖數量和圖三的一樣多，甚至於更多，因為5G的基地台數量是4G的十倍。

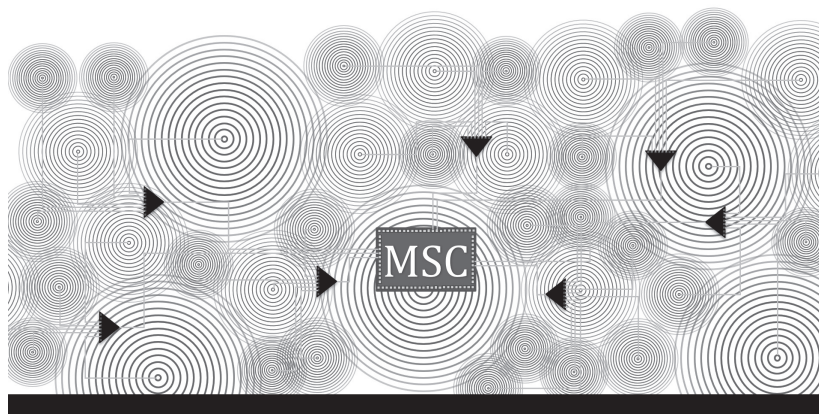
雲端無線接取網路



◆圖六 機房內BBU虛擬化

光纖網路在2G與3G的年代就已開始使用光分歧器，形成非常節能的被動光纖網路（Passive Optical Network，PON）。從A-PON→B-PON→G-PON→XG-PON³，隨著PON光纖網路不斷的進步，行動通信光纖網路很自然的加入行列，於是形成如圖七的局面。使用光分歧器後，整個網路的光纖數量大幅的減少，管道使用效率也得以提高，線路維護工作相對的減少。

二、5G+光纖



◆圖七 使用被動元件的行動通信光纖網路

- 1 SDN是一種技術，把網路的控制元件從資料介面分開，即使人不在資料庫，也可以遠端控制，就像無人機，利用搖控器可以駕馭飛機並下指令執行各種動作。
- 2 FVN是一種虛擬網路架構，把固定在網路實體伺服器內的防火牆、路由器、加密等元件虛擬化後放在虛擬伺服器，業者可以隨時決定網路政策，不必親自到實體所在地設定。打破實體的限制，可以大幅的減少建置成本。
- 3 A-PON：1.544Mbps的被動光纖網路；B-PON：622Mbps的被動光纖網路；G-PON：可以傳送1Gbps的被動光纖網路；XG-PON：可以傳送10Gbps的光纖網路。



四、集中雲端與在地雲端

如果只把行動通信網路光纖化及雲端化，還是不能滿足5G快速傳輸的條件。請看如圖八：

圖八左，假設這個雲端中心在新竹，有一個環島光纖網路連接台灣各大都市，形成一個涵蓋全島的電信網。在南投某個地方有一個基地台，有一個使用者要操作一個APP或看影片，他的信號必須經過基地台連線到新竹的雲端。台東及馬祖也有使用者做同樣的事，其信號繞路更遠。下載APP到機上然後再操作，在網路上跑至少要10~40毫秒（ms），這種情況看影片還好，如果是做即時性很強的作業或無人車駕駛，使用者的感覺就很不舒服，也很急。因為太久了！

5G的信號從手機到基地台的無線傳輸速度是小於1毫秒。在這短時間內，就要收到回應信號！如果把雲端在地化，如圖八右

，就在用者附近。則傳輸延遲的感覺不見！再利用剛才講的FVN及SDN，整個運作起來極為順暢，完全自動駕駛才有可能實現。物聯網的大數據來自遍佈各地的感應器及啟動器、及其他元件，透過基地台送到就近雲端，核心網路再把這些大數據送到各雲端更新。而核心網路傳輸速率高，但對延遲要求不是那麼嚴格，而且大數據一直儲存且不斷更新，完全不會妨礙在地雲端與元件1ms的延遲通信。

