

## 第四章 微觀閱讀潛力技術與專利解析

### 一、 小型基地台(Small Cells)

無線通訊系統的發展短短 30 年，已經從早期大而笨重的手持裝置演進到今天小而精緻的智慧型手機。根據 CISCO[1]對於 2013 到 2018 年行動通訊數據流量研究與預測發現以下幾項趨勢：

- A. 行動通訊數據流量將迅速成長；根據 CISCO 2013 到 2018 年間之預測，數據流量將成長 81%。2013 年底全球行動通訊數據流量達到 1.5exabytes，如依照此速度繼續成長，預計在 2020 年行動通訊數據流量將會是現在的千倍，
- B. 室內用量為總行動通訊數據流量的主流；目前總流量當中，60%是語音資料、70%是室內使用的數據資料。未來室內使用數據資料可能增加到 90%，
- C. 非對稱數據流量；由於電信業者提供許多例如無線上網、即時通訊與影音的服務，讓使用者可以隨時隨地下載資訊到個人智慧型裝置當中，因此造成下載與上傳的不平衡。根據 CISCO 報告[2]2010 年下載與上傳的比率大約 6 比 1，超過 2/3 的全球行動通訊數據流量是屬於影音訊息，
- D. 100 億支的行動裝置；除了一般個人行動裝置外，未來 machine to machine (M2M)的應用將會加入網路服務當中。在 2014 年年底，無線通訊系統連結的行動裝置數量將超過地球上人口數量，2018 年會達到平均每人擁有 1.4 支行動裝置- 2018 年將達到 100 億支行動裝置包含 machine-to-machine (M2M) modules-超出地球人口數 (76 億)。2018 年平均每一智慧型行動裝置每月將會產生 2.7GB 資料量，系統處理資料量將暴增，
- E. 綠色無線行動裝置系統；未來無線網路系統必須支援與服務大量行動裝置，因此在這龐大的裝置下，必須考慮如何降低電能的消耗。

由於現今的無線通訊系統設計原則是大型基地台為主，主要考慮如何增加大型基地台的服務範圍，增加室外的通訊品質、減少通訊時干擾等等因素。但是在 CISCO 的預測趨勢當中除了資料的劇增外，服務的範圍也從室外轉到室內。因此現今以大型基地台(macro base station)為主的設計將會不符未來無線網路的需求，3G/4G 無線通訊系統必須考慮如何增加室內無線通訊的品質與如何同時涵蓋室外與室內的服務。再者，如果單單只利用增加大型基地台數量的方式解決巨量的行動通訊數據流量與行動裝置將會不符成本效益，一般大型基地台的架設前必須仔細評估種種的外在因素；例如地理環

境、干擾因素、電源供應等；費時費工才能達到理想的服務情況，之後的維護也是一大筆龐大的費用，對於營運商是極大的負荷。

### (一)小型基地台目前發展

在 LTE 第九版當中介紹了低功率的 HeNB (Home eNB)，操作頻率與大型基地台相同，布建在室內中並限制使用者身分(例如 Closed Subscriber Group, CSG)，但在這版本中 HeNB 獨立操作並沒有與大型基地台相連接。在這版本當中也未考慮到協調或是削減異質網路間的干擾問題。在 LTE 版本 10 當中加入低功率的中繼節點(Relay Node, RN)，RN 藉由 Un 無線電介面(radio interface)連接到一參與中繼站的基地台(Donor Node, DeNB)。從使用者的角度而言，RN 就的角色就類似 eNB。從 DeNB 的角度而言，RN 就的角色就類似一使用者。在 3GPP 標準版本 12 [3]中提到有關小型基地台技術的強化(Small Cells Enhancements)，列表如下：

- A. TR 36.932 Scenarios and requirements for small cell enhancements for E-UTRA and E-UTRAN, V12.1.0 (2013-03)；
- B. TR 36.842 Study on Small Cell enhancements for E-UTRA and E-UTRAN; Higher layer aspects, V12.0.0 (2013-12)；
- C. TR 36.872 Small cell enhancements for E-UTRA and E-UTRAN - Physical layer aspects, V12.0.0 (2013-12)。

TR 36.932[4]標準當中討論有關小型基地台在 E-UTRA(Evolved Universal Terrestrial Radio Access)及 E-UTRAN(Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network)下的使用情境與需求。主要有五種小型基地台佈署情境:在有無大型基地台情況下、室外與室內佈署、連接理想和非理想回傳、散布和密集部署、同步和不同步。在這些情境下，同時也必須符合系統、行動性、覆蓋率表現，成本與能源效益，安全性的需求。

TR 36.842[5]從較高層次的角度研究三種小型基地台使用情境與其可能面臨之挑戰:大型與小型基地台操作在相同頻率上並連結在非理想的回傳線路上;大型與小型基地台操作在不相同頻率上並連結在非理想的回傳線路上;大型與小型基地台操作在多頻率上並連結在非理想的回傳線路上。非理想的回傳線路是指一般使用的線路例如 xDSL 或無線電波。TR 36.842 討論了三種情境可能的挑戰，列於下表 五中。

TS 36.872[6]主要從物理層角度探討在各小型基地台使用情境中可應用之技術並評估其複雜性與實用性。

表 五 小型基地台布建可能挑戰

克服可能挑戰	情境一	情境二	情境三
Mobility Robustness	Y	Y	Y
UL/DL imbalance between macro and Small Cells	Y	Y	
Increased signaling load due to frequency handover	Y	Y	Y
Difficult to improve per-user throughput by utilizing radio resources in more than one eNB	Y	Y	
Network planning and configuration effort	Y	Y	Y

在無線通訊系統當中同時涵蓋各類型的基地台通稱異質網路 (Heterogeneous Network)，在這異質網路中，不同大小的基地台依照大小、傳輸功率、覆蓋範圍、回傳機制條件可以分類成 macro-、pico-、 femto- 蜂巢式基地台與 Realy (如表 六所示)。

表 六 各類型基地台[7]

小型基地台類型	傳輸功率	覆蓋範圍	回傳機制
Macro- BS	48 dBm	Few km	S1
Pico-BS	23-33 dBm	< 300 m	X2
Femto- BS	< 23 dBm	< 50 m	Internet IP
Relay	30 dBm	300 m	Wireless

#### A. Macr- BS (Macro Base Station)

如一般目前的基地台提供中央控制，提供大範圍的戶外服務，覆蓋範圍可以達到好幾公里，可以同時服務上千位的使用者，傳輸功率可以發送大約 48 dBm (63 W)。在 LTE 的系統中，又可以稱為 enhanced NodeBs (eNBs)，利用 S1 介面回傳訊息至核心網路。

#### B. Pico-BS

比較 macro-BS，pico-BS 體積小功率低(約 23-30 dBm)。Pico-BS 可架設於室內或是室外。Pico-BS 以利於增加室內覆蓋率與增加使用者容量。當提供戶外服務時，pico-BS 可以調整輸出功率介於 250mW 到 2W 間 (23-33 dBm)。當在室內模式時，pico-BS 調整輸出功率約 100mW(20 dBm) 或是更低。Pico-BS 可提供約百人使用者的服務，利用 X2 介面連接至 macro- BS。

### C. Femto- BS

一般認為是 home BSs 或是 home eNBs，是一低功率低價位的小型基地台，主要提供一般居家室內服務與地下室訊號較差的地方。Femto-BS 傳輸功率約小於 0.2W (23 dBm)，服務範圍約 50 公尺以內。Femto-BS 可以連接 DSL、cable 或是 fiber 以網路連結回傳資訊。依照不同服務模式 femto-BS 可以操作在公開或是封閉型，即 Closed Subscriber Group，CSG 的模式下。

### D. Relay

不同於其他基地台，Relay 一般以無線傳輸的方式與大型基地台連接並回傳訊息，再藉由大型基地台後端處理訊息。Relay 有助於解決大型基地台訊號不佳或是訊號死角地區(基地台邊緣或隧道裡)，並提升熱點(hot sport)容量，較高的傳輸速度及較好的使用經驗。

大型基地台的設置地點在網路規畫時均經過審慎挑選以提供最大涵蓋範圍，同時減少基地台間的干擾。由於流量需求成長及射頻(RF)環境改變，網路須仰賴基地台蜂巢分割(cell splitting)或額外載波以克服容量及硬體網路配置等限制，以達到最佳的使用者經驗，不過這種部署程序既複雜又繁複。在異質網路架構下，利用小型基地台的佈署可以達到許多優勢；從布局的角度來看，低功率小型基地台可以減少大型基地台涵蓋範圍的通訊死角；小型基地台佈建可以因時地制宜，不需像大型基地台一樣複雜，佈署相對容易也具有彈性；當數據流量大時，3G/4G 大型基地台可以藉由小型基地台分流，減少系統的壓力；小型基地台可以與大型基地台分享資源，避免資源的浪費。從成本效益角度而言，Femto- BS 是將佈建成本轉移到用戶端上；即用戶端需要負擔設備、電力、有線網路的費用。對於電信商而言，小型基地台資本性支出與營運成本相較於大型基地台來的低。從研發的門檻角度來看，小型基地台所需達到技術需求相對地比較低，例如低的行動性、提供行走中用戶的交遞、短距離服務範圍與低功率。

## (二)小型基地台之技術挑戰

雖然小型基地台技術門檻相對大型基地台低，但是布建小型基地台仍有許多因素必須考慮，例如交遞(handover)、訊號干擾管理(interference management)、資源分配(resource allocation)、自我管理網路(SON)、行動性(mobility)、回傳機制(backhaul)與上下傳輸調配等。以下將討論幾項重要議題：

## 1. 小型基地台布建模型 (Small Cells Deployment Model)

一般大型基地台所設定的需求是希望提供最大範圍的服務範圍，高輸出功率天線以求達到較好的通話品質。相對的，小型基地台的布建與設定較為彈性，可依照使用者的需求或使用者所在的情境作機動性的改變。圖 27 依照使用情境區分，小型基地台布建情境可大略分為住宅 (Residential Deployment)、企業(Enterprise Deployment)與公共場所 (Public area Deployment)

在一般住宅內布建是希望達到較好的室內通訊品質，因此考慮體積較小的 femto-BS，使用者可以自行架設將 femto-BS 連接到家中 DSL 或網路線即可。由於只供家庭成員使用，所以小型基地台的配置以封閉式接取，亦或稱封閉型用戶群組(closed subscriber group, CSG)模式。簡而言之，Femto-BS 封閉式接取服務的範圍只限制在家庭成員中或是特定的其他會員。圖 28 所謂的封閉式接取，只有在服務名單中的使用者才可連接到相關的 femto-BS。如不在名單中，即便在 femto-BS( $U_{f2}$ )附近，如  $U_{m2}$  或  $U_{m3}$ ，也無法連接到  $U_{f2}$ 。

小型基地台使用在一般企業當中，除了考慮增加資料量，支援大量使用者，也必須考慮資訊安全。企業無線網路使用者當中可分為員工以及非員工兩者，網路安全防護必須考慮不同身分的使用者權限，企業網路擷取模式可分為 CSG 或是混和模式(Hybrid)。混和模式是當眾多會員要求接取網路時，企業員工有較高的權限接取小型基地台。除此之外，企業也希望在下班之後或是離峰網路使用時，能夠讓不需要的小型基地台休眠以達到節能減碳的效果。

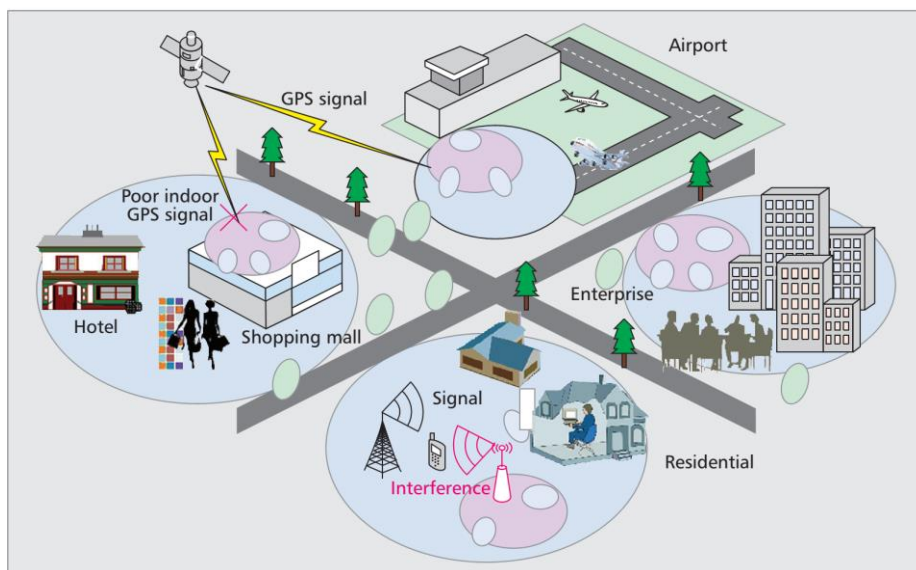


圖 27 小型基地台使用在不同情境[8]

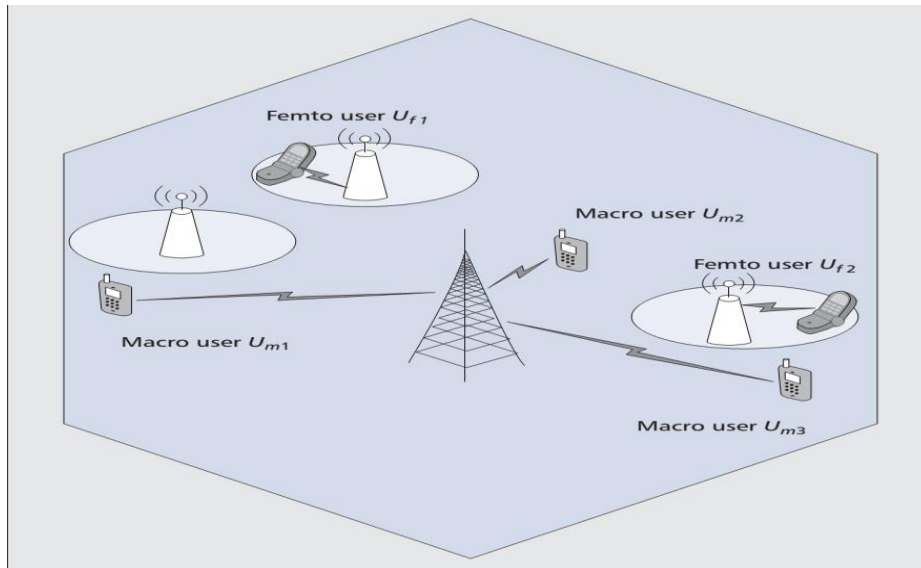


圖 28 封閉式接取(Closed Access Mode)[9]

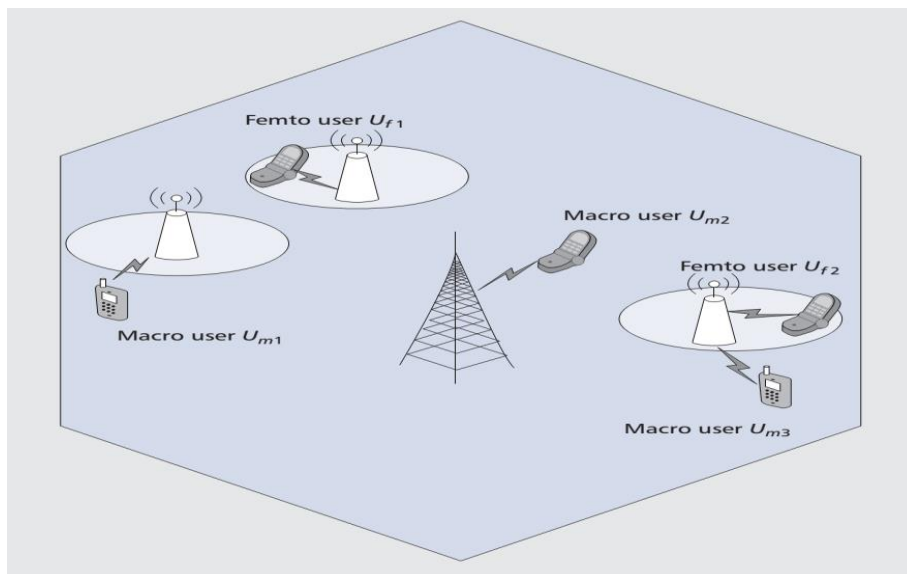


圖 29 開放式接取(Open Access Mode)

在公共場合中例如公園、百貨公司、咖啡店、機場、火車站、演唱會等，其所要覆蓋的範圍較為不一致，使用者數量會因時間，節日或是(有無)活動有所不同，所以可以藉由小型基地台補足訊號較微弱的區域或是突然增加的使用者。在網路接取方式可考慮開放或是混合模式，所謂開放式(圖 29)就是小型基地台所服務的使用者皆有相同的權限，此模式適合資料安全要求低的公共場所。如服務範圍增大時，需要大型基地台配合，再藉由 pico-BSs 進行分流，提高使用者經驗與降低大型基地台負荷。

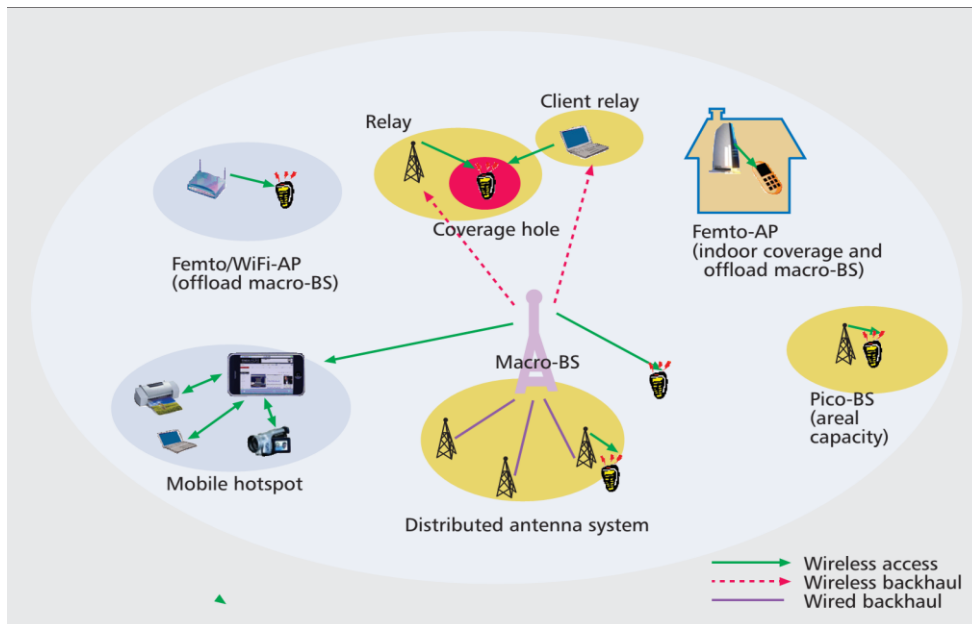


圖 30 密集網路回程傳輸

## 2. 回程傳輸 (Backhaul)

所謂的回程傳輸，指的是將本地網路所產生的訊號流量，傳送連回至電信網路的節點，並進一步與核心網路連結傳輸，舉例而言，行動基地台的回程傳輸，即是將基地台與行動終端裝置之間所進行發生的行動訊號流量傳送至無線節點，進而匯集傳輸至電信核心網路[10]。異質網路中小型基地台布建數量將逐漸增加，回程傳輸網路或是基礎網路公共建設將成為小型基地台能否成功發展的重要因素。然而因應不同地區、不同網路基礎建設布建需求，電信營運商將各自採用不同型式的回程網路傳輸。大致而言，分為無線或有線傳輸方式。光纖網路將是最主要的有線回傳網路，而在無線部份，無線微波傳輸(為來可能考慮毫米波頻段)則將扮演重要的角色。

## 3. 訊號干擾管理 (Interference Management)

圖 31 的異質網路中 5 種階層涵蓋不同類型的小型基地台，不同階層各類型小型基地台涵蓋的服務範圍不同，操作頻率不同、回程傳輸方式與時間不同。異質網路的干擾是 3 維度空間，除了層之間的互相干擾，上下層之間也會互相干擾。在傳統的無線通訊系統中，頻率資源再利用(frequency reuse)或是基地台蜂巢分割(cell splitting)是大型基地台規畫(cell planning)中增加使用量與減少干擾的一項重要參數。增加基地台的數量，利用空間上差異佈署可以增加頻率的再利用率；利用基地台上天線可將蜂巢扇形切割(120 度)改善相同頻率干擾。然而仍有它們的限制，因過多的頻率資源再用會減少空間資源再利用(spatial reuse)，即頻率資源有限，即便已利用空間方式錯開同頻率，其效果仍有限，訊號干擾仍然相當高，尤其當使用者在蜂巢邊緣時。因此就網路容量的觀點而言，最好能擴大小型基地台的涵蓋範圍，並大幅提升

基地台細胞分割增益，以平衡大型與小型基地台間負載。異質網路的佈署關鍵在解決干擾問題。至於其可能的干擾來源有以下可能的情況[3]:非預期性的變動(unplanned deployment)、閉型用戶群組(CSG access)、點間功率差異干擾(power different between nodes)、小基地台範圍擴展使用者(cell range expanded users)。

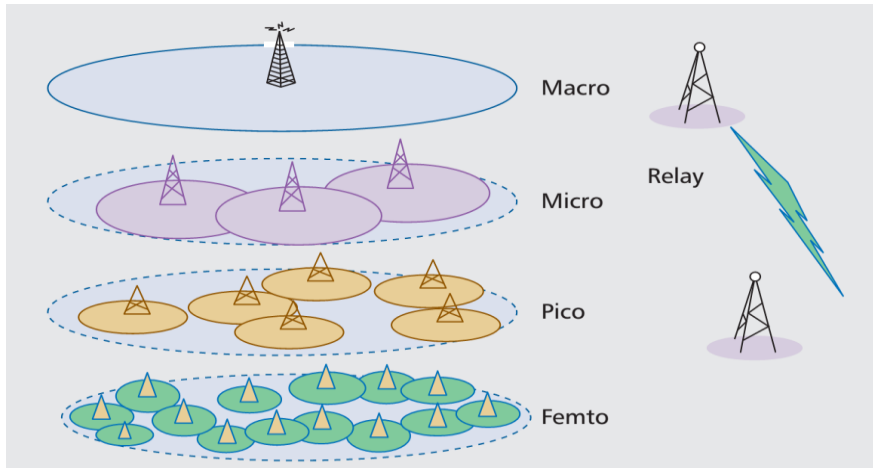


圖 31 異質網路階層

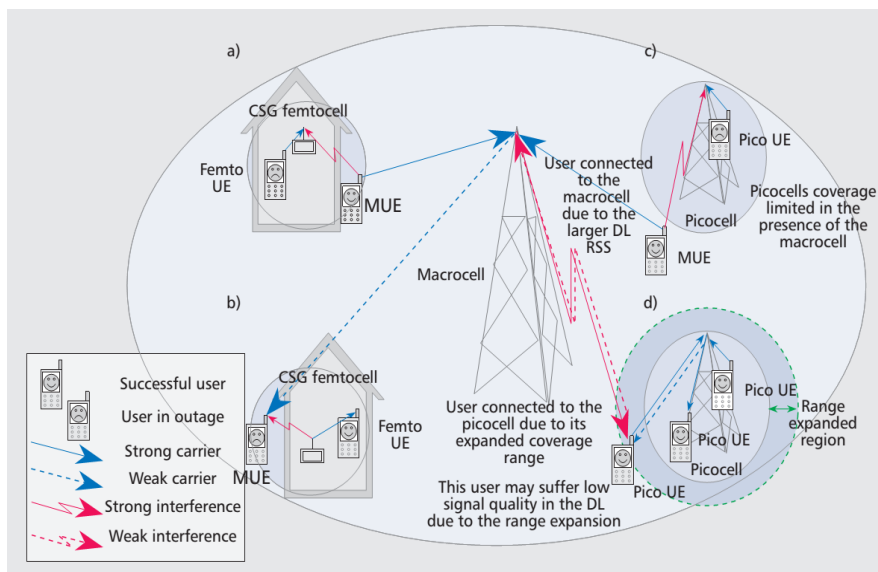


圖 32 異質網路上傳與下載干擾來源: (a)大型基地台使用者(MUE)干擾 femto-BS 使用者終端 (b) Femto-BS 使用者終端干擾下載(DL)的大型基地台使用者 (c) 大型基地台使用者終端上傳(UL)干擾上傳的 pico-BS 使用者終端 (e) pico-BS 基地台範圍擴展。

(1) 非預期性的變動(Unplanned Deployment)

雖然小型基地台的佈署相對靈活與彈性，但同時也造成系統布建的困難。主要原因是網路架設必須事前詳細規劃，全面考慮各種外在或是人為等因素以求達到網路裝置間最佳的協調合作性，進而達到使用者最



佳的服務感受。假如在調校好的系統中加入或移除某些裝置(routers 或 switches)，會間接或直接(正面或反面)影響系統的表現，所以為達到最佳表現系統必須再執行複雜的校對步驟。然而，異質網路執行系統優化校對更為複雜與費時，例如為了達到省電，小型基地台(如 femto-BSs)可隨時開機或是待機；如前面所說，家用小型基地台安裝容易，小型基地台安裝的位置是依用戶需求安裝，所以是無法預期的。此兩項因素造成在網路規畫初期的困難度增加，也無法預期可能的訊號干擾。因此，為解決此項問題傳統的網路規畫方式必須改變，為處理潛在或未預期的訊號干擾。訊號干擾管理必須要更為靈活，例如網路規畫區域化(localization)。傳統訊號干擾管理是考慮整體無線網路系統(centralization)，但異質網路下，區域性訊號干擾管理或許更適合。因為將整體網路劃分成小型區域，訊號干擾可利用區域性的訊息達到有效靈活的干擾消除效果。

### (2) 封閉型用戶群組(CSG Access)

前面已提，為了網路安全，小型基地台在封閉(CSG)模式下，只提供服務給其會員或授權用戶使用。在這情況下，靠近小型基地台無使用權的用戶終端裝置，可能遭受特別嚴重的干擾或是產生干擾其他周遭的裝置的雜訊，因此難建立穩定的下行傳輸通訊至使用者終端機。圖 32 (b) 中顯示 CSG 模式的家用 femto-BSs 的情況下，擁有使用權與無使用權的終端用戶會互相干擾。無使用權的終端用戶會連接到大型基地台，由於長距離的影響，下載訊號強度會比附近 CSG 模式家用 femto-BSs 低，因此 femto-BS 的強訊號會造成其他裝置嚴重干擾。對此同質網路資源重複利用所產生的干擾，小型基地台與大型基地台網路間必須透過基地台間的資源分配，以更多協調管理的方式減少基地台間干擾情形。

### (3) 訊號功率干擾(Power Different between Nodes)

pico-BSs 和 Relay 通常會設定在開放式接取模式下讓所有用戶可以自由接取，開放式接取的優點是可以減少下載(DL)的干擾與 CSG 干擾，因為用戶終端會傾向連接到最近的基地台或是選擇能提供強訊號的基地台。然而在異質網路下，如果只利用接收訊號強度(Received Signal Strength, RSS)為參考因素會造成大部分的使用者終端選擇大型基地台，主要原因是小型基地台與大型基地台的傳輸功率差異；小型基地台功率一般比大型基地台低很多。因此在異質網路中此機制並不是最佳選擇，也會造成訊務負載(traffic loading)的不平衡。至於干擾的來源主要是從大型基地台下載的訊號較強，對於連接於小型基地台低功率的使用者終端而言是一種嚴重干擾。圖 32 (c) 中顯示大型基地台下載訊號嚴重干擾附近 pico-BS 上傳訊號。然而如果加上考慮距離，連接距離較近的 pico-BS 由於低路徑損耗(path loss)終端使用者可以以較低的功率上傳(UL)，減少系統負載壓力和上傳干擾。

#### (4) 小基地台範圍擴展(Cell Range Expanded, CRE)

如前面所述的大與小型基地台的傳輸功率差異問題，當小型基地台與大型基地台之服務範圍重疊時，pico-BS 的終端使用者上傳訊號很容易被較強的鄰近大型基地台下載訊號干擾。在異質網路中小基地台範圍擴展技術(CRE)[11]，即藉由調整大型基地台功率進而增加服務範圍的方式解決此功率差異問題並改良資訊負載減輕大型基地台的干擾。然而對於圖 32 (d)中在小基地台範圍擴展中的使用者終端(pico UE)距離 pico-BS 遠所以所接收到的下載訊號會相對低，反而會被鄰近的大型基地台嚴重干擾。

從前面討論的幾項異質網路可能的干擾來源，可發現為發揮異質佈署的最大效益，資源協調分配的進階干擾管理技術是必要的。資源分配可於時域(time domain)、頻域(frequency domain)及空間域(space)執行。時域分配可加強適應使用者分布及流量負載的變化。舉例來說，大型基地台可依據小型及大型基地台服務的使用者終端裝置數量及/或依據使用者終端裝置的資料速率需求，在每個小型基地台使用的無線電訊框中，選擇保留部分子訊框。頻域分配的資源分配精細程度與彈性較低，不過仍然是可行方案，特別在非同步網路中。

### (三)小型基地台關鍵專利

專利號碼	EP2465307A2	申請國別	EP	法律狀態	審查中
專利名稱	Method and apparatus for interference mitigation by puncturing transmission of interfering cells				
	通過對干擾基地台的傳輸進行打孔來減輕干擾的方法和裝置				
申請日	08/11/2010		公開/公告日	06/20/2012	
專利權人	Qualcomm		發明人	Seong, Kibeom Luo, Tao Yoo, Taesang Zhang, Xiaoxia Doan, Dung N.	
優先權	US20090233107P				
專利家族	CN102474829 (A) EP2536225 (A2) EP2536225 (A3) JP2013502165 (A) JP5551248 (B2) JP2014030222 (A) KR20120056274 (A) KR20140046090 (A) TW201119452 (A) US2011190024 (A1) WO2011019835 (A2) WO2011019835 (A3)				
功效	習知缺點 (先前技術)	消除鄰近基地台間干擾是異質網路中最為關鍵的技術，其影響整體網路的表現。至於干擾的來源可能是當與大型基地台上下行傳送資料的終端用戶造成鄰近 femto 或是 pico 的干擾或是小基地台範圍擴展(Cell Range Expanded, CRE)時也會造成大型基地台的干擾。在這篇專利中特別討論造成實體層的廣播通道(Physical Broadcast Channel, PBCH)的干擾，廣播通道主要是在進行 cell search 時，攜帶系統頻寬等資訊，伴隨其中的資訊為主要訊息區塊(Master Information Block, MIB)。主要訊息區塊包含一些參數以供終端用戶接取基地台時使用。當在嚴重的干擾環境下，PBCH 的訊號會互相干擾因此造成終端用戶接取失敗。			
	提升效果與方法	異質網路中，PBCH 訊號會在各基地台與終端裝置間傳送，當兩訊號同時發送時會造成訊號間的干擾，在此專利中藉由調節 PBCH 訊號的傳送功率以降低訊號間干擾的情況。在專利中提到建立 PBCH			

訊號傳輸功率的 puncturing pattern。這裡所提的”puncturing”或是”puncture”是指降低傳輸功率。可能造成干擾的基地台建立 puncturing pattern 控制傳送 PBCH symbol 的輸出功率以減少干擾其他基地台。每一 PBCH symbol 的傳輸功率由 puncturing pattern 決定，此 pattern 可設定在每一 PBCH symbol 或 frame 或 subframe 的傳輸功率，為了考慮異質網路環境也加入基地台 ID 參數。基地台 ID 可能是 femto、pico 或 macro 類型基地台 ID。即使 puncturing pattern 相同也可以藉時間差達到減少干擾的效果。

代表圖示

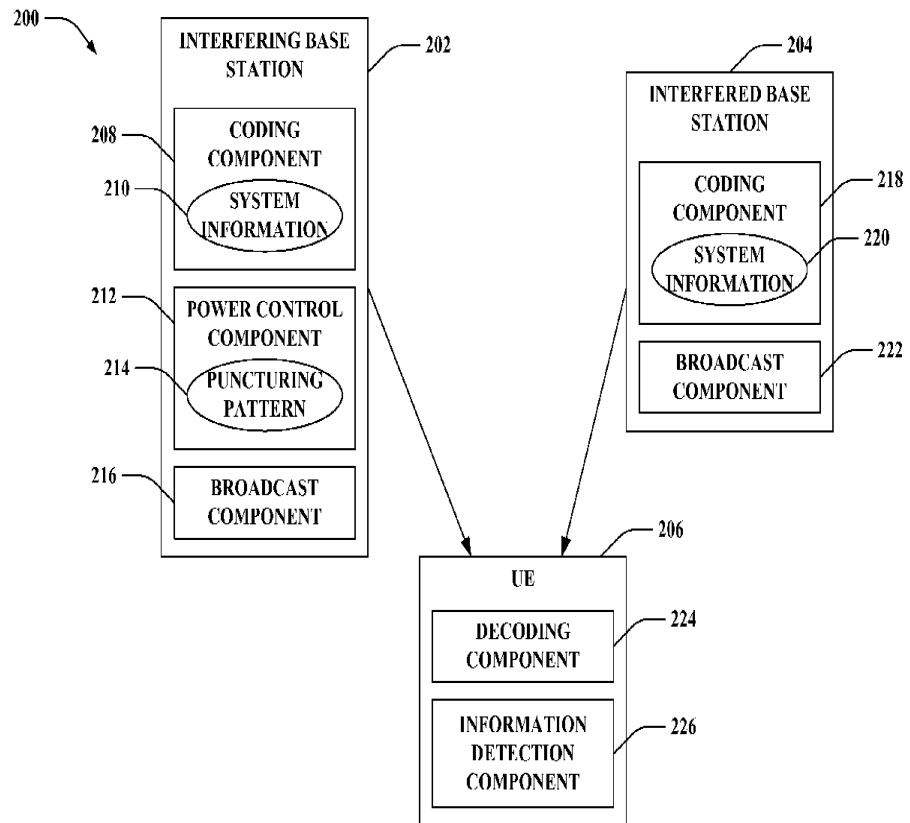


FIG. 2

## 二、 中繼(Relay)

### (一) 中繼目前發展

中繼站技術最早是列在 IEEE 802.16 [12]的工作項目中，討論第四代中繼站技術應用。如圖 33 所示，WiMAX 的中繼站技術用以延伸原先 WiMAX 系統的覆蓋率，並加強傳輸速率，解決在架設 WiMAX 基地台時須布建實體網路線所產生的營運成本昂貴問題。

3GPP[15]在規劃 LTE 時，中繼器技術亦列在第四代行動通訊技術中，用以輔助 3GPP 的基地台傳輸。圖 34 比較不同層級的中繼站技術差異。相對於中繼器(Repeater)為直接訊號做增強轉傳(Amplifier and Forward)的 Layer 1 層級中繼器，和能調整傳輸訊號做解碼轉傳(Decode and Forward)的 Layer 2 層級中繼站系統，3GPP 蜂巢系統可提供 Layer 3 層級的中繼站功能，讓使用者設備無須直接連接在基地台下，便可透過中繼站連上 3GPP 核心網路。相較一般使用者設備須連在基地台獲得基地台功能，3GPP 中繼站就提供一般基地台功能。

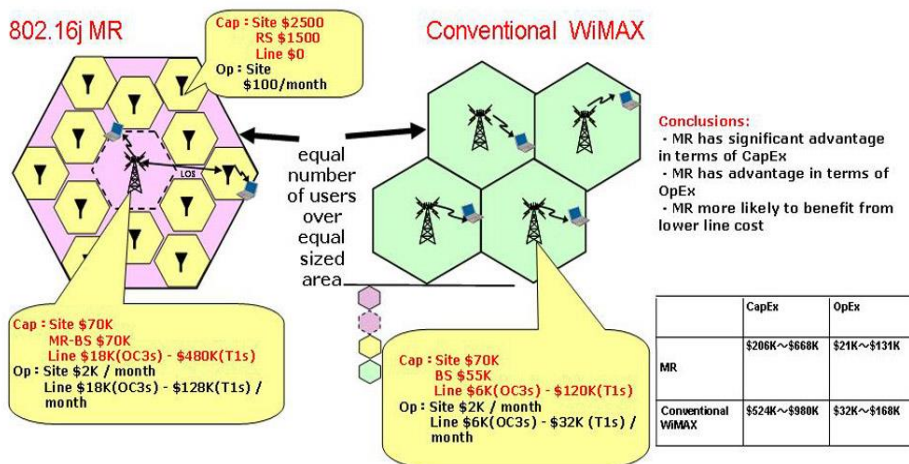


圖 33 802.16j MR 與現存 WiMAX 網路系統布建成本分析 [13]

### (二) 中繼之技術挑戰

中繼站系統可為原先的基地台提供更好的整體系統涵蓋範圍。而高通(Qualcomm)專利[16]也提及中繼節點的技術和應用(圖 35)。常見的中繼站布建，如圖 33 所示，用在補足原先蜂巢網路涵蓋，讓鄉村地區(rural area)或是郊區可在沒有足夠的有線核心網路布建下，利用中繼站來拓展涵蓋範圍(coverage extension)；或是透過中繼站來讓後端網路以無線技術(wireless

backhaul)來延伸基地台訊號；也因為 3GPP 中繼站提供基地台設備功能，因此可做為臨時布建或是在緊急救難時提供暫時性的基地台涵蓋範圍；在城市臨時需要增加傳輸量(urban hot spot)或是室內涵蓋(indoor hot spot)時，中繼站可快速增加整體系統容量；即便是地下室的訊號死角處(dead spot)，也可透過加裝中繼站讓使用者設備能連接上蜂巢網路。此外，透過中繼站技術，當使用者設備在交遞時，可取代原先使用者設備各自去跟基地台交遞所產生的大量訊號交換，改由中繼站提供使用者設備做群組交遞(group handover)以減輕系統負載。

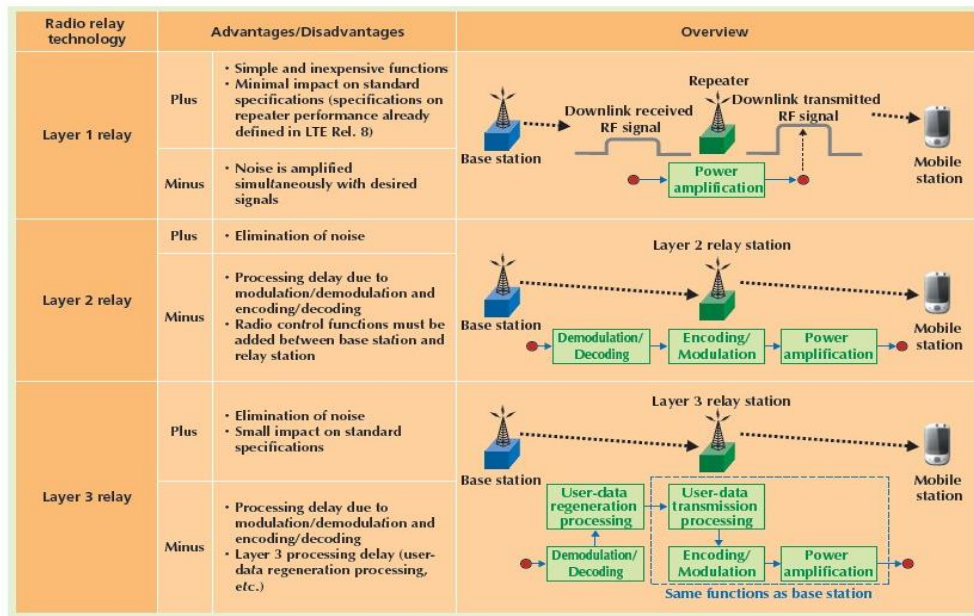


圖 34 中繼站分類 [14]

Scenario	Deployment	Number of hops
Rural area	Extend coverage to mountainous regions, sparsely populated areas	1 hop
Wireless backhaul	Extend coverage to mountainous regions, sparsely populated areas, remote islands	1 hop, multiple hops
Emergency or temporary coverage	Provide temporary coverage at times of disasters, events, etc.	1 hop, multiple hops
Urban hot spot	Expand coverage and enhance throughput in urban areas with high concentrations of traffic	1 hop
Dead spot	Fill coverage hole	1 hop, multiple hops
Indoor hot spot	Expand coverage to indoor environments and enhance throughput	1 hop
Group mobility	Install relay stations in public vehicles to reduce handover and location-registration control signals	1 hop

圖 35 中繼站應用[14]

3GPP 在第十版本(Release-10)中開始討論中繼站的技術，目前 3GPP 所制定的中繼站標準技術如下：

### 1. 固定式中繼站(fixed Relay)擴大基地台涵蓋範圍

3GPP 於 2009 年一月於無線端工作組(RAN WGs)成立中繼站研究項目(study item, SID)，研究中繼基地台訊號服務的情境和需求。相對於原先 3GPP 蜂巢系統，使用者設備無需直接連接上基地台，而可選擇透過中繼站去使用 3GPP 蜂巢網路服務。如圖 36 所示，3GPP 的中繼站稱為中繼節點(Relay node)，而服務中繼站的基地台稱為參與中繼站的基地台(DeNB, Donor eNB)，其所提供的蜂巢網路稱為 Donor cell。基地台和中繼站所使用的無線介面稱為 Un 介面，但中繼站因具有基地台功能，因此中繼站和使用者設備之間仍為原先 3GPP 蜂巢網路所定義的 Uu 介面。

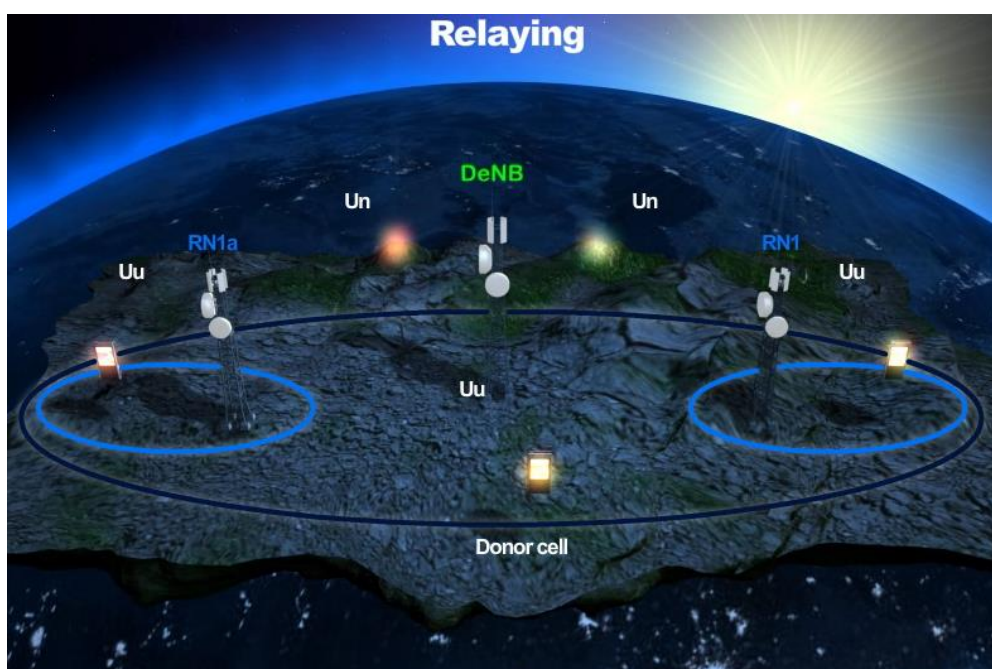


圖 36 固定式中繼站[15]

### 2. 移動式中繼站(Mobile Relay)提供高速移動鐵路服務

如中國大陸等開發中國家，由於一般客及商務客在搭乘高鐵時欲連上蜂巢網路的需求人數持續成長，但卻因為高速移動無法得到良好的傳輸品質。因此，運營商開始尋求可以提供高速鐵路上的使用者更佳的覆蓋率並提升傳輸品質的解決方法。因此，在 LTE-A 的架構中，大唐電信(CATT)在 2011 年提出的研究項目中，建議將中繼站用在高速鐵路。在 3GPP 的會期中，討論現有做法和移動式中繼節點(mobile Relay node)做法的不同與移動式中繼站可能遇到困難；並探討使用者順應高鐵的高速移動時所發生頻繁交遞問題。由於基地台在大量的使用者設備同時交遞時，不一定能維持連線的高品質，

因此，藉由建置移動式中繼站節點，可提供使用者設備在高鐵中良好的通話品質。

但由於移動式中繼站在高速移動時必須不斷的切換參與中繼站的基地台(eNB)，因此，解決頻繁切換的問題和找出有效率的路由方式就變成研究移動式中繼站需克服的技術重點。

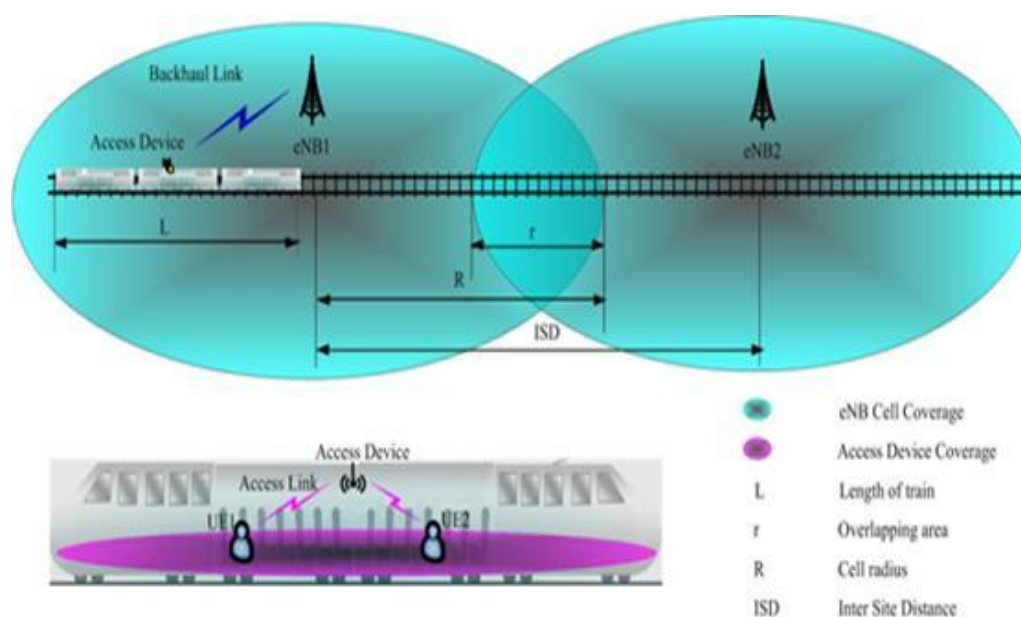


圖 37 高鐵上的移動式中繼站[15]

### 3. 中繼未來可能發展趨勢

固接式中繼站系統除了可支援一般使用者設備的通訊之外，亦可提供機器型態通訊(MTC, Machine Type Communication)設備更佳的 3GPP 蜂巢網路涵蓋。如圖 38 所示，機器型態通訊設備所構成的物聯網或智慧聯網，可利用固接式中繼站所提供的覆蓋延伸功能，讓機器型態通訊達到利用比一般使用者設備還低的傳輸功率即可回報相關資料的功效。當電力電表、天然氣電表、水表設備轉換成可以自動回報給機器型態通訊管理系統的智慧電表後，廣佈在橋樑或空曠地區溫度、濕度、震度等感測器，可藉由就近的固接式中繼站系統匯整欲回報的資料流，而無需讓低功率的智慧電表或感測器各自回報給基地台。由於智慧電表或感測器需要長時間及周期性的傳送量測資料，藉由固接式中繼站系統可以延長低功率的機器型態通訊設備的操作時間，並可減少機器型態通訊設備的製造成本，減低 3GPP 蜂巢網路需處理大量的機器型態通訊設備，造成過量訊號交換負載的問題。

此外，在為歐盟研發下一代第五代行動和無線通訊系統，而提出行動暨



無線通訊網路驅動計畫(METIS, Mobile and wireless communications Enablers for the 2020 Information Society)計畫[17]。如圖 39 所示，METIS 將延續 3GPP 的開發能量，讓第五代行動和無線通訊系統迅速提升整體系統的傳輸率及傳輸量。METIS 亦將部分中繼概念，應用在發展相關的專案研發計畫。

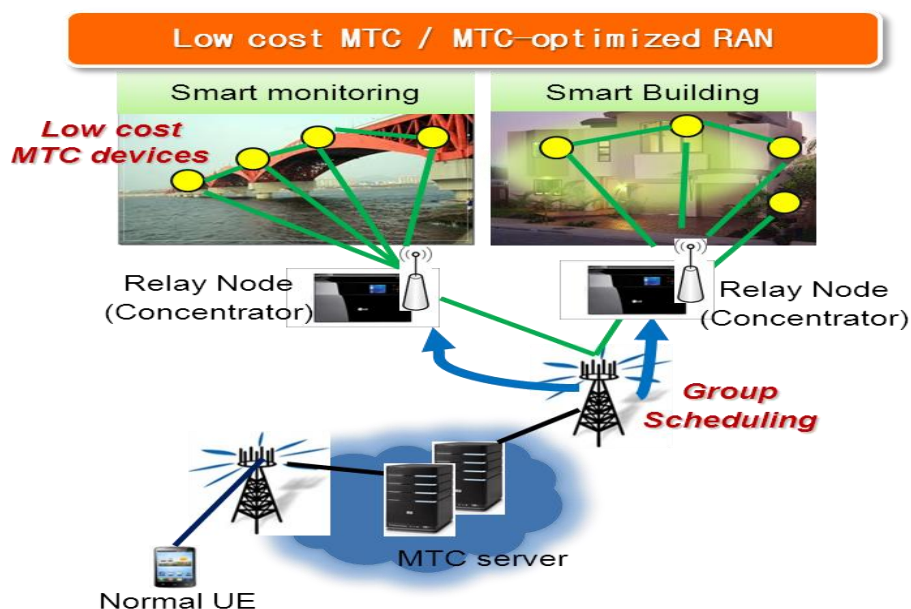


圖 38 固定式中繼站結合物聯網網路[15]

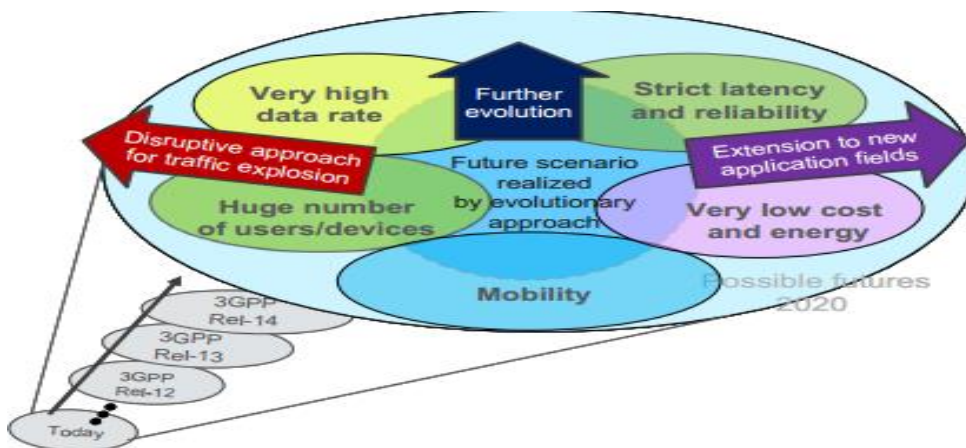


圖 39 3GPP 演進和 METIS 關係[17]

3GPP 在第十二版本(Release-12)已提出使用者設備的直接通訊技術，用以滿足公眾安全用戶的應用需求。METIS 在 Horizontal Topics(HT)針對其願景也將直接通訊技術(D2D, Direct Device-to-Device communication)放在第五代行動和無線通訊技術規劃中。為了達到區域中千倍傳輸資料量的網路流量，如圖 40 及圖 41 所示，第五代行動和無線通訊系統將沿伸 3GPP 的使用者間的直接通訊技術，提供使用者中繼站直接通訊模式(D2D Relay)，輔助直

接通訊使用者設備接取到基地台的訊號，或是可和非涵蓋範圍的直接通訊使用者設備通訊。圖 42 顯示 METIS 在直接通訊技術的強弱危機分析(SWOT)圖。

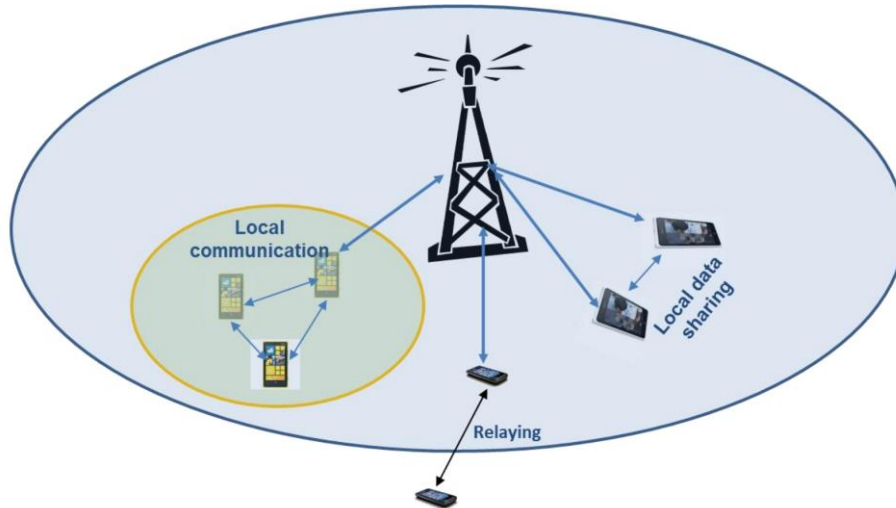


圖 40 使用者設備規模的中繼站[17]

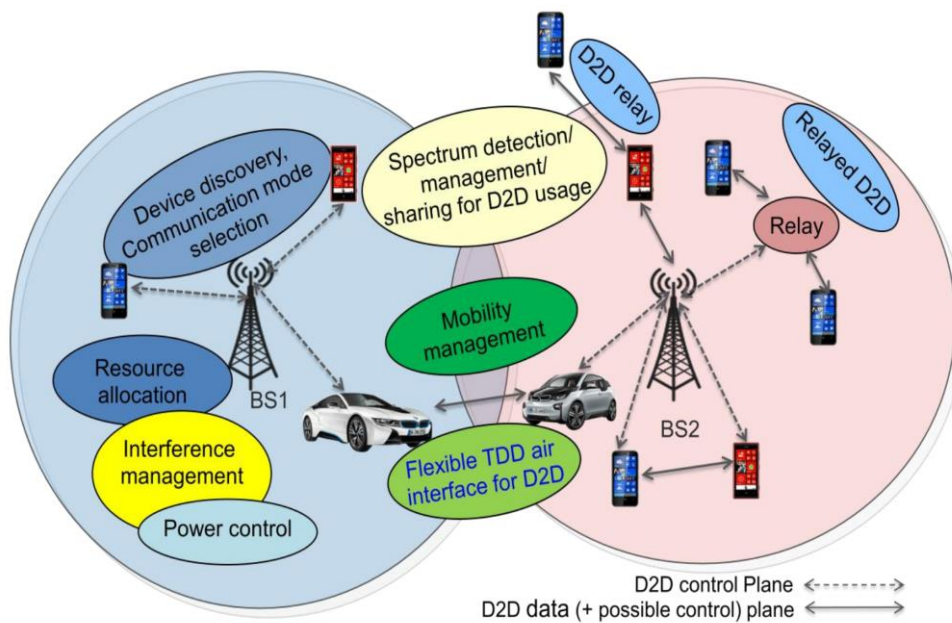


圖 41 使用者設備規模的中繼站技術方向[17]

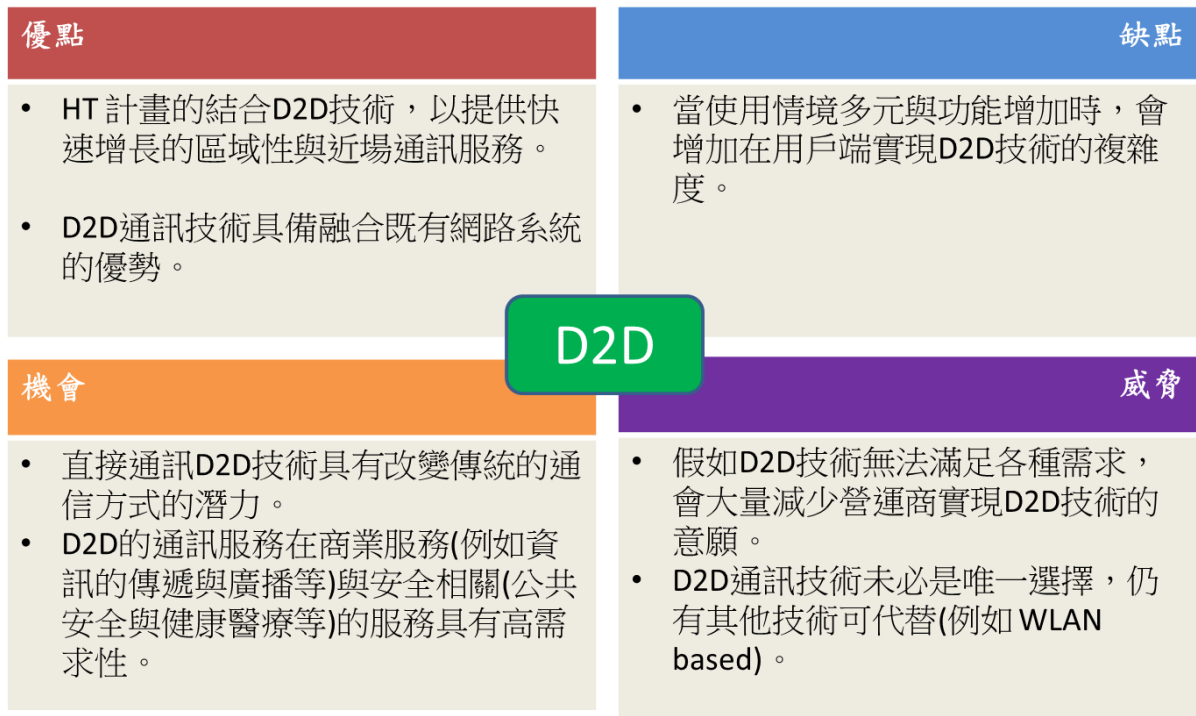


圖 42 METIS 的直接通訊技術 SWOT 圖[17]

此外，由於目前移動式中繼站的技術僅包含在固定軌道中(如高鐵行進)的技術，未包含如圖 43 所示在不特定行徑模式中，因此，可藉由研究移動式接取端技術來提升移動式中繼站在移動時的技術盲點。



圖 43 不特定行徑的移動式中繼站應用  
(來源：資策會劉舒慈整理與繪製)

移動式網路技術(MN, Moving Networking)列在 METIS 重點發展的主題之一，主要須滿足如下條件：

- 增進行動管理和行動裝置的連接力
- 增加涵蓋範圍和支援的容量
- 確保 E2E 延遲要求及安全相關應用的高可信性
- 增加延展性、動態性和適應性的網路佈建
- 低功耗和低營運成本

METIS 的移動式網路應用，分成三種研究方向去增加移動時的傳輸技術，如圖 44 所示。圖 45 顯示 METIS 在直接通訊技術的 SWOT 圖。

- MN-M(Mobility-robust high-data rate communication links)
- MN-N(Flexible and demand driven deployment of nomadic network nodes)
- MN-V(V2X communications)

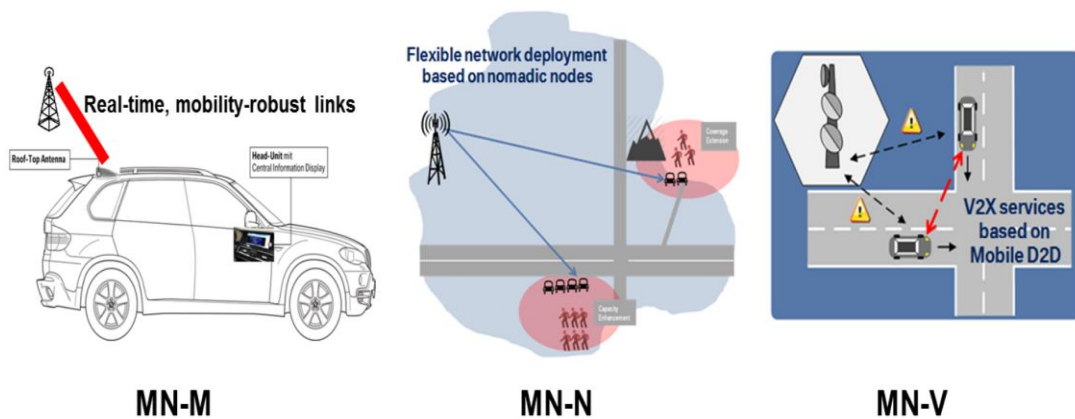


圖 44 移動式網路研究方向[17]



圖 45 METIS 的移動式網路研究方向 [17]

由於移動式網路技術將探討管理移動式蜂巢網路所產生的問題，藉由 METIS 中的移動式網路技術，可幫助移動式中繼站解決設備移動時產生的無線接取問題。移動式網路技術也可讓整體系統增加一千倍的資料傳輸量 (1000 times data volume)，增加十倍到一百倍的使用者資料傳輸率 (10 – 100 times user data rate)，減少五倍的端對端延遲率 (5 times reduced E2E latency)。利用移動式網路技術提升移動式中繼站技術，除了能增加蜂巢網路的訊號涵蓋，也能讓使用者設備即使在移動的網路中，也能得到第五代行動和無線通訊系統所預計的系統效能。

### (三) 中繼關鍵專利

專利號碼	EP2548399A1	申請國別	EP	法律狀態	審查中
專利名稱	<p>Methods and apparatus for best-effort radio backhaul among cells on unlicensed or shared spectrum</p> <p>用於未授權或共享頻譜上的，細胞服務區之間的最佳努力無線電回載的方法和裝置</p>				
申請日	03/17/2011		公開/公告日	01/23/2013	
專利權人	Qualcomm		發明人	Barbieri, Alan Bhushan, Naga Gaal, Peter	
優先權	US201113049773 ;				
專利家族	CN102792751 (A) JP2013523024 (A) KR20120140676 (A) TW201204135 (A) US2012063383 (A1) WO2011116240 (A1)				
功效	習知缺點 (先前技術)	<p>在異質網路的環境下，藉由各類型行的基地台的布建以達到最佳的網路效益。在龐大的裝置布建下，系統資源的管理變得相當重要。其中，頻譜的管理極為重要，現在的無線通訊系統大部分需在授權頻段(Licensed Band)間傳遞資料與控制訊號，因此目前授權頻段使用相當擁擠且造成相當嚴重的干擾，除此之外授權頻段不但有限而且昂貴。</p>			
	提升效果 與方法	<p>為解決授權頻段不足與嚴重干擾的情況，在異質網路中利用免授權頻段進行回傳機制。免授權頻段可稱為 unlicensed band、white space channels、authorized shared multiuser (ASM)、industrial, scientific and measurement (ISM) channels or shared spectrum。在中繼點的系統中包括至少一個基地台與一個中繼點。中繼點與基地台間的連結可以是藉由授權頻段與免授權頻段。兩種頻道選擇可以分流資料量。授權頻段可以傳送建立連結、維持連結、改變連結等類型訊號；免授權頻段可以傳送高資料量資料。至於兩頻道轉換可以依照通道目前的情況，當通道較為不穩定時可以使用授權頻段。相反的可以維持在免授權通道。頻道選擇機制的過程:基地台開始傳送回傳資訊包含 shared channel link 相關、shared channel link 監測、中繼點控制訊號和中繼點 radio bearer data 等，免授權頻段的選擇可以依據 signal to interference ratio(SINR)與通道資訊。</p>			

代表圖示

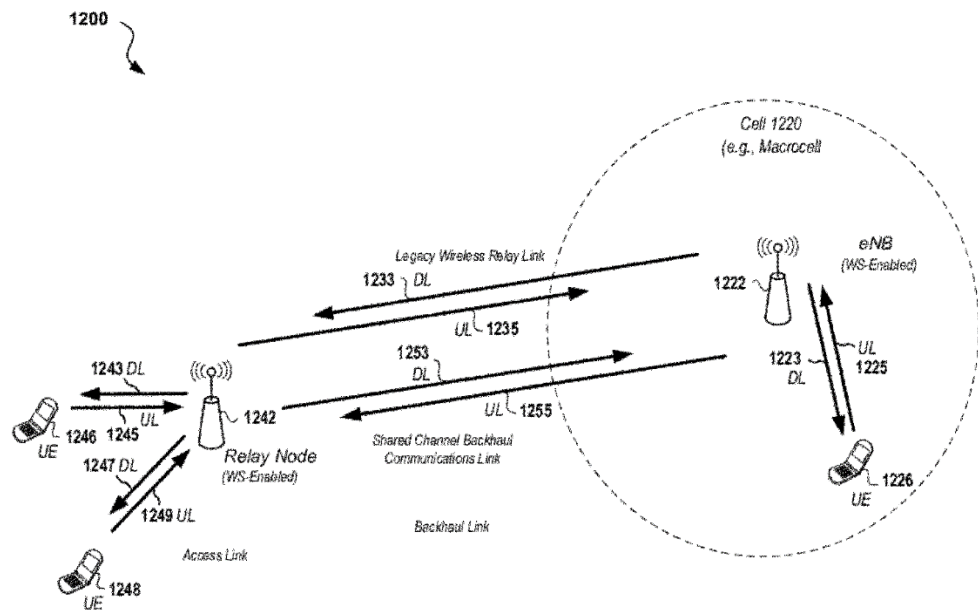


FIG. 12

### 三、 裝置與裝置間通訊(Device-to-Device Communications, D2D)

3GPP 於 2011 年九月於服務工作組(SA1 - Services Working Group)成立鄰近服務工作項目(ProSe WID)，研究鄰近服務的使用情境(use case)與基本需求，目前工作小組的主席由高通(Qualcomm)的成員擔任。該工作項目的研發目標為訂定使用情境與基本需求，以允許使用長期演進技術(LTE)的網路營運商能夠透過電信網路提供使用者裝置間的探索與通訊，該技術主要可拆分成兩個面向，分別是鄰近探索(proximity discovery)及鄰近通訊(proximity communication)。由於現有 LTE 的標準要求所有的網路資料與控制訊號皆須透過核心網路傳遞，故其無法完全支援鄰近探索與直接通訊的服務。相對於傳統終端設備(User Equipment, UE)需經過基地台(eNB)通信的架構、鄰近服務(ProSe)工作小組新增了直接傳輸模式(direct mode)架構。於 2012 年十一月於系統架構工作組(SA2 - Architecture Working Group)亦成立鄰近服務工作項目，研究鄰近服務的重要議題與系統架構 (architecture)之解決方案，目前工作小組的主席由高通的成員擔任。該工作項目的研發目標為釐清重要議題與訂定系統架構之解決方案，以允許使用 LTE 技術的網路營運商能夠透過電信網路提供使用者裝置之間的探索與通訊，目前已經完成鄰近服務之系統架構及相關標準文件。

#### (一) 裝置與裝置間通訊目前發展

##### 1. 提供公共安全服務

隨著防災意識高漲需求擴大，公共安全相關的議題亦受到重視。以 2011 年 3 月 11 日襲擊日本東北的地震為例。因地震導致地盤變動與地震中面臨的二次災害如大海嘯，使位於受災地區附近的網路設備陷入無法使用的狀況。是故，如何將 LTE 技術應用於公共安全的議題極為重要。該議題乃是依據美國聯邦通訊委會(Federal Communications Commission, FCC)於 2011 年 1 月 25 日之公告，將 LTE 技術作為國家級的緊急救難(First Responders, FR)的寬頻通訊標準。聯邦通訊委會 (FCC)之公告為『所有使用 700 MHz 之公共安全寬頻網路將使用 LTE 技術作為共同平台，以達成網路漫遊與通訊設備之互通性』如圖 46。今天商用蜂巢網路與公共安全專用網路是兩個獨立系統，以提供地面廣域無線通信技術的服務。隨著 NPSTC、TCCA 和歐洲電訊通信標準化機構之 TETRA 技術委員會的支持，LTE 技術已經明確成為下世代無線寬頻公共安全網路的全球標準。為了對這網路用戶提供最好的服務，他們正在建立共同的技術標準以同時支援這兩個網路系統。



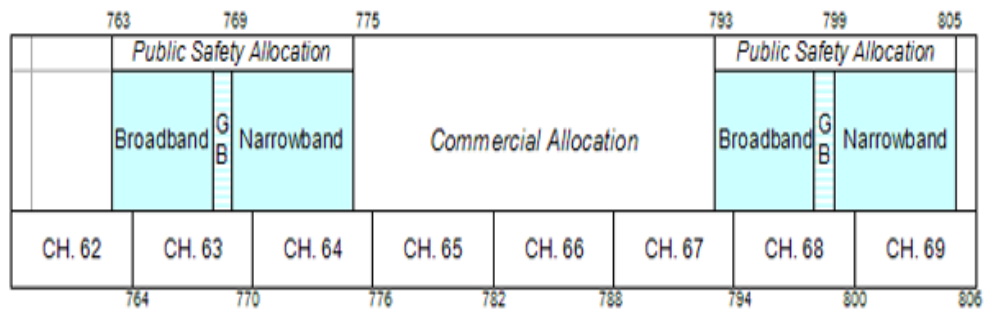


圖 46 700 MHz 之公共安全頻譜  
(來源：[www.fcc.gov](http://www.fcc.gov))

3GPP 正在第十二版本(Release-12)加強 LTE 技術標準以滿足公眾安全用戶的應用需求，使公共安全用戶能獲得商用蜂巢網路於經濟規模和技術優勢。鄰近探索與通訊技術及群組通訊技術發展於公共安全服務用途上，由於美國商務部(US Department of Commerce)的強力推動下有較大的進展，故應適時調整研發與專利智財佈局。鄰近服務直接通訊技術及群組通訊技術從現階段至未來五年間，其發展方向會以公共安全標準技術與應用為重點。因此公共安全相關技術之研發與專利智財佈局應視未來使用案例之發展而定，而基於 LTE 技術為基礎的直接探索技術，其專利智財佈局應作長期研發之準備。對於商用蜂巢網路的營運商能獲得機會，參與解決並改進公共安全網路系統，同時能夠提供消費者和企業有趣的應用程式。發展此一生態系統也需要每個國家制定正確的政府政策，並提供商業環境和頻譜規劃。然而，這些都是超出了 3GPP 於技術標準討論與制定的範疇。

依據上述之描述訂定公共安全的基本規範如下，公共安全裝置應該需要能夠同時運行在公共安全與商用網路之頻譜，然而公共安全之頻譜僅限於公共安全使用。公共安全之終端裝置即使在不同的網路營運商下仍然可以使用公共安全通訊服務通訊如圖 47 所示。而且要考量其它地區之公共安全法規規範，例如美國政府就依據 2012 年的中產階級稅收減免和創造就業機會法案(Middle Class Tax Relief and Job Creation Act of 2012)於國家電信與資訊管理部門(National Telecommunications and Information Administration, NTIA)下成立一個獨立的緊急救難網路管理機構(First Responder Network Authority, FirstNet)，作為第一個提供美國全國性緊急救難的高速公眾安全網路。

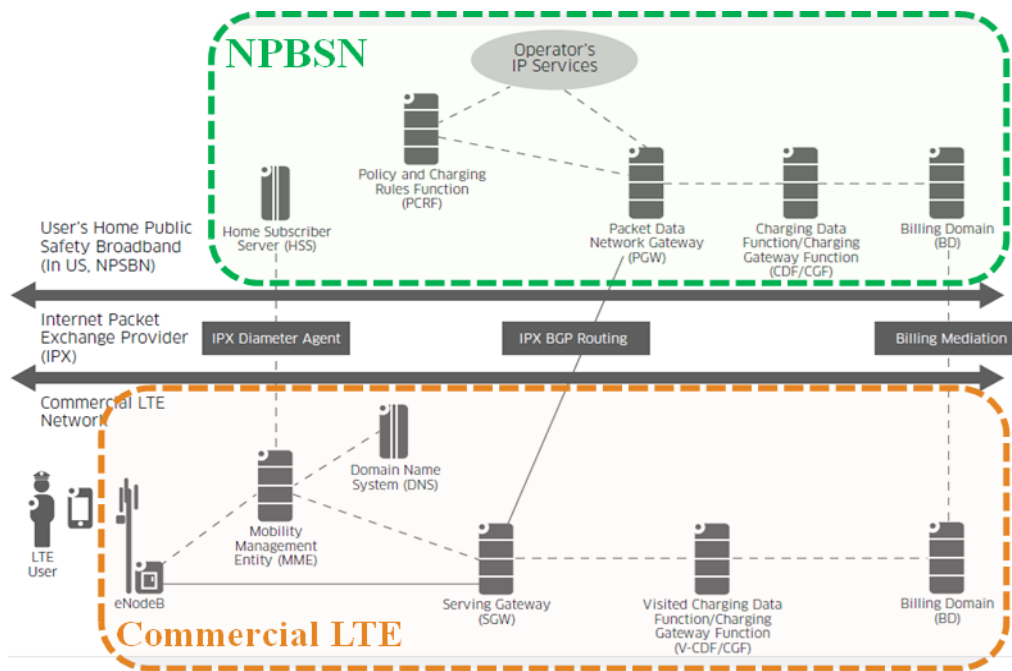


圖 47 藉由 LTE-A 技術提供公共安全通訊服務  
(來源：NPSTC)

每一技術發展具有它獨有的特性與軌跡，所以在這章節希望能介紹此技術目前應用與研究趨勢。可以參考一般文獻(e.g. IEEE)或是專利解析此技術相關研究趨勢。也可以以各公司或各國家角度解析此技術發展的情況、國家投資情況，或此技術未來可提供的服務等。希望能以多面向去討論此技術的發展情況。

## 2. 使用區域無線網路技術實現鄰近服務 (Proximity-based Service via WLAN)

依據鄰近服務 (ProSe)工作項目之目標，該工作項目允許終端用戶能夠探索鄰近的終端用戶，並允許終端用戶間進行點對點直接通訊 (direct mode communication)，圖 48 所示。該工作項目僅要求終端用戶需要持續於 LTE 技術網路覆蓋下接受其控制，並未規範資料交換的無線存取技術。換言之，ProSe 服務本身可以透過整合無線區域網路 (WLAN)與 LTE 技術系統來實現，並透過 LTE 技術系統來控制無線區域網路(WLAN)間的資料交換，圖 49 所示。依據鄰近服務(ProSe)的 Stage 1 及 Stage 2 之技術規格報告 TR 22.803 及 TR23.703，其點對點直接通訊的資料通道(data path)可移到無線區域網路通訊裝置上執行(如 Wi-Fi)，但仍需透過 LTE 技術建立其控制通道(control path)。目前大多數的智慧型手機都配備了 LTE 技術與無線區域網路(WLAN)通訊裝置。這些通訊裝置皆具備點對點直接通訊的能力，允許電信營運商針對 LTE 技術無線擷取網路進行卸載，並且進一步減低對 LTE 技術無線存取的干擾，故透過無線區域網路(WLAN)進行直接探索與通訊特別適合於商用、

社交與網路卸載 (network offloading) 之使用情境。但因為美國聯邦通訊委員會(FCC)已經聲明公共安全(Public Safety)的使用情境必須使用純粹的LTE技術，故無線區域網路(WLAN)並不適用於公共安全之應用。

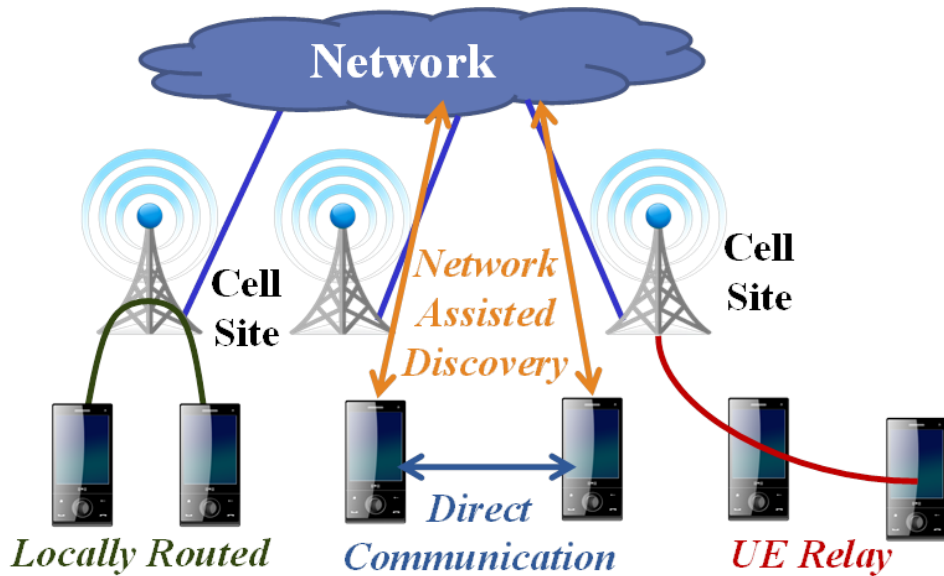


圖 48 鄰近探索與通訊技術  
(來源：資策會蔡宜學、簡均哲、劉舒慈整理與繪製)

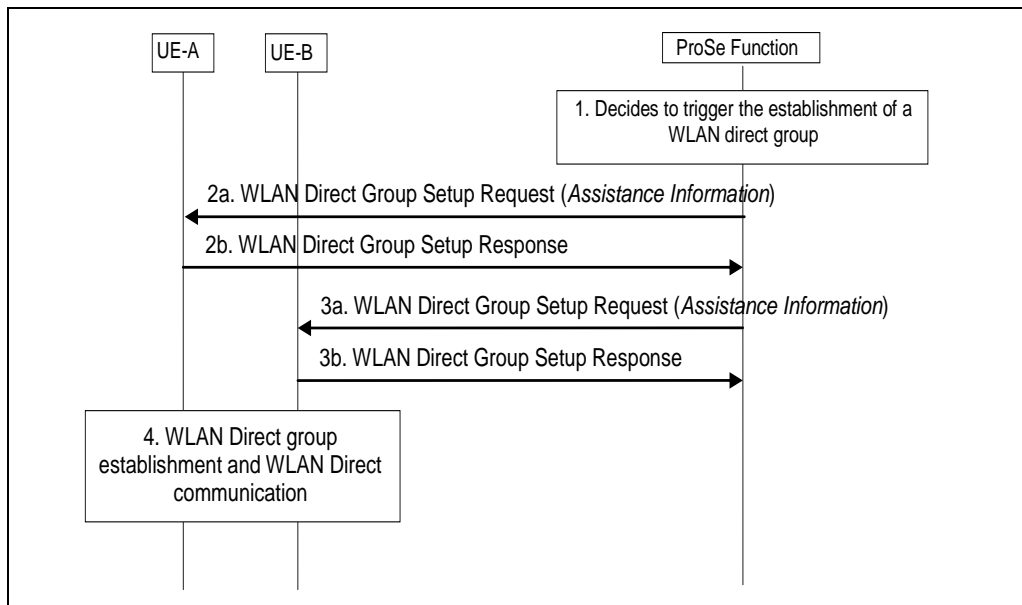


圖 49 支援鄰近服務的核心網路 (EPC) 架構  
(來源：3GPP)

## (二)裝置與裝置間通訊之技術挑戰

歐盟是目前在全球各大組織當中，對未來 5G 技術標準制定最為積極的組織。歐盟對於 5G 技術期望能達到的效果列出以下 5 項願景。裝置與裝置間通訊技術具有潛力達成此 5 項願景，仍有許多議題與挑戰必須克服。

- 1000 times higher mobile data volume per area,
- 10 to 100 times higher typical user data rate,
- 10 to 100 times higher number of connected devices,
- 10 times longer battery life for low power devices,
- 5 times reduced E2E latency.

### 1. 合法監聽之議題 (Lawful interception issues)

依據 3GPP 的三份文件 TS 33.106、TS 33.107 與 TS 33.108，合法監聽為行動通訊網路的基本要求，並且要能符合國家法規限制被監聽者可能使用的通信服務。在一般情況下，電信營運商所提供的電信服務應該都要能夠滿足合法監聽(Lawful Interception, LI)的規範。電信營運商在法院授權批准後，須依法協助授權的官方人員監聽目標的通訊內容。現存的合法監聽架構其功能位於核心網路中，為了完成合法監聽的功能，由電信運營商提供的網路服務必須能夠識別並隔離被監聽者之終端裝置或用戶的通訊信號，如圖 50。在獲得司法單位(law enforcement agency, LEA)的授權後，系統需要在確保原先服務連續性的情況下進行通訊監聽，並進一步提供被監聽者通信的相關監聽內容。監聽期間必須做到不被用戶偵測，故在合法監聽時不可以影響使用者的通訊。是故如果減低 QoS、造成服務時間延遲(latency of service)以及增加裝置功率可能會讓被截聽者得知。

提供終端間直接通訊(direct communication)的能力將使其無法被核心網路所監聽。當執行合法監聽時，為了解決此一問題可以切換被監聽者終端間的直接通訊至一般網路通訊，亦或停止被監聽者的終端間直接通訊功能。合法監聽的機制也同時需要考量被用於商業鄰近服務的頻譜，如授權頻譜(licensed spectrum)、免執照頻譜(unlicensed spectrum)或其他授權頻譜等等。相關的網路訊令(signaling)以及直接通信加密機制亦是合法監聽直接通訊一個待解的問題。由於合法監聽功能同時也要求回報其位置，故鄰近服務可以用於提供被監聽者的位置。依據部分國家的監聽法規，只有獲得電信網路信賴的位置資訊才需要回報給執法部門；其他國家則要求將所有被監聽者的位置資訊及其位置的信賴度一併回報給執法部門。

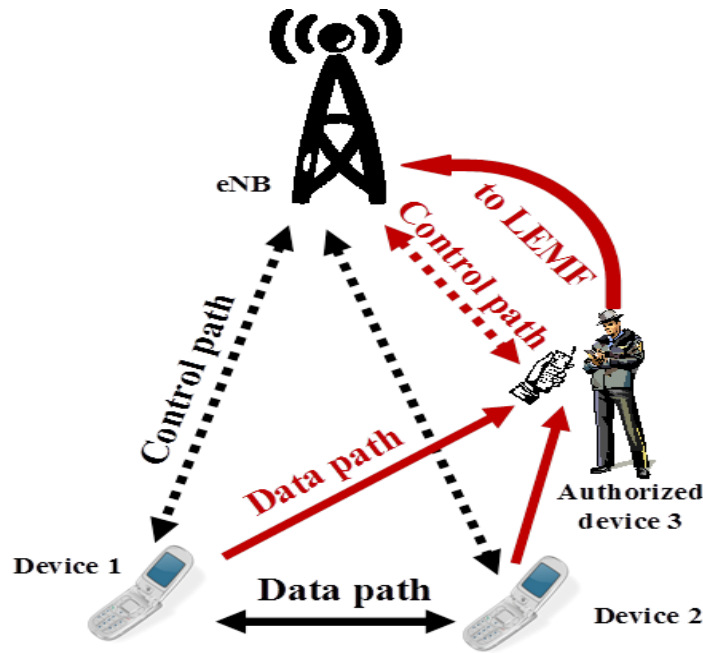


圖 50 支援直接通訊的合法監聽架構  
(來源：資策會蔡宜學、簡均哲、劉舒慈整理與繪製)

## 2. 鄰近服務功能的系統架構設計(Architectural Reference Model)

3GPP 系統期提供以下功能以啟動 ProSe 服務: EPC-level ProSe discovery、EPC support for WLAN direct discovery and communication、Direct discovery、Direct communication、UE-to-Network Relay。圖 51 顯示出了支援鄰近服務功能的系統架參考架構。根據此架構圖，可針對各個介面進行網路端的直接通訊進行系統設計。

針對非漫遊參考架構(圖 51)定義其參考點:

- PC1 是介於用於 ProSe application 和 ProSe Application Server，可以提供應用層面之控制訊號。
- PC2 是介於 ProSe Application Server 和 the ProSe Function，3GPP EPS 藉由 ProSe Function 可使用於 EPC-level ProSe discovery
- PC3 是介於 UE 和 the ProSe Function，可用來授權 ProSe Direct discovery 以及 EPC-level ProSe discovery，配置 ProSe Application Code，並根據每個 PLMN 來定義 ProSe direct discovery 和 communication 的授權策略。
- PC4a 是介於 HSS 與 ProSe function 間的參考點，可以使用來提供 subscription information 以提供授權讓 UE 使用 ProSe direct discovery 及 ProSE direct communication 的服務；此外，也可以讓 ProSe function 使用來擷取 EPC-level ProSe discovery 所需的相關 subscription data。

- PC4b 是介於 SLP (SUPL Location Platform) 與 ProSe function 的參考點，是 ProSe function 當做 LCSclient 時使用來請求 SLP server 的位置服務。
- PC5 是介於具有 ProSe 功能的 UE 間，以提供 UE 間 ProSe Direct Discovery, ProSe Direct Communication and ProSe UE-to-Network Relay 服務。

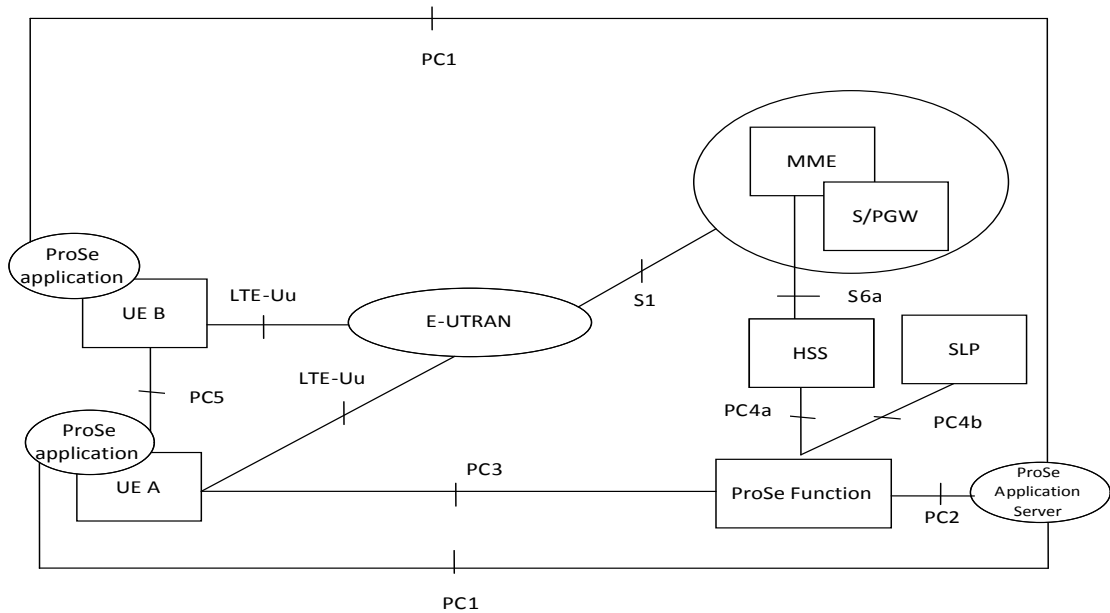
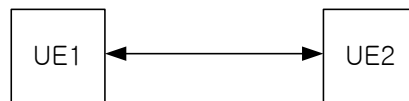


圖 51 非漫遊參考架構

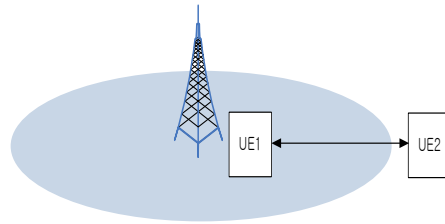
(來源：3GPP TS 23.303 version 12.2.0 Release 12)

### 3. 3GPP 鄰近服務功能於無線控制端的設計

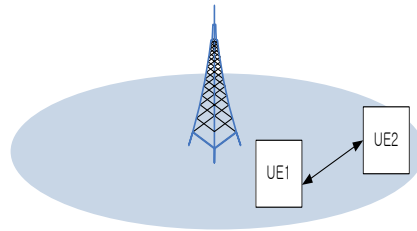
目前 3GPP 針對鄰近通訊的標準制定如火如荼的展開 (TR 36.843)，主要的應用情境如下圖所示(圖 52)，技術涵蓋範圍為鄰近搜尋與鄰近通訊的制定：



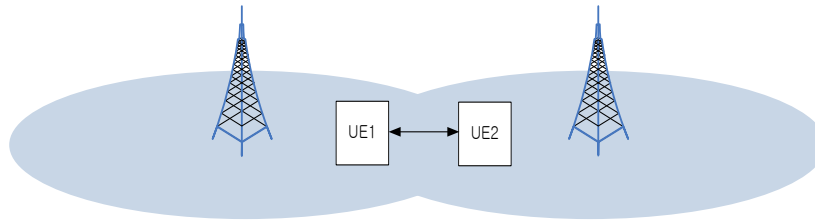
(a) Scenario 1A



(b) Scenario 1B



(c) Scenario 1C



(d) Scenario 1D

Scenarios	UE1	UE2
<b>1A: Out-of-Coverage</b>	Out-of-Coverage	Out-of-Coverage
<b>1B: Partial-Coverage</b>	In-Coverage	Out-of-Coverage
<b>1C: In-Coverage-Single-Cell</b>	In-Coverage	In-Coverage
<b>1D: In-Coverage-Multi-Cell</b>	In-Coverage	In-Coverage

圖 52 鄰近通訊使用情境 (來源：3GPP TS36.843)

鄰近搜尋：包含應用情境 1C 與 1D，用戶端可藉由 LTE 的無限資源尋找鄰近的用戶端，亦可夾帶用戶端的部份資訊，在商業的應用中可視為廣告的資訊。此技術項目在 3GPP 探討的範圍包含搜尋資源的分配，搜尋識別的形式與配置。

直接通訊：包含應用情境 1A,1B,1C 與 1D，用戶端可直接與鄰近用戶進行直接通訊，不需透過 LTE 網路端來轉傳數據，因此可降低基地台的負載，然而資源的管理與安全性的措施仍會受到基地台的控制。此技術項目探討的範圍包含網外與網內的資源分配管理，同步訊息的設計與傳送方法等。在公共安全的應用中，1A 與 1B 的情境在救災的場合顯得格外重要，需在

用戶端缺乏網路資源的情況下仍能持續運作，此亦為鄰近通訊的一項特色。

以上的鄰近通訊方式在 3GPP Release 12 為了簡化設計的原因，關於服務品質(QoS, Quality of Service)的部份在 R12 並未討論，在鄰近搜尋的設計方面，主要的考量因素為能搜尋到的最多使用者，對於接收的可靠度則較不是設計的重點。在直接通訊方面則是以群組廣播為主，功率控制亦是以開放式演算法決定，無法確保服務品質。在 3GPP Release 13 則會朝向服務品質與可靠度的方向去設計，相關專利[1]已著重此議題，可作為未來發展方向的參考。另因為鄰近通訊的應用會耗費部份既有 LTE 通訊的資源，因此如何取得兩種通訊應用的平衡，減少相互的干擾亦是值得重視的議題。

#### 4. 裝置與裝置間通訊未來可能發展趨勢

METIS 在 HT(Horizontal Topics)的規劃中，將直接通訊技術列在重點發展的主題之一，如圖 41 所示，基地台下的手機間可以利用直接通訊技術溝通，基地台可提供輔助直接通訊的控制技術，移動中的車子也可用直接通訊技術(D2D/V2V)技術來彼此通訊。透過直接通訊技術可望增加短距通訊的傳輸，讓整體通訊傳輸量達到 5G 的規劃，(如區域中千倍的傳輸資料量(1000 times higher mobile data volume per area))。在目前 METIS 的研究中，在考慮低於 6GHz 的測試環境下的載波頻率中，規劃八種 Propagation 的模擬模型(PSs, Propagation Scenarios)，目前已為直接通訊技術規劃 PS#9、PS#10、PS#13 三種模擬模型，如表七

表七 METIS 模擬模型 [17]

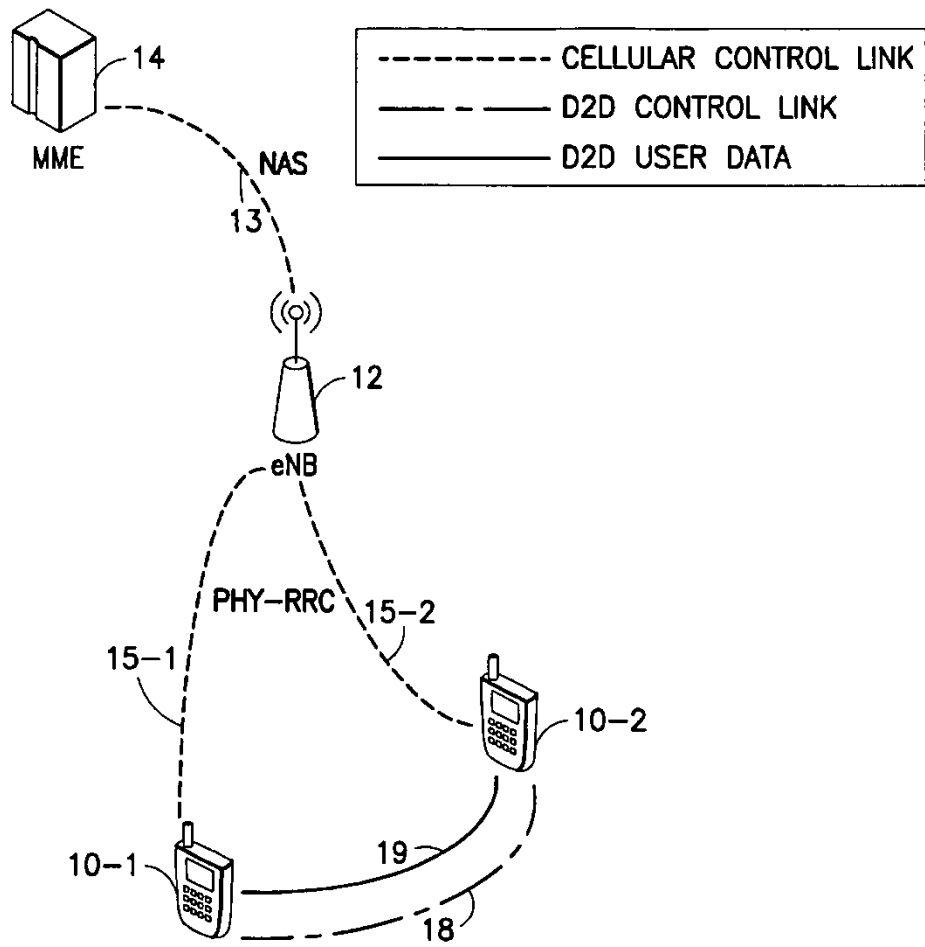
BS-MS	Urban Micro O2O	PS#1
	Urban Micro O2I	PS#2
	Urban Macro O2O	PS#3
	Urban Macro O2I	PS#4
	Indoor Office	PS#7
D2D	Urban O2O (also V2V)	PS#9
	Urban O2I	PS#10
	Indoor Office	PS#13



### (三)裝置與裝置間通訊關鍵專利

專利號碼	US8548483B2	申請國別	US	法律狀態	已公告
專利名稱	Feedback mapping for D2D control signals 裝置與裝置(D2D)控制信號之回饋映射				
申請日	10/04/2010	公開/公告日	10/01/2013		
專利權人	Nokia Corporation	發明人	Phan, Vinh V. Hakola, Sami-jukka Koskela, Timo K.		
優先權	US20100924749				
專利家族	US2012083283 (A1) EP2625812 (A1) WO2012046173 (A1)				
功效	習知缺點 (先前技術)	在 D2D 叢集(cluster)的系統中如何有效處理控制訊號避免例如過大的控制訊號 overhead 而犧牲可傳送資訊的頻寬或是如何有效處理控制訊號接收確認混合式自動重複請求(HARQ, Hybrid Automatic Repeat Request), 也就是當有多種裝置在 D2D 叢集, 每一裝置必須回復 HARQ ACK/NACK, 如何根據下行通道安排上行通道傳遞 HARQ ACK/NACK 考慮如何分配上下行(PDCCH 與 PUCCH)資源給多裝置環境。雖然目前 LTE 系統中有談到 PDSCH, 即可回傳多個 HARQ 在 PDSCH 中, 但缺點是在 D2D 叢集中的每一裝置必須同步, 因此目前還不適合 D2D 叢集中浮動情況。			
	提升效果與方法	有效分配裝置上行資源(PUCCH)給在 D2D 叢集中的一群裝置。在 D2D 叢集中上行資源的配置是映射(mapping)下行資源與參考相關裝置位置配置。其中上下資料是指 PDCCH 跟 PUCCH。這裡所指的位置是指裝置在 D2D 叢集中的相對位置, 位置可以藉由其他在 D2D 叢集中的裝置互相告知得知或是由基地台給定並將此訊息儲存。基地台也可以藉由裝置的位置得知它接收哪一裝置的 PUCCH 的訊息。D2D 叢集中的裝置可利用分配到的 PUCCH 資源傳送 HARQ ACK/NACK、CQI 或是排程請求(scheduling request, SR)給其他裝置。			

代表圖示



## 四、自我組織網路(Self-organizing Networks, SON) 與交遞(Handover)

在第三代(3G, third generation)無線通訊網路的建置後，無線通訊產業漸漸成熟蓬勃，新興的技術更能提供消費者更多元的手機服務，因此智慧型手機用戶預估在 2018 年將會增加到 10 億支。但也因此讓營運商更願意投資在擴建設備，因應未來增加的使用者與資料量。LTE 標準下的的架構將因為這樣的趨勢會越來越複雜，甚至到未來 5G 時代會日趨嚴重。現在的網路部署主要是以大型基地台為中心，架設大型基地台必須審慎挑選設置地點，以達到最大涵蓋範圍，同時降低基地台間的干擾。基地台設定包括流量需求的調配，射頻訊號的設定，基地台功率設定，基地台蜂巢分割等都是希望克服容量及網路設備配置等限制，達成較好的使用者經驗，不過這種部署程序既複雜又繁複。因此如何簡化架設網路將是一重要課題；包括網路架構的設計，網路設備的設定，系統的優化和自動化等。在這種種的限制因素下，發展自我組織網路(SON)變得格外重要，自我組織網路可以提供自我管理功能，根據網路狀態自動調節達到網路最佳狀況，也可以簡化網路架設的複雜度並且減少基本資本性成本(Capital expenditure, CAPEX)以及營運支出(operational expenditure, OPEX)。

### (一) 自我組織網路目前發展

3GPP 最早在第八版 (Release 8) 已經將 SON 技術納為標準。3GPP SON 標準建立主要是希望能提供統一標準讓各供應商能夠正確實現 SON 的功能和技術。3GPP 在接下來的版本持續發展與加強 SON 技術如下[18]:

在 Release 8 中，SON 一開始主要是在加強 LTE 網路 Enhanced Node Base Station (eNB) 的自我設定(self-configuration)。尤其是初始架設設定，步驟包括:

- 自動存貨(量)管制 Automatic Inventory
- 自動軟體下載 Automatic Software Download
- 自動建立鄰近基地台的關係 Automatic Neighbor Relation, ANR
- 自動細胞辨識碼分配 Automatic Physical Cell ID (PCI) assignment

在 Release 9 中，利用 SON 技術增加多項可選擇的功能；主要是優化 LTE 網路架構，包含以下功能:

- 行動強固性和交遞最佳化 Mobility Robustness/Handover Optimization, MRO

- 隨機存取通道最佳化 Random Access Channel (RACH) optimization
- 負載平衡最佳化 Load Balancing Optimization
- 跨基地台干擾協調技術 Inter-Cell Interference Coordination (ICIC)

在 Release 10 中，在 macro 和 metro 基地台網路架構下 SON 技術功能提供各類基地台與行動裝置間的協調機制。並加強既有的使用案例與定義新的使用案例包含以下所列：

- 覆蓋與容量的優化 Coverage & Capacity Optimization (CCO)
- 加強跨基地台干擾協調技術 Enhanced Inter-Cell Interference Coordination (eICIC)
- 基地台失效偵測與補償 Cell Outage Detection and Compensation
- 自行復原功能 Self-healing Functions
- 最小驅動化行車測試(或，最小路測)Minimization of Drive Testin
- 能源節約 Energy Savings

在 Release 11 加強以下功能：

- 自動建立鄰近基地台的關係 Automatic Neighbor Relations
- 負載平衡最佳化 Load Balancing Optimization
- 交遞最佳化 Handover Optimization
- 覆蓋與容量的最佳化 Coverage and Capacity Optimization
- 能源節約 Energy Savings
- 協調各種自我組織網路功能 Coordination between various SON Functions
- 最小行車測試 Minimization of Drive Tests

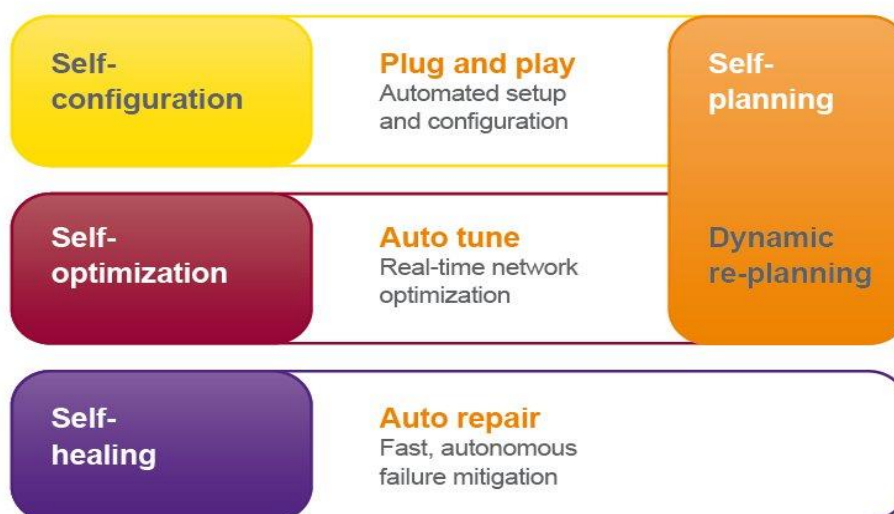


圖 53 自我組織網路(SON)主要三大功能[19]

綜觀前面幾項3GPP版本可以歸納出自我組織網路其功能可分為自我設置(Self-configuration)、自我優化(Self-optimization)、自我修復(Self-healing)、用戶可感知的品質強化(User Perceived Quality Enhancement)、節省能源、SON for Home eNodeB、混合管理架構(Hybrid Management Architecture)等部分，前三項為SON主要的三大功能[20]列於圖53中。

#### 1. 自我設置(Self-configuration):

關鍵在於即插即用(plug and play): 布建基地台時，自動配置相關參數整合到現役的其他基地台網路中，亦即一台新布建的基地台在電源一開啟(power on)時，此基地台馬上會被其他基地台認識並註冊到基地台網路中(建立X2介面)。這時鄰近的基地台會自動調整參數，例如發射功率、天線角度等等，主要是為了因應另一座基地台的上線會造成原本的無線環境干擾增加。以市區的基地台密度而言，架設新的基地台，必定會影響周圍的訊號品質，如果因為一台基地台而需要將附近的基地台逐一進行重新設定，想必是一件非常費時費工事情，因此自動調整基地台參數以達到訊號覆蓋範圍和基地台服務的使用者數量，將會替電信營運商省下人力重複運用的成本。[20]

#### 2. 自我優化(Self-optimization):

關鍵在於自動調整(auto tune)，藉由觀察基地台和用戶裝置的行為，自動調整基地台參數，透過ANR(Automatically Neighbor Relations)自動建立鄰近基地台的關係，以確保用戶裝置在移動中交遞的穩定性，除了自動調整參數維持訊號品質外，也能達到適當的功率節省，例如網路用量屬於離峰時間的時候，自動關閉部分的基地台，並且重新配置被關閉基地台鄰近基地台的參數，例如增加基地台的功率，利用電子傾角(electrical tilt)調整天線角度等，來維持減少基地台時的訊號品質，而當使用量增加時，屬於關閉的基地台會瞬間被開啟，這種機制可讓營運商節省電力輸出的成本。然而，當自我組織網路發現基地台負載過大時，例如使用者上線人數過多，也會自動調整參數來達到負載平衡(load balancing)的功能。[20]

#### 3. 自我修復(Self-healing):

關鍵在於自動修復(auto repair)，藉由自動修復來降低損壞的基地台對整體網路的影響，主要是能立即發現並判斷基地台損壞的原因，以維護訊號品質，而這在傳統的Legacy網路中較難鑑別有損壞基地台，並且需要較多的資源去修理。[20]

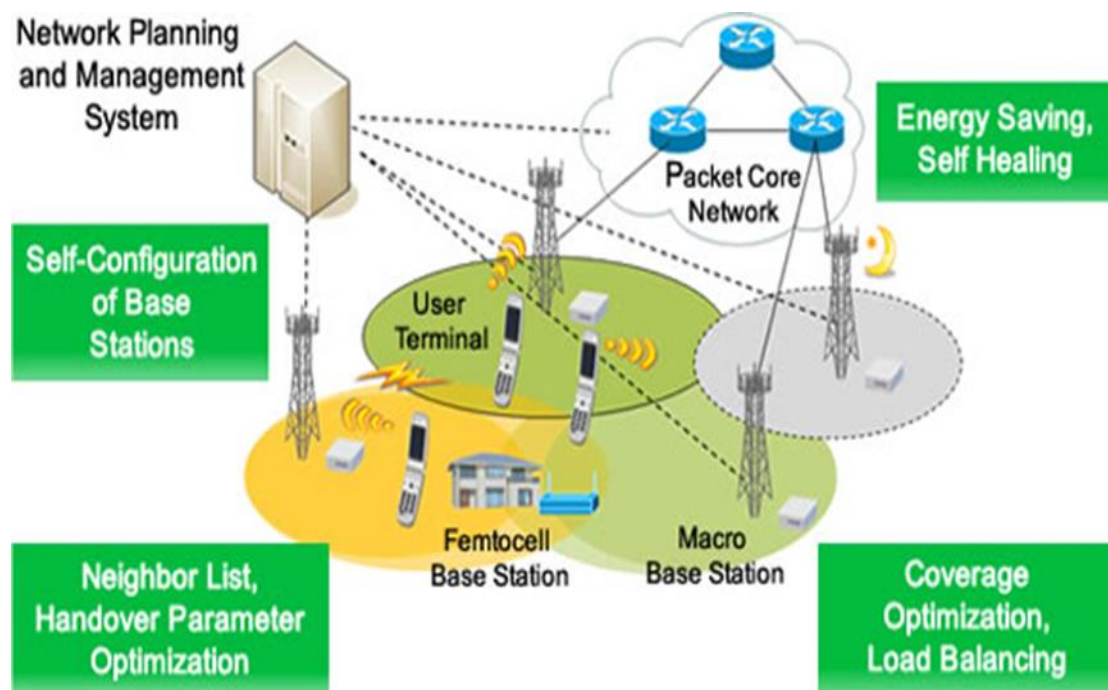


圖 54 異質網路的自我組織網路(SON)[19]

## (二) 自我網路組織之技術挑戰

以上是對於 SON 技術發展做一簡單的介紹，從 LTE 每一版本增加的 SON 主要技術的介紹。SON 相關技術將會更顯其重要特別是在未來進入異質網路的世代；網路架構將會越來越密集。除了一般的基地台外，也加入了其他種類小型基地台例如超微型(picocell)、毫微微型(femtocell)及中繼(Relay)基地台，又稱異質網路，主要是為了增加覆蓋率與使用者經驗。在這異質網路下，通常小型基地台布建的數量多過大型基地台，如果依賴人工調整與設定每一基地台的參數是不可能的。每一基地台必須能夠自動偵測 IP address 並且下載與更新系統參數，而這些參數的調校可以藉由場域實際測量、Key Performance Indicators (KPIs)或是使用者經驗等方法獲得。另外，大型基地台的布建必須要經過事先縝密的事前安排與規劃，小型基地台的布建通常是較為機動性與不定性以求補足大型基地台的不足；例如訊號微弱的基地台邊緣或是使用者加增造成服務品質不佳時。也因此，電信業者可依照當下網路擁塞的情況選擇開啟或是關閉小型基地台；甚至為了省電，小型基地台可轉入休眠模式或是待機狀態。然而，像此種的網路裝置變動非常頻繁也難以預期，造成整體網路效益降低。SON 技術在 LTE 系統下已受到相當的重視，但未來異質網路的建置，SON 技術的趨勢也必須考慮有小型基地台布建的網路架構。異質網路的 SON 結構可以分為兩種型態：分散式(distributed)，集中式(centralized) SON 或是混合式(hybrid) SON。簡而言之，為符合包含大型基地台與小型基地台的異質網路架構，分散式 SON 技術負責須立即處理

具時效性的網路問題例如當訊務傳送不均(traffic imbalance)或交遞失敗(handover failures)或是接收區域間(local)小型基地台網路的訊息(例如網路流量或使用者數量等)藉以調整網路參數。集中式 SON 連接與協調多個基地台藉由長時間有系統地收集與觀察網路資訊與情況調整基地台之間的參數。一般而言集中式 SON 藉周遭的網路裝置提供區域性資訊回傳至中央網路管理(network management)裝置，再由中央網路管理裝置將應設定的參數回傳至周邊裝置。其缺點就是會有延遲的問題導致無法及時處理突發情況。混合式 SON 同時具有集中與分散式 SON 功能。以下討論在異質網路 SON 技術主要的三大功能。

### 1. 自我設置(Self-configuration)

自我設置希望能達到基地台隨插即用的效果，減少人為的干擾與介入。所以在加入新的基地台時，同時必須設定其所屬的物理層蜂巢身分(Physical layer Cell Identity, PCI)、無線通訊資源分配(radio resource management)、網路層參數、周遭基地台列表與無線通訊接取參數等。在3GPP LTE的系統中，總共有504組物理層(Physical layer, PHY layer)細胞識別碼(Cell Identity, Cell ID)。而504組cell ID又分成168群細胞識別碼群(cell ID group)，所以每群共有3組識別碼。在傳統大型基地台的架構下，PCI數量是足夠的。但是在異質網路下，大量的小型基地增加會造成PCI數量不足，所以PCI重複使用是必然的。由於PCI是用來標示每一基地台，以方便終端使用者可以識別其應接取基地台，因此鄰近的基地台PCI必須是不同且獨立地以避免訊號衝突與訊號混淆(collision-free與confusion free)。自我設定PCI識別時，必須考慮距離參數，也就是說，即使非不得已有兩相同PCI基地台，其相隔的距離必須足夠寬以避免干擾與混淆。同時也可以藉由建立鄰近基地台訊息(neighbor cells list)避免PCI重複問題。至於其他問題，由於小型基地台的布建是依據用戶需求而增建或是移除，因此會造成未預期的嚴重干擾。所以為避免此類狀況新架設之小型基地台必須自動無線通訊資源分配包括預設可能的干擾來源(已存在或新的小基地台與eNB)，功率與頻率設定等等。加強基地台自我設定能力;利用Network-listening與使用者訊息回饋機制擷取網路周圍資訊。藉由這些訊息可以優化基地台設定例如自動細胞辨識碼分配，傳輸功率，時頻資源分配等避免與附近基地台衝突與干擾。

### 2. 自我優化(Self-optimization)

基地台在自我初始參數設定之後，為達到系統在使用過程中仍然保持最佳化，系統參數必須隨時修改與調整依照使用網路的環境與資訊流量狀況。在異質網路中基地台間達到自我優化是非常重要的步驟[21]，在LTE-Advanced標準中SON技術中的自我優化技術包含CCO、MRO、Mobility load balancing與interference control。然而在異質網路中最重要議題是探討

小型基地台節能與交遞優化。

表 八 異質網路休眠模式

休眠模式(Sleep Mode)
小型基地台控制 SL 狀態 (Small Cells controlled sleep mode)
核心網路控制 SL 狀態 (Core Network controlled sleep mode)
終端使用者控制 SL 狀態 (US controlled sleep mode)

(1) 省電休眠模式 (Sleep Mode)

首先，不同的節能機制必須被考慮去減少小型基地台的能源消耗。一般而言小型基地台的布建較為彈性，可根據使用需求、操作時間、地理環境、訊號強度與覆蓋範圍等因素布建小型基地台，為了避免電源消耗小型基地台可以選擇進入休眠或是待機狀態。一般小型基地台待機狀態有分兩種狀態：READY state (RE)、SLEEP state (SL)。在 RE 狀態中，小型基地台處於全開機狀態，效能最佳，消耗能源最多。在 SL 狀態中，部分小型基地台的硬體設備會被完全關閉或是處於低耗能狀態。但此時狀態的小型基地台仍會不定時查看是否有工作需要的指令，小型基地台可隨時進入 RE 狀態，但缺點是會造成相當的延遲。因此，喚醒小型基地台的時機相當重要，影響整體網路的表現。以下介紹三種機制控制 SL 狀態分別為：小型基地台、核心網路與終端使用者[22]。

**小型基地台控制 SL 狀態：**在大型基地台的監控下，小型基地台的硬體設備可以處於低能耗待機狀態；當終端用戶向大型基地傳送上行訊號時，在大型基地台訊號覆蓋中的小型基地台同時也能偵測到鄰近的終端用戶的動態。此時，小型基地台會進入 RE 狀態，大型基地台可依終端用戶要求，通知小型基地台服務鄰近的終端用戶並執行大型與小型基地台的交遞。如果終端用戶沒有要求，小型基地台會再度進入待機狀態。

**核心網路控制 SL 狀態：**由核心網路決定 SL 或是 RE 狀態並藉由回傳網路傳送喚醒控制訊號(wake-up control message)；當終端使用者與完成核心網路連結後，核心網路會先確定服務終端使用者的大型基地台與是否終端使用者與其他小型基地台聯繫。至於何大型基地台訊息服務終端使用者可以於移動管理實體(Mobility Management Entity, MME)查到相關訊息；知道終端使用者可連接之小型基地台，核心網路可傳送喚醒控制訊號給相對的小型基地台並使其進入 RE 狀態。使用核心網路控制 SL 狀態的好處包含：相較於小型基地台控制 SL 狀態的模式，小型基地不需自行偵測周遭環境，藉由核心網路喚醒即可。中央控制可以了解整



體網路狀況，喚醒機制的考慮因素可加入大型基地台的訊息流量，網路使用者的多寡，網路架構與網路服務需求等。中央控制收集的訊息越多有助於 SL 狀態設定效率，例如終端用戶位置資訊。藉由知道終端用戶位置資訊可以知道其鄰近的小型基地台，進而決定那些基地台可以被設定於待機或是開機狀態。

**終端使用者控制 SL 狀態：**最後一個機制是將 SL 狀態決定權放在終端使用者中；終端使用者發送喚醒訊息到鄰近的小型基地台讓小型基地台從 SL 狀態進入 RE 狀態。至於實現的方式大致分兩種；一是終端使用者不定期傳送喚醒訊號，當小型基地台接收後會改變狀態到 RE 狀態。缺點是小型基地台要不定時聆聽終端使用者傳來的訊號，這樣反而減少能耗的目的。第二種方式是終端使用者只有當需要時才傳遞喚醒訊號；例如當缺乏大型基地台覆蓋與需要高傳輸率時。由於需要時才發送訊號，相對節能效果佳。在這模式下有它的好處例如前面兩項都必須考慮大型基地台覆蓋的條件下才能執行，在沒有大型基地台服務範圍的地方第三種模式仍可以執行小型基地台的狀態改變。因為一般小型基地台是布建在大型基地台訊號低或是死角的區域，所以此模式在這情境下是非常重要的；在此模式下終端用戶不需與核心網路建立連結，也不需經過核心網路決定休眠狀態，因此可大量減少核心網路壓力；此模式也不需知道終端使用者的位置，減少傳送此類訊息的必要性。

## (2) 交遞

由於每一基地台的服務範圍有限，終端使用者在各異質網路基地台間穿梭必然需要交遞的技術達到基地台間無縫通訊服務。然而，各基地台間的操作系統也可能會不同(例如 GSM、UMTS)，系統的不同也需要被考慮在地的過程當中，以下以交遞在不同系統作為分類基準大致可以分成三種交遞類型[21]:

**水平交遞(Horizontal Handover):** 相同性質無線網路中終端使用者從一個基地台移動到另一個基地台例如:Wimax 切換到 Wimax 或者是 WiFi 切換到 WiFi，系統內的交遞(Intra-RAT Handover)-具有相同無線進接技術(Radio Access Technology, RAT) 細胞間的交遞(可以是相同頻率或是不同頻率)；

**垂直交遞(Vertical Handover):** 異質性無線網路使用的頻段、頻道頻寬與協定彼此之間相異，所以必須透過垂直交遞方法才能夠提供終端使用者不受限制的使用不同網路接取服務，即系統間的交遞(Inter-RAT Handover)-不同無線進接技術細胞間的交遞(必定是不同頻率)，例如從

UMTS 網路交遞至 GSM/GPRS 的網路。其中系統內的交遞又可區分成同頻交遞(Intra-Frequency Handover)及不同頻交遞(Inter-Frequency)。

**對角交遞(Diagonal Handover):** 交遞服務通時可能會處理包含水平與垂直交遞的情形。

這三種類型的交遞主要過程包含下面三個步驟(表 九)。交遞的要求，交遞初始的啟動，同時量測必要參數以供第二步驟交遞的決定。

表 九 一般交遞步驟

交遞步驟 (Handover Phase)	描素
交遞啟動與參數測量	終端使用者或是基地台執行交遞前的參數量測。
交遞的決定	依據測量結果與預設的指標決定是否需要執行交遞。
交遞的執行	新的基地台接管，更新無線資源分配

在異質網路中最相關的交遞應該是垂直交遞，其中可能的交遞情況列於圖 55 中。圖 55 交遞步驟，交遞控制(handover control)負責交遞過程當中的初始工作，決定基地台交遞的是屬於手機輔助交遞(mobile assisted handover)或是由網路輔助交遞(network assisted handover)；接下來是交遞步驟(handover procedure)與決定交遞的使用情境(mobility scenario)。當完成交遞的初始設定，接下來決要用何種交遞策略(soft、hard 或 seamless 交遞)。在表 九中第二步驟中，其依照第一步驟所提供的量測訊息決定是否需要執行交遞的最後步驟。此所提到的量測依據有許多種，以下簡介有關垂直交遞時可使用的相關參數：

- A. **接收訊號強度(Received Signal Strength Indicator, RSSI):** 是一最常見和廣為使用的指標;量測接收端接收到的功率。當基地台與終端使用者距離越遠時，接收訊號強度越低，所以 RSSI 是一非常方便的指標因為當它低於預設值時，表示終端使用者距離太遙遠應該交遞到其他基地台服務。
- B. **網路負載(Network Load):** 不同傳輸訊息所需的網路資源不同，例如即時通訊所需要的頻寬相較一般的 email 或是語音應用來的大。所以可以根據網路資源需求決定當前基地台是否能夠負荷來決定是否需要交遞。
- C. **服務費率(Monetary Service Cost):** 電信業者一般可以根據網路使用者所使用的資料量進行收費。根據消費者的類型，電信業者

可以將使用者分割在不同網域以提供不同費率的收費方式。

- D. **交遞延遲(Handover Delay/Latency):** 交遞延遲一般是指網路架構中 Layer-2 當建立新網路連結所產生的延遲。對於延遲敏感(delay sensitive)應用時，此類延遲會降低服務品質。
- E. **使用者的喜好(User Preference):** 在應用層方面，一般使用者偏好連接高頻寬網路，期望得到較順暢的網路服務與更好的使用者經驗。
- F. **非必要交遞的數量(Number of Unnecessary Handover):** 減少不必要的交遞程序的發生能增加網路效能，因為執行交遞會額外佔到系統資源，減少不必要交遞以減少資源過度瓜分。在大型蜂巢式基地台與小型基地台共存的系統下，使用者設備處於高速移動時，很容易產生非必要交遞或是當兩基地台的交界時，從服務中的基地台與鄰近的基地台所收到的訊號強度會非常接近，訊號的強弱更容易受到遮蔽效應所影響，此時容易造成行動台在這兩基地台間來回不停交遞的情況，此情況稱為乒乓效應，乒乓效應會增加系統的負擔。因此降低乒乓效應，可以減少多餘交遞過程。
- G. **交遞失敗的機率(Handover failure probability):** 交遞失敗的原因可能情況是當其中一基地台完成交遞程序，但被交遞基地台因為沒有足夠資源容納新的終端使用者，因此拒絕交遞(drop)。另一種情況是當完成交遞過程後，終端使用者(在高速鐵路中使用或是在高速行駛的車中)已離開新基地台的服務範圍。
- H. **安全控管(Security Control):** 由於每一基地台有其專屬的安全機制，登入認證機制，當執行交遞過程當中也同時必須完成相關的安全認證程序。不同安全層級，不同安全設定機制都會影響交遞的速度，所以交遞過程必須考慮如何能快速與無縫隙完成基地台間的交遞。
- I. **輸出資料量(Throughput):** 一般終端使用者需求高傳輸資料量的網路，所以低輸出資料量網路會不符合終端用戶需求因此造成高的交遞率。
- J. **位元錯誤率(Bit Error Rate):** 由於網路的雜訊與干擾會造成位元錯誤率增加，為提升 QoS 一般終端用戶會期望交遞到位元錯誤率低的網路。
- K. **信號雜訊比(Signal to Noise ratio):** 信號雜訊比提供網路雜訊與干擾的強度，因此高信號雜訊，高位元錯誤率與低 QoS 會造成交遞。

### 3. 自我修復(Self- healing)

自我修復的目的是減少人力對於網路裝置故障的偵測、補償與排除等繁複的工作。異質網路的自我修復必需針對以下情況[21]:

- Cell outage detection : 發現故障的基地台。
- Cell outage recovery : 修復或置換故障的基地台。
- Cell outage compensation : 基地台周邊訊號補償。
- Return form cell compensation : 回復初始狀態。

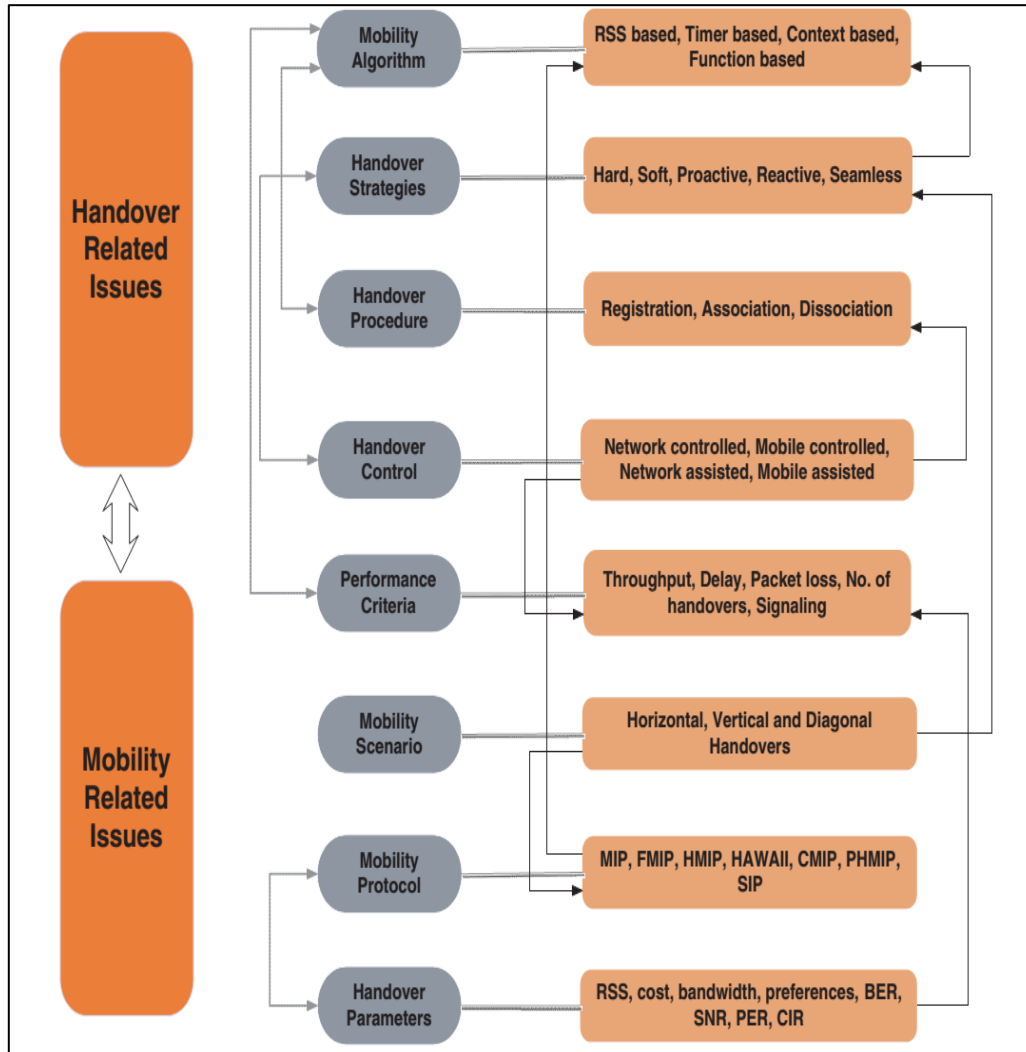


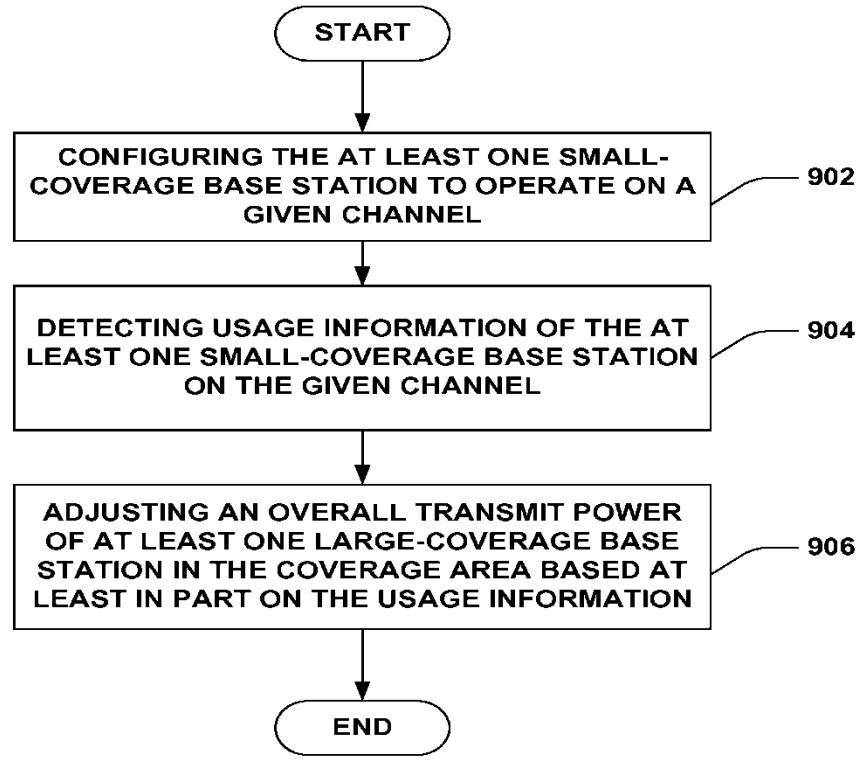
圖 55 交遞相關議題[23]

(三)自我組織網路關鍵專利

專利號碼	US20130225183A1	申請國別	US	法律狀態	審查中
專利名稱	Methods and apparatus for turning off macro carriers to deploy femtocells				
	關閉大型基地台以架設毫微微基地台之方法或裝置				
申請日	02/20/2013		公開/公告日	08/29/2013	
專利權人	Qualcomm		發明人	Meshkati, Farhad Yavuz, Mehmet Tokgoz, Yeliz Tinnakornsriruphap, Peerapol	
優先權	US201261603154P				
專利家族	WO2013126849 (A1)				
功效	習知缺點 (先前技術)	在大型基地台下架設新的小型基地台影響到整體網路的表現，大型基地台的架設必須事先經過縝密的規畫才能達到最佳的情況，然而此規劃繁複與費時。新的改變都會影響網路中的其它裝置。因此布建小型基地台時必須考慮對整體網路的影響，如何能讓各基地台的效果相得益彰是小型基地布建應該考慮的方向，因此必須設法改良頻寬與無線資源之配置。			
	提升效果 與方法	在這專利中發表如何有效在大型基地台中架設小型基地台。在異質網路中，網路實體例如 HMS (Home node B (HNB)management system)、OAM (Operation、Administration and Management) server、SON server 設定所有小型基地台使用頻道，偵測小型基地台的使用環境訊息和調節大型基地台傳輸功率。使用環境訊息可能包括小型基地台在此大型基地台下的數量、所需的資料量、小型基地台回傳網路的容量，根據此類訊息大型基地台輸出功率的調節可以選擇被關閉、增加或是減少。當環境訊息因素顯示小於預設標準值時，則增加大型基地台之輸出功率；當環境訊息因素顯示大於預設標準值時，則減少或終止大型基地台之輸出功率。			

900

代表  
圖示



**FIG. 9**

(四) 交遞關鍵專利

專利號碼	WO2013025168A1	申請國別	WO	法律狀態	申請中
專利名稱	Moving access point indication 移動無線存取點提示				
申請日	08/16/2012	公開/公告日	02/21/2013		
專利權人	Telefonaktiebolaget L M Ericsson	發明人	WESTERBERG, Erik VIKBERG, Jari MILDH, Gunnar TEYEB, Oumer KAZMI, Muhammad		
優先權	US201161523973P				
專利家族	EP2745567 (A1) EP2745568 (A1) US2014192781 (A1) US2014247807 (A1) WO2013025166 (A1)				
功效	習知缺點 (先前技術)	移動的基地台通常會造成過多不必要的交遞。移動的基地台可能架設在汽車或火車中，當一般靜態的終端使用者連接到移動的基地台時會有兩種短暫交遞情況。一是交遞進入移動基地台的服務範圍；另一種是交遞出移動基地台的服務範圍。當進入市區或人潮壅擠的區域時，此類短暫快速進出交遞的情況將會更頻繁而造成高斷訊率(call drop rate)與降低服務品質。			
	提升效果 與方法	其有助於終端使用者在移動基地台與固定基地台間的快速交遞。在此系統當中包括一固定基地台，移動與固定 WiFi 無線存取點，終端使用者連接於固定基地台。在終端使用者裝置內包含 radio circuitry 與 processing circuitry 功能。processing circuitry 的功能是(1)決定 radio node 是移動還是固定狀態；此所謂的 radio node 是指 WiFi 無線存取點。至於決定是否是行動基地台來自於 WiFi 無線存取點在 beacon frame 或 probe response frame 提供的訊息: moving AP 指標或是 Access Network Query Protocol, ANQP。(2)決定是否執行交遞；radio circuitry 接收來自基地台的控制訊號。例子一，終端使用者連接到一基地台，終端使用者偵測到一 moving AP 指標從鄰近 WiFi 無線存取點發出，終端使用者送出 Neighbor Cell reporting 通知基地台。基地台根據 moving AP 指標與其它指標決定是否交遞，再將決定回傳給終端使用者，做最後執行工作。			

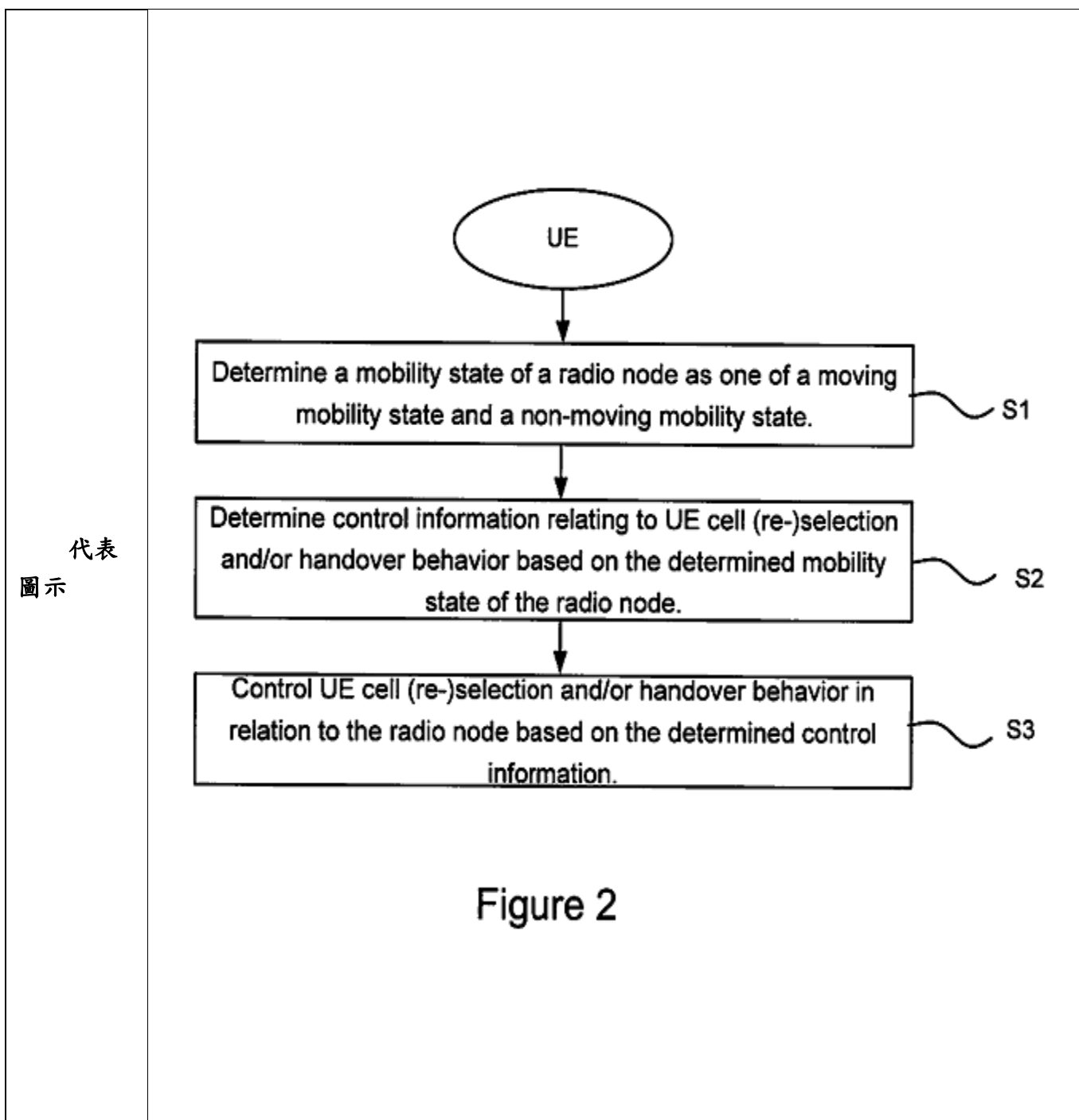


Figure 2



## 五、 多重無線電存取網路(Multiple Radio Access Technology, Multi-RAT)

### (一) 多重無線電存取網路目前發展

多重無線電存取網路(multiple radio access technology)的發展起源於第二代行動通訊系統(2G, second generation)的發展，當時包括 GSM、IS-136 及 IS-95 等 2G 之無線電存取網路(radio access network)盛行於全世界，國際電信聯盟(International Telecommunication Union, ITU)雖試圖於第三代行動通訊系統的發展時，制訂單一的行動通訊系統標準以整合各種無線電存取網路，但多重無線電存取網路卻依然存在，尤其甚者，無線區域網路(Wireless Local Area Network, WLAN)也開始盛行，因此除了不同行動通訊系統之無線電存取網路外，還必須考慮 WLAN 之無線電存取網路，同時，軟體無線電(software radio)的觀念亦於此時萌芽，此觀念主要是將無線電(radio)的各層面均以軟體定義(software defined)的方式實現，因此又稱為軟體定義無線電(software defined radio)，它具有可重新配置(reconfigurable)的性質，因此可以實現多模式(multi-mode)的運作，亦即它可以在多重無線電存取網路的環境中，隨時重新配置無線電裝置以迎合所選擇之無線電存取網路的需求。

目前無線通訊系統包含 2G、3G、4G 及 WLAN 之多重無線電存取網路，這些無線電存取網路有各自的管理方式及資源使用方法，倘若使用者的通訊連結須透過這些無線電存取網路來完成，則可能存在下列問題：

- (1)因對多重無線電存取網路進行存取而增加延遲，
- (2)為控制對多重無線電存取網路進行存取之無線電裝置而增加訊令量(signaling overhead)，
- (3)增加無線電裝置與無線電存取網路間之介面的複雜度。

第五代行動通訊系統的工作重點之一即是能運作於包含 2G、3G、4G 及 WLAN 之多重無線電存取網路，它能整合多重無線電存取網路之管理同時亦可以協調多重無線電存取網路之資源的使用，因此可以在下列方面解決多重無線電存取網路所衍生之問題：

- (1)降低對多重無線電存取網路進行存取的延遲，
- (2)降低對多重無線電存取網路進行存取之無線電裝置的控制訊號量，
- (3)降低無線電裝置與無線電存取網路間之介面的複雜度，

同時預期可以達到下列目標：

- (1)改善無線電資源的整體使用率，

- (2)確保使用者在所有系統均能得到一致的服務，
- (3)簡化多重無線電存取網路之互相運作(interoperability)的程序同時降低網路管理的困難度。

## (二)多重無線電存取網路之技術挑戰

根據 5G 之多重無線電存取網路架構的發展趨勢[24]，5G 之多重無線電存取網路架構可能採用單一無線電控制器(Single Radio Controller，SRC)，SRC 為一個可以提供統一之無線電資源及訊務(traffic)管理的統一之控制器網路實體(controller network entity)，它整合了包含 2G、3G、4G 及 WLAN 之無線電控制器(radio controller)的功能並提供統一之多標準(multi-standard)無線電資源管理及統一之訊務管理，在實現方面，SRC 使用了一般的硬體並具有軟體定義之可重新配置的能力，在功能方面，SRC 之主要功能為提供聯合之無線電資源管理及聯合之移動性管理並營造單一之非存取階層(Non-Access Stratum，NAS)。與過去之多重無線電存取網路架構相比較，過去之多重無線電存取網路架構僅將各種無線電存取網路之核心網路(Core Network，CN)互相連接，因此當使用者從一個無線電存取網路移動至另一個無線電存取網路時，交遞的進行必須經由各無線電存取網路之無線電控制器及其 CN，再透過各 CN 之聯接來達成。顯然，這樣的方式會增加延遲及控制訊號量，相反的，以 SRC 為基礎的多重無線電存取網路架構具有單一的無線電控制器及 CN，亦即它試圖建立一個虛擬(virtual)之單一的無線電存取網路，因此當使用者從一個無線電存取網路移動至另一個無線電存取網路時，交遞的進行僅須經由單一的無線電控制器及 CN，顯然的，這樣的方式可以降低延遲及控制訊號量，此外，以 SRC 為基礎的多重無線電存取網路架構可以提供聯合之資源排程(scheduling)以達到更高之頻譜效率(spectral efficiency)及得到較好之干擾協調(interference coordination)，綜言之，以 SRC 為基礎的多重無線電存取網路架構能最佳化聯合之移動性、聯合之資源排程及網路利用率以最佳化整體效能。

多重無線電存取網路架構的發展可能遭遇以下困難：

(1)如前文所述，SRC 必須整合了包含 2G、3G、4G 及 WLAN 之無線電控制器的功能以提供多標準無線電資源管理且必須具有軟體定義之可重新配置的能力，很明顯的，要實現能達到以上目標之 SRC 並不是一件容易的事，原因是 2G、3G、4G 及 WLAN 之無線電控制器具有相當大的不同，要將 2G、3G、4G 及 WLAN 之無線電控制器的功能以軟體定義並使其可重新配置須具備高度成熟之軟體無線電技術，

(2)在聯合之移動性管理及訊務管理方面，為了達到最佳之網路效能，須執行負載平衡(load balancing)的工作，這有賴於天線參數(antenna parameter)及網路配置參數(network configuration parameter)之最佳化，但此

最佳化過程須借助一些智慧型演算法(intelligent algorithm)來完成，而這些智慧型演算法的收斂速度(converging speed)及複雜度將決定最佳化過程是否能及時的且有效率的完成，

(3)多重無線電存取網路具有干擾的問題，因此須執行干擾協調或干擾管理(interference management)的工作以最佳化網路利用率及網路效能，但干擾協調或干擾管理卻可能影響頻譜效率，因此如何在維持(甚至提昇)頻譜效率的前提下執行干擾協調或干擾管理將是多重無線電存取網路非常重要的課題，

(4)為了迎合多重無線電存取網路架構，在 UE 端可能必須具有多重無線電控制器(multi-radio controller)以進行多重無線電存取，此 UE 之多重無線電控制器必須根據通道/訊務之狀況、UE 之 QoS 要求及在網路端之 SRC 的命令來對 UE 在不同無線電存取網路之通訊進行動態排程(dynamic scheduling)，

(5)多重無線電存取網路架構所面臨的將是大量的資料、大量的訊務、各種層級的移動性(高移動性、中移動性與靜態使用者)及多元化的干擾狀況，為了達到最佳之網路效能、能源效率(energy efficiency)及成本效率(cost efficiency)，網路之元件及功能必須具有智能以建立一個智慧型基礎結構(smart infrastructure)，且此智慧型基礎結構有賴於智慧型管理(intelligent management)。

多重無線電存取網路架構正於多個組織、公司積極研究中，如[24]–[31]所述，包括 WWRF、3GPP、Motorola、China Unicom、China Telecom、Intel、NGMN、DT 及 GSMA 均積極研究多重無線電存取網路架構及其所需實務技術，此外，多重無線電存取網路架構之前瞻性技術亦吸引學術界的廣泛注意，譬如在 IEEE ICC 2014 曾對多重無線電存取網路架構之前瞻性技術作深入的探討[32]。

#### 1. 多重無線電存取網路應用與研究趨勢

如前文所述，多重無線電存取網路架構須借助軟體無線電、智慧型天線、干擾協調、干擾管理及無線電資源管理等相關技術來完成，因此以下將就這些技術在多重無線電存取網路架構之應用與研究現況作說明以了解多重無線電存取網路架構之目前應用與研究趨勢。

多重無線電存取網路架構具多重協定(multi-protocol)之屬性，亦即同一部機器上必須要具有能支援多個通訊協定(protocol)的能力，這些通訊協定除了彼此有不同的上層(upper layer)協定及基頻(baseband)訊號處理方式外，更棘手的是它們所使用的射頻(RF)頻帶可能也有所不同，因此須藉由通道分離器(channelizer)來將各個射頻頻帶的訊號分離並將之降頻(down-conversion)

至基頻以進行後續處理，傳統上的通道分離器是採用類比的型式，但是類比的通道分離器會有以下缺點，首先是類比的電路其尺寸及成本均較大，其次是類比的電路容易引進較大的失真而影響效能，最後是能處理的頻帶及相關參數固定，無法再進行調整，為了改進這些缺點，軟體無線電導向(software radio oriented)的通道分離器因應而生[33]–[35]。軟體無線電導向的通道分離器目前主要有兩個作法，其一為數位中頻(IF)通道分離器，其訊號在中頻時轉成數位訊號再藉由數位中頻通道分離器進行降頻及通道分離，另一個作法為數位射頻通道分離器，其訊號在射頻時即轉成數位訊號再藉由數位射頻通道分離器進行降頻及通道分離。軟體無線電導向的通道分離器由於使用數位技術，因此通道分離器的尺寸及成本均將變小，失真的情形亦能獲得改善；同時，軟體無線電導向的設計模式，會使通道分離器具有可重新規劃(reprogrammable)和可重新配置的特性，這對多重無線電存取網路的無線通訊環境，將提供很大的助益。

在多重無線電存取網路架構下，UE 有多個無線電存取網路之選擇，因此它可以依其需求選擇某一個無線電存取網路進行存取，同時，基於負載平衡的考量，SRC 也可能會引導 UE 選擇某一個無線電存取網路進行存取，假設 UE 採用全向性天線(omni-directional antenna)，則可能因功率分散而導致在所選擇之無線電存取網路的方向功率強度不足，這將使 UE 無法對所選擇之無線電存取網路進行存取，顯然 UE 須採用方向性天線(directional antenna)以將功率集中至所選擇之無線電存取網路的方向以對所選擇之無線電存取網路進行存取，但 UE 隨時移動，導致多重無線電存取網路架構之組態(configuration)亦隨時改變，因此 UE 之方向性天線必須具有可重新規劃和可重新配置的特性，這須借助智慧型天線之波束成型器(beamformer)。波束成型器的研究屬於陣列訊號處理(array signal processing)的領域，陣列訊號處理歷經數十年的研究，已累積非常豐碩的研究成果，早期的研究成果主要應用於國防科技，但近幾年則已經將大量的研究成果應用於行動通訊系統[36]–[40]，事實上，波束成型器的多項研究成果均可以應用於多重無線電存取網路架構，譬如多重波束(multiple beams)之波束成型器可以形成多個波束(beam)，這將允許無線電存取網路與多個 UE 間及 UE 與多個無線電存取網路間進行沒有同頻干擾(cochannel interference)的通訊，因此可以藉此提昇系統容量(system capacity)及增加使用上的方便性，同時，波束成型器的干擾抑制(interference suppression)能力則可以抑制多重無線電存取網路間的同頻干擾，這將可以改善訊號接收品質及使多重無線電存取網路與 UE 間之通訊能趨近於通道容量(channel capacity)。

頻譜分享(spectrum sharing)是多重無線電存取網路架構很重要的觀念，可能的頻譜分享包括普遍的頻譜分享(universal spectrum sharing)、正交的頻

譜分享(orthogonal spectrum sharing)及部分正交的頻譜分享(partially orthogonal spectrum sharing)，普遍的頻譜分享意指所有的無線電存取網路使用相同的全部頻譜(entire spectrum)，正交的頻譜分享代表所有的無線電存取網路使用其專屬的頻譜(dedicated spectrum)，部分正交的頻譜分享則意謂每一個無線電存取網路可以擁有其專屬的頻譜，但有部分頻帶可以由不同的無線電存取網路所使用，顯然的，普遍的頻譜分享具有最高頻譜效率但無線電存取網路間之干擾問題卻最為嚴重，相對的，正交的頻譜分享沒有無線電存取網路間之干擾問題但卻犧牲了頻譜效率，因此，為了維持(甚至提昇)頻譜效率，必須藉由干擾協調或干擾管理來實現多重無線電存取網路之有效率的頻譜分享[41], [42]，干擾協調或干擾管理須先識別干擾之型式，干擾之型式可分為相同無線電存取網路之干擾及不同無線電存取網路之干擾，相同無線電存取網路之干擾為相同無線電存取網路內網路元件所造成的干擾，譬如相同無線電存取網路內細胞(cell)所造成的細胞間(inter-cell)干擾，不同無線電存取網路之干擾為屬於不同無線電存取網路的網路元件所造成之干擾，譬如屬於不同無線電存取網路之細胞所造成的細胞間干擾，需在識別干擾之型式後才能對網路元件進行協調或管理以避開干擾，考量到多重無線電存取網路架構之系統龐大，進行以上之干擾協調或干擾管理勢必是一件複雜及困難之工作，因此為了降低複雜度及困難度，可能採行分散式(distributed)之干擾協調或干擾管理以滿足使用者 QoS 的要求同時增強系統容量及網路之覆蓋度(coverage)。此外，CA (carrier aggregation)(載波聚集)或 CB (carrier bonding)(載波鍵結)將使用於 5G 之多重無線電存取網路架構中，在進行 CA 或 CB 時須確保聚集(aggregation)或鍵結(bonding)後之頻帶的可靠可用性(reliable availability)，亦即須確保聚集(aggregation)或鍵結(bonding)後之頻帶沒有干擾的問題，這有賴於 CA 或 CB 層次之干擾協調或干擾管理。

相較於上述之多重無線電存取網路架構所使用的技術，多重無線電存取網路架構之無線電資源管理所包含的範圍將更為廣泛且其運作方式也更為多元化[43]，同時，相對於單一無線電存取網路之無線電資源管理僅須考慮個別無線電存取網路之無線電資源管理，多重無線電存取網路架構之無線電資源管理則必須考慮多個無線電存取網路之無線電資源管理，因此在進行多重無線電存取網路架構之無線電資源管理時，首先必須識別所處環境中各個無線電存取網路之型態及其個別的無線電資源管理方式，接著必須整合各個無線電存取網路之個別的無線電資源管理方式以實現多重無線電存取網路架構之無線電資源管理，一般在進行無線電資源管理時是以能達到某個(或某些)效能指標為無線電資源管理目標，譬如以能滿足使用者之 QoS 的要求或(及)以能最大化總和傳送率(sum-rate)為無線電資源管理目標，顯然的，欲達到所指定之效能指標，多重無線電存取網路架構之無線電資源管理會比單一無線電存取網路之無線電資源管理更為複雜及困難，如[32]所述，無線電

資源管理目標包括下列項目:(1)在滿足 QoS 要求之前提下最大化多個無線電存取網路的總和傳送率，(2)最小化最大數目之使用者的總和功率(sum-power)，(3)最大化達成傳送率(achieved rate)及最小化標的傳送率(target rate)與達成傳送率(achieved rate)之差距，此外，多重無線電存取網路架構之無線電資源管理還必須考慮干擾的問題以便能在承受最大之干擾下仍然可以滿足最小之傳送率要求(rate requirement)。

## 2. 多重無線電存取網路未來可能發展趨勢

除了以上所說明之相關技術在多重無線電存取網路架構的應用與研究現況，另外還應該注意功率控制(power control)及細胞關聯(cell association)在多重無線電存取網路架構的應用與研究現況，功率控制及細胞關聯與先前提及之干擾協調、干擾管理及無線電資源管理息息相關，且功率控制及細胞關聯彼此間也具有很緊密的關係[44]–[50]，功率控制指的是對傳送功率進行調整，細胞關聯指的則是將使用者附屬於某個細胞，傳送功率若能獲得適當的調整將有利於讓使用者附屬於適當的細胞，因此結合功率控制及細胞關聯能滿足使用者之 QoS 的要求並進而實現有效的干擾協調、干擾管理及無線電資源管理。在多重無線電存取網路架構中，使用者所欲存取之無線電存取網路有多種可能，因此欲附屬之細胞亦可能屬於不同之無線電存取網路，而不同之無線電存取網路又可能具有不同之功率控制及細胞關聯方式，從好處來看，相較於單一無線電存取網路，使用者可能更容易在多重無線電存取網路架構中獲得適當的功率調整以附屬於適當的細胞，但付出之代價則是功率控制及細胞關聯的演算法會更為複雜，尤其功率控制及細胞關聯一般均採用分散式演算法(distributed algorithm)來完成，因此這些分散式演算法的收斂時間(converging time)將影響使用者是否能及時地藉由適當的功率控制以完成適當的細胞關聯。如[32]所述，具優先權之功率控制(prioritized power control)及資源知悉之細胞關聯(resource-aware cell association)可能適用於多重無線電存取網路架構，且結合具優先權之功率控制及資源知悉之細胞關聯可以增進多重無線電存取網路架構的整體效能。

如前文所述，多重無線電存取網路架構具有整合各個無線電存取網路之能力，因此每一個區域的行動資料量、使用者資料傳送率及被連結之裝置(connected device)的數目均將因使用多重無線電存取網路架構而大幅增加，此外，以 SRC 為基礎的多重無線電存取網路架構試圖建立一個虛擬之單一的無線電存取網路，因此可以有效降低端點至端點(end to end)的延遲，至於功率消耗(power consumption)部分，使用多重無線電存取網路架構意味使用者可以從多個無線電存取網路中選擇具最低功率消耗之無線電存取網路來進行存取，甚至如[32]所述，還有可能從多個無線電存取網路之基地台或存取點(access point)以同時無線資訊及功率轉移(Simultaneous Wireless

Information and Power Transfer, SWIPT)的方式進行能量獲取(energy harvesting),這將使低功率裝置(low power device)具更長的電池壽命,綜合以上所述,多重無線電存取網路架構有助於 5G 之願景的完成。

5G 之另一項重要技術為感知無線電(cognitive radio) [51], [52], 在感知無線電網路中,可能存在主要使用者(primary user)所構成的網路及次要使用者(secondary user) 所構成的網路[53]–[57], 主要使用者網路使用具執照之頻帶(licensed band)而次要使用者網路可能以不具執照(unlicensed)之型式使用和主要使用者網路相同的頻帶,由於次要使用者網路不具執照,次要使用者網路的運作不能影響主要使用者網路的運作,可以看出,具有主要使用者網路及次要使用者網路的感知無線電網路事實上即為一種多重無線電存取網路架構,而以感知無線電網路為基礎之多重無線電存取網路架構可能是 5G 之一項重要的多重無線電存取網路架構,因此多重無線電存取網路架構的未來可能發展趨勢之一即為以感知無線電網路為基礎之多重無線電存取網路架構,基於感知無線電網路之特性,以感知無線電網路為基礎之多重無線電存取網路架構的研發目標在於確保主要使用者之 QoS 的前提下使次要使用者的資訊輸出量(throughput)達到最大,顯然的,這不是一件容易的工作,原因是主要使用者可能使用較大的傳送功率,而次要使用者在確保主要使用者之 QoS 的前提下必須使用較小的傳送功率,於是次要使用者必須以較小的傳送功率來抵抗來自主要使用者的強大干擾,換言之,次要使用者網路的訊號功率可能遠較干擾功率為低,這有別於傳統網路中訊號功率較干擾功率為高的情況,為了解決這個難題,在[53]–[55]中有一些集中式(centralized)或分散式(distributed)之功率安排(power allocation)及功率控制的演算法(algorithm)被提出,這些集中式或分散式之功率安排及功率控制的演算法試圖在確保主要使用者之 QoS 的前提下提高次要使用者的訊號接收品質。

MIMO (multiple-input multiple-output)(多輸入多輸出)系統由於具有提昇容量(capacity)及可靠度(reliability)的能力,這幾年來一直被應用於各類無線通訊系統(包括 3G、4G 及 WLAN),展望未來的 5G 系統, MIMO 系統當然不可能缺席,但是在多重無線電存取網路架構下,干擾的問題會比以往嚴重,而一般 MIMO 系統多半假設在僅具雜訊而無干擾的環境下運作,且其優異的效能也被認為必須在僅具雜訊而無干擾的環境下才能表現出來,因此有很多干擾消除(interference cancellation)的方法被提出,包括預先編碼(precoding)及干擾對齊(interference alignment)等方法,這些干擾消除的方法須由接收端將通道資訊(channel information)及干擾資訊(interference information)回授(feedback)至傳送端(transmitter),傳送端再藉由這些通道資訊及干擾資訊對所欲傳送的訊號進行處理以便在接收端能將干擾消除,這樣的方法會有兩個嚴重的問題,其一為回授資訊必須占據頻寬(bandwidth),其

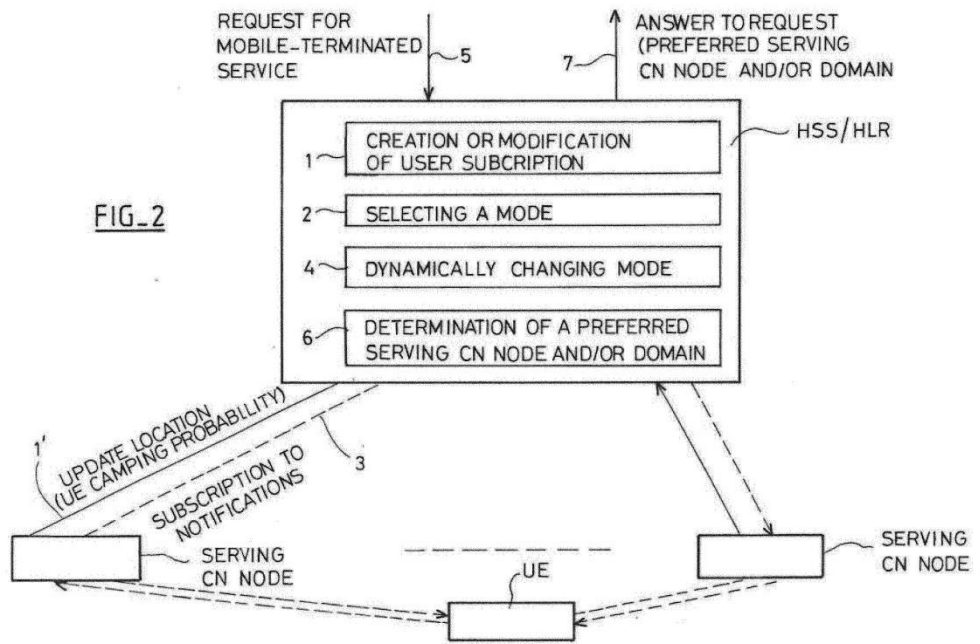
二為回授資訊可能因傳播延遲(propagation delay)而失去其時效性(timeliness)，另外還有一些干擾消除的方法則是藉由干擾協調或干擾管理來實現頻譜分享，但這樣的方法卻會損害到頻譜效率，事實上，MIMO 系統本身即具有干擾抑制的能力，根據[58]–[60]的研究結果，只要接收端能測量到干擾在所有接收天線的相關性(correlation)，接收端即可利用此相關性對接收訊號進行處理以抑制干擾，這種方法不須在傳送端進行訊號處理更不須將通道資訊及干擾資訊回授至傳送端，而它所能獲得的增益(gain)卻非常明顯及可觀，對之前提及的以感知無線電網路為基礎之多重無線電存取網路架構，這將是一個很大的好處[54], [55]，因為次要使用者網路可能無法獲得主要使用者的通道資訊，同時主要使用者網路也不可能替次要使用者進行預先編碼、干擾對齊、干擾協調或干擾管理，因此以接收端之訊號處理為基礎之干擾抑制可能是多重無線電存取網路架構之 MIMO 系統在未來的重要發展趨勢。



### (三)多重無線電存取網路關鍵專利

專利號碼	WO2013110777A1	申請國別	WO	法律狀態	已公開
專利名稱	Support of mobile-terminated service delivery over a multi-rat and/or multi-domain mobile network 在多重無線電存取技術及/或多重領域行動網路之行動終端服務遞送的支援				
申請日	01/25/2013	公開/公告日	08/01/2013		
專利權人	Alcatel Lucent	發明人	DREYON, Nicolas THIEBAUT, Laurent		
優先權	EP20120290034				
專利家族	EP2621227 (A1)				
功效	習知缺點 (先前技術)	減少行動終端存取網路時的延遲與存取訊號。一般用戶開始接收傳送訊號前必須完成網路存取程序，例如完成各網域中的 CN(Core Network)節點的註冊，即 MSC/VLR (in CS domain), SGSN (in GPRS/UMTS PS domain, or in EPC accessed by GERAN/UTRAN), MME (in EPC accessed by E-UTRAN)。如何在最少的延遲與存取程序下選取最佳的路徑。			
	提升效果與方法	專利內容則著眼在 UE 可能經由不同之無線電存取網路對不同之 CN 節點(node)進行存取，因此必須決定出最有可能抵達 UE 的 CN 節點，此決定是基於從多個 CN 節點取得之終端選擇支援資訊(termination selection support information)，而終端選擇支援資訊則包含附著於每一個無線電存取網路之 UE 機率。			

代表  
圖示



## 六、 非對稱傳輸(Soft Cell)

無線寬頻通訊技術與多樣化應用的蓬勃發展，宣告資訊爆炸的時代已然來臨，根據思科(Cisco System)的視覺化網路指標(Visual Networking Index)預測報告，至 2018 年全球行動網路流量之年複合成長率(CAGR)高達 61%，每月資料量將近 16 EB (Exabytes)，整年度將超過 190 EB，由於 1 EB 相當於十億 GB (Gigabytes)，此暴增的數據意味著 42 兆張的影像圖片或 4 兆個視訊短片，也是 2000 年時整年度有線與行動網路合計資料傳輸流量的 190 倍。日本電信營運大廠 NTT DOCOMO 亦預估，在未來的十年，行動資料量的成長將高達 500 倍；且 2020 年，無線智慧終端設備的數量將超越全球人口總數，終端設備功能並將具備更高、更快的傳輸效能，對於即將來臨的高速 5G 時代，行動資料傳輸量只會持續增長。以上資訊皆意味著，面對驚人的資訊流量成長速度，如何提高通訊系統容量、增進資料傳輸量與速度，以滿足智慧終端設備使用者行動通訊體驗，已成為當前最迫切的議題。

擴充無線系統傳輸容量的方式包括增建、升級大型基地台(macro Cell)或使用小型基地台(Small Cells，可能是 micro Cell、pico Cell 或 femto Cell)來填補大型基地台的不足等，由於大型基地台之佈建需考慮較多因素，在成本考量與大型基地台建置位置相較受限等因素下，營運商多選擇於大型基地台訊號覆蓋率不佳的區域，部署低功率、易於自行配置、輕巧且可依需求漸增安裝的小型基地台，可彌補因建築物、樹木或地形屏蔽所造成的訊號衰減與死角，藉此提高無線訊號覆蓋率，提升網路系統整體容量與資料傳輸量，並減輕大型基地台的資料流量負荷。

因應各類建築物型態與應用場域，由各式不同發射功率的大型與小型基地台，分層且密集化部署共同組成的網路環境稱作異質網路(Heterogeneous Network, HetNet)，盡力縮短無線訊號與行動使用者之間的距離，使用這種多層次的異質網路配置方式來對使用者提供網路服務，可提升單位面積的頻譜效率，大幅提高支援的資料傳輸速率與流量，進而增加網路系統效能與容量，可說是提高網路系統容量最務實、符合經濟效益及具擴充性的方式。異質網路配置如圖 56 所示。雖然小型基地台可於小範圍內實現較高的資料流量與傳輸速率，對於移動性較高的使用者而言，將面臨頻繁地在不同的基地台間交遞，導致可能的封包遺失(packet loss)、傳輸開銷(overhead)增加與服務品質(QoS)下降的窘境。

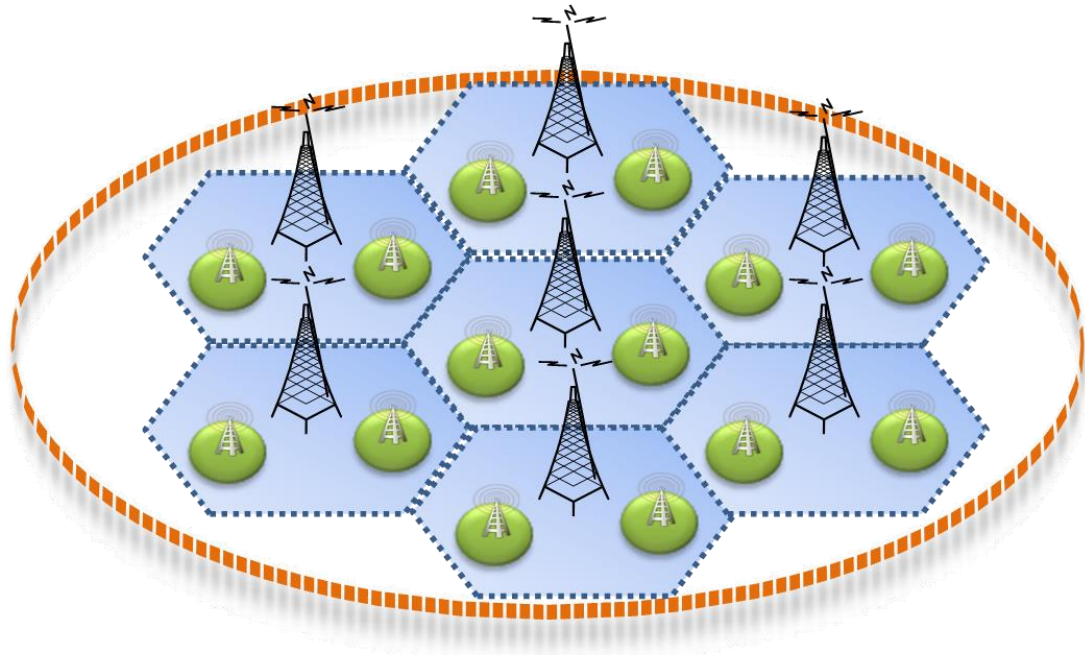


圖 56 異質網路場景示意圖  
 (資料來源：資策會吳志強、許芳瑜整理與繪製)

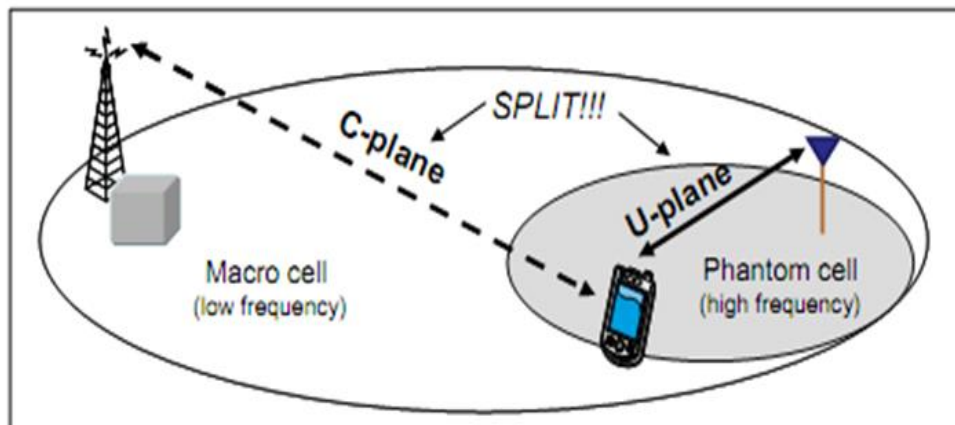


圖 57 Phantom Cell 控制訊號與資料傳遞通道分開

### (一) 非對稱傳輸目前發展

為解決上述問題，做為異質網路場景演進方案的「Soft Cell」技術應運而生，其核心概念為：異質網路架構中的小型基地台，將控制訊令(control signaling)及一般資料傳輸分開，由大型基地台來負責控制平面(control plane)的通訊，小型基地台則負責用戶平面(user plane)的資料傳遞，透過這樣的合作方式與基地台通訊的終端裝置會將其視為同一個基地台，可避免頻繁的交遞、提升無線訊號覆蓋率與穩定度、減少鄰近小型基地台的訊號干擾，藉此得到更好的資料傳輸率，進一步更可降低網路佈建成本。支援控制與用戶平

面分割功能的 Soft Cell，常見名稱包括幽靈基地台(Phantom Cell)、虛擬基地台、共享基地台(shared cell)等，皆泛指相同的技術概念。

透過大型基地台與 Soft Cell 的相互協調運作，實現了智慧終端使用者在移動情形下的無縫(seamless)切換，當使用者進行通訊時，將不需要亦不會對基地台的切換有所感知。與類似的無線通訊技術如 WiFi 相較之下，使用者常會同時搜尋到多個 WiFi 訊號，而這些鄰近的 WiFi 訊號會互相造成干擾，影響使用者的通訊品質，且每切換 WiFi 連線一次，便需經過繁瑣的認證程序才能重新連接網路，這些都將降低使用者的用戶體驗。

Soft Cell 技術於初期發展上仍有許多待解決的議題，包括：大型基地台必須與 Soft Cell 進行溝通協調、因控制與用戶平面分割造成傳統通訊流程的改變，所帶來不可避免的複雜度提升、終端裝置於此架構下連線時如何發現 Soft Cell 的存在，以從 Soft Cell 接收資料、終端裝置與 Soft Cell 進行資料同步的問題等。

目前，與 Soft Cell 技術相關的公司或組織，除了已對 Soft Cell 相關技術規範進行討論的標準制定組織 3GPP 之外，多家包括設備商愛立信(Ericsson)[61]、日本電信營運商 NTT DOCOMO[62]、韓國電信營運商樂金電子(LG U+)與 SK Telecom 等國際通訊大廠皆提出類似 Soft Cell 的技術概念，並積極參與相關技術標準的討論與制定。這些大廠多數認同支援 Soft Cell 功能的小型基地台應與大型基地台協調合作，以降低彼此間通訊干擾的機率，並藉由分離控制訊令與實際一般資料傳輸的方式，改善資料傳輸品質與速度，進而提升整體網路傳輸效能。

此段簡單介紹 NTT DOCOMO 所提的 Phantom Cell 的概念[63]是希望將舊系統當中，分開控制訊號與資料傳遞或是下載(downlink(DL))與上傳(uplink(UL))。例如在異質網路系統當中(圖 57)，macro cell 為控制訊號角色操作在低頻(low frequency)提供連結、行動與覆蓋；同時 macro cell 也可像舊系統一樣同時有控制訊號與傳遞資料功能。至於 Small Cells 使用在高頻(high frequency)但只可傳送資料。這樣的技術優勢例如在異質網路下如沒有實現 Phantom Cell 技術，Small Cells 必須要保持開機的狀態。但是當分開控制訊號與資料傳遞技術時，如沒有資料傳輸，Small Cells 可以處在待機或關機狀態以減少電池消耗。使用者可以直接與 macro Cell 聯繫，而 macro Cell 藉由中央控制協調決定如何讓訊息能有效在 Small Cells 當中傳遞。

當分開下載與上傳通道時，可以根據目前通道的情況有效的分配資源。例如有兩個基地台，基地台 1 在忙於下載，基地台 2 忙於上傳。新的使用者

加入，不管用哪一個基地台都會造成擁塞。但是如果分開下載與上傳通道時，新的使用者可以用基地台 1 上傳，基地台 2 下載，以避免壅塞。

## (二)非對稱傳輸之技術挑戰

3GPP 標準組織為因應未來行動資料流量爆增的 5G 世代，於制定 Release 12 的無線存取網路技術規範小組 3GPP RAN TSG 中，對於異質網路技術演進與加強本地網路存取的 LTE HI (LTE Hotspot/indoor，亦稱為 Enhanced Small Cells)等概念已啟動討論，多數參與標準制定的主要設備商皆認為異質網路相關技術在 Release 12 與 13 應進行更深入的研究評估，而擁有新傳輸型態的 Soft Cell 為異質網路演進與 LTE HI 的相關構想，以提升室外與室內的無線訊號覆蓋率。傳統各自獨立的基地台配置與加入 Soft Cell 的配置差異示意圖如圖 58 所示，各自獨立的基地台配置場景下，一個大型基地台與兩個小型基地台分別做為獨立的基地台運作；於 Soft Cell 的配置場景下，三個基地台可被進入其訊號範圍的終端裝置視為同一個大型基地台的角色。

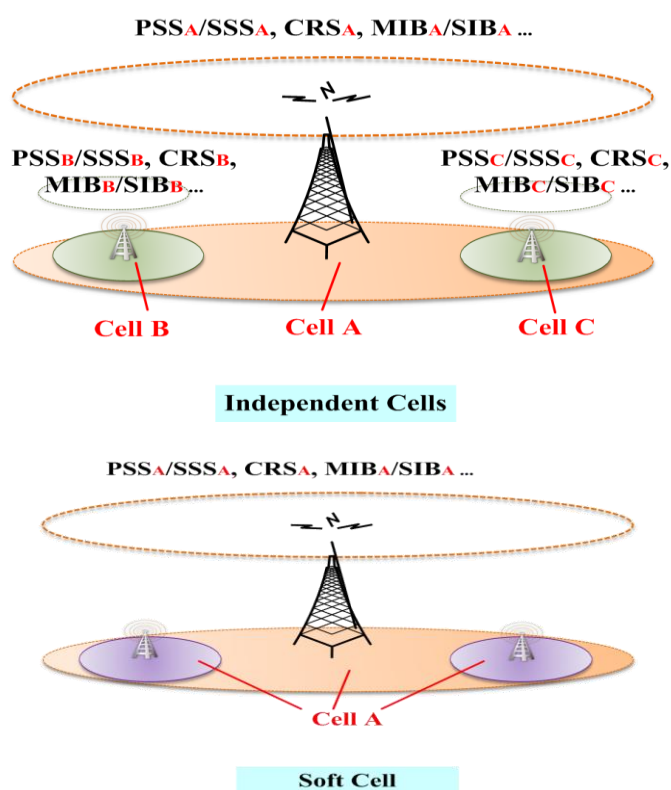


圖 58 獨立的基地台與 Soft Cell 示意圖  
(資料來源：資策會吳志強、許芳瑜整理與繪製)

Soft Cell 的典型技術架構如圖 59 所示，Soft Cell 部署於大型基地台通訊範圍內，控制平面的通訊由大型基地台負責管理，包括訊號涵蓋(coverage)與終端裝置的移動性管理(mobility handling)等，必要時亦可發送少部分的一般資料，如：低資料率(low-rate)或有高可靠性需求(high-reliability)的用戶資料，此架構下的大型基地台可向下相容，基於 3GPP Release 8 至 11 的基礎規範運作。

而 Soft Cell 與終端裝置之間的無線介面則進行用戶平面的通訊，Soft Cell 不再發送特定的控制通道訊令，如：主要同步訊號與輔助同步訊號 (Primary Synchronization Signal/Secondary Synchronization Signal, PSS/SSS)、共同參考訊號(Cell Reference Signal, CRS)、主要系統資訊(Master Information Block, MIB)、多種系統資訊(System Information Block, SIB)等。與無線資源控制(Radio Resource Control, RRC)相關的程序如：Soft Cell 與終端裝置之間的通道資源建立及釋放，皆由大型基地台處理，Soft Cell 只對終端裝置提供一般資料傳輸通道。Soft Cell 猶如大型基地台輔助者的角色，這亦是 Soft Cell 被稱為虛擬基地台或幽靈基地台的原因。此架構下的 Soft Cell 可使用如 Release 12 以上新設計的小型基地台。

通訊中的終端裝置在邏輯上使用雙重連接(dual connectivity)，與大型基地台透過 anchor carrier 接收系統資訊等控制資料，與 Soft Cell 之間的連接則於 booster carrier，能以最小的開銷(overhead)來接收大量的高資料率用戶資料，如此一來，除了增加網路能源效率，最小化干擾，亦代表未來電信營運商將得以進行小型基地台超高密度的部署(ultra-dense deployments)。若終端裝置失去在 booster carrier 的連接，由於還在大型基地台的通訊範圍內，anchor carrier 仍會保持著，可避免無線連結失敗(radio link failure, RLF)的問題，以達成較高的移動穩健度(mobility robustness)。

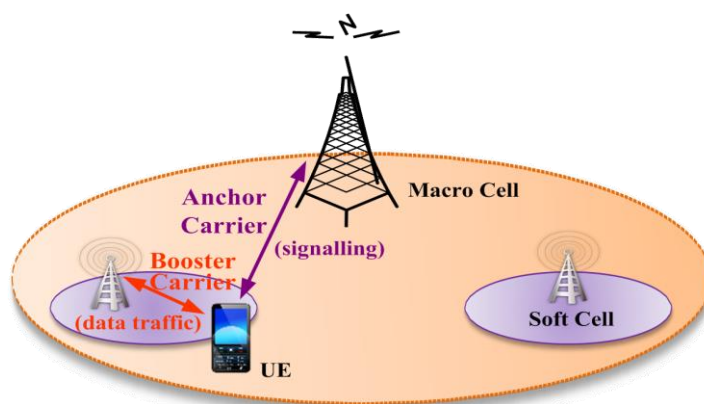


圖 59 Soft Cell 典型架構圖

(資料來源：資策會吳志強、許芳瑜整理與繪製)

## 1. 非對稱傳輸應用與研究趨勢

### (1) Soft Cell 適時降低功率或輔助大型基地台傳輸以降低干擾

若大型基地台與 Soft Cell 使用相同的頻率或頻率組(set of frequencies)對終端裝置進行通訊，可能會導致干擾的發生，Ericsson 所提 Soft Cell 相關專利(US2013/0310059A1)[61]便是討論此議題，解決方案可能為：於某些時間間隔，將 Soft Cell 的發射功率(transmission power)降低，這些時間間隔可定義於大型基地台所發送的排程訊息中，可能為多個不連續的傳輸時間間隔，並與大型基地台傳送控制資訊的時間一致。然而，Soft Cell 即使降低功率，對於相當靠近 Soft Cell 的終端而言，在某些區域 Soft Cell 的訊號仍可能較大型基地台來得強，此時大型基地台欲傳輸之資訊可由 Soft Cell 來提供。透過 Soft Cell 降低功率或輔助傳輸(assisted transmission)的行為，來確保大型基地台的傳輸，藉此降低終端裝置從大型基地台接收控制資料時的干擾情況。

### (2) Soft Cell 使用更高頻段以擴增本地傳輸資料量

此外，可使用更高頻率(如：3.5 GHz 或更高)來為 Soft Cell 擴充更大容量的傳輸能力，具體做法為：大型基地台仍於原有較低頻率(如：2 GHz)上進行通訊，Soft Cell 則使用更高的頻段傳輸資料，如圖 60 所示。此種配置方式，可讓所有控制平面的處理行為都處於較可靠、覆蓋區域較大的大型基地台通訊範圍下，而輸出功率較小、高頻率的 Soft Cell 則主要用於用戶平面，因獲得較大的頻寬，資料傳輸可利用的資源就越多，便能達到越高的傳輸速度，可大幅增加資料輸出量。頻率與頻寬的關係如圖 61 所示，因應頻譜資源的緊縮，未來將往更高頻率、更大頻寬的方向發展。

於此同時，運用 Soft Cell 的通訊架構下，原有基地台與基地台之間的 X2 介面可能不再適用，是否有必要為負責控制平面的大型基地台與負責用戶平面的小型基地台之間定義新的無線介面，亦被提出做為相關討論議題。

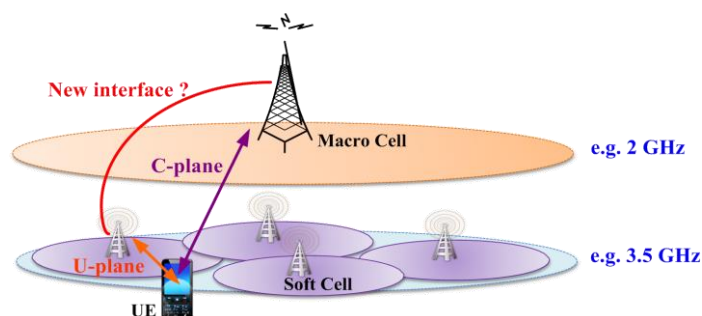


圖 60 Soft Cell 使用不同頻率通訊示意圖  
(資料來源：資策會吳志強、許芳瑜整理與繪製)



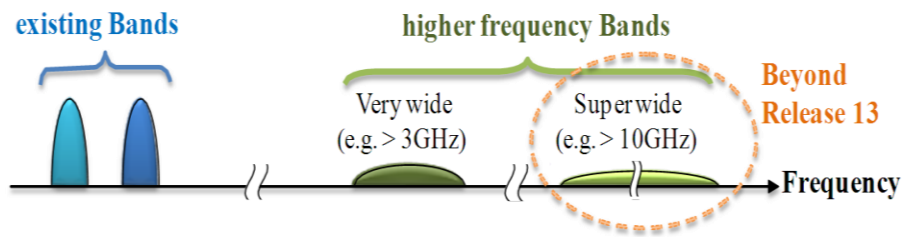


圖 61 未來可能使用的頻段示意圖  
(資料來源：資策會吳志強、許芳瑜整理與繪製)

### (3) 大型基地台協助終端進行 Soft Cell 探索

Soft Cell 對於終端裝置的可見性由大型基地台負責控制，大型基地台提供終端裝置輔助資訊協助其探索 Soft Cell，藉此可為終端裝置降低連線的複雜性並節省電力消耗，如圖 62 所示。NTT DOCOMO 於 3GPP RAN TSG[64]的技術提案(R1-120398)指出，協助終端裝置探索 Soft Cell 的輔助資訊可能為新設計的探索訊號(discovery signal)，並使終端裝置於一次或很少的嘗試次數，就可偵測到所有相鄰 Soft Cell 的發現訊號，攜帶此訊號的子訊框(subframe)將以相當長的週期發送，如此將有利於減少訊令開銷，並有效節省終端裝置電力。該探索訊號的設計可考慮沿用定位參考訊號(positioning reference signal, PRS)，其傳輸時間間隔可以被配置到 1.28 秒以上，進一步可將定位參考訊號的傳輸映射模式(mapping pattern)加以修改，使其映射方式更為隨機，以避免發送時鄰近 Soft Cell 間的碰撞問題(collision)。

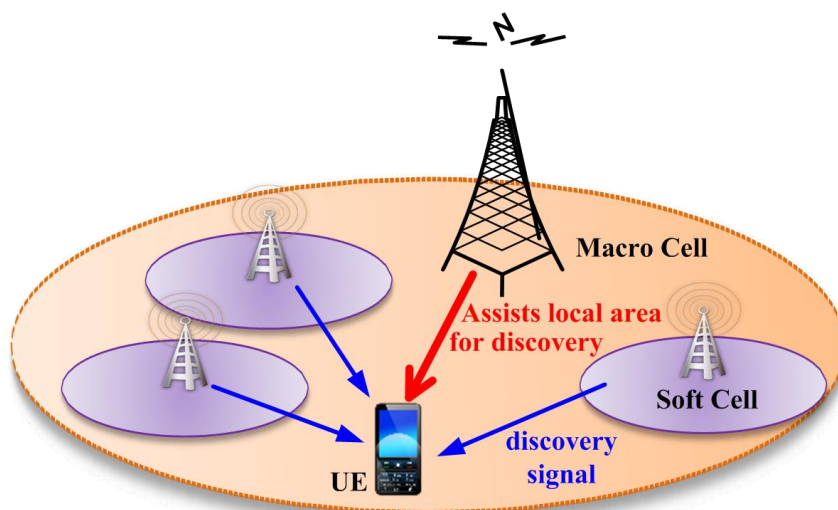


圖 62 大型基地台協助終端探索 Soft Cell  
(資料來源：資策會吳志強、許芳瑜整理與繪製)

## 2. 非對稱傳輸未來可能發展趨勢

日本電波產業協會 ARIB 設置了「2020 and Beyond AdHoc」討論會，以探討 5G 世代的通訊系統架構、無線存取技術與相關服務等，NTT DOCOMO[65]於此提出以 Soft Cell 做為核心架構的 5G 應用構想，基本概念為：將現有大型基地台之上，重疊配置使用高頻率的多種小型基地台，利用配置在不同高頻率上的 Soft Cell，可達到空間上的重疊配置，使整體系統容量比原先更為擴展，且傳輸延遲更短。這種混合多種小型基地台的「擴展 Soft Cell」網路架構，可能包括使用頻率為 3 GHz 到 30 GHz 的超高頻(super high frequency, SHF)、及 30 GHz 以上至高頻(extremely high frequency, EHF)的小型基地台，將這些大小相異的 Soft Cell，分別配置於大眾交通運輸(如：鐵路、公車)做為移動式通訊源，以及做為一般無線熱點，提供用戶平面的通訊使用。接著根據各 Soft Cell 的資源利用率與使用者的移動情形等方面考量，由大型基地台傳送資源配置相關的控制訊令，為這些各式 Soft Cell 分配適當的無線資源。

在未來 5G 世代的通訊系統架構中，異質網路與 Soft Cell 將是不可或缺的關鍵技術，可能被納入雲端無線存取網路(Cloud Radio Access Network, Cloud RAN)的通訊場景內。可協助營運商迅速部署與升級網路的 Cloud RAN 架構，因其可提高頻譜使用效率，協助營運商達到較低成本、高頻寬與高靈活性的營運，被視為 5G 世代的重要通訊場景。而在未來 Advanced Cloud RAN 的場景中，將結合異質網路架構以提高行動網路速度與系統容量，可能會以 Soft Cell 技術做為異質網路架構的核心成員，大型基地台將利用較低的頻率進行控制訊令的傳輸，而 Soft Cell 可藉由較高頻率傳輸用戶資料，以提升資料傳輸流量與速度。

此外，大型基地台與 Soft Cell 更可結合載波聚合(Carrier Aggregation, CA)技術協調運作，大型基地台與 Soft Cell、或 Soft Cell 與 Soft Cell 之間使用載波聚合的方式，大幅提高頻寬速度、擴展系統容量。至今，Soft Cell 技術已成為各大電信營運商關注與討論的熱門議題，與標準組織積極制定的目標方案。

因應未來十年行動資料流量將爆增 500 倍，如何提高網路系統容量、增進資料傳輸量與傳輸速度已成為迫切需求，大型與小型基地台共同組成的異質網路為擴充系統傳輸容量的有效手段，而異質網路易造成移動性較高的使用者面臨基地台頻繁交遞導致服務品質低落的窘境，因此發展出 Soft Cell 技術做為演進異質網路設計的解決方案。Soft Cell 的技術概念為：由大型基地台負責控制訊令的傳遞、無線資源配置與移動性管理，較高頻率的小型基地台負責一般資料的傳輸，藉此取得更多的頻寬與資料傳輸量、避免頻繁的

交遞、減低訊號干擾，進一步提升整體網路系統容量與降低網路佈建成本。

Soft Cell 技術於初期發展上，仍有包括：大型基地台如何與 Soft Cell 進行溝通協調、用戶資料如何從大型基地台透過 Soft Cell 傳遞到終端、傳統通訊流程改變帶來的影響、終端裝置如何發現 Soft Cell 的存在等諸多議題尚待解決，目前包括 Ericsson[66][67]、NTT DOCOMO、LG U+與 SK Telecom 等國際大廠皆積極投入相關議題的討論與標準規範制定。而做為 5G 關鍵技術，Soft Cell 技術以提高訊號覆蓋率與系統容量、保障智慧終端使用者體驗，同時降低大型基地台耗電量、節省網路布建與維運成本等優勢，有助於歐盟組織所提 5G 技術期望願景的完成，包括：每個通訊覆蓋區域達到 100 倍的行動資料傳輸量、10 至 100 倍的典型用戶資料傳輸率等目標，並可協助降低網路傳輸延遲。

由於目前 5G 世代之技術細節、市場需求與研發期程仍不明確，綜觀國際通訊大廠與重要標準組織關注之通訊技術，可描繪未來 5G 應用情境脈絡，透過 5G 關鍵技術 Soft Cell 的介紹，期望協助國內設備或電信營運商眺望未來無線通訊技術發展趨勢，以便及早投入相關技術或設備研發，進一步掌握市場先機。

表 十 歐盟 5G 技術願景說明[68]

5G 技術目標	內容說明
1000 times higher mobile data volume per area	網路流量將較現今增加 1000 倍，亦即網路流量密度為 100Gpbs/km <sup>2</sup> ，平均每位使用者每月網路流量為 500GB
10 to 100 times higher typical user data rate	較現行網路傳輸速度快 10 至 100 倍，亦即使用者之下載速度可達 10Gbps 以上
10 to 100 times higher number of connected devices	連線終端裝置將較現今增加 10 至 100 倍，達到 500 至 5000 億台連網通訊設備
10 times longer battery life for low power devices	大型通訊設備電力壽命需較現今延長 10 倍，終端設備電力使用壽命需達到 10 年，並部署小型基地台以降低能源耗損
5 times reduced E2E latency	網路傳輸延遲將降低為現今的五分之一以下，端到端延遲最高不可超過 1 毫秒

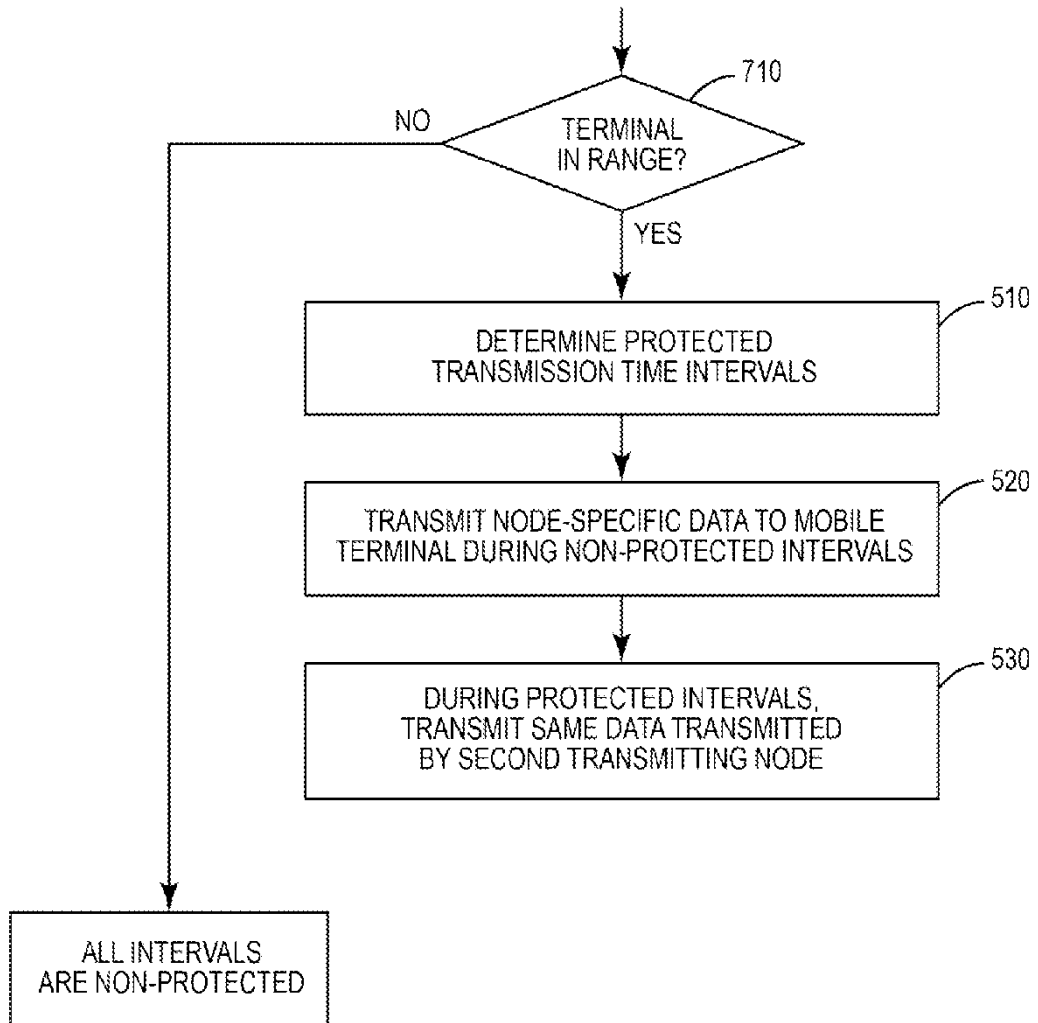
(資料來源：資策會整理，2014 年)

### (三)非對稱傳輸關鍵專利

專利號碼	US20130310059A1	申請國別	US	法律狀態	已公告
專利名稱	Soft Cell Inter-Layer Interference Handling 非對稱傳輸界層間干擾處理				
申請日	07/30/2012	公開/公告日	11/21/2013		
專利權人	TELEFONAKTIEBOLAGET LM ERICSSON	發明人	Parkvall, Stefan Astely, David Dahlman, Erik Hammarwall, David Lindoff, Bengt Sorrentino, Stefano Wilhelmsson, Leif		
優先權	US201213640337				
專利家族	US2014233539 (A1) WO2013170911 (A1)				
功效	習知缺點 (先前技術)	非對稱的傳輸將控制與使用者介面分開，即在異質網路下，大型基地台傳送控制訊號提供系統的連結；小型基地台實際傳送資料給周邊用戶。主要缺點是發生在當大型基地台傳送控制訊號給小型基地台時會被其他小型基地台的訊號干擾。主要原因是即使小型基地台的功率小，但是大型基地台控制訊號因距離而逐漸減弱甚至比小型基地台下行傳輸功率低，因此造成鄰近基地接收大型基地台時的干擾。即使在不同操作頻率上也不能避免。			
	提升效果與方法	可以改善大型基地台控制訊號被小型基地干擾情況，進而優化系統效能。此系統包括一大型基地台與數個小型基地台，其解決的辦法是(1)在大型基地台與小型基地台(例如 pico node)服務範圍重疊的情況，小型基地台發送訊息時會參考大型基地台發送控制訊號的時間間隔(time interval)，避免與這些時間間隔發生重疊或是發送低(reduced)功率在這時間區隔中。至於如何知道這些時間間隔可以在小型基地台內預設規則(rule)或是根據大型基地台提供的訊號發送時程表(signal schedul)。訊號發送時程表(signal schedul)可以是半主動(semi static)或是靜態(static)的時程表，也就是半主動時程表包括部分預設時程表(大型基地台即時提供的即時表)；靜態時程表(固定的預設時程)。所以在非對稱傳輸下，小型基地台傳送純資料時會確認四周是否有終端用戶，如果有，它會依前面所述，決定傳送的時間間隔；小型基地台會			

在大型基地台傳送的時間間隔外先以正常的(normal)功率傳送訊號，接者在這此間隔內再傳送降低(reduced)功率的訊號。藉此降低對大型基台傳送控制訊號到其他小型基地台的干擾。

代表  
圖示



## 七、 大型多重輸入輸出技術 (Massive Multiple-Input Multiple-Output, Massive MIMO)

Massive-MIMO (massive multiple-input multiple-output)(大型多重輸入輸出)系統源自於 MIMO (multiple-input multiple-output)(多輸入多輸出)系統，因此欲了解 massive-MIMO 系統必須先了解 MIMO 系統，以下將描述 MIMO 系統的特性，這些特性將形成 massive-MIMO 系統的基礎。

### (一) 大型多重輸入輸出目前發展

MIMO 系統的一般定義為傳送器及接收器均具有多個天線[69][70]，在這樣的架構下，傳送器可以用多個傳送天線傳送多個子資料流(sub-stream)，接收器則可以藉由多個接收天線接收多個子資料流，假設所有傳送天線與所有接收天線間之衰變(fading)的通道增益(channel gain)均為互相獨立，則此 MIMO 系統的最大多樣性增益(maximum diversity gain)為傳送天線數目及接收天線數目之乘積，而多樣性(diversity)事實上為無線通訊的重要技術[71]，我們可以利用衰變之多樣性來達到平均之效果，此平均之效果可以提高系統的可靠度，亦即可以提高訊號的接收品質，換句話說，隨時間變遷而改變通道增益的衰變行為對 MIMO 系統並不是壞事反而是有益的事，而多樣性即為 MIMO 系統之最大利基。但 MIMO 系統並不僅能提高系統的可靠度，我們可以利用 MIMO 系統在不同的傳送天線傳送不同的子資料流並從多個接收天線之接收訊號進行偵測或解碼以還原此不同的多個子資料流，此即所謂的空間多工(spatial multiplexing)[72]，空間多工可以增加資料傳送率，但由於傳送天線被用於傳送不同的子資料流而無法提供傳送多樣性(transmit diversity)，其最大多樣性增益將變成接收天線之數目，這將使系統的可靠度無法獲得最大的提昇，顯然的，空間多工及多樣性形成一種折衷[73], [74]，增加空間多工增益(spatial multiplexing gain)可以增加資料傳送率但卻降低了多樣性增益(diversity gain)以至於失去可靠度，增加多樣性增益可以提高系統的可靠度但卻降低了空間多工增益以至於無法增加資料傳送率，儘管存在這樣的折衷，但可以看出，當通道狀況良好時我們可以增加空間多工增益以增加資料傳送率，但當通道狀況不佳時我們可以增加多樣性增益以提高系統的可靠度，在實際之無線通訊系統中，我們可以因應通道狀況而在多樣性及空間多工間進行切換以試圖獲得最佳折衷(optimal tradeoff)及使正確接收之資訊的資訊輸出率能趨於通道容量(channel capacity)[75], [76]。

近幾年 MIMO 系統的發展產生了一些改變，基於成本及實務的考量，只有基地台或存取點具有多個天線而使用者終端設備則僅具有單個天線，這樣的 MIMO 系統被稱為 MU-MIMO (multi-user MIMO)(多使用者多輸入多輸

出)系統[77]，MU-MIMO 系統其實應被視為廣義的 MIMO 系統，因為它將多個僅具有單個天線之使用者認定為 MIMO 系統之多輸入或多輸出，至於傳送器及接收器均具有多個天線之傳統 MIMO 系統則被稱為 point-to-point MIMO (點對點多輸入多輸出)系統。從先前 MIMO 系統之特性的描述可以看出，point-to-point MIMO 系統之通道容量會隨著傳送天線數目及接收天線數目之增加而變大，但其前提是通道增益必須均為互相獨立才能使多樣性增益趨於最大而使通道容量達到最高，倘若通道增益彼此間存在相關性 (correlation)，則其通道容量會變小，尤其是在 LOS (line-of-sight)(視線直視)的傳播模式下，會因為缺乏足夠的散射(scattering)而使通道增益彼此間之相關性增強，這將導致其通道容量最為劣化，相對來說，MU-MIMO 系統之各個使用者座落於不同位置，因此其通道增益可以被視為互相獨立而具有使用者多樣性(user diversity)的優點，且其空間多工增益可以被各個使用者所分享。由於具有以上所述之屬性，MU-MIMO 系統被列入 3G、4G 及 WLAN 的標準之中。

另一個多重輸入輸出系統是 SU-MIMO。SU-MIMO 指一個基地台只與一行動裝置進行無線傳輸。反之，在 MU-MIMO 系統下圖 63，一個基地台同時與多行動裝置進行無線傳輸如下:在下載端，一具有 MIMO 功能的基地台送出不同的訊息到各行動裝置端；在上傳端，基地台收到不同訊息從不同的行動裝置端。使用 MU-MIMO 技術相較於 SU-MIMO 有以下好處：

- 行動無線通訊系統中，無線電波在傳輸過程常因為周圍環境障礙物的反射和移動接收所產生的多卜勒效應而形成多重路徑傳輸通道現象，使得傳輸信號受到干擾，影響了接收端的收訊品質。MU-MIMO 相較於 SU-MIMO 更能抵抗環境的影響。

- MU-MIMO 可提高空間多工增益(Spatial multiplexing gain)和空間分集增益 (Spatial Diversity gain)。MU-MIMO 可以藉由具有多重輸入輸出基地台達到高空間多工增益，亦即行動裝置可不需具有多重輸入輸出功能。此可以減少行動裝置的製程成本。

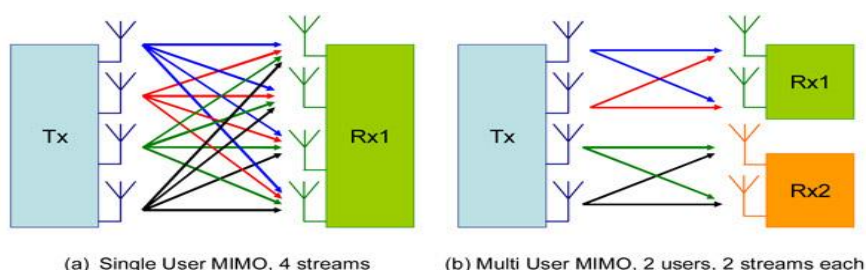


圖 63 MU-MIMO 系統[78]

根據 3GPP 之 3G 多重無線電存取網路架構的發展[79]，第七版(Release 7)已提到多重輸入輸出；即是上下行各用兩組天線(2x2 MIMO)。使用多重輸入輸出可以利用多天線相異性(diversity)降低通道衰減(channel fading)或是藉由分區多重存取(spatial division multiple access, SDMA)增加系統吞吐量。分區多重存取相關兩項技術有波束成形(Beamforming) 和扇區劃分(sectorization)。波束成形可以在不需增加電力的情況下增加功率並涵蓋範圍。空間多工(Spatial multiplexing)多重輸入輸出可以藉由多維空間維度達到重複使用頻譜資源(spectral resources)繼而提高資料量。例如一天線可傳輸的資料是 14.4 Mbps，但藉由空間多工，此天線可以同時傳輸兩不同的資料流(data streams) 因此總資料變為 28.8Mbps。通道狀態訊息(Channel State Information, CSI)是藉由使用者 UE 提供通道訊息給基地台用以提昇雜訊比(signal to noise ratio, SNR)、降低通道衰減(Fading)影響，及有效提昇通訊吞吐量增加接收訊號的品質及可靠度、提供了空間分集(Spatial Diversity)效益克服通道衰減等問題。

表 十一 比較 MIMO 規格在 LTE，LTE-A 標準[80]

System aspect		E-UTRA/LTE (3GPP Rel-8)	IMT-Advanced requirements	LTE-Advanced (3GPP Rel-10)	LTE-Advanced feature set to exceed IMT-Advanced requirements	
(Peak) data rates	DL	327.6 Mbps (4x4 MIMO, 64QAM)	1 Gbps (high mobility) 100 Mbps (low mobility)	1 Gbps	Carrier aggregation, MIMO	
	UL	86.4 Mbps (64QAM)		500 Mbps		
Supportable bandwidth		up to 20MHz	40 MHz, up to 100 MHz	up to 100MHz	Carrier aggregation	
Spectral efficiency	Peak	DL	15 bps/Hz (UE category 5)	15 bps/Hz (4x4 MIMO)	30 bps/Hz	8x8 DL SU-MIMO
		UL	3.75 bps/Hz (UE category 5)	6.75 bps/Hz (2x4 MIMO)	15 bps/Hz	4x4 UL SU-MIMO
	Average	DL	1.87 bps/Hz	2.2 bps/Hz	3.7 bps/Hz (4x4 MIMO)	CoMP, MIMO
		UL		1.4 bps/Hz	2.0 bps/Hz (2x4 MIMO)	MIMO, UL enhancements, CoMP
	Cell edge	DL	0.06 bps/Hz (4x2 MIMO)	0.06 bps/Hz (4x2 MIMO)	0.12 bps/Hz (4x4 MIMO)	CoMP, MIMO
		UL	0.03 bps/Hz (2x4 MIMO)	0.03 bps/Hz (2x4 MIMO)	0.07 bps/Hz (2x4 MIMO)	MIMO, UL enhancements, CoMP
U-plane latency		less than 30 ms	less than 10 ms	less than 10 ms		
C-plane latency		less than 100 ms	less than 100 ms	less than 50 ms		

在表 十一中，在 Releases 8 和 9 版本中 雖然使用者裝置(User Equipment, UE) 有多天線支援，但為了降低行動裝置設計成本與電池消耗，Releases 8 和 9 版本行動裝置上只有一天線有功率放大器負責上傳，其他天線為接收功能；因此 Single-User MIMO (SU-MIMO) 無法支援此行動裝置上傳但是可以支援 Multi-User MIMO (MU-MIMO) 上傳[81]。在 4G 通訊標



準中，LTE-Advanced 標準增訂新的標準支援行動裝置多天線傳輸。

## (二)大型多重輸入輸出之技術挑戰

在 4G 的無線通訊標準中，天線數最多是 8x8 天線。在 5G 的技術標準下，Massive MIMO (多重輸入輸出)的天線數量將持續增加，例如是 128 支天線都是目前研究的方向。由於天線的數量，因此 Massive MIMO 又稱大型天線矩陣系統(large-scale antenna array systems)，very large MIMO，Hyper MIMO，和 Full dimension MIMO。

目前的 MU-MIMO 系統，其基地台或存取點使用小於 10 個的天線，因此其頻譜效率尚存在很大的改善空間，事實上使用超過 100 個天線的大尺度天線系統(Large-Scale Antenna Systems, LSAS)已被提出[82]，根據 Marzetta 之基於隨機矩陣理論(random matrix theory)的證明，當一個 MIMO 系統之細胞的天線數目成長至無窮大，將產生以下結果:不相關雜訊(uncorrelated noise)及小尺幅度衰變(small-scale fading)之效應會被消除、每一個細胞之使用者數目會獨立於細胞之大小、每一個位元所需之被傳送能量(transmitted energy)會消失，且只需要簡單的線性訊號處理(linear signal processing)(譬如以匹配濾波器(Matched Filter, MF)為基礎之偵測/預先編碼)即可達到上述優點，這意味著只需要簡單之線性訊號處理即會使頻譜效率隨著天線數目之成長而變得非常大，同時這也激勵了具有龐大天線數目之 massive-MIMO 系統的發展。根據 Marzetta 之研究結果，在現實傳播(realistic propagation)之假設下，以 MF 為基礎之非合作型(non-cooperative)的 massive-MIMO 系統理論上可以在 UL (uplink)(上鏈路)及 DL (downlink)(下鏈路)方向之 20 MHz 通道皆達到 40 個使用者中每一個使用者均具有 17 Mbps 的資料傳送率，且其能達到每一個細胞具有 730 Mbps 之平均資訊輸出率及 26.5 bps/Hz 之整體頻譜效率，此外 massive-MIMO 系統尚具有能源效率的優點，相對於具相同效能之 SISO (single-input single-output)系統，在完美之 CSI 下，具有單個天線之使用者的傳送功率會隨著基地台之天線數目而成比例下降(scale down)，而在不完美之 CSI 下，具有單個天線之使用者的傳送功率會隨著基地台之天線數目的平方根(square root)而成比例下降，這意味著 massive-MIMO 系統具有很高的能源效率[83]。

使用大型陣列天線包括以下可能的優點:

- A. 大型天線矩陣可以大量增進頻譜的使用效率與功率效率。
- B. 大型天線矩陣提供高維度的自由度(degree of freedom) 讓基地台能在相同時間與頻譜資源下服務更多的使用者。
- C. 大型天線矩陣可以提高能源效率，主要原因是利用大量天線可集中能量達到更高的指向性與覆蓋率。

- D. 大型天線矩陣與 3D 波束成形可以減少干擾。在蜂巢的周圍或是蜂巢間會有很強的干擾藉由光束指向(steer)可以減少蜂巢間的干擾增加使用者經驗。
- E. 其他好處包括可以降低延遲，簡化 multiple-access layer 和較高的能力抵抗人為干擾。

Massive-MIMO 系統雖具有頻譜效率及能源效率的優點，但在實現及應用上會有以下困難。

- A. 從之前的描述可以看出，massive-MIMO 系統的重點在基地台，而基地台使用數百個天線，因此基地台的傳送器及接收器必須執行大量的訊號處理，此大量的訊號處理將造成極大的計算複雜度 (computational complexity)。
- B. 如前文所述，使 massive-MIMO 系統能達到所預期之頻譜效率的線性訊號處理技術之一為預先編碼，此預先編碼必須由基地台在 DL 進行，一般而言，必須利用鏈路(link)方向之 CSI 來進行預先編碼才能最佳化鏈路方向之效能，但在 massive-MIMO 系統中，若由基地台在 DL 傳送導引訊號(pilot)再由使用者將估計所得之在 DL 方向的 CSI 回授至基地台，則可能因基地台之天線數目過多而使回授之在 DL 方向的 CSI 失去時效性(timeliness)，因此 massive-MIMO 系統可能會採用分時雙工(time division duplexing, TDD)模式，在此模式中，使用者在 UL 傳送導引訊號再由基地台進行在 UL 方向之 CSI 的估計，基地台利用此估計所得之在 UL 方向的 CSI 來進行 DL 之預先編碼，這是基於在 TDD 模式中之通道相互性(channel reciprocity)的假設，在此假設中，UL 之 CSI 被認為等於 DL 之 CSI，但如[12]所述，在實際之運作中，基地台及終端設備之收發器的硬體鏈(hardware chain)可能無法達到相互性(reciprocity)，這將導致 UL 之 CSI 並不等於 DL 之 CSI，因此須進行相互性校正(reciprocity calibration)。
- C. 各使用者所傳送之導引序列(pilot sequence)必須互相正交(orthogonal)，基地台才能獲得不被污染(uncontaminated)之 CSI 的估計，但在給定之周期及頻寬下，互相正交之導引序列的數目受到限制，因此非正交(non-orthogonal)之導引序列可能被使用於鄰近細胞(neighboring cell)之使用者，這將導致導引訊號污染(pilot contamination)，此外，受限於通道之符合時間(coherence time)，使用者所傳送之導引序列可能無法互相正交而亦有導引訊號污染的問題。
- D. 如[77], [82]–[85]所述，massive-MIMO 系統具有頻譜效率及能源效率之優點的前提是必須在基地台架設數量非常大的天線，且為了使

通道增益均為互相獨立以使多樣性增益趨於最大而使通道容量達到最高，天線彼此間的距離不能太小，如[12]中之配置圖所示，massive-MIMO 系統可能必須在多個建築物之頂樓上架設數量非常大且彼此間距離不能太小的天線，這對實際系統的部署，將是一個很大的挑戰。

- E. 結構上的挑戰：現在的基地台上架設許多高功率的指向性天線 (sector Antenna) 提供大範圍的覆蓋率。但當使用大型陣列天線系統後，未來基地台上所架設的天線數量遽增，將會面臨電力調配問題、天線間的互相耦合 (mutual couplings) 與天線間干擾等問題。因此勢必設計新的陣列或是基地台結構才能達到大型陣列天線的功效 [86]。
- F. 通道模型 (Channel Models)：通道模型利用通道的統計特性來分析與模擬，模型的建立必須根據第一項討論的基地台與矩陣結構相互配合設計，同時也必須考慮環境變因，天線間的干擾、訊號的衰減等因素。FD-MIMO 大型陣列天線的通道模型將更為複雜，將從二維模型轉為三維的通道模型。
- G. 與 Small Cells 共存：未來大型矩陣天線將會與 Small Cells 共存，然而因為 Small Cells 屬於較小的基地台，或許大型矩陣天線不會選擇放在 Small Cells 而仍會放在大型基地台上使用。但是要如何搭配這兩種技術達到最佳效果將是未來系統設計的一大挑戰。
- H. 考慮使用毫米波技術：毫米波技術絕對與大型陣列天線相輔相成。因為高頻率波長短可以使用較小天線，小天線可放置在行動裝置上或可讓天線陣列設計上更靈活。然而設計上限制也相當多，在大型陣列天線與毫米波設計上必須考慮功率增益以及干擾削減等因素 [87]。

Massive-MIMO 系統正於多個學術機構、研究單位及公司積極研究中，如[77], [82]–[85]所述，包括 Linköping University (Sweden)、Lund University (Sweden)、Bell Labs/Alcatel-Lucent (USA)、IIT/Delhi (India)、Rice University (USA)、Georgia Institute of Technology (USA)、University of California, Irvine (USA)、University of Singapore (Singapore) 及 Intel 均積極研究 massive-MIMO 系統之理論基礎、實務技術及實體測試。

#### 1. 目前大型多重輸入輸出應用與研究趨勢

Massive-MIMO 系統之目前應用與研究趨勢主要在其實務技術及實體測試，因此以下將就這兩方面作說明。

## (1) 實務技術

Massive-MIMO 系統之實務技術包括基地台之接收器訊號處理(signal processing)、基地台之傳送器訊號處理、通道估計(channel estimation)、相互性校正及導引訊號污染之緩和。

### A. 基地台之接收器訊號處理

Massive-MIMO 系統之基地台的接收器在進行符號(symbol)之偵測前必須先執行訊號處理，其目的在提高 UL 之 SINR (signal to interference-plus-noise ratio)(訊號對干擾雜訊比值)以降低 UL 之 BER (bit error probability)(位元錯誤機率)，因為基地台具有多個天線而使用者僅具有單個天線，可用之訊號處理包括最大比率結合(maximum ratio combining, MRC)、強迫歸零(zero forcing, ZF)及最小平均平方錯誤(minimum mean squared error, MMSE)等類型之線性訊號處理，其中 MRC 即為以 MF 為基礎之用於偵測的訊號處理，且這些訊號處理具有細胞內干擾(intra-cell interference)的干擾抑制(interference suppression)能力，同時如[85]所述，當基地台之天線數目遠大於使用者數目時，使用 MRC、ZF 及 MMSE 等類型之線性訊號處理即可達到接近最佳(nearly optimal)之效能，此外，如[77]所述，MMSE 類型之訊號處理可以使用數量較少之天線而達到與 MRC 類型之訊號處理相同的效能，同時 MMSE 類型之訊號處理具有細胞間干擾(inter-cell interference)的干擾抑制能力。

### B. 基地台之傳送器訊號處理

在 Massive-MIMO 系統中，基地台具有多個天線而使用者僅具有單個天線，因此基地台的傳送器在傳送符號前必須先進行預先編碼，此預先編碼之程序亦稱為傳送波束成型(transmit beamforming)，亦即對傳送符號執行訊號處理，其目的在提高 DL 之 SINR 以降低 DL 之 BER，可用之訊號處理包括最大比率傳送(Maximum Ratio Transmission, MRT)、ZF 及 MMSE 等類型之線性訊號處理，其中 MRT 即為以 MF 為基礎之用於預先編碼的訊號處理，且這些訊號處理具有細胞內干擾的干擾抑制能力，但使用者僅具有單個天線，因此如[77]所述，單細胞(single-cell)之預先編碼無法緩和細胞間干擾，但如果各細胞能進行 CSI 之交換，則可以利用多細胞(multi-cell)之預先編碼以對細胞間干擾進行干擾抑制。事實上傳送波束成型屬於陣列訊號處理(array signal processing)的領域並已歷經數十年的研究，其主要原理為形成一個特殊之波束以將功率集中至所選擇之接收器，它可以最大化 SINR 或最小化所收到之干擾[88]-[90]。

### C. 通道估計

如前文所述，massive-MIMO 系統可能會採用 TDD 模式，在此模式中，使用者在 UL 傳送導引序列再由基地台進行在 UL 方向之 CSI 的估計，基地台利用此估計所得之在 UL 方向的 CSI 來進行 DL 之預先編碼，以 MMSE 為基礎之通道估計被廣泛使用於各類型的通道估計，原因是它具有低複雜度的特性但卻能提供接近最佳之效能，因此在 massive-MIMO 系統中，基地台亦可能使用以 MMSE 為基礎之通道估計方法來估計在 UL 方向的 CSI 以進行 DL 之預先編碼。

### D. 相互性校正

如前文所述，基地台之所以能利用在 UL 方向估計所得之的 CSI 來進行 DL 之預先編碼是基於在 TDD 模式中之通道相互性的假設，在此假設中，UL 之 CSI 被認為等於 DL 之 CSI，但在實際之運作中，UL 之 CSI 並不等於 DL 之 CSI，因此須進行相互性校正，但是相互性校正須付出代價(cost)，此代價包括時間及頻率的資源同時並包括所需之額外硬體元件，因此目前的研究重點在於尋求付出較少代價之相互性校正的方法。

### E. 導引訊號污染之緩和

導引訊號污染可能是 massive-MIMO 系統最嚴重的問題，有關它對效能所造成的影響，在[9]中作了很多描述，而這些效能之影響可以透過以下在[9]中所介紹的方法來獲得緩和。

#### (i) 以協定(protocol)為基礎之方法

降低導引訊號污染對效能所造成之影響最簡單的方法是利用頻率重複使用(frequency reuse)或降低使用非正交導引序列之使用者的數目，這些方法可以透過傳送協定(transmission protocol)來達成，亦即對各使用者之傳送時序(transmission timing)進行控制，各使用者只有在特定之時間傳送導引序列以避免導引訊號污染。

#### (ii) 預先編碼之方法

如前文所述，基地台利用估計所得之在 UL 方向的 CSI 來進行 DL 之預先編碼，因此基地台進行預先編碼時所使用之預先編碼矩陣(precoding matrix)若經過特別設計，將可降低因導引訊號污染而對其他細胞(other cells)之使用者所造成的干擾，目前有單細胞之預先編碼方法及多細胞之預先編碼方法用於降低導引訊號污染對效能所造成之影響。

#### (iii) 以 AOA (angle of arrival)(抵達角度)為基礎之方法

使用者所傳送之訊號事實上存在 AOA 之機率密度函數(probability

density function, PDF), 因此只要各使用者具有不互相重疊(mutually non-overlapping)之 AOA 的 PDF, 則各使用者即便使用相同的導引序列也幾乎不會造成彼此間的導引訊號污染, 目前有協調(coordination)之機制被提出以安排相同的導引序列予具有上述屬性的使用者。

(iv) 盲目(blind)之方法

盲目之方法是基於子空間分割(subspace partitioning)的原理以使導引訊號污染對效能所造成之影響獲得緩和, 此方法的基本作法是利用所收到之資料的統計特性以進行 CSI 的估計, 估計中所產生的含糊(ambiguity)可以藉由被安排予網路細胞(network cell)之互相正交的細胞導引序列(cell pilot sequence)來獲得解決。

## (2) 實體測試

除了實務技術的研究, massive-MIMO 系統的實體測試亦於多個學術機構、研究單位及公司積極進行中, 如[84]所述, Linköping University (Sweden)、Lund University (Sweden)、Bell Labs/Alcatel-Lucent (USA)、Rice University (USA)均發展了一些 massive-MIMO 系統的原型(prototype)以進行 massive-MIMO 系統的實體測試, 這些實體測試將有助於讓我們了解 massive-MIMO 系統是否真的具有頻譜效率及能源效率的優點。

## 2. 大型多重輸入輸出未來可能發展趨勢

如前文所述, massive-MIMO 系統具有頻譜效率的優點, 因此每一個區域的行動資料量、使用者資料傳送率及被聯結之裝置的數目均將因使用 massive-MIMO 系統而大幅增加, 同時其頻譜效率亦可有效降低端點至端點的延遲, 此外, massive-MIMO 系統尚具有能源效率的優點, 這將使低功率裝置(low power device)具更長的電池壽命, 綜合以上所述, massive-MIMO 系統有助於 5G 之願景的完成。

如前文所述, massive-MIMO 系統雖具有頻譜效率及能源效率的優點, 但和一般無線通訊系統相同, 依然在 UL 方向及 DL 方向存在細胞間干擾的問題, 尤其在 DL 方向, 使用者僅具有單個天線, 而單細胞之預先編碼無法緩和細胞間干擾, 因此, 細胞間干擾的問題將最為嚴重, 但在實際應用中, 由於訊務大部分集中在 DL 方向, DL 方向可能會比 UL 方向需要更大的頻寬, 因此為了提高頻譜效率, 細胞間干擾的干擾抑制將是 massive-MIMO 系統之未來的重要研究方向。根據[54], [55], [59], [60], [91]的研究結果, 只要接收端能測量得干擾在所有接收天線的相關性, 接收端即可利用此相關性對接收訊號進行處理以抑制干擾, 這種方法不須在傳送端進行訊號處理更不須

將通道資訊及干擾資訊回授至傳送端，而它所能獲得的增益卻非常明顯及可觀，但在 massive-MIMO 系統中，使用者僅具有單個天線，這將導致使用者無法利用在所有接收天線的相關性以對細胞間干擾進行干擾抑制，因此是否可能讓使用者具有多個天線以對細胞間干擾進行干擾抑制或許是未來 massive-MIMO 系統的一個考量，當然這樣又會衍生使用者與基地台間之通道增益是否均為互相獨立的問題，不過 massive-MIMO 系統之理論的基本假設或許本身就是一個問題，根據 massive-MIMO 系統之理論[10]，massive-MIMO 系統是在不相關雜訊的環境下達到其理想的頻譜效率，但細胞間干擾具有相關性，而 massive-MIMO 系統在具有相關性之干擾環境下的頻譜效率並未獲得評估，此外，在 massive-MIMO 系統之理論的基本假設下，為了達到其理想的頻譜效率，massive-MIMO 系統試圖營造一個具有數量非常大之天線且通道增益均為互相獨立的 MU-MIMO 系統，這種發展方向或許也存在很多疑問，我們可能會聯想到，如果理論的基本假設是不切實際的，則我們無論付出多少代價可能都無法達到其理想的頻譜效率，如此的話，為什麼我們必須付出這些代價？

(三)大型多重輸入輸出關鍵專利

專利號碼	WO2014008072A1	申請國別	WO	法律狀態	已公告
專利名稱	Supporting measurments and feedback for 3D MIMO with data transmission optimization				
	具資料傳送最佳化之三維多輸入多輸出的支援量測及回授				
申請日	06/26/2013		公開/公告日	01/09/2014	
專利權人	Intel Corp.		發明人	CHEN, Xiaogang DAVYDOV, Alexei LI, Qinghua ZHU, Yuan MOROZOV, Gregory V. FWU, Jong-Kae HAN, Seunghee NIU, Huaning YANG, Rongzhen	
優先權	US201261667325P				
專利家族	AU2012333172 (A1) AU2012333237 (A1) AU2012333239 (A1) AU2013211872 (A1) AU2013211927 (A1) AU2013212088 (A1) AU2013212110 (A1) AU2013246041 (A1) AU2013251441 (A1) BE1020890 (A5) BE1020891 (A5) CA2850124 (A1) CA2853238 (A1) CA2853239 (A1) CA2861484 (A1) CA2862374 (A1) CA2863424 (A1) CA2863618 (A1) CN103368940 (A) CN103369467 (A) CN103379599 (A)				



	<p>CN103428659 (A)  CN103517327 (A)  CN103532680 (A)</p>
功效	<p>習知缺點 (先前技術)</p> <p>現在的基地台上架設許多高功率的指向性天線 (sector antenna)提供大範圍的覆蓋率。但當使用大型陣列天線系統後，未來基地台上所架設的天線數量遽增，將會面臨電力調配問題、天線間的互相耦合 (mutual couplings)與天線間干擾(interference)等問題。因此勢必設計新的陣列或是基地台結構才能達到大型陣列天線的功效</p>
	<p>提升效果與方法</p> <p>專利內容則著眼在支援具垂直方向性元件(vertical directional component)之來自天線陣列(antenna array)的無線通訊路徑(path)，其範例(example)藉由只有在被提供作為各種垂直波束組態(vertical beam configuration)之 RS (reference signal)(參考訊號)的子集合(subset)進行回報(reporting)，以降低被增加之通訊路徑數目的訓練回授(training feedback)，其額外範例以基於 RS 量測(measurement)之差異(difference)的垂直量測(vertical measurement)來降低回授。massive-MIMO 系統之龐大天線數目可用於建構 2D (two dimensional)(二維)天線陣列以形成水平波束(horizontal beam)及垂直波束(vertical beam)，而具有水平(horizontal)及垂直(vertical)這兩個方向之指向能力(pointing capability)，亦即 massive-MIMO 系統可以形成 3D (three dimensional)(三維)之 MIMO 系統。</p>

代表  
圖示

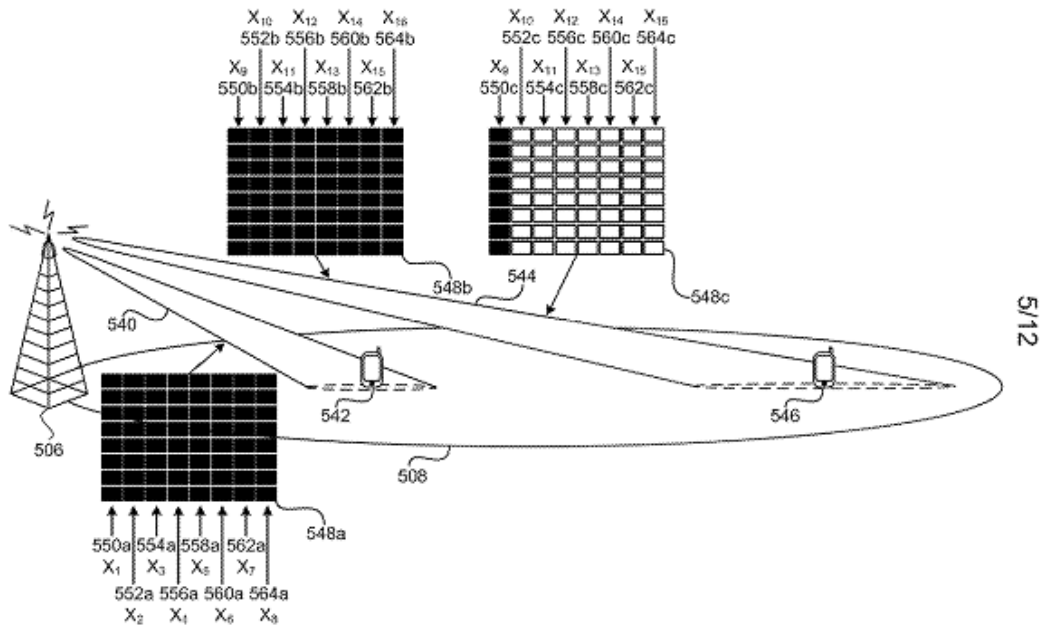


FIG. 5

5/12

## 八、 全雙工通訊(Full Duplex)

### (一) 全雙工通訊目前發展

無線通訊不停地在有限的無線頻譜中的演進。在諸多增加頻譜效率的方法當中的全雙工通訊(full-duplex radio)得到許多來自工業界和學術界的關注。全雙工通訊背後主要的想法是絕大部分的通訊系統皆包含傳送與接收功能的天線。依照慣例，這些天線運作在半雙工模式，這意味著傳送接收會在不同時間使用同樣頻段。若在同樣頻段同時可以進行傳送與接收將可讓蜂巢式網路(cellular network)減少一半的頻譜需求，提供兩倍有效的頻譜效率。例如 LTE FDD 是使用兩個不同頻帶以分別供上/下行使用。全雙工通訊系統，我們可以使用在同一個頻帶內的一個單一通道來獲得相同的性能。

除了頻譜效率之外，全雙工的概念除了可以被使用在物理層(physical layer)，甚至也很有利於使用在存取層(access layer)。從存取層的角度來看，frame level 的全雙工通訊可以讓終端機有能力在接收一個訊框(frame) 的同時下，一併傳送另一個訊框。例如，終端機將可以在競爭式網路(contention-based)中進行傳送動作的同時去偵測碰撞是否發生。

但是直到現在為止，由於潛在的自我干擾衰減效應，似乎還未看到全雙工通訊被廣泛的使用。所謂的自我干擾是由於全雙工通訊的終端機自己所引起的。終端機在接收資料時，被自己所傳送的資料給干擾。全雙工通訊的基地台要達到半雙工通訊一樣的訊雜比(SNR)，它將需要能夠消除超過 106dB[92](如圖 64 呈現)。

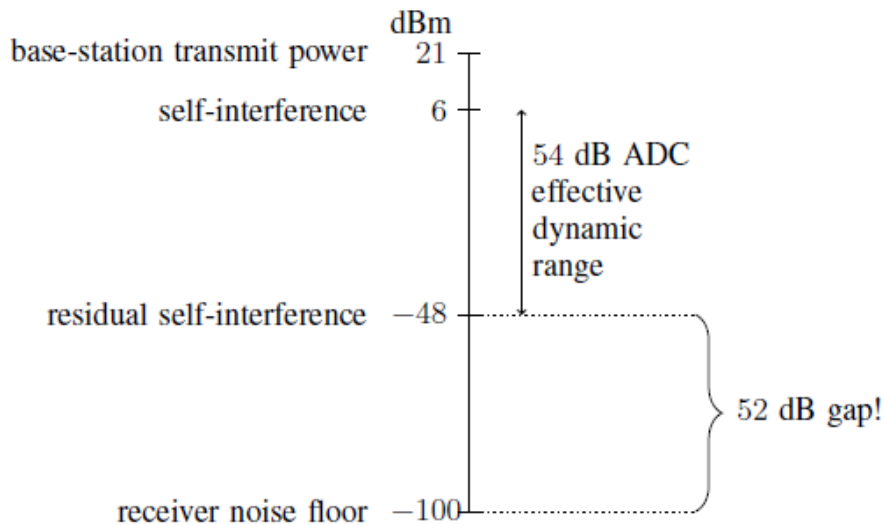


圖 64 Femto-cell 蜂巢式系統自我干擾例子[92]

為了要達成全雙工通訊，終端機需要完全地消除自發送端到接收訊號的顯著地自我干擾。而其中的自我干擾的來源主要有要可以分為下列三類：

- A. 線性要素：這對應於衰減與環境的反射。之所以稱為線性，是因為接收到訊號的失真，可以從不同的延遲做線性組合原來的訊號。
- B. 非線性要素：這部分是由於輸入信號經過無線電的電路而產生輸出包含有非線性立方和高階項的成分。這些高階項的信號接近於發送訊號所使用的頻率。
- C. 發射器雜訊：這個額外的雜訊是由發射器的高功率元件(例如功率放大器等)中所產生。

## (二)全雙工通訊之技術挑戰

全雙工通訊無線通信設備使用相同的時間、相同的頻率，同時發射和接收無線信號，利用分享相同頻譜，裝置同時同頻收送的特性，使得無線通信鏈路的頻譜效率提高將近一倍，具有成為相當潛能增加總流量的無線網路技術，如高通專利[93]所提出的全雙工通訊技術所帶來的好處。

由於收發同時同頻，裝置的發射信號會對本地接收機產生干擾，使用全雙工無線電的首要工作是消除自我干擾，消除自我干擾能力將直接影響全雙工無線電系統的通信品質。消除自我干擾技術早期應用在線路交換電話系統中，已有一段時間較少被討論，但隨者通信系統發展，信號頻寬、頻率、消除自我干擾量等指標與上述電話系統作法上差異大。早在 1997 年，GR Kenworthy 申請了美國專利“Self-Cancelling Full-Duplex RF Communication System” [94]，專利中明確描述了一種全雙工通信系統，該系統採用射頻干擾消除、數位干擾消除兩級進行抑制自我干擾，達到同時同頻收發信號的效果。針對 GR Kenworthy 申請了美國專利技術製作前後引證次數的專利圖表(圖 65)，觀察出 Full-Duplex RF Communication System 專利技術為先鋒專利，此專利最具威脅性與具重要代表性。

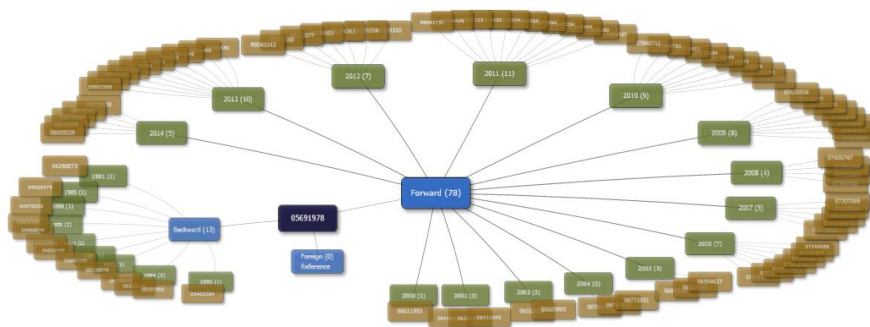


圖 65 後引證次數 (來源: IPTECH)

全雙工通訊，將移動通訊、衛星通信、數據鏈、軍用電台、微波接力等等技術對應的設備，市場前景巨大，將是未來十年最核心的無線通信技術變革，然而，全雙工通訊專利解析此技術相關研究趨勢，以公司別分析係利用專利資料對特定之競爭對手進行各式之競爭指標分析，深入了解公司競爭對手之動向，達到知己知彼、百戰百勝之目的。下表彙整出公司研發能力詳細數據表：活動年期為觀察各競爭公司在全雙工通訊技術領域內有專利產出之活動期，進而可得知各公司投入本技術產業之研發時間以及資源等。發明人數為競爭公司之投入研發發明人數之分析，透過競爭公司在全雙工通訊技術研發人員投入多寡情況，用以評析該公司對全雙工通訊技術之企圖心與競爭潛力。平均專利年齡為將各專利權年齡總和除以專利件數所得之值。以美國專利權年限 20 年為例，若分析全雙工通訊技術之平均專利年齡愈短，表示此專利案之全雙工通訊技術受專利權保護時間愈長，享有較長期之技術獨占性優勢。綜合上述，NTT Docomo 公司目前發展較為完善布局，透過此等資訊評析全雙工通訊技術在各競爭公司之競爭實力。

表 十二 公司研發能力詳細數據表  
(來源: III 自行統計)

公司名稱	專利件數	活動年期	發明人數	平均專利年齡
NTT Docomo, Inc.	3	3	12	3
BROADCOM CORPORATION	2	1	8	1
RAYTHEON BBN TECHNOLOGIES CORP.	3	3	1	2
INTEL CORPORATION	2	2	3	10
BBN TECHNOLOGIES CORP.	1	1	1	5

根據上述分析之全雙工通訊技術重要公司，進行各年度活動表製作與分析，深入了解各公司之專利產出活動年，以此探究該公司之全雙工通訊技術投資概況。揭示指定公司就全雙工通訊技術分析主題，在歷年內專利申請/公開的情況，並能揭露該公司申請專利的明細，幫助分析者監控競爭公司的活動狀況與方便查明相關內容，由下表我們可以斷出目前各家全雙工無線電技術沒有重疊的情況發生，專利布局領域策略上較無產品競爭可能。

表 十三 公司專利分析表  
(來源: III 自行統計)

公司名稱	年份	專利號	專利名稱
BBN TECHNOLOGIES CORP.	2009	07483711	Spectrum-adaptive networking
BROADCOM CORPORATION	2013	20130223294	Methods and Apparatus for Operating Wireless Devices
BROADCOM CORPORATION	2013	20130188536	Full-Duplex Bandwidth Deployment
INTEL CORPORATION	2003	20030098806	Rejecting interference for simultaneous received signals
INTEL CORPORATION	2005	06915112	Active cancellation tuning to reduce a wireless coupled transmit signal
NTT Docomo, Inc.	2010	07848711	Radio communication apparatus and radio communication method
NTT Docomo, Inc.	2011	08041311	Radio communication control apparatus and radio communication control method
NTT Docomo, Inc.	2012	08135356	Radio communication control apparatus and radio communication control method
RAYTHEON BBN TECHNOLOGIES CORP.	2011	08041363	Spectrum-adaptive networking
RAYTHEON BBN TECHNOLOGIES CORP.	2012	08190093	Spectrum adaptive networking
RAYTHEON BBN TECHNOLOGIES CORP.	2013	08494534	Spectrum-adaptive networking

關鍵專利所屬國專利分析係就主要投資全雙工通訊技術之國家進行相關分析，分析資料包括有：各重要國家、專利件數、以及各國投入之專利申請權人數。透過重要國家以其投入發展之專利權人數分析其投入全雙工無線電技術之主要技術發展重鎮之國家為何，如欲投入全雙工通訊技術發展，則重要國家專利資料庫是必為監控之標的，目前重要國專利是美國、瑞典和中國較具規模。

表 十四 關鍵專利進重要國專利件數詳細數據  
(來源: III 自行統計)

排名	國家	專利數	專利權人
1	US	10	8
2	SE	4	4
3	CN	4	3
4	JP	3	2
5	KR	2	2

同時同頻，全雙工中繼(FDR)發射機的發射信號會對本地接收機產生干擾，使用 FDR 的首要工作是消除自我干擾。近三年來，國內外的已有研究主要包括：天線消除、RF 消除和數位消除。其中，天線消除在收發天線處實施，射頻消除在信號進入模數轉換器件(ADC)前的射頻前端實施，數位抑制在信號經過 ADC 後的數位域實施。為了防止射頻接收通路阻塞，需要進行射頻自干擾消除，使信號能夠通過 ADC，進入數位干擾消除及數位解調處理流程。

干擾消除可以分為直接射頻耦合干擾消除和數位輔助射頻干擾消除，並且已經得到了初步工程驗證。直接射頻耦合干擾消除的典型方法如文獻[95]和文獻[96]。文獻[94]將發射信號經過可變衰減、可變延時處理後，得到干擾重建信號，將接收信號與干擾重建信號相減，完成射頻干擾消除；經實驗驗證，對於 10 MHz 頻寬的 WiFi 信號，可以消除 45 dB 自干擾。文獻[95]和文獻[96]的基礎上，對干擾重建方法進行了改進，將發射信號經過網路可變衰減器和固定延時器，得到干擾重建信號；經實驗驗證，對 40 MHz 頻寬的 OFDM 信號，可以抑制 45~50 dB 自我干擾。射頻自干擾功率、頻寬以及線纜長度、幅度、相位調整誤差對射頻自干擾消除效果的影響，目前還沒有分析和實驗驗證的文章。下文針對史丹佛大學的研究情況做簡單的介紹：

Choi, Jung II, et al. 在西元 2010 年提出[97]，本文提出了使用天線消除(Antenna Cancellation)，這是一種自我干擾消除(self-interference cancellation)的新技術，此技術使用了二根傳送天線(TX1 和 TX2) 如圖 67，TX1 和 TX2

分別被放置在距離 RX  $d$  和  $d + \lambda/2$  遠，主要是利用訊號的破壞性干涉原理將 RX 天線置於 TX 間的適當距離來達到干擾消除的目的。

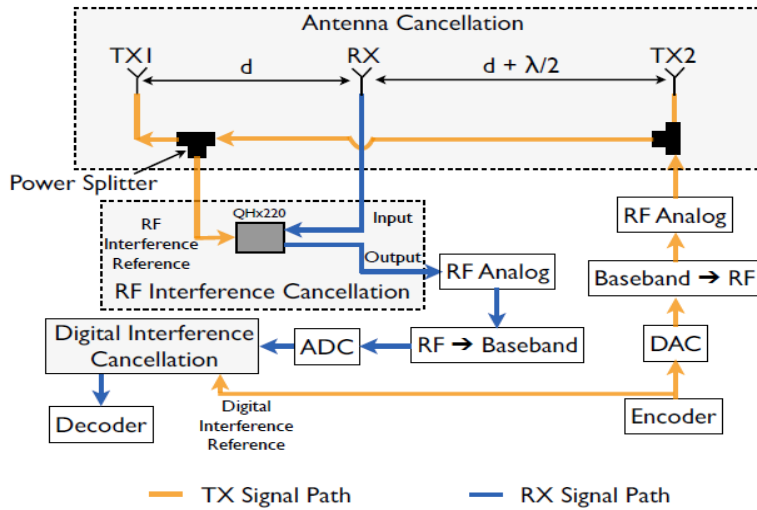


圖 66 無線全雙工節點的框圖[97]

Jain, Mayank, et al. 在西元 2011 年提出[95]，本文提出了全雙工(full duplex radio)設計使用信號反向和自適應消除，信號反向使用了簡單的設計基於在平衡/不平衡(Balun)轉換器如圖 67，主要係將 TX 的訊號反向並傳送到 RX 端及讓 TX 和 RX 拉開相對距離來達到 cancellation 的目的。

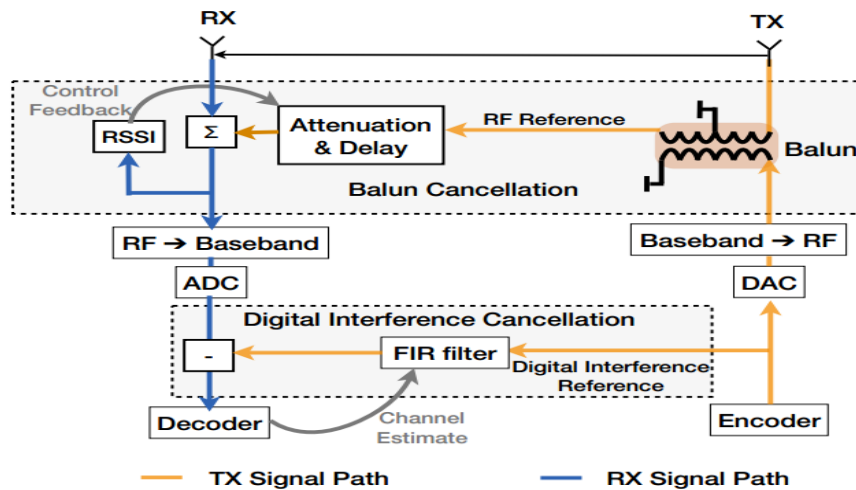


圖 67 全雙工系統框圖[95]

Bharadia, Dinesh, et al. 在西元 2013 年提出[98]，本文提出了利用一根天線同時同頻傳送和接收，其主要係利用循環器(Circulator) 如圖 68，即在傳送訊號和接收訊號照著埠的順序跑，這樣將能避免在同時傳送訊號和接受



訊號時的干擾。

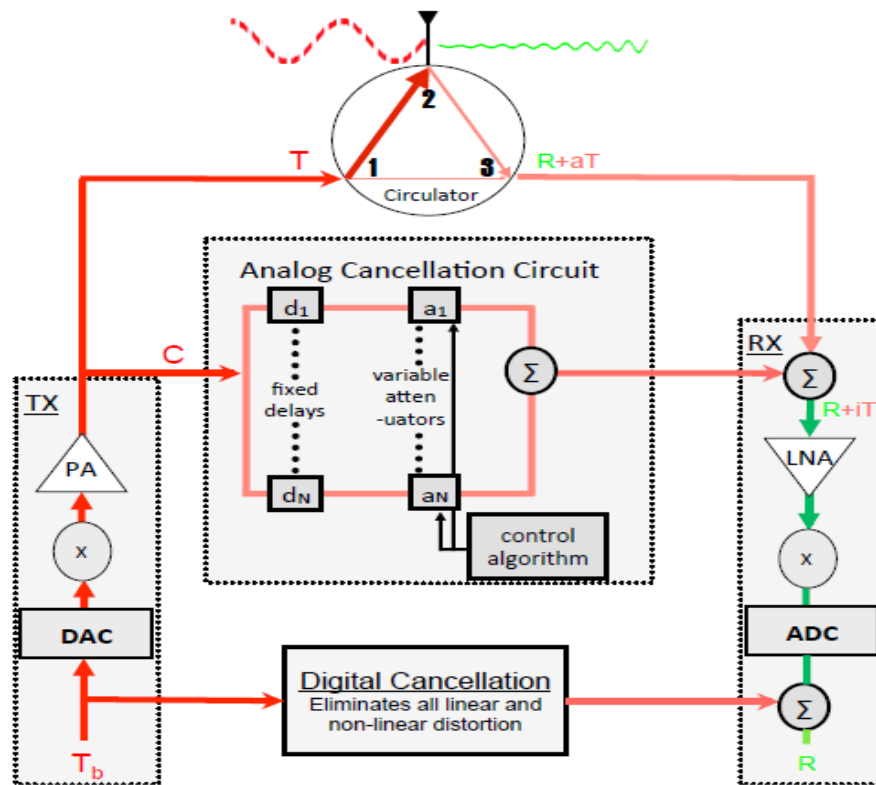


圖 68 全雙工無線電方框圖[98]

歐盟 FP7 計畫(European Union Seventh Framework Programme)是一個跨國組織計畫[99]，並藉由 Duplo(Full-Duplex Radios for Local Access) 計畫去提供未來新的全雙工無線電技術，來將全雙工通訊技術用於提升近端通訊的效能。Duplo 在規劃全雙工通訊技術未來可實現的方向時，主要將全雙工通訊技術用來增進小型基地台(Small Cells)和公共安全網路(public safety network)的操作上。

基地台可藉由中繼站功能，能擴展涵蓋範圍並提升傳輸率。Duplo 計畫將原先的半雙工中繼站取代成全雙工中繼站，而提供有效的頻譜跟功率使用。由於全雙工無線電技術可以在同一時間同一頻率做收送訊號，因此可提升像是小型基地台網路的短距離或是近端通訊的傳輸量。全雙工通訊技術可使來源端跟中繼台間和目的端跟中繼台間平行傳輸或接收，使得藉由全雙工通訊技術的端點對端點(end-to-end)通訊技術，能比半雙工通訊技術在時間或是頻率傳輸接取，以更有效的方式，在小範圍地區提高傳輸量及效能。

全雙工通訊技術可提供公共安全網路在藍軍追蹤系統(Blue Force Tracking)和即按即通系統(Push To Talk)更好的系統容量，並擴展公共安全網

路的涵蓋範圍。圖 69 是全雙工通訊系統用於擴展公共安全網路涵蓋範圍的架構圖。全雙工通訊可用於延伸在非涵蓋範圍中的窄頻的專業行動無線系統 (PMR) 系統。利用在裝置間的通訊技術(Device-to-device technology)提供全雙工通訊，來延展原先公共安全網路的涵蓋範圍跟容量，讓在公共安全基地台的涵蓋範圍內警消設備，可以透過全雙工通訊技術，提供同時接收及傳送功能，來跟非公共安全基地台的涵蓋範圍內的設備做雙向裝置跟裝置間的通訊。此應用對於位在地下室或是用在重大災難的公共安全設備，可藉由全雙工通訊技術提供通訊。由圖 68 中可知，在公共安全基地台的涵蓋範圍內的設備仍可沿用舊有的半雙工通訊技術跟基地台溝通，但對非在公共安全基地台涵蓋範圍內的通訊設備可升級支援全雙工通訊技術。

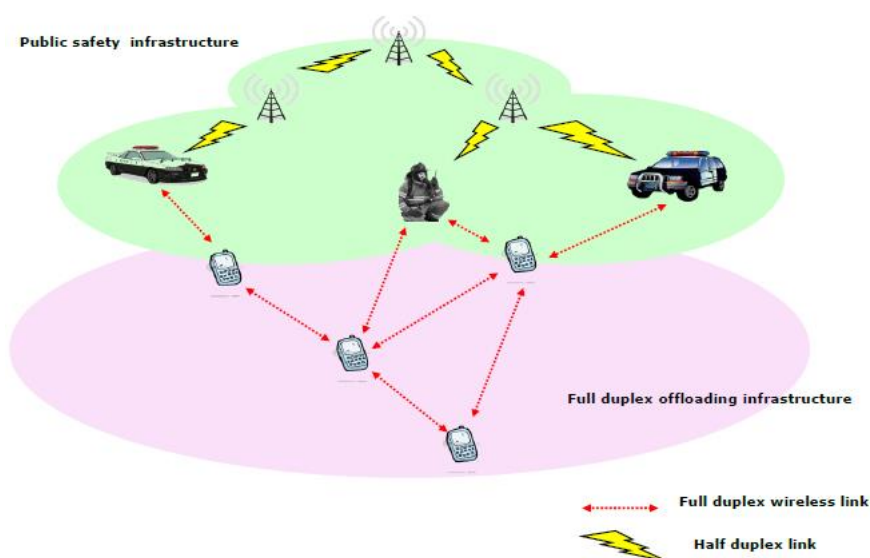


圖 69 全雙工通訊用於公共安全網路架構[99]

圖 70 支援全雙工通訊系統的公共安全網路在分頻多工(FDD)技術規劃。原先類專業行動無線系統(PMR-like)的公共安全網路利用分頻多工用在其上行跟下行連結，其上行跟下行連結所操作的頻帶是完全不相交的。配有全雙工通訊系統的公共安全網路裝置，可在下行載頻中接收來自基地台的訊號，也可以在同一時間跟其他公共安全網路裝置做溝通。配有全雙工通訊系統的公共安全網路裝置也可在上行載頻中對基地台傳送訊號，並在上行通道接收其他公共安全網路裝置傳來的訊號。對於配有全雙工通訊系統的公共安全網路裝置，仍可保留原先對基地台間在上行傳送和在下行接收的功能，但是可以同步的在上行通道跟下行通道跟其他公共安全網路裝置做溝通。此外，對於半雙工的分時多工(TDD)，其上行跟下行連結是在不同時間但在同一個載頻上。支援全雙工通訊系統的公共安全網路的分時多工技術規劃下，公共安全網路裝置可在同一時間在上行時序(timeslots)同時進行傳送跟接收，也可在下行時序同時進行傳送跟接收。

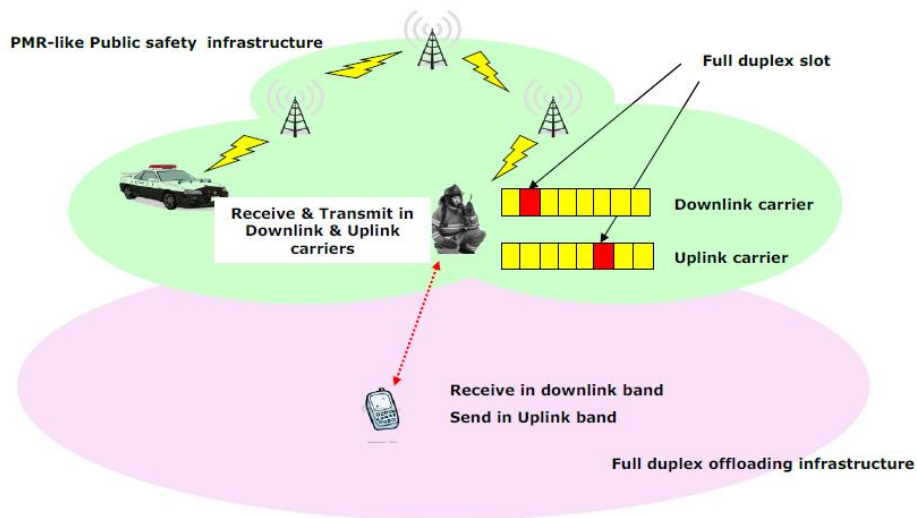


圖 70 全雙工通訊分頻多工公共安全網路架構[99]

圖 71 全雙工通訊系統用於提供公共安全網路後端網路的架構。公共安全網路可支援中繼站模式，讓公共安全網路可透過基地台的中繼站技術擴大涵蓋範圍。而基地台間透過全雙工通訊技術做雙向的無線連接，取代原先半雙工通訊技術或是有線的網路連接。利用全雙工通訊技術使系統提供更高的傳輸量，以符合公共安全網路的後端網路傳輸率及傳輸量的需求。但利用全雙工通訊和中繼站技術來建構公共安全網路系統時，仍需要考慮佈建時的成本花費，並精準評估全雙工通訊技術所可增加基地台涵蓋範圍所提供的距離，才能實作出全雙工通訊的公共安全網路中繼站架構。

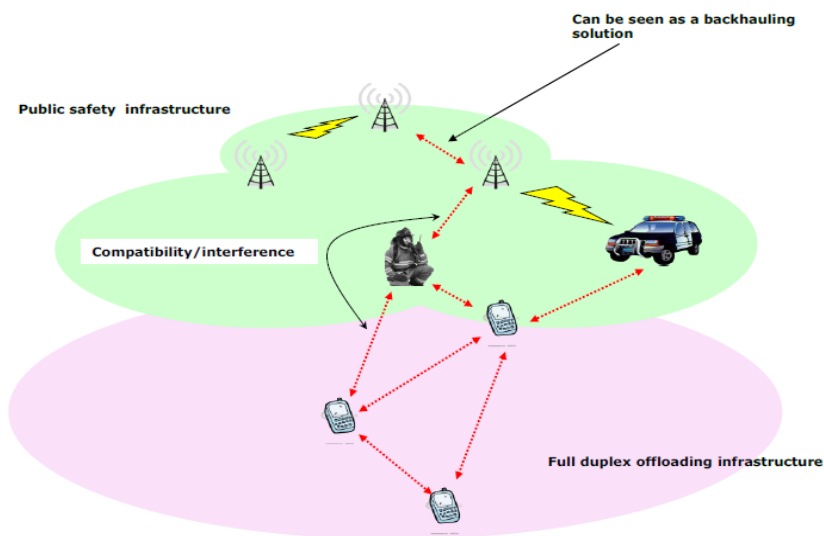
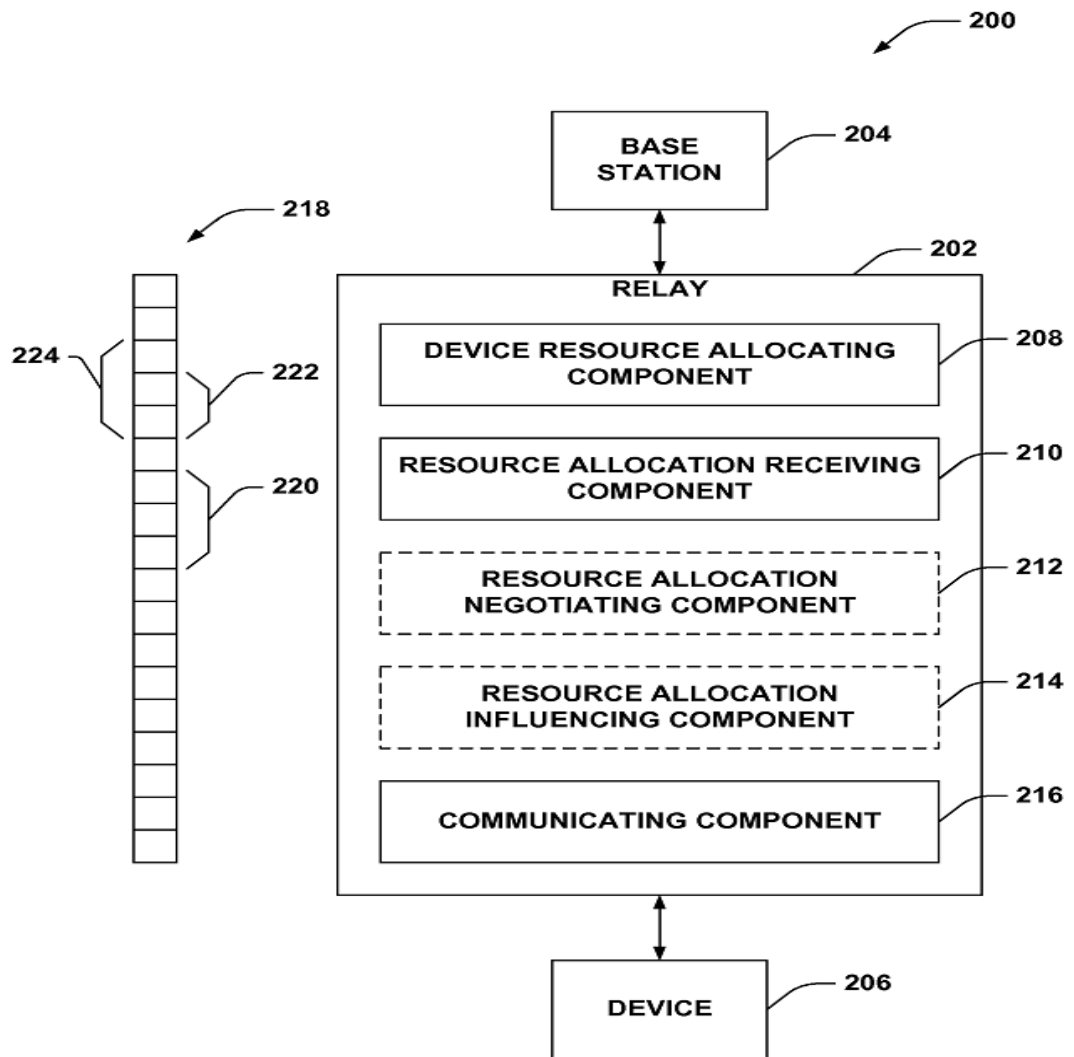


圖 71 全雙工通訊用作公共安全網路後端網路架構[99]

(三)全雙工通訊關鍵專利

專利號碼	EP2617254A1	申請國別	EP	法律狀態	審查中
專利名稱	Method and apparatus for mitigating relay interference 減少中繼干擾之方法和裝置				
申請日	09/12/2011		公開/公告日	07/24/2013	
專利權人	Qualcomm		發明人	Lin, Dexu Palanki, Ravi Gore, Dhananjay Ashok	
優先權	US201113229426				
專利家族	CN103120010 (A) JP2013542642 (A) KR20130055685 (A) US2012063369 (A1) WO2012037025 (A1)				
功效	習知缺點 (先前技術)	使用全雙工通訊的中繼裝置，即在同一頻率同時上傳與下載。在這情況下會造成自我干擾(self-interference)的問題。			
	提升效果 與方法	此提升效果為減少全雙工中繼的自我干擾。在無線通訊統中包括一基地台、中繼點與一行動裝置。此中繼點使用全雙工通訊，可以在接收大型基地台訊號時同時傳送訊息給此行動裝置。避免自我干擾主要是避免基地台到中繼點與中繼點到行動裝置的通道資源重疊。主要機制是在中繼點中設定五種元件，三個必要元件與兩個非必要元件。Device resource allocating component 主要是分配有關行動裝置通訊的資源；resource allocation receiving component 主要分配與大型基地台不相同的資源；resource allocation negotiating component 主要依據大型基地台決定中繼點上行/下行的資源；resource allocation influencing component 主要影響大型基地台分配中繼點資源的決定；最後 Communicating component 主要負責傳送與輸出功能。首先，resource allocation negotiating component 決定大型基地台接收與傳送到中繼點的資源，接者 resource allocation receiving component 會接收到相關大型基地台的決定訊息再由 device resource allocating component 分配不同大型基地台資源給行動裝置使用。最終，是避免資源的重複或重疊。resource allocation influencing component 會傳送參考訊息給大型基地台例如是否目前通道的品質好還是不好(CQI, Channel Quality Indicator)以做為決定資源分配的依據。			

代表圖示



**FIG. 2**

## 九、 毫米波(millimeter Wave, mmWave)

5G 行動通訊之技術發展目標是數據傳送速度將比 4G 行動通訊快上 100 倍，需同時達到『增加無線傳輸數據量』、『降低無線傳輸功率』與『物件連接自動化』等三大目標[100], [101]。而『雲端運算』的概念也依賴於非常高速的連接。然而，目前現有的行動通訊系統網路之組織型態並無法符合 5G 需求之數據傳送速度，因此必須針對現有之終端以及基地台之數據傳送方式進行改良。過去三種廣為採用的通訊傳輸機制，包含[102]:

- A. 有線數據服務介面規格(Data Over Cable Service Interface Specification, DOCSIS) 數據機，其係使用現有的有線電視基礎設施；
- B. 非對稱式數位用戶纜線 (Asymmetric Digital Subscriber Line, ADSL) 數據機，其係使用固網銅纜；以及
- C. 第三和第四代容量更大的蜂巢式網路 (又名行動寬頻網路)。

由於無線頻譜是有限的，只有非用行動裝置不可的應用才能使用無線連接。其他服務則須盡可能地透過固網 (光纖網路) 來傳遞。在行動網路中，今天的 WiFi 節點將成為未來的常態，以便增加蜂巢系統的容量，並為手機用戶提供最優質的服務。

行動網路技術和系統規格的快速進展，帶來了更高的蜂巢式網路容量和資料傳輸速率的提昇。而資料傳輸速率的提昇，需要有更強運算能力的配合。此外，更好的元件，特別性能更出色的數位接收器，有助於增加調變密度 [103], [104]。近來，最新的行動網路標準規範中新增了演進數據封包核心網 (Evolved Packet Core Networks, EPC)。這個簡化的全封包網路架構專為改善資料傳輸速率和網路延遲而設計，讓核心行動網路能夠與固網架構相比擬。為了支援大量增加的數位設備和性能要求，5G 行動通訊提出一些必要的關鍵網路特性：部署大量的小蜂巢式網路，並透過高階多重輸入輸出 (Multiple Input Multiple Output, MIMO) 系統增進其容量。此外，手機的資料傳輸速率須提高為 10 GBps，而往返延遲為 1ms。藉此，5G 系統將可支援機器對機器 (Machine to Machine, M2M) 監視、控制數十億個感應器，並支援大規模的資料收集和分發，以滿足“物聯網”的需求。

在 3G 行動通訊方面，其結合高速行動存取技術與基礎網路服務協定。3G 行動通訊主要之特色在於其包含無線網頁基礎存取、多媒體服務、電子郵件以及影音會議等。而 3G 行動通訊所採用之寬頻分碼多工存取 (Wideband Code Division Multiple Access, WCDMA) 空中介面規範，其相當適用於 Always On 可用性群組之無線封包服務，因此相關之電子產品 (如電腦、娛

樂裝置以及行動電話等)將可分享相同之無線網路,且於任意時間及地點彼此連線[105]。根據行動裝置之移動速率以及頻帶之使用效能,3G 通訊系統之資料傳輸率約為 2 Mbps,其頻道載波頻寬約為 5 MHz。

在 4G 行動通訊方面,其主要繼承 2G 及 3G 行動通訊之規範並針對部份通訊網路進行升級。4G 通訊系統可提供更加全面且安全之 IP,其協助用戶端在語音、串流多媒體以及資料等應用,皆可獲得更高的數據傳輸率。4G 通訊系統主要共通的新型服務特點在於採用之 QoS 安全機制,由於多組用戶端必須共用單一實體頻道,因此必須根據平均傳輸速率與最大延遲時間等參數,以 QoS 安全機制來確保各用戶端之通訊品質。而 4G 通訊系統之應用亦相當廣泛,如無線寬頻存取、多媒體訊息服務(Multimedia Messaging Service, MMS)、行動電視以及數位影像廣播(Digital Video Broadcasting, DVB)。

在 5G 行動通訊方面,根據不同的通訊產品應用,其系統效能將呈現不同的需求。如高畫質影音之高速傳輸應用,其對於延遲及可靠度方面之要求將較為寬鬆。一般而言,5G 行動通訊主要考量之關鍵性包含(1)數據傳輸率、(2)延遲、(3)功耗與成本[106],[107]。

綜上所述,5G 行動通訊與過去通訊技術各方面效能之比較,如數據傳輸率、操作頻帶、標準規範、通訊技術、存取技術與服務網路等,可歸納如表 十五 3G/4G/5G 行動通訊之規格比較[107]。

表 十五 3G/4G/5G 行動通訊之規格比較[107]

說明	3G 行動通訊	4G 行動通訊	5G 行動通訊
數據傳輸率	2 Mbps	2 Mbps 至 1 Gbps	高於 1 Gbps
頻帶	1.8 至 2.5 GHz	2 至 8 GHz	30 至 300 GHz
標準規範	WCDMA CDMA-2000 TD-SCDMA	OFMDA MC-CDMA Network-LMPS	CDMA BDMA
服務項目	高品質音頻、視頻 及數據傳輸	動態資訊存取、高 畫質串流、全球漫 遊	動態資訊存取、高 畫質串流、全球漫 遊、同步電子產品
交接	水平式	水平式 垂直式	水平式 垂直式
起源年份	2001	2010	2015

## (一) 毫米波目前發展

5G 行動通訊於毫米波頻段之應用是非常重要的研究發展方向。由於在操作頻率 6 GHz 以下之頻譜資源已相當有限，我們希望提高可用頻譜資源，進而提升數據資訊傳輸效率以及支援更多的網路存取應用服務，因此我們很自然的把目光放到毫米波的頻段(操作頻率介於 30 至 300 GHz 之間)，該頻段具有相當廣闊的頻寬。然而，在毫米波頻段，因為他空間損耗非常大，我們必須用到 Massive MIMO 技術降低空間損耗帶來的影響。

在毫米波頻段中，過去的無線行動通訊系統不朝此頻段發展之原因主要在於受到下雨及大氣等環境因素影響[108]: 如圖 72 所示，在每小時 25 mm 降雨量之條件下，若蜂巢式通訊涵蓋區域之範圍為 1 公里時，則 28 GHz 頻帶之訊號衰減量為 7 dB，換言之，若蜂巢式通訊涵蓋區域之範圍為 200 公尺情形下，則 28 GHz 頻帶之訊號衰減量為 1.4 dB，該結果顯示在毫米波頻譜範圍中，某些特定的頻段相當適用於短距離之蜂巢式通訊系統應用。如圖 73 所示，大氣氣體分子之吸收亦將對毫米波訊號傳輸造成影響，然而，由圖中可發現 28 GHz 以及 38 GHz 受到大氣氣體分子之吸收影響最為微小；在 28 GHz 之頻段中，蜂巢式通訊涵蓋區域之範圍為 200 公尺條件下，其大氣氣體分子吸收所造成之訊號衰減僅為 0.012 dB；而在 38 GHz 之頻段中，蜂巢式通訊涵蓋區域之範圍為 200 公尺條件下，其大氣氣體分子吸收所造成之訊號衰減僅為 0.016 dB。

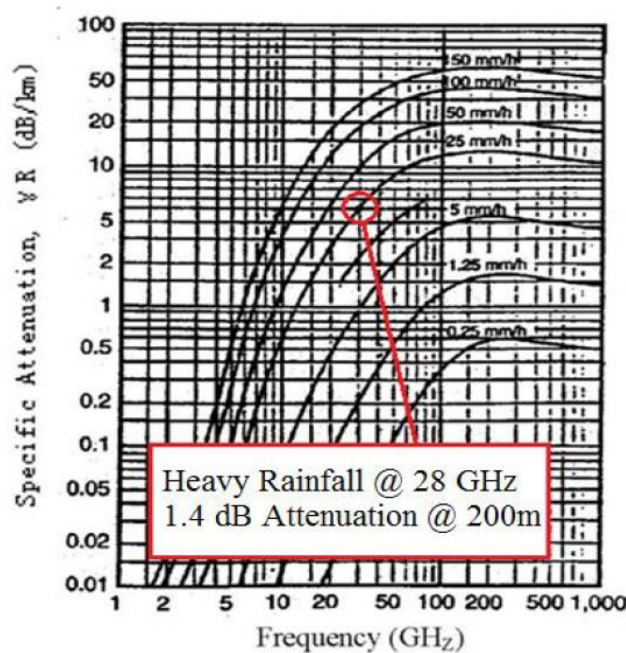


圖 72 下雨條件之毫米波頻段傳輸衰減特性[108]



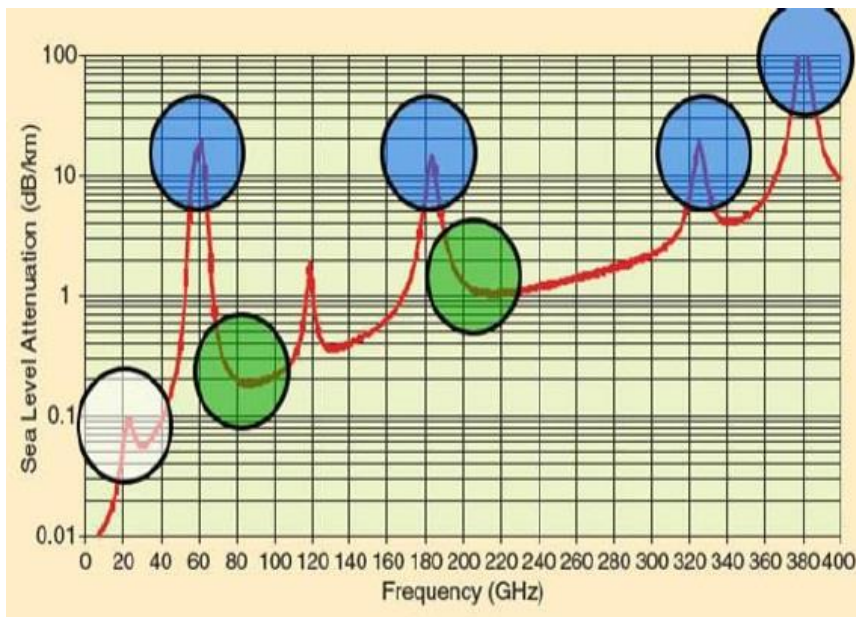


圖 73 大氣吸收條件之毫米波頻段傳輸衰減特性[108]

## (二)毫米波之技術挑戰

然而，近年來考量蜂巢式通訊區域之覆蓋範圍尺寸變化，毫米波之蜂巢式通訊區域設備已可克服此項問題。

在現有網路通訊資源中，透過使用毫米波頻段之無線資源，可提供更優良之通訊環境，包含更高的數據傳輸率以及較低的傳輸延遲，因此，使用毫米波段之行動通訊系統將可提供更優良之多媒體服務品質。其中，為了更加有效地利用毫米波段，各種針對 5G 行動通訊網路所適用之先進技術也紛紛被提出。

波束(beamforming)技術[109][110]可用以改善行動通訊網路頻譜使用效率，波束技術在行動通訊網路之應用將可協助來重新利用有限之無線資源，並透過大型天線架構(Massive Antenna Structure, MAS)來形成多重波束，用以支援基地站台之空間重新利用。

中繼站台可用以改擴展 5G 行動通訊系統之通訊覆蓋範圍及頻道品質 [111][112]，中繼站台之設置將可減少無線訊號無法傳遞之覆蓋盲區。此外，由於毫米波訊號具有較差的非直視性(Non-Line-of-Sight, NLoS)範圍傳輸性質，因此可透過多重中繼基地台來改善覆蓋盲區通訊品質不佳等問題。

近年來，有關於 5G 行動通訊系統之研究與計畫亦嘗試以 38GHz 毫米波段來設計戶外蜂巢式通訊基地台，其中，Texas 大學經過實際接收訊號強

度(RSS)之測量實驗後發現，該頻段相當適用於戶外蜂巢式通訊網路設計[111]。而三星電子之 Dallas 科技實驗室亦設計專用於毫米波頻道之適應性天線陣列結構，且該適應性天線陣列結構適用於波束技術，可進一步改善頻譜之使用效率[113]。

## 1. 毫米波的應用與研究趨勢

### A. Wireless@MIT

麻省理工學院無線網路和行動計算中心，此新興組織結合數十位麻省理工學院教授及研究小組，負責研發下一代無線網路和行動運算技術。其研究對於多家科技公司影響深遠，此外，Wireless@MIT 與其他國際大廠或重要研發單位皆有互相合作之夥伴關係，如微軟、思科(Csico)、英特爾、西班牙電信(Telefonica)、亞馬遜以及聯發科等，並期望透過互助合作關係來制定相關通訊產品之標準及規範。Wireless@MIT 的研究目前主要集中在四個方面：頻譜使用與通訊連接、行動裝置應用、資訊安全性與保密性，以及低功耗系統。

### B. 德國德雷斯頓科技大學 (Technical University of Dresden)

德雷斯頓科技大學曾與 Vodafone Chair Mobile Communications Systems 合作，在 3G 系統的研究領域中居領先地位，該機構一直專注在先進的無線通訊技術研究。他們對下一代系統的構想是建構以用戶為中心的系統，並提供未來使用模式（物聯網）必備的系統屬性。而對於 5G 行動通訊，他們的願景是提供一種新的統一無線介面，以全面支援蜂巢式、短距離及感應器技術，可提供 10Gbps 的傳輸速率、1ms 的延遲和簡單的感應器，而且電池壽命長達 10 年。

### C. 英國薩里大學 (University of Surrey) 通訊系統研究中心

該大學已對英國政府提出建議書，希望能進一步擴展 5G 行動通訊之發展計劃。該計劃始於 2013 年，預計花費約 35 萬英鎊（56 萬美元）的成本，其中大約 11.6 萬英鎊來自英國政府，其餘 24 萬英鎊則由三星 (Samsung)、華為(Huawei)、歐洲富士通實驗室(Fujitsu Laboratories Europe)、Telefonica Europe，和 AIRCOM International 等高科技公司提供。該項計畫主要發展目標在於透過重要項目(如延遲、功率效能、可靠度、網路與設備端之分配控制等)之評估檢測，用以提供用戶端更優良的數據傳輸率及訊號處理效能。此外，CCSR 過去相關之研究包含有空中介面(air interface)、感知網路(cognitive network)與未來互聯網(future internet)、感知無線電(cognitive radio)、無線存取系統優化以及資訊安全性等。其中，該項計畫預計發展之 5G 行動通訊之新網路的頻譜效率和能源效率都非常優異。而且其傳輸速度更快，蜂巢式網路速度將提高至

10 Gbps 的容量。

#### D. 紐約大學理工學院 (Polytechnic Institute of New York University NYU-Poly)

紐約大學理工學院的研究人員成立了一個由政府和企業組成的聯盟，以便由目前的第四代 (4G) 無線技術大步邁向 5G 蜂巢式網路。紐約大學理工學院的 5G 計畫將開發更智慧、成本更低的無線基礎設施，其概念是使用更輕巧的定向波束成形天線技術，以便透過較不擁擠的毫米波頻譜，將碰到建築物的信號反射出來。該計畫還將開發更小、更聰明的蜂巢式網路，並且讓不同無線裝置能協調而非競爭頻譜的分配與利用。其中，NYU-Poly 目前更積極打造了全球第一個結合無線通訊與運算和醫療應用的學術研究中心。

#### E. 日本東京工業大學和 NTT DOCOMO

日本東京工業大學(Tokyo Institute of Technology)與 NTT DOCOMO 最近共同執行一個室外實驗，成功地將封包傳輸上行鏈路之傳輸速率提高到約 10 Gbps。在此實驗中，行動站台大約以每小時 9 公里之速度移動，同時在 11 GHz 頻譜中發送約 400 MHz 之頻寬。該計畫是採用多重輸入輸出技術，且在相同頻率上使用 8 組發射天線及 16 組接收天線，以便執行不同數據串流之空間多工傳輸。

#### F. 愛立信協同歐盟

為了使 5G 網路應用得順利進展，全球唯一跨國、跨產業、跨區域的國家層級專案研發計畫—愛立信協同歐盟 METIS 在歐盟第七框架下組成，目標為 5G 行動和無線通訊系統奠定理論與技術基礎，達成早期全球共識與提供 ITU-R 願景建議。愛立信在整個計畫的八大任務中負責總體專案管理、標準制定與發佈、系統設計與性能指標等三項核心任務。2014 年 7 月易利信(Ericsson)已經用 15GHz 展示了支援 5Gbit/s 的 5G 技術。

歐盟政府所成立之 METIS 建構 2020 年資訊社會的行動暨無線通訊網路驅動計畫，總預算達 2700 萬歐元，第一階段至 2015 年 4 月 30 日，為期 30 個月，有 29 個組織成員，包括愛立信、法國電信等主要設備商和運營商，歐洲多所學術機構以及 BMW 集團等。在全球標準化前，METIS 將為 2020 年以後的下一代 (5G) 行動和無線通訊系統，奠定理論與技術基礎，在需求、特性和指標上達成共識，充分討論概念、雛形、關鍵技術等議題，與等相關全球論壇、地區、國家監管機構對話，提供願景建議。

#### G. 華為 (Huawei)

中國工業與資訊技術部成立了一個名為“IMT-2020(5G)推廣集團”的工作小組，自 2012 年 2 月開始研究 5G，其積極尋求參與台灣之通訊技術合作計畫。而華為公司已經與渥太華(Ottawa)簽訂五年的合作期約，其投入總額約 8000 萬元之成本，並僱用上百個新的工作機會至新成立之研發中心來執行新型 5G 行動通訊之開發。而華為致力於將其發展為全球十大技術與卓越經濟發展中心。

華為認為 5G 的技術推動力來自于三個方面。一是為了達到最好的服務而採用的動態頻譜使用與接入技術，比如全頻段接入，頻段可能包括 1.7GHz~2.7GHz、3GHz~6GHz、27GHz~31GHz、V-band (57GHz~64GHz) 和 E-band (71GHz~76GHz)；二是為了滿足大容量、多連接和超高速的網絡需求，使用新型空口技術與網絡架構，比如新波形設計、單頻全雙工、虛擬化 架構等；三是對於新型網絡部署的原生支持，比如具有自回傳的超密集無線網絡、D2D、無線接入架構共享等，並提出了超級結點的概念，單站址速率可達 50Gbps。

#### H. 三星電子 (Samsung)

三星電子近日宣布，該公司在 5G 無線網路技術取得了突破性進展。三星表示，其研究人員成功研製出全球第一台可調式陣列收發器技術，可在毫米波頻段上進行蜂巢式行動通訊。在測試時，三星使用 28 GHz 的超高頻率進行傳輸，以提供遠遠超過 4G 網路的頻寬。更高的頻率可傳送更多的資料，但缺點是，信號很容易被建築物擋掉，而且隨著傳輸距離拉長，信號強度會逐漸遞減。三星表示，其可調式陣列收發器技術使用 64 個天線，可有效克服毫米波頻段上信號變弱的傳播特性。毫米波頻段比傳統無線頻譜的頻率高得多。該公司表示將計劃加快 5G 行動通訊技術的研究和開發，包括可在毫米波頻段上運作的可調式陣列收發器。

### 2. 毫米波未來可能發展

在行動世界中，要提高網路容量有賴於三項因素：更多的頻譜、更好的調變效率以及蜂巢式網路體積逐漸縮小所帶來的頻率重複利用率。比起前幾代技術，目前正在建造使用的第四代網路使用更多的頻段和更寬廣的通道頻寬。然而，預測未來五年內行動資料傳輸量將每年增加一倍，網路業者必須頻譜無法再增加的情況下，努力滿足長期需求。釋放出目前用於其他系統的頻段將成為第一優先考量。

針對“5G”第五代行動通訊網路進行的研究指出，到了 2020 年，業界希

望實現“事事處處永遠連接”的場景。研究中假定行動裝置可以在從幾百 MHz 到最高 80 GHz（在某些情況下）的頻率範圍中運作。室內蜂巢式網路的尺寸可以像一個房間那麼小，它採用 pico 和 femto 蜂巢式網路，在 RF 下將頻率重複利用率最大化。ITU 定義的 4G 具有 1Gbps 的單用戶資料速率。5G 的目標不是提高此速率，而是打造一個能夠提供此速率的高容量網路，以支援更大的用戶社群。換句話說，就是將更大的匯集容量，提供給更多的用戶同時使用，或是增進頻譜使用效率。

5G 被設定成可同時使用多種無線介面技術，是一個獨立的無線通訊系統，而不是整體電訊系統的一部分。雖然 5G 標準並未提及蜂巢網路與無線區域網路的整合，但它明確指出將脫離固網服務範圍，使其成為家庭和辦公室應用的最佳解決方案。

綜上所述，最新的 5G 行動通訊除了必須提升整體數據傳輸量之外，亦須朝向下列特點發展[103], [104]:

- 在蜂巢式通訊邊緣區域，較低的斷訊機率、較佳的通訊區域涵蓋範圍以及較高的數據傳輸效率
- 多工同步數據傳輸路徑，在移動條件下，約 1 Gbps 之數據傳輸率
- 較佳的資訊傳輸保密特性與無線頻譜使用效率
- 較低的功率消耗降低通訊設備配置成本

關於數據傳輸率方面，5G 行動通訊之數據傳輸率可透過各種不同的方式測量，而數據傳輸率之效能評估主要包含整體數據傳輸率(aggregate data rate)、邊緣傳輸率(edge rate)以及峰值傳輸率(peak rate)：

- (a) 整體數據傳輸率：網際網路於每單位區域內，所提供整體數據傳輸率(bits/sec)之服務。與 4G 行動通訊相較之下，5G 行動通訊於該項目之效能評估必須為 4G 行動通訊之 1000 倍。
- (b) 邊緣傳輸率：在網際網路之最糟情況下，用戶端所接收之資料傳輸率。在 5G 行動通訊中，邊緣傳輸率須達到 100 Mbps 至 1 Gbps 之標準，其相當於 4G 行動通訊之邊緣傳輸率之 100 倍。
- (c) 峰值傳輸率：用戶端於各種網路配置中所能達成之最佳數據傳輸率。在 5G 行動通訊中，該項數據傳輸率將可達到 Gbps 之標準。
- (d) 延遲時間：目前 4G 行動通訊之往返延遲約為 15 毫秒，該標準係根據 1 毫秒子訊框時間所需之資源配置及存取承載所決定。然而，該標準並無法滿足 5G 行動通訊所應用之雙向互動及最新雲端科技，5G 行動通訊所支援之往返延遲標準須達到約 1 毫秒。

(e) 功耗與成本方面：理想化的 5G 行動通訊必須盡可能地降低功率損耗以及開發成本，或者至少不能增加每一鏈路所需建構之成本或損耗之功率。由於每一鏈路之資料傳輸率將提升約 100 倍，換言之即降低建構成本或損耗功率 100 倍。

針對 5G 行動通訊應該採用 28 GHz 還是 38 GHz 頻段來連接行動裝置，目前已經有不同的研究方向。其中韓國手機通訊大廠三星電子公司對於 28 GHz 十分有興趣，也投入許多的研究時間。然而，若由法規的觀點來看，38 GHz 更適於修訂現有規則。因為衛星服務使用了一部份的 28 GHz 頻段。相反地，38 GHz 顯然還有超過 1 GHz 以上的頻寬可用。

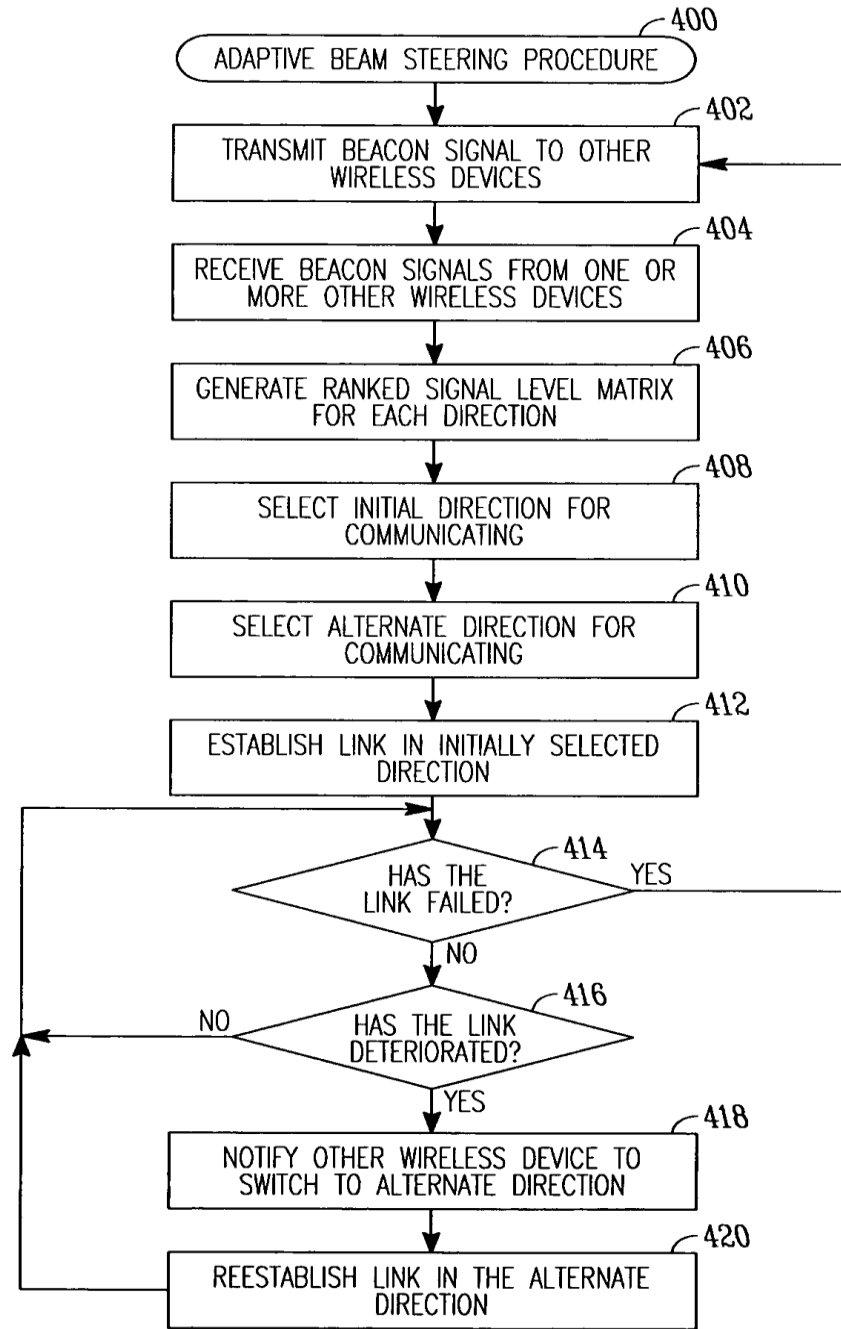
在技術方面，系統通常會為天線預留 10 平方公分的固定空間。由於 38 GHz 頻段可實現更小的天線，因而在其天線空間中所能裝載的天線數量較採用 28GHz 鏈路時更多。由於 5G 行動通訊技術可能需要採用聚波束成形的相位陣列天線，因此，38GHz 頻段更適合實現微小化天線。

此外，Sandri 估計，相較於採用 60 GHz 頻段，38 GHz 可提供約 3 至 5 dB 的訊號改善，而 28 GHz 頻段僅較 38 GHz 時的訊號改善 1.5 dB。未來的研究係進一步研究該釐米波元件技術的細節，以及該釐米波元件技術與其他可行的技術方案的連結，如高頻漫遊、連結毫米波與傳統服務，以及解決都會區高樓大廈林立可能妨礙高頻訊號接取的問題。

### (三)毫米波關鍵專利

專利號碼	US8320942B2	申請國別	US	法律狀態	已公告
專利名稱	Wireless device with directional antennas for use in millimeter-wave peer-to-peer networks and methods for adaptive beam steering				
	具有定向天線用於毫米波對等網路的無線設備及自我調整波束操縱方法				
申請日	06/13/2006		公開/公告日	11/27/2012	
專利權人	Intel Corp		發明人	Sadri, Ali S. Casas, Eduardo Kitchin, Duncan	
優先權	US20060452710				
專利家族	US2007287384 (A1) CN101444010 (A) CN101444010 (B) EP2027659 (A1) EP2027659 (A4) JP2009540765 (A) JP5048061 (B2) WO2007146733 (A1)				
功效	習知缺點 (先前技術)	由於毫米波的物理特性，所以在單位面積下可以架設更多的小型指向性天線。高度指向性天線會造成連線上的困難，尤其是高移動性的終端用戶，主要因素是訊號被周邊障礙物阻擋因此造成訊號中斷，如何快速恢復連線是主要的挑戰。			
	提升效果 與方法	減少毫米波小型指向性天線在裝置與裝置間重新建立連結的時間。當裝置間(分連接裝置與被連接裝置)建立連線時，被連接裝置會不定時傳送出 beacon 訊號，連接裝置會依據 beacon 訊號知道在連接與被連接裝置間的所有可能路線。所以當裝置互相連接時，連接裝置會決定其中一傳輸路徑；同時也記錄另一條備份可傳送路徑。由於此機制，當訊號斷掉時，裝置可快速轉換到備份路徑以減少路徑建立的時間與避免重新建立路徑的過程。			

代表圖示





## 十、 5G 潛力技術與台灣行動通訊產業競爭力 SWOT 分析

圖 74 為十項潛力技術 SWOT 分析。市場涵蓋範圍與研究發展基礎兩個維度分析此十項技術。右上角中，三大技術(Massive MIMO, Small Cell, Multi-RAT)以目前而言是由於研究數量與專利化程度相對來的高，市場商品化的機會與程度具有不可忽視之潛力。例如 Small Cell 具低功率、低成本與有助於室內覆蓋率等優勢，使其逐漸成為電信業者所關注的技術；未來在異質網路架構下，Small Cell 布建數將增加。在異質網路下，mmWave, SON, SDN, D2D 與 Handover 在技術研發上受到相當的重視，如前文所述，市場需求驅使突顯這些技術的重要性，然而仍有許多挑戰需要克服，目前在市場上，商品商業化屬於初期市場培育階段。

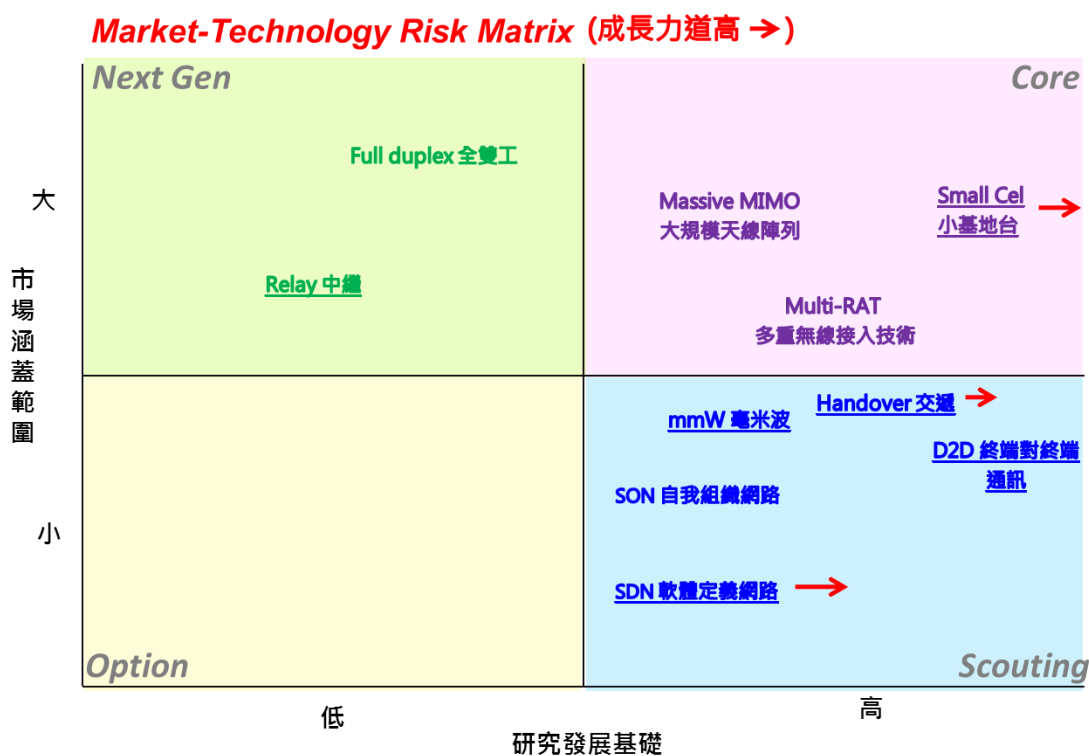


圖 74 5G 潛力技術 SWOT 分析

我國在通訊產業的發展有兩個競爭優勢，一是我國擁有 IC 設計、行動裝置、伺服器、周邊儲存設備之產業供應鏈完整，因此通訊產業擁有強大硬體零組件及終端設備之設計與製造優勢；二乃是國內各大學研究機構與法人具學術研發能力。然而研發資源有限，單打獨鬥的策略將會被高度動態的市場所淘汰。台灣廠商如能結合國內各學研機構研發能力，必能事半功倍。在韓國，三星除了自己具有堅強的研發實力外，也合同其國內研發機構如 ETRI

合作達到研發互補之效果。圖 75 為總體性之研究加入全球與台灣對此十項關鍵技術在學術論文的表现。在學研與產業中觀察國內及國外的研發能耐，並給予研發投資合作之建議。根據各機構對於各技術的研發能量，選擇國際合作或是國內產學研發。

全球在 4G-LTE 網路建構期有大量的網通設備需求，為有效提高網路容量及覆蓋率，尤其是 Small cells 的產品需求，廠商未來應可思考如何尋求合作機會，將產品的設計更符合為未來市場所需以期達到市場區隔，成功切入全球市場供應鏈之中。

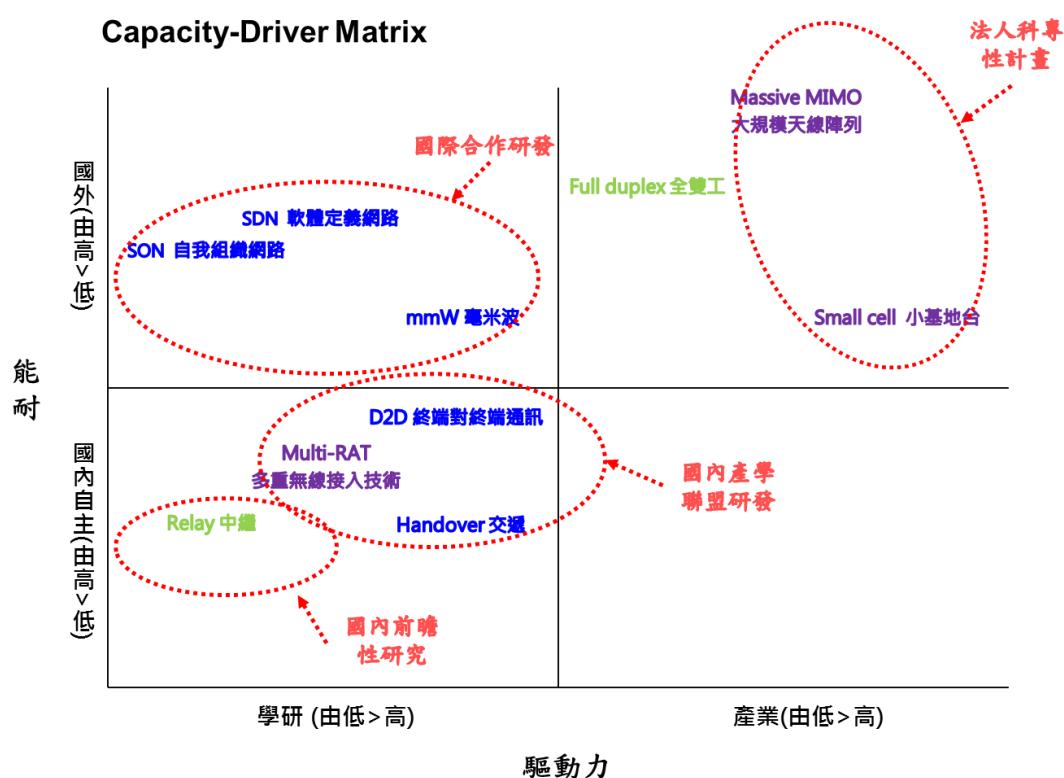


圖 75 未來 5G 研發投資

## 結論

本研究對於 5G 技術的探究包含技術層面的解析與專利趨勢的探討，想藉由此研究結果一窺未來無線通訊網路架構與技術的發展動向。然而，自第三代無線通訊網路開始，3GPP 國際組織與其各區域性的組織會員積極推廣無線通訊技術標準化工作，乃至第四代無線通訊標準才有全球統一的標準 LTE-Advance。儼然，參與國際標準組織制訂工作會議成為國家或是企業極為重要的角力場與洞悉技術發展的最佳來源。對企業而言，產品的設計與製程都必須依照標準在市場中才有其競爭力。對於通訊產業尤其重要，因為每一件產品的生產、製程、設計與販賣都受到專利的保護。因此，專利的排他性往往是在企業經營上攻防最常使用的手段，除了保護企業本身外也是一武器削減對手在市場上的優勢。有鑑於此，越早布局專利技術在未來的市場上才能發揮其圈地的效果。

延續此概念，當第四代無線通訊網路開始在各先進國家布建後，各企業無不積極發表對於未來無線通訊網路的願景與賦能技術，期待引領下世代無線通訊網路技術趨勢；因此，不難在各大公司網站、國家政策宣示、國際會議與標準組織會議找的各國或是各公司對於 5G 技術願景的白皮書或技術報告。即便有些公司想藉於商業宣傳方式例如 4.x 世代網路定義未來網路需求，但在這些資料中透漏一個很明確的訊息就是 5G 網路在未來四到五年間或是更短的時間就會出現。而此推論並不是無稽之談，從現在網路需求趨勢例如資料量、資料類型與裝置用戶數等因素都顯現出現時的網路架構將很會達到其瓶頸，因此網路架構與技術的再次的演進是必需的；然而，不關未來其會用甚麼名稱出現(4.1G、4.9G、5G 等)，技術研發與專利布局都必須持續。

如上文所提，此研究收集技術報告、白皮書、論文期刊內所提及的技術共 13 個。經過模型驗證在 13 個技術中選取 10 項技術進行專利趨勢研究。大致分為極密集網路，大規模陣列天線與毫米波通訊技術三個共識趨勢，藉由此三類技術達到前述的 5G 技術需求。台灣專利權人在此中，工研院專利技術主要是有關小型基地台，裝置與裝置通訊、自我組織網路與大型陣列天線。聯發科專利技術主要包括自我組織網路與交遞技術。台灣專利權人的專利技術大致與此三個共識趨勢相符，但是動能上稍嫌薄弱。延續此動能必須研發與智慧財產作業並行同步，亦即，台灣並不無其優勢，然而無線通訊產業是高度動態的環境，策略上必須更明確與其靈活性，資源投入以及重點技術發展應避免各自為政以致分散其發展的力度。最重要的如何選擇研發議題是台灣最為根本的問題，現任世博顧問集團執行長周延鵬提到台灣要透

過布局 5G 行動通訊技術擺脫「受制於人」的宿命，掌握核心智慧財產為關鍵並建議研發與智財布局需蒐集並持續掌握 5G 行動通訊技術標準的候補技術方案(Candidate)及其演進資訊；推行各國產官學研發展 5G 行動通訊標準的競合狀況，掌握外部資源、機會與威脅；持續蒐集 5G 行動通訊技術之新產品技術發表、投資併購等動態資訊，據以隨時調整研發及智財布局的側重方向與覆蓋面。最後，此研究報告觀察趨勢技術的演進、應用與發展，希望提供研發與智財布局另一分析構面。