

# 5G毫米波無線接取系統

## 5G mm-Wave Radio Access System Technology

陳文江

Wen-Chiang Chen

### 中文摘要

隨著各種行動多媒體影音應用在手機平台越來越普及，手機用戶對於頻寬與傳輸速率的需求也越來越大，使用毫米波頻段作為第五代行動通訊的操作頻段也因此成為全世界通訊大廠的共識，並預計在 2018 年年中完成 phase-1 涵蓋至 30 或 40 GHz 毫米波頻段；2019 年年底完成 phase-2 涵蓋至 100 GHz 毫米波頻段之第五代行動通訊標準制定的時程規劃。雖然毫米波頻段能提供相當大的可用頻寬，但也包含許多毫米波在戶外通訊高路徑損失與高傳輸耗損的問題，需要藉由相位天線陣列與波束形成技術(Beam Forming)，以提供更大的陣列天線增益來解決。但利用波束形成技術額外造成毫米波在戶外通訊窄波束、高指向性的傳輸特性，將產生如支援行動通訊指向性問題、阻擋的挑戰與多用戶終端支援的挑戰與困難。工研院在 2015 年與國內手機晶片大廠 聯發科合作，共同制訂設計規格、並共同開發驗證，實現了包括在 38GHz 頻段、250MHz 頻寬，包括上行/下行、8x8 64 天線單元之基站端相位天線陣列、8x4 32 天線單元之用戶終端相位天線陣列、混合型波束形成(Hybrid Beam Forming)架構之射頻前端、波束追蹤演算法設計、峰值傳輸速率可達 1Gbps、支援大於 10Km/hr 移動傳輸與 200 米涵蓋範圍之 5G 毫米波軟硬體驗證平台，並共同參展 MWC-2016，在國際舞台展示了我國在 5G 毫米波的研發成果。

### Abstract

As the population of variant mobile multi-media applications on mobile phones, user terminal demands wider bandwidth and higher data transmission rate. Operation in millimeter wave frequency band has become a common consensus between all major telecommunication companies in the world-wide, and target to finalize the phase-1 standardization of 5G by the middle of 2018, the frequency band covers up to 30 to 40GHz, and the phase-2 standardization of 5G by the end of 2019, the frequency band is reaching 100GHz. Although the mm-wave band provides much wider available spectrum, it suffers from serious path and propagation loss, and needs to be solved by designing a phased antenna array and beam-forming technologies. Under the narrow beam directional transmission, it also induces many traditional radio access difficulties and challenges such as beam-tracking, blockage and multiple user terminal supporting issues. ITRI has cooperated with Taiwan leading mobile phone baseband chip company: MediaTek to co-define the design specification and co-develop the 38GHz 250MHz bandwidth 5G HW/SW platform with up-link/down-link, 8x8 64-antenna element eNB antenna array, 8x4 32-antenna element UE antenna array, hybrid beam-forming architecture, supporting over 10km/hr mobile transmission. ITRI has also co-demonstrate this 38GHz mm-wave HW/SW platform together with MTK in MWC-2016.

### 關鍵詞(Key Words)

毫米波(mm-Wave)

波束形成(Beam Forming)

波束追蹤(Beam Tracking)

多重輸入與多重輸出(Multiple-Input- Multiple- Output ; MIMO)

增強型行動寬頻(Enhanced Mobile Broad Band ; eMBB)

# 1 · 前言

隨著各種行動多媒體影音應用在手機平台的普及，手機用戶對於頻寬的需求也越來越大。目前全世界許多國家，包括政府與通訊大廠，都已針對下世代第五代行動通訊的相關技術與標準積極投入。原本預計在 2018 年年中完成 phase-1 標準制定，2019 年年底前完成 phase-2 標準的制定，並在 2020 年商用推廣的時程也有往前提早的趨勢。目前 3GPP 已針對第五代行動通訊的標準進行”研究項目(Study Item, SI)”階段的討論緊鑼密鼓的討論，預計在 2017 年底可望完成”工作項目(Work Item, WI)”的階段，產出 phase-0 的標準。

為滿足 METIS(Mobile and wireless communications Enablers for Twenty-twenty Information Society)所勾勒 2020 年的使用情境，就最高峰值傳輸速率(Peak Data Rate)而言，必須是目前傳輸速率的 10 到 100 倍；行動數據容量(Mobile Data Volumes)則必須是 2010 年的 1000 倍(如圖 1 所示)。

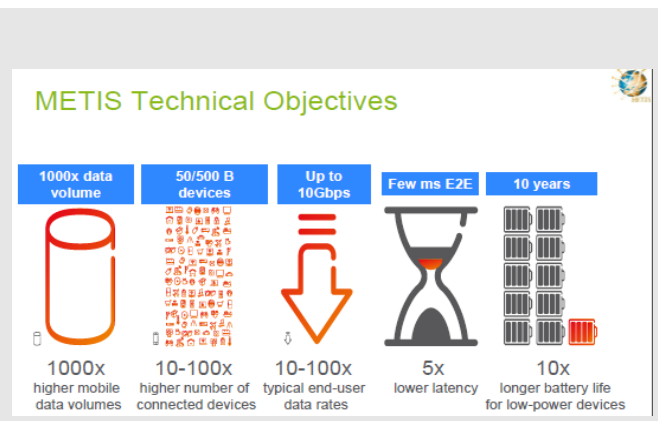


圖 1 METIS 5G Technical Objectives (Source: METIS ”Mobile and Wireless Communications system for 2020 and beyond (5G)”presentation slides)

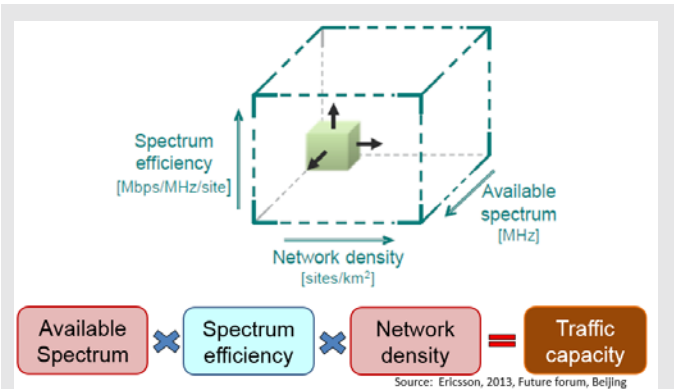


圖 2 Approaches of increasing Traffic Capacity (Source: Ericsson , 2013, Future forum, Beijing)

要達到 METIS 所定義的最高峰值傳輸速率與 1000 倍行動數據容量有如圖 2 所示的幾種主要技術：增加可用頻寬、增加頻譜效率、更高網路密度等技術，其中以增加可用頻寬是提升傳輸速率與數據容量最直接也是最容易的方式。但由於在目前主要使用在無線通訊的”小於 6 GHz(sub-6 GHz)”頻段已經有許多標準與應用，如第二代行動通訊(2G)、第三代行動通訊(3G)、第四代行動通訊(4G)、藍芽(BlueTooth)、無線區域網路(Wireless LAN, WiFi)...等，要再找到能夠支援更大容量、更高傳輸速率的頻寬越來越不容易。因此，目前全世界大廠對於第五代行動通訊使用毫米波頻段已經形成共識，除了現有第四代行動通訊技術的持續”演進”(Evolution)之外；也定義了另一條使用毫米波頻段”革命性(Revolution)”技術發展的道路(如圖 3 所示)。

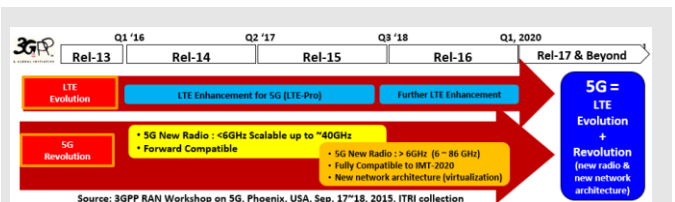


圖 3 3GPP 5G Standardization Time Line (Source: 3GPP RAN Workshop on 5G, Phoenix, U.S.A, Sep. 17~18,2015, ITRI collection)

## 2 · 3GPP 5G 毫米波通訊標準制定現況

在 3GPP 與世界各通訊大廠目前所規劃有關 5G 毫米波相關標準制定的時程，是預計在 2018 年年中完成 phase-1 標準制定，頻率除了小於 6 GHz (sub-6 GHz) 的頻段之外，也將涵蓋至 30 或 40 GHz 的毫米波頻段；2019 年年底前則將完成涵蓋至 100 GHz 頻段之 phase-2 5G 標準的制定(如圖 3 所示)。

雖然毫米波頻段能提供相當大的可用頻譜以滿足 METIS 所勾勒 2020 年最高峰值傳輸速率與 1000 倍行動數據容量所需的頻寬要求，但也包含許多毫米波在戶外通訊所面臨新的高頻無線接收技術的挑戰，像：高路徑傳輸損失(Path Loss)、穿牆性(Wall Penetration)、在雨中的衰減(Rain Fading)、甚至因為水氣與氧氣吸收所致的傳輸耗損(Propagation Loss) . . . 等問題，因此一直以來有不少人懷疑毫米波是否適合做為 5G 的通訊頻段。

目前，3GPP 與世界各主要通訊大廠已經完成了幾個主要毫米波通訊頻段的初步量測，並在 2016 年年初公布了有關毫米波通道模型的技术報告：TR38.900，除了希望能夠釐清與證明毫米波頻段作為 5G 操作頻段在戶外通訊的可行性，並且作為全球在開發 5G 毫米波通訊系統的共同依據。ITU-R 在 2015 年 10 月的 WRC-15 會議中即已公布了 5G 毫米波的候選頻段(如圖 4 所示)，涵蓋了從 24.25 GHz 到 86 GHz 的八個頻段。美國 F.C.C. 更搶先在 2016 年七月公布了 27.5~28.35 GHz、37~38.6 GHz、38.6 GHz~ 40 GHz、64~71 GHz 等四個將近 11 GHz 頻寬的毫米波頻段(如圖 5 所示)，以加速美國通訊廠商在 5G 毫米波通訊系統的開發與布建。

IMT Spectrum below 6GHz	IMT Spectrum above 6GHz (The considered bands, allocated for Mobile Service, for the studies)	The additional allocations for Mobile Service in the study
1885-2025 MHz and 2110-2200 MHz: allocated under resolution 212	■ 24.25-27.5 GHz,	■ 31.8-33.4 GHz
450-470 MHz and 694-960 MHz: allocated under resolution 224	■ 37-40.5 GHz,	■ 40.5-42.5 GHz
1427-1518 MHz, 1710-1885 MHz, 2300- 2400 MHz, 3300-3400 MHz, and 4800-4990 MHz: allocated under resolution 223	■ 42.5-43.5 GHz,	■ 47-47.2 GHz
3400-3600 MHz: allocated under FN 5430A/31A/32B	■ 45.5-47 GHz,	
2300-2400 MHz (Res. 223) and 2500-2690 MHz (Res. 212)	■ 47.2-50.2 GHz,	
	■ 50.4-52.6 GHz,	
	■ 66-76 GHz	
	■ 81-86 GHz	

圖 4 ITU-R IMT Spectrum

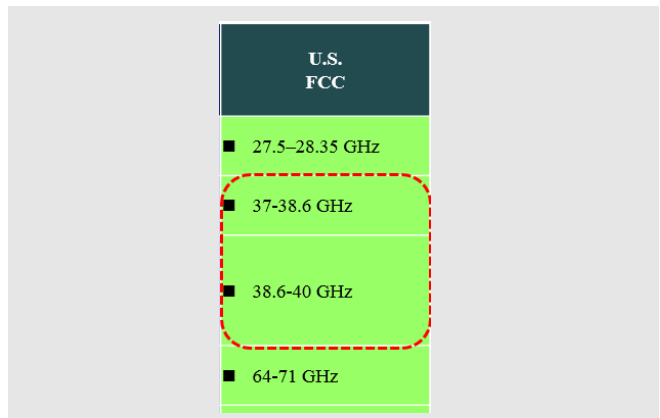


圖 5 U.S. F.C.C. 5G mm-wave Spectrum

## 3 · 毫米波通訊高頻接收的主要挑戰

毫米波在戶外通訊有幾個主要高頻無線接收的挑戰，如圖 6 所示，下面就這幾個主要的毫米波高頻無線接收的挑戰一一詳細說明。

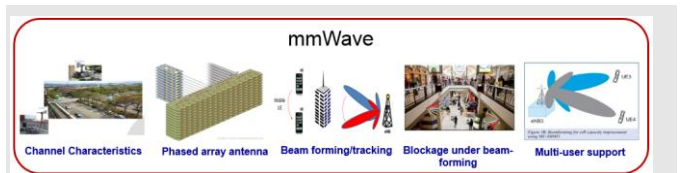


圖 6 Key Challenges of Millimeter Wave Radio Access

### 3.1 波束形成技術(Beam Forming)

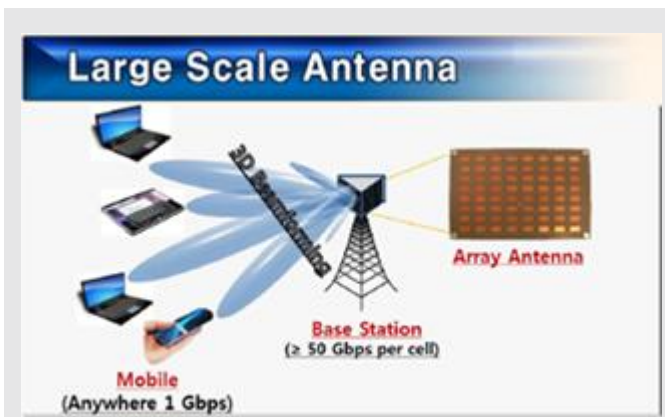


圖 7 大量或多量天線陣列波束形成技術 (Source: Samsung“5G Mobile Communications for 2020 and Beyond” presentation slides)

要解決毫米波在戶外通訊的這幾個高頻無線接收問題，其解決方案為設計大量或巨量的天線陣列(Antenna Array)，透過天線陣列的適當設計使每個天線輻射場型(Antenna Pattern)產生正向耦合(Positively Coupling)，來大幅提升天線增益。此時正向耦合後的陣列天線輻射場型會成為細的輻射波束，同時具有更大的天線增益，此即所謂波束形成技術(Beam Forming)，如圖 7 所示。

天線陣列所形成的波束，其波束的半功率波束寬度(Half Power Beam Width, HPBW)隨著天線陣列中天線元件(Antenna Element)的個數越多而越窄，其陣列天線的增益也越大。天線陣列中天線元件的個數每增加一倍，其陣列天線的增益增加 3dB。

透過大量或巨量的天線陣列的設計提供很大的陣列天線增益，來補償高頻通訊的各項傳輸損失，便可以同樣達成傳輸涵蓋區域 100~200 米小型基站(Small Cell)的涵蓋目標。

### 3.2 波束追蹤技術(Beam Tracking)

但因為天線陣列所形成的波束，其波束的半功率波束(Half Power Band Width, HPBW)

寬度隨著天線陣列中天線元件的個數越多而越窄，使得原本在 4G 或之前在 sub-6GHz 低頻段全方向(Omni-directional)傳輸的方式變成了指向性(Directional)傳輸，在行動通訊終端用戶(User Equipment, UE)會移動的典型情境之下，便又衍生出對準的問題；也就是如何使大量或巨量的天線陣列所形成的波束能夠隨終端用戶的移動而移動，以提供移動傳輸並始終維持好的通訊品質的能力，此則是透過波束追蹤(Beam Tracking)演算法的設計來達成，如圖 8 所示。

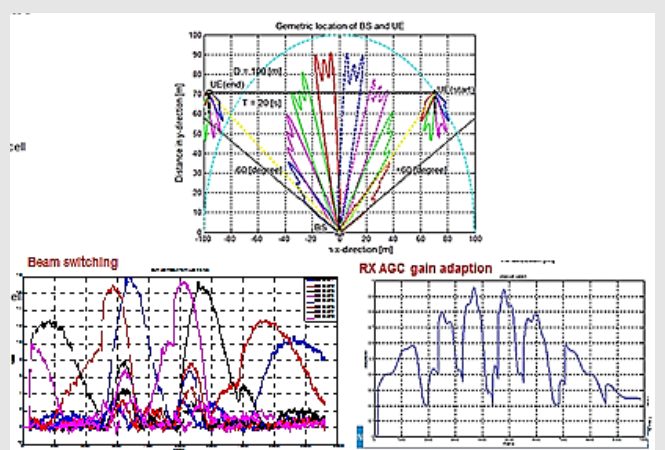


圖 8 Beam Tracking Algorithm supporting UE Mobile Transmission

### 3.3 阻擋問題(Blockage Issue)

如前文所述，毫米波在戶外通訊必須利用大量天線單元所構成的相位天線陣列(Phased Antenna Array)，形成窄波束(Narrow Beam)傳輸，以高的陣列增益來克服戶外通訊高路徑損失與傳輸耗損。但這種波束形成(Beam Forming)的窄波束(Narrow Beam)指向性傳輸最棘手的問題則是阻擋問題，特別是針對 3GPP 所定義的 5G 增強型行動寬頻(Enhanced Mobile Broad Band, eMBB)應用，主要的應用場景如購物中心(Shopping Mall)、露天廣場(Open Square)...等人潮壅擠的熱點(Hot Spot)，如圖 9 所示，阻擋問題更是很難避免。一旦信號被阻擋，將產生幾十 dB 的信號功率損失，使得傳

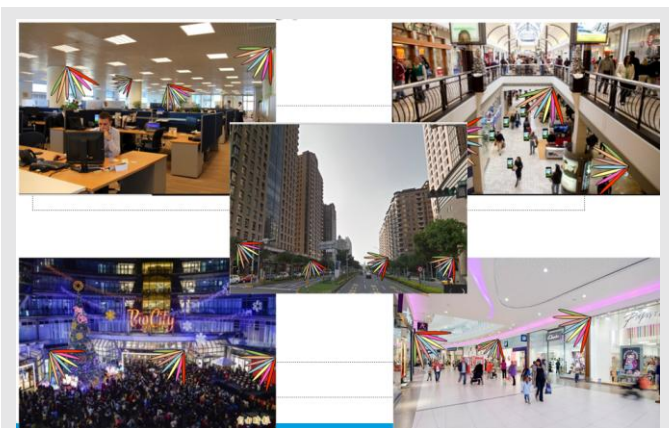


圖 9 3GPP 5G Millimeter Wave eMBB Typical Application Scenarios

輸品質大幅下降，甚至無法繼續通訊。因此阻擋問題必須被解決，才能夠使 5G 增強型行動寬頻(Enhanced Mobile Broad Band, eMBB)應用在這些場景成為實際可實現的 5G 應用場景。

### 3.4 多用戶終端支援(Multiple UE Support)

利用大量天線單元所構成的相位天線陣列(Phased Antenna Array)，形成窄波束(Narrow Beam)指向性傳輸的另一個棘手問題，是支援多個用戶終端的問題。

對於小型基站(Small Cell)而言，同時能夠支援越多的用戶終端(UE)，系統建置成本就越低，因此相位天線陣列必須在熱點中支援多個用戶終端(UE)。

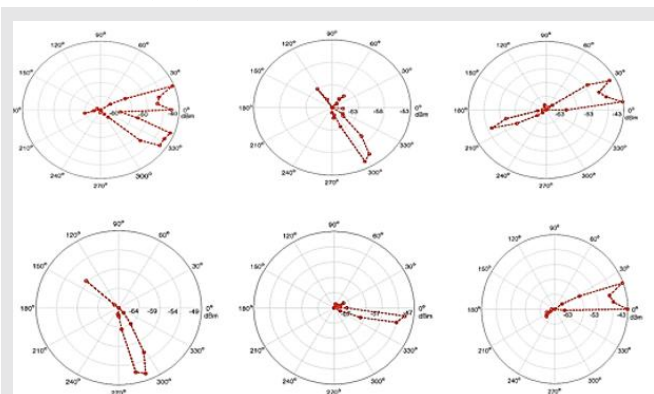


圖 10 Received Power Profile of mm-Wave Channel Measurement in Street Canyon Scenario

如圖 10 所示工研院針對人口密集、兩端都是高樓大廈的典型都會場景：街道峽谷(Street Canyon)的通道量測結果，在多個不同接收位置接收端的接收功率分布圖(Received Power Profile)。

從圖 10 接收端的接收功率分布圖可以看出，毫米波高頻段窄波束指向性傳輸與 sub-6GHz 低頻段最大不同在於，sub-6GHz 能從許多方向接收到信號，而毫米波高頻段窄波束指向性傳輸的狀況在大部分位置都只有單一個方向可以接收到信號；只有少部分位置有兩個方向可以接收到信號。這是毫米波高頻段窄波束(Narrow Beam)指向性傳輸與 sub-6GHz 低頻段全方向性傳輸最明顯、最大的差異。這也造成了毫米波高頻段窄波束(Narrow Beam)指向性傳輸如果需要支援多個用戶終端同時進行傳輸，將面臨的很大技術挑戰。

## 4 · 工研院毫米波高頻無線接取技術的發展

工研院自 2014 年開始投入 5G 高頻段接取技術的開發，第一個計劃因考慮零件的易取得性，選擇了 11GHz 頻段作為前瞻計畫的計畫目標。以一年時間完成了從標準制定、系統設計規格設計、系統模擬平台之建置、系統性能浮點數與定點數模擬、系統架構設計、介質進接控制層(Media Access Control Layer, MAC)軟體之設計與實現、基頻單元之設計與實現、射頻前端(RF Front-end)電路之設計與實現、2x8 16 天線單元基站端天線陣列和 2x2 天線單元用戶終端天線陣列之設計與實現、系統整合與驗證，完成了台灣第一個以載波聚合技術頻寬達 250MHz、峰值傳輸速率可達 1Gbps 之 5G 軟硬體驗證平台，如圖 11 所示。並於 2014 年 12 月赴美國德州參加 IEEE GlobeCom-2014 的國際展示，如圖 12 所示。

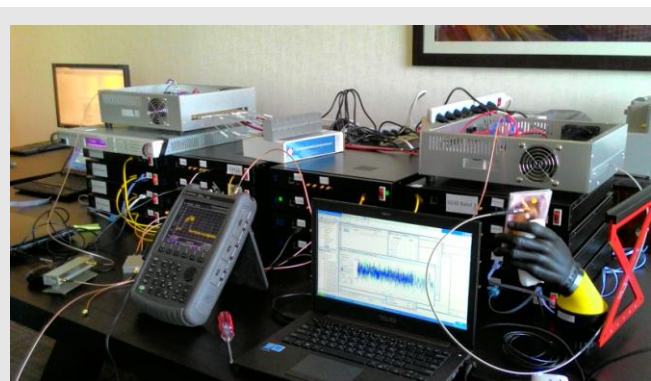


圖 11 ITRI 11GHz 5G HW/SW Verification Platform



圖 12 ITRI 11GHz 5G HW/SW Verification Platform Demonstrated in IEEE Globecom-2014

2015 年配合經濟部技術處科發計畫，開始執行 38GHz 毫米波頻段”高頻接取技術”計畫，此計畫並獲得台灣手機晶片大廠：聯發科的加入，簽署了新台幣 1000 萬元的技術授權，同時投入人力與工研院團隊共同制訂設計規格，並共同開發驗證，實現了包括上行/下行、8x8 64 天線單元之基站端相位天線陣列、8x4 32 天線單元之用戶終端相位天線陣列、混合型波束形成(Hybrid Beam Forming)架構之射頻前端、波束追蹤演算法設計、峰值傳輸速率可達 1Gbps、支援大於 10km/hr 移動傳輸與 200 米涵蓋範圍之 5G 毫米波軟硬體驗證平台，如圖 13 所示。工研院與聯發科並共同於 2016 年 2 月赴西班牙巴塞隆納參加 MWC-2016 的國際展示，如圖 14 所示。

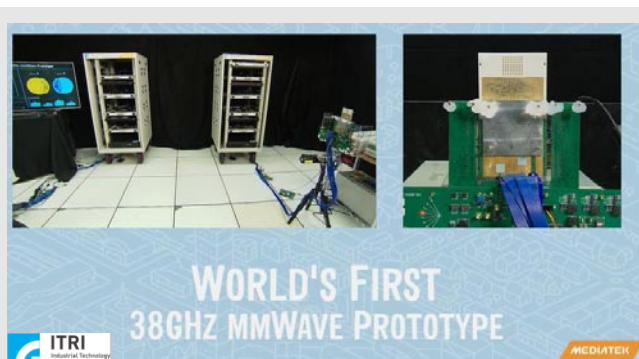


圖 13 ITRI 38GHz mm-wave 5G HW/SW Verification Platform



圖 14 ITRI 38GHz mm-wave 5G HW/SW Verification Platform Demonstrated in MWC-2016

## 5 . 結論

隨著各種行動多媒體影音應用在手機平台越來越普及，手機用戶對於頻寬與傳輸速率的需求也越來越大。由於目前小於 6 GHz 低頻段頻譜已經相當擁擠，要獲取更大可用頻寬並不容易，因此使用毫米波頻段作為第五代行動通訊的操作頻段已成為全世界通訊大廠的共識，並預計在 2018 年年中完成 phase-1 涵蓋至 30 或 40 GHz 毫米波頻段；2019 年年底完成 phase-2 涵蓋至 100 GHz 毫米波頻段之第五代行動通訊標準制定的時程規劃。在綜合水與空氣吸收率、波段使用現況以及可用連續頻寬之考量，38GHz 被選為工研院 5G 計畫的操作頻段。

雖然毫米波頻段能提供相當大的可用頻寬，但也包含許多毫米波在戶外通訊高路徑損

失與高傳輸耗損的問題，需要藉由設計大量或巨量的天線陣列，利用相位天線陣列的波束形成技術(Beam Forming)，以提供更大的陣列天線增益來解決。但利用波束形成技術來克服高耗損的解決方法，也額外造成毫米波在戶外通訊窄波束、高指向性的傳輸特性，引致了其他像支援行動通訊指向性問題、阻擋的挑戰與多用戶終端支援的挑戰與困難。工研院在 2015 年與國內手機晶片大廠：聯發科合作，共同制訂設計規格、並共同開發驗證，實現了包括上行/下行、8x8 64 天線單元之基站端相位天線陣列、8x4 32 天線單元之用戶終端相位天線陣列、混合型波束形成(Hybrid Beam Forming)架構之射頻前端、波束追蹤演算法設計、峰值傳輸速率可達 1Gbps、支援大於 10km/hr 移動傳輸與 200 米涵蓋範圍之 5G 毫米波軟硬體驗證平台，並共同參展 MWC-2016，在國際舞台展示了我國在 5G 毫米波的研發成果。

## 參考文獻

- [1] <https://www.metis2020.com/wp-content/uploads/presentations/ITU-R-2020-VisionWS.pdf>
- [2] "Samsung's Vision of 5G Wireless," IEEE Spectrum for the Technology Insider, Jul. 2013. (<http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=06545095>)
- [3] T. Kim, J. Park, J. Seol, S. Jeong, J. Cho, and W. Roh, "Tens of Gbps support with mmWave beamforming systems for next generation communications," IEEE Global Telecomm. Conf. (GLOBECOM'13), Dec. 2013.
- [4] Azar, Y., Wong, G. N., Wang, K., Mayzus, R., Schulz, J. K., Zhao, H., Gutierrez, F., Hwang, D., Rappaport, T. S., "28 GHz Propagation Measurements for Outdoor Cellular Communications Using Steerable Beam Antennas in New York City," Published in the 2013 IEEE International Conference on Communications (ICC), June 9 ~13, 2013.
- [5] Wonil Roh, et al., "Millimeter-Wave Beamforming as an Enabling Technology for 5G Cellular Communications: Theoretical Feasibility and Prototype Results," IEEE Communications Magazine, Feb. 2014.
- [6] Wonil Roh, "5G Mobile Communications for 2020 and Beyond - Vision and Key Enabling Technologies," IEEE WCNC 2014 Keynote, Apr. 2014.

## 作者簡介

陳文江



目前任職於工研院資通所新興無線應用技術組，擔任技術副組長的職務，並兼 M300 部門經理，同時並且擔任經濟部技術處 5G 科發計畫「高頻段接收技術」計畫的計畫主持人。在加入工研院之前，2004 年至 2013 年係任職於智原科技，並於 2008 年至 2013 年擔任「核心技術開發」部門部長之職務，主要帶領部門同仁進行先進數位 IP 之開發，包括：ARM compatible RISC CPU, USB 1.1/2.0/3.0 device/host controller, OTG 2.0/3.0 controller, PCI-Express 2.0/3.0 4-port device controller, SATA 3G/6G device/host controller, MIPI DSI device/host controller, MIPI CSI-2 TX/RX controller, DDR 2.0/3.0/4.0 controller, NAND flash controller. 2004 年至 2008 年則是擔任兩個無線收發機 IC 設計開發計畫的計畫主持人；分別是 Wireless LAN 802.11b/a/g 及 OFDM UWB，除了計畫管理之外，並且負責設計規格制定，transceiver 架構設計，演算法設計及 RTL 實現。

陳文江分別於 1990 年與 1992 年畢業於國立交通大學電子工程學系與電子研究所，主要專業領域為 WLAN, Bluetooth 與 OFDM UWB 等無線通訊系統研發與數位 IC 設計，包括系統設計規格制定，系統架構設計，演算法設計，與收發機之設計與實現。