

# 5G毫米波新無線接取技術之發展現況

## 5G mm-Wave New Radio Access Technology (RAT) Development

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。為滿足METIS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。要達到METIS所定義的最高峰值傳輸速率與1000倍行動數據容量的需求，目前3GPP與全世界許多通訊大廠正針對下世代第五代行動通訊(Fifth Generation Mobile Communication，5G)新波形、新調變技術、新編解碼技術、新多工進接技術等重要無線接取技術積極提案與討論。預計在2017年底前完成各項新無線接取技術(New Radio Access Technology，new RAT)標準的提案討論，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的制定。

### Abstract

As the population of variant mobile multi-media applications on mobile phones, user terminal demands wider bandwidth and higher data transmission rate. To meet the requirement of 10 to 100 times of peak data rate enhancement and the 1000 times of mobile traffic capacity increase compared to 2010 version for the variant scenarios in 2020 defined by METIS, 3GPP and all main communication companies in the world are aggressively proposing and discussing the new waveform, modulation, coding, and multiple access technologies. These proposed new radio access technologies will be finalized by the end of 2017. Phase-1 standardization of 5G will be finalized by the middle of 2018, the frequency band will cover up to 30 to 40GHz. Phase-2 standardization of 5G will be finalized by the end of 2019, the frequency band will cover up to 100GHz.

### 關鍵詞(Key Words)

毫米波(mm-Wave)

新波形(New Waveform)

新編碼技術(New Coding)

新調變技術(New Modulation)

新多重接取技術(New Multiple Access)

正交頻分多重接取技術(Orthogonal Frequency-Division Multiple Access，OFDMA)

## 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(Fifth Generation Mobile Communication，5G)的標準進行”研究項目(Study Item, SI)”階段緊鑼密鼓的討論，預計在2017年底前可望完成”工作項目(Work Item, WI)”的階段，產出phase-0的標準。

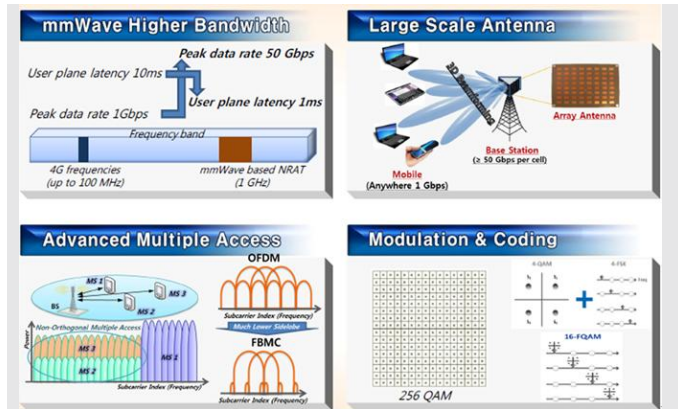


圖 2 Spectral Efficiency Enhancement (Source: Samsung“5G Mobile Communications for 2020 and Beyond” presentation slides)

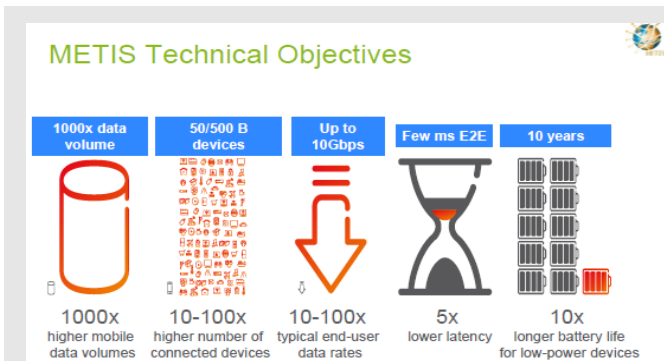


圖 1 METIS 5G Technical Objectives (Source: METIS ”Mobile and Wireless Communications system for 2020 and beyond 5G”)presentation slides)

為滿足METIS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)。要達到METIS所定義的最高峰值傳輸速率與1000倍行動數據容量的需求，有如圖2所示的幾種主要技術：增加頻寬、更先進的調變/編解碼技術、更先進的多工進接技術或是使用巨量天線以實現多重輸入與多重輸出(Multiple-Input- Multiple- Output，MIMO)的技術，來提升頻譜效率。

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	U.S. FCC
1885-2025 MHz and 2110-2200 MHz: allocated under resolution 212	24.25-27.5 GHz,	31.8-33.4 GHz	27.5-28.35 GHz
450-470 MHz and 694-960 MHz: allocated under resolution 224	37-40.5 GHz,	40.5-42.5 GHz	37-38.6 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	38.6-40 GHz
3400-3600 MHz: allocated under FN 5430A/31A/32B	45.5-47 GHz,		64-71 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 3 ITU-R IMT Candidate Spectrum and U.S.A. F.C.C 5G mm-Wave Spectrum

其中，3GPP與全世界各主要通訊大廠已針對使用毫米波頻段來增加可用頻寬，直接提升傳輸速率與數據容量達成共識，世界各主要通訊大廠並且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術報告：TR38.900。ITU-R在2015年10月的WRC-15會議中並已公布了第五代行動通訊(Fifth Generation Mobile Communication，5G)毫米波的候選頻段(如圖3所示)，涵蓋從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3所示)，以加速美國通訊廠商在第五代行動通訊(Fifth Generation Mobile Communication，5G)毫米波通訊系統的開發與布建。

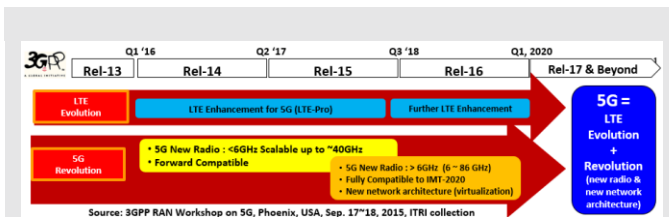


圖 4 3GPP 5G Standardization Time Line  
(Source: 3GPP RAN Workshop on 5G, Phoenix, U.S.A, Sep. 17~18,2015, ITRI collection)

第三章則針對各個新編碼候選技術進行詳細的解說；第四章則是針對各個新多重接取候選技術進行詳細的解說；第五章則是就毫米波在新無線接取技術(New RAT)標準的制定現況進行總結。

## 2 · 3GPP 5G毫米波新波形(New Waveform)標準的制定現況

第四代行動通訊(Fourth Generation Mobile Communication · 4G)標準即已採用正交頻分多工技術 (Orthogonal Frequency-Division Multiplexing · OFDM ) 相關波形與 QPSK(Quadrature Phase Shift Keying )/16-QAM(Quadrature Amplitude Modulation)/64-QAM(Quadrature Amplitude Modulation)等調變技術。多重接取技術方面，則是在下行(Down-Link)部分採用正交頻分多重接取技術(Orthogonal Frequency-Division Multiple Access · OFDMA)；在上行(Up-Link)部分則是採用單載波頻分多重接取技術(Single-Carrier Frequency-Division Multiple Access · SC-FDMA)。正交頻分多工技術(Orthogonal Frequency-Division Multiplexing · OFDM ) 相關波形最大的缺點是頻外(Out of Band · OOB)頻譜響應不夠低，因此操作頻帶與頻帶之間必須留有間隔來降低頻帶間的干擾，也因此降低了頻譜使用效率(如圖5所示)。

此一狀況在發射功率倒回(Back Off)不夠多時，會遭遇功率放大器(Power Amplifier · PA)因為非線性(Non-linearity)特性所引致頻譜再

生(Spectrum Re-growth)效應，使得這部分對頻譜效率的影響更是雪上加霜。

因為正交頻分多工技術(Orthogonal Frequency-Division Multiplexing · OFDM ) 相關波形，在同時考慮頻譜效率與實現複雜度這兩方面的性能表現到目前為止仍是最佳的選擇。

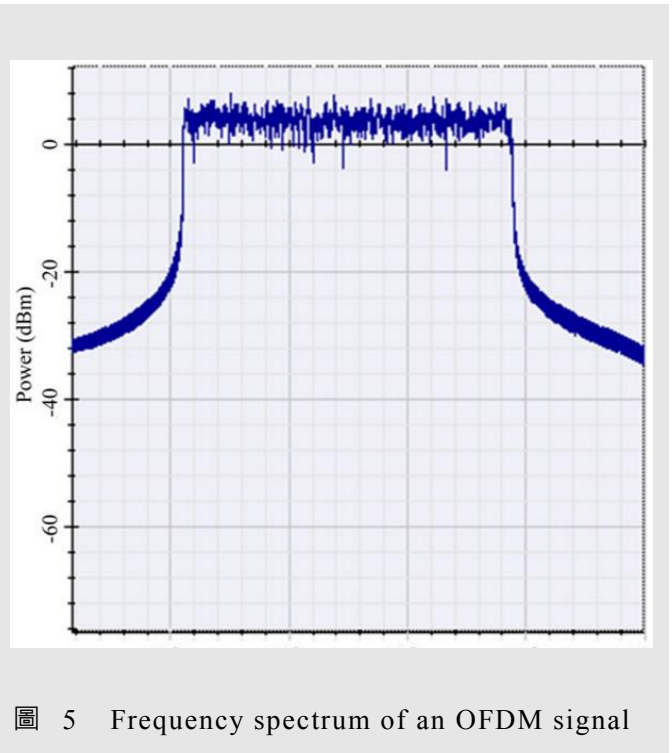


圖 5 Frequency spectrum of an OFDM signal

因此3GPP與世界各通訊大廠針對新的波形與新的調變技術目前已達成的共識仍是以正交頻分多工技術(Orthogonal Frequency-Division Multiplexing · OFDM ) 為基本波形，再針對前文所提到的頻外(Out Of Band · OOB)頻譜響應不夠低的問題做變形與改善。

如圖六所列即是目前有關第五代行動通訊(Fifth Generation Mobile Communication · 5G)新波形的相關提案，從圖六搭配上方的方塊即可很容易看出都仍是以快速傅立葉轉換/反向快速傅立葉變換(Fast Fourier Transform/Inverse Fast Fourier Transform · FFT/IFFT)為基礎，只是在頻域或時域再加上濾波器或是窗函數(Window Function)以針對頻外(Out of Band · OOB)頻譜響應作變形與改善。

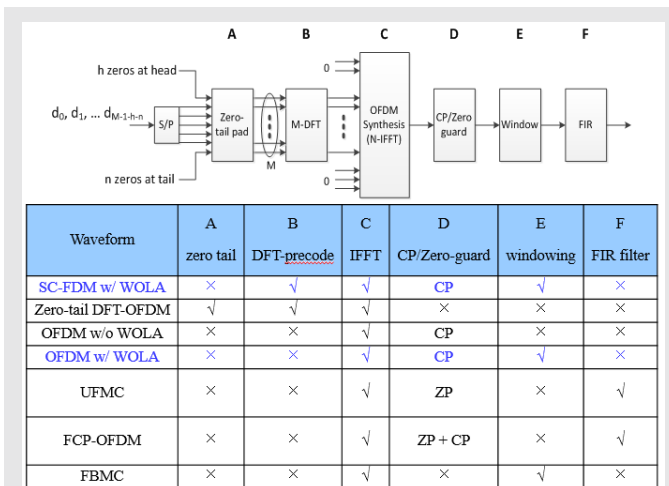


圖 6 3GPP 5G New Waveform Candidates

表 1 Comparison of OFDM-based 5G New Waveform Candidates (Source: Qualcomm "5G Waveform & Multiple Access Techniques" presentation slides)

Waveforms	Pros	Cons
CP-OFDM (in LTE spec, but existing implementations typically include WOLA to meet performance requirements)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Flexible frequency assignment</li> <li>Easy integration with MIMO</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>High ACLR - adds latencies slowly</li> <li>Need synchronous multiplexing</li> </ul>
CP-OFDM with WOLA (in existing LTE implementations)	<ul style="list-style-type: none"> <li>All pros from CP-OFDM</li> <li>Better OOB suppression than CP-OFDM</li> <li>Simple WOLA processing</li> </ul>	
UFMC	<ul style="list-style-type: none"> <li>Better OOB leakage suppression than CP-OFDM (but not better than CP-OFDM with WOLA)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>ISI from multipath fading (no CP)</li> <li>Higher Tx complexity than CP-OFDM</li> <li>Higher Rx complexity (2x FFT size) than CP-OFDM</li> </ul>
FBMC	<ul style="list-style-type: none"> <li>Better than CP-OFDM with WOLA (but the improvement is reduced with PA nonlinearity)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>High Tx/Rx complexity due to OQAM (waveform is synthesized per RB)</li> <li>Integration with MIMO is nontrivial</li> <li>Subject to ISI under non-flat channels</li> <li>Complicated receiver to handle ISI/ICI</li> </ul>
GFDM	<ul style="list-style-type: none"> <li>Same leakage suppression as CP-OFDM with WOLA</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Higher block processing latency (no pipelining)</li> <li>Multiplex with eMBC requires large guard band</li> </ul>

表 1 有關各種 OFDM-based 第五代行動通訊 (Fifth Generation Mobile Communication, 5G) 新波形的比較，主要還是從頻譜效率與實現複雜度這兩方面做考量。有些新波形像 UFMC (Universal Filtered Multi-Carrier) 或是 FBMC (Filter-Bank Multi-Carrier) 雖然在頻外 (Out of Band, OOB) 頻譜響應的性能表現很好但是實現複雜度很高。畢竟實現複雜度關係到未來手機晶片的實現成本 也是一個標準在討論與制訂過程中必須考慮的重要因素之一。

### 3 · 3GPP 5G 毫米波新編碼 (New Coding) 標準的制定現況

目前第四代行動通訊 (Fourth Generation Mobile Communication, 4G) 標準所使用的編碼

技術是渦輪編碼 (Turbo Code)，目前在第五代行動通訊 (Fifth Generation Mobile Communication, 5G) 標準所討論的新編碼技術有如表 2 所示的幾種新編碼技術與各自支持的國際通訊大廠。

表 2 List of 5G New Coding Candidates

	Turbo Code	LDPC Code	Polar Code	Outer Erasure Code
Supporting Companies	Ericsson, LGE, CATT	Samsung, Qualcomm, ZTE, Intel, Huawei, Nokia	Huawei, Qualcomm, DoCoMo	Qualcomm, ZTE

有關第五代行動通訊 (Fifth Generation Mobile Communication, 5G) 新編碼技術的討論，主要是考慮以下幾個重要性能表現：

- 錯誤更正性能 (Performance)
- 實現複雜度 (Implementation complexity)
- 編解碼的時間 (Latency)
- 實現彈性 (Flexibility)

目前仍是如第四代行動通訊 (4G) 標準制定過程一樣，以渦輪編碼 (Turbo code) 與低密度奇偶檢查碼 (Low-Density Parity-Check, LDPC) 這兩種編碼技術的呼聲最高，特別是到了第五代行動通訊 (Fifth Generation Mobile Communication, 5G) 在峰值傳輸速率的要求高達 10Gbps 到 20Gbps，對於平行處理在運算速度的優勢更加重要，也使得低密度奇偶檢查碼 (Low-Density Parity-Check, LDPC) 的支持呼聲很高，獲得最多國際通訊大廠的支持。

### 4 · 3GPP 5G 毫米波新多重接取 (New Multiple Access) 標準的制定現況

目前在第五代行動通訊 (Fifth Generation Mobile Communication, 5G) 標準所討論的新多重接取技術有如表 3 所示的幾種新多重接取 (Multiple Access) 技術，及與現在在第四代行動通訊 (4G) 標準中所使用多重接取 (Multiple Access) 技術，其優缺點的比較。

表 3 Comparison of 5G New Multiple Access Technology Candidates

Multiple Access	Pros	Cons
SC-FDMA (in LTE uplink)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• With PAPR/coverage</li> <li>• Multiplexing with OFDMA</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Need synchronous multiplexing</li> <li>• Link budget loss for large number of simultaneous users</li> </ul>
OFDMA (in LTE downlink)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• No intra-cell interference</li> <li>• Higher spectral efficiency and MIMO</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Need synchronous multiplexing</li> <li>• Link budget loss for large number of simultaneous users</li> </ul>
Single-carrier RSMA	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Allow asynchronous multiplexing</li> <li>• Grantless Tx with minimal signaling overhead</li> <li>• Link budget gain</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Not suitable for higher spectral efficiency</li> </ul>
OFDM-based RSMA	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Grantless Tx with minimal signaling overhead</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Need synchronous multiplexing</li> <li>• Higher PAPR than SC RSMA</li> </ul>
LDS-CDMA/SCMA	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Allow lower complexity iterative message passing multuser detection (when there are small number of users)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Need synchronous multiplexing</li> <li>• Lack of scalability/flexibility to users requiring different spreading factors</li> <li>• Not exploiting full diversity</li> </ul>
MUSA	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Similar to LDS-CDMA with SIC</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Higher PAPR</li> </ul>

多重接取技術除了主要在比較其頻譜效率:平均每赫茲(Hz)可以傳幾個位元(bit)·實現複雜度與峰值相對於平均之功率比率(Peak to Average Power Ratio·PAPR)也是很重要的考量因素。特別是峰值相對於平均之功率比率(Peak to Average Power Ratio·PAPR)·原本在第四代行動通訊(4G)標準所使用正交頻分多重接取技術(Orthogonal Frequency-Division Multiple Access·OFDMA)最大的缺點就是有很大的峰值相對於平均之功率比率(Peak to Average Power Ratio·PAPR)·在搭配高階調變技術64-QAM(Quadrature Amplitude Modulation)時·需要在發射功率上從功率放大器(Power Amplifier·PA)的1dB功率增益壓縮( $P_{1dB}$ )點倒回(Back-off)約10dB才能達到滿意的解調變性能·這使得功率放大器(Power Amplifier·PA)的功率附加效率(Power Added Efficiency·PAE)變得很差。這個問題在毫米波高頻頻段更加嚴重。以38GHz頻段為例·原本功率放大器(Power Amplifier·PA)在1dB功率增益壓縮( $P_{1dB}$ )點的功率附加效率(Power Added Efficiency·PAE)約為18%·但倒回(Back-off)10dB之後功率附加效率(Power Added Efficiency·PAE)就只剩下2~3%·這意味著直流功率(DC Power)只有2~3%轉換成傳送信號功率·其餘97%~98%的直流功率(DC Power)則是轉換成熱能散逸·造成很嚴重的散熱問題。另一個使這個問題更加雪上加霜的因素則是·因為要克服毫米波在戶外高頻通訊很大的路徑損失(Path Loss)與傳輸耗損(Propagation Loss)·必須使用相位陣列天線

(Phased Array Antenna)·整合多個功率放大器與天線·以陣列增益(Array Gain)來補償路徑損失(Path Loss)與傳輸耗損(Propagation Loss)·個數甚至可能高達256個!以工研院目前在38GHz的5G毫米波驗證平台的設計·基站端(evolved Node B·eNB)射頻(Radio Frequency·RF)前端(Front-end)的相位陣列天線(Phased Array Antenna)是由64個天線單元(Antenna Element)所組成(如圖7所示)·根據熱模擬的結果·將產生近600瓦(Watt)的熱(如圖8所示)·因而導致高達將近200°C的高溫(如圖9所示)!這也是第五代行動通訊(Fifth Generation Mobile Communication·5G)使用毫米波高頻傳輸最急需克服的技術挑戰議題之一。

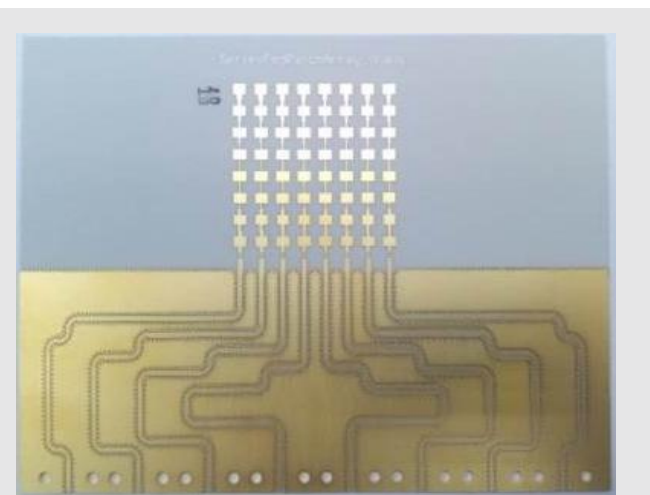


圖 7 8x8 64-Antenna element Phased Antenna Array of ITRI 38GHz 5G mm-wave HW/SW Platform

另外·除了傳統從時域作切分的時分多重進接技術(Time Division Multiple Access·TDMA)·從頻域作切分的頻分多重進接技術(Frequency Division Multiple Access·FDMA)與同時從時域和頻域作切分的正交頻分多重進接技術(Orthogonal Frequency-Division Multiple Access·OFDMA)·目前全世界各通訊大廠也提出許多不同的多重進接技術·例如·與正交頻分多工技術(Orthogonal Frequency-Division Multiplexing·OFDM)需

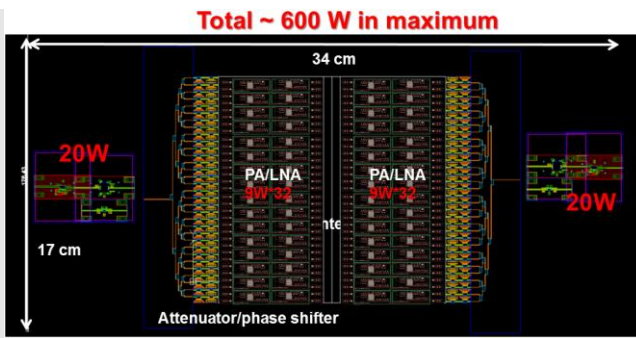


圖8 Heat Dissipation issue in ITRI 38GHz 5G mm-wave HW/SW Platform

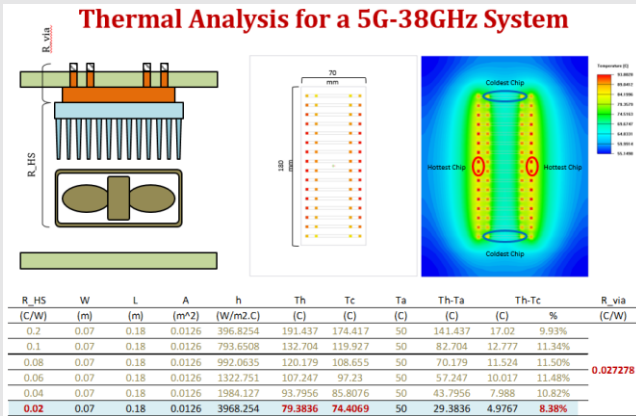


圖9 Heat Dissipation Simulation Result of ITRI 38GHz 5G mm-wave HW/SW Platform

要各次載波(Sub-Carrier)維持正交(Orthogonal)特性有所不同的非正交多重存取技術，像日本NTT-DoCoMo提出的非正交多重存取技術(Non-Orthogonal Multiple Access, NOMA)、美國高通提出的資源擴展型多重進接(Resource Spread Multiple Access, RSMA)技術、大陸華為提出的稀疏分碼多重進接(Sparse code multiple access, SCMA)、大陸中興(ZTE)提出的多用戶分享進接技術(multi-user shared access, MUSA) ... 等，仍持續就頻譜效率(Spectrum Efficiency)、實現複雜度(Complexity)與峰值相對於平均之功率比率(Peak-to-Average Power Ratio, PAPR)等重要因素作討論與比較。

## 5. 結論

隨著各種行動影音多媒體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。為滿足METIS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)。要達到METIS所定義的最高峰值傳輸速率與1000倍行動數據容量的需求，目前3GPP與全世界許多通訊大廠正針對下世代第五代行動通訊(Fifth Generation Mobile Communication, 5G)新波形、新調變技術、新編解碼技術、新多工進接技術等重要技術積極提案與討論。預計在2017年底前可望完成”工作項目(Work Item, WI)”的階段，完成各項新無線接取技術(New Radio Access Technology, new RAT)標準的提案討論(如圖4所示)，產出phase-0的標準，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的制定。

## 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] Qualcomm “5G Waveform & Multiple Access Techniques”, Nov. 2015.
- [4] “Generalized Frequency Division Multiplexing for 5th Generation Cellular Networks,” N. Michailow, M. Matthé, I.S. Gaspar, A.N. Caldevilla, L.L. Mendes, A. Festag, G. Fettweis, IEEE Transaction on Communications, Vol. 62, No. 9, September 2014.
- [5] “Performance of FBMC Multiple Access for

Relaxed Synchronization Cellular Networks”, J.-B. Dore, V. Berg, D. Ktenas, IEEE Globecom, 2014

- [6] X. Wang, T. Wild, F. Schaich, A. Santos, Alcatel-Lucent, “Universal Filtered Multi-Carrier with Leakage-Based Filter Optimization”, European Wireless 2014.
- [7] F. Khan, “LTE for 4G Mobile Broadband: Air Interface Technologies and Performance”, Cambridge University Press, 2009.
- [8] G Berardinelli, F. M. L. Tavares, T. B. Sorensen, P. Mogensen, K. Pajukoski, Aalborg University/Nokia, “Zero-tail DFT-spread-OFDM Signals”, IEEE Globecom2013.
- [9] J. Fang, Z. You, J. Li, R. Yang, I.T. Lu, “Comparisons of filter bank multicarrier systems”, System, Applications and Technology Conference, IEEE long island, May 2013, pp. 1-6.
- [10] Y. Jou, R. Attar, C. Lott, J. Ma, R. Gowaiakar, “CDMA and SC-FDMA reverse link comparison for cellular voice and data communications”, IEEE VTC 2010.
- [11] R. Hoshyar, F.P. Wathan, R. Tafazolli, “Novel Low-Density Signature for Synchronous CDMA Systems Over AWGN Channel”, IEEE Trans. on Signal Processing, vol. 56, No. 4, pp. 1616 -1626, April 2008
- [12] K. Au, et al. “Uplink contention based SCMA for 5G radio access”, IEEE Globecom2014 (Workshop on Emerging Technologies for 5G Wireless Cellular Networks), December 8-12, Austin, TX, USA
- [13] M. Taherzadeh, H. Nikopour, A. Bayesteh, H. Baligh, “SCMA Codebook Design”, IEEE Vehicular Technology Conference, Sept. 2014

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。

## 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 ”高頻段接取技術” 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