

全球 B4G/5G、IoT 需求情境、應用與技術發展趨勢

一、市場發展演進與未來需求情境趨勢

行動通信世代由最初為回應用戶在移動狀態下仍能使用語音通信服務之需求，經過技術演進與市場普及後，逐步演進到滿足用戶對於數據服務的需求，並更進一步擴展到能夠隨時隨地高速上網的階段。未來 5G 網路社會時代，則讓更多聯網設備皆有接取行動網路的機會。隨著雲端技術、人工智慧與軟體定義網路等資訊技術（Information Technology, IT）逐步應用於通訊網路，故可發現通信技術（Communication Technology, CT）導入資訊技術之趨勢。若從網際網路的角度出發，則是資訊技術（IT）逐漸導入通信網路技術（CT）。由此可見，若第一次匯流為電信與廣電產業兩者間之服務匯流，則當前正在發生的第二次匯流，應為資訊與通訊（甚至是廣播電視）間之匯流，B4G/5G、IoT 技術與應用之需求皆與 ICT 融合有高度相關，展現出行動通信與網際網路的共同發展，如下圖 1。

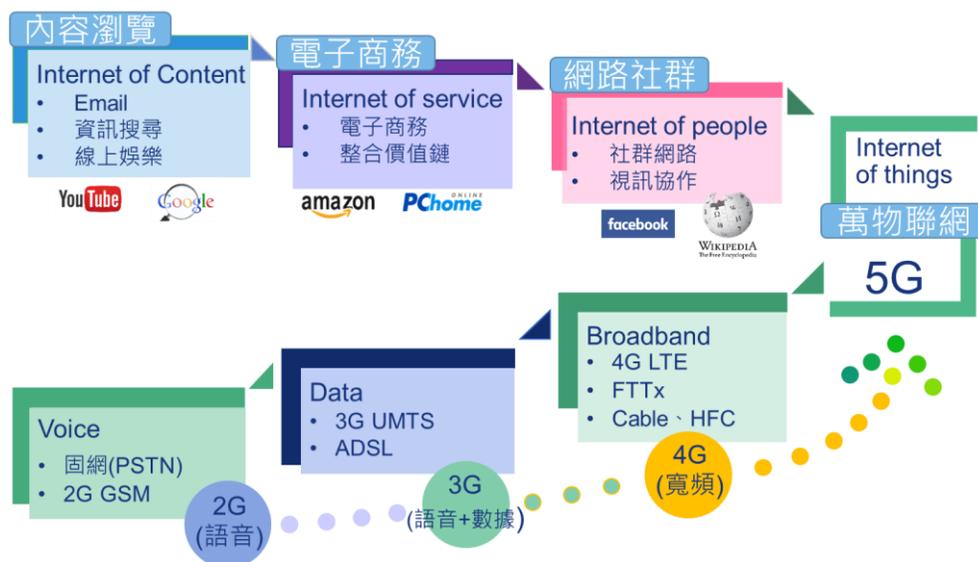


圖 1：通訊與資訊網路之匯流

電信市場亦隨著用戶使用需求之轉變，從原本固網通訊為主的年代，轉向以行動寬頻市場為重心，並隨著智慧型手機的蓬勃發展實現數據大爆

發世代。根據 Cisco 的預測與統計，2011 年到 2016 年的行動數據使用量成長 18 倍！其中又以視訊服務為最明顯的數據流量驅動因子，預期到 2020 年全球手機數據使用量將可達每月 40,000PB，如下圖 2。¹

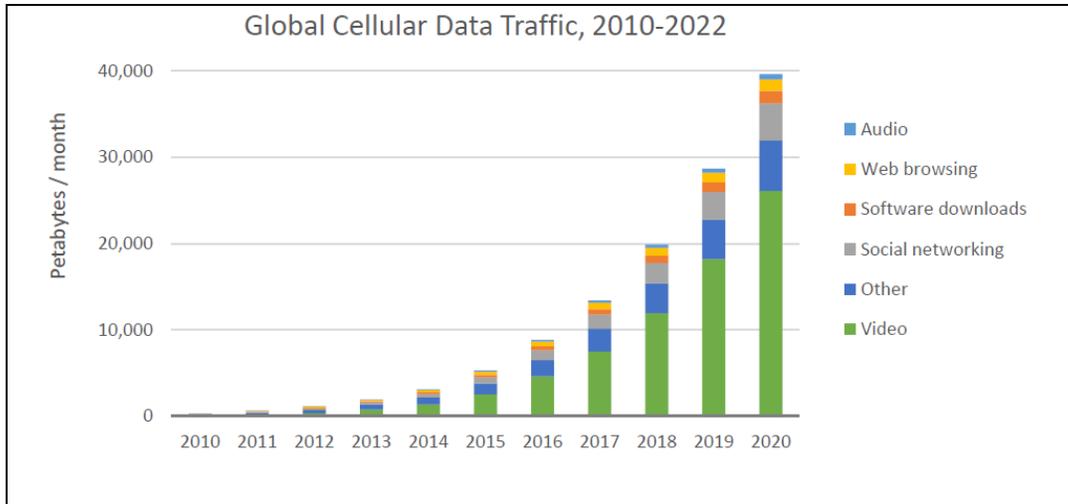


圖 2：全球行動數據使用量成長趨勢

資料來源：Cisco，轉引自 5G Americas

從 4G 技術演進到 5G 網路，最明顯的改變在於 5G 的三個強項：數據傳輸速率、連線能力與可靠度。5G 藉著更大的頻寬提供更高的速率、更彈性運用高頻毫米波頻譜的能力，再透過大規模天線多輸入多輸出技術（Massive Multi-input Multi-output, Massive MIMO）、3D 波束成形（beamforming）等技術實現更好的頻譜使用效率。

二、5G 的需求與應用場景

（一）5G 發展歷程

5G 的制定可追溯自 2015 年時，世界各國相關組織即開始對於 5G 應用場景設定有不同的討論，透過對不同應用場景的設想，逐漸形塑、發展出

¹ 5G Americas (2017), 5G Services and use cases, at 7, available at:

http://www.5gamericas.org/files/3215/1190/8811/5G_Services_and_Use_Cases.pdf (last visited : 2017/12/4)

足以量化的需求指標。ITU-R 綜合各方的提案與貢獻，進行工作小組的討論，最終於 2015 年 9 月公布 5G 的正式名稱為 IMT-2020，同時確立三大應用場景與八大技術需求指標。ITU 定義之三大應用場景分別為增強型行動寬頻（enhanced mobile broadband, eMBB）、極低延遲的可靠通訊（ultra-reliable and low latency communications, uRLLC）以及巨量物聯網通訊（massive machine type communications, mMTC）。

行動寬頻主要處理以用戶為中心的應用型態，例如接取多媒體內容、使用各種服務及數據等。隨著未來用戶對行動寬頻需求之增長，各種新應用的誕生，推動行動網路改善其運作效能與增進用戶體驗之必要，因而需要透過增強型行動寬頻以滿足用戶需求。增強型行動寬頻涵蓋多種應用案例，各有不同需求，例如在需求密集的熱點區域，較重視高連線密度與大量訊號傳輸，同時也需要更高的用戶體驗速率。至於在廣域服務區域之境，則重視訊號無間斷、高速移動下仍可接取服務之能力。

極低延遲的可靠通訊則高度重視傳輸速率、網路延遲與服務連線能力等項目，例如工業製造或生產線所需之無線控制能力、遠端醫療與運輸安全等。巨量物聯網通訊則以超高數量之設備連線為目標，該類設備可能傳送少量或非訊務敏感性的數據，同時設備本身的要求為低成本與超長電池壽命。IMT-2020 定義之三大應用場景如下圖 3。²

² ITU (2015), IMT vision- Framework and overall objectives of the future development of IMT for 2020 and beyond, at 12, available at: https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/m/R-REC-M.2083-0-201509-I!!PDF-E.pdf (last visited : 2017/12/24)

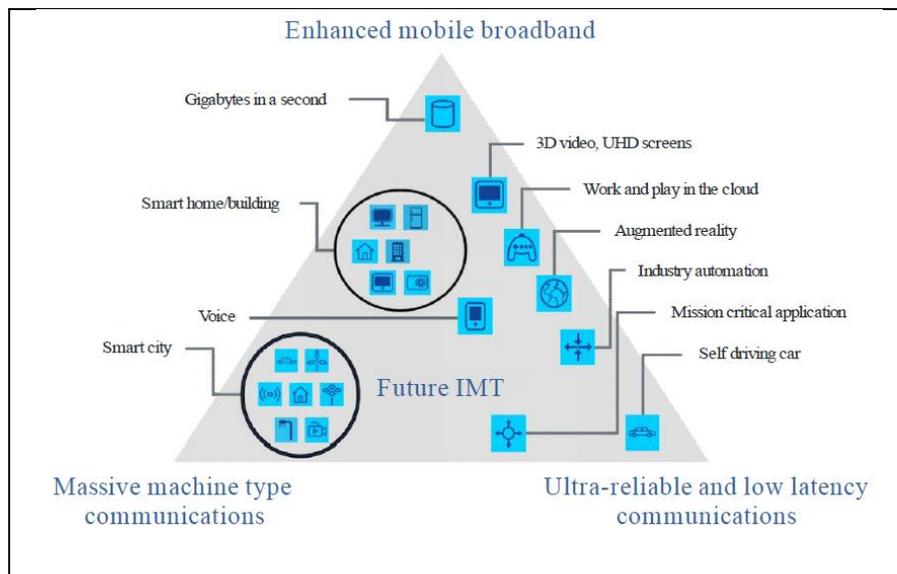


圖 3：ITU 定義的 IMT-2020 三大應用場景

資料來源：ITU

- 增強型行動寬頻(eMBB)：增強室內和室外具超高速連接，即使在細胞邊緣也有一致的服務品質。eMBB 著重在以人為中心的使用案例，將涉及到所有需要越來越快連接的內容、應用和服務的接取，例如觀賞超高清（4K/8K）視訊或 VR/AR 的應用。
- 超可靠和低延遲通信(uRLLC)：此使用案例對延遲和封包遺失等功能有十分嚴格的要求，以確保提高反應能力。所應用的領域有：工業製造或生產流程的無線控制、遠端手術、智慧電網配電自動化以及運輸安全等。
- 大規模機器類型通信(mMTC)：此使用案例的特點是，連接設備數量龐大，這些設備通常傳輸相對少量的非延遲敏感性資料。設備成本需要降低，電池續航時間需要大幅延長。由於這些服務需要廣泛的覆蓋範圍、較低的能耗和較低的傳輸速度。與現有技術相比，5G 能跨越既有區域以非常密集方式提供物件連接的能力。

為實現前述三大應用場景，ITU 定義 IMT-2020 共有八大關鍵需求指標，同時亦定義其目標數值。八大關鍵需求指標如下。

- 一移動中的用戶/設備於網路訊號服務區域內可持續、無縫隙使用之實際體驗速率達 100Mbit/s 至 1Gbit/s；
- 每用戶/設備於理想狀態下之最高峰值速率達 20Gbit/s；
- 時速 500 公里移動狀態下仍可持續通訊之能力；
- 網路延遲為 1 毫秒；
- 每區域單位之總設備連線密度為每平方公里 100 萬個設備；
- 能源使用效益為 4G 標準的 100 倍，可區分為網路端與設備端；
- 頻譜使用效益：每個基地臺使用每單位頻譜資源之平均數據傳輸量為 4G 標準的 3 倍；
- 區域內訊務通訊能力為每個基地臺於每平方公尺可提供 10Mbps 之服務訊務量。

若比較 4G (IMT-Advanced) 與 5G (IMT-2020) 之需求指標，差異如下圖 4。

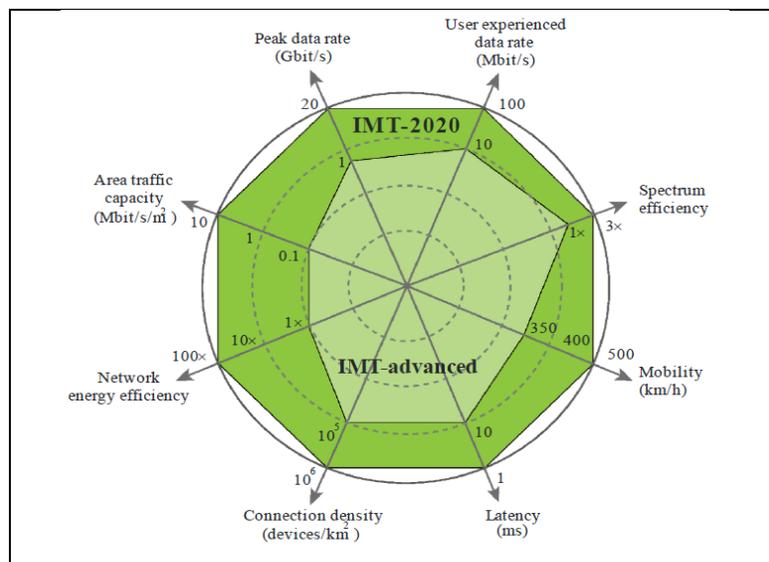


圖 4：ITU 定義的 IMT-2020 八大關鍵需求指標

資料來源：ITU

比對三大應用場景與八大關鍵需求指標，則可浮現 ITU 定義之 5G 願景，如下圖 5。

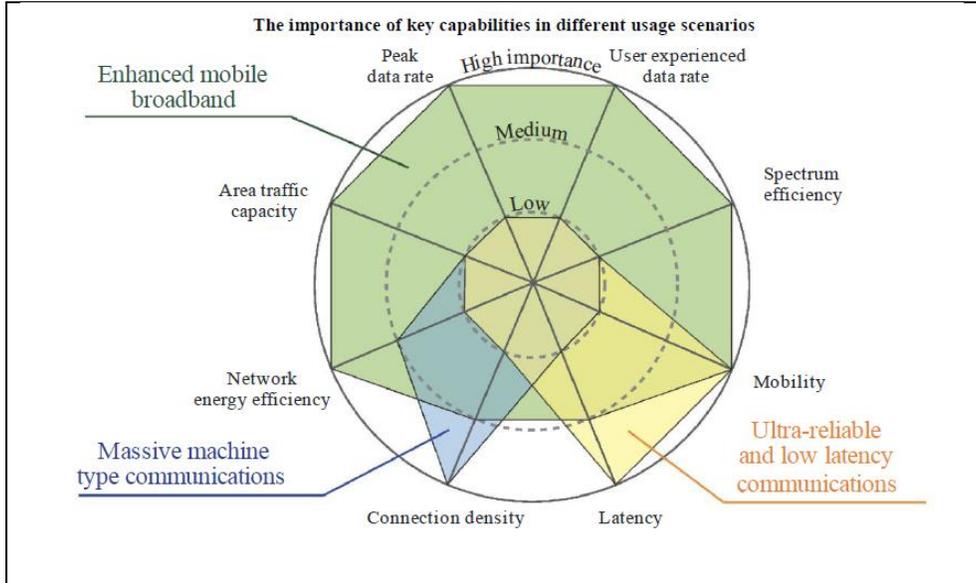


圖 5：ITU 定義的 5G 願景

資料來源：ITU

三大應用場景下各有不同應用特性與關鍵指標，增強型行動寬頻能提供更高的傳輸速率、更多的聯網設備與更佳的用户體驗，提升用户使用虛擬實境（Virtual Reality, VR）與擴增實境（Augmented Reality, AR）等應用的流暢度。極低延遲的可靠通訊則具備超低網路延遲與高可靠度特性，能實現車聯網通訊、無人機與智慧製造等應用。巨量物聯網通訊則著重服務區域內大量設備之連線能力，如下圖 6。³

³ Ofcom (2017), Update on 5G spectrum in the UK, at:9, available at: https://www.ofcom.org.uk/_data/assets/pdf_file/0021/97023/5G-update-08022017.pdf (last visited : 2017/6/12)

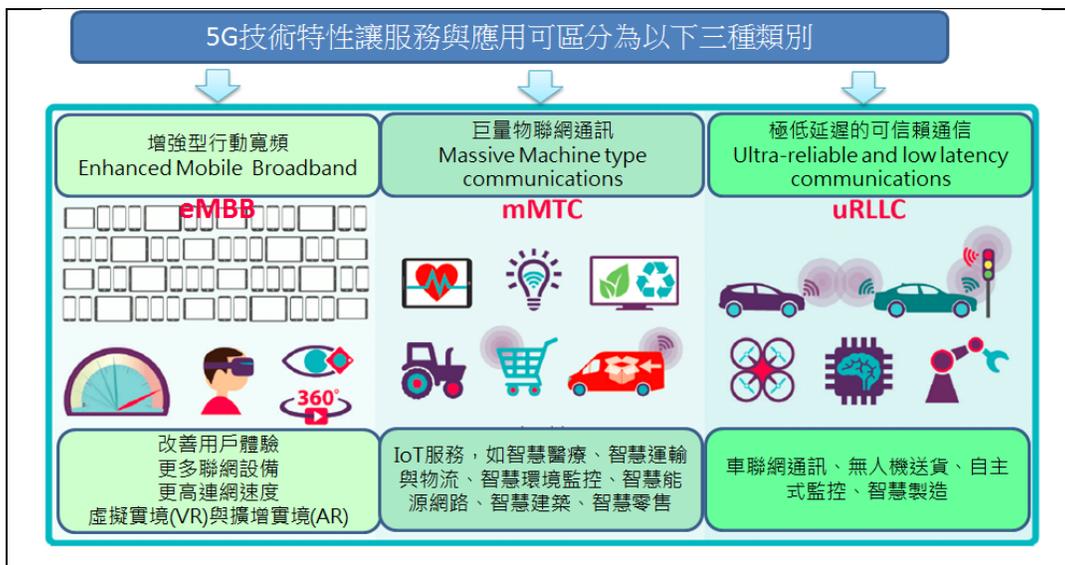


圖 6：5G 三大場景與應用案例

資料來源：引自 Ofcom 編修

(二) 5G 與不同產業間之關係

5G 所帶來的高傳輸速率、低網路延遲、移動狀態下之持續連線能力以及區域內大量設備連線能力等，皆可滿足各種不同產業之需求，例如增強型行動寬頻帶來更快之連線速率與低網路延遲可提升用戶對於各種娛樂業應用型態之服務體驗，如前述之虛擬實境與擴增實境等。另外，巨量物聯網通訊則適用於智慧城市與智慧家庭等產業，亦很適合製造業中的自動化工廠等。極低延遲的可信賴通訊則適用於對網路延遲容忍度低的汽車運輸業與醫療業等。⁴顯見各垂直產業如製造業、汽車業與醫療業等，未來都會受到 5G 的影響，亦創造出更多樣化之創新應用情境。綜合 5G 對前述垂直產業之影響與應用，如下圖 7。

⁴ 5G Americas (2017), 5G Services and use cases, available at: http://www.5gamericas.org/files/3215/1190/8811/5G_Services_and_Use_Cases.pdf (last visited : 2017/12/4)

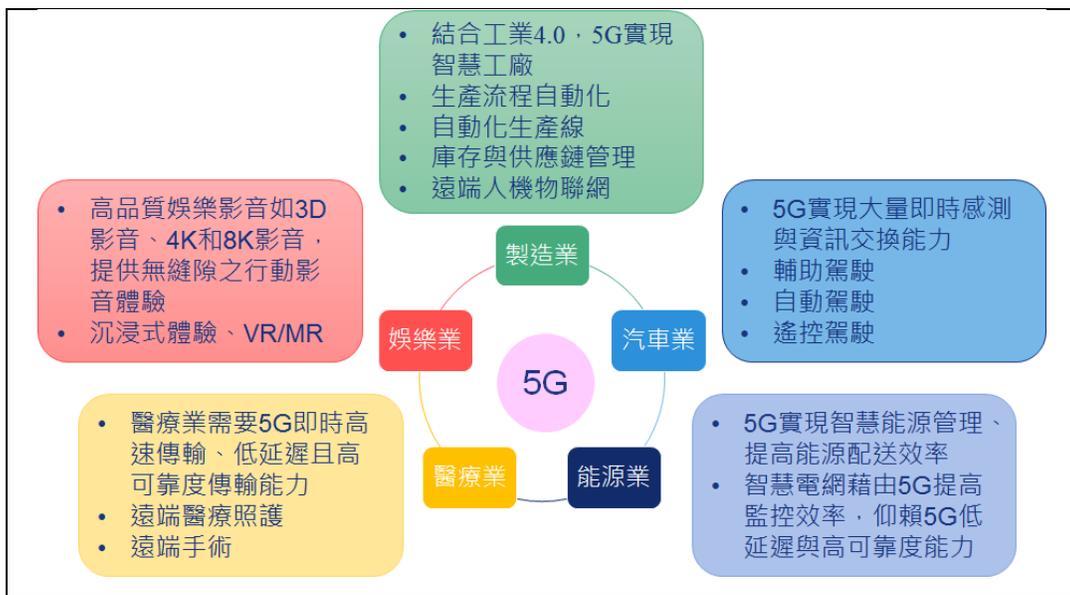


圖 7：5G 對各產業之影響與應用

資料來源：5G America、KT

三、IoT/IoE 的需求與應用場景

針對需求情境與應用場景，當前 B4G 與 IoT 技術對應的應用場景，在於 B4G 行動寬頻部分能達到更高速 Gbps 級別的網路服務，因此發展上注重更多的頻譜資源利用，例如：需執照頻譜、頻譜共享與免執照頻譜搭配聚合等。在 IoT 的部分，因技術開發與連網裝置等限制，尚未能有完整的生態鏈，因此較注重在低功率廣域網路、低數據量的感測網路、動態管理系統為主，實際討論聚焦後的相關應用將會在 5G/IoE 的世代有更明確的發展。ITU 針對新興應用整理出物聯網帶來之智慧社會、無人機、智慧醫療與智慧地理空間應用等四項，其中智慧社會又可細分為智慧城市、智慧製造與工業物聯網以及智慧運輸系統，整體架構如下圖 8。

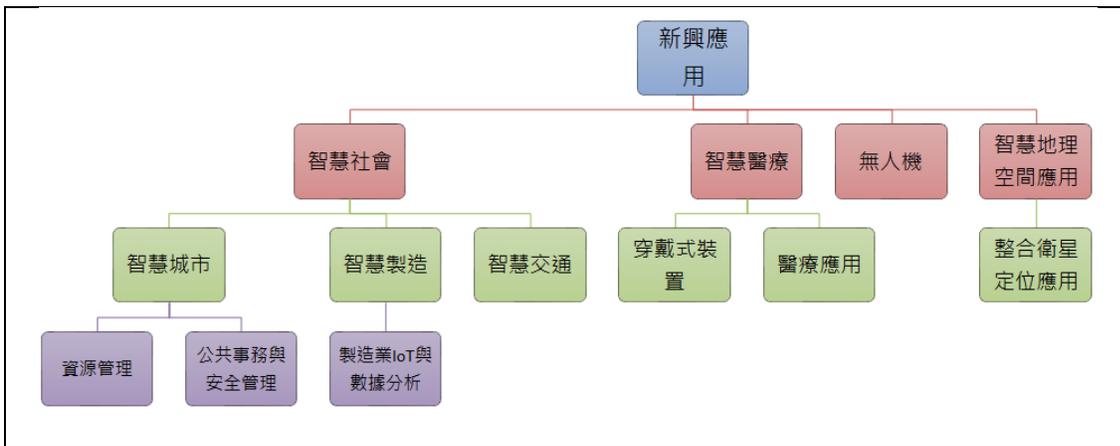


圖 8：ITU GSR-16 IoT 關鍵應用

資料來源：ITU

若與前述討論之 5G 需求情境與關鍵應用相比，可以發現 5G 與 IoT 兩者適用之關鍵應用有許多重疊之處，包括智慧製造、自駕車、連網汽車及智慧醫療等。⁵

目前物聯網依據其技術類別，大致包括 IEEE 底下 802 無線標準系列如：Bluetooth/ ZigBee/ WBAN/ WiFi 以及 WiSUN 等，以提供中短距離的智慧應用為主，例如：智慧家庭、智慧醫療等。

至於物聯網常用技術標準 LPWAN 則以 LoRa、SigFox 與 NB-IoT 為主，可對應至智慧城市、先進智慧讀表與智慧農業等；此外，發展中的技術且與將來毫米波頻譜有關者，則有 IEEE 的 WiGig 標準，持續與 5G 標準發展同步，未來將應用到更高階智慧醫療、智慧製造以及車載資通訊。

四、5G/IoE 應用場景、需求指標與對應頻譜資源

5G 除了代表人際通訊的新里程之外，也將與物聯網的發展更加緊密結合，詳言之，各國依國情不同，其 5G 政策所著眼的應用場景也各有不同，但大致上乃以物聯網與網際網路相關應用服務之場景。5G 大幅的整合人際

⁵ ITU (2016), Emerging technologies and the global regulatory agenda, available at: http://www.itu.int/en/ITU-D/Conferences/GSR/Documents/ITU_EmergingTech_GSR16.pdf (last visited : 2017/12/4)

通訊與萬物聯網（IoE），從巨量物聯網通訊與低延遲、高可靠度通訊等應用場景與需求指標之設計，反映 5G 對物聯網之重視。

另一方面，5G 尚未代表全部的 IoE，目前仍有 IEEE 相關領域以及其他垂直產業專屬的物聯網標準正同步討論其應用場景與需求情境。對於我國產業而言，相較於網路系統標準制定，投入 5G 關鍵技術及應用開發的發展前景更佳，因此必須加快關鍵技術測試之腳步。應用面則結合我國專業服務業之優勢，如醫療服務、觀光服務等，加快 5G 應用布局。5G/IoE 可能之應用型態綜整如下圖 9。⁶

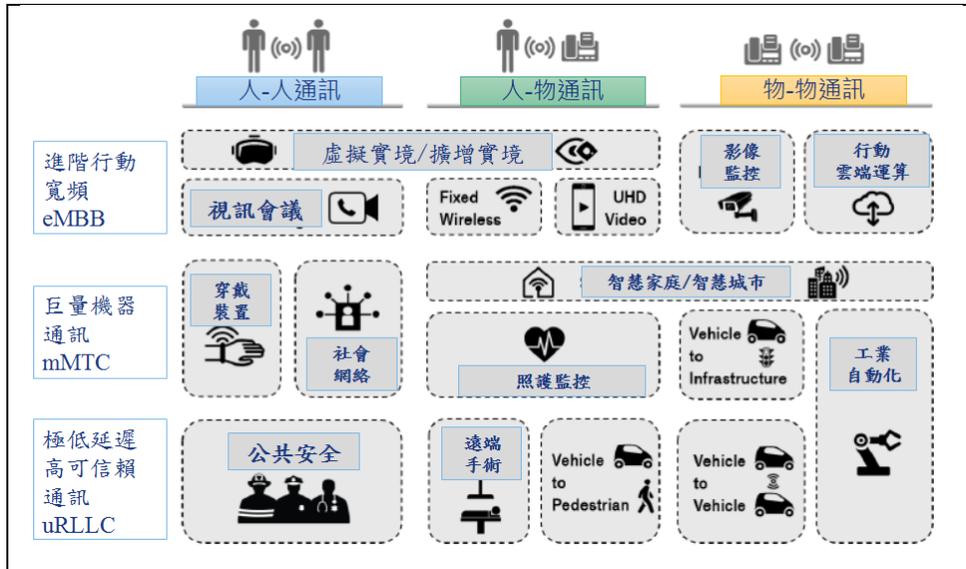


圖 9：5G/IoE 之可能應用型態

資料來源：5G America

比較各種不同應用型態與對應之 5G 三大場景與八大需求指標，例如自駕車重視極低延遲、高度連線能力與高可靠度通訊，緊急通訊應用則需要高連線可靠度與長時間使用之優異能源效率，自動化工廠則需要低延遲與高可靠度通訊等。不同應用案例對應之需求指標整理如下表 1。⁷

⁶ 5G Americas (2017), 5G Services and use cases, available at: http://www.5gamericas.org/files/3215/1190/8811/5G_Services_and_Use_Cases.pdf (last visited : 2017/12/4)

⁷ Rysavy Research (2017), LTE to 5G : Cellular and Broadband Innovation, available at: http://www.5gamericas.org/files/6415/0282/1551/2017_5G_Americas_Rysavy_LTE_5G_Innovation_Final_for_Upload.pdf (last visited : 2017/12/4)

表 1：不同應用型態之需求指標

使用案例	需求項目	需求指標
自駕無人車	低延遲	5 毫秒
	連線能力	99.999%
	可靠度	99.999%
緊急通訊	連線能力	99.9%的受害者發現率
	能源效率	持續一周的電池效力
自動化工廠	低延遲	低於 1 毫秒
	可靠度	封包損失率低於 10^{-9}
高速火車	訊務量密集度	下行：100Gbps/平方公里 上傳：50Gbps/平方公里
	使用者體驗速率	下載：50Mbps 上傳：25Mbps
	移動速率	500km/h
	網路延遲	10 毫秒
大型戶外活動	使用者體驗速率	30Mbps
	訊務量密集度	900Gbps/平方公里
	連線密度	4 臺設備/ 平方公尺
巨量物聯網	連線密度	100 萬臺/平方公里
	連線可用性	範圍內 99.9%
	能源效率	電池可持續 10 年
遠端醫療手術	網路延遲	低於 1 毫秒
	可靠度	99.999%
智慧城市	使用者體驗速率	下行：300Mbps 上傳：60Mbps
	訊務量密集度	700 Gbps/ 每平方公里
	連線密度	20 萬台設備/平方公里
虛擬實境/擴增實境	使用者體驗速率	4-28Gbps
	網路延遲	低於 7 毫秒

資料來源：愛立信，轉引自 Rysavy Research

綜合比較應用場景、使用案例與對應之需求項目如連線速率、網路延遲與可靠度後，各場景之需求項目如下表 2。⁸

⁸ 5G Americas (2017), 5G spectrum recommendations, available at: http://www.5gamericas.org/files/9114/9324/1786/5GA_5G_Spectrum_Recommendations_2017_FINAL.pdf (last visited : 2017/12/4)

表 2：5G 應用場景、案例與需求項目對應表

應用場景	使用案例	連線速率	網路延遲	可靠度	距離	環境特性
增強型行動寬頻	高畫質影音、3D	超高速	低延遲			
	虛擬實境 VR	超高速	極低延遲			
	擴增實境 AR	超高速	低延遲			
	連網車輛	超高速			短至長距離	支援低至高都卜勒環境
極低延遲與高可靠度通訊	工業自動化	高速	極低至低延遲	超高可靠度	短至長距離	能運作於雜亂環境
	關鍵目標通訊，如智慧醫療等	高速	極低至低延遲	超高可靠度	短至長距離	具備地面與障礙物穿透力
	自駕車	高速	極低至低延遲	超高可靠度	短至長距離	能運作於雜亂環境與附近有快速移動障礙物之環境
巨量物聯網通訊	智慧家庭					能運作於雜亂環境具備地面與障礙物穿透力
	智慧辦公室			高可靠度		能運作於雜亂環境具備地面與障礙物穿透力
	智慧城市			高可靠度	短至長距離	能運作於雜亂環境與附近有快速移動障礙物之環境具備地面與障礙物穿透力
	感測網路				短至長距離	能運作於雜亂環境與附近有快速移動障礙物之環境具備地面與障礙物穿透力、網狀網路

資料來源：5G Americas

依照前述應用場景、需求指標並若考量適合之頻譜特性與意涵，整理如下表 3。⁹

表 3：5G 應用場景、需求指標與對應頻譜特性

應用場景	需求指標	頻譜特性意涵	對應頻譜
增強型行動寬頻	超高速連線	超充足頻寬 至少 500MHz	24GHz 以上
	高速連線	充足的頻寬資源 例如 100MHz	3-6GHz
	超低延遲	短距離	3-6GHz 與 24GHz 以上
	低延遲	中距離	3-6GHz
	超高可靠度	不受高頻段被雨水吸收 特性嚴重影響	6GHz 以下
	高可靠度	不受高頻段被雨水吸收 特性影響	6GHz 以下
極低延遲與高可 信賴通訊	短距離	高頻段	24GHz 以上
	中至長距離	低頻段	6GHz 以下
	地面與障礙物穿透力	1GHz 以下頻段	1GHz 以下
巨量機器通訊	雜亂操作環境	因應不同環境特性	各頻段
	在快速移動的障礙物附 近作業	具備跳頻能力	以 6GHz 以下為主
	網狀網路 (Mesh Network)	運作於頻段內或頻外之 高速無線後置迴路連線	24GHz 以上

資料來源：5G Americas

不同場域如都會區、郊區、室內熱點、高速鐵路、高速車輛與機上連線等，對於高速傳輸與訊務密度之需求指標亦有差異。3GPP 持續討論各場域對應高速傳輸與訊務密度之需求指標如下表 4。¹⁰

⁹ 5G Americas (2017), 5G spectrum recommendations, available at: http://www.5gamericas.org/files/9114/9324/1786/5GA_5G_Spectrum_Recommendations_2017_FINAL.pdf (last visited : 2017/12/4)

¹⁰ 3GPP (2017), 3GPP TS 22.261 V16.1.0: Service requirements for the 5G system.

表 4：不同場域對高速傳輸與訊務密度的需求指標

	場域	下載體驗速率 (DL)	上傳體驗速率 (UL)	區域訊務容量 (DL)	區域訊務容量 (UL)	使用者密度	終端速度	覆蓋範圍
1	都會區	50 Mbps	25 Mbps	100 Gbps/km ²	50 Gbps/km ²	10 000/km ²	行人或車輛內的使用者 (可達 120 km/h)	完整網路
2	郊區	50 Mbps	25 Mbps	1 Gbps/km ²	500 Mbps/km ²	100/km ²	行人或車輛內的使用者 (可達 120 km/h)	完整網路
3	室內熱點	1 Gbps	500 Mbps	15 Tbps/km ²	2 Tbps/km ²	250 000/km ²	步行	辦公室與住宅
4	擁擠區的寬頻接取	25 Mbps	50 Mbps	[3.75] Tbps/km ²	[7.5] Tbps/km ²	[500 000]/km ²	步行	特定區域
5	密集都會區	300 Mbps	50 Mbps	750 Gbps/km ²	125 Gbps/km ²	25 000/km ²	行人或車輛內的使用者 (可達 60 km/h)	市中心區
6	類廣播式服務	最高 200 Mbps (每 TV 頻道)	N/A or 極低 (例如每用戶 500 kbps)	N/A	N/A	一頻道 20 Mbps	固定使用者、步行或車輛中的用戶 (可達 500 km/h)	完整網路
7	高速鐵路	50 Mbps	25 Mbps	15 Gbps/每列列車	7.5 Gbps/每列列車	1 000/每列列車	列車上用戶 (可達 500 km/h)	鐵路沿線
8	高速車輛	50 Mbps	25 Mbps	[100] Gbps/km ²	[50] Gbps/km ²	4 000/km ²	車輛中的用戶 (可達 250 km/h)	道路沿線
9	機上連線	15 Mbps	7.5 Mbps	1.2 Gbps/每架	600 Mbps/每架	400/每架	機上使用者 (可達 1,000 km/h)	

資料來源：3GPP

對於低網路延遲與高可靠度通訊場景，3GPP 討論各場域對應之需求指標如下表 5。

表 5：不同場域對低延遲與高可靠度的需求指標

場域	端到端延遲	延遲變異 Jitter	存活時間	通訊服務可用度	可靠度	用戶體驗速率	資料承載量	訊務量密度	連線密度	服務區域維度
離散自動化—動態控制	1 毫秒 ms	1 微秒 μs	0 毫秒 ms	99.9999 %	99.99 99%	1 Mbps 至 10 Mbps	小	1 Tbps/k m ²	100 000/k m ²	100 x 100 x 30 公尺
離散自動化	10 毫秒 ms	100 微秒 μs	0 毫秒 ms	99.99%	99.99 %	10 Mbps	小至大	1 Tbps/k m ²	100 000/k m ²	1000 x 1000 x 30 公尺
流程自動化—遠端控制	50 毫秒 ms	20 毫秒 ms	100 毫秒 ms	99.9999 %	99.99 99%	1 Mbps 至 100 Mbps	小至大	100 Gbps/k m ²	1 000/k m ²	300 x 300 x 50 公尺
流程自動化—監控	50 毫秒 ms	20 毫秒 ms	100 毫秒 ms	99.9%	99.9 %	1 Mbps	小	10 Gbps/k m ²	10 000/k m ²	300 x 300 x 50 公尺
電力配送—中電壓	25 毫秒 ms	25 毫秒 ms	25 毫秒 ms	99.9%	99.9 %	10 Mbps	小至大	10 Gbps/k m ²	1 000/k m ²	電力線路沿線 100 公里
電力配送—高電壓	5 毫秒 ms	1 毫秒 ms	10 毫秒 ms	99.9999 %	99.99 99%	10 Mbps	小	100 Gbps/k m ²	1 000/k m ²	電力線路沿線 200 公里
智慧運輸系統—基礎設施迴路	10 毫秒 ms	20 毫秒 ms	100 毫秒 ms	99.9999 %	99.99 99%	10 Mbps	小至大	10 Gbps/k m ²	1 000/k m ²	道路沿線 2 公里
觸覺互動	0.5 毫秒 ms	待決議	待決議	[99.999 %]	[99.9 99%]	[低]	[小]	[低]	[低]	待決議
遠端控制	[5 毫秒 ms]	待決議	待決議	[99.999 %]	[99.9 99%]	[低到 10Mbps]	[小至大]	[低]	[低]	待決議

資料來源：3GPP