

5G 無線 接取技術

性能與技術

5G 無線接取技術的能力必須遠超越前幾代行動通訊技術。這些性能包括極高的數據傳輸速率、極低的時延、超高的可靠性及效能，和極高的裝置密度，而且將藉由 LTE 的演進和其它無線接取的新技術才得以實現。關鍵的技術元件包括：往更高頻段擴展、接取/回傳整合、裝置間的通訊、靈活雙工、彈性的頻譜使用、多天線傳輸、極簡設計、用戶層與控制層分離等。

何謂5G？

5G 無線接取技術將是網路型社會的一個重要部分—它將解決流量快速成長的問題，滿足用戶對高頻寬連接日益增加的需求。此外，它還將支援大量連網裝置，並滿足關鍵型應用對於即時、高可靠性的通訊需求。

5G 將為穿戴式裝置、智慧家庭、流量傳輸安全/控制、關鍵基礎設施、工業流程和超高速媒體傳送等一系列廣泛的新應用和案例提供無線連接。因此，它將加快物聯網的發展速度。

5G 的整體目標是為所有能夠受益於連網的設備和應用提供無所不在的連結。

5G 網路不只是某種特定的無線接取技術，而是一組介接和連結解決方案，可以滿足 2020 年之後的行動通訊需求。

5G 規格將包括開發一個全新的空中介面—NX，它將支援更高階的行動寬頻部署。此外，NX 還將針對高頻寬和高流量的使用，以及那些對時延和可靠性有極高要求的關鍵型應用和即時通訊的場景。

同時，3GPP 中的窄頻物聯網 (NB-IoT) 可望支援廣域應用中的大量機器連結。

NB-IoT 極有可能部署在 2GHz

以下的頻段中，而且將提供大容量，並深度覆蓋大量的連網裝置。

自從開發了 GSM 和後來的 3GPP 無線技術以來，確保與前幾代無線通訊技術的互連互通一直是 ICT (資通訊技術) 行業秉持的一個重要原則。同樣的，LTE 在演進的同時，將為使用者提供極佳的網路覆蓋，而 5G 網路將採用一種對於服務層和使用者均以透明的方式整合 LTE 接取技術 (基於 OFDM 正交分頻多工) 和新的空中介面。

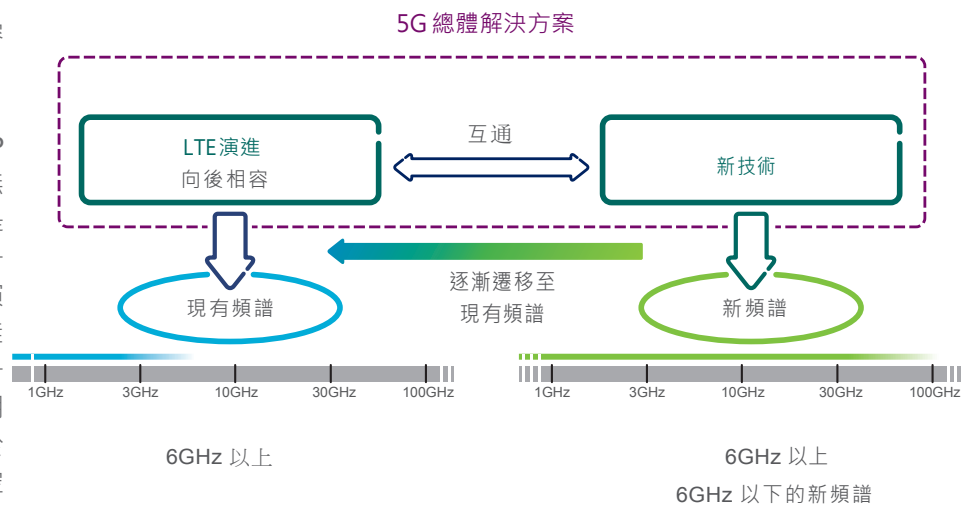


圖 1：由 LTE 演進和新技術構建的 5G 無線接取總體解決方案

到了 2020 年左右，大部分的無線網路覆蓋仍將由 LTE 提供，而且重要的應該是讓那些已經部署了 4G 網路的營運商有機會將其部分或全部頻譜過渡到新的無線接取技術。對於那些頻譜資源有限的營運商而言，以一種互通方式帶入 5G 性能—讓現有設備仍然可以藉由一個相容的載波提供服務，這樣做對營運商大有益處，有時甚至極為關鍵。

同時，LTE 必須演進成為 5G 空中介接家族的正式成員，這一點相當重要，尤其是考慮到初期部署的新空中介面可能無法在相同的頻段中運作。5G 網路將在 6GHz 以下頻段中的 LTE 和 6GHz-100GHz 頻段中運作的空中介面之間實現雙向連結。NX 還應實現用戶層聚合，例如透過 LTE 和 NX 載波元件共同傳送數據資料。

本白皮書將闡述 5G 的主要需求與性能，以及其技術元件和頻譜要求。

5G – 需求與性能

為了向那些具備新特性和新要求的各類型應用提供連結，5G 無線接取技術的性能必須遠超越前幾代行動通訊技術。這些性能包括龐大的系統容量、極高而且無處不在的資料傳輸速率、極低的時延、超高的可靠性及可用性、極低的設備成本及能耗、高效能網路等。

龐大的系統容量

根據預測，行動通訊系統的流量需求將大幅增長[1][2]。為了可以負擔流量，5G 傳送數據的單位比特成本必須遠低於現在的網路。不僅如此，數據使用量的成長將增加網路的能源足跡，因此，5G 的單位比特能耗也必須遠遠低於目前的蜂巢式網路。

連網裝置的指數增長—例如，連結了大量機器的數十億個無線感測器、致動器（actuator）和類似裝置—將要求網路支援新型裝置及連接管理，但又不會危及安全性。每個裝置都將產生或消耗很少的數據量，以至於裝置本身或很多個裝置連結起來也不會對總流量產生太大影響。儘管如此，為數龐大的連網裝置仍對網路提供信令和管理連接的能力帶來了巨大挑戰。

無所不在的超高數據傳輸

每一代行動通訊技術的數據速率都比上一代更高。過去，人們主要關注在理想條件下無線接取技術所能支援的峰值數據速率。但更為重要的能力是：在現實生活中，不同的使用情況下實際所能提供的速度。

- > 5G 應能在室內、室外密集環境等指定場景中支援 10Gbps 以上的數據速率。
- > 在城市裡和郊區環境中應該要能達到幾個 100Mbps 的數據速率。
- > 在任何地方應該要能實現至少 10Mbps 的速率，其中包括已開發和發展中國家裡的人口稀少的地區。

極低的時延

支援新應用的需求將驅動極低的時延。5G 使用案例諸如流量傳輸安全、關鍵基礎設施控制、工業流程等，可能需要遠低於現在行動通訊系統所能實現的時延。

為了支持此類對時延特別敏感的應用，5G 應實現 1ms 或更短的端到端時延，儘管實務上應用層架構要求和媒體的轉碼器限制可能會推高實際時延。很多服務將把運算能力和儲存配置到靠近空中介面處，這將創造新的即時通訊能力、實現超高的服務可靠性，可以展現在娛樂、工業流程控制等各類場景中。

超高的可靠性及可用性

除了超低的時延之外，5G 還應實現超高可靠性及可用性的連結。對於關鍵基礎設施控制、流量傳輸安全等重要服務，

其連結性往往具備某些特性，例如特定最大時延，則不應僅僅是「通常可用」（typically available），而是極為嚴苛地避免遺失連接或偏離 QoS 情況。例如，某些工業應用要求 1ms 內成功傳送封包的概率高於 99.9999%。

極低的設備成本及能耗

從行動通訊早期發展階段開始，低成本、低能耗行動設備一直是重要的市場要求。然而，為了能實現數十億個無線感測器、致動器和類似裝置的願景，還必須進一步降低設備的成本的能耗。5G 設備應具備極低的成本，而且電池在不需要充電的情況下能夠續航數年。

高效能網路

設備能耗一直是關注重點，而網路效能也開始成為另一個關鍵績效指標（KPI），原因有三：

- > 高效能在降低營運成本方面扮演重要角色，並且有助於更好地規劃網路節點，從而降低總體持有成本。
- > 高效能有助於協助佈署離網型網路—將中型太陽能板作為電源供應，因此可將無線連結拓展至偏遠地區。
- > 高效能有助於營運商實現採用可持續並且節約資源的方式提供無線接取服務的願景。

這些因素在 5G 時代的重要性將持續提升，而高效能將是設計 5G 無線接取網的一項重要需求。

機器類型通訊

基本上，行動電話、行動寬頻和媒體傳送等應用是人類與資訊間的交流。然而，驅動 5G 需求和性能的很多應用及案例則是機器與機器間的通訊。為了將它們與那些以人們為中心的無線通訊區別開來，後者這些應用通常被稱為機器類型通訊 (MTC)。

雖然 MTC 包含一系列廣泛的應用，但根據它們的特點和要求，MTC 應用可分為兩大類：巨量型 MTC 和關鍵型 MTC

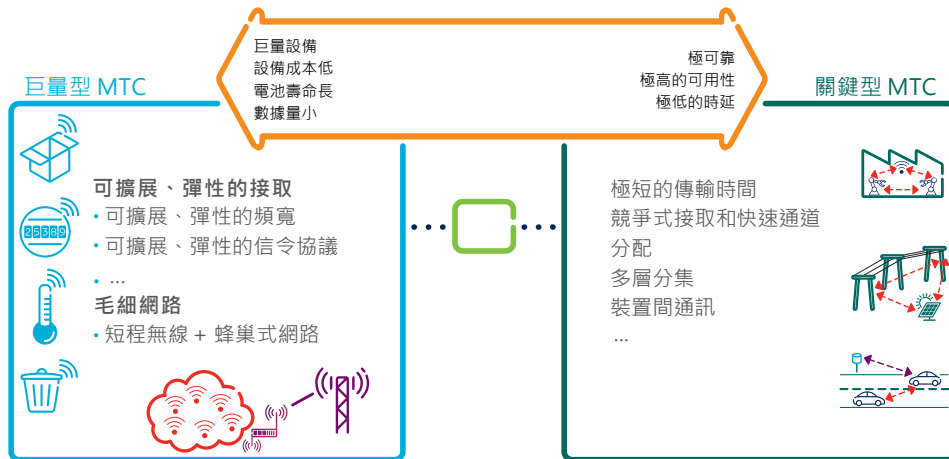


圖 2：巨量型 MTC 和關鍵型 MTC

巨量型 MTC 一般來說涉及大量的裝置——通常是感測器和致動器。感測器的成本極低，而且為了維持較長的電池壽命，消耗的能源也極少。顯而易見的是，每個感測器所產生的數據量通常很少，因此極低的時延並非關鍵需求。致動器的成本也不高，它們的能耗程度從極低到中等不等。

行動網路有時被用於透過毛細網路建立裝置間的連結。這種情況下，本地連結由 Wi-Fi、藍牙[3]或 802.15.4/6LoWPAN[4]等短程無線接取技術提供。本地區以外的無線連接由行動網路通過閘道節點提供。

關鍵型 MTC 指的是流量傳輸安全/基礎設施控制、工業用無線連接等應用。這些應用要求無線連結具備極高的可靠性、可用性和極低的時延。另一方面，巨量型 MTC 所需要的裝置成本低、能耗低的條件，對於關鍵型 MTC 應用並不那麼重要。雖然設備間傳輸的數據量可能並不大，但瞬時間的高頻寬有助於滿足容量和時延要求。

網路能夠處理越多不同類型的應用越好，其中包括在同一個頻譜中使用同一種無線接取基礎技術處理行動寬頻、媒體傳送以及其它一系列廣泛的 MTC 應用。這可以避免頻譜過於零碎，並能讓營運商在毋須部署一個單獨網路或為這些應用重新分配頻譜的情況下，支援商業潛能尚不明確的新型態 MTC 服務。

5G 頻譜發展

為了承載日益增加的流量，並實現支援極高速率所需的傳輸頻寬，5G 將拓展行動通訊所使用的頻率範圍，其中包括 6GHz 以下的新頻譜和更高頻段的頻譜。

更高頻段中的行動通訊候選頻段還有待 ITU-R 或各國監管機構確認。行動通訊業仍然未知具體的選擇，在現階段，上達約 100GHz 的整個頻率範圍都在考慮中。但業界對較寬的連續範圍抱有極大興趣，它能夠為數個網路營運商提供專用和授權頻譜。

從傳播特性的角度，業界傾向於這個頻率範圍低於 30GHz 以下的部分。同時，大量的頻譜以及更高的傳輸頻寬容易出現在 1GHz 或更有可能在 30GHz 以上的部分出現。

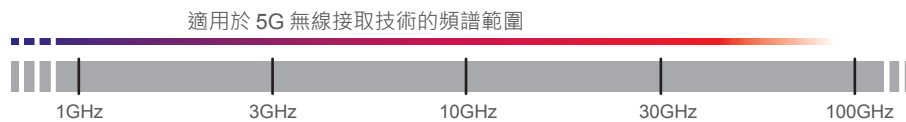


圖 3：適用於 5G 無線存取技術的頻段

因此，適用於 5G 無線存取技術的頻段從 1GHz 以下開始一直到約 100GHz，如圖 3 所示。

必須瞭解的是，高頻率—尤其是 10GHz 以上的頻率—只能用作低頻段的補充，主要為密集環境中極高的數據速率提供更多的系統容量和極寬的傳輸頻寬。在 5G 時代，較低頻段的頻譜配置依然將是行動通訊網路的骨幹，提供無所不在的廣域連結。

世界無線電大會 WRC-15 討論會達成了一項協定，將針對 5G 的 IMT-2020 規範納入 WRC-19 中。大會也就一組將用於 5G 研究、可直接適用於 NX 的頻段達成共識。所提議的很多頻段都屬於毫米波區域，其中包括：

- > 24.25GHz-27.5GHz、37GHz-40.5GHz、42.5GHz-43.5GHz、45.5GHz-47GHz、47.2GHz-50.2GHz、50.4GHz-52.6GHz、66GHz-76GHz 和 81GHz-86GHz，分配給主要的行動通訊服務；
- > 31.8GHz-33.4GHz、40.5GHz-42.5GHz 和 47GHz-47.2GHz，可能需要額外分配給主要的行動通訊服務。

行動通訊行業將力爭 6GHz-20GHz 範圍的頻譜，但各大監管機構遵循的政策導向似乎聚焦於 30GHz 以上的頻段。在美國，FCC 發佈了兩條與 24GHz 以上頻段有關的公共規則制定通知 (NPRM)。Ofcom 同樣也表現出對 30GHz 以上頻段的偏好。

行動通訊業的容量需求將繼續由授權頻段滿足，但隨著新頻譜開始影響衛星通訊、無線電定位等現有服務，新的頻譜共用方案將變得越來越重要。共用方案的兩個範例包括歐洲為 2.3GHz 頻段規劃的 LSA，以及美國在 3.5GHz 頻段的 Citizens Band Radio Service (公民寬頻無線服務)。

5G 技術元件

除了向更高頻率擴展之外，還有幾個與演進至 5G 無線接取技術有關的其它技術元件，包括：接取/回傳整合、裝置間通訊、靈活雙工、彈性的頻譜使用、多天線傳輸、極簡設計和用戶/控制分離。

接取/回傳整合

無線技術經常被用作回傳解決方案的一部分。這些無線回傳解決方案通常採用專有無線技術，在視距條件下和高頻段中運作，其中包括毫米波 (mmW) 頻段。

未來的接取 (基地台到裝置) 鏈路也將拓展到更高頻率。此外，為了支援高密度低功耗部署，無線回傳還將進一步拓展，像接取鏈路那樣得以涵蓋非視距的狀況。

因此在 5G 時代，無線接取鏈路和無線回傳不應被視為兩個分開的主體和不同的技術解決方案，而是應被看作一個整合的無線接取解決方案，能夠使用同一種基礎技術和一個共用頻譜池 (spectrum pool) 運作。如此一來將提高整體的頻譜使用效率，同時減少營運和管理工作量。

裝置間直接通訊

特定的裝置間直接通訊 (device-to-device; D2D) 最近成為了 LTE 規範延伸的一部分。在 5G 時代，從一開始就應該把支援 D2D 視為無線接取方案的一部分。這不只包括裝置間的 P2P 用戶資料通訊，而且還包括將行動裝置作為拓展網路覆蓋的中繼點。

5G 中的 D2D 通訊應是無線接取整體解決方案的一個組成部分，而不是一個單獨的方案。D2D 直接通訊可用於分擔流量、拓展性能，並增強無線接取網的整體效率。此外，為了避免對其它鏈路的不可控干擾，D2D 直接通訊應被置於網路控制之下。對於授權頻譜的 D2D 通訊而言，這一點特別重要。

靈活雙工

從行動通訊問世以來，分頻雙工 (FDD) 一直是主要的雙工方案。在 5G 時代，FDD 仍將是低頻段的主要雙工方案，但是對於極密集環境的高頻段，尤其是 10GHz 以上的頻段，分時雙工 (TDD) 將扮演更加重要的角色。

在低功耗節點密集佈署的環境中，TDD 中的干擾場景 (基地台到基地台、裝置到裝置的直接干擾) 將類似於同樣在 FDD 中出現的「正常的」基地台到裝置，和裝置到基地站的干擾。

此外，考慮到極密集環境中的動態流量變化，為不同的傳輸方向動態分配傳輸資源 (時槽; time slots) 的能力，也有助於更有效率的運用可用頻譜。

因此，為了發揮最大潛能，5G 應允許非常有彈性和動態地分配 TDD 傳輸資源。相對於 TDD 現有的行動通訊技術，包括 TD-LTE 在內，對上下行鏈路配置有限制，而且通常假設了相鄰的蜂巢和相鄰的營運商配置相同。

彈性的頻譜使用

行動通訊自問世以來，一直依賴於各個地區的每個營運商授權的頻譜。這仍將是 5G 時代行動通訊的基礎，讓營運商能夠在一個干擾受控制下的環境中，提供高品質的連結服務。

儘管如此，向每個營運商授權頻譜的方式將有可能輔以共用頻譜的方式。這種共用可能發生在有限數量的營運商之間，也可能發生在免授權場景中。

在美國，運作於 3.5GHz 頻段和 5GHz 免執照頻段的 Citizens Band Radio Service 分別是管理式共用和免執照共用的例子。

NX 等新型空中介面可能會非常適合更加傳統的授權執照頻段，主要是因為需要為該技術的獨立工作奠定基礎，同時利用 LTE 等技術實現互連互通。在未來某種情況下，5G 頻譜的進一步分配有可能借鑒通訊行業在較低蜂巢頻段中採用的共用方法。

多天線傳輸

由於小型天線有著物理局限，多天線傳輸已在當代行動通訊中發揮了重要作用，並且將在 5G 時代扮演更加重要的角色。只要發射和接收天線的有效孔徑不變，發射器和接收器之間的路徑損耗就不會隨著頻率改變。但天線孔徑的縮減與頻率的平方成正比，而這種縮減可以通過採用更高的天線方向性加以補償。5G 無線技術將採用數百個天線單元，將天線孔徑增加到超出現有蜂巢技術所能實現的水準。

此外，發射端和接收端將利用波束成形技術追蹤對方，並改善瞬時配置鏈路上的能量傳送。波束成形技術還能將干擾限制在發射端周圍的小部分空間中，並將干擾對接收端的影響限制在罕見的隨機事件上，從而改善無線環境。對於低頻段而言，波束成形將是一項重要技術，例如，用於增加覆蓋範圍，或在部署稀疏的環境中提供更高的傳輸速率。

極簡設計

極簡 (ultra-lean) 無線接取設計對於實現 5G 網路的高效至關重要。極簡設計的基本原則可以表示為：儘量減少任何與傳送使用者數據無直接關係的傳輸。這些傳輸包括訊號同步、網路接入、通道估算以及各類系統和控制資訊的廣播。

極簡設計對於那些擁有大量網路節點和流量變化極大的密集部署特別重要。不過，極簡設計對於所有類型的系統都是有幫助的，其中包括大型基地台的部署。

極簡設計能使網路在沒有使用者數據傳輸時，讓節點快速進入低能耗狀態，在提升網路效能方面將發揮重要作用。極簡設計還能減少來自非用戶數據相關傳輸的干擾，達到更高的傳輸速度。

用戶層與控制層分離

5G 的另一個重要設計原則是分離使用者資料和系統控制功能。後者包括提供系統資訊，即裝置接取系統所需的資訊和步驟。

這種分離將實現使用者層擴展和基本系統控制功能的分離。例如，使用者資料可以由一個密集的節點層傳送，而系統資訊只由一個巨集疊加層提供，裝置最初則在這一層接取系統。

使用者資料和系統控制功能的分離，應該還可能延伸到多個頻段和無線接取技術 (RAT)。例如，在新的高頻無線接取的某個密集層的系統控制功能，可由一個 LTE 疊加層提供。

用戶/控制分離也是未來那些重度依賴波束成形來傳送使用者資料的無線接取系統的重要組成部分。極簡設計結合用戶層數據傳送和基本系統控制功能的邏輯分離，將能更好地優化裝置導向型網路中活躍的無線鏈路。由於只有與系統控制層相關的極簡訊號需要是靜態的，因此設計出一切幾乎能即時動態優化的系統，是有可能發生的。

極簡設計下使用者資料傳送和系統控制功能的分離，還能提升 RAT 演進的彈性，藉由這種分離，用戶層能夠在保持系統控制功能的同時不斷演進。

結論

5G 是行動通訊演進的下一步，並且將是網路型社會的一個重要組成部分。尤其是 5G 將加快物聯網的發展速度。為了使一系列廣泛的應用和案例具備連結性，5G 無線接取技術的性能必須遠超越前幾代行動通訊技術。這些性能包括極高的數據傳輸速率、極低的時延和超高的可靠性。此外，5G 無線接取技術必須以一種可負擔且可持續的方式支援流量的巨幅增長，因此還需要相當大程度能降低單位比特成本和能耗。

5G 無線接取將藉由現有頻譜的 LTE 演進，以及在新頻譜的其它無線接取新技術得以實現。5G 無線接入的主要技術元件包括：接取/回傳整合、裝置間通訊、靈活雙工、彈性的頻譜使用、多天線傳輸、極簡設計和用戶/控制層分離等。

參考資料

[1] ICT-317669 METIS專案 · 《Updated scenarios, requirements and KPIs for 5G mobile and wireless system with recommendations for future investigations》, Deliverable D1.5 · 2015年4月：
https://www.metis2020.com/wp-content/uploads/deliverables/METIS_D1.5_v1.pdf

[2] 愛立信 · 愛立信行動趨勢報告 (Ericsson Mobility Report) · 2015 年 11 月：
http://www.ericsson.com/res/site_TW/docs/Ericsson_Mobility_Report_Nov.2015_愛立信行動趨勢報告暨東北亞區附錄.pdf

[3] 藍牙技術聯盟 · 於 2016 年 3 月造訪網站 · 見：
<http://bluetooth.org>

[4] IETF · IPv6 over Low power WPAN (6lowpan) · 於 2016 年 3 月造訪網站 · 見：
<http://datatracker.ietf.org/wg/6lowpan>

名詞對照

D2D	裝置對裝置
FDD	分頻雙工
mmW	毫米波
MTC	機器類型通訊
NPRM	公共規則制定通知
OFDM	正交分頻多工
TDD	分時雙工
WRC	全球無線電通訊大會

本白皮書翻譯自原始英文文件 · 原文發佈於 2016 年 4 月 · 請以英文版為原始依據。

© 2016 Ericsson AB – 保留所有權利