

Keysight Technologies

LTE-A 用戶設備資料傳輸速率  
效能測試解決方案

應用說明

## 使用快速、靈活且具備未來擴充性的單機式測試儀 簡化 LTE-A UE 功能與射頻測試

### 概述

滿足當今不斷蓬勃發展的無線產業需求是個巨大的挑戰。根據預測，行動資料流量將在未來幾年間呈現跳躍式成長。為因應這個爆炸性資料傳輸量，LTE-Advanced (LTE-A) 等 4G 標準利用多輸入多輸出 (MIMO) 和載波聚合 (CA) 等先進技術不斷推陳出新，使得業者能夠從現有頻譜中擠出更多的容量、更高的覆蓋率，以及更快的資料速率。如果能夠提供更高的傳輸速率，業者便能為客戶提供包含語音、視訊、聊天和檔案分享等服務的整合式體驗。正因如此，追求更高傳輸速率是近年來業者的首要之務。

LTE-A 進化標準的問世，就是為了實現此目標。每次發佈新的 3GPP 標準，都會伴隨著新的頻段數量、頻段組合和 CA 子載波 (CC) 支援需求。LTE-A 標準可解決行動資料爆量的問題，因此設計工程師紛紛將 LTE-A 納入用戶端設備 (UE)。然而，此舉也帶來了新挑戰。使用 LTE-A 後，UE 裝置不僅變得更加複雜，而且必須在高度動態的環境中執行。LTE-A 網路的設計宗旨，是因應動態鏈路分配和複雜交遞情境而靈活調整。與此同時，消費者的行動裝置必須能在這些數以千計的情境中提供出色性能。因此，LTE-A 的真實功能和射頻效能測試與驗證成了最具挑戰性的任務。

### 問題

LTE-A UE 必須在嚴峻環境下操作 (例如，高資料速率、快速移動、MIMO、CA、衰減、雜訊和干擾)，使得 UE 資料速率測試成了不可或缺且深具挑戰性的任務。很多實體屬性和發送的資料型態等因素，都會影響傳輸速率。這些實體屬性包括：UE 類別、細胞頻寬 (從 1.4 到 20 MHz 不等)、單路輸入單路輸出 (SISO) 或 MIMO 的運用，以及是否使用 CA 等等。在真實世界中，其它通道和網路因素也可能影響 UE 的資料傳輸速率，例如通道和衰減條件、鏈路損耗，來自其他 UE 的雜訊、來自其它基地台或無線電技術的干擾，及總用戶數。每個 UE 必須能夠在圖 1 所示的傳輸模式中運作，因此執行測試時還需納入這些參數。

TM	說明	優點	SINR@UE	多重路徑	關聯
1	基本 SIMO	基本單一發射天線	低 - 中	低	高
2	傳輸分集	低功率 / SINR 信號穩健性 (robustness)	低	郊區，低 (細胞信號緣)	郊區，高 (細胞信號緣)
3	開迴路 SU-MIMO	傳輸速率提升潛力	高	城市，高	城市，低
4	閉迴路 SU-MIMO	傳輸速率提升潛力	高	城市，高	城市，低
5	MU MIMO	改善 UL 細胞頻譜效率	高	中 - 高	低 - 中
6	閉迴路 Rank=1 預編碼波束調控	改善信號隱健性	低	郊區，低 (細胞信號緣)	郊區，高 (細胞信號緣)
7	UE 特定波束成形	以非碼本 (non-codebook) 預編碼改善信號的穩健性	低	郊區，低 (細胞信號緣)	郊區，高 (細胞信號緣)
8	雙層特定 UE-RS 波束成形	如同傳輸模式 7，具有提昇傳輸速率的潛力	中 - 高	城市，高	低 - 中
9	高達 8 層的特定 UE RS 波束成形	如同傳輸模式 8，具有提昇傳輸速率的潛力	高	高	低

圖 1：此表顯示 9 種 LTE/LTE-A 傳輸模式。

3GPP 的 TR37.901 規格定義了 LTE-A 資料傳輸速率測試的項目與規格。文件中規範在模擬真實網路排程和無線電條件下，應用層端對端 UE 資料傳輸速率效能的測試程序。其目的是確保 UE 能夠提供可滿足資料傳輸需求，同時還避免造成網路過載的特定資料速率。LTE-A 定義了不同類別的資料速率（參見圖 2）。

UE 類別	四捨五入後 最大資料速率 (DL/UL) (Mbps)	下行鏈路				上行鏈路		
		最大 DL-SCH TB 位元 / TTI 數	最大 DL-SCH 位元 / TB / TTI 數	全部軟通 道位元數	最大空 間層數	最大 UL-SCH TB 位元 / TTI 數	最大 UL-SCH 位元 / TB / TTI 數	支援 64QAM
Cat 0	1/1	1000	1000	25344	1	1000	1000	無
Cat 1	10 / 5	10296	10296	250368	1	5160	5160	無
Cat 2	50 / 25	51024	51024	1237248	2	25456	25456	無
Cat 3	100 / 50	102048	75376	1237248	2	51024	51024	無
Cat 4	150 / 50	150752	75376	1827072	2	51024	51024	無
Cat 5	300 / 75	299552	149776	3667200	4	75376	75376	有
Cat 6	300 / 50	301504	149776 (2 層) 75376 (4 層)	3667200	2 或 4	51024	51024	無
Cat 7	300 / 100	301504	149776 (2 層) 75376 (4 層)	3667200	2 或 4	102048	102048	無
Cat 8	3000/1500	2998560	299856	35982720	8	1497760	1497760	有
Cat 9	450 / 50	452256	149776 (4 層) 75376 (2 層)	5481216	2 或 4	51024	51024	無
Cat 10	450 / 100	452256	149776 (4 層) 75376 (2 層)	5481216	2 或 4	102048	51024	無
Cat 11	600 / 50	603008	149776 (4 層, 64QAM) 195816 (4 層, 256QAM) 75376 (2 層, 64QAM) 97896 (2 層, 256QAM)	7308288	2 或 4	51024	51024	無
Cat 12	600 / 100	603008	149776 (4 層, 64QAM) 195816 (4 層, 256QAM) 75376 (2 層, 64QAM) 97896 (2 層, 256QAM)	7308288	2 或 4	102048	51024	無
Cat 13	391 / 50	391632	195816 (4 層) 97896 (2 層)	3654144	2 或 4	51024	51024	無
Cat 14	391 / 100	391632	195816 (4 層) 97896 (2 層)	3654144	2 或 4	102048	51024	無
Cat 15	3916/1500	3916560	391656	47431680	8	1497760	149776	有

圖 2：表中列出 LTE UE 的各種資料速率類別。

驗證測試設備是否能跟上設計速度是一大挑戰。此外還需同時模擬網路和無線通道，以便充分評估 LTE-A UE 的設計效能。在理想與非理想的網路和通道條件下測試裝置，有助於及早發現設計問題，確保高品質的使用者體驗。然而，如欲有效地模擬這種動態和嚴峻的環境，工程師需合併執行衰減、雜訊以及網路模擬，使得各種元件的測試設定變得極為複雜，很容易帶來穩定度和校驗問題。

## 解決方案

想要有效驗證 TR 37.901 的傳輸速率效能，則使用的測試設備必須能提供遠超出現代 LTE-A UE 速度所需的處理能力，而且還需具備整合式測試功能，以達到全速 / 最大 IP 資料速率量測、整合式衰減和雜訊、以及射頻 / Layer 1 量測。最後，工程師需使用夠靈活的測試設備來量測傳輸速率效能。和任何其他標準一樣，LTE-A 會隨著時間演進，TR 37.901 規格也會隨之改變；以因應 CA 等更高傳輸速率情境、下行鏈路 (DL) 和上行鏈路 (UL) 的高階調變，以及更高的 MIMO 機制。因此，測試設備必須能夠支援這些不同的情境。

Keysight UXM 無線測試儀面面俱到地提供所有必備功能 (參見圖 3)。UXM 是高度整合的信號測試儀，專為功能與射頻設計驗證而設計。UXM 提供整合式基地台與通道模擬，以及靈活的控制、量測和診斷能力，可減少資料速率量測的複雜性。這款多功能儀器支援 450 Mbps DL/50 Mbps UL (類別 9) 端對端 IP 資料傳輸速率、多個細胞、DL 和 UL CA、高達 4 x 2 的 MIMO，以及整合式衰減，讓使用者能信心十足地評估設計完備性。



圖 3. UXM 單機式測試儀提供接收機測試的整合源、發射器測試的分析儀、標準化量測、以及具有驗證連線時 UE 功能和射頻效能內建函數的主機。它不僅為使用者提供對 LTE-A 的洞察力，同時也靈活得足以滿足 4G 及未來的需求。

UXM 還具備測試今日高速資料所需的處理能力，並同時提供兩個完全獨立的 4 x 2 細胞及信號與協定處理的專用資源。此外，UXM 具有充足的數位頻寬，以傳送高速資料量測所產生的大量資料。這是因為 UXM 結合每個細胞專用的高度整合寬頻 MIMO 射頻頻寬 (100 MHz 頻寬 + UL/DL 支援)，以及大量數位基頻流量的多個互連鏈路。

為了支援未來 UE 所需，UXM 專為未來擴充性所設計，可以在不減損 IP 資料效能的情形下加入更多的細胞。其完全同步的架構可支援一個或數個儀器。模組化的設計，以及大量可擴充插槽和通過切換器核心的互連，隨著 UE 設計演化和測試需求的變化，進一步的支援擴充。

## TR 37.901 資料傳輸速率量測

如欲深入瞭解如何使用 UXM，根據 TR 37.901 規範來測試端對端資料傳輸速率，必須先知道要進行哪些測試。TR 37.901 文件定義了 HSPA 和 LTE 應用層 UE 資料傳輸速率的量測項目，包括檔案傳輸協定 (FTP) / 傳輸控制協定 (TCP) 和使用者資料包協定 (UDP)，每一項都需包含衰減和雜訊，以便模擬真實的應用環境。

我們可使用 FTP 來量測 TCP/IP，以便有效地測試各種不同格式的 TCP/IP 底層協定 (例如，SFTP 和 HTTP)。根據 TR 37.901 規範，您需在 DL only、UL only 或是交替雙向等模式下進行測試。最嚴格的 UE 傳輸速率測試是雙向同步 (concurrent bidirectional) FTP 測試，因為 TCP/IP ACK/NACK 和實際 FTP 資料流，會彼此爭奪容量，因此我們很難得到可靠的 UE 傳輸速率比較資料。量測 UDP 是因為它支援雙向測試，不會受到來自另一個方向的干擾。同時，此測試可用於即時傳輸協議 (RTP) 特性分析。我們可在 DL only、UL only，或雙向 (同步) 模式下執行測試。

我們需透過這些測試來比較不同的 UE，因此 TR37.901 並未提出測試限制或通過 / 不通過要求。TR37.901 同時也定義了信號位準、各種雜訊底線、干擾，及不同的衰減特性。特別是衰減特性可用來模擬不同的通道條件，並可結合不同的幾何條件來測試各式各樣的情況。TR 37.901 目前不支援 UL 或 DL CA 測試。

### 範例：FTP 下行鏈路測試

下面的範例為進行 FTP DL 測試時，如何使用 UXM 來執行 TR 37.901 測試。圖 4 顯示所有 LTE FTP DL 測試案例。我們將檢視 A.3.2.4 閉路空間多工測試的特定案例。TR 37.901 列出此測試的所有測試參數，圖 5 顯示所有測試點。

37.901	Title
A.3.2.1	LTE/FTP DL/PDSCH Single Antenna Port Performance (CSRS)
A.3.2.2	LTE/FTP DL/PDSCH Transmit Diversity Performance (CSRS)
A.3.2.3	LTE/FTP DL/PDSCH Open Loop Spatial Multiplexing Performance (CSRS)
A.3.2.4	LTE/FTP DL/PDSCH Closed Loop Spatial Multiplexing Performance (CSRS)
A.3.2.5	LTE/FTP DL/PDSCH Single Layer Spatial Multiplexing Performance (Port 5, UE-Specific RS)
A.3.2.6	LTE/FTP DL/PDSCH Closed Loop Spatial Multiplexing Performance (Port 7 or 8, UE-Specific RS)
A.3.2.7	LTE/FTP DL/PDSCH Dual-Layer Spatial Multiplexing Performance (Port 7 or 8, UE-Specific RS)

圖 4：此表顯示 LTE FTP 下行鏈路測試的測試範例。

初始條件				
通道頻寬		註 1		
每個頻寬的測試參數				
測試號碼	參考測試點	傳播條件	SNR (dB)	關聯
1	註 2	註 2	註 2	N/A
2	LTE-1	靜止	無干擾	低
3	LTE-2	EPA5	註 3	低
4	LTE-3	EVA5	20	低
5	LTE-4	ETU70	10	低

註 1：通道頻寬建議值，詳見附件 B.3。  
 註 2：測試點（根據附件 B.1.2 表 B.1.2-1）。  
 註 3：在效能報告中，測試人員應指定「無干擾」的條件，接下來的註釋：在「無干擾」狀況下，預期可得到的最大傳輸速率，也許是最大的傳輸速率理論值。如為後者，則無法辨識是因為 UE 的限制，或者是因為針對 EVM 的信號產生器而設的限制。

圖 5：這張表格包含閉迴路空間多工下行鏈路測試的測試點。

使用 UXM 執行閉迴路空間多工測試的步驟如下：

**步驟一：**設定 UXM 來回應 UE 的通道品質指標 (CQI)、通道矩陣秩指標 (RI) 和預編碼矩陣指標 (PMI) 報告。

**步驟二：**設定 UXM 以獲得正確的頻寬、參考量測通道、衰減、雜訊等等。

**步驟三：**使用 UDP 客戶端，開始測試期間的 UDP 下載 (60 秒靜止，依 36.521 附件 G3.5 進行衰減測試 -14 至 1500 秒)，詳見 TR 37.901 (表 A.3.1-1)。注意：衰減測試時間會因不同情形而不同，例如衰減特性、天線配置、關聯性，以及所使用的參考量測通道。另外，HSPA 測試使用 60 秒做靜止測試，164 秒則是用於所有的衰減測試。

**步驟四：**記錄傳輸速率 T，結果用於第一迭代 (圖 6 和圖 7)。



圖 6：此處顯示在 10 MHz (靜止，無雜訊)，子測試 1 使用 UXM 進行傳輸速率 / 傳輸區塊誤碼率 (BLER) 量測的結果。依據 TR 37.901 測試條件，10 MHz 的最大傳輸速率為 50.73 Mbps。

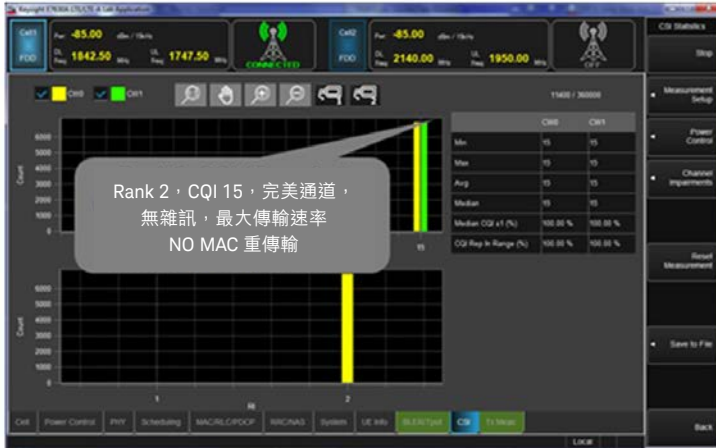


圖 7：圖六顯示子測試 1 的通道狀態資訊 (CSI)。結合「完美的」傳輸速率，結果是完美的 CQI 15，Rank 2，無雜訊或衰減。

**步驟五：**再重覆 2 到 5 次迭代，計算並記錄 5 次迭代的平均。接下來，計算並記錄測試期間 PUSCH/PUCCH 的 ACK 和 NACK/DTX 總數。最後，如圖五所示，重覆每個子測試的步驟。圖 8 至圖 15 顯示這些步驟的執行結果。

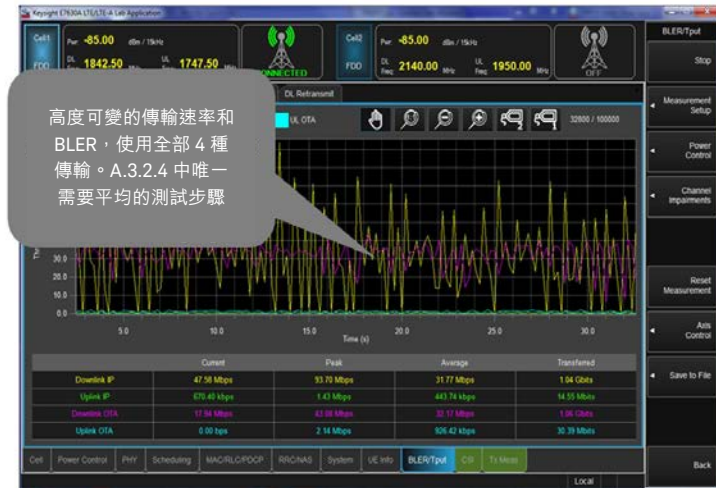


圖 8：圖中顯示在 10 MHz (EPA5，20 dB SNR) 上，子測試 2 使用 UXM 執行傳輸速率 /BLER 量測的結果。當雜訊很低 (SNR20 dB) 時，EPA5 會導致高度變異的傳輸速率和傳輸區塊大小 (TBS)，但只有一個或兩個轉換成 Rank 1。一般狀況下，這兩個碼字將並存。在 A.3.2.4 測試範例中，這是唯一需將不同測試進行平均運算的步驟，因為不同測試會有幾 Mbps 的差異。所有其他步驟會產生可重複的結果，最低可達百分之一 Mbps 的傳輸速率。



圖 9：圖中顯示 CSI 的子測試 2。注意：高度可變的大範圍衰減 EPA5 會產生各種不同的 CQI 結果，在信噪比僅 20 dB 時，大部分時間將限制於 Rank 2。

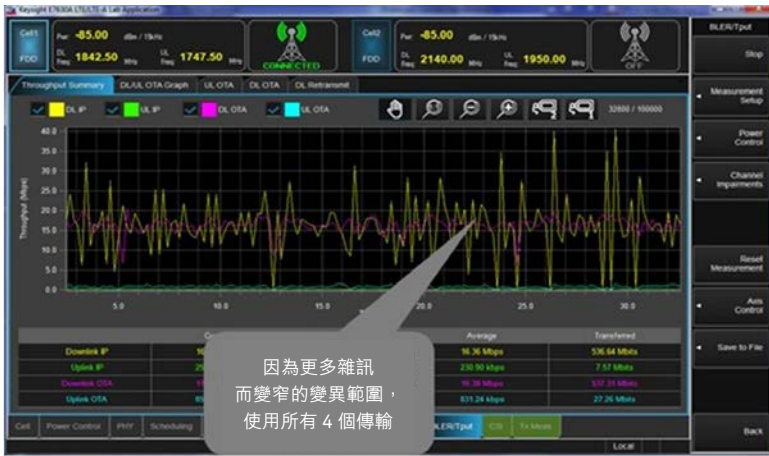


圖 10：圖中顯示在 10 MHz (EVA5，10-dB SNR) 上，子測試 3 使用 UXM 執行 TR 37.901 傳輸速 / BLER 量測的實際結果。



圖 11：圖中顯示 CSI 的子測試 3。Rank 中的振盪產生了一幅奇怪的 CQI 直方圖。回報為 Rank 2 時，會出現各種的 CQI 結果。當雜訊底線相近時，兩種字碼的 CQI 結果大致相似。回報為 Rank 1 時，單碼字 CQI 值通常會高一點；這個直方圖是 CQI 10-13。基本上，10 dB 的低 SNR 會造成 Rank 2 的 CQI 降低，並頻繁轉換到 Rank 1。切換 Rank 會導致資料傳輸速率大幅波動，因此 UE 建議使用一個或兩個碼字 / 串流。





圖 12：圖中顯示在 10 MHz (ETU70 · 0 dB SNR) 上，子測試 4 使用 UXM 執行 TR 37.901 傳輸速率 / BLER 量測的實際結果。ETU70 會導致高度可變的 CQI，但是當 SNR 為 0 dB 時，其傳輸速率非常低。

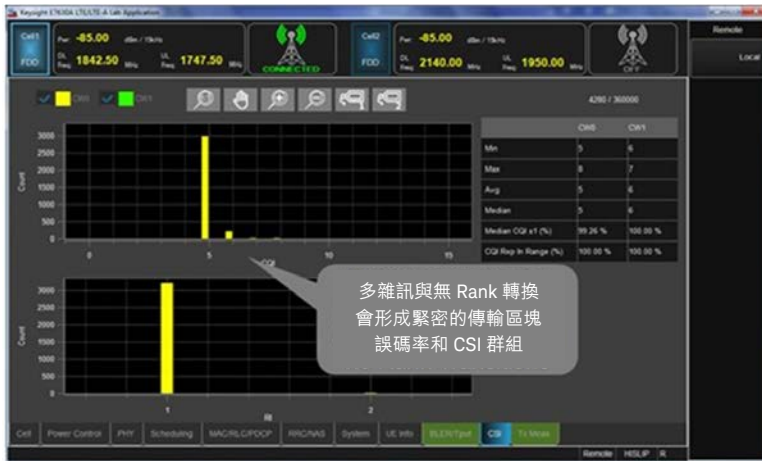


圖 13：圖中顯示 CSI 的子測試 4。0 dB SNR 幾乎都是轉換到 Rank 1，只有少數會轉換到 Rank 2。

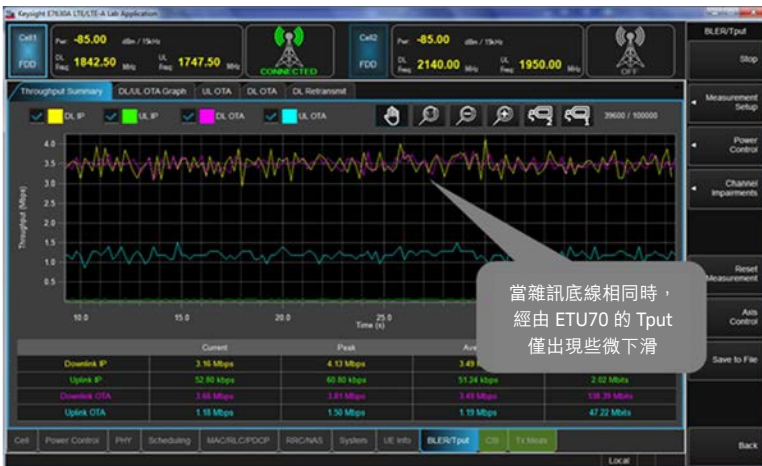


圖 14：圖中顯示在 10 MHz (ETU300 · 0 dB SNR) 上，子測試 5 使用 UXM 執行 TR 37.901 傳輸速率 / BLER 量測的實際結果。和 ETU70 一樣，ETU300 的傳輸速率僅略微下滑，並轉換到 Rank 1。

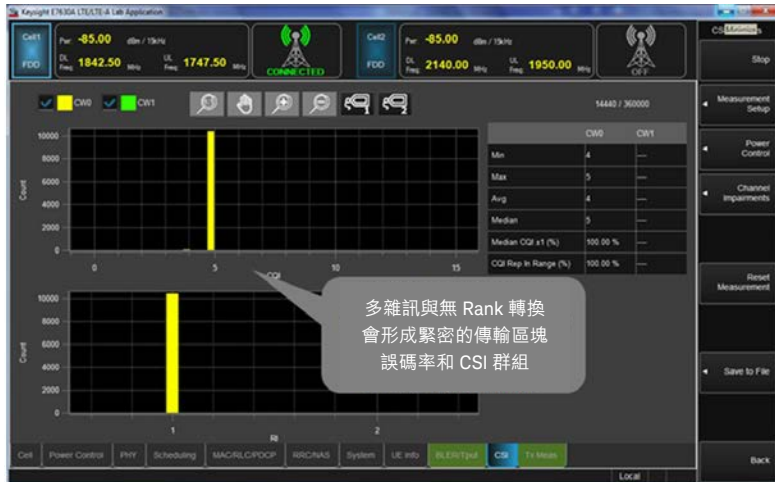


圖 15：此處顯示子測試 5 的 CSI。ETU300 傳輸速率略微下滑，並轉換到 Rank 1。

## 結語

使用者現在必須在高度移動的環境中使用無線裝置。更高的資料速率和 MIMO 和 CA 等先進技術的普及，帶來更高的複雜性。即便如此，使用者仍期望獲得高品質的使用體驗。為了克服這些複雜性，支援 TR 37.901 規格的 UE 資料傳輸速率效能測試成為必要。Keysight UXM 具有出色的量測功率、數位頻寬、易用性、靈活性和可擴充性，是因應此挑戰性任務的理想解決方案。對於 LTE-A UE 裝置設計工程師來說，他們須確保無線裝置能滿足使用者的資料傳輸需求。

## 體驗加快完成無線設計與測試的威力

身為無線測試產業領導者，是德科技致力於提供以應用為導向並針對現有和新興標準最佳化的測試平台，以協助您實現最高效能的無線裝置和網路設計和測試。除了卓越的研發和現場支援之外，是德科技還可協助工程師洞悉不斷演進的無線產業，以加快產品開發速度。

如需是德科技測試套件和量測產品的詳細資訊，請查詢以下網頁：

[www.keysight.com/find/powerofwireless](http://www.keysight.com/find/powerofwireless)

## 相關應用

- 網路模擬
- 射頻量測
- 交遞測試
- 電池汲極測試

## 相關儀器

- N6705B 直流電源暨分析儀，模組化，600W，4 插槽
- E5515C 8960 系列 10 無線通訊測試儀

myKeysight

myKeysight

[www.keysight.com/find/mykeysight](http://www.keysight.com/find/mykeysight)

透過個人化頁面查看與您息息相關的資訊

AXIe

[www.axiestandard.org](http://www.axiestandard.org)

AdvancedTCA® Extensions for Instrumentation and Test (AXIe) 是基於 AdvancedTCA 標準的開放標準，將 AdvancedTCA 標準延伸到通用測試和半導體測試領域。是德科技為 AXI 聯盟的創始會員。ATCA®、AdvancedTCA® 和 ATCA 商標為 PCI 工業電腦製造商協會在美國的註冊商標。

LXI

[www.lxistandard.org](http://www.lxistandard.org)

LXI 是繼 GPIB 之後推出的區域網路 (LAN) 標準，可提供更快速、更有效率的網路連結方式。是德科技為 LXI 聯盟的創始會員。

PXI

[www.pxisa.org](http://www.pxisa.org)

PCI eXtensions for Instrumentation (PXI) 模組化儀器提供堅固耐用的 PC 式高效能量測儀器與自動化系統。



三年保固

是德科技的卓越產品與長達 3 年保固服務的完美結合，助您一臂之力達成業務目標：增強操作便利性，降低持有成本，增強量測信心。



是德科技保固保證方案

[www.keysight.com/find/AssurancePlans](http://www.keysight.com/find/AssurancePlans)

是德科技提供長達十年保固，以避免任何意外的維修費用，確保儀器能夠在規格範圍內運作，讓您能永遠信賴儀器提供的量測準確度。



[www.keysight.com/quality](http://www.keysight.com/quality)

是德科技—DEKRA Certified ISO 9001:2008 品質管理系統。

是德科技銷售夥伴

[www.keysight.com/find/channelpartners](http://www.keysight.com/find/channelpartners)

兩全其美：是德科技專業的量測技術與齊備的產品，搭配是德科技銷售夥伴的服務與彈性價格。

\*X 參數是是德科技在美國、歐盟、日本和其他地區的商標與註冊商標。X 參數格式與底層公式為公開文件。更多資訊，請參考 X 參數開放文件、商標使用及合作方式說明。

[www.keysight.com/find/powerofwireless](http://www.keysight.com/find/powerofwireless)

有關是德科技電子量測產品、應用及服務的詳細資訊，可查詢我們的網站或來電洽詢

聯絡窗口查詢：

[www.keysight.com.tw/find/contactus](http://www.keysight.com.tw/find/contactus)

台灣是德科技網站：

[www.keysight.com.tw](http://www.keysight.com.tw)

台灣是德科技股份有限公司

免費客服專線：0800-047-866

104 台北市復興南路一段 2 號 7 樓

電話：(02) 8772-5888

324 桃園市平鎮區高雙路 20 號

電話：(03) 492-9666

802 高雄市四維三路 6 號 25 樓之 1

電話：(07) 535-5035