

工業 4.0 之技術篇

在工業物聯網環境中提供 >99.999% 的資料可靠性

■文：Ross Yu/凌力爾特 Dust Networks 產品部產品行銷經理

工業物聯網 (IoT) 需要具有嚴格可靠性和安全性的工業無線感測器網路 (WSN)。¹ 由於此類網路必須在無人干預的情況下可靠地工作 10 年以上，因此工業 WSN 必須因應隨著時間的推移而劇烈變化的環境條件。此外，它們還必須具有可擴展性和彈性，以便網路能夠在相當長的一段時間裡支援不斷成長的業務需求和資料流程量。

由凌力爾特所提供的 SmartMesh 無線網格網路產品，專門針對工業 IoT 應用進行設計和嚴格的測試，可在某些極為嚴酷的環境中提供 >99.999% 的資料可靠性。在每款新型 SmartMesh 軟體產品發表之前，凌力爾特會累計超過 100 萬節點 - 小時和可靠性最小達“五個 9”(>99.999% 的資料可靠性) 的網路運作，然後才會宣佈其具備了生產品質。

本文著重闡述凌力爾特用於通過無線電硬體認證、自動化網路測試方法和系統化網路測試來驗證資料可靠性的方法。另外，還對來自一個使用中的生產網路之性能統計資料進行了考察。至於網路保密

的話題則是在另一篇文章中討論，這裡不做介紹。²

無線電硬體認證測試

WSN 的性能與主要的無線電硬體及在該晶片上運行的協定相關聯。SmartMesh 無線電晶片 (例如：凌力爾特的 LTC5800) 經歷了嚴苛的測試以確認其指令引數。這些測試的結果透過多個生產批次進行確定，然後再公佈產品手冊 (其包括針對硬體的所有相關規格指標)。與凌力爾特專注於工業市場的策略一致，硬體的設計認證包括運行網路測試，被稱為高加速壽命試驗 (HALT)，其在使一個通電網路運行

的同時讓硬體遭受極端條件，包括冷熱階躍應力、燙熱階躍應力、電壓裕度調節、快速熱躍遷、振動階躍應力、熱和振動的組合應力、以及擴展溫度測試。³ 見圖 1。

自動化網路測試方法

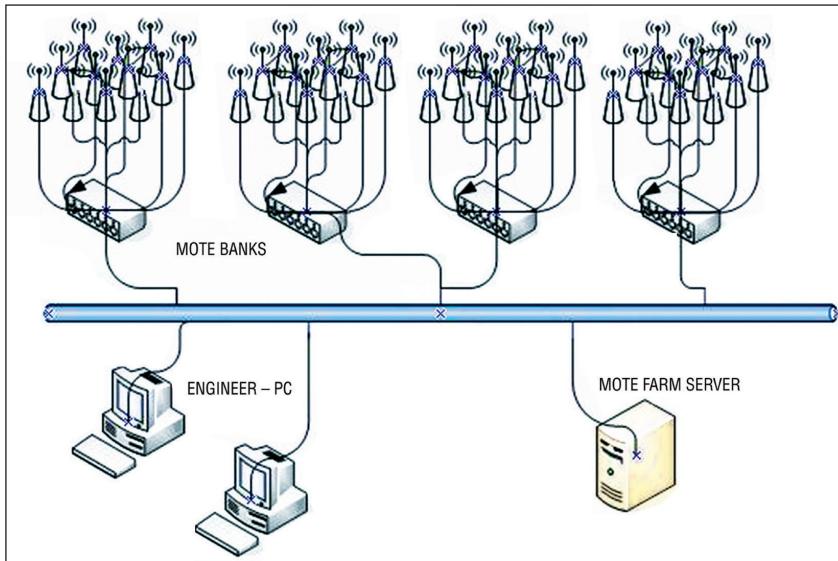
為確保服務期間的可靠性，測試必須全面地涵蓋網路在跨過多年的運作中將會遇到的各種情況。凌力爾特大量地利用了測試自動化以簡化數百項網路測試，每項測試驗證一組獨特的測試條件。為做到這一點，可以很容易地把一個由包含幾百個無線節點的節點組構成的網路試驗台 (見圖 2) 配置成任何數目的測試網路 (可大可小)。一個集中式測試伺服器能夠快速地起動整個共存網路、運行多項系統測試、並透過利用每個無線節點的應用程式介面 (API) 進行程式設計以重新起動用於下一組測試的節點。利用自動化使全回歸測試變得實用，可確保現有的功能和運行方式在後續的軟體版本中得以保留。

該試驗台具有一種密集的 RF 雜訊環境，因為每個被測網路都“沉

圖 1：在一個高低溫試驗箱中工作的 SmartMesh 節點



圖 2：測試自動化 – 透過一個自動化測試夾具為幾百個無線節點裝備儀錶，一項包含幾百項測試之測試計畫的執行可在幾天（而不是數月）的時間內完成。



浸”在一個由同時運作的其他網路所產生之無線流量的“大海”之中。這種網路流量，再加上鄰近的 Wi-Fi 路由器、藍牙和蜂巢式無線電設備，產生了一個代表著極具挑戰性之 RF 環境的升高 RF 雜訊層。

系統化網路測試

採用該網路試驗台在幾百種網路拓撲上驗證可靠性。例如，建立了下面的網路（表 1）以用基準測試一個典型的 100 節點網路、四跳頻網路。每個節點每分鐘產生兩個資料封包，而且網路最少連續運行 500 小時（在 21 天裡）。此環境模擬的是一種典型的商業或輕工業場景，這裡存在著電子設備和金屬結構以及穿梭在整幢大樓中的人流。儘管是有損耗的 RF 環境，但是網路透過封包重試以及路徑和通道分集在發送超過 4,300 萬個資料封包的過程中實現了優於

99.999% 的資料可靠性。

透過清點在每個節點的 API 埠注入和在閘道器節點 API 成功接收的資料封包，網路試驗台獨立地驗證 SmartMesh 網路軟體的內建可靠性度量指標。這些內建統計資料可透過一個位於閘道器節點的軟體 API 介面提供給使用者，並使開發人員和用戶能夠在初始評估過程中以及網路使用期限內在其自己的應用中評定 SmartMesh 的可靠性。

為了獲得 >99.999% 的資料可靠性，凌力爾特的工程師們在系統測試期間對每個資料封包傳輸錯誤進行故障排解，而不管出錯概率如何之低。為在此類錯誤確實出現之時進行監視和捕獲，每個節點的 API 埠、CLI 埠和 SPI 埠、快閃記憶體、程式設計埠在網路試驗台中是連接

表 1：網路試驗台結果示例（對於一個 100 節點網路）

節點的數目	100
網格網路深度	4 次跳頻（從最遠的節點到閘道器）
封包產生率	每 30 秒從每個節點產生一個資料封包
發送的資料封包數目	43,792,812（在 27 天裡）
在最終目的地接收的資料封包數目	43,792,756 (99.99987% 的資料可靠性)

的，從而使得凌力爾特的工程師能在一條消息透過網格網路傳播時，監察每個節點並調試低級軟體。

此外，還為網路試驗台裝備了儀錶以收集詳細的性能度量指標，包括節點的平均電流消耗、資料輸送量和網路延遲（一個消息穿越網格網路所需的時間）。網路試驗台從每個無線節點將感測器資料注入網路，以測量延遲及對閘道節點處理流量的能力進行特性分析。利用任選的網路配置（例如一種低延遲模式）或更多的雙向網路流量來重複這些測試。

最後，該網路試驗台簡化了應力測試，以平穩地驗證網路處理問題情況的能力。這些測試在被測網路內部的不同節點上系統地引入攪動，例如：停用節點以驗證剩餘的相鄰節點從未丟失一個資料封包。其他的應力測試則引起廣泛的節點故障，以使閘道器節點在網路的大部分受損時使流量轉向並修復網路的能力經受考驗。此類應用測試用於驗證工業 WSN 處置這種意外事件的能力，因為它們常被委以監視和控制業務關鍵型系統的責任。

凌力爾特晶圓製造廠裡的一個生產網路

在凌力爾特位於矽谷的晶圓

圖 3：凌力爾特晶圓製造廠裡的有毒氣體櫃處於嚴密監視之下，以確保正常執行時間



製造廠裡已經部署了 SmartMesh IP，以監視在晶圓製造的不同蝕刻和清洗階段中所使用的幾百隻特種氣體鋼瓶的壓力。以前，每只鋼瓶的壓力一天進行三次人工檢查，每天的總手動作業時間為 4 個小時。目前則部署一個 SmartMesh IP 網路以實現測量的自動化，並把讀數直接發送至工廠的控制中心軟體。在氣體燃料箱中部署了 32 個無線節點，以測量每個鋼瓶的罐體壓力和已調壓力。每個無線節點連接至一對鋼瓶，用於每 30 秒從每個節點發送的總共 4 個資料封包。

晶圓製造廠中的 RF 情況是一種有代表性的工業環境，無線節點

圖 4：密集的金屬和混凝土 – 無線節點即使在位於金屬設備和配氣管之間時也必須可靠地運行



被金屬和混凝土所包圍，而且工作機組和設備在該區域中整天不停地移動。該網路已連續處於工作狀態超過 83 天，發送了 2600 多萬個資料封包，而且實現了高於“七個 9”(99.99999%) 的可靠性。

結語

用於工業物聯網應用的無線感測器網路必須在很長的使用期限內達到極高的可靠性門檻。為保證網路能滿足這些嚴格的要求，系統硬體和軟體從一開始就必須專門針對工業性能而設計，並以嚴苛的標準在元件、介面和網路級上進行測試，而且服務中的網路必須在

壓力之下運作，以確認能夠滿足可接受的壽命可靠性指標。凌力爾特的 SmartMesh 網路在嚴格的端到端測試和實際應用中提供了 >99.999% 的資料可靠性。在全世界要求苛刻的應用中已經部署了超過 50,000 個 SmartMesh 網路，例如：資料中心、工廠、電力公用事業、警戒線安全、室外環境監察、農業應用、採礦和隧道、以及工業過程。⁴

備註：

1. 因應工業物聯網的無線感測器網路。
J. Weiss 和 R. Yu。
www.linear.com.cn/docs/47177
2. “Getting Security Right in Industrial Wireless Sensor Networks”，K. Pister 和 J. Simon.
www.linear.com/docs/44216
3. 根據要求，可向凌力爾特的客戶提供硬體驗證報告。
4. 透過 www.linear.com.cn/dust_applications 瞭解有關 SmartMesh 應用的更多資訊。 

表 2：網路統計資料 – 部署在凌力爾特晶圓製造廠中的 SmartMesh IP 網路

節點的數目	32
網格網路深度	4 次跳頻 (從最遠的節點到閘道器)
封包產生率	每 30 秒從每個節點產生 4 個資料封包
發送的資料封包數目	26,137,382(在 83 天裡) 在最終目的地接收的資料封包數目
資料封包數目	26,137,381 (99.999996% 的資料可靠性 – “七個 9”的可靠性)