

從區域控制到聯網應用 LPWAN 競逐智慧照明

■文：任苙萍

近年來，在物聯網 (IoT) 技術進步和對能源效率日受重視的推動下，全球智慧照明控制市場取得顯著發展，已成為現代照明系統的關鍵部分。當然，最早暢行業界的 DALI (Digital Addressable Lighting Interface，數位可尋址照明介面)，也沒錯過搶食無線感測網路 (WSN) 這塊大餅；讓這個原本只能做到簡單區域控制的元老協定，也能投身 IoT 世界。基於全球標準 IEC 62386 的 DALI，是照明控制設備

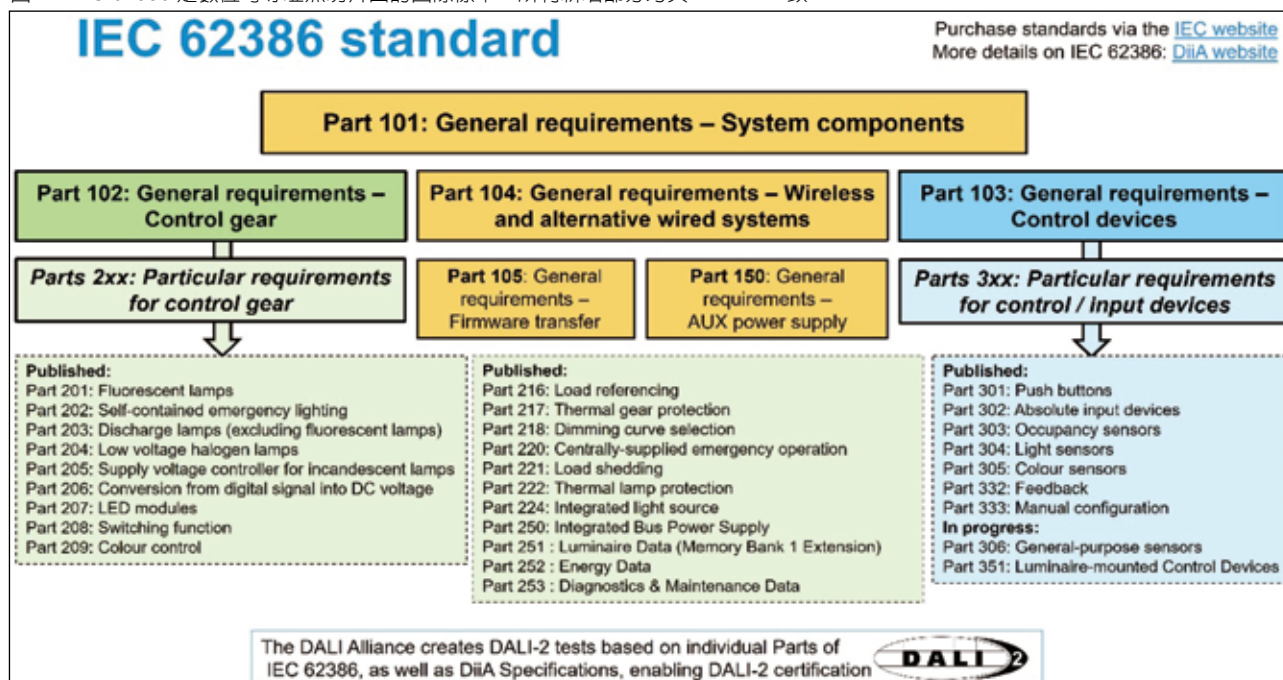
和感測器之間雙向數位通訊的開放式協定；因 DALI 設備可單獨尋址，非常適合其他物聯網系統。

DALI 從片面控制跨足物聯網

DALI 聯盟總經理 Paul Drosihn 認為，節能 LED 結合感測器和物聯網設備的無線控制互聯生態，將為高效的照明專案創造機會。他援引市調公司 Research

and Markets 的數據表示，現今無線智慧照明控制系統的全球市場估計約 60 億美元，到 2030 年將成長到近 190 億美元。由於所需的佈線較少，無線控制系統的安裝可以更容易、更快捷——特別是舊建築改造恐會受限於佈線位置；無需電線還可使系統更加靈活和可擴展，自由移動燈具或添加新設備。無線照明系統通常以網狀配置，若單個節點發生故障控制訊息會自動重新路由，大幅提升可靠性。

圖 1：IEC 62386 是數位可尋址照明介面的國際標準，所有新增部分均與 DALI-2 一致



資料來源：<https://www.dali-alliance.org/dali/standards.html>

DALI 聯盟在全球擁有 350 多家成員，手握 DALI-2 和 D4i 認證以確保跨供應商的互通性。傳統上，DALI 是採用兩線專有匯流排進行設備之間的通訊，為因應時下無線控制潮流，新推兩種 DALI 無線連接捷徑：首先，是經由 DALI 和無線生態系之間的標準化閘道器 (Gateway) 轉換來自無線端的命令，以便無線生態系可控制、查詢 DALI 設備，視為無線網路成員之一。位於閘道器中的 DALI 應用控制器，可連接到有線 DALI 網路中的裝置，目前以藍牙網狀網路 (Bluetooth Mesh) 和 Zigbee 為先行軍，未來可能會擴大支援其他協定。

在加入生態系統網路之前，閘道器會自動發現並尋址 DALI 設備，進而控制 DALI 設備的光輸出和衰落，並從 DALI 設備讀取燈故障資訊以及能源使用和診斷等選定資料，而藍牙網狀網路或 Zigbee 的現有功能亦可確保安全性。其

次，是借助「DALI+」新規範，使用無線架構取代 DALI 系統的有線架構。無線到 DALI 閘道使現有的有線 DALI 設備能在非 DALI 無線生態系統中使用。然須留意的是，DALI 網路中的應用控制器無法反向控制、設定或查詢無線生態系統中的裝置，意味著無線生態系統實際上是主要控制，而 DALI 系統是從屬的。

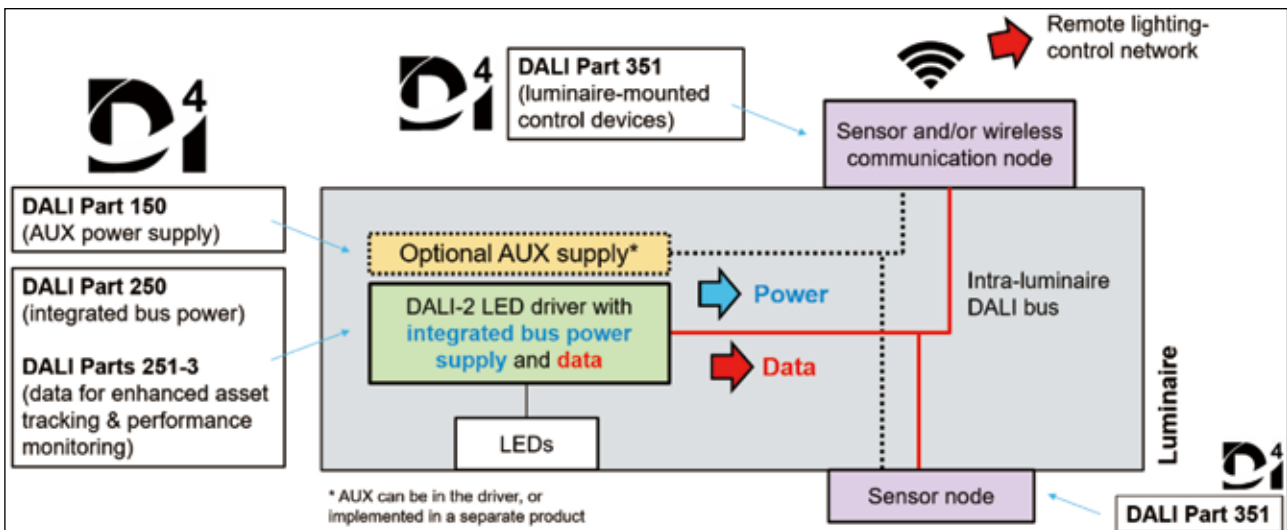
DALI 難以取代的利基：允許「自行定義」照明控制功能

那麼，為何不直接採用無線通訊控制照明，豈不更簡便？以 DALI 為基礎的照明控制系統的重要誘因是：DALI 是專門為照明而開發的控制協定，允許「自行定義」照明控制功能，以及提供對燈具、能源和診斷數據的存取，其他協定無法提供同樣豐富且廣泛的標

準化照明功能，是其屹立至今的主因。無線照明控制的第二種方法是 DALI+，透過無線或基於互聯網協定 (IP) 網路使用 DALI。DALI+ 設備使用無線或基於 IP 的鏈路承載的現有 DALI 命令進行通訊，而非 DALI-2 和 D4i 使用的專用電線對。

DALI+ 以有線系統中經過驗證的 DALI 照明控制功能為基礎，提供對來自控制設備、燈具和感測器的相同數據的存取，IEC 62386 下標準化的所有 DALI 控制裝置和控制設備都可以在 DALI+ 中實現，包括 LED 驅動器、顏色可控驅動器、緊急驅動器、應用控制器、按鈕和感測器。DALI+ 與有線 DALI 擁有相同的指令和功能，對於高度複雜的系統，可使用乙太網路 (Ethernet) 等主幹網路連接多個無線 DALI+ 系統，包括納入 Thread 網路。此外，DALI 應用控制器可支援多個子網，包括 DALI+ 和有線 DALI 子網的任意組合。

圖 2：圖示為一個兩節點的戶外照明應用程式，可實現 Zhaga-D4i 等隨插即用的插座系統；此智慧燈具有感測功能，可透過 DALI 匯流排和無線連結將儲存在 LED 磁碟機中的燈具、能源和診斷資料報告給外部網路



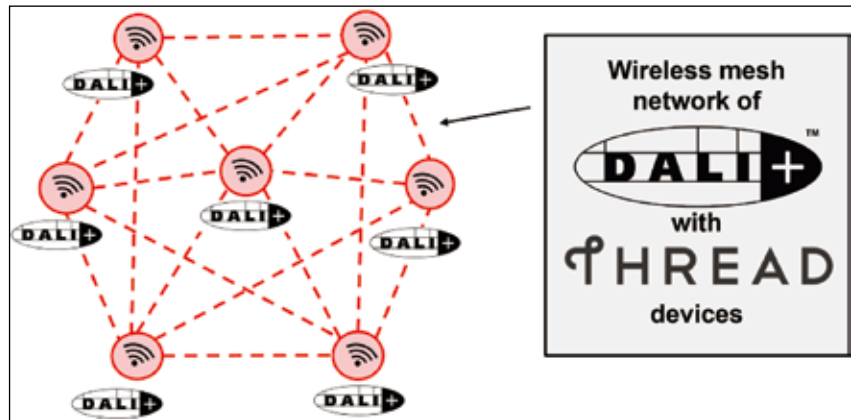
資料來源：<https://www.dali-alliance.org/d4i/>

DALI+ 設備能使用無線介面承載現有 DALI 命令進行通訊，而橋接器 (bridge) 則負責連接有線和無線網路，全程使用 DALI 協定，經認證的 DALI-2 或 D4i 驅動程式可與藍牙網狀網路或 Zigbee 闢道一起使用。DALI+ 也支援同樣基於 6LoWPAN 的 IP 協定 Thread，不僅允許使用 IPv6 尋址、擴增上百個連線節點，還能利用 Thread 現有身份驗證和加密方法確保安全性，並享有 Thread 自我修復和自動配置之便。Thread 邊緣路由器 (Edge Router) 允許透過其他基於 IP 的實體層 (如：乙太網路或 Wi-Fi) 進行連接，支援高度可擴展的系統。

DALI+ 跨界擴大應用範疇，藍牙 NLC 標榜「全端標準」

如此一來，DALI+ 可藉由建築物的 IT 基礎設施將照明系統與 HVAC (暖通空調) 或建築物存取等其他功能集成，正式跨界擴大應用範疇——DALI 聯盟正在為新的無線方法開發強大的認證計畫。物聯網的根本精神是使設備能無縫通訊和共享數據，IoT 設備可透過有線、無線、蜂巢網路、Wi-Fi、藍牙、Zigbee、Z-Wave、Thread、NFC 等諸多通訊協定連接到網路，每種方法都各有其優點和用例，該向何種標準靠攏？具體取決於範圍、功耗、資料傳輸速度和安全要求等因素。其中，無線連接具備靈活性和移動性，解決佈線不易的困擾。

圖 3：DALI+ 以 Thread 為載體，透過無線網路實現 DALI 照明控制



資料來源：<https://www.dali-alliance.org/news/340/dali-blog-dali-provides-dali-lighting-control-over-ip-and-wireless-networks>

雖然 Wi-Fi 也是物聯網裝置最常用的無線協定之一，可讓裝置連接到通常由無線路由器提供的本地網路並存取網際網路以進行遠端控制和監控，具有資料傳輸速度快、覆蓋範圍廣以及與多種裝置相容等優點；不過，訊號範圍可能會受到牆壁和家具等物理障礙或其他設備／鄰近網路的干擾是其軟肋。另一個考慮因素是功耗，對於物聯網設備來說，節能設計和電源管理技術至關重要。目前與智慧照明關係密切的低功耗廣域網路 (LPWAN) 主要有以下幾種：

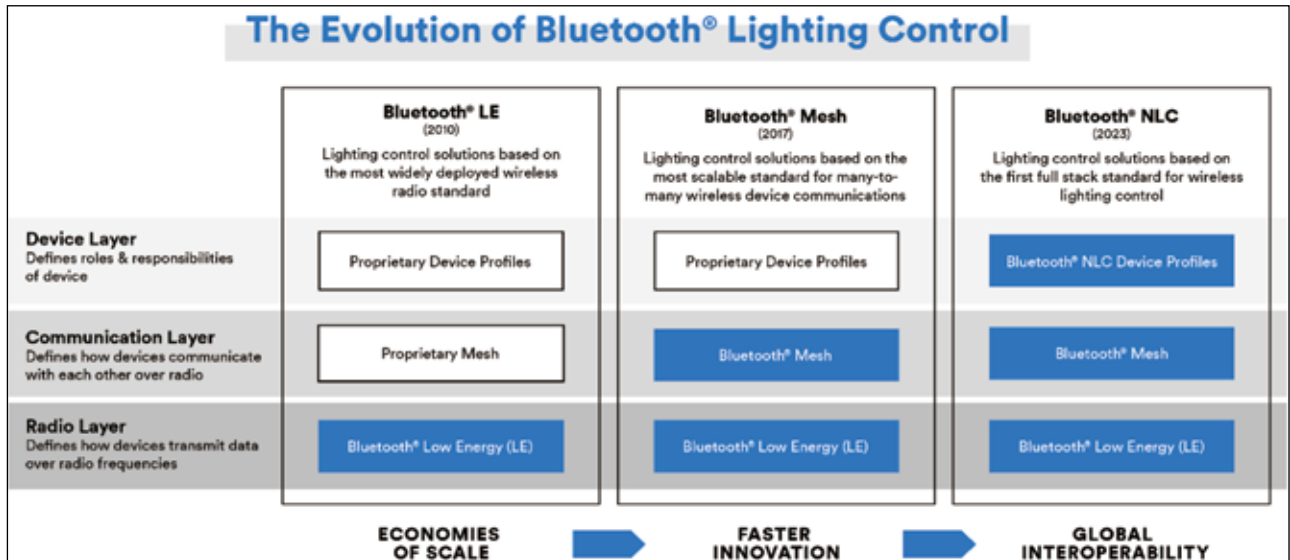
- **藍牙**：短距通訊，供設備交換數據之用，可連接到智慧手機或閘道器；
- **Zigbee**：專為物聯網設計的低功耗無線協定，允許設備在網狀網路中相互通訊，電池壽命長、延遲低，且支援成千上百的大量設備連線；
- **Z-Wave**：同樣採用網狀網路拓撲，在 Sub-GHz 專用頻段運行，提供更好的覆蓋範圍和穿牆能

力，以干擾少、良好互通性與高資料傳輸率聞名，終端用戶可混搭不同品牌的設備、消除相容性疑慮，並實現快速回應：

- **Thread**：使用 IPv6 尋址，允許設備直接存取互聯網且與其他無線技術共存是其初衷，但通常需要特定硬體支援 (邊緣路由器) 或使用閘道器橋接；

其中，藍牙堪稱是最積極的生態系，陸續問世的新版本對於 Mesh 擴增有效節點、尋址和互通性已全面補強。有鑑於供應商可能會選擇以不同方式實現藍牙低功耗 (BLE) 的可選擴展、進而產生相容性問題，藍牙 SIG 近期再宣佈智慧照明新標準——藍牙網路照明控制 (Bluetooth NLC)，號稱是「唯一的無線照明控制全端標準」，將特定照明的設備配置檔案添加到藍牙 Mesh 標準以提高互操作性——藉由將三個通訊堆疊標準化：無線電層使用 BLE、通訊層使用藍牙 Mesh、裝置層使用藍牙 NLC，期能實現「真正的多供應商互通性」。

圖 4：藍牙照明控制互通性的演進歷程



資料來源：<https://www.bluetooth.com/blog/introducing-bluetooth-nlc-a-milestone-in-the-interoperability-journey/>

Matter 1.2 擴展相容性產品廣度

藍牙 SIG 還承諾使用分散式控制架構來提高可擴展性，從單個燈泡一直工作到整個家庭照明系統。另一個引發關注的是去年 10 月出爐的 Matter 標準，可使用 Thread、Wi-Fi 或乙太網路在 IP 網路運作，其「零信任」(Zero Trust) 的安全架構設計以及在本地運行的特點，有助於緩解網路安全疑慮；且它可與 Zigbee、Z-Wave 和 433MHz 等其他智慧家庭標準並存，被視為解決智慧家庭應用碎片化的曙光。Matter 智慧家居標準和認證計畫 1.2 版於今年秋天正式推出，增加支援空調、空氣清淨機等九種設備，使相容設備類型總數達十九種。

自一年前首次推出以來，約有 1,214 種硬體和軟體產品已獲連接標準聯盟 (CSA) 的認證、或

正在驗證過程中，囊括了 300 多家公司的產品，較去年同期約 190 個已完成的認證相比，呈現飛躍式成長！CSA 目標是每年發布兩次 Matter 更新，目前進展一如預期；於 2023 年 5 月發佈的更新 1.1 版本，重點是增量改進和錯誤修復，而版本 1.2 則擴展了相容產品類別的廣度。Matter 是一種基於 IP 的

連接協定，允許跨設備及其各種應用程式和雲端服務進行無縫通訊；無論是 iPhone、Android 裝置還是智慧揚聲器、燈泡的相容性皆可輕鬆控制燈光照明。

CSA 強調：「Matter 可讓開發人員一勞永逸進行建置」。一個易於理解的 Matter 日常應用場景是：就算使用不同的應用程式分別

圖 5：Matter 1.2 認證計畫現已開放，成員預計將在今年稍後、2024 年及以後將這些增強功能和新設備類型推向市場



資料來源：<https://csa-iot.org/newsroom/matter-1-2-arrives-with-nine-new-device-types-improvements-across-the-board/>

設定智慧燈和智慧鎖，只要借助 Matter 協定無縫連接，則當用戶打開智慧鎖應用程式時，還可選擇添加先前在不同應用程式中設定的燈光，使用戶能將兩個配件連接在一起以創建強大的場景和自動化，例如，晚上打開門時，燈就會亮。AiDot Linkind Matter 智慧燈泡即基於 Matter 協定打造客製化體驗：

1. 可調式顏色和亮度，提供超過 1600 萬種顏色和從暖色到冷色 (1,800K-6,500K) 的可調白色；
2. 音樂同步，使用手機內建麥克風可創造與燈泡同步、隨節奏脈動的動態環境；
3. 客製化場景，可設定與活動相符的場景，為智慧照明系統增添個人風格。

Matter 允許不同通訊技術無縫協作，互通性大增！

AiDot Linkind Matter 智慧燈泡提供不同平台之間的無縫過渡。AiDot 生態系統內的品牌 Linkind、OREiN 和 Mujoy 有許多經 Matter 認證的設備將上市，包括使用 Wi-Fi 2.4G 或 Thread 無線連接的智慧 LED 燈泡、智慧插頭以及 RGBTW/CCT 智慧燈絲燈。Matter 只支援透過區域網路進行本地控制，實現遠端控制、語音控制、時間安排、場景聯動、設備共享等多種功能，進而提高多品牌設備的互通性。飛利浦 Hue 的 Hue Bridge 亦已通過 Matter 認證，意即如今多數飛利浦 Hue 燈和配件

圖 6：Matter 智慧燈泡可與 Apple Home、Alexa、Google Home 等無縫集成，無需額外應用程式



資料來源：<https://www.aidot.com/br30-smart-flood-light-bulbs-4-pack-matter-version.html>

連接到 Hue 橋接器都可與 Matter 配合使用。

Matter 是一個應用程式層，允許使用其他技術的不同供應商的不同產品無縫協同工作。一般來說，將 Zigbee 和 Z-Wave 裝置連接到 Matter 將涉及更新現有集線器或新增支援新協定的新橋接器。Matter 橋接器的工作原理是將連接擴展到 Matter 結構中的非 Matter IoT 設備，並允許消費者繼續使用現有的非 Matter 設備（如：Zigbee 和 Z-Wave 設備）以及新的 Matter 設備。該橋接器使用 Zigbee、Z-Wave 或藍牙各自的協定連接到每個設備，然後將它們之間的訊息轉換為它們都能理解的 Matter 協定。

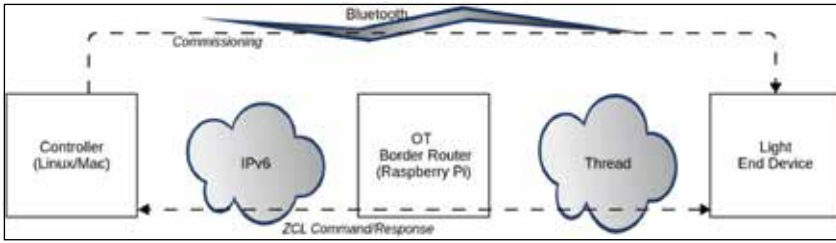
當一個裝置向另一個裝置發送訊息時，網橋會攔截該訊息，將其轉換為 Matter 協定並將其傳給接收裝置，然後，接收設備將訊息轉換回其自己的協定並相對其進行操作。本質上，Matter 橋接器充當設備中介，可將所有設備連接到單一網路，並透過單一應用程式或平台控制它們。為能經由 Thread

連接到 Matter，許多設備製造商正在建造同時支援 Thread 和 Matter 協定的邊緣路由器。Thread 有別於其他橋接器和集線器的獨特之處在於：它是基於 IP，能內建在其他裝置中，Thread 無線網狀網路與 Matter 智慧家庭自動化標準密切相關。

Thread 成 Matter 親密夥伴

Matter 選擇使用 Wi-Fi 和 Thread 進行無線通通，其他協定則需要仰賴「橋接」。問題在於：Thread 設備需要連接到互聯網和其他基於 IP 的網路，但可供購買的 Thread 設備仍然相對較少，且很難實現「共享網狀網路」這個最大優勢——Thread 規格雖已將任何製造商的邊緣路由器添加到任何 Thread 網路基礎上，但卻未指定用於不同 Thread 邊界之間安全共享 Thread 憑證的協定路由器，這意味：未就相互共享 Thread 憑證的標準化方式達成共識。邊緣路由器是 Thread 的關鍵，用戶需

圖 7：典型的簡單 Matter-over-Thread 網路設定由此設定由四要素組成——控制器、邊緣路由器、無線電協處理器 (RCP)、終端設備



資料來源：<https://docs.silabs.com/matter/2.1.1/matter-thread-getting-started/>

要它加上一個 Matter 控制器設定 Matter-over-Thread 設備。

邊緣路由器的一大賣點是它可以內建到任何始終供電的 Wi-Fi 設備中，且可與任何 Thread 設備配合使用，有些 Matter 控制器也可以是 Thread 邊緣路由器。為了形成共享網格，邊緣路由器必須使用 Thread 1.3.0 規格，且這些邊緣路由器必須相互共享憑證——類似於使用密碼加入 Wi-Fi 網路。為避免使用者掌握這種混亂且有風險的密碼共享流程，Thread Group 決定讓 Thread 網路可自我配置。麻煩的是：當 Thread 邊緣路由器想要加入網路時，可能無法存取這些憑證、或是刻意選擇不存取。

特別一提，近期獲蘋果 (Apple) iPhone 15 Pro / Pro Max 欽點搭載的 Thread，似乎有冷灶重啟之勢，而 iPhone 正是作為 Thread 邊緣路由器的隨身搭檔，無需透過 Wi-Fi、藍牙、集線器等繞道連接網際網路。儘管便利，但使用智慧型手機作為邊緣路由器似乎並非最佳選擇：根據 Thread Group 的說法，Thread 邊緣路由器最好是由語音助理或 Wi-Fi 等始終供電的設備擔當。Apple 自 2018 年加入 The Thread Group

以來，一直是 Thread 的堅定支持者。然而，由於邊緣路由器不是 Matter 設備，因此 Matter 沒有指定它如何加入網路。

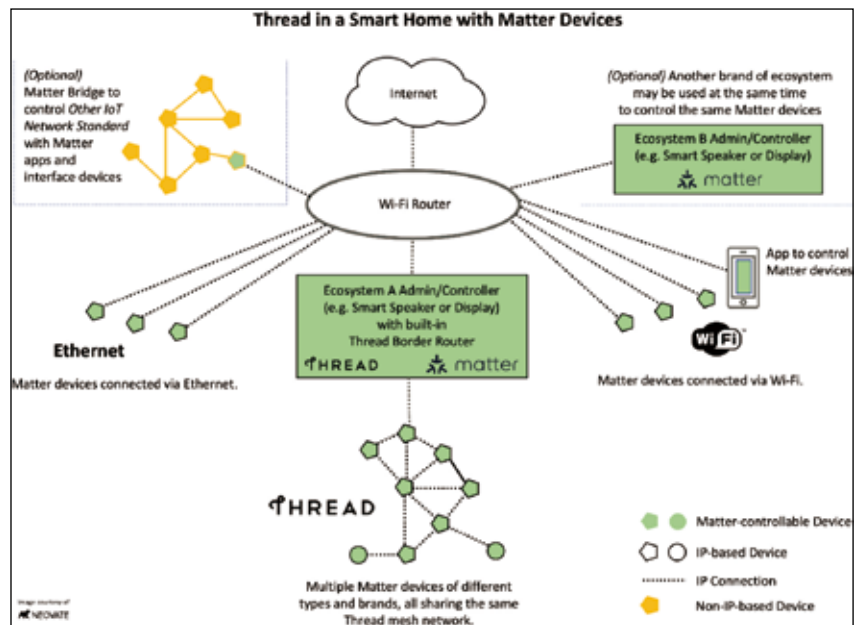
Thread 邊緣路由器 + Matter 橋接器，發揮最大效益

再者，Thread Group 並未規範製造商和平台如何處理握手機制 (handshake)。最新發展是：製造商可決定其邊緣路由器是否加

入競爭對手創建的 Thread 網路。目前，亞馬遜邊緣路由器僅在其設備設定的網路工作，不會加入現有的 Thread 網路，也不允許其他製造商的設備加入其網路。多個 Thread 網路不一定是問題，理論上，單獨的 Thread 網路可透過另一個 IP 網路相互通訊，但若不能「為所有邊緣路由器提供一個共享網格」，將失去最大競爭本錢！此時，只要有一台邊緣路由器出現問題，網路就會因為無法互相應援而出現故障。

如此，就與 Zigbee、Z-Wave 網格無異！解決之道是：製造商需要一種在平台和設備之間共享 Thread 網路憑證的方法。隨著 Matter 普及，將有越來越多的設備同時支援 Thread 和 Matter，並將 Thread 邊緣路由器功能與 Matter 橋接器合而為一，在單一集線器

圖 8：Thread 支援在同一網路上擁有多個邊緣路由器來動態接管功能，不存在單點故障，且 Thread 邊緣路由器功能可內建在 Wi-Fi 存取點等其他裝置中



資料來源：<https://www.threadgroup.org/news-events/blog/ID/291/Typical-Thread-Network-Topologies--Smart-Homes-with-Matter-Commercial-Buildings>

中支援 Matter Thread 和非 Matter 裝置，芯科科技 (Silicon Labs) 的 Unify 軟體開發套件 (SDK) 即為 Matter 到 Zigbee、Matter 到 Z-Wave，以及連接到 Matter Thread 設備提供橋接以簡化 IoT 基礎設施開發，包括基於應用處理器 (AP) 的終端產品、閘道器、集線器、網橋和存取點。

每個 Unify SDK 元件都針對基於 Dotdot 的統一語言實現訊息佇列遙測傳輸 (MQTT) 接口。這是一種簡單的訊息傳遞協定，因此，它是一個模組化、可擴展、輕量級且定義良好的系統整合介面。Unify-Matter 橋接應用程式是

Unify SDK 的一部分，基於 CSA 的 Matter Bridge 應用程式軟體，在 Matter 協定介面上接收 Zigbee 叢集庫 (ZCL) 命令，轉換為統一控制器語言資料模型，並發佈到 MQTT 介面。使用 Thread 作為物聯網設備的底層無線協定，加上邊緣路由器支援 Matter，物聯網供應商可更輕鬆地創建協同工作的設備互聯生態系統。

戶外智慧路燈照明新篇章：Wi-SUN

在戶外照明方面，Wi-SUN 算是新興標準。免授權的 Wi-SUN 開

放標準協定透過具有多層安全性的開源軟體實現互通，可為智慧城市部署連接數千個物聯網節點的遠端 LPWAN。它無需額外的網路基礎設施即可添加到現有的感測器通訊模式 (包括 Wi-Fi 和 LoRa)，使感測器能輕鬆連接到雲端。Silicon Labs 與印度 IIITH 智慧城市生活實驗室即推出校園範圍內的 Wi-SUN 主幹網狀網路，支援場域網路 (FAN) 1.1 規範 (OFDM 和 FSK 調變)，目前部署已完成對校園內 100 多盞路燈的控制，建構覆蓋校園 80% 以上區域的密集且穩定的 Wi-SUN 網路。CTA

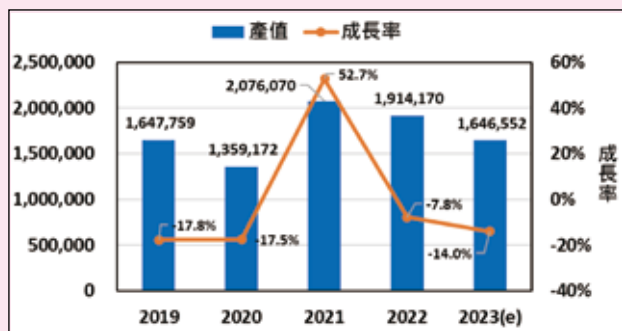
IEK：預估 2023 年臺灣石化產業產值 1.6 兆元，較 2022 年衰退 14.0%

2022 年受到俄烏戰爭爆發，油價高檔震盪，引發全球通膨之影響，上半年雖持續前一年榮景，但下半年景氣反轉直下，整體石化產業產值衰退 7.8%。2023 年仍受油價高、通膨等因素影響，終端消費疲弱，雖中國結束疫情開始復甦，惟復甦速度緩慢，石化產業上半年景氣持續低迷，第三季則開始有恢復跡象，若無其他因素干擾預期第四季可緩慢復甦，惟整體 2023 年產值相較於 2022 年保守估計仍有 14.0% 衰退幅度。10 月爆發以巴戰爭增加不確定性因素，若能源供應吃緊而景氣持續低迷，石化產業衰退幅度恐再擴大。

近年石化產業發展重點圍繞在塑膠循環減量與淨零碳排議題，惟受到 2020 年 COVID-19 疫情影響，發展進度遲緩，所幸在 2023 年中國結束疫情封控政策後，全球石化產業開始恢復減塑與減碳發展。在減塑方面，石化大廠持續透過跨業合作布局塑膠循環再利用，國際循環減塑政策與公約發展路徑朝向「減量」、「重複使用」、「回收再利用」、「使用再生料」以及「使用生質材料」等方項發展。在減碳方面，則從「低碳料源」、「低碳能源」、「製程電氣化」、「二氧化碳捕獲再利用」、「低碳氫氣」等方向著手，生產出具備永續發展概念的石化產品。此外，疫後中國大陸石化產能大量開出，未來不僅將壓縮我國石化產品出口中國大陸空間，也牽動亞洲區域市場供需平衡，在全球石化產業市場具有主要的影響力。

展望 2023 年，工研院 IEK Consulting 預估，臺灣石化產業產值 1.6 兆元，較 2022 年衰退 14.0% (圖一)。在國內公布《氣候變遷因應法》並成立「臺灣碳權交易所」後，石化產業勢必得朝向循環減塑與永續減碳方向轉型發展，以拓展永續創新市場。

圖說：臺灣石化業產值趨勢



資料來源：工研院產科國際所、經濟部 ITIS 計畫 (2023/10)