

能源管理系統於自動化需量反應之應用

一、前言

近年來隨著全球經濟快速發展，地球暖化導致氣候變遷，國際致力於各項能源轉型策略，包含減少燃煤使用、擴大發展再生能源、發展智慧電網等，經濟部訂定政策目標為2025年再生能源發電占比20%，為推廣再生能源發展，積極推動太陽光電和風力發電，目標2025年太陽光電裝置容量達20 GW，離岸風力裝置容量達5.7 GW，並鼓勵產業共同投入再生能源使用與推廣，設置再生能源電廠，並推動建置智慧電網，發展高負載時段電力供需的分析與調度計畫研究，未來隨著電動車的發展與普及，亦可發展汽電共生電網，達到更有效地調度高負載期間的能源需求，除增加綠電容量外，亦可降低低負載期間的能源浪費。

伴隨著核電逐年除役與再生能源占比提高，供電將更容易遭受氣候影響造成穩定度之下降，伴之而來的備轉容量過低更可能造成供電危機。因應上述問題，各國之電力公司皆開始透過提升用戶尖峰負載管理技術與應用，制定各種需量反應措施，以達成負載移轉、尖峰抑低或季節性用電抑制之目的，例如可透過時間電價(TOU)之方案實施，誘導用戶將負載分配到離峰時段，藉以抑低尖峰負載達成供電穩定。除此之外，各國電力公司亦搭配實施需量反應措施，於電力系統高載時期開放用戶把節省下來的電賣回給電力公司，以滿足電力調度之需求。在進行需量反應時，OpenADR (Open Automated Demand Response, 自動需量反應)協定即扮演重要之通訊協定，本標準已被納入國際IEC 62746標準系列中，且美國加州之建築規範於2020年開始要求居家需量控制設備需要進行OpenADR檢測認證，目前國際主流需量反應系統大多採用此協定。因此新一代之IoT能源管理系統，整合需量反應所需之OpenADR 通訊協定即為未來趨勢。

目前國際普遍往電網互動高能效建築(Grid-Interactive Efficient Buildings, GEB)進行研究與發展，GEB包含LED照明、空調系統、冷凍藏系

統、太陽能、電池儲存設備，甚至納入電動車充電設備等多樣資源，提供電網負載彈性調度，例如：於高負載期間自動調低LED照明亮度減少耗能、卸載部分空調設備等。市場上系統級自動需量反應解決方案仍不成熟，OpenADR (Open Automated Demand Response)協定為國際需量反應系統重要標準，協定目標在於標準化與自動化電力網路的需量反應(Demand Response, DR)電能調度，定義了交換需求反應事件相關訊息的預期行為。過去國內電網發展以高壓用戶為主，隨著小型能源管理系統發展漸趨成熟，小型服務業節能管理系統建置成本降低，建置工程簡化，推廣更為普遍，能源管理系統應用範圍亦更完整。近期，國內低壓需量反應方案亦將進入試驗期，如何整合能源管理系統並導入自動需量反應系統，為未來能源管理系統發展方向。

二、需量反應現況

需量反應意旨藉由需求面管理(Demand side Management, DSM)的手段，使電力用戶藉由參與電力公司之需量反應方案，減少本身用電負載需求量或移轉部份尖峰用電至離峰用電時段，以獲取電價優惠誘因，進而改變電力消費需求型態之作法[1]。

OpenADR是為了讓需量反應可自動化而訂立的通訊標準，最初由加州的國家實驗室 Lawrence Berkeley National Laboratory的需量反應研究中心(DRRC)研究計畫開始發展。OpenADR V1.0 的版本即是為了支援 Auto-DR 方案，它是當中規範了各類型資料之通訊交換標準，例如動態價格訊號、可靠訊號、緊急訊號等，另外亦規範了市場參與資訊，如市場競價、負載預測及發電等資訊。之後OpenADR聯盟更在上述既有之規格基礎上制定OpenADR 2.0規格[4]，定義需量反應(DR)及分散式能源(DER)基本規格來滿足不同的市場需求。在現今資通訊科技及基礎建設之高度發展下，各國已開始具備實現需量反應操作過程的自動化之基礎。

OpenADR為架構於應用層之資料傳輸模型，此通訊模型使得端點與端

點間(通常是電力供應端與用戶)的資料交換更為容易，並可輕易套用於現有之資通安全的框架中。OpenADR利用既有的網路標準和傳輸框架，使用XML(eXtensible Mark-upLanguage)語法在 IP 網路上來進行需量反應信號之交換，並透過XML與法之特性，賦予此通訊協定極大的彈性與可視性。其設計是為了讓需量反應之過程自動化，大幅降低用戶執行需量反應的操作複雜性。因此能源管理系統整合OpenADR有助於推動需求面管理的用電輔助措施，藉以廣納更多用戶參與需量反應機制，以達到降低整體用電以及負載轉移的綜效。當電網供電吃緊時，系統就會發送信號給各個用戶的控制系統，進而自動執行降卸載的動作。用戶亦可藉由電力公司所提供之回饋，進行能源管理系統建置成本回收降低系統ROI。

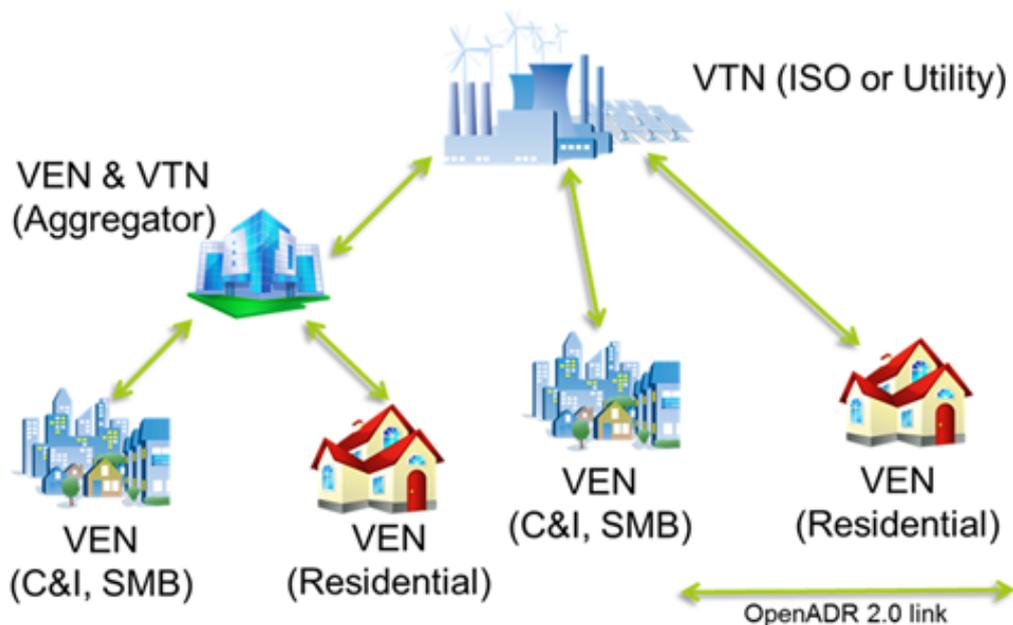


圖1 OpenADR系統架構圖

OpenADR 之系統架構如圖1所示，其通訊架構於點對點之通訊基礎上。該架構定義了發送端點 (Virtual Top Node, VTN)以及用戶端點 (Virtual End Node, VEN)兩個成對的角色，其中VTN是傳送自動需量訊號的起源端點，而VEN 則是接受自動訊號的端點。VTN與VEN為一對多之關係，即一個VTN 可以對應到多個 VEN，此設計即是為了符合需量反應供應商(DRP, Demand Response Provider)對應到多名電力需量用戶之情境。另外在架構上，

VEN亦可做為下一層的VTN，即某些節點同時具備VEN與VTN之角色，如此可在電力供應業與終端用戶間，使得其他業者扮演中介的角色來提供電力加值服務，如用戶群代表(Aggregator)，亦可在此框架下進行自動需量反應的操作。

OpenADR如其名為一開放性之通訊協定，於規範中並未訂出硬體實作的方法，各家廠商可以用自己的裝置來進行開發，因此本研究將沿用現有之能源管理系統控制器硬體與軟體架構，並於現有架構中整合VEN軟體模組，同時開發需量反應模組，並持續強化需量反應模組之抑低效益。

三、能源管理系統整合需量反應技術

圖2為能源管理系統控制器之系統軟體架構圖，系統共分成四個主要部分，分別為資料收集與控制模組、資料儲存模組、使用者介面和智慧演算法決策框架。資料收集與控制模組的資料來源分為有線與無線介面，有線介面資料來源包含I2C與MODBUS(TCP)介面，無線介面資料來源則為WiFi(MQTT)介面，系統軟體可透過上述介面，監控各式用電設備，並收集電子式電表及環境感測器的資訊。資料儲存模組將收集到的資料整合後，以至少30秒的儲存頻率進行資料儲存，並視需要透過網際網路將資料傳輸至雲端資料庫(Database, DB)。使用者介面(User Interface, UI)負責呈現設備運轉、用電、及環境感測等資訊給使用者，使用者亦可透過介面進行設備運轉參數調整，此外，亦同時提供面板與遠端使用者介面，分別提供現場或遠端操作所需。智慧演算法決策框架(Algorithm Container)包含節能策略與需量反應等兩大功能，其中節能策略包含場域各式節能控制邏輯，如冷凍藏系統之浮動式溫控法、智慧型除霜控制法，空調與冷櫃間之協調控制法與照明之時序控制等。需量反應控制邏輯則為決策框架中所獨立之演算法，需量反應控制框架如同節能框架，內含多組對不同設備之控制策略，此框架於接受到VEN模組之抑低訊息後，內建之演算法即會進行最佳化之設備控制指令輸出，決策框架收到需量反應模組與節能演算法模組之控制指令後，若兩者之控制指令有衝突，則將以優先權較大之需量反應模組指令為主，

將其命令傳送至資料收集與控制模組執行。

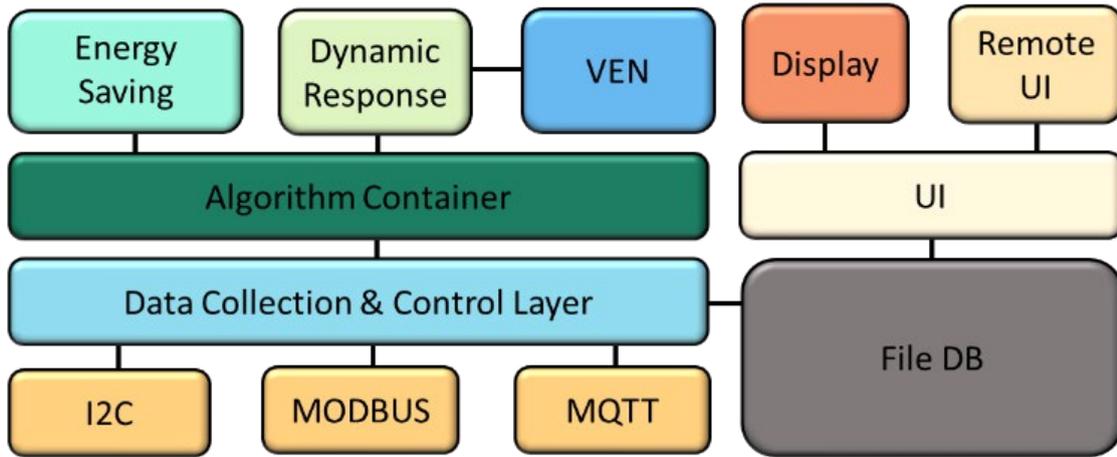


圖2 能源管理系統軟體架構圖

此外，抑低量可能因超市大小而有所不同，因此我們設計兩種架構，一是一家大店即可達到一定的抑低量，可單獨執行需量反應；另一則是小店可透過用戶群代表(Aggregator)，集合較大抑低量，參與需量反應，而用戶群代表可依照多種條件，最佳化分配各家小店所需要抑低的量，如圖3、圖4所示。

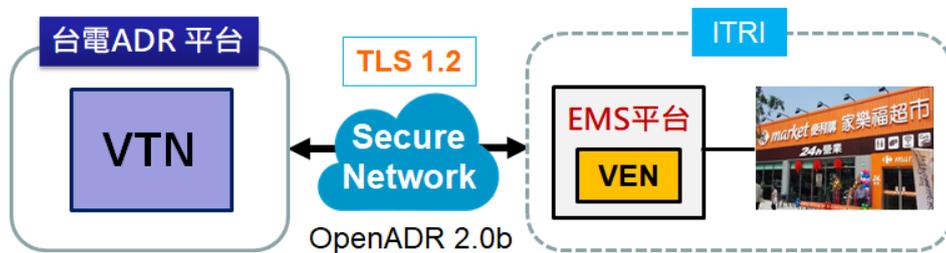


圖3 大店架構(without aggregator)

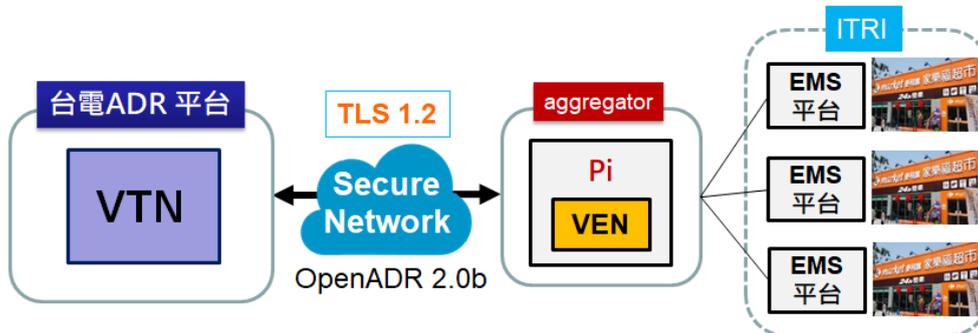


圖4 小店架構(with aggregator)

本研究開發需量反應式建觸發之自動化設備卸載演算法，該演算法可自動

評估各設備可卸載程度，並於抑低時段中依照設備優先權進行卸載，以達到全店4%用戶負載基線 (Customer Baseline Load, CBL) 之抑低量目標，其自動化卸載邏輯流程請見圖5。藉由導入自動化需量反應機制至能源管理系統，整合場域內常見之空調、照明、冷凍藏設備，讓能源管理系統除可提升能源使用效率外，更能提供需量反應之加值服務。

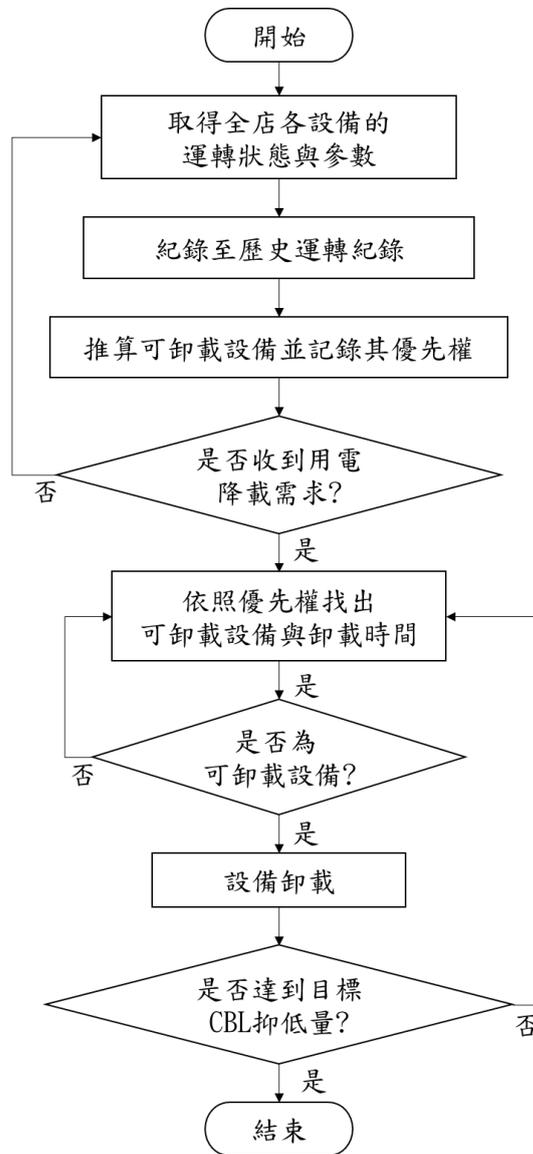


圖5 能源管理系統之自動需量卸載節能方法流程圖

四、結語

本研究將大數據與人工智慧演算法導入IoT能源管理系統，整合節電控制與電網互動(Open ADR)功能，開發出電網互動式AIoT能源管理系統，利用過往20間家超市與超商之能源管理系統設備用電特性與運轉參數數據，提供開發自動

化需量反應演算法所需之依據，藉以達成系統級動態ADR控制策略，讓能源管理系統跟上國際最新發展趨勢，同時降低系統回收年限。

系統於需量反應事件期間，可依電網所發布之抑低事件，調度空調及照明設備之運轉參數，自動化卸載或降載非必要設備，抑低空調系統、冷凍冷藏系統、照明系統能耗，達4% CBL之卸載目標。系統於日常節能期間，可透過浮動式溫控法、AI智慧除霜、空調設溫、照明亮度調控等最佳化控制策略，達成日常8%之節電效益。

本研究所開發之電網互動式AIoT能源管理系統，可提升國內相關產業之技術能量與產品附加價值，滿足目前國內中小型服務業能源管理系統產業最為需求之智慧節電技術。此外也可技術授權國內自動控制及能源管理系統業者量產銷售，降低產品與建置成本，便於廣泛推動至國內小型服務業，亦可與電網供應廠商合作，達成供電與用電端雙向溝通目的，更準確調度用電尖峰，降低發電需求，預期每年可達成1億元產業效益。

五、參考文獻

- [1] 張景淳，2013，“美國電力需量反應實施成效調查”，工業技術研究院
- [2] 2020年非生產性質行業能源查核年報，台灣綠色生產力基金會
- [3] 孫廷瑞、陳奕宏、林軒宇、廖文華、蘇娟儀、傅孟臺，2017，我國縣市服務業之用電消費行為分析與節電潛力評估，臺灣能源期刊
- [4] 鄭凱文、張作帆、陳以彥、王金墩，2022，自動需量反應用戶端系統開發研究：符合OpenADR 2.0b規範VEN軟體架構規劃，電工通訊季刊