

基於雲端運算之無線電力監控系統設計與實作

賴佳瑋¹ 洪敏雄^{2*}

¹中國文化大學機械工程學系數位機電碩士班（臺北市 11114 陽明山華岡路 55 號）

²中國文化大學資訊工程學系（臺北市 11114 陽明山華岡路 55 號）

*Email: hmx4@faculty.pccu.edu.tw

摘要

為減少網路式電力監控系統對伺服器建置成本的需求，及能夠整合及管理佈署在各地的電力監控設備，本研究結合運用 ZigBee 無線感測網路以及雲端運算技術，設計與實作一個雲端無線電力監控系統。建置於雲端的監控伺服器具備有一些電力監控相關的核心能力，例如即時電力監測、對電力設備的遠端控制、自動偵測電力異常及電力異常警告通知等。本系統也結合 ZigBee 無線感測網路，以便能夠迅速監測各種設備及設施的電力使用狀態。測試結果展示了本雲端無線電力監控系統的有效性。

關鍵字：雲端運算、電力監控系統、ZigBee 無線感測網路。

1. 前言

現今網際網路的高度發展，結合網際網路的網路式監控系統，使相關人員無論身在何處，皆能藉由網際網路從系統設備立即取得狀態資訊與進行相關管理作業，從而減少依靠人力至現場對設備的勘查，也使相關維護人員對設備上之維護更具效率[1]。

以 802.15.4 為底層的 ZigBee 無線感測網路[2]，其低成本、低功耗、容易開發、支援大量節點以及多種網路拓樸方式等優點，透過無線傳輸使設備少去了大量的傳統線纜，設備佈署上更降低環境因素之受限、具機動性佈署，極適合被運用在監控系統之中。

人們隨著現代化的腳步，生活中十分仰賴能源的供應。現今面臨著能源日漸匱乏，對能源的需求卻難以驟降。故在能源供應與消耗間，取得最佳化、最具效率的能源管理是一大議題，因此發展出來的電力監控系統[3][4][5]，也隨著各方技術不斷地推陳出新，持續改良與進步。

由於網路式監控系統的設備端皆必須具備伺服器的軟硬體建置、需相關專業人員維護與管理，對系統營運成本是一大支出。雲端運算平台商業化營運後，雲端運算平台具備著對資源運用依需求迅速擴充與減少、透過網際網路使用、使用狀態具可量測性這些條件。相較於伺服器架設，使用雲端運算平台只需隨需求付出運作成本，且透過網際網路便於管理，基於雲端運算的監控系統架構被提出[6]。

為實作出結合雲端運算的電力監控系統，在設備端設計使用隨應用程式啟動的 WCF (Windows Communication Foundation)[7]，Microsoft 發展的新一代 Web Services 技術，進行與設備端的溝通。而既有的電力監控系統其系統功能的網路服務與使用者介面，從以往伺服器佈署到雲端運算平台，功能需求包含：

- (1) 即時量測之功能：相關人員可隨時要求設備端量測並傳回電力使用之情形。
- (2) 遠端控制：人員無需親自到設備端，隨處即可控制設備的運作與停止。

- (3) 自動偵測異常並發送通知：當設備端發生異常之情形時，立刻採取應變機制，並透過電子郵件等方式通知相關人員。
- (4) 資料庫管理：提供整合式的系統資料庫相關維護功能。
- (5) 圖形使用者介面：提供網頁式的使用者介面，令使用者不受限於固定地點對系統進行操作。也能夠客製化不同形式的圖形使用者介面，啟動各個系統功能的網路服務。

2. 系統架構設計

雲端電力監控系統(Power Monitoring and Control System, PMCS)其架構分三部分，如圖 1，結合 ZigBee 無線感測網路監控的設備端(Equipment Side)、管理設備端的雲端監控系統(Cloud Side)及系統圖形使用者介面(Graphic User Interface, GUI)之用戶端(Client Side)。

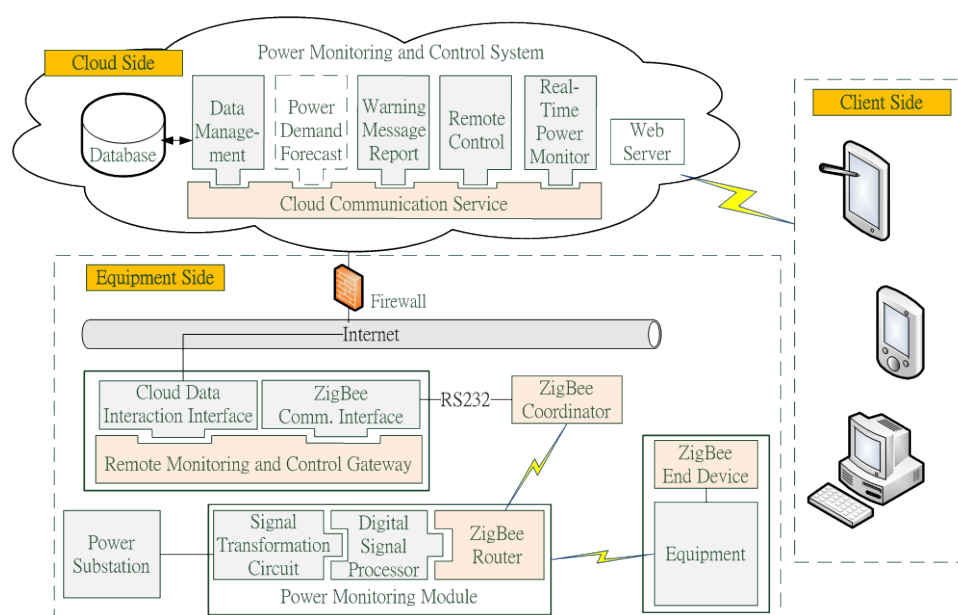


圖 1 雲端電力監控系統架構圖

2.1 設備端

設備端包含 ZigBee 協調器(ZigBee Coordinator, ZC)、ZigBee 路由器(ZigBee Router, ZR)、ZigBee 終端設備(ZigBee End Device)及 PC。

PC 做為設備端的監控閘道(Remote Monitoring and Control Gateway, RMCG)，負責提供雲端對設備端聯繫的 CDII (Cloud Data Interaction Interface)之 WCF 服務。與 ZC 透過串列埠通訊的 ZCI(ZigBee Communication Interface)－負責對電力監測模組之 ZR 或受控設備之 ZED 下達監控命令、獲取電力監測數據及受控設備狀態、設定電力監測模組負責管理的受控設備群。

ZC 是負責啟動、配置與管理 ZigBee 網路之角色，上述工作完成後將退化成一普通網路節點。在本系統設備端與 RMCG 透過串列埠，進行對 ZR、ZED 傳遞相關監控命令，以及將取得發送自 ZR、ZED 之資料傳遞予 RMCG。

ZR 做為 ZigBee 網路中延伸通訊距離之角色。在本系統中，除了延伸通訊距離用途，另將電流表測得之類比電流值，送入 ZR 之 CC2530 晶片內建 A/D Converter 處理，即組成電力監測模組(Power Monitoring

Module, PMM)，來獲取電力即時量測數據並傳回 RMCG。此外還監控受其管理之受控設備，以防止受控設備電流過載造成設備損毀之情形。

ZED 是 ZigBee 網路末端節點，在本系統負責控制受控設備。透過規劃 ZED 上的 CC2530 晶片之 I/O 埠輸出，對驅動電路之繼電器進行導通、斷路動作，使受控設備達成供電及斷電。

2.2 雲端

負責統一管理位在各地區設備端之系統平台。系統包含雲端聯繫服務(Cloud Communication Services, CCS)及 SQL Azure 的雲端資料庫。對位於各地的設備端進行即時電力數據監測、受控設備的遠端開關控制、存取電力數據及設備狀態、警告訊息回報等功能。

2.3 用戶端

提供使用者多元化圖形使用者介面，可使用個人電腦以及其它任何可上網的行動裝置(平板電腦、智慧手機)等，進行啟動雲端監控系統提供的各個 CCS 服務項，對系統設備端做即時管理。

3. 系統架構設計

本系統設備端是結合 ZigBee 無線感測網路對 PMM 與受控設備進行監控，故直接利用 ZigBee 網路節點的十六位元短位址做為 PMM 與受控設備之命名，並設計簡單的 ZigBee 節點管理方式，對設備個別監控。雲端電力監控系統的 CCS 服務，被透過用戶端 GUI 執行即時電力監測、遠端控制等主要操作功能。也提供設備端發送警告訊息回報之服務，以及 SQL Azure 資料庫由設備端寫入、用戶端 GUI 讀取的資料管理服務。

3.1 設備端功能設計

PMM 模組、受控設備透過 ZigBee 無線感測網路通訊，故不同於以往有線傳輸方式受制在佈署環境之條件，使 PMM 模組、受控設備皆具機動性的佈署與監控。負責監測電力數據的 PMM 節點，以及受控設備節點，在成功加入 ZigBee 網路時，發送一次 OTA(Over the Air)訊息封包予 ZC(ZigBee 網路中，協調器的短位址均固定為 0x0000)，ZC 將此封包透過串列埠轉發給 RMCG 處理。從封包資料中，如表 1，得知該節點的命令類型、短位址、資料類型，並根據內容的命令類型來判斷並分類該節點是 PMM 或是受控設備。分類後的節點短位址做為設備之命名，是雲端電力監控系統對設備下達相應的量測或控制命令，如表 2，之根據。

表 1 RMCG 接收自 ZigBee 設備資料封包格式

設備類型	資料內容							
電力監測模組(ZR)	命令類型	短位址	電壓	電流	功率	功率上限	資料取得時間	時間 ID
受控設備(ZED)			設備狀態			監測模組短位址		

表 2 RMCG 對 ZigBee 設備發送功能命令封包格式

對設備下達之命令	命令類型(1 byte)	短位址(2 bytes)	資料類型(1 byte)
量測電力數據	0x01	例：0x248E	0x00
取得受控設備狀態	0x02	例：0xB44F	0x00
受控設備供電			0x01
受控設備斷電			0x02

PMM 開機後開始以 500 毫秒週期監測電流值。在設備端，受控設備節點加入網路時，必須從 RMCG 程式設定負責管理它的 PMM 短位址，如表 3，在受控設備，將 PMM 短位址寫入 CC2530 晶片內永久保存的非易失性記憶體。如此達成一旦 PMM 測得電流過載情形，PMM 對其負責監控的受控設備廣播下令將全數受控設備立即斷電之動作。

表 3 RMCG 對受控設備設定 PMM 管理位址之封包格式

命令類型 (1 byte)	受控設備(ZED)短位址 (2 bytes)	監測模組(ZR)短位址 (2 bytes)
0x03	例：0xB44F	例：0x248E

3.2 雲端網路服務功能設計

使用 WCF 網路服務建置，佈署於 Windows Azure 雲端平台之 CCS 服務，其提供的服務功能與說明如表 4 與表 5。用戶端需透過佈署在雲端的網頁版本 GUI 操作 CCS 服務，也能另外開發多元化的 GUI 使用 CCS 服務，例如：Windows 應用程式、Silverlight 程式、手機應用程式…等。

表 4 雲端 CCS 所提供之服務功能項目

		CCS 服務項	
設備端使用	警告訊息回報	資料管理（寫入）	
用戶端使用	即時電力監測	遠端控制	資料管理（讀取）

表 5 雲端 CCS 服務功能服務項目說明

服務	即時電力監測	遠端控制	警告訊息回報	資料管理
說明	提供的用戶端對設備端的電力監測模組(PMM)進行電力數據量測，取得即時電力數據。	提供用戶端從遠端對設備端之受控設備進行開、關之動作。	當設備端發生電力數據異常時，由設備端啟動發送電子郵件告知相關人員。	設備端負責寫入電力數據或受控設備狀態到資料庫。用戶端從資料庫讀取。

3.3 系統功能運作腳本

(1) 設備啟動 (如圖 2)

- Step 1: 當 PMM 節點或受控設備節點啟動，發送 OTA 訊息(命令、短位址、資料類型)給 ZC。
- Step 2: ZC 收到 OTA 訊息，透過串列埠轉發給 RMCG。
- Step 3: RMCG 判斷是 PMM(ZR)或是被控設備(ZED)，並記錄該節點短位址。接著啟動 CCS 的資料管理(Data Management, DM)。
- Step 4: DM 將資料寫入資料庫中。

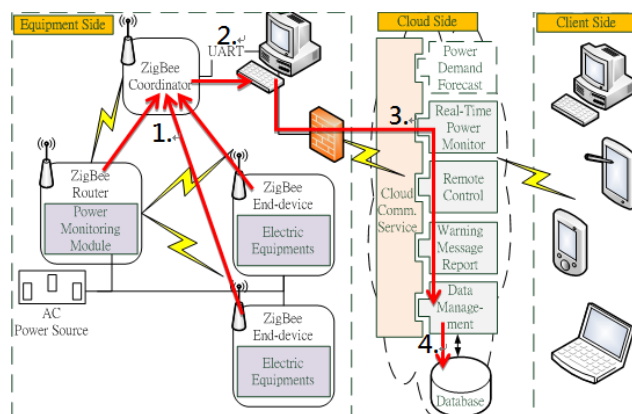


圖 2 ZR、ZED 啟動時運作腳本圖

(2) 即時電力監測運 (如圖 3)

- Step 1: 用戶端從 GUI，選定一區域的 PMM，啟動 CCS 的即時電力監測(Real-time Power monitoring, RPM)。
- Step 2: 雲端 CCS 對設備端 RMCG 啟動 RPM 功能。
- Step 3: RMCG 對 ZC 發送即時電力量測之命令。
- Step 4: ZC 發送即時電力量測命令的 OTA 訊息給 PMM(ZR)。
- Step 5: PMM 發送測得的電力數據之 OTA 封包給 ZC。
- Step 6: ZC 透過串列埠將電力數據封包傳遞給 RMCG。
- Step 7: RMCG 接收到電力數據，啟動雲端 CCS 的 DM，將測得的電力數據寫入資料庫。
- Step 8: 用戶端啟動 DM 從資料庫讀取測得的電力量測數據。

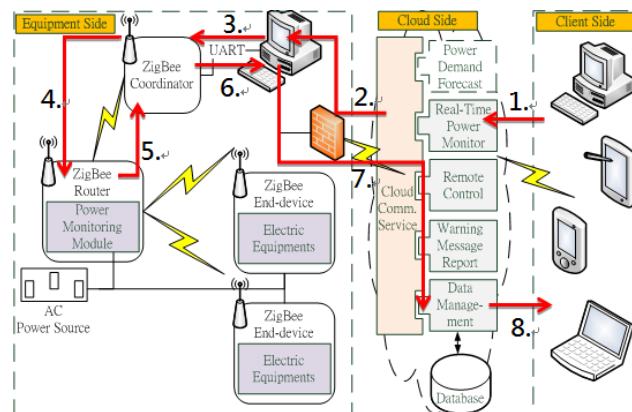


圖 3 即時電力監測運作腳本圖

(3) 遠端控制 (如圖 4)

- Step 1: 用戶端從 GUI, 指定一區域的受控設備, 進行遠端控制(Remote Control, RC)。
- Step 2: 雲端 CCS 對設備端 RMCG 啟動 RC 功能。
- Step 3: RMCG 透過串列埠發送 RC 命令(0x01:設備開, 0x02:設備關)。
- Step 4: ZC 發送 RC 命令的 OTA 給指定的受控設備之 ZED, 使之動作。
- Step 5: ZED 發送受控設備動作後狀態(開、關狀態)的 OTA 訊息給 ZC。
- Step 6: ZC 透過串列埠, 將收到受控設備狀態資料發給 RMCG。
- Step 7: RMCG 接收到設備狀態資料, 啟動雲端 CCS 的 DM, 將設備狀態資料寫入資料庫。
- Step 8: 用戶端啟動 DM 從資料庫取得即時設備狀態資料。

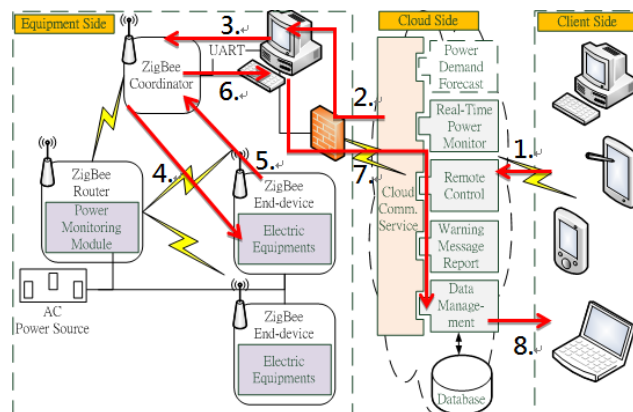


圖 4 遠端控制運作腳本圖

(4) 警告訊息回報 (如圖 5)

- Step 1: 當 PMM 測得受控設備的電流超出限制, 立即將其管理的所有受控設備全數斷電。
- Step 2: ZR 發出 PMM 測得的異常數據之 OTA 給 ZC。
- Step 3: ZC 透過串列埠將異常數據資料轉發給 RMCG。
- Step 4: RMCG 接收到異常數據資料, 啟動雲端 CCS 的警告訊息回報(Warning Message Report, WMR)。
- Step 5: WMR 發送電子郵件或簡訊給相關人員告知電力異常之情形。

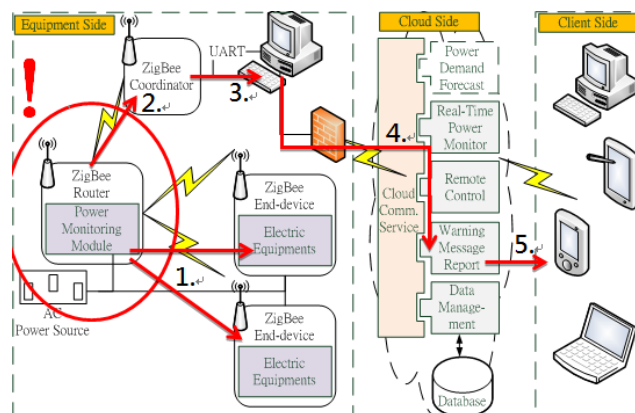


圖 5 警告訊息回報運作腳本圖

4. 系統開發與整合測試

建構根據圖 1 的雲端電力監控系統，在設備端 PMM 模組使用電流鉤表做為量測工具。電流鉤表是利用霍爾元件，對流經導線之電流所產生的磁場，轉化為電壓，故不對電源電力線造成破壞的方式來量取電流值。受控設備則任意連接可正常運作之電器設備。

4.1 系統開發環境

本系統軟體皆於 Windows 7 - 32 位元作業系統進行開發與運作。ZigBee 無線感測網路之嵌入式系統開發工具，使用德州儀器的 Z-Stack 協定堆疊[9]在 IAR Embedded Workbench 進行開發。在 Microsoft Visual Studio 2010 使用 C#物件導向語言開發.NET Framework 程式，包含在個人電腦運作的 RMCG 背景程式、佈署雲端上的 CCS 雲端服務以及 ASP .NET 網頁程式。

雲端平台使用 Microsoft Windows Azure[10]，平台即服務(Platform as a Service, PAAS)，Windows Azure 提供四種不同的 Role，為提供個別的應用程式環境。分別佈署 CCS 服務及 ASP .NET 網頁程式兩個 Web Role，並且使用 SQL Azure 做為系統資料庫。

本系統硬體部分，使用華亨科技的 ZigBee 2007 Pro 開發套件，其搭載 TI CC2530 之 MCU[11]，是具高速低功耗 8051 內核，256KB Flash，8KB RAM，及多項外部設備資源如 DMA、UART、數個計數器、8~14bit ADC、...等，晶片功耗分別為 25mA 與 29mA，空曠環境無線傳輸距離達 450 公尺。

4.2 系統整合測試

具備一台做為 RMCG 的個人電腦。使用 ZigBee 2007 Pro 開發套件中的一組評估板(含 USB 轉換 RS232 模組)做為與個人電腦連接的 ZigBee 協調器，如圖 6，以及數組電池板，做為 ZigBee 路由器延伸通訊距離或連接電流鉤表組成 PMM，如圖 7，以及 ZigBee 終端設備連接一組繼電器驅動電路並連接電器設備，如圖 8。



圖 6 RMCG 與 ZC 實體圖



圖 7 PMM 與 ZR 節點實體圖



圖 8 受控設備與 ZED 節點實體圖

開啟設備端 PC 運作中的 RMCG 背景程式，如圖 9，透過串列埠連接到 ZC。當 PMM 模組的 ZR 節點啟動，RMCG 即接收到該 PMM 模組相關資料。同樣的，當受控設備之 ZED 節點啟動，RMCG 即接收受控設備相關資料，圖中的「0000」，是初始時尚未設定管理該受控設備之 PMM 模組。故須在下拉式選單完成選擇 PMM 模組與受控設備，點擊「Bind」即對受控設備配對管理的 PMM 模組，一旦 PMM 模組發生電流過載情形，受控設備立刻被管理的 PMM 模組強制斷電。由於 PMM 模組短位址是寫入受控設備晶片的非易失性記憶體，故下次受控設備 ZED 節點重新開啟時，已記憶前次設定之 PMM 短位址。

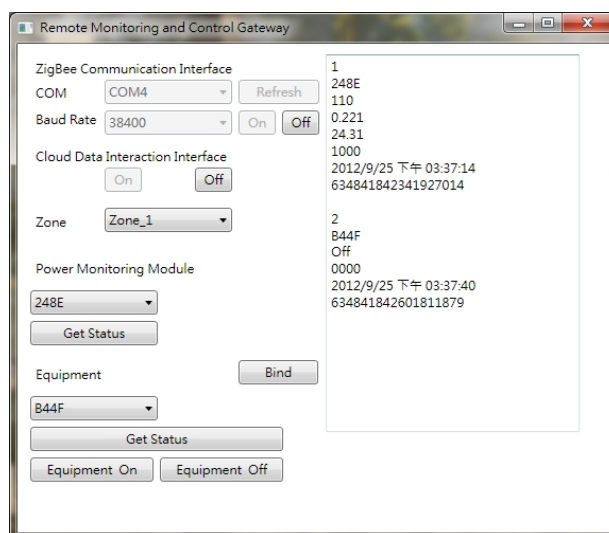


圖 9 RMCG 背景程式

透過佈署在雲端平台的用戶端 ASP 網頁驗證系統功能。進入即時電力監測功能頁面，如圖 10，從下拉式選單即可選擇目前已啟動並運作中的 PMM 模組，並點入「取得即時電力監測數據」，進行對設備端 PMM 模組做量測動作，即可取得該 PMM 即時電力監測數據。

進入遠距控制功能頁面，如圖 11，同樣的從下拉式選單取得目前運作中的受控設備節點，即可對所選擇的設備端受控設備進行「開」、「關」之動作，並同步顯示目前受控設備之開關狀態。



圖 10 即時電力監測功能頁面



圖 11 遠距控制功能頁面

一旦發生 PMM 模組監測到電流過大之情形，立即將其管理的受控設備群下令斷電，並啟動「警號訊息回報」功能，發送電子郵件告知相關人員，接收到的通知信件如圖 12。

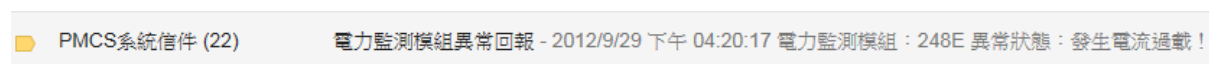


圖 12 設備端發送之電子郵件訊息

5. 結論

本系統實作完成一個具基本功能的雲端電力監控系統，提供位在遠端的系統使用者，對佈署在各地的設備端進行即時監測與控制。

佈署於雲端 CCS 的網路服務項目，除了能使用各式可上網行動裝置從網頁瀏覽器進入提供的網頁 GUI 去啟動，也可以客製化開發例如：Microsoft Windows Phone 手機應用程式去啟動 CCS 服務項，使系統使用者對設備端監控與管理的方式不受侷限，以及警告訊息回報的處理機制，讓設備端立即採取緊急反應措施並使相關人員可第一時間得知狀況。如此本系統具備有效率的設備維護以及便利性的設備管理。

6. 致謝

本研究承蒙國科會經費補助，計畫編號：NSC 101-2221-E-034-023，謹誌謝忱。

7. 參考文獻

- [1] M.-H. Hung, F.-T. Cheng, S.-C. Yeh (2005). Development of a Web-Services-Based e-Diagnostics Framework for Semiconductor Manufacturing Industry. IEEE TRANSACTIONS ON SEMICONDUCTOR MANUFACTURING, VOL. 18, NO. 1, FEB
- [2] <http://www.zigbee.org/>
- [3] 陳鵬宇 (2004)，具備用電監測點隨插即用能力之電能管理系統，碩士論文，國防大學中正理工學院電子工程研究所，桃園。
- [4] 張仁偉 (2006)，開發基於 DSP 及嵌入式技術之電能監控系統，碩士論文，國防大學理工學院，桃園。
- [5] 吳雅慧 (2011)，發展植基於 ZigBee 技術之新式電力監控系統，碩士論文，國防大學理工學院，桃園。
- [6] J.-Y. Cheng, M.-H. Hung, S.-S. Lin, F.-T. Cheng. New Remote Monitoring and Control System Architectures based on Cloud Computing.
- [7] <http://msdn.microsoft.com/zh-tw/library/dd456779.aspx>
- [8] 華亨科技股份有限公司，IEEE 802.15.4 標準和 ZigBee 協議規範。
- [9] 華亨科技股份有限公司，ZigBee 無線定位開發系統 Z-Stack 協定堆疊開發指南。
- [10] <https://www.windowsazure.com/zh-tw/home/features/overview/>
- [11] <http://www.ti.com/product/cc2530>
- [12] 詹敬民 (2012)，發展具備有效率資料聚集及節點管理機制之 ZigBee 監控系統，碩士論文，國防大學理工學院，桃園。
- [13] <http://msdn.microsoft.com/zh-tw/library/default.aspx>
- [14] Henry Li (2009). Introduction to Windows Azure.
- [15] Scott Klein, Herve Roggero (2010). Pro SQL Azure.

DESIGN AND IMPLEMENTATION OF POWER MONITORING AND CONTROL SYSTEM BASED ON CLOUD COMPUTING

*Jia-wei Lai*¹ *Min-Hsiung Hung*^{2*}

¹ Graduate Institute of Digital Mechatronic Technology
Chinese Culture University, Taiwan, R.O.C

² Department of Computer Science and Information Engineering
Chinese Culture University, Taiwan, R.O.C

* Email: hmx4@faculty.pccu.edu.tw

ABSTRACT

To reduce the construction cost of the servers in a networked power monitoring system as well as to integrate and manage distributed power monitoring devices, this study combines and utilizes ZigBee wireless sensor network (WSN) and cloud computing technologies to design and implement a wireless power monitoring and control system (WPMS). The power monitoring server built and deployed in the cloud possesses several key power monitoring capabilities, including real-time power monitoring, remote control on power monitoring devices, abnormality detection, and alarm message notification. In addition, the WPMS adopts ZigBee WSN to timely monitor the power usage statuses of distributed devices and facilities. Testing results are shown to validate the efficacy of the developed WPMS.

Keywords: *Cloud Computing, Power Monitoring System, ZigBee Wireless Sensor Network*