

基於雲端運算之無線感測網路節點管理與監控平台研發
Development of a WSN-Nodes Management and Monitoring Platform
based on Cloud Computing

趙瑜

Yu Chao

中國文化大學

資訊工程系

學生

A1250381@ulive.pccu.edu.tw

洪敏雄

Min-Hsiung Hung

中國文化大學

資訊工程系

教授

hmx4@faculty.pccu.edu.tw

摘 要

本論文基於雲端運算開發一個 ZigBee 無線感測網路節點管理與監控平台，稱為 CZMMP (Cloud-based ZigBee Management and Monitoring Platform)，可讓使用者透過雲端服務來管理部署於工廠內的無線感測節點。CZMMP 由各式 RESTful 雲端服務、雲端網頁伺服器、雲端資料庫、工廠端控制伺服器及 ZigBee 無線感測網所組成。除了系統架構設計與 ZigBee 無線感測網路之拓樸設計，本論文也提出一個簡易的階層式 ZigBee 節點編號方法與設計一個 ZigBee 節點部署機制。最後我們將 CZMMP 應用於一個工廠監控的應用案例，實驗測試結果顯示，本論文所提出之 CZMMP 可方便地管理 ZigBee 無線感測網(WSN)中的各個節點，並擷取工廠內的感測資料至雲端資料庫。本研究的成果可作為建置基於 ZigBee 無線感測網物聯網(Internet of Things, IoT)之參考。

關鍵詞：Zigbee、監控平台、無線感測網路、雲端運算

Abstract

In this paper, a cloud-based ZigBee management and monitoring platform (CZMMP) is developed. CZMMP allows the user to easily manage the ZigBee sensor nodes in the factory through cloud services. CZMMP consists of RESTful Web services, a Web server, Web GUIs, and a database in the cloud, as well as a control server and a ZigBee wireless sensor network (WSN) in the factory. In addition to system architecture design and topology design of the ZigBee WSN, we also propose an easy hierarchical numbering method for ZigBee sensor nodes and design a ZigBee node deployment mechanism. Finally, we apply the CZMMP to a factory monitoring application case study to conduct tests. Testing results show that the proposed CZMMP can easily manage ZigBee sensor nodes in the factory and collect data from them, in turn, storing the collected sensor data to cloud database. The research result of this paper can be a reference for constructing a ZigBee-WSN based IoT.

1. 前言

隨著科技的進步，目前網際網路已是人與人間重要的溝通管道，實現了人與人之間的連結。而在未來，網際網路將進一步朝物聯網(Internet of Things, IoT)的方向發展[1]。透過物聯網，除了可讓人與人溝通，也可實現人與物間之對話，以及物與物間之通訊。物聯網可促進人類生活的便利性，其背後隱藏龐大的商機，因此各國政府已將物聯網當成國家重要的發展項目，以提升國家經濟與產業競爭力。

廣義的物聯網技術包含無線射頻(RFID)技術、無線感測網路(WSN)技術、機器對機器通訊(M2M)技術及監督控制與資料擷取(SCADA)技術[2]等。物聯網可以用來作為資料收集、資料通訊與決策擬定的基礎建設(Infrastructure)，其能有效支援下一代先進製造系統。

雲端運算是近年網際網路新的運用模式與趨勢，主要可提供3個層次的服務：(1)基礎設施即服務(IaaS)-將運算基礎建設提供作為服務；(2)平台即服務(PaaS)-提供開發者發展、測試、佈署及裝載雲端應用所需之系統與環境；(3)軟體即服務(SaaS)-透過雲端提供各種應用軟體服務。雲端運算可為個人和企業提供可隨需(On-demand)存取的運算與儲存資源，已被許多企業當成重要的IT資源[3][4]。

ZigBee[5]為一種低功耗短距離無線通訊技術，具有低成本、低功耗、信賴度高、複雜度低等特性。每一個ZigBee無線感測網路(Wireless Sensor Network, WSN)可擴充的節點數可達65,535個。ZigBee已廣泛應用於許多領域，包括醫療看護、橋梁監控、建築與能源監控、環境監控、工廠生產監控、工安防護等。

本論文基於雲端運算開發一個ZigBee無線感測網路節點管理與監控平台，稱為CZMMP(Cloud-based ZigBee Managing and Monitoring Platform)，可讓使用者透過雲端服務來管理部署於工廠內的無線感測節點。CZMMP由各式雲端服務、雲端網頁伺服器、雲端資料庫、工廠端控制伺服器及ZigBee無線感測網路所組成。除了系統架構設計與ZigBee無線感測網路之拓撲設計，本論文也提出一個簡易的階層式ZigBee節點標號方法與設計一個ZigBee節點部署機制。最後我們將CZMMP應用於一個工廠監控的應用案例，實驗測試結果顯示，本論文所提出之CZMMP可方便地管理ZigBee無線感測網中的各個節點，並擷取工廠內的感測資料至雲端資料庫。

2. 系統架構設計

基於雲端運算之 ZigBee 無線感測網路節點管理與監控平台之系統架構如圖 1 所示，包含雲端、使用者端與工廠端三部分，分別敘述如下：

2.1 雲端

本研究以RESTful Web Service技術建置不同

雲端服務，其中包含了節點管理服務、資料管理服務與監控服務三種服務，並在雲端建置儲存用的資料庫，讓Zigbee節點可以上傳所收集之資料，並將感測資料儲存至雲端資料庫。此外，在雲端也包含網頁伺服器，以提供系統的網頁式監控操作介面(Web GUIs)，以方便使用者透過瀏覽器操作系統。

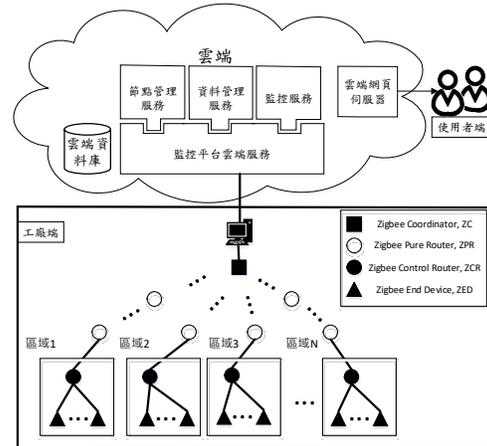


圖 1 系統架構圖

2.2 使用者端

由於雲端服務是以RESTful Web Service [6]的方式呈現，因此使用者可以利用手機、平板電腦、筆記型電腦等設備，從雲端下載Web GUIs來操作本管理與監控平台。

2.3 工廠端

在工廠端，我們建置一個ZigBee無線感測網路，以收集工廠內各個感測器的資料。一個完整的Zigbee無線感測網路是由ZigBee協調器(ZigBee Coordinator, ZC)、ZigBee純路由器(ZigBee Pure Router, ZPR)、ZigBee控制路由器(ZigBee Controller Router, ZCR)及ZigBee終端節點(ZigBee End Device, ZED)所組成，其用途分別說明如下：

(1) ZigBee感測裝置(ZED)：

因應各類監控需求，本研究設計透過ZED連接各式感測元件，以進行資料的擷取。相關的感測元件可包含環境感測元件(例如，如溫、濕度感測器、壓力感測器、光感測器等)與設備感測元件(如電壓感測器、電流感測器、震動感測器等)。ZED彼此間無法通訊，必須透過其上一層的ZCR通訊。

(2) ZigBee控制路由器(ZCR)：

本研究在每一個監控區域中設計一個唯一的ZCR)透過ZCR可以控制與管理該監控區域內所有的ZED感測節點，並負有資料收集與融合的任務，當資料蒐集與融合任務完成後立即將資料向ZC傳送。

(3) ZigBee純路由器(ZPR)：

ZPR 僅負責資料的轉發與傳送，其主要用來延伸 ZC 與 ZCR 之間的無線傳輸距離。

(4) ZigBee 協調器 (ZC) :

ZC 主要負責建立與啟動 WSN，管理與控制 WSN 網路中的所有感測節點，並透過 UART 通信埠與監控伺服器互聯。監控伺服器可以透過 ZC 進行管理與控制 WSN 中的 ZED，且當 ZC 接收到 ZED 傳送來的資訊後，會將此訊息傳送至監控伺服器，監控伺服器再將所收集的資料透過資料收集雲端服務，儲存到雲端資料庫中，以提供管理人員進行感測網路的監控任務。

3. ZigBee 節點管理機制之設計

3.1 ZigBee 無線感測網路之拓樸設計

常見的 Zigbee 網路拓樸包含了網狀 (Mesh)、星狀 (Star)、樹狀 (Tree)。就節點的管理與控制而言，網狀拓樸較為複雜。由於每個 Zigbee 裝置的傳輸距離理論上小於 100 公尺，使得星狀拓樸在會限縮 ZigBee WSN 之監控範圍。因此，本研究以樹狀拓樸來設計 ZigBee WSN。如圖 1 所示，樹狀拓樸結構以 ZC 為樹根，然後透過 ZPR 與 ZCR 來傳遞訊息，最後在每個監控區，由 ZCR 負責管理與監控該監控區的 ZED。ZPR 純粹作為轉傳資料之用，因此，不用對其做特別的設計與管理。

3.2 Zigbee 裝置之節點編號設計

在 ZC 建立 WSN 後，每當有 ZPR、ZCR 或 ZED 加入網路以後，ZC 將會主動分配一個隨機的 2 Byte 的短位址給該裝置，但對使用者而言，不易了解 2 Byte 位址的意義。因此，為方便管理 ZigBee 節點，本研究設計一個易懂的節點編號，如圖 2 所示：

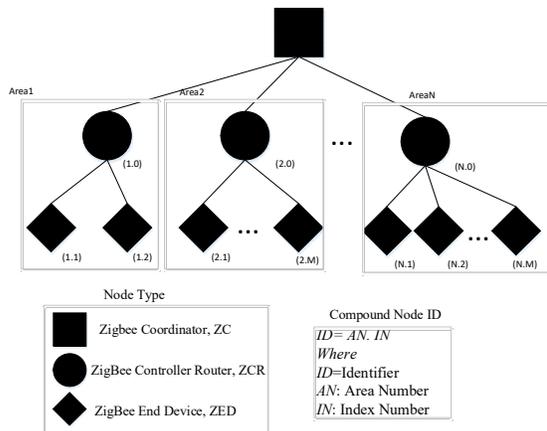


圖 2 節點編號示意圖

管理節點編號分成兩個部分，前半段為所在區域編號 (AN)，後半段為其自身在該區的索引編號 (IN) 所共同組成。如圖 2 所示，在區域 1 (Area1) 的控制路由器 (ZCR) 編號為 (1.0)，其所連接的終端節點 (ZED) 編號為 (1.1) 以此類推，在第 N 個區

域的控制路由器 (ZCR) 的編號為 (N.0)，其終端節點的編號則是 N.1, N.2, ..., N.M。

最後將短位址與管理節點編號做對應，儲存於監控平台的節點儲存資料表，就能夠透過監控平台輕鬆的管理部署完成的 ZigBee 感測節點。

3.3 Zigbee 節點儲存資料表設計

為了將關聯的節點與短位址關聯，並將該節點資料的位置記錄下來，在此設計了節點儲存資料表，其內容如表 1 所示。前五個欄位負責儲存 ZigBee 節點的編號資訊，包含管理節點編號 (MNN)、節點類型 (Type)、節點短位址 (NSA)、父節點短位址 (SAUN)、節點長位址 (NLA)。後半段儲存 ZigBee 節點在工廠內的相關資訊，包含座標 x (CX)、座標 y (CY)、區域名稱 (ANa)。

表 1 感測節點資料表範例

No.	Column	Type	Description
1	MNN	varchar(10)	Management Node Number
2	Type	int	Node type
3	NSA	varchar(4)	Node Short Address
4	SAUN	varchar(4)	Short Address of upper node
5	NLA	varchar(16)	Node Long Address
6	Cx	int	x Coordinate of node
7	Cy	int	y Coordinate of node
8	AN	varchar(50)	Area Name

3.4 Zigbee 節點部署流程設計

為了讓使用者能透過網頁來管理節點，必須將節點部署至欲管理的區域當中，部署流程如圖 3，說明如下：

- 1) ZC 啟動網路，會指定一個網路識別號 (PAN ID)，用來提供節點加入網路。
- 2) 將 ZC 連接至控制伺服器的 COM port 上，連上以後使用 UART 的方式傳輸資料。
- 3) 按下 ZC 之按鈕，啟動自動化獲得節點相關資訊程序，完成 ZC 的管理節點編號。
- 4) 將 ZC 的管理節點編號、長位址及短位址儲存至雲端資料庫。
- 5) 加入一個 ZCR 至 WSN。
- 6) 判斷 ZCR 是否有在 ZC 的網路範圍當中，如果不在範圍內，就執行步驟 7，加入 1 個 ZPR 來延伸網路傳輸距離；否則執行步驟 11，進行網路位址的分配。
- 7) 將 ZPR 加入 WSN 中。
- 8) ZPR 進行網路位址分配。
- 9) 按下 ZPR 之按鈕，啟動自動化獲得節點相關資訊程序，完成 ZPR 的管理節點編號。
- 10) 將 ZPR 的管理節點編號、長短位址及父節點

短位址儲存至雲端資料庫。

- 11) ZCR 進行網路位址分配。
- 12) 按下 ZCR 之按鈕，啟動自動化獲得節點相關資訊程序，完成 ZCR 的管理節點編號。
- 13) 將 ZCR 管理節點編號、長短位址及父節點短位址儲存至雲端資料庫。
- 14) 加入 ZED 至 WSN。
- 15) ZED 進行網路位址分配。
- 16) 按下 ZED 之按鈕，啟動自動化獲得節點相關資訊程序，完成 ZED 的管理節點編號。
- 17) 將 ZED 之管理節點編號、長短位址與父節點短位址儲存至雲端資料庫。
- 18) 判斷是否加入其他 ZED，若需要加入，則執行步驟 14；否則，執行步驟 19，加入其他 ZCR。
- 19) 判斷是否加入其他 ZCR，若需要加入，則執行步驟 5；否則，結束節點部署流程。

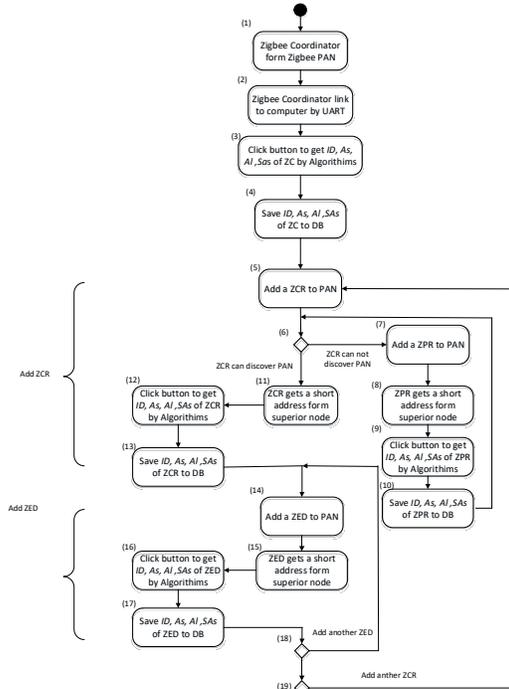


圖 3 節點部署流程

3.5 傳輸資料格式設計

資料傳輸部分分成兩大部分，一部份是 ZED 接收到的資料透過 ZCR 將資料傳輸到協調器 ZC，其資料傳輸格式如圖 4。另一部份則是控制伺服器透過 RESTful Web Service 的資料傳輸，其資料格式採用 JSON，如圖 5 所示。

(1) 傳輸資料格式

如圖 4，ZigBee 傳輸資料包含了 12 個項目，分別說明如下：

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1.1	14	2C1D	D773	00124B00023F120B	06	5C	01	94	07	1A	00

圖 4 Zigbee 傳輸資料格式設計

1) 管理節點編號：

ZigBee 網路中每個節點皆有其發配的短位址，管理節點編號則是為了使用者能簡單對應該節點而設計的節點編號。

2) 節點種類：

每個節點都有不同的類型，如最上層的 ZC、負責延長傳輸距離的 ZPR 等，對每種不同的節點給予不同的編號。

3) 短位址：

加入 Zigbee 後會接收到的位址，此位址在此 ZigBee WSN 中是唯一的，當資料傳輸會透過此位址來找尋節點。

4) 上層節點短位址：

其上層節點的短位址，為將資料上傳至上層節點時所使用的位址。協調器為最上層的節點，故其上層節點短位址為 0000。

5) 長位址：

為該設備的固定位址，如同網卡的 MAC 位址，設備出廠後此位址固定不會更改，因此不受加入的網路所影響。

6) ~ 12) 傳輸資料：

儲存 ZED 所感測的資料，由於不同的感測器，傳送的資料長度也不同，因此在此處保留了 16 個 byte 來傳送資料。

(2) RESTful Web Service 傳輸資料

本研究的 RESTful Web Service 的傳輸資料採用 JSON 格式，如圖 5 所示。資料從 Zigbee 網路傳送至電腦時，電腦會將 Zigbee 資料傳輸模型之資料，轉換成 JSON 資料模型的形式，然後呼叫 RESTful Web Service 將資料傳送至網路資料庫儲存，以便使用者透過網頁去管理節點。

```
["MMN": "1.1", "Type": "1", "NSA": "2C1D", "SNSA": "D773", "NLA": "00124B00023F120B", "CX": "153", "CY": "300", "AN": "stroage"]
```

圖 5 RESTful Web Service 的傳輸資料格式

3.6 雲端管理服務與使用者操作介面

為了達到方便管理 ZigBee WSN 的網路節點，我們使用 RESTful Web Service 建立了一些服務來管理我們的節點，包含了節點管理服務、資料管理服務、監控服務與雲端網頁。

(1) 節點管理服務：

當節點加入網路之後，我們將會透過設備上的按鈕來自動化取得節點編號(請參考部署流程圖，如圖 3)，加入的節點會傳送要求到電腦再傳送至雲端，雲端會計算該節點的管理節點編號後，將該節點編號傳送給設備。

(2) 資料管理服務：

節點加入網路之後，取得的短位址、長位址等資訊，將會透過此服務儲存至雲端資料庫中。

(3) 監控服務：

使用者透過網頁來監控設備，而此服務會將使用者想知道的訊息傳送給網頁，來提供使用者

監控節點狀況。

(4) 雲端網頁：

透過視覺化介面，將目前的設備狀態，以圖形化介面方式呈現，會依照設備所在地點、設備狀態等相關訊息，顯示給使用者觀看。

4. 案例測試

4.1 系統實作

4.1.1 工廠端

本論文以原紙製造工廠為範例，在工廠模型中部署不同的感測器來接收工廠環境資料狀況，如圖 6 所示。圖左下方為 ZC，其右方為 ZCR，以及兩個 ZED，分別連接亮度感測器與溫溼度感測器，以這三種設備構成一個樹狀的 ZigBee WSN。

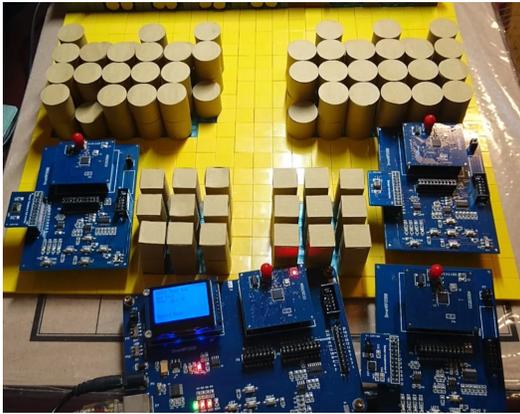


圖 6 工廠模型

ZED 接收到資料後會上傳到 ZCR，再上傳到 ZC，然後 ZC 會將資料透過 UART 的方式上傳至控制伺服器，進而透過雲端服務上傳到雲端資料庫中。圖 7 為接收資料的畫面，圖右上方的框格可以看到 ZC 上傳過的資料，圖右下方框格則是顯示最後一筆接收到的資料數值。資料上傳之後各節點資料會在左邊白框內以樹狀圖方式顯示其所連接的節點，使用者可以透過滑鼠點擊後確認該節點的狀態。



圖 7 資料傳輸視窗

4.1.2 使用者端

工廠端的資料上傳至雲端資料庫後，使用者必須先將感測器與現場狀況搭配後，就能透過管理畫面簡單的看到目前狀況。如圖 8 所示，存放

區有攝影機的標誌，表示該區域已配置感測器在內，其他加號的標誌表示尚未配置感測器，當遇到感測器狀況時，則會顯示又叉的標誌，讓使用者一目了然。



圖 8 監控平台首頁

使用者也可以點擊畫面中的標誌，進入區域平面圖來觀看感測器所在位置。找到所在位置後，點擊感測器標誌就能看到該感測器的詳細數值。如圖 9 所示，我們能看到畫面右上角與右下角有兩個圖標分別為亮度感測器與三軸感測器，此時我們與工廠模型比對一下，可以發現工廠模型感測器的擺放位置與監控平台平面圖是一致的，這樣就能夠更簡單讓使用者去管理工廠內各個感測節點的狀況。

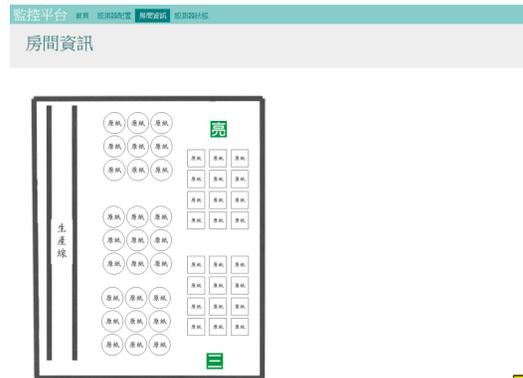


圖 9 區域平面圖

4.1.3 雲端

雲端部分透過 RESTful 完成了節點管理服務、資料管理服務與監控管理服務。如圖 10 所示透過 RESTful 呼叫管理服務時回傳的 JSON 格式資料。



圖 10 RESTful 回傳的 JSON 資料

如圖 11 所示，資料上傳後將會將資料儲存至節點儲存資料表內。

id	MACNo	Type	NGA	SNSA	NLA	CK	CY	ANo
1	00	0	0000	0000	00124800026778C	0	0	manage
2	1.0	1	D773	0000	00124800023F1151	0	0	storage
3	1.1	20	15FA	D773	00124800023F0F7F	759	190	storage
4	1.2	14	2C1D	D773	00124800023F120B	745	104B	storage

圖 11 節點儲存資料表

4.2 測試運作流程

本研究也進行了以下兩個運作流程之測試，以驗證系統設計的有效性。

4.2.1 節點部署流程

依照前面所設計的節點部署流程，完成了節點部署流程的動作，其動作如圖 12 所示：

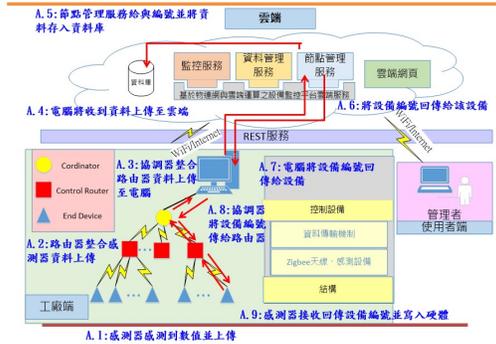


圖 12 節點管理流程

- 1) 感測器感測到數值並上傳。
- 2) 路由器整合感測器資料上傳。
- 3) 協調器整合路由器資料上傳至電腦。
- 4) 電腦將收到資料上傳至雲端。
- 5) 節點管理服務給與編號並將資料存入資料庫。
- 6) 將設備編號回傳給該設備。
- 7) 電腦將設備編號回傳給設備。
- 8) 協調器將設備編號傳給路由器。
- 9) 感測器接收回傳設備編號並寫入硬體。

4.2.2 資料傳輸流程

當節點部署完成後，接著使用者就能透過網頁來管理資料，其流程如圖 13 所示：

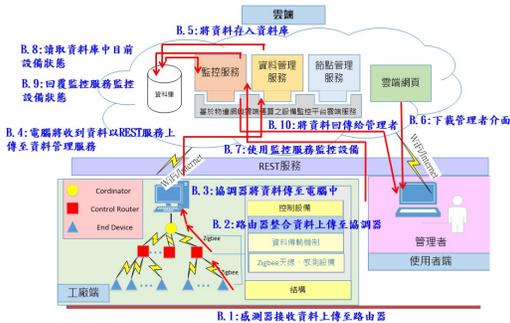


圖 13 資料傳輸流程

- 1) 感測器接收資料上傳至路由器。
- 2) 路由器整合資料上傳至協調器。
- 3) 協調器將資料傳至電腦中。
- 4) 電腦將收到資料以 REST 服務上傳至資料管理服務。
- 5) 將資料存入資料庫。
- 6) 下載管理者介面。

- 7) 使用監控服務監控設備。
- 8) 讀取資料庫中目前設備狀態。
- 9) 回覆監控服務監控設備狀態。
- 10) 將資料回傳給管理者。

4.3 測試結果

測試結果顯示，系統可以按照所設計的測試流程成功運作，驗證了系統設計的有效性。圖 14 為以吹風機來模擬改變溫度感測器的溫度狀態，其為五分鐘的溫度折線圖，可以明顯看見溫度狀況的改變。

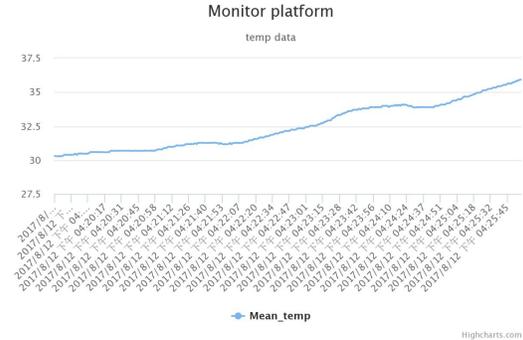


圖 14 溫度折線圖

5. 結論與未來展望

本論文基於雲端運算開發一個 ZigBee 無線感測網路節點管理與監控平台 CZMMP，可讓使用者透過雲端服務來管理部署於工廠內的無線感測節點。我們將 CZMMP 應用於一個工廠監控的應用案例，實驗測試結果顯示，本論文所提出之 CZMMP 可方便地管理 ZigBee 無線感測網中的各個節點，並擷取工廠內的感測資料至雲端資料庫。本研究的成果可作為建置基於 ZigBee 無線感測網路物聯網之參考。本研究未來研究方向包括增加更多區域的 ZigBee 網路，讓雲端能夠同一時間完成多區域的管理，達到多空間多節點的節點管控，也可以透過雲端接收到的資料進行分析。

致謝

作者感謝科技部(計畫編號: 105-2815-C-034-010-E)及中國文化大學經費補助。

參考文獻

- [1] M.A. Feki, F. Kawsar, M. Boussard, and L. Trappeniers, "The Internet of Things: The Next Technological Revolution," IEEE Computer, Vol. 46, Issue 2, pp 24-25, February 2013.
- [2] H. Zhou, The Internet of Things in the Cloud-A Middleware Perspective, CRC Press, Taylor & Francis Group, LLC, 2013.
- [3] C. Fehling, F. Leymann, and R. Retter, "Your

- Coffee Shop Uses Cloud Computing,” *IEEE Internet Computing*, Vol. 18, Issue 5, pp. 52-59, September–October 2014.
- [4] H. Zhang, G. Jiang, K. Yoshihira, and H. Chen, “Proactive Workload Management in Hybrid Cloud Computing,” *IEEE Transactions on Network and Service Management*, Vol. 11, No. 1, pp. 90-100, March 2014.
- [5] P. Baronti, et al., "Wireless sensor networks: A survey on the state of the art and the 802.15.4 and ZigBee standards," *Computer Communications*, vol. 30, pp. 1655–1695, 2007.
- [6] Roy Thomas Fielding, *Architectural Styles and the Design of Network-based Software Architectures*, Chapter 5, Dissertation, UNIVERSITY OF CALIFORNIA, IRVINE, 2000.