

以物聯網為基礎之雲端監控平台實作

Implementation of the IoT Based Cloud Monitor System

王炳聰*、陳漢強**、林君威*、郭朕榮*、楊崇暉*

*崑山科技大學/電機系、**工業技術研究院/家庭網路科技中心

email : wping@mail.ksu.edu.tw

摘 要

本系統在加強物聯網中的無線感測網路之雲端監控功能，以實現監控人員不在無線感測網路附近，只要連上雲端，便可以監控無線感測網路(私有雲)。由於本系統在 WSN 監控平台內架設起 Internet，以執行 Web Server 與使用 GSM/GPRS Modem 連接電信網路來與雲端結合(公有雲)。本監控平台可應用在家庭環境監控與物聯追蹤兩大部份，在硬體設計部份使用亞信 ASX11015 網路處理片為核心，內嵌 TCP/IP Offloading Engine；而在軟體部份執行嵌入式 uIP 與 Web Server，並驅動 SPI 介面控制無線模組，連接 WSN 與驅動 HSUART 控制 GSM/GPRS Modem，連上電信網路來整合物聯網之雲端監控平台。

關鍵詞：物聯網、無線感測網路、工業科學醫療、TCP/IP 引擎、射頻標籤

Abstract

In this project, we proposed the IoT based wireless sensor network monitor system which integrated two networks such as Internet and Telecom in the Cloud. The administrator can use mobile phone or Laptop to get status from the Wireless Sensor Networks (Private Cloud) around the service location of GSM base station or Internet respectively (Public Cloud) and use this system to monitor home environment and machine flow tracking.

We separate hardware and software to design this platform. In the hardware part uses ASX11015 chip within TOE. In the software part, we ported the uIP and Web Server to WSN monitor system for Internet connectivity, add SPI driver to control Radio Module for WSN

connectivity and add HSUART driver to control GSM Modem for Telecom connectivity.

Keywords: IoT、WSN、ISM、TOE、RFID

1、前言

一般而言，物聯網(Internet of Things)即『物物相聯的網際網路』之意，因此物聯網的一大特色為創造物與物的溝通系統。在互聯網(Internet)的時代，每部電腦前面都要坐個人，然後由人去發號命令，以操作電腦來完成資訊的溝通；而在物聯網(Internet of Things)的時代，許多事情並不需要人的介入，而是人只要制定好規則，然後交給物與物去溝通即可，在物與物的溝通與運算後，便可將成果呈現出來。本文所使用的運算主要在網際網路上執行運算，因此稱為雲端運算，將這兩者結合起來，必能強化物聯網功能，以實現節省執行物聯網功能所額外付出的成本。

一般而言，物聯網(Internet of Things)亦可稱為傳感網，意指物聯網可將各種傳感設備之訊息，諸如射頻識別(RFID)裝置、紅外線感應器、全球定位系統、激光掃描器與各種感測器等裝置，利用網際網路結合起來，以形成的一個巨大網絡系統。若利用網際網路，將這些裝置連接在一起，便可方便識別與管理。由於物聯網可利用這種無所不在的網絡技術建立起來，此技術實為計算機、網際網路與移動通信網後的又一次訊息產業浪潮，這將創造出一個全新的技術領域。

根據數據顯示，2010 年全球 RFID 市場規模，已從 2009 年的 49.3 億美元上升到 52.9 億美元，這個數字覆蓋了 RFID 市場的方方面面，包括標籤、閱讀器、其他基礎設施與軟件

和服務等，因此目前 RFID 已為市場相當關注的技術，這將可作為物聯網發展的排頭兵。目前 RFID 卡相關基礎設施大約佔市場的 57.3%，已達 30.3 億美元。目前來自金融與安防行業的應用，亦將推動 RFID 卡類市場的增長，據易觀國際預測，2010 年中國 RFID 市場規模將達到 50 億元，且年復合增長率為 33%，其中電子標籤超過 38 億元、讀寫器接近 7 億元，而在軟件與其他服務，亦可達到 5 億元的市場格局。

本論文所開發的監控平台，主要專注於物聯網之物聯追蹤與雲端家庭監控等兩大方向，並使用低成本的國產通訊晶片亞信 ASX11015 晶片[2]為核心，做為連接無線感測網路、電信網路與有線網際網路的基本 Infrastructure，應用在物聯追蹤或雲端監控家

中的無線感測網路，以蒐集家中的溫度、濕度、二氧化碳、保全裝置與紅外線感測器等各式感測器節點之訊息，並透過網際網路與電信網路來偵測與控制。

在物聯雲端監督平台設計上，使用亞信 ASX11015 的嵌入式網路處理晶片為基礎，開發週邊硬體連接與晶片內部韌體程式。在硬體方面額外加入 CC1100 無線模組與 GSM Modem 於開發平台週邊，讓開發平台能連接無線感測網路與電信網路。由於在乙太網路方面，亞信 ASX11015 晶片內部，已有支援 Ethernet MAC/PHY 之功能，且有硬體 TOE 的 Checksum Offload 來加速處理 TCP/IP 之能力，因此可連接上 Internet。目前在開發板上聯結這 3 大網路(無線感測網路、網際網路與電信網路)技術之雛型系統，如圖 1 所示。

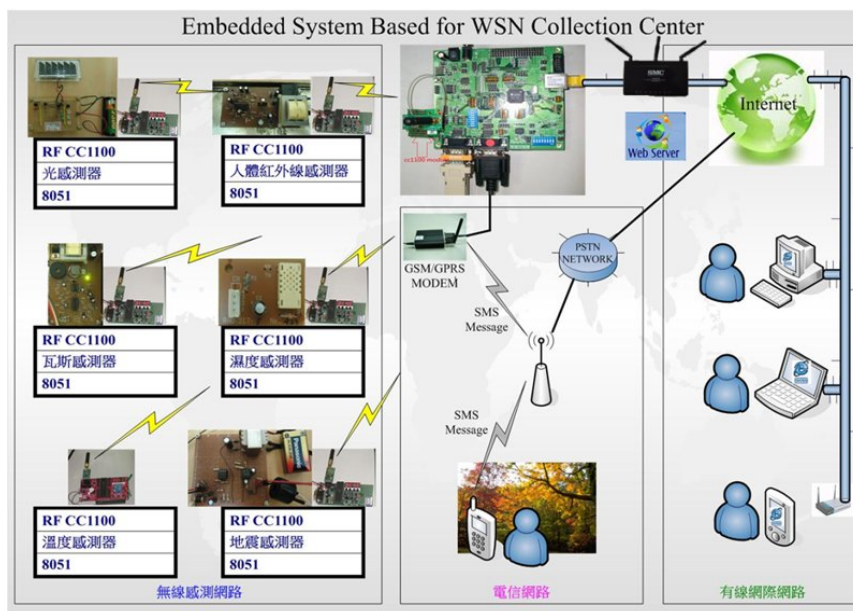


圖 1 物聯網之 WSN 監控系統架構

2、監控平台之系統架構

本系統之主架構，如圖 1 所示。觀察圖 1 可知，本系統主要分成無線感測網路區域、嵌入式系統監控平台與使用者端監控方式等 3 大部分[3-6]，接著詳細說明這 3 大部分之主要功能如下：

2-1 無線感測網路區域

本區域為感測器[7]加上無線收發技術之結合，在感測器部份包含溫度、溼度、光度、二氧化碳與地震等監測，負責將感測到的數據傳送回嵌入式系統監控

平台，而這些感測器可應用於下列 5 種場所[8-11]：

- 以家庭自動化監控而言，應有室內外溫度、溼度、瓦斯與門窗等需要監控。
- 以園藝業而言，應有光度與溼度需要監控。
- 以養殖漁業而言，應有水溫與水量高度需要監控。
- 以大地氣象而言，有溫溼度、地震與紫外光強度需要監控。
- 以工廠自動化而言，應有工廠自動化的各式感測器之監控。

本系統之感測器可具備 24 小時不停持續的運作，除將感測數據傳回嵌入式平台之外，並能接收來自嵌入式系統監控平台的命令，以做出相對應的動作。由於電池技術的改進（如太陽能電池）、通訊技術與低功耗之嵌入式處理技術的迅速發展，促使微小電子裝置可內嵌精密感測、計算與通訊等多樣化功能。由於此類感測器，不但能偵測與感應環境的變化，更能分析所蒐集到的資訊，再透過無線通訊的功能，將資料傳回至後端的 PC 終端機。

在無線感測網路中，由於感測器的硬體設計，大部分皆以成本、體積與耗電為主要考量，導致在裝置節點本身所配備之電源、記憶體與運算能力，均受到極大的限制，因此無線感測器的省電，將會是一大挑戰。若能在電池模式下，搭配太陽能電池，便可實現持續運作之功能，因此無線感測器網路，被歸類為一個以任務導向的應用網路型態[12-15]。

通常感測器的精密度會隨著農、漁業或家內偵測的解析度亦有所不同，因此感測器的挑選，必須搭配所對應的場合有所不同，諸如照顧農、漁業的感測器，須有極高的感測能力，才能控制好穩定的光度、溫度與溼度，讓所栽培的農、漁業產品有更好的品質。

2-2 物聯追蹤之雲端監控平台

一般而言，RFID 為無線電射頻識別技術，此為一項新興通訊技術，透過無線電訊號識別物件，即可進行讀與寫之操作。目前這項技術已廣泛應用到不同的生活層面，諸如八達通與特區護照等，皆可達到讓生活更為便利之功能。若將 RFID 為無線電射頻識別技術加入雲端監控平台，便能夠實現即時監控貨物情況的智能物流監控系統，該系統的特色在於標籤內，裝有多種傳感器，以量度所附物件的溫度、濕度與震動情況，此外物品載具，亦可經由 GPS 定位，配合 GSM/GPRS 網路將承載物品的貨車進行追蹤定位訊息，再經由雲端回傳到監控中心，雲端監控中心則負責資料儲存與物聯追蹤的運算。

由於雲端中心必需有一個很大的 Storage Pool，將每天由無線感測節點或 RFID 節點所得到之感測資料、定位座標與物流的傳遞時間。這些數據每天都被製造出來，且須將這些資料儲存一段時間，以提供追蹤與查詢之用途，因此雲端儲存的技術變得非常重要。用戶僅須將標籤貼於貨箱內，傳感器便可將所讀得的數據，通過無線電發送到接收器。當數據超出預設的標準，系統便會即時發出警報，讓運輸工人能及時作出調整。而一種 RFID 物流追蹤之系統架構範例，如圖 2 所示。

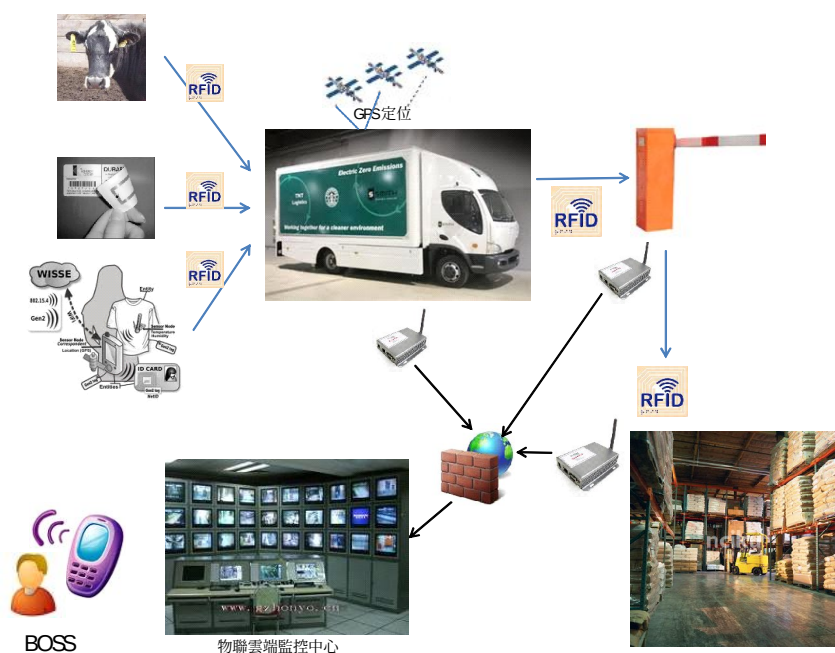


圖 2 物聯網之 RFID 物聯追蹤監控架構

本監控平台之硬體部分，包含亞信 ASX11015 晶片內建有線乙太網路、CC1100 RF 無線模組與 GSM Modem 等 3 部份：

(1) 亞信 ASX11015 晶片：

由於此晶片已內建有線乙太網路，利用亞信 ASX11015 晶片內部硬體架構，可打造出連上網際網路的介面，而這些必要條件如下：

- 亞信 ASX11015 晶片內部提供 Ethernet PHY(10/100Mbps)。
- 亞信 ASX11015 晶片內部提供 Ethernet MAC, Ethernet Packet Buffering Size 為 12KB SRAM。
- 亞信 ASX11015 晶片內部提供硬體 TOE 處理電路。

由於 TOE 之加速 IP/TCP/UDP/ICMP/IGMP 封包之 Checksum 的產生與檢查，且具備 ARP 處理電路。因此電路板上，僅需一顆亞信 ASX11015 晶與 RJ-45 網路接就可連上網路。

(2) CC1100 RF 無線模組：

在無線傳輸的晶片上，本系統採用 TI 所提供的 CC1100 晶片，這晶片具備低成本、低耗電量與發射頻率在 1GHz 以下的收發能力，典型的操作範圍在 Sub 1GHz 的頻帶，亦即 315/433/868/915 MHz 的 ISM/SRD Bands，因此適合用在無線感測網路、家庭自動化控制、工業監控與控制與無線警示與安全系統。

在 RF 的效能部份，具有 High Sensitivity (-111dBm at 1.2k Baud)、Low Current Consumption(14.4 mA in RX)、可程式化的功率輸出 Up to +10dBm、可程式化的 Data Rate(1.2k 至 500k)、可程式化的調變方式(ASK, OOK, GFSK, MSK)與可程式化的頻率範圍(433M ~ 1GHZ)之優勢。

由於 CC1100 模組在與 ASX11015 晶片連接的部份，ASX11015 晶片提供 3 組對外部 SPI 設備進行溝通之 SPI 介面，加上 ASX11015 晶片本身屬於 SPI Master，而 CC1100 模組則屬於 SPI Slave 介面，因此使用 ASX11015 晶片的 SPI_0 作為與 CC1100 模組溝通，在軟體層僅需將要收

送的數值，填入 SPI_0 硬體的資料暫存器中，則 SPI_0 的硬體電路就會自動產生 SPI_SCK、SPI_MISO、SPI-MOSI 與 SPI_CS 等訊號來與 CC1100 模組溝通。

(3) GSM Modem：

本系統使用亞信 ASX11015 晶片的 UART2 介面來與外接式 GSM Modem 或內接式的 GSM/GPRS Module 連接，如圖 3 所示。觀察圖 3 可知，UART2 串列介面是屬於高速串列介面 (High Speed UART)，本身具備硬體流量控制與 Modem Control Functions (CTS, RTS, DSR, DTR, RI 與 DCD)硬體接收，且傳送之深度為 16 bytes 的 FIFO，亦即硬體最多容納 16 個字元，因此軟體必需要處理掉這 16 個字元，否則後面進來的資料就覆蓋，且 Baud Rate 速度可支援到 921,600 bps。

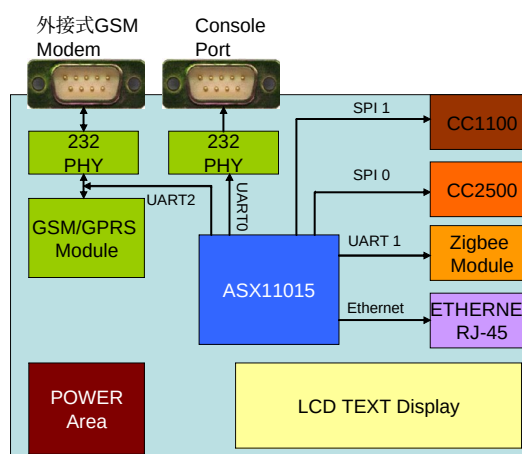


圖 3 本系統之程式開發架構圖

在無線感測介面，主要用來接收感測網路端所感測到之訊號，再透過有線網路介面，便可連接上 Internet 與全世界接軌，而 Hsuart 部分，可用來與 GSM/GPRS Modem 連接，透過 Uart 介面發送 AT Command 與送出 WSN 節點偵測到緊急狀況時，雲端監控平台會發送出緊急 SMS 簡訊通知系統管理員進行處理，雲端監控平台，亦可接收系統管理員所發送出來的短簡訊，以進行解讀與控制無線感測網路的某一個無線節點，例如控制燈光 On/Off, 可使具有雙向簡訊 SMS 溝通控制之功能。

本系統之雲端監控平台之軟體堆疊設計，如圖 4 所示。觀察圖 4 可知，軟體堆疊設計包含 SPI、Hsuart、Ethernet 的驅

動程式，如圖 4 的紅色框框處，在開發應用程式時，僅需 Include 這 3 個驅動程式的標頭檔(*.h)，然後呼叫驅動程式提供的 API，即可控制 SPI、Hsuart、Ethernet 等。

在網路協定層的部份，加入 uIP，如圖 4 所示。觀察圖 4 可知，用來結合 ASX11015 提供的 TOE，即可連上有線網路，亦即所謂的雲端。在網路應用層的部份，本系統自行加入自己的 Web Server，並進行網頁設計，以提供雲端能被系統管理員連線進監控平台，以實現無線感測監控或物聯網之物聯追蹤功能。

在軟體設計方面，主要使用 KEIL-C

51 的編譯器，版本為 V7.09 來編譯程式，而輸出的 .HEX 檔可經由亞信的 makeruntime.exe，將執行位址轉換到 24k 的記憶體位址，而不會去覆蓋掉原先 Bootloader 的程式位址。一般而言，Bootloader 的位址範圍，皆從位址 0 開始到 16k 的位置，通常 Bootloader 存在的目的，可讓應用程式透過網路來下載，而取代掉傳統使用 ICE(In Circuit Emulator)來燒程式。由於用網路來下載或更新雲端監控平台的程式意味著，可透過雲端來更新監控平台的韌體程式，讓管理者不需到監控平台旁邊即可進行更新工作。

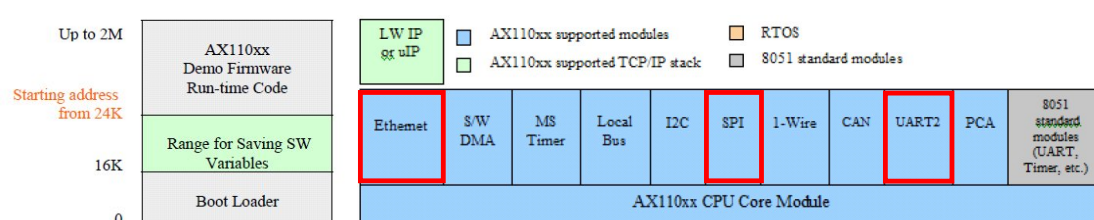


圖 4 雲端監控平台之軟體堆疊設計

若將圖 4 之軟體堆疊系統移植到 ASX11015 平台，便可在 ASX11015 平台上開發應用程式，作為接收無線感測數據，並可開啟網頁伺服器，將所監測到的數據放在網頁伺服器上，以供系統管理員透過網路連結來進行監看之用。當系統偵測到嚴重異常的情形，將可透過本系統所開發的程式發送簡訊給系統管理員的手機。當管理員接收到緊急狀況，即可立刻前往處理，以做出正確的處置，以實現系統管理員不用在近端監控之目的。

在軟體設計方面，不需任何作業系統之移植，而全部以韌體撰寫，即可達成雲端監控平台的功能。一般而言，開發無線感測的應用程式，讓監控平台能與物聯網之最底層的無線感測節點進行溝通與傳送資料，在網頁伺服器內必需要撰寫 CGI 程式，將所擷取的感測值顯示在網頁上，而該應用程式亦須控制 HSUART 介面，並與 GSM/GPRS 溝通作為發送簡訊之功能。

2-3 使用者端監控方式

使用系統管理員之手機、PDA、桌上或筆記型電腦，皆可用來做為監控無線感測網路之設備，只要能夠連上 Internet，即可接收雲端所發送過來的資訊與所在地的狀態，讓監控的方式更有效率。在農業與園藝方面，可透過廣

佈的氣象感測器，持續不間斷的偵測氣候狀態，使氣象資訊分析系統預測到氣候型態，使農業氣象資訊系統，可協助農民生產更具效率。在溫室環控系統方面，可透過詳細的知識系統，充分掌握溫室的狀態，以達到農業與園藝生產最佳化，讓農民不在靠天吃飯不受天候影響，一年四季皆可生產農作物，因此可實現之效益如下：

- 利用無線感測來掌握環境的溫濕度。
- 利用無線感測來進行燈光與灑水控制。
- 利用無線感測來進行土壤的酸鹼度偵測。
- 利用無線感測來進行空氣中的 CO 濃度偵測。
- 利用無線感測來進行風速偵測。
- 使得農產品單位面積更高的產量與品質。
- 減少不必要的浪費，使資源(能源)與資材的消耗愈少。
- 降低興建與使用成本。

系統管理員僅需要在有 Internet 的地方，即可透過各式 Web Browser，連接到 ASX11015 之監控平台。當在 ASX11015 之監控平台上，啟動 BOA Web Server，便可讓 Web Browser 連接進來。欲實現上述之功能，需設計一個監控首頁，而本系統之需監控首頁，如圖 5 所示。觀察圖 5 可知，系統管理員可利用

有 Internet 的連接到亞信 ASX11015 晶片 Based 之監控平台, 以得知無線感測網路的狀況。在不同的感測任務中, 為使感測到的數據, 可作為一連串的應用, 以實現隨時隨地皆

能掌握當地的狀態, 使得感測器幫忙處理更多的事情時, 可增加一份判斷指標, 以達到更精準與確實處理事情之功能, 這種監控方式, 可大大提升效率與產品的品質。

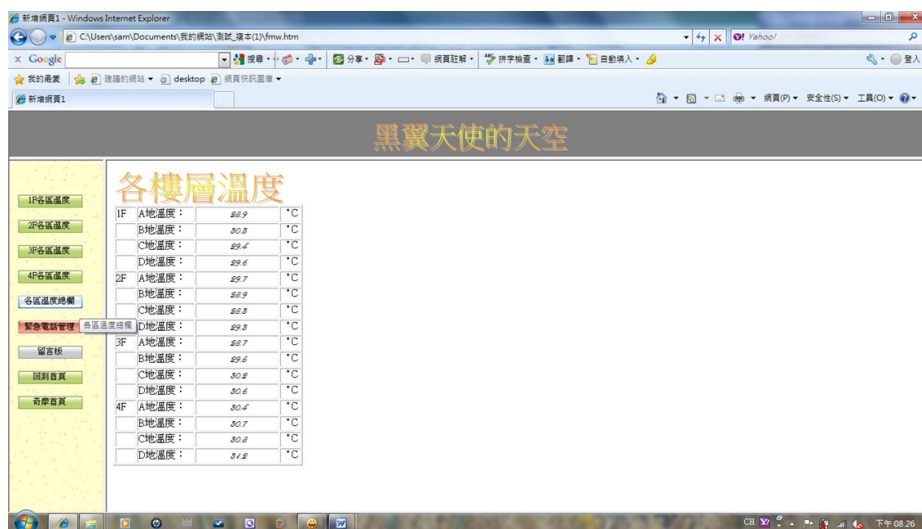


圖 5 雲端監控平台監控無線感測網路之溫度頁面

2-4 各式感測節點

本系統之感測裝置, 加入溫度、瓦斯、人體紅外線與光感應等感測器, 如圖 6 至圖 9 所示。這些感測器可利用在住宅、漁業養殖與溫室種植等管理, 使管理者達到無需現場, 亦可達到監控管理之功能。本區域為感測器加上無線收發技術之結合, 感測器部份包含溫度、溼度、光度、瓦斯與人體紅外線等監測, 負責將感測到的數據傳送回嵌入式系統監控平台, 而這些感測器可應用於[16-18]之環境監控場所。

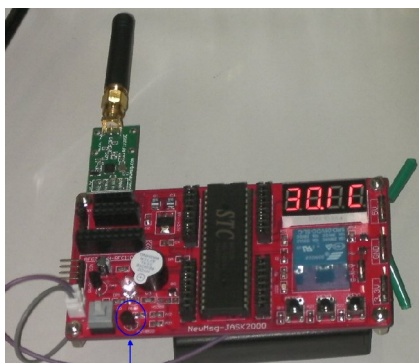


圖 6 溫度感測器

由於電池技術的改進 (如太陽能電池), 本系統之感測器可具備 24 小時不停持續的運作, 除將感測數據傳回嵌入式平台之外, 並能

接收來自嵌入式系統監控平台的命令, 以做出相對應的動作。此類感測器, 不但能偵測與感應環境的變化, 更能分析所蒐集到的資訊, 再透過無線通訊的功能, 將資料傳回至後端的監控平台。



圖 7 人體紅外線感測器+瓦斯感測器整合

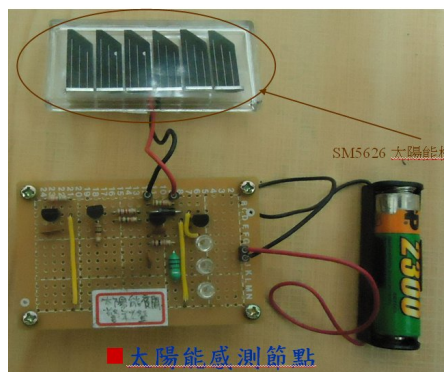


圖 8 光度感測器

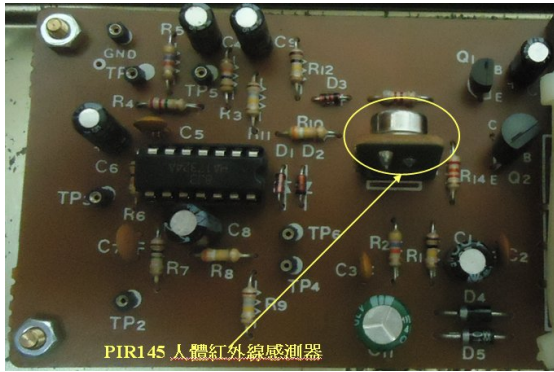


圖 9 人體紅外線感測器

3、本系統特色說明

利用無線感測網路(將感測器的封包透過無線模組傳送到監控平台端)、有線網際網路(透過網路建立 Web 監控介面)與電信網路(讓行動族可藉由手機等通訊設備接收感測資訊)等 3 大網路系統，再透過無線感測器，將所感測的溫度、濕度、瓦斯、門窗、光度、地震與風速等數值傳送給監控平台，並透過網際網路

的連結[19]，即可在雲端監測感測端的資訊。

系統管理員可利用手機、PDA、桌上或筆記型電腦，皆可用來做為監控無線感測網路之設備，只要能夠連上 Internet，即可接收雲端所發送過來的資訊與所在地的狀態，讓監控的方式更有效率。在農業與園藝方面，可透過廣佈的氣象感測器，持續不間斷的偵測氣候狀態，使氣象資訊分析系統預測到氣候型態，使農業氣象資訊系統，可協助農民生產更具效率。

利用 ASX11015 晶片之監控平台透過 HSUART 介面連接 GSM Modem，讓監控平台連接上電信網路，並用來當作緊急狀況發生時，能發出短簡訊給監控平台之系統管理者，如圖 10 所示。在圖 10 左邊為手機收到來自亞信 ASX11015 晶片 Based 之監控平台，所發出的溫度超過 40 度時的短簡訊，當溫度降回 40 度以下時，再發出一封短簡訊給系統管理員，如圖 10 右邊所示。

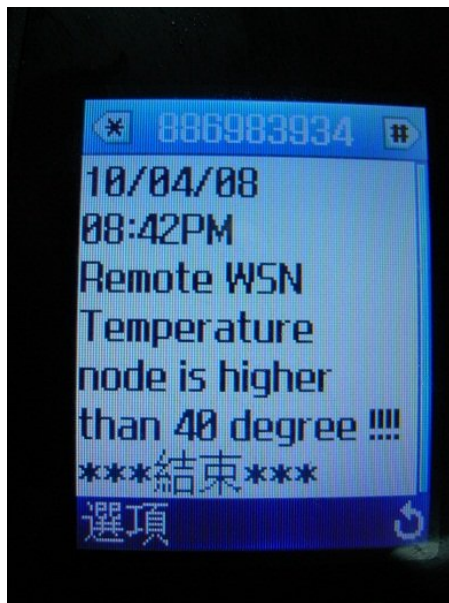


圖 10 WSN 監控平台所發送出的緊急簡訊通報功能

4、實作成果

本系統之特色為以國產亞信晶片 ASX11015 實現無線溫度監控，可應用於工廠、校園、家庭與戶外等各種不同之場所，並結合嵌入式系統於單一 ASX11015 晶片內，以達到無線感測網路搭配有線網路連接 Internet 與全世界接軌。接著整理本系統之主要成果如

下：

- (1) 實現以 ASX11015 晶片控制 CC1100 無線模組於 WSN 監控端與 CC1100 無線模組，搭配溫度、光度、瓦斯與人體紅外線等感測器，並結合 TOE uIP 與 Web Server 且連上網際網路，實現雲端網路 Web 監控之目的。
- (2) 實現透過電信網路(Telecom)監控無線感測網路(WSN)，系統管理員可用手機打電

話至監控平台，然後立即掛斷電話，監控平台亦會立刻發出簡訊給系統管理員的手機，以回報目前感測情況。

- (3) 本監控平台亦可傳送簡訊，並附帶密碼與控制命令來控制 WSN 監控平台，以做出控制無線感測節點的動作。若 WSN 監控平台偵測到緊急情況，亦可主動發簡訊到系統管理員的手機。

在 e 世代中，電腦與網路已為人類帶來相當大的衝擊，利用無線監控平台所接收之訊號，再透過架設 Web Server 與全世界接軌的必要性提高，這可讓監督者透過有線網際網路隨時隨地上網，進行雲端即時監控，以實現身在國外，亦可即時監控感測器周遭之現況，擺脫距離上的限制。

由於行動通信的普及，加快人與人間傳遞訊息的速度，因此在監控平台上加入電信網路，當感測器偵測到緊急事件時，即使在逛街或進行休閒活動時，監控平台可立即發送短簡訊到手機上，讓監控人員即時掌握各種緊急狀況之情境，如圖 11 所示。本系統結合這 3 大網路系統，讓監控平台之應用更為嚴密，亦可使將災害控制在最小範圍內，使人民的生活可遠離災害的危險。



圖 11 本系統應用情境示意圖

5、結論與建議

本系統成功利用 Sub 1GHz ISM Band 的無線傳輸，將所感測到的資訊上傳到嵌入式系統的 Web Server 上，以實現管理者可透過 Internet 雲端監控，達到有效管理。在 e 世代的環境中，欲將開發出來的科技化無線感測技

術（低成本、低功耗的感測節點與嵌入式系統監控平台），應用到各種環境監控的場合，諸如農、漁、園藝、家庭與工廠自動化等場所，使用本系統所開發出來的無線感測網路監控平台，不僅可大幅降低現場監控的人事成本，並可提供人不在場之監控能力。

本系統將 24 小時不停的監控，並提供雲端監控的功能，亦即可實現透過網際網路與電信網路來與感測網路連接，讓監控者雖然人不在感測網路內，只要有網際網路與電信網路存在的地方，皆可得知目前感測網路的情況，以下達適當的操作指令。希望本系統能協助廠商切入無線監控領域，讓電子資通訊技術打入農、漁、園藝、家庭與工廠自動化之領域，這或許將成為下一個台灣奇蹟。

參考文獻

- [1] D. Culler, D. Estrin, and M. Srivastava, "Overview of sensor networks", *IEEE Computer*, pp. 41–49, 2004.
- [2] ASX11015 Chip for Embedded Ethernet Application, "<http://www.asix.com.tw>"
- [3] Cisco Systems, "Network management systems organization," 2000, W. Stallings, *Wireless communications and networks*, ISBN-10: 0131918354, pp. 45–50, 2004.
- [4] H. Song, D. K. "Sensor network management architecture," *Proceedings of the second International Conference on Mobile Computing and Ubiquitous Networking*, pp. 85–92, 2005.
- [5] W. L. Lee, A. Datta, and R. Cardell-Oliver, "WinMS: Wireless sensor Technical Report, UWA- CSSE-06-001, 2006. N. Ramanathan, K. Chang, R. Kapur, L. Gir Kohler, "Sympathy for the sensor network Centre for Embedded Network Sensing, pp. 98, 2005.
- [6] S. Madden, J. Hellerstein, and W. H. "In-network query processing in TinyOS," *ACM Transactions on Database Systems*, pp. 122–173, 2003.
- [7] R. Tynan, D. Marsh, D. O'Ka "Intelligent agents for wireless sensor networks," *AAMAS 2005*: 1179–1180.
- [8] T. H. Kim and S. Hong, "Sensor network management protocol for state-driven execution environment," *GEORGOULAS ET AL. 267 e 3rd on Architectural Support for Programming Lan- 2005.Paper Award*, Proceedings of the 5th sensing vineyards," 2008,
- [9] J. Wan, S. Eisenman, A. Campbell, and J. Crowcroft, "Siphon: overload traffic management using multi-radio virtual sinks in sensor networks," *Proceedings of 3rd International Conference on Embedded Networked Sensor Systems*, pp. 116–129, 2005.

- [10] P. Levis and D. Culler, "Mate: A tiny virtual machine for sensor networks," ***Proceedings of the International Conference on Operating Systems***, San Jose, CA, USA, pp. 100–111, 2002.
- [11] C. L. Fok and G. C. Roman, "Mobile agent middleware for sensor networks: An application case study," ***Proceedings of the 4th International Conference on Information Processing in Sensor Networks***, pp. 382–387,
- [12] S. Eduardo, G. Germano, and V. Glauco, "A message-oriented middleware for sensor networks," ***Proceedings of the 2nd workshop on Middleware for pervasive and ad-hoc computing***, pp. 127–134, 2004.
- [13] D. Georgoulas and K. Blow, "In-Motes: An intelligent agent based middleware for wireless sensor networks," ***Best Student WSEAS International Conference SEPADS 06***, pp.225–231, 2006.
- [14] D. Georgoulas and K. Blow, "Making motes intelligent: An agent based approach to wireless sensor networks," ***In WSEAS on Communications Journal***, pp. 515–522, 2006.
- [15] D. Georgoulas and K. Blow, "In-Motes bins: A real time application for environmental monitoring in wireless sensor networks," ***Proceedings of the 9th IEEE/IFIP International Conference on Mobile and Wireless Communications Networks***, pp. 21–26, 2007.
- [16] Hart J. K. and Martinez K, "Environmental Sensor Networks: A revolution in the earth system science," ***Earth-Science Reviews***, 2006, pp. 177-191.
- [17] Kim Marie, Lee Young Jun, Ryou Jaecheol, "How to Share Heterogeneous Sensor Networks in Ubiquitous Environment," ***Wireless Communications, Networking and Mobile Computing***, 2007, pp.2799-2802
- [18] John Porter, Peter Arzberger, et al, "Wireless Sensor Networks for Ecology," ***BioScience***, 2005 , Vol. 55 No. 7, pp. 561-572
- [19] Di L, "The Open GIS Web Service Specifications for Interoperable Access and Services of NASA EOS Data," ***Earth Science Satellite Remote Sensing Springer-Verlag***.2006, pp. 254-268.