

產學合作案結案報告書

華電子 104 產學字 008 號

智慧型無線感測網路系統應用 之研究

甲方：建崙科技股份有限公司

乙方：中華學校財團法人中華科技大學

電子工程系

計劃主持人：陳俊勝

目次

表次	IV
圖次	V
摘要	VI
第一章 研究緣起與背景	1
第一節 前言	1
第二節 研究動機	2
第三節 研究方法與流程	2
第二章 相關研究探討	4
第一節 無線網路	4
第二節 無線感測網路	4
第三節 無線感測網路相關研究	5
第四節 無線感測網路系統架構	6

第三章 無線感測網路技術	8
第一節 溫濕度感測模組	8
第二節 物體移動感測模組	9
第三節 Arduino 介紹	10
第四節 ZigBee 模組	12
第五節 Wi-Fi 模組	13
第六節 網路拓樸	14
第四章 系統模組架構	19
第一節 系統硬體描述	19
第二節 系統流程	21
第五章 實驗結果與分析	27
第一節 Web 端網路服務介面	27
第二節 使用者介面	35

第六章 結論與未來展望	39
參考書目	40

表次

表 3.1 Arduino UNO 規格表 · · · · · 11

表 3.2 Arduino 腳位功能表 · · · · · 11

表 3.3 ZigBee、Bluetooth、Wi-Fi 比較表 · · · · 13

表 3.4 OSI 模型架構及功能 · · · · · 13

圖次

圖 1.1 研究流程圖	3
圖 2.1 系統架構圖	7
圖 3.1 SHT1 溫濕度感測器	8
圖 3.2 SHT1 溫溼度感測器結構	9
圖 3.3 被動式紅外線動作感測模組	9
圖 3.4 Arduino UNO 開發版組	10
圖 3.5 Arduino IDE	12
圖 3.6 RN-XV WiFly 模組	14
圖 3.7 ZigBee 階層架構	15
圖 3.8 ZigBee 網路拓樸	17
圖 4.1 系統架構圖	19

圖 4.2 XBee S2 模組	20
圖 4.3 Arduino 與 XBee 連接圖	21
圖 4.4 流程方塊圖	21
圖 4.5 控制端架構	22
圖 4.6 XBee 無線感測網路節點	23
圖 4.7 感測節點端架構	24
圖 4.8 電腦端架構	25
圖 4.9 使用者流程方塊圖	26
圖 5.1 X-CTU 參數設定介面	27
圖 5.2 系統控制端	28
圖 5.3 溫溼度感測器	29
圖 5.4 物體移動感測器	29
圖 5.5 彎曲感測器制	30

圖 5.6 超音波感測	30
圖 5.7 自動照明系統	31
圖 5.8 自動照明系統	31
圖 5.9 主控端與溫溼度節點連結	32
圖 5.10 系統硬體展示	32
圖 5.11 感測器狀態	34
圖 5.12 智慧感測節能風扇	34
圖 5.13 門內設置物體移動感測	34
圖 5.14 室內環境	35
圖 5.15 AppServ 介面	36
圖 5.16 資料庫	37
圖 5.17 Tera Term 終端機	38
圖 5.18 網頁顯示結果	38

摘要

關鍵詞：無線感測網路、Arduino、微控制器、ZigBee、Wi-Fi

一、研究緣起

由於科技不斷的快速進步，人們對於資訊的取得需求，已經到達須能隨時隨處且大量快速增加。隨著網路技術不斷的發展，不僅從 E 化(網路化)到 M 化(網路行動化)，更進入 U 化(網路無所不在)，使得無線感測網路(Wireless Sensor Network, WSN)技術更顯得重要。由於以往感測網路大都是採有線的方式佈建，而各感測節點大都是以獨立架構運作，彼此間較少具有雙向通訊與協調等能力，而且在佈建上需要較多人力與成本。無線感測網路由一到數個無線資料收集器(Wireless Data Collector)與眾多的感測器所構成的網路系統，元件間除了以無線技術傳輸上外，感測節點本身即具備感知、運算處理、與無線傳輸的能力，並可跟其他節點組成網路，彼此間相互傳遞資訊與溝通，因此有了較多應用層面，包含了遠端環境的即時監控、資料融合、感測器量測（溫度、壓力、速度）、健康照護、工業應用、商業應用、居家應用、教育娛樂及軍事國防科技等應用。

本計畫是在監測區域內部署了微型無線感測器節點，由於環境在溫度，壓力，濕度等會有不可預測的變化，因此利用模糊邏輯及類神經網路等計算智慧等技術，以精確及簡單的方法有效地應用於無線感測環境中的監測與控制。另外也對無線傳感器網路中的干擾和可能會遇到的其他問題進行了討論和策略，以提高網路品質。

二、研究方法及過程

首先做無線感測系統的區分與基本性質的探討。目前使用中的無線感測系統有許多是用線性的方法所設計，那麼什麼樣的運動系統或

是在那種實際操作環境下需要考慮非線性？或者是當效能的規格要求提高到一定程度後，非線性的效應便會浮現？這是有待進一步釐清的問題。就我們所知，有部份的運動系統在本質上就包含非線性，像感應馬達、機械臂、搬運車、流體中的載具或倒單擺等，而齒隙、摩擦力或飽和現象也是較常被討論的非線性性質。這些非線性性質的模式化過程都是非常複雜，且可能因操作條件的不同而必須重新近似，我們必須對能夠處理的非線性與不確定性作適當的界定。

繼而發展系統化的智慧型網路設計方法。非線性動態控制系統設計的最大困難源於其中的未模式化非線性動態，本研究將根據系統動態與時域上的連續性，以模糊邏輯與類神經等智慧型網路來進行非線性特性的近似。就模糊控制而言，首先結構一個能附加指定規則權重裝置的多層模糊控制，並能展開以模糊基底函數表示。然後在各子系統間串聯解耦合網路克服其交聯性，並經由學習演算法在後件歸屬函數使用自調裝置來調整模糊控制器，接著輔以基因演算法刪除近似誤差與干擾而獲得想要的控制目標。由於初始時並無法則的存在，因此本研究將探討具有即時學習能力的自我建構類神經網路，並以即時同時進行的結構與參數學習來完成法則的產生與調整。由於動態系統學習控制最主要的缺點是無法建立合適的數學模型來描述系統的動態特性與學習處理的行為，因此本研究將探討如何提供能反映系統於時域與重複學習動態特性的數學模型，並據此描述整個包含重複學習控制的動態特性，進而在類神經網路等智慧型網路上發展即時學習演算法。由於控制器的強健化是非線性動態控制系統能否實用化的關鍵之一，因為系統效能可能隨某些未定因素的增加而劣化，這些弱點必須由輔助控制來補強。而將類神經控制器設計，應用在動態系統的滑動模式運動可改善滑動模式系統的性能，改善未進入順滑模式前不可預知與未預期的響應。最後我們使用個人電腦與邏輯分析儀測試我們的設計。實際的成效將以嵌入式處理器整合以建立系統控制方法，並針對業者其有興趣各式相關實現其運動系統控制技術提供意見。主動搜

尋可運用於運動系統的相關智慧型控制技術，提供業者參考。最後幫助業者以系統化方式實現運動系統的最佳智慧型控制方式。

三、重要發現

本計畫中，我們設計展示許多感測器應用方法及其多種可能使用的情境，藉由手機或網頁來控制感測器裝置，以 ZigBee 技術建構無線感測網路，並透過 WiFi 模組將資料傳送至雲端網路上，伺服主機亦整合行動裝置與網頁服務功能，提供使用者以行動 APP 或網頁瀏覽器兩種操作介面，達成互動控制目的。產品或設備加裝 GPS 定位功能可協助使用者了解感測器分布位置。未來結合地理資訊系統（GIS）可建構一智慧環境感測網路之物聯網（IOT）。

四、主要建議事項

本計畫雖然證明本方法有不錯的性能，但在設計的過程，智慧型感測系統必須隨時可滿足並掌控環境品質現況。感測模組雖具低耗能特性，輕量化、可依監測環境需求來彈性佈屬或移動，但仍缺乏空間真實位置之關聯性。目前簡易的 GPS 模組其誤差範圍大，且要在戶外與透空良好條件下才能運作。對於大範圍且節點間距離大於 GPS 誤差範圍條件下，則可結合感測模組來進行相關的應用。若能再結合地理資訊系統，可更清楚表示影響區域之空間關連性，以實現智慧感測物聯網。

ABSTRACT

Keywords: Wireless sensor network, Arduino, Microcontroller, ZigBee, Wi-Fi

This program presents different types of environment sensing devices which are combined with a single-chip microcontroller (Arduino), in an interactive method and sensors for communication via a ZigBee based Wireless Sensor Network (WSN), which in turn passes the information to a database server which facilitates recording and analysis. This sensing network has no need for wiring, uses sensing elements with low power consumption, and then we can discuss methods to increase interactivity, the design of the occupants and the environment interact in various wisdom of the sensor. For the sensor experiences in the past are under conscious control it in occupants, so we will transform this effect into life some necessary actions (example: open door action), can affect the sensor in the invisible, the use of smart phones in such a way and then integration of together, enhance quality of life and fun.

第一章 研究緣起與背景

第一節 前言

由於科技不斷的快速進步，自動化科技及網路通訊蓬勃發展，各式各樣的智慧型產品日漸普及，使得人們對於資訊的取得需求，已經到達須能隨時隨處且大量快速增加。隨著網路技術不斷的發展，不僅從 E 化(網路化)到 M 化(網路行動化)，更進入 U 化(網路無所不在)，使得無線感測網路(Wireless Sensor Network, WSN)技術更顯得重要。

由於以往感測網路大都是採有線的方式佈建，但是佈線的成本高、擴充系統時必須多花費佈線的費用，且各感測節點大都是以獨立架構運作，彼此間較少具有雙向通訊與協調等能力，而且在佈建上需要較多人力與成本。以無線網路取代有線網路，不但可以節省佈線成本，系統擴充和移動彈性也比較大。無線感測網路由一到數個無線資料收集器(Wireless Data Collector)與眾多的感測器所構成的網路系統，元件間除了以無線技術傳輸上外，感測節點本身即具備感知、運算處理、與無線傳輸的能力，並可跟其他節點組成網路，彼此間相互傳遞資訊與溝通，因此有了較多應用層面，包含了遠端環境的即時監控、資料融合、感測器量測（溫度、壓力、速度）、健康照護、工業應用、商業應用、居家應用、教育娛樂及軍事國防科技等應用。

透過以智慧型裝置或各種感測器來與家中的電器設備利用自動控制做結合，使居家生活型態變得更人性化與智慧化。然而智慧化的生活型態環境中，包含了自動化、保全系統、影音娛樂設備... 等等不同的功能[1]。以更明確的說法來說，一個家庭環境中，必須要擁有自動化的系統，將居住者家中與生活相關的設備或電器產品等等加以整合，才可以稱之為智慧型家庭；而最簡單的說法，就是任何一種自動化的家電，只要讓居住者感受到生活的便利，都能夠將其家庭環境稱為智慧型家庭[2,3]。

本研究透過不同類別智慧型裝置或各種環境感測元件，結合單晶片微控制器（Arduino）的程式處理以獲取各類環境感測相關資訊，透過無線感測元件（ZigBee）所建構之無線感測網路（Wireless Sensor Network, WSN），經過協調器與各個感測節點連線，將採集到的資料回傳到監控節點，最後將感測結果傳遞

到資料庫伺服主機進行資料剖析與記錄。此感測網路架設無需佈線，感測元件具低耗電量。伺服主機可整合行動裝置與網頁服務功能，提供使用者以行動 APP 或網頁瀏覽器兩種操作介面，依查詢條件進行資料查詢。GPS 定位功能可協助使用者了解感測器分布位置，未來結合地理資訊系統（GIS）可建構智慧感測網路之物聯網（IOT）。

第二節 研究動機

近年來隨著無線網路發展的進步，網際網路不再只是電腦，許多家庭電器設備都能夠與網路連線。而生活周遭隨處可見環境數據，舉凡室內溫度、濕度、空氣品質狀況，另外還有外出時需注意的溫度、（細）懸浮微粒指數、紫外線指數、降雨機率等，因此有必要對於身處周遭的環境品質更加了解。如何透過感測器來建立簡易環境感知監測，並將監測數據收集到資料庫予以統計、分析以了解所處周遭環境品質，本論文主要最後透過瀏覽器或行動裝置，將資料展現於使用者。

Google 於 2007 年推出開放式作業系統平台 Android，開發者只要下載 Android SDK 就能進行開發，並能將開發的 APP 分享到 Google 平台上，使用者只需透過 Android 智慧型手機就可進行 APP 的軟體下載，且現今的智慧型手機已經具有如電腦般強大的 CPU 運算能力，以及許多周邊裝置如 Wi-Fi、Bluetooth、GPS、NFC、G-Sensor 等功能，而這些周邊裝置更可以結合 APP 軟體讓功能更為強大。也因為智慧型手機的普及化，能將整合智慧型家庭的控制點和可隨身攜帶的智慧裝置做結合，不僅控制便利，還能節省環境空間，進而達成更人性化的智慧家庭[4]。

第三節 研究方法與流程

本計畫研究流程如圖 1.1 所示，其主要步驟敘述如下：

- 一、簡單的介紹研究動機、研究方法與研究流程架構說明。
- 二、針對本研究之相關文獻探討，主要有無線網路、無線感測網路、Arduino、ZigBee、Wi-Fi 及物聯網之簡要介紹。

三、對於此系統設計的軟硬體架構與流程說明，並以智慧家庭做為實驗場所實際感測溫度、濕度及移動感測資料，並將感測數據存入資料庫，提供網路服務查詢功能及行動裝置的即時性定位。

四、撰寫實驗成果，最後提出結論及建議。

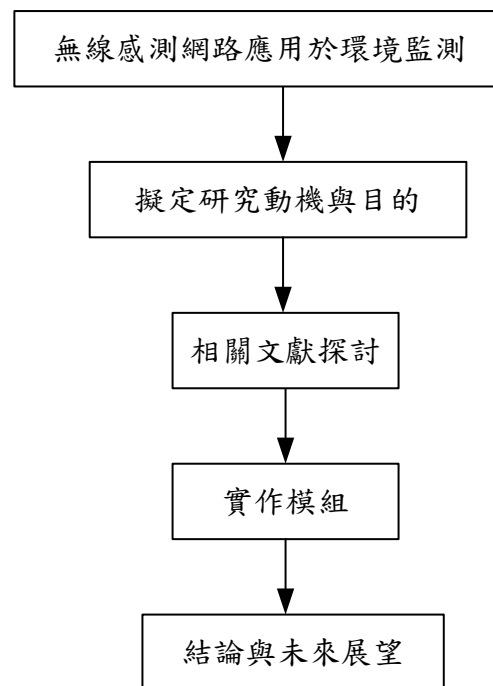


圖 1.1 研究流程圖

第二章 相關研究探討

第一節 無線網路

無線網路與傳統有線網路的主要差別在有線網路以實體纜線做訊號傳輸，而無線網路是以無線模組收發無線射頻（Radio Frequency, RF）訊號。因無線網路不須實體纜線，因此可減少施工成本、縮短系統建制時間、消除線路損壞、電線走火等問題，使網路架構更有彈性。無線網路可使用的距離及應用範圍可細分為：無線廣域網路（Wireless Wide Area Network, WWAN）、無線都會區域網路（Wireless Metro Area Network, WMAN）、無線區域網路（Wireless Local Area Network, WLAN）、無線個人區域網路（Wireless Personal Area Network, WPAN）。

無線個人區域網路（WPAN）僅使用於個人區域範圍 10 公尺左右，主要使用於個人裝置，像是平板、筆記型電腦、手機等行動裝置彼此間通訊之無線通訊網路，例如藍芽、ZigBee。無線區域網路（WLAN）為可傳輸範圍約在 2 公里左右，常用於家中、學校、辦公室裡或者同一棟建築物內，可以使用無線網卡與基地台通訊而連接上網，例如 Wi-Fi 網路。無線都會區域網路（WMAN）傳輸的距離範圍可在一個都市，傳輸距離約 2~10 公里左右，是無線區域網路的延伸。無線廣域網路（WWAN）為涵蓋範圍最廣的網路，是跨國家及都市之間的網路，傳輸距離約在 10 公里以上，通常連線速度比都會網路及區域網路還慢。常見的無線網路 Bluetooth、Wi-Fi 及 ZigBee，以下將對此三種無線網路技術來做介紹。

第二節 無線感測網路

無線感測網路(Wireless Sensor Network, WSN)是由一到數個無線資料收集器以及為數眾多的感測器（Sensors）所構成的網路系統，這些感測器節點監控不同位置的物理或環境狀況，如聲音、溫度、濕度、壓力、振動、運動或汙染物等，而元件之間的溝通則是採用無線的通訊方式，並經由網路控制，節點本身具備感知、運算能力處理、無線傳輸的能力，並且可以和其他節點組成網路，彼此之間

互相傳遞資訊與溝通。無線感測網路的發展最初起源於軍事運用上監測戰場，而現今多用在工業、商業、健康醫療、生態等領域。為了達到大量佈建的目的，無線感測網路必須具備低成本、低功耗、體積小、容易佈建，並具有感應環境裝置，可程式化、可動態組成等特性。

第三節 無線感測網路相關研究

無線感測網路(Wireless Sensor Network, WSN)是由許多感測器節點監控不同位置的物理或環境狀況，如聲音、溫度、濕度、壓力、振動、運動或污染物等，並經由網路控制，節點本身具備感知、運算能力處理、無線傳輸的能力，並且可以和其他節點組成網路，彼此之間互相傳遞資訊與溝通。在無線感測網路中，會因為節點硬體的限制以及外在環境的影響，造成資料在傳輸時產生資料封包的遺失或者封包訊號的減弱，使傳輸品質下降也降低了整個網路的可靠度。無線感測網路的發展最初起源於軍事運用上監測戰場，而現今多用在工業、商業、健康醫療、生態等領域。利用不同的路由方式來有效分攤不同路徑的負載量，增加無線感測網路的傳輸穩定性、降低能源的消耗，實現感測網路的流量控制機制為當前重要的課題。

WSN 依現今的發展趨勢來看，其主要應用大致上可分為七大類別，分別是軍事應用、工業應用、商業應用、環境監測、居家應用、健康照護、教育娛樂等，目前應用是以環境監測最為廣闊，政府單位則是積極重視軍事應用，許多工廠所需要的工業應用，從商業應用到一般民眾的居家應用、以及健康照護、教育娛樂等，在未來都是極具有發展性和影響力的。

- (1) 軍事應用與敵情監控、軍火設備管制、國土安全有關，主要由政府單位所主導與民間廠商開發進行的研究。
- (2) 環境監測的範圍牽涉到生態環境、農牧業、預防災害等，主要針對溫度、濕度、氣壓、地震等監測分析，也是目前政府單位與民間業者投入的主要項目。目前國內有清華大學與逢甲大學兩所學校合作，其針對土石流所架設的無線感測進行研究，另外也有以無線感測裝置進行追蹤果蠅的研究，對植物培育上以及環境架設無線感測的實體研究。

- (3) 工業應用主要以工業安全、道路橋樑管控、產品流程監控、以及物流應用，目前工研院有投入在馬達震動自動化監控、以及橋墩傾斜儀自動感測等方面的研究。
- (4) 商業應用目前國外有許多大廠紛紛投入研究到此領域，如 Crossbow、Honeywell、Digital Sun 等，其主要以節省能源、保全應用為主。
- (5) 居家應用較偏向於智慧型家庭或居住空間，目前國內有許多研究所以及大學等單位投入研究，建築業者與保全業者也紛紛將目光轉移到此市場，希望藉由無線感測技術，讓居家更為聰明。依每個居家需求來監控室內溫溼度、燈光、風扇、冷氣等，並可藉由一個介面去做控制應用，另一方面則可利用無線感測技術的優點，保全業者在居家用戶者中裝設感測裝置更便利，並可達到危險感知、即時監控的效果。
- (6) 健康照護是以針對個人生理狀況做感測回報，以及銀髮族與慢性病人的安全監測，目前台大、北科大均有與醫院進行合作，對病人身體進行生理參數與信號的無線感測，未來會將健康照護的應用上變得更為廣闊。
- (7) 教育娛樂面向的範圍多且廣，博物館或園區的參觀導覽，各種娛樂裝置與感測器的結合如 Wii 等，都可列入其中，然而目前教育娛樂這方面應用尚未獲得 WSN 產業界的重視，但其非常貼近人們的生活需求，再加上無線感測網路傳輸的便利性，可以期待未來市場上的發展潛力[5]。

第四節 無線感測網路系統架構

本系統使用之硬體包含 Arduino Uno 版、XBee 無線感測網路模組、Wi-Fi 模組、一台無線分享器(Access Point, AP)，主要以 XBee 模組所構成的無線感測網路節點，經由 XBee 韌體設定的協調者(Coordinator)接收資料，再利用 Arduino 將協調者(Coordinator)與 Wi-Fi 模組整合，而 Wi-Fi 再藉由 AP 將資料傳送至電腦架設好的資料庫，其架構如圖 2.1。本章將針對系統架構與各個軟硬體功能做介紹與分析。首先將大量的感測器 (Sensor Nodes) 任意地散佈在待感測的區域 (Sensor Field) 來蒐集各種環境資料，偵測資料可為溫度、溼度、光度、壓力、二氧化碳濃度等，再藉由無線網路 (紅外線、無線電波、光纖介質等)，將蒐集

的資訊透過無線資料蒐集器（Wireless Data Collector）傳回給管理者或使用者的手中。由於感測器在任意散佈的情形下，每個感測器並不知道自己與其他感測器的相對位置，因此感測網路必須使用自我組態（Self-Organization）的協定，將感測器之間自動組織出一個通訊網路，使所有感測區域中的感測資料皆能透過自我組態所建立的網路，將資訊送到無線資料蒐集器。無線資料蒐集器的功用則類似閘道器（Gateway），將感測網路的資料透過網際網路（Internet）、衛星，或是其他傳輸媒介，傳送到後端的伺服器（Server）應用程式或管理者手中。

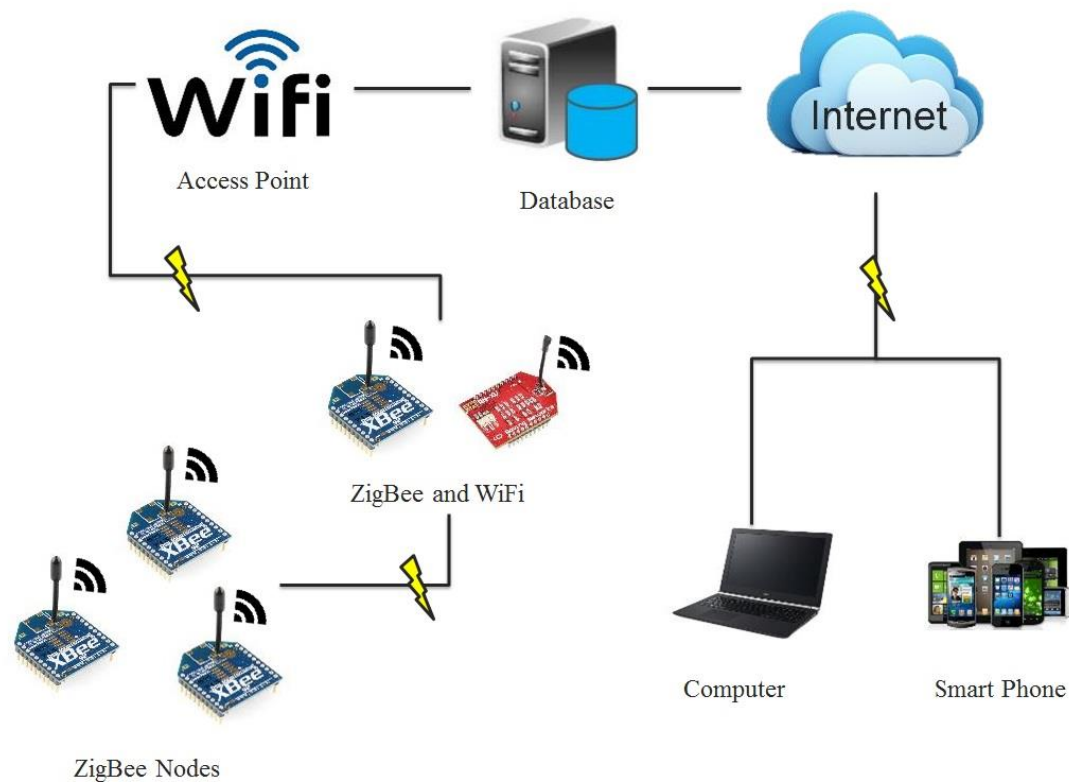


圖 2.1 系統架構圖

第三章 無線感測網路技術

本研究架構可分成感測端、伺服器跟使用者端三大部分，其中感測模組由感測元件次模組、Arduino 次模組和 ZigBee 次模組所組成。感測元件如溫度、濕度感測器 (Sensors) 等，結合單晶片微控制器 (Arduino) 以獲取環境相關資訊，透過無線感測網路元件 (ZigBee) 所組成之無線感測網路將訊息由路由節點 (Router) 傳遞到協調節點 (Coordinator)，再透過電腦 COM port 將訊息傳至後端資料庫伺服器主機儲存。伺服器 (Server) 包含資料庫伺服器主機和網站伺服器主機等功能，其中資料庫伺服器主機負責儲存感測器感測的環境數據，網站伺服器主機將資訊依使用者條件顯示於網頁或行動裝置，建構智慧感測系統或物聯網 (IOT)。

第一節 溫濕度感測模組

本實驗使用之溫度、溼度感測器型號為 SHT1，如圖 3.1 所示，此感測器可以同時感測溫度及濕度且靈敏度非常高，共有 8 支接腳。通常濕度是不容易量測的物理量，但許多設備或是研究實驗常常需要這些數據，而當我們使用此顆溫濕度感測器，這些數據就能輕鬆得讀取到[6]。

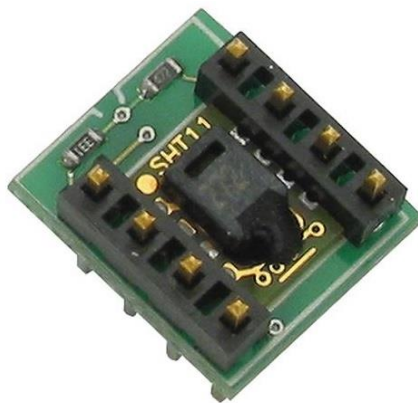


圖 3.1 SHT1 溫濕度感測器

此溫度、溼度感測器結合 CMOS 晶片技術，包含了 A/D 轉換介面、信號放大、I2C 匯流排 (Inter-Integrated Circuit) 等，當使用如 Arduino 或其他微控制器時，只需要電源和串列傳輸就能夠讀取感測數值[7]，其結構如圖 3.2。

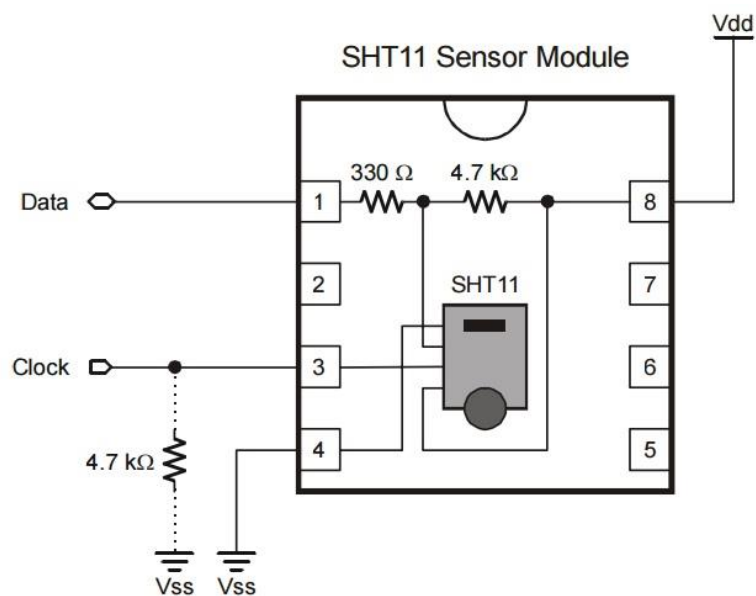


圖 3.2 SHT1 溫溼度感測器結構

第二節 物體移動感測模組

本實驗使用之物體移動感測模組為被動式紅外線感射器(Passive Infrared Sensor, PIR)，是能夠偵測物體移動的感測裝置，如圖 3.3 所示。在日常生活中，有許多物體都會發出紅外線輻射，例如燈泡、人體等，其溫度越高，所發出的紅外線輻射就越多，此感測器原理就是利用周圍的紅外線變化量來感應物體移動。



圖 3.3 被動式紅外線動作感測模組

紅外線感測器可區分為主動式與被動式兩種。主動式紅外線感測器本身會

發出紅外線來偵測物體移動，當物體遮住紅外線時，紅外線光會反射回感測器本身，利用反射原理達成感應的方式。而被動式紅外線感測器並不會發出紅外線，是以偵測物體所產生出的紅外線來感應物體移動，它會依照周圍的紅外線能量來建立一個對應值，當周圍紅外線值發生變化時，就會觸發訊號，表示偵測到物體移動[8]。

第三節 Arduino 介紹

Arduino 是一個開放原始碼的單晶片微控制器[9]，本實驗是以 Arduino UNO 為範例，搭配 ZigBee 下的 XBee 產品做資料的傳送與接收。Arduino UNO 型號為基本款的 Arduino 裝置，以 ATmega328 為核心的微控制器開發版，其規格如表 3.1，表 3.2 所示為 Arduino 腳位功能表。本身具有 16 支數位 I/O 端（其中 6 支可做 PWM 輸出），6 支類比輸入端，使用 16 MHz 晶體震盪器，如圖 3.4 所示。由於具有 Bootloader，能夠使用 ISCP 線上燒入器，通過 USB 直接將程式燒入，因此不需要透過其他外部的燒錄器。基本的工作電力來源不僅可以從 USB 取得、亦可連接外部的直流電壓或由 AA 型號電池從 Vin 腳位提供，以低電壓、低電流提供電源，不只是為了讓控制板正常運作，也可避免損壞控制板。

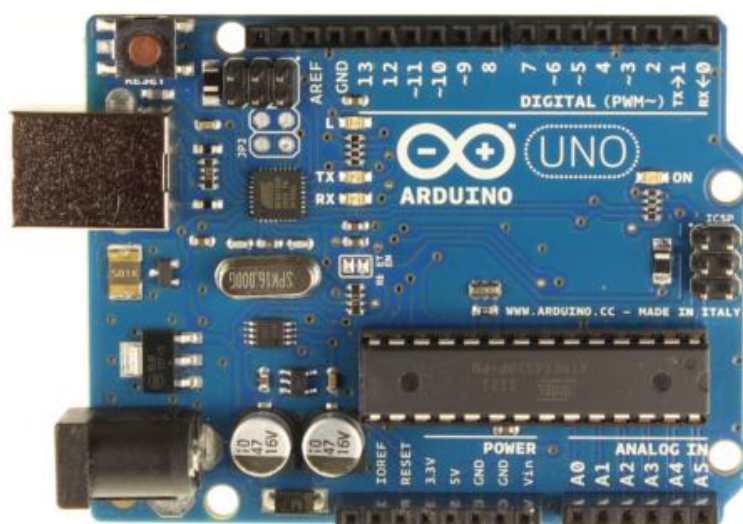


圖 3.4 Arduino UNO 開發版

表 3.1 Arduino UNO 規格表

微控制器	ATmega328
工作電壓	5V
輸入電壓(建議)	7-12V
輸入電壓(限制)	6-20V
數位 I/O Pins	14 支(其中有 6 支腳位可提供 PWM 輸出)
類入 Input Pins	6 支
I/O pin 直流電流	40mA
3.3V pin 直流電流	50mA
Flash 記憶體	32KB，其中 0.5KB 拿去給 bootloader 使用。
SRAM	2KB
EEPROM	1KB
時脈	16MHz

表 3.2 Arduino 腳位功能表

Digital I/O	共 14 個，數位輸出/輸入腳位
Analog Out	共 6 個，在 Digital I/O 中的 pin 3、5、6、9、10、11 表示這些腳位可以用數位訊號來模擬出類比訊號
Analog In	共 6 個，為類比輸入腳位，也可做為數位輸出/輸入腳位，但不能輸出類比電壓
Tx/Rx	資料傳送/接收，如使用 USB 與控制板互傳資料時，應避免使用 D0、D1 兩個腳位
USB 連接埠	支援 USB 直接供電（必須是 5V 的電壓），以及 USB 資料傳輸
電源輸入插座	可選擇 USB 直接供電或外部直接供電（建議 7V~12V）
LED 13	pin 13 內建一個 LED
重置鈕及 RESET	重新執行燒錄的程式，當 RESET 腳位處於低電位時，也會有相同重置效果
SCL/SDA 腳位	可以在感測器與 Arduino 控制板上做資料的傳遞
ATmega328P	微處理器，是控制板的中樞，具燒錄程式的功能

Arduino 的開發環境如圖 3.5，Arduino IDE 除了能夠寫入程式外，還包含元件的使用範例，如 LED 燈、光敏電阻等等一些常見的感測器元件。與硬體一樣 Arduino 的軟體也屬於開放原始碼，能夠從官方網站下載，軟體不必安裝，解壓縮後既可使用。

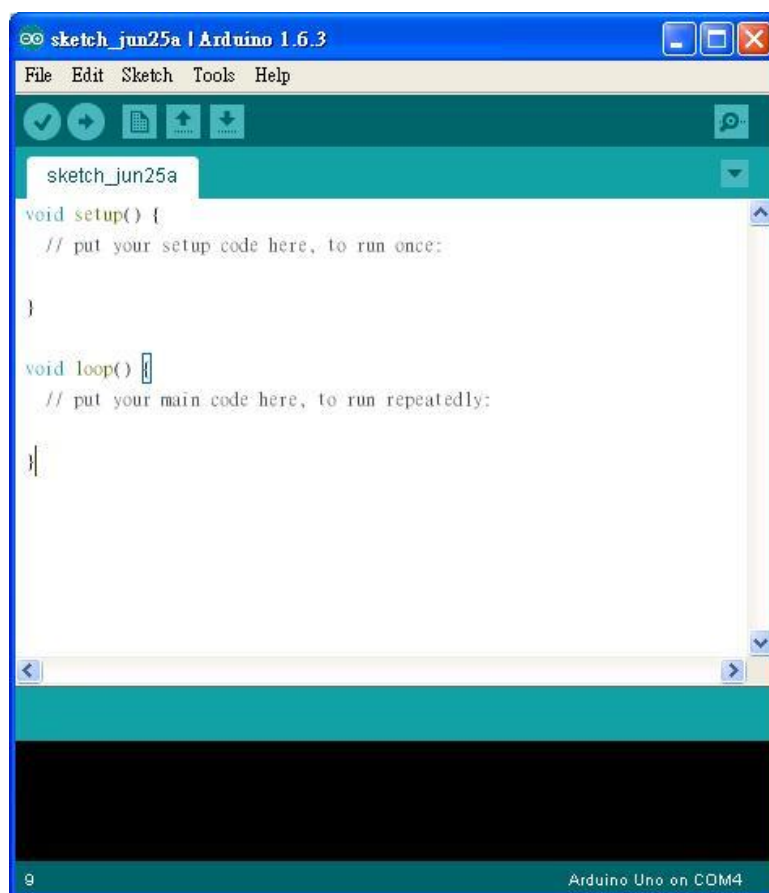


圖 3.5 Arduino IDE

第四節 ZigBee 模組

ZigBee 是一種無線網路傳輸的協定，主要在建立低成本、低功耗、低數據傳輸的無線區域網路技術標準。ZigBee 是屬於無線感測網路的一種，使用於低功耗的標準無線網路通訊協定，以 IEEE802.15.4 標準規範所訂的一種低成本的無線個人區域網（Wireless Personal Area Network, WPAN）之通訊架構，定義了一些偵錯、電源管理、資訊格式和其他點對點傳輸的規格。ZigBee 的通訊數據量不大，相對的數據傳輸率較低，分布範圍較小，但對數據的安全性有一定的要

求，且成本與功耗非常低，容易安裝使用，要求，且成本與功耗非常低，容易要求，且成本與功耗非常低，容易安裝使用。另外 ZigBee 的頻段在歐洲為 868MHz，北美及澳大利亞是 915MHz，然而 2.4GHz 是全球通用的免費頻段，頻寬速率有 20 kbps、40 kbps、250 kbps 這三種。

第五節 Wi-Fi 模組

目前眾多的無線區域網路中，Wi-Fi 術技是最受矚目的。該技術涵蓋許多種不同的網路需求，也因為其技術的前瞻性高，因此使眾多的公司工廠都對其支援，並針對不同需求的使用者提供不同層次的產品。正因為 Wi-Fi 是相當熱門的一個技術，硬體裝置也取得容易，並且大部分的相容性問題也能夠解決。

Wi-Fi 是 Wireless Fidelity 的縮寫，其意思是無線區域網路，由於 Wi-Fi 產品是遵循 IEEE 標準(美國電器電子技術協會 The Institute of Electrical and Electronics Engineers)所訂製的 802.11x 系列標準。802.11 標準是此所有系列中的始祖，因 802.11 標準傳輸的速率僅僅只有 2MB/s，在這樣的網路速度下並不適合區域網路的應求，因此 IEEE 標準協會針對不同的傳輸頻率、傳輸速度、評估計算產品的價格因素等，陸續推出 802.11a、802.11b、802.11e、802.11g、802.11n 等等標準，整個系列已經能覆蓋眾多不同的網路需求[10]。符合 IEEE 標準協會規範所發展的相關技術，與 ZigBee、藍芽其三種無線通訊協定比較如表 3.3。

表 3.3 ZigBee、Bluetooth、Wi-Fi 比較表

名稱	ZigBee	Bluetooth	Wi-Fi
傳輸距離	10-300m	10m	100m
傳輸速率	250Kbps	1Mbps	50Mbps
頻率	2.4GHz	2.4GHz	2.4GHz
網路節點數	65536	7	32
聯網時間	30ms	10s	3s
安全性	128 bit AES	64 bit，128 bit	SSID
擴充性	可	不可	可
電池壽命	幾年	幾天	幾小時
成本	低	低	一般
開發複雜性	簡單	一般	複雜

RN-XV WiFly Modile 是一款 Wi-Fi 模組如圖 3.6，是專門為了將現有的 802.15.4 標準協定架構轉移至 TCP/IP 架構且不想重新設計硬體的客戶所設計，是建立在 Roving Networks 的 RN-171 Wi-Fi 模組，結合了 802.11 b/g 無線標準、32bit 處理器、TCP/IP 協議、加密加速器、電源管理單元和模擬感測器接口。該模組的硬體配置非常簡單，僅需要 4 個接腳 PWR、TX、RX、GND 就能建立起一個無線數據連接[11]。

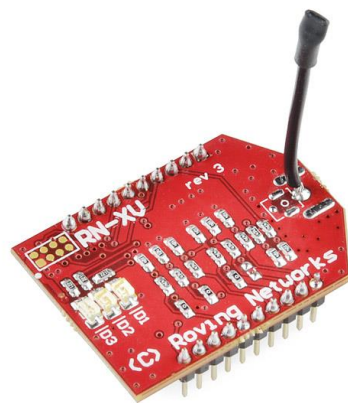


圖 3.6 RN-XV WiFly 模組

第六節 網路拓樸

OSI 模型(Open System Interconnection Reference Model,開放式通訊系統互聯參考模型)是國際標準組織 ISO(International Standards Organization)所發展出來的通訊架構，將網路功能分為七層，並且對每層標準功能進行定義如表 3.4。

表 3.4 OSI 模型架構及功能

	層	功能
第一層	實體層(Physical Layer)	負責管理雙方系統間的實體介面、位元傳送規則。
第二層	資料鏈結層(Data Link Layer)	負責實體層及網路層間的錯誤偵測、管理、控制。
第三層	網路層(Network Layer)	在網路各個節點之間進行位址分配、封包作安全性處理、傳送路徑。
第四層	傳輸層(Transport Layer)	在網路各節點傳送資料的交換規則與品質最佳化。
第五層	會議層(Session Layer)	負責主機間與應用程式之間的溝通方式和規則。
第六層	表現層(Presentation Layer)	將資料轉換成與系統相容的格式。
第七層	應用層(Application Layer)	負責應用程式存取 OSI 模型環境。

ZigBee 是基於 IEEE802.15.4 低速率無線個人網路(Wireless Personal Area Network, WPAN)的標準，其標準是一個簡單且具彈性的封包資料通訊協定，設計為低數據傳輸速率的應用做到最佳化。主要特徵包含具彈性的網路架構、低複雜度的軟硬體設計方案、更持久的電池使用壽命、支援不同資料的傳輸安全層級、應用非常廣泛且在傳輸資料上沒有直線視線(Line-of-sight)的限制。ZigBee 網路功能的運作與無線感測裝置之佈署以及各節點間自我組建網路連結有著極密切關係，ZigBee 協定層如圖 3.7，由下至上分別為實體層(PHY)、媒體存取層(MAC)、網路層(NWK)、應用支援子層(APS)、應用層(APL)。



圖 3.7 ZigBee 階層架構

ZigBee 的實體層、網路層、應用層和 OSI 模型分別對應，名稱與功能大致上相同，IEEE802.15.4 的媒體存取層對應到 OSI 模型的資料連結層。而 ZigBee 在應用層當中，制定了應用支援子層(APS)，是為了方便使用者建構通信應用程式所規定的子層。

- (1) ZigBee 實體層：負責通信所使用的頻道、頻率、訊框結構、調變方式、提供資料端裝置傳送通路。
- (2) ZigBee 應用層：包含應用程式支援子層（APS）、應用程式框架（AF）、ZigBee 裝置管控物件（ZDO）與各廠商定義的應用程式物件。
- (3) ZigBee 網路層：負責工作有加入與離開某個網路、封包的安全性分析處理、將封包傳送到目標節點、搜尋並維護節點間的繞徑路線、搜尋相鄰節點、儲存相關節點資訊。
- (4) 應用程式支援子層(Application Support sublayer, APS)：此子層是負責上層應用程式物件與下層網路層作協調，其工作有維護連結表，用來配對網路節點間所需的對應表、將以配對裝置間的訊息進行轉發、處理 64 位元 IEEE 位址與網路層位址間的對應。
- (5) ZigBee 裝置管控物件(ZigBee Device Object, ZDO)：功能包括起始應用程式支援子層、網路層以及安全服務等，其工作有調整或定義裝置本身在網路上的節點、建構上層應用所需之資訊發出或回應連結要求、搜尋並探知網路節點可用之應用程式服務、回應配對要求、建立節點間的安全性[18][19]。

ZigBee 的無線感測網路裝置主要由 ZigBee 協調者(Coordinator)、ZigBee 路由器(Router)、ZigBee 終端裝置(End Device)三種所組成。

- (1) 協調者：負責發起一個網路，設定各項網路參數並分派網路位址及規範網路位址分發原則，當協調器建立一個網路後，會廣播傳送訊框，要是路由節點收到，會傳送訊框然後加入這個網路，而每一個 ZigBee 網路中只會有一個協調者。
- (2) 路由器：負責延展整個網路，是 ZigBee 網路主要連接跟通信的設備，並搜尋記錄環境中可加入的網路節點，路由器會隨時向環境中確認是否有新節點的存在。
- (3) 終端裝置：一個終端裝置通常會包含感測器，在 ZigBee 網路中，終端裝置

並沒有能力去建構路由，因此經常被視為網路的起點或終點。

當一個 ZigBee 網路被啟動後，無線感測網路裝置會互相競爭成為 ZigBee 協調者，其中一裝置成為協調者後，將開始搜尋所有無線頻道，從中選擇一個適合的操作頻道，接著開始傳遞訊框讓其他節點裝置能夠加入所形成的網路。當接收到訊框的 ZigBee 路由器，此路由器也能夠發送訊框讓未加入該網路的裝置節點加入來形成路由器或是終端裝置。

ZigBee 在網路方面支援點對點網路(Pair)、星狀網路(Star)、樹狀網路(Tree)、網狀網路(Mesh)等網路架構，如圖 3.8。

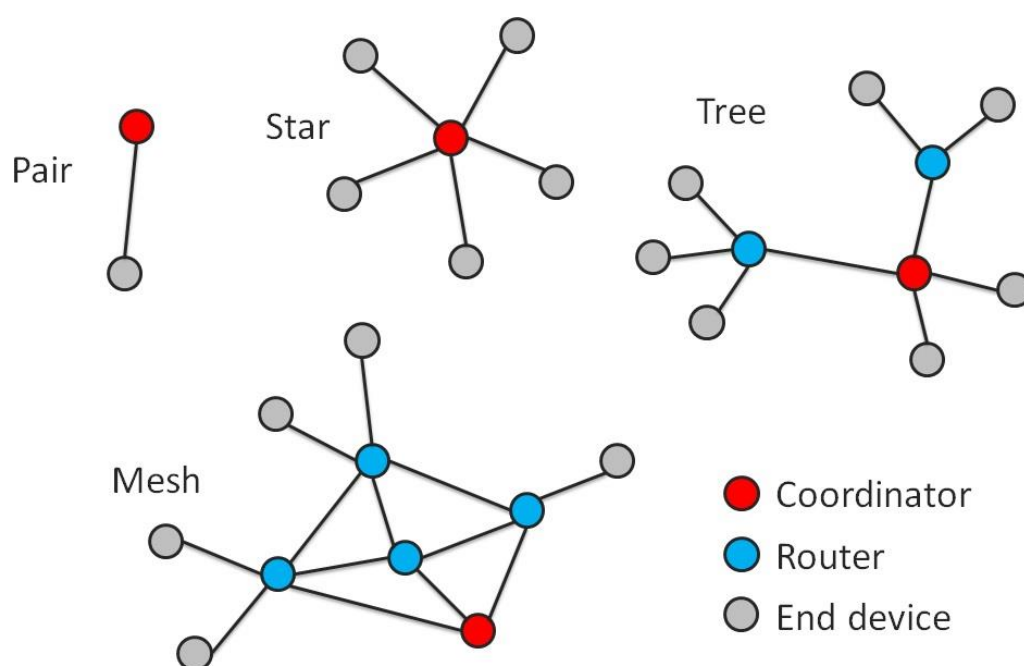


圖 3.8 ZigBee 網路拓樸

- (1) 成對網路(Pair)：最簡單的網路，使用在只有兩個無線裝置的狀況，在兩個節點當中，必須要有一個協調器，另一個則可以是路由器節點或終端裝置節點。
- (2) 星狀網路(Star)：協調者在中間連結外圍的終端裝置節點，每一條訊息資料都必須通過協調者，並且由協調者管理傳輸訊息資料的路徑，而終端裝置之間並不會互相溝通。
- (3) 樹狀網路(Tree)：此網路架構與星狀網路類似，以路由器節點作為骨幹，而終端裝置節點圍繞著路由器。
- (4) 網狀網路(Mesh)：採用以路由器作為節點，資料可經由這些節點傳送到其他路

由節點或終端裝置，而協調者在此結構其實與路由節點有相同作用功能，所有終端裝置皆可加入路由器或協調者[12]。

第四章 系統模組架構

本系統使用之硬體包含 Arduino Uno 版、XBee 無線感測網路模組、Wi-Fi 模組、一台無線分享器(Access Point, AP)，主要以 XBee 模組所構成的無線感測網路節點，經由 XBee 韌體設定的協調者(Coordinator)接收資料，再利用 Arduino 將協調者(Coordinator)與 Wi-Fi 模組整合，而 Wi-Fi 再藉由 AP 將資料傳送至電腦架設好的資料庫，其架構如圖 4.1。在本章各小節將針對系統架構與各個軟硬體功能做介紹與分析。

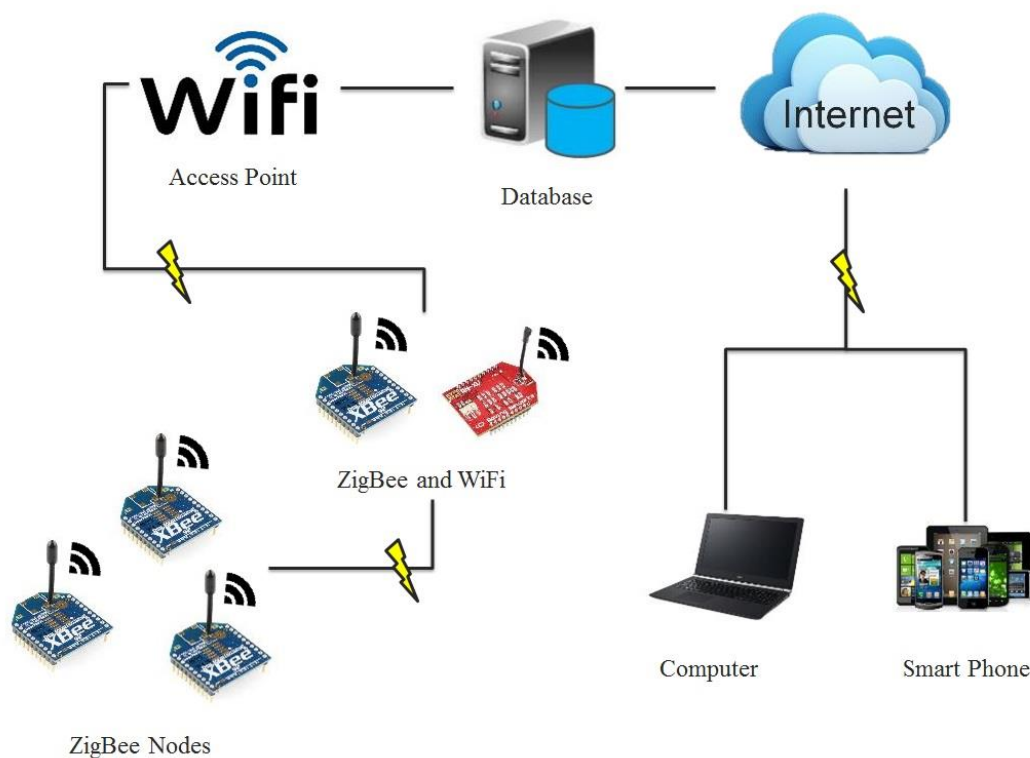


圖 4.1 系統架構圖

第一節 系統硬體描述

XBee 模組是由 Digi 公司根據 IEEE802.15.4 所生產的無線通訊模組，在 Arduino 用戶社群中，XBee 是一款經常被使用的無線傳輸模組，其主要特性為，

支援一對多傳輸、傳輸距離長、平價，是個符合 ZigBee 低功率的無線感測網路模組，這個模組容許微控制器、電腦、系統含有串列埠(Serial Port) 間非常可靠且簡單的無線通訊，以及點對點及點對多點支援，本系統所使用之模組為 XBee S2 如圖 4.2。



圖 4.2 XBee S2 模組

XBee S2 具有非常省電的特性，它所使用的電池壽命可達到一年，資料傳輸速率 250kbps，是全世界少數通過嚴苛認證的 ZigBee 模組，可連接 RS-232 或 USB 傳輸介面，整合單晶片控制器且內建 Digital I/O 與 AD Convertor，加上傳輸效能優異，搭配天線後最遠傳輸距離可達 250 公尺。XBee 模組使用起來非常簡單，無須複雜的開發程序，只需將數據傳輸至一個 XBee 模組，就能使其自動發送至同個網域的 XBee 模組。XBee 與微控制器 Arduino 互相溝通的方式主要透過 Arduino 上的 UART(TX/RX)與 XBee 上的 Din/Dout 相連接。以 Arduino 與 XBee 模組電路圖來看，Arduino 上的 RX 與 XBee 的 Din 互相連結而 TX 就和 Dout 連結，如圖 3.3，如果只想要達成簡單的點對點溝通，只需要通過 Arduino 向 XBee 模組寫入數據，就能夠實現數據的傳輸。

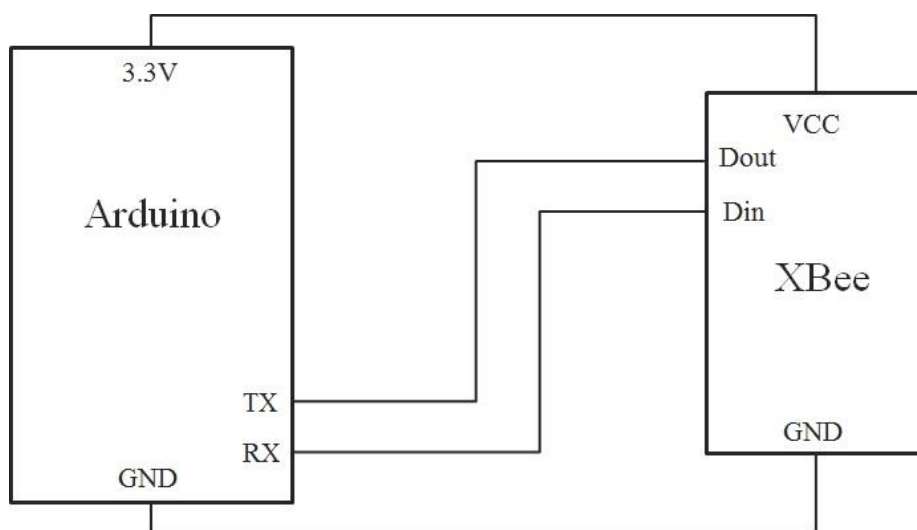


圖 4.3 Arduino 與 XBee 連接圖

第二節 系統流程

本計畫所設計的系統其主要分為三個部分，結構流程如圖 4.4。本系統是以許多小系統所整合而成，每個小系統都有其獨立的功能作用，在本節將介紹我們建立的控制端、感測節點端、電腦端架構分析。

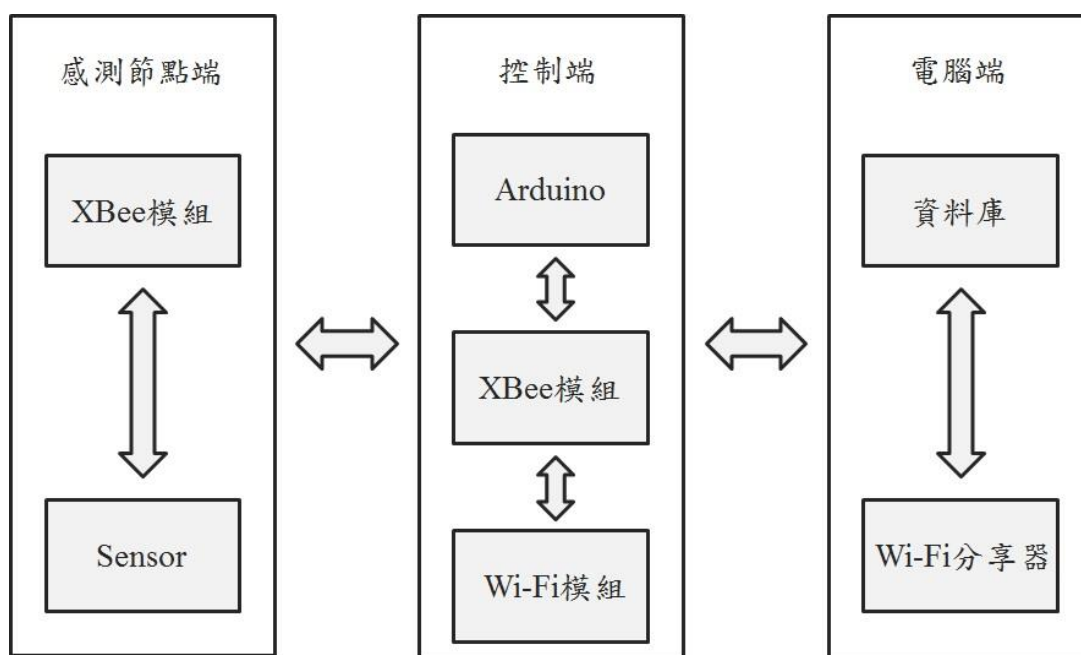


圖 4.4 流程方塊圖

控制端是本系統架構最主要的硬體部分，以控制端為中心將數據資料傳遞或分析，是負責作為感測器與電腦端溝通的橋樑，所有數據資料都會透過控制端互相來回傳送。控制端所使用之微控制器為 Arduino Uno，結合了 XBee 模組與 Wi-Fi 模組，Arduino 是一種可以分析控制的單晶片裝置，可參考第二章第五節介紹。

依系統需求此控制端要能夠接收各感測節點傳送的數據，再由 Arduino 控制回傳數據或是直接傳送至 Wi-Fi 模組，而 Arduino 必須要透過協調者(Coordinator)向各個感測節點接收數據資料，所以控制端本身也算是一個節點，如圖 4.5。

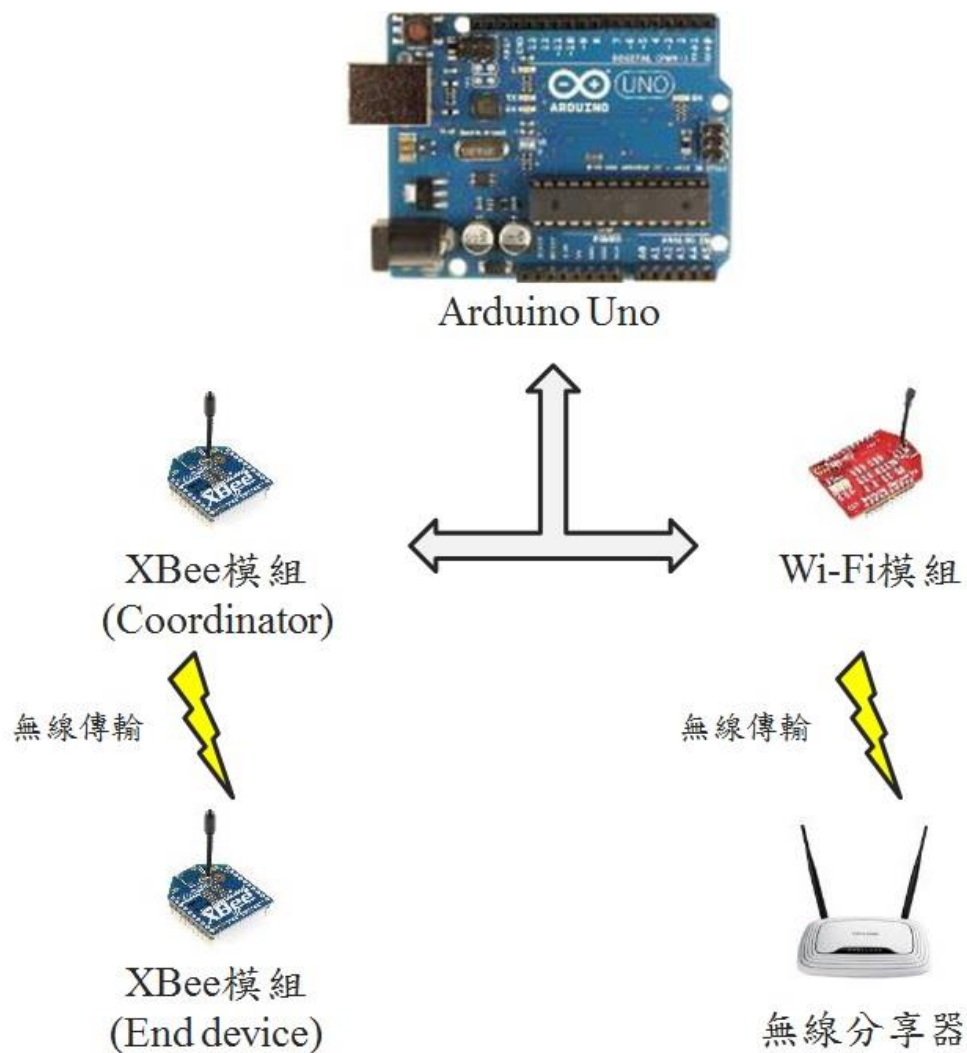


圖 4.5 控制端架構

感測節點端如圖 4.6 所示，本系統所使用的網路結構為星狀網路，每個節點都設定為終端裝置 (End device)，唯一在控制端的節點設定為協調者 (Coordinator)，此感測節點端利用 XBee 模組建立無線感測網路節點。在一個居家環境中，星狀結構是最適合的，在距離上此模組也能夠滿足條件，若是真的有距離上的不足，也能夠依靠增加 XBee 模組並且設定為路由器節點 (Router) 以做網路擴展。

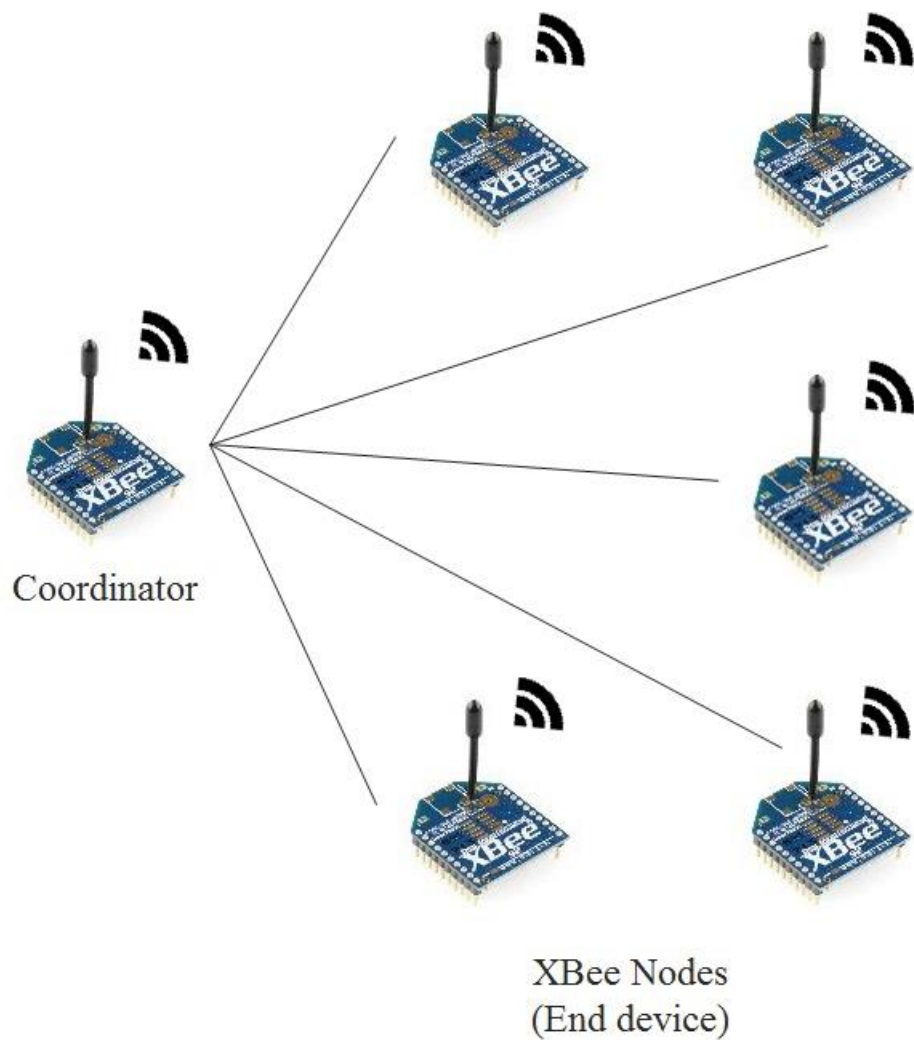


圖 4.6 XBee 無線感測網路節點

對 XBee 來說，這些從感測器收集到的數據資料是沒有任何意義的，它純粹只是一些數字形式，而我們對於這些資料的意義是它能幫助我們對於這個環境上認知，透過這些資料可以規劃出一個行為模式，也可以是一個以觸發為動作的模式，甚至是經由整合統計之後的數值，可以去證明一個環境上的變化，制定一個環境評估的依據。

在感測節點端，每個感測器加裝設定好終端裝置節點的 XBee 模組，藉由與協調者做傳輸，使其能將感測器檢測到的數值透過 XBee 無線感測網路由主控端的協調者節點整合收集。感測器只能單純的去收集資料，而如果直接將資料以 XBee 傳輸，那會造成亂碼或是無法傳輸的狀況，所以這個問題我們必須要使用微控制器去分析數據來解決問題，如圖 4.7。



圖 4.7 感測節點端架構

在電腦端架構方面，我們利用無線分享器(Access Point，AP)將網路以無線形式分享給控制端的 Wi-Fi 模組，經由 AP 分配的 IP 位址給 Wi-Fi 模組，此後 Wi-Fi 模組就能享用該區域的無線網路，也能與 AP 做溝通，如圖 4.8。



圖 4.8 電腦端架構

另一方面電腦端同時也可以作為使用者介面，在電腦環境中建構資料庫和架設一個網頁伺服器，資料庫能夠儲存各種數據資料，而網頁則能夠從資料庫中抓取需要的資料。

如下圖 4.9 所示，使用者想要以遠端的方式監控居家環境，可以透過智慧型手機、平板電腦、筆記型電腦等等的隨身裝置，利用網際網路連線到電腦端所架設的網頁，網頁伺服器就會依照使用者的需求提供資料庫裡的數據資料，而資料庫會隨時更新從控制端所傳送的各個感測值，並且儲存起來。

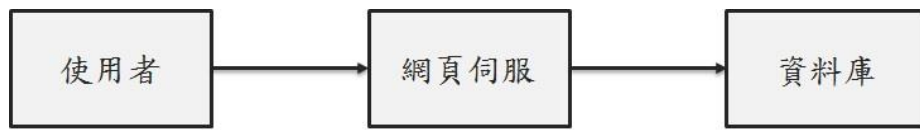


圖 4.9 使用者流程方塊圖

第五章 實驗結果與分析

本實驗在伺服端處理之數據包含兩部分，分別是感測器協調節點經由路由節點或終端節點所傳遞進來的感測數據，透過 COM port 將數據傳遞到資料庫伺服主機；其次是使用者透過行動 APP 或網頁瀏覽器提出查詢需求，網頁伺服器向資料庫讀取結果之數據回傳給使用者之行動裝置或桌上型電腦所送出結果之數據。

第一節 Web 端網路服務介面

Arduino 主系統控制端模組，包含 Arduino Uno、XBee 模組、Wi-Fi 模組，其主要作用以 X-CTU 韌體設定的 XBee 為協調者(Coordinator)，以此為主系統建構無線感測網路，X-CTU 是由 Digi 公司設計的軟體，能為 XBee 模組進行參數設定，如圖 5.1。

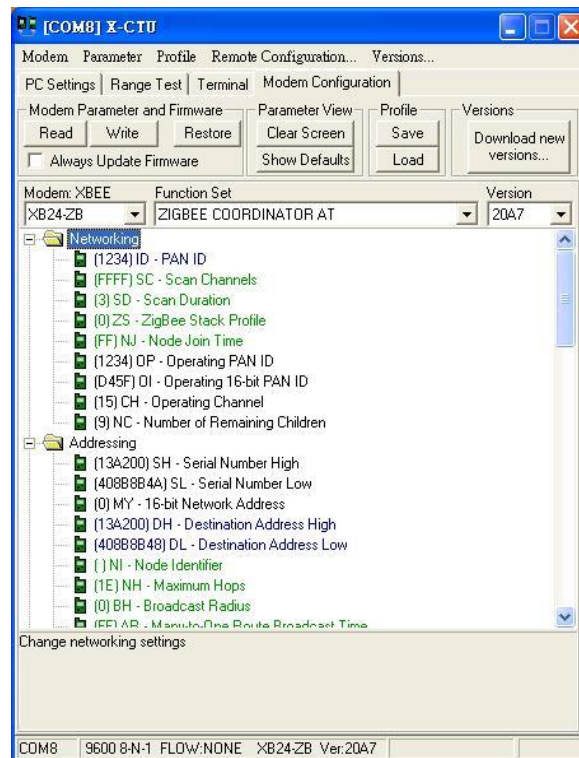


圖 5.1 X-CTU 參數設定介面

將協調者(Coordinator)與 Wi-Fi 模組連接微控制器 Arduino，最後由無線分享器 AP 接收數據資料，如圖 5.2，左起是行動電源、Arduino Uno、XBee 模組、Wi-Fi 模組與上方的 AP。



圖 5.2 系統控制端

協調者建構好無線感測網路後，其各個路由器、終端裝置皆可加入此網域，Wi-Fi 模組經由無線分享器 AP 設定的 IP 位址，透過 Arduino 將 XBee 協調者與 Wi-Fi 模組整合，達成利用 AP 傳送資料至電腦端。

本系統感測節點端實作如圖 5.3 溫溼度感測器、圖 5.4 物體移動感測器、圖 5.5 彎曲感測器、圖 5.6 超音波感測器；每個感測器都搭配一個 XBee 模組，經由感測器收集感測資料透過 XBee 無線感測網路傳輸到主系統的協調者。

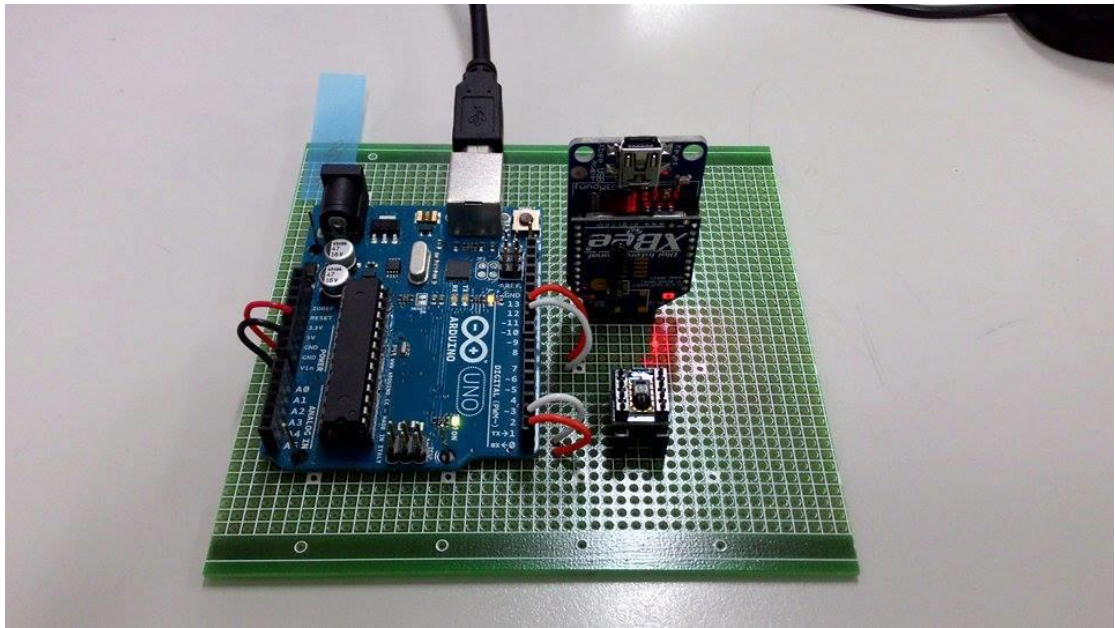


圖 5.3 溫溼度感測器

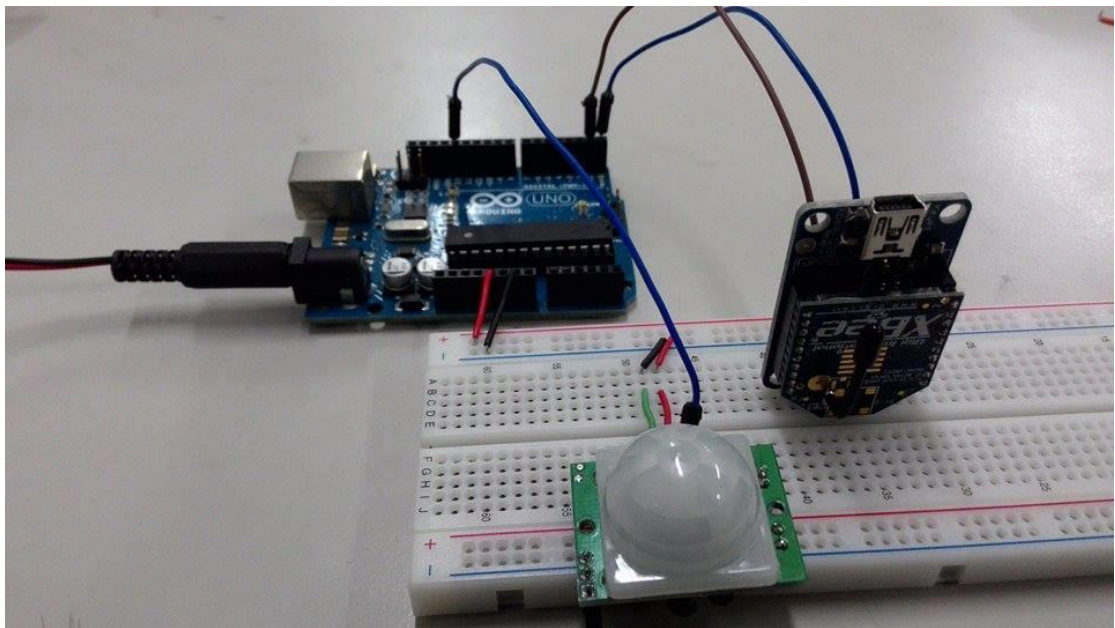


圖 5.4 物體移動感測器

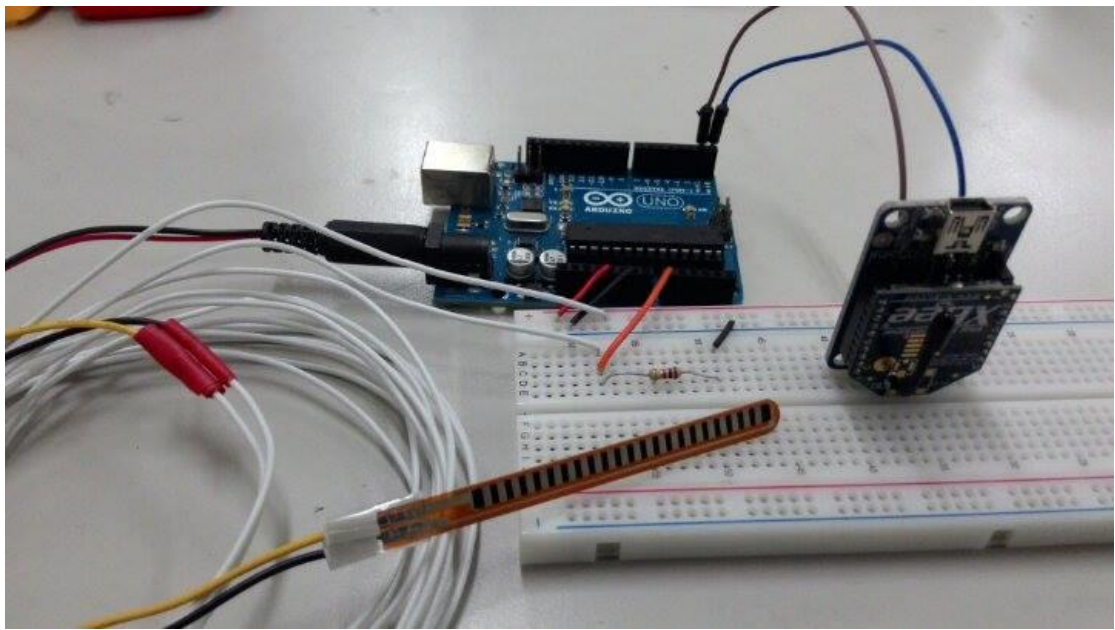


圖 5.5 彎曲感測器

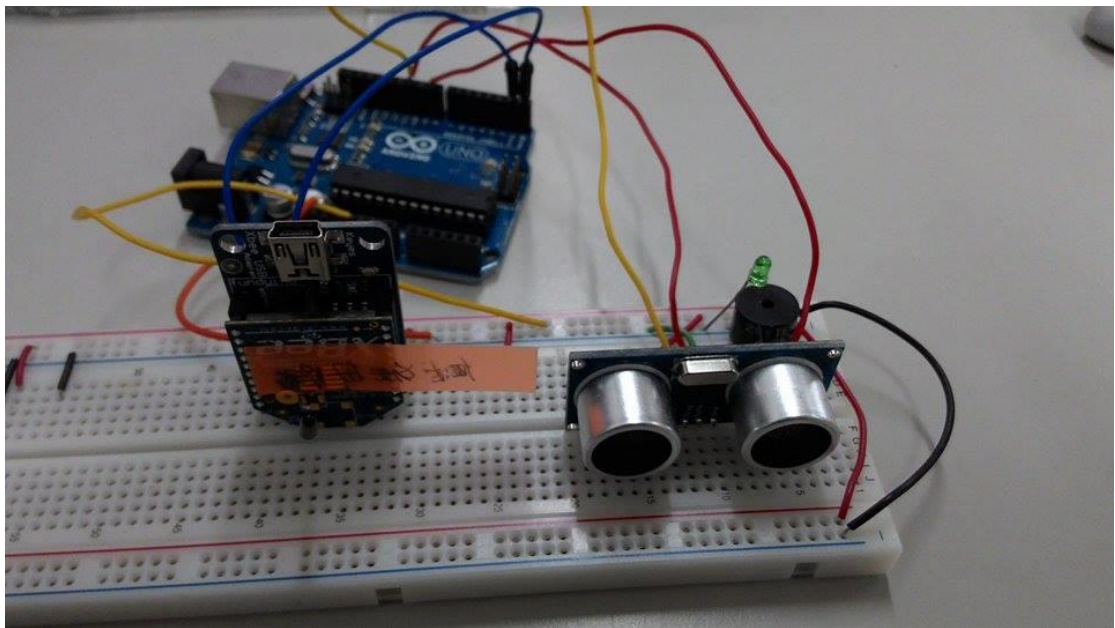


圖 5.6 超音波感測器

其中我們將溫溼度感測器與物體移動感測器做智慧化設計，利用室內溫度來控制電風扇，設定一個溫度為標準，溫度過高就自動開啟風扇，過低就自動關閉。如圖 5.7 所示，在感測節點端加裝繼電器，將感測器結合風扇。

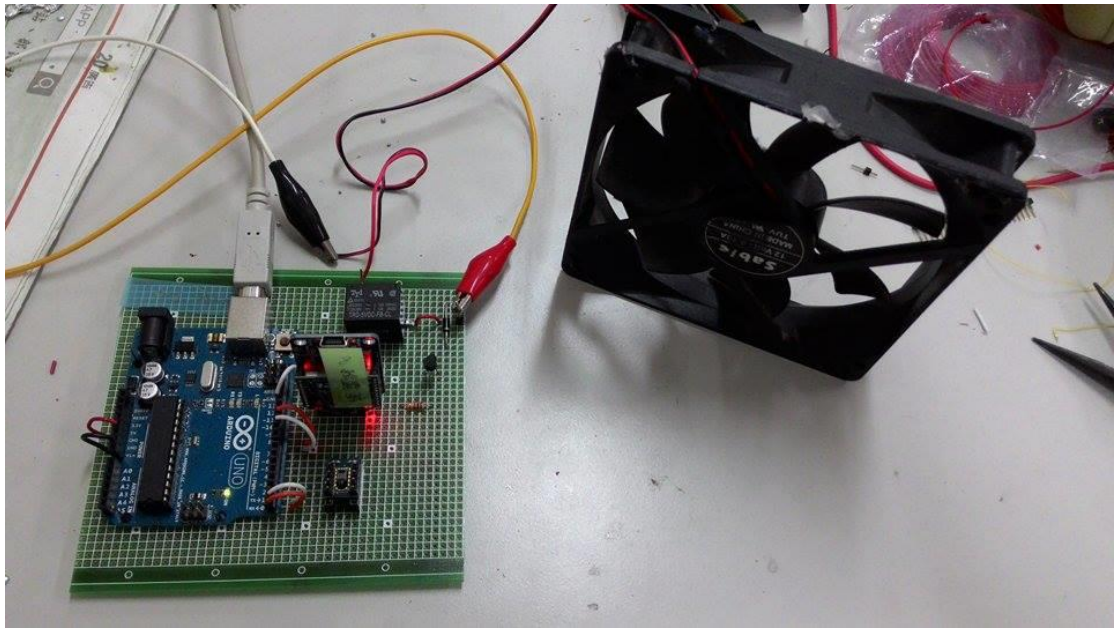


圖 5.7 溫度控制風扇

而物體移動感測器則結合照明設備，同溫濕度感測器，加裝繼電器作為切換電壓給照明設備的開關，如圖 5.8。當門被轉動，周圍紅外線值被改變，感測器就會觸發信號來啟動照明系統。

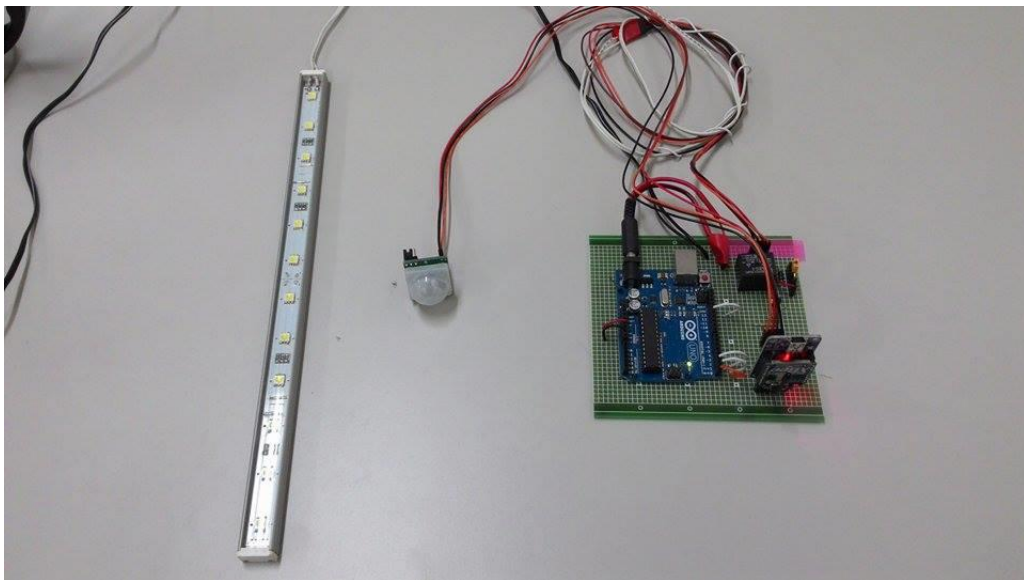


圖 5.8 自動照明系統

主控端所接收到感測節點端數據如圖 5.9，在 X-CTU 軟體中的 Terminal 頁

面顯示，已經過 Arduino 分析溫濕度感測器的攝氏溫度、華氏溫度與濕度數值。

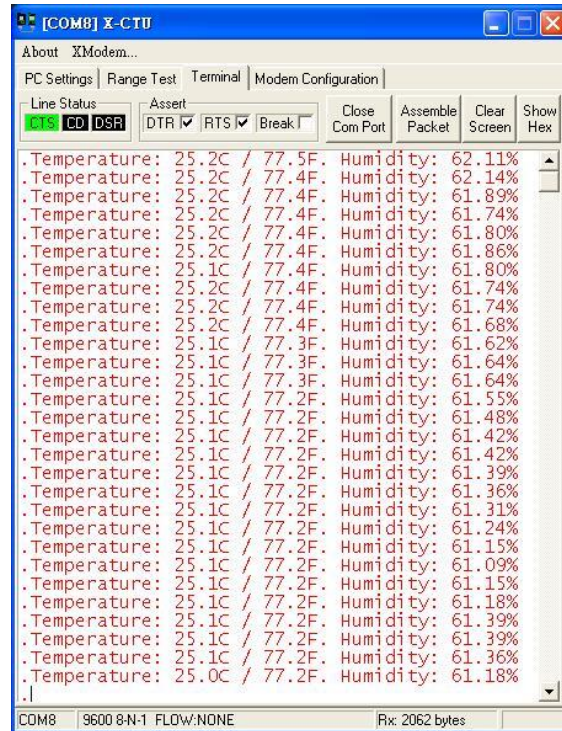


圖 5.9 主控端與溫溼度節點連結

如圖 5.10 為本系統設計完成的所有硬體與感測器模組，接著我們將控制端與感測節點端實際運用在學校的研究室內。

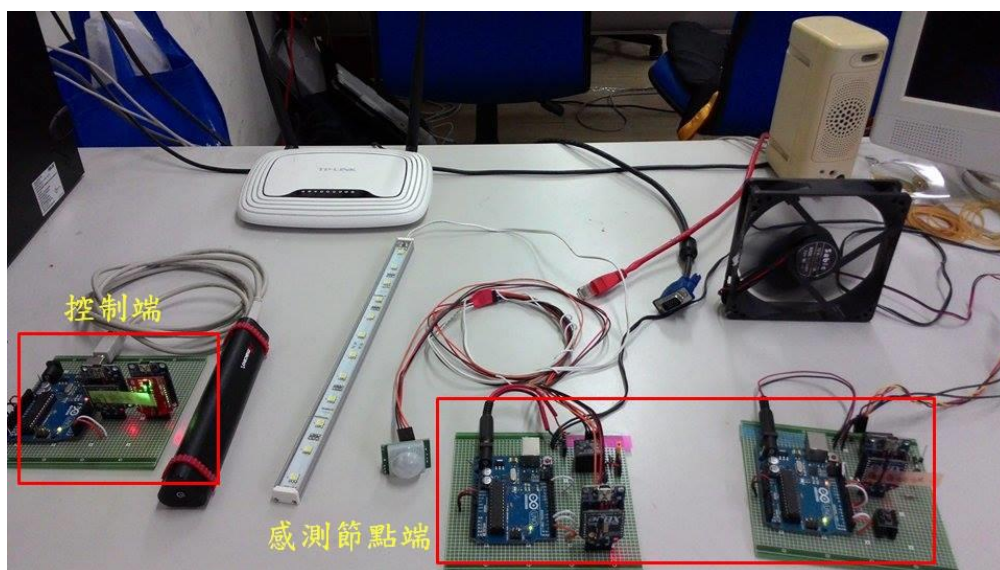


圖 5.10 系統硬體展示

依照所量測的溫度為準，Arduino 讀取感測器溫度作分析判定，將溫度設定為攝氏 26 度如圖 5.11，高於 26 度風扇將會自動啟動，低於 26 度會自動關閉，Relay status 是繼電器狀態，0 代表關閉，1 則是代表啟動，經由繼電器控制外部電源來啟動風扇。

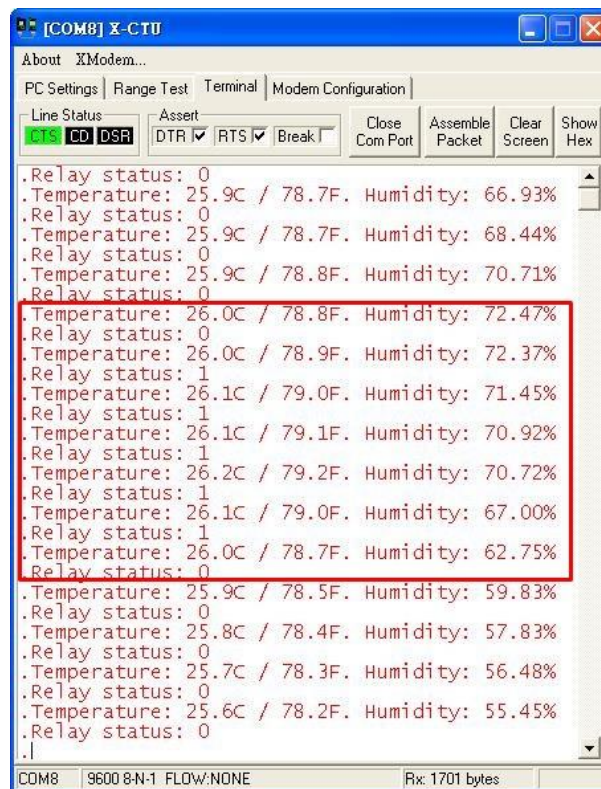


圖 5.11 感測器狀態

此感測器具備了自動化的開關設計，能夠利用室內溫度適時的啟動風扇，除了擁有此智慧化的設定外，並且同時具有節能省電的功用如圖 5.12。

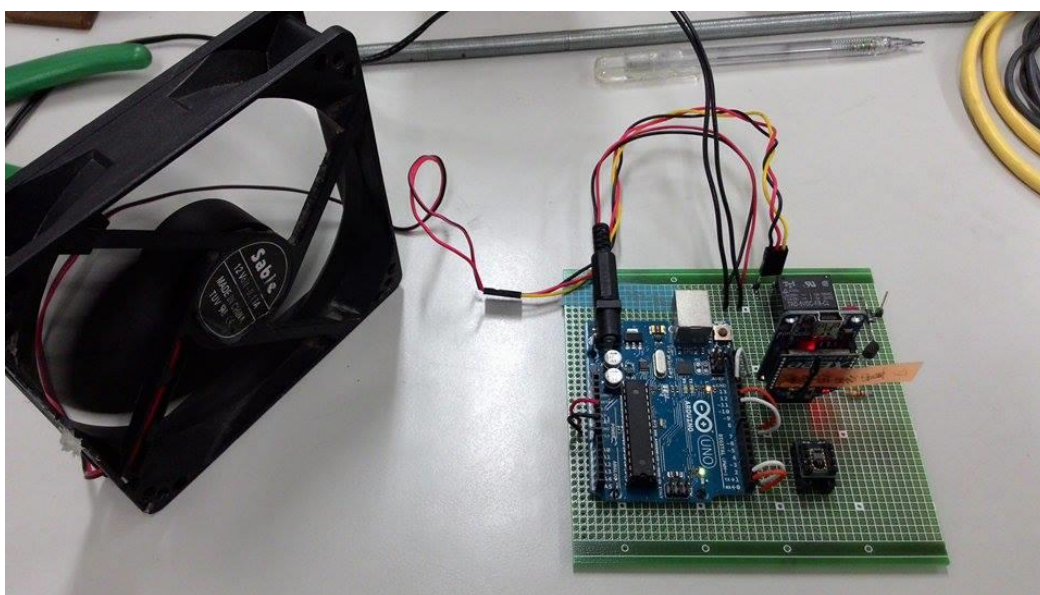


圖 5.12 智慧感測節能風扇

物體移動感測器則是設置在門口，如圖 5.13。任何生活環境中，我們在進出一個地方，必定都會經過一道門，所以利用開關門或進出等，這些生活上必須的動作與感測器互動，就能夠達成無形中影響感測器的方式來觸發照明設備。因不希望有任何的因素導致感測器誤判的狀況，所感測器只會針對門是否被轉動來感。



圖 5.13 門內設置物體移動感測器

將控制端與感測節點端完成配置後，此研究室裡就成功的形成一個無線感測網路環境，如圖 5.14。



圖 5.14 室內環境

第二節 使用者介面

我們使用 AppServ 這套軟體，如圖 5.15，它包含 PHP、MYSQL、Apache 等網站環境所需要的元件，主要功能是架設一個伺服器。

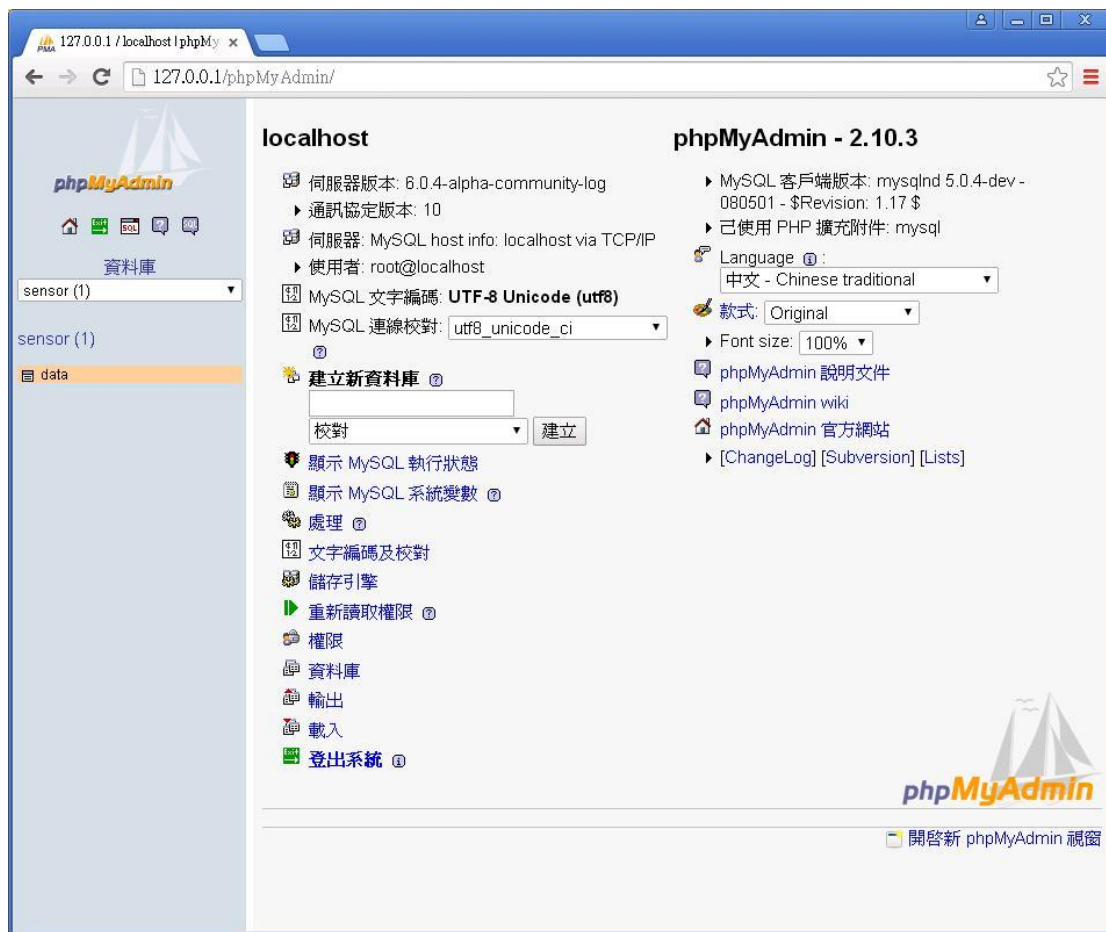


圖 5.15 AppServ 介面

從終端裝置節點感測器上將感測數值傳送至主系統控制端，控制端上的 Wi-Fi 模組會透過 AP 將數值整合收集至資料庫如圖 5.16。

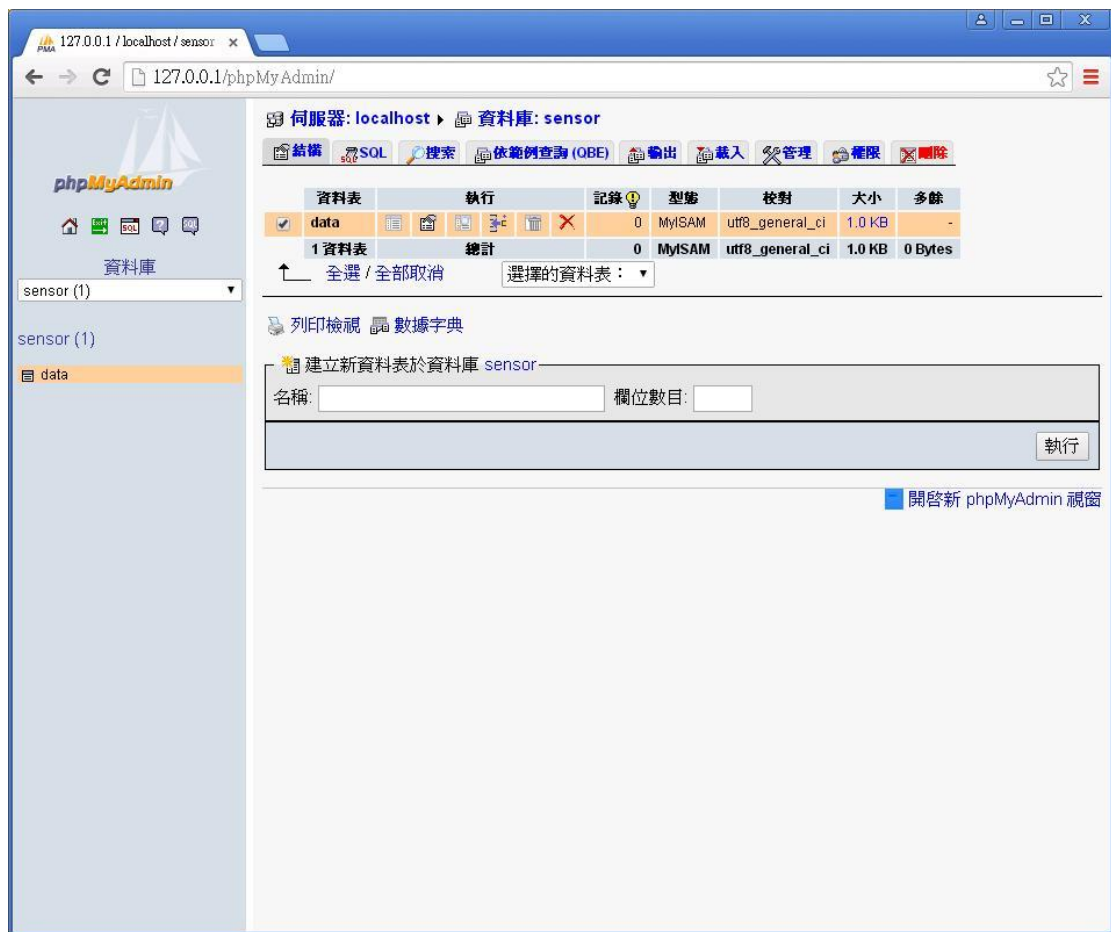


圖 5.16 資料庫

如圖 5.17，在電腦端使用終端機查看 AP 所收到的數據，而數據資料會以一筆一筆的方式存入資料庫內。

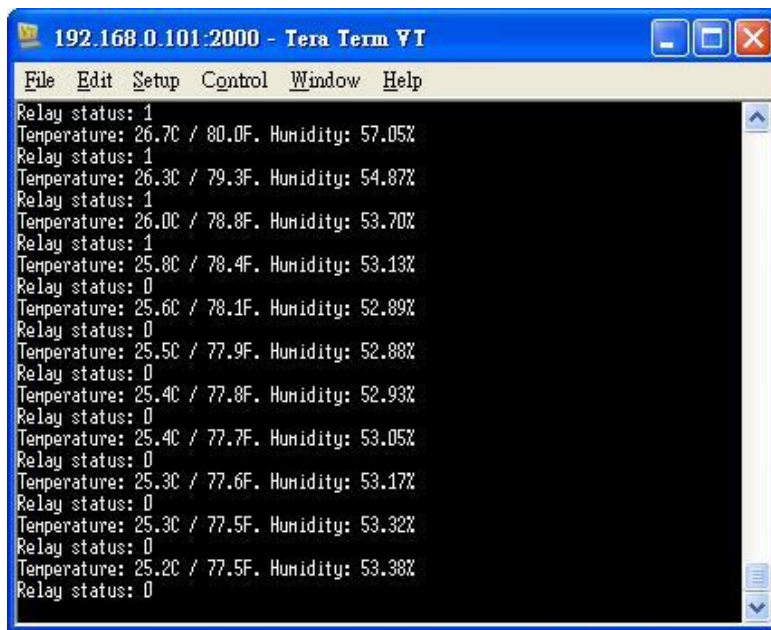


圖 5.17 Tera Term 終端機

利用 AppServ 建立資料庫，並且架設簡易的網站，網站將從資料庫中抓取數據顯示在網頁上，如圖 5.18。

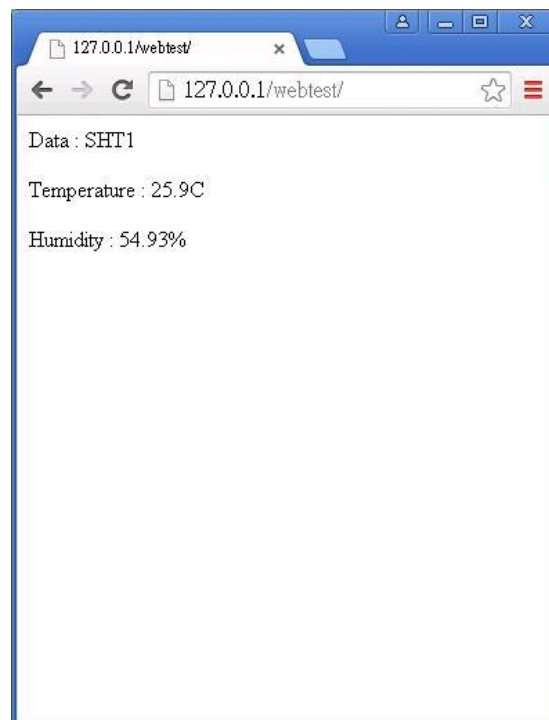


圖 5.18 網頁顯示結果

第六章 結論與未來展望

本設計展示許多感測器應用方法及其多種可能使用的情境，藉由手機或網頁來控制感測器裝置，以 ZigBee 技術建構無線感測網路，並透過 Wi-Fi 模組將數據資料傳送儲存至資料庫上，達成互動控制目的。系統實體完成了控制端、感測節點端、電腦端三個部分並且實際運用在學校研究室裡，將系統架構完整的實現。

由實驗過程可得出 XBee S2 模組在 AT 模式下若不依靠 Arduino 作數據分析是無法將數據完整傳輸。而 ZigBee 與 Wi-Fi 兩者使用的網路協議分別為 IEEE802.15.4、IEEE802.11x 系列，將兩種協議整合再一起是相當大的挑戰[28]，這個問題因我們使用的 Wi-Fi 模組是專門為 802.15.4 標準協定架構轉移至 TCP/IP 架構所設計，也就是說此模組支援 802.15.4 與 802.11x 協定，同時也直接的幫我們解決了這項問題。

未來只要產品或設備加裝 ZigBee 模組，便能輕易加入本系統的無線感測網路，既可達成遠端控制，不管是應用在環境監控、居家安全、互動式環境等，都能增加使用者的便利性與省下時間。因目前系統上的終端裝置感測器都必須要依靠 Arduino 來做分析數據並將數值透過 XBee 作傳輸，而這樣的方法是不切實際且佔用環境空間，未來將會朝向僅用 XBee 模組結合感測器的方式去做研究。如何活用 XBee 模組上的 AT 指令與 API 指令，也是未來必須要納入的研究之一。

參考書目

- [1] 經濟部智慧生活科技運用計畫推動辦公室，「智慧生活科技運用計畫簡介(i236 計畫)」，2012 年 5 月 8 日，
<http://idipc.yunlin.gov.tw/upload/f239-1.pdf>。
- [2] 龔旭陽、郭庭歡、歐進裕、林美賢，「節能式 OSGi 家庭網路服務系統之設計」，資訊科學應用期刊，第五卷，第二期，2009，第 45-55 頁。
- [3] 巫方環、曾煜棋，無線感知技術的應用，科學發展，2010 年 3 月。
- [4] 陳冠名，智慧型行動電話裝置發展現況暨產品趨勢探索，資策會 MIC，2007 年 6 月 27 日。
- [5] V. Georgitzikis, O. Akribopoulos and I. Chatzigiannakis, "Controlling Physical Objects via the Internet using the Arduino Platform over 802.15.4 Networks," IEEE latin america transactions, vol.10, no.3, 2012.
- [6] WIFLY RN-XV, User Manual and Command Reference, Copyright © 2011 Roving Networks, Inc. 18, 8, 2011.,
<http://dlnmh9ip6v2uc.cloudfront.net/datasheets/Wireless/WiFi/WiFly-RN-XV-DS.pdf>。
- [7] Datasheet SHT1x, Humidity and Temperature Sensor, SENSIRION the sensor company, 5, 2010., <https://www.parallax.com/sites/default/files/downloads/28018-Temperature-Humidity-Manufacturer-Datasheet.pdf>。
- [8] Sensirion SHT11 Sensor Module, Precision Temperature and Humidity Measurement, Parallax, Inc. (#28018) 7, 2003.,
<https://www.parallax.com/sites/default/files/downloads/28018-Temperature-Humidity-Manufacturer-Datasheet.pdf>。
- [9] Arduino 官方網站，<https://www.itri.org.tw/chi/index.aspx>。
- [10] Robert Faludi, Building Wireless Sensor Networks, O'Reilly Media,

2010.

- [11] Digi 官方網站,
<http://www.digi.com/support/productdetail?pid=3430&osvid=0&type=documentation>。
- [12] Y. P. Tsou; J. W. Hsieh; C. T. Lin and C. Y. Chen, "Building a Remote Supervisory Control Network System for Smart Home Applications," IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics, vol.3, no.8-11, Oct. 2006, pp.1826-1830.