

應用無線感測器網路建立水質即時回傳系統

洪耀明

明道大學環境規劃與
防災學系助理教授

e-mail :

blueway@mdu.edu.tw

陳少鈞

明道大學管理研究所資
管組研究生

e-mail :

aluba7211@hotmail.com

許祐鄰

明道大學環境規劃與防
災學系計畫專任助理

e-mail :

kennethmacro@gmail.com

摘要

大部份水質監測係透過定期至現場採樣及分析，以了解水質變化，對於突然發生污染破壞水生生態系統或影響水質等事件，則無法立即無法得知，因此建立即時水質監測系統有其必要性。本研究採用無線感測器網路、GPRS及配合太陽能供電系統，建立氫離子濃度、電導度、溶氧及濁度之水質即時傳輸系統，不需額外電源及有線網路，可快速佈建於河川、水庫或農塘等進行即時水質監測。

關鍵詞：水質監測，無線感測器網路，即時系統。

Abstract

Most of water quality monitoring methods select the samples and analyze them periodically to understand the change of water quality. These methods cannot acquire the real-time pollution which may destroy the aquatic ecosystem or water quality. Therefore, it is necessary to build the real-time water quality monitoring system (RTWQMS). This study uses the wireless sensor network (WSN), general packet radio service (GPRS) and solar energy power supply system to build the RTWQMS which collects the concentration of hydrogen ion(pH), electric conductivity (EC) and dissolved oxygen (DO) in water. Our system can be operated by itself steadily without the outer electric power and the fixed communication network, and then we can build a RTWQMS quickly in river, reservoir or pond.

Keywords: water quality monitoring, wireless sensor network, real-time system.

1. 前言

台灣由於水資源榮枯分配不均，加上家庭及事業廢水任意排放，導致河川水質污染，根據內政部營建署下水道工程處(2006)資料

顯示 2006 年底污水下水道接管率僅達 15.58%，2007 年預計達 16.5%，與先進國家相差甚多。為了解河川、水庫或農塘水質情況，需有一套評估方法，例如美國國家衛生基金會(National Sanitation Foundation)於 1970 年所發展之水質指數(water quality index, WQI)。而行政院環境保護署(2007)，採用河川污染程度指數(river pollution index, RPI)建立河川汙染指數，再由污染指數推估污染程度。

而水質與氣候關係密切，同時若因突然發生的污染源發生導致之水質變化便無法得知，因此建立即時水質監測系統有其必要性；例如林昭映(2004)利用日月潭所建立之自動水質監測系統，以時間序列模式分析日月潭之水質變化趨勢；Glasgow et. al. (2004)認為由於通訊及感測技術之進步，使水質之即時遠端監測(real-time remote monitoring, RTRM)技術有了很大的進步。尤其由於微機電技術進步，促成了無線感測網路(wireless sensor network, WSN)之興起，WSN是由一到數個無線資料收集器以及眾多的感測器所構成，通常用來偵測環境所發生的變化及產生可量測的回應，而與其他感測器元件間的通訊方式採用無線網路互相傳遞資料。在無線感測網路的架構下，透過所銜接的感測模組，可監測例如溫度、溼度、車輛流動、壓力、速度及方向等參數，因此無論在通訊、國防軍事、電腦網路、家庭自動化、保全偵測系統、環境監控及個人醫療照護等領域，都非常具有應用之潛力(洪耀明等，2007)。因此本研究嘗試選擇適合的水質感應器，並製做相關之轉接設備，透過WSN之mote版，將資料回傳至接收器(gateway)，未來可進一步應用於實際之現場量測。

2. 水質分析方法與設備

2.1 河川水質分析方法

探討河川污染程度可以用河川污染程度指數RPI及水質指數WQI進行評估，RPI指標為行政院環保署用於評估河川水質之綜合性指標，係以水中溶氧量(dissolved oxygen, DO)、生化需氧量(BOD5)、懸浮固體(suspend solid, SS)、與氨氮(NH₃-N)等四項水質參數之濃度值，來計算所得之指標積分值，並判定河川

水質污染程度。RPI指標之計算及比對基準如表1所示，表中指數在6.0以上為嚴重污染。另一水質評估指標為WQI指數，包括收集溶氧量、生物需氧量、懸浮固體、氨氮、酸鹼值、大腸桿菌群、水溫變化、總磷與濁度等參數，再經過轉換與加權而得，可用來了解與評估水質。

表1 行政院環保署RPI指標

水質項目	未(稍)受污染	輕度污染	中度污染	嚴重污染
溶氧量(DO) mg/L	6.5 以上	4.6~6.5	2.0~4.5	2.0 以下
生化需氧量(BOD5)mg/L	3.0 以下	3.0~4.9	5.0~15	15 以上
懸浮固體(SS) mg/L	20 以下	20~49	50~100	100 以上
氨氮(NH ₃ -N) mg/L	0.50 以下	0.50~0.99	1.0~3.0	3.0 以上
點數	1	3	6	10
污染指標積分值	2.0 以下	2.0~3.0	3.1~6.0	6.0 以上

2.2 水庫水質分析方法

行政院環保署用於評估水庫水質優養程度的指標為卡爾森指數(carlson trophic state index, CTSI)，CTSI係以水中的透明度(SD)、葉綠素a(Chl-a)及總磷(total phosphorus, TP)等三項水質參數之濃度值進行計算，再以其計算所得之指標值，判定水庫水質之優養程度。CTSI指標之計算方法及比對基準如下：

$$TSI(SD) = 60 - 14.41 \ln SD \quad (1)$$

$$TSI(Chl-a) = 9.81 \ln Chl-a + 30.6 \quad (2)$$

$$TSI(TP) = 14.42 \ln TP + 4.15 \quad (3)$$

$$CTSI = \frac{TSI(SD) + TSI(Chl-a) + TSI(TP)}{3} \quad (4)$$

式中 SD = 透明度(m)；Chl-a = 葉綠素 a 濃度(μg/L)；TP = 總磷濃度(μg/L)。CTSI 與水庫優養程度如表 2 所示，當 CTSI > 50 為優養狀態。

表2 CTSI與水庫優養程度關係

CTSI值	水庫優養程度
CTSI<40	貧養狀態
40 ≤ CTSI ≤ 50	普養狀態
CTSI > 50	優養狀態

2.3 現場水質監測設備

考慮上述監測項目後，排定需檢測項目包

括水溫、pH、EC、DO、BOD5、SS與NH₃-N。而能實際應用於現場即時監測設備，需具備低耗電、不易損害且設備小之特點，經過現有監測設備檢討後，選定pH、EC、DO及濁度(turbidity)四項內容，未來可依此四項檢測結果，判定其餘監測內容之採樣時機，以下針對本研究使用之pH、EC、DO及濁度說明如下。

2.3.1 pH值

pH值可用以得知水質酸鹼性，pH=7時為最適合水中動植物生存，本研究採用WQ201 WATER QUALITY SENSOR，如圖1所示，有不鏽鋼外殼包覆，較不易損壞，同時其cable線長度7.5m，可據以由感測器延長至mote端。



圖 1 pH 值設備 WQ201

2.3.2 EC值

EC值可用以得知水質導電特性，本研究採用WQ301 water conductivity sensor，如圖

1(b)所示，有不鏽鋼外殼包覆，較不易損壞，由於WSN Mote均採電壓或電流輸出，以方便實際操作，同時其cable線長度7.5m，可據以由感測器延長至mote端。



圖 2 EC 值設備 WQ301

2.3.3 DO值

DO值可用以得知水之溶氧量，通常溶氧量越高越好，本研究採用WTW之Oxi 340i手提式微電腦酸鹼度計，結合Galvanic溶氧電極可即時快速使用，Oxi 340i可使用電源轉換器及串列埠輸出，如圖3所示，有不鏽鋼外殼包覆，較不易損壞，以方便實際操作，其cable線長度10m，可據以由感測器延長至mote端。



圖 3 WTW 型號 Qxi 340i 之 DO 計

2.3.4 濁度計

所謂 SS 值為水中粒子經濾器過濾而殘留量，通常懸浮固體物量越低越好，本研究以濁度計代替 SS 值，兩者之間可以用經驗公式加以轉換。濁度計採用 WQ710 water turbidity sensor，如圖 4 所示，有塑膠外殼包覆，確保儀器較不易損壞，以方便實際操作，同時其 cable 線長度 7.5m，可據以由感測器延長至 mote 端。



圖 4 濁度計設備 WQ710

3. 無線感測網路原理與設備

3.1 無線感測器網路簡介

無線感測器網路最早是美國加州柏克萊大學的一項研究計劃，研究人員開發出一種體積很小的感測器，稱之為智慧灰塵(smart dust)，如圖 5 所示，採用微電子機械系統(micro-electro-mechanical systems, MEMS)技術。

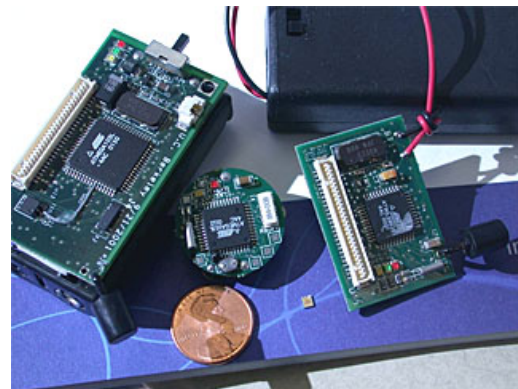


圖 5 無線感測網路
(資料來源：ADS Lab, 2007)

WSN 是由一到數個無線資料收集器以及為數眾多的 mote 銜接感測器(sensors)所構成的網路系統，而元件之間的溝通則是採用無線的通訊方式。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。

感測網路系統首先將大量的感測器(Sensor Nodes)任意地散佈在待感測的感測區域(Sensor Field)，用來蒐集各種環境資料，所偵測資料可為溫度、溼度、光度、壓力、二氧化碳濃度等，再藉無線網路以多點跳躍(multi-hop)方式，將蒐集的資訊透過無線資料蒐集器(gateway)傳回給管理者或使用者，如圖 6 所示。

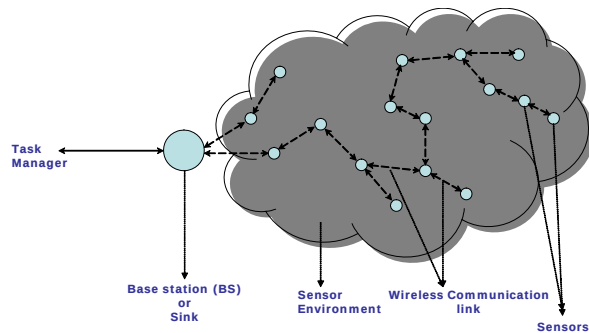


圖 6 無線感測器網路環境架構圖

(圖片來源：通訊雜誌, 2003)

mote 所需電源極小，例如 crossbow 公司之 MPR400，於傳輸資料時耗電約 3.3 伏特 (voltage, v) 及 0.00056 安培 (ampere, A)，約為 0.001848 瓦特 (watt, W)，同時並且裝備了一個處理器，一個小量電腦記憶體和監控溫度、濕度、壓力、光與熱量的感測器。

3.2 本研究之無線感測網路設備

本研究採用 Crossbow 公司 Mica2 Mote 設備如圖 7，型號 MPR400 (Mote Processor Radio 400)。圖 8 為 MPR400 架構圖，可得知 Mote 本身有 A/D IO (Analog/Digital Input Output) 讀取處理、訊號傳遞、微處理控制及可程式化的功能，並沒有附加感測器的功能，必須外接感測器透過 A/D IO 將監測到的資料經由 A/D 轉換器 (Analog to Digital Inverter) 轉換成數位封包訊號，透過 915MHz 通訊頻率進行點對點 (point-to-point) 封包傳輸。

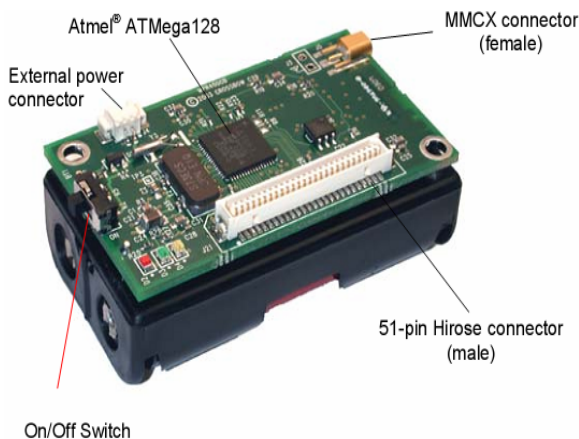


圖 7 MPR400 實體圖

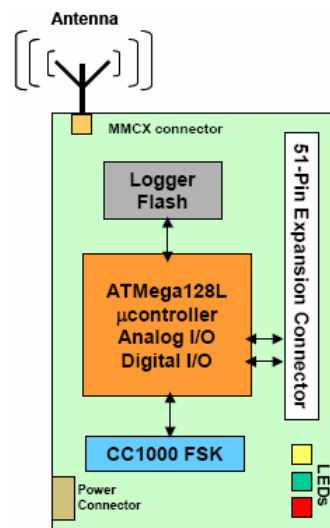


圖 8 MPR400 架構圖

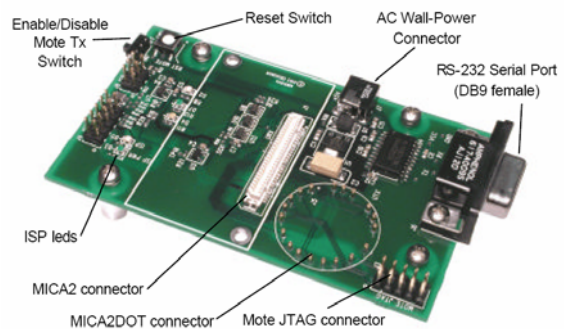


圖 9 MIB510

經由圖 9 之 Gateway (MIB510) 與單個 Mote 設備整合，將各個遠端 Mote 傳送出的資料收集起來，天線功率則有 -20、-10、0 及 5 dBm 四種提供選擇，相對選擇越高的天線功率，電力消耗功率也相對提高。

4. 系統模擬架構

本研究目標為建立能完成多點跳躍之自主性水質監測系統，因此各監測點均需能自行提供永續電力，且能自行將資料回傳至中繼接收站做暫時儲存，因此採用太陽能供電系統，為配合 Mote 與感測器需求，需規劃與設計特有的充放電控制器。

同時於明道大學蠡澤湖進行測試，以進一步證實本研究設備之穩定性，其航照圖如圖 10 所示，面積約 5ha，最大水深 2m，平日提供師生划船等水上游藝活動，洪水來臨時則作為蓄洪減災之用。

雖然所有污水均經由污水處理廠處理後

排放至蠡澤湖，但由於學校內部有數個實習農場，所有肥料及農藥均經排水系統排放至湖中，加上湖中有存有大量魚類等水生動物，造成水質優氧化，為檢討設站地點，首先於湖區選擇10點進行水質基本判示，選擇位置如圖10，其中1號點為污水處理廠出流口。表3為採樣數據分析結果，由1號站顯示污水處理場排放之廢水均經過良好處理，2號點由於水淺且日照充足，旁有水生植物清潔作用，使水質較佳。其餘測站數據均相差不多。由於mote站訊

號強度不強，最遠距離不得高於300m，本研究於圖10上方設置中繼接收站(gateway)，而10號點離中繼站最近，可確保收到資料，而2號點水質明顯較佳，可比較水深及水生植物對水質影響，且距離10號點不遠，因此本研究於2號點設置編號1之mote，於10號點設置編號2之mote。

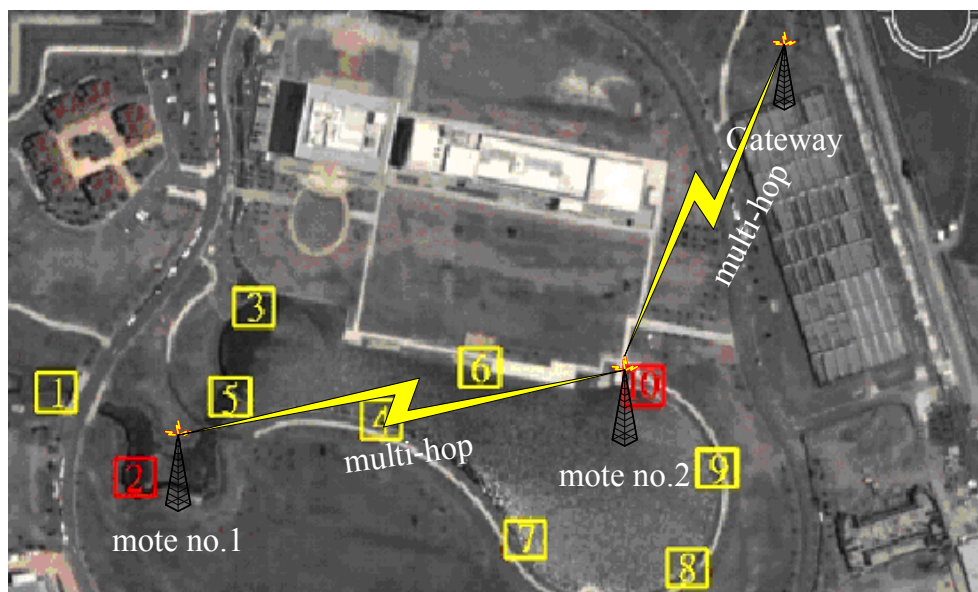


圖10 採樣位置與預定設站地點位置圖

表 3 湖水採樣數據

號碼	PH	水溫(°C)	EC (ms/cm)
1	6.89	21.5	770
2	8.45	21.5	637
3	9.30	21.5	230
4	9.50	21.5	201
5	9.39	21.5	218
6	9.44	21.6	189.8
7	9.47	21.6	195
8	9.38	21.6	196
9	9.46	21.6	191.6
10	9.33	21.6	207

5. 系統研發與整合測試

由於crossbow公司之mote版並未提供與本研究感應器之連線模式，因此需在硬體連線與軟體程式進行修改與測試，今說明如下：

5.1 感測器硬體銜接

包含感測器電源供應及資料輸出，測試如圖11所示，感測器銜接線包括電源輸入線，為紅(red)色，輸入10v刺激電壓；接地線，為黑(black)色；及白色(white)，為電壓訊號測試線，由於感測設備pH、EC及濁度計設備輸出電壓很小，需加以放大100倍，以達到Mote可接收訊號約0v至3v之間，因此加裝100歐姆電阻放大電壓，並量測兩端電壓差，透過標準液進行率定以找出電壓與儀器量值之關係式。

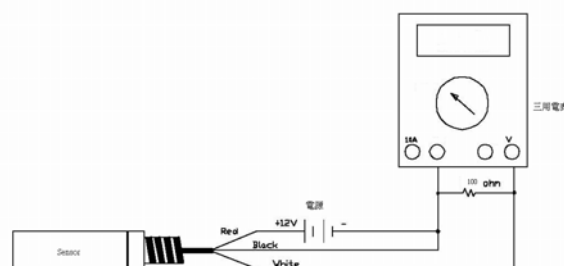


圖11 感測器測試圖

自製電阻版如圖12所示，由於本研究每個mote需接收pH、EC及濁度計三種感測器，因此需有四對電阻分別與四種設備連接。

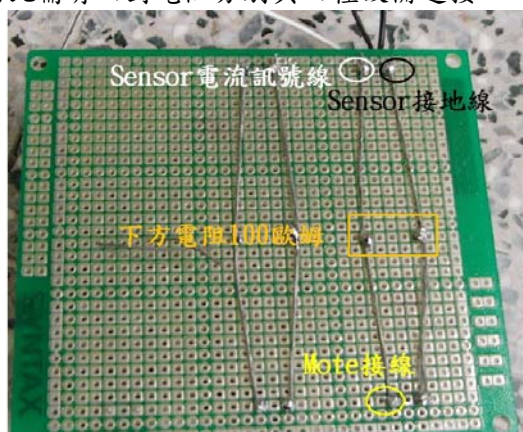


圖12 自製電阻板

5.2 感測器率定公式

電壓大小及感測值關係如下：

A. pH 值

充放電控制器提供穩定電壓 10v 給 pH 值之 sensor，外接電阻 100 歐姆以放大輸出電壓，經標準液測試如表 4 所示，推得如(5)式之關係。

表 4 pH 值率定公式

pH 值	輸出電壓(mv)
4	416
7	578
10	742

$$pH = 0.0184V_{pH} - 3.6544 \quad (5)$$

式中 V_{pH} 為量得電壓值。

B. EC 值

外接電阻 100 歐姆以放大輸出電壓，經標準液測試如下：

表 5 EC 值率定公式

EC 值 ($\mu S/cm$)	輸出電壓(mv)
1412	418
2836	624

推得

$$EC = 6.9126V_{EC} - 1477.4688 \quad (6)$$

式中 V_{EC} 為量得電壓值。

C. DO 值

採用原廠輸出設備，再外接訊號線，其輸出電壓介於 0 至 5v 之間，因此不需要再放大

電壓，且若 DO 值為 8.41 (mg/l)，對應電壓為 841mv，54.1 (mg/l) 量得 541mv，為線性關係，故其轉換公式為

$$DO = \frac{V_{DO}}{100} \quad (7)$$

5.2 Mote版硬體銜接

Mote與感測器等設備連接係透過51孔之擴充連接槽(51-Pin expansion connector)連線，如圖13所示。

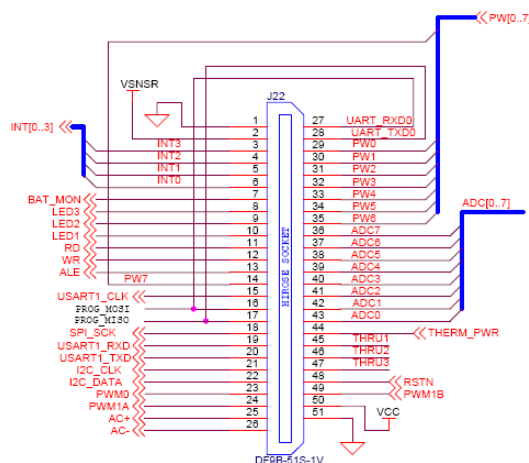


圖13 MPR400之51孔擴充連接槽

其中 36Pin 至 43Pin 為數位類比轉換 (analog digital converter, ADC)，36Pin 可提供電池電量監測(battery monitor)，40、41及 42Pin 可提供額外之 ADC，因此本研究於 40Pin 連線至充放電控制器，以監測電池電量，而 41Pin 則用來接收感測器訊號。而 mote 與感測器設備之連線如圖 14 所示，兩條藍線分別連接接電組板街收訊號電壓強度，及接太陽能充放電控制箱監測電池電量。白線為 Mote 電源線正極，與充放電控制器 Mote Power 電源輸出連接，黑線為 Mote 接地線，與充放電控制器接地線連接。

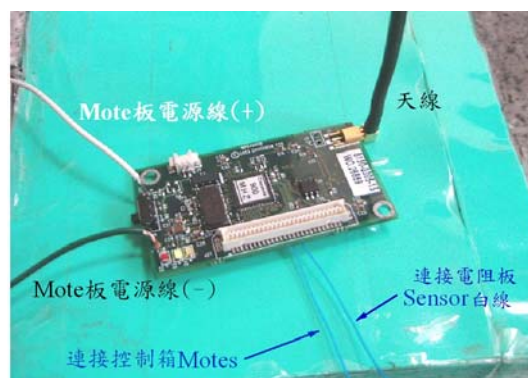


圖14 MPR400與Sensor接線說明圖

5.3 充放電控制器設計

太陽能充電控制器主要是保證太陽能電池的電量轉充到蓄電池，同時又能控制蓄電池的放電，實際上是一種既具穩壓功能又具管理蓄電池之放電功能的開關控制電源，從電路形式上講有降壓式和變壓器式兩種，降壓式要求太陽能電池工作電壓始終高於蓄電池組額定電壓，變壓器式既可升壓又可降壓，還可隔離，但成本要高一些。圖 15 為控制箱內部圖的接線說明資料，包含電源控制箱內的線路配置與配置監測儀器的電源，由上而下依序編號

1~6，說明如下：

1. 編號 1、編號 2 和編號 8：接地線功能。
2. 編號 3：提供 Mote 電力。
3. 編號 4：提供感測計電力。
4. 編號 5：為電池電壓顯示，傳回訊號值乘 10 等於實際電壓。
5. 編號 6：具備兩種供電方式，可直接將連接的蓄電池電力傳送給 Mote 使用；或是太陽能電池的電量轉充到蓄電池，再從蓄電池輸出給 Mote 使用。
6. 編號 7：太陽能板接線，將從太陽能板接收的電力回傳到控制箱。

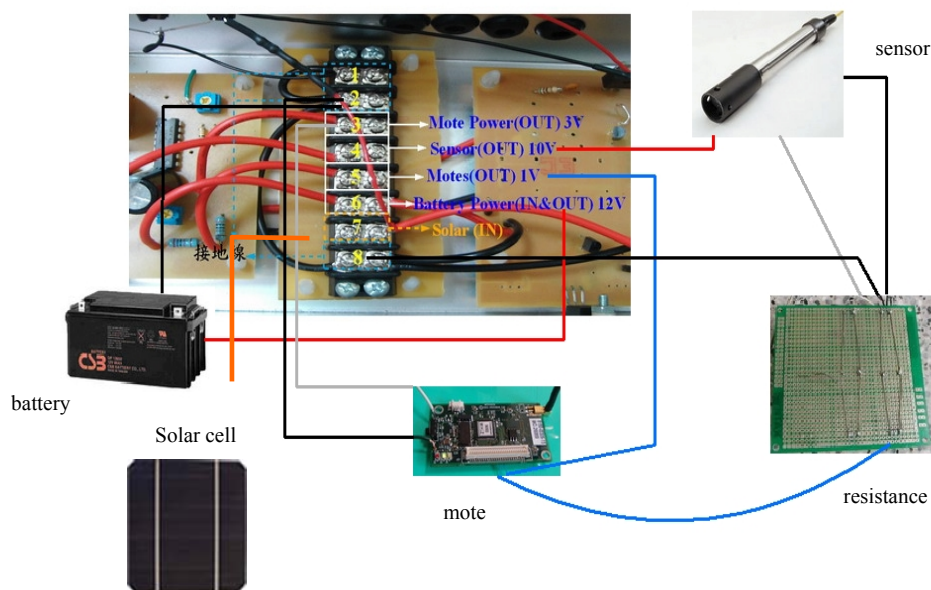


圖 15 遠端mote設備接線圖遠端mote之所有設備

5.4 軟體程式撰寫

本研究使用美國加州柏克萊大學所開發的應用程式語言 nesC，具有模組化、結構化及設計彈性高等優點，為一種元件組合式 (Component-based) 語言，CrossBow 公司以 nesC 程式語言設計相關公用程式。

通常於 mote 端發送資料，於 gateway 端接收資料都需要相關程式。於 mote 端方面，本研究採用具有 Multihop 的演算功能之 Surge 範例程式加以修改，因感測器回傳為電壓值，因此本研究增加 ADC 讀取類比訊號程式，包括讀取太陽能電池電壓，及讀取感測器回傳電壓。

另外本研究撰寫 AvgTimer 程式計算每 10

分鐘傳送監測資料。因接收的類比資料呈現為不規則型態，因此本研究設計在傳送前 10 秒時，每 100(ms)取一次電壓值，共取 100 筆類比資料並計算成平均值，最後再將資料傳送給 MIB510(Gateway)。

5.5 系統整合測試

5.5.1 測試步驟

本系統整體安裝如圖 15 所示，測試步驟說明如下：

- (1) 透過cygwin整合開發環境下將修改後之軟體程式surge燒錄至遠端mote，接收站之mote則燒錄tobase程式以便接收遠端資訊。

(2) 架構遠端mote之所有設備，以充放電控制器為主，連接太陽能電池、蓄電池、電阻板、mote板及感測器。

(3) 架設臨時接收站，透過gateway接收資料。

5.5.2 測試資料格式說明

Gateway接收封包畫面如圖16所示，其封包說明如圖17所示，皆為16進位傳遞，各欄位說明如下：

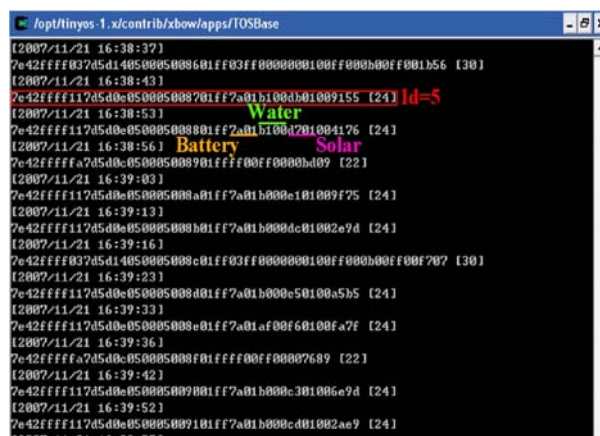


圖16 資料接收畫面

SYNC_BYTE		Packet Type		Destination Address		Type	Group		Data Length
7e		42		ffff		11	7d5d		0e
Payload Data									CRC
Node ID	Reserved	Node ID	Reserved	Times	Other	Battery	Water	Solar	
05	00	05	00	9a01	ff	7a01	b000	d701	
9f75									

圖17 接收資料封包說明

- (1) 1-2 欄位：封包欄位同步位元組 (SYNC_BYTE)，皆使用 0x7e。
- (2) 3-4 欄位：封包型態(Packet Type)，42₍₁₆₎為使用封包並不需要傳回 ACK。
- (3) 5-8 欄位：訊息位址(Destination Address)，ffff₍₁₆₎廣播位址為訊息傳送給所有節點。
- (4) 9-10 欄位：信息型態(Type)，每個應用程式有自己的信息的型態，例如：03₍₁₆₎為 AMTYPE_MHOP_MEBUG，11₍₁₆₎為 AMTYPE_SURGE_MSG。
- (5) 11-14 欄位：群組識別碼(Group ID)，只有相同的識別碼可以相通，例如：7d5e₍₁₆₎，正確數值為 7d，而 5d 為預防封包內容相同的數值所做的區別碼。
- (6) 15-16 欄位：資料長度(Data Length)，Payload Data 的資料長度，不包含 CRC 或欄位同步位元的負載資料的位元長度。(0e)₍₁₆₎表示資料長度為 14 位元。
- (7) Payload Data：負載長度，通常為可變長度的 TinyOS Message。
- (8) 17-18 欄位：Node ID 為 Mote 的編號；另外作為 Gateway 的 Mote 編號只能設定為 0，而其他無線感測設備設定範圍為 1~254，因此一個群組(Group)編號最多為 255 個，例如：02₍₁₆₎為此 Mote ID 編號。
- (9) 25-28 欄位：Mote 的發送次數(Times)，次數總計最多可達到 65535，超過則為歸零重新計數。
- (10) 31-34 欄位：電池電壓(Battery)，Mote 目前運作的電壓值，可以將電量資訊傳回 Gateway。
- (11) 35-38 欄位：水質監測(Water)，可直接測得感測器電壓值。
- (12) 39-42 欄位：太陽電池電壓(Solar)之 1/10，用來測量遠端感測設備的太陽能供電系統供電電壓值。

5.5.3 測試資料計算

本研究將31-42欄位計算方式說明如下：

(1) 電池電壓

計算時首先 Battery 輸出 ADC_Count 為 7a01，前後 2bytes 封包資料高低位元互換成 10 進位如下：

ADC_Conut=7a01₍₁₆₎→017a₍₁₆₎=378₍₁₀₎
經計算得知值為 378。由於 MICA2 的 ADC Input 為 10 個 bit，可分成從 0~1023 共 1024 個階層，也就是說將電壓分成 1024 等分，將 1024 除以 ADC_Count 約可以得到 2.7089，另外 1.233 為 Vref 輸入電壓參考值，因此可以得

到電壓轉換公式如下所示：

$$V_{batt} = 1024 / \text{ADC_Count} \times 1.223 \quad (8)$$

經計算得電壓 V_{batt} 為 3.313V，實際量測電壓 3.26V，誤差約 1.6%。

(2) 水質監測

計算公式如(9)式，可推得感測器電壓。

$$V_{water} = \text{ADC_Count} / 1024 \times V_{batt} \quad (9)$$

以 pH 感測器為例，感測計傳回 $b000_{(16)}$ 水壓 ADC 值，經由高低位元換算如下：

$$b000_{(16)} \rightarrow 00b0_{(16)} = 176_{(10)}$$

經計算得知值為 176，已知電池電壓 V_{batt} 為 3.313V，帶入(6)式得 $V_{water} = 569.4 \text{ (mV)}$ ，實際量測電壓為 587 mV，誤差約 3%，而電壓值可再透過線性轉換推得其 pH 值。

(3) 太陽電池電壓

先將接收值高低位元轉換：

$$d701_{(16)} \rightarrow 01d7_{(16)} = 471_{(10)}$$

經計算得 471，帶入 $V_{water} = \text{ADC_Count} / 1024 \times V_{batt}$ 即可得知太陽能電池電壓值為 15.2(V)。

6. 結論

本研究整合太陽能、無線感測網路及水質感測器，以發展無線環境下之即時水質監測系統，經測試結果與實際量測值誤差小且穩定性高。同時由於設備需求電力少，可用於無電源及有線網路供應環境下，快速架設即時監測系統，未來將實際架設於明道大學蠡澤湖，並將結合GPRS或校園無線網路，將資料傳回遠端基地台，提供即時分析之用。

7. 誌謝

本研究承蒙國科會小產學計畫「研發以無線感測器網路與太陽能於坡地環境監測技術」及海德威電子工業股份有限公司之經費補助方得以完成，在此一併致謝。

8. 參考文獻

- [1]洪耀明、甘堯江、陳映熾，研發以無線感測器網路及太陽能供電之坡地降雨量與地下水位即時監測系統-以霧社水庫為例，**96年電子計算機於土木水利工程應用研討會論文集**，台北、台灣，第366-372頁，2007。
- [2]林炤映，以水質自動監測系統與統計方法分析日月潭水庫之水質變化趨勢，**碩士論文，大葉大學環境工程學系，2004**。
- [3]行政院環保署網站，
http://www.epa.gov.tw/b/b0100.asp?Ct_Code=06X0001137X0001347&L=。
- [4]王友群、胡君琪、曾煜棋，感測網路將走入人類日常生活，**通訊雜誌，第116期，趨勢與應用**，2003。
- [5]NovaLynx Corporation, Weather Monitoring Instruments and Systems,
<http://www.NovaLynx.com/>
- [6]Howard B. Glasgow, JoAnn M. Burkholder, Robert E. Reed, Alan J. Lewitus and Joseph E. Kleinman, "Real-time remote monitoring of water quality: a review of current applications, and advancements in sensor, telemetry, and computing technologies," **Journal of Experimental Marine Biology and Ecology**, vol. 300, pp. 409-488, 2004.
- [7]Crossbow Inc., **MPR-MIB Users Manual, Revision A**, 2007.
- [8]Brown, R. M., McClland, N. I., Deiniger, R. A. and Tozer, R. G., "A water quality index-do we dare?," **Water and Sewage Works**, Vol. 117, No. 3, pp.339-343, 1970.