

田間伺服器與無線感測網路的國內外發展

方煒

台灣大學生物產業機電工程學系教授

weifang@ntu.edu.tw

摘要

無線感測網路是資訊科技與微機電技術發展到近期的自然產物，在日本農業的應用以遵循 IEEE 制定的 802.11b 的田間伺服器(field server, FS)為最著稱；歐美的發展則以遵循 802.15.4 通訊協定的 ZigBee 為主，以無線感測網路(Wireless Sensor Networks, WSN)稱之，以柏克萊大學發展的 MOTE 及 NASA 噴射引擎實驗室(JPL)所發展的感測網(Sensor Web, SW)為最著名。MOTE 幾乎已成業界標準，並衍生多家企業，包括 MOTEIV、CrossBow 等，相關產品分別為 Moteiv、MICA、MICADot 與 Telos-A 和 Telos-B；大公司如 Intel 也有相關商品問世，如 iMote 等。CrossBow 公司的產品又稱 Smart dust，顧名思義，代表其兼具智慧與極小尺寸。Intel 近期也在發展遵循 802.11 的 Mote，以 iMOTE² 稱之，FS 與 MOTE 的分野漸漸模糊了。

FS 與 WSN 的應用，國、內外皆然，初期都以生態觀察與環境監測為主，SW 最早在加州杭亭頓圖書館的花園佈建了數十個監測點，後來擴展到葡萄園土壤水分的監測，也佈建於太空梭發射地點附近的農田與溫室內。國內在生態觀察的應用以林業試驗所與國家高速網路中心參與的生態格網為代表，在福山、鴛鴦湖與墾丁海域都有佈點，在農業生產的應用則以台大團隊參與的作物生產履歷資訊系統在斗南鎮農會示範農田內與台大校內分別建立 3 個與 2 個監測點為代表；台灣農業資訊科技發展協會也曾引進日本的 FS，並在中興大學建立三個監測點。

FS 與 WSN 主要是建立了一個無線傳輸上網的平台，真正的應用在結合感測器與對感測訊號的解讀之後的因應控制動作。本文除了簡介 FS 與 WSN 在國內外的發展之外，亦較介紹兩者在農業領域、氣象領域與防災及風險管理上的應用例

FS 與 WSN 的研發旨在作為建立智慧環境 (Ambient Intelligence) 的工具，舉凡野外環境、田間環境、設施內環境、生活環境、辦公室環境、工廠環境等都有極大的以人為本的可智慧化的空間。在強調 e 化與 M 化的現階段台灣，發展與擴大應用 FS 與 WSN 正是時候。

關鍵詞：田間伺服器、資訊科技、無線感測網路、行動資訊、智慧環境。

一、前言

由於微機電、積體電路、軟體技術的進步，網路頻寬的開放，法規的改變等綜合效應，目前許多國家都開始發展「Ubiquitous Network」的計畫，打算將 WLAN (Wi-Fi)、WWAN (GSM、GPRS、3G、DTV)、WPAN (Bluetooth、ZigBee、UWB) 等不同領域的通訊技術相互組合搭配，希望藉由各種不同通訊技術的結合，織成一張綿密通訊網，為人們的日常生活帶來更多安全與便利，Ubiquitous Network 的實現，其中一個重要的關鍵架構即是無線感測網路。無線感測器網路是一種由許多感測器佈置在一個特定區域之後相互連結所組成的網路。此網路可以主動偵測環境的變化、對物體作定位、觀察特定事件等，進而做出對應的決定或者是其他輔助的動作。

前述的 Wi-Fi 遵循 IEEE 802.11 (IEEE, 1999b), ZigBee 遵循 IEEE 802.15.4 (IEEE, 2003) 通訊協定，此二架構的無線感測技術為本文介紹的重點，前者以日本農業綜合研究所創的田間伺服器(Field Server, FS)，後者以美國柏克萊大學所創的無線感測網路(Wireless Sensor Network, WSN)與 NASA 噴射引擎實驗室(JPL)所建的感測網 (Sensor Web, SW) 為最具代表性。FS、WSN 和 SW 都具備 Ad hoc 功能，此為 P2P 的概念，每一點都可雙向傳輸，點數愈多允許傳輸的範圍可隨之擴大。基本上都是允許將感測訊號透過無線網路傳至網路上儲存，允許使用者上網瀏覽與觀察歷史紀錄。早期應用以監測與預警為主，目前正朝向兼具控制功能發展。

表 1 所示為 IEEE 802.11 與 802.15.4 兩種不同通訊協定的比較，WiFi 允許傳輸監測數據與影像，但須需搭配太陽能板；ZigBee 只能傳輸監測數據，但極為省電；假設每 6 分鐘傳送一筆資料，使用 2 顆 AA 電池就可耐用 1 年。ZigBee 允許單一主機允許許多節點的連接，設置成本較低，複雜度小。

表 1. IEEE 802.11 與 IEEE 802.15.4 兩種不同通訊協定的比較

Feature	WiFi (IEEE 802.11b)	ZigBee (IEEE 802.15.4)
Radio	DSSS ₁	DSSS
Data rate	11 Mbps	250 kbps
Nodes per master	32	64,000
Slave enumeration latency	Up to 3 sec	30 ms
Data type	Video, audio, graphics, pictures, files	Small data packet
Range	100 m	70 m
Extendability	Roaming possible	Yes
Battery life	Hours	1 year+
Complexity	Complex	Simple

₁DSSS: Direct –sequence spread spectrum

(摘自Wang, et al, 2004)

WiFi為 Wireless Fidelity的縮寫，指的是無線資料傳輸技術與規格，是目前普遍使用的無線網路。IEEE 對於無線網路制定了 802.11 標準協定，包括不同無線 AP 之間 Hand Over 的 802.11f (for roaming)，以及不同傳輸頻率、速度的 802.11[a,b,g]。802.11b 有兩種運作模式，一種是無線網卡和 AP 之間建立網路，另

一種是稱為 Ad hoc 的 client 對 client 傳輸模式，在 Ad Hoc 模式中，每組使用無線網卡的用戶端均需要在對方的訊號範圍內。其比較如表 2 所示：

表 2. IEEE 802.11[a,b,g]之比較

協定名稱	佔用頻率	標準頻寬
802.11a	5GHz	54Mbps
802.11b	2.4GHz	11Mbps
802.11g	2.4GHz	54Mbps

Zigbee 遵循 IEEE 802.15.4 協定，是一種新的短距離無線通訊標準，最大優勢在於低成本、低耗電及應用範圍廣。這項標準最主要用來改善藍芽技術(802.15.1)的缺點，因為藍芽技術只能擷取七個無線設施，而 ZigBee 卻能掌控六萬多個；從開啟藍芽耳機到擷取藍芽手機的訊號約 3~4 秒，WiFi 系統也是如此，但 ZigBee 介面傳輸只要 30 毫秒(ms) (表 1)。這種 802.15.4/Zigbee 可以設置在手機上或遙控器上，在一個空間內可迅速抓取各個配備同樣介面的無線設施訊號，應用層面非常廣泛。圖 1 所示為典型的非農業應用範圍，舉凡建築物自動化、個人醫療與照顧、工業控制、住宅自動化、電腦周邊之遙控與家電自動化等。目前已被應用於家電控制、門禁管理系統、人員考勤系統、資通安全系統、環境監測系統、燈光控制系統、即時訊息傳輸系統等。

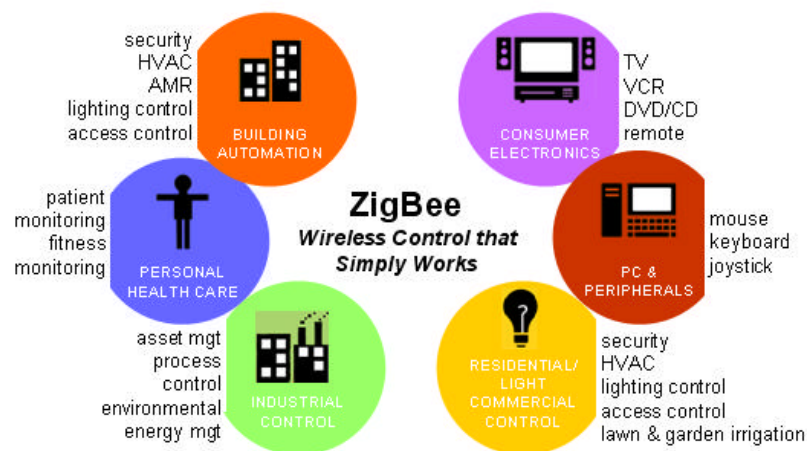


圖 1. 802.15.4/ZigBee 無線感測網路的應用領域

無論是 FS 或 WSN 都只是提供遠端的感測訊息或影像，此些資訊可儲存於網路上，已可進一步透過軟體的判斷與分析做出即時控制，此即時控制可搭配無線驅動器(Wireless Actuator)來驅動連結的設備 (IEEE, 1997; 1999a)。

二、田間伺服器

田間監測伺服器 (Field-Server, FS) 系統為密集型低成本多用途的網路自動化農產品生產監測與田間資料收集系統，其單一伺服器可以太陽電池或一般電力運

作，並能依農業場合應用需求的不同，選擇安裝不同的感測器，包括光照、土壤與環境溫濕度、導電度、喇叭、麥克風、IP 攝影機、紅外線等；也可安裝多台攝影機與不同尺寸的太陽能板；並具有無線網路功能，使用乙太網路傳輸協定，傳輸距離約一公里，因此數個 FS 能自行連成網路，並從任一點就近直接連線到網際網路，因此使用者可透過網際網路，從遠端操控，做農業生產之即時田間監測、資料收集與管理。儲存之資料在收穫後可提供消費者上網瀏覽瞭解栽培過程之田間狀況與氣象，本體架構如圖 2 所示。

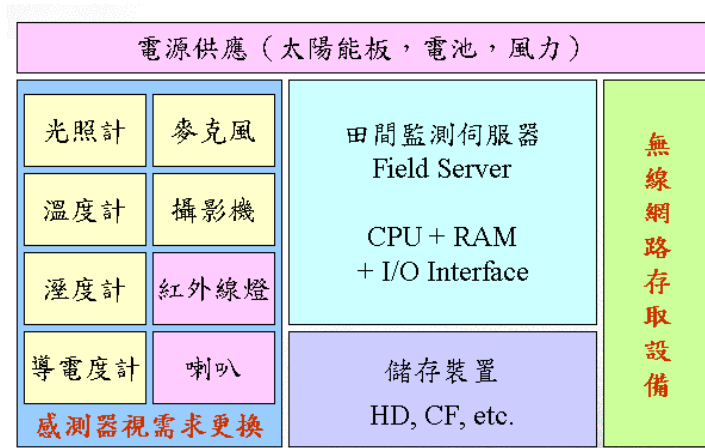


圖 2. 田間伺服器之本體架構

FS 使用 PICNIC (Tristate Corp., Japan)與感測器結合。PICNIC 為 Programmable Interface Controller with Network Interface Card 的縮寫，顧名思義，此卡為可程式化的控制器，本身具有特定 IP，可結合無線 AP 上傳感測訊號。後續使用的新的介面卡大多朝提高數據精確度與增加類比輸入與數為輸出、輸入通道的數量，介面卡設計理念大致上雷同。

透過程式語言轉換訊號值為具物理意義的數值的動作不在田間伺服器內執行，透過無線傳輸的僅為原始訊號，這是 FS 系統的一大特色。譬如 mV 轉換為度 C 的溫度數據或 mV 轉換為 m^3/m^3 的土壤體積比含水率數據的過程，只在資料庫端執行，可大幅降低網路上的傳輸量與簡化 FS 端的軟硬體設計。

國外發展 (日本)

FS 為日本農業總合研究所研究計畫下的產品，設計上遵循 IEEE 制定的 802.11b 通訊協定。典型的外觀如圖 3a 所示，圖 3a 左為單一的 FS 中搭配兩台 IP 攝影機の後視圖，圖 3a 右為搭配一台 IP 攝影機的正視圖。日本的研究團隊於 2001 年開始發展 FS，目前已發展多種版本，如圖 3b 所示；圖 3c 所示為透過網路觀察田間伺服器的監測畫面與數據。該研究團隊目前已將 FS 推廣至全球多個地方，包括歐、美、澳、亞洲的丹麥、美國、澳洲、中國、泰國、台灣等地區，近年來更深入非洲。亞洲地區除了日本之外，以泰國及中國最為熱衷。該技術團隊遠赴世界各地推廣 FS 的 DIY，於 2003 年首度到泰國推廣，2004 年到台灣推廣。相關技術亦技術轉移給 Panasonic 公司，目前也有商品化產品問世，單價當然比自製的系統貴多，但外型上也漂亮許多，如圖 3d 所示。

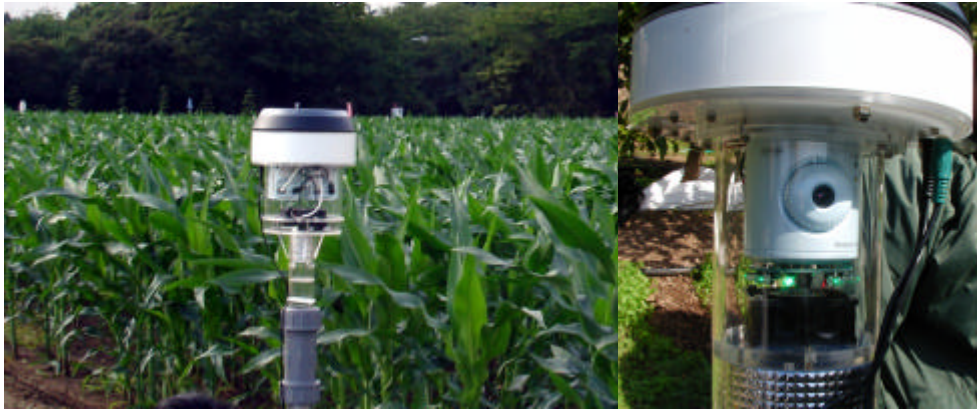


圖 3a. 日本農業總合研究所建立的田間伺服器 (Hirafuji, 2005a)



FS with large solar cells



FS with stacked solar cells



FS with Thermo vision camera



FS with insect counter (Pheromone Trap)

圖 3b. 日本建立的不同形式的田間伺服器 (Hirafuji, 2005a)

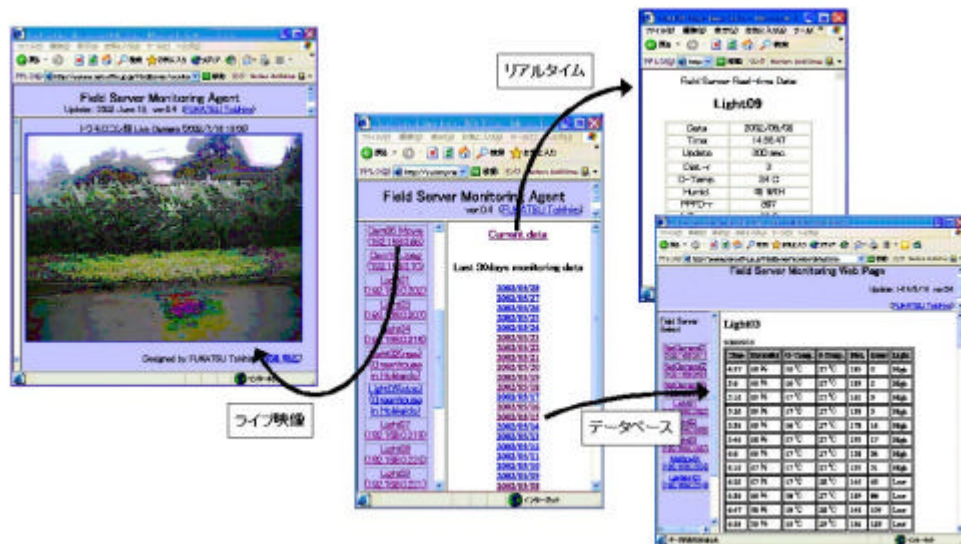


圖 3c. 日本建立的田間伺服器的監測畫面 (Hirafuji, 2005a)



圖 3d. 商品化的田間伺服器 (Hirafuji, 2005b)

國外發展 (泰國)

泰國受限於網路基礎建設，其本土化的 FS 版本有 80% 透過 GPRS 傳遞影像與環境資訊。泰國引進日本 FS 技術比台灣早了不到一年，但現階段的進展兩邊相差頗多，台灣為資訊大國，具備發展上的優勢，但農政單位的不夠重視，以至於發展緩慢。泰國政府的大力支持使得截至 2005 年八月，已建立了 550 個 FS 監測點。如圖 4a 與 4b 所示為泰國建立的田間伺服器網站的局部網頁內容。泰國的 FS 主要用於防災、氣象偵測與環境/生態教育。防災應用以水位、淹水、缺水，水質偵測

與植物病蟲害早期偵測為主，如圖 4c 所示為水位偵測系統的現場照片。

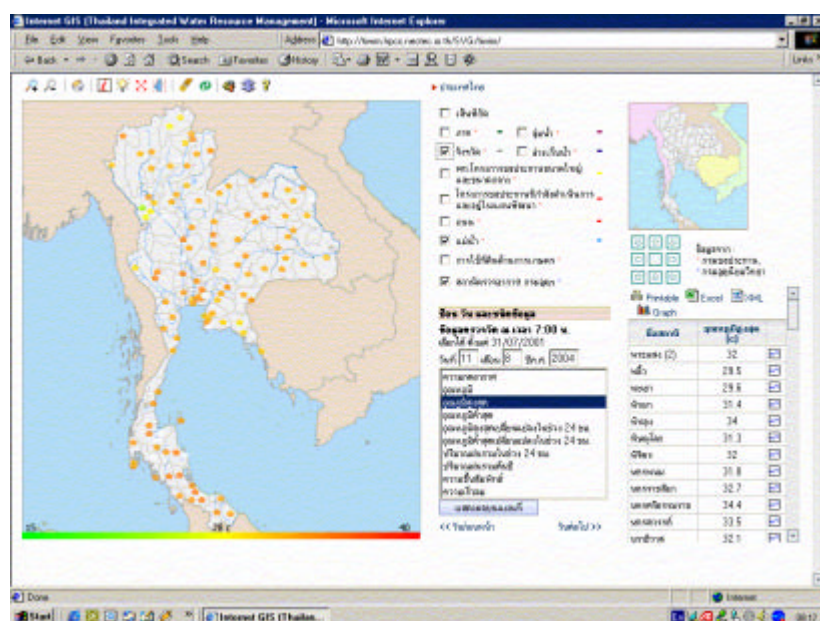


圖 4a. 泰國建立的田間伺服器網站，網頁內容之一（圖中每個點代表一支田間伺服器）(Haii, 2005)

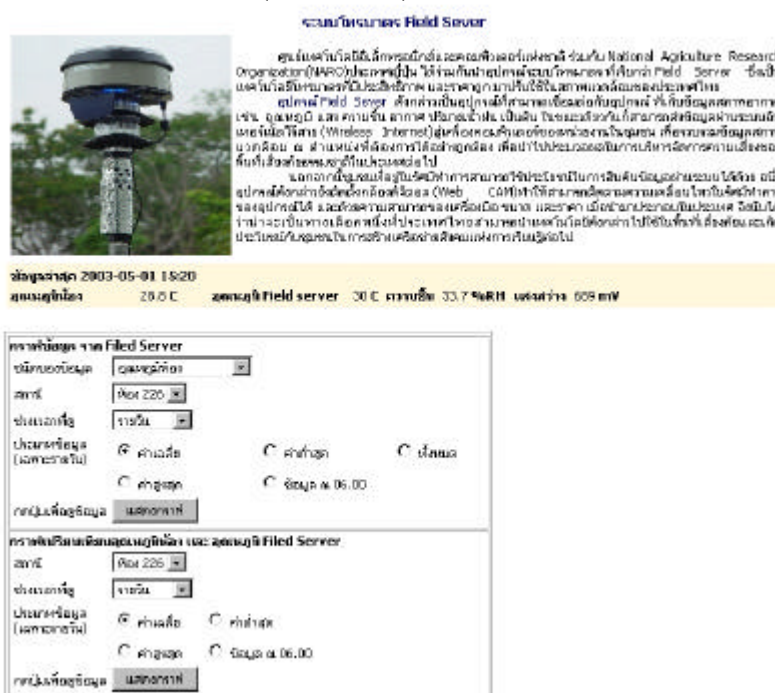


圖 4b. 泰國建立的田間伺服器網站，網頁內容之二 (Haii, 2005)



圖 4c. 泰國建立的田間伺服器用於水位偵測、雨量與溫濕度收集(Haii, 2005)

國內發展

現階段我國在 FS 的應用上以生態觀察為主，圖 5 所示為在鴛鴦湖湖面上的 FS 載具與墾丁國家公園用於觀察珊瑚礁的搭配紅外線攝影機的 FS。在農業的應用以台灣農業資訊科技發展協會引進的 3 個 FS 監測點目前置於中興大學為最早，本研究室建立的 5 個監測點，3 個安裝於斗南鎮農會示範農田，2 個在台大尚屬第二批。目前建構的 FS 除了完成與空氣溫度、土壤溫度、土壤水分感測器與雨量的監測及田間影像等的連結之外，也完成土壤水分感測器電壓訊號的轉換與數位輸出的測試。系統設計預留未來感測器模組擴充空間。另外，國網中心提供寬頻骨幹及具異地備援功能的儲存設施作為資料傳輸及儲存所需。系統架構如圖 6，相關網頁內容如圖 7~10 所示 (方等，2005；饒與方，2005；方與林，2005)。

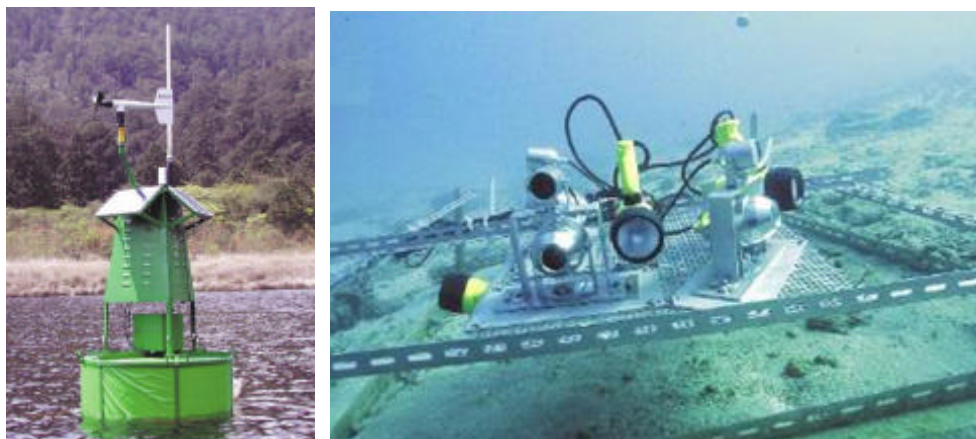


圖 5. 用於生態觀察的 FS，左為鴛鴦湖，右為墾丁國家公園（摘自金，2005）

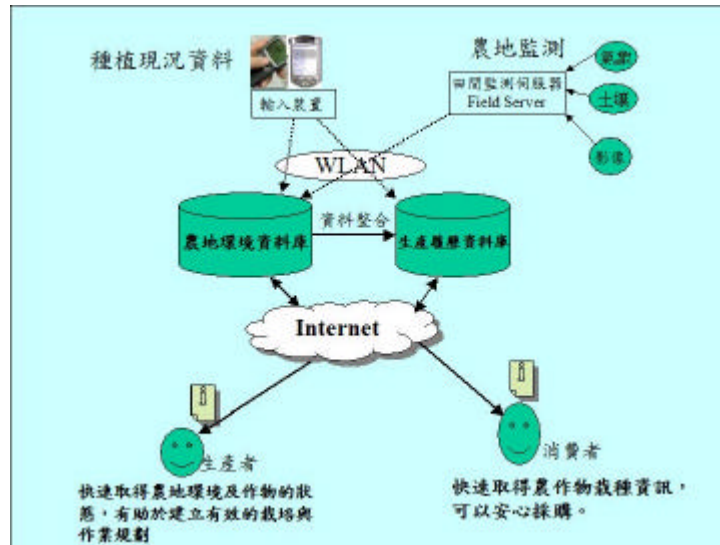


圖 6. 斗南鎮農會建置田間伺服器之系統架構



圖 7. 台大團隊所建立的田間監測伺服器專屬網站

農業格網 田間監測系統

斗南地區根莖類作物 田間監測影像歷史資料

攝 影 時 間	影片大小	影像檔案
2004-11-30 09:10:16	48K	下圖
2004-11-30 10:00:05	48K	下圖
2004-11-30 10:02:38	31K	下圖
2004-11-30 11:19:46	48K	下圖
2004-11-30 12:24:13	25K	下圖
2004-11-30 13:11:23	48K	下圖
2004-11-30 13:21:22	48K	下圖
2004-11-30 13:21:21	48K	下圖
2004-11-30 13:41:20	48K	下圖
2004-11-30 13:51:18	25K	下圖
2004-11-30 14:01:18	48K	下圖
2004-11-30 14:11:18	48K	下圖
2004-11-30 14:21:17	48K	下圖
2004-11-30 14:31:17	48K	下圖
2004-11-30 14:41:18	48K	下圖
2004-11-30 14:51:16	48K	下圖
2004-11-30 15:01:16	48K	下圖
2004-11-30 15:11:14	48K	下圖
2004-11-30 15:21:14	48K	下圖

圖 8. 每日影像以壓縮方式分批儲存

農業格網 田間監測系統

斗南地區根莖類作物 田間監測歷史數據

選擇歷史資料, 請輸入日期: 2004-11-30

日 期	時 間	氣 溫	土壤溫度	土壤濕度	照 量
2004-11-30	00:00:00	25	22	263	0
2004-11-30	00:00:01	21	23	222	6
2004-11-30	00:00:03	21	23	214	0
2004-11-30	00:00:04	21	19	220	0
2004-11-30	00:00:05	21	23	217	0
2004-11-30	00:00:06	21	21	277	0
2004-11-30	00:00:07	21	22	195	0
2004-11-30	00:00:09	20	19	243	0
2004-11-30	00:00:10	21	21	268	1
2004-11-30	00:00:11	21	20	252	1
2004-11-30	00:00:12	20	21	219	5
2004-11-30	00:00:13	20	23	271	0
2004-11-30	00:00:14	21	20	199	0
2004-11-30	00:00:15	21	21	240	0
2004-11-30	00:00:17	21	22	225	0
2004-11-30	00:00:18	20	22	195	0

圖 9. 每日監測數據以 ASCII 格式儲存

台大團隊使用 Tristate 公司的 PICNIC 卡與 Decagon 公司的溫度及土壤水分感測器(感測頭長度為 20 cm 的 ECH2O-20、長度為 10 cm 的 ECH2O-10), PICNIC 卡包括四個 5V 類比輸入, 四個數位輸入、四個 5V 輸出通道與網路介面。主要量測環境中空氣與土壤溫度與土壤中水分含量, 除此之外也加入 IP 攝影機, 數據與影像訊號均再透過無線 AP 將資料上傳至國網中心儲存, 使用者可以透過無線網路來進行監測的動作(圖 7~9), 此些數據或影像亦可與田間栽培履歷作連結(圖 10) (方等, 2004; 饒與方, 2005; 方與林, 2005) 第一年度建立的系統無控制功能, 目前已建立透過網路的遠端控制技術。



2004/7/10	田間管理	雜草防治	即時資訊
2004/7/10	田間管理	雜草防治	即時資訊
2004/7/21	耕地管理	其他	即時資訊
2004/7/22	耕地管理	土壤採樣	即時資訊
2004/7/22	耕地管理	土壤採樣	即時資訊
2004/8/12	田間管理	中耕、翻地	即時資訊
2004/8/29	耕地管理	其他	即時資訊
2004/9/17	田間管理	雜草防治	即時資訊
2004/10/9	耕地管理	其他	即時資訊
2004/10/16	耕地管理	其他	即時資訊
2004/10/16	施肥	施肥、施用過肥 肥料種類:台肥5號, 青葉柏(3:1) 肥料使用量:1公斤(公斤/公頃) (防蟲害防治) 防治對象:蚜蟲(蟲媒)	即時資訊

圖 10. 生產履歷與即時資訊之連結

溫度感測器與土壤水分感測器的量測訊號為電壓值(mV)必須透過廠商提供的公式轉換為具實際意義的數字 (方與蕭, 2005):

$$M = (0.000936 * \text{量測 mV 值}) - 0.376 \quad [\text{ECH}_2\text{O}-10] \dots\dots (1)$$

$$M = (0.000695 * \text{量測 mV 值}) - 0.29 \quad [\text{ECH}_2\text{O}-20] \dots\dots (2)$$

$$T = -0.1087 * x^3 + 1.6066 * x^2 - 22.801 * x + 25.0 \quad \dots\dots (3)$$

其中, x 為電阻值的自然對數比

T 為溫度($^{\circ}\text{C}$)

M 為土壤含水率 (m^3/m^3)

式 1 與 2 為 Decagon 公司針對 6 種不同土壤所建立的迴歸公式, 兩式之量測電壓下限分別為 401 與 407 mV; 換言之, 當電壓值小於下限值時 $M < 0$, 此並不合理, 所以需解釋為含水率近乎 0。蝴蝶蘭為氣生根作物, 介質的含水率不宜高, 一般維持在潤而不濕的狀態。本研究在使用此感測器量測蝴蝶蘭栽培使用的水草與樹皮時, 發現量測訊號多在 290~410mV 範圍, 式 1 與 2 明顯不適用, 需要自行建立轉換公式。配合荷重元(load cell)針對一支 $\text{ECH}_2\text{O}-10$ 所建立的迴歸式如下:

$$y = a + b \cdot \ln x + c / \ln x + d / \sqrt{x}$$

$$R^2 = 0.9885630162 \quad \dots\dots (4)$$

其中, y 為樹皮介質之乾基含水率 (g/g)

x 為量測電壓值 (mV), 適用範圍 250~400 mV

a, b, c, d 為迴歸公式的係數, 隨介質與感測器不同而異,

$a = 226405.055186764, \quad b = -11298.3074190895$

$c = -1224102.95316433, \quad d = 911936.337570568$

國家高速網路中心使用的 FS 偏重於利用影像作生態觀察; 台大團隊協助斗南鎮農會建立的作物生產履歷的田間監測伺服器系統偏重環境數據的量測, 雖然也有即時影像的量測與全天候的儲存, 但受限於點數少, 又怕被偷, 以致於安裝位

置離田間有段距離，譬如電線桿上或建物屋頂上，使得監測的效果大減。FS 在國內的使用似乎以應用於設施內最無後顧之憂。FS 安裝於中國同樣面臨此問題，如圖 11 所示為 FS 安裝於柵欄內的情況，田間安裝多少支 FS 在照片中一目了然。



圖 11. 安裝於中國大陸的 FS 與防偷設施 (Hirafuji, 2005b)

三、無線感測網路

無線感測網路(Wireless Sensor Networks, WSN)由十數個至上千個散布在不同地方的 mote 組成，每個 mote 都是一個極小型的電腦，搭配感測器可以偵測周圍環境光線、溫度、濕度、震動等變化。多個感應器的資料會無線傳送到一個作為集中點的感應器，最後送到一台或數台中央電腦作分析和反應。在每個感應器內有三大部份，分別為微處理器、微電力動力感應系統和低電壓操作收發天線。普通的鈕扣電池即能令感應器運作六個月至一年。利用接收外來能源而自行產生電力(Autonomous power supply)的研究也持續進行中。系統架構如圖 12 所示。

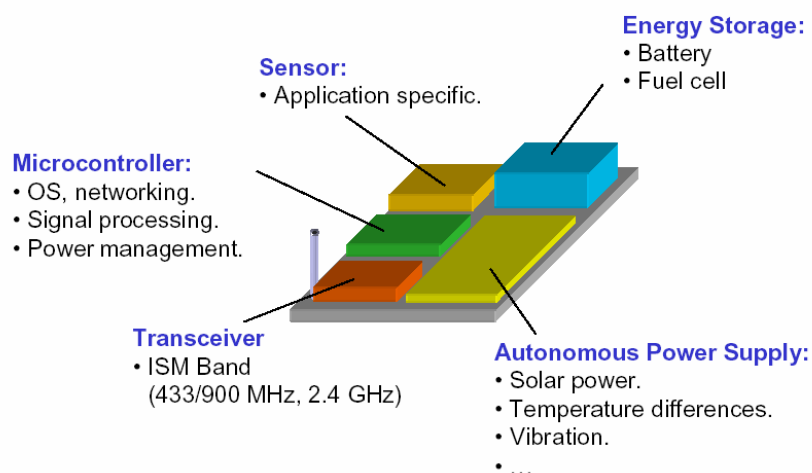


圖 12. Mote 系統組成示意圖

國外發展 (美國)

WSN 的建立是採用柏克萊大學發展的 TinyOS 為作業系統，在 Linux 環境下共享前人開發的開放程式，使用者可透過網路瀏覽器查看即時或歷史紀錄。WSN 遵

循 802.15.4 通訊協定的 ZigBee，以柏克萊大學發展的 mote 及 NASA 噴射引擎實驗室(JPL)所發展的感測網(Sensor Web, SW)為最著名。

Mote 幾乎已成業界標準，並衍生多家企業，包括 MOTEIV、CrossBow 等，相關產品分別為 Moteiv、MICA 與 MICADot；大公司如 Intel 也有相關商品問世，如 iMote 等。CrossBow 公司的產品又稱 Smart dust (圖 13a)，顧名思義，代表其兼具智慧與極小尺寸。Intel 近期也在發展遵循 802.11 的 Mote，以 iMOTE² 稱之，FS 與 mote 的分野漸漸模糊了。如表 3 所示為各公司 Mote 的規格。

表 3. 各公司生產的遵循 ZigBee 架構發展的 Mote 的規格

Feature	Imote	Micaz	Telos	Mica2	Imote2
CPU type	32bit ARM	8bit Atmel	16bit TI	8bit Atmel	32bit XS
CPU speed, MHz	12	8	8	8	13(104)
Sram, kB	64	4	10	4	256/32,000
Flash, kB	512	128 + 512	48 / 1024	128 + 512	32,000
Radio	BT	802.15.4	802.15.4	300-900MHz	15.4 (BT/802.11)
Bandwidth, kb/s	720	250	250	15	250 (720/11,000)
Power C/R/T, mA	15 / 24 / 24	8 / 20 / 18	1 / 20 / 18	8 / 10 / 27	40/20/18
Power sleep, uA	1-250	27	6	19	1-100
Security HW	4LFSR-128	AES-128	AES-128	N	Y
OS support	TinyOS	TinyOS	TinyOS	TinyOS	TinyOS

(摘自 Intel 公司網站)

圖 13b 所示為 MoteIV，其尺寸只有兩顆 AA 電池盒的大小，類似產品尚有 Crossbow 公司的 Telos-B 產品，Intel 的 Imote 與 Imote2。專為量測溫、濕度的尚有 Crossbow 公司的 MICADot 產品，尺寸就像一個 5 元銅板，類似產品為 MICA2 與 MICAZ 產品，內含開放架構的感測接點同樣具備無線網路傳輸功能，有內裝天線也可外接天線。圖 14 所示為 MICA2 外接土壤水分感測器的實體圖，有關此土壤感測器的進一步說明可參見公式 1, 2 與 4 的說明。

圖 15 所示為 Sensor Web 安裝於加州 Huntington 公園的情形，系統於 2002 年開始測試，後續將擴大應用於太空探索，譬如在登陸火星之前先灑佈大量 mote 作先導部隊來偵測地上與地下環境。目前則著重於在惡劣氣候下的耐久性試驗，如圖 16 所示為安裝在 Antarctica 的 SW。

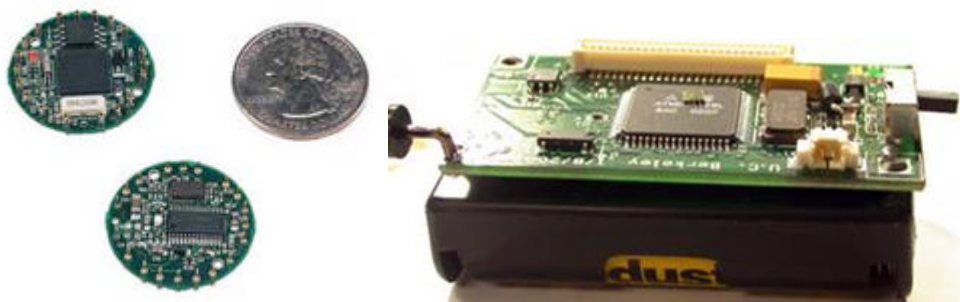


圖 13a. Crossbow 公司 Mote 相關產品 (摘自 Crossbow 公司網站)

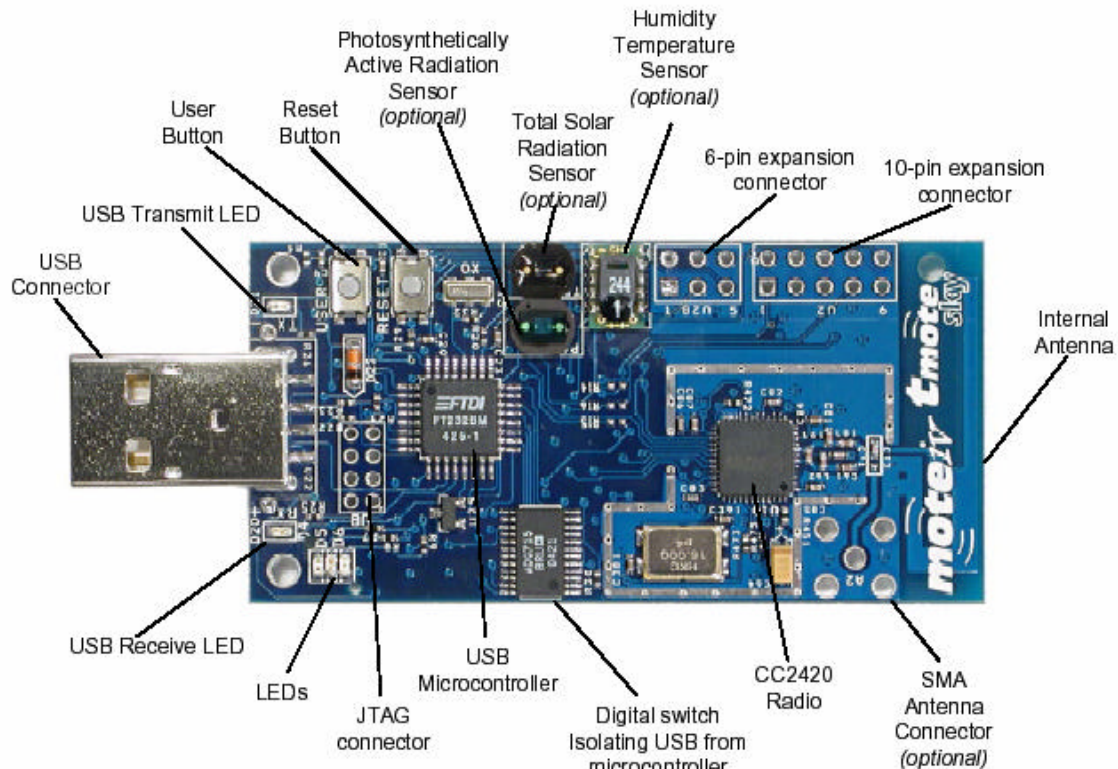


圖 13b. MoteIV 實體圖(內建溫濕度與光量感測器) (摘自 MoteIV 公司網站)

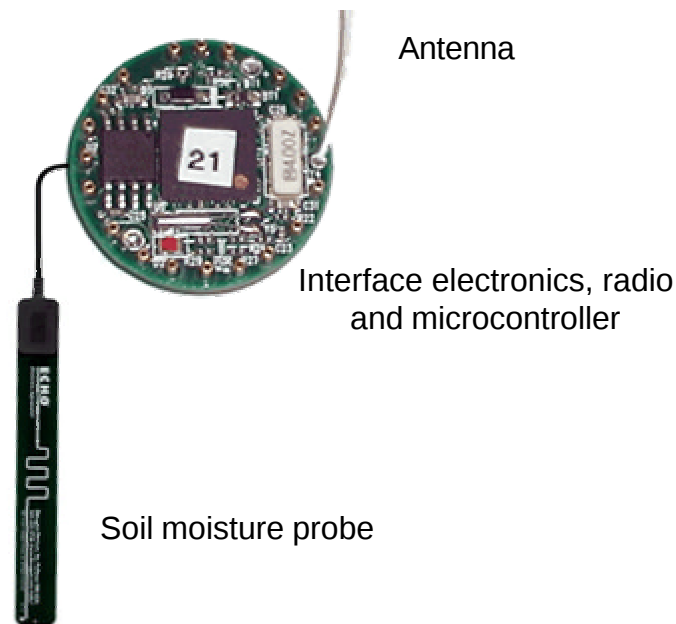


圖 14. MICA2 外接土壤水分感測器的實體圖 (摘自 Crossbow 公司網站)



圖 15. NASA JPL 所建的 Sensor web 於 2002 年安裝於加州 Huntington 花園的情形 (摘自 JPL, NASA. 2005)



圖 16. 安裝在 Antarctica 的 Sensor Web (摘自 JPL, NASA. 2005)

國內發展

本研究室目前建構的 WSN，使用硬體為 MoteIV 公司產品 MoteIV，包括溫、濕度與兩種光量的感測(圖 13)。此設備的開發者將溫、濕度感測器與光量感測器並排安裝。光量感測要直接接受光線，溫、濕度感測則需遮蔭，兩者並排安裝。有遮蔽時溫、濕度感測數據可採信，但光量感測則失效；反之無遮蔽時，溫、濕度的量測值會受輻射的影響而不準確。

各家公司生產的 Mote 中內建的光量感測器有多種版本，依據感測器原廠型錄，320~730nm 為可見光範圍，但 Mote 型錄上卻稱此為 PAR 感測器，後者的範圍為 400~700nm。紫外光加可見光加紅外光的感測器早期為 190~1100nm 範圍，近來改採 320~1100nm 範圍，但型錄上卻仍然稱此為全光譜感測器(Total solar radiation, TSR)，如圖 13 所示。此些細節在使用與解讀上不可不慎。

四、現階段可行的應用

FS 與 WSN 的研發旨在作為建立智慧環境 (Ambient Intelligence) 的工具，舉凡野外環境、田間環境、設施內環境、生活環境、辦公室環境、工廠環境等都有極大的以人為本的可智慧化的空間。在強調 e 化與 M 化的現階段台灣，發展與擴大應用 FS 與 WSN 正是時候。

FS 與 WSN 在農、林、漁、牧、污染防制、生態保育等領域也有廣泛的應用價值。例如配合各應用領域，發展仲介與各領域應用軟體，可應用在農產品生產履歷建立、農業環境即時資訊收集、溫室與種苗花卉生產之遠端即時監控、農作物蟲害疫病分析預警、養殖魚塢遠端監控管理、糧倉遠端監控管理、養雞場遠端監控管理、畜牧場遠端監控管理、污染防制點的遠端監控、野生動物調查、農民生產即時諮商、田間娛樂設施等。

利用 FS 與 WSN 的環境監測功能在農業上可有廣大的應用空間，結合溫度感測器與無線傳輸上網，農民可即時得知是否有焚風產生，並即時控制噴霧設備可避免果園遭受焚風的災害。或者有低溫到來，控制器可自動啟動加溫設備來因應。結合 GPS 與無線傳輸上網，管理者可動態管理車隊，了解其路線與即時位置。結合溫度感測器、GPS 與無線傳輸上網，消費者可透過瀏覽器了解蝴蝶蘭全球輸送過程的溫度變化與目前的運送位置；結合陀螺儀或者雙軸傾斜儀或震動計與無線傳輸上網，消費者可透過瀏覽器了解目前裝載的貨櫃正在下飛機或走輸送帶。透過溫度、溼度與光量感測，結合訊號輸出功能可作溫室或禽畜舍環境監測與控制並且所有資訊亦可上網查詢。結合土壤含水率感測計可偵測是否需要灌溉(方，2005a)。

FS 與 WSN 應用於災害預警、病蟲害預警與防治等已是立即可用的技術，譬如河川或水庫水位警報，只需搭配水位感測器即可建置完成；透過溫、濕度感測來計算蒸汽壓差，可用來判斷是否容易滋生病蟲害；透過葉片溼度計也可因應發出病蟲害預警，在環控設施內則可即時啟動通風或除濕裝置。透過土壤含水率感測計亦可偵測某偏遠地區是否淹水 (方，2005a)。

FS 與 WSN 在生物醫療領域也有廣泛應用空間，搭配加速規可偵測老人家是否跌倒，搭配 GPS 模組安裝於設備、資產或車輛上可作定位管理。譬如醫院內空床位的現況及時瞭解；救護車或者消防車的行動路線的指揮等。後者需搭配即時地圖與車輛流量現況進行控管與路線指揮。

FS 與 WSN 在某些應用上可取代 RFID 的系統。由於 RFID 讀取器單價高，RFID 適用於標籤數量多、讀取器數量少的場合。SARS 期間病院中對病人的管制可應用 RFID，但是有患病可能的人的居家管制就不適合使用 RFID，管制對象必須配戴一個內附 RFID 的手環/腕帶/手錶，家中再配備一個讀取器，手環當然必須設計成不能離手或者當手環離身或離開讀取器一段距離，就會有警報傳到中央管控中心。一個標籤配一個讀取器是主要不合理之處。當一個讀取器搭配使用的標籤數量不多時，FS 與 WSN 可以作為一個更合理的發展平台。

FS 與 WSN 相對於氣象局所佈建的氣象站在建構成本上要便宜許多，換言之，可利用 FS 或 WSN 來廣佈此種簡易的氣象站，並透過無線網路傳輸環境資訊回氣象局。局部地區的氣象預報與即時報導將可更為精確，雨量、風速等的精確預測對防災與避禍可以發揮很大功效 (方，2005b)。搭配太陽能板與 GPRS 通訊，偏遠地區的設站不會是問題，目前日本也與非洲及中國新疆合作，在偏遠與沙漠地區廣佈 FS 來取代氣象站 (Hirafuji, 2005a)。

四、結論

Smart Phone 與雙網手機已是現階段產品，配合 3G 通訊的成熟，所有上網的資訊都可透過手機存取，其應用發展更是不可限量。目前，在網路基礎建設完整的地區，FS 係透過 WiFi 架構作廣域傳輸，WSN 則透過密集、重疊的小區域佈置來作廣域傳輸，後者的單價需要更便宜，耗電需要更節約。在網路基礎建設不發達的地區，亦可透過 GSM 或 GPRS 來傳輸。FS 與 WSN 有極大的潛力與家庭自動化、家電自動化等結合發展所謂的智慧環境(Ambient Intelligent)。當感測的訊號透過智慧判斷用來服務人群時，邁向真正的以人為本的智慧環境才算開始；當與行動資訊結合時，隨手、隨時、隨地可得的資訊化時代才算真正來臨。

參考文獻

1. 方煒。2005a。結合行動資訊提高農業競爭力。以行動應用服務提升農業競爭力研討會。全方位農業發展基金會、宏碁公司主辦。台灣大學。台北市。中華民國。
2. 方煒。2005b。氣象與微氣候資訊在農業栽培與設施設計之應用。資訊科技在農產品安全鏈之應用研討會。全方位農業發展基金會、宏碁公司主辦。農業資訊科技發展協會協辦。林業試驗所。台北市。中華民國。
3. 方煒、許輔、饒瑞佶、岳修平、林芳邦、林宗賢。2004。台灣根莖類農產品策略聯盟之產銷標準化與建構認證紀錄之網路管理資訊系統。農委會企劃處計畫期末報告。計畫編號：93 農發-4.2-企-01(追加 4)之 2.1。
4. 方煒、林詠勝。2005。田間伺服器與無線感測網路應用於環境監測與控制。九十四年度農業機械與生物機電論文發表會。屏東。中華民國。
5. 方煒、蕭仲興。2005。田間伺服器應用於溫度與土壤水分感測。九十四年度農業機械與生物機電論文發表會。屏東。中華民國。
6. 金恒鑣。2005。無線感應器與生態學及環境學研究。以行動應用服務提升農業競爭力研討會。全方位農業發展基金會、宏碁公司主辦。台灣大學。台北市。中華民國。
7. 饒瑞佶、方煒。2005。GPS, GIS, FS 應用於作物生產履歷建立與田間生產管理。九十四年度農業機械與生物機電論文發表會。屏東。中華民國。
8. Crossbow, 2004. Smart dust/mote related DM. Crossbow Technology, Inc., USA.
9. IEEE. 1997. Smart Transducer Interface for Sensors and Actuators -Transducer to Microprocessor Communication Protocol and Transducer Electronic Data Sheet. IEEE standard 1451.2. The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc. 345 East 47th Street, New York, N.Y.
10. IEEE. 1999a. Smart Transducer Interface for Sensors and Actuators- Network Capable Application Processor (NCAP) Information Model. IEEE standard 1451.1. The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc. 345 East 47th Street, New York, N.Y.
11. IEEE. 1999b. Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY)

specifications: Higher-Speed Physical Layer Extension in the 2.4 GHz Band. IEEE standard 802.11b. The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc. 345 East 47th Street, New York, N.Y.

12. IEEE. 2003. Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications for Low-Rate Wireless Personal Area Networks (LR-WPANs). IEEE standard 802.15.4. The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc. 345 East 47th Street, New York, N.Y.
13. Intel, 2005. Mote related DM. Intel Corp., USA.
14. Hirafuji, M., 2005a. Field Server - Standard of hardware, sensors and application. International Symposium of Asia Pacific Advanced Network (APAN). Taipei, Taiwan, ROC.
15. Hirafuji, M., 2005b. Toward total global sensor network. International Symposium of Asia Pacific Advanced Network (APAN). Taipei, Taiwan, ROC.
16. Haii, M., 2005. Application of Field Server in Thailand. International Symposium of Asia Pacific Advanced Network (APAN). Taipei, Taiwan, ROC.
17. JPL, NASA. 2005. <http://sensorwebs.jpl.nasa.gov/>
18. MoteIV, 2005. Mote related DM. MoteIV Technology, Inc., USA.
19. Wang, N., N. Zhang, and M. Wang. 2004. Wireless sensors in agriculture and food industry - Recent development and future perspective. CIGR International Conference·Beijing, China.