

# 無線感測網路系統之簡介

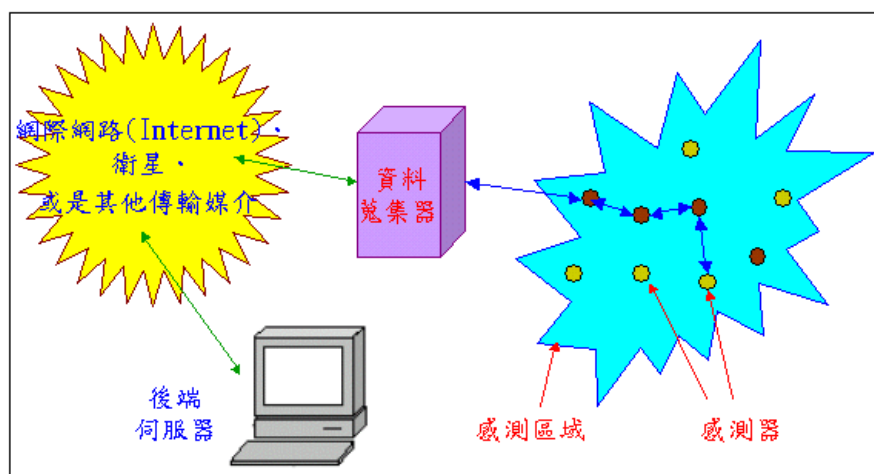
作者：國立交通大學 資訊工程學系 王友群、胡君琪、曾煜棋

無線感測網路(Wireless Sensor Networks)是由一到數個無線資料收集器(Wireless Data Collector)以及為數眾多的感測器(Sensor)所構成的網路系統，而元件之間的通訊方式則是採用無線通訊(Wireless Communicate)的方式，換句話說，我們可以任意擺放感測器或是無線資料收集器，不但省下可觀的佈線費用，而且極為方便。

在無線感測網路的架構下，感測器的設計，以省電、價格低廉、體積小、且具有感應環境裝置為目標，感測器本身就像是一台小型電腦，並配備了簡單的感測裝置、運算裝置、無線傳輸裝置，感測裝置可以針對環境中我們所感興趣的事物(如溫度、光源等)做偵測行為，並將所收集的資料先做簡單運算處理後，再透過無線傳輸裝置，將資料回傳給資料收集器，最後，我們就可以根據資料收集器所收集的資料，了解環境的狀態，並開發新穎有趣的應用了。

無線感測網路的發展，最早是美國加州柏克萊大學(UC Berkeley)的一項研究計劃，研究人員開發出一種體積很小，與普通阿斯匹靈藥片大小相似的感測器，稱之為「智慧灰塵」(Smart Dust) [1]，其採用微電子機械系統(MEMS)技術。由於這項計劃是由美國國防部研究計劃單位(DARPA)所支助，原先的構想是應用在軍事上，例如在戰場上，使用智慧灰塵的技術來監控與了解敵軍的行蹤，方法是使用無人駕駛的小飛機，帶著數以百萬計廉價且外型就像是灰塵一樣的無線感測器，灑在監控敵軍的區域，進行蒐集資料的任務，一段時間之後，同樣派遣無人駕駛的小飛機，將感測器蒐集到的資料透過無線網路傳回小飛機上，帶回基地加以分析，如此一來，就可以不需要冒著極大的危險派遣兵力深入敵方，完成蒐集敵軍情報的任務。此外，由於智慧灰塵為數眾多，敵軍也不易清除，可謂「撒豆成兵」。

## 無線感測網路系統架構

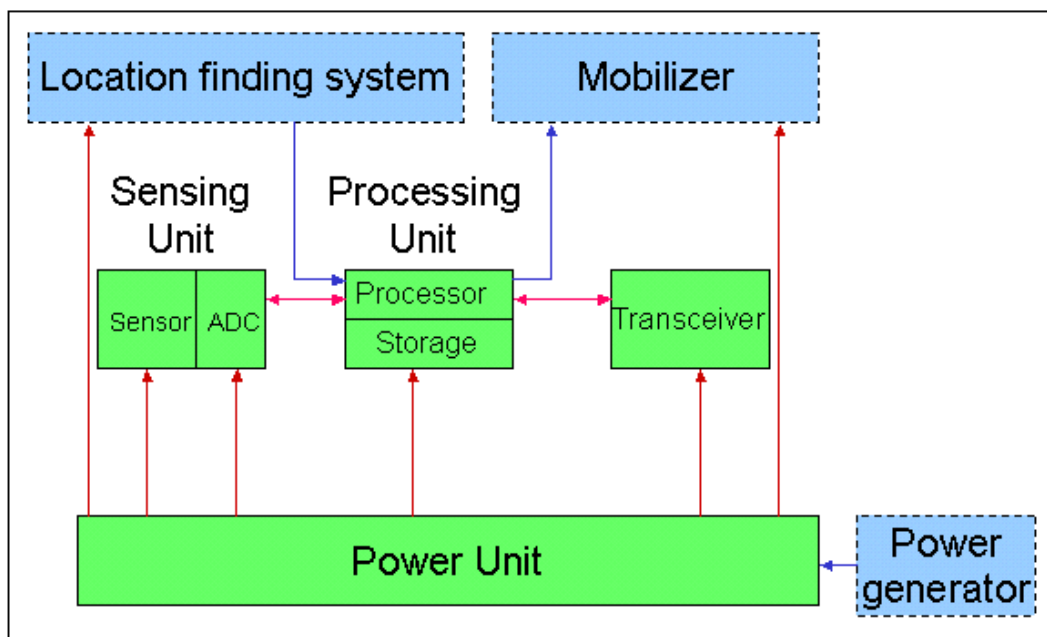


圖一、感測網路系統基本架構

(資料來源 [2]: 修改至“A Survey on Sensor Networks”)

感測網路系統的基本架構如圖一所示，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) 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，使得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。

## 感測器硬體設計



圖二、感測器硬體設計  
(資料來源 [2]：“A Survey on Sensor Networks”)

感測器的硬體設計主要由四個基本部分所組成 [2]：

### 1. 感測單位 (Sensing Unit)：

感測單位主要包含兩個部分：

- (1) 感測元件 (Sensor)：負責偵測環境，將蒐集到的資料(例如溫度、溼度、光度、壓力、二氧化碳濃度等)使用類比訊號表示。
- (2) 訊號轉換元件 ADCs (Analog-to-Digital Converters)：負責將感測元件感測到的類比訊號轉換成數位訊號，並將資料送到處理單位加以處理。

### 2. 處理單位 (Processing Unit)：

處理單位主要也包含兩個部分：

- (1) 儲存元件 (Storage)：儲存元件的功能類似個人電腦中的硬碟等儲存裝置，將蒐集到的環境資訊儲存在儲存元件中。

(2) 處理元件 (Processor)：處理元件的功能類似個人電腦中的中央處理機(CPU)，負責執行事先儲存好的程式碼，以協調並控制感測器之間不同的單位元件。處理元件可以根據原先所儲存的程式指令、或是藉由後端伺服器所發送的命令，啟動感測單位收集環境的資訊，並將所收集的資料經過彙整後，透過傳輸單位將資料發送回去。

### 3. 傳輸單位 (Transceiver Unit)：

傳輸單位負責連接感測器與其他感測器之間的溝通，或是將感測器的資料傳送給無線資料蒐集器。傳輸單位可使用的傳輸介質有紅外線(Infrared)、無線電波(Radio)、以及光纖介質(Optical Media)等，配合環境及應用的不同可以使用不同的選擇。

### 4. 電力供應單位 (Power Unit)：

電力供應單位必須負責感測器中所有單位的電力能量，無論是任何一種功能運作都必須使用電量，是感測器中十分重要的單位；通常感測器的電力是由電池所支援，因此在軟硬體的設計上，省電可以說是主要考量的因素之一。

感測器除了以上四個基本構成單位，也可以根據不同的環境、不同的應用來增加新的功能單位，例如可以新增用來辨識感測器本身位置的定位系統(Location Finding System)、外接或內建用來提供電源的電源產生器(Power Generator)、或是讓感測器具有行動能力且能夠攜帶感測資料的行動裝置(Mobilizer)等等。

雖然感測器內部包含如此眾多的元件，但是感測器本身的硬體設計，最重要的是以體積小、重量輕、成本低廉、以及高效能為設計的主要原則。

## 感測網路設計考量因素

在實作感測網路時，因為容易受到環境以及軟硬體設備等影響，在設計的時候往往有許多方面需要考量 [2]：

### 1. 網路的容錯能力 (Fault tolerance)：

由於感測器本身構造簡單且能使用之電力有限(目前感測器多半是以電池來供應電源)，再加上感測器受到環境因素的侵蝕與毀損，因此容易損壞或是耗盡電源，所以在設計感測網路的時候，必須避免因為少數感測器損壞而造成整個網路癱瘓的情形。

### 2. 網路的擴展性 (Scalability)：

無線感測網路在設計上，一般都是考量感測器數量極為龐大的情形；感測器的數量，少則可以是數百至數千個，多則可達到數百萬個。因此如何在這個龐大的網路下設計一套有效率的傳輸協定(Routing Protocol)以及分散式的運算(Distributive Computation)模式，讓感測器所收集的資料能夠順利傳回給後端的伺服器，則是決定這個無線感測網路是否能夠成功運作的重要關鍵。

### 3. 單一感測器的價格 (Sensor costs)：

無線感測網路的其中一個特點，就是感測器的數量往往十分龐大。由於感測器必須大量的使用，因此為了考量整體的成本，對於如何降低感測器本身硬體以及設計上的價格，也是十分重要的議題之一。

### 4. 感測器硬體設計的限制 (Hardware constraints)：

利用現有科技的微電子機械系統技術，已經可以設計出像銅板或是阿斯匹靈一般大小的感測器，未來必須繼續克服硬體設計上的限制，邁向更小尺寸、效能更強的目標發展，讓感測器達到如同灰塵一般的大小。

## 5. 無線感測網路的網路拓樸 (Sensor network topology) :

一般感測網路的建立與維護可細分為下面三個階段：

### (1) 事先規劃與實際部署階段 (Planning and Deployment Phase) :

感測器的部署可以事先精心規劃，再依據所規劃的藍圖逐一擺放感測器；然而在某些特殊環境下，例如：海洋、戰場，或是森林等，感測器的佈置是無法預測的，因此在這種情況下，感測器往往以非常大量的方式，透過船隻、飛機，或是其他機械等，隨意散佈在感測環境中。

### (2) 後部署階段(Post-deployment Phase) :

理論上，在感測器部署完成後，就已經形成一個完整的無線網路架構，但是，感測器的位置容易受到環境因素，例如水力、風力或是人為移動等因素而改變，或是當感測器電力耗弱或故障損壞時，造成網路拓樸(Network Topology)的改變；這時候，系統就必須對拓樸的改變做出即時的反應，並迅速對殘缺的網路拓樸做出修正。

### (3) 新增感測器階段(Redeployment of Additional Phase) :

在經過一段時間後，許多感測器可能由於電力嚴重不足或是損壞的緣故，造成整個感測網路中，可以偵測環境以及傳輸資料的節點個數不足。此時，系統已經無法自動對整個網路架構做出修補的動作，所以，這時候必須依靠外力(人員、機械等)，在這個網路中新增一些額外的感測器以彌補感測器數量不足的問題。有了這些新增的感測器之後，原先殘缺不堪的網路彷彿注入了新生命，可以再自動重新組態(Auto-configuration)網路架構，以繼續執行任務。

## 6. 感測環境 (Environment) :

感測器所感測的環境，除了可以是居家、農田、溪流、森林、建築物，甚至是草坪等等與生活息息相關的地區，也可能是危險的戰場、人類所未知的太空、海洋的最深處，以及酸性與鹼性的化學環境等等。因此感測器必須能夠根據不同的感測環境而有著不同的設計，以便能夠因應環境，蒐集各種不同的環境資料。

## 7. 感測網路的傳輸介質 (Transmission media) :

無線感測網路的傳輸介質與一般常見的無線網路相同，包括可以利用紅外線(Infrared)、無線電波(Radio)、以及光纖介質(Optical Media)等作為傳輸媒介。最常使用的傳輸介質是採用無線電波的方式，舉例來講， $\mu$ AMPS 的感測器是強調採用 2.4GHz 頻帶，和藍芽(Bluetooth)介面相容的傳輸裝置 [3]；此外另一種低功率的感測器裝置則是使用 916MHz 頻帶、單一頻帶的電波傳送裝置 [4]。

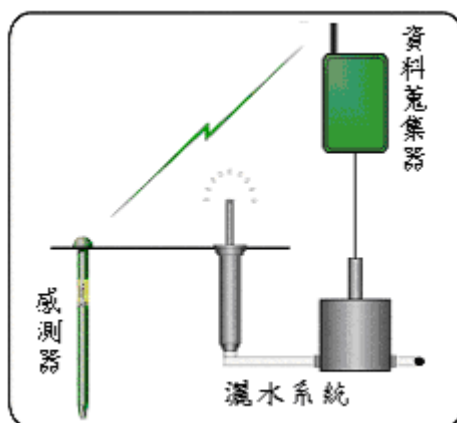
## 8. 省電機制 (Power consumption)

在之前已經提到，感測器本身能夠攜帶電源十分有限，然而，感測器在偵測環境、資料運算，以及將資料傳輸給後端的無線資料感應器的時候，往往都會耗費為數可觀的電力，倘若沒有特別的省電機制，感測器本身的使用壽命勢必會大幅縮短，造成更換感測器時，會耗費更多的成本，甚至在某些環境下(例如戰場)，感測器的更換並不是那麼容易，因此如何提供一個良好的省電機制可以說是無線感測網路所需要考量的重要課題。

## 無線感測網路的應用

無線感測網路的應用範圍十分廣泛，許多國內外的研究機構與廠商紛紛投入發展的行列。在下面的介紹中，我們將提出與生活上較有相關性的應用，是將無線感測網路帶入人類的生活中的最佳例子。

### 1. 自動化花園管理系統 -- S.Sense Wireless Sensor [5]



圖三、 Digital Sun 公司所發展的自動灑水系統「S.Sense Wireless Sensor」  
(資料來源 [5] : <http://www.digitalsun.com/>)

這套由 Digital Sun 公司所發展出的「S.Sense Wireless Sensor」，是一套自動化無線感測系統，能夠在沒有人員管理與控制的情形下，有效率且全自動的管理花園內灑水的工作。

器材的安裝是先將數個感測器埋設在土壤中，並將資料蒐集器安裝在花園的中心或是牆邊，讓感測器與資料蒐集器之間能夠藉由無線網路傳送資訊。感測器能夠一天二十四小時的對土壤環境做連續性的監控，偵測資料主要是土壤的溼度與土壤中所含水分的飽和度。感測器將測量值透過無線網路傳回給資料蒐集器，資料蒐集器中包含了資料運算設備，能夠根據土壤的溼度來決定何時必需要灑水，以及隨時控制灑水水量的多少。當灑水機制偵測出土讓溼度已達飽和，例如灑水量已充足或是開始下雨時，系統會自動停止灑水；當天氣過熱時，感測器偵測出土壤變得乾燥，此時資料蒐集器會自動計算灑水量，並通知灑水系統開始執行灑水的工作。為了維護系統運作的流暢，資料蒐集器也會發出訊號自動偵測灑水路線是否斷裂，或有灑水頭阻塞等情形，並發出警告聲，通知管理者做出適當的修復。

### 2. 展覽會場的保全系統 -- Sensicast ART [6]

在博物館、圖書館、畫廊、藝術品展覽會場等地方，存放及展示許多具有價值的藝術品或文物等展覽品，為了防止展覽品遭到竊盜、避免參觀者不經意的觸摸、或是任意搬動等情形，Sensicast Systems 公司研發出一套感測系統，稱為「Sensicast ART」，專門使用於展覽會場，保護藝術品及文物的安全。

Sensicast ART 系統主要有兩個模組：

(1) OAS 物件警告系統(Object Alarm System) :

物件警告系統的感測裝置是安裝在藝術品底部或背面(例如文物的底部或是畫作的背面)，藉由偵測燈光的亮度是否改變、測量是否遭受到振動等因素，來確保展覽品的安全。若偵測出環境的變動，物件警告系統會發出警告的聲音並傳送警告訊息給控制室。

(2) EMS 環境管理系統(Environment Management System) :

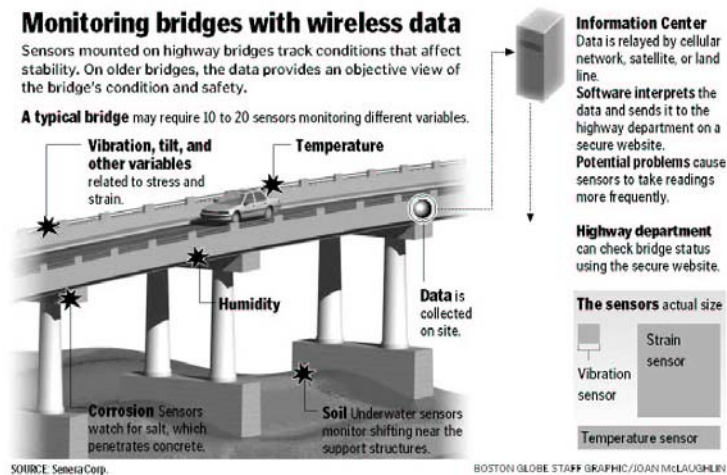
環境管理系統的感測裝置安裝在展覽會場的牆角、天花板等地方，主要用於偵測展覽環境的溫度、溼度是否超過安全值，以保護展覽品的品質。

目前 Sensicast ART 系統已推出 alpha 版本，並將於 2003 年年底前推出 beta 測試版本。

3. Senera 的橋樑安全監控系統 [7]

民國 89 年 8 月 27 日下午，聯絡高雄與屏東之間的高屏大橋突然斷裂，造成多位民眾受傷，這個段橋事件讓許多人印象深刻，也注意到橋樑安全的重要性。

Senera 公司正在發展的感測系統，目的是使用於監視橋樑、高架橋、高速公路等道路環境。對於許多老舊的橋樑，橋墩長期受到溪水的沖刷，使得橋墩裸露而有斷橋的危險，於是 Senera 公司正在設計能夠放置在橋墩底部、用以感測橋墩結構的感測器；另外還有放置在橋樑兩側或底部的各種感測器，蒐集橋樑的溫度、溼度、振動幅度、橋墩被侵蝕程度等環境，期望能減少斷橋所造成生命財產的損失。



圖四、 Senera 公司的橋樑安全監控系統設計圖  
(資料來源 [7] : <http://www.senera.com/articles.htm>)

### 無線感測網路的發展

無線感測網路的發展，在 Intel 與柏克萊大學合作研究後，引起越來越多研究團隊的注意，進而著手發展相關應用。除了國外的 Intel、Crossbow、Digital Sun、Senera、Sensicast Systems 等著名廠商，以及柏克萊大學等學術研究機構，國內也開始進行研究與發展。2003 年三月及八月份，國立清華大學亦舉辦了兩場相關的研討會：

1. 「無線隨意即感測網路研討會-從 IEEE 802.11 到 Berkeley Motes」，主講者：Steve T. H.

Lai, Ohio State University, USA.

2. 「Wireless Ad Hoc Sensor Network : An Overview」, 主講者 : Yu Hen Hu, University of Wisconsin, USA.

隨著微機電技術的進步與無線傳輸技術的發展，無線感測網路的應用範圍越來越廣，未來也許在生活中處處充滿著察覺不到的感測器，隨時監控著人們的健康與安全。無線感測網路發展至今仍有許多可以應用的環境可供開發、以及許多技術上的問題需要克服，值得各界學者及研究團隊繼續深入地研究。

### 參考資料

- [1] Smart Dust, <http://robotics.eecs.berkeley.edu/~pister/SmartDust/>
- [2] I. F. Akyildiz, W. Su, Y. Sankarasubramaniam, and E. Cyirci, "A Survey on Sensor Networks", *IEEE Communications Magazine*, vol. 40, no. 8, Aug. 2002, pp.102 -114
- [3] A. Woo, and D. Culler, "A Transmission Control Scheme for Media Access in Sensor Networks", *Proc. ACM MobiCom '01*, Rome, Italy, July 2001, pp.221-35.
- [4] G. J. Pottie and W. J. Kaiser, "Wireless Integrated Network Sensors", *Commun. ACM*, vol. 43, no. 5, May 2000, pp. 551-58.
- [5] Digital Sun, <http://www.digitalsun.com/>
- [6] Sensicast ART, <http://www.sensicast.com/products/art.php>
- [7] Senera Corporation, <http://www.senera.com/>