

# 行政院國家科學委員會專題研究計畫 期中進度報告

## 無線感測器網路共同平台之建置與智慧居家及環境安全應用示範(1/3) 期中進度報告(完整版)

計畫類別：整合型  
計畫編號：NSC 95-2218-E-002-072-  
執行期間：95年11月01日至97年01月31日  
執行單位：國立臺灣大學應用力學研究所

計畫主持人：郭茂坤  
共同主持人：黃寶儀、朱浩華、張瑞益、吳文中、傅立成

報告附件：國外研究心得報告

處理方式：本計畫可公開查詢

中華民國 97年02月18日

行政院國家科學委員會補助專題研究計畫  成果報告  
 期中進度報告

無線感測器網路共同平台之建置與智慧居家及環境安全應用示範

計畫類別： 個別型計畫  整合型計畫

計畫編號：NSC 95-2218-E-002-072

執行期間：95年11月1日至96年10月31日

計畫主持人：郭茂坤教授

共同主持人：黃寶儀助理教授、朱浩華副教授、傅立成教授、張瑞益助理教授、吳文中助理教授

計畫參與人員：陳伶志博士、黃乾綱助理教授、王家輝助理教授、楊耀州副教授、施文彬助理教授、林致廷助理教授、陳俊杉副教授、蕭子健副教授

成果報告類型(依經費核定清單規定繳交)： 精簡報告  完整報告

本成果報告包括以下應繳交之附件：

- 赴國外出差或研習心得報告一份
- 赴大陸地區出差或研習心得報告一份
- 出席國際學術會議心得報告及發表之論文各一份
- 國際合作研究計畫國外研究報告書一份

處理方式：除產學合作研究計畫、提升產業技術及人才培育研究計畫、列管計畫及下列情形者外，得立即公開查詢

涉及專利或其他智慧財產權， 一年  二年後可公開查詢

執行單位：

中華民國 96 年 09 月 16 日

## 中文摘要

隨著科技的進步及人性化的發展，無線感測網路的運用於近年來已成為產官學界研發的重點，然而在實際應用的層面上，因為開發硬體成本及相關無線通訊軟體和使用介面授權費用過高，使此一應用技術的發展及落實至今仍具有極大的困境。於本計劃中，整合學界的研發能量及產業界成熟的生產應用技術，進行無線感測網路平臺、通訊節點閘道及相關軟硬體技術之研發及製作。進一步的說明，本計劃結合產學界成立一應用聯盟，訂定共用平台規範，利用學界的研發技術及業界低價量產之能力開發並製作一千套硬體設備，提供其他業界及學界之應用計畫使用，同時，此一開發平台之相關使用軟體及韌體於發展完成後，本著自由軟體的精神，完全免費開放給學界及業界使用，以徹底彌平無線感測網路應用之障礙。於今年，本計劃致力於軟硬體平台之建立：第一子計劃已完成利用現有商用產品製作出含有七十個通訊節點之感測器網路；第二子計劃搭配第一子計劃成功的完成無線網路的定位系統；第三子計劃開發針對 Zigbee 無線網路通訊之網路安全與管理；第四子計劃配合國內廠商開發之硬體技術完成無線感測網路節點與閘道的硬體製作；第五子計畫發產出可配合無線網路技術之溫度、濕度及二氧化碳感應器；第六子計劃根據各子計劃所開發之技術研擬此一無線感測網路技術之應用情境並實作部份雛型。

關鍵字：無線感測器網路、智慧居家環境、環境安全監控

## Abstract

As the integration between technology and humanity grows, the wireless sensor network (WSN) has become an emerging research field. Because of the manufacturing costs of various hardware implementations and royalties of software authorizations, however, the development of WSN is impeded. To conquer these limitations, this research project integrates the academia and industry to seamlessly combine the research and manufacturing sources. Moreover, the alliance from both academia and industry is also coordinated to develop the key components, such as gateways and sensor nodes of WSN technologies and open-sourced general protocol and software for WSN platforms. This infrastructure will not only be used to bridge the fundamental research development and industrial application but also overcome the cost barrier of this technology. In this year, this research project will manufacture 1000 sets of WSN gateways and sensors based on the superior low-cost production capability of Taiwan wireless industry. Moreover, the implementation of several WSN applications will also be demonstrated. In detail, the first sub-project implements a sensor network with more than 70 sensor nodes; the second sub-project develops an algorithm for the wireless positioning system established in the first sub-project; the third sub-project develops a function library for WSN security and management in zigbee protocol; the fourth sub-project manufactures 1000 sets of gateways, super-nodes, and sensor nodes for zigbee WSN applications; the fifth sub-project develops low-cost wireless sensor modules with humidity, temperature, light and gas sensing abilities; and the sixth sub-project implements the application scenarios for further WSN applications.

Keywords: Wireless sensor network, smart living space, environmental monitoring

## 前言

感測器網路早於 1993 年由日本 Hitachi 公司即提出應用於下水道監測系統<sup>[1]</sup>，然受限於訊號讀取線路的配置及感測器設置問題，使得此一技術之應用僅限於廠房或是特定區域等可應用高成本監測儀器的場所之中，直至 2000 年由 U.C. Berkeley 提出以無線傳輸為基礎的無線感測器網路<sup>[2,3]</sup>，使其應用的潛能由於近年來無線通訊技術的進步而迅速成長，包含如大規模之環境監測、建築結構物的結構監測、個人健康情況之監控與智慧生活空間中的環境與健康量測等，在可預見的未來，無線感測網路將無所不在的融入於日常生活之中，提供更舒適且更安全的生活環境。

目前國際上許多開發研究團隊已經著眼於無線感測器網路的研發，也獲得許多很好的研究成果<sup>[4,5]</sup>，但是，各研究團隊間的研發的感測器平台種類繁多，使得各平台間整合成為一大困難的課題，更進一步的檢視無線感測器網路平台的主要技術中，相關市場佔有率主流之一的美國加州柏克萊大學，更將其所開發的無線感測網路之軟硬體以專利保護後，其權利金與相關開發套件成本昂貴的問題更使得無線感測器網路的發展受到限制，此一近乎壟斷的現象，不但造成學界於發展上的負擔，同時也使得業界對於落實無線感測網路技術於應用面上裹足不前。

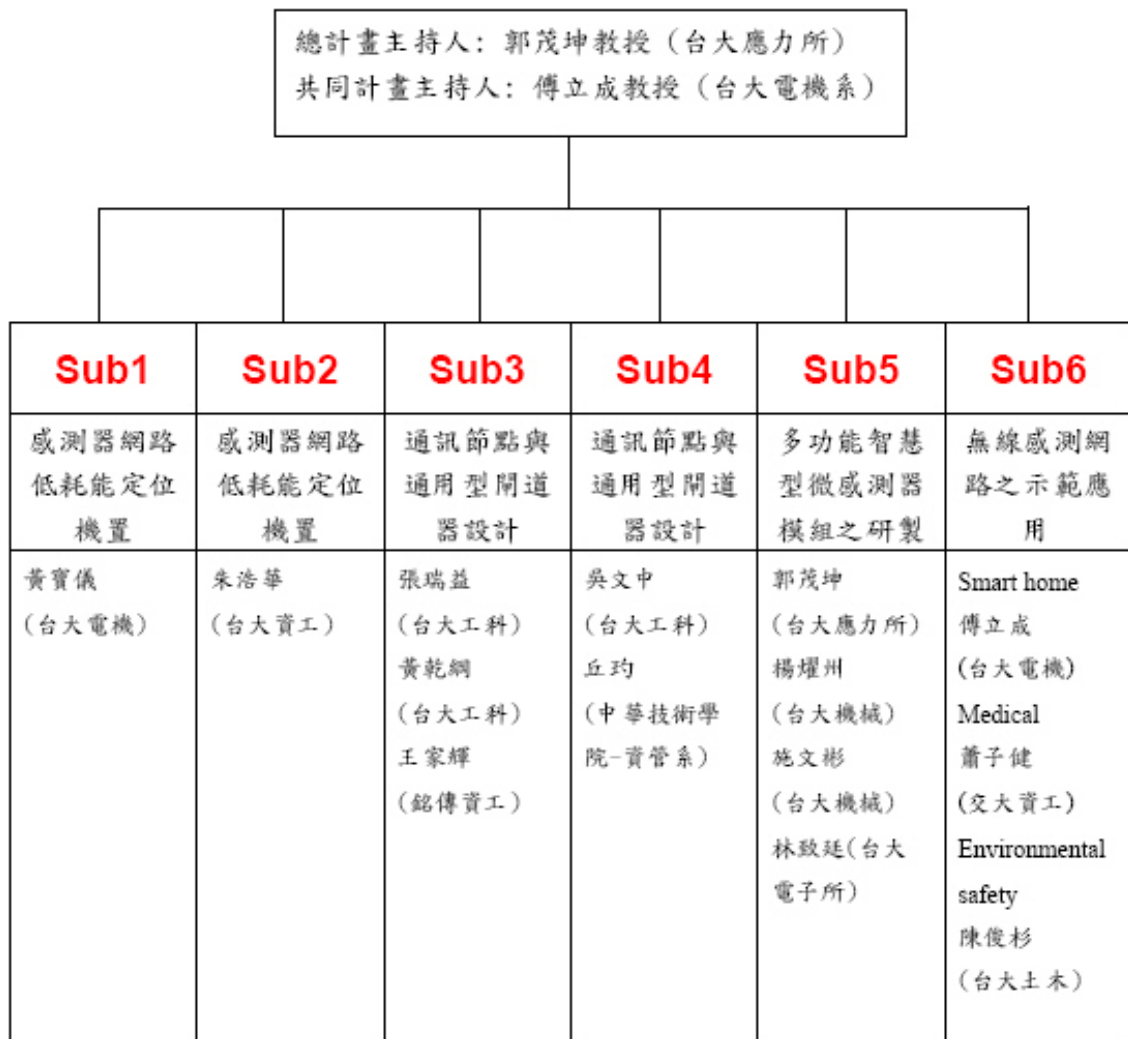
鑒於台灣於電子相關製造業的優勢及競爭力，兼以學術界於開發軟體、軟體及人機介面的能力，國內產官學界在發展無線感測器網路技術時，實在無須花費昂貴的費用於相關開發套件及軟硬體，更進一步的說，凝聚產官學界的力量，設計出更為優秀的軟硬體平台並非難事，所欠缺者，實為一個具有領導性質及指標特性的產學整合性團隊，發展可共用性平台做為相關學界及無線感測器網路產業鏈中的業界開發使用。有鑒於此，本計劃即提出結合學界與業界之力量成立一應用聯盟，制訂一共用平台規範並據此規範開發可供學界使用之無線感測器網路硬體，如通訊節點及閘道等，統一開發平台並本著自由軟體的精神開發出免費之軟體及軟體，為國內相關應用研究及產業開發奠定良好的發展基礎及跨越由其他國家所架構的門檻及障礙。

## 計畫目標

根據此一研究架構，本研究計畫共分成六個子計畫：前三子計畫主要為軟體開發，其中包含通訊協定、定位機制、網路安全與管理等；後三個子計畫則偏重硬體之開發，其中包含硬體設計及製作與實際應用之展示等。本研究計畫與各子計畫之研究架構圖如下圖所示，總計劃主持人為台大應力所所長郭茂坤教授，總計劃之共同主持人為台大電機系傅立成教授，主持人及共同主持人都有多年整合公學院及電自學院之大型計畫之經驗，在本計畫中對於各子計畫之技術整合及軟硬體平台與應用示範之建立有著極關鍵的地位，各子計畫之主持人亦在各無線網路應用領域皆有所專精，因此，此一整合性計畫將結合各子計畫主持人之專才為國內開發一開放式無線感測網路平台架構。

總上所述，本研究計畫以實際應用為最終目標，因此第一年主要重心為落實軟硬體平台之建立，結合業界生產之能量製作 1000 套硬體以供次年其他應用計劃使用，並同時開發其他實體之應用展示，諸如：環境安全監控技術、智慧化生活技術及健康生理輔助技術等。為達詳盡地說明本計畫於第一年所達成的目標，以下將以各子計畫為基本單元進一步詳述

第一年之工作內容及計畫成果自評。



### Reference

1. Watanabe, S., et al., "INTELLIGENT OPERATION SUPPORT SYSTEM FOR ACTIVATED-SLUDGE PROCESS," *Water Science and Technology*, 28, 325-332, 1993.
2. Rabaey, J.M., et al., "Picoradio supports ad hoc ultra-low power wireless networking," *Computer*, 33, 42, 2000.
3. Kahn, J.M., et al., "Emerging challenges: Mobile networking for Smart Dust," *J. of Communications and Networks*, 2, 188-196, 2000.
4. Dowad, T., "PAWS: Personal Action Wireless Sensors," *Pers Ubiquit Comput*, 10, 173-176, 2006
5. Cookm, B.W., "SoC Issues for RF Smart Dust," *Proceeding of the IEEE*, 94, 1117-1196, 2006.

## 計畫成果自評

本研究計畫的目標在於開發可供學界及業界無償使用之無線感測器網路硬體，如通訊節點及閘道等，統一開發平台，利用學界對於技術的發展並本著自由開放的精神，開發出免費之軟體及韌體，為國內相關應用研究及產業開發奠定良好的發展基礎及跨越由其他國家所架構的門檻及障礙。於第一年的執行期間中，已獲得極佳的成果，相關成果可簡述如下：

1. 完成實際架設一個具有三十個以上節點的無線感測網路平台，可以成功地利用無線網路，進行各項感測資料的傳送與收集。
2. 建立一個無線感測器網路，並能夠在上面成功的佈建和展示我們基本的定位演算法。
3. 根據各項文獻與計畫需求規劃與定義所需之函式庫，並完成函式庫開發，將之建構於網路管理平台上。
4. 設計並完成了一千套無線感測網路所需硬體架構：simple node, super node, gateway，此批硬體架構將可無償供給學術界及業界進行應用面的整合及落實。
5. 開發並製作出標準化介面之微感應器電路模組，其中包含溫度、溼度、光強度、磁簧開關、紅外線感測器、三軸加速度微感應器等，並可配合無線網路平台傳輸相關資料。
6. 針對居家智慧生活、生理訊號監測及通風系統之應用情境進行無線感測網路之情境模擬及設計。

總上所述，本研究計畫已成功達成當初規劃之階段性目標，所完成的成果將秉持本研究計畫之精神開放給學術界及業界申請使用，不但提供相關軟硬體供其他研究計畫開發使用，更準備完整之相關硬體介面電路設計及相關參數無償提供相關廠商業者參考做為應用開發之依據，同時，本研究計畫亦整合達盛電子及中興工程顧問社等廠商進行合作開發工作，為相關產業的發展提供先進無線網路平台研發之能量。因此，本研究計劃於第一年已確實地突破先前由國際上開發無線感測網路平台之其他研究單位及產業所設定之進入障礙 (entry barriers)，為國內產業進入此一產業奠定良好的基礎。

## 子計劃一：無線感測網路之網路跨層效能提昇 (Cross-Layer Protocol Enhancements for Wireless Sensor Networks)

PI：黃寶儀（國立臺灣大學）、陳伶志（中央研究院）

### 一、前言

近幾年來，無線感測網路的研究與各項應用已日益受到人們的注意與重視。藉由無線感測網路的使用，人們可以利用無線網路科技，將各種複雜的感測器連結起來，並利用網路的特性進行大規模的資料傳遞與收集；此種新興型態的網路應用，可以適用於軍事偵察、科學偵測、工廠管理、生態監測等各種使用環境。同時，藉由無線感測網路的使用，不但可以使各種感測網路的使用更加有效率、不受地理環境因素的影響、以及可以進行大規模的佈建；更重要的是，透過無線網路技術與感測網路的結合，更可以開啟許多新的應用領域，例如智慧化生活空間、大規模環境監測、以及健康生理輔助等，提供人們在資訊化時代中更加人性化、更加全方面的資訊服務。

然而，由於無線網路在實際應用上極易受到各項環境因素影響而降低其系統效能，以及感測網路本身低功率、低成本、低資源的先天條件限制，如何建置一個能夠提供具備效率、穩定度、與正確性的無線感測網路平台，遂成為一項重要且深具挑戰性的任務。針對此項問題，早期的各項研究往往採取使用網路模擬器的方法，在一個假定的感測網路情境中，模擬各種可能的狀況，採取各種問題解決演算法，再評估系統可能之各項服務效能。然而，此種傳統的研究方法，對於無線感測網路而言，往往並不能實際表達無線感測網路在實際運作時所遭逢的各項不可預期變數(例如無線網路連線的不穩定性、感測器所回報的數據資料出現偏差、感測器遭逢外力因素導致失聯等等)，因此這些採用網路模擬方法所進行的研究，往往無法在實際的無線感測網路上仍能保有原先預期之效能，其更甚者，更無法在實際的無線感測網路上使用。

### 二、研究目的

有鑑於此，本項子計劃預訂在第一年的執行期間內，首先架設一個具中度規模的無線感測網路試驗平台，俾利於本項子計劃第二、三年各項研究任務之遂行，以及其它分項子計劃在實機測試上之需求。同時，對於各項無線感測網路應用服務，與各項無線感測網路效能提昇方案，我們皆將採取實機實驗為主，網路模擬為輔的原則，俾使各項研究之進行，可以更符合實際無線感測網路之需求。

此外，在第二及第三年的執行計劃中，我們將專注於無線感測網路幾項關鍵議題的研究，例如無線傳輸之抗干擾(interference)議題、感測器之能源節約(energy efficiency)議題、跨層次整合(cross layer integration)議題等等。在接下來的章節中，我們針對第一年規劃的中度規模的無線感測網路試驗平台做較詳細的報告。

本項子計劃於第一年之目標為建立一個具有三十個以上節點的無線感測網路平台，以提供未來二年延申計劃之實際測試用途，並提供其它子計劃進行無線感測網路之建置與實驗用途。因此，在第一年的研究當中，我們以與現行廣為學術研究單位使用之 Crossbow MicaZ

[MICAZ](使用 IEEE 802.15.4)相容之模組為主要網路平台，進行實際的網路建置。同時，我們計劃先行採用目前 MicaZ 上最廣為使用的 TinyOS 為其操作之作業系統，並使用 Magnetic Diffusion [MD]做為先期使用之網路路由協定，以期此無線感測網路平台能以最快之速度先行完成建置，俾利於後續各項工作之進行。

### 三、研究結果

博理館中之無線感測器網路是由 Source、Relay 及 Sink 等節點所構成。欲將資料透過此網路送回彙集節點，我們採用 Magnetic Diffusion 路由協定。在 Magnetic Diffusion 路由協定中，匯聚節點之功能如同磁鐵般傳播磁荷以建立磁場，在磁場的影響下，感測器資料就如同鐵釘般被吸引至匯聚節點。磁場之建立方式是在位於匯聚節點範圍內之感測器節點上設定磁荷，而磁荷之強度是由至匯聚節點之 hop 數來決定。匯聚節點會定期廣播 interest，並於其他 source 及 relay 節點上建構磁場，當 source 節點（即感測節點）要送感測資訊至資料庫端，該資料會由低磁荷節點傳送至高磁荷節點，最後會抵達擁有最高磁荷之匯聚節點。

為評估系統效能，我們利用在博理館建置初期完成的電梯監測應用[4]。於二部電梯中各部署一個配備加速度計之感測器節點，並部署 14 個 Telos 來建構感測器網路。在電梯附近的節點，在每次電梯到達時，會傳送資料二次，以增加可達率。我們的部署涵蓋包括四樓到七樓之四個樓層，圖 1-1 中顯示博理館中節點之放置位置。實驗進行的時間為二個小時，在這段時間中，我們將傳送至匯聚節點的訊息記錄下來。

二部電梯資料的可達性如表 1-1 所示。東電梯資料之可達性為 95%，大約比西電梯高%，這是由於在實驗期間，圖 1-1 中的二個節點，西五樓（W5）與中繼中心（RC）電源耗盡的關係。如果沒有故障節點的話，西電梯資料之可達性，應該與東電梯相似。

(表 1-1) 電梯資訊之可達性

節點 ID	傳送封包數	接收封包數	可達性
東電梯	60	57	95%
西電梯	56	50	89.2857%

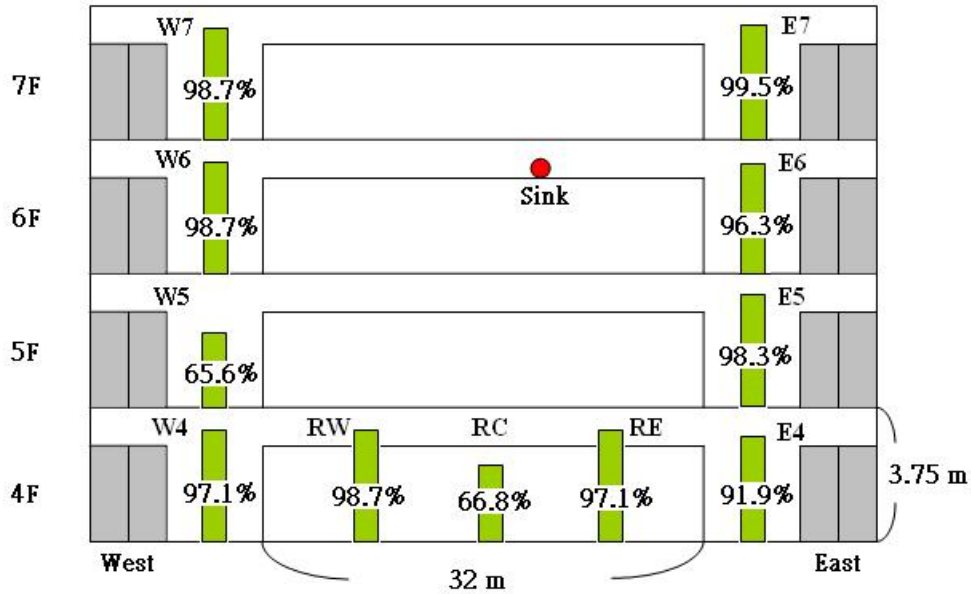


圖 1-1 個別節點之資料接收率。

#### 四、平台佈建實作經驗討論

感測器節點的製作花費約 8 個月的時間，與感測器網路協定之實作同步進行，感測網路的實作花了約 3 個月多一點的時間，部署、測試與除錯是最費時的部分，大約耗費剩下的所有時間（6 個月）。我們在製造、硬體的選擇、節點放置、資料傳輸、及可用性方面，學到許多寶貴的經驗。

**製造費用** 建構此一超過 30 個節點的感測器網路花費約台幣 20 萬元(不含其他開發工具)，每一節點之元件成本約為台幣 3000 元，其他為配線與 gateway 的花費。這比全球所有製造者的目錄表價都來得低。若有需要，這些無線感測網路節點可大量生產並自動組裝，價格預估可壓到更低。我們也因此認為，成本應該不會是未來將感測器網路產品商業化的瓶頸。

**硬體平台之選擇** 建築物中感測器節點之部署與建築物之結構與建築材質有密切關連。在工廠式建築中，因空間較為開放且連續，部署較為容易。而在辦公室或公寓式建築中，地板、天花板、牆壁則以相對高許多之密度構建。博理館是一棟混和式建築，在四樓（含）以上有開放式空間，因此一個小型的約 20 個節點的感測器網路可以涵蓋整個四樓至 7 樓的樓板面積。在三樓（含）以下，是比較辦公室類型的建築方式，樓板是由結實的混凝土隔開，因此會阻隔由感測器節點所發出之低功率無線電訊號。這意味著，在現代辦公室建築中部署感測器網路，必須採用更為強有力之開道節點，如具備更高無線傳輸功率或甚至有線傳輸能力之節點。

**節點之擺放位置** 在部署感測器網路的過程中，我們曾數次改變中繼節點之配置位置。感測器節點最終被隱藏起來，或被放置在很高不易被看到或被移動的牆面上。主要是因為人類的好奇心有時會勝過榮譽感。有二次，我們發現感測器節點被拿走，第一次被拿走的感測器節點，經在被拿走處貼出告示後，順利找回來，而第二次則沒如此幸運。我們因此決定放置感測器節點的原則，不再是最高的覆蓋率，而是最高的安全性。

**資料傳送率** 感測器資料之傳送率約為 90%-95%，會因天候、建築物中可能產生衝突之無線電裝置之使用、及電池壽命而有所不同。在這三個因素中，瓶頸中繼節點的電池壽命，對資料傳送成功率的影響最大。對日常應用而言，為中繼節點佈一次線的成本，可能比經常更換電池的循環成本來得低。為求較佳之資料完整性與一致性，商業性的感測器網路中的基礎建設節點，較實際的连接方式應是由牆上之插座供應電源。換言之，對於有線基礎建設之感測器節點而言，能源效率不再是最重要的議題。然而，對移動式感測器節點而言，能源效率仍是一重要議題。

**可用性** 由智慧型辦公室的經驗，我們發現目前的感測器節點尺寸太大，且配戴起來不是很舒服。電池快沒電時沒有警示，也是待解決的問題之一。大部分的志願參與者建議，最好是能有一較薄、如悠遊卡大小，且具備充電能力與低電量警示功能的節點。大部分的志願參與者，在模擬病房間移動時，都曾忘了攜帶配戴式感測器節點，這個問題可由將門禁功能加到配戴式節點上來解決。或許更嚴重的是隱私權的考量，我們亦觀察到，有少數的志願者在少數的情況下，故意將配戴式節點關掉，以隱瞞行蹤之事實。本系統如欲順暢運作，建築物之使用者與管理者皆須達成共識才可行。

## 五、成果自評

本項子計劃於計劃執行第一年結束前，完成實際架設一個具有三十個以上節點的無線感測網路平台，此平台將配合其它子計劃之進行，可以成功地利用無線網路，進行各項感測資料的傳送與收集。同時，我們計劃於第二及第三年針對無線感測網路中，各網路結點本身資源、能力、功用之不同予以進行區分，進而修改現行網路路由方法，讓其在找尋、維護、與更新路由時，能同時考慮到網路結點之差異性，而非採取一視同仁的傳統模式，以期能讓網路路由能充份考量到無線感測網路之特性，並得以提高其資料傳遞之準確性與效能。在此步驟中，我們不但將藉由網路模擬器的使用，協助此路由方法的設計，更將實際在已建置的系統上，研發與執行我們所設計的新式網路路由方法，以充份驗證我們的研發成果。

## 參考文獻：

- [80211] IEEE 802.11, <http://www.ieee802.org/11/>
- [802151] IEEE 802.15.1, <http://www.ieee802.org/15/pub/TG1.html>
- [802153] IEEE 802.15.3, <http://www.ieee802.org/15/pub/TG3.html>
- [802154] IEEE 802.15.4, <http://www.ieee802.org/15/pub/TG4.html>
- [ZIGBEE] ZigBee Alliance, <http://www.zigbee.org/>

- [TINYO] TinyOS, <http://www.tinyos.net/>
- [TINYA] TinyAODV, <http://cvs.sourceforge.net/viewcvs.py/tinyos/tinyos-1.x/contrib/hsn/>
- [MICAZ] CrossBow MicaZ, <http://www.xbow.com/products/productsdetails.aspx?sid=101>
- [LCS06] Nia-Chiang Liang, Ping-Chieh Chen, Tony Sun, Guang Yang, Ling-Jyh Chen, and Mario Gerla. Impact of Node Heterogeneity in ZigBee Mesh Network Routing. The 2006 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics
- [TAH02] S. Tilak, N. Abu-Ghazaleh, and W. Heinzelman. Infrastructure Trade-offs for Sensor Networks. ACM International Workshop on Wireless Sensor Networks and Applications, 2002.
- [RLP00] E. Royer, S. Lee, and C. Perkind. The Effects of MAC Protocols on Ad Hoc Network Communications. IEEE Wireless Communications and Networking Conference, 2000.
- [BDM03] C. Barrett, M. Drozda, A. Marathe, and M. Marathe. Characterizing the Interaction between Routing and MAC Protocols in Ad Hoc Networks. ACM International Symposium on Mobile Ad Hoc Networking and Computing, 2003.
- [MM06] U. Malesci and S. Madden. A Measurement-based Analysis of the Interaction between Network Layers in TinyOS. EWSN, 2006.
- [GW02] A. Goldsmith and S. Wicker. Design Challenges for Energy-Constrained Ad Hoc Wireless Networks. IEEE Wireless Communications, 2002, pp 8-27.
- [KK04] V. Kawadia and P. R. Kumar. A Cautionary Perspective on Cross-Layer Design. IEEE Wireless Communication Magazine, 2004.
- [MD] Hsing-Jung Huang; Ting-Hao Chang; Shu-Yu Hu; Polly Huang, "Magnetic Diffusion: Scalability, Reliability, and QoS of Data Dissemination Mechanisms for Wireless Sensor Networks," Computer Communications, In Press, Mar. 2006

## 子計劃二：省電無線感測網路定位系統 (Indoor Localization for Wireless Sensor Networks)

PI: 黃寶儀 (國立臺灣大學)、朱浩華 (國立臺灣大學)

### 一、研究背景與目的

隨著感測網路技術的發展，各種智慧型空間的應用也應孕而生，其中，基於感測網路而建置的商業化以及研究型物件追蹤系統更是蓬勃發展，像是量販店中的物流管理，醫院中病人位置的追蹤，以及利用位置資訊紀錄家中老年人的日常生活並。在這類應用中，物件的位置資訊扮演一個很重要的角色。

傳統的定位系統[13][15][16][19]著重在增加定位的準確度。然而研究發現，實際佈置這類系統後，系統在電力消耗的效率高低和定位的準確性同樣重要，被定位的使用者身上帶的 badge 或 tag 需要有良好的省電技術，在無線感測網路中才能有良好的運作的時間，一個需要經常更換電池定位系統，就算有極好的定位精準度仍然不具有實用性。因此，在設計一個定位系統時，定位準確性和省電效率需要一起考慮。

最近的研究逐漸開始著重定位系統的省電效率。例如，在[1][2][18]的物件追蹤感測網路研究中，發現省電效率和定位準確度通常是兩個難以同時達成的目標。定位系統的取樣頻率代表環境中的設備和使用者的定位裝置互相溝通和測量計算的頻率，藉由提高位置資訊的取樣頻率，一個定位系統可以得到較好的定位精準度，可是同時也會加快能量消耗。此外，這些系統也提出一些省電方法，藉由適當的調節取樣頻率，在不大幅影響定位精準度的情況下延長系統使用時間。他們的基本原理是(1)偵測或推測被定位使用者的移動模式，然後(2)根據移動模式的變化動態調整取樣頻率。例如，當一個使用者移動得很緩慢，定位系統的取樣頻率可以調低，這樣子既可以省電又不會大不降低定位精準度。

這樣的方式有兩個缺點。首先，根據使用者移動模式該如何調整取樣頻率，目前的作法只是一種heuristics。因為訊號的干擾、通訊的延遲以及取樣的延遲，對於定位上的誤差並沒有一個完整的分析，應用程式可以指定需要的定位精準度以及可接受的誤差範圍，定位系統可以設定適當的取樣頻率，這樣子可以兼顧定位精準度的需求，並且減少能量的消耗。

第二個缺點是，目前對使用者移動模式的預測，是根據定位系統得到的過去兩個估測位置資訊，得到使用者的移動速度，由於位置資訊本身就有誤差，計算出來的移動速度同樣也會有誤差。當使用者靜止的時候，這樣速度估計的誤差對於移動模式的預測影響很大，因為使用者的位置雖然不動，不過定位系統的估測誤差，使用者的估測位置每次都不一樣，而使得系統調高取樣頻率。

另外，這些提出的解決方法都只有在模擬上測試，因為缺乏實際的測試環境，我們很難評估這些方法的效用。在我們的研究計畫中，我們定義了一個定位誤差模型和一個改進的移動預測機制；更重要的是，我們在真實環境中佈建了一套Zigbee定位系統，並將我們的模型和機制實際套用在此定位系統中，以此來對我們提出的省電方案做出真實的評估。明確地來說，此計畫提出的省電方案將有下列特性：(1)能夠讓上層的應用指定其所能容忍的定位誤差；(2)在滿足指定容忍定位誤差的前提下，能夠動態的改變取樣頻率來達到近似最佳化的省電效果。

本計畫預期將做出下列貢獻：

- 在實際運作的定位系統中，包含了不同移動程度的使用者、系統預測本身造成的誤差、電腦處理及網路傳輸造成的延遲、以及定位資訊的取樣頻率等各種可變因素，我們將開發一個準確的定位誤差模型來預測在這些因素影響下的定位誤差。這個模型是我們用來發展省電方案的基礎 – 即在滿足應用對定位誤差的需求下，利用調整定位資訊的取樣頻率來達到省電的效果。
- 我們的省電方案會將額外的感測器放在移動的追蹤目標上，來改進目標移動預測的準確性。我們預期將可獲得最少 30% 的改進。

- 我們將會把這個省電方案實作在一個運作中的定位系統上，並在這個系統運作的辦公室環境中做一個真實的效能評估。我們預期在不影響定位準確度的情況下，大約可以節省 50% 的耗電。

## 二、研究方法

我們首先用系統的方式闡述我們的研究問題，底下是關於我們所用的定位系統的一些簡單的描述。我們提出一個模型來預測定位誤差，這個模型並且會被拿來導出我們的省電方案。

給一個追蹤的目標(O)，一個應用可以指定其所以容忍的定位誤差(D)。定位誤差的定義是追蹤目標的實際位置和定位系統測量出其位置的差。

**問題描述：**應用對於其所追蹤的目標 O 給定一個指定的定位誤差 D，發展一個省電方案可以提供最大的省電量但同時減低定位誤差超過 D 的機率。

我們的省電方案根據定位的誤差模型，並經由動態地改變位置資訊的取樣頻率來降低電量消耗。我們的取樣調變技術是藉由放置感測器在不同移動模式的目標物上，可以準確預測其移動，因而達到極佳的效能。值得注意的是，沒有任何預測模型是 100% 準確的，所以還是會有一定的機率使得實際誤差大於指定的誤差。我們的省電方案旨在於降低這種不符合要求的發生率。

**效能評估標準：**基於上面的陳述，我們可以定義下列二個效能評估的標準：

- ◆ 消耗電量：用來測量在不同省電方案下，追蹤目標所需消耗的電量。
- ◆ 不符合要求的比率：用來計算實際定位誤差大於應用所指定可容忍誤差的機率。

**定位誤差模型：**在定位系統中，整體的定位誤差來自於 Figure 所顯示的二項誤差來源。第一個來源是定位系統本身在計算追蹤目標時的測量誤差。因為這樣的測量誤差，定位系統可能會以為追蹤目標是在  $P_{e1}$ ，而非目標實際所在的  $P_{t1}$ 。第二個誤差來源和更新速度問題相似：誤差來自於目標的取樣位置和和二個取樣的時間間隔中目標真正位置的差。如 Figure 所示：在  $t_1$  和  $t_2$  二個連續的時間點，計算出二個連續的取樣位置  $p_{e1}$  和  $p_{e2}$ 。如果一個應用在時間  $t_a$  時需要取得追蹤目標的位置，而  $t_1 < t_a < t_2$ 。這時，定位系統會回報此應用的取樣位置是  $p_{e1}$ 。然而，這已經不是追蹤目標最新的位置了。換句話說，即使定位系統在取樣當時所測量出來的位置是完全正確的，應用仍可能會得到一個有誤差的位置，而這個誤差的大小會和取樣間隔的長度成正比。這種誤差也就是所謂的延遲取得誤差。

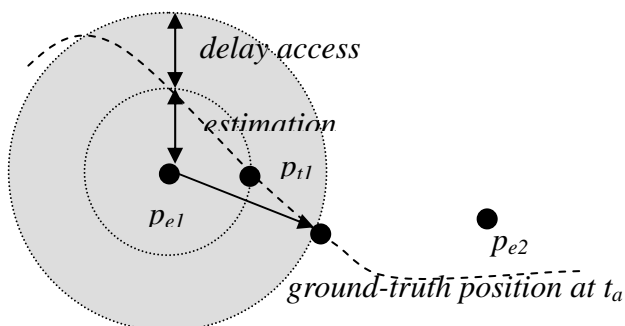


Figure 2-1. Sampling error sources

在開始推導定位誤差模型之前，我們先簡單敘述一下定位系統是如何運作、並解釋每一個參數及其對定位準確率的影響。

我們的定位系統是由固定在環境中的設備及可移動的元件所組成。固定在環境中的設備

由裝在佈建地點天花板上的 beacon nodes 所組成。這些 beacon nodes 是由 NTU Taroko motes 來實做的，使用 Zigbee 無線電定期的播放 beacon 封包，封包內容會記錄放送 beacon 的 ID。因為 beacon nodes 是經由實體線路連結到大樓電源，因此我們並不會著重在這些 beacon nodes 的電量消耗。

可移動的元件同樣是由 NTU Taroko motes 來實作，被當作識別證般配帶在追蹤目標的身上。因為每一個識別證都是由電池供電，因此我們會著重在其所消耗的電量上。每一個識別證可以將其所接收到的 beacon 封包中的 beacon ID 和其訊號強度記錄下來，並藉由感測器網路分層傳遞到遠端的定位系統伺服器上。這套定位系統是本實驗室之前所開發的，它是一套結合了訊號強度指紋和訊號強度衰減二種模型的混合式演算法。一旦定位系統從移動中的識別證收集了足夠的訊號強度資訊，該系統就可以推估出此識別證目前的位置。這項位置資訊會再被轉交到一個位置中介軟體，這個中介軟體會將此位置資訊回報給應用。在此同時，我們的省電方案會計算該移動中的識別證可以睡多久的時間，在睡覺期間識別證就可以將其無線模組關閉以節省電量。

定位演算法[17]的細節並非我們在這邊所著重的部份。重要的地方在於：(1)我們的定位系統並不完美且會產生測量誤差；(2)在識別證將其測量到的訊號強度傳回定位伺服器、再以此計算識別證的位置這二個時間點之間，會有因計算處理和網路傳送造成的延遲。

根據上面的描述，我們可以推導下面的模型來預測定位系統的定位誤差：

$$\text{overall\_error} = \text{estimation\_error} + (\text{pn\_delay} + \text{sleep\_time}) * \text{target\_velocity} \quad (1)$$

#### 省電解決方案

把應用所指定的可容忍誤差(D)當作等式(1)的 *overall\_error*，我們可以算出在滿足指定可容忍定位誤差的前提下，識別證可以睡的最長時間。之所以選擇最長的睡覺時間是因為識別證上的無線電模組在睡覺期間是被關閉的，這樣一來就得到最大的省電量。因此，最長的 *sleep\_time* 可由下列等式算出：

$$\text{sleep\_time} = \frac{(\text{error-tolerance} - \text{estimation-error})}{\text{target\_velocity}} - \text{pn\_delay} \quad (2)$$

在等式(2)中有一個未知的變數：*target\_velocity*。因為這項變數會隨著時間而改變，我們的省電方案在使用這項等式時需要不斷地去預測 *target\_velocity* 目前的值。因此，我們的省電方案會需要根據目前預測的 *target\_velocity* 改變 *sleep\_time*。

**設計:**本系統的架構圖顯示於Figure 1-2，包含了三個元件：定位系統單元、行動預測單元、以及取樣調適單元。系統有三個主要步驟。在第一個步驟，定位系統單元根據識別證收到的訊號強度來估算其位置。第二步驟，行動預測單元估算識別證目前的速度。行動預測單元有二個輸入來源：(a)最近的位置資訊和(b)附在識別證上的加速度感測器所測得的加速度值。第三步驟，取樣調適單元根據等式(2)的定位誤差模型計算一個睡覺時間。如果行動預測夠準確，這個計算出來的時間間隔將會是在滿足應用指定定位準確性下最長的可能睡覺時間。

我們同時提出二個可能計算睡覺時間的省電方案：(1)適應性取樣和(2)感測器輔助適應性取樣。這二種方案分別描述如下。

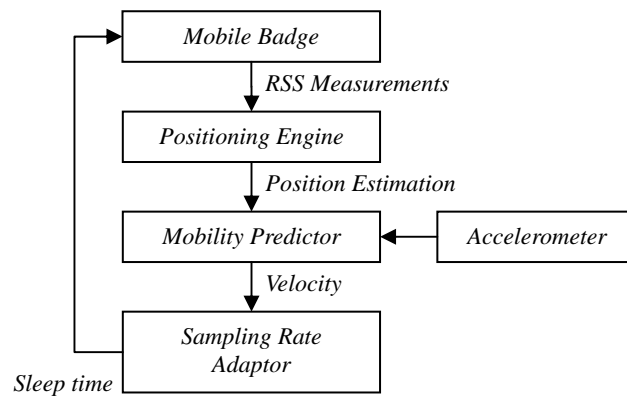


Figure 1-2. System architecture.

**適應性取樣與等速模型:**這個方案是根據等速模型來預測識別證目前的速度。目前速度的計算方式是由下列等式，以最近的二次取樣位置來加以計算。

$$target\_velocity = \frac{position(t_i) - position(t_{i-1})}{t_i - t_{i-1}} \quad (3)$$

有許多的方法可以為此計算出來的速度設定上限及下限。其中一種可能是由此應用的使用者提供一個合理的移動速度範圍。例如，如果被追蹤的目標是人，那我們可以使用人跑步速度的極限當上限。第二種可能是從追蹤目標過去的移動模式來學習其可能的上限和下限。我們可以先選擇一個較寬鬆的值，然後逐漸加以修正。

**感測器輔助適應性取樣:**感測器輔助適應性取樣解決了定位系統造成測量誤差的問題，尤其是當被追蹤的目標靜止的時後。因為在靜止的時後是省電的最好時機，這個適應性取樣方案是特別為此目的而發展的。我們所選用的是加速度感測器。加速度感測器的讀值可以被轉成 1-bit 的資訊，用來指示目標物是否在移動。藉由比較加速度感測器的讀值，看是否超過某個移動的門檻值並持續了一段時間，就可以很簡單的做出判斷。如果加速度感測器顯示目標是靜止的，識別證就可以繼續睡覺以省電。如果加速度感測器偵測到目標物在移動，它就會觸發該識別證進行和前述適應性取樣方案相同的取樣的動作。

### 三、研究成果與討論

為了評估我們所提出的適應性取樣方案，我們將會測量二項效能評估標準，定義如下：

- ◆ 單位消耗電量：用來測量在不同省電方案下，追蹤目標每秒所需的平均耗電量。
- ◆ 不符合要求的比率：用來計算實際定位誤差大於應用所指定可容忍誤差的百分比。

我們對於週期性取樣法及適應性取樣法進行了數項實驗以比較並評估適應性取樣法的效能。我們在實驗中調整了兩項影響參數，分別是(1)指定的誤差容忍值及(2)所追蹤物品的移動程度，並在實驗中量測及比較單位耗電量及超出指定誤差率。

實驗的環境如圖2-3所示。圖上三角點為信標結點放置處，約各自距離6公尺遠。目前所使用的識別器硬體則如圖2-4所示



圖2-3、實驗環境

在實驗期間，所追蹤目標會戴上識別器並在斜線區域內進行活動，這些區域包括了走廊、會議室、實驗室及廁所。實驗並測試了追蹤目標各種不同的移動程度。



圖2-4、 識別器 (MicaZ) 及信標結點 (Taroko).

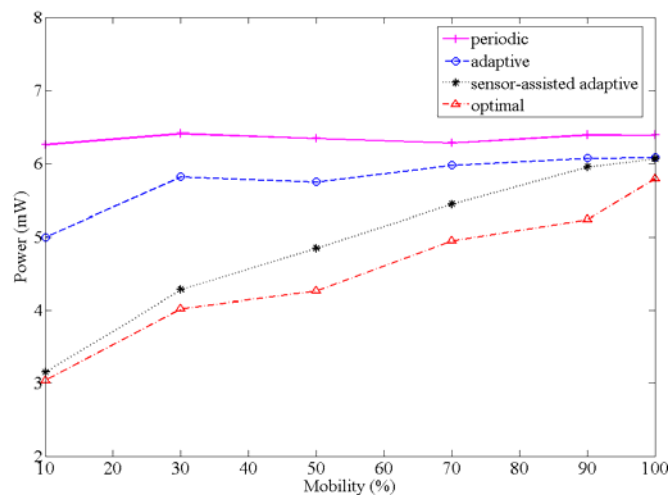


圖2-5、在不同移動程度下之耗電量，指定之誤差範圍為7公尺

我們在實驗中加入了第四種於理論上可最佳化耗電量的方法。我們可由追蹤物品的真實速度及定位誤差模型計算出識別器的最佳休眠時間及最低耗電量，此方法可當作一標準與另外三種節省耗電量方法進行比較。

第一組實驗是於不同移動程度下比較四種省電方法（最佳化、週期性取樣、適應性取樣、感測器輔助適應性取樣）。此四種方法的耗電量如圖2-5所示，其效能表現比較如下：

- ◆ 在這三種省電方法中，週期性取樣的效能最差，適應性取樣次之，而感測器輔助取樣法則擁有最佳的效能。在10%移動程度下，感測器輔助取樣法之耗電量較週期性取樣法大幅減少達49.76%，在90%移動程度下也可減少6.88%之耗電量。與適應性取樣法也分別可減少37.01%及1.97%。
- ◆ 對於適應性取樣法及感測器輔助適應性取樣法，耗電量都隨著移動程度增加而增加。此現象是因在較高的移動程度下，為達相同的誤差容忍度，則需要較高的取樣頻率，也因此造成了較高的耗電量。
- ◆ 對感測器輔助適應性取樣法而言，較週期性取樣法減少的耗電量可隨移動程度降低而增加。此現象是因週期性取樣並未完全利用所有可省電的機會，尤其是在低移動程度時，追蹤目標在大多時間都是處於靜止狀態。

圖2-6顯示了四種省電法在不同的移動程度下的超出指定誤差率。此四種方法均可在省電的狀況下，將誤差維持在一定的容忍值。

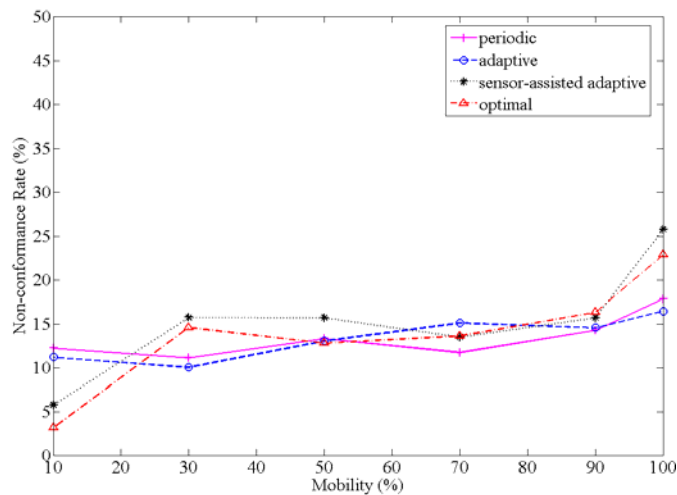


圖2-6、在不同移動程度下之不一致率，指定之誤差範圍為7公尺

#### 四、成果自評

這個子計畫第一年結束時，與子計畫 1 共同建立一個相當大的感測器網路，並能夠在上面成功的佈建和展示我們基本的定位演算法。未來，第二年結束時，預期能夠實做並評估我們所提出的二個適應性定位省電方案。第三年結束時，我們希望能夠更進一步加強這二個定位方案的省電量和準確性。

#### 參考文獻

- [1] J. Winter, Y. Xu, and W.-C. Lee, "Prediction Based Strategies for Energy Saving in Object Tracking Sensor Networks," *Proc. IEEE Int'l Conf. Mobile Data Management (MDM 04)*, Jan. 2004, pp. 346-357.

- [2] S. Tilak, V. Kolar, N.B. Abu-Ghazaleh, K.D. Kang, "Dynamic Localization Control for Mobile Sensor Networks," *Proc. IEEE Int'l Workshop on Strategies for Energy Efficiency in Ad Hoc and Sensor Networks (IWSEEASN 05)*, Apr. 2005.
- [3] M. Youssef, A. Agrawala, and A.U. Shankar, "WLAN Location Determination via Clustering and Probability Distributions," *Proc. IEEE Int'l Conf. Pervasive Computing and Communications (PerCom 03)*, Mar. 2003.
- [4] Y. Chen, Q. Yang, J. Yin and X. Chai, "Power-Efficient Access-Point Selection for Indoor Location Estimation," *IEEE Tran. Knowledge and Data Eng. (TKDE 2006)*, vol. 18, no. 7, July 2006, pp. 877-888.
- [5] J. Polastre, R. Szewczyk, D. Culler, "Telos: Enabling Ultra-Low Power Wireless Research," *Proc. 4th Int'l Conf. Information Processing in Sensor Networks: Special track on Platform Tools and Design Methods for Network Embedded Sensors (IPSN/SPOTS 05)*, Apr. 2005
- [6] V. Shnayder, M. Hempstead, B.-R. Chen, G. Werner-Allen, and M. Welsh, "Simulating the Power Consumption of Large-Scale Sensor Network Applications," *Proc. 2nd ACM Conf. Embedded Networked Sensor Systems (SenSys 04)*, Nov. 2004, pp. 188-200.
- [7] E. Vildjiounaite, E.-J. Malm, J. Kaartinen, P. Alahuhta, "Location Estimation Indoors by Means of Small Computing Power Devices, Accelerometers, Magnetic Sensors, and Map Knowledge," *Proc. 1st Int'l Conf. Pervasive Computing*, Lecture Notes In Computer Science, vol. 2414, Aug. 2002, pp. 211-224.
- [8] C.E. Jones, K.M. Sivalingam, P. Agrawal, and J.C. Chen, "A survey of energy efficient network protocols for wireless networks," *ACM Wireless Networks*, vol. 7, no. 4, Aug. 2001, pp. 343-358.
- [9] L. Cong and W. Zhuang, "Hybrid TDOA/AOA mobile user location for ideband CDMA cellular systems," *IEEE Tran. Wireless Communications*, vol. 1, no. 3, July 2002, pp. 439-447.
- [10] N. Patwari, "Relative location estimation in wireless sensor networks," *IEEE Tran. Signal processing*, vol. 51, no. 8, Aug. 2003, pp. 2137-2148.
- [11] D. Niculescu, "Positioning in ad hoc sensor networks," *IEEE Networks*, vol. 18, no. 4, July 2004, pp. 24-29.
- [12] P. Bahl and V. Padmanabhan, "An in building RF-based user location and tracking system," *Proc. Conf. Computer Communications (IEEE Infocom 00)*, March 2000, pp. 775-784
- [13] K. Lorincz and M. Welsh, "Motetrack: A robust, decentralized approach to RF-based location tracking," *Proc. Int'l Workshop on Location- and Context-Awareness (LoCA 05) at Pervasive 2005*, May 2005.
- [14] N. Priyantha, A. Charkraborty, and H. Balakrishnan, "The cricket location support system," *Proc. 6th Annual ACM Int'l Conf. Mobile Computing and Networking*, Aug. 2000.
- [15] M. Youssef and A. Agrawala, "Handling samples correlation in the horus system," *Proc. 23rd Annual Joint Conf. IEEE Computer and Communications Societies (Infocom 04)*, vol. 2, Mar. 2004, pp. 1023-1031.
- [16] D. Madigan, E. Elnahrawy, and R. Martin, "Bayesian indoor positioning systems," *Proc. 24th Annual Joint Conf. IEEE Computer and Communications Societies (Infocom 05)*, vol. 2, May 2005, pp. 1217-1227.
- [17] L.-W. Chan, J.-R. Chiang, Y.-C. Chen, C.-N. Ke, J. Hsu, H.-H. Chu, "Collaborative Localization -- Enhancing WiFi-Based Position Estimation with Neighborhood Links in Clusters," *Proc. Int'l Conf. Pervasive Computing (Pervasive 06)*, May 2006.
- [18] T.-H. Lin, P. Huang, H.-H. Chu, H.-H. Chen, J.-P. Chen, "Enabling Energy-Efficient and Quality Localization Services," *Proc. IEEE Int'l Conf. Pervasive Computer and Communications (PerCom 06)*, Work In Progress Session, Mar. 2006, pp. 624- 627.
- [19] Y.-C. Chen, J.-R. Chiang, H.-H. Chu, P. Huang, A. W. Tsui, "Sensor-Assisted Wi-Fi Indoor Location System for Adapting to Environmental Dynamics," *Proc. ACM Int'l Symp. Modeling, Analysis and Simulation of Wireless and Mobile Systems (MSWIM 05)*, Oct. 2005.

子計畫名稱：無線感測網路之安全與網管

主持人：張瑞益（國立臺灣大學 工科系）

共同主持人：黃乾綱（國立臺灣大學 工科系）、王家輝（銘傳大學 資工系）

## 一、研究目的(請詳述第一年預期成果)

近年來，由於微機電製造技術與嵌入式系統及通訊技術的提升，無線感測網路 (WSN) 的實用性越發成熟，而節點佈署的數量與網路環境的複雜度也越來越高，也因此無線感測網路之安全與網管的重要性日益增加。

網路管理，即是透過一定的流程與機制來控制、監控、管理在網路中的各個節點，而當網路或節點發生問題時，可作緊急處理，以維持網路之正常運作。為了提供較完善之網路管理解決方案，降低網路管理程式的開發難度，我們希望於原有的無線感測網路架構下，建立一網路管理服務中介平台，最終目標是希望滿足：(1) Lightweight operation :於資源有限的感測節點上執行網路管理服務時，要能降低資源的浪費。(2) Robustness and fault tolerance:因能源限制，造成節點加入與離開頻繁且連線品質也難以控制，因此中介平台要具有彈性，能適應動態網路所造成的各種錯誤。(3) Adaptability:要能在既有的無線感測網路架構下運作，且能滿足不同的動態網路情況與狀態。(4) Generic Management Functions:提供網管基本功能，俱備功能擴充性。

有關 WSN 的安全，我們將先以 TinyOS 上的 TinySec 為主要參考，配合近年來我們在網路安全上的研究，提供一個易於使用且有效率之安全協定。TinySec 在加密方式上，採用對稱式加密演算法 SkipJack（或 RC5），並使用密碼區塊鏈結(Cipher Block Chaining, CBC) 模式加密，具有(1)對於應用程式的通透性、(2)完整實作於鏈結層、(3)最小的頻寬、延遲和電力花費、(4)易於擴充且可與上層協定結合等特性。在本子計畫中，將透過熟悉 TinySec 所提供之功能與其模組架構，於總計畫所開發之平台上，訂定出相容之函式庫，建構出一個開放原始碼 WSN 安全架構，使得後繼之研究能以此建置實驗平台，驗證所提出機制之效能。

總結本子計畫於第一年預期完成之工作項目及成果如下：

- ✓ 分析有關 WSN 網路管理議題之各項技術文件與協定標準，規劃其需求之函式庫。
- ✓ 完成 WSN 網路管理模組之函式庫，將之建構於計畫平台上，以利網路管理應用程式發展。
- ✓ 分析有關 WSN 與其安全議題之各項技術文件與協定標準，規劃在 WSN 安全之需求與考量。
- ✓ 研究 TinySec 所提供之函式庫、運作原理及模組架構，進而瞭解 TinySec 在 TinyOS 中扮演的角色與提供之功能，訂定相容於 TinySec 之函式庫。
- ✓ 實作相容於 TinySec 之函式庫，將之建構於總計畫所開發之平台上。

## 二、文獻探討

在 WSN 的網路管理方面，Yu et al. [9] 針對 WSN 的特色與限制提出以下的網路管理架構需求。(1)輕量化的管理架構：減輕 nodes 的計算與通訊負擔，減少能源的損

耗。(2)常用網路管理功能：提供網管基本功能或是俱備功能擴充性。(3)支援多元化網路架構：如因應用領域不同而採用的 Cluster、Hierarchical 等不同網路架構。

要滿足以上的需求，無線感測網路之網路管理正面臨以下挑戰：

(1) 感測網路先天限制與特性，不適用傳統網路管理方法

感測網路的節點個數從數百至數十萬皆有可能，各個節點相互合作，節點行為不易預期和動態網路拓撲，且每個節點都是獨立的個體，形成一個複雜的分散式環境，再加上其硬體上效能的限制、有限的電量與相較於其它網路缺乏實體的保護，種種先天的限制與特性，使得網路管理非常困難，傳統的網路管理方法與軟體均無法完全適用。

(2) 現有管理方案，僅支援單一網路架構或單一 WSN 作業系統

目前所提出的解決方案大多針對感測網路某一架構或是單一作業系統而提出，例如 Shen et al.[10]所提出的 SINA 方案主要是用在 Hierarchical clustering，若使用在其它網路架構就不適合。而 Buonadonna et al.[11] 所提出的 TASK 是針對架構在 TinyOS 上的 TinyDB 所提出的網管方案，只要非 TinyOS 與 TinyDB 此方案便無法使用。

(3) 在感測網路上開發網路管理程式，難度極高

因感測節點上資源限制，且其屬於嵌入式系統程式的開發，因此在感測網路之網管程式開發難度相較於目前的傳統網管程式高。

為提供平台獨立與輕量化架構，將以服務為導向(SOA) [13]的概念設計網路管理系統，由 Service Provider、Service Registry 及 Service Requester 三個角色構成；並將 MANNA 架構[12]中所提出的 Abstract 網路管理功能加入設計考量，使其能提供較完善之網路管理解決方案與降低程式的開發難度。

另一方面，由於在 WSN 中，封包透過多節點轉送 (multi-hop) 的方式傳遞，安全面臨嚴峻的挑戰。在應用上 (如海洋與自然生態監控、地震監控、建築與橋梁監控、工業監控和軍事監控)，WSN 需要的安全服務包括：(1)存取控制(驗證授權)：避免未授權之節點加入，節點必須能偵測並丟棄未授權之節點所送出之封包。(2)封包完整性(Integrity)：在 WSN 中之節點，必需能偵測出由節點所送出之封包是否經過修改，避免經由修改合法封包的方式影響 WSN 之安全性。(3)封包機密性(Confidentiality)。

一般來說，感測節點的存取多半是由 Base Station 或後端的應用程式來進行請求，然而在智慧建築環境下，為了各種監測應用，將佈置各式各樣的感測器，為了即時需求，有時亦需要於無線感測網路中直接存取這些資訊。因此，確保合法的使用者才能存取該無線感測網路的存取控制研究，將成為一個重要的議題。

目前無線感測網路在節點存取控制方面的研究並不多。Benenson[33]等學者於 2005 年提出了利用橢圓曲線與公開金鑰基礎建設(Public Key Infrastructure, PKI)的方式，以避免在無線感測網路中之封包被其他非法節點監聽。K.H.M 學者於 2006 年提出了以動態密碼(dynamic strong-password)，並利用了單向雜湊函數與 exclusive-OR 的運算來解決此存取控制的問題。

由於，感測節點之 MCU 可達到類似智慧卡的處理能力(智慧卡是一個 IC 處理器，可用來處理如單向雜湊函數與產生隨機向量或簽章等運算)，因此我們也將使用智慧卡來進行節點存取控制的文獻[27]~[32]列入參考。

訊息加密與認證為網路安全中最基本的考量。由於感測節點的電力限制，其加密

與認證機制的複雜度對於節點的存活時間有相當大的影響。然而低複雜度的安全機制將會降低對資料的保護性，這也是我們所不樂見的。如何設計出一個兼顧安全機制保護性與節點存活時間的加密與認證的機制，是無線感測網路安全議題上一個值得深入探討的議題。

在訊息加密與認證方面，2002 年 Adrian 等人提出了一個在感測網路上的安全協定 [35]，採用 RC5 來處理訊息加密，MAC (Message Authentication Code) 來處理訊息認證。2004 年 Chris 等人實作了在 TinyOS 1.0 上的訊息加密與認證機制--TinySec，透過對稱式加密演算法 SkipJack 與密碼區塊鏈結模式提供無線感測網路的安全性。2007 年 Mark 等人提出了 MiniSec 的安全感測網路通訊架構，分別對單播與廣播的無線感測網路提出安全機制的解法。

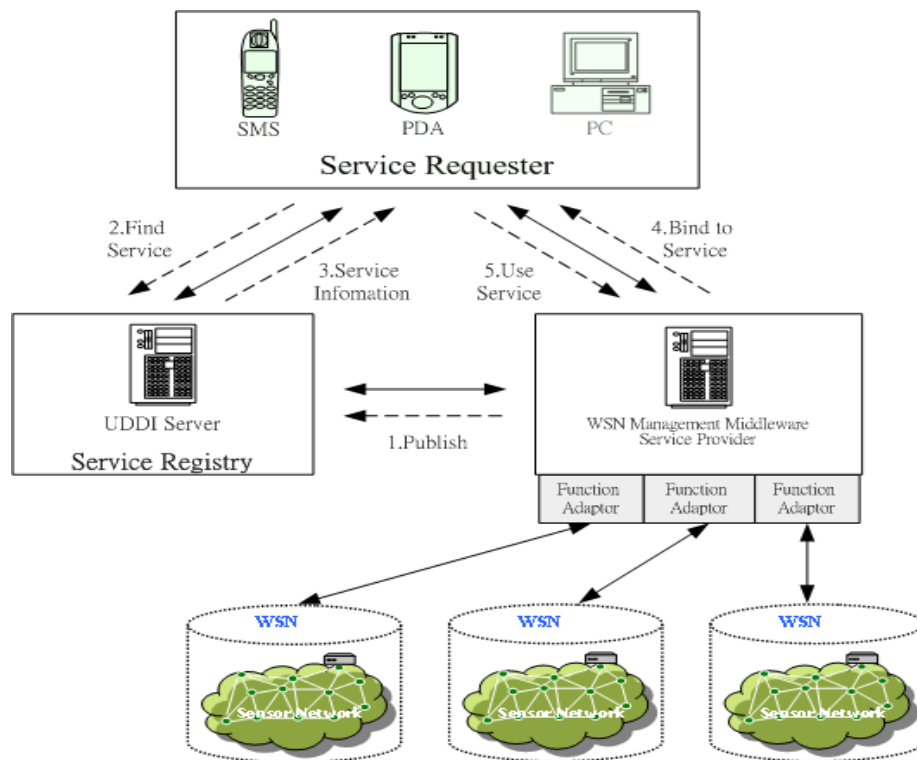


圖 3-1、系統架構流程圖

### 三、研究方法、結果與討論

#### 研究方法

在 WSN 的網路管理方面，本研究根據服務為導向的概念提出無線感測網路管理架構，系統架構流程圖如圖 3-1 所示，共分為四部分。*Service Registry* 提供 *Service Discovery* 及 *Registry* 的功能，讓 *Service Provider* 能將其所提供的網路管理服務公告出來，讓 *Service Requester* 能找到這些服務。此部份可利用標準 *UDDI Server* 來實現需求。本研究中，*Service Requester* 透過 *SOAP (Simple Object Access Protocol) Message* 來請求並使用 *Service Provider* 所提供的服務。只要支援標準 *SOAP* 的應用系統或設備即可透過 *Web Services* 來使用服務。*Service Provider* 藉由 *WSDL* 描述服務中所包含的功能、呼叫的方法、傳遞的參數及傳回的結果，讓 *Service Requester* 來使用。本研究提出一網路管理服務中介平台 (*WSN Management Middleware Platform*) 作為 *Service*

Provider。而第四部分為最下層之無線感測網路之感測區域。角色之間彼此的互動關係、運作過程，說明如下。

- (1) Publish：由Service Provider 提供網管服務，並將網管服務資訊註冊到Service Registry裡。
- (2) Find Service：Service Requester至Service Registry尋找所需之網管服務。
- (3) Service Information：Service Registry將查詢的結果回傳給Service Requester。
- (4) Bind to Service：Service Requester在找到所需的網管服務後，Service Provider會提供相對應之Interface供Service Requester呼叫。
- (5) Use Service：Service Requester使用Service Provider 所提供的服務。

因無線感測網路的路由協定不斷的被提出，其佈署的方式也隨著規模的變大與應用領域的不同，而採用不同的網路架構與路由協定，如叢集式(Cluster Based)、鏈結式(Chain Based)、階層式(Hierarchical Based)等。透過 Function Adaptor 來達到路由協定互通性並與網路管理服務中介平台作溝通，不同 Routing 就實作不同 Adaptor。此 Adaptor 包含針對不同平台與硬體實作 Function Manager 所定義之 Abstract Function 與 Routing Protocol，透過不同 Routing Protocol 執行 Function。因此未來只需根據不同平台與 Routing Protocol 來實作此 Adaptor，即可採用不同硬體平台與 Routing Protocol。

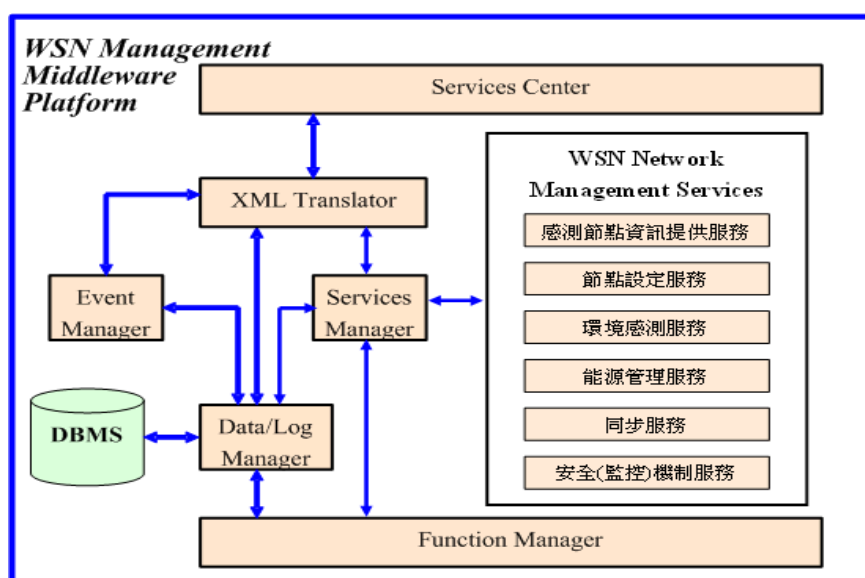


圖 3-2、網路管理服務中介平台架構圖

網路管理服務中介平台為此計畫中網路管理架構的核心，提供相關網管服務，作為其他應用系統(Service Requester)與感測網路之中介橋樑平台，其架構圖如圖 3-2 所示。此 Middleware Platform 主要是由七個模組所組成：Services Center、XML Translator、Services Manager、Event Manager、WSN Network Management Services、Data/Log Manager、Function Manager，各模組彼此交互合作組合成 WSN 網管所需服務。各模組之詳細說明請參閱表 3-1。

表 3-1、網路管理服務中介平台模組說明

模組	描述
Services Center	網路管理服務提供器，此為此平台對 Service Requester 提供單一服務窗口，以 Web Services 形式提供網管服務，其他網管應用系統透過此模組來操作中介平台。
XML Translator	XML 轉換器，提供 WSN Messages 與 XML 轉換功能，能將訊息資料轉換為 XML 格式。
Services Manager	負責管理、協調、執行 WSN Network Management Services 模組所提供之服務。
Event Manager	設定感測事件，當感測事件發生時進行應變措施。
WSN Network Management Services	提供各項網路管理服務，包含感測節點資訊提供服務、環境感測服務、能源管理服務、同步服務、事件管理服務、安全機制服務。
Data/Log Manager	定期收集無線感測網路感測資料，並紀錄相關資訊包含查詢紀錄、節點資訊、網路狀態等紀錄。作為 WSN 資料儲存庫，可減少直接查詢 WSN 節點所造成的能源浪費，儲存庫內之資料未來亦可作為 OLAP 分析、統計分析、Data Mining 資料來源。
Function Manager	此 Function Manager 定義許多 Abstract Function，作為 WSN 與網路管理各項服務溝通的橋樑。

當外部軟體(Service Requester)透過 Web Services 存取此平台時，Services Provider 會將其外部軟體傳送過來之 XML 格式指令轉送給 XML Translator，XML Translator 會將 XML 格式指令轉換為 ServiceMessages，並將其傳送給 Services Manager，其內部運作圖請參閱圖 3-3。

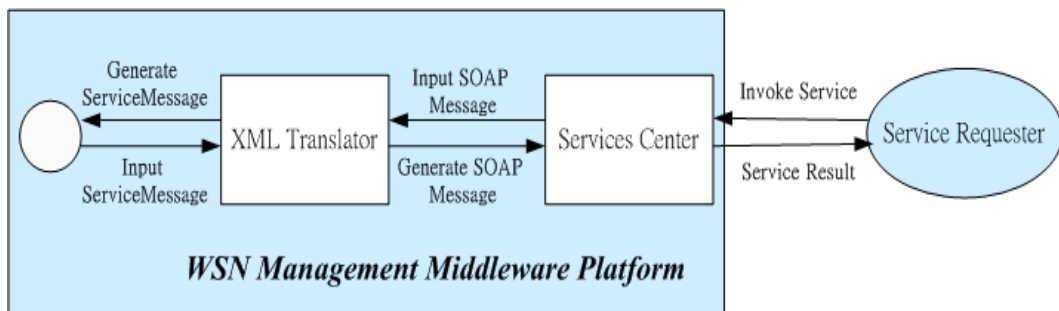


圖 3-3、XML Translator 與 Services Center 內部運作圖

因 XML 是採用有意義的格式和語法來描述資訊內容，可以使文件容易處理，對於系統整合有莫大助益，但也因太過詳盡的描述，造成訊息過大的問題，資源有限的感測網路將無法負荷。因此透過 XML Translator 將可避免封包過大的問題也可以保持系統高度整合性。

而 Services Manager 接收到此 ServiceMessages 後，再根據內容執行 WSN Network Management Services 模組內相對應的服務，每一服務亦包含許多相對應之 Function，平台所提供之服務說明與 Function 對照表請參閱表 3-2。

表 3-2、網路管理服務中介平台提供之服務說明

WSN Network Management Services	函式	描述
感測節點資訊提供服務	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Coverage area supervision function</li> <li>2. Node localization discovery function</li> <li>3. Topology map discovery function</li> <li>4. Network connectivity discovery function</li> <li>5. Aggregation discovery function</li> <li>6. Cooperation discovery function</li> <li>7. Self-test function</li> </ol>	基本節點資訊提供，包含節點描述、節點位置、Topology
節點設定服務	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Coverage area supervision function</li> <li>2. Node localization discovery function</li> <li>3. Topology map discovery function</li> <li>4. Network connectivity discovery function</li> <li>5. Aggregation discovery function</li> <li>6. Cooperation discovery function</li> <li>7. Self-test function</li> </ol>	遠端設定節點資訊、佈署節點、網路設定
環境感測服務	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Environmental monitoring function</li> <li>2. Environmental requirements acquisition function</li> </ol>	環境感測資訊與感測行為操作
能源管理服務	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Energy level discovery function</li> <li>2. Energy consumption function</li> <li>3. Energy map generation function</li> </ol>	檢查電池能量與切換能源管理操作模式
同步服務	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Management operation schedule function</li> <li>2. Synchronization function</li> <li>3. Network settling time function</li> <li>4. Network join time function</li> <li>5. Network depart time</li> <li>6. Network recovery time function</li> </ol>	對於新加入節點進行時間或其他資訊同步服務
安全機制服務	Security setting function	使用者與 WSN 網路管理平台之安全管理

除了執行相對應服務外，Services Manager 亦會透過 Data/Log Manager 將相關資料存入 DBMS 中，並查詢是否有相對應資料可提供；設置此 DBMS 主要是為了減少直接查詢 WSN 節點所造成的能源浪費，在執行服務時可優先查詢 DBMS 是否擁有此服務所需資料，若有即可從 DBMS 中取得資料，而不需再至感測節點取得資料，有效減少能源的損耗；而相關紀錄未來亦可作為統計分析 Data Mining 資料來源，作為網路最佳化依據

在 Services Manager 確定 DBMS 並無相關資料可供使用，即會呼叫 Function Manager 所管理之 Abstract Function。為了達到感測平台與 Routing Protocol 的獨立性，此 Function Manager 所管理的 Abstract Function 是透過 Function Adaptor 來實作，Function Manager 內的 Abstract Function 與 Function Adaptor 內的 Function 呈現一對一的關係，如圖 3-4 所示。

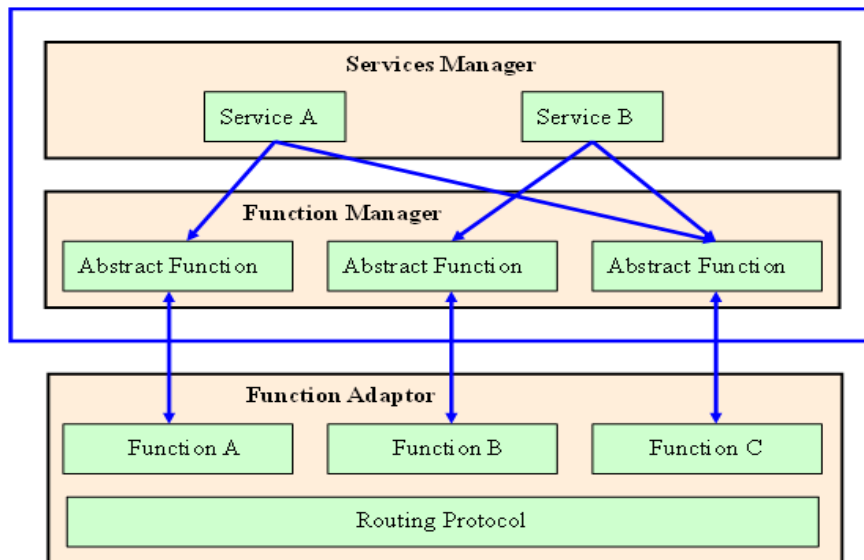


圖 3-4、Services Manager、Function Manager 與 Function Adaptor 關聯圖

最後透過 Routing Protocol 將指令傳送至感測網路中。指令在感測網路環境執行完畢後，即會將結果傳回網路管理中介平台，Data/Log Manager 接收到此結果後會將其儲存至 DBMS 中，並將其傳送至 XML Translator 中轉換為 SOAP Message，最後再將此 Message 傳回給對應之 Service Requester。

無線感測網路通常是用來監測某一環境，而當此環境發生變化，感測點即需根據設定回報此狀態，而在此架構中事件的處理便是由 Event Manager 所負責。前端負責處理事件的應用軟體需先向 Event Manager 訂閱 Event，並設定其 Event 驅動條件，當感測網路發生所設定的事件，感測點會將 Event Message 傳回網路管理中介平台，Event Manager 接收到此 Message 會先透過 Data/Log Manager 將其儲存至 DBMS 中，而 Event Manager 亦會分析此 Event Message 是否符合設定條件值與回應此 Event，並將其傳送至 XML Translator 中轉換為 XML Format Event Message，最後再將其傳回給此事件之訂閱者，圖 3-5 說明 Event Manager 內部運作圖。

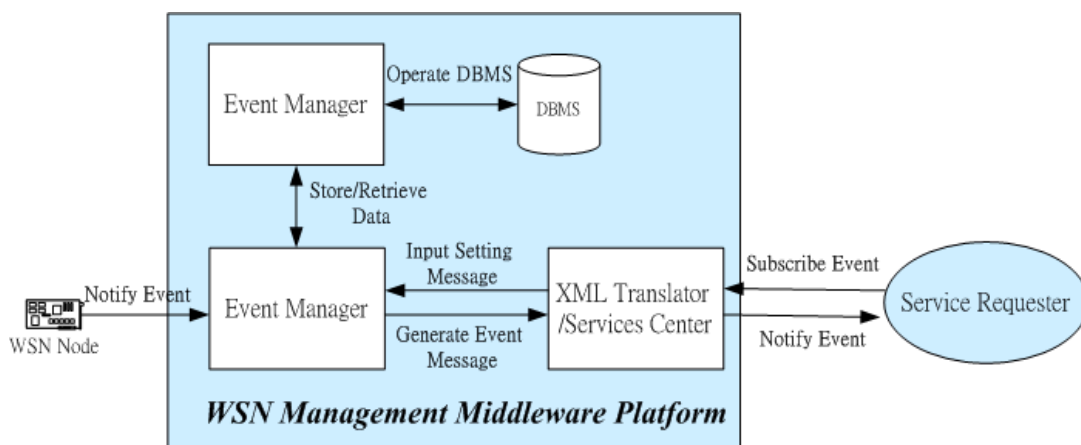


圖 3-5、Event Manager 內部運作圖

在無線感測網路安全部分，本年度以訊息加密與認證為主，先以 TinySec 為主要

參考，在總計畫所開發之平台上提供訊息加密與認證的功能。因此我們在應用層(Application Layer)與網路層(Network Layer)之間加入了一個安全層(Security Layer)，專門處理有關安全的任務，如下圖 3-6 所示。並在此安全層中，移植了 TinySec 有關訊息加密：SkipJack 與訊息認證：CBC-MAC，並提供只對訊息加密(Encrypt Only)、只進行訊息認證(Authenticate Only)與同時進行訊息加密和認證(En-Auth)三種安全模式。使用者可透過我們所提供的安全性設定函式庫，輕易地根據其應用所需，設定適當的安全等級。

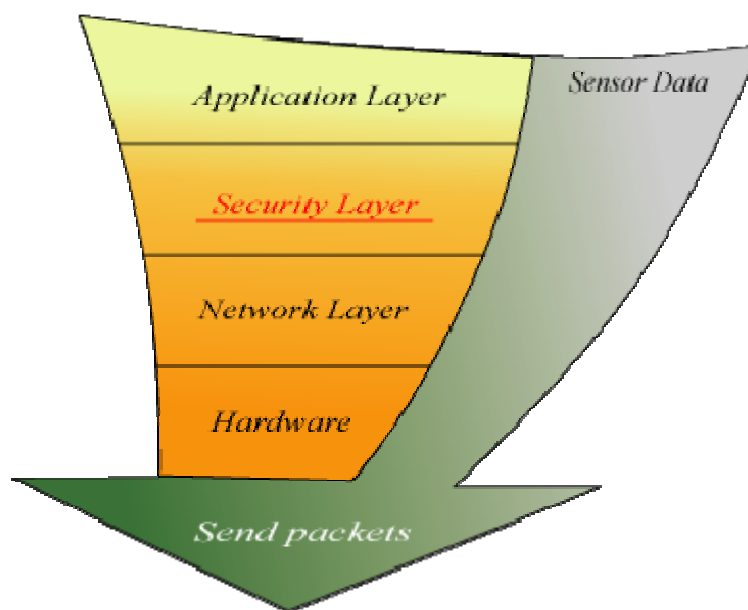


圖 3-6、安全層之定位

此外，為了便於網管設定整個 WSN 網路之安全性，我們亦於網管程式中設計了相關安全性設定函式庫，如下表 3-3 所示，透過此函式庫，管理人員可於網管程式設定安全性，或直接於感測節點調整安全性設定。

表 3-3、無線感測網路之安全與網管函式庫

提供 API	代號	功能說明
NMSecurity		
result_t setIsEncryption(int i)	0	設定 WSN 是否加密 0：無加密 1：加密
result_t setTransmitMode(byte mode)	1	設定傳送安全模式 options:TINYSEC_AUTH_ONLY/TINYSEC_ENCRYPT_AND_AUTH/TINYSEC_DISABLED
result_t setReceiveMode(byte mode)	2	設定接收安全模式 options:TINYSEC_RECEIVE_AUTHENTICATED/TINYSEC_RECEIVE_CRC/TINYSEC_RECEIVE_ANY
NMDBOperator		
Void injectQuery(String SQL)	3	送出 SQL 指令至節點
NMOperator		
Void displaySensorFunctionTable()	4	顯示節點感測功能 Table
void setSensorFunctionTable(byte SensorID, String FunctionName, String Description)	5	節點感測功能 Table 設定
Boolean removeSensorFunctionTable(byte SensorID)	6	節點感測功能 Table 移除
result_t setConnector(byte Connector)	7	設定 Application 與 base station 連接方式 options: USB → 1 RS232 → 2 NETWORK → 3
API		
result_t nodeStop (int NodeID)	8	指定 ID 節點 power off (NodeID=-1 表所有節點)
result_t nodeSleep(int NodeID,int SleepTime)	9	指定 ID 節點進入睡眠狀態, SleepTime 睡眠時間 單位:秒 (NodeID=-1 表所有節點)
result_t nodeRestart(int NodeID)	10	指定 ID 節點 power off and power on (NodeID=-1 表所有節點)
result_t displayNodeSensor(int NodeID)	11	顯示指定節點所具有的感測功能
result_t displaySensorInfo(byte	12	顯示指定節點特定功能感測值

SensorID, int NodeID)		
result_t        SensorStart(byte SensorID, int NodeID)	13	啟動指定 ID 節點特定感測功能
result_t        sensorStop(byte SensorID, int NodeID)	14	關閉指定 ID 節點特定感測功能
result_t displayVol(int NodeID)	15	傳回指定 ID 節點所剩電壓
result_t        displayRSSI(int NodeID)	16	傳回指定 ID 節點發送訊號強度
result_t        displayNodeType(int NodeID)	17	傳回 Node Type/simple node or super node or gateway(base station)
result_t        displayNodeIC(int NodeID)	18	傳回指定 ID 節點 NodeIC Name
result_t        displayNodeFWVer(int NodeID)	19	傳回指定 ID 節點韌體版本
result_t displayNodeNeighborhoodCount (int NodeID)	20	傳回指定節點鄰近節點 ID 數量
result_t displayNodeNeighborhood(int NodeID)	21	傳回指定節點鄰近節點 ID
result_t        displayNodeParents(int NodeID)	22	傳回指定節點所有父節點 ID
result_t        displayNodeChildren(int NodeID)	23	傳回指定節點所有子節點 ID
String receiveInfo()	24	接收訊息

### 結果與討論

本年度計畫中我們以圖 3-2 所提出的架構為基礎，開發一無線感測網路管理平台（稱為 WSN Management Middleware Platform），並且提供相關服務與資訊給前端使用。除此之外我們還開發一前端視窗管理介面程式（Visual Tool）與 Web 化管理程式，相關架構圖如圖 3-7。

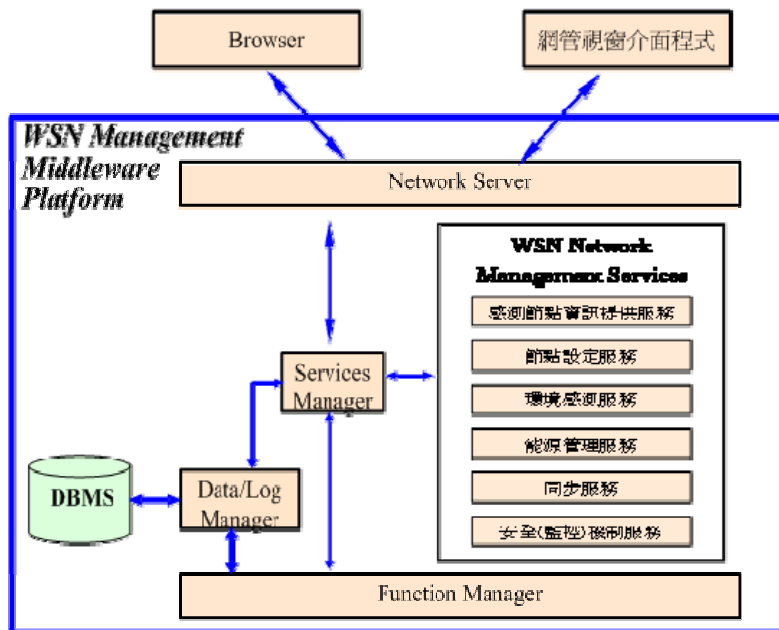


圖 3-7、網路管理平台架構

WSN Management Middleware Platform (畫面如圖 3-8) 可以即時接收由 Base Station 所傳送之各感測節點資料，而系統接收到後左半部會立即呈現所收集到之資料，並透過 Data Manager 將資料存入資料庫中。本研究之資料庫是採用 My SQL 5.0，除此之外為避免資料庫損毀而造成系統無法運作，並利用 Log Manager 將所接受之資料儲存至文字檔中。此文字檔會每日以日期為檔名自動 Archive。

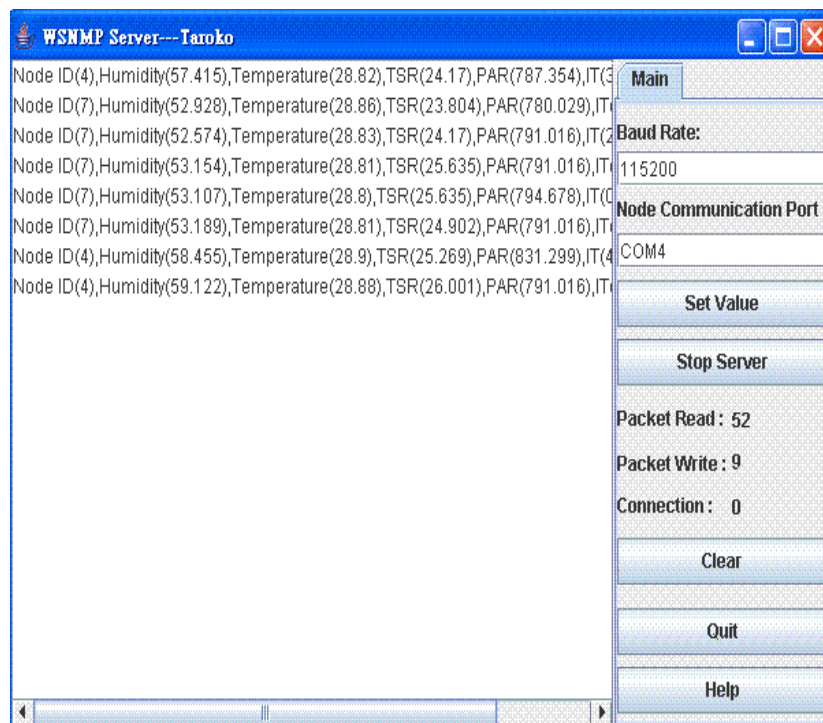


圖 3-8、WSN Management Middleware Platform

前端的系統，我們在此計畫中提供一視窗管理介面程式 (Visual Tool)，可即時從 WSN Management Middleware Platform 接收資料，可用來監控與獲得無線感測網

路節點狀況與資料如圖九；或是透過日期區間從資料庫來查詢網路節點歷史資料如圖 3-9。

WSNMP Visual Tool

File Settings Help

On-line Data Off-line Data Topology

Packet Read : 70 Packet Write : 0 [Stop Connection]

Node ID	Humidity	Temperature	TSR	PAR	Internal Voltage	Internal Temperature	Receive Time
12400	-3.954	29.55	27.1	981.445	0.058	2.971	Tue Sep 11 13:11:...
7	61.032	29.94	26.367	977.783	0.78	2.947	Tue Sep 11 13:11:...
4	65.572	29.55	26.367	981.445	2.637	2.971	Tue Sep 11 13:11:...
7	60.324	29.94	27.1	981.445	1.09	2.947	Tue Sep 11 13:11:...
4	65.401	29.55	27.1	981.445	2.534	2.971	Tue Sep 11 13:11:...
7	60.385	29.96	28.198	981.445	1.399	2.947	Tue Sep 11 13:11:...
4	65.278	29.56	26.367	985.107	2.637	2.972	Tue Sep 11 13:11:...
7	60.066	29.96	28.931	985.107	0.574	2.947	Tue Sep 11 13:11:...
4	65.044	29.54	27.1	985.107	2.121	2.971	Tue Sep 11 13:11:...
0	-3.95	29.98	27.466	985.107	0.471	2.947	Tue Sep 11 13:11:...
4	65.318	29.54	29.297	999.756	-0.767	2.971	Tue Sep 11 13:12:...
7	60.601	29.99	26.733	981.445	2.018	2.947	Tue Sep 11 13:12:...
4	65.772	29.57	28.564	999.756	3.772	2.971	Tue Sep 11 13:12:...
7	61.062	29.99	26.367	981.445	0.058	2.947	Tue Sep 11 13:12:...
4	65.527	29.59	28.564	1,007.08	4.184	2.972	Tue Sep 11 13:12:...
7	60.659	29.98	28.198	985.107	2.224	2.947	Tue Sep 11 13:12:...
7	60.389	29.99	26.733	977.783	1.399	2.947	Tue Sep 11 13:12:...
4	65.218	29.59	27.1	992.432	2.637	2.971	Tue Sep 11 13:12:...
4	91.164	29.59	27.1	996.094	3.565	2.971	Tue Sep 11 13:12:...
7	60.166	30.01	27.1	1,003.418	1.296	2.947	Tue Sep 11 13:12:...
7	60.024	30.01	26.733	977.783	0.264	2.947	Tue Sep 11 13:12:...
4	65.089	29.62	27.466	999.756	3.462	2.972	Tue Sep 11 13:12:...
7	59.975	30	28.564	985.107	1.09	2.947	Tue Sep 11 13:12:...
4	65.132	29.65	26.733	996.094	2.637	2.971	Tue Sep 11 13:12:...
7	60.059	30.01	27.466	985.107	1.709	2.947	Tue Sep 11 13:12:...
4	-3.953	29.69	27.832	999.756	4.184	2.971	Tue Sep 11 13:12:...
7	60.192	30.03	26.733	981.445	-0.045	2.947	Tue Sep 11 13:12:...
4	64.589	29.68	26.367	996.094	2.121	2.971	Tue Sep 11 13:12:...
0	-3.95	30.04	26.733	981.445	-0.355	2.946	Tue Sep 11 13:12:...
4	64.367	29.62	27.832	999.756	2.328	2.947	Tue Sep 11 13:12:...
7	59.719	30.05	26.001	981.445	1.09	2.947	Tue Sep 11 13:12:...
4	64.373	29.6	27.466	999.756	2.843	2.972	Tue Sep 11 13:12:...
7	59.518	30.06	27.466	977.783	0.471	2.947	Tue Sep 11 13:12:...

圖 3-9、視窗管理介面程式 (Visual Tool) --即時監控

WSNMP Visual Tool

File Settings Help

On-line Data Off-line Data Topology

Start Time: 2007 8 1 13 11 End Time: 2007 9 11 14 11 [Query]

Count: 14376

Node ID	Humidity	Temperature	TSR	PAR	Internal Voltage	Internal Temperature	Receive Time
7	49.361	30.47	26.733	479.736	6.557	2.973	2007-08-22 18:59:...
7	49.864	30.52	25.269	472.412	5.319	2.948	2007-08-22 18:59:...
4	55.096	29.58	25.635	472.412	6.866	2.973	2007-08-22 18:59:...
7	49.628	30.51	18.677	866.934	3.05	2.948	2007-08-22 18:59:...
7	49.515	30.51	20.874	476.074	4.288	2.973	2007-08-22 19:00:...
7	50.164	30.59	25.635	472.412	3.359	2.949	2007-08-22 19:00:...
4	55.215	29.35	25.635	476.074	6.351	2.973	2007-08-22 19:00:...
7	49.444	30.55	25.269	476.074	5.525	2.973	2007-08-22 19:00:...
7	49.628	30.51	25.635	472.412	3.359	2.949	2007-08-22 19:00:...
4	55.448	29.16	25.635	864.258	4.391	2.974	2007-08-22 19:00:...
4	55.234	29.1	26.001	479.736	6.144	2.973	2007-08-22 19:00:...
7	49.304	30.38	20.142	860.596	3.256	2.972	2007-08-22 19:00:...
7	49.406	30.37	20.508	860.596	2.224	2.949	2007-08-22 19:01:...
4	55.725	29.01	27.466	476.074	3.669	2.973	2007-08-22 19:01:...
7	49.508	30.36	25.269	479.736	5.732	2.972	2007-08-22 19:01:...
7	49.674	30.41	26.001	472.412	4.7	2.972	2007-08-22 19:01:...
7	49.888	30.4	25.635	476.074	4.7	2.973	2007-08-22 19:01:...
7	49.969	30.37	26.001	476.074	4.906	2.972	2007-08-22 19:01:...
7	49.755	30.38	26.001	871.582	4.7	2.971	2007-08-22 19:01:...
4	55.151	28.74	26.001	479.736	6.763	2.973	2007-08-22 19:02:...
7	48.835	30.29	20.874	860.596	2.224	2.949	2007-08-22 19:02:...
4	56.013	28.9	25.269	472.412	5.629	2.972	2007-08-22 19:02:...
7	49.242	30.32	20.874	476.074	5.835	2.972	2007-08-22 19:02:...
7	49.102	30.33	27.1	476.074	6.557	2.973	2007-08-22 19:02:...
7	49.337	30.34	24.902	476.074	8.104	2.949	2007-08-22 19:02:...
4	-3.950	29.08	26.367	479.736	7.382	2.972	2007-08-22 19:02:...
7	49.162	30.46	26.001	472.412	3.669	2.949	2007-08-22 19:02:...
7	49.101	30.51	26.367	864.258	6.144	2.973	2007-08-22 19:03:...
7	49.07	30.48	20.874	864.258	2.637	2.973	2007-08-22 19:03:...
7	49.312	30.46	20.142	864.258	3.05	2.949	2007-08-22 19:03:...
4	54.513	29.09	25.269	476.074	5.01	2.972	2007-08-22 19:03:...
7	49.888	30.45	19.409	472.412	5.525	2.972	2007-08-22 19:03:...

圖 3-10、視窗管理介面程式 (Visual Tool) --歷史資料查詢

本計畫亦提供透過 Browser 來管理與監控無線感測網路，如圖 3-11，可以透過日期區間來查詢網路節點歷史資料；另外系統亦提供折線圖可以用來分析各個節點的數值變化狀況，如圖 3-12；另外我們在實驗室佈署 12 個感測節點，分別量測溫度、濕度、可見光、非可見光、節點內部電壓、節點內部溫度等資料，亦可透過 Browser 即時監控資料如圖 3-13。

圖 3-11 顯示了「國科會無線感測網路第三子計畫網管系統」的網頁介面。網頁標題為「原始感測資料」，並提供「每10秒重新網頁」的選項。在「id 選擇」下拉選單中，目前顯示「請選擇」。下方顯示「ALL nodes \* 記錄: 1 到 100 共 14228」。在表格上方，有「< previous 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 next > end >」的導航鏈結。

no. id ↑	Humidity ↑	Temperature ↑	TSR ↑	PAR ↑	IT ↑	IV ↑	CreateTime ↑
7	49.361	30.47	26.733	479.736	6.557	2.973	Wed Aug 22 18:59:23 CST 2007
7	49.864	30.52	25.269	472.412	5.319	2.948	Wed Aug 22 18:59:34 CST 2007
4	55.096	29.58	25.635	472.412	6.886	2.973	Wed Aug 22 18:59:46 CST 2007
7	49.628	30.51	18.677	856.934	3.05	2.948	Wed Aug 22 18:59:50 CST 2007
7	49.515	30.51	20.874	476.074	4.288	2.973	Wed Aug 22 19:00:05 CST 2007
7	50.164	30.59	25.635	472.412	3.359	2.949	Wed Aug 22 19:00:15 CST 2007
4	55.215	29.35	25.635	476.074	6.351	2.973	Wed Aug 22 19:00:20 CST 2007
7	49.444	30.55	25.269	476.074	5.525	2.973	Wed Aug 22 19:00:28 CST 2007
7	49.628	30.51	25.635	472.412	3.359	2.949	Wed Aug 22 19:00:39 CST 2007
4	55.448	29.16	25.635	864.258	4.391	2.974	Wed Aug 22 19:00:47 CST 2007
4	55.234	29.1	26.001	479.736	6.144	2.973	Wed Aug 22 19:00:54 CST 2007

圖 3-11、利用 Browser 管理無線感測網路

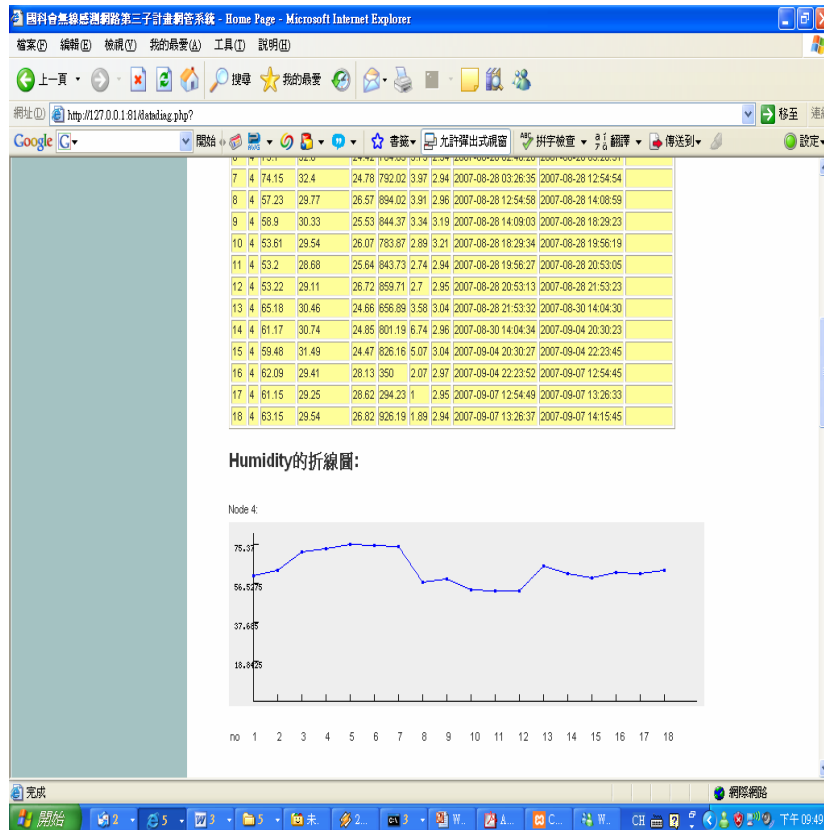


圖 3-12、節點數值變化折線圖



圖 3-13、實驗室即時監控資料

另外本計畫為利後續網路管理應用程式發展，定義並實作網路管理函式庫，前端管理工具可透過呼叫此函式庫直接管理感測網路，如表 3-3 所示。

而計畫中我們亦分析有關 WSN 網路管理議題之各項技術文件與協定標準，包含 SNMP[14]、ZigBee Stack[15]、EPC Global (RFID 常用的標準)[16]、6LoWPAN(IPv6 over Lower power WPAN)[17]，發現並沒有一專用於無線感測網路的通訊協定，因此我們根據 WSN 的特性制定了無線感測網路管理協定 WSNMP(Wireless Sensor Network Management Protocol)，定義往返 Gateway 和 Sensor Node 間的網路管理封包，透過此協定可監看及維護感測網路的基本操作。WSNMP 位於感測節點上的 Application Layer 如圖 3-14，屬於應用層的通訊協定，直接使用 Network Layer 所提供之網路功能，不需擔心 node 的物理特性與底層所使用的網路通訊機制，可以輕易的使用不同的網路通訊協定，提升無線感測網路管理未來發展性。

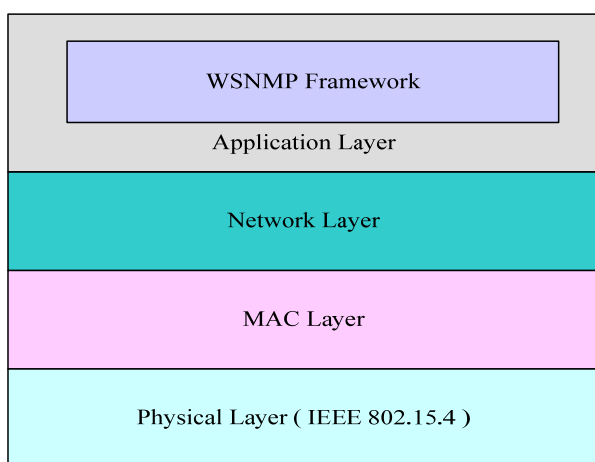


圖 3-14、WSNMP Framework Layer

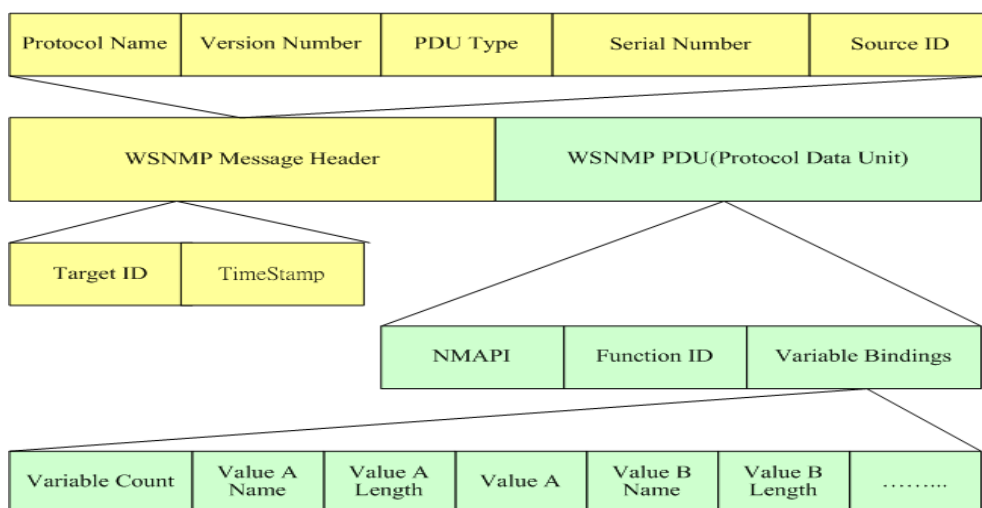


圖 3-15、WSNMP 封包結構

WSNMP 封包結構如圖 3-15，包含 Header 與 PDU，WSNMP Message Header 包含了 Protocol Name、PDU Type、Serial Number、Source ID、Target ID、Timestamp 等通訊參數，說明如表 3-4：

表 3-4、WSNMP Message Header

名稱	大小	型態	說明
Protocol Name	1 byte	Byte	通訊協定名稱 WSNMP,代碼為 6
Version Number	1 byte	Byte	通訊協定版本，無小數點版本。
PDU Type	1 byte	Byte	封包功能型式與傳送方向 Get：1 (Gateway →Node) Set：2 (Gateway →Node) Trap：3 (Node→Gateway) WSN 主動 回應之封包,與 Function 沒有一對一 關係 or 定期傳送,包含 Event Response：4 (Node→Gateway)針對某 一 Get Function 回應的封包
Serial Number	4 byte	Uint	傳送封包代號 Request Number 或 Response Number (若 PDUType=3,則 SerialNumber = 0。 PDUType=1 or 2，SerialNumber 由 Gateway 或前端資料處理器產生。 PDUType=4，則根據 Request or Set 回傳其 SerialNumber，以分辨此 Response 是回應那一 Request or Set。)
Source ID	4 byte	Uint	封包來源節點 ID ID 為 Gateway：1 其餘為來源節點 ID (Serial Number + SourceID 為主鍵值)
Target ID	4 byte	Uint	封包目標節點 ID ID 為所有節點：0 ID 為 Gateway：1
Time Stamp	8 byte	Long	封包傳送時間，單位(毫微秒 milli microsecond)

而在 WSNMP 中使用 Protocol Data Unit 來作感測資料的傳送包含 NMAPI、Sensor ID、Variable Bindings，而 NMAPI 代表欲執行之網管 API，因為要減少封包大小，所以此部份要傳送 API 代號，代號如表三所定義；另外因為從各個網管 API 傳送至感測節點的參數與感測節點回傳參數其個數與變數名均不定，因此利用一 Variable Bindings 空間來承載不同變數，詳細說明如表 3-5、表 3-6：

表 3-5、WSNMP PDU

名稱	大小	型態	說明
NMAPI	1byte	Byte	欲執行(或已執行)網管功能之 API 已改成代號
Sensor ID	1byte	Byte	Sensor Node 上的感測功能, 0 代表全部功能
Variable Bindings			網管功能對應之參數值或回傳值

表 3-6、Variable Bindings

名稱	大小	型態	說明
Variable Count	1 byte	Byte	變數數量 如果 variable count=0 then 以下所有值均不存在
Value A Name	1 byte	Byte	變數名稱，無變數長度為 0
Value A Length	1 byte	Byte	Value A 長度，長度指定單位為 byte，無變數長度為 0
Value A	4 byte		網管 API 之變數 A 內容或回傳值，無變數長度為 0

無線感測網路的應用範圍越來越多元，如何在有限的資源下，達到有效的網路管理是 WSN 重要的研究主題之一，設計一優良的網路管理架構能夠處理在不同狀況下之應用環境便是重要的第一步。本研究以 Service Oriented Architecture 服務為導向的概念設計一輕量化與平台獨立 (platform-independent) 之無線感測網路管理架構，此架構的設計，將部份需大量運算資源與儲存空間集中在前端中介平台執行，可有效減少節點能源的消耗與降低計算能力不足所帶來的網路管理功能限制，以便在能源受限與資源不足的狀況下，滿足網路管理需求，進而減少節點能源的消耗；而平台獨立 (platform-independent) 性，利用 Adaptor Manager 將網路管理中介平台與抽離，可針對不同硬體平台，並根據需求使用不同之 Routing Protocol，降低整合到各式不同的感測平台的難度，且能在既有的無線感測網路環境下運作，滿足各種不同的網路情況與動態的網路狀態。另外在此架構下外部應用程式可透過 Web Services 來使用網路管理中介平台所提供的服務，而不需撰寫硬體相關語言，因此可降低網路管理系統開發的難度與較容易整合至不同應用系統。整體來說，本研究所提出之架構可達到感測平台獨立性、減少感測節點能源消耗、增加與外部系統高度整合性。

在無線感測網路安全路分，我們成功地將 TinySec 中加密與訊息認證的機制移植到由子計畫 1 所釋出的系統中，為了驗證此加密與訊息認證機制，我們亦實作了一個測試程式，如下圖 3-16、圖 3-17 所示。透過此測試程式，可監聽在此 Base Station 附近之感測器節點所送出來的 sensor 資訊，此外，透過此測試程式送出加密指令之後，感測器節點會將送出的 sensor 資訊進行加密與附加認證碼，故亦可看出在經過 SkipJack 加密機制之後，感測節點所送出來的 sensor 資訊之變化且無法解讀出正確的數值。

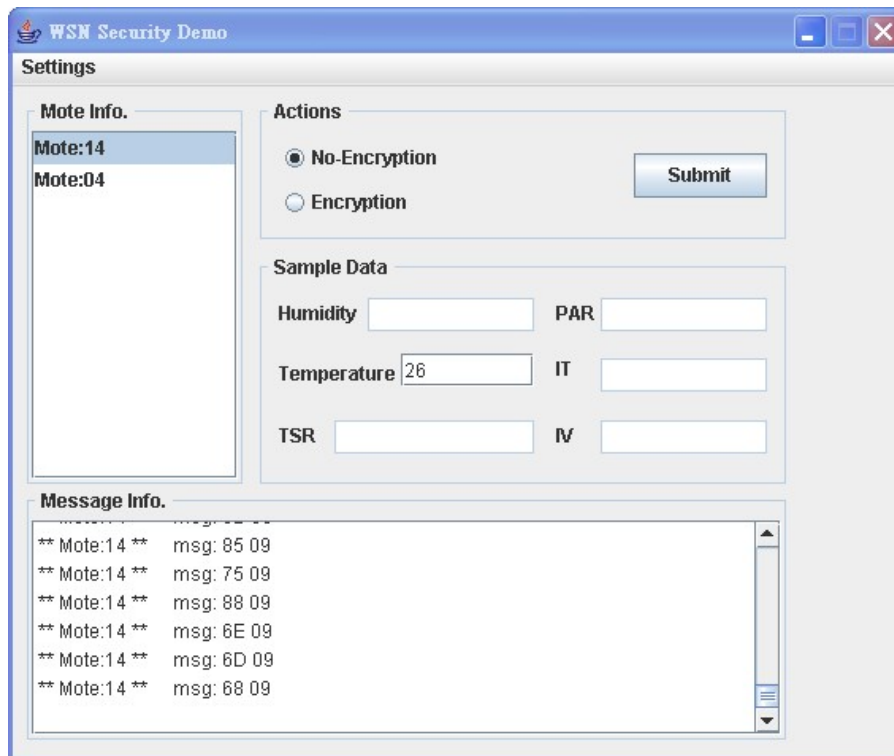


圖 3-16、測試程式設定感測節點為無安全機制時所接收之訊息與解讀出之資料

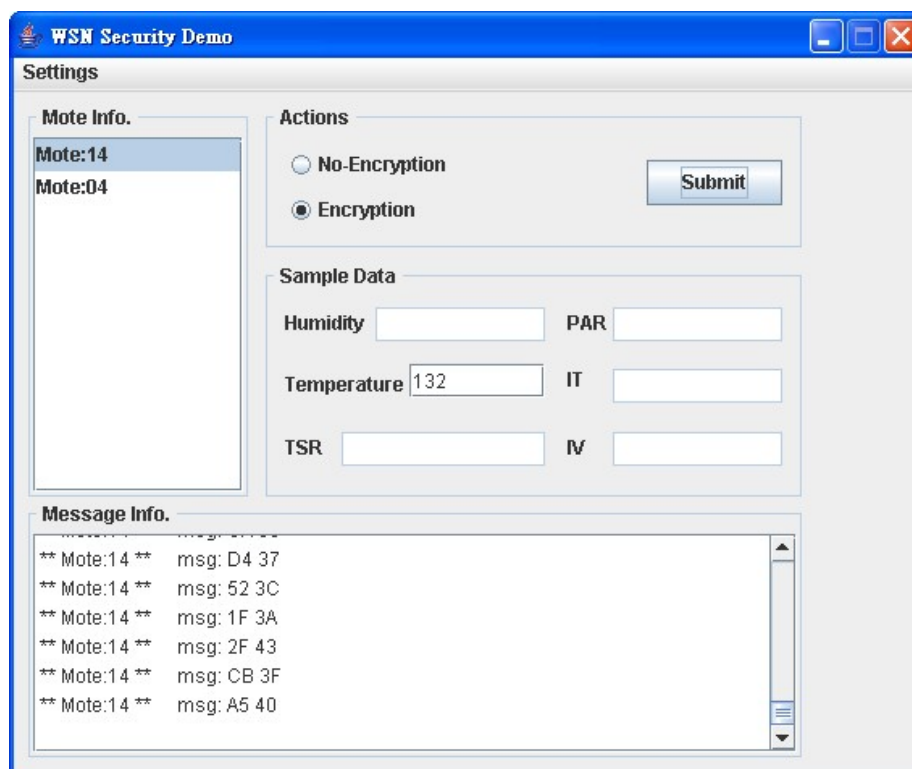


圖 3-17、測試程式設定感測節點為有安全機制時所接收之訊息與解讀出之資料

本子計畫已於總計畫所釋出的系統中建立一個安全與認證機制，然而，研究顯示，此安全與認證機制相較於原無安全與認證機制的 TinyOS 需增加 13.9%的傳輸花費 [40]，故在後續的研究中，我們將嘗試改進或使用其他新的安全機制來降低此類的花

費。此外，對於感測資料具有價值性的應用來說，節點存取控制十分重要性。然而目前在無線感測網路節點存取控制相關議題上，並無太多的研究。在後續的研究中，可以針對此重要議題進行探討。

#### 四、計畫成果自評(請詳述第一年已達成成果)

計畫第一年除了分析有關 WSN 網路管理與 WSN 網路安全議題之各項技術文件與協定標準，並且根據各項文獻與計畫需求規劃與定義所需之函式庫，並完成函式庫開發，將之建構於網路管理平台，以利後續網路管理應用程式發展。

除此之外還研究相關之網管平台，分析其優缺點，作為我們設計 WSN 網路管理中介平台參考，並且完成網管中介平台系統架構分析設計與各整合介面之定義。並開發一無線感測網路之網路管理中介平台(Wireless Sensor Network Middleware Platform)，提供相關模組供未來網管應用程式發展。另外亦發展一無線感測網路管理工具(Visual Tool)，方便前端管理者使用，另亦可透過 Browser 來管理與監控無線感測網路。

最後分析有關 WSN 網路管理議題之各項技術文件與協定標準，包含 SNMP[14]、ZigBee Stack[15]、EPC Global (RFID 常用的標準)[16]、6LoWPAN(IPv6 over Lower power WPAN)[17]，完成制定網路管理協定 WSNMP (Wireless Sensor Network Management Protocol)。

在安全方面，我們也成功將 TinySec 移植至總計畫所釋出之系統中，訂定並釋出安全相關函式庫，程式開發者可經由簡單的設定即可提供無線感測網路之安全性，且經由測試程式可實際看出此安全機制之有效性。

#### 五、參考文獻

- [1] W. L. Lee, A. Datta, and R. Cardell-Oliver, "Network Management in Wireless Sensor Networks," to appear in Handbook of Mobile Ad Hoc and Pervasive Communications, edited by M. K. Denko and L. T. Yang, American Scientific Publishers, 2006.
- [2] N. Ramanathan, M. Yarvis, J. Chhabra, N. Kushalnagar, L. Krishnamurthy, and D. Estrin, "A Stream-Oriented Power Management Protocol for Low Duty Cycle Sensor Network Applications," in Proc. IEEE Workshop on Embedded Sensor Networks, 2005, pp. 53-62.
- [3] C.-Y. Wan, S. B. Eisenman, A. T. Campbell, and J. Crowcroft, "Siphon: Overload Traffic Management Using Multi-radio Virtual Sinks in Sensor Networks," in Proc. ENSE, 2005, pp. 116-129.
- [4] J. Zhang, E.C. Kulasekere, K. Premaratne, and P.H. Bauer, "Resource Management of Task Oriented Distributed Sensor Networks," in Proc. IEEE ISCAS, 2001, pp. 513-516.
- [5] H. Song, D. Kim, K. Lee, and J. Sung, "UPnP-Based Sensor Network Management Architecture," in Proc. ICMU, 2005.
- [6] TinyDB, <http://telegraph.cs.berkeley.edu/tinydb/>
- [7] TinyOS, <http://www.tinyos.net>
- [8] IBM: "SOA and Web Services," <http://www-128.ibm.com/developerworks/webservices/>
- [9] M. Yu, H. Mokhtar, and M. Merabti, "A Survey of Network Management Architecture in

Wireless Sensor Network,” in Proc. PGNET, 2006.

- [10] C.-C. Shen, S. Srisathapornphat, and C. Jaikaeo, “Sensor Information Networking Architecture and Applications,” IEEE Personal Communications, vol. 8, no. 4, pp.52-59, Aug. 2001.
- [11] P. Buonadonna, D. Gay, J. M. Hellerstein, W. Hong, and S. Madden, “TASK: Sensor Network in a Box,” in Proc. EWSN, 2005, pp. 133-144.
- [12] L.B. Ruiz, J.M. Nogueira, and A.A.F. Loureiro, “MANNA: A Management Architecture for Wireless Sensor Networks,” IEEE Communications Magazine, vol. 41, no. 2, pp. 116–125, 2003.
- [13] D. Cohen, M. Jacovi, M. Herscovici, Y. S.Maarek, N. Meshulam, A. Soffer, and V. Soroka, “Leveraging Web Services for Information Discovery,” in Proc. the IEEE International Conference on Software: Science, Technology and Engineering, 2003. pp. 123-132.
- [14] SNMP, <http://www.snmpink.org/>
- [15] Zigbee Stack, <http://www.zigbee.org/>
- [16] EPC Global, <http://www.epcglobalinc.org/home>
- [17] LoWPAN (IPv6 over Lower power WPAN), <http://tools.ietf.org/html/draft-montenegro-lowpan-ipv6-over-802.15.4-02>
- [18] ASN.1, <http://www.asn1.org/>
- [19] Wenliang Du, Jing Deng, Yunghsiang S. Han, Pramod K. Varshney, “A pairwise key pre-distribution scheme for wireless sensor networks,” 10th ACM Conference on Computer and Communications Security (CCS), October 2003.
- [20] Bruno Dutertre, Steven Cheung, Joshua Levy. “Lightweight key management in wireless sensor networks by leveraging initial trust,” Technical Report SRI-SDL-04-02, SRI International, April 2004.
- [21] David Malan, Matt Welsh, Michael D. Smith, “A public-key infrastructure for key distribution in TinyOsbased on elliptic curve cryptography,” First IEEE International Conference on Sensor and Ad Hoc Communications and Networks, October 2004.
- [22] Chris Karlof, Naveen Sastry, David Wagner, “TinySec: A Link Layer Security Architecture for Wireless Sensor Network,” SenSys '04, November 3-5, 2004.
- [23] Tieyan Li, Huafei Zhu, Yongdong Wu, "An Efficient Scheme for Encrypted Data Aggregation on Sensor Networks," IEEE 63rd Semiannual Vehicular Technology Conference VTC'2006, 7-10 May 2006. Melbourne, Australia.
- [24] Qiang Qiu, Tieyan Li, Biswas Jit, "Improving sensor network security with information quality," 2nd European Workshop on Security and Privacy in Ad hoc and Sensor Networks (ESAS 2005) July 13-14, 2005, Visegrad, Hungary.
- [25] Tieyan Li, Hongjun Wu, Xinkai Wang, Feng Bao, "SenSec: Sensor Security Framework for TinyOS," Second International Workshop on Networked Sensing Systems (INSS 2005). June 27 - 28, 2005. San Diego, California USA.
- [26] Naveen Sastry, David Wagner, “Security Considerations for IEEE 802.15.4 networks,” ACM Workshop on Wireless Security, 2004.

- [27] C.C. Chant, and T.C. Wu, "Remote Password Authentication with Smart Cards", IEEE Proceedings, vol. 138, no. 3, pp. 165-168, May 1991.
- [28] A. Awasthi and S. Lal, "A New Remote User Authentication Scheme Using Smart Cards with Check Digits", Manuscript, 2005.
- [29] M.L. Das, A. Saxena, and V.P. Gulati, "A Dynamic ID-based Remote User Authentication Scheme", IEEE Transactions on Consumer Electronics, Vol. 50, No. 2, 2004.
- [30] A. Awasthi, "Comment on A Dynamic ID-based Remote User Authentication Scheme", Transaction on Cryptology, Vol. 01, Issue 02, pp. 15-17, September, 2004.
- [31] C.Y. Lee, C.H. Lin and C.C. Chang, "An Improved Low Communication Cost User Authentication Scheme for Mobile Communication ", Proceedings of the IEEE 19th International Conference on Advanced Information Networking and Applications (AINA 2005), Taiwan, March 2005.
- [32] M.S. Hwang and L.H. Li, "A New Remote User Authentication Scheme Using Smart Cards", IEEE Transaction Consumer Electronic, Vol. 46, No. 1, pp. 28-30, 2000.
- [33] Z. Benenson, N. Gedicke, and O. Raivio, "Realizing Robust User Authentication in Sensor Networks", Workshop on Real-World Wireless Sensor Networks, Sweden, June 2005.
- [34] Wong, K.H.M., Yuan Zheng, Jiannong Cao, Shengwei Wang, "A Dynamic User Authentication Scheme for Wireless Sensor Networks," Sensor Networks, Ubiquitous, and Trustworthy Computing, 2006. IEEE International Conference on, Vol. 1, pp. 244-251, June, 2006.
- [35] Adrian Perrig, Robert Szewczyk, Victor Wen, David Culler, J.D. Tygar, "SPINS: security protocols for sensor networks," Wireless Networks, Volume 8, Issue 5, pp. 521-534, 2002.
- [36] Mark Luk, Ghita Mezzour, Adrian Perrig, and Virgil Gligor. "MiniSec: A Secure Sensor Network Communication Architecture". Proceedings of IEEE International Conference on Information Processing in Sensor Networks (IPSN), April, 2007.
- [37] Ray-I Chang, Chih-Chun Chu, "An Efficient Anonymous Scheme for Mutual Anonymous Communications," LNCS, Vol. 3421, pp. 835-843, 2005.
- [38] 王敦威, 王家輝, 張瑞益, "使用應用層加密之安全性即時媒體傳輸," 第十五屆資訊安全會議, 2005.
- [39] Bao-Chyuan Guan, Ping Wang, Yen-Fu Chen, Ray-I Chang, "Assigning Cryptographic Keys to Access Control in a Multi-Attribute Hierarchy," The 37th IEEE International Carnahan Conference on Security Technology, pp. 337-340, 2003.
- [40] Mark Luk, Ghita Mezzour, Adrian Perrig, and Virgil Gligor, "MiniSec: A Secure Sensor Network Communication Architecture," Proceedings of IEEE International Conference on Information Processing in Sensor Networks (IPSN), April, 2007.

子計畫名稱：通訊節點與通用型閘道器設計(Development of Sensor Nodes and University Gateways)

主持人：吳文中（國立臺灣大學 工科系）

#### A. 前言

近年來無線感測網路的研究甚多，但主要是以美國柏克萊大學所開發的軟體(TinyOS)與硬體(Tmote Sky)為出發，但是以台灣在積體電路以及相關電子業的能力，對於無線感測器網路硬體的成本則有機會將其降到最小，使其具有更大的市場效益。因此，本計畫即是要以 Tmote Sky 為目標，規劃三種階層的無線感測器模組，分別為 Simple Node、Super Node、Universal Gateway，使其能夠適用於各種感測情境與應用方式，成為無線感測網路的一股新勢力。

本計畫第一年度製作出了三種版本的 Simple Node，一是採用 CC2430 的版本，二是結合 Silabs 的 C8051F342 搭配 uBec 的 UZ2400，第三則是 Silabs 的 C8051F411 搭配 UZ2400 的版本；Super Node 則參考 Tmote Sky 電路內不使用相同微控制器 (TI MSP430F1611)，依不同 RFIC 則分為兩種版本，一是使用 TI CC2420 電路與 Tmote Sky 相容，另一是使用 UZ2400 則是為了推廣國內 Zigbee 應用產業而開發的。最後 Universal Gateway 的形式為 USB dongle，搭配現有電腦或嵌入式系統，最後則直接選擇工研院目前開發的 USB Zigbee dongle 作為 Gateway。

#### B. 研究目的

無線感測器網路的研究是由美國柏克萊大學之「Smart Dart」智慧粉塵計畫開始蓬勃發展。智慧粉塵計畫獲得由美國國防部所資助，使用微機電製程技術製作出大量微小的無線感測子(Wireless Sensor Node)，感測子之間的通訊是使用雷射傳輸。其概念是將大量微小的無線感測子，散佈在欲監測的敵方區域，由感測子彼此間相互接力的傳輸方式將監測的資訊傳送到遠方，以此方式在遠方就可以收集到敵方的資訊(Kahn et al., 1999)。此外，柏克萊大學在感測器網路領域有許多的貢獻，PicoRadio 計畫，建立最早具無基礎架構模式(ad-hoc mode)的感測器網路(Rabaey et al., 2000)、TinyOS(Levis and Culler, 2002)感測子微型作業系統與 TinyDB (Madden et al., 2005)微型資料庫等等。無線感測器網路也已經有許多不同的應用，如生態環境(Mainwaring et al., 2002)的監測、工作安全偵測、智慧生活空間、醫療看護等。無線感測器網路是使用大量具備無線收發器與感測器的無線感測子模組來蒐集資訊，感測子間以無線網路互相連結，進而使感測的資訊得以傳送到區域控制中心。無線感測網路最重要的兩個元件，即為上文所提到的無線感測子與區域控制中心(Local Control Center)。感測子的任務為蒐集感測到的資訊，而區域控制中心則負責管理附近的感測子進行通訊排程、將感測子傳回的資料作前處理再進行遠端的資料傳輸。本計畫的目的在於開發支援 IEEE802.15.4 規範的無線感測器網路硬體，分為三個階層：第一層為 Simple Node，第二層為 Super Node，第一、二層都具有感測的能力，但是 Super Node 則具有較強通訊能力、以及運算能力，可以處理較高的資料流量，但是也比較耗電；第三層則為 Universal Gateway，負責將無線感測器與有線感測器的連結任務，並支援第一、二層的無線感測器網路的通訊協定。本計畫將為整個主計畫開發出如以上介紹的三層式無線感測器網路硬體

架構，並且協同其他子計畫，相互合作以成為能與柏克萊大學相抗衡的新興勢力。

本計畫分為短期與長期兩個階段目標：短期目標將以現有的微處理器(MCU)、射頻通訊晶片(RFIC)與嵌入式系統，開發出近期即可完成的無線感測器硬體模組，使用總計畫的支援生產 Simple Node、Super Node、Universal Gateway 各 1000 套，協同其他子計畫對於通訊協定、介面設計、情境模擬等各方向發展完整的軟體平台，而應用層的介面為能滿足各種應用的需求，則將於應用、產業聯盟及其他研究單位共同制定之。並嘗試將 MCU 與 RFIC 結合為 SIP (System In Package) 以縮小無線感測模組的體積。長期目標將研發結合無線收發器與控制系統的系統單晶(SOC、System On Chip)，如現有德州儀器 Chipcon CC2430 即是一種，使無線感測器的體積得以達到最小。本計畫期望得以做出低硬體與建置成本、低能量消耗得以長時間使用、與最小體積，以符合市場效益能夠真正應用於大規模監控的無線感測硬體，並觸發全新的應用產業方向並帶動單晶設計與電子產業的整體發展。本計畫第一年目標是使用市售零件，開發出三種不同的硬體，供應其他子計畫使用。詳細目的如下：

1. 訂定系統規格，並選定 simple node, super node 與 University gateway 之 CPU 以及無線通訊 RFIC
2. Simple Node, Super Node 與 University Gateway 之硬體模組設計
3. 與各子計畫完成軟硬體平台之整合測試
4. 完成 Simple Node, Super Node 與 University Gateway 各 1000 套之生產

### C. 文獻探討

本計畫比較偏向硬體開發，因此會著重於研究目前現有硬體實做產品。本計畫執行之際，蒐集了進十家廠商目前開發產品。以下便會對這些產品作大略的介紹。另外由於大部分的老師都使用 TinyOS 的關係，本計畫的 Super Node 也預計會使用 TinyOS；此外，由於第三子計畫並會在上運行 TinyDB 或相似軟體，因此也簡單介紹這兩部份。

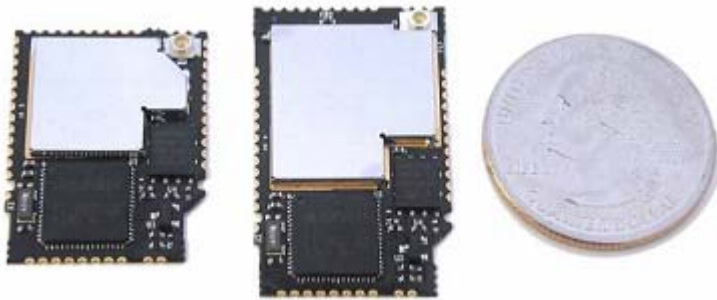
目前市面上已經有許多家公司，已經有 WSN 的產品存在，特別是 IEEE802.15.4 相容的產品。在 TI/Chipcon 推出 CC2430 之後，體積更是減少許多。目前使用 TI/Chipcon 產品者，有 AeroComm、RadioCraft、MoteIV：



Zigbee 模組~AeroComm



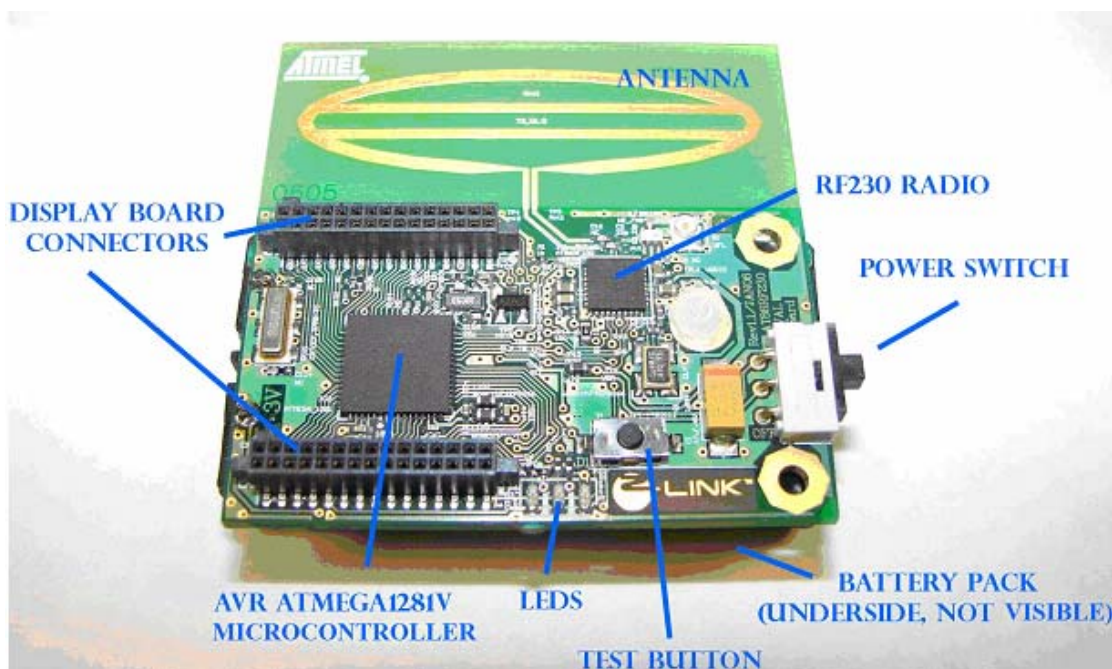
Zigbee 模組~RadioCrafts



Zigbee 模組~MoteIV

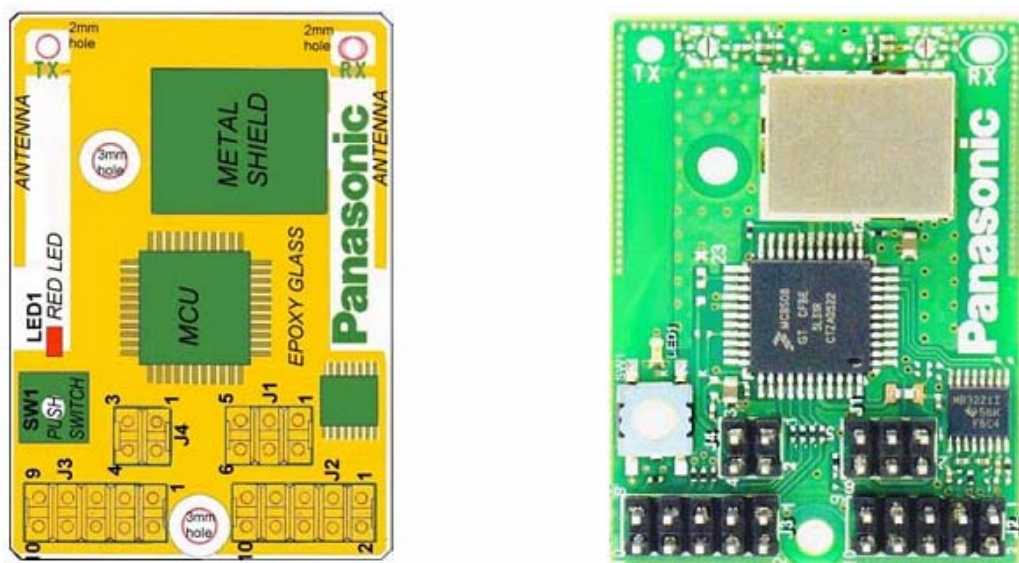
以上這些 Zigbee 都有一個共同特色，那就是他們都必須使用平焊方式，將模組焊於電路板上，焊上去後就很難再次拆下。因此雖然體積非常小，但卻都缺乏可重複利用性。在加上平焊用的接點都相當小，一般人很難用跳線方式將訊號線拉出來使用。因此即便整合性已經很高了，但卻不適合作為學術上的教學或原型開發等用途。另外這幾個模組，除了 MoteIV 所設計的為 MSP430F1611+CC2420 之外，其於兩個都使用 CC2430。由於 CC2430 已經是將 8051 整合進去的 8051，因此這兩家公司基本上沒做什麼，僅僅將 CC2430 以公版線路進行 Layout，並盡可能縮小體積而已。

使用其他 RFIC 與 MCU 組合而成的有 Atmel 的 AT86RF230，如下圖所示，其開發版使用了 AVR 微處理器，搭配 RF230 這顆 IC。



IEEE802.15.4 模組~Atmel

至於松下電機使用 Freescale 的 IC 製作了下面這個模組。



IEEE802.15.4 模組~松下電機

這兩個 IEEE802.15.4 模組則使用比較容易取得的接腳，並具備模組化設計的概念，因此可以重複利用，這兩點對於學界均比較有利。然而若要支援 TinyOS，則這兩款都還不能滿足條件。

### 1) TinyOS

由柏克萊大學所創立的 TinyOS，是一個公開原始碼的作業系統，提供給感測器網路所使用，使用類似 c 的語法(nesC 編譯)，方便測試網路。曾經因為許多系統記憶體的限制，很

多都要求使尺寸達到最小，它的特色就在於程式碼所佔的空間極少，能夠有助於記憶體的節省與效率使用，資料庫包括網路協定(network protocols)、數據收集(data)等等之類的功能，而 TinyOS 也以連接到許多的平台以及許多感測器版子上，已經有很大的族群在使用，有一數據顯示，最新的版本已有 10000 多次下載，有超過 500 的研究團隊在使用 TinyOS。另外，也已經發展出 TinyOS mote simulator - TOSSIM，讓感測器網路應用上的發展更為便利，TOSSIM 有上千個節點，從 TinyOS 的程式碼直接編譯，使用者可以直接測試算法以及實際演練，TOSSIM 也擁有 GUI 工具、TINYVizs，使用者可以利用簡單的 plug-in model，發展出新的型樣與 TINYVizs 的介面。而目前開發者也正研究著一種命令語言程式，讓使用者能夠控制已集命令中斷模擬，這可讓一些演算法在遇到複雜的錯誤時，不會繼續執行。

## 2) TinyDB

TinyDB 大致上來說就是在 TinyOS 感測器網路中，提供查詢並且獲取資訊，就如同扮演一個資料庫的角色。TinyDB 不允許使用者直接撰寫 c 語言來改變 sensor 的內容，而是使用 SQL 的介面去精準的挑出使用者所想要查詢的資訊。在 PC 上，TinyDB 則是提供簡單的 Java API 來讓使用者能自行撰寫 PC 的應用程式。因此透過 Java API，所撰寫出的程式通常是簡單且清晰的圖形化介面來呈現給使用者。TinyDB 執行一個查詢動作的程序為：使用者開始進行查詢的動作，接著 TinyDB 會蒐集所有在環境中的節點資訊，經過過濾整合之後，回傳給 PC。這個過程雖然簡單，但是 TinyDB 有許多特點值得使用者注意，並且可以善用這些特點。如 TinyDB 有內建提供 metadata catalog 給使用者來描述在感測器網路中的屬性與指令，而且 TinyDB 允許在同一時間在同一群 motes 進行查詢。當使用者想要開始擴充他的 TinyDB Network 時，新的 motes 在收到來自於系統的訊息之後，會自動開始進行查詢的動作，而不需要在新的 motes 另外進行安裝 TinyDB 的動作。

## D. 研究方法

在這個子計畫中，我們預計會做出不同等級的 Node 以及 Gateway 各一千套。Node 依照等級會分為兩種，Simple Node 與 Super Node。不論是 Node 或 Gateway，均需要支援 IEEE802.15.4 通訊協定，並希望在第二年的時候可以發展出符合 Zigbee 的通訊協定。Simple Node 依照原始國科會要求，會使用常見的 8051 為基礎的 8bit 微控制器。至於 Super Node 則可使用 16bit 以上的微控制器。在實際設計的時候發現，雖然 8051 在業界使用已廣，但國內 8051 製造業者所設計的 8051 在耗電量上很難滿足需求。其理由是標準 8051 只有一個時脈來源，一般來說，時脈與電流消耗有正向關係，倘若想要達到省電的目的，則至少必須具備兩種時脈來源，分別供應其全速運作與休眠狀態下的時脈。這也因此讓 8051 很難達到省電的要求。

Super Node 則根據團隊成員的意見，在設計上參考了 Tmote Sky 電路，讓電路可以支援 TinyOS。此外我們還與第五子計畫定義了「智慧感測器介面」(Smart Sensor Interface)，透過這介面讓 Super Node 可以連結多組智慧感測器(Smart Sensor)，而且具備即插即用的功能。Super Node 雖然電路是參考 Tmote Sky，但採用了模組化的設計方式，讓使用者可以依據需求，搭配不同的應用電路板以及電源供應版。Super Node 提供了兩組 2x8，腳距 2mm 的插排，方便大家將腳位接出來使用，之後會有更詳細的說明。

至於 Gateway，原先計畫打算自行開發一個嵌入式系統，但後來評估發現，自行開發的成本不如直接購自市面上可以買到的嵌入式系統，因此第四子計畫改提供 USB dongle，搭配

原始碼，讓使用者可以透過 dongle 控制由 Simple Node 與 Super Node 所組成的無線感測器網路。由於工研院(ITRI, Industrial Technology Research Institute)已經開發好使用 CC2430 的 USB dongle，因此本計畫直接從 ITRI 採購 800 組作為 Gateway 部份的成果。

接下來變分別對 Simple Node、Super Node 與 Gateway USB dongle 作更詳細的介紹。

## E. 結果與討論

### 1) Simple Node

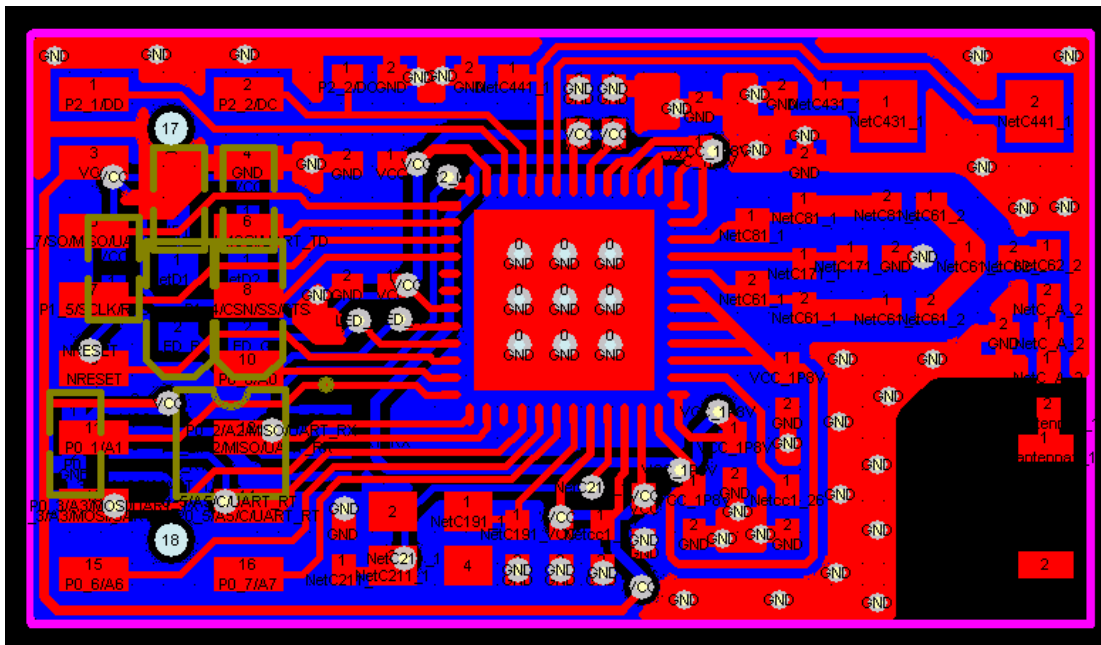
在開發 Simple Node 的過程中，我們挑了許多 8051，但能夠符合我們對低耗電量需求者，卻是屈指可數。

基本上，國內的 8051 開發廠商所設計的 8051，在耗電量的部份，均明顯差於國外廠商，諸如 Atmel 或 Silicon Liberators(以下簡稱 Silabs)因此如果要使用獨立的 8051 微控制器搭配 RFIC 的話，勢必要選擇國外公司所設計的 8051。除了獨立的 8051 之外，其實還有將 RFIC 整合 8051 的產品，例如 Nordic 的 nRF24L01 與 TI 的 CC2430。但若限制要符合 IEEE802.15.4 標準，則目前只有 TI 的 CC2430 滿足要求。因此本計畫分個方向開發，一是使用 TI 的 CC2430 系統單晶片來設計，二是使用獨立的 8051 搭配支援 IEEE802.15.4 的 RFIC 來設計。目前販賣支援 IEEE802.15.4 的 RFIC 的廠商並不多見，國外著名者有 TI、Microchip，國內則僅有達盛(uBec)。由於本計畫目的，是為了協助國內廠商在 Wireless Sensor Network 領域上的發展，因此會將重點放在獨立 8051，搭配 uBec 所開發的 UZ2400。

截至現在，Simple Node 已經有三種版本備開發出來了，一是採用 CC2430 的版本，二是結合 Silabs 的 C8051F342 搭配 uBec 的 UZ2400，第三則是 Silabs 的 C8051F411 搭配 UZ2400 的版本。以下分別介紹這三種版本的電路與開發理由。

CC2430：

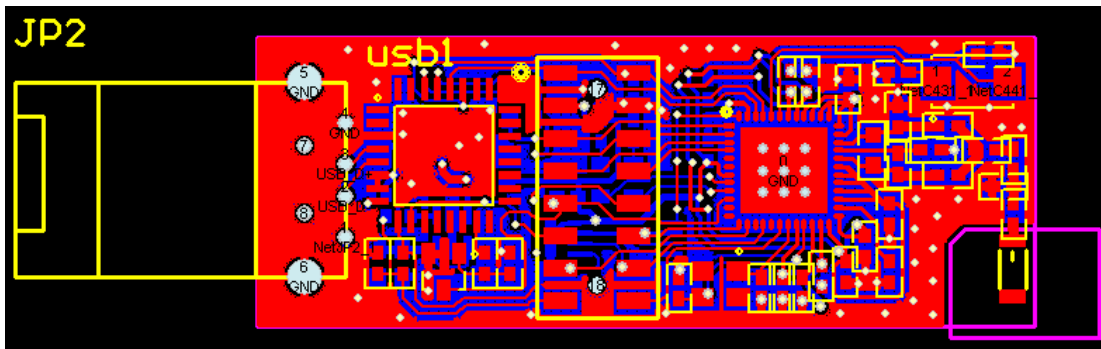
在這個版本中，我們使用 TI 的 SOC，CC2430 作為 RF 傳輸與控制核心。搭配 Microchip 的 256bit EEPROM 25LC256 來紀錄感測資料。CC2430 包含了支援 IEEE802.15.4 的 CC2420 與一個支援 8051 指令的核心。這顆 8051 核心搭配了許多特殊模組，包括了 16bit 的 timer、ADC、AES 編碼器、DMA 控制器以及 UART/SPI 介面。這個核心很可能是 MSP430 搭配 8051 指令解碼器而成，因為他具備 MSP430 的多重電源模式，待機狀態下僅需 0.9uA 的特性，市面上目前沒有幾款 8051 可以相提並論。我們使用其 SPI 介面來控制 EEPROM，並額外拉了兩個 LED 作為狀態的顯示。電路 Layout 圖如下所示：



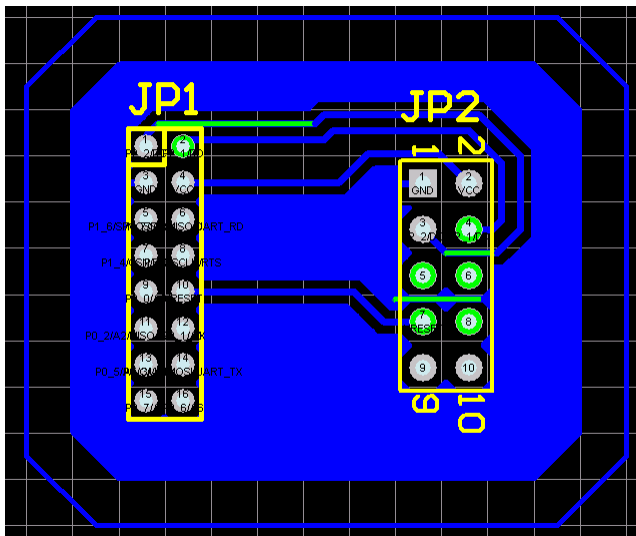
大小是 17.2x30.5mm，實際電路外觀如下所示：



除此之外，我們還做了一個 USB 版本，藉由 silabs 的 C8051F320 這顆 IC 來達到對電腦通訊的能力。這個版本有兩種對電腦的連接模式，第一種模式是燒錄模式，可以讓電腦透過 USB 對 CC2430 進行燒錄。第二種模式是 USB 傳輸模式，在這個模式下會將 C8051F320 作為 USB 轉 uart 介面，讓 CC2430 可以透過 USB 介面對電腦傳輸資料。這個版本原本是要作為 Gateway 中的 USB dongle 使用，但後來工研院已經有測試好的成品，因此就直接從工研院購買。這個版本便沒有正式製作出來。

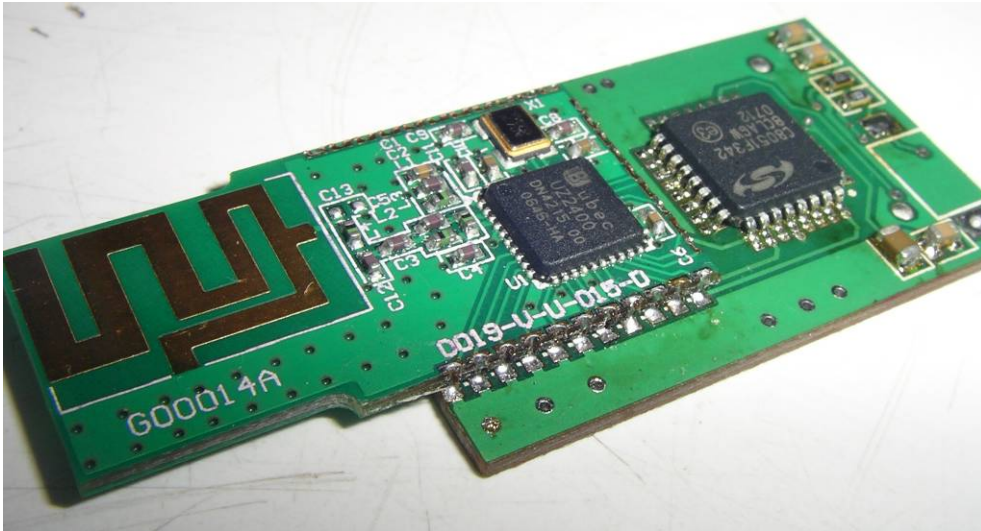


最後是這兩個電路的轉版電路，由於為了要減少 Layout 面積，因此使用比較小的 2mm 母排接頭。如果要對 IC 進行燒錄的話，就必須要透過這個轉版電路。這個轉版電路可以將 2mm 母排接頭轉為 JTAG 燒錄用的接頭。



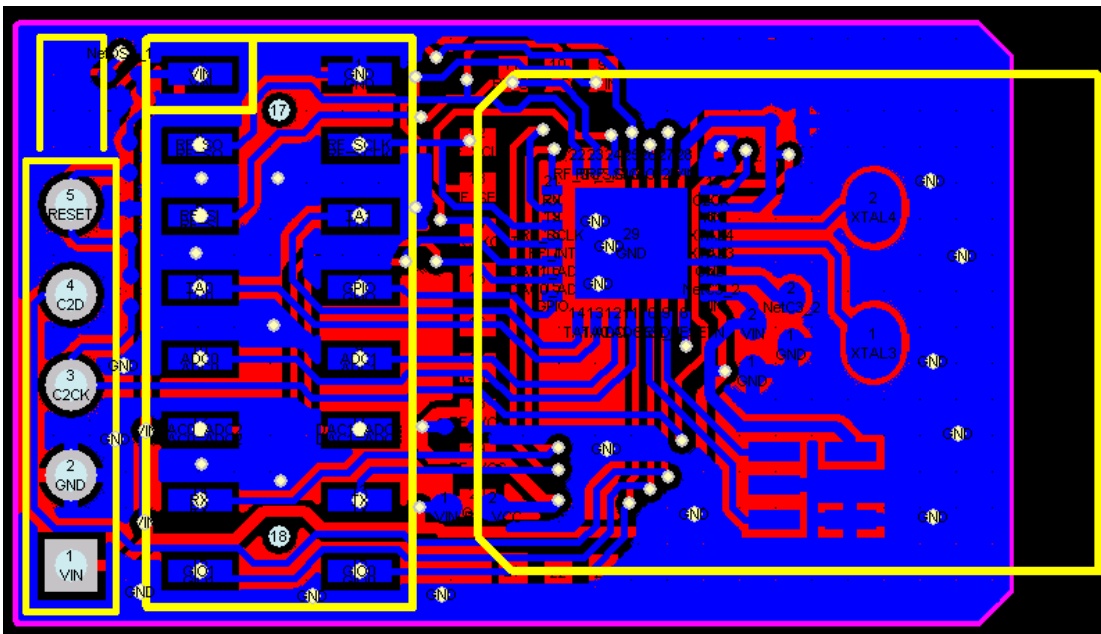
C8051F342+UZ2400：

這個版本使用 uBec 所設計的 UZ2400 模組來進行 RF 收發，搭配 C8051F342 作為電路控制用。C8051F342 是具備 USB 能力的 IC，雖然基本上 Simple Node 並不需要用到 USB 功能，但這個版本只要外加 USB 轉版，就可以得到 USB 通訊能力，因此這個版本也可作為 Gateway 的 USB dongle。但會選擇這顆 IC 的主要理由，是因為 uBec 他們已經有為 UZ2400 這顆 RFIC 設計了通訊協定，而搭配用的公版電路便是使用 C8051F342，因此我們改自公版電路的設計，希望藉以減少開發時間。

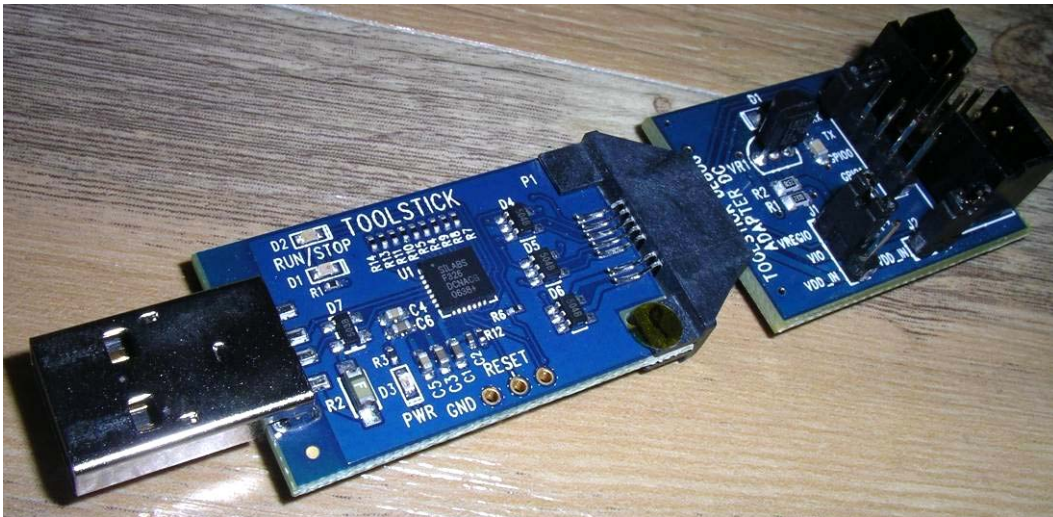


### C8051F411 + UZ2400 :

這個版本同樣使用 UZ2400 模組，但將 C8051F342 改為 C8051F411。使用 I2C 介面的 16bit EEPROM。一般來說，由於 I2C 介面的 EEPROM 使用量比較大，因此成本較 SPI 介面來的低。另外 C8051F411 則是 Silabs 最新開發的 8051，是全系列中，唯一具備 Smart RTC 的分枝。在啟動 Smart RTC 功能後，其休眠狀態的耗電量在 2.5V 與室溫下，僅有 0.95uA，直逼 MSP430 的水準。這個版本目前尚未測試，會等 C8051F342+UZ2400 版本測試過後，在移植到這個電路上測試。體積約 28x17 mm，為目前最小者。



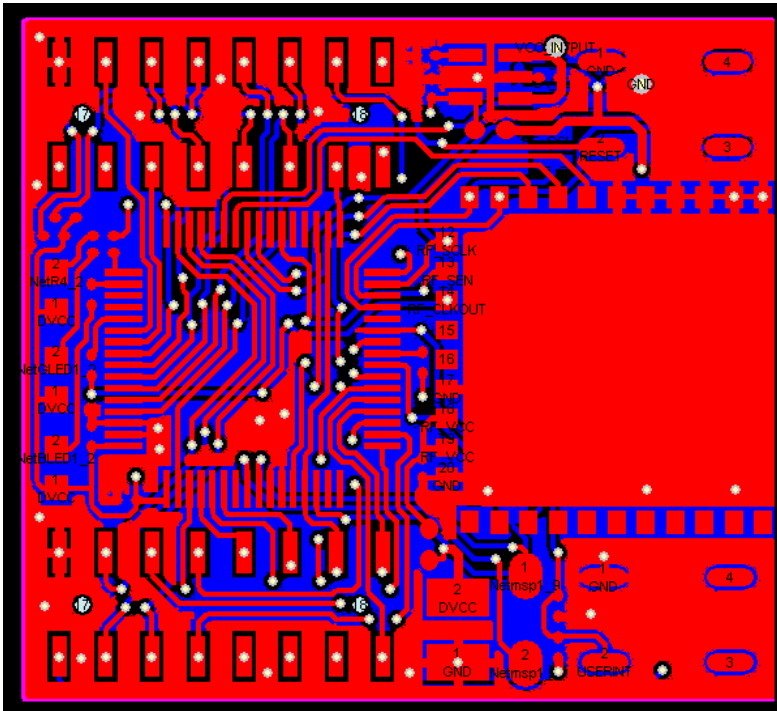
另外由於使用 Silabs 的 8051，因此必須搭配對應的燒錄器才行，目前 Silabs 有心開發的 USB 燒錄器，搭配對應的轉版，少量買入的價格為 1300NT。但由於本計畫並預計提供燒錄器，因此只會少量購買，供本計畫與其他子計畫使用，有需求者可以跟 Silabs 購買。下圖為 Silabs USB 燒錄器搭配燒錄轉版的連結圖。



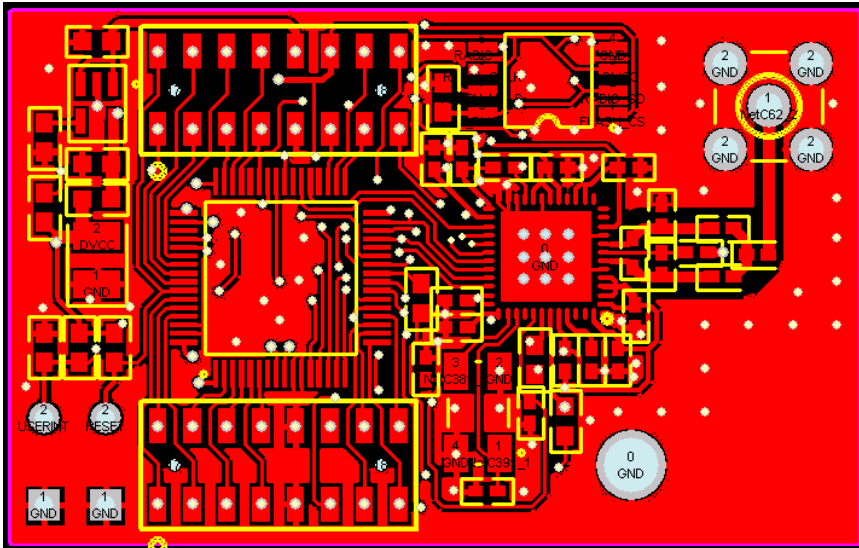
## 2) Super Node

Super Node 電路在設計的時候，便參考了 Tmote Sky 電路，內部使用相同的控制 IC，TI 的 MSP430F1611。Super Node 經過多次版本，在這個計畫中，我們有設計了 MSP430F1611+CC2420，以及 MSP430F1611+UZ2400 兩種版本。前一種版本在電路上相容 Tmote Sky，同樣可使用 TinyOS。但在燒錄的時候，必須加上 bsl 參數，來指定燒錄用的 RS232 編號。至於第二個版本，則是為了推廣國內 Zigbee 應用產業而開發的。這個版本雖然仍然可以燒錄 TinyOS，但基本上無法使用 TinyOS 所提供的 RF 功能。這部份的程式碼轉移作業會由其他子計畫所負責。

這個計畫所設計的 Super Node 電路，是以第二版本為主。電路部份在 LED、外部中斷、重置按鈕都與 Tmote Sky 相同，燒錄電路則由原本 FTDI 的 FT232 改為國內 Prolific 的 PL2303HX，前者單價為 4.95USA(Digikey 報價)，後者價格則為 50NT，比前者少了 100 多台幣。Super Node 的設計理念，便是以推廣 Wireless Sensor Network 為主要目標，因此在上下兩面均提供了 2x8 的 2mm 接頭，方便使用者將訊號線拉出來檢驗。同時這也兼顧到模組化設計，使用者可以依照需求，自行設計電路板，並疊在 Super Node 上面使用，藉以縮短測試與開發的時間。電路板大小約為 33x30mm。

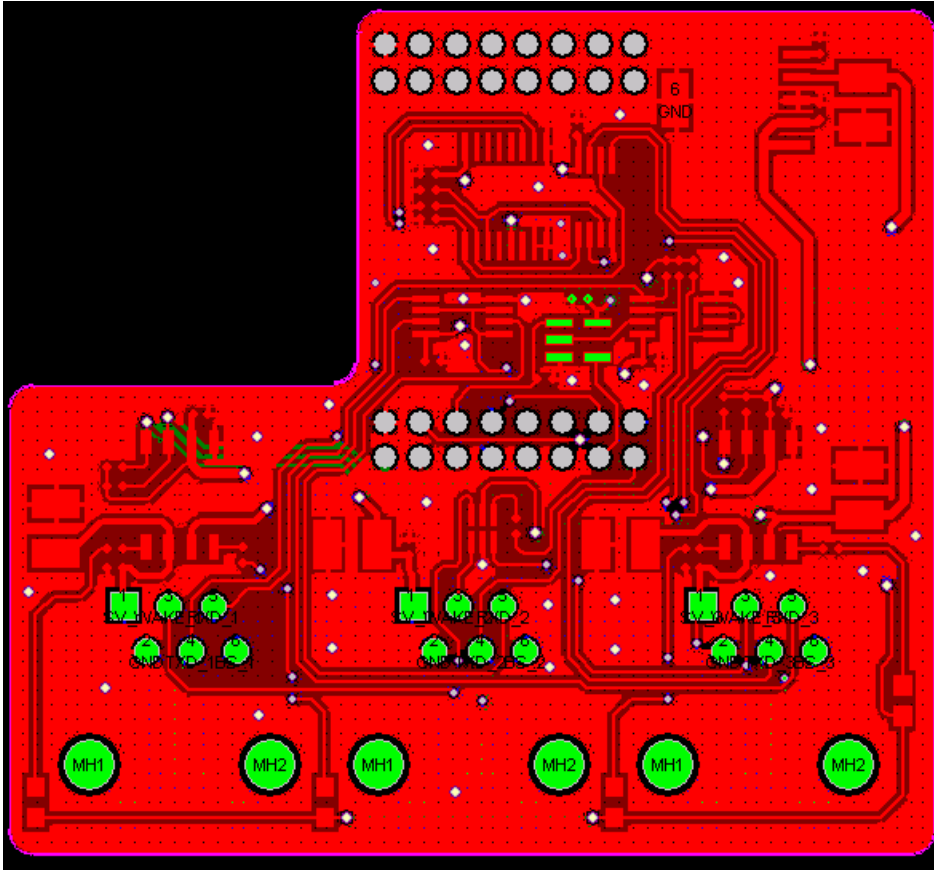


為了與 TinyOS 完全相容，因此本計畫設計了 MSP430F1611+CC2420 版本，並少量製作進行測試，這個版本除了 Tmote Sky 外加的溼度、溫度與亮度感測器無法使用之外，其餘功能皆與 Tmote Sky 相容。經實際測試結果，可以順利執行 TinyOS 的 RF 通訊測試程式。然而這個版本並不會大量製作，這個子計畫的重點在於提昇國內廠商對於 WSN 與 Zigbee 方面的發展，故最後釋放版本將會是 uBec 的 UZ2400 搭配 MSP430F1611 的版本。



在本計畫中，子計畫四與子計畫五共同定義出一個 Smart Sensor 介面，這個介面是由六支腳所組成，目前腳位定義已經準備申請專利。本子計畫的產出還包含該介面的範例電路，透過這個電路可以連結三個 Smart Sensor。由於使用市面上可以買到的 6pin 電話線接頭，方面大家自行製作 Smart Sensor 進行測試。此範例電路板使用 TI 的邏輯元件，來控制訊號，並具備電源管理能力。Super Node 可以選擇性的完全關閉 Smart Sensor 的電源，甚至整塊介面電路板的電源皆可被關閉。此外還具有過電流保護能力，一旦電流超過 0.2A，則電路板轉為定電流輸出，並在電流過大的 Smart Sensor 介面亮起紅色 LED 作為警示。本計畫並不要求製作 1000 片 Smart Sensor 範例介面電路，但仍然會少量製造，並公開電路

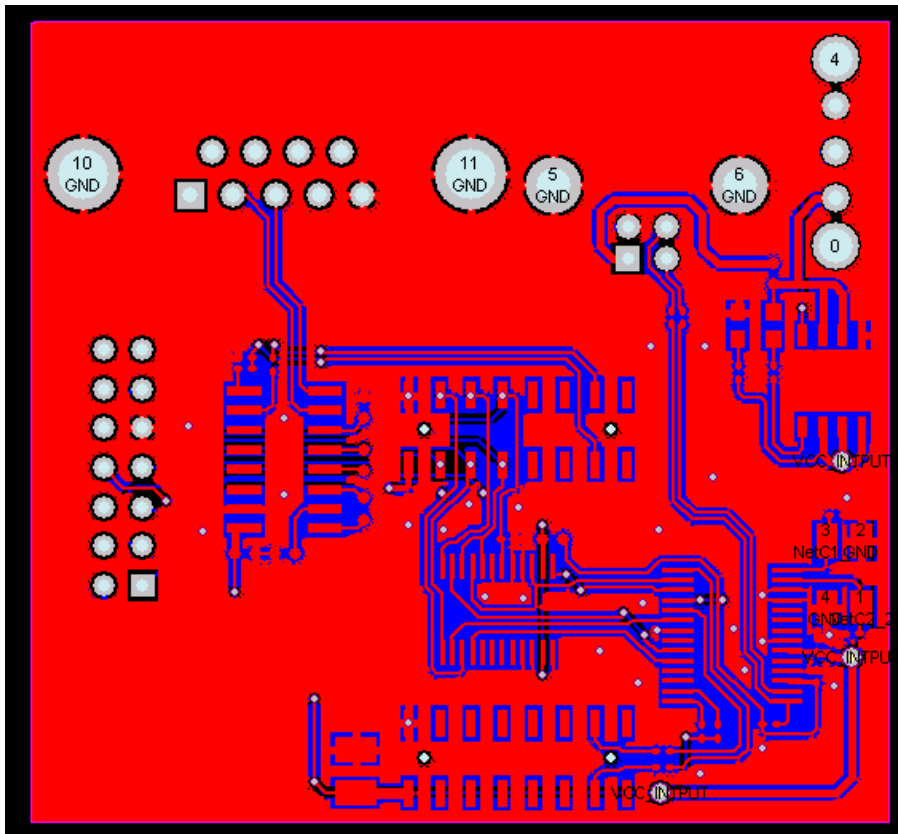
圖供大家自製製作或修改。



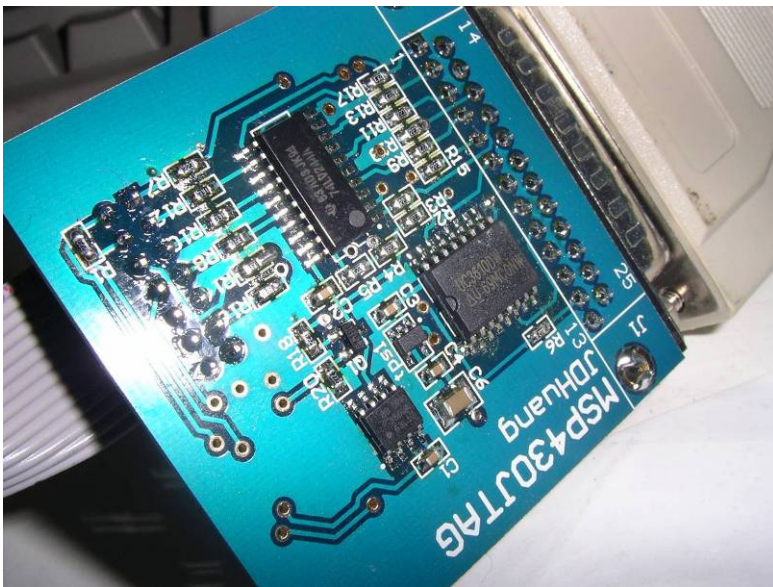
最後是 Super Node 的供電與燒錄電路。這塊電路板具有 USB、RS232 與 JTAG 介面，透過國內 Prolific 公司所設計的 PL2303HX 作為 USB 對 UART 轉換電路，將 USB 轉換為 UART 訊號連接到 Super Noder 的 MSP430F1611；另一個 RS232 則透過 MAX232 準位轉換 IC，將訊號接到 Super Node 上。

此外並參考 Tmote Sky 燒錄電路，透過 Analog Device 所設計的 AD715，連結 PL2303HX 做出 MSP430F1611 的 Bootstrap 電路。讓使用者可以透過跟一般 TinyOS 的燒錄方式，將程式燒入到 Super Node 中。除了使用 Bootstrap 方式之外，使用者也可以透過 JTAG 方式，對 MSP430F1611 進行燒錄與除錯的動作。

電路板使用 USB 供電，並直接提供 Super Node 控制電路板 5V 電力。由於 Super Node 與 Smart Sensor 介面電路均具備線性穩壓器，可以將 5V 轉為 3.0/3.3 V，因此不會有問題。這塊電路同樣具備過電流保護功能，一旦供電過大，則會在 USB 接頭後方亮起紅燈，藉以警告使用者，並保護電腦不至於因 USB 電流過大而強制關機。



另外本子計畫也根據網路上(<http://www.olimex.com>)所公開的燒錄器電路，設計了 MSP430 燒錄/除錯器電路。可以支援全系列的 MSP430。雖然本計畫不需要提供 1000 套燒錄器電路，但仍然會進行少量製作，並將電路資料公開於網路上。



### 3) Gateway

在本計畫的產出中，Gateway 的形式為 USB dongle 搭配現有的電腦或嵌入式系統，計畫會另外提供控制感測器網路用的程式碼。藉以達到降低成本的目標。又正好工研院也有在開發 USB 的 Zigbee dongle，因此直接跟工研院購買 800 套 dongle。另外，由於 Super Node 電路與 CC2430 版本的電路，也都具備 USB 介面，所以只要統一對電腦的封包格式，這兩

者也都能充當 Gateway 用的 dongle。

工研院所設計的電路，使用 Silabs 的 CP2102 作為 USB 轉 UART 的介面轉換，並使用 TI 的 CC2430 作為 RF 收發與電路控制之用。在電路版上提供了 9pin 的 1.25mm 介面，方便使用者對 CC2430 進行程式燒錄與除錯。此外這 9pin 包含了 SPI 介面，使用者也可以藉以控制外部電路。直接從工研院採購的價格，約是每塊電路 750NT。以少量製造來看，這已經接近成本價。

電路上附有四個燈號，使用者可以藉由燈號來反應電路狀態。電路上並沒有額外的記憶體，但使用者可以選擇將資料直接燒錄到內部 Flash。只是 Flash 燒錄次數有限制，因此無法作太頻繁的燒錄動作。在本子計畫 CC2430-USB 版本的 Simple Node 中，則留有 SPI 介面的 EEPROM。並且使用 C8051F320 作為 USB 介面 IC，雖然成本較高，但會具備 USB 燒錄功能。因此剩下 200 套 Gateway dongle 會使用自製版本與 Super Node 充當。

工研院設計的 dongle 如下圖所示：



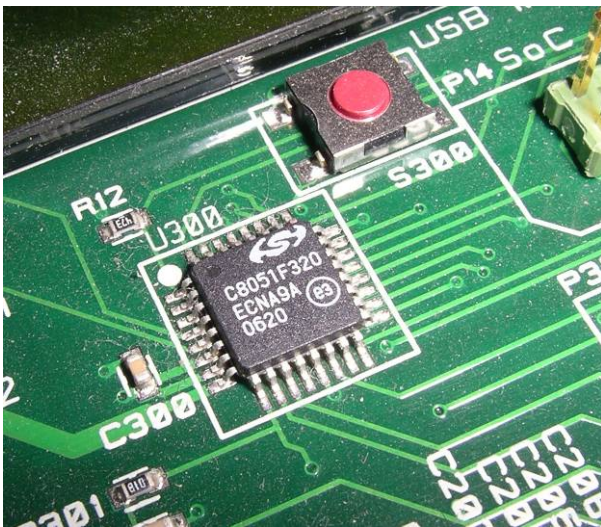
另外工研院也提供了轉版電路，可以將 1.25mm 接頭轉為 2.54 接頭，方便大家進行燒錄。但由於工研院版本的 dongle 沒有內建燒錄電路，因此需要購買 CC2430 開發版，或是使用本子計畫所製作的縮小版燒錄電路。



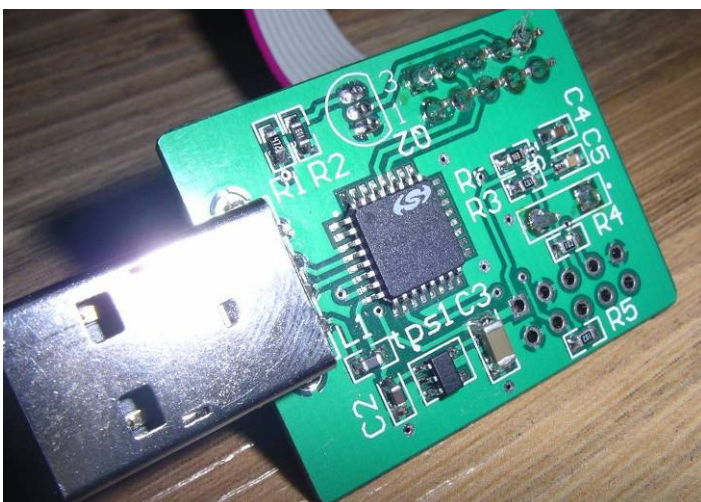
CC2430 開發版如下圖所示：



其中燒錄電路使用 C8051F320 作為核心。



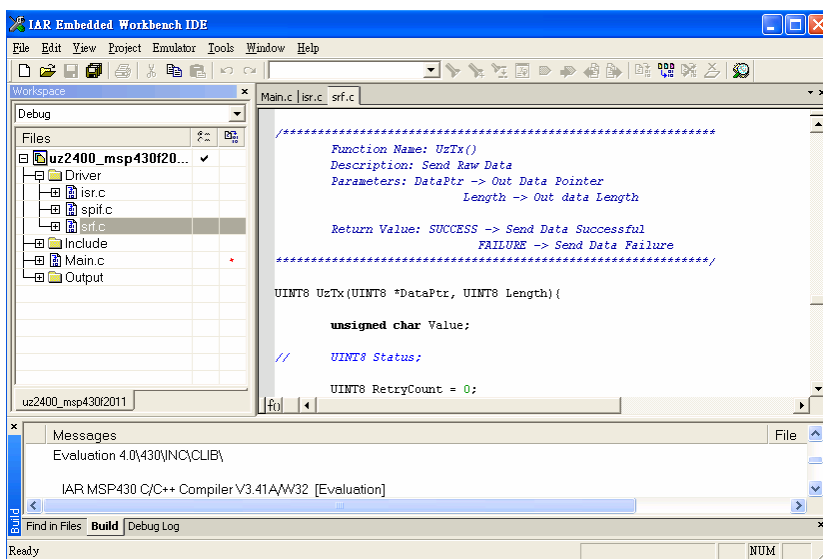
因此本子計畫藉由 CC2430 開發版所提供的電路，使用 C8051F320 製作了燒錄電路。此電路已經測試過，可以對 CC2430 版的 Simple Node 電路與工研院的 dongle 進行燒錄動作。自製燒錄電路如下圖所示：



根據 Silabs 線上報價，C8051F320 每百顆單價 4.34 美金，加上少量 PCB 版製作成本約 150，因此燒錄器成本約為 400NT。由於原先提案報告並未要求 1000 份的燒錄器製作，因此本計畫不會直接提供如此大量的燒錄器。但本子計畫仍然會將燒錄器的電路與元件公開出來，並進行少量製作。

#### 4) 開發環境

在本子計畫中，所使用的開發環境為 IAR 與 TinyOS 的 Cygwin。IAR 在網路上 (<http://www.iar.com/>) 可以自由下 30 天完整適用版，或是永久使用的記憶體受限版。前者的程式碼大小不受限制，但 30 天過後就無法使用。至於後者，則是程式碼受限一定大小，例如 MSP430 版本有 4Kb 限制，但這個版本則可不限時間使用。



至於 Cygwin 與 TinyOS 皆為國外團體所開發，Cygwin 可以在 Windows 底下模擬 Linux 操作介面，讓使用者可以藉由 Linux 的指令，進行 Windows 的控制，同時也讓使用者可以在 Windows 底下進行跨平台程式開發。而 TinyOS 則是柏克萊大學所發展出來的作業系統，其目標是開發一個讓小型、具備無線網路功能的硬體可以運作的作業系統。這個作業系統可以在多種微控制器上使用，然而支援的微控制器仍然有所限制。目前以發展到第二版。Cygwin 可以在 "<http://www.cygwin.com/>" 下載，至於 TinyOS 則可以在 "<http://www.tinyos.net/>" 取得。

```

/opt/tinyos-2.x/apps/tutorials/BlinkToRadio
BaseStation  Makefile          Sense              TestScheduler
Blink         MultihopOscilloscope Test              TestSchedulerTemp
BlinkAlarm   Null              TestADC           TestSerial
BlinkMSP430  Oscilloscope     TestArbiter      nsdi07
BlinkTask    Powerup          TestCC2420       nsdi07.tgz
BlinkToRadio RadioCountToLeds TestRadio         tests
MUiz         RadioSenseToLeds TestSPI           tutorials

AAA@109aaaaaa /opt/tinyos-2.x/apps
$ cd tutorials/

AAA@109aaaaaa /opt/tinyos-2.x/apps/tutorials
$ ls
BlinkTask  BlinkToRadio

AAA@109aaaaaa /opt/tinyos-2.x/apps/tutorials
$ cd BlinkToRadio/

AAA@109aaaaaa /opt/tinyos-2.x/apps/tutorials/BlinkToRadio
$ ls
BlinkToRadio.h      BlinkToRadioC.nc  README.txt
BlinkToRadioAppC.nc Makefile          build

AAA@109aaaaaa /opt/tinyos-2.x/apps/tutorials/BlinkToRadio
$
```

### 5) 討論

在這第一年計畫中，本子計畫開發了三類硬體，Simple Node、Super Node 與 Gateway 的 USB dongle。其中 Simple Node 共設計了 4 種版本，分為 TI 的 CC2430 與 uBec 的 UZ2400 兩大系列。其中 CC2430 版本還可細分兩種版本，其中一種具有 USB 燒錄能力。而 UZ2400 同樣具有兩種版本，一種使用 C8051F411，一種使用 C8051F342；前者是目前最省電的 8051，後者則是內建 USB 功能的 8051。因此 Simple Node 的 USB 版本，其實都可以作為 Gateway 的 USB dongle 使用。

至於 Super Node 則採用多層模組式架構，將電源供應、RF 與控制板、以及感測器介面三者分開，並使用容易取得的 2mm 接頭，方便大家進行原型電路的設計。

至於最後 Gateway 的 USB dongle，雖然可以用 Simple Node 的 USB 版本取代，但為了確保計畫能順利執行，因此我們額外跟工研院購買了 800 套工研院版本的 USB dongle。

工研院版本的 USB dongle 與部份 Simple Node 的版本，均採用 TI 的 CC2430。在本報告撰寫的同時，TinyOS 網站發表了支援 CC2430 的消息，這意味著本計畫產出的 Node，均具備支援 TinyOS 的能力。這對本計畫的普及無疑具有莫大的幫助。

### F. 計畫成果自評

在這第一年計畫中，本計畫尋找市面上現有零件，順利設計出了三種等級的硬體，並與子計畫五共同定義了 Smart Sensor Interface。且因為 TinyOS 已經有支援 CC2430，因此部份版本的 Simple Node 與工研院的 Gateway USB dongle，可以直接使用 TinyOS 進程式開發。而 Super Node 於設計之初便以能夠支援 TinyOS 為出發點，因此只要在開發出 UZ2400 於 TinyOS 的驅動程式，便可以完整支援 TinyOS。

至於 1000 份硬體製作，截至本報告書完成之際，跟工研院定 800 份硬體已經得到，隨時可以發分給各子計畫使用。至於 Simple Node 與 Super Node 也已經進行 1000 套生產過程，其中 Super Node 已經先完成 100 套。因此本計畫執行到此，除了 1000 份製作因為備料與廠商製作時間上有所延誤，其餘目標均順利完成。量產製作預計會於 10 月中完成，故在計畫

第一年底可以完成 1000 套製作。

本計畫於 10 月底將會完成 100%進度，目前進度約為 80%，大部分進度均測試完畢，就等待量產結果回來。

#### G. 參考文獻

1. E. S. Leland, E. M. Lai and P. K. Wright, "A Self-Powered Wireless Sensor for Indoor Environmental Monitoring," *2004 Wireless Networking Symposium*, October 20 - 22, 2004, The University of Texas at Austin Department of Electrical & Computer Engineering, Wireless Networking & Communications Group, Proceedings are on Compact Disc, precluding a page reference.
2. Kahn, J. M., Katz, R. H., and Pister, K. S. 1999. Next century challenges: mobile networking for "Smart Dust". In *Proceedings of the 5th Annual ACM/IEEE international Conference on Mobile Computing and Networking* (Seattle, Washington, United States, August 15 - 19, 1999). MobiCom '99. ACM
3. Press, New York, NY, 271-278. DOI= <http://doi.acm.org/10.1145/313451.313558>
4. Levis, P. and Culler, D., 2002, "Maté: a tiny virtual machine for sensor networks," *Proc. of the 10th Inter Conference on Architectural Support for Programming Languages and Operating Systems (ASPLOS-X)*, Vol. 37, 30, 36, Issue 10, 5, 5, pp.85 - 95.
5. Madden, S. R., Franklin, M. J., Hellerstein, J. M., and Hong, W. 2005. TinyDB: an acquisitional query processing system for sensor networks. *ACM Trans. Database Syst.* 30, 1 (Mar. 2005), 122-173. DOI= <http://doi.acm.org/10.1145/1061318.1061322>
6. Mainwaring, A., Culler, D., Polastre, J., Szewczyk, R., and Anderson, J. 2002. Wireless sensor networks for habitat monitoring. In *Proceedings of the 1st ACM international Workshop on Wireless Sensor Networks and Applications* (Atlanta, Georgia, USA, September 28 - 28, 2002). WSNA '02. ACM Press, New York, NY, 88-97. DOI= <http://doi.acm.org/10.1145/570738.570751>
7. Rabaey, J.; Ammer, J.; da Silva, J.L., Jr.; Patel, D., "PicoRadio: Ad-hoc wireless networking of ubiquitous low-energy sensor/monitor nodes," *VLSI, 2000. Proceedings. IEEE Computer Society Workshop on*, vol., no.pp.9-12, 2000
8. W. Ye, J. Heidemann, and D. Estrin. An energy-efficient mac protocol for wireless sensor networks. In *Proceedings of the 21st International Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies (INFOCOM 2002)*, New York, NY, USA, June 2002.

子計劃名稱：多功能智慧型微感測器模組之研究

主持人：郭茂坤(國立臺灣大學 應力所)

共同主持人：楊耀州(國立臺灣大學 機械系)、施文彬(國立臺灣大學 機械系)、林致廷(國立臺灣大學 電子所)

### 三、研究目的(請詳述第一年預期成果)

微感測技術(micro-sensor technology)自提出至今已有近四十年的發展歷史，期間因為半導體製程技術的蓬勃發展而廣受矚目，在投入大量的研究人力及物力之下，已先後研發了一系列的微感測器，諸如加速規(accelerometer)、陀螺儀(gyroscope)、微溫度儀(micro-thermometer)及生化感測器(biochemical sensor)等，然而，如何有效的整合並落實這些微感測技術於日常生活之中成為現階段全世界相關研究團隊最大的課題。本子計劃研究團隊以微感測器製作技術為基礎，建立一有前瞻性並實用的整合式的環境監控感測模組(包含化學物質，濕度及溫度等感測)。所開發出之感測器模組，並將與無線網路通訊模組整合(子計劃二)為可實際應用的感測器節點(sensor node)。此外，因為微感測器系統已受到產業界極大的重視，如何落實微感測器的實用性成為產官學界對於此一整合性科技下一步推動的方向，本子計劃即針對上述問題進行微感測器之研發製作並整合無線網路技術，將此一微感測器系統可以配合網路監控系統及第六子計劃所執行相關的應用，進行實際環境檢測。預計本研究計劃完成後，可進行相關整合性研究之成果發表，更對於爾後無線網路微感測器系統之研究與應用，提供基礎的架構準則。

本子計劃於第一年與第四分項子計劃配合，開發出可配合無線網路系統使用之標準化介面微感應器電路模組，並自行設計及製作溫度與溼度之微感應器電路模組，而且會針對無線網路之特性設計低耗電量的介面電路。於計劃第一年的成果展示中，我們將會把計劃執行第一年所開發出的微感應器電路模組搭配無線網路系統進行實驗室中之驗證示範。

### 四、文獻探討

微機電系統(Micro-Electro-Mechanical System)的迅速發展奠定了現今微感測器的基礎，利用標準半導體製程的技術，製作三維的微機械結構(three dimensional micro-mechanical structure)，將感測元件微小化，再加上相對應的微電子電路即可構成一個微感測器的基礎架構，其最主要的優勢在於降低製作成本、提升感測性能及減少取樣及能源的消耗，舉例來說，以微感測技術所製作之微型加速規(accelerometer)及壓力計(pressure sensor)大量的應用於汽車工業中，為行車的舒適及安全提供保障(Hierlemann et al., 2003)。為了減少使用微感測器的複雜程度，進一步提出系統整合晶片技術(System-on-chip, SOC)，將簡單的類比訊號處理或是較複雜的數位訊號處理元件整合進微感測器的製程之中，不但可以同時完成微感測器與其介面電路的製作，更可以大幅簡化使用者介面設計之時間與成本，如圖 5-1 所示。

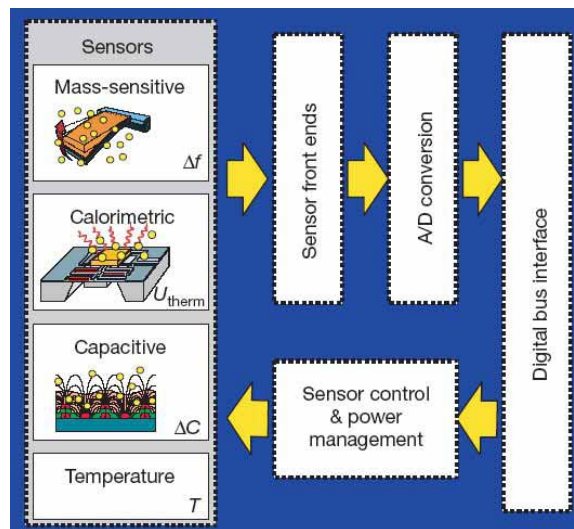


圖 5-1 微感測器與系統整合晶片示意圖(Hagleitner et al., 2001)

現今的微感測技術雖然是越來越成熟，但是，當這些微感測技術發展至實用層面，卻也出現越來越多的問題急待解決，比如低能源消耗(low power consumption)、標準化的使用介面科技(standardized interface)、強健的校正技術(robust calibration)及相容的傳輸格式(compatible communication protocol)等，使得大部分微感測器系統無法實用於日常生活之中。以現在的商用感測器為例，不同的感測器系統即擁有不同的使用者介面、不同的介面電路需求甚或不同的管理系統，這使得架構及整合不同種類的微感測器系統成本大為增加，其後的維護成本亦高居不下。有鑒於此，於本研究計畫中我們將會設計低耗電的感測器模組(sensor module)，並利用微機電製程設計製作氣體感測器：感測器電路模組的微處理器部份，我們採用TI(德州儀器)的MSP430，其功能方塊圖如圖 5-2 所示，特點為省電、硬體支援的週邊介面豐富、ADC(Analog to Digital Converter)的頻道數量充足，一般模式下工作電流僅有  $280 \mu A$ ，省電模式下僅有  $1.1 \mu A$ ，週邊支援 UART、SPI 和 I2C，擁有 8 個 ADC 輸入的頻道，用這顆微處理器來當 Smart Sensor 電路板的核⼼，不論是在將來的擴充性或是省電與功能上的需求，都可以達到相當的程度；氣體感測器預期將採用導電性聚合物來製作，因為導電性聚合物的物理特性為電阻值大，故在能源的消耗上是很節省的。在感測器介面的部份，我們把微處理器整合進感測器電路模組中，並將各種感測器傳輸介面整合起來，由微處理器統一運算處理之後，再使用 UART 技術做資料的傳輸。在本計畫，我們預期改善耗電量的問題，並將感測器介面統一整合，而且會設計並使用微機電製程製作屬於我們計畫所研發的微感測器。

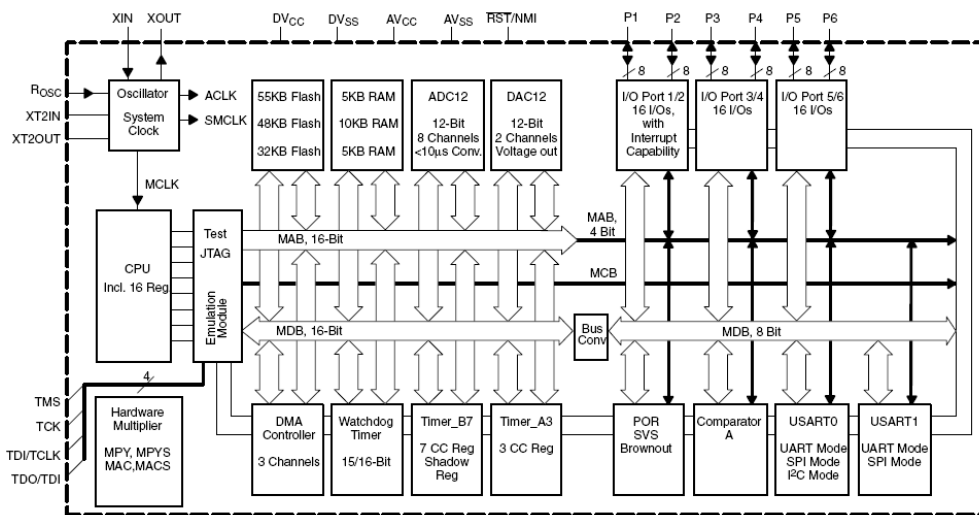


圖 5-2 MSP430F161X 的功能方塊圖

## 五、研究方法、結果與討論

在本子計劃中，第一年我們使用現有的商用產品，完成了數種感測器系統，包括溫度感測、溼度感測、照度感測，以及三軸加速度偵測、磁簧保全偵測與紅外線感測器偵測。就系統架構仔細地說明，本子計劃的微感測器電路與第四分項子計劃開發的無線網路系統使用的傳輸標準化介面為 UART，因為 UART 傳輸是基本的傳輸方法，絕大多數的系統都有支援，加上它歷史悠久，會使用此一傳輸法的單位也很多，在相容性或是推廣上，都能夠很順利的推展下去。進一步，本子計畫將發展之微感測器佈置於實驗展示空間內進行相關系統之驗證。

### 微感應器電路模組

#### (1) 溫度、溼度、光強度微感應器電路：

此種電路板，溫度、溼度感應器我們採用 Sensirion 的 SHT1X，單一感測器就可以偵測溫度與溼度，並可利用溫度值來對濕度數據做校正，因為是數位式的感測器，在資料的傳輸上不會造成誤差的產生，我們可以依照需求與預算的不同，挑選精準度不同的型號，基本上溫度會精準在  $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$  之內，相對濕度則是落在  $\pm 4.5\%RH$  之內；光強度感應器則是採用啟心實業的 CDS8P 光敏電阻，藉由光敏電阻的特性，串聯一個電阻，並提供高、低電位，就可以利用 ADC 來抓取信號，再經由微處理器換算得到環境的 Lux 值，由於此款光敏電阻供應商為台灣廠商，在取得上相當方便，成本也容易達到控制，雖然數值的準確度沒有 photodiode 理想，但對於一般使用者偵測環境中光強度的需求，已經是可以滿足了。整塊電路板能夠偵測環境中最基本的溫度、濕度、光，並將各分項子計劃的研究整合，已能夠滿足未來居家環境監控的基本需求。

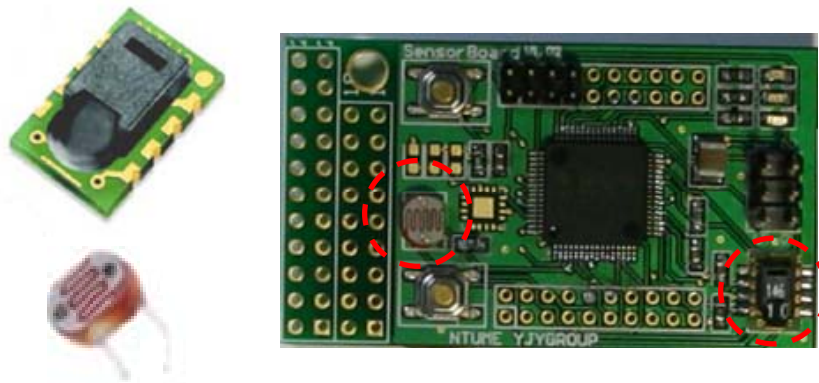


圖 5-3 溫溼度計、光敏電阻、溫度溼度光度感測器電路板

(2) 磁簧開關感應器電路：

市面上已經有許多磁簧開關，經過資料的搜尋與確認，我們向駿融企業購買 MC-12AW，不僅雪白的外殼相當美觀，連尺寸也比大多數的磁簧開關還小，功能上和一般的磁簧一樣。A 接點磁簧，當門窗緊閉的時候，接點會短路，當門窗打開達 3 公分以上，接點會變成斷路，藉此機制，利用微處理器的 GPIO 腳位偵測門窗的狀態，再把偵測到的狀態資料傳送給無線網路系統控制板。

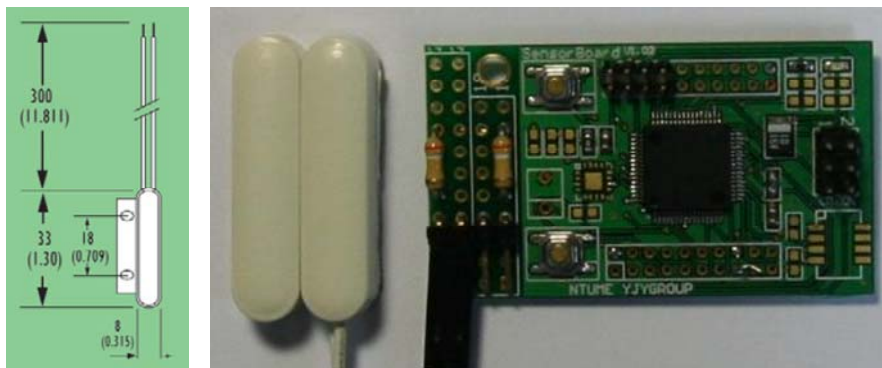


圖 5-4 磁簧尺寸、磁簧感測器電路板

(3) 紅外線感測器電路：

現今的保全系統，多把紅外線人體感測器裝置於電梯口、樓梯轉角、門口，並搭配燈具做自動控制。在電路板設計的部份，我們選用智慧科技出品的 RS-901 雙眼式紅外線人體感應器，電源部份接市電，感應角度廣，水平可達  $190^\circ$ ，鉛直可達  $125^\circ$ ，在訊號輸出則使用 N.O. (常開) 模式，當有人在偵測範圍內活動，輸出接點會變為短路狀態，根據此特性再串上一電阻，即可使用微處理器的 GPIO 腳位偵測狀態，確定是否有人員在此一空間活動。

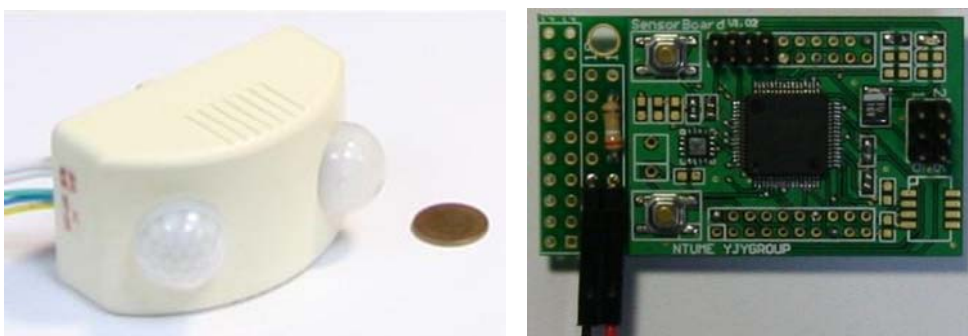


圖 5-5 紅外線感測器、紅外線感測器電路板

(4)三軸加速度計電路：

偵測加速度數值的電路板上，我們採取 MEMS(Micro-Electro-Mechanical Systems)製程的加速度計，Analog Device 公司的 ADXL330，可以同時偵測三軸的加速度值，可偵測範圍在 $\pm 3g$ 之內。

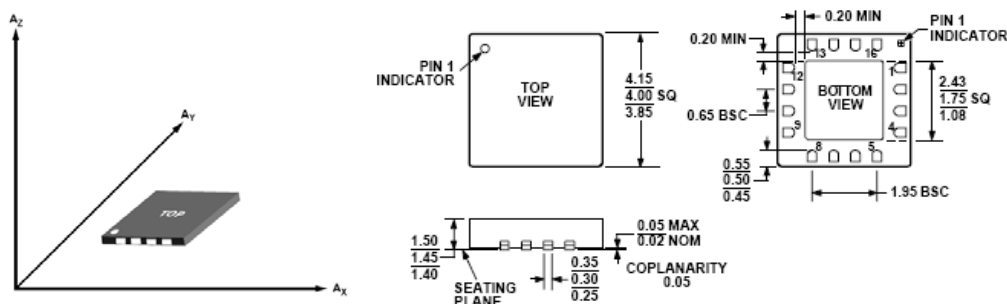


圖 5-6 加速度計 ADXL330 三軸方向圖、加速度計尺寸圖

由於此類加速度計電源使用 3V，與感測器電路板使用的微處理器 MSP430 相同，而且類比輸出信號也會落在 0~3V 間，可以直接用 MSP430 的三個 ADC 頻道來讀取三軸加速度數據，再經由公式換算，可得加速度  $g$  值。

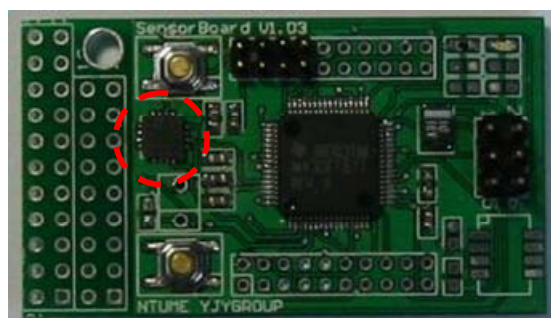


圖 5-7 三軸加速度計電路板

(5)微型動作感測器陀螺儀

傳統陀螺儀常應用於車輛、飛機等較大型機械中，利用其感測角速度的能力配合其他動作感測器，有助於駕駛員或電腦能有效了解目前的環境與機械的狀態，使其能即時作出判斷並反應，創造出一個安全的控制環境。而在文獻中，陀螺儀也被使用在人的四肢動作的感測(如圖 5-8)；陀螺儀應用在帕金森氏症患者身上，監測患者日常四肢抖動的狀態，有助於醫師了解病患的病情而做出正確的診斷，但由此也可看出傳統陀螺儀體積過大且有線路纏繞的問題，勢必會約束到病患真實的動作，而造成量測上的不準確性；因此陀螺儀的微型化與無線化將會有助於陀螺儀應用於人的動作感測，而隨著互補式金氧半導體製程應用在微機電系統(Complementary Metal Oxide Semiconductor- Micro-Electro-Mechanical System, CMOS-MEMS)；微型、低功率、低成本等優點，也有助於微陀螺儀感測器的應用範圍更為廣泛，如互動式遊樂器控制器、手機控制介面、空中滑鼠等，若配合三軸微加速度計，即可發展成所謂的運動感應技術；有朝一日，在空氣中比手畫腳來開啟家中電器也

將不是天馬行空。

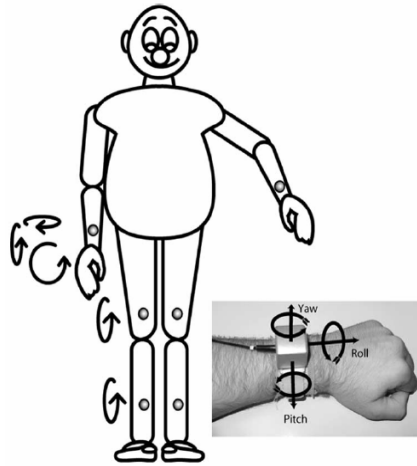


圖 5-8 陀螺儀應用於監測帕金森氏症病患之配置圖(A. Salarian et al., 2004)

本計劃中，採用的是已商品化的 InvenSense 公司所製造的微陀螺儀晶片 IDG-300(如圖 5-9)；雖然市面上不乏許多 MEMS 大廠已都有生產微陀螺儀晶片，但選用 IDG-300 晶片主要是因為其感測範圍達 $+500^{\circ}/s \sim -500^{\circ}/s$ ，符合人體動作感測上的需要，且其 3V 的供應電壓也符合本子計畫中要與其他子計畫整合所設定的供應電壓值，而其本身為二軸感測陀螺儀，可以同時感測 X 軸與 Y 軸角速度，增加可以感測的維度，表 5-1 為 IDG-300 晶片的規格參數：

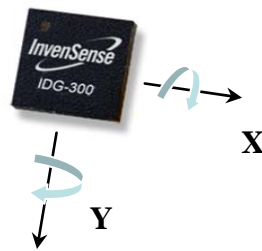


圖 5-9 IDG-300 晶片

表 5-1 IDG-300 規格參數表

	Min	Typical	Max	Unit
<b>Sensitivity</b>				
Full-Scale Range		$\pm 500$		$^{\circ}/\text{sec}$
Sensitivity		2.0		$\text{mV}/^{\circ}/\text{sec}$
Over Specified Temperature		$\pm 10$		%
<b>Zero-Rate Output</b>				
Static Output		1.5		V
Rate Noise Density		0.014		$^{\circ}/\text{s}/\sqrt{\text{Hz}}$
<b>Mechanical Frequencies</b>				
Resonant Frequency X-Axis	10	12	14	kHz
Resonant Frequency Y-Axis	13	15	17	kHz

Frequency Separation X、Y		3		kHz
<b>Power Supply</b>				
Operating Voltage Range	3.0		3.3	V
Quiescent Supply Current			9.5	mA
Over Specified Temperature		±2		mA
<b>Temperature Range</b>				
Specified Temperature Range		0~70		°

而微感測晶片一般為了客戶方便整合，訊號輸出常都以類比訊號為主，一方面少了數位電路亦節省晶片面積，一方面提供較原始的類比訊號方便客戶依其所需自行轉換，且目前市面上微控制晶片或是系統晶片(System On Chip, SOC)常包含類比轉數位 ADC 或數位轉類比 DAC 功能。固在本子計畫中，IDG-300 所產生的類比需先接上一些處理訊號的電路(如圖 5-10、圖 5-11)；對 X、Y 軸輸出訊號做低通濾波的動作，對內部放大器控制器迴路的補償電容等，之後會利用 TI 的微處理器 MSP430 內部的 ADC 功能將類比輸出訊號轉換成數位訊號，以便之後計畫之整合。

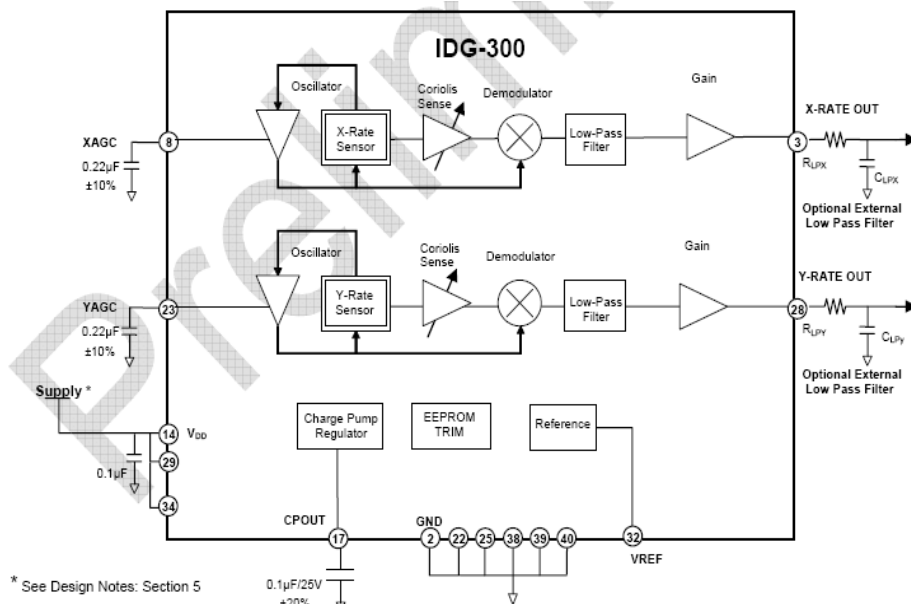


圖 5-10 外接元件線路圖

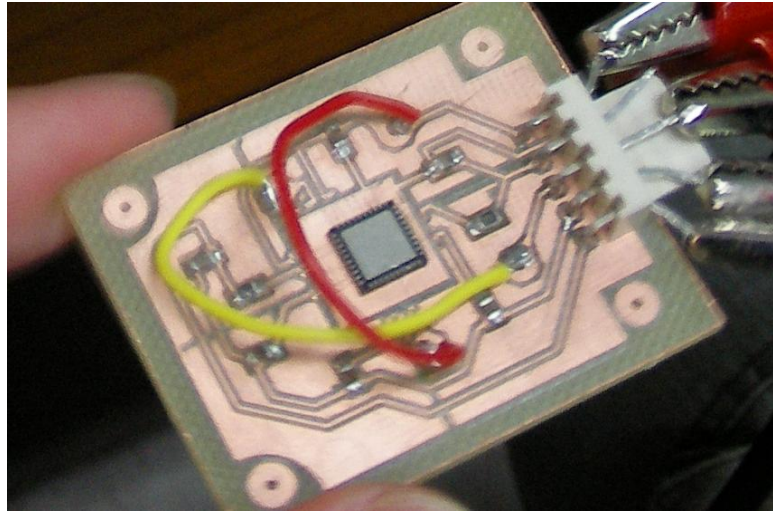


圖 5-11 測試的 PCB 板

#### (6) 二氧化碳氣體感測模組製作

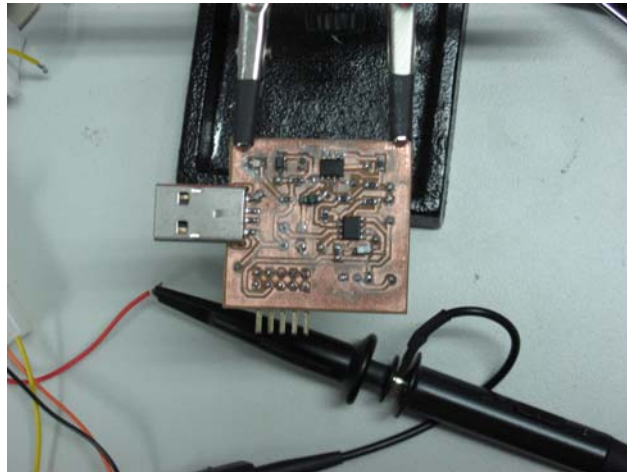


圖 5-12 製作完成之二氧化碳氣體感應模組

因應智慧居家生活環境監測之需要，本子計畫同時採用 FIAGRO 所發展之電化學式二氧化碳氣體感應器進行相關氣體無線感應模組之製作，如圖 5-12 所示，可偵測 10ppm ~ 3000ppm 範圍內之二氧化碳。

#### 展示空間之感測器佈置

本子計畫找到一處合適地點作為無線環境監控感測的空間，如圖 5-13 所示，目前已安裝完成的感測器包括磁簧開關(Reed Switch)與紅外線感測器(IR Sensor)，此兩種感測器一般應用於保全系統，以保障生命與財產安全，而溫度、溼度及光感測器已能順利感測環境的變化，預計在未來會將其配置於適當的位置。

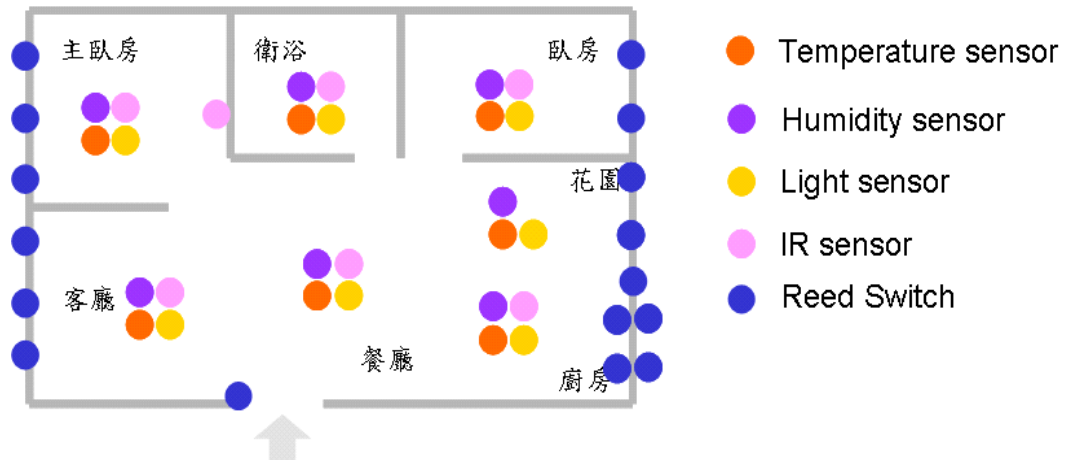


圖 5-13 測試環境平面示意圖

磁簧開關主要配置於房屋內的各扇門窗上，藉由量測其訊號以供居家安全的監測，如圖 5-14 所示，其操作原理是以磁簧管為主體將機械動作轉換為電子訊號之裝置，磁簧管平行放置二片低磁滯鐵性簧片且兩者間有一小間隙，當有磁場接近時，兩簧片重疊處會感應極性相反之磁性，簧片就會相吸形成一個接點動作，如圖 5-15 所示，因此當門窗為緊閉時，輸出低電位 0；反之，當門窗被打開時，輸出高電位 1。

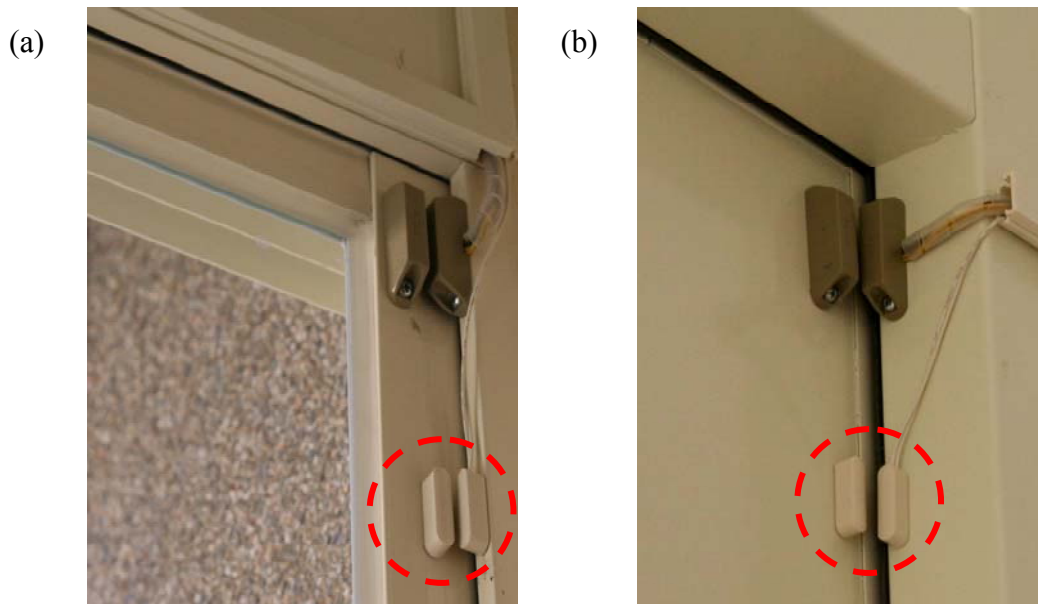


圖 5-14 磁簧開關安裝情況 (a)安裝於窗戶上照片 (b)安裝於門上照片

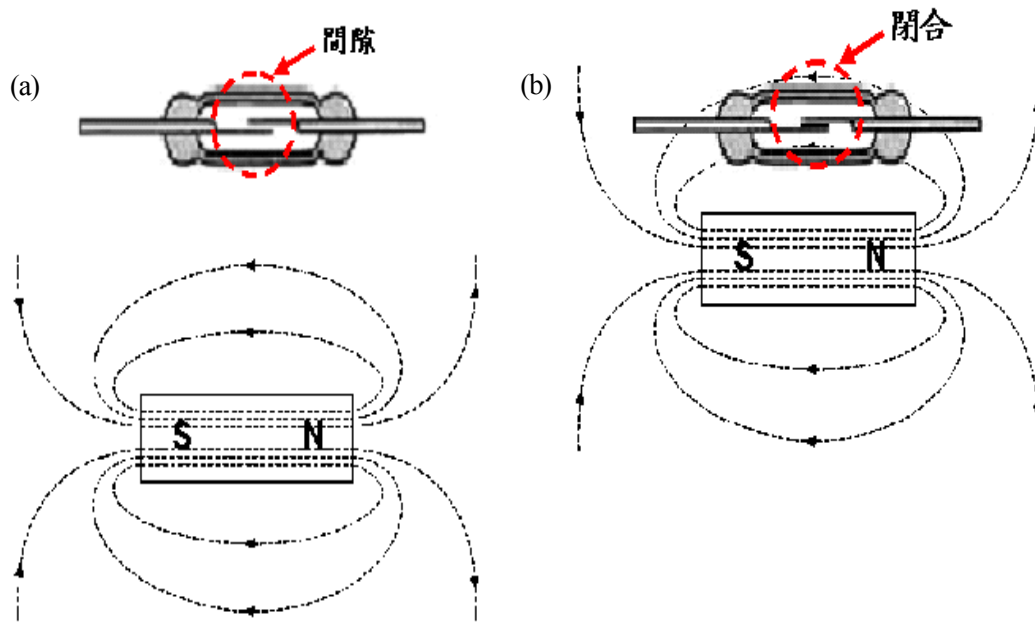


圖5-15 磁簧開關原理示意圖 (a)無感應磁場接近時，兩簧片為間隙狀態  
(b)感應磁場靠近時，簧片互相吸引而閉合

紅外線感測器佈置於各房間天花板上，用以隨時監控屋內是否有人在活動，如圖5-16(a)所示，其原理是偵測溫度的變化，接收所有熱體所輻射出來的紅外線，如果未感測到人體所輻射出的紅外線或沒有溫度變化時，輸出高電位1；反之，有感測到人體所輻射出的紅外線或有溫度變化時，輸出低電位0。此外另一組紅外線感測器安裝於主臥房衣櫃底下，如圖5-16(b)所示，此用意為偵測是否有人下床，對於智慧居家照顧的需求來說，這是非常好的配置。

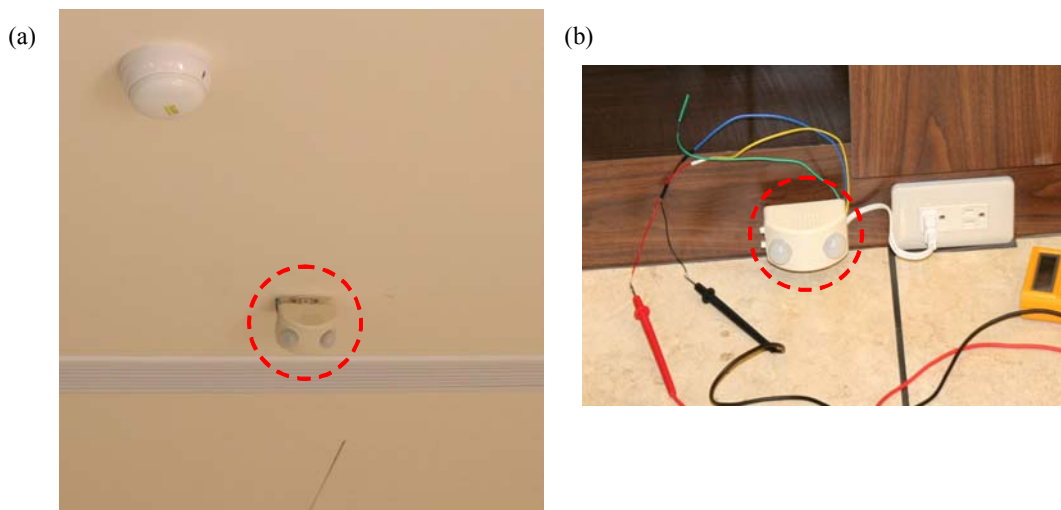


圖 5-16 紅外線感測器安裝情況 (a)安裝於天花板上 (b)安裝於主臥房衣櫃下

### 全新電容式微感測器開發

#### (1)濕度感測器(humidity sensor)感濕材質(sensing material)之塗佈製程及模擬

計劃第二年我們將開發溼度感測器，目前我們設計的濕度感測器原理是在指叉電極中間填入感濕材質。感濕材質在不同的空氣濕度下會吸入不同程度的水氣，進而造成感濕材

質導電係數(electric conductivity)的不同。因此只要我們量測指叉電極間的電容值，就可以反推得到目前環境中空氣的溼度是多少。

我們設計指叉電極以及量測電路是由交由國家晶片中心(CIC)代為製作，再自行進行後製程(post-process)。後製程之步驟大致如下：

1. 將晶片偏心固定在另一片矽晶圓(silicon wafer)之上，偏心的目的是為了在相同的轉速之下產生較大的向心力，使聚亞醯胺可以達到更薄的厚度。
2. 使用光纖(optical fiber)將聚亞醯胺塗佈到指叉電極之上。
3. 將指叉電極連同矽晶圓放到旋轉塗佈機(spin coater)上旋轉塗布聚亞醯胺。
4. 將濕度感測器放置在加熱板上，以 135°C 軟烤聚亞醯胺 30 分鐘後，再以 300°C 硬烤一小時，使聚亞醯胺固化。

指叉電極塗布聚亞醯胺示意圖如圖 5-17。

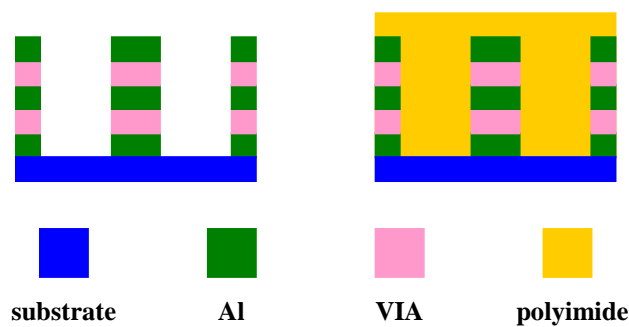


圖 5-17 指叉電極塗佈聚亞醯胺示意圖

## (2) 指叉電極的電容值模擬

指叉電極的電容值，我們用兩種方式去估算，第一種方式是直接計算電容的解析解 (Analytical solution)，方法是利用平板電容的模型去計算兩片指叉電極間的電容值。另一種方式是採用有限元素法(Finite Element Method, FEM)去模擬電容值，方法是用商用有限元素法軟體 CoventorWare 來做電容值的有限元素法計算。

### (a) 指叉電極的電容解析解 (Analytical solution)

平板電容的公式如下：

$$C = \epsilon_r \epsilon_0 \frac{A}{d}$$

其中  $\epsilon_r$  相對介電常數(relative dielectric)。  $\epsilon_0$  為空氣的介電常數(permittivity)，約為  $8.854 \times 10^{-12} (F/m)$ 。  $A$  為平板電極的面積。  $d$  為兩片平板電極之間距。如圖 5-18 所示。

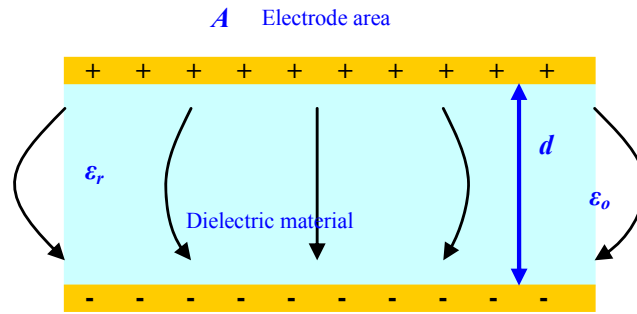


圖 5-18 平板電容示意圖

指叉電極之平板電容模型可表示如下：

$$C = \epsilon_r \epsilon_0 \frac{A}{d} \left( \frac{x}{t} \right) + \epsilon_0 \frac{A}{d} \left( \frac{t-x}{t} \right)$$

其中  $x$  為聚亞醯胺的厚度， $t$  為指叉電極的厚度， $d$  為兩個指叉電極之間距， $A$  為兩片指叉電極重疊的面積。其中  $\epsilon_r$  聚亞醯胺的相對介電常數，由聚亞醯胺廠商提供的資料可以得知在相對濕度為 10% 的時候，聚亞醯胺的相對介電常數為 3.1。 $\epsilon_0$  為空氣的介電常數

(permittivity)，約為  $8.854 \times 10^{-12}$  (F/m) (如圖 5-19)。而面積  $A$  又可以寫成電極中心線長度  $L$  乘上電極的厚度  $t$ 。將  $A = Lt$  代入後，電容  $C$  可以改寫如下：

$$C = \epsilon_r \epsilon_0 \frac{Lt}{d} \left( \frac{x}{t} \right) + \epsilon_0 \frac{Lt}{d} \left( \frac{t-x}{t} \right)$$

進一步整理可以得到如下：

$$C = \frac{L}{d} (\epsilon_r \epsilon_0 x + \epsilon_0 (t-x))$$

$$= \frac{L}{d} ((\epsilon_r - 1) \epsilon_0 x + \epsilon_0 t)$$

將指叉電極的幾何結構參數和聚亞醯胺的材料參數(如表 5-2)代入，就可以得到指叉電極的電容值  $C$  和聚亞醯胺的厚度關係如下：

$$C = 0.0134x + 0.0375$$

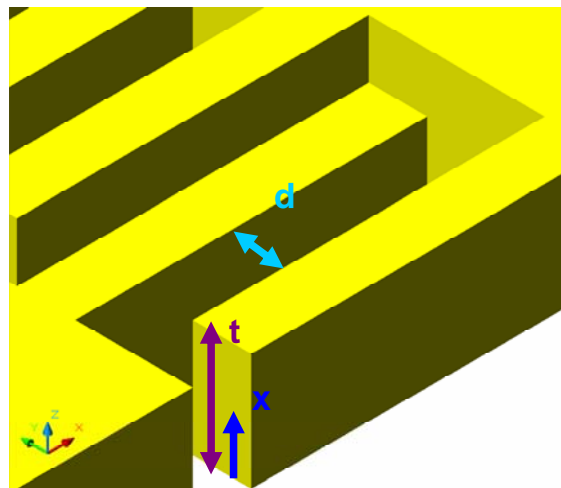


圖 5-19 指叉電極的幾何參數

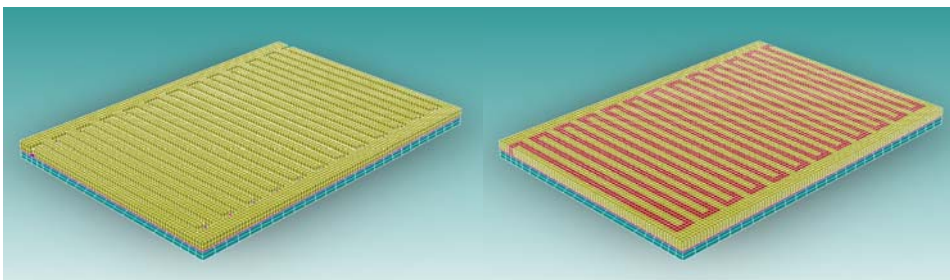
表 5-2 解析解之使用參數

Parameter	Value
$L$	Central length of the comb electrode 3605 $\mu\text{m}$
$t$	Thickness of the electrode 5.87 $\mu\text{m}$
$\epsilon_0$	Permittivity of the space $8.854 \times 10^{-6}$ pF/ $\mu\text{m}$
$\epsilon_r$	Relativity of permittivity (10%RH) 3.1
$d$	Width of gap 5 $\mu\text{m}$

(b)指叉電極的電容模擬值(simulation result)

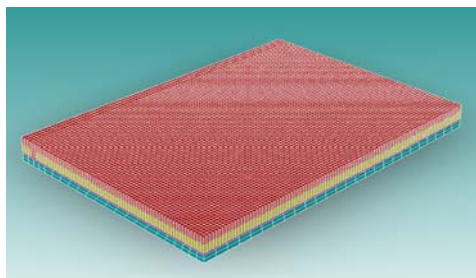
CoventorWare 是一套專門設計給微機電領域的使用者使用的有限元素法軟體，它的特色是可以用半導體電子製程的方式產生微結構的三維實體模型(3D solid modal)，再進一步的提供使用者做力學、靜電學、或者力電耦合的分析。

我們先使用商用繪圖軟體 AutoCAD 畫出指叉電極的光罩圖，之後在 CoventorWare 當中設計製程，最後再長出指叉電極的三維實體模型。我們根據不同厚度的聚亞醯胺產生不同的三維實體模型(如圖 5-20)，並計算出個別的電容值。



(a) 厚度為 0

(b) 厚度為 5.87 $\mu\text{m}$



(c) 厚度為 10 $\mu\text{m}$

圖 5-20 不同聚亞醯胺厚度的三維實體模型

因為指叉電極的基板(substrate)會影響指叉電極間的電容值大小，因此我們也做了含有基板的三維實體模型，來比較兩者的不同。兩種模擬的結果還有解析解如圖 5-21 所示。由圖中我們可以看到，聚亞醯胺的厚度從指叉電極的底部算起來，最好是在 7~11 $\mu\text{m}$  的範圍之間。因為指叉電極的厚度為 5.87 $\mu\text{m}$ ，因此在塗布聚亞醯胺的時候，厚度最好能夠在 1~5 $\mu\text{m}$  的範圍之間。

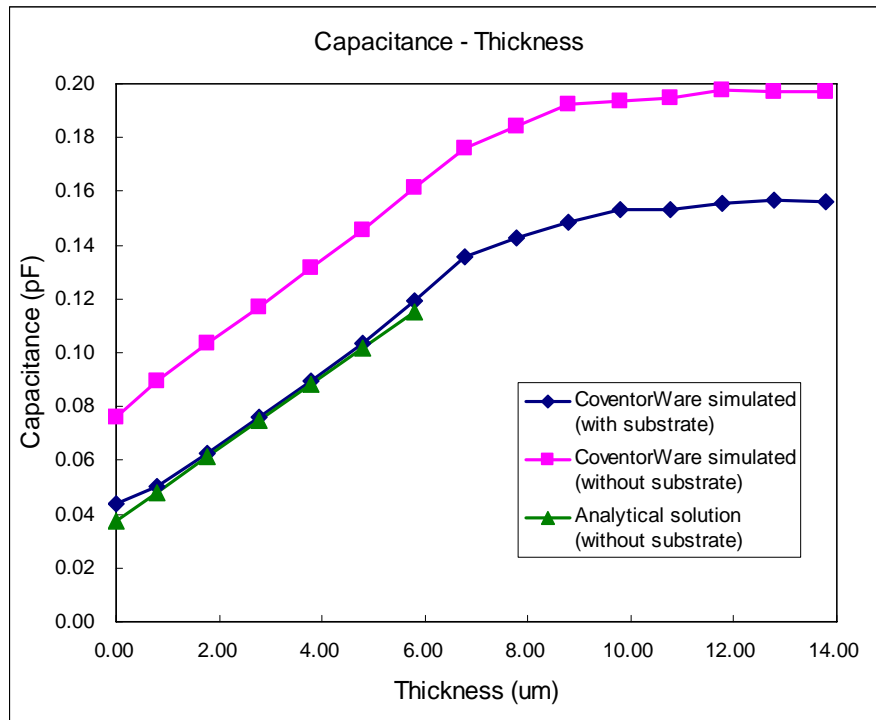


圖 5-21 指叉電極電容的比較

#### 六、計劃成果自評(請詳述第一年已達成成果)

如上所述，本子計劃第一年已完成：

- 甲、 開發出標準化介面之微感應器電路模組，並可配合無線網路系統
- 乙、 設計並製作溫度、溼度、光強度之微感應器電路模組
- 丙、 設計並製作可配合磁簧開關、紅外線感測器之電路模組
- 丁、 設計並製作三軸加速度微感應器電路模組
- 戊、 找尋一展示空間，並佈置磁簧與紅外線感測器
- 己、 抓取塗佈感溼材料於溼度感測器上之製程參數，並用軟體模擬最佳塗佈厚度

根據第一年計劃書提出之工作進度，皆已完成，進一步更額外製作多種感測器電路，例如磁簧開關、紅外線感測器、三軸加速度計，並且還找尋一展示空間佈置感測器，以利將來實驗與展示之用。為銜接第二年之研究計劃，我們也開始著手於微感測器之設計製作，在濕度感測器部分，我們進行感溼材料塗佈，藉由實驗得到旋轉塗佈機的參數，並且利用模擬驗證感溼材料厚度與電容的關係；在氣體感測器部分，本子計畫已經完成二氧化碳無線感測模組之研發，同時並進行低耗電量之全新一氧化碳無線感測器之製作。總上所述，本子計畫已確實達到預定目標並進一步發展第二年所需之先進無線感測器。

#### 七、參考文獻

1. Brand, O., "Microsensor Integration into Systems-on-Chip," *Proc. IEEE*, v94, pp1160-1175, 2006.
2. Grate, J.W. and Abraham, M.H., "Solubility Interactions and The Design of Chemically Selective Sorbent Coating for Chemical Sensors and Arrays," *Sensors & Actuators*

- B-Chemical*, 3, pp85-111, 1991.
3. Gu, L., Huang, Q. A., and Qin, M., "A novel capacitive-type humidity sensor using CMOS fabrication technology", *Sensors and Actuators, B: Chemical*, v 99, n 2-3, p 491-498, 2004
  4. Hagleitner, C., Hierlemann A., Lange, D., Kummer, A., Kerness, N., Brand, O., and Baltes, H., "Smart Single-Chip Gas Sensor Microsystem," *Nature*, 414, 293-296, 2001.
  5. Helal, S., Mann, W., Elzabadani, H., King, J., Kaddourah, Y., and Jansen, E., "Gator Tech Smart House: A Programmable Pervasive Space", *IEEE Computer magazine*, pp 64-74, 2005.
  6. Hierlemann, A., Brand, O., Hagleitner, C., and Baltes, H., "Microfabrication Techniques for Chemical/Biosensors," *Proc. IEEE*, v91, pp839-863. 2003.
  7. Hughes, R.C., Ricco, A.J., Butler, M.A., and Martin, S.J., "Chemical Microsensors," *Science*, 254, pp74-80, 1991.
  8. Kovacs, G.T.A., Maluf, N.I., and Petersen, K.E., "Bulk micromachining of silicon," *Proc. IEEE*, v86, pp.1536-1551, 1998.
  9. Lei, M., Choi, W., Siegel, R.A., and Ziaie, B., "An Ultrasensitive Chemical Microsensor Based on Self-Aligned Dry-Patterned Environmentally Sensitive Hydrogels." *Transducers*, pp1824-1827, 2005.
  10. Mizaikoff, B. and Kranz, C., "Interfacing Chemistry with Microdevices: Potential and Challenges of Chemical Microsensors," *Proc. of ASDM*, pp307-316, 2002.
  11. Muller, T., Brandl, M., Brand, O., and Baltes, H., "An Industrial CMOS Process Family Adapted for the Fabrication of Smart Silicon Sensors," *Sensors and Actuators A-Physical*, 84, pp.126-133, 2000.
  12. Yang, Y. L., Lo, L. H., Huang, I. Y., Chen, J. H., Huang, W. S., and Huang, R. S., "Improvement of Polyimide Capacitive Humidity Sensor by Reactive Ion Etching and Novel Electrode Design", *Proceedings of IEEE Sensors*, Vol. 1, No. 1, p 511-514, 2002.
  13. Harrey, P. M., Ramsey, B. J., Evans, P. S. A., and Harrison, D. J., "Capacitive-type humidity sensors fabricated using the offset lithographic printing process", *Sensors and Actuators, B: Chemical*, v 87, n 2, p 226-232, 2002.
  14. Laconte, J., Wilmart, V., Flandre, D., and Raskin, J. P., "High-Sensitivity Capacitive Humidity Sensor Using 3-Layer Patterned Polyimide Sensing Film", *Proceedings of IEEE Sensors*, v 2, n 1, p372-377, 2003.
  15. A. Salarian et al., "Gait assessment in Parkinson's disease: toward an ambulatory system for long-term monitoring," *IEEE Trans. Biomedical Engineering*, Vol. 51, No. 8, pp. 1434-1443, 2004.
  16. <http://focus.ti.com/docs/prod/folders/print/msp430f1611.html>
  17. [http://www.invensense.com/products/idg\\_300.html](http://www.invensense.com/products/idg_300.html)
  18. <http://www.analog.com/en/prod/0%2C2877%2CADXL330%2C00.html>

子計劃名稱：無線感測網路之示範應用

主持人：傅立成(國立臺灣大學 電機)

共同主持人：陳俊杉(國立臺灣大學 土木系)、蕭子建(國立交通大學 資工系)

## 文獻探討

如 MIT 的 House n [1] 研究計畫，透過無線感測網路於一房兩廳居家環境的佈設，藉此探討相關產品與創新服務的可行性[2-4]。又如 u-Japan [5]研究計畫則希望透過無線感測網路的普遍佈設，協助解決未來社會可能面臨的問題，如社會老年化、雙薪階級對下一代的教育、石油能源枯竭等。在環境安全監測方面，無線感測網路技術的應用(application)更是近年許多國際研討會非常重視的研究議題，如 2005 在 Stanford 大學舉行的第五屆國際結構健康監測研討會 [6]，主要研發方向即在探討無線感測網路的應用。

## 研究方法 (achievements)

本子計畫將從居家智慧生活、生理訊號監測與橋樑結構安全等三個子題來探討無線感測網路的示範應用情境。第一年預期完成之工作項目如下：

1. 擬定無線感測網路的應用情境: 從無線感測網路的相關應用領域進行文獻瀏覽及討論，找出適合無線感測網路應用的相關情境，並設計出各項相對應的細節。
2. 無線感測網路應用情境的實現與調整: 購置市面上的無線感測網路產品以實作上述情境，確認情境的可行性及各項細節，並因應可能的變化及實際應用上的困難與不便之處，對應用情境作適當的調整。

基於上述之研究動機與目標，底下將針對本計畫之三項重點子題分別詳述今年之研究方法與所提出之相關技術。

### 子題一 居家智慧生活之應用情境與示範應用：

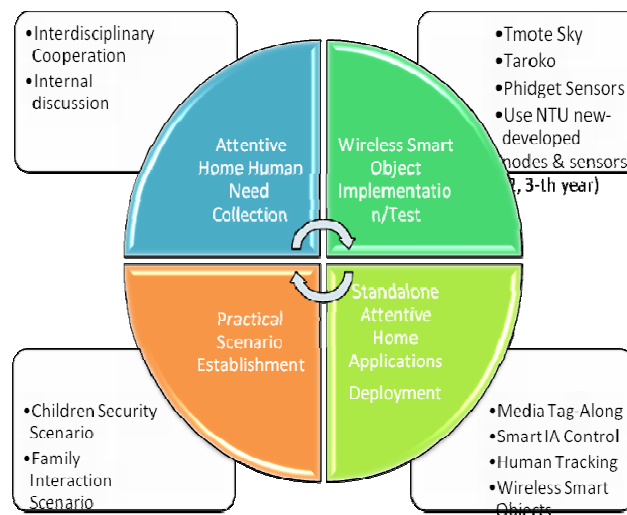


圖 6-1 智慧屋的示範應用情境規劃流程

如圖 6-1 為本子題的情境規劃流程，底下就各個單一程序逐一說明：

1. Attentive-Home Human Need Collection: 為了達到上述的工作目標，本子題透過與人文社會等系的跨領域合作來連結真正的生活需求。因為，高科技不等同於智慧化，要符合人們真正的需求，才能稱為有智慧。無線感測網路雖可建構居家智慧生活技術的下層骨

架，但真正上層核心與應用需要有人文與創意的融入。從跨領域充分討論與交流當中，我們瞭解智慧家庭可以針對不同的家庭成員隨著時間的演進來扮演不同的角色。為了能盡力滿足各項需要，我們將討論的結果初步分類成短、中、長期可實現的應用，並從中先挑選較為急迫且短期可實現的部分當作第一年的研究主題。因此，我們應用此一原則挑選需求急迫性較高的幼童居家安全與老年人居家照護(包含高齡照護幼童的三代同堂之家庭結構)作為本年度的研究目標。

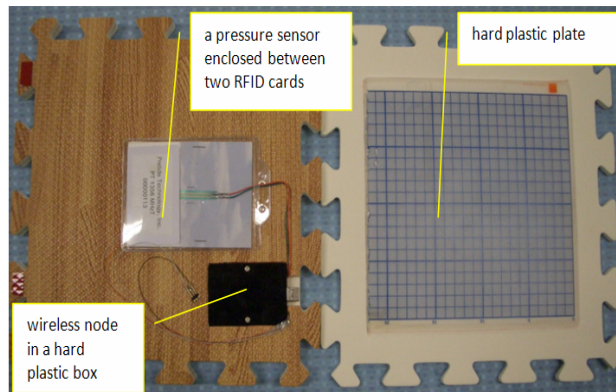


圖 6-2 無線壓力地板雛形

2. Wireless Smart Object Implementation/Test: 從所收集的短期需求中，我們分析且發掘必要的設備需求，再從無線感測網路的相關應用領域發想如何去建構各種無線的智慧元件(Smart Object)。這些元件核心為含有嵌入式的中央處理器加上週邊的無線感測與通訊模組，它的智慧除了來自本身的資訊處理能力之外，更取決與系統上層資料彙整與推論系統的密切整合。本子題第一年的實現主要先購置市面上的現有產品來做初步的驗證。因此，目前無線通訊模組採用于計畫一的成果(super node: Taroko) 或是購置 Tmote Sky，感測器部分則採用 Phidgets 公司的產品來初步實現部分應用情境所需的獨立智慧元件，未來兩年再以 WSN 其他計畫自行開發的無線感測網路設備與感測元件來取代目前已完成應用的現有元件，並從兩者的實際應用來比較異同之處，最重要的是，我們可將研究與分析的結果或建議回饋給其他子計畫的設備提供者參考，以做為未來改進的依據偵測。圖 6-2 為因應本計畫所設計的無線感壓地板的雛形，該地板以易佈建、易更換、高成本效益為設計目標。另外，為了更精確地偵測環境的變異與室內人員的活動，本子題亦整合了 Taroko 與 phidgets 的其他感測器來擷取各種有用的環境與人員之資訊，目前完成的雛形以及其功能之摘要如表 6-1 所示。將來，除了硬體全面替換成校內的元件之外，也會陸續再加入新的感測器與智慧元件來豐富展示情境並更貼近使用者的需求與期許。

表 6-1、目前已完成雛形設計的感測元件列表

無線智慧元件/感測器	用途
壓力地板	室內人員追蹤，定位
壓力座墊	室內人員定位
壓力地墊	室內人員定位 (可隱藏在一般地毯下，安裝機動性較壓力地板高)
電流、電壓感測器	家庭電器之使用
溫度、濕度、光度、二氧化碳、一氧化碳	生活環境偵測
磁簧開關、接觸開關	偵測門窗之開閉或家電、物品之使用
三軸加速器	偵測室內物品之使用或當作人機介面
紅外線活動感測器	人員或物體活動偵測

3. Standalone Attentive-Home Applications Deployment: 雖然上述的智慧元件可以擷取環境的基本資訊與室內人員的活動的原始訊息(raw data)，但是，沒有配合適當的資料融合(data fusion)以及上層的推論機制來產出進一步的資訊，系統便無法有效掌握環境與人員即時的變遷，因此，本項目的重點便是著眼於此。如**錯誤! 找不到參照來源。**所示，從底層的一種無線感測器先收集環境與人員的原始訊息，並從中粹取特徵訊息(feature)，之後再根據特徵訊息的可用性(usefulness)進行排序便可知悉哪些特徵訊息比較有用並忽略那些無關緊要的 feature，如此可進一步增進系統效能並節省系統整體的處理負擔。接下來，更上層的資料融合與推論機制主要任務是可先將特徵訊息加以整併後，再進行更高階 context 推論。透過此層層分工的架構，在上層的系統便可獲知更可靠且更高階的訊息來藉此判斷環境中的變化以便及時因應或是提供即時的服務。透過此一機制，我們便逐一創建有用的智慧生活運用。舉例來說，我們目前已經部分完成如下運用並可在將來進一步強化或擴充：

- Service Tag-Along: 可透過無線壓力地板或地墊來完成服務跟隨的功能。例如，電視或廣播節目可以因應被服務者的位置而及時轉移至適當的位置的播放器上無間斷地播放。
- Smart IA Control: 配合無線感應器的資訊，可以自動監控家電產品的運作。
- Human Tracking: 利用無線感應器（例如無線壓力地板或是地墊等）可以作室內人員的即時追蹤，進而提供適切的服務。
- Wireless Smart Objects: 無線智慧元件除了可加強資訊收集外，更可豐富規劃的情境。

本子題目前著重於生活空間內外的環境感測(如溫度，濕度，照度等，並推論適切服務以增進生活的舒適度)以及空間內居住者的活動行為偵測（例如移動/靜止/位置，看電視，聽音樂、打電話等等活動，並推論適切服務之提供並增加人機互動的多樣性）。換言之，智慧生活空間的應用可以根據居住者的活動與環境的狀態推論當時的情境，進而對環境作出改變或與使用者進行適當的互動。於此研究中，活動辨識估算(activity recognition estimation)的問題可以描述成事後機率最佳化的問題(the maximum a posteriori MAP)，可表示如下：

$$A_k^* = \arg \max_{A_k \in \Omega} P(A_k | Z)$$

其中  $A^*$  表示一個估測之人體活動， $\Omega$  為所有可能之活動之集合， $Z$  為經由 WSN 感測器所收集到的特徵向量。在感測器資料融合與推論的實作上，因為家庭環境中充滿不定性因素與干擾，目前乃採用多重貝氏網路的機率模型(multiple naive Bayesian models)來建構活動辨識的基礎模型，如圖 6-3 所示。根據貝氏網路(Bayes Rule)的定義，此架構可進一步分解成：

$$p(A_k | Z) \propto \beta \cdot \left( p(l_k | A_k) \cdot \prod_i^{R_k} p(f_{ki} | A_k) \right) \cdot \left( p(R_l | l_k) \cdot \prod_i^{R_k} p(R_{ki} | f_{ki}) \right) \cdot \left( p(O_l | l_k, R_l) \cdot \prod_i^{R_k} p(O_{ki} | f_{ki}, R_{ki}) \right)$$

參數定義與進一步的推論陳述，敬請參閱 [7]。系統在得知環境與人員的現有狀態之後，透過「多人喜好學習系統」可預測每個使用者個人喜好，並產生推薦服務的訊息給使用者，詳細說明，敬請參閱 [8]。

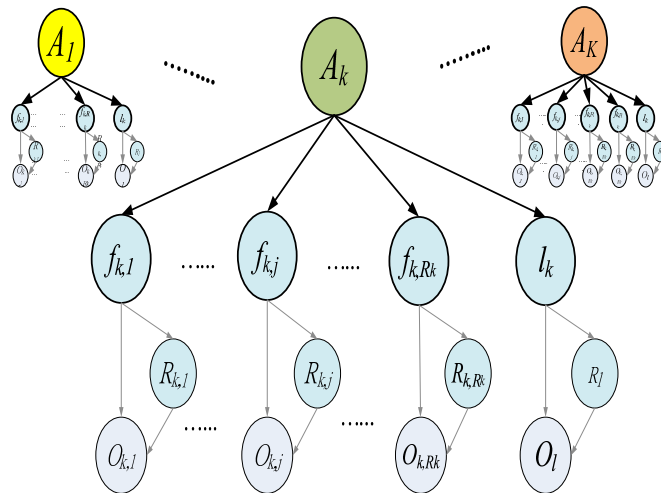


圖 6-3 多重貝氏網路的機率模型

4. Practical Scenario Establishment: 為了更有效且流暢地展現研究成果，我們必須結合並串整環境與居住者的各項應用以能完整呈現最初的訴求。本子題從以下兩個方向進行情境規劃：

靜態 - 人員資訊與環境狀態的感知：藉由智慧生活空間的各項輔助機能，獲知空間中的使用者身份及環境狀態，並對環境進行相對應的調整。例如：溫濕度感測器可以瞭解環境狀態，RFID 則可以辨識使用者身份，將這些感測器結合無線感測網路，將可以方便地感測使用者的身份及其所處的環境狀態，而這些資訊傳回智慧生活空間系統後，系統可以根據使用者的喜好習性作為系統調整環境的依據。

動態 - 人員活動與器具使用的偵測：藉由感測器傳回來的資訊，智慧生活空間可以瞭解人員在空間中的活動及各項器具裝置的使用情形，並進而作出適當的回應或處理。例如：將三軸加速器與無線感測網路結合後，可以偵知空間中各項器具裝置被使用的時間及狀態，或是以簡單的震動感測器瞭解使用者的活動程度，而這些資訊還可以與其他高階智慧感測系統（如：影像辨識系統）的資訊彙整。

最後必須強調的是，圖 6-1 採規劃循環的用意主要是情境規劃是需要隨計畫進行調整的。換句話說，情境規劃後可能會衍生出新的需求，抑或必需實際驗證各項應用是否的合乎原本的需求，如此，便一再重複開發、測試與修正的程序，最後能讓成果展現更臻完善。

子題二生理訊號監測之應用情境與示範應用：

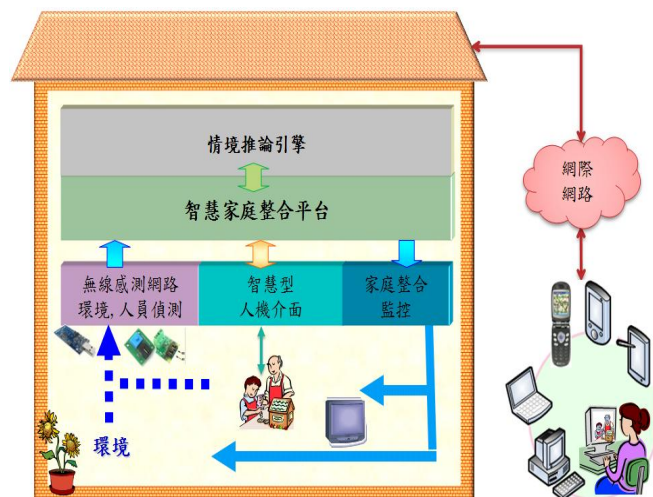


圖 6-4 居家智慧生活情境之系統展示架構

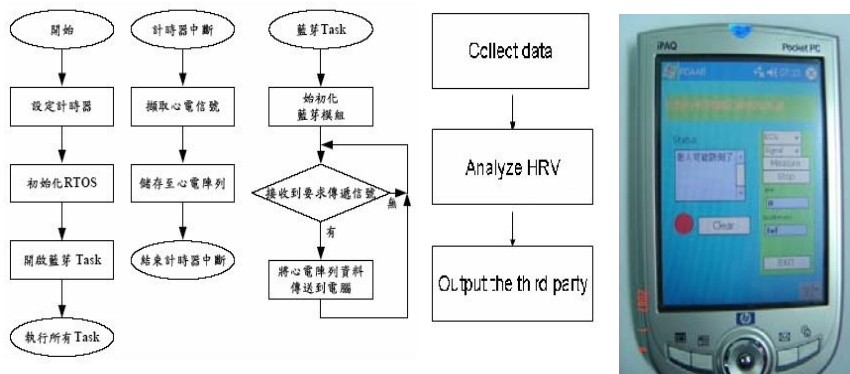
針對急迫性高的幼童居家安全與老年人居家照護等目標之實現，將動態擷取被照護者(生理訊號被監視者)的生理訊號，並且配合自行研發的判斷邏輯，來進行居家安全的情境規劃與示範應用。其中，值得我們探討的居家環境是：由於科技進步(經濟結構轉型)、社會變遷(家庭制度的變革)、以及國人價值觀念改變(兩性平等)的世代來臨，促成現行家庭結構已產生遽變。就兒童需求與問題而言，工商社會發展後，家庭功能隨之變遷，學齡前嬰幼兒之照護除了可由仿間的托育服務網路來照護外，也大都由高齡長輩來進行直接與間接照護。因而三代同堂的家庭生活成行。我們預設定生理訊號監測之應用在於高齡長者在居家照護學齡前嬰幼兒之情境，進行示範應用。

我們從幾項要素來分析所預規劃之情境，有高齡長者之家庭需求、學齡前嬰幼兒與高齡長者之互動、無線生理訊號監控設備之規範、以及生理訊號監控之邏輯判斷等。我們分別述敘如下：

1. 高齡長者之家庭需求：社會變遷促成夫妻雙薪的情況日益多見。然而，對於有學齡前嬰幼兒的小家庭而言，交付給外界的托育中心或者委請高齡長輩來照護已是需要面臨的抉擇。倘若小孩為二個、或者因應內政部獎勵方案下第三個以上的小孩出生，則取捨托育中心而決定三代同堂的家庭更為多數。因此，如何規劃好的生理訊號監控網路，並且符合高齡長者與學齡前嬰幼兒之所需，實為情境規劃過程中所需要考量的議題。
2. 學齡前嬰幼兒與高齡長者之互動：學齡前嬰幼兒無法採用完整且符合邏輯的言語來表達情緒反應，也因為如此，原先高齡長者從被照護者的腳色，亦扮演著協同照護者。居家健康照顧的設計多了一層互動情況需要考量。
3. 無線生理訊號監控設備之規範：現行生理感測器，擷取條件與環境，皆屬於靜態情況下來進行的。但是，對於有自主能力(或者部份自主能力)的高齡長者而言，如何在佩帶的過程中而不會影響居家生活，並且進而擔任協同照護者來照顧學齡前嬰幼兒，視為無線生理訊號感測器在設計過程重要的考量因素。我們考量活動能力，決定此裝置需求為腰帶式，如下圖所示。



4. 生理訊號監控之邏輯判斷：我們先針對 ECG 生理訊號進行傳遞、儲存、以及分析判斷。由於應用情境規範在高齡者之照護上，因此，先針對起身前後的生理反應進行邏輯判斷。並且將此情況透過無線感測網路的協助，將訊號傳遞至 PDA 手機上。



子題三通風系統之應用情境與示範應用：

本研究以通風為研究主軸，主要目的是希望透過感測器與無線感測網路的無所不在偵測，解析室內環境狀況，並配合風扇、冷氣機等設備的連動與節能建材的運用，創造舒適、健康與節能的室內環境。

室內舒適健康的評估標準，可分為兩部分來探討：一是有關於室內熱舒適度的評估、二是有關於室內空氣品質的評估，分別簡述如下：

1. **室內熱舒適度評估** - 對於居住者之熱舒適度，其考慮範圍主要包含環境物理條件、居住者生理條件、與媒介條件 (McNall et al. 1967)。環境物理條件包括氣溫、平均輻射溫度、相對溼度、氣流、風速及空氣品質；居住者生理條件包括年齡、人種、性別、體格及生理健康情形；而媒介條件則包括活動量、衣著量、季節之外氣條件及心理因素等。這些參數的改變為造成熱舒適值改變的重要因子。另關於室內環境的舒適範圍，也會隨著不同的風土氣候而有所差別，由表 6-2 可比較出美國、日本以及國人對於舒適度的差異，由於台灣屬於海島型氣候，所以能夠忍受之相對溼度也較其他兩國較高。目前關於溫熱環境舒適度有許多指標，如有效溫度、不快指數及 PMV-PPD 值等。其中 PMV-PPD 指標是一個較全面的熱舒適指標，並為國際標準組織定為評估指標 (ISO 7730)，故本子計畫以 PMV-PPD 值作為室內溫熱環境之主要評估指標。PMV-PPD 指標為丹麥學者 Fanger (1972) 提出，PMV 之全名為 Predicted Mean Vote，意為表決的平均預測值。而 PPD 之全名則為 Predicted Percent of Dissatisfied，意為預測不滿意百分比。PMV 是運用統計法得出許多受測試者，在特定的測量環境裡，對一些環境條件所做出的主觀評估，而定量出之一函數關係：

$$PMV = f(T, \varphi, \theta, v, m, R_{cl})$$

其中  $T$  為室溫、 $\varphi$  為相對溼度、 $\theta$  為皮膚表面平均溫度、 $v$  為氣流速度、 $m$  為代謝率、 $R_{cl}$  為著衣量。PMV 值共分為 7 個層級，範圍由 -3 (極冷) 至 +3 (極熱)，中立點 0 代表熱感適中的狀況，其各值所代表之熱感覺如表 6-3 所示。而 PPD 指標可視為 PMV 值指標的延伸，常搭配被採用來估計人體對環境的不滿意程度。而根據 ISO 的舒適指標 (ISO, 1995) 建議值為下， $-0.5 < PMV < 0.5$ ， $PPD < 10\%$ 。

表 6-2 美國、日本與台灣人體舒適範圍比較

項目		內容		
溫度	冬季	20°C~23.5°C	17°C~21°C	18°C~23.8°C
	夏季	23°C~26°C	20°C~24°C	22.6°C~26.8°C
相對溼度		30%~65%	40%~60%	55%~65%
參考資料		ASHRAE Standard-55 (1992)	日本	洪增淵, 2004

表 6-3 PMV 值與人體舒適度之對照 (Fanger, 1972)

PMV 值	人體舒適感	
+3	Hot	炎熱
+2	Warm	熱
+1	slight warm	暖
0	Neutral	舒適
-1	slight cool	涼
-2	Cool	冷
-3	Cold	寒冷

2. **室內空氣品質評估** - 室內空氣品質的評估主要以二氧化碳與懸浮粒子含量作為標準。二氧化碳之濃度我國管制標準大多為勞工作業環境空氣容許濃度標準。而美國

ASHRAE 中，二氧化碳的濃度則為必須控制在 1000ppm 以下，日本更是推薦在 600ppm(洪增淵，2004)。懸浮微粒則泛指懸浮在空氣中之固態、液態或氣態物質，其濃度足以威脅健康，如塵蟎等。表 6-4 為各國室內空氣品質標準值或建議值。其中 PM<sub>10</sub> 指氣動粒徑小於 10 $\mu$ m 之懸浮微粒。

表 6-4 各國室內空氣品質標準值(勞工安全衛生研究所)

內容物	中華民國	美國 ASHRAE	加拿大	日本	歐洲	新加坡	香港	WHO
二氧化碳 (ppm)	500	1000	<3500	1000	—	1000	—	920
懸浮微粒 ( $\mu$ g/m <sup>3</sup> )	PM <sub>10</sub> 150	—	PM <sub>10</sub> <40	PM <sub>10</sub> 150	—	PM <sub>10</sub> 150	—	100-120

## 結果與討論 (deliverables)

居家智慧生活之應用情境與示範應用：

(a) WSN 在智慧屋的示範應用情境：

本章節列出目前規劃有關於小孩安全、老人照護以及增進家人互動的初步情境，配合預算將製作成 Flash 檔案以活潑生動的方式來動態展示 WSN 的應用情境。情境中的部分應用與智慧元件目前已經完成或是具備雛形。

情境一：

小安是一個小學生，他們家是雙薪家庭，父母都在工作，也常常加班到很晚，所以小安晚上大部分都和年老的爺爺兩個人在家。學校放學後，系統偵測到小安回到家中(RFID)，由於小安鼻子容易過敏，因此系統自動調整為適合小安的環境(根據 WSN 數據和訂定的 threshold 值)，太悶熱時則啟動通風設施(打開氣窗增加空氣對流或其他通風設施)。隨後，媽媽從遠端透過電腦或 PDA 用 web camera 觀看家中，看到爺爺在客廳電視開著而睡覺，而小安在書房寫功課，媽媽查看了無線 sensor 讀值後(溫度、亮度)，透過 web remote control 替爺爺關掉電視並調整溫度，媽媽先用語音提示小安環境太暗，然後也幫小安調亮了燈光。在小安爸媽回家之前，系統偵測出家中窗戶打開了(窗戶上有磁簧搭配壓力地板的感應，可區別是被風吹開、居住者打開或是小偷潛入)，但隨後系統並未從壓力地板及 camera 偵測到移動的人物，所以並未報警，只通知屋內的人窗戶被打開了。

情境二：

1. (WSN for automatic HVAC control, security) 退休閒賦在家的老王，獨自居住在佈建好 WSN 的 Smart Home 中。一天傍晚，門口的人員辨識系統得知老王返家，便從資料庫擷取老王的先前喜好，自動調節室內的溫溼度，使其一直保持在均溫舒適的設定下。
2. (WSN for Activity Recognition) 老王返家後先進廚房燒開水準備泡茶，之後由於他今天在外運動稍微過度，回到客廳後不久便在沙發上睡著了。Smart Home 偵知老王一直坐在沙發上，且並未觀看平日愛看的電視節目，加上系統也偵測到有高血壓的老王並沒有定時服用藥物，因此 Smart Home 認為目前是異常狀況。但因為家中的語音提醒系統剛好故障，Smart Home 便將此一訊息經由彙整，轉送給遠端正在加班的小王，其桌上的數位相框便自動顯示此一警告訊息。
3. (WSN for remote control, service provision) 憂心的小王先遠端登入 Smart Home，發現廚房沒人卻有部分區域溫溼度異常，於是利用遠端監控，先行關閉廚房的爐具。接下來，小王利用桌上的數位語音視訊系統，直接與老王聯繫。Smart Home 得知有人 call in 並因為老王在客廳沙發上，便就近打開電視，喇叭與麥克風，老王被鈴聲吵醒，小王便順利表達關切的問候。

4. (WSN for security and health) 臨睡前，老王躺回床上，Smart Home 偵測老王即將就寢，便自動進行家中安全檢測，發現客廳的窗戶未關好，Smart Home 透過語音提醒（已修好）老王，於是老王起身去關窗後再次躺回床上。此外，由於 Smart Home 偵測老王要就寢，便根據資料庫取得老王的先前喜好，自動調節室內的溫溼度，使其一直保持在適合健康睡眠的溫濕度設定。此後，Smart Home 便自動啟動防盜安全監視子系統來確保居家安全。

(b) WSN 智慧元件設計：

目前智慧元件主要是運用溫度、溼度、壓力、氣體、紅外線等感測元件的偵測，充分收集環境與人員的資訊，經由低成本、短距離、低輻射之無線感測網路技術的傳輸，達到智慧化生活的各項需求與應用。表格 6-5 列出目前各項雛形的現況與未來可以改進之處。

表格 6-5、目前已完成雛形設計的感測元件列表

無線智慧元件/感測器	現況	未來兩年
壓力地板	已完成四塊雛形地板	改用校內的 sensor node 取代現有的 tmote sky。另外，尋求與外面廠商一同研發並促成產品化
壓力座墊	已完成一塊雛形座墊	
壓力地墊	已完成一塊雛形地板	
電流、電壓感測器	已完成單一雛形（此部分謝謝計畫一的協助）	改用校內的 sensor node 取代現有的 tmote sky。原 phidegets sensor 部分也會採用校內開發的成品。
溫度、濕度、光度、二氧化碳、一氧化碳	已與 Taroko 結合	
磁簧開關、接觸開關	已與 Taroko 結合	
三軸加速器	已與 Taroko 結合	
紅外線活動感測器	已與 Taroko 結合	

生理訊號監測之應用情境與示範應用：

本章節列出目前規劃有關於高齡長者與學齡前嬰幼兒互動與照護之間的初步情境。配合我們已經在智慧生活空間、小產學計畫等計畫的進行，整合來呈現應用情境之互動情況。科技進步與社會人文的結合，將會是此子項計畫的發展核心主軸，而生理訊號監測實為個人化與生理性緊急情況發生時，最佳且最為直接的判斷依據。

情境一：

小安是一個小學一年級新生，在家庭成員中，尚有兩位弟弟，分別就讀幼稚園中班(暱稱二寶)與開始會盤座八個月大的三寶。父母親雙薪工作維持家庭開支。由於時序邁入九月，大寶與二寶白天可以到學校、安親班上課。三寶仍需請人照料。由於小安的爺爺有在電視機前睡著的經歷，對於學齡小孩之託護尚可，但是對於三寶的照護則最後請小孩的奶奶來幫忙。奶奶願意來幫忙，但由於奶奶有內分泌相關的遺傳史，促使有輕微的高血壓，並且心跳較快、容易緊張的徵兆。由於白天只有奶奶一人與三寶同住，在外工作的媳婦可透過通訊、網路設備連線至家中，觀察環境參數，對於照護三寶的情況可間接參予並且提供奶奶意見支援。況且，在奶奶身上有配合目前台灣已商業化且有專利保護的腰帶式 ECG 生理參數監測系統，一次充足電後，可連續使用上八個小時，並且可採用無線方式，將生理訊號傳遞至資料庫儲存。配合其他感測器，媳婦可以知道奶奶與三寶互動現況，尤其在長達 9 小時的照護過程，隨時監控奶奶的心跳變化情況，以及因為照護嬰兒過程時身體所產生的變化(交感副交感拮抗作用)。

情境二

(奶奶有著一般婦女常見到的膝蓋軟骨退化之徵兆，雖然已經服用藥物並且適時地補充鈣質，但是，或許是停經之緣故與肌肉退化，已影響平日居家必要性的動作。三寶在洗完澡、

喝完奶水後，會有規律性睡覺，奶奶也藉機休息在床上平躺，讓脊椎與膝蓋因為長時間站立的壓迫情形紓解一番。由於今天隔壁整修時間離前且未先知會奶奶，在三寶入睡後進行敲牆工程，也因而驚醒了奶奶與三寶。由於奶奶聽到三寶的一聲哭聲，立即地下床，也可能因為沒有軟身，導致在床邊跌倒。此時，腰帶的ECG生理監控系統擷取到此訊號，並且透過我們研發的判斷邏輯，即時通知媳婦了解情況。在此過程中，並且將奶奶的跌倒前的生理訊號從資料庫調閱出來，比對現況並且提供媳婦進一步進行判斷。還好，由於奶奶在起床姿勢過程得宜，並沒有造成立即性的危險，媳婦與奶奶透過即時系統關心後，並且關心三寶的情況，也順利地讓解除此情況。媳婦後來透過同步視訊系統，要求管理委員會所屬保安人員，過去了解情況，並且要求立即停工、扣抵施工保證金、以及需提出事件說明報告後，且再次通過相關人員審查後方可復工。

情境三：

由於上次情況，順利地擷取了奶奶的生理訊號，經由台灣優良的專家學者所開發出來的預警系統，了解奶奶在長時間活動下，其心跳、血壓在起床前後的關連性，也因此，提供了奶奶一個重要的生活起居參數。半夜奶奶口渴想起床喝水並且排尿，但是，由於佩帶在腰帶上的生理訊號監控系統發現，此時奶奶有個跌倒成因，因此，透過無線感測網路的協助，建議奶奶先在床上活動筋骨，並且採取比較緩慢且安全的下床方式。

通風系統之應用情境與示範應用：

本研究於本年度利用現有商用感測器量測室內、室外環境的資訊，並以物理環境要素相關之熱舒適度指標為依據，作為設備致動邏輯運作機制的基礎，勾勒出未來可能的幾種情境。感測器與致動設備項目清單及通風系統的致動架構如各狀況所示。依據前述研究訂定熱舒適度之操作型定義，作為改善環境設備致動的邏輯依據；不同的情境(scenario)，設備致動的狀況不一，改善後的環境狀況會在室內外環境感測器數值上產生回饋，系統便再一次判斷如何作動以改善室內環境。

簡單情境一：

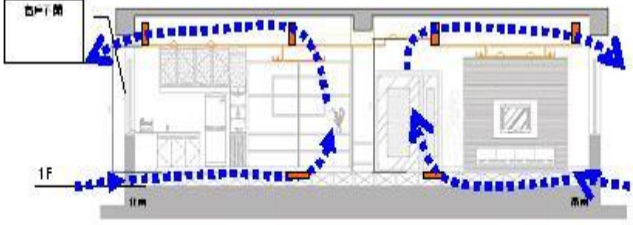
情況

1. 秋天，室內人多
2. 室內相較於室外溫度、相對溼度、二氧化碳濃度高
3. 綜合所有人的 PMV 指數為 2 (熱)

運作機制

1. 地板下吸入新鮮空氣透過室內地板至室內
2. 天花板風機抽出室內不新鮮空氣至室外
3. 讓室內空氣對流換氣並降低室內溫度
4. 達舒適程度一段時間後系統自動關閉

感測器			
室內		室外	
溫度	30	溫度	27
相對溼度	50%	相對溼度	40%
二氧化碳(ppm)	600	二氧化碳(ppm)	400
致動設備			
地板風機		開	
雙向抽風扇		開	
可控夾窗		開	



### 簡單情境二：

#### 情況

1. 春天，一名老人在家
2. 室內與室外溫度、相對溼度相當
3. 其 PMV 指數為-2（冷）

#### 運作機制

1. 啟動電暖氣
2. 地板下吸入新鮮空氣透過室內地板至室內，讓室內維持固定空氣品質  
達舒適程度一段時間後，地板風機自動調整至節能狀態

感測器			
室內		室外	
溫度	23	溫度	21
相對溼度	55%	相對溼度	50%
二氧化碳(ppm)	200	二氧化碳(ppm)	150
致動設備			
電暖氣		開	
地板風機		開	



### 簡單情境三：

#### 情況

1. 夏天傍晚，無人在家，但使用者準備回家
2. 室內溫度大於 28 度、相對溼度高、空氣品質差

#### 運作機制

1. 使用者於回家前利用手機遙控啟動系統
2. 室內換氣同時啟動除溼設備與可控冷氣
3. 達舒適程度一段時間後系統自動調整至節能狀態

感測器			
室內		室外	
溫度	32	溫度	29
相對溼度	50%	相對溼度	40%
二氧化碳(ppm)	600	二氧化碳(ppm)	200
控制設備			
地板風機		開	
雙向抽風扇		開	
可控灰簾		開	
除溼設備		開	
可控冷氣		開	

## 成果自評 (self-evaluations)

### (一) 居家智慧生活之應用情境與示範應用：

於今年計畫中，我們根據跨領域的合作規劃了小孩與老人的示範應用情境。於活動辨識應用方面，我們也提出一套有效之推論機制來辨識重疊的活動(例如一邊聽音樂，一邊讀書)，且有論文發表於相關國際會議上[7]。於系統平台與多人喜好推論方面，我們設計出一套彈性且方便之系統平台，且能夠整合、分析所獲得之資料與喜好，所延伸之研究成果，也發表於國際會議上[8]。

在未來一年的研究發展上，我們將進一步整合目前的成果，並依照計畫書所規劃的方向，以期發展出更人性化電腦整合智慧型環境並豐富所規劃的示範情境。當然，無線感測網路在目前應用上，當然也有一些需突破的瓶頸。例如，感測網路中的Sensor Node容易受到其他無線信號的干擾而降低可靠度；感測網路中的網路拓樸 (Topology) 也可能時常改變而需驗證其穩定度；此外，SensorNode的傳輸能量、運算能力及記憶體大小也受到先天上的限制而間接限制智慧元件的功能等等問題，我們會持續探討與改進。

### (二) 生理訊號監測之應用情境與示範應用：

(1) 由於此計畫之進行，除了需兼顧無線網路之通訊規範外，仍需要尋找合適且可長時間運作的生理感測裝置，其中，對於現行社會結構的三代同堂的家庭環境而言，長時間佩帶、容易裝卸操作、不受居家活動而影響生理訊號之擷取，實屬不易。我們仍考慮是否要該改計劃執行方式來自行開發，但是，現行團隊尚屬磨合期，且補助經費委能啟動此自行開發的機制。幸好，在尋覓過程找到國內外各一家符合條件限制，且有獨創性的無線生理訊號感測器，並且透過多次溝通與協商，與國內廠商共提小產學計畫，透過此模式來獲得現行世界最新型的腰帶式 ECG 生理訊號監控裝置。

(2) 從我們實際進行情況模擬、以及實驗過程中，我們發現，生理訊號實為最直接的參考標準。倘若我們可以將此訊號全程記錄下來，則對於後續醫療診斷與治療過程，應當有實質的協助。

(3) 另外，對於事件發生的起因，生理訊號“全程地”與“誠實地”直接反應其變化。這對於中樞神經系統調控身體組織與器官的反應而言，實為一個重要的窗口。人的一生中，約略1/3時間在平躺，對於平躺後的生理訊號反應以及所造成的身體變化，值得我們進一步

探索。

(三) 通風系統之應用情境與示範應用：

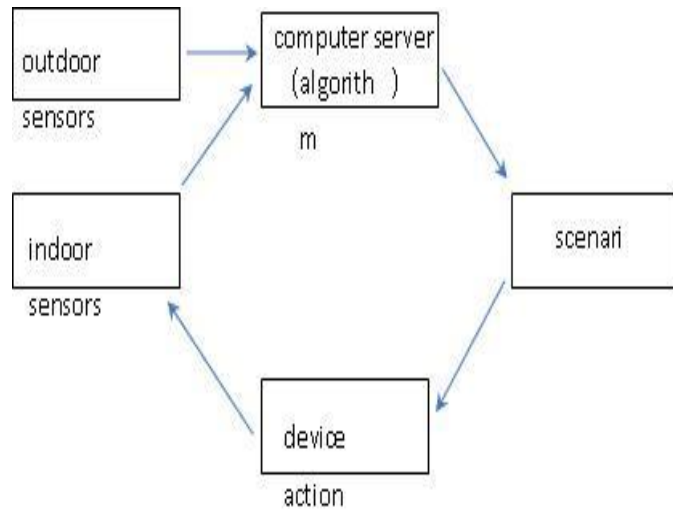


圖 6-5 通風系統的致動架構

表 6-5 感測器與致動設備項目清單

	感測器	致動設備
環境狀況 (室外)	1. 溫度 2. 溼度 3. 懸浮微粒 4. 風速 5. 風向	1. 地板風機 2. 雙向抽風扇 3. 可控氣窗 4. 可控冷氣 5. 除溼設備 6. 電暖器
環境狀況 (室內)	1. 溫度 2. 溼度 3. CO <sub>2</sub> 4. 懸浮微粒 5. 微風	
生理狀況	1. 體溫 2. 人體代謝量 3. 著衣量	

本研究於本年度利用現有商用感測器量測室內、室外環境的資訊，並以物理環境要素相關之熱舒適度指標為依據，作為設備致動邏輯運作機制的基礎，勾勒出未來可能的幾種情境。感測器與致動設備項目清單如表6-5。通風系統的致動架構如圖6-5。依據前述研究訂定熱舒適度之操作型定義，作為改善環境設備致動的邏輯依據；不同的情境(scenario)，設備致動的狀況不一，改善後的環境狀況會在室內外環境感測器數值上產生回饋，系統便再一次判斷如何作動以改善室內環境。

本研究導入之開放空間通風系統設置的主要目的為提高室內換氣量與降低室內溫度，在居家空間之規劃概念與裝置原則如下：

1. 對流的空間模式：以一般住宅單元平面的開放性空間(客廳、餐廳、廚房)為主要設置場所，其空間深度應 14m 以下為最佳通風路徑，利用雙向開窗加上抽風機帶動氣流，形成氣流路徑達到室內對流換氣，避免開放性空間設置隔牆。

2. 善用季節風或地形風：依外界氣候設定情境與通風路徑。
3. 建築開口部導風設計：利用水平導風版與多孔隙外殼建築語彙。
4. 節能：利用自然對流通風，降低空調使用率。
5. 舒適：藉由自然通風達到降溫舒適與提高空氣品質的功能。
6. 低噪音：(a) 選擇低噪音機種；(b) 機械設置在天花或地板時，設置介面需加彈性材，避免機械運轉接觸空間而產生噪音；(c) 裝設隔音材質。

感測器原則上在各種空間均需設置(圖 6-6)；致動設備中，地板風機設置於高架地板下，作為將室外空氣引進到室內的機制，雙向抽風扇則作為將室內熱空氣排出或將室外冷空氣引入的雙重機制，一般家庭中，除了地板風機與雙向抽風扇外，其他的致動設備均很常見，如除溼設備、電暖器為活動的，無特定放置位置。

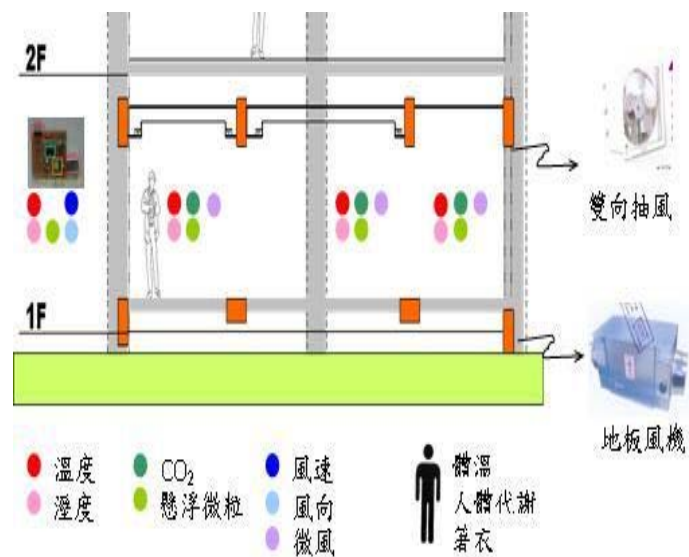


圖6-6 感測器空間設置圖

### 參考文獻

- [1] "MIT House\_n Project."
- [2] W. Shuangquan, Y. Jie, C. Ningjiang, C. Xin, and Z. Qinfeng, "Human Activity Recognition with User-Free Accelerometers in the Sensor Networks," 2005, p. 1212.
- [3] E. M. Tapia, S. S. Intille, and K. Larson, *Activity Recognition in the Home Using Simple and Ubiquitous Sensors*, 2004.
- [4] M. Tapia, N. Marmasse, S. S. Intille, and K. Larson, "MITes: Wireless portable sensors for studying behavior," *Proceedings of Extended Abstracts Ubicomp 2004: Ubiquitous Computing*, 2004.
- [5] "u-Japan Policy."
- [6] in *Proceedings of the 5th International Workshop on Structural Health Monitoring*, Stanford, USA, 2005.
- [7] Y.-C. H. a. L.-C. F. Ching-Hu Lu, "Creating Robust Activity Maps Using Wireless Sensor Network in a Smart Home," in *2. The third annual IEEE Conference on Automation Science and Engineering*, U.S.A., 2007.
- [8] L.-C. F. Zhi-Hao Lin, "Multi-user Preference Model and Service Provision in a Smart Home Environment," in *2. The third annual IEEE Conference on Automation Science and Engineering*, U.S.A., 2007.
- [9] McNall, P. E., Jaax, J., Rohles, F. H., and Nevins, R. G. (1967), "Thermocomfort (thermally neutral) conditions for three levels of activity," *ASHRAE Trans*, Vol. 73, 143-150, 1967.

- [10] ASHRAE (1992), *ASHRAE Standard 55 - Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy*, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Atlanta.
- [11] Fanger, P. O. (1972), *Thermal Comfort*, McGraw-Hill, New York.

## 可供推廣之研發成果資料表

 可申請專利 可技術移轉

日期：\_\_年\_\_月\_\_日

<b>國科會補助計劃</b>	計劃名稱：無線感測器網路共同平台之建置與智慧居家及環境安全應用示範 計劃主持人：郭茂坤教授 計劃編號：NSC 95-2218-E-002-072 學門領域：無線感測器網路技術
<b>創作名稱</b>	感測器模組製作
<b>創作人</b>	楊耀州副教授、楊勝安
<b>技術說明</b>	中文： 本子計劃的微感測器電路模組可與第四分項子計劃開發的無線網路系統整合，雙方溝通所使用的標準化介面為 UART，另外多加兩條傳輸線，可用來做微感測器模組的選擇、緊急事件的中斷或其他功能的擴充；此微感測器模組的感測器介面亦支援 ADC、UART、SPI 和 I2C，可與多種市面上的微感測器相容，並可利用模組上的微處理器接收微感測器偵測到的資料，再統一發送給無線網路系統。 英文：The sensor interface module developed by this subproject will be integrated with the RF module developed by subproject 4. The major interface between the sensor module and the RF module is UART. Also, the outputs of four sensor modules can be multiplexed to the RF module by two selection lines. Furthermore, the sensor module supports other interfaces such as ADC, SPI and I <sup>2</sup> C.
<b>可利用之產業及可開發之產品</b>	可用於環境監控、智慧居家環境照顧產業；並可以此感測器電路模組為基礎，再行開發更多感測功能的感測器模組。
<b>技術特點</b>	延續此感測器電路模組，繼續開發多種感測器並安裝上去，加以擴充此模組，變為功能更強大的 sensor board；並能配合無線網路系統，構成居家環境照顧的完整系統。
<b>推廣及運用的價值</b>	由於現今的感測器介面混亂，藉由此感測器模組，可以與多種傳輸介面相容，並整合成 UART 傳輸介面輸出，再配合第四分項子計劃的無線網路系統，可應用於居家的環境監控系統，隨時偵測環境變化並及時做出適當的調整，使住家更為舒適。

※ 1. 每項研發成果請填寫一式二份，一份隨成果報告送繳本會，一份送 貴單位研發成果推廣單位（如技術移轉中心）。

# 2008 年日本國際電子展參觀報告

37<sup>th</sup> INTERNEPCON JAPAN

25<sup>th</sup> ELECTROTEST JAPAN

9<sup>th</sup> IC PACKAGING TECHNOLOGY EXPO

9<sup>th</sup> INTERNATIONAL ELECTRONIC COMPONENTS TRADE SHOW

9<sup>th</sup> PRINTED WIRING BOARDS EXPO

2<sup>nd</sup> LASER & OPTICS 2008

## 參訪日期

2008 年 1 月 16 日至 2008 年 1 月 19 日

## 參訪人員

黃繼德 先生(國立台灣大學 應用力學研究所 博二研究生)

陳運萱 先生(國立台灣大學 應用力學研究所 碩二研究生)

## 主辦單位

Reed Exhibitions Japan Ltd

## 共同主辦

株式會社 工業調查會

中華民國 97 年 1 月

## 本次參展行程敘述

本次行程共有四天，透過東南旅行社訂購長榮自由行，包含機票與飯店住宿。

第一天(2008/1/16)到桃園機場，搭早上八點五十分的長榮班機 BR2198 前往東京的成田機場。飛抵成田機場後時間約當地下午一點左右，然而出關人數太多，真正通關後已經約下午三點。

接著我們搭成田特快(與東京 JR 悠遊卡合購價 3500 日幣)到東京地鐵站，需時約 50 分中。然後轉搭東京地下鐵的銀座線，抵達飯店附近的溜池山王站，Check In 之後已經五點左右，由於東京國際展覽館僅開到下午六點，因此第一天無法參展。

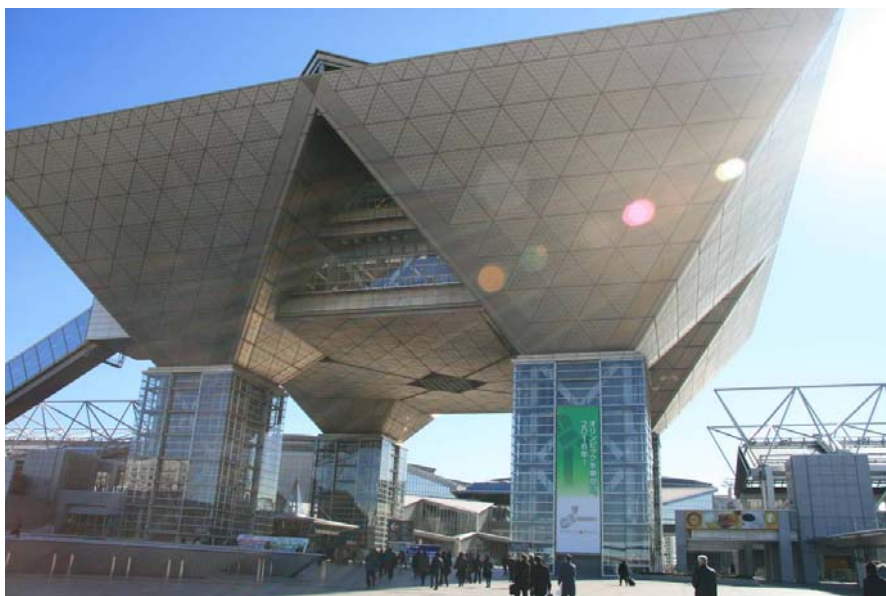


第二天約八點起來，在飯店用完餐之後，約九點左右，前往溜池山王站搭東京地下鐵前往新橋站，再由新橋站改搭私鐵前往台場。東京國際展場位於台場的一角，可以搭乘海上巴士或私鐵過去，兩者價格相差無幾，但私鐵速度比較快些，不用等太久。

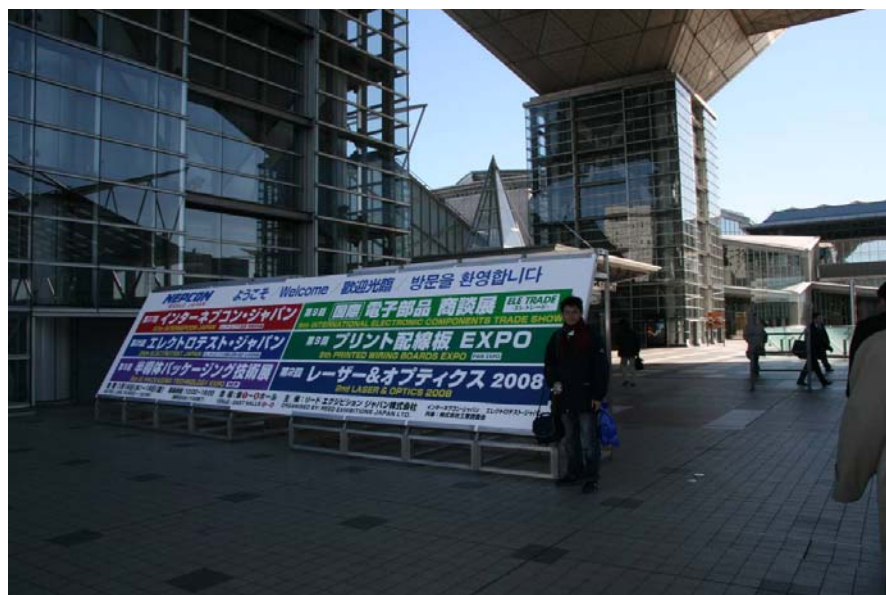


購買私鐵票

抵達東京國際展場後，時間約上午十點左右，走進展示廳的登錄櫃檯將門票申請文件交付工作人員，換取參觀卷。外國人的參觀卷只要戴在身上就可以自由進出各個展場，不需花費 5000 日幣的門票。東京國際展場十分巨大，特別是這次電子展包含了六種展覽，一天之內無法完全看完。



東京國際展場全照



東京國際展場-本次參展主題



東京國際展場~本次參展主題



東京國際展場~現場也有奈米科技展覽的樣子

放上網頁對於 37<sup>th</sup> INTERNEPCON JAPAN 的介紹以供參考：

來賓概述

以下電子產品製造領域的生產技術、製造技術、設計、研究開發、生產管理、品質保證、採購等專業人士

- 電器、電子機器製造企業
- 半導體及其組裝企業
- 汽車、運輸器械製造企業
- EMS 企業
- 移動通訊設備製造企業
- 計算機及其外圍設備
- 航空機械、船舶機械製造企業

- 測量設備製造企業
- 醫療設備製造企業
- 視聽設備製造企業
- 光學設備製造企業
- 生產控制及工業自動化設備製造企業
- 其它電子產品製造企業

展品概述

電子產品製造與貼裝機器

- |                      |                |
|----------------------|----------------|
| ● 貼裝重工/檢修設備          | ● 卷帶機          |
| ● 打孔/加壓機             | ● 部品插入指示機      |
| ● 插件機                | ● 卷帶成型設備       |
| ● 電子元器件生產用材料         | ● 軸承、螺絲等       |
| ● 錫膏印刷機              | ● 激光標印機        |
| ● 基板自動分割機            | ● 各種機械零件       |
| ● 印刷基板清洗機、清洗劑        | ● 激光加工機        |
| ● 基板印刷用面罩            | ● 束線帶          |
| ● 面罩清洗機，清洗劑          | ● 精密焊接機        |
| ● 滴膠機                | ● 其它相關產品       |
| ● 剪鉗                 | ● 標印機、標印系統     |
| ● ERP、SCM            | ● 電子產品生產製造用軟件等 |
| ● 生產管理系統、工廠管理系統、控制系統 |                |

焊接區

- |         |             |
|---------|-------------|
| ● 焊錫裝置  | ● 烙鐵        |
| ● 回焊機   | ● 松香製品      |
| ● 貼裝修復機 | ● 電焊、導電性粘合劑 |

**新設** 潔淨/防靜電保護展區

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 淨化室系統</li> <li>• 淨化區域 (空間)</li> <li>• 風淋室</li> <li>• 塵埃粒子</li> <li>• 離子發生器</li> <li>• 防靜電/抗靜電產品</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 潔淨室用品： 防靜電、防塵淨化服、淨化鞋、口罩、套袖、圍裙、潔淨袋、無粉指套、切口指套、防滑指套等</li> <li>• 無塵抹布，淨化抹布，淨化棉簽</li> <li>• 各種除塵器</li> <li>• 其他相關產品</li> </ul>
	<b>貼片機區</b>	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 貼片機/插件機</li> </ul>	
	<b>工廠設備與生產備品展區</b>	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 防靜電相關產品</li> <li>• 各種儲存、保管設備 (架子、櫃子等)</li> <li>• 無塵室設備及其相關產品</li> <li>• 多種工具</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 環保製品及可循環再利用產品</li> <li>• 運輸設備、省力工具</li> <li>• 生產用手套、抹布、口罩、安全帽等</li> <li>• 其它工廠設施與設備</li> </ul>

放上網頁對於 2nd LASER & OPTICS 2008 的介紹以供參考：

Visitor Profile	<p>Experts &amp; professionals involved in the wide range of fields related to Electronics Manufacturing</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Electronics Set Manufacturers (consumer electronics / mobile devices / telecommunication devices / AV equipment / optical instrument)</li> <li>• Automobile Manufacturers (automobile / electrical component / in-vehicle components)</li> <li>• Electronics Components Manufacturers (condenser / resistor / chip / Semiconductor / PCB )</li> <li>• Laser Application System Manufacturer (laser beam / system / inspection / measurement) etc.</li> </ul>
-----------------	--

Exhibit Profile	Laser Beam Machines / Application Equipments
-----------------	--

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Laser Beam Machine</li> <li>• Laser Driller</li> <li>• Laser Trimmer</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Laser Marker</li> <li>• Various Laser Application System</li> </ul>
	Laser Oscillators (Light Sources)	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• YAG Laser</li> <li>• CO2 Laser</li> <li>• Excimer Laser</li> <li>• Fiber Laser</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Semiconductor Laser</li> <li>• Femtosecond Laser</li> <li>• Pulse Laser</li> <li>• Other Various Laser Light Sources</li> </ul>
	Optical Components	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Guides</li> <li>• Galvanoscanners</li> <li>• Lens</li> <li>• Mirrors</li> <li>• Quartz</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Prisms</li> <li>• Gratings</li> <li>• Optical Filters</li> <li>• Polarizing Elements</li> <li>• Various Optoelectronics Products</li> </ul>
	Optical Stages	
	Optical Softwares	
	Optical Design Contract Services	
	etc.	

25<sup>th</sup> ELECTROTEST JAPAN 介紹如下：

Visitor Profile	Experts & professionals involved in the wide range of fields related to Electronics Manufacturing
	• Home Appliances
	• Personal Computer Peripheral / Office Devices
	• Audio / Visual Devices
	• Test / Inspection Equipment
	• Semiconductor Assembly
	• Automobile-related Devices
	• Optical Instrument
	• Mobile Communication Systems Devices
	• Industrial Control / Factory Automation

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Transportation Equipment</li> <li>• Medical Devices and Others etc.</li> </ul>
--	---

Exhibit Profile	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Board Vision Inspection Equipment</li> <li>• Solder Vision Inspection Equipment</li> <li>• Infrared Test Equipment</li> <li>• X-ray Inspection Equipment</li> <li>• Ball Machine Vision Inspection Equipment</li> <li>• TAB Vision Inspection Equipment</li> <li>• Bump Vision Inspection Equipment</li> <li>• IC / PCB / Components Vision Inspection Equipment</li> <li>• Lead Frame Vision Inspection Equipment</li> <li>• BGA / CSP Rework System / Equipment</li> <li>• Boundary-scan Testers</li> <li>• In-Circuit Testers</li> <li>• Functional Solder Testers</li> <li>• Testing Sockets for BGA, CSP</li> <li>• IC / LSI Testers</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bare Board Testers</li> <li>• Inspection jig / Test Fixtures / Probes / Testing Stages</li> <li>• Burn-in Equipment</li> <li>• 2-D / 3-D Inspection Equipment</li> <li>• Film Thickness Measurement Equipment</li> <li>• Environmental Test Equipment</li> <li>• Reliability / Evaluation Inspection Equipment</li> <li>• Analysis Equipment / Software</li> <li>• Various Measurement / Inspection / Analysis Devices</li> <li>• Other Various Testers, Inspection, Measurement Equipment and Devices</li> <li>• Contract Analysis Services</li> <li>• CCD Cameras / Other Cameras for Testing</li> <li>• Lenses</li> </ul>
	Image Processing Zone	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Spectral Source for Image Processing</li> <li>• Image Processing Unit / System</li> <li>• Boards for Image Processing</li> <li>• Software for Image Processing / Analysis</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Monitors / Displays</li> <li>• Printers</li> <li>• Other Related Equipment and Parts</li> </ul>

9<sup>th</sup> IC PACKAGING TECHNOLOGY EXPO 介紹如下：

Visitor Profile	<p>Professionals of semiconductor assembly &amp; electronics manufacturers in fields such as: Production/Manufacturing, Engineering, SMT, Design, R&amp;D, Quality Control, Purchasing, etc.</p> <p>Manufacturers as shown below attend ICP:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Semiconductor Assembly</li> </ul>
-----------------	---

- Personal Computers / Devices
- Mobile Communications / Devices
- Computer Peripherals
- Audio / Visual Equipment / Devices
- Industrial Control / FA
- Medical Equipment
- Transportation Equipment
- Optical Instruments etc.

Exhibit Profile

Assembly Equipment

- |                    |                                     |
|--------------------|-------------------------------------|
| • Wire Bonders     | • Die Bonders                       |
| • FC Bonders       | • Other Various Bonders             |
| • Molding Machines | • Resin Coating Machines            |
| • Dicing Machines  | • Lead Processing Machines          |
| • Laser Processors | • Other Equipments for IC Packaging |

Inspection Equipment / Testers / Measurement

- |                                |   |
|--------------------------------|---|
| • IC / LSI Testers             | • X-ray Inspection Equipment                      |
| • Burn-in Inspection Equipment | • Probes  |
| • IC Test Sockets              | • Other Test / Inspection / Measurement Equipment |
| • Optical Microscopes          |   |

Packaging Materials / Components

- |   |  |
|---|--|
| • Sealant (Mold Materials) / Under-fill Materials | • Tape Materials   |
| • ACF / NCF, ACP / NCP                            | • Soldering Balls  |
| • Die Adhesives                                   | • Bump Materials   |
| • Lead Frames                                     | • Packaging Substrates (PCBs, Tape Substrates, Ceramic Substrates, etc.) |
| • Bonding Wires                                   | • Other Materials / Components   |

Analysis / Simulation Software for IC Packaging

- |                       |                     |
|-----------------------|---------------------|
| • Analysis Software   | • Various Software  |
| • Simulation Software | • Analysis Services |

	Various IC Packages	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• BGA</li> <li>• CSP</li> <li>• Flip Chip</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• WLCSP</li> <li>• SIP etc.</li> </ul>
	Subcontractor Zone	
	Gathering World's TOP companies specialized in IC design, assembly and testing services!	
	Plating / Etching Zone	
Gathering the most advanced plating technologies, etching technologies and other related products!		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Plating Materials</li> <li>• Plating Chemicals</li> <li>• Plating Equipment</li> <li>• Plating Process</li> <li>• Etching Chemicals</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Etching Equipment</li> <li>• Etching Process</li> <li>• Inspection Machines</li> <li>• Surface Processing Technology / Related Products</li> </ul>	

9<sup>th</sup> INTERNATIONAL ELECTRONIC COMPONENTS TRADE SHOW 介紹如下：

來賓概述	電子產品製造領域的專家
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 家電產品</li> <li>• PC 外用設備/辦公設備</li> <li>• 視覺設備</li> <li>• 測試/檢測設備</li> <li>• 航空器/船隻設備</li> <li>• 光學儀器</li> <li>• 移動通訊系統設備</li> <li>• 半導體集成</li> <li>• 產業操控/工廠自動化</li> <li>• 運送設備</li> <li>• 醫用設備及其他設備</li> </ul>

展品概述	一般電子產品
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 半導體/電容器</li> <li>• 照明</li> </ul>

- 變電器/感應器/鍍錫卷板
- 電阻器
- IC/LST
- 濾波器
- Resonators/Oscillators
- LCD 相關產品
- LED
- 繼電器
- 電磁交流儲電器
- 斷路器
- 記憶棒
- 各種聲音部件
- 各種保險絲
- 各種發電機

#### 複合電子產品

- 各種模塊
- 各種傳感器等

#### 其他相關電子產品/高精密加工產品和技術

- 高頻率適用產品
- 轉換電源
- 各種電池
- 各種高精密加工產品和技術等

#### 設計問題對策元件展區 **NEW**

展示解決電磁、高頻、高熱、靜電干擾等設計難題的對策元件、設備。

#### 連接器區

所有電子設備和光通信設備的連接器

##### 電子設備用連接器

- Board-to-Board 連接器
- 繼電器連接器
- I/O 連接器
- CPU 插座
- 底板連接器
- Cable-to-PCB 連接器
- FPC/FFC 連接器
- 記憶棒連接器
- 同軸電纜連接器
- 其他

#### 高精密/精加工技術區

展示了微精密加工技術和所有相關種類的產品!電子產品,PCB(印刷電路板),加工技術,微機電系統(MEMS),納米技術,超精密加工程序。

- 沖壓加工
- 激光加工
- 切割加工
- 控光裝置(Diaphragm)/顯像管(Tube)
- 鑽孔加工(Drilling)
- 修邊加工(Deburring)

- 研磨/鏡面拋光(mirror-polish)
- 其他

9<sup>th</sup> PRINTED WIRING BOARDS EXPO 介紹如下：

來賓概述

電子產品製造領域的專家

- 家電產品
- 電腦外用設備/辦公設備
- 視覺設備
- 測試/檢測設備
- 航空器/船隻設備
- 光學儀器
- 移動通訊系統設備
- 半導體集成
- 產業操控/工廠自動化
- 運送設備
- 醫用設備及其他設備

展品概述

PWBs/PCBs

- |   |   |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• 剛性印刷線路板 [Rigid PCBs]</li> <li>• 多層印刷線路板 [Multi-layered PCBs]</li> <li>• 柔性印刷線路板 [Flexible PCBs]</li> <li>• 多層柔性印刷線路板 [Multi-layered Flexible PCBs]</li> <li>• 彎曲剛性印刷線路板 [Flexible Rigid PCBs]</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 組合印刷線路板 [Built-up PCBs]</li> <li>• 半導體封裝用印刷線路板 [Semiconductor Packaging PCBs (BGA, TAB, MCM)]</li> <li>• 光線路板 [Optical PCBs]</li> <li>• 元器件內置線路板 [EPD (Embedded Passive Devices)]</li> <li>• 其他線路板 [Other PCBs]</li> </ul> |
|---|---|

線路板專用材料 [Materials for PCBs]

電子線路板設計工具 [Electric Boards Design Tools (CAD)]

EMS/設計·開發·製造委託展區 [EMS/ODM ZONE]

- 各種電子製造服務，開發·設計委託服務，生產服務 [Various Electronics Manufacturing Services (EMS), ODM, Contract Manufacturing]
- 其他相關 EMS 的技術/服務 [Other services/technologies related to the EMS]

在展場內是禁止攝影的，除非手臂上綁有記者証，否則拍照行為會遭到警衛阻止。因此我們僅能在會場外面照相。因此我們蒐集了會場資料，供大家參考。幾乎每家廠商都會提供產品型錄或傳單，這一路下來我們收集了將近 10 公斤的傳單，經過去蕪存菁後，選擇了一些比較有意思的進行介紹。

一些廠商很熱心的提供麻布袋或帆布袋供應參訪者使用，且也有廠商提供郵購服務，想購買產品的話只要將該項產品的明信片寄回即可。展覽現場有許多有意思的展示設備，比方說用來去除靜電的水霧產生器，當場就噴起水霧給大家看，雖然水霧看起來十分多，但其實真正消耗的水量卻十分少。

在焊接工具區，參訪者可以實際試用廠商的焊接與解焊設備，且廠商會送每個參訪者一卷解焊銅線當做紀念。覺得有意思的是一種自動焊接的機器人，一般貫孔型雙層板要焊接 PAD 的時候，通常是用錫爐去焊，但一旦電路板上下兩面都有 IC 的話，就勢必有一面無法焊接，否則錫爐裡面的錫會破壞另一面的 IC。因此有一種特殊設計的機器人，會負責焊接另一面的 IC。

對於 SMD 的焊接設備則比較簡單，只需要將板子連同排好的元件，利用輸送帶送入加溫艙即可。比較好的加溫設備是長條型的，每一階段都有不同的溫度與長度，板子只要走過一遍，上面的元件就會焊好。有某家公司在會場還擺了一架飛機，說明該公司的焊接技術可以用來製作飛機。

除了焊接技術之外，也有廠商是專門製作抗噪減震設備的，印象最深的是一種三層式塑膠結構的產品，厚度約一公分左右；現場使用兩個震盪機，上面各有數個積木進行比對，一旦墊上這個產品後，震盪很明顯的下降，積木幾乎不會晃動，效果十分驚人。

這次展覽有一個重點是雷射技術，會場有許多透鏡的製作廠商，以及各式各樣的雷射光源，有些廠商還真的把高能雷射加工機帶到現場示範，現場就用雷射切割起金屬。也有廠商是負責 PC 封裝上的 MARK 加工，利用雷射將編號加工上去。

日本的 PCB 檢查已經達到全面自動化水準，透過影像辨識、X 光技術與開路斷路測試，可以檢查 IC 是否放正、PAD 是否正確焊接，甚至連 BGA 封裝的 IC 也

能檢查 IC 正下方的球珠有無正確焊接，能力十分驚人。在展示台上只見平台快速移動，螢幕上則顯示已確認過的區域，以及目前檢查進度。

光學之外還有極精密機械加工技術，一般精密鑽頭往往有深度限制，但有公司將鑽頭速度提高到超音波等級，藉以讓鑽孔深度提高 50 倍以上。山陽精密機械則推出最小直徑 70um 的精密鑽頭，定位準確度可以高達 5um。

在定位平台與驅動器方面，我們見識了日本最新的超音波馬達，Piezo Tech 公司製作出了可以放在指尖的超音波馬達，現場則擺放了超小型的 2D 平台進行現場示範。另外一家廠商則結合了三軸傾斜平台、紅外線位置判斷技術，運用回授控制系統，將一顆鋼珠控制於平台中央不至於偏移。

比較有趣的是某家廠商拿了一個 CCD，搭配三個線性馬達，一個上面有一根針會左右移動，另兩個則是有細縫的平板；一旦系統透過 CCD 發現針與兩個細縫成一直線，便會將針穿過兩個細縫；在現場看到三個線性馬達沒有規則的各自移動，但針就是能準確的穿過兩個洞，控制技術相當厲害。

此外還看到超小型的溫度控制 Device，面積只有 24mmX27mm，範圍在 5~45 度，精確度為正負 0.1 度、穩定度則為攝氏 0.01 度。適合生醫或高精密控制領域的人參考。另外 Fianium 有推出最大 20 瓦出力，最小脈衝寬度 300fs 的紫外線發射器，可考慮應用於基礎科學研究上。有日本廠商則將這種脈衝控制技術應用於 3D 的超精密加工上，搭配雷射與 3D 定位平台；在宣傳單上，他們在玻璃內部溶出了螺旋形孔穴。。

在會場裡面有一些公司在做應變規，對於這個展覽，他們的訴求是將應變規應用於 PCB 版的彎曲與受力測量上。另外也有位移感測器，主要是應用於位移平台上。CCD、X 光等影像型的感測器則用於焊點好壞的測試，另外也有公司利用影像辨識軟體來辨識流水帶上產品編號。

另外在展覽現場可以拿到今年二月底的太陽能光電展與燃料電池展覽的參觀卷，倘若計畫中有人從事這兩種領域，也可上網打” PV EXPO 2008” 或” FC

EXPO 2008” 查詢相關資訊。PV EXPO 2008 是第一屆的國際太陽能電池展，而” FC EXPO 2008” 則是第四屆燃料電池展。

展覽時間為 2008 年 1 月 16~18 日，最後一天展覽到下午五點，又長榮航空最晚的班機為 RB2195，晚上八點從東京成田機場出發。其實時間上是有點不充裕的，因為從東京站搭地鐵到機場約需 50 分鐘，台場到東京站也要三四十分鐘，且必須在前一到兩小時內辦理登機手續，因此我們在東京多住一夜，隔日(1/19)日才搭機回台灣。

有趣的是我們搭的班機正巧是 Hello Kitty 班機。



# 3D フェムト秒レーザー超微細加工装置

モニターを見ながらリアルタイム加工

デリケートな生体試料

**TII** TOKYO  
INSTRUMENTS, INC.

## 透明材の微細加工に最適

### 特徴

- ナノオーダー(200nm)の加工分解能
- 熱影響を極力抑えた 2D/3D 微細加工
- 照射パルス数・エネルギー制御
- 顕微鏡下でモニターし加工エリアを選択
- 共焦点光学系によるオートフォーカス機能
- ピエゾ・ステップモーター・ガルバノ選択可能
- フレキシブルなカスタマイズ可能

### 多様なレーザー選択可能

- チタンサファイアレーザー
  - ・中心波長: 800nm ・パルス幅<150fs
  - ・繰返し周波数<1kHz ・パルスエネルギー<1mJ
- ファイバーレーザー
  - ・中心波長: 1064nm ・パルス幅<300fs
  - 繰返し周波数<40MHz ・パルエネルギー<100nJ
- ピコ秒/ナノ秒対応可
  - ・中心波長: 1064nm ・パルス幅<12ps
  - ・繰返し周波数<4MHz ・パルエネルギー<5μJ



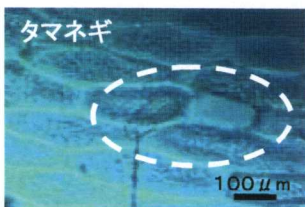
フェムト秒レーザー加工機

(設置面積: 1.8m × 1.2m)

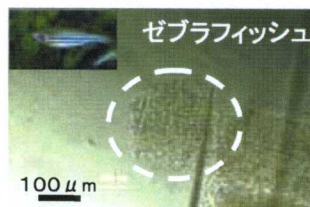
サンプル加工試験承ります

### 本装置による加工事例

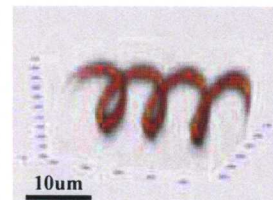
### インタラクティブな照射による生体分子メスの実施例



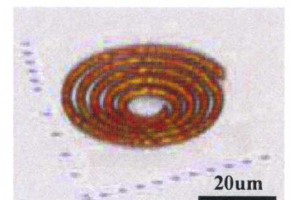
単一細胞の単離



水中試料の内部加工



ガラス内部の3次元加工



JST イノベーションプラザ京都 育成研究(フォトンクラフト技術を利用した生体適応型分子メス)による研究成果よりご提供

**TII** 株式会社 東京インストルメンツ

E-mail: [sales@tokyoinst.co.jp](mailto:sales@tokyoinst.co.jp) Web site: <http://www.tokyoinst.co.jp>

本社: 〒134-0088 東京都江戸川区西葛西 6-18-14 T.I.ビル  
大阪営業所: 〒532-0003 大阪市淀川区宮原 4-1-46 新大阪北ビル

TEL: 03(3686)4711(代) FAX: 03(3686)0831  
TEL: 06(6393)7411(代) FAX: 06(6393)7055

進化し続ける産業界に  
ミクロンレベルの微細加工技術で応えています。

チタン・ステンレス・セラミック等の難削材への超細穴加工( $\phi 70$ ミクロン $\sim$ )を得意技術とし、緻密な加工と技が造り出す製品で、お客様に満足をお届けしています。

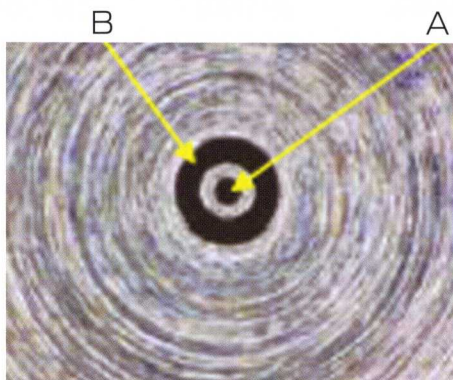
## 最小穴径 70 $\mu\sim$

アスペクト比(L/D)=20を超える超深穴加工  
加工可能材質:チタン・ステンレス・セラミック・一般金属

合繊用の口金、中空糸用ノズルから超高压(200MPa)洗浄用ノズル、医薬用特殊ノズル等あらゆる産業界のノズルのことなら、穴加工のスペシャリスト集団のサンヨーへ何でも気軽に御相談下さい。

### 加工例

①

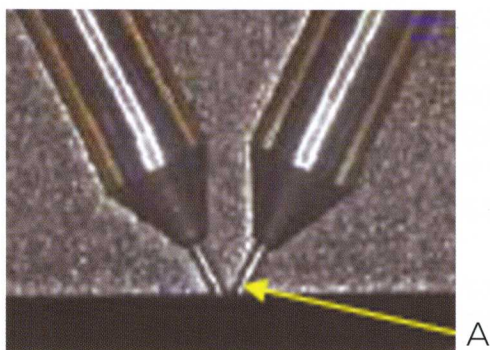


A寸法:  $\phi 70\mu$  B寸法:  $\phi 200\mu$

A,B穴 寸法公差:  $\pm 10\mu$

A,B穴 同芯度:  $\pm 2\mu$

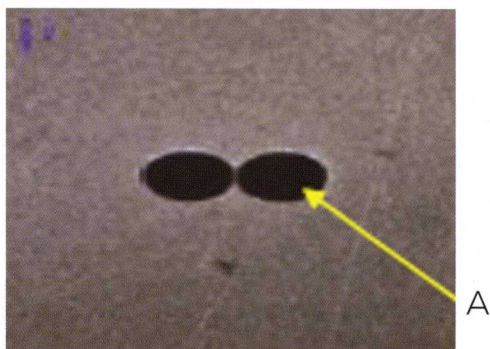
②



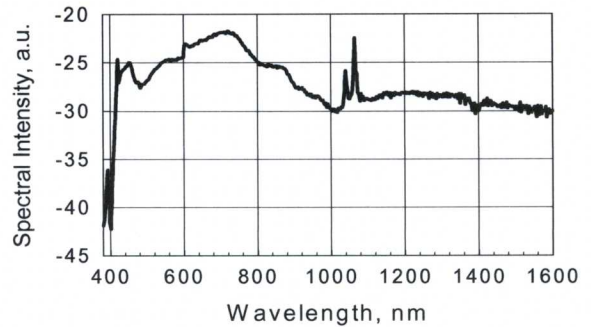
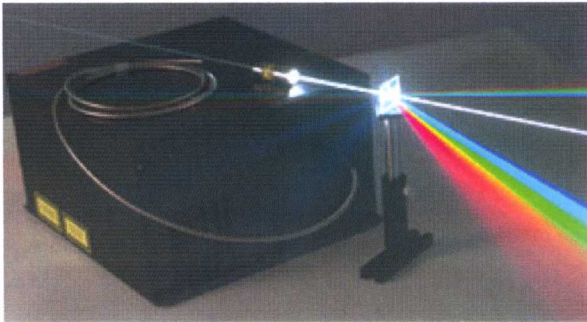
A寸法:  $\phi 200\mu$

寸法公差:  $\pm 10\mu$

③



A穴位置精度:  $5\mu$

**スーパーコンテニューム白色光源**


発生波長と輝度(典型値)のグラフ

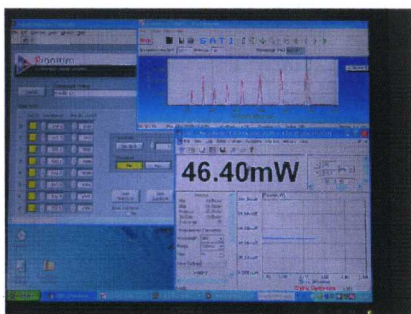
**★特長:**

- 発振波長 390 ~ 2500nm
- 出力 8 Wまで可
- ファイバー出力可能
- 繰り返し周波数 20, 40, 50, 60 MHz
- ファイバーレーザーのため  
メンテナンス不要
- ファイバーからのレーザー出力

**用途**

- 高輝度照明 (白色光)
  - 基礎研究
  - バイオ-メディカル
  - イメージング
- 可視域から近赤外まで連続した波長を発生しています。  
共焦点顕微鏡用の光源としても使用できます。

仕様		SC400-2	SC450-2	SC450-4	SC450-6	SC450-8
波長帯	nm	400~2500	460~2500	460~2500	460~2500	460~2500
繰り返し周波数	MHz	20	20	40	50	60
励起レーザーパルス幅	ps	5	5	5	5	5
出力	W	2	2	4	6	8
寸法(W×L×D)	mm	300×250×120				
重量	kg	4.5				

**波長セクター SC450-AOTF**

**★特長**

- 使用可能波長域 460 ~ 700 nm
- 8チャンネル同時出力可能

スーパーコンテニューム白色光源と組み合わせることで、幅広い領域の波長を選択して使用することが可能です。

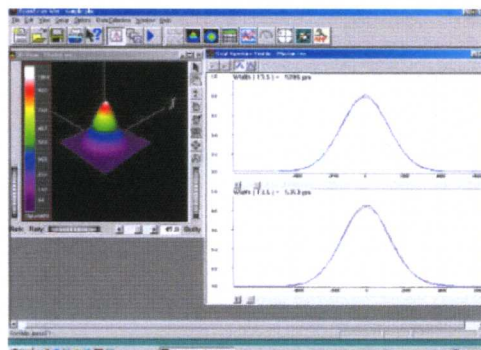
仕様		SC450-AOTF-2 / 4 / 8		
波長帯	nm	460~700		
チャンネル数	ch	1	4	8
スペクトル幅 / ch	nm	5		
繰り返し周波数	MHz	40		
パルス幅	ps	20		
出力 / ch	mW	10	10	5
寸法(W×L×D)	mm	300×250×200		
重量	kg	8		

最大20 W 出力 /  $\sim 10 \mu\text{J}$  /  $\sim 100 \text{ MHz}$  発振 / パルスピッカーオプション

1064 nm (980nm, 1030nm, 1053nm) / 532 nm / 355 nm / 266 nm 発振で紫外・可視域をカバー

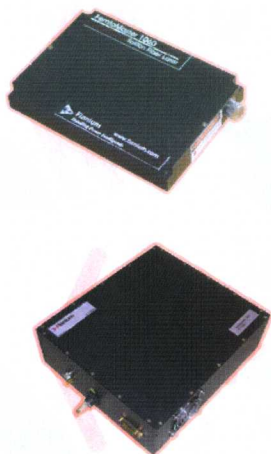
## 特徴

- 発振波長は波長レンジから1波長選択
- 平均出力 20 W まで
- パルス幅 300 fs  $\sim$  20 ps
- ターンキー操作
- パルスピッカーによりシングルショットまたは繰り返し周波数の可変が可能
- 高信頼性、メンテナンスフリー、小型軽量
- オプション  
パルスピッカー、ファラデーアイソレーター  
オートコリレーター
- 低価格



出射口から0.1mでの空間モード

## Femto Master 1060 シリーズ



仕様	FM1060-0.01	FM1060-0.1
発振波長	1064 nm $\pm$ 1nm	1064 nm $\pm$ 1nm
平均出力	2 - 10 mW	20 - 100 mW
パルス幅	6 ps	6 ps
バンド幅	0.35 nm	0.5 nm
繰り返し周波数	20 $\sim$ 100 MHz	20 $\sim$ 100 MHz
ピーク出力	< 200 W	< 2000 W
RMS アンプノイズ	2 %	2 %
タイミングジッター	< 1 ps	< 1 ps
最大消費電力	< 1 W	< 1 W
寸法 (W×L×D)	250×220×55 mm	250×220×55 mm
最大重量	500 g	500 g

## Femto Power 1060 シリーズ

仕様	波長	出力	エネルギー	パルス幅	繰り返し
FP1060-1	1064 nm $\pm$ 1nm	1 W	10 - 50 nJ	< 10ps	20-100MHz
FP1060-10	1064 nm $\pm$ 1nm	10W	100 - 250 nJ	< 10ps	40-100MHz
FP1060-20	1064 nm $\pm$ 1nm	20W	200 - 500 nJ	< 20ps	40-100MHz
FP1060-1 $\mu$ J	1064 nm $\pm$ 1nm	20W	1 $\mu$ J	< 20ps	20MHz
FP1060-1 $\mu$ J-S	1064 nm $\pm$ 1nm	15W	0.75 $\mu$ J	< 0.8ps	20MHz
FP1060-1 $\mu$ J-10PP	1064 nm $\pm$ 1nm	10W	10 $\mu$ J	< 10ps	0.5 - 5MHz
FP1060-0.5S	1064 nm $\pm$ 1nm	0.5W	12 nJ	< 0.3ps	40 MHz
FP1060-1S	1064 nm $\pm$ 1nm	1W	25 nJ	< 0.3ps	40 MHz
FP1060-5S	1064 nm $\pm$ 1nm	5W	125 nJ	< 0.3ps	40 MHz



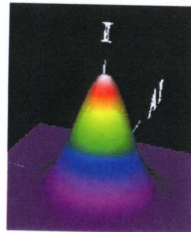
FemtoPower532 シリーズ

	FP532-0.5	FP532-5
発振波長	532 nm	532 nm
平均出力	0.5 W	5 W
パルス幅	5 ~ 15 ps	5 ~ 15 ps
M <sup>2</sup>	< 1.3	< 1.3
繰り返し周波数	100 MHz	100 MHz
RMS アンプノイズ	1 %	1 %
タイミングジッター	< 1 ps	< 1 ps
長時間安定性	2 %	2 %
最大消費電力	< 250 W	< 250 W
寸法		
レーザーモジュール	300 × 250 × 120mm	300 × 250 × 120mm
オプティカルヘッド	280 × 145 × 85mm	280 × 145 × 85mm
重量	12 kg	12 kg



UVPower355 シリーズ

UVPower266 シリーズ



266nm 0.5W での  
ビームプロファイル

### 主な仕様

- 発振波長 355 nm / 266nm
- 出力 ~ 3 W / ~0.5 W
- パルス幅 < 10 ps

### 用途

- 基礎研究
- チップ検査
- バイオメディカル
- イメージング
- 微細加工
- 高速分光

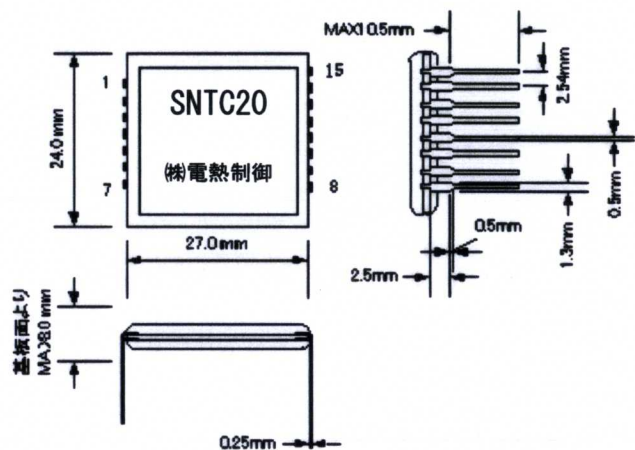
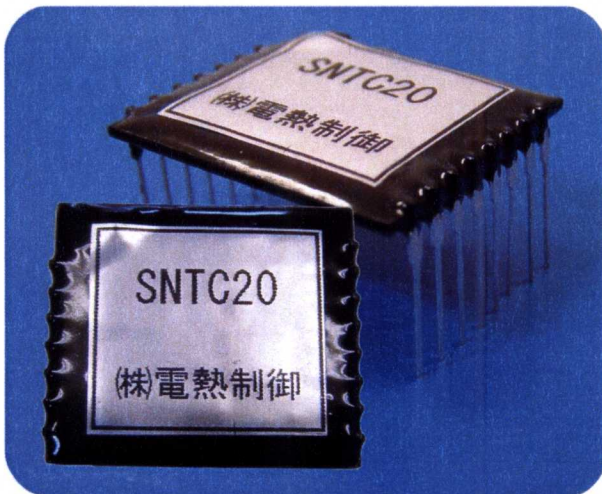
- 紫外光においても高いビーム品質 (M<sup>2</sup> < 1.5) が得られているので、加工用途に最適です。

仕様	UVPower 355	UVPower 266
発振波長	355 nm	266nm
平均出力	~ 3 W	~ 0.5 W
パルス幅	< 10 ps	< 10 ps
M <sup>2</sup>	< 1.3	< 1.5
繰り返し周波数	100, 200, 400 MHz	100, 200, 400 MHz
ビームポインティング安定性	< ±10 μrad	< ±10 μrad
RMS アンプノイズ	1 %	1 %
偏光	直線	直線
長時間安定性	2 %	2 %
最大消費電力	< 150 W	< 150 W
寸法 (W×L×H)		
レーザーモジュール	300 × 250 × 120 mm	300 × 250 × 120 mm
オプティカルヘッド	280 × 145 × 85 mm	280 × 145 × 85 mm
最大重量	12 kg	12 kg

約1インチ角の実装型のデバイスが小熱容量の素子や物体の温度を高精度に制御します（放熱機構が必要ありません）

## SNTC20/小型温度制御デバイス

「SNTC20」は、レーザーダイオードのように高温となる小熱容量の素子または物体を、5.0V電源にてペルチェを駆動し設定温度に安定（精度0.01℃可）させる小型かつ軽量の実装型の制御デバイスです。



電源電圧	+5.0V±5% 3.5A
使用温度範囲	駆動素子による(回路周辺温度0~65℃)
設定温度範囲	目標温度±20deg、目標温度=25℃
設定精度	目標温度±0.1deg
安定度	設定温度±0.01deg
制御方式	PI制御
駆動方式	PWM方式

### 株式会社電熱制御

〒338-0834 埼玉県さいたま市桜区新開1-10-9

電話 : 048 (836)3193

Fax : 048 (836)3194

E-mail: info1@ydns.co.jp

URL : http://www.ydns.co.jp/

# 超高剛性、自動精密Zステージ

**新製品**

**ZA16A-32F**
**ZA07A-V1F**

- ・ 本体部はアルミ、駆動部に高剛性ローラーを用いることにより高剛性と精密位置決めを同時に実現。
- ・ 各種測定機器・加工機への利用に最適。

型式	ZA07A-V1F	ZA16A-32F
テーブル面	70mm × 70mm	160mm × 160mm
案内方式	四面フラットローラー	四面フラットローラー
移動範囲	±10mm	±25mm
送り方式	研削ねじ リード 0.5mm	ボールねじ φ16リード 4.0mm
最小分解能	0.25 μm / step (Half時)	0.1 μm / step (Half時)
最高速度	2.5mm / sec	1mm / sec
繰返し位置決め精度	±0.5 μm以内	±0.5 μm以内
ロストモーション	4 μm以内	4 μm以内
垂直度	8 μm以内 / 20mm	8 μm以内 / 50mm
水平耐荷重	12kg	50kg
材質	アルミ合金	アルミ合金
外観	白色仕上げ	黒色仕上げ
自重	約1.8kg	約14.5kg
定価	¥240,000	¥800,000

このチラシに記載された内容、仕様は予告なく変更されることがあります。

**神津精機株式会社**
[www.kohzu.co.jp](http://www.kohzu.co.jp)

 お問い合わせ先 E-mail : [sale@kohzu.co.jp](mailto:sale@kohzu.co.jp)

 本社/工場 〒215-8521 神奈川県川崎市麻生区栗木2-6-15  
 大阪営業所 〒562-0035 大阪府箕面市船場東1-16-9

 TEL 044-981-2131 FAX 044-981-2181  
 TEL 072-726-1880 FAX 072-726-1882

# 高性能Nd:YAGレーザー一体型 電子制御波長可変レーザー

## Ts-F Ts-SHG

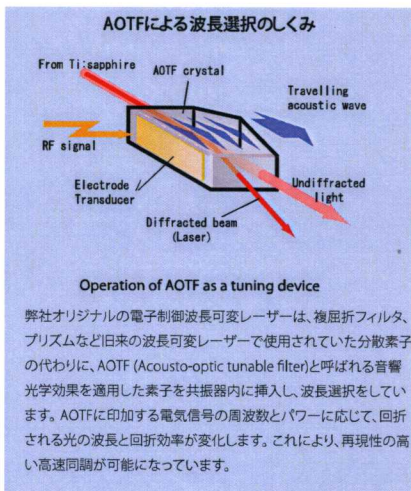
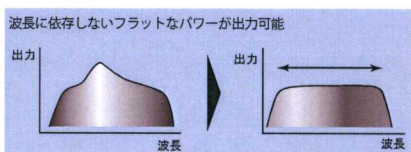
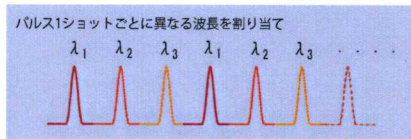


LD励起AOQスイッチNd:YAGレーザー第2高調波(532nm)を励起光源とする完全空冷パルスチタンサファイアレーザーです。

共振器内に音響光学波長可変フィルター(AOTF)を使用することにより、完全電子制御による波長選択・出力制御を可能にしました。

### 特徴

- 全固体化システムによるメンテナンスフリー & 安定動作
- PCと結合した高性能同調システム
  - 同調・スキャンに加えて発振出力の制御まですべてPCまかせ
  - 100  $\mu$ s以下の高速同調で、発振波長の全域ジャンプでもかかる時間は同じ
  - 機械式と異なり、波長再現性に優れている
- ユニークな同調システムがこんなことを可能に
  - パルス1ショット毎に異なる波長を割り当て
    - 差分吸収分光がカンタンに
  - 波長-出力のカーブを任意で設定できるため、
    - ある波長域で常に一定パワーで出力
    - 検出器の感度曲線をレーザー出力で補正



### 用途

- 高速波長分解分光 / 原子分光
- 3次元ファンクショナルデジタイザー
- ワイドバンドギャップ半導体の物質測定
- バイオ / 医療用測定光源
- その他各種非破壊・非侵襲検査

### 基本仕様 (Ts-F / Ts-SHG)

	Ts-F	Ts-SHG
出力波長域	700-1000 nm	370-450 nm
最大出力 <sup>(1)</sup>	200 mW @ 中心波長	30 mW @ 中心波長
出力安定性 <sup>(2)</sup>	±5%以下 (@800nm)	±5%以下 (@400nm)
繰り返し周波数	5kHz (他の周波数は要相談)	
パルス幅 <sup>(1)</sup>	100 ns 以下	
スペクトル幅 <sup>(1)</sup>	0.35 nm 以下	
ビーム拡がり角	1.5 mrad以下 (@800nm, 全角)	2 mrad 以下 (@400 nm, 全角)
ビーム横モード	TEM <sub>00</sub>	
波長掃引	高速電子制御 (パルスごとに波長切り替え可)	
偏光	直線 (水平)	直線 (垂直)
ウォームアップ時間	30分	

(1) 最大出力時

(2) 周辺温度20~25°C ウォームアップ後3時間の測定

※ 外観・仕様は予告なく変更することがございます。

✉ megasales@megaopto.co.jp

www.megaopto.co.jp