

行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

總計畫

計畫類別：整合型計畫

計畫編號：NSC93-2213-E-032-021-

執行期間：93年08月01日至94年07月31日

執行單位：淡江大學電機工程學系

計畫主持人：許獻聰

共同主持人：詹益光，陳仁暉，郭建宏，李維聰，吳世琳

報告類型：精簡報告

處理方式：本計畫可公開查詢

中 華 民 國 94 年 10 月 30 日

行政院國家科學委員會補助專題研究計畫成果報告

總計劃：自主性分散式無線感測網路嵌入系統研製

計畫類別：一般行研究計畫(整合型)

計畫編號：NSC 93-2213-E-032-021

執行期間：93年8月1日至94年7月31日

主持人： 許獻聰 淡江大學電機工程學系

執行單位：淡江大學電機工程學系

中華民國 94 年 9 月 30 日

行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

總計畫：具低速率與高傳輸效能 IEEE 802.15.4 無線傳輸媒體存取控制(MAC)之研製
計畫編號：NSC 93-2213-E-032-021

執行期限：93 年 8 月 1 日至 94 年 7 月 31 日

主持人：許獻聰 執行機構及單位名稱：淡江大學電機工程學系
共同主持人：詹益光 執行機構及單位名稱：淡江大學電機工程學系
郭建宏 執行機構及單位名稱：淡江大學電機工程學系
李維聰 執行機構及單位名稱：淡江大學電機工程學系
吳世琳 執行機構及單位名稱：淡江大學電機工程學系
陳仁暉 執行機構及單位名稱：淡江大學電機工程學系

一、計畫中文摘要

本計畫「自主性分散式無線感測網路嵌入系統研製」規畫為期三年之整合型研究計畫。本研究計畫之目的是發展自主性分散式無線感測網路的關鍵技術，實作無線感測網路之分散式、自主性感測節點硬體、韌體、決策演算法、通訊協定與應用程式等。

自主性分散式無線感測網路和傳統的無線網路架構不同，其徧重在對於人們不易到達、不易監控等環境所產生出來，而其可能在佈建之後就不易取回再使用，因此其有別於目前無線區域的模式，

為了因應計畫目標的複雜度，故規畫為一整合型計畫，並將此群體計畫分為六個重要之子計畫模組：

- (一) 具低速率高傳輸效能 IEEE 802.15.4 無線傳輸媒體存取(MAC)控制器之研製。
- (二) 無線感測網路之系統評估模擬平台建置與基頻電路實現。
- (三) 低功率高效能類比數位暨數位類比轉換器之研製。
- (四) 無線感測網路微系統程式與發展系統之研製。
- (五) 自主性無線感測機器人群組合作之相對定位與地圖探勘演算法設計與實作。
- (六) 自主性行動無線感測機器人：搜尋與聚集方法之研製。

Abstract

The purpose of this project, the Design and Implementation of the Distributed Autonomous Embedded System in Wireless Sensor Network, is to design and implement the distributed autonomous embedded system in wireless sensor networks. Our focus is not on the mechanical aspects of mobile sensor nodes – the sensor, power, motor, and wheels, etc. Instead, this integrated project focuses on designing and implementing the ADC/DAC circuit, baseband circuit, communication MAC protocols, routing strategies, embedded system, and so on, that are the core technologies of the wireless sensor network system. This project is planned to execute in 3 years and organized into a cooperative project divided into six sub-projects:

1. The Design and Implementation of the transmission Efficiency IEEE 802.15.4 Wireless MAC Controller.
2. System Evaluation, Simulation Platform Set Up and Baseband circuit implementation for Wireless Sensor Network.
3. The design and implementation of the low power high performance AD/DA converters
4. The Design and Implementation of Micro-Operation System and System Implementation In Wireless Sensor Networks

5. Design and implement the efficient algorithms for cooperative mobile sensor robots to solve the localization and map construction
6. Autonomous Mobile Wireless Sensor Robots: Foraging and Gathering

二、計畫緣由與目的：

目前無線通訊和電子技術的發展，已經有能力做出體積小、低成本、低功耗、可作短距離傳輸的多功能無線感測網路節點，且每個節點皆具有感測、運算和通訊的功能。因此，無線感測網路的應用範圍將非常廣泛，例如：軍事、醫療、防災……等等；而針對不同之用途，僅須更換感測裝置和適度調整通訊模式便可達成目的。在軍事偵測用途方面，其可以快速佈建網路和容錯能力以利軍事監控和目標定位。醫療方面，醫師可以藉特製的無線感測網路節點放在病人的適當位置，以了解病情；其它方面如：對特定區域佈建無線感測網路，以利倉儲盤點、貨物品管、監控災害的防治等等。在此廣大的應用範疇之下，使無線感測器網路實具研究價值。

無線感測網路必須要考量的設計重點如：容錯性、可延展性、價格、硬體體積、拓撲型態、工作環境、省電等等；因其有別於傳統無線網路之型態，所以勢必要再加以研究開發出其適合的軟硬體架構、通訊協定、應用程式…等。本研究計畫之研究重點在於無線感測網路節點的相關核心技術，而非該節點的感測器製作、電源選擇、可移動裝置之馬達和車輪設計等。本計畫將研究重點放在無線感測網路系統上，研究各節點之類比數位轉換控制器、基頻電路、通訊協定、路由策略、應用程式、嵌入式系統等研製。

三、結果與討論：

本計畫「自主性分散式無線感測網路嵌入式系統研製」的目標在於發展自主性分散式無線感測網路的關鍵技術，並實作出無線感測網路之分散式、自主性感測節點硬體、軟體、決策演算法、通訊協定與應用程式等。為了因應計畫目標的複雜度，本計畫利用模組化的設計理念，將此計畫分為六個子計畫（如圖一所示），第

一年計畫的結果與討論如下：

1. 具低速率高傳輸效能 IEEE 802.15.4 無線傳輸媒體存取(MAC)控制器之研製

在 IEEE 802.15.4 通訊協定中其最關鍵的問題是對於處理即時(real-time)服務的能力，因此在子計畫一中提出了一個改進標準 IEEE 802.15.4 協定的方法，叫做 interleaving access scheme (IAS)，此方法利用增加一個新的參數 interleaving order (IO) 來調整超級訊框的架構。根據 IO 的數值，每個超級訊框會被分割成 2^{IO} 數量的子區間 (subperiod)，並且每個子區間的長度 T_P 等於 $48 * 2^{(BO-IO)}$ 個 UBPs，如圖二所示。IAS 改進了標準 IEEE802.15.4 通訊協定，可有效降低平均資料更新的間隔並且減少節點電力消耗，詳細介紹請參考子計畫一結案報告。

2. 無線感測網路之系統評估模擬平台建置與基頻電路實現

子計畫二之目的是依照 IEEE 802.15.4 規格而建立完整的實體層模擬測試平台與基頻電路之硬體實現，其頻帶與調變之關係如圖三所示。在研讀 IEEE 802.15.4 與 IEEE 802.15.4a 規格書之後，進而規劃系統的架構，且定義系統的規格。以 Top-down 的設計方法，利用 ADS 與 Matlab 來建立完整的測試平台，包括了基頻電路與射頻電路的建立，對於實體電路無法模擬之無線通道的各種效應，經由通道模型的建立且加入系統平台的模擬，可得到實體電路無法預測之通道對系統之影響對於設計有極大的幫助。目前已完成四篇論文的投稿，詳細介紹請參考子計畫二結案報告。

3. 低功率高效能類比數位暨數位類比轉換器之研製

子計畫三的主要方向，在經由類比系統的分析模擬，來訂定基頻類比電路中的各個子電路界面規格。並經由各項技術可行性之探討，瞭解電路發展技術的方向。主要在實現 Zigbee 的實體層 (IEEE 802.15.4)，並以 System-on-Chip (SOC) 為設計的目標，不僅可以提昇國內無線通訊系統類比的前端電路分析及理論技術，亦可為相關工業技術升級，使台灣在下一波的 SOC 潮流能晉身世界水準。子

計畫三在第一年裡完成了探討 IEEE 802.15.4 protocol 後，加以進行實體層之模擬分析與規劃，其結果如圖四與圖五，並利用國家晶片系統設計中心 (CIC) 所提供的晶片下線機會，完成了數顆晶片的製作及量測，並藉由下線晶片評估其系統最適合類比數位轉換器暨數位類比轉換器架構之決定及增加在高頻量測方面更紮實的基礎知識與經驗。除此之外，在研究成果上本子計畫亦發表二篇與計畫相關之國際研討會論文，詳細介紹請參考子計畫三結案報告。

4. 無線感測網路微系統程式與發展系統之研製

本子計畫的目標放在建立起無線感測網路平台的 CPU 及 OS 的部份，並和其他子計畫完成規格上的協調及傳輸介面的定義。在計畫第一年度，因為各個子計畫都還在執行中，所以為了測試上的便利性，我們在 802.15.4 MAC、Wireless PHY、Movement Mechanism 及 Application 部份，都先採用其他市面上已有較簡易或類似功能的模組替代，待其他子計畫完成該模組後，再替換為預定功能之模組，而我們在第一年度執行中已完成規劃之無線感測網路平台圖，其他詳細介紹請參考子計畫四結案報告。

5. 自主性無線感測機器人群組合作之相對定位與地圖探勘演算法設計與實作

子計畫五目前第一年研究成果，主要利用數個 WSR (Wireless Sensor Robot) 以無基礎式通訊網路架構 (ad hoc network) 下，藉彼此間團隊合作，於未知環境內進行定位誤差修正，使定位誤差範圍可被限定在合理、可接受的臨界誤差內，進而利用該定位修正機制，後續研究 WSR 於探勘環境繪置地理資訊。

本子計畫在第一年裡，著重於 WSR 在定位時的誤差修正，並利用自行產生的定位誤差來驗證制定的修正演算法，並針對直線誤差、Leader 分佈情況對定位影響作分析，並且比較 dead-reckoning、重心法與我們所提定位修正演算法做比較，結果顯示我們所制定的修正演算法可以得到較高的準確率，如圖六所示。本文研究成果已發表於第十一屆 2005 Mobile Computing 行動計算研討會論文，詳細介

紹請參考子計畫五結案報告。

6. 自主性行動無線感測機器人：搜尋與聚集方法之研製

本子計畫發展一套自主性分散式無線感測嵌入式系統，透過無線網路，機器人之間可以互相的溝通協調，自主性的分群，並且以團體合作的方式，來達到有效率且省電的找尋目標物方法。

基於上述目的，本子計畫主要可分成兩個部分來介紹：一個是分散式感測機器人的分群機制，另一個就是多機器人的路徑規劃演算法。利用我們的分群演算法，不但降低通訊的訊息量，便可達到節省機器人電量的消耗。剩餘電量較多的機器人，會隨機等待一段倒數時間結束之後，若本身還沒有收到其他機器人發送分群的要求，自己則會廣播分群的訊息要求附近的機器人加入該群組。

另外，在設計機器人路徑規劃方面，我們提出具有協調機器人與成員機器人兩種角色的機器人分工合作系統來做路徑規劃。這套系統的優點是，我們可以針對分散式系統內，機器人可能重複偵測其他機器人已偵測過的部份和規劃路徑的動作來做改善，其模擬結果如圖七所示。在計畫研究的期間，我們構思的想法跟理論也被接受並且發表在相關領域的著名期刊，與國際會議論文上。

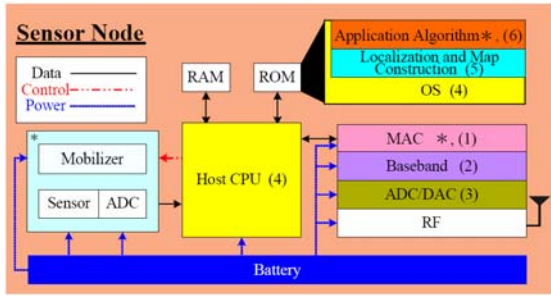
其他詳細介紹請參考子計畫六結案報告。

五、計畫自評

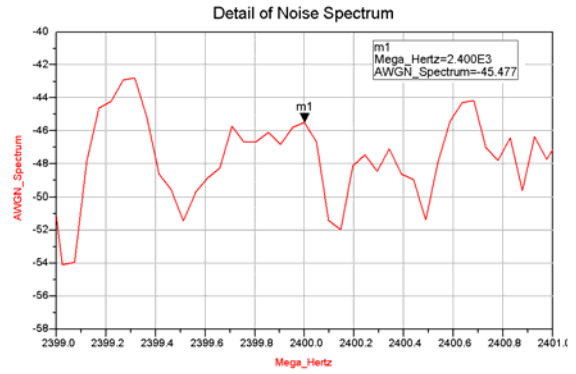
本計畫藉由專業分工之合作架構，分為六個子計畫，在執行期間共完成了十三篇論文投稿，被接受的共有十一篇，其中有兩篇國際期刊論文，八篇國際研討會論文及一篇國內研討會論文，詳細介紹請參考各子計畫之結案報告。

六、參考文獻

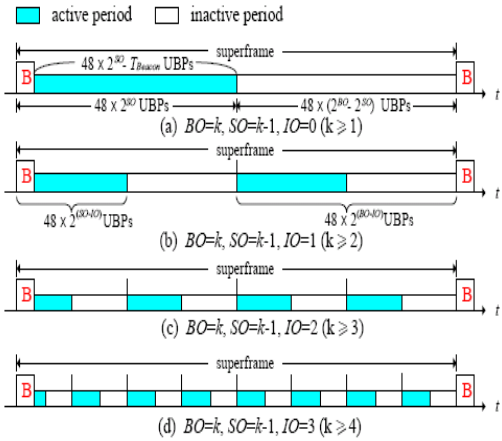
請參考各子計畫知結案報告。



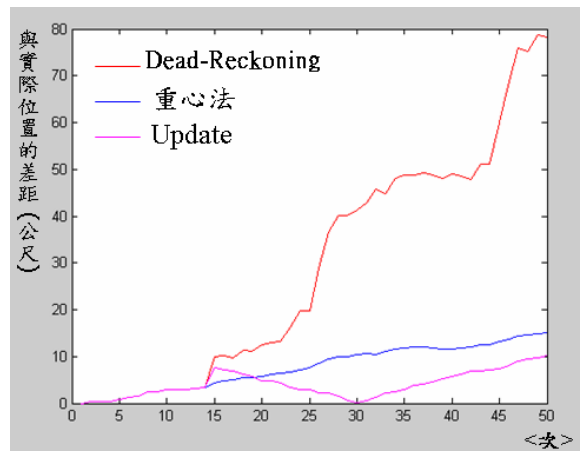
圖一、計畫開發硬體平台



圖五、雜訊頻譜圖



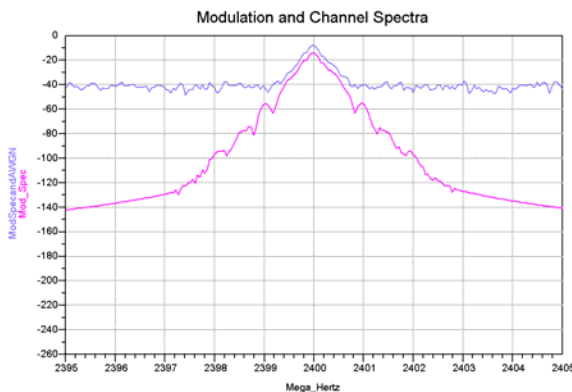
圖二、圖中顯示在超級訊框中帶入 IAS 所定義的 Interleaving Order 參數



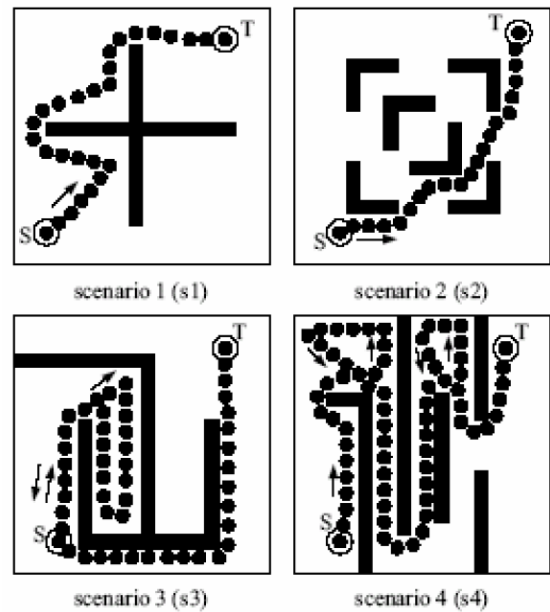
圖六、dead-reckoning、重心法及我們的定位修正演算法比較圖

PHY (MHz)	Frequency band (MHz)	Spreading parameters		Data parameters		
		Chip rate (kchip/s)	Modulation	Bit rate (kchip/s)	Symbol rate (ksymbol/s)	Symbols
868/915	868-868.6	300	BPSK	20	20	Binary
	902-928	600	BPSK	40	40	Binary
2450	2400-2483.5	2000	O-QPSK	250	62.5	16-ary Orthogonal

圖三、IEEE 802.15.4 之頻帶與調變之關係對應表



圖四、調變與通道頻譜圖



圖七、在我們設計的四個有障礙物的環境中，利用我們的系統的模擬結果