

行政院國家科學委員會專題研究計畫 期中進度報告

總計畫-微型仿生生物體之研發(1/3)

計畫類別：整合型計畫

計畫編號：NSC92-2213-E-002-051-

執行期間：92年08月01日至93年07月31日

執行單位：國立臺灣大學電機工程學系暨研究所

計畫主持人：陳永耀

共同主持人：顏家鈺，連豐力

計畫參與人員：李源華

報告類型：精簡報告

處理方式：本計畫可公開查詢

中 華 民 國 93 年 6 月 1 日

行政院國家科學委員會補助專題研究計畫成果報告

微型仿生生物體之研發

總計畫：微型仿生生物體之研發(1/3)

計畫類別： 個別型計畫 整合型計畫

計畫編號：NSC 92-2213-E-002 -051

執行期間：92年 8月 1日至93年 7月 31日

計畫主持人：陳永耀 國立台灣大學電機系教授

共同主持人：顏家鈺 國立台灣大學機械系教授

連豐力 國立台灣大學電機系助理教授

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

執行單位：國立台灣大學電機工程學系暨研究所

中 華 民 國 93 年 5 月

行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

微型仿生生物體之研發

總計劃：微型仿生生物體之研發(1/3)

計畫編號：NSC 92-2213-E-002 -051

執行期限：92年8月1日至93年7月31日

主持人：陳永耀

臺大電機系教授

共同主持人：顏家鈺

臺大機械系教授

連豐力

臺大電機系助理教授

計畫參與人員：李源華

臺大電機系

一、前言

本計畫為”微型仿生生物體之研發”整合型計畫之總計劃，希望藉由大自然的靈感，模仿微型生物體的肢體結構，如某些用腳行走的動物（昆蟲）在表面粗糙及不規則地形上的操控及性能上都可輕易勝過最靈巧的機械人，藉由研究這些生物體的系統特性來改良我們的機械人；再者模仿其感測致動行為，如在昆蟲(蛾)上觀察到藉由特殊的行為模式收集感測到的異性的費洛蒙氣味來幫助微型蟲作氣味源定位的任務。最後利用現有高科技通訊技術完成同群體間的溝通來發展群集的微型機械蟲，幫助我們完成人類所不可及之工作，如在惡劣的地形下進行探索，具有昆蟲特性的仿生機械可藉由其特性有效率的橫越困難地形，並利用微型感測系統進行探查，加上群體間的互助合作在進行災難救援時能發揮卓越的性能。

二、摘要

中文摘要

總計劃第一年的執行內容分成三份來個別進行，分別如下：

子計畫一完成收集昆蟲動態資料，設計昆蟲腳驅動機構，以達成類似昆蟲的運動機能，同時初步完成昆蟲腳驅動機制特性分析，以期設計出的仿生昆蟲載具能搭載子計畫二的訊息與溝通模組與子計畫

三的大腦與小腦感應模組。

子計畫二主要在探討探討螞蟻、蜜蜂等多群體生物系統中包括合作性或競爭性行為之協調行為的產生機制，以及了解此類行為產生時之資訊交換模式，然後依此模式設計出一套適用於多群組系統的動態資訊通訊之演算法。

子計畫三，主要在探討有限感測能力下，仿生昆蟲之行為反應模式設計及所能達成之預期工作目標；成果主要包含兩主題，氣體擴散環境的建立以及氣味追蹤演算法在氣味來源定位的應用。

英文摘要

The content of the first-year main project includes three sub-programs :

Subsidiary project(1): In order to simulate the behavior of the bugs. We observe and collect the behaviors of the bugs. We design the driver of the bug's foot. Then, we want to design the brain module and the communication module. In order to design a robot bug to exactly mimic the behavior and property of a real bug.

Subsidiary project (2): This sub-program's topic is to try to study the competition and reaction between the group being (ex. ant or bee) and information exchange rule. Then, use this methodology to develop a dynamic algorithm for

communication.

Subsidiary project (3) : Project 3 is focused on studying the bio-mimetic robot responding to the design module to achieve the anticipated goal under the finite sensor capacity. There are two objectives in the project: construction of odor distribution environment and odor tracking algorithm which is used to determine the position of odor source.

三、研究目的

總計劃之主要目的為進行各子計畫之整合，進行微型機械在力學仿生以及資訊與控制仿生上，司法大自然中微型甲蟲有利的機構設計及運動行為、有效率的感測致動行為以及群體間合作型行為的資訊互換機制。

子計畫一發展總計劃所需的仿生昆蟲載具，為達成類似昆蟲的運動機能，這部份進行昆蟲運動模式分析，藉由對昆蟲運動模式的了解，設計適合本總計劃使用的昆蟲腳步機構，初步將以蟑螂的運動機構為模仿的目標，蟑螂的機構對地形有極大的適應性，對於本計畫所發展的仿生昆蟲日後的應用有較大的幫助。

子計畫二設計數個或是一群具備基本智慧與行動能力的微型機械運動體以取代人類，於微型運動體的設計法則乃專注於將基本的功能，因此必須精巧地建築於一個體積微小的空間之中，如何設計一套機制能將整體性的工作目標，適切地傳遞到群體中的每一個個體之中，則是一項極具挑戰的研究目標。

子計畫三建立一套感測系統能讓微型仿生機械有能力去尋找及定位一個或多各氣味來源。氣味來源定位是尤其吸引我們作相關及深入的研究在這氣體感測的領域裡；因為此類應用被高度需求在瓦斯漏氣偵測、氣體污染源的追蹤以及救災

救難中失火的起始點。

總言之，本總計劃的目的在利用子計畫一的模仿生物體肢體結構及行走模式，建立支撐整個計畫的載具，搭載子計畫二的訊息與溝通模組與子計畫三的感測反應行為，以期設計出數個或是一群具備基本智慧與行動能力的微型機械運動體以取代人類在一個危險或是微小而不易到達之環境中進行監視、勘查、廢棄物清除以及路徑搜尋等工作。

四、文獻探討

近年來，設計仿生機器人一直是一個熱門的研究項目，不論是機器人的機構或是運動形式，都盡量設計成與生物體相近。六足機器人多以模仿昆蟲為對象，有模仿蟑螂的如[1,6,8]，有模仿竹節蟲的如[2,3,4]，四足機器人多模仿哺乳類，如[5]。而在行走的動力來源方面則眾人選擇皆不盡相同，如使用直流馬達的較大型傳統行走機器人[4]，或使用空氣活塞，如[1,6]，也有使用熱動式致動器(thermal bimorph actuator)，如[7]，或 IPMC(Ionic Polymer Metal Composite)致動器[8]，以及使用形狀記憶合金致動器的仿生機械，如[3]。在通訊行為方面則參考蜜蜂採蜜[9]以及螞蟻合作找尋食物源[10]之間的群體溝通行為，而溝通的機制在無線網路部份有 RF 射頻技術[11]以及光通訊技術[12]以及考慮在真實環境中這些無線通訊所會面對到的干擾問題[13][14][15]。最後在模仿昆蟲的感測反應方面，則參考了近來的生物行為仿生，諸如以已應用在氣味來源定位以及追蹤，如在蛾的研究裡發展的費洛蒙氣味追蹤[16]，[17]以及老鼠藉由空氣中的氣味找尋食物[18]，以及龍蝦藉由釋放在水中的氣味做追蹤[19]，[20]。生物學利用嗅覺來完成多種的任務包括找到相同的種類中、同伴間的通訊和

行為修正、避開敵人並且尋找食物來源。

五、研究方法

本總計劃因整合了三個子計畫之故，所以研究方法將分成三部分來探討及簡述其內容。

5.1 子計畫一

為達成類似蟑螂的複雜運動功能，將先探討六足機器人的步態分析，進而再針對蟑螂的步態作研究。為達成機構微小化的目的，則嘗試使用以形狀記憶合金為基礎的腳步驅動裝置，形狀記憶合金可以使致動器的體積有效的縮小，重量減輕，且易於加熱，但要使其快速冷卻可能不易做到。本計畫將對形狀記憶合金的特性進行探討，同時以所收集的資料進行驅動裝置的設計，同時對製作完成的驅動裝置進行性能測試。內容包含

5.1.1 六足機器人之步態分析

要對六足機器人進行之步態分析前，我們首先將機器人的六支腳進行編號，如圖 1 所示。接著我們探討何種情形會讓機器人不穩定，進而訂定這六支腳的步態準則，利用一串的步態分析完成前進後退或轉彎等動作中。

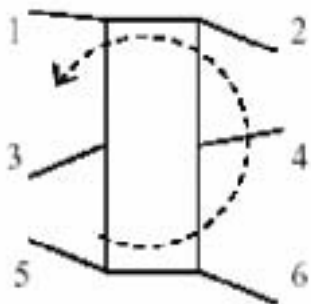


圖 1 六足機器人各肢腳之編號順序

5.1.2 形狀記憶合金

形狀記憶合金是一種能夠記憶原先形狀的機能材料，在特定溫度以下，受到

有限大小的應變時，將其加熱到臨界溫度以上，則材料會回復到原來的形狀，此即為形狀記憶效應(shape memory effect, SME)。一般金屬材料之彈性回復應變量不超過 0.1%；而形狀記憶合金卻擁有約 7~8%的形狀回復量此為與一般金屬最大的不同。目前最被廣泛利用的形狀記憶合金為 NiTi、CuZnAl 和 CuAlNi 合金。形狀記憶合金可用於致動器的製作，傳統機械人所使用的致動器，一般皆為馬達或是氣壓缸、油壓缸；其體積均較大，輸出功率與重量比非常小，效率低，不適用於小型機械人使用。利用形狀記憶合金的致動器具有體積小、重量輕的優點，適合應用於微型仿生機械的開發。

5.2 子計畫二

基於對生物群體系統行為科學的了解，以建構一套合適之動態資訊通訊協定，以符合整體系統在功能性目標之需求與系統強健性與擴展性之實現，著重於研究生物系統中群體行為科學，以及特徵化其行為模式之構成要素，進而建立生物行為表現與環境感測的關係因素，以及設計合作型行為的資訊互換機制等課題

5.2.1 生物多群組系統間的合作與競爭行為

螞蟻在行經的過程中，所產生的資訊主要是為了使下一隻螞蟻能夠走較佳的路徑，因此必須由每隻行經的螞蟻留下一些關於走過路徑的資訊。在螞蟻社會中，是以留下“費洛蒙(pheromone)”作為傳遞的資訊。每當螞蟻走過任一條路徑的時候，螞蟻的腹部便會分泌一種化學物質稱為“費洛蒙”。而每一隻螞蟻一個單位時間內可以走一個固定距離並且留下一個單位的費洛蒙。所以當第一隻螞蟻發現食物時，是以隨機的方式，選擇蟻窩到食物的路徑。並且再固定距離留下一單位的費洛

蒙。而下一隻螞蟻，則由於前一隻螞蟻所留下的費洛蒙氣味，會有較大的機率選擇上一隻螞蟻走過的路徑。且由於費洛蒙的濃度是會隨著時間而遞減，所以較長路徑上的費洛蒙濃度相對會較低。所以經由每隻螞蟻不斷的選擇路徑，最後會找出一條螞蟻窩與食物間的最短路徑。為螞蟻群模式之最佳化路徑產生之演算法。

5.2.2 生物環境資訊傳輸效能頻估：

在多群組系統中，主要是利用無線的通訊方式，讓微型仿生體彼此交換資料，以達成溝通合作的目的。例如：量測一整塊未知地形的溫度。而在這種探測溫度的功能需求之下，以及資料更新的速率考量，網路即時性的需求極為一項重要設計因素。因此，針對溝通時所產生的傳輸時間需求現象與網路壅塞時產生的時間延遲等重要因素對於時間參數必須分析其效能，並且針對產生的因素加以改進。

在網路上傳送不同類型的資料，均需要考慮不同網路使用層級上的問題。在講究「即時」的條件下，該如何設計我們傳輸的機制，才能使得不同類型的資料，均能有效率的在微型仿生個體之間傳輸，這是這部份要研究的主題。

5.2.3 無線傳輸模式：

無線傳輸模式根據規格和原理的不同可分為射頻(RF)模式和光學技術傳輸模式。

在 RF 模式下之 transceiver 的接收和發射機制，在有限的距離和功率上讓每個仿生個體間可以交換他們收集到的資訊。主要的目標乃是希望在多群組系統中個體之間可以主動溝通，主動交換訊息，並可以將其探勘到的訊息傳送出來。在多群組系統進行群體溝通之時，RF transceiver 之間傳送的資料會因為多方傳送或者是接收而發生傳輸上的碰撞，這一

方面需要一個有系統的控制法則來加以管理。

對於仿生群體系統中的溝通模式探討，另一種無線的傳輸的模式乃是利用光學通訊的技術，以達到資訊互換的可行性。運用光學通訊技術的種類很多，而且在設計上所需要考慮的因素盛多，因此，先針對光學通訊傳輸的種類和基本特性進行討論，接著對其原理以及其運用在微型仿生物系統的可行性作深入之研究。

5.3 子計畫三

藉由理解昆蟲追尋異性費洛蒙的行為為建立一套感測系統，來完成環境、行為與氣味源之間的關連性。

5.3.1 氣味搜尋系統的建立與設計

為了縮小微型機械的體積，我們假設機械蟲的運算能力受到限制；因此這部份採用反應式的氣味引導演算方式。其中偵測到的氣體濃度的位能場是因為氣體在環境中擴散的緣故，所以氣體擴散的形成跟位能場的建立是類似。所以，我們的微型機械並不需要事先知道環境的資訊如障礙物的位置以及氣味來源的位置，藉由解決位能場的問題可以幫助微型機械找到氣味來源的位置。總而言之，子計畫三提出一各不需要高度計算能力、結合階段性且能夠整合於微型機械的演算法。

子計畫三中氣味來源定位的工作被分為如圖 2 四個方塊，其各部功能如下：

A. 氣體擴散及微型機械所在的環境

在此方塊中所需的資訊是微型機械蟲所在的位置，之後根據這個位置相對於環境中氣味來源點以及障礙物所在的位置去推算在這個位置的氣味濃度值。

B. 偵測的氣體濃度補償演算法

一旦微型機械找到並宣告一個氣味來源點，之後氣體感測器所讀到的濃度值必須加以補償修正，而點氣味源消去法是我們用來計算所需要補償的氣味濃度。

C. 氣味引導和追蹤演算法

當微型機械蟲被置於一個氣體擴散的環境當中，此方塊的功用便是引領它走向氣味來源點以及在行走的過程中避開障礙物。

其中氣味搜尋的演算法可以大致分成三個工作，包括

- 氣味偵測：偵測漸漸增加的氣味濃度。
- 氣味追蹤：藉由氣體濃度梯度以及延伸的卡爾曼濾波器演算法引領微型機械走向氣味來源。
- 氣味來源宣告：決定微型機械蟲所在的位置是否是氣味來源點。

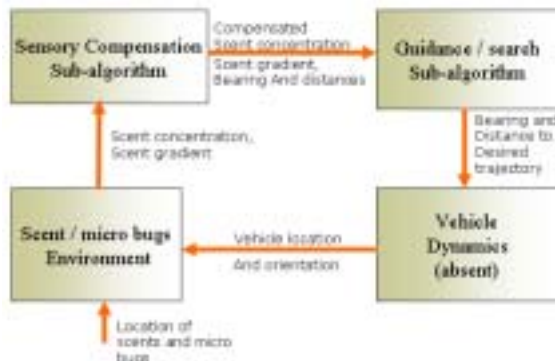


圖 2 搜尋氣味來源的系統方塊圖

5.3.2 氣味搜尋的演算法

這裡分別介紹氣味追蹤演算法的三個部分：

首先介紹階段整合的氣味追蹤，依照偵測到的氣味濃度作等級區分，根據氣體的擴散模型，氣體濃度分佈是隨著遠離來源點而驟降的；而在整各環境中氣味濃度的分佈大概在0.1左右，根據這樣的濃度分佈，我們將氣味搜尋的供作分成三各階段。分別是spiral surge, zigzag 路徑以及氣

味梯度方式搜尋，這三各階段形成本演算法的主要模型。

第二，介紹氣味來源宣告的方法以及氣味補償的演算法，這部分主要為了讓微型仿生機械可以尋找不只單一個氣味源而且是多個氣味來源。

最後，介紹一個簡單的避開障礙物的方法，用來幫助微型仿生機械可以在氣味追蹤的路途中避開障礙物。

六、研究結果與進度

本計劃為整合型計劃，整合了仿生學的三個領域(力學、資訊與智慧型控制)，模仿生物體的運動模式和身體結構、單一生物體的感測系統及生物群體間的協調行為並模仿及資訊交換機制，進而設計出微型仿生生物體機構。

據此，本整合型計畫將第一年度各子計畫的研究結果分述如下：

6.1 子計畫一

6.1.1 形狀記憶合金致動器試驗

這部份跟日本 TOKI CORPORATION 購買了編號 BMF100 的形狀記憶合金致動器，其線直徑為 $100\ \mu\text{m}$ ，可拉動約 80g 的重量。我們取 12.75cm 的長度來作試驗，將 BMF 的一端固定，另一端接上一個彈簧，接彈簧的目的是因為 BMF 只有在縮短時會產生力，伸長時並不會產生力，故接上彈簧當作一個回復偏壓。測試如圖 3 所示，圖 3(a)為 BMF 未經加熱時的長度，圖 3(c)為其局部放大圖，可看出原長度為 12.75cm。圖 3(b)為 BMF 經過通電流加熱收縮後的長度，圖 3(d)為其局部放大圖，可看出長度變為 12.2cm。其伸縮量約為原長的 4.3%。

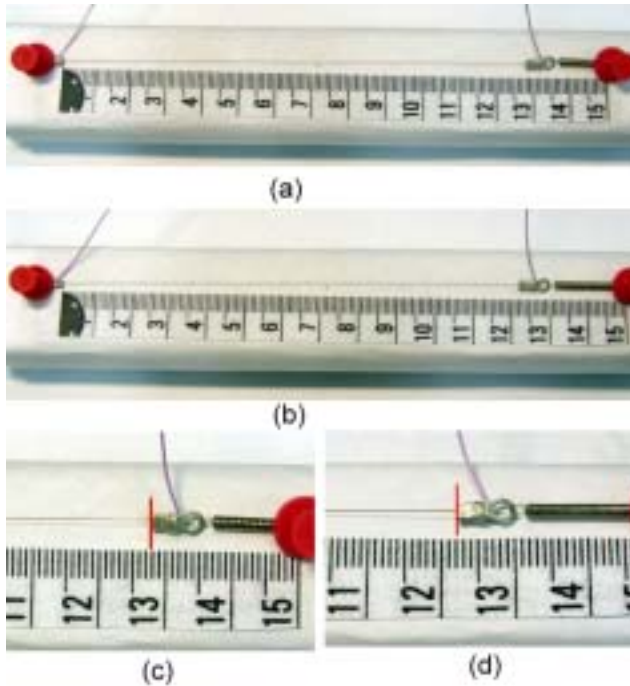


圖 3 BMF 之伸縮量試驗圖

6.1.2 利用 BMF 進行關節彎曲設計

利用形狀記憶合金致動器來驅動關節彎曲通常有兩種形式：偏壓形式(bias force type)及差動形式(differential force type)。圖 4 為其示意圖。圖中之「SMA wire」即為形狀記憶合金致動器。圖 5 為我們參考偏壓形式所自行設計的關節，我們使用一條 6cm 的 BMF100 做為關節的動力來源，使用一顆 AA(1.5V) 的鹼性電池作為電壓源，BMF 的伸縮量約為 0.3cm，可產生約 50 度的旋轉角度。由此可知雖然形狀記憶合金致動器所產生的伸縮量約只有原長的 5%，但我們可以透過機構的放大來達到我們所需要的較大行程。

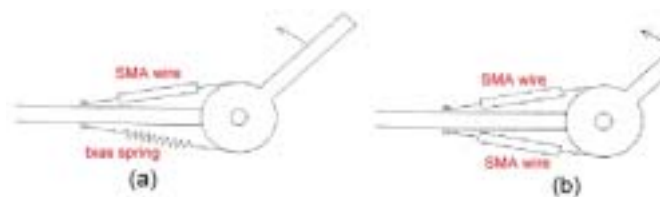


圖 4 關節之設計形式 (a)偏壓形式 (b)差動形式

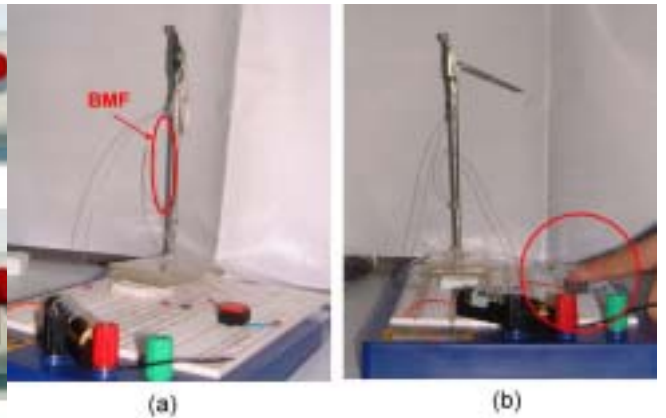


圖 5 偏壓形式之關節設計 (a)未通電壓前 (b)按下開關使通電壓

6.1.3 微型仿生機械之足部設計

我們針對微型仿生機械足部的設計提出了如圖 6 的設計概念，設計原則是讓肢腳可提供身體做 x ， y 以及 z 三度空間的運動。

首先看圖 6 中，肢腳與身體靠著一個旋轉接點(revolute joint)連接，此接點限制肢腳只能在 z 方向作轉動，在肢腳上靠近旋轉接點的部分我們使用一條纖維型的形狀記憶合金致動器(BMF)以及一條偏壓彈簧使其可作 z 方向的轉動，也就是 x - y 平面上的移動；在肢腳的末端為分離式的兩小節，靠著一條螺旋型的形狀記憶合金致動器(BMX)以及一對偏壓彈簧使兩小節彼此連結，並可產生 z 方向的位移。

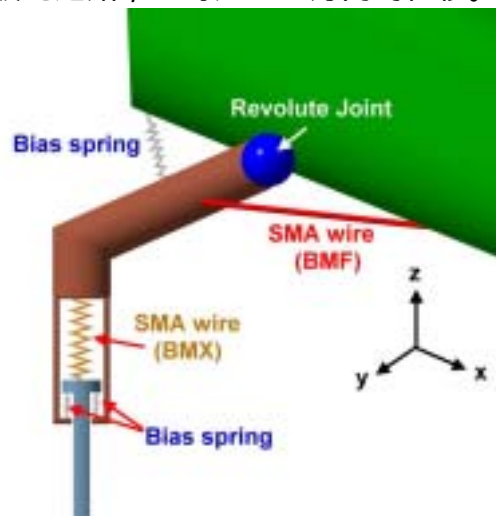


圖 6 微型仿生機械之足部設計圖

6.2 子計畫二

這部份主要是決定未來群體與群體之間的訊息交流是透過何種通訊方式。在此部分暫定使用的測試射頻通訊模組 RFID: CC1010 乃是屬於 UHF 的 868MHz 頻段

6.2.1 RF 電路介紹

在利用 RF 為主要的傳輸模式系統中，最重要的兩個參數就是 reader 產生的磁場和可以傳送到的最大距離，以下即以這兩個參數為主的一個電路介紹。

圖 7 為一個簡單的 RF system，左邊為一個 reader，由它產生磁場，去 wake-up 右邊的 transceiver，之後開始傳輸資料。Reader 收到的資料可以再傳到電腦裡面做進一步的處理。

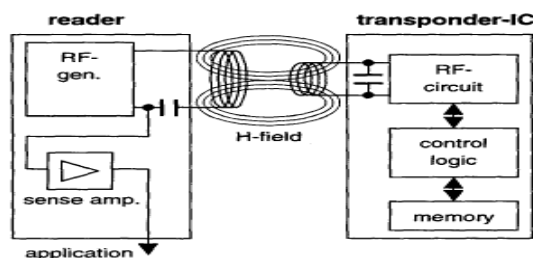


圖 7 Typical RFID system

6.2.1 可用之 RF 頻段整理

ITU (International Telecommunication Union) 規定了很多頻段給 short range device 使用，在這幾個頻段使用時是不需要申請的，其中有 ISM (industrial, scientific, and medical) band, LF (low frequency), UHF (ultra high frequency)。表 1 為這些可用之頻段之整理。

9-135KHz	LF
6.765-6.795 MHz	ISM
13.553-13.567MHz	ISM
26.957-27.283 MHz	ISM
40.66-40.70 MHz	ISM
865-870 MHz	UHF
902-928 MHz	ISM
2.4-2.5GHz	ISM
5.725-5.785 GHz	ISM
24-24.25 GHz	ISM

表 1 射頻通訊可用之頻段

6.2.3 系統架構

開始想到的是利用 RFID 來當作其溝通的媒介，但是因為 RFID 大部分都是被動式的，他必須要有一個 reader 產生磁場，藉著這個磁場可以提供 transceiver 電壓並且傳送資料，所以需要一個主動式的 RFID transceiver，讓它可以主動發送和接收資料。

目前所使用之 RFID 通訊模組 CC1010EM chipcon 公司所生產之 evaluation module，為一個帶有主動為處理機 8051 和 RF 晶片的 RF transceiver。主要的資料交換程式乃是建構於 8051 上，讓 RFID 主動的傳送資料，以完成個體間之溝通與協調之目標。利用 chipcon 公司所給的應用程式已經可以探測到區域性之溫度資料，並且可以將遠方探測到的溫度資料透過 RF 傳送到使用者端再經過 RS232 和電腦連接，最後顯示在電腦上。接下來即是依據實際環境所需之特性建構相關之程式碼，利用 CC1010EM 可以傳送的資料至不同的接收體。

由於我們使用的 RF transceiver 是主動式的，並且帶有一個 8051 processor 所以其要消耗的功率一定會比普通的 RFID 多很多，這是其主要缺點，但是也是因為有

Frequency	Type
-----------	------

一個 8051 processor 所以多很多 I/O port 可以利用，在收集資料和資料輸出方面有很大的幫助。這個問題將會修正無線傳輸之媒體存取控制機制之演算法來加以改進。

在射頻無線通訊的機制上所遇到的問題乃是能量的使用。因為當初的構想是要讓仿生物可以長時間的工作，所以現在用上了主動式的 RFID，所要花的功率應該會增加很多，所以最後在使用 CC1010 在仿生機械系統上時可能要在電源的地方設計一個開關，一段時間 ON 一次，然後收集資料發送出來，接著就 OFF，這樣才可以節省功率。另一個問題大概就是體積方面的問題，CC1010EM 的體積並不小，所以在應用方面可能會有許多問題，之後這一方面的硬體，應該要自己設計之電路版，並可以在上面加入適當感測元件。

6.3 子計畫三

6.3.1 階段式整合的氣味追蹤演算法

整個氣味來源定位的演算法主要被分為三個階段，其階段與階段間的關係圖如圖 8 所示，每個階段的演算法如下：

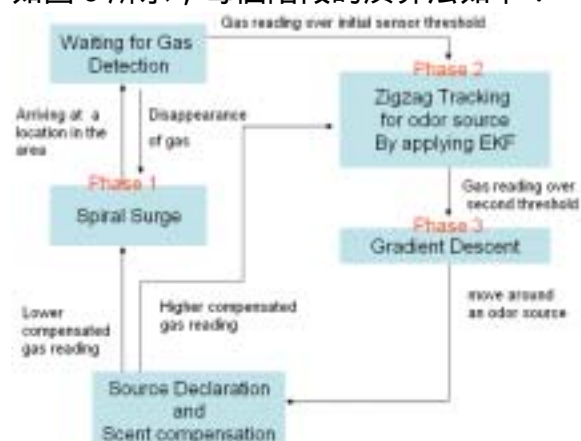


圖 8 氣味搜尋演算法的個各階段間的關係

Phase1. Spiral surge

一個氣味濃度臨界值， S_{th1} ，被設定

在 0.03 用來消除氣體感測器的初始臨界點，在氣體感測器偵測到的濃度值大於 0.03 時，才算真正感測到氣體。在這之前氣味來源的搜尋一開始先讓微型機械作 Spiral surge 的運動路徑，這個路徑是一開始由內向外螺旋旋出，(Spiral Gap)。這樣可以大致覆蓋到所在位置的周圍區域，如果搜尋的範圍過於龐大，一開始可以讓微型機械作較大 Spiral Gap 的運動，這種運動方式在尚未偵測到氣體前算是一種不錯猜測的搜尋路徑。

Phase2. Zigzag walking (延伸的卡爾曼濾波器)

當氣體感測器偵測的濃度值大於初始臨界點， S_{th1} ，微型機械將進入第二階段的氣味追蹤方式。這樣的氣味追蹤方法是啟發於大自然中蛾的行為模式 (*Bombyx mori*)。將此種行為模式應用到微型機械的氣味追蹤，一開始先讓微型蟲作一連串固定方向的 Zigzag 路徑行走；相對於整體前進的方向，每個 Zigzag 轉角大約在 60 度，之後將這個路徑上取樣的微型機械相對位置以及對應的氣體濃度，帶入延伸的卡爾曼濾波器，則可以預先估算出氣味來源的位置。之後微型機械開始作 two zigzag turns 的運動，不同的地方在於這一次 two zigzag turns 的運動，其整體前進的方向是根據前面估算出來的氣味來源位置，同時也將此次運動獲得的資訊帶入濾波器中作估算；此後，繼續做重複的 two zigzag turns 運動，也一直改變其整體的行進方向。如此可將預估的氣體來源的位置不斷的作修正，進而引導微型機械到達氣味附近。

Phase3. 梯度追蹤演算法

當微型機械蟲藉由 zigzag 運動往氣味

濃度高的地方行走時，如果到達一個區域使得偵測到的氣體濃度值大於第二個臨界點, $S_{th2}, 0.08$;則進入第三各階段的氣味追蹤演算法---梯度追蹤演算法。假設微型蟲身上還有其他的氣體感測器，藉由這幾個感測器的相對位置可以去推算氣體濃度的梯度值，進而直接指引到氣味來源的位置；至於為什麼要在濃度高的時候才用梯度演算法？因為微型機械的體積過小，導致在濃度低時的感測值都幾乎依樣；在濃度高的時候，其差異性才會變大，並計算出所在位置的濃度梯度值。

6.3.2 完整的氣味來源定位

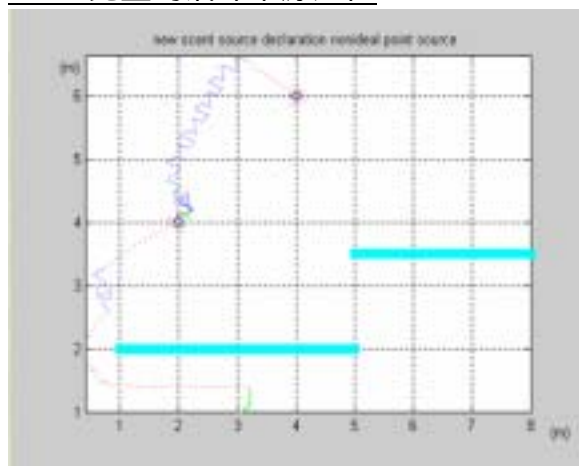


圖 9 完整的氣味來源定位及階段性的追蹤方式

圖 9 呈現完整的氣味來源定位工作。一開始微型蟲的位置置於(3, 1)，其中綠色的路徑被標記為在作 spiral surge 的運動。如果在路途中有障礙物的話，避開障礙物的演算法將指引它沿著障礙物邊緣走；在繞過障礙物之後，微型蟲作 zigzag 的行走利用延伸的卡爾曼濾波器去預測接近自己的氣味來源位置。最後，同樣經過梯度追蹤以及氣味來源宣告，微型蟲找到氣味來源並透過補償而找到另一個氣味來源點。

七、計畫成果自評

總計畫目前已完成計畫書中各子計畫所預計完成之目標

1. 搜尋昆蟲動態資料並建立仿生昆蟲動態模型。
2. 提出微型仿生昆蟲機構及蟲腳的驅動機構，現正進行整體微型仿生昆蟲機構設計。預計完成之建立仿生昆蟲動態模型，目前已完成仿生昆蟲之步態分析，正著手進行動態模型之推導。
3. 探討群體生物系統中合作型與競爭型行為的產生模式，以及特徵化此類行為模式之構成要素。
4. 完成生物系統中多群體間之行為科學的探討與模式建立，並且將此溝通行為模式之構成要素，以及確立與環境感測的關係因素所代表之資訊格式，進而設計具合作型行為的資訊互換通訊機制，同時探討在資訊傳輸時資料之即時性與完整性之特
5. 探討昆蟲類生物之感測能力、感覺受器，分析環境、目標與反應行為的關聯性，據此分析生物在環境感測因素下，產生的自主式行為---利用氣味感測器以及昆蟲行為演算法去追蹤氣味來源。

未來一年的進度勢必加強三個子計畫間的溝通協調，並在各自的進度上加快腳步，以期能如期完成微型甲蟲的雛形。

八、參考文獻

- [1]. Fred Delcomyn, Mark E. Nelson, "Architecture for a biomimetic hexapod robot," *Robotics and Autonomous Systems* 30 (2002) 5-15
- [2]. H.-J Weidemann, F. Pfeiffer, J. Eltze, "The Six-Legged TUM Walking Robot," *Proc. of the 1994 IEEE/RSJ Int. Conf. on Intelligent Robots and Systems*, München, Germany, Sept. 12 - 16, 1994, pp. 1026 - 1033
- [3]. Mills, J., "Lukasiewicz' Insect: The Role of Continuous-Valued Logic in a Mobile Robot's Sensors, Control, and Locomotion", *Proc. 23rd Int. Symp. On Multiple-Valued Logic*, IEEE

- Computer Society*, 1993.
- [4]. Weidemann, H. J., Pfeiffer, F., Eltze, J., "A Design Concept for Legged Robots Derived from the Walking Stick Insect", *Proceedings of the 1993 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*, Yokohama, Japan, July, 1993.
- [5]. W. Ilg, J. Albiez, R. Dillmann, "Adaptive Posture Control of a Four-legged Walking Machine using some Principles of Mammalian Locomotion", In *Proceedings International Symposium on Adaptive Motion of Animals and Machines*, Montreal, Kanada, 4.-8. Aug.2000
- [6]. Clark, J. E., Cham, J. G., Bailey, S. A., Froehlich, E. M., Nahata, P. K., Full, R. J. and Cutkosky, M. R., "Biomimetic Design and Fabrication of a Hexapedal Running Robot," *International Conference on Robotics and Automation (ICRA2001)*, Seoul, Korea, May 21-26 2001.
- [7]. Byungkyu Kim, Jaewook Ryu, Younkoo Jeong, Younghun Tak, Byungmok Kim, Jong-Oh Park, "A ciliary based 8-legged walking micro robot using cast IPMC actuators," *ICRA 2003*: 2940-2945
- [8]. R. J. Bachmann, D. A., kingsley, R. D. Quinn, R. E. Ritzmann, "A cockroach robot with artificial muscles," *5th international conference co climbing and walking robots*, pp. 659-666, 2002.
- [9]. T. Yamaguchi, M. Masubuchi, K. Fujihara and M. Yachida, "Realtime Reinforcement Learning for a Real Robot in the Real Environment," in the proceeding of IEEE/RSJ International Conf. on Intelligent Robots and System, vol. 3, pp. 1321-1328, November 4-8, 1996.
- [10] Y.U. Cao, A.S. Fukunaga, A.B. Kahng and F. Meng, "Cooperative Mobile Robotics: Antecedents and Directions," in Proceeding of 1995 IEEE/RSJ International Conf. on Human Robot Interaction and Cooperative Robots, vol. 1, pp. 226-234, August, 1995.
- [12] Tom Ahlkvist Scharfeld, "An Analysis of Fundamental Constraints on Low Cost Passive Radio-Frequency Identification System Design," M.S. Thesis, Massachusetts Institute of Technology, 2001
- [13] V. Hsu, J. M. Kahn, and K. S. J. Pister, "Wireless Communications for Smart Dust," Electronics Research Laboratory Technical Memorandum Number M98/2, February 1998.
- [14] Dominic C. OBrien, Grahame E. Faulkner, "High Speed Integrated Transceivers for Optical Wireless," *IEEE Communication Magazine*, March 2003.
- [15] 李肇巖, 通訊通訊系統原理, 全華出版社 1999 年修訂版
- [16]. R. T. Carde and A. Mafera-Neto. Effect of pheromone plume structure on moth orientation to pheromone. In R. T. Carde and A. K. Minks, editors, *Perspectives on Insect Pheromones. New Frontiers*, pages 275. Chapman and Hall, N.Y., 1996.
- [17]. J. H. Belanger and M. A. Willis. Adaptive control of odor guided locomotion: Behavioral flexibility as an antidote to environmental unpredictability. *Adaptive Behavior*, 4:217-253, 1996.
- [18]. U. Bhalla and J. M. Bower. Multi-day recording from olfactory bulb neurons in awake freely moving rats: Spatial and temporally organized variability in

odor-ant response properties. *J. of Computational Neuroscience*, 4:221-256, 1997.

[19]. J. Atema. Eddy chemotaxis and odor landscapes: Exploration of nature with animal sensors. *Biological Bull.*, 191:129-138, 1996.

[20]. M. J. Weissburg. From odor trails to vortex streets: Chemo and mechanosensory orientation in turbulent and laminar flows. In M. Lehrer, editor, *Orientation and Communication in Arthropods*, pages 215-246. Birkhauser, Basel, 1997.