

# 行政院國家科學委員會專題研究計畫 期中進度報告

## 子計畫三：智慧型感測系統與仿生生物體行為及運動模式設計(2/3)

計畫類別：整合型計畫

計畫編號：NSC93-2213-E-002-050-

執行期間：93年08月01日至94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

計畫參與人員：陳贊文、陳信名、田家倫、王豪綜、賴亦桓

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 5 月 31 日

# 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 (2/3)

子計畫三：智慧型感測系統與仿生生物體行為及運動模式設計(2/3)

計畫編號：NSC 93-2213-I-002-050-

執行日期：93 年 8 月 1 日至 94 年 7 月 31 日

計畫主持人：陳永耀 國立台灣大學電機系 教授

計畫參與人員：陳贊文、陳信名、田家倫、賴亦桓、王豪綜

### 一、 摘要

本計畫為整合型計畫「微型仿生生物體之研發」之子計畫三，本子計畫之主要研究目標在探討有限感測能力下，仿生昆蟲之行為回應模式設計及所能達成之預期工作目標。研究重點在於感測系統之建立及智慧型感測訊號處理與群體行為分析。本子計畫第二年度主要的執行內容包含微型機械蟲短程感測裝置之硬體設計及如何透過有限資訊的交換，模仿自然界中生物的「群體智慧」，使一群微型機械蟲表現出有智慧的群體行為。

關鍵詞：生物群體行為、人工生命、群體智慧、超音波、紅外線。

### Abstract

This project is one of the sub-projects of the main project "The development of Bio-mimetic Micro-robot". The main objective of this sub-project is to study how to design the behavior of the Micro-Robot under limited sensing capability. The main objective of this sub-project this year

contains two principal themes. First, we discuss the properties of the short-term sensors we have chosen - infrared sensors, the arrangement of the sensors, and signal interpretations. In the second part, we would like to design rules for group behavior of our robots. We developed an algorithm to "Neighboring Problem." This is the first step to analyse and design our bio-mimetic micro-robot with "group intelligent."

**Keywords:** Infrared, Ultrasonic, Artificial Life, Integral Behavior, Neighboring Problem.

### 二、 計畫緣由與目的

微型機械具有感測周遭環境的刺激以及產生相對應的行為，可用在無人監督下幫忙人類完成許多工作，包括許多重複性以及危險性的工作如救災、搜尋有毒瓦斯味來源，以及應用於生產線增加生產力等等。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。在本子計畫第一年度中，我們

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。

從第二年度開始，我們希望整合子計畫二、三先前成果，將這些微型機械一些基本的功能，如避障、通訊、氣味濃度感測等，加上回應機制，透過數隻分散的微型機械來勘查一個未知的環境。在一個未知的環境中，每隻微型機械透過有限範圍的無線通訊交換本身周遭的資訊包括氣味濃度、鄰居、障礙物分佈情形，做為判斷及決策的參考資料，表現出一種協調、整合群體行為，有「智慧」的將整個未知環境勘查完畢。

### 三、 文獻探討

#### (一) 短程感測硬體探討

目前在偵測前方物體距離有超音波測距、雷達測距、雷射測距、紅外線測距等方式，雖然使用的媒介不盡相同，原理卻大致相同，即為計算從發出去訊號到接收反射訊號的時間差來推算被測物的距離，端看應用上的限制及需求來選用不同的偵測方式。

在機械人避障的應用方面，許多文獻選擇超音波作為機械人避障的感測器，如 J. Borenstein, Y. Koren 他們以超音波作為感測器發表了許多避障演算法[14][15][18][19]，使得智慧型機械人在遇到障礙物時所做的決定更為「聰明」，T. YATA, L. KLEEMAN, S. YUTA[13] 及 P. Veelaert, W. Bogaerts [17] 也選擇了超音波作為避障演算法的基礎。而紅外線應用在機械人方面，迷宮鼠是一個常見的例子，迷宮鼠利用紅外線作為避障感測

器，避免機器鼠在走迷宮的過程中碰到牆壁。

紅外線技術發展到現在，已經為大家所熟知，在許多領域皆有廣泛的應用。紅外線的運用早在一、二十年前就已經運用在家庭裡，最為人們所熟悉的是遙控器，遙控器就是利用紅外線來傳輸資料，目前其應用範圍普及，如汽車倒車雷達、數位相機的紅外線測距、行動電話的資料傳輸、鍵盤、滑鼠等不勝枚舉[22]。

#### (二) 生物群體行為探討

人工生命(Artificial Life 或 ALife)是近年來一個新興的研究領域。人們企圖以計算機及其他人造的媒介模擬、重建出一些生物現象，包括個體的適應性行為、群體行為、自我進化等。人工生命不單單在研究當只有一個生物個體時的自身行為，亦在觀察將多個生物體在一起時個體行為的改變、個體間的互動、個體與環境的互動、以及群體行為的產生。人工生命包含的領域相當廣，包括了工程領域、計算機科學、生物學、物理學、化學、甚至社會學等[5]。

人工生命與人工智慧這兩個領域似乎有不少相似之處，然而兩者卻是有明顯的差別。若從人工生命的角度切入來看，當我們在建構一個機器人的時候，是從最基礎的元素經過進化、學習、適應而擴充成一個複雜度較高的系統，為一個由下而上的方式(bottom-up approach)；從人工智慧的觀點而言，設計者先設定好一個目標，也許是一個複雜的行為或一個任務，再去找出需要的元素建構出可完成這個目標、任務的機器人，這是一

種由上而下的方式 (top-down approach) [5]。

然而人工生命所討論的不只包含有智慧的生物，對於活著的有機體 (living organisms)，也是該領域研究的對象。動物界中有許多所謂的”群體智慧” (group intelligent) 這樣有趣現象，舉例而言，當蜜蜂在築巢的時候，並不是每隻蜜蜂都真的知道自己在建構什麼 [10]；或是一群飛行的鳥，他們以同步的速度飛行，遇到障礙時會自動分開成兩群、繞過障礙物再合併一群。這顯示了群體之中存在一些簡單的法則，使得每個個體依照著這些法則來與其周圍的環境及鄰居產生互動，呈現出所謂有智慧的群體行為，而不是經由一個領導者發號命令產生的群體行為。

到目前為止國外有許多的研究畫在進行，如 Tierra 計畫中，Tom Ray [11]，Adami 和 Richard Lenski [12] 試著在一個虛擬的環境中探索生物自然進化的情況。

#### 四、 研究方法

我們希望微型機械蟲有兩種感測能力，其一為遠程距離的感測，即本子計畫第一年度所發展的氣味追蹤演算法；另一個則為短程距離的感測，主要目的是在障礙物的偵測。我們可將遠程距離的感測能力視為一個引導微型機械前進的方向指標，而短程距離的感測為前進過程中微調的引導。

至於群體行為的部份，師法自然界中的動物群體，如魚群同步的游動、候鳥成一特定隊形飛行等，藉由分析動物群體中，個體與個體、環境

間互動的基本法則，設計出符合目的的法則，建構出微型機械蟲的群體行為。

### 五、 研究成果

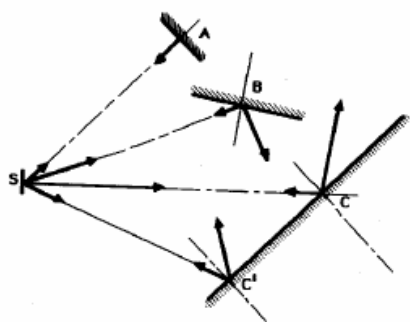
#### (一) 短程感測器之硬體建置

在選擇機械蟲的避障感測器方面，本計畫最後採用紅外線做為感測的媒介。相對於超音波而言，紅外線具有體積小、成本低廉、耗電性低、低干擾性的特性，因受限於微型機械蟲酬載能力、電源供應等，後兩個特性是我們考慮選用紅外線當作感測器主要原因。

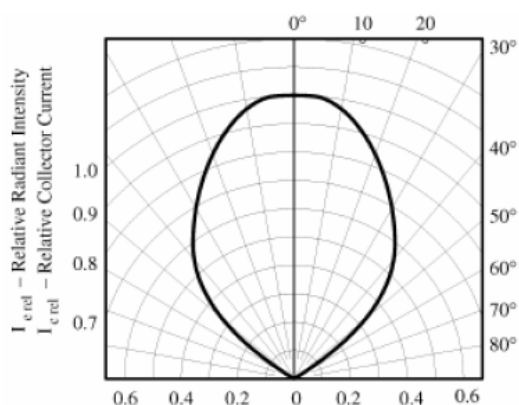
然而紅外線在距離量測範圍上比超音波小了許多 (一般而言，超音波的量測距離約在 5m 至 10m)，但比超音波較具方向性。在圖一中，我們可以看出超音波所打出的錐形聲波明顯的紅外線發射出去的錐形大，在錐形聲波所涵蓋的範圍內只要有障礙物都有可能被偵測到，而對於障礙物確切的方位卻無法透過超音波得知，這樣先天的限制可以透過架設多的超音波測距裝置改善 [14]；當障礙物的面向不佳時，亦會造成誤判。離發射點越遠，超音波的錐形聲波會擴展的越大，對於小體積的微型機械蟲而言，過大的障礙物偵測範圍反而會造成微型機械蟲在判斷決定下一個作動時的干擾。

至於紅外線發射器所打出較窄的錐形，可偵測的範圍較小，距離也較短，對於障礙物有較高的方向性。圖二為 Vishay Telefunken 這家公司所生產的 CNY70 紅外線感測器的規格圖，90% 強度的紅外線光束約集中在正負 20 度的範圍內；而 LITEON 所生產的

LTE4238，80%約集中在正負 10 度以內，對於小體積的微型機械蟲，能夠提供較有效的障礙物資訊。

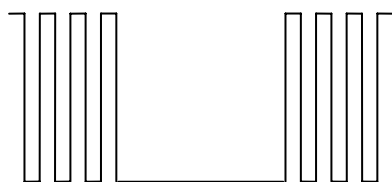


圖一 超音波在方向上的不確定性



圖二 紅外線發射強度與散射角關係圖

大自然中到處皆充滿了紅外線，只要是溫度高於絕對零度的物體就會發出紅外線，為避免這些外來的干擾，我們可以在發射端加上一些特定頻率的識別訊號，如圖三所示意，便於在接收時用以判斷是否為本身發出的訊號，此構想來自於生活中常見的紅外線遙控器工作原理，如此便能準確判讀訊號的來源是否正確。



圖三 識別訊號示意圖

## (二) 群體行為之探討

本計畫的目的是希望透過一群有限感測能力的微型機械蟲來探索一個未知的區域及尋找氣味源。受限於微型機械的先天限制，每隻微型機械蟲的感測能力範圍有限，我們希望讓微型機械蟲將自身所感測到的資訊傳送出去，使得每隻微型機械蟲能藉由自身所感測到的資訊以及透過無線傳輸所獲得的訊息為依據，作出下一個動作的決策，表現出群體行為。

群體中的每個個體，都遵循著一些規則，產生群體行為，其中這些個體有下列這些性質，平行計算(Parallel Computation)、局部性(Locality)、及一致性(Homogeneous)。所謂平行計算的性質，指的是每個個體都同時同步的在改變；而局部性意思是每個個體只受周圍環境及個體的影響；一致性則說明了所有個體均受相同的規則所支配。

我們可以將分析微型機械蟲的群體行為，分為三個層次，資訊交換(Communication)、協調(Coordination)及整合行為(Integral Behavior)。資訊交換的部份，在進行第一年成果中第三階段氣味梯度追蹤演算法時，因為微型機械蟲體積過小，空間中氣味濃度梯度變化小於氣味感測器的靈敏度，導致無法單靠自己本身有效感測出氣味梯度，所以我們希望藉由無線通訊交換彼此的氣味濃度資訊，作為決定下一個搜尋動作的參考資料，就如同當螞蟻在搜尋食物時，會以腹部碰觸地面留下費洛蒙，提供之後來到該處的螞蟻一些訊息。協調的部份，規劃訂定一些簡單的法則讓每隻微型機械蟲來遵守，這些簡單的法則描述

了和周圍微型機械蟲及環境的互動，作為我們分析群體的整合行為的基礎。

### (三) 機械蟲之分布 - 「鄰居問題」

由於微型機械蟲的通訊範圍以及技術上的限制（例如載具酬載感測器的能力、能源供應、計算能力等限制），每隻機械蟲只能知道誰是自己周圍的鄰居，由於接收無線通訊的信號時無方向性，而不知道每個鄰居的正確位置，這樣會造成機械蟲雖然有接收到別隻傳送的訊號，但卻不知道正確的來源方向，以至於無法決定下一個動作。因此每隻機械蟲若能知道自己周圍鄰居概略的分布情形，將有助於機械蟲在判斷上的準確度。以下對我們所設計的演算法做介紹。

首先將「鄰居問題」(Neighboring Problem)重新定義如下：每隻機械蟲只知道誰是自己周圍的鄰居，而不知道他們確切的位置，試找出一個（或多個）符合這些條件的分布情況。接著我們做了幾個假設以簡化我們的問題：

1. 機械蟲的感測能力有限。
2. 機械蟲是在一個格子狀世界 (grid world)。
3. 機械蟲的通訊能力有限，在此我們訂定為一個格子的距離如表一所示。
4. 每個格子只能容納一隻機械蟲。

	R7	
	R1	R3
R12		R11

表一 通訊能力假設示意圖

由以上假設可得知，每隻機械蟲周圍最多只能有八個鄰居。

假設現在有一組機械蟲分佈資訊如表二所示：

Robot Number	Neighbors
1	2,3,6,7
2	1,4
3	1,5,6,7
4	2
5	3
6	1,3,7
7	1,3,6

表二 相鄰機械蟲資訊

舉 1 號機械蟲為例，它的鄰居有 2、3、6、7 號機械蟲。將其轉換為鄰近矩陣 (Adjacency Matrix) 如表三所示， $R_i$  和  $R_j (i \neq j)$  為鄰居，則在鄰近矩陣相對應的位置上填 1，反之則填 0；當  $i = j$  時，則填上 1。

	1	2	3	4	5	6	7
1	1	1	1	0	0	1	1
2	1	1	0	1	0	0	0
3	1	0	1	0	1	1	1
4	0	1	0	1	0	0	0
5	0	0	1	0	1	0	0
6	1	0	1	0	0	1	1
7	1	0	1	0	0	1	1

表三 鄰近矩陣 (Adjacency Matrix)

本計劃所設計的演算法流程如圖四所示，各個步驟簡介如下：

#### Step 1: 初始化

1. 將微型機械蟲依出現次數多寡排序。
2. 將第一隻機械蟲放入格子世界中

適當的位置 ( $i=1$ )。

**Step 2: 將子代擺入等待序列(queue)**

1. 將  $robot_i$  (父代) 從等待序列中移除，且將未擺入格子世界的鄰居 (子代) 依照出現次數的多寡依次放入等待序列中。
2. 設定子代性質  $root[.] = i$ 。
3.  $i = i + 1$ 。

**Step 3: 置入格子世界**

1. 檢查是否有適當的位置符合所有限制條件，若無，則  $i = i - 1$ ，回到 Step 3；若有，則將  $robot_i$  放置於該位置並記錄其相對位置  $relative[.] = l$ ， $l = 1 \sim 8$ ，回到 Step 2，直到等待序列清空。

相對位置  $relative[.]$  是指相對於父代的位置，這將有利於當我們遇到無解的情況時，回溯重新找答案。相對位置的編號如表四所示。

5	4	3
6	$robot_i$	2
7	8	1

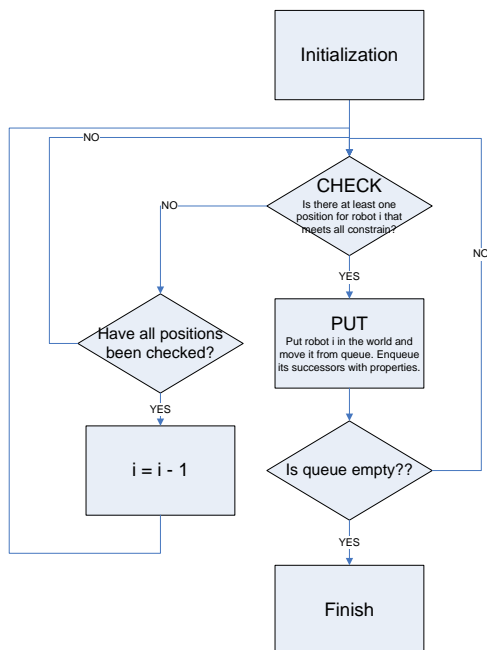
表四 相對位置圖示

0	0	0	0	0	0
0	5	0	0	0	0
0	0	3	7	0	0
0	0	6	1	0	0
0	0	0	0	2	0
0	0	0	0	0	4
0	0	0	0	0	0

表五 表二經演算法搜尋到的分布之一

0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	6	7	0	0
0	0	3	1	0	0
0	5	0	0	2	0
0	0	0	0	0	4
0	0	0	0	0	0

表六 表二經演算法搜尋到的分布之二



圖四 演算法流程圖

根據我們的演算，表二的範例所搜尋到兩組可能的分布情況，其結果如表五及表六所示。

若將以上任意一個結果作旋轉或鏡攝後所得的分布皆視為同一種搜尋的分布結果，在這個簡單例子中，微型機械蟲主要群集的部份 (藍色底) 就是上圖所示的這兩種分布情況，相異處為對角的機械蟲不同。

我們所關心的是根據此演算法所找到的分布中，機械蟲群集部份的差異性，我們對於這些不在群集部分的機械蟲的資訊不多，雖然會產生多重解的可能性較大，這些多重解產生的差異性對於整體的分布而言的影響是比較小的，因為此原因，本計劃所設

計的演算法對於周圍沒有鄰居的機械蟲是不加以處理的。

## 六、 結論

在短程感測的部份，本計畫根據微型機械蟲本身的行動限制及功能需求，選擇了紅外線作為感測的媒介，同時對其基本特性、應用及限制有了初步的瞭解。紅外線基本上具有高方向性的性質，必須藉由設計規劃紅外線感測器於微型機械蟲上的硬體配置加以解決，也將再計畫中繼續探討。

在探討群體行為方面，本計畫提出所謂「鄰居問題」(Neighboring Problem)演算法。在有限資訊之情況下，尋求微型機械蟲之可能分布情況，做為探討群體行為第一個層次(資訊交換)的基礎。微型機械蟲在接收資訊時並不知道資料來源的方向，透過研究微型機械蟲分布的情況，可以估測資訊來源的方向。對於同一組分佈的資訊，利用此演算法所搜尋到的結果可能會產生多重解，多重解之間差異性的分析與探討，是本計畫下一工作目標。

## 七、 計畫成果自評

本子計畫第二年度完成微型機械蟲之短程感測器硬體規劃與元件測試。同時提出「鄰居問題」演算法，利用有限的資訊，找出一群機械蟲可能分布的情況。預計以此為基礎，再將假設放寬，以期能更逼近真實情況。藉由了解機械蟲群分布的情況，著手進行分析及設計互動法則，使得微型機械蟲之間的反應及互相的協

調，能夠展現出有群體智慧的整合性行為。

本計畫預計在七月底之前將完成：

1. 架設紅外線感測裝置及測試，其中包括了特性測試、訊號取得、訊號解讀等。
2. 規劃紅外線感測裝置的數量及配置。
3. 將通訊距離的資訊加入到演算法中及放寬假設條件，以期更逼近真實的情況。
4. 加入時間序列的因素，以期能推算出群體活動的情況。

## 八、 參考文獻

- [1]. I. A. Wagner, M. Lindenbaum, and A. M. Bruckstein, "Distributed covering by Ant-Robots Using Evaporating Traces," *IEEE Transactions on Robotics and Automation*, VOL. 15, NO. 5, October 1999.
- [2]. T. UEYAMA, T. FUKUDA, "Self-Organization of Cellular Robots using Random Walk with Simple Rules," *IEEE*, 1050-4729.
- [3]. T. FUKUDA, G. IRITANI, "Evolutional and Self-Organizing Robots - Artificial Life in Robotics," *IEEE Symposium on Emerging Technologies & Factory Automation*.
- [4]. S. I. Roumeliotis, G. A. Bekey, "Distributed Multirobot Localization," *IEEE Transactions on Robotics and Automation*, VOL. 189, NO. 5, October 2002.
- [5]. N. Forbes, "Life as it could be: A life attempts to simulate evolution," *IEEE Intelligent Systems*, November/ December 2000, p.2-7.



- [6]. M. J. Mataric, "Coordination and learning in multirobot systems," *IEEE Intelligent Systems*, March/April 1998, p.6-8.
- [7]. A. M. Wildberger, "Introduction & Overview of Artificial Life – Evolving Intelligent Agents for Modeling & Simulation," *Proceedings of the 1996 Winter Simulation Conference*.
- [8]. H. W. Thimbleby, I. H. Witten, D. J. Pullinger, "Concepts of Cooperation in Artificial Life," *IEEE Transaction on Systems, Man, and Cybernetics*, Vol. 25, No. 7, July 1995.
- [9]. H. Iizuka, T. Ikegami, "Adaptability and Diversity in Simulated Turn-taking Behavior," Massachusetts Institute of Technology, 2004.
- [10]. G. Theraulaz, W. Bonabeau, "Coordination in Distributed Building," *Science*, VOL. 269, NO. 687, 1995, pp. 686-688.
- [11]. J. L. Casti, *Would-be Worlds: How Simulation is Changing the Frontiers of Science*, John Wiley & Sons, New York, 1997, p.165.
- [12]. T. Appenzeller, "Test Tube Evolution Catches Time in a Bottle," *Science*, VOL. 284, NO. 5423, 1999, pp.2108-2110.
- [13]. T. YATA, L. KLEEMAN, S. YUTA, "Wall Following Using Angle Information Measured by a single Ultrasonic Transducer," *Proceedings of the 1998 IEEE International Conference on Robotics & Automation*, Leuven, Belgium, May 1998.
- [14]. J. Borenstein, Y. Koren, "The Vector Field Histogram – Fast Obstacle Avoidance for Mobile Robots," *IEEE Transactions on Robotics and Automation*, VOL. 7, NO. 3, June 1991.
- [15]. J. Borenstein, Y. Koren, "Potential Field Methods and Their Inherent Limitations for Mobile Robot Navigation," *Proceedings of the 1991 IEEE International Conference on Robotics and Automation*, Sacramento, California, April 1991.
- [16]. J. H. Chuang, "Potential-Based Modeling of Two Dimensional Workspace Using Several Source Distributions," *Proceedings of the 1994 IEEE International Conference on Multisensor Fusion and Integration for Intelligent Systems (MFI'94)*, Las Vegas, NV, Oct 2-5, 1994.
- [17]. P. Veelaert, W. Bogaerts, "Ultrasonic Potential Field Sensor for Obstacle Avoidance," *IEEE Transactions on Robotics and Automation*, VOL. 15, NO. 4, August 1999.
- [18]. J. Borenstein, Y. Koren, "Real-Time Obstacle Avoidance for Fast Mobile Robots," *IEEE Transaction on Systems, Man, and Cybernetics*, Vol. 19, NO. 5, September/October, 1989.
- [19]. J. Borenstein, Y. Koren, "Obstacle Avoidance with Ultrasonic Sensors," *IEEE Journal of Robotics and Automation*, VOL. 4, NO. 2, April, 1998.
- [20]. ALIFE BIBLIOGRAPHY, <http://www.cogs.susx.ac.uk/users/ezequiel/alife-page/alife.html>
- [21]. Artificial Life: Selected Links & Literature, <http://homepages.feis.herts.ac.uk/~comqkd/Alife.htm>
- [22]. 科技投資網 - 名家專欄, <http://www.2300.com.tw/author/>