

行政院國家科學委員會專題研究計畫 期中進度報告

子計畫二：生物群體協調行為之探討與無線通訊機制之整合

(1/3)

計畫類別：整合型計畫

計畫編號：NSC92-2213-E-002-053-

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：連豐力

共同主持人：呂良鴻

計畫參與人員：李君威、曾志豪、魏嘉樑、許瑋豪、林雍倫、戴兆弘、馮天俊

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 5 月 26 日

微型仿生生物體之研發 (1/3)

子計畫二：生物群體協調行為之探討與無線通訊機制之整合 (1/3)

Study of Group Behaviors of Biological Systems and Integration of Wireless Communication Protocol Design

計畫編號： NSC 92 – 2213 – E – 002 – 053

執行時程： 92 年 8 月 1 日至 93 年 7 月 31 日

計畫主持人： 連豐力 國立台灣大學電機系 助理教授

共同主持人： 呂良鴻 國立台灣大學電子所 助理教授

計畫參與人員： 李君威、曾志豪、魏嘉樑、許瑋豪、林雍倫、
戴兆弘、馮天俊 國立台灣大學電機系

一、摘要

中文摘要

本計畫為”微型仿生生物體之研發”整合型計畫之子計畫二，主要在探討生物系統中群體內與群組間的行為科學，從了解生物系統之資訊交換機制，進而設計一套適用於多群組仿生工程系統之無線通訊協定。本子計畫第一年度主要的執行內容，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。同時，針對實際建構於個體上之通訊硬體模組，討論以無線射頻通訊模組與光學通訊模組為主之設計原理，分析其優缺點，與實際應用時之設計考量因素。

關鍵詞：生物群體行為、動態通訊協定、射頻通訊模組、光學通訊模組

Abstract

The proposed project plans to design wireless communication protocols in a dynamical environment of micro bio-robotic systems based on the study of the group behaviors of biological systems. In the first year, the project is mainly on the study of grouping and teaming behaviors of biological systems such as ants, bees, including their cooperative or competitive behaviors. Based on the study, an algorithm suitable for dynamical multiple groups will be proposed and tested. Moreover, preliminary results of the hardware design of radio

frequency and optic communication mechanism will be proposed, tested, and integrated with the research results by the first and third sub-projects during the project period of the second year.

Keywords: Biological Behavior, Dynamical Communication Protocol, Radio Frequency communication, Optic Communication

二、計畫緣由與目的

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之時，由於這些環境並不利於人類的親身參與，因此，如何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，則是當前一項重要的研究課題之一。研發這類微型運動體必須從個體內機構設計、環境感測以及資訊互換等功能上考量，進而建構整體系統之運作目標。然而，由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，所以學習大自然的微小生物體的設計與運作模式，以建構一群微型仿生生物體，乃為本整合型計畫的主要研究課題。

生物系統中無論是合作性或競爭性群體行為的產生，除了個體本身需具備有運動能力之外，其對於外界環境因素的感測能力以及與其他個體之間訊息互換的機制，亦對整體行為的表現上扮演著重要的角色。從工程

的角度來說，針對一個單元個體的控制器設計目標乃是希望其能準確地執行一項需求之工作，然而對於一群的個體來說，給予每個個體極詳細的指導乃是一項非常困難的工作。因此，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主題。

本年度之計畫乃是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。主要的執行內容，將先探討螞蟻、蜜蜂、鳥類、魚群等多群體生物系統中包括合作性與競爭性之協調行為的產生機制，以了解此類行為產生時，其訊號表現模式與資訊交換機制，進而分析生物行為與資訊通訊之間的對應關係，並且從觀察生物行為的實際運作過程，以了解生物間資訊的表達方式與探討其互換所依賴的媒介為何等課題。然後，從所分析的結果進而思考仿效與設計可行性之資料通訊的法則以及相關軟體通訊協定設計與無線通訊硬體設備等課題。

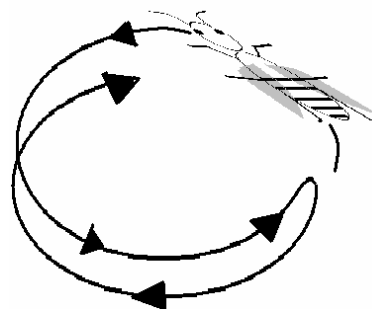
三、研究內容

生物多群組系統間的合作性與競爭性行為：

在蜜蜂採花蜜的過程中，會先派一些工蜂為偵察蜂，負責找尋花蜜，並將所得花蜜的資訊傳回給其他工蜂。好讓其他工蜂行動去採蜜。而因為一隻蜜蜂飛行的區域約是半徑五公里左右的範圍，所以如何有效的飛行到花蜜的位置，就完全仰賴偵察蜂回報的資訊。在蜜蜂的搜尋與溝通的過程中，主要是清楚而明確地表示花蜜的位置，其所需的資訊需要包括花蜜的方向，與蜂巢間的距離等，以及需要描述花蜜的好壞及多寡。

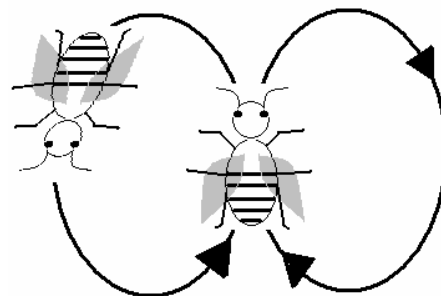
偵察蜂表示花蜜方向與距離的方式可以歸納如下：

1. 若花蜜位置與蜂巢的距離小於 100m，則偵察蜂以跳”圓形舞(round dance)”來表示。其他工蜂得知花蜜就在附近，則飛出朝外尋找一下即可找到。圓形舞的表示圖如圖一所示：



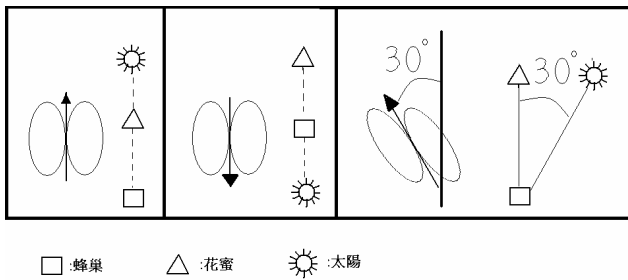
圖一 偵察蜂之圓形舞

2. 若花蜜位置與蜂巢的距離大於 100m，則偵察蜂以跳 8 字型的”搖擺舞(tailwagging dance)”來表示。搖擺舞的表示圖如圖二所示：



圖二 偵察蜂之 8 字型搖擺舞

花蜜的方向則是靠搖擺舞的中軸線在蜂巢中形成的角度來表示。以蜂巢頂代表太陽的方位，如果花蜜的方向正對著太陽方向，舞蹈的中軸線在蜂巢中垂直向上，也就是偵察蜂頭朝上跳舞。如果花蜜方向背著太陽，中軸線就垂直向下，也就是偵察蜂頭朝下跳舞。舞蹈的中軸線跟巢頂的夾角正好表示蜜源方向和太陽方向的夾角。即若中軸線在蜂巢中向上且偏左 30 度，則花蜜方向為太陽左方 30 度等。示意圖如圖三：



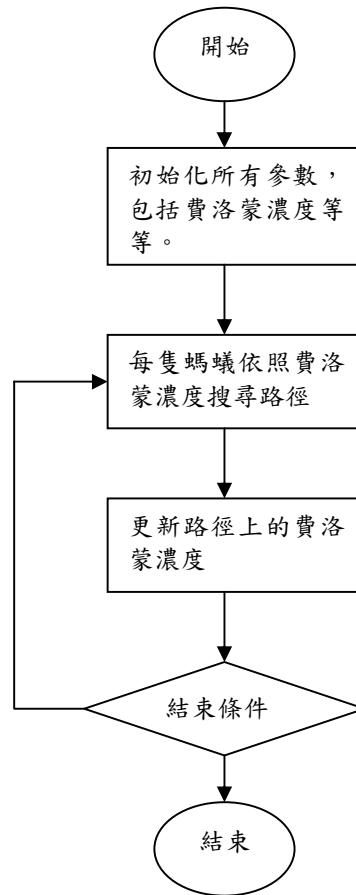
圖三 花蜜的方向之決定圖示

而花蜜與蜂巢之距離則以搖擺舞的頻率來表示，若每分鐘跳 20 次搖擺舞，則距離約 1000m。頻率越高，表示距離越遠。所以歸納以上所述，蜜蜂是以 polar coordinate 來表示花蜜的位置。

偵察蜂表示花蜜好壞與多寡的方式：如果發現的蜜源花多蜜濃，偵察蜂的舞蹈就有力而持久。相反，如果蜜源花少蜜稀，偵察蜂的舞蹈就顯得懶懶散散。藉此種方法表示花蜜的好壞。

螞蟻找尋蟻窩與食物之間的最佳路徑之方法。當螞蟻在覓食時，每一隻螞蟻如何走到食物的地點。如何經由每一隻螞蟻走過的路徑，來挑選出最佳路徑。並經由何種方式傳達給其他螞蟻，使得這群螞蟻在覓食的過程中最省時。在螞蟻行經的過程中，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，最後會找出一條蟻窩與食物間的最短路徑。

利用此蟻群模式之最佳化路徑產生之演算法可以歸納如下：[7: Dorigo et al. 1996]



在利用生物群體溝通模式以建構微型仿生系統間之通訊模式的實現過程中，一些與實際環境相關的設計因素必須加以考量，例如：[1: Warneke et al. 2001]

能量：因為所需要的微型仿生物，其體積是需要非常小的，所以不可能攜帶很大的能量供應器或者是電池。因此在實現上，如何將能量消耗程度降到最低，但又不能影響所需的功功能，則是一個相當重要的設計因素。

定位：同樣因為體積小的緣故，比較難在此微型仿生個體上架設一套完整之定位系統，如 GPS 等。因此，在一個不熟悉的環境中，微型仿生個體如何做有效而快速的定位，是非常重要的。

通訊方式：可用的通訊方式有很多種，如光學通訊，射頻 (RF) 通訊等。每種各有其優點及

缺點。如何兼顧大的通訊頻寬，降低能量的耗損程度，以及較低的成本，是非常重要的考量問題。

溝通模式: 因為微型仿生系統的個體皆是較小的規模，所承載的能量有限，因此，如何利用有限的電力需求下，將所得的資訊傳送至鄰近，甚至是遠端的操控台，其所需的資料傳輸路徑的規劃與管理，亦是一項重要的課題。

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，這是我們要研究的主題。以下，我們便針對較常出現的三種資料類型---溫度、影像、聲音，以及氣味，分別探討其特性，並設計傳輸的機制。

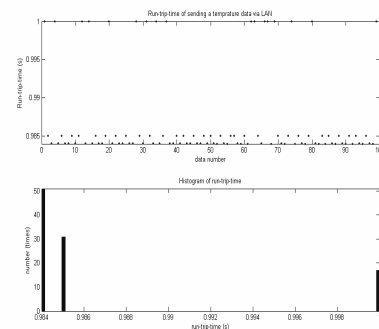
1. 溫度：

溫度可說是三種資料中最簡單的一種，資料量小且單純，對網路的品質也沒有太大的要求。因此在目前，我們均以溫度資料來做為我們傳輸的目標。

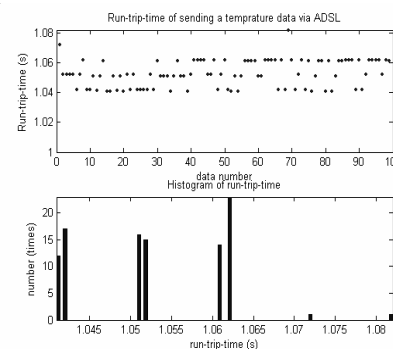
在初期的模擬階段，我們寫了一個簡單的 client-server 程式，假設 client 要將此地量測到的溫度資料傳給 server，則當 client 傳出每一筆資料的同時，一併將本地準備傳送的時間點以及上一次收到 server 端 acknowledge 的時間點送出去，所以在 server 端將會收到三筆資料，加上本地 clock 所計時收到 data 和送出 acknowledge 的時間點，一共有五筆

資料要寫入檔案裡。

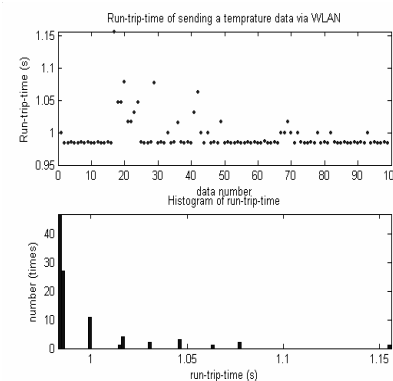
假設資料每隔一秒送出一筆，而 server 收到資料後也等待一秒才把 acknowledge 傳出去。實際的網路傳輸時間分配圖如圖四~六所示，分別是利用實驗室之有線區域網路，ADSL，以及無線區域網路傳輸同樣一筆資料所表現之傳輸時間數據。每個圖的上圖表示隨著時間改變之時，每一筆資料之實際傳輸時間數據，下圖表示某一個傳輸時間發生的次數（頻率）。



圖四 run-chip-time of client (LAN)



圖五 run-chip-time of client (ADSL)



圖六 run-chip-time of client (WLAN)

由上面三圖來看，我們可以發現實驗室的學術網路果然還是最穩定，速度也最快。在刻意等待一秒的情況下，理想的 run-trip-time 便應為一秒。但我們發現在 LAN 及 WLAN 的結果之中，均有 run-trip-time 小於一秒的情形，推測這應是兩端 clock 些微的差距所致。雖然讓 server 端過了一秒才送回 acknowledge，但因為傳送時間太快，到達時 client 端的 clock 才幾乎快跑完一秒。

表一乃是這三種傳輸模式之傳輸時間統計表。從表一的數據來看，run-trip-time 的大小為 ADSL>WLAN>LAN，其中雖然 WLAN 的平均時間雖然很短，但其標準差卻是最大，代表其最不穩定。在未來要利用無線傳輸的情況下，該如何提升穩定度，或是建立某種機制，使得重要的 data 不會遺失，是我們也要努力的一個方向。

表一 Run-chip-time 之統計結果

	Average time (s)	Standard dev. (s)
LAN	0.98706	0.00594
ADSL	1.05289	0.00894
WLAN	0.99494	0.02589

2. 影像：

影像在這三種資料形式中，其資料量最大，因此所必須要傳輸的檔案亦會是最大的。其重要的特徵有：頻寬 (Bandwidth) --- 由於影像檔的資料量很大，所需要佔據的頻寬自然會很高。因此，為了使得有效的利用頻寬，我們在傳輸影像檔時，必須盡量確保每一次傳送內容的正確性，避免讓頻寬浪費在影像重傳的部份。暫存區空間 (Buffer Space) --- 由於影像檔較大，必然要切割成好幾次傳，因此必須提供較大的 buffer space 來儲存資料。Jitter --- 我們會希望收到的影像不要斷斷續續，因此網路的 jitter 品質要很高。

3. 聲音

聲音的檔案大小介於前面兩者之間，但需考慮的規格最多。其重要的特徵如下：Bandwidth --- 對於聲音的資料而言，頻帶大概介於 20Hz~20KHz 之間，此處的 bandwidth

是指聲音本身的特質，與影像部份所提到消耗網路上的 bandwidth 有所不同。Magnitude & Phase --- 同樣的頻帶，不同的振幅及相位，依然代表不同的聲音。因此在傳輸時，這三個部份是我們必須要考慮的。Jitter --- 我們會希望收到的聲音不要斷斷續續，因此網路的 jitter 品質也要很高。

4. 氣味

氣味的量測是透過特製的氣體感測器，利用一個簡單的分壓電路，一端接負載 RL，一端接可隨氣體濃度而改變的可變電阻 Rs，故由分壓結果輸出電壓的大小，來決定該處氣味濃度的多寡。現今被偵測的氣味對象包含了可燃性氣體、有毒氣體、有機溶劑、氟氯化碳、臭味氣體、空氣品質以及烹飪蒸氣。其主要的特性有：由於氣味的濃度多寡將轉換成電壓的型態來表示，因此傳輸的大小便小了許多，僅僅像溫度資料一樣，屬於字串的傳送。也因此，氣味量測較大的問題會出在 sensor 部分，傳輸部分對網路規格並不需要太大的要求。

利用射頻技術之無線傳輸模式：

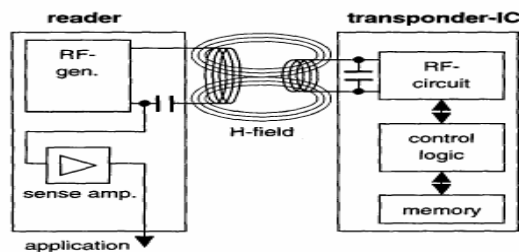
應用射頻(RF)模式下之 transceiver 的接收和發射機制，在有限的距離和功率上讓每個仿生個體間可以交換他們收集到的資訊。主要的目標乃是希望在多群組系統中個體之間可以主動溝通，主動交換訊息，並可以將其探勘到的訊息傳送出來。在多群組系統進行群體溝通之時，RF transceiver 之間傳送的資料會因為多方傳送或者是接收而發生傳輸上的碰撞，這一方面需要一個有系統的控制法則來加以管理。

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。

圖七為一個簡單的 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。



圖七 Typical RFID system from [11: Cichos et al. 2002]

2. 可用之 RF 頻段整理：

ITU (International Telecommunication Union) 規定了許多頻段給 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)。表二為這些可用之頻段之整理。

表二 射頻通訊可用之頻段

Frequency	Type
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

在本計畫中所使用的測試射頻通訊模組 RFID: CC1010 乃是屬於 UHF 的 868MHz 頻段。

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。

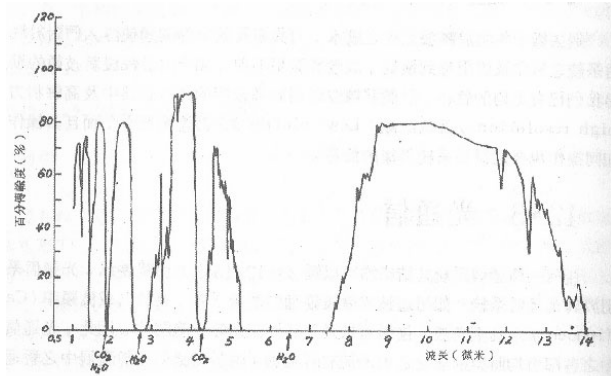
利用光學技術之無線傳輸模式：

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。

1. 光學通訊種類：

一般而言光通訊分成兩類：直射式和光纖式，直射式的方式顧名思義就是透過光的直線傳波特性，將所要的資訊傳播到目的地，前者即一般是利用雷射、紅外線等通訊媒介；後者（光纖式）是利用玻璃纖維管對光作導波作用，使光能沿著玻璃纖維管前進達到目的。觀察兩者差別，可歸納出下列個別之優缺點。由於直射式是直接透過大氣來傳波，與光纖式比較下，可以省去傳輸介質的花費，不過因為直接透過大氣傳輸，會因為光的波長與大氣層中的懸浮粒子之直徑相當接近，當光波在大氣層中傳輸時會遭受到許多干擾，諸如：散射、吸收、離散、顫動等現象。因此在大氣層中傳輸可靠度比較低，只是用於短距離通訊。圖八為經過許多次實驗所得的百分傳輸度頻譜（Percentage Transmission Spectrum），觀察可知波長介於8.5nm 至 12.5nm 之間有一個良好寬廣的傳輸帶，傳輸度高達75%以上。[18: 金耀輝 1985]



圖八 百分傳輸度與波長的關係 [18: 金耀輝 1985]

而利用光纖式之光學通訊方式，其優點為透過光纖管的傳輸可任意達到所想要的目的地，此種方式可以運用在較長距離的通訊，但因為是透過光纖管傳輸，所以在架設此種傳輸設備時需要高技術以及高成本的花費。

2. 光學通訊系統發射端 [19: 李肇嚴 1999]：

發射部分光源主要分成兩類，一者為發光二極體，另一者為半導體雷射二極體。雷射光是經由激勵放射作用的結果，它產生的光與燈光不同。燈光是多種波長混合而成的白光，而且是任意方向放射，而雷射光（單色光）則是單一波長、有方向性和同調性的，所產生的光子都具有相同的相位、相同的偏振，它們可加成，產生強度相當大的光。所以兩較之下，因為雷射光為單色光較不易受大氣影響且雷射光的能量比一般光大，所以雷射光較適合拿來當長距離的光源。

3. 光學通訊訊號模式 [19: 李肇嚴 1999、20: 廣磁 1994]：

數位光纖通訊系統（目前主流）：採用脈衝調變碼（PCM）信號，對於光源我發出的光載波進行強度調變，接收機部分直接檢測光的強度，並恢復為電信號。其優點包括：抗干擾性強與易與電腦結合，其缺點乃是佔用頻寬大，但因為光纖考使用的頻寬很大，可彌補數位通信的缺點。

類比光纖通信系統則不採用脈衝調變信號，改用類比調變信號，其利用調變電路電流使得光源時開時關（ON、OFF）的方式來代表訊號。其優點包括可免除使用 A/D D/A 的轉換器，使系統更簡單。缺點有抗干擾性差，以及光/電和電/光轉換將引進雜訊。

4. 設計光學通訊系統時需要注意的事項 [13: V. Hsu et al. 1998]：

光學通訊除了在避免通訊時干擾之外，另有一點特別需要注意的就是安全問題，即 Eye safe 的問題，由於光的波長越長對於眼睛的安全性越高，不過對於通訊品質而言，波長的選擇變成一個設計考量的問題。

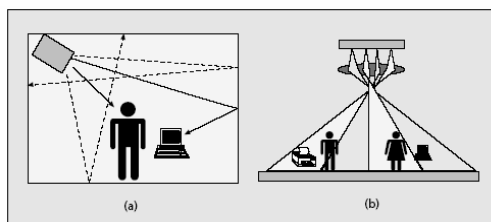
微型仿生系統中的多群體個體設計乃是採用小型的探測型機器人，而由於地形的不確定性，所以在探測過程中可能會遇到很多通訊方面的阻礙，在於利用光學通訊方面將會有許多衍生的問題。然而，因為透過光學

通訊較為極省成本與省電，所以還是有其存在研究的空間，解決通訊上的阻礙方式即成為一項重要的課題。從設計多群組系統的角度來說，可以利用此多群組之間短距離的傳輸方式來達到傳輸距離的要求。就技術層面來看，可以透過透鏡方式來控制傳送資料的方向，在一個範圍內接收端都可以透過這種方式必也障礙物的干擾，而順利接收訊息 [14: O'Brien & Faulkner 2003]。

接者討論比較兩種光學通訊常用的兩種傳輸方式，其操作模式如圖九所示。

Diffuse optical channel：其主要的原理是發射端傳送資料後（由多方向、多路徑的方式傳送），透過環境中的介質反射，直到接收端收到訊號，此種方式就類似我們使用的電視機遙控器一般，雖然有時候使用沒正對螢幕接收器，但所發出的紅外線訊號亦可透過房間的牆壁天花板的反射到達電視接收端。其優點包括：因為透過反射方式，所以可以叫不受陷於障礙物的阻擋。其缺點：所需要的功率比較大，而且同一時間傳送資訊的頻寬較小，傳輸頻寬大約只有 10 Mb/s。

Line-of-sight optical channel：有鑑於 Diffuse optical channel 的多傳輸路徑方式會浪費頻寬的問題，針對高速度傳輸的問題，其利用了 line-of-sight optical channel 的方式來改善，其主要原理就是在傳送端傳送出來時，會先經過一個透鏡 (Lens)，調整他所要傳送的方向，而只要在這透鏡所傳送方向的一定範圍內，皆可以接收到訊息，如此的方式便可以減少，先前透過反射的傳播方式所造成的頻寬降低問題，當然這種方式也帶來了相對的問題。其優點包括：因為同一時間傳送的路徑減少（透過透鏡會有一定的接收範圍），所以大大提高了傳輸頻寬。其缺點則包括：此種傳播方式因為範圍被侷限住，所以很容易受到地形地物的影響，而影響到傳送品質，所以在架設這種傳輸方式的產品時，應事先預防。



圖九 (a) Diffuse optical channel (b) line-of-sight optical channel [14: O'Brien & Faulkner 2003]

針對利用 line-of-sight optical channel 方式的無線的光學通訊系統設計方面上所需注意的問題探討，包含了以下幾個重要的依據：

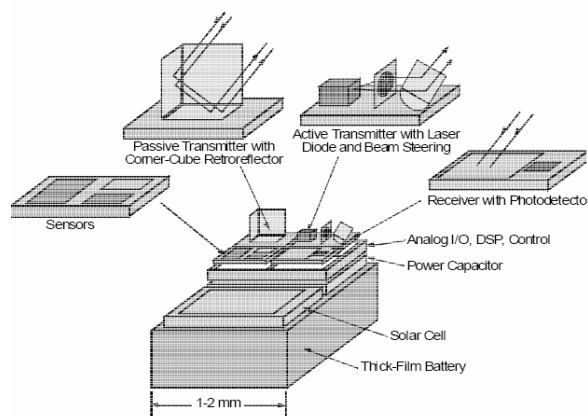
Eye safety：由於光通訊傳送端傳送出的光源訊號，所以他帶來的主要問題在於光在傳輸時所攜帶的能量，是否對人類敏感的眼睛造成傷害，因此在選擇傳送光源時，應該特別注意到光源的波長（能量）是否符合人眼的安全範圍內。

Noise – Daylight and Artificial lighting：利用光來作通訊的模式很容易的也會受到環境中各式各樣的其他光源所影響，此時特別要注意如何取得我們所要的資訊，文提到一種方式就是利用濾波器 (Filter)，透過濾波器可以把我們所要的資訊給過濾出來。

Blocking：此乃為 line-of-sight optical channel 主要所遇到的問題，因為透過透鏡採用 line-of-sight optical channel 的方式傳送，主要就是減少傳送端的傳送路徑，達到提高頻寬的性能，但也因此他遇到了可能會被地形地物阻礙的困擾，使得傳送目標區無法被整個涵蓋。其解決之方式乃是透過傳送端改用一個二維陣列的方式 (N×N) 傳送，每一個二維陣列的點都可當一個傳送源，而當傳送目標區的無法被整個涵蓋時，就可透過多點的形式來進行彌補。

另外，設計所謂的“智慧型塵埃”(smart dust)，即是用於一種短距離傳送資料的微型探測機器人。每個微型的機器人可以透過所

用的 sensor 收取環境資料並且透過其傳送的機制將採集的資料傳送出去。此種 smart dust 可以被設計成單向或是雙向的傳輸方式，其主要的架構原理如圖十所示。[1: Warneke et al. 2001]



圖十 Smart dust conceptual diagram [1: Warneke et al. 2001]

根據圖十所示，smart dust可透過所裝設的sensor來採集環境資料（sensor種類繁多，諸如：氣味、感光、濕度、壓力、溫度等），並且透過一個主動式的雷射傳輸器將資訊傳送出去。此主動雷射傳輸器，在發射訊號出去前，透過一個曲面鏡來控制傳輸方向，此種方法與前段文章所提到的利用透鏡方式原理的運用相似，如此可以避免障礙物的阻礙，也可減少傳送時功率的浪費以及提升傳送頻寬，而在smart dust的設計中，還擁有一組由三個平面鏡所構成的corner-cube retroreflector (CCR)，透過每一個 smart dust 可以用接力的方式將最遠端所採集的資訊收集並且控制其傳回主要的目的地。因此透過一群 smart dust 的微型探測器，可以輕易的收集小地區的資訊，並且可以將這些資訊個別收集透過接力方式將重要資訊傳回，如此群體的合作溝通方式可以將光學通訊最主要的缺點，也就是受到障礙物的阻礙，的程度降低到最小。此外每個 smart dust 中也加入了光訊號的接收器，其主要可以用來，當遠距離的探測器所採集的資料要傳送回來時，透過接力方式，每個探測器都可以把接收的資料和自己所採集的資料作些微的整理再傳送下去，直到目的地。

利用光學模式之通訊方法的有其極大之發展性，然而首要之務乃是要能夠研發適當的硬體架構來實現想法，目前階段乃是採用相關的發光二極體 (LED) 和光感測器 (Phototransistor) 來作發送與接收元件，然後透過簡單電路達到一端傳送另一端接收，接收端另可透過 LED 顯示出是否正確接收訊息。接著進一步，在傳送端可以加入 Clock 的機制透過為處理器產生訊號並傳送，接收端接收後可以加入記憶電路，以記錄所接收到之資訊，以及傳遞資訊之暫存區域資料。

四、結論

本計畫於第一年度執行期間，主要的研究重點乃是在於探討生物系統中多群體間之行為科學，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，以進而設計具合作型行為的資訊互換通訊機制。主要的執行內容包括：探討多群體生物系統中包括合作性與競爭性之協調行為的產生機制，以了解此類行為產生時，其訊號表現模式與資訊交換機制。

依據所分析的結果進而思考仿效與設計可行性之資料通訊的法則以及相關硬體設備。這些課題的研究過程中，並且同時與子計畫一的機構設計與製作上進行硬體設計的配合與能量管理的分配機制，以及與子計畫三在智慧型感測系統設計上，針對感測與通訊雙方面在資料取得、彙整與傳輸相關的各項機制上，設計出最佳化資訊整合的效果，以利個別與整體之仿生生物體在感測、智慧、協調與運動等方面，達到全方位之群體運動與溝通的目標。

除了針對生物群體行為的了解與通訊機制的設計之外，對於適用於生物行為模式之無線動態通訊機制，亦經初步的資料整理以及設計實際之通訊硬體模組架構。初期探討了利用以射頻通訊模組與光學通訊模組為主的無線設計原理，未來利用此硬體架構以驗證所設計之動態資訊通訊協定之品質與效能，與鑑別其適用性之幾何範圍與使用時間限制。

五、計畫成果自評

本計畫在第一年度依據預定之進度已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性。

另外，針對將於第二年度所要研發之無線通訊模組硬體架構，亦經過初步的資料整理，以及建構硬體雛形。未來將依據此方向增進對於架構理論上的驗證，以及考量實際無線傳輸硬體實現上之問題，搭配子計畫一與子計畫三之執行，實現一整合之微型仿生系統之建立，以達到多群體微型仿生機械電子特性之研發目標。

六、參考文獻

- [1] Brett Warneke, Bryan Atwood and Kristofer S. J. Pister, "Smart Dust Mote Forerunners," in Proceeding of the 14th IEEE Conference on Micro Electro Mechanical Systems, pp. 357-360, January, 2001.
- [2] C. Ronald Kube and Hong Zhang, "Task Modelling in Collective Robotics," *Autonomous Robots*, vol. 4, pp. 53-72, 1997.
- [3] Maja J. Mataric, "Reinforcement Learning in the Multi-Robot Domain," *Autonomous Robots*, vol. 4, pp. 73-83, 1997.
- [4] Tucker Balch and Ronald C. Arkin, "Behavior-Based Formation Control for Multirobot Teams," *IEEE Transactions on Robotics and Automation*, vol. 14, no. 6, pp. 926-939, December, 1998.
- [5] 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.
- [6] 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.
- [7] M. Dorigo, V. Maniezzo, and A. Colomi: "Ant system: Optimization by a colony of cooperating agents," *IEEE Transactions on System, Man, and Cybernetics - Part B: Cybernetic*, vol. 26, no. 1, pp. 29-41, 1996.
- [8] A.S. Tanenbaum, "Computer Networks," fourth edition, 2003
- [9] V. Kawadia, S. Narayanswamy, R. Rozovsky, R.S. Sreenivas, and P.R. Kumar, "Protocols for Media Access Control and Power Control in Wireless Networks," *Proceedings of the 40th IEEE Conference on Decision and Control*, pp. 1935-1940, vol.2, Dec. 2001
- [10] CC1010IDE User Manual, <http://www.chipcon.com/>
- [11] S. Cichos, J. Haberland and H. Reichl, "Performance Analysis of Polymer based Antenna-Coils for RFID," in proceeding of IEEE conference on Polymers and Adhesives in Microelectronics and Photonics, 23-26 June 2002 pp. 120-124
- [12] Tom Ahlqvist 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] 黃俊堯、黃耀文、許景華、陳孝忠合著，"WinSock網路程式設計之鑰"，1996年
- [16] Quinn/Shute 原著，李孟書/黃鶴超譯，"Windows Sockets---網路程式設計 經典"，1997年
- [17] 三聯科技股份有限公司，"氣體感測器應用線路分析"第22章
- [18] 金耀輝，電信工程 1985年增訂版
- [19] 李肇巖，通訊系統原理，全華出版社 1999年修訂版
- [20] 廣磁資訊股份有限公司，通訊寶典 6 -光纖通訊 廣磁資訊股份有限公司 1994年