

行政院國家科學委員會專題研究計畫 期中進度報告

自主性行動機器人行為式群隊控制之研究(1/2)

計畫類別：個別型計畫

計畫編號：NSC92-2213-E-032-006-

執行期間：92年08月01日至93年07月31日

執行單位：淡江大學機械與機電工程學系

計畫主持人：王銀添

計畫參與人員：鄒宗穎,張峰銘

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

行政院國家科學委員會專題研究計畫期中精簡報告

自主性行動機器人行為式群隊控制之研究(2之1)

Behavior-based formation control of autonomous mobile robots

計畫編號：NSC 92-2213-E-032-006

執行期限：92年8月1日至93年7月31日

主持人：王銀添 淡江大學機械與機電工程學系副教授

計畫參與人員：鄒宗穎、張峰銘 淡江大學機械工程學系碩士生

摘要

本研究主要目的是發展中型足球機器人行為式運動控制系統，並且探討多部機器人群隊運動控制的問題。本計畫分兩年執行：在第一年，將使用類免疫網路理論設計單機器人行為式控制器，此控制器具備動作選擇機制與避障機制。其次，以決策樹理論發展多部機器人協調合作的比賽策略，此策略提供機器人群隊角色選擇、動作選擇、與避障等機制。第二年將擴展類免疫網路架構，應用於多機群隊控制與比賽策略，取代決策樹理論所架構的策略，以及探討非完整性限制動態系統的控制問題。本研究也將自行設計製作符合 RoboCup Soccer 規格的中型足球機器人、無線影像數據傳輸裝置、以及射門機構。整合的系統將實際測試並且參與比賽，以評估所研發系統的實用性。

關鍵詞：行為式控制器、類免疫系統、避障、決策樹、群隊控制

1. 緣由與目的

RoboCup 於 1997 年在日本大阪舉行第一屆世界盃比賽[RoboCup]，該比賽的願景是在 2050 年之前發展出自主性人型機器人(autonomous humanoid robots)，並於足球場中踢贏人類世界盃足球賽冠軍隊。RoboCup 比賽分為足球比賽(RoboCup Soccer)、救難比賽(RoboCup Rescue)、青少年比賽(RoboCup Junior)等三類，其中最大族群 RoboCup Soccer 依體型與機構區分的小型機器人、中型機器人、四腳機器人、與人型機器人等四組，以及純軟體運作的模擬組。機器人比賽主要目的是藉由發展自主性機器人，推展人工智慧(Artificial Intelligence)、機器人學(Robotics)、及其相關理論與實務。機器人足球比賽與人類足球賽相同，在動態的比賽過程中，越能掌控個別機器人的動作，以及團隊合作能力越強的隊伍，獲勝的機會越高。

本研究針對自主性行動機器人系統的相關議題進行研發，包括行為式控制器與群隊控制策略，以便應用於機器人足球比賽。本年度的研究進度包括發展中型機器人單機行為式控制器，方法是根據類免疫網路架構設計具備動作選擇機制與避障機制的運動控制器，完成的控制器將應用在自製的中型機器人上測試。實作方面，完成中型機器人機構的實作。其次，以決策樹理論發展多部機器人協調合作的比賽策略，此策略提供機器人群隊角色選擇、動作選擇、與避障等機制。完成的比賽策略將應用在前一年度所發展的小型機器人群隊上，完成五對五比賽。以下各節將說明研究成果與未來方向。

2. 研究結果與討論

2.1 機器人類免疫行為式控制器

本研究應用類免疫反應系統的理論，規劃機器人的行為式控制系統，包含動作選擇與避障機制的功能。生物免疫反應可以歸納成四個步驟：第一步驟感測抗原入侵與抗原呈現；第二步驟 T 細胞辨識抗原結合體(peptide-MHC)、T 細胞被活化、分裂增殖與分泌激素；第三步驟 B 細胞被激素活化、辨識與結合抗原、分裂增殖與分泌大量抗體；最後步驟，抗體與抗原結合、抗體相互之間結合形成網路、抗體濃度增加、消滅抗原。這些步驟顯示生物免疫系統具有辨識抗原、活化與增殖細胞、增加抗體濃度的學習(learning)能力；隨抗原不同而改變結合方式的適應性(adaptation)；以及結合抗原與消滅抗原的免疫力(immunity)。本研究應用生物免疫反應系統的概念設計機器人的行為式運動控制系統，稱為類免疫行為式控制系統。機器人伺服系統具備有外界訊息感測裝置，例如超音波與影像，可以感測與呈現抗原。因此，在此探討架構類免疫系統的免疫力、適應性、與學習能力的模式。

首先探討類免疫系統的免疫力與適應性，模擬抗體與抗原結合力，以及抗體與抗體相互間結合力。定義抗原對於抗體結合的程度為親和性(affinity)，以下列離散方程式表示抗體 i 與抗原之間的親和性為 m_i ：

$$m_i(k+1) = \begin{cases} 1 & \text{if antibody } i \text{ is triggered} \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (1)$$

其中 k 代表取樣時間； $i = 1, 2, \dots, N$ ，表示有 N 個抗體。所謂抗體被觸發(triggered)是指抗原決定部位與抗體結合部位完全相同。

Jerne[1973]提出個體型網路假說定義抗體和抗體之間的結合，抗體經由個體型決定部位與抗體結合部位相結合。以親和性定義抗體與抗體之間相互影響的程度，抗體間利用親和性建立一個免疫網路，用以模擬生物體產生大量抗體，相互結合對付抗原的作用。抗體 i 與抗體 j 之間的親和性定義為 m_{ij} ：

$$m_{ij}(k+1) = \begin{cases} e^{-[1-m_{ij}(k)]} & \text{if antibody } i \text{ is triggered} \\ m_{ij}(k) & \text{otherwise} \end{cases} \quad (2)$$

其中 $i, j = 1, 2, \dots, N$ 。免疫網路中抗體與抗體間的親和性隱含著免疫系統的記憶特性。隨著抗原與抗體間、以及抗體與抗體間親和性變化，抗體在生物體內的濃度(concentration)也會產生變化。定義免疫網路抗體 i 的濃度值為[Farmer *et al.* 1986, Ishiguro *et al.* 1997]

$$a_i(k+1) = \frac{1}{1 + e^{[0.5 - A_i(k)]}} \quad (3)$$

$$A_i(k) = \left(\sum_{j=1}^N m_{ij}(k)a_j(k) - \sum_{l=1}^N m_{li}(k)a_l(k) + m_i - d_i \right) a_i(k)$$

其中 $i, j, l = 1, 2, \dots, N$ 。 A_i 由四項所組成，第一項為抗體 i 與抗體 j 之間的刺激值，第二項為抗體 i 與抗體 l 間的抑制值，第三項 m_i 為抗體 i 與抗原間的刺激值，第四項 d_i 為抗體 i 的自然死亡率。方程式(3)為扁平 S 形函數(squashing function)，此函數可確保濃度值的穩定性不致於發散。

本研究將機器人控制器視為一套類免疫反應系統。根據免疫系統的觀念，生物體的抗體能專一性地辨識特定抗原，並利用增殖方式提高抗體濃度值以消滅抗原，使生物體針對環境變化產生免疫反應。根據免疫系統觀念設計的機器人控制器，可以針對環境狀態改變(抗原入侵)，引發機器人行為反應(免疫反應)。當機器人感測到四週環境有變化時，其控制器仿效類免疫反應系統觸發一連串免疫反應，使機器人產生因應動作，此為類免疫演算法之基本概念。

其次探討類免疫系統的增強學習控制能力(reinforcement learning controllability)，用以模擬輔助型 T 細胞分泌激素以增強 B 細胞增殖與大量產生抗體的效用。本研究提出調適機制(adaptive mechanism)來決定類免疫控制網路所採取動作之優劣，進而達成類免疫系統的增強學習控制能力。此調適機制促使機器人避開障礙往目標前進，經由此機制機器人增強自我學習適應能力，達成避障之目的。類免疫系統利用個體型網路假說計算類免疫網路中各抗體之濃度值，由抗體濃度值決定產生的反應動作。再根據調適機制決定所採取動作之優劣，以增強或減弱該抗體的濃度值，達成類免疫系統的增強學習控制能力。調適機制的原理是利用幾何原理規劃機器人的期望移動向量[Borenstein and Koren 1989]，如果由類免疫系統行為反應所獲得的機器人實際移動向量與期望移動向量相同，則給予機器人獎賞(reward)，反之則給予處罰(penalty)。若是獎賞則降低產生免疫反應之抗體與其他抗體抑制項的親和性 m_{la} ，

$$m_{la}(k+1) = \frac{m_{la}(k)}{1+r} \quad (4)$$

其中 m_{la} 的下標 a 代表產生免疫反應的抗體， l 表示其他參與免疫反應的抗體， r 為學習比例數(learning rate)。若是處罰則降低產生免疫反應之抗體與其他抗體刺激項的親和性 m_{aj} ，

$$m_{aj}(k+1) = \frac{m_{aj}(k)}{1+r} \quad (5)$$

其中 m_{aj} 的下標 a 為產生免疫反應的抗體， j 表示其他參與免疫反應的抗體。如果機器人碰到障礙物則予以處罰，除了降低產生免疫反應之抗體與其他抗體刺激項的親和性外，同時也降低產生免疫反應之抗體的濃度值，分別為

$$m_{aj}(k+1) = \frac{m_{aj}(k)}{c_m}$$

$$a_{act}(k+1) = \frac{a_{act}(k)}{c_a} \quad (6)$$

其中 a_{act} 為產生免疫反應之抗體的濃度值， c_m 與 c_a 為常數值。

2.2 機器人策略為基比賽策略

群隊控制方面，本研究使用決策樹理論[Sethi 1990]設計多部機器人的行動策略，應用於機器人足球比賽。其原理是以實際比賽情況為依據進行決策規劃，再選擇合宜的策略以協調多重足球機器人在足球場上的攻防動作。決策樹考慮相關的影響因子進行判斷，將最重要的因子放置於決策樹的根節點，次要的因子放置於根節點的下一層中。本研究應用文獻[Liang 2000]所提決策樹理論，重新修改架構如圖 1 所示。足球比賽中最重要的目的是要將球踢入對方球門與防止球進入我方球門。球的位置成為比賽中影響球賽現況最重要的因素，因此將「球的位置」放在決策樹的根節點。決策樹依據球在球場上的絕對位置分岔到四個區域。其次，比賽中各機器人所扮演的角色(role)為第二重要的因素，所以將「角色的選擇」放在決策樹的第二層。

決策樹依據球在球場的絕對位置，劃分球場為四個區域，進攻區(Offense zone)、防守區(Defense zone)、隊形區(Formation zone)、與牆邊區(Near-wall zone)等。攻擊區是指敵方球門附近的區域。當球接近攻擊區時，我方將啟動射門機制進行射門。當球接近我方球門時表示進入防守區，敵方隨時可能射門得分。我方機器人必須回到球門前方防守，同時守門員加強守門動作以免失分。隊形區介於攻擊區與防守區之間，依據球所處的位置可能採取進攻或防守兩種策略。牆邊區指球靠近球場周圍時，無法使用其他三種區域處理時，必須進行牆邊區特別處理。牆邊區必須加入防止撞牆的功能，以及利用旋轉掃球將球帶回其他區域。

球的位置區域確定之後，再依循角色選擇機制選取機器人扮演的角色，角色選擇是由球與機器人的相對位置所決定。以 5 部機器人的協同攻防為例，可分為前鋒、後衛、與守門等身分，守門員停留在球門附近防守，前鋒與後衛兼負進攻與防守責任。依照機器人與球的相對位置，可以分為三種狀態，分別為球在兩部機器人前方、球在兩部機器人中間、以及球在機器人後面等。除了球在前方時是以前鋒機器人為主動機器人之外，其餘兩種狀況皆是以後衛機器人為主動機器人。當其中一部擔任主動機器人的角色時，另一部機器人則為跟隨機器人角色。機器人各自扮演不同角色，進行前段所提四個區域不同的攻防任務。因此，決策樹以球的位置將場地劃分為四個區域之後，再依三部機器人的相對位置，決定機器人的三種狀態分工角色，總計為 12 種情況，此為角色選擇機制，如圖 1 所示。角色選擇之後，進一步設計機器人的動作。本研究設計 7 種機器人技巧，以達成以上 12 種狀況時的動作要求，此為動作選擇機制。7 種技巧包含射門、追球、移至攻擊或防守位置、掃球、截球、阻礙及守門等。動作選擇之後，最後步驟透過無線通訊將動作命令傳到機器人控制面板以驅動機器人，機器人的基

本驅動方式包括前進、後退、左轉、右轉等四種。完成圖 1 比賽策略的一個循環。

經由角色選擇機制與動作選擇機制確定我方機器人所要採取的行進路徑與動作技巧，進一步需考慮行進路徑上是否有對方機器人，遇到機器人所構成的障礙物必須採取避障程序以避免碰撞犯規。避障程序首先判斷行進路徑是否有障礙物，若有障礙物則須執行避障動作。所使用判斷障礙物的方法是利用我方機器人的位置與目標位置連成一直線，再依序考慮各障礙物與此線段的距離，若小於某一長度則須採取避障。所使用的避障方法，則是利用障礙物的位置判斷障礙物的行進方向。假若障礙物往某個方向運動，我方機器人將在垂直於路徑的另一方向，設定為繞道轉折點。

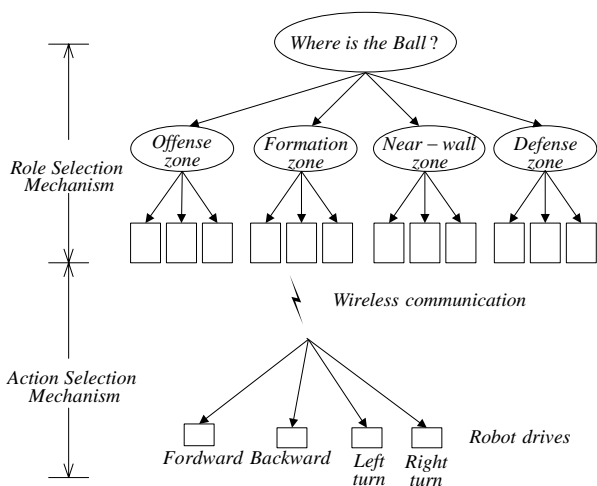


圖 1 策略為基礎機器人足球比賽策略

2.3 中型機器人系統架構設計

中型機器人的實作方面，本研究設計的主體機構如圖 2 所示，長寬高尺寸為 45cm×40cm×83cm。為應付未知環境中所可能遭遇危險或激烈的碰撞，機器人採用鋁擠型架構整體外型，鋁擠型似 X 字形設計，能承受更大的側向應力與彎曲應力，在相同負荷下 X 字形結構能減少 15~30% 的結構重量，使機器人更輕巧。機器人內部空間由下至上分為三部分：底部置放馬達、車輪、電池；中層部分置放主機板、DSP 控制電路板、硬碟、驅動器；上層部分為 CCD 攝影機。

視覺方面使用全方位視覺系統，使機器人可以擷取周遭 360 度的環境資訊。使用宜昇科技 MapCame 360 CCD 做為影像擷取設備，如圖 3 所示。將 CCD 架設於機器人上方，MapCame 360 具備水平視角 360° 與垂直視角 70° 的可視範圍。重量約為 500g，電源為 DC 12V±15%。使用 GRAND AV 影音擷取盒與主機板溝通，將類比影像資料轉換成數位影像資料，解析度為 270K pixels(542×492)，再傳送至主機板做分析。

全方位視覺擷取的影像有魚眼現象(廣角失真)如圖 4 所示，影像產生嚴重失真，尤其離影像中心越遠的影像其失真量越大。因此必須進行影像轉換與補償。本研究以二次拋物線方程式，建立影像轉換的數學模型

$$R = f(r; a_0, a_1, a_2) = a_0 + a_1 r + a_2 r^2 \quad (7)$$

其中 r 為各像素點(pixel)與影像中心的距離， R 為各點與影像中心實際的距離。將已知參考點座標代入方程式(7)，利用線性迴歸方式球算方程式係數 a_0 、 a_1 及 a_2 。目標物座標 (x, y) 與影像中心點之間的關係是可表示為：

$$(x, y) = (r \cos \theta, r \sin \theta)$$

修正廣角失真問題後，正確的目標物座標與影像中心點的關係式為：

$$(x', y') = (R \cos \theta, R \sin \theta)$$

馬達驅動方面，設計以 DSP 為核心的驅動電路板，如圖 5 與圖 6 所示。控制器實作方面，配合機器人中有限的空間，使用威盛 Mini 主機板 EPIA TC 做為系統控制中心，此主機板具有體積小與速度快的優點，可以節省機器人的空間。此主機板內建 12V DC-DC 轉換器，方便電源設計。影像處理與策略演算程式，則使用 MS Visual C++，初步設計的人機控制介面如圖 7 所示。

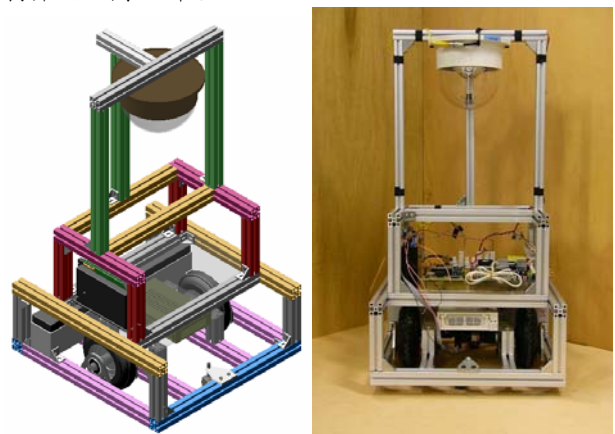


圖 2 中型機器人



圖 3 MapCame 360

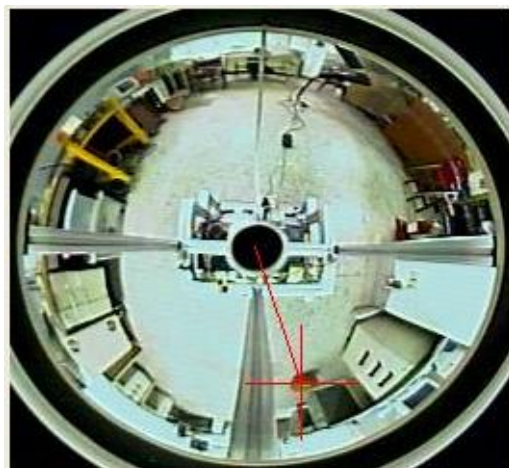


圖 4 全方位視覺所取得的扭曲影像

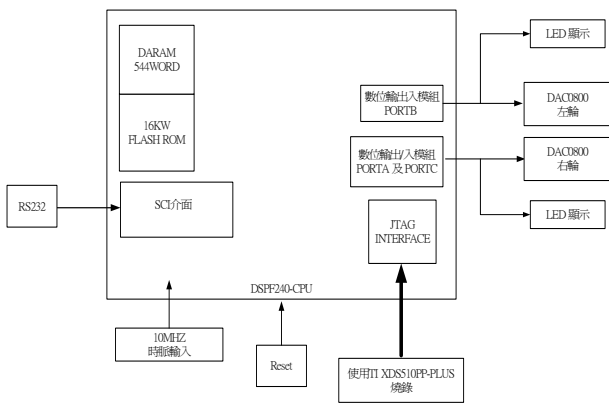


圖 5 DSP 系統架構圖



圖 6 DSP 控制電路板



圖 7 機器人操作介面

2.4 類免疫行為式控制器測試

機器人類免疫行為式控制系統的基本概念是將機器人週遭劃分為若干區域，各區域具備產生抗體的能力，類似生物宿主身體各部位會產生抗體以對付抗原。如圖 8 所示，本研究將機器人四週劃分為前方、左前方、左方、左後方、後方、右後方、右方及右前方等八個方位。再依機器人的週遭 CCD 可視範圍，劃分各方位的遠近區域。例如機器人的前方視野較大，分為遠、中、近三段距離；側方則分為近與中兩段距離；後方視野小只有近距離。根據圖 8 的架構總共有 24 個區域可形成一網路，包括可視範圍的 16 個區域，以及超出可視範圍的 8 個方位。本研究將這 24 個區域視為 24 個抗體，機器人所擷取的环境狀況當成抗原決定部位。當抗體上的結合部位與所擷取的影像

之環境狀況相同時，表示該抗體被觸發，而被觸發抗體間會形成一個相互作用的類免疫控制網路。

將機器人運動控制器視為一套類免疫網路，根據免疫系統的觀念，濃度值最高的抗體會針對環境變化產生免疫響應，亦即機器人行為反應，以對抗抗原(環境狀態)的入侵。本研究令機器人行為反應是在八個方位以不同速率所組成的 16 種反應動作所構成，包括快速前行、中速前行、慢速前行、快速左前行、中速左前行、慢速左前行、快速右前行、中速右前行、慢速右前行、中速往左行、慢速往左行、中速往右行、慢速往右行、慢速左後行、慢速右後行、慢速後行等。

圖 9 為類免疫運動控制器應用在中型機器人的測試結果，顯示機器人依據類免疫行為式控制器，執行物件(球)追蹤功能。

2.5 機器人策略為基比賽策略測試

將所設計的策略為基比賽策略應用在小型機器人五對五比賽的群隊控制。圖 10 為測試機器人在攻擊區而球在兩車之前的策略應用結果。

3. 未來研究方向

本研究第二年將擴展類免疫網路架構，應用於多機群隊控制與比賽策略，取代決策樹理論所架構的策略，以及探討非完整性限制動態系統的控制問題。實作方面，將完成中型機器人射門與持球機構，也將陸續完成三部符合 RoboCup Soccer 規格的中型足球機器人與射門機構。整合的系統將實際測試並且參與比賽，以評估所研發系統的實用性。

在第一年機器人的運動控制尚未考慮非整體性的限制條件，輪型機器人可視為平面移動的剛體，系統動態方程式受非整體性限制條件。本研究將以順滑模態控制(sliding mode control)[Bloch and Drakunov 1995, Yang and Kim 1999]探討此非整體性輪型機器人(nonholonomic wheeled robots)的控制問題。

群隊機器人的控制方面，將模仿人類足球賽以特有隊形結合作戰策略，探討群隊控制議題(control of formation problems)，隊友之間透過相互支援，以增強攻擊與防守效率。一方面可以增加勝算機率，另一方面避免相互干擾。如圖 11 所示，三隻機器人成群隊進行攻擊，可藉由保持機器人之間的間距(separations)， l_{ik} 與 l_{jk} ，以及方位(bearings)， ψ_{ik} 與 ψ_{jk} ，構成所規劃的群隊隊形。此時，領導的主攻隊員(leader)負責解決足球場上巡航(navigation)的問題，理論方面仍然使用類免疫行為式運動控制器。而其他兩部支援隊員(follower)運用物件跟隨(object-following)技巧，保持所規劃的群隊隊形。將可有效降低各機策略複雜性，以及提高群隊協調合作功能。

4. 計畫結果自評

本計畫已完成機器人類免疫行為式控制器設計與策略為基比賽決策規劃，並完成中型足球機器人的實作。論文發表方面已有六篇研討會論文發表[19-24]，成果相當豐碩。競賽方面，參加旺宏金砂獎

已經比賽入圍決賽。年底也將參加成功大學舉辦的2004年台灣機器人足球比賽。目前也著手進行群隊控制的規劃，預期將可模仿人類足球賽以特有隊形結合作戰策略。

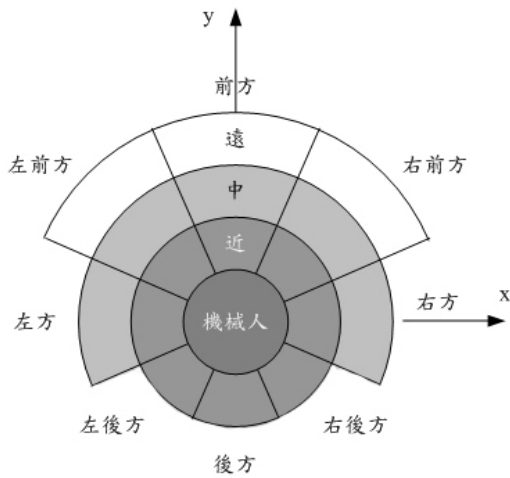


圖 8 機器人架構示意圖

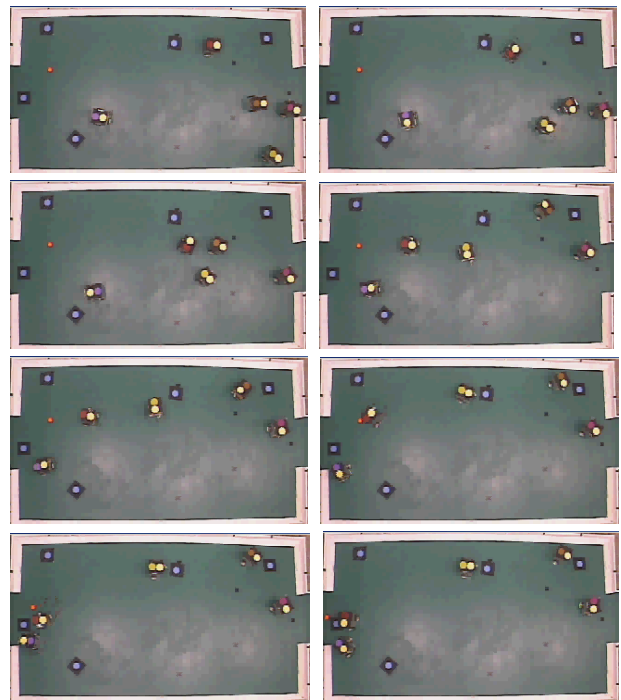


圖 10 球位於攻擊區且在兩車之前的策略應用

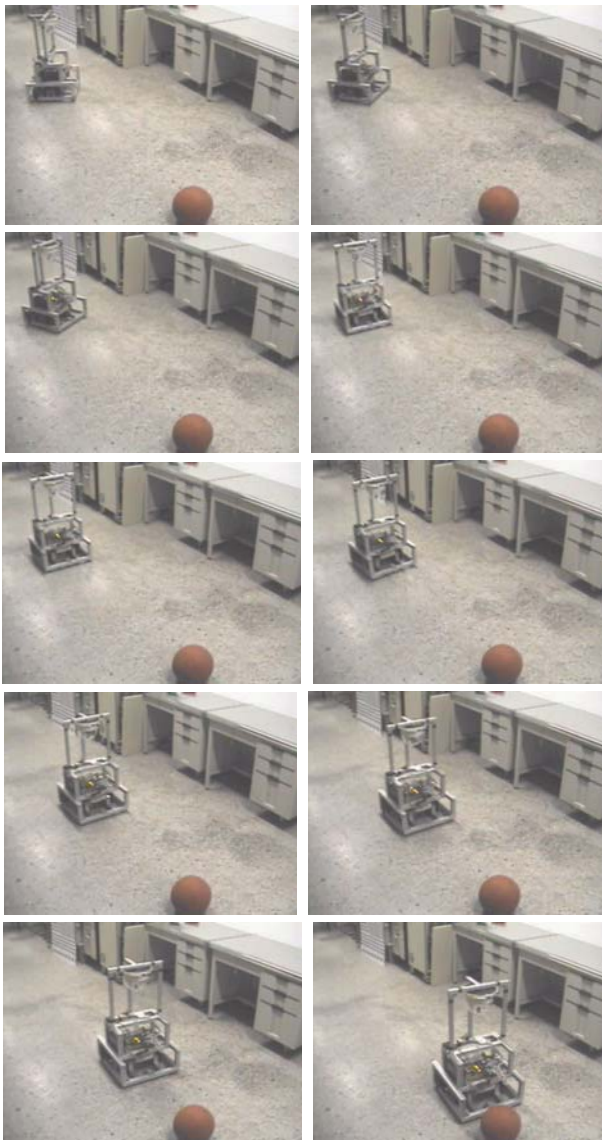


圖 9 機器人執行物件追蹤測試

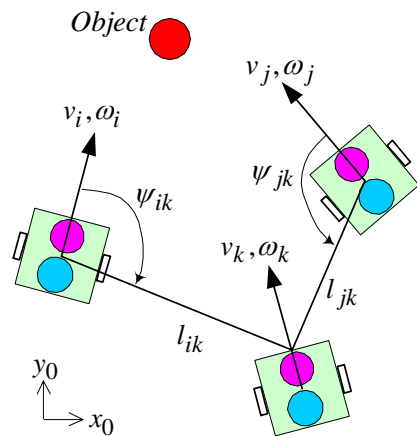


圖 11 機器人群隊

5. 參考文獻

- [1] Bloch, A. and S. Drakunov, 1995, Tracking in Nonholonomic Dynamic Systems via Sliding Modes, Conference on Decision and Control, New Orleans.
- [2] Borenstein, J., and Y. Koren, 1989, Real-time obstacle avoidance for fast mobile robots, IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, vol.19, no.5, pp.1179-1187.
- [3] Brooks, R.A., 1986, A robust layered control system for mobile robot, IEEE Journal of Robotics and Automation, vol.2, no.2, pp.14-23.
- [4] Cassinis, R., D. Grana, and A. Rizzi, 1996, Self-localization using an omni-directional image sensor, International Symposium on Intelligent Robotic Systems, pp.215-222.
- [5] Chuang, C.K., 2002, Behavior-based autonomous mobile robot navigation using artificial immune network, Master thesis, Department of Mechanical

- Engineering, Tatung University.
- [6] Farmer, J.D., N.H. Packard, and A.S. Perelson, 1986, The immune system, adaptation, and machine learning, *Physica* 22D, pp.187-204.
- [7] Ishiguro, A., Y. Watanabe, T. Kondo, Y. Shirai, and Y. Uchikawa, 1997, IEEE the 3rd International Symposium on Autonomous Decentralized Systems, pp.231-237.
- [8] Jerne, N.K., 1973, The immune system, *Scientific American*, vol.229, no.1, pp.52-60.
- [9] Jerne, N.K., 1984, Idiotypic networks and other preconceived ideas, *Immunological Reviews*, vol.79, pp.5-24.
- [10] Luh, G.C., and W.C. Cheng, 2002, Behavior-based intelligent mobile robot using an immunized reinforcement adaptive learning mechanism, *Advanced Engineering Informatics*, Vol.16, pp.85-98.
- [11] Mataric, M.J., 1992, Integration of representation into goal-driven behavior-based robots, *IEEE Transactions on Robotics and Automation*, vol.8, no.3, pp.304-312.
- [12] Nossal, G.J.V., 1993, Life, death and the immune system, *Scientific American*, pp.1-13.
- [13] RoboCup, <http://www.robocup.org/>.
- [14] Richter, P.H., 1975, A network theory of the immune system, *European Journal of Immunology*, vol.5, pp.350-354.
- [15] Sethi, I.K., 1990, Entropy nets: from decision trees to neural networks, *Proceedings of the IEEE*, Vol.78, No.10, pp.1605-1613.
- [16] Watanabe, Y., A. Ishiguro, and Y. Uchikawa, 1998, Decentralized behavior arbitration mechanism for autonomous mobile robot using immune network, in *Artificial Immune Systems*, D. Dasgupta (ed.), pp.187-209.
- [17] Weissman, I.L., and M.D. Cooper, 1993, How the immune system develops, *Scientific American*, pp.14-25.
- [18] Yang, J.M. and J.H. Kim, 1999, Sliding mode control for trajectory tracking of nonholonomic wheeled mobile robots, *IEEE Transactions on Robotics and Automation*, vol.15, pp.578-587.
- [19] Zhi-Jun You, Wei-Ting Wei, Xuan-Yi Wu, Yin-Tien Wang, 2003, DEVELOPMENT OF A MOBILE ROBOT WITH ON-BOARD VISION, *IFAC Symposium on Robot Control*, Wroclaw, Poland.
- [20] Tsung-Ying Tsou, Chiu-Hao Liu, Yin-Tien Wang, 2004, Team Formation Control for Soccer Robot Systems, *Proceedings IEEE International Conference On Networking, Sensing, and Control*, Taipei.
- [21] 陳佳興、陳佑杰、陳雨政、潘冠廷、王銀添，全方位自主式行動機器人，第四屆旺宏金砂獎應用組入圍決賽。
- [22] 鄒宗穎、許吳輔、程威得、黃勻良、王銀添，2004，小型機器人五對五足球比賽的策略設計，自動控制研討會，大葉大學。
- [23] 張峰銘、黃勻良、陳碩彥、林鴻杰、陳敬宏、王銀添，2004，設計足球機器人之持球與射門機構，自動控制研討會，大葉大學。
- [24] 陳佳興、游智鈞、陳子原、陳雨政、王銀添，2004，設計足球機器人類免疫網路為基礎之避障與物件追蹤控制器，自動控制研討會，大葉大學。
- [25] 巨瑞誠，2002，機器人足球賽五對五模擬組之策略設計，淡江大學電機工程學系碩士論文。
- [26] 郭有鎮，2002，設計實現環形電位場控制法於三對三足球機器員競賽系統，成功大學電機工程學系碩士論文。
- [27] 游智鈞、林士堯、林孝誠、施博中、吳國偉、王銀添，2001，視覺導引行動機器人運動控制，中國機械工程學會第十八屆學術研討會(控制與自動化)，pp.533-537，台灣科技大學。