

行政院國家科學委員會補助專題研究計畫成果報告

具有教育及競賽功能的人形機器人系統之設計與開發—子計畫二：機器人

可適應性視覺即時處理之低功率系統晶片設計(1/3)

計畫類別：整合型計畫

計畫編號：NSC 96-2218-E-032-003-

執行期間：96年8月1日至97年7月31日

計畫主持人：江正雄

執行單位：淡江大學電機工程學系

中華民國 97 年 5 月 30 日

行政院國家科學委員會專題研究計畫期中精簡報告

具有教育及競賽功能的人形機器人系統之設計與開發—子計畫二：機器人可適應性視覺即時處理之低功率系統晶片設計(1/3)

計畫編號：NSC 96-2218-E-032-003-

執行期間：96年8月1日至97年7月31日

主 持 人：江正雄 淡江大學電機工程學系
計畫參與人員：夏至賢 淡江大學電機工程學系
張世宏 淡江大學電機工程學系
張維軒 淡江大學電機工程學系
黃丁威 淡江大學電機工程學系

一、中文摘要

本研究計畫主要目的是要研製一個供人形機器人足球員使用的視覺系統，以利此人形機器人進行「ROBOT CUP」與「FIRA CUP」國際機器人足球員競賽之所需。在第一年(即本年度)的研究主題為機器人視覺的技術開發，其中以進階影像處理技術以及球場定位為主，研發快速處理之演算法。我們以 CMOS 感測器為本機器人視覺系統的視覺感測器，已完成空間定位技術、色彩辨識技術，物件分割技術、移動估測、距離估測等工作。根據這些技術來判斷周圍環境之影響，這些判斷都需要有即時的必要性，因此，我們將在第二年以硬體方式加以實現。

ABSTRACT

The objective of this project is to design and develop a vision system for human like robots. The objective human like robot will be used for the robot soccer contests of both international robot soccer contests, Robot Cup and FIRA Cup. In the first year (This year) we tried to develop the robot vision algorithms. After the development of the robot vision algorithms and the field positioning, we further simulate and verify them by software. The CMOS sensor is used as the robot vision sensor to develop the robot vision system. In order to

fulfill all the contest items of the Robot Cup and FIRA Cup, the developed vision system includes the following technologies: space positioning, color recognition, object segmentation, motion estimation, and distance measuring. We need the mentioned techniques to determine the influences from the circumstances to make the best decision for the robot. Since the decision must be real time, the mentioned techniques will be further implemented by hardware in next year.

二、研究動機與目的

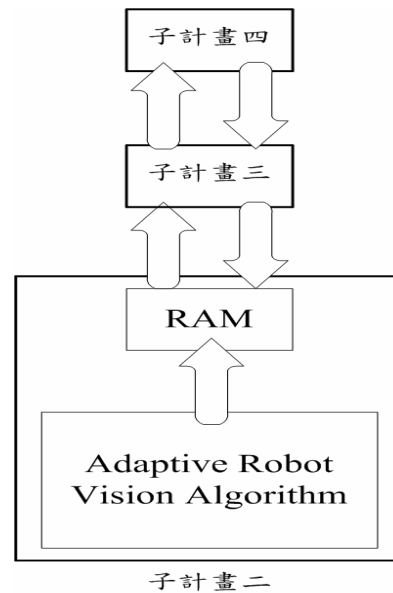
機器人視覺為機器人系統中一個非常重要的關鍵，機器人必須使用機器人視覺來做空間定位、標的物辨識、目標距離估測、以及標的物座標判定等，因此機器人視覺系統可說是機器人系統的靈魂。子計畫二設計與實現一個可適應的視覺系統給人形機器人使用，使機器人除了具有基本的行走功能外，亦可以依據 CMOS 感測器來自主獲取其想要的週遭環境訊息，將訊息由子計畫三傳給子計畫一與子計畫四，讓該二部份分別作自主決定適當的決策以達到避障與踢球等動作。仿人形機器人所採用的視覺辨別呈現技術，大致上可分為：如何利用單眼的 CMOS 感測器來作球場定位、影像擷取、影像分析、以及數位影像演算法處理。其中，就數位影像

演算法處理而言，它的主要工作是如何將數位影像經數位信號處理成較佳的數位影像，或將其轉成另一較為適合分析的數位影像形式。而在數位影像分析的部份，則是在於描述及辨識影像內容，其需要透過人工智慧的方法來增進機器人的視覺智能；就技術層面來說，我們將定位、影像分析與辨識具有相當之影響即時性的演算法用簡化過的方式以減低在第二年硬體實現上的複雜度；最後，預期以適當的架構設計來達到低成本與低功率的硬體電路，以降低人形機器人在移動過程中的功率消耗；而在本計畫中的整體流程如圖一所示。

三、研究方法與成果

機器人視覺中常用的應用範圍與影像處理類似，但是更強調由影像還原出原始三維物體的外形。舉例來說，本子計畫的應用上，機器人視覺的技術可以用來幫助機器人模擬人類的雙眼，告訴機器人子計畫四環境中的情況，如前方是否有障礙物須要迴避，或障礙物距離機器人有多遠等。在本子計畫中我們將以 CMOS 感測器作為我們將外界視覺資訊擷取進來作處理技術的媒介。每個 CMOS 感測器以 320×240 解析度的資料量輸入，因為此計畫將實現在即時以及低功率系統晶片的需求下，所以我們將不把每一張畫面的資訊儲存在 RAM 中，只有在我們所提出的物件估測中在場景改變時，我們才會儲存改變後的資訊，並且告知子計畫三開始要與子計畫一、四聯絡，以便作機器人策略的判斷，詳細的資料溝通情形見表一、二所示。利用以上的方法，不僅可以節省每秒 30 張畫面而使記憶體存取頻繁，以致於產生大量資料處理延遲時間，並且也可以大量節省晶片處理時的功率消耗。以下將介紹我們研發這個可適應性視覺處理系統的步驟與其技術，如圖二所示。其處理步驟如下：第一步，CMOS 感測器攝影擷取與環境的亮度、雜訊判斷；第二步，場景定位以求得座標；第三步，顏

色判別以求得足球位置；第四步，物件分類以求得處理物件與敵方機器人位置；第五步，物件估測去除資料存取間所處理到不必要的資訊量以加速處理並降低功率。這個可適應性視覺處理系統所需之技術說明如下：



圖一、子計畫二與子計畫三、子計畫四溝通示意圖



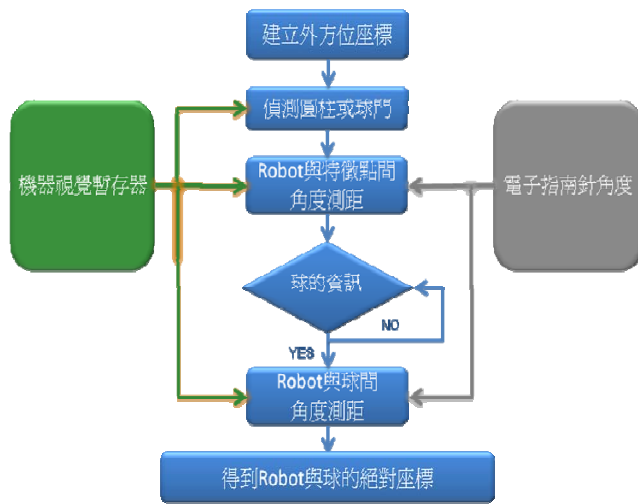
圖二、機器人視覺處理流程

A. 球場定位部份:

1) 定義座標系統

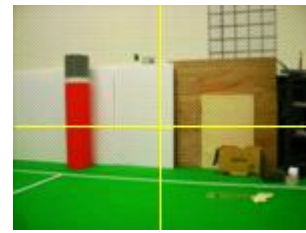
本研究主要是利用內嵌式 CMOS 感測器，執行競賽中機器人與足球的自我定位，以實際的球場、球門、機器人、以及足球做實驗，探討移動中的機器人與球在空間中的絕對位置。並應用基本的影像處理技巧，尋

找最佳的處理條件，本定位系統之流程及設備示意圖如圖三所示。

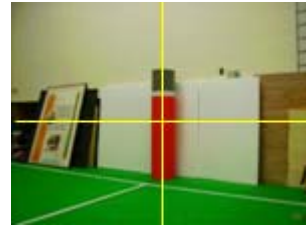


圖三、定位系統流程圖

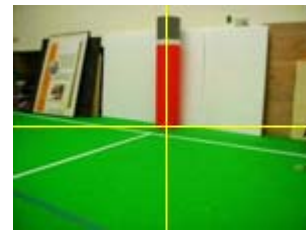
所造成的誤差；如圖四到圖六所示。



圖四、物體不在中心



圖五、物體在中心但不在底部中心



圖六、物體在中心且在底部中心

2) 外方位座標系統

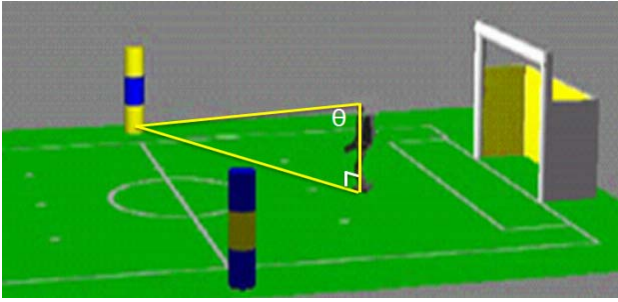
在進行座標定位之前要先定義座標系統。由場地、機器人本身以及目標物可分為動態和靜態兩部分。靜態系統屬絕對座標，絕對座標恆指某一系統而言。而動態系統屬相對座標，相對座標意指系統與系統之間的相互關係。故整個影像系統可分為兩個座標系統，一個是以 CMOS 感測器模組內部由成像平面與焦距所構成的內方位座標系統(相對座標)，另一個則是整個球場所構成的外方位座標系統(絕對座標) [2]。在此定位系統中，常會擷取內方位座標系統所得到的動態物件資訊、目標物件資訊，搭配機器人身上所安裝的電子指南針的角度資訊，進而取得目標物和機器人本身的外方位座標。

3) 主動式物件偵測

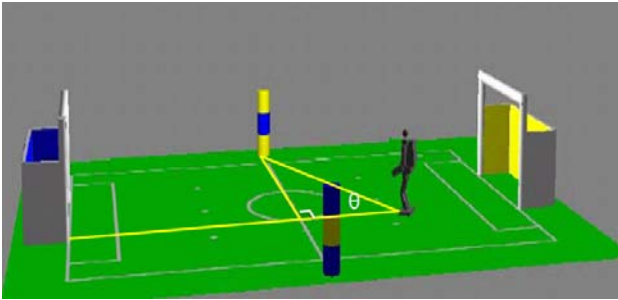
偵測物件時，需要一個強健的特徵點進行描述，如圖六所示。針對這項特性，我們採取靜態目標物作為我們感興趣的特徵。當機器人行走時，藉由 CMOS 感測器得到中場地標或球門特徵點的畫面資訊。為了增加目標物的強健性，我們將中場地標或球門底部與大地間之中心點畫面移到其感測器成像的中心位置，減少三維空間轉換到二維空間時

4) 機器人的外方位座標

當圖六影像成立，機器人站立於此刻的外方位座標，以便機器人描述正確的外方位座標。爾後，將機器人的頭部的垂直角度，加上機器人高度所看到的視線，搭配中場地標或球門在外方位座標系統的位置，形成一個三角函數系統。經過運算後，得到機器人距離中場地標與球門的外方位座標距離，如圖七所示。最後，如圖八引入電子指南針的角度參數，再得到一個三角函數系統，同樣經過運算，得到機器人的外方位座標[3]。



圖七、機器人與圓柱的外方位座標距離



圖八、機器人的外方位座標

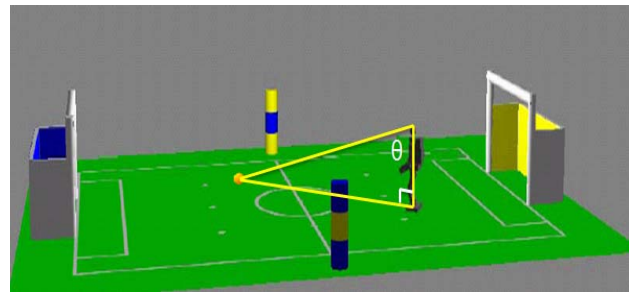
5) 抓取足球的特徵點

找到機器人外方位座標後，此時，機器人仍不離開當前位置，僅以頭部或身體旋轉，尋找足球的顏色。當找到目標後，同樣根據 3) 的處理方式，將球置於畫面中心。

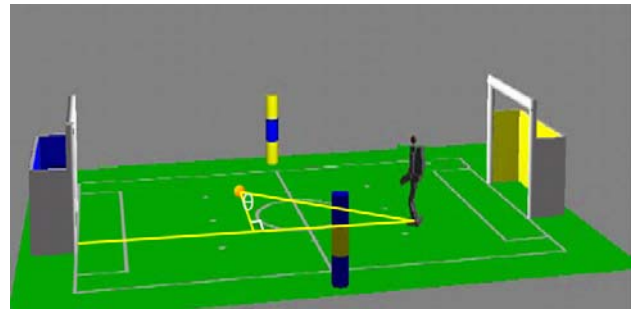
6) 球的外方位座標

在上一步驟完成後，機器人依舊站在相同位置，此時我們仍知道機器人的外方位座標，加上機器人頭部的垂直角度與機器人高度，同樣利用一個三角函數系統得到機器人和球的在外方位座標距離，如圖九所示。之後，加上目前電子指南針的角度參數，可以再得到一個三角函數系統，經過運算後，取得球的外方位座標，如圖十所示[4]。

根據上述作法，即可獲得球與機器人在球場上的外方位座標，讓機器人能在短時間內，知道自己所在的位置。同時，也能即時獲得球和其他目標物所對應的位置。



圖九、機器人與圓柱的外方位座標距離



圖十、球的外方位座標

B. 電腦視覺處理部份:

1) 影像擷取：

由於 CMOS 感測器尚有 SOC 的高整合性、低消耗功率(CCD 操作電壓 5-15V, 消耗功率 2-5W; CMOS 操作電壓 3-5V, 消耗功率 20-50mW)、區域讀取、智慧形畫素、高畫面比(Frame rate)等優點。因此在此計畫中，我們採用 OV9650 內嵌式 CMOS 感測器模組作為機器視覺的開發裝置。此感測器提供了 Gamma 校正等基本影像的前處理功能，對於此計畫提供不少利基。

2) 彩色模式轉換：

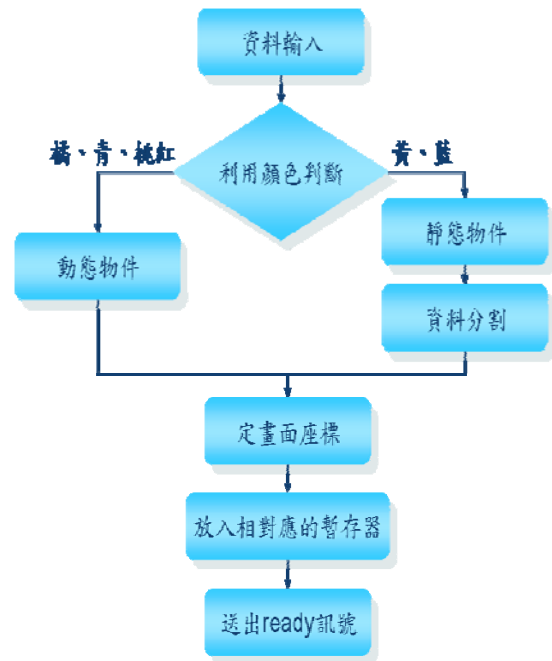
本子計畫之區域影像為機器人自身擷取機器人前方影像之環境資訊，我們將利用人類視覺系統(Human Vision System, HVS)色彩空間模型進行影像辨識，提供機器人視覺控制之用。它的優點在於可以排除光線的變化影響，但缺點是運算較複雜，因此我們在第二年也會將其演算法改良以方便即時運算。

3) 物件辨識：

我們提出了一套針對人形機器人應用在足球比賽之物件辨識演算法，其方塊圖如圖十一。因足球場上的種種物件顏色分明，因此這套演算法主要是利用顏色資訊來判斷球場上的關鍵物件，諸如球、球門、中場地標、敵與我雙方機器人...等，再依動態物件以及靜態物件分別做處理，由於動態物件顏色迥異，因此在辨識時不會遇到問題，而靜態物件組成顏色主要為黃色與藍色，若要在只有顏色資訊的前提下把物件區分出來，勢必會遇到辨識錯誤的嚴重問題，所以在此我們分別將有黃色資訊及藍色資訊的畫面做二值化，再利用邏輯運算將不同物件分割出來。待我們找出畫面中出現的所有物件後，給予其四邊點座標及中心點座標，如此一來我們便能獲得物件大小、在畫面中的相對位置...等資訊。我們將其資訊存入相對應的暫存器供機器人定位及策略規劃來應用，並送出一個 ready 訊號告知物件訊息已更新。

四、結論

本子計畫已經達到第一年之預定目標，在球場定位與機器人視覺處理演算法部份提供了低複雜度且高目標準確判斷的方法。在接下來的第二年度中，將繼續從事第二年之預定目標，1)完成第一年提出的演算法將其實現於硬體電路以加速即時處理的效果、2)再研發新問題的演算法，例如，未來機器人要避障、馬拉松比賽會面臨到的直線與曲線的處理、以及在戶外機器人對自然光變化的可適應性處理，進而完成第三年中自適應的機器人視覺系統晶片研究。



圖十一、物件辨識演算法

五、參考文獻

- [1] S.-H. Han, W.-H. Seo, K.-S. Yoon, and M.-H. Lee, "Real-time control of an industrial robot using image-based visual servoing," *IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*, pp. 1762-1796, 1999.
- [2] Gutmann J S, Burgard W, Fox D, and et al., "An experimental comparison of localization of localization methods," *IEEE/RSJ International Conference of Intelligent Robot System*, pp. 736-743, 1998.
- [3] 张纯金, 纪淑娟, 范晓宁, "基于单目视觉的距离测量研究," *山東科技大學學報(自然科學版)*, 第26卷4期, 第65-68頁, 2007.
- [4] George Kantor, Sanjiv Singh, "Preliminary results in range-only localization and mapping," *IEEE International Conference on Robotics & Automation*, Vol. 2, pp. 1818-1823, 2002.
- [5] A. R. Smith, "Color gamut transform pairs," *ACM SIGGRAPH Computer Graphics, Proceedings of the annual conference on Computer graphics and interactive techniques*,

vol. 12, issue 3, 1978.

[6] G. Paschos, "Perceptually uniform color spaces for color texture analysis: an empirical evaluation," *IEEE Transactions on Image Processing*, vol. 10, no. 6, pp. 932-937, 2001.

[7] X. Wan, and C. C. J. Kuo, "A new approach to image retrieval with hierarchical color clustering," *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, vol. 8, no. 5, pp. 628-643, 1998.

表一、子計畫二給子計畫四之規格表

	功能項目	附註	
(第一年)	一、基本物件辨識功能	1. 物件顏色	回傳每個物件的顏色
		2. 物件邊界座標	上、下、左、右共四個值
		3. 物件中心座標	在影像畫面中的座標系
		4. 物件大小	回傳每個物件的像素大小
		5. 物件高度	
		6. 物件寬度	
		7. 影像資料已更新之旗標	
(第一年)	二、定位功能	1. 目標物距離	
		2. 目標物方位	
		3. 目標物移動方向	
		4. 機器人本身位置	
(第二年)	三、特殊情況辨識功能	1. 特定顏色相鄰之物件辨識	1. 視為一物件，回傳上述一基本功能 2. 相連顏色邊界在畫面中的位置方向
		2. 形狀辨識	(橢)圓形、三角形、矩形、正方形
		3. 線段走向辨識	用八位元表示相對應角度
		4. 線段起始座標	
		5. 線段終點座標	
		6. 線段曲率	1. 曲線彎左或彎右 2. 彎曲程度
		7. 機器人姿態辨識	站立、蹲下、直躺、橫臥、劈腿舉手
		8. 物件與邊界交點座標	上、下、左、右各與邊界相交兩點
		9. 第一二三...大之目標物	回傳上述一所有功能
		10. 目標物移動速度	
(第二年)	四、原始資料	1. 整張原始影像資料	
		2. CMOS 可提供的所有資料	
		3. 實際影像畫面	可外接至電腦端
		4. 處理後影像畫面	可外接至電腦端

表二、子計畫四給子計畫二之規格表

	功能致能	功能設定
一、基本功能設定		畫面解析度設定
		物件個數設定
		物件顏色設定
	1. 辨識顏色致能	顏色乏值設定
	2. 自動曝光致能	曝光設定
	3. 自動白平衡致能	白平衡設定
二、特殊功能設定	1. 相鄰顏色辨識致能	相鄰顏色順序設定
	2. 形狀辨識致能	形狀設定
	3. 線段走向辨識致能	線段所在視窗選擇設定
	4. 機器人辨識致能	
	5. 機器人姿態辨識致能	
	6. 障礙物偵測致能	1. 視窗基準線數量設定 2. 視窗基準線位置設定
	7. 第幾大目標物辨識制能	第幾大目標物設定
三、定位功能	1. 目標物距離致能	目標物實體與距離設定
	2. 目標物方位致能	
	3. 目標物移動方向致能	
	4. 目標物移動速度致能	
	5. 機器人本身位置致能	
	6. 球門框架辨識致能	
四、原始資料	1. 整張原始影像資料致能	
	2. CMOS 可設定的所有資料	
	3. 實際影像畫面	可外接至電腦端，並進行設定
	4. 處理後影像畫面	可外接至電腦端，並進行設定
五、其他	1. 電子指南針角度	
	2. 頭部水平角度	
	3. 頭部垂直角度	