

# 行政院國家科學委員會專題研究計畫 期中進度報告

具有教育及競賽功能的人型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(2/3)  
期中進度報告(精簡版)

計畫類別：整合型

計畫編號：NSC 97-2218-E-032-003-

執行期間：97年08月01日至98年07月31日

執行單位：淡江大學電機工程學系

計畫主持人：江正雄

處理方式：本計畫可公開查詢

中華民國 98年06月23日

行政院國家科學委員會補助專題研究計畫  成果報告  
 期中進度報告

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(2/3)

計畫類別： 個別型計畫  整合型計畫

計畫編號：NSC 97-2218-E-032-003-

執行期間：97年8月01日至98年7月31日

計畫主持人：江正雄 教授

共同主持人：

計畫參與人員：夏至賢、謝昌祐、張世宏、張維軒

成果報告類型(依經費核定清單規定繳交)： 精簡報告  完整報告

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

處理方式：除產學合作研究計畫、提升產業技術及人才培育研究計畫、列管計畫及下列情形者外，得立即公開查詢

涉及專利或其他智慧財產權， 一年  二年後可公開查詢

執行單位：淡江大學電機工程學系

中華民國 98 年 5 月 31 日

具有教育及競賽功能的人型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(2/3)  
Low power SoC design for robot adaptive real-time vision

計畫編號: NSC 97-2218-E-032-003

執行期限: 97/08/01 ~ 98/07/31

子計畫主持人: 江正雄 教授 E-mail: chiang@ee.tku.edu.tw

執行機構: 淡江大學電機工程研究所

### 一、中文摘要

自主性機器人相關研究一直是現代科技發展的重要議題之一，在機器人學與人工智慧不斷發展之下，機器人將逐漸具備與人或生物相似的智能，達成人類更多更複雜的需求。在眾多自主性機器人研究中，機器人足球競賽是目前最炙手可熱的研究領域之一。然而機器人足球員身處於動態且不可預知環境中，因此機器人之動態感知能力便成為最關鍵技術之一。

本研究計畫主要目的是要研製一個供人形機器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」等國際機器足球員競賽之所需。本計畫屬為期三年的國科會計畫，第一年(即去年度)的研究主題為機器人視覺的技術開發；機器人視覺系統必須具備許多技術，例如：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，使人形機器人透過影像在動作上、溝通上、及策略上更具有競爭力，已達到準確的物件辨識、分割與快速的定位。在第二年(本年度)的計畫裡我們設計了一個整合性平台，使影像系統能搭配其他子計畫在平台上處理大量且複雜的運算，使得機器人在空間定位及物件辨識上達到準確度高及效能高的需求。然而這些判斷都需要達到即時處理，因此需要以硬體方式加以實現，所以在第三年(明年度)我們將會在影像FPGA板上測試演算法之即時性，並降低其演算法之複雜度。此外，機器

人之體積容量有限，無法容納太大的硬體基板，因此本研究計畫最後將會以客製化影像FPGA板來縮小基板面積，並實現此機器人視覺系統於FPGA上。

### ABSTRACT

An autonomous robot is one of the most important research topics in recent years. Under the continuous development of robotics and artificial intelligence, the robot will implement the intelligent sensing, reasoning, and thinking to achieve complicated tasks like human beings. Robot soccer game is one of the significant and interesting areas among most of the autonomous robotic researches. Since the soccer robot is operated in a dynamic and unpredictable environment, the perception system of the soccer robot becomes the key technology to improve the performance.

The objective of this project is to design and develop a vision system for the human like soccer robots. The objective human like soccer robot will be used for the robot soccer contests of both international robot soccer contests, Robot Cup and FIRA Cup. This is a three-year National Science Council project. In the first year (last year) we proposed to develop the robot vision algorithms. The developed vision system must contain the

following technologies: space positioning, color recognition, object segmentation, motion estimation, distance measuring, ..., etc. In order to let the robot have more competitive abilities in the action, communication, and tactic, such as accurate object recognition, segmentation, and localization, in this year we designed an integrated platform. This platform combines the image system with the other sub-projects to process enormous and complex calculations. It makes the robot operate more accurately and efficiently. Since the decision must be real time, the mentioned techniques must be implemented by hardware. In the last year (next year), we would like to test the algorithm for real-time and decrease its complexity in the image FPGA board. Due to the mechanism limit of a robot, the robot vision system cannot take much mechanism space. Therefore we must customize the image FPGA board to reduce the circuit board area and finally to finish the robot vision system by hardware.

**關鍵字：人形機器人、物件辨識、物件分割、機器人定位。**

## 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作空間定位、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。本子計畫(子計畫二)預期設計與實現一個可自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，亦可以依據視覺感測器來自主獲取其想要的週遭環境訊息，將訊息經由子計畫三之界面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將利用視覺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，我們將定位和影像分析與辨識等會影響即時性的演算法，加以簡化以減低在硬體實現上的複雜度；最後，我們將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，本計畫的整體流程如圖一所示。

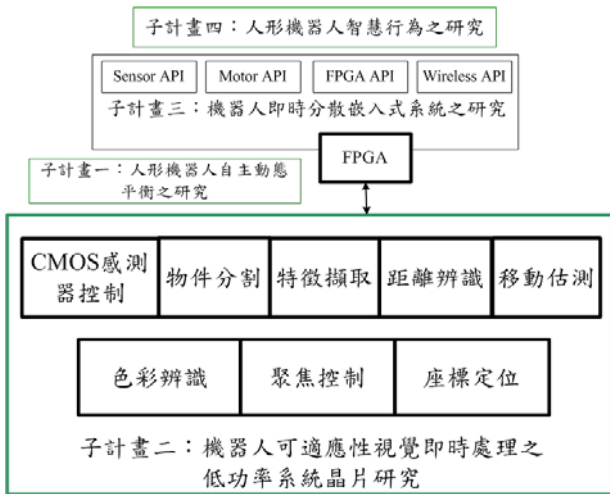
## 三、研究方法

此視覺系統的工作為蒐集外界資訊並加以處理，最後再將處理後的結果依照不同狀況，透過子計畫三傳給子計畫一或子計畫四，以執行人形機器人移動或策略的判斷，詳細的資料溝通情形如圖一所示，本子計畫的視覺系統包含機器視覺與目標物定位兩部分。在機器視覺方面，我們將以 CCD (或 CMOS) 感測器作為我們將外界視覺資訊擷取進來的媒介，每個 CCD 感測器以  $320 \times 240$  解析度的資料量輸入。而在目標物定位部分，本年度我們將子計畫一之頭部水平方向馬達與垂直方向馬達整合到影像模組中，以利機器人得知現在距離目標物多遠。此外我們使用電子指南針偵測機器人目前所在的方位，最後，利用整合後的影像模組以得到目標物的位置。

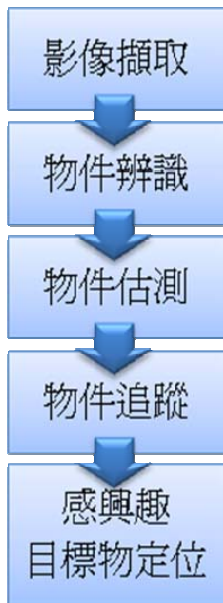
本年度研究主要是將影像模組與機器人頭部馬達整合在一起並將其最佳化，執行競賽中機器人與足球的自我定位，以實際的球場、球門、球以及機器人做實驗，探討移動中的機器人與球在空間中的絕對位置。

以下將介紹這個可適應性視覺處理系統的步驟與技術，其流程如圖二所示，處理步驟如下：第一步，CCD 感測器擷取影像與環境的亮度，並作雜訊判斷；第二步，作物件辨識以獲得場上目標物的資訊；第三步，作物件估測並去除資料存取時不必要的資訊，以加速處理速度並降低功率；第四

步，物件追蹤，透過感興趣目標物的移動方向，將目標物與機器人距離與方位計算出來；第五步，作場景定位以求得機器人位置與球在足球場上的位置；這個可適應性視覺處理系統所需之技術大致上可分成兩部分：電腦視覺處理部分與球場定位部分，其說明如下：



圖一、子計畫二與子計畫一及子計畫三溝通示意圖

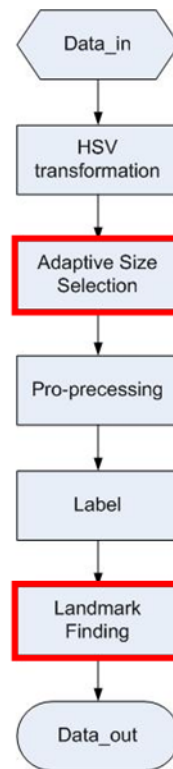


圖二、機器人視覺處理流程

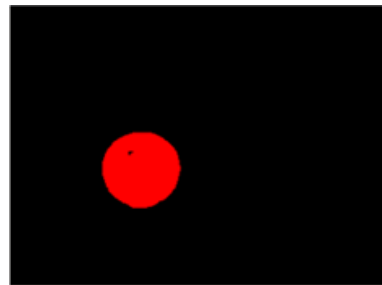
A. 電腦視覺處理部份：

本子計畫之區域影像為機器人自身擷取前方影像之環境資訊，再此我們使用人類視覺系統(Human Vision System, HVS)色彩空間模型來進行影像辨識，以提供機器人視覺控制之用；據此，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，其方塊圖如圖三所示。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、敵我雙方機器人、...等。本子計畫在第一年度已將基本物件顏色辨識、物件大小、及座標功能製作完成，本年度我們應用 SMDWT[2]開發可適應性畫面大小縮放功能和改良去除雜訊機制，以及利用物件特徵資訊進一步來判斷球、球門、中場地標等球場上的關鍵物件。圖四到圖六顯示不同大小之處理畫面。



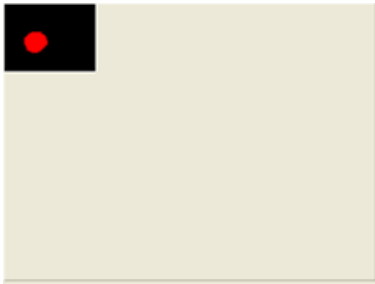
圖三、物件辨識演算法



圖四、原始大小(320\*240)處理畫面



圖五、降階轉換(160\*120)處理畫面



圖六、降階轉換(80\*60)處理畫面

由於物件可視距離與畫面大小有著高度密切的關係，表一顯示球場上關鍵物件一球，在不同畫面大小中所能辨識出的可視距離，所以在正確的時刻選取適合的畫面大小是很關鍵的，其處理時間與影格速率如表二、表三所示。

表一、畫面大小與可視距離關係表

| Frame size | Vision distance (m) |
|------------|---------------------|
| 320*240    | 3.8                 |
| 160*120    | 2.6                 |
| 80*60      | 0.7                 |

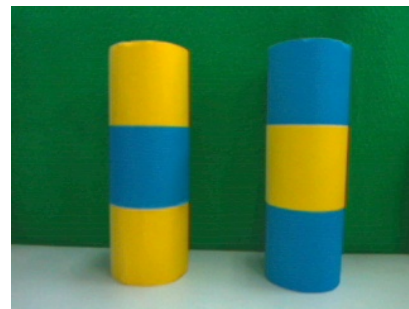
表二、畫面大小與處理時間關係表

| Frame size | Run time (sec/frame) |
|------------|----------------------|
| 320*240    | 0.078                |
| 160*120    | 0.040                |
| 80*60      | 0.031                |

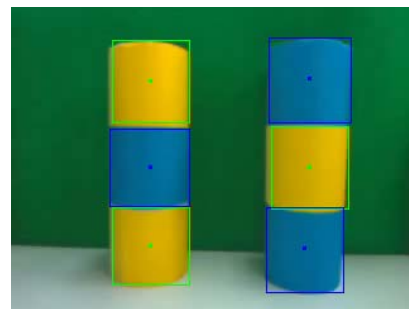
表三、畫面大小與影格速率關係表

| Frame size | Frame rate (fps) |
|------------|------------------|
| 320*240    | 11               |
| 160*120    | 25               |
| 80*60      | 30               |

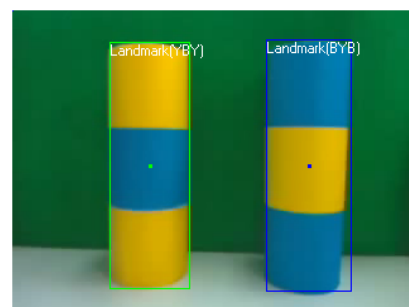
在球場上的另一關鍵物件—中場地標，是由3段長20公分，直徑也為20公分之黃色與藍色圓柱所組成，圖七為3比1等比例縮小模型圖示。若單純只以HSV色彩模型來作物件分割，所得結果如圖八所示，圖中可以發現HSV色彩模型資訊不足以辨識出中場地標，因此我們在特定顏色相鄰之物件添加了像素值及長寬比例的判斷機制，以辨識出中場地標，其結果如圖九所示，如此一來我們便能獲得正確的物件畫面資訊，如圖十所示。



圖七、球場中場地標等比例縮小模型



圖八、以 HSV 色彩模型做物件分割



圖九、添加像素值判斷機制

|               | [Xmin,Ymin] |    | [Xmax,Ymax] |     | Size  |
|---------------|-------------|----|-------------|-----|-------|
| Ball          | 0           | 0  | 0           | 0   | 0     |
| Landmark(BYB) | 200         | 24 | 270         | 224 | 14000 |
| Landmark(YBY) | 78          | 26 | 142         | 222 | 12544 |
| Goal(Bule)    | 0           | 0  | 0           | 0   | 0     |
| Goal(Yellow)  | 0           | 0  | 0           | 0   | 0     |

圖十、物件畫面資訊輸出

## B. 感興趣目標物定位：

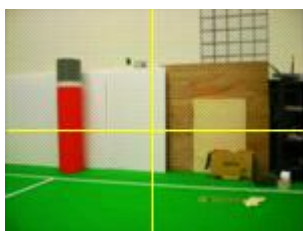
根據上述研究方法所得到影像處理後的資訊，接下來我們將為感興趣目標物定位，讓其他計畫可以透過目標物的位置資訊，處理機器人避障、踢球、策略、...等問題。以下為定位流程。

### 1) 定義座標系統

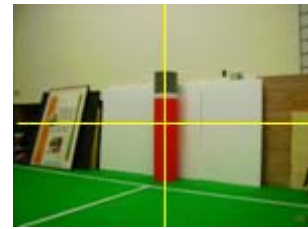
在進行座標定位之前要先定義座標系統；由場地、機器人本身、以及目標物相互關係，座標系統可分為靜態和動態兩部分。靜態系統屬絕對座標，絕對座標意指某一系統本身而言，而動態系統屬相對座標，相對座標意指系統與系統之間的相互關係。故整個影像系統可分為兩個座標系統，一個是以 CCD 感測器模組內部，由成像平面與焦距所構成的畫面座標系統，另一個則是整個球場所構成的絕對座標系統[3]。

### 2) 主動式物件偵測

偵測物件時，我們需要一個強健的特徵點以進行描述，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 CCD 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，我們將中場地標底部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，以減少三維空間轉換到二維空間時所造成的誤差，如圖十一到圖十三所示。



圖十一、物體不在畫面中心



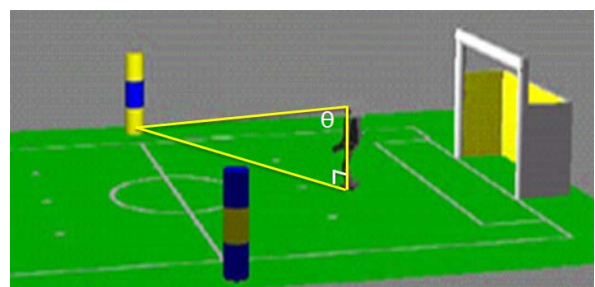
圖十二、物體在畫面水平方向中間範圍但不在底部中心



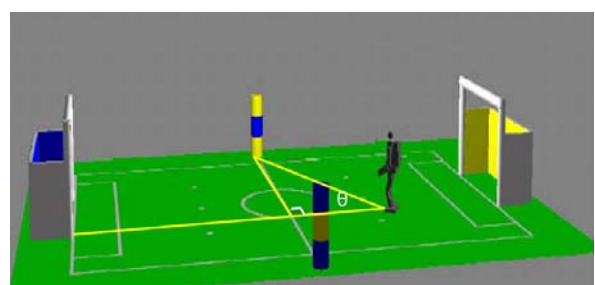
圖十三、物體在畫面水平方向中間範圍且在底部中心

### 3) 機器人在場上的絕對座標

當圖十三影像成立後，便同時透過畫面座標描述此時機器人正確的絕對座標；其方法為，利用機器人低頭的角度，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絕對座標距離，如圖十四所示；最後，如圖十五所示引入電子指南針的角度參數，以得到另一個三角函數系統，同樣經過運算，據此得到機器人的絕對座標[4]。



圖十四、機器人與圓柱的絕對座標距離



圖十五、機器人的絕對座標

#### 4) 行進間機器人的絕對座標量測

在行進期間，計算機器人走了多遠的距離，並配合陀螺儀與加速度計來取得機器人在下一刻的位置，目前這個部分正在建置中。

#### 5) 抓取足球的特徵點

找到機器人絕對座標後，同樣根據 2) 的處理方式，得到足球的特徵資訊。

#### 6) 球的絕對座標

仿照 3) 的作法，在上一步驟完成後，機器人依舊站在相同位置，同樣利用兩次三角函數系統得到球的絕對座標。

根據上述作法，即可獲得球與機器人在球場上的絕對座標，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。

此整合後的影像模組機構如圖十六所示；仿照機器人頭部機構，包括水平與垂直方向馬達和 CCD 感應器，並在馬達後面安裝一個電子指南針，以使此影像整合模組知道目前自己所處的方位。

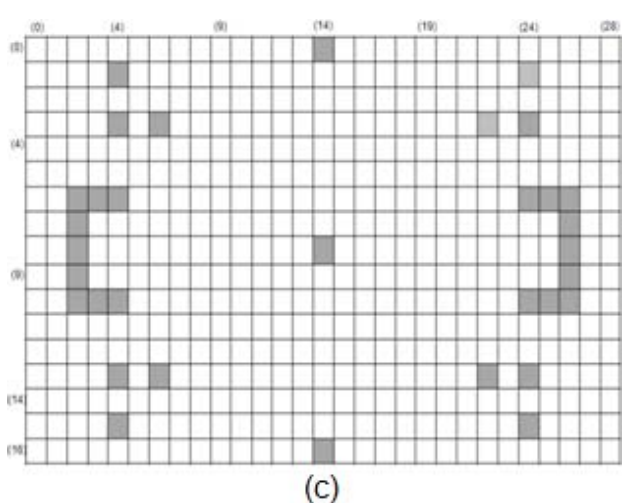
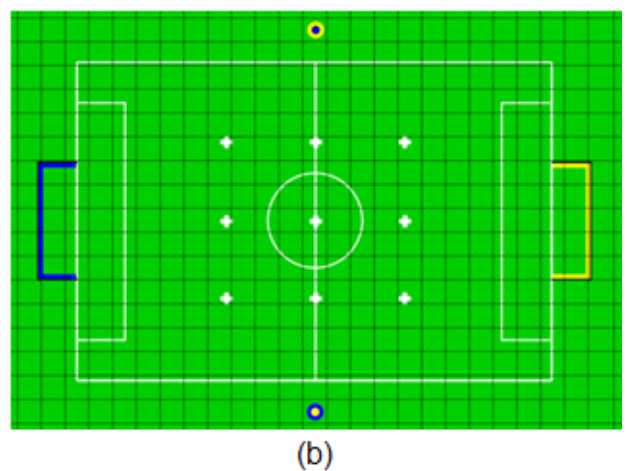
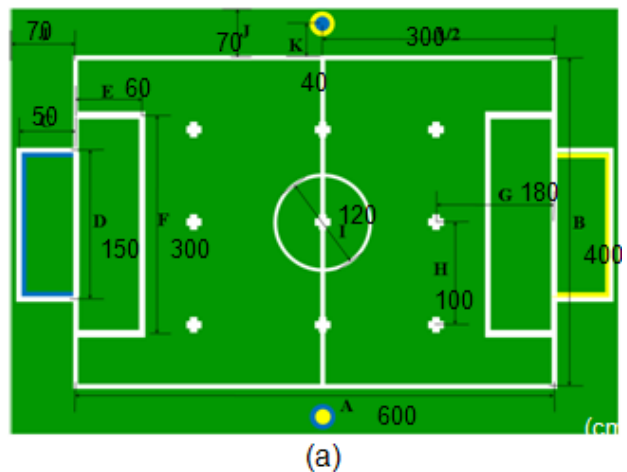


圖十六、影像模組整合後之機構

### 四、研究成果

以 RoboCup 人形足球競賽為例，其場地如圖十七(a)所示，長為 6 公尺，寬為 4 公尺，且在場上有兩個不同的中場地標與球門。在此，我們將場地適當的劃分為 29x17 見方的絕對座標系統，每格為 30 公分x30 公分。影像模組方面使用 Logitech

QuickCam CCD 感測器，其具有自動白平衡、智慧型畫素、高畫面比(Frame Rate)等優點，對於此計畫提供不少利基。以下為利用上述的研究方法得到的實驗結果。



圖十七、(a)實際場地大小，(b) 29x17 見方之絕對座標系統，(c)將感興趣目標物標於絕對座標系統內。

#### A. 影像處理、物件辨識、分割部分：

本子計畫在此年度電腦視覺處理部份，添加了可適應性畫面大小縮放功能及物件特徵資訊分析功能，使得即時視覺處理功



能更加強大，圖十八與十九分別為場地實際處理畫面。



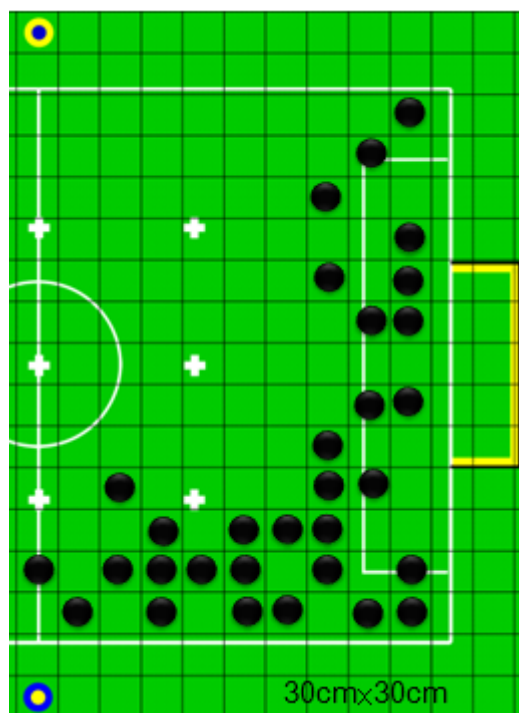
圖十八、場地實際處理畫面(#frame 824)



圖十九、場地實際處理畫面(#frame 2104)

| Actual Distance(cm) | Measurement Distance(cm) | Diviation (cm) |
|---------------------|--------------------------|----------------|
| 100                 | 103                      | +3             |
| 150                 | 154                      | +4             |
| 200                 | 206                      | +6             |
| 250                 | 245                      | -5             |
| 300                 | 301                      | +1             |
| 350                 | 354                      | +4             |
| 400                 | 553                      | +93            |

圖二十、機器人與中場地標距離



圖二十一、定位實驗結果

#### B. 機器人與球的位置估測部分：

由於場地左右兩邊屬於對稱相似部分，因此，本實驗採用場地右半部作機器人之定位，並展示與子計畫一整合後，1) 機器人與目標物距離，以中場座標為中心，其機器人距離中場座標，如圖二十所示。2) 機器人位置之精確度，如圖二十一所示，我們把機器人分別放在白色場地內的每個絕對座標框內，且以絕對座標當作其定位方式，圖中上下兩個不同顏色的圓為中場地標，格子內沒有圓表示機器人位置判斷正確，黑色圓則代表機器人位置判斷錯誤。故當機器人距離中場座標超過一定的距離，其精準度降低，導致機器人位置錯誤。因此，未來我們將會修正所提出的定位演算法，讓可定位距離增加，最後達到機器人全場定位。

#### 五、結論

在第二年的計畫中我們除了改善第一年提出的演算法，使得物件辨識速度加快、物件切割更完整，也增加了許多此影像模組的功能，包括偵測目標物移動方向與回傳足球場上目標物資訊。最後我們也將頭部馬達模組整合進來，使整個影像模組更完整、更符合機器人的需求，在未來也能提供各子計畫作相對應之運行與決策，此外我們也依照計畫第一年所定義的演算法完成了部分的硬體功能。

未來第三年我們將繼續完成尚未完成的硬體電路，並放置到影像 FPGA 板作測試。最後，將我們所完成的客製化影像 FPGA 板與其他子計畫進行整合測試，並且研究多機器人影像資訊整合，完成本國科會計畫的

規劃目標。

#### 六、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] Chih-Hsien Hsia, Jing-Ming Guo\*, and Jen-Shiun Chiang\*, "An improved low complexity algorithm for 2-D integer lifting-based discrete wavelet transform using symmetric mask-based scheme," *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, Accepted paper. (SCI, EI)
- [3] Gutmann J. S. Gutmann, W. Burgard, D. Fox, et al., "An experimental comparison of localization of localization methods," *IEEE/RSJ International Conference of Intelligent Robot System*, pp. 736-743, 1998.
- [4] 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.
- [5] G. Kantor and S. Singh, "Preliminary results in range-only localization and mapping," *IEEE International Conference on Robotics & Automation*, vol. 2, pp. 1818-1823, 2002.
- [6] 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.
- [7] 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.
- [8] 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.