

# 足球機器人視覺系統之即時影像辨識加速法

## An Acceleration Method of Real-Time Image Recognition for Soccer Robot Visual System

李棟良、江叔盈\*、陳慶逸、羅嘉寧、柯啟強

銘傳大學電腦與通訊工程學系  
Department of Information and Telecommunication Engineering,  
Ming-Chuan University

### 摘要

本研究以 FIRA 中型足球機器人為平台，提出新的色彩模型建立方式，藉以提高機器人影像視覺面臨各種環境變化之適應能力；並探討其建模方式以及影像處理方式之改善，在即時性與精準度之間皆可獲得提升，可使機器人處於動態移動環境中，仍能保有一定程度上即時辨識之精準度。

**關鍵詞：**足球機器人，色彩模型，即時影像處理，機器視覺。

### Abstract

This paper presents a new color modeling method for FIRA medium robot platform to enhance its visual ability during various environmental condition changes. The color modeling methods and the ways of improving the image processing are discussed. Experimental results show that with the proposed method the robot can move in a dynamic environment and still maintain a certain degree of instant recognition accuracy.

Keyword: Soccer Robot, Color Model, Instant Image Processing, Robot Visual

\*corresponding author: sychiang@mail.mcu.edu.tw

## 1. 前言

隨著人工智慧領域之蓬勃發展，過去只能被動接受簡單指令重複運算之計算機，已難以滿足人類為解決各種複雜問題需求之慾望。因此如何為機器注入靈魂，賦予其具有高速演算之自主思考機器人，已是世界各地頂尖科學家們爭相研究之領域，追尋著相同夢想—『人與機器人和諧共存而生』。早於 1993 年前，加拿大不列顛哥倫比亞大學 A. Mackworth 教授所撰寫的“On Seeing Robots”論文[1]，內容中已提到了以機器人作足球競賽的構想。而世界二大足球機器人世界盃競賽 FIRA[2]與 RoboCup[3]，亦為在這時代變遷下所誕生之新興產物。其大會目標期望在未來 2050 年到來之時，機器人發展已能和人類做足球運動之相關各類競賽，展現其人工智慧領域所邁向之嶄新里程碑。

中型足球機器人必須達到在實戰比賽中快速搶到持球權，並且快速進攻對方防守球門得分之動作。因此在實際比賽中經常採用全方位鏡攝影機以及選擇全方位輪之移動方式來做控制，如此便能快速掌握 360 度視野之狀況，以及快速轉換移動方位往目的地前進。本論文所採用之足球機器人為參考文獻[4]所製造之足球機器人平台，共有一全方位鏡，一筆電，一硬體控制板，四顆馬達所組成之全方位輪，長寬皆 34cm，高 50cm，重約 15 公斤。可擁有 360 度環繞視野，以及 360 度任意方位移動之控制方式。

機器人系統架構大致可分為：影像、策略、硬體三大部份。各個環節無論理論或技術上都是門深奧的學問，而本論文針對色彩模型建立之環境適應性，和影像處理應用於即時性需求高之硬體加速方式，以及辨識影像相關之加速法等機器視覺面向切入作探討，用以提高機器人在環境視覺適應力之可靠度。

## 2. 研究回顧

在 FIRA 與 RoboCup 世界盃足球機器人競賽中，我們為追求於 2050 年足球機器人能與人類競賽並獲勝之野心，許多科學家與工程師皆充滿熱忱的投入足球機器人之相關研究。機器人系統可約略劃分為影像、策略、硬體三大領域來做深入探討研究。在比賽場地上，如何讓機器人即時從動態影像中以辨識正確的目標物位置及自我定位 [5-7]；機器人監控端與多人策略部份以分散式系統等架構設計方式，將機器人可動態連接監控[8-11]；機器人運動控制上以四輪模糊控制器等硬體設計來達到更順暢的操作[12-14]。而本研究以中型輪型足球機器人為主題之平台作為研究對象，在此回顧探討關於機器人主體架構及視覺影像系統之建立方式與優劣。

### 2.1 硬體架構

我們的硬體架構處理核心頂層由一台筆電負責處理視覺影像以及策略路徑行為規劃，底層乃採用一顆 NIOS 嵌入式微處理器作為主要處理器，負責處理來自周邊感測器(sensor)之訊號；規劃行為後，向馬達控制板發出訊號，最後由馬達控制板控制 4 顆直流伺服馬達。硬體架構設計及外觀如圖 1。

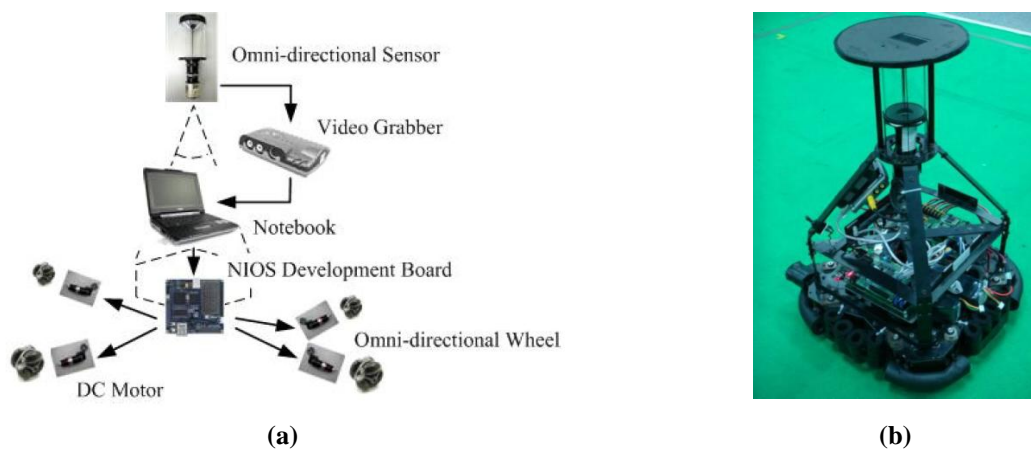


圖 1 足球機器人之硬體設計  
(a) 機器人硬體系統架構；(b) 機器人外觀

除了作為核心的筆電及嵌入式處理器外，足球機器人則搭配全方位鏡來達成觀察週遭環境溝通之媒介。其水平視野為 360 度，垂直視野為 -10 度到 55 度間，如圖 2 所示。

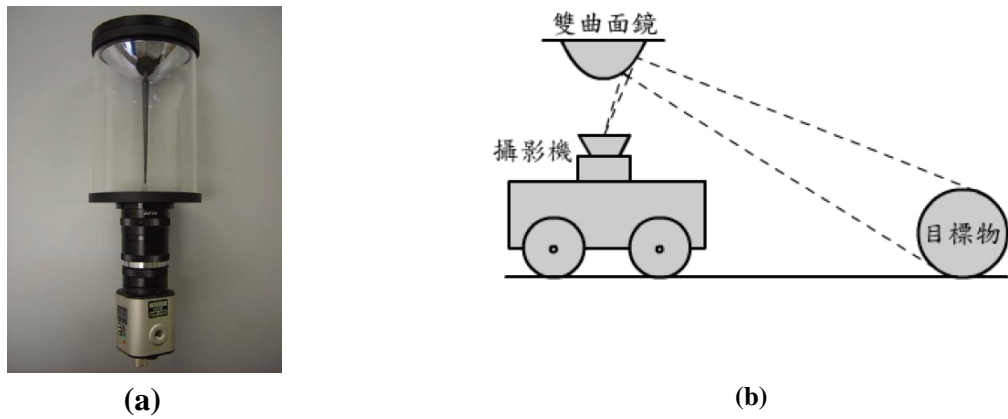


圖 2 全方位鏡視覺影像系統  
(a) 全方位鏡裝置外觀；(b) 全方位鏡成像原理

全方位鏡之使用可使得機器人在實際比賽中，不需特別轉動攝影機即可知道 360 度週遭影像之狀況，藉以提高對環境之偵測與應變速度。但由於全方位鏡是經由光學反射週遭影像之成像方式，會導致實際觀測影像具有嚴重扭曲變形之影響。其成像方式成同心圓式之放散狀，距離機器人機體本身越遠之物件，所受到扭曲影響越嚴重，如圖 3。



圖 3 全方位鏡取像之扭曲影像

所需之目標資訊在此條件下仍可透過以下兩項特性來獲得：

- A. 由於光學反射性質，即便是影像扭曲變形，成像仍會保有某些線性關係，以及場中物件之顏色資訊皆位於約同等水平地面，不易受物件本身高度差異之影響，因此可透過建立表格查表方式，查詢影像像素點與實際目標物之距離關係，如圖 4。

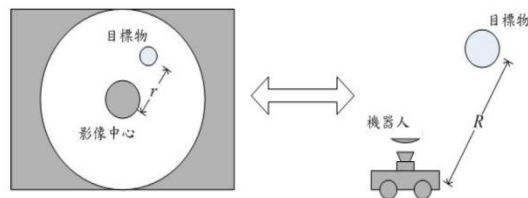


圖 4 全方位影像估測目標物距離之示意圖

- B. 在全方位鏡扭曲變形影像中，目標物彼此之間角度關係，並不會因為影像畫面扭曲受到影響而改變。因此我們可透過不同目標物件之角度資訊，用來推算定位以及規劃路徑等運用，如圖 5。

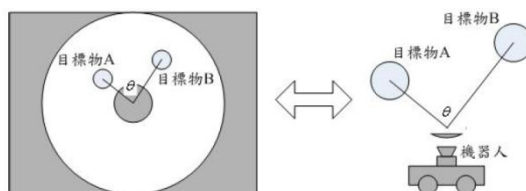


圖 5 全方位影像目標物與機體間之夾角關係

## 2.2 色彩模型建立與應用

機器人視覺與環境適應變化與感測能力有著密切的關係，雖然理論上我們能以攝影機擷取環境影像作為視覺系統感測所有週遭狀況，但實際上現今攝影機技術仍會時常受到光源波動不穩定之影響，導致我們難以準確辨識分析影像中目標物之相關資訊。因此為了使機器視覺能夠有更高的環境適應力，具有各種特色之色彩模型也不斷被制定出來運用於許多層面，以適應某些特殊環境之需求[15][16]。

一般常見色彩模型系統主要有以下幾種：RGB 色彩模型、HSL 色彩模型、HSV 色彩模型、YIV 色彩模型、YUV 色彩模型等[17-21]。因考慮其實際足球機器人之硬體平台規格，以及因應比賽需求之建模彈性，本論文在此所探討其中三種色彩模型之建立與轉換運用：RGB 色彩模型、HSV 色彩模型、YUV 色彩模型。

### 2.2.1 RGB 色彩模型

對電腦數位影像而言，每張影像像素點皆由不同紅(Red)、綠(Green)、藍(Blue)三原色數值所組成，透過三種顏色分量強度有所不同，可排列組合出人們可視光源之所有顏色層次，又稱為加色模式，如圖 6。

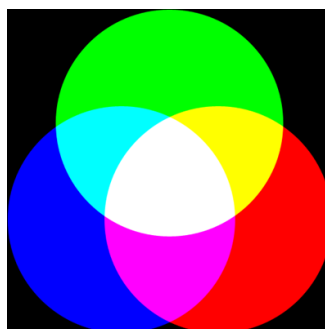


圖 6 RGB 色彩模型之加色模式

在 RGB 色彩模型中，若要針對某種顏色進行明暗、深淺等色彩調整，由於各顏色是以不同數值比例疊加而成，而非一種線性變化之關係，因此使用此模型用於這方面調整會顯得相當困難，效果不盡理想，如圖 7。

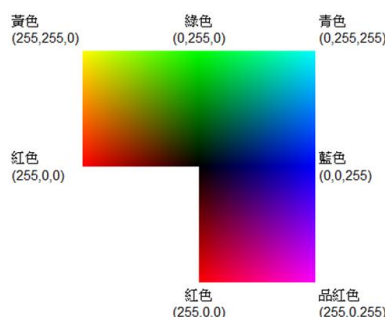


圖 7 RGB 色彩模型分布

### 2.2.2 HSV 色彩模型

由於 FIRA 比賽中擁有豐富的色彩資訊，我們對於各種顏色之明暗深淺敏感度需求較高，為了改善

其 RGB 色彩模型之缺陷，對於環境適應之色彩模型建立，本論文採用了 HSV 色彩模型來作為環境色彩之定義。HSV 色彩模型中其三分量 H 表示為色相(Hue)，即紅、橙、黃、綠、藍、靛、紫等顏色之定義；S 表示為飽和度(Saturation)，即顏色中摻入白色的程度，所謂高彩度的色彩表示此顏色摻入白色越少；V 表示為色調(Value)，指顏色的明暗程度，如圖 8。

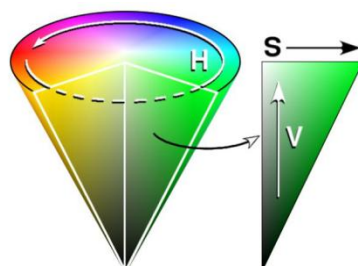


圖8 HSV色彩模型分布

由此三分量來描述顏色資訊狀況，更能輕易定義操作其各種不同顏色之濃淡與明暗之變化。另外經由RGB色彩模型與HSV色彩模型間之轉換公式，可將這兩模型間相互做轉換，如此便能以HSV色彩模型來操作原始RGB影像，藉以提高對環境顏色之適應性。

### 2.2.3 YUV 色彩模型

為了讓傳播系統發射的彩色電視訊號，可同時與舊有的黑白電視相容並正常顯示[22-24]，因此定義了YUV色彩模型之相關規格標準。此彩色系統是一種視訊壓縮的傳送技術，主要是利用人的眼睛對於亮度變化較為靈敏但是對於色彩變化不靈敏的特性而開發完成的，其能有效的節省傳輸頻寬。YUV色彩模型中其三分量Y表示為亮度，主要能同時提供彩色與黑白電視顯示亮度訊號之用途；U、V 訊號則是代表亮度Y分量分別減掉藍光與紅光資訊，當R、G、B三分量相等時，則U、V訊號皆為0，表示傳送的是無彩資訊之灰階訊號。

由於本研究採用之全方位攝影機為加速其傳輸速率，採用YUV色彩模型之YUY2壓縮比例格式來做為傳輸，因此在色彩模型轉換運用上需透過RGB與YUV之轉換公式來做處理。

### 2.2.4 機器人視覺系統之建模

由於本論文足球機器人硬體平台之攝影機，是以經過資料壓縮之YUV色彩模型方式來傳輸，因此在研究以上幾種色彩模型後，我們採用了YUV色彩模型、RGB色彩模型、HSV色彩模型以上三種色彩模型之間，透過轉換公式相互轉換其數值，藉以來達成視覺影像之環境適應，其流程如圖9所示。

在經過圖9色彩模型建立流程轉換後，我們便可知每個像素點是否符合我們事先定義之HSV色彩模型，由此可查詢各種不同已定義之HSV色彩模型，來得知該像素點顏色歸類為何，並可將查詢得到對應之顏色代碼資訊作為新的影像，用以分析辨識目標物資訊，如圖10所示。

以上述方式方能達成最基本色彩模型之轉換，並經由微調HSV閾值之色彩模型分布之參數，應用於攝影機與環境之適應辨識結合。但由於每次影像讀取之像素點皆為YUV色彩模型，因此需先轉換為RGB色彩模型，再轉換為HSV色彩模型做閾值區間判斷。過程將每個像素點套用上述之轉換公式運算整張影像的每個像素點，才可判斷是否符合我們所定義之色彩模型。然而這樣的轉換方式將會消耗大量運算效能是其缺陷之一。

表 1 色彩模型之顏色代碼表

顏色	代碼
無定義之顏色	00H
橘色	01H
黃色	02H
藍色	03H
綠色	04H
黑色	05H
白色	06H
青色	07H
桃紅色	08H

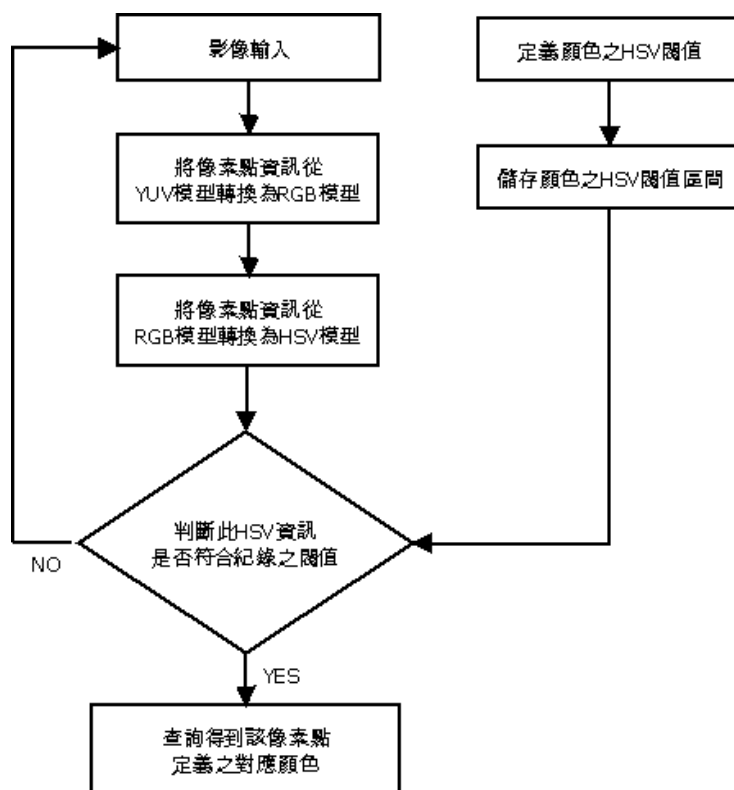


圖9 機器人系統色彩模型建立之流程

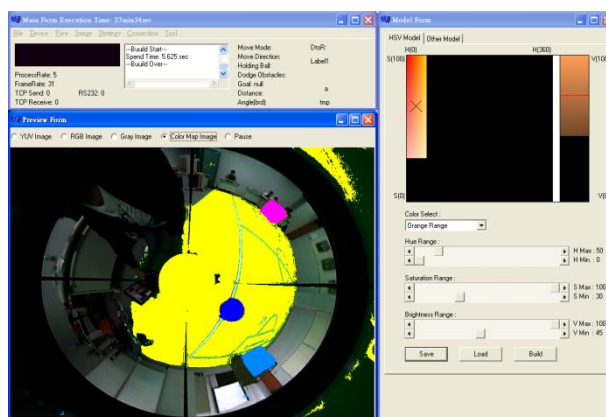


圖10 經HSV色彩模型定義之新影像資訊

### 2.3 影像前處理

由於不同地點位置之光源影響，影像資訊之物體型態，很多時候會有所破損之現象，導致往後物件辨識結果會不盡理想，因此我們會透過侵蝕、膨脹等影像處理技巧來為破損影像作為補償，好讓我們欲追蹤之物件能夠更清楚的顯現並辨識。一般基本影像前處理中，會先將整張影像先做灰階及二值化，以0和1表示整張影像情況，再以如表2所示之3x3比例之遮罩，做侵蝕、膨脹等處理來使物件更為明顯可辨識[25]。

採用此方法處理影像確實能夠有效地使得影像輪廓更加鮮明完整，能達到更高的影像物件辨識率。但在即時影像系統中對於運算效能相當吃緊，加上我們的全方位鏡攝影機之影像有許多不必要辨識部分不需對整張影像處理，另外就是為了搭配色彩模型的轉換與結合，傳統的影像前處理方式必須做些調整來符合我們的需求。

表 2 3x3 遮罩

a	b	c
d	e	f
g	h	i

## 2.4 物件搜尋法

在得到一張完整經前處理後之影像資訊後，我們需要將相鄰相同顏色區塊作結合，並進一步搜尋分析出該影像中該顏色物件之相關資訊，以作為追蹤、定位等後續策略演算之重要訊息。而最為基本的物件搜尋法則是依笛卡爾座標系，以橫軸、縱軸方式逐點搜尋整張影像來做色塊結合，如圖 11。

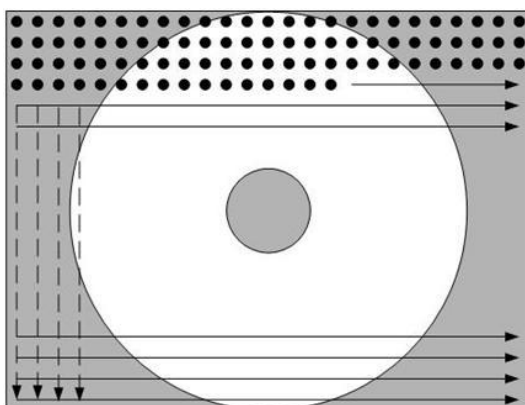


圖 11 笛卡爾座標系搜尋法

但若以此搜尋法將會搜尋整張影像內容，並逐點都做演算判斷分析其顏色色塊結合資訊，將會費時大量的時間。尤其我們攝影機全方位鏡頭之影像成圓形狀，周遭角落區域皆為黑色無用影像，不應花費時間在那些區塊作演算。

## 3. 視覺影像辨識之加速法

在影像處理與辨識中，處理速度的即時性與處理結果的精準度時常相背而馳。若要求更快速的即時性辨識，將會犧牲掉某些精準度；反之，若是要求精密辨識性，勢必需要套用更複雜演算犧牲其即時性。因此除非能夠找到更完美的演算法能同時提升這兩者，否則如何視情況需求選擇適當的演算法追求及時與精準兩者間的平衡點將是一大課題。

然而在足球機器人比賽中，由於為因應比賽之競賽需求，我們需要比對手更快速分析目標物之相關資訊，並且演算其後續策略路徑規畫，因此在此環境下我們必須追求系統更高之即時性。我們要求視覺系統在擷取影像的頻率必須能夠達到每秒30張以上，而視覺系統運作之處理張數，必須達到每秒分析25張影像資訊之能力，也就是所有步驟演算流程，皆必須在0.04秒之內完成分析處理，方能達到我們對視覺影像即時性要求之門檻。

若視覺影像處理系統之速度過慢，則會對後續定位系統及策略路徑規劃上有著極大的影響，因此本研究針對幾個影響效能之重要環節提出改善方法，用以提高其效能盡可能逼近每秒處理分析25張影像之速度，使得整體機器人控制系統方能趨近正常運作與穩定。

### 3.1 建模查表法

在機器人視覺系統中，為了能更有效的適應環境變化，我們會先經由建模方式定義目標物之色彩模型，之後讀入之像素點再與此色彩模型比對是否符合我們所定義之空間分布閾值，判別此像素點應被定

義歸類為何種定義顏色。

由於攝影機硬體為了傳輸速率，會先將影像資料經壓縮後再傳送，例如本研究硬體之攝影機採用了 YUV 色彩模型的 YUY2 壓縮比格式來傳輸，但我們希望使用 HSV 色彩模型來做環境適應之建模，因此需要在 YUV 色彩模型、RGB 色彩模型、HSV 色彩模型間做轉換。而以 480\*640 像素之影像而言，每張影像之色彩模型轉換就需作 307,200 次轉換公式，其過程將會消耗大量效能。

有鑑於此，為了能提昇整體處理效能以達視覺影像即時性之需求，本研究採用以電腦記憶體空間換取時間之方式，在影像處理前事先將所有定義之 HSV 色彩模型預先演算轉換公式轉為 RGB 色彩模型，再將 RGB 色彩模型預先演算轉換公式轉為 YUV 色彩模型，並建立起表格儲存 YUV 色彩模型所對應之 HSV 色彩模型定義的顏色代號。

如此一來我們在讀取攝影機影像像素 YUV 色彩模型格式，就能直接經由查表法得知該像素點所被定義歸類的顏色代號為何。經由此法將能直接快速查詢符合我們所建模之整張影像的色彩資訊，其建模流程如圖 12。經此色彩模型建立流程轉換後，便能取代 2.2.4 建模流程，以查表方式得到每個像素點所歸類的顏色代碼資訊，產生一張以顏色代碼資訊所表示的新影像，用以後續分析辨識目標物資訊，如同圖 10 所示之效果。

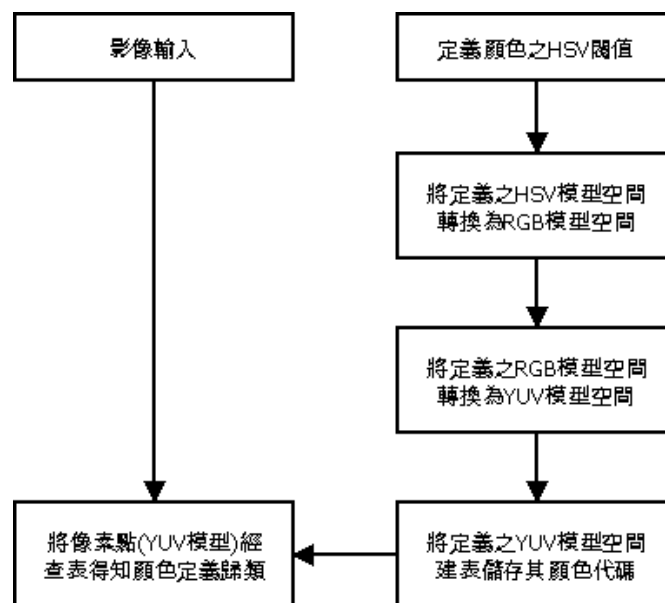


圖 12 機器人系統查表法建立色彩模型之流程

### 3.2 影像前處理之局部顏色處理法

當經查表法步驟後，我們會得到一張以顏色代碼，如表 1 所示之代碼，用以表示此影像資訊。由於為彌補不同地點位置之光源影響，影像資訊之物體型態破損現象，以增加物件辨識之結果，我們透過類似侵蝕、膨脹等影像處理技巧精神來為破損影像作為補償，好讓我們欲追蹤之物件能夠更清楚的顯現並辨識。但若採用一般侵蝕、膨脹等影像處理技巧，對整張影像每個像素點做處理，將會耗去大量效能，較難達到我們對於比賽即時性之需求；另一方面則是傳統侵蝕、膨脹等影像處理技巧需對二值化影像作處理，無法使用於我們經查表法所得到以 8 種顏色代號表示之影像型式。因此本研究將以侵蝕、膨脹處理法精神作為改進，用兩種方式結合來處理擷取影像，以達到比賽需求之即時性。

首先為了降低處理次數，我們只需針對球場上之重要物件，像是球和球門，個別作處理即可。依此方法我們只需針對上一步驟查表法所得到之影像資訊，對於球和球門顏色，也就是橘色(代號 01H)、黃色(代號 02H)、藍色(代號 03H)作處理，而當掃描到綠色(代號 04H)等其他顏色時則不做任何演算動作，如此便可只針對特殊顏色來作類似侵蝕、膨脹等處理影像之效果，來精簡演算的次數。

傳統侵蝕、膨脹處理法，需先掃描該像素點四周相鄰像素點顏色情況，再改變其中心像素點顏色。但由於經由上述方式我們只針對特殊顏色作處理，因此第二步則是不以傳統侵蝕、膨脹演算方式處理影像，而改為當我們掃描到特定如球和球門顏色代號時，就以該顏色像素點為中心，將中心點顏色作十字放大，以此方法便能搭配第一種局部處理方式，順利將特定顏色之影像部分作侵蝕、膨脹等處理效果，如圖 13、圖 14 所示。



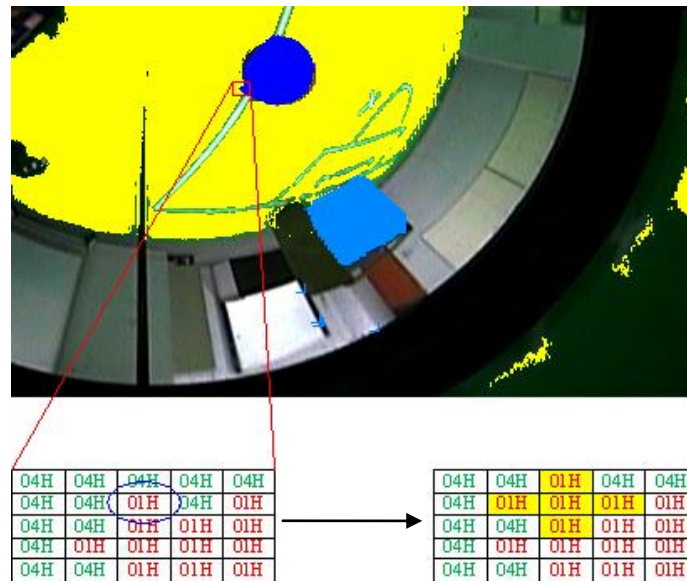


圖 13 局部顏色膨脹處理

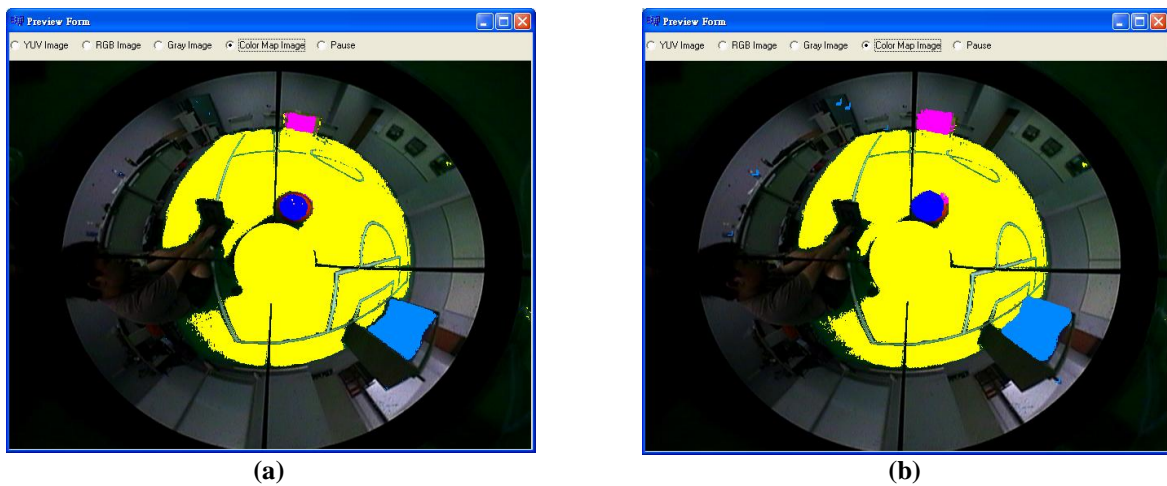


圖 14 局部顏色膨脹之處理前後比較  
(a)未做任何處理之影像；(b)針對球和球門做膨脹處理之影像

### 3.3 極座標跳躍搜尋法

為了符合全方位鏡頭圓形狀之影像情況，我們改採以極座標系系統，用角度  $\theta$  與半徑  $r$  關係控制搜尋法搜尋範圍，用此方式便可只搜尋掃描實際圓形區域之成像範圍以減少不必要之演算，如圖 15。

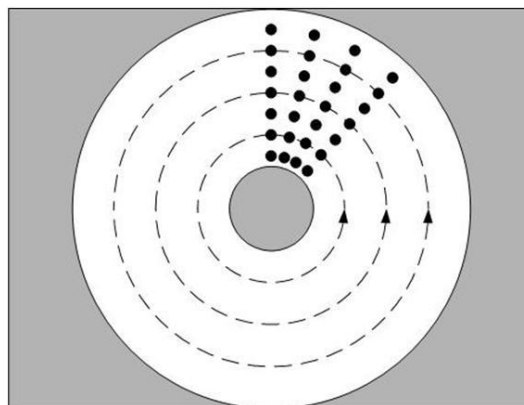


圖 15 極座標系搜尋法

由於全方位鏡頭之影像成像特性，距離越靠近機體本身之物件影像會越大；反之，距離越遠之物件影像則會越小。而對於大的物件我們不須做過於密集的搜尋，可依情況以較大幅度的角度 $\theta$ 或半徑 $r$ 搜尋法跳躍即可辨識出其物件位置；反之，若物件影像較小，則需做較為密集的搜尋方式才能更精準辨識物件資訊。

因此除了採用極座標系來做為搜尋外，另一種加速處理的方式是以跳躍方式搜尋[26]，綜合極座標搜尋法以角度和半徑做為搜尋密度控制參數，並將搜尋之同心圓分層。越內層搜尋密度越小，跳躍角度 $\theta$ 與半徑 $r$ 越大；越外層搜尋密度越大，跳躍角度 $\theta$ 與半徑 $r$ 越小，如圖 16。

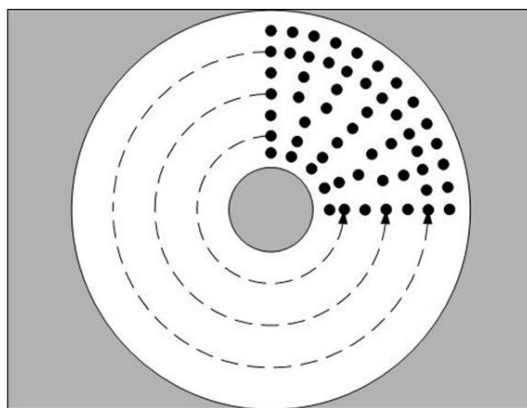


圖 16 極座標跳躍搜尋法

## 4. 實驗與討論

在此針對上述幾點之加速演算方式做實驗數據測試，用以檢視其改善機器人視覺影像即時性之情況。其加速效能提高之實驗驗證方式，一是計數其演算過程所花費之時間，以其值取樣100次做平均；另一則是採用設定一Timer作為計數，每處理完一張影像紀錄值會向上加1，而Timer計數一秒鐘後會再將已處理張數紀錄歸零，用此方式方能得知每秒鐘演算法能夠處理之影像張數目，再以其值取樣100次做平均。依此演算所需費時以及每秒處理張數平均值數據比較其優劣之處。

### 4.1 建模查表法

由於參照基本建模之色彩模型轉換方法，需做 YUV、RGB、HSV 三種色彩模型間之轉換，其演算公式較為複雜，且一張影像當中其像素點量相當大，若整張影像中每個像素點都套用此轉換公式，演算將會消耗大量運算效能無法達到我們所需之影像即時性。因此我們改用建表方式，來建立表格紀錄色彩模型轉換所相互對應的值，如此一來，便能由 YUV 色彩模型直接查詢表格，得到其色彩模型定義之顏色歸屬為何。在此比較了未採用建表方式與採用建表方式來轉換色彩模型之演算架構差異，用以得到判別該像素點顏色歸類，過程所需消耗效能之情況。

若在未採用建模查表法，且實際所測得影像之每秒張數約為 16 張時，採用建表方式來轉換色彩模型則可提升至每秒 21 張。也就是採用此方法可比未使用建表方式平均提升約 5 張之處理張數，如表 3 所示。

表 3 建模查表法之效能比較

	演算法費時	單張處理時間	每秒處理張數
未採用建模查表法	0.031 sec	0.062 sec	約 16 張
建模查表法	0.015 sec	0.046 sec	約 21 張
每秒處理提升張數	約 5 張		

### 4.2 影像前處理之局部顏色處理法

影像前處理當中若對整張影像做處理演算將會消耗大量效能時間，尤其考量全方位鏡攝影機影像成圓形狀，周遭角落有不必要判別之區塊，以及搭配建模查表方式所得到的以 8 種顏色代碼表示影像方式，我們改採當讀取到特定物件顏色代碼時，才做侵蝕、膨脹等前處理演算，用以改善提升其運算效能。

在此比較了未採用局部顏色處理法與採用局部顏色處理法之演算架構，在兩者間影像處理皆能彌補使得物件完整不破損嚴重的情況下，比較其效能差異之所在。經反覆實驗，若不採取局部顏色處理法，

採用一般侵蝕膨脹處理，則需做二次膨脹及二次侵蝕，也就是二次閉運算畫面較為完整；而採用局部顏色處理法，則需將特定顏色，球(橘色)和球門(黃色、藍色)，做五次十字膨脹放大才可使畫面較為完整無破損。

若未採用局部顏色處理法，且實際測得平均每秒處理張數約為 11 張時，採用局部顏色處理法之演算架構則能提升至每秒約為 21 張。也就是採取上述局部顏色處理法平均會提升約 10 張之處理張數，如表 4 所示。

表 4 局部顏色處理法之效能比較

	演算法費時	單張處理時間	每秒處理張數
一般侵蝕膨脹處理(二次閉運算)	0.063 sec	0.094 sec	約 11 張
局部顏色處理法(五次膨脹)	0.016 sec	0.047 sec	約 21 張
每秒處理提升張數	約 10 張		

#### 4.3 極座標跳躍搜尋法

在一般對於物件搜尋辨識中，需掃描整張影像像素點，並進一步判別鄰近色塊顏色，將相同之區塊作結合來做物件辨識。但考量全方位攝影機影像成圓形狀，以及為了運用其扭曲影像之光學特性，我們辨識物件之方式，需取其角度及與機體圓心距離半徑關係來做為物件資訊紀錄。因此搜尋物件方式將改為以極座標系架構來做建立，如此除了能避免不必要之角落搜尋外，更能以角度及半徑關係來描述物件資訊內容，簡化了物件辨識之複雜度，以及更加速了整張影像物件搜尋的速度。

若未採用極座標跳躍搜尋法，且實際測得平均每秒處理張數約為 16 張時，採用極座標跳躍搜尋法之演算架構則能提升至每秒約為 30 張。也就是採取上述極座標跳躍搜尋法平均會提升約 15 張之處理張數，如表 5 所示。

表 5 極座標跳躍搜尋法之效能比較

	演算法費時	單張處理時間	每秒處理張數
逐一點每行掃描	0.047 sec	0.062 sec	約 16 張
極座標跳躍搜尋法	0.013 sec	0.033 sec	約 30 張
每秒處理提升張數	約 15 張		

#### 4.4 演算效能之演進

在研究之初最原始完全不採用任何加速法處理影像時，我們影像處理速度只有平均每秒 5 張，最高只達約 10 張，畫面延遲相當嚴重。在我們採用了建模查表法後便可節省大量色彩模型之轉換演算過程，以記憶體換取時間方式，可將平均每秒張數提升至 13 張，最高至 15 張左右之成果，此時的影像速度已順暢許多，但由於機器人比賽移動的速度相當快，仍不夠達到即時性辨識需求，以至於後續策略和路徑規劃無法執行預期之路線。而在經過局部顏色處理法與極座標跳躍搜尋法後，影像處理速度已可達前述理想狀況，至平均每秒處理 25 張以上影像資訊之能力，甚至狀況好時處理速度能接近平均每秒 30 張左右之影像，由此實驗數據可知其改良即時性效果相當良好，處理效能演進如圖 17 所示。

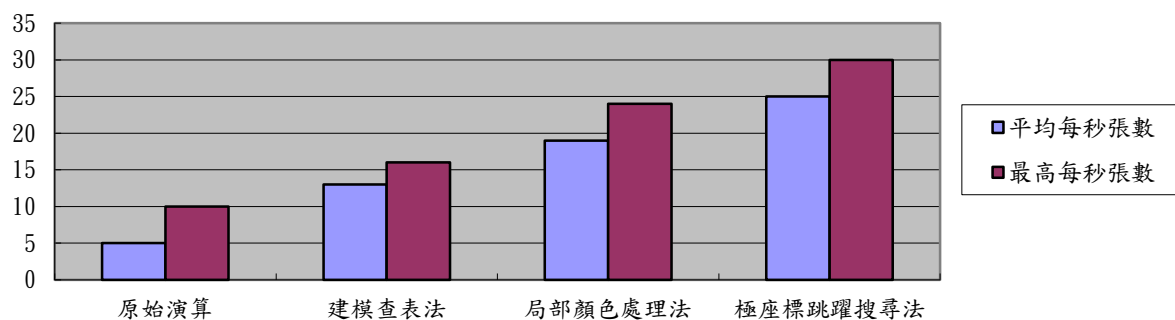


圖 17 加速演算法之平均效能演進數據

## 5. 結論

中型足球機器人視覺影像系統，在透過色彩模型轉換之建模方式，能夠與環境適應達到更高的相容性。使用 HSV 色彩模型對於各種顏色之定義方式，與 RGB 色彩模型分布相比，我們能更容易的定義出各種不同顏色所屬之光源變化。而運用建表法、局部顏色處理法、極座標跳躍搜尋法等方式，我們能將原始每秒處理張數最高 5 張提升至 25 張，已達成機器人視覺即時性之需求，對於後續策略決策與路徑規劃演算執行之穩定度，也有著顯著的提升。

然而以此種建模方式也並非完美，對於不同色彩模型之轉換公式會存在著些許誤差，導致建表時會存在某些空間分布無法準確被定義出來；另外則是環境光源分布不平均問題，我們可以定義場地上某小區域的色彩模型分布狀況，但若機器人遠離當初的建模位置點，很可能會因為環境光源明暗影響其整張影像脫離當初所定義的色彩分布空間，進而導致物件影像變得支離破碎而難以搜尋辨識物件。因此未來可能需進一步研究可能以基因演算、螞蟻仿生演算等人工智慧求最佳解方式，運用在視覺影像建模之動態閾值微調系統來適應各種光源變化得到最佳影像畫面[27-29]。在人眼視覺當中，我們不一定需要針對有顏色物體才能作辨識，例如若今天出現的是黑白影像，人類及其他生物仍有辦法利用觀察邊緣或追蹤物體移動差異等方式，辨識出其形態來定義物件位置與相關資訊。實際上在 RoboCup 比賽中可用顏色資訊也越來越少，其球門皆改為一般足球門之白色，已不再使用顏色來做為區別，甚至只有球門邊框加攔網。在這種環境下機器人視覺必須具備如同其他生物般，具備能夠偵測顏色、輪廓、紋路等方式來作物件辨識與追蹤，在此條件前提下可能也需改變建模或影像處理方式，方能進一步作定位系統等影像資訊分析數據，以供策略決策之需求。不過仍需注意的是機器人系統對於影像即時性之需求有一定門檻。視覺影像處理的方式有很多，但如何精簡演算達到即時性，又能保有原來動態視覺演化與適應之功效，是值得我們再深入探討之處。

隨著科技日新月異的快速變遷，微處理器效能也日益攀升，本是需要消耗大量效能演算之影像處理領域也因而有所突破，能夠滿足於許多即時性系統之需求，進而開拓了寬廣的電腦機器視覺領域之蓬勃發展。然而機器視覺系統與人類及其他生物視覺相比，仍有一段漫長的道路需要科學家們的努力，這也說明了視覺影像系統發展之迫切與未來之遼闊。

## 致謝

感謝淡江大學電機工程學系機器人實驗室的相關技術指導，使路徑規劃與避障之架構能夠在規劃時程內順利建構完成，並感謝銘傳大學提供競爭型預算以支持本計畫之進行。

## 參考文獻

- [1] A. Mackworth, "On seeing robots," *World Scientific Press Computer Vision: System, Theory, and Applications*, pp. 1-13, 1993.
- [2] FIRA Cup. Available at: <http://www.fira.net/> Accessed 15 February 2010.
- [3] RoboCup. Available at: <http://www.robocup.org/> Accessed 15 February 2010.
- [4] 鄧宏志，中型機器人足球系統之即時影像處理，淡江大學電機工程學系碩士論文，民 95。
- [5] D. Kragic, M. Björkman, H.I. Christensen, J.O. Eklundh, "Vision for robotic object manipulation in domestic settings," *Robotics and Autonomous Systems*, Vol. 52, pp.85-100, 2005.
- [6] R. Orghidan, J. Salvi, and E.M. Mouaddib, "Modelling and accuracy estimation of a new omnidirectional depth computation sensor," *Pattern Recognition Letters*, Vol. 27, pp.843-853, 2006.
- [7] F. Linåker and M. Ishikawa, "Real-time appearance-based Monte Carlo localization," *Robotics and Autonomous Systems*, Vol. 54, pp.205-220, 2006.
- [8] M. Egerstedt, X. Hu, "Formation Constrained Multi-Agent Control," *IEEE Trans. Robotics and Automation*, vol. 17, no 6, pp. 947-951, Dec. 2001.
- [9] T. Balch, R. C. Arkin, "Behavior-based formation control for multi-robot teams," *IEEE Trans. Robot and Automation*, vol. 14, pp. 926-939, Dec. 1998.
- [10] Z. D. Wang, V. Kumar, Y. Hirata, and K. Kosuge, "A strategy and a fast testing algorithm for object caging by multiple cooperative robots," *Proc. IEEE Int. Conf. Robotics Automation*, vol. 2, pp. 2275-2280, Sept. 2003
- [11] Z.D. Wang, E. Nakano, T. Takahashi, "Solving function distribution and behavior design problem for cooperative object handling by multiple mobile robots," *IEEE Trans. System Man, and Cybernetics-part A: System and Humans*, vol.33, on.5, pp.537-549, Sept. 2003.

- [12] Y. Mei et al., "Deployment of mobile robots with energy and timing constraints," *IEEE Transactions on Robotics and Automation*, Vol. 22, pp.507-522, Jun. 2006.
- [13] S. H. Lee et al., "Newton-Type Algorithms for Dynamics-Based Robot Movement Optimization," *IEEE Transactions on Robotics and Automation*, Vol. 21, pp.657-667, Aug. 2005.
- [14] T. Das and I. N. Kar, "Design and implementation of an adaptive fuzzy logic-based controller for wheeled mobile robots," *IEEE Transactions on Control Systems Technology*, Vol. 14, pp.501-510, May 2006.
- [15] 連國珍，數位影像處理，儒林圖書有限公司，1992。
- [16] 鍾國亮，影像處理與電腦視覺(第四版)，東華書局，民97。
- [17] RGB Color Model. Available at: [http://en.wikipedia.org/wiki/RGB\\_color\\_model](http://en.wikipedia.org/wiki/RGB_color_model) Accessed 20 March 2010.
- [18] HLS Color Space. Available at: [http://en.wikipedia.org/wiki/HLS\\_color\\_space](http://en.wikipedia.org/wiki/HLS_color_space) Accessed 20 March 2010.
- [19] HSV Color Space. Available at: [http://en.wikipedia.org/wiki/HSV\\_color\\_space](http://en.wikipedia.org/wiki/HSV_color_space) Accessed 20 March 2010.
- [20] YIQ. Available at: <http://en.wikipedia.org/wiki/YIQ> Accessed 20 March 2010.
- [21] YUV. Available at: <http://en.wikipedia.org/wiki/YUV> Accessed 20 March 2010.
- [22] Chroma Subsampling. Available at: [http://en.wikipedia.org/wiki/Chroma\\_subsampling](http://en.wikipedia.org/wiki/Chroma_subsampling) Accessed 10 April 2010.
- [23] NTSC. Available at: <http://en.wikipedia.org/wiki/NTSC> Accessed 10 April 2010.
- [24] PAL. Available at: <http://en.wikipedia.org/wiki/PAL> Accessed 10 April 2010.
- [25] 張維軒，以色彩為基礎的即時物件辨識系統應用於人形機器人視覺，淡江大學電機工程學系碩士論文，民99
- [26] 黃雋博，小型機器人足球系統之即時影像處理，淡江大學電機工程學系碩士論文，民92。
- [27] Akhilesh Chander, Amitava Chatterjee, and Patrick Siarry, "A new social and momentum component adaptive PSO algorithm for image segmentation," *Expert Systems with Applications*, Vol.38, No.5, 2011.
- [28] C.Y. Chen, C.H. Chen, and Z.X. Dai, "An Evolutionary Computation Approach for Lane Detection and Tracking," *Advanced Science Letters*, 2011.
- [29] H.C. Huang, "Intelligent motion controller design for four-wheeled omnidirectional mobile robots using hybrid GA-PSO algorithm," 2011 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics, pp.2267-2272, 2011.