

行政院國家科學委員會補助專題研究計畫 ■ 成果報告

計畫類別： 個別型計畫 整合型計畫

計畫編號：

執行期間： 2007 年 8 月 1 日至 2008 年 7 月 31 日

計畫主持人：楊智旭

共同主持人：

計畫參與人員：劉家孝、游勝村

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：

中 華 民 國 97 年 10 月 23 日

中文摘要

本研究的目的是開發一部具有視覺“看”的能力與仿效人類“學習”能力的撞球控制器，配合機構設計(Mechanical design)完成撞球機器人的軟硬體整合，同時對機器人的移動作出自動與半自動控制，再加上影像處理技術，正確地得到球桌上所要撞擊子球的相對位置，並利用可拓理論(Extension theory)決策智慧型演算法(Intelligent algorithms)來學習並推論出，如何將子球打進球袋及作球，形成撞球決策(Decision-making)，最後將控制命令(Control command)送到撞擊機構來執行打撞球的動作。

本研究的第一個重點是撞球機器人的影像處理(Imaging processing)技術，它必須具備視覺感測裝置(CCD)，就如同人類的眼睛，感測並判斷球的位置，當掌握球桌上所有球的位置後，輸出母球(Cue ball)和子球(Object balls)的座標值給控制裝置(PC)，令撞球機器人得以作正確的撞球決策(Decision-making)。

本研究的第二個重點是，撞球機器人的決策控制裝置，它必須具備可以快速計算的能力，就如同人類的大腦，當眼睛(CCD)將所有的球搜尋完畢得到其座標位置後，利用模糊-類神經網路(Fuzzy Neural Network)讓機器人具有仿效人類的學習與推論的機制可以不斷去學習撞擊的力道與角度，然後將決策命令傳送到機器人的撞擊機構控制器(Controller)執行打撞球的動作。

本研究的第三個重點是，撞球機器人的機構運動控制(Mechanism motion control)，它必須具備精確移動的XYZ平台和撞擊的機構(Mechanism)，就如同人類的手和腳。當控制器(PC)輸出預備撞擊母球的位置訊號到XYZ平台，XYZ平台立即移動到正確的位置，並接收控制器(PC)所輸出的撞擊角度和力道命令撞擊機構將子球準確的撞進球袋，完成撞球動作。

研究的範圍包括了機構設計(Mechanism design)、影像處理與辨識(Imaging processing/Pattern recognition)、控制決策(Decision making)及機電系統整合(Electromechanical system integration)。也藉由這三個領域的結合使得本機構具備機械結構的穩定、協調地控制、快速地辨識和智慧型的推論與學習等優點來仿效人類打撞球。

關鍵詞：可拓理論(Extension theory)、模糊-類神經網路(Fuzzy Neural Network)、機構設計(Mechanism design)、機械視覺(Machine vision)、控制決策(Decision making)。

英文摘要

The objective of this research is to develop an equipment that is provided with visual ability and could imitate the learning ability of human beings. The billiard robot is made by the above design conditions. In addition, people could control the robot automatically and semi-automatically. By the skills of image processing, the robot would “see” the correct position of object balls. Then the robot would learn and know how to pocket object balls and setup by intelligent algorithms : Extension Theory.

The image processing technology is one of the important part of this research. The robot has to be installed a CCD device as the eyes of human beings. It could measure the position of balls and pockets. After measuring the position of each ball, the robot would send the coordinates of cue ball and object balls to PC for the decision-making.

The second part of the research is the decision-making and analysis. The robot must be installed a computer that could calculate rapidly. It is like the brain of people, when “eyes” (CCD) scans the coordinates of each ball, the robot would learn the strength of shooting and angle of pocketing balls by Fuzzy Neural Network to let the robot imitate the learning ability and inference of people. Ultimately, decision command would be sent to the controller of the robot.

The third part of this research is the mechanism and control of this robot. The robot must be installed a XYZ table that could move accurately and the mechanism of shooting just like the hands and legs of human beings. When PC sends the position of balls to XYZ table by digital signal, XYZ table would move to the proper position immediately. According to the strength of shooting and angle sent by PC, the shooting mechanism would pocket the ball perfectly.

This research contents 4 major parts : structural design, image processing, the integration of decision making and analysis, and electromechanical system. The combination of these techniques makes the robot possesses the advantages of stabilization of structure, precise control, rapid recognition, inference and learning ability.

Key words: Extension theory 、 Neural algorithms and Fuzzy logic theory 、 integration of decision making and analysis 、 image processing

前言與研究目的

撞球是一項普及並且風行多年的運動，每年度受矚目的世界性撞球賽事更是不勝枚舉。尤其於 2006 杜哈亞運中，台灣選手柳信美、林沅君及楊清順一舉為國奪下二面金牌及一面銅牌，更是令全台灣對撞球運動之發展及推廣有更進一步的了解與奪牌期待。因此，除了現今已有一定發展規模的足球型機器人比賽(FIRA ISI-Robot Soccer Championship)、(RoboCup)之外，撞球機器人勢必更會是運動機器人之新潮流。

在力量控制與擊球角度量測上，撞球機器人的表現是比人類的動作還要穩定的。機器人能夠按照電腦所計算出的擊球力道與角度做出穩定的擊球動作，在控制方面確實比一般人類穩定的多。在影像辨識方面，CCD 所擷取的影像容易受到環境的影響，如光線的強弱所造成的陰影、反光所造成的局部亮點、不均勻的顏色區塊，這些對於影像的辨識會造成很大的影響，所以必須進一步做影像處理。

撞球機器人邏輯思考判斷能力方面，撞球機器人缺乏對障礙球的判斷能力，使得在有障礙球的狀況時，撞球機器人仍然會選擇有障礙球的路線作進攻，無法使得目標球順利撞進球袋。作球方面也僅僅做到下一顆目標球，無法對全局作一個完整的進攻規劃，容易造成後面的色球無法撞進球袋的窘境。

本研究將針對上述缺點來修正，使撞球機器人的視覺能力與邏輯推斷能力更上一層樓，達到迅速且準確的搜尋出母球與子球的座標位置，使得撞球機器人能夠在快速的搜尋完球桌上的各色球之後，結合全局作球的觀念，依序完成撞球動作。讓撞球機器人有著與人類類似的撞球技巧，以期能夠達到一杆清檯(Clean table)的目標。

文獻探討

國內曾做出機械撞球機構的則有台灣科技大學機械系林其禹教授[1]，其撞擊機構的移動和瞄準都需要人的操作，其機構的控制是屬於半自動化，就像人類撞球時將球杆擺在適當位置，由其撞球機構代替人類的手，將母球撞擊出去而已。美國的麻省理工學院在 1997 年也發展出一套戴在頭上的電腦瞄準裝置(Wearable computer)[2]，利用 3D 虛擬視覺環境輔助人類在撞球時，母球撞擊子球角度的多種選擇。馬來西亞的團隊[3-4]則以電腦虛擬環境，利用模糊理論來建立簡易的撞球決策。日本方面曾發表在撞球檯上以自走車承載 XYZ 動平台來模擬撞球時球杆的瞄準與撞擊機構[5]。綜觀國內外相關文獻，尚無任何研究團隊或個人實現撞球機器人的軟硬體整合與比賽，本團隊可謂到目前為止第一組真正進行撞球機器人軟硬體整合研究，並且已經發表多篇國內外論文，與發表多本碩士論文[6-15]。

研究方法

〔1〕影像的擷取定位與辨識

撞球機器人的影像擷取是利用球桌正上方的 CCD 攝影鏡頭，拍攝球桌的全域影像，並經由數位影像擷取卡擷取共 307200 個像素 640*480 大小的球桌及球的影像畫面，我們可以利用紅、藍、綠三顏色(R G B)各八位元來作為不同顏色的球的判斷依據。

〔2〕撞球機器人的撞擊機構設計

本研究所設計的機構擁有五個自由度，分別為機構在球桌上的左右平移(x 軸)、前後平移(Y 軸)、打擊機構的升降(z 軸)、球桿沿 Z 軸轉動之轉動軸(A 軸水平面旋轉軸)以及球桿沿 Y 軸轉動之轉動軸(B 軸垂直面仰伏旋轉軸)。首先我們確定子球的位置後，從決策機制立刻判斷最有利進球的球袋、母球碰撞子球的撞擊角及力道。撞擊機構隨即接受控制命令移動到適當的打擊位置，並將升降機構下降到母球中心線的高度，在 Z 軸高度定位完成後，隨即做水平旋轉與垂直角度的調整，這樣就可以做到對母球中心點的撞擊。當撞擊動作完成後迅速升起以避免造成犯規問題。

〔3〕推論與決策機制

智慧型演算法使得撞球機器人可以不斷地推論與決策出撞球的力道和撞擊的角度，其智慧型演算法我們將利用可拓理論來推算出要撞擊的力道和撞擊角度，並使用監督式的類神經網路法則來使得機器人擁有不斷學習並順利撞擊進球，就如同撞球選手經由不斷地練習來提高進球率的訓練過程。

〔4〕作球的技巧與決策

本研究利用可拓理論使撞球機器人能夠擁有一套作球的思考邏輯，來使得機器人有策略性的思維，快速準確將球桌的三顆子球連續撞進球袋，完成清檯(Clean table)目標。

結果與討論

〔1〕號球定位與辨識

撞球機器人藉由 RGB 上下界閾值來區隔出各色塊的位置。由於色球的顏色混亂，以綠色的球桌桌面做為過濾條件，使得撞球機器人利用各色球的顏色直接作球中心的判斷。影像辨識主要分為兩個步驟執行，先將各球位置定位，再辨識各色球顏色，以此完成擊球順序規劃。

以球桌面顏色(綠色)為影像過濾條件來做二值化，如圖 1 所示，黑色部分為球桌桌面，白色的部分則為各色球的位置。為了消除圖中的一些雜點與白色區塊邊緣的鋸齒部分，我們使用影像柔化與斷開的前置處理[16]。接著結合平均法與資料搜尋法為基礎來定位球心[17]。針對每一個號球集合，以平均法來搜尋球心，就可以得到每一顆號球的球心位置。

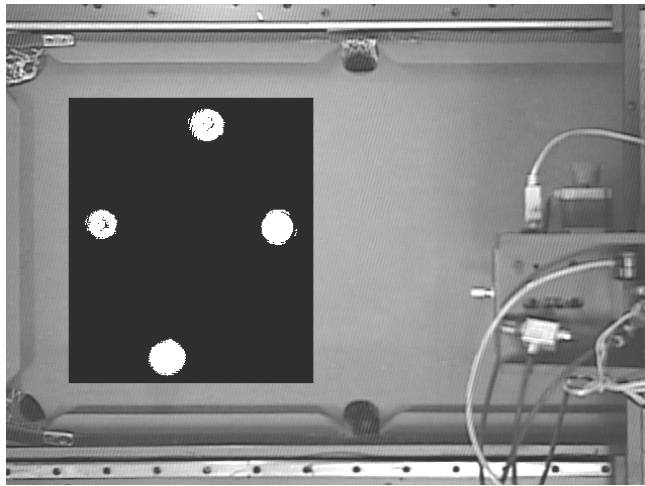


圖 1：二值化後的圖像

已知球桌上每一顆色球確切的位置之後，我們以顏色辨識來取代球號辨識。在實驗中我們利用 VB 程式中的 point 指令來擷取影像中的顏色值，擷取影像中色球的顏色像素，針對色球的像素做彩色分析，就可以得到色球的顏色值，完成辨識動作。辨識出每一顆色球的顏色之後，就可以決定擊球順序。圖 2 為母球與各色球經由辨識後的結果，圖中 A 區塊顯示母球與各球袋中心之座標，B 區塊顯示球桌上共六顆球之座標，C 區塊則顯示五顆子球之座標，最後 D 區塊顯示各球之擊球順序。

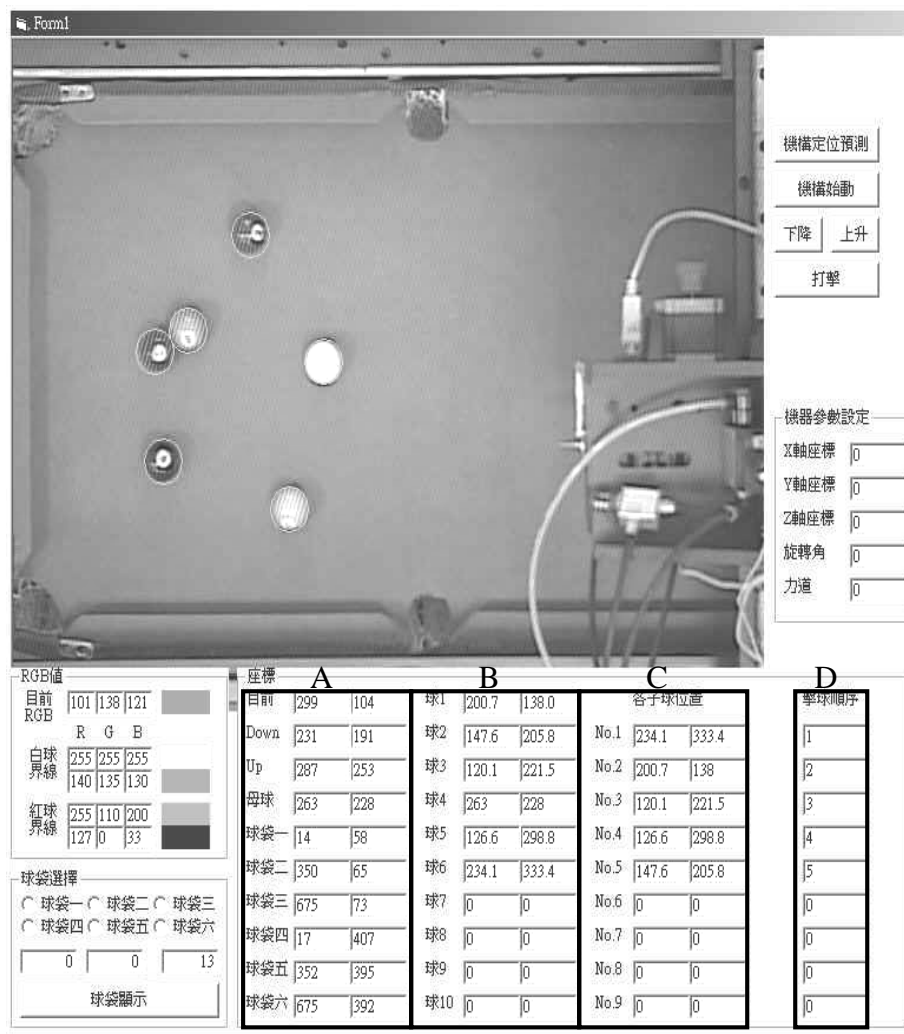


圖 2：球桌上五顆子球與母球的辨識結果

〔2〕全局作球規劃

撞球除了要能夠準確地將目標球擊進球袋之外，為了要能夠繼續進攻，需要使母球撞擊後的停留位置停留在能夠撞進下一顆目標球的位置，這過程稱之為作球。為了加強作球的判斷，不只要作到下一顆子球，更要將球桌上的所有子球納入考慮，完整地規劃一個球局，我們以可拓理論[18-19]作為球帶選擇決策，使撞球機器人能夠更接近撞球選手的思考邏輯模式。

將各物元中的數值代入相對應的可拓關聯函數，計算出各條件因素在不同指標的合格度，再由公式求出規範合格度，最後計算出各母球位置的優度，選出最佳母球撞擊後的停留位置，使得下一顆子球最容易被撞進球袋。

以圖 3 為例，經由號球定位與顏色辨識，分辨出了母球與 1~3 號球的位置，先針對 1 號球作球袋選擇，得知五號袋為最佳球袋。接下來預測母球在撞擊 1 號球之後可能的走向，輸出 10 種氣壓缸可能的撞擊力道，推斷出 10 個母球可能停留的位置，經由可拓作球決策判斷出位置(9)為最佳母球停止位置，為最容易撞進 2 號球的位置，而位置(8)次之，但是為了作到 3 號球，我們對位置(9)與位

置(8)再作可拓作球決策，也就是先將母球訂在位置(9)，預測母球撞進 2 號球之後，母球可能的停留位置。再將母球訂在位置(8)，預測母球撞進 2 號球之後，母球可能的停留位置。再分別挑出 2 個最佳撞進 3 號球的位置，作優度總和計算。

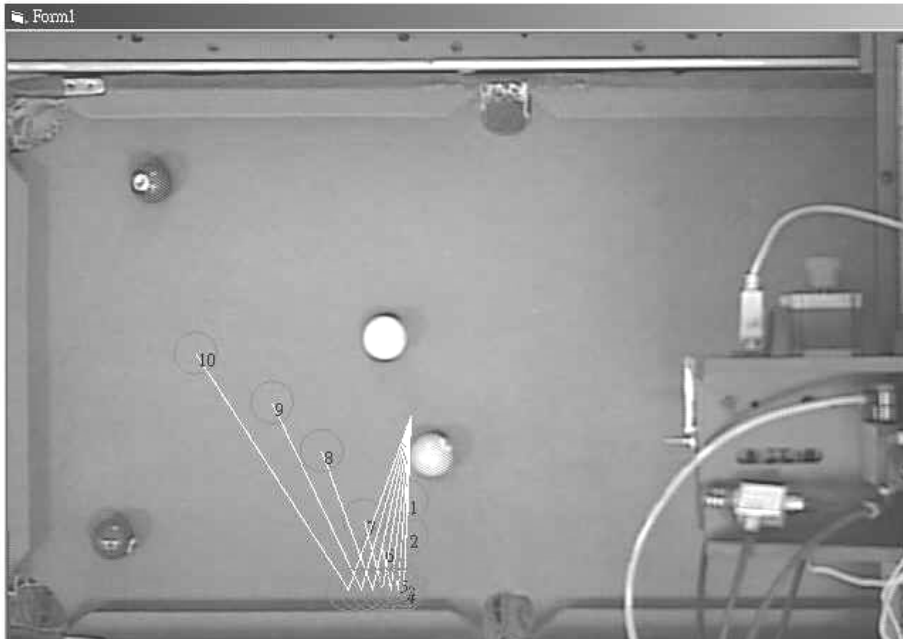


圖 3：母球動向預測

在優度評價時，我們也加入了權重的觀念，因為雖然預測出在某些位置，下幾顆號球會容易撞进球袋，但是也得先將目前必須撞進的號球成功撞入球袋，否則往後的預測只是空談。所以當前必撞擊的號球其優度給予較高的權值，預測的越遠，其權值越小。

A 最佳球袋 優度	B 停留位置 優度	C 停留位置 優度	D 總優度	E
		0 0	0.58593	最佳優度 0.69156
	9 0.7824			球袋一 1
		0 0	0.58593	位置二 2
5 0.878025		8 0.6879	0.69156	位置三 3
	8 0.6759			
		7 0.5724	0.66846	

圖 4：優度評價表

圖 4 為優度評價後的結果，其中區塊 A 表示母球在撞擊 1 號球時，五號球袋是最佳的選擇，與其可拓優度值(0.878025)。區塊 B 為母球撞擊 1 號球後，作球到 2 號球的最佳與次佳兩個位置和其可拓優度值，區塊 C 為作球到 3 號球時，母球較佳的停留位置與其可拓優度值，區塊 D 為每一條完整的作球路徑的可拓優度值，區塊 E 為作總評價之後的最佳路徑。

我們可以發現，雖然在作 2 號球時，位置(9)最好，其優度值最高(0.7824)，但是母球在撞擊 2 號球之後，預測母球的走向會向四號袋前進，卻會造成母球洗袋的犯規行為，故得到位置為 0、優度為 0 的最差狀況。退而求其次，位置(8)的優度與位置(9)的優度僅差約 0.05，仍然可以將 2 號球撞進四號球袋，預測其母球撞擊 2 號球後的路徑發現，母球會走向 3 號球附近的點，是較容易使 3 號球撞進球袋的。因此為了達到清檯的目標，目光不可以只放在作球到下一顆子球，而是需要作全局的作球規劃。

綜合以上，即將 1 號球撞進五號袋之後，母球到達位置(8)，再將 2 號球撞進四號袋之後，接著將 3 號球撞進 1 號袋。這樣的撞擊流程，即為撞球機器人可拓作球決策所選擇的最佳進攻流程。

參考文獻

- [1] 林其禹，機械撞球員(VCD)，台灣科技大學，民國 89 年 6 月。
- [2] T. Jebara, C. Eyster, "Augmenting the Billiards Experience with Probabilistic Vision and Wearable Computers," IEEE Wearable Computers, Oct 1997, Vol.13 pp. 138 – 145.
- [3] S. C. Chua, E. K. Wong, Alan W. C. Tan, and V. C. Koo, "Decision Algorithm for Pool using Fuzzy System, " Proceedings of the International Conference on Artificial Intelligence in Engineering & Technology(ICAIET 2002), 17-18 June 2002, Kota Kinabalu, Malaysia, pp. 370-375.
- [4] S. C. Chua, E. K. Wong and V. C. Koo, "Pool Balls Identification and Calibration for a Pool Robot," Proceedings of the International Conference on Robotics, Vision, Information and Signal Processing (ROVISP 2003), 22-24 January 2003, Penang, Malaysia, pp 312-315.
- [5] H. Nakama, I. Takaesu and H. Tokashiki, "Basic Study on Development of Shooting Mechanism for Billiard Robot", JSME, Robotic Workshop, 2001, 1A1F8.
- [6] B. R. Cheng and J. S. Yang, "Design of The Neural-Fuzzy Compensator for a Billiard Robot," IEEE International Conference on Networking, Sensing and Control (ICNSC'04), March, 21-23, 2004, Taipei, Taiwan.

- [7] J. S. Yang, Z. M. Lin and C. Y. Yang, "Grey Decision-Making for a Billiard Robot," IEEE International Conference on Systems, Man & Cybernetics (SMC'04), Oct, 10-13, 2004, Hague, Netherlands.
- [8] 王添毅, 楊智旭, 楊棧雲, "可拓理論在撞球機械人球袋選擇應用," 中國人工智能學會 2003 全國學術大會, 廣州, 11/19~11/21, 2003, pp.1160-1165。
- [9] 許家欣, 楊智旭, "撞球機器人之模糊誤差補償器設計," 2004 中華民國自動控制研討會, 大葉大學, 3/26~3/27, 2004。
- [10] 王添毅, 楊智旭, "智慧型撞球機器人", 中國大陸航空太空研討會, 9/1, 2004。
- [11] 林志明, 撞球機器人之研究, 淡江大學機械與機電工程學系碩士論文, 民國 92 年 6 月。
- [12] 陳伯儒, 撞球機器人之類神經模糊補償器設計, 淡江大學機械與機電工程學系碩士論文, 民國 92 年 6 月。
- [13] 許家欣, 撞球機器人之擊球力量控制器設計, 淡江大學機械與機電工程學系碩士論文, 民國 93 年 6 月。
- [14] 王添毅, 可拓理論在撞球機器人決策之應用, 淡江大學機械與機電工程學系碩士論文, 民國 93 年 6 月。
- [15] 盧彥宏, 撞球機器人在撞球球局之防守決策, 淡江大學機械與機電工程學系碩士論文, 民國 94 年 6 月。
- [16] Gonzalez, Woods, 繆紹綱(譯), 數位影像處理, 普林斯頓國際有限公司, 2003 年 8 月。
- [17] 繆紹綱, 數位影像處理-活用 Matlab, 全華科技圖書, 民國 88 年 3 月。
- [18] 蔡文, "可拓集合和不相容問題", 科學探索學報, 1993。
- [19] 蔡文、楊春、林偉初, 可拓工程方法, 科學出版社, 1997。

計畫成果自評

本研究結合數位影像處理方法與可拓理論，使得撞球機器人能夠依照九號球規則擊球進袋，讓撞球機器人能夠擁有類似撞球選手的思考與決策能力。經由實驗結果，撞球機器人有著接近撞球選手打撞球的思考模式。藉由 CCD 攝影機所擷取到的畫面，透過數位影像處理的方法完成球桌上九顆子球與母球的顏色辨識，得到球桌上每顆球的確切位置，使撞球機器人能夠依照號碼順序撞擊。撞球機器人的可拓決策可以選擇出目前要撞擊的號球，選擇最容易進球的球袋，避開有障礙球的路線，並且做出全局的規劃。撞擊機構的力道控制可使當前的號球撞擊進袋，並且使母球在撞擊後能夠到達我們期望的位置，提高下一顆號球的進球率。

本研究最主要的誤差來源為影像辨識失準，次要為球檯面不平與邊框反彈問題。影像辨識由於 CCD 攝影機所擷取到的影像很容易受到環境光線的影響，造成陰影或是反光的現象，會造成球中心座標定位時產生 1~2 pixel 的誤差，連帶影響到機構定位時，擊球機構無法準確的撞擊母球中心，使得母球無法按照既定路線移動，產生目標子球無法進袋的撞況。X-Y-Z 三軸平臺的定位由於使用步進馬達與導螺桿的裝置，使得機構能夠準確的到達既定目標位置，其中步進馬達作動一步會使三軸平台移動 0.0025mm。

球檯使用一般小型球檯，球桌面略微凹凸不平，使得球在球桌面上長距離滾動時會略微偏向。球檯大小約為實際標準球檯的六分之一，使用球的直徑約為實際標準球的二分之一，球相對於球檯較為龐大，這使得母球在撞擊號球後，其滾動路徑很容易與其他號球相撞，雖然有做出碰撞後的路徑預測，但是碰撞次數越多，越難預測其實際停留位置。而且受限於移動機構的大小，使得母球若靠近檯邊，撞擊機構無法到定位執行撞擊動作，也很容易因為其他號球過於靠近母球，使得撞擊機構無法下杆。希望未來的研究能以實際球檯為基準，將號球數目增加到九顆球，完整的呈現出九號球比賽，使撞球機器人能夠表現出撞球選手的思考模式，對整個球局做出完整的規劃。