

跨樓層文件傳遞機器人設計與實現

龔彥丞、簡宜興、*許陳鑑、王偉彥

國立臺灣師範大學電機工程學系

*jhsu@ntnu.edu.tw

摘要

本論文提出一個具備跨樓層文件傳遞功能的機器人設計與實現，使輪型機器人運用導航演算法在已知地圖的大樓中自主導航，其中使用本論文所提出的「基於錯誤修正向量之蒙地卡羅定位法」和「改良型 A* 混合多重骨架路徑規劃演算法」，並搭配影像處理及機械手臂的正逆向運動學，可使機械手臂觸碰電梯按鈕以達到跨樓層的動作。此外，將控制端實現於 Android 智慧平台裝置上，搭配 TCP/IP 通訊，以及語音辨識工具，讓使用者可以簡單地利用語音去告知機器人前往的目的地。最後，經由實驗結果證實了本論文所提出方法的可行性。

關鍵詞：蒙地卡羅定位、A* 演算法、多重骨架演算法、搭乘電梯

Design and Implementation of Documents Delivery Robot with Cross-Floor Mobility

Yen-Cheng Kung, Yi-Hsing Chien, Chen-Chien Hsu, Wei-Yen Wang

Department of Electrical Engineering, National Taiwan Normal University

Abstract

In this paper, a design and implementation of a robot with the ability of taking an elevator and delivering documents are proposed. A wheeled robot is ordered to navigate in a known environment by itself. The Monte Carlo Localization (MCL) incorporating an error correction vector, and hybrid path planning algorithm using A* and multi-skeleton algorithms are proposed for the navigation. The image-processing technology, kinematics and inverse-kinematics are utilized to control the robotic arm to push the button of the elevator automatically. Moreover, we build an APP on the Android cell phone and send messages through TCP/IP protocol to allow users to control a robot by their voice. Finally, the feasibility of the proposed method is confirmed by some experimental results.

Keywords: Monte Carlo Localization (MCL), A* Algorithm, Multi-skeleton Algorithm, Taking an Elevator.

壹、前言

近幾年來機器人產業已經成為了一股趨勢，國外許多科技廠商都已經略有成果，例如掃地機器人[1]，貨物運輸機器人[2]，保全機器人[3-4]等，大批的資金已經湧入機器人市場，相信在未來勢必也會繼續延燒下去，而打造機器人的目的不外乎就是要使得人類的的生活更佳的便利，讓一些危險或是繁瑣的事務交給機器人去處理。所以自動化已然成為大家爭相探討的議題[5-9]，而要如何讓機器人能夠自主地完成任務，其衍伸出來的題目非常的多元，像是導航[10-14]、機械運動模型[15-19]、影像處理[20-24]等。這些都是不可或缺的元素，而在台灣已經有許多的產業開始著手這方面的研究，例如新光保全公司近幾年來持續在舉辦自動化保全機器人比賽，機器人必須在已知的場地中實現自主導航巡邏功能，並運用影像以及機械手臂完成指定任務，玉山機器人協會也經常性地舉辦機器人競賽，金寶科技公司與特力屋所合作的導航機器人，讓機器人可以在廠房內進行導航及搬運貨物的行動。由此可知，自動化機器人的議題已經漸漸地在日常生活中熱絡起來。

現有的文獻中[25-26]，機器人可以自主使用導航演算法行走於已知的環境中，讓機器人可以順利地到達目的地。但是在這個世代中，如果機器人只能行走在單一樓層中，似乎是不夠的，所以如何跨樓層執行任務，又是一個需要克服的難題。在一個電梯普及的年代，電梯儼然已成為現今社會不可或缺的重要角色，所以使用機械手臂搭配視覺感測器來搭乘電梯，進而達成跨樓層的任務，是一個良好的解決方案。陳漢忠先生於 2009 年發表「智慧型搭乘電梯機器人」[27]，使用攝影機當作輸入，對影像進行二值化之後，偵測電梯門的邊緣值，再透過邊緣偵測[28]將邊緣值二值化的結果，定位出電梯門的位置。而針對按鈕的策略則是在電梯按鈕的附近貼上容易辨識的色塊，對色塊的位置進行分析，之後在對畫面中的物件進行字元特徵匹配，最後再搭配機械手臂以及紅外線測距儀來實施正逆向運動學按壓按鈕，進行搭乘電梯的任務。研究成果證實可以成功的執行搭乘電梯任務，可是在其他的功能就沒有再加著墨，代表此機器人在完成電梯搭乘任務之後並無法繼續執行其他任務，而且在觸碰按鈕的地方也還需要輔助的色塊，可能在其他的場域就難以完成搭乘電梯的任務。

2014 年林玕瑾先生提出了一台「輪型機器人之影像辨識應用於跟隨人與電梯辨識」機器人[29]，此作者使用攝影機以及超音波，使機器人可以成功的觸碰電梯按鈕，而移動至電梯門前的方法也是透過邊緣偵測的方式來抓取電梯門的邊緣，電梯按鈕辨識使用的方式為建模，進行複印的方法，將調整大小後的模組直接壓印於欲判別的物件上，藉由差異的像素作為判斷的基準，最後在使用三維空間的正逆向運動學[30]進行按鈕觸碰，但是在自主進行任務功能與[27]一樣，並無多加著墨，代表此篇論文所提出來的架構無法讓機器人自主導航在大樓中。雖然以上文獻有達成搭乘電梯的任務，但是在完整度上皆有不足，機器人在完成搭乘電梯任務後，並無法繼續執行其他的任務。

有鑑於以上的問題，開發了一套 APP 軟體，並搭配自主導航演算法，使機器人具備語音控制以及跨樓層文件傳遞功能，讓機器人可以從遠端收發語音的指令。由此看來，所設計的跨樓層文件傳遞機器人其完整度較以往已發表的電梯搭乘機器人來的完備，不僅可以自主地搭乘電梯，還可以運用導航功能，讓機器人自主地移動到目的地，完成更多變的任務。

貳、跨樓層文件傳遞機器人之系統架構

本論文所提出的跨樓層文件傳遞機器人系統可以區分為三個部分，包括：導航功能、跨樓層功能以及語音控制功能。在導航模組中又區分成兩個部分，定位以及路徑規劃，在定位方面，將選用蒙地卡羅定位法作為定位演算法的基礎，並且進一步改良，提出了「基於錯誤修正向量之蒙地卡羅定位法」，以此降低蒙地卡羅定位法[31]的運算時間以及提升精準度。而在路徑規劃方面，本論文以 A* 混合骨架法作

[32-33]為研究基底，而這種演算法存在一些問題，傳統骨架演算法雖可以使路徑保持在安全的區域，但往往會造成過度繞路的狀況，另外，傳統骨架演算法不管在地形多狹隘的時候都會架設骨架，就算是連機器人無法通過的路徑上也依然如此，於是本論文就提出「改良型 A* 混合多重骨架路徑規劃演算法」使骨架演算法可以配合物件聯通法，讓每一塊區域都可以加以分割，直到每一塊物件都已經到適當的大小，才會停止演算，並過濾掉太狹隘的地形所架設的骨架，讓機器人不會有機會行走在危險的路徑上。此外，改良傳統演算法上下骨架的座標，讓得到路徑之後，能將路徑優化，去除不必要的部分，以規劃出更佳的路徑。最後，將路徑規劃以及定位的功能模組結合以完成導航的功能，其流程圖如圖 1 所示。

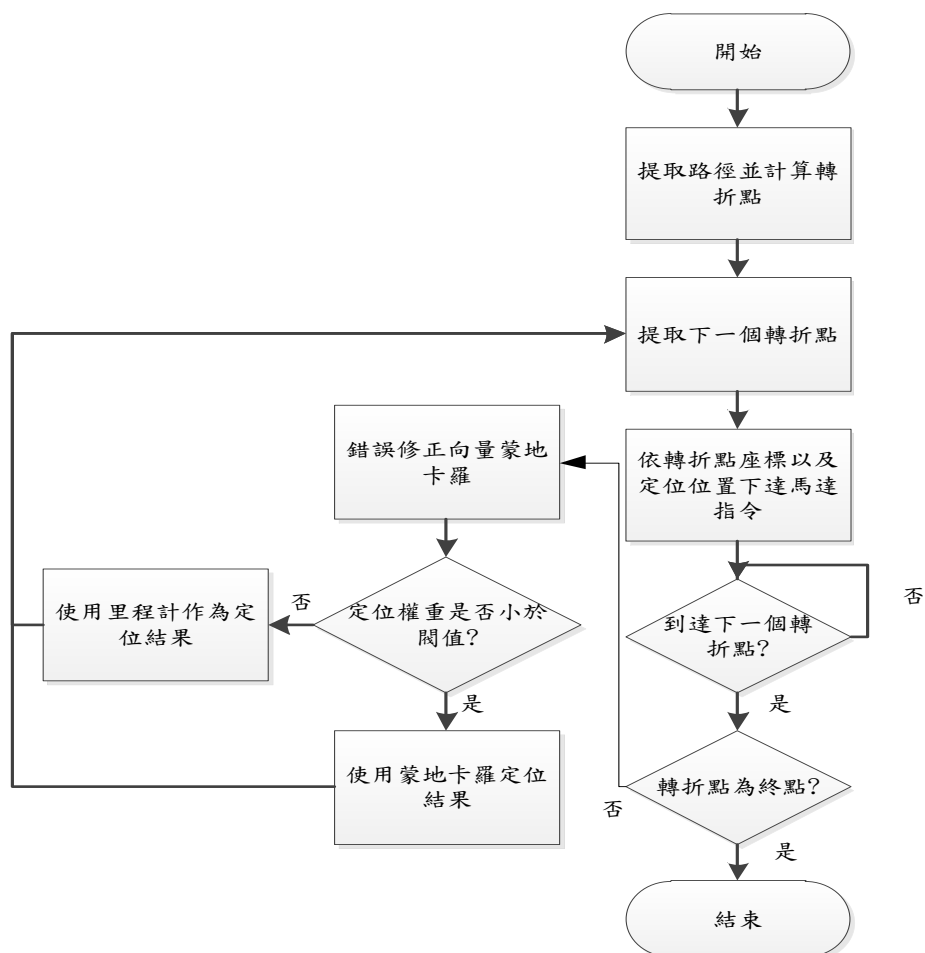


圖 1 導航功能流程圖

在現有的文獻中，機器人搭乘電梯的方式多為先使用邊緣偵測來抓取電梯門口的位置，再進一步獲得電梯按鈕的位置，但是在本論文架構中有了導航的功能，所以只需要讓機器人移動至電梯面板前，再執行按鈕辨識以及按壓按鈕即可，而在電梯門開啟之後，機器人也一樣使用導航的功能行走至電梯內部面板按壓電梯按鈕。因為機器人的硬體設備中已裝載了距離感測器，所以可以藉由距離感測器的資訊來判別電梯門是否已經開啟。圖 2 為本論文提出的跨樓層功能之流程圖。

在語音控制模組方面，使用 TCP/IP 作為通訊協定，而在通訊器材的選用上，選擇了使用以及開發都極為方便的智慧型手機，並且搭配語音辨識系統，讓使用者可以簡單地透過說話就能夠操控跨樓層傳遞機器人去完成任務。圖 3 為本論文提出的語音控制功能之流程圖。

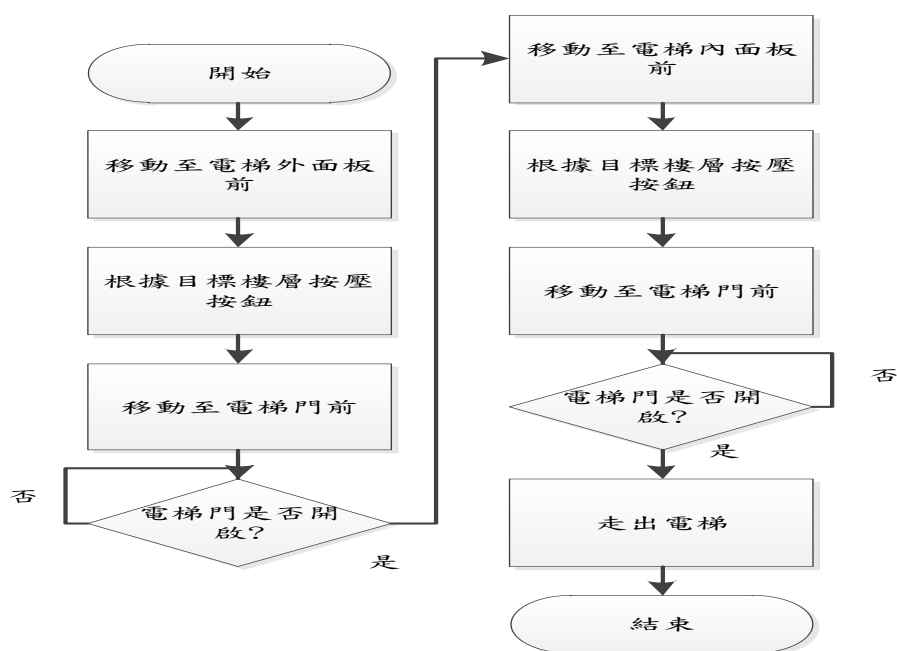


圖 2 跨樓層功能流程圖

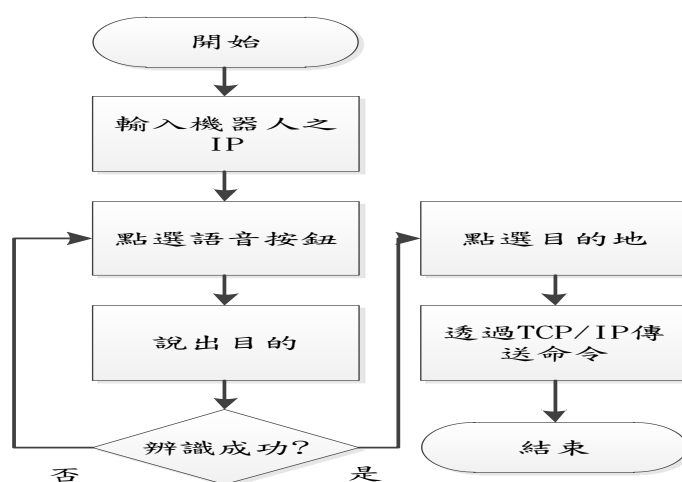


圖 3 語音控制功能流程圖

參、基於錯誤修正向量之蒙地卡羅定位法

假設系統已經進行到 t 時刻，目前的粒子是由 $t-1$ 時刻經過重新取樣之後所留下的粒子，而錯誤修正向量是由 $t-1$ 時刻，在權重指派時計算出來，並且在 t 時刻的預測步驟被參考，可以使粒子在預測時更接近機器人真實的位置，而此向量的計算公式如式(1)，式(2)以及式(3)。

$$\mathbf{v}^i = \{v_x^i, v_y^i\} \quad (1)$$

$$v_x^i = \left(\sum_{l=0}^{vnum} \left[(D_l^i - D_l^R) \cdot \cos(\theta_l^i) \right] \right) / (vnum / \alpha) \quad (2)$$

$$v_y^i = \left(\sum_{l=0}^{vnum} \left[(D_l^i - D_l^R) \cdot \sin(\theta_l^i) \right] \right) / (vnum / \alpha) \quad (3)$$

上述的公式計算都是由 $t-1$ 時刻的資訊獲得，其中 $\mathbf{v}^i$ 為粒子 i 的錯誤修正向量， v_x^i 指的是第 $\mathbf{v}^i$ 的 x 軸向量， v_y^i 為 $\mathbf{v}^i$ 的 y 軸向量， num 為採樣的雷射數量， l 為被採樣的雷射編號，而 D_l^i 為粒子 i 的第 l 條雷射值，而 D_l^R 則為實際機器人收到的第 l 條雷射值， θ_l^i 代表的則為根據第 i 顆粒子的主方向而言，編號 l 雷射的角度。而 α 則為雷射的影響力係數，經由實驗之後求得理想值為 3 至 5 之間。為了方便瞭解錯誤修正向量的計算方式，以圖 4 來替這個公式作說明。圖 4 中 num 為 5，紅色的圓圈為實際機器人的位置，藍色圓圈為粒子 i 的位置， $D_0^R, D_1^R, D_2^R, D_3^R, D_4^R$ 為機器人所收到的雷射值，而 $D_0^i, D_1^i, D_2^i, D_3^i, D_4^i$ 則為粒子 i 的模擬雷射值，紅色箭頭為車頭方向， D_1^i 則因粒子 i 的車頭方向為 90° ，所以 $\theta_0^i = 180^\circ, \theta_1^i = 135^\circ, \theta_2^i = 90^\circ, \theta_3^i = 45^\circ, \theta_4^i = 0^\circ$ 。

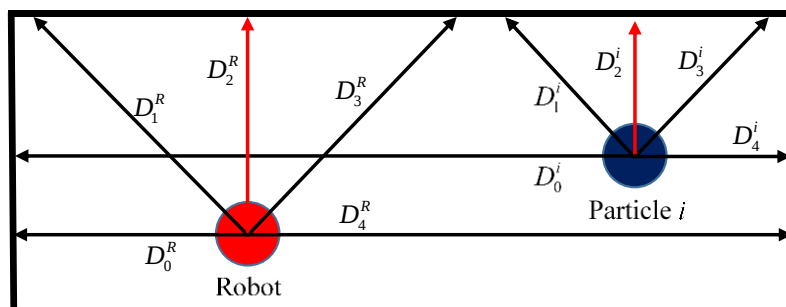


圖 4 解說圖

接著，根據圖 5 的結果，結合 t 時刻預測的步驟，先假設在 t 時刻時，機器人為靜止不動，換言之在此次撒點時，傳統型演算法的新一代粒子只會根據常態分佈散落在上一代被挑選的粒子周遭，但是如果可以參考由 $t-1$ 時刻所得到的錯誤修正向量的話，可以發現如果在下次預測時新一代的粒子明顯地靠近機器人的真實位置，將一般預測以及參考錯誤修正向量的預測拿出來做一個比較，如圖 6。可以明顯地發現使用參考過錯誤向量的預測方法明顯地較接近實際機器人的位置。

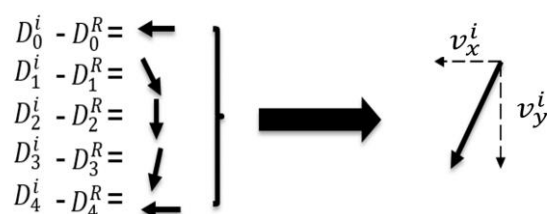
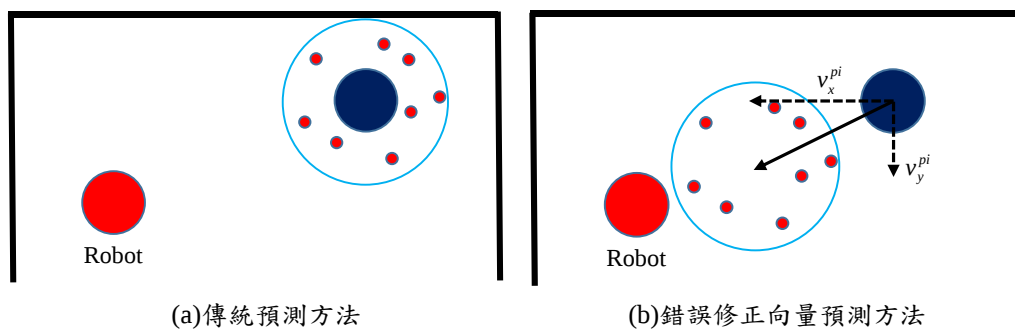


圖 5 向量的計算圖



(a)傳統預測方法

(b)錯誤修正向量預測方法

圖 6 預測機器人位置

肆、改良型 A* 混合多重骨架演算法

傳統骨架法搭配 A* 所提出的上下骨架方法為分別搜索離起點以及終點最近的骨架，但是這種方法往往會造成繞路的問題，於是本論文提出了一種在將骨架多重化之後，用點對點直接連線的方式找尋上下骨架的座標點，在進行骨架的路徑規劃之後，由獲取的路徑座標進行路徑優化，大幅地減少繞路的問題，對地圖做多重骨架化的優點為路徑的選擇將會變多，導致在非常空曠的地區做規畫路徑時，機器人不必走到地圖正中央，耗費許多移動成本，而改良上載點的搜尋方式可以將多餘的繞路路徑由直線替代，省去許多不必要的繞路狀況，圖 7 為改良型 A* 混和多重骨架演算法流程圖，接下來將會針對每一個步驟做說明。

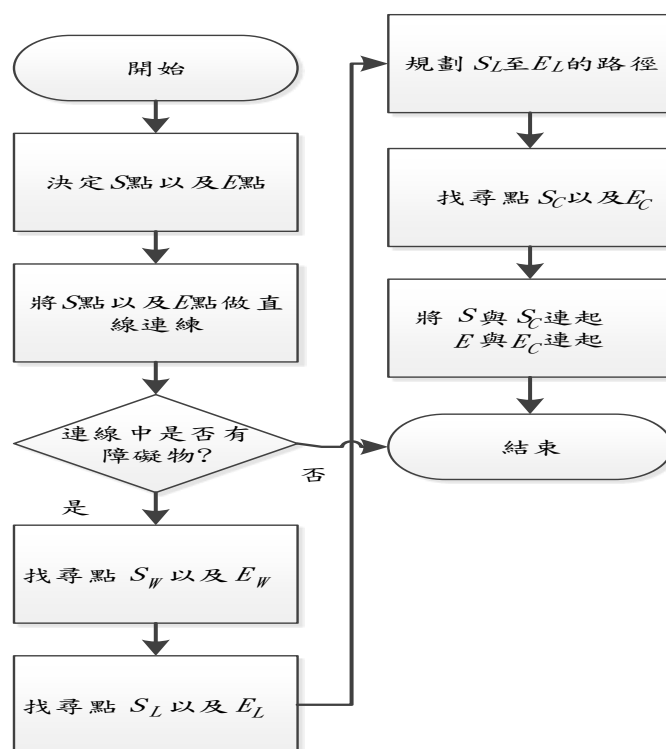


圖 7 改良型 A* 混和多重骨架演算法流程圖

步驟一：將起點 S 以及終點 E 做直線連線，如圖 8 表示。此第一步驟為檢查兩點中間是否有障礙物，如果沒有障礙物，路徑規劃就直接為此直線，如果有障礙物的話，則繼續進行以下步驟。

步驟二：在起點 S 以及終點 E 連線上，找尋距離點 S 及點 E 最近且在障礙物上之點，定義為點 S_w 以及點 E_w ，如圖 9 所示。

步驟三：由點 S_w 及點 E_w 分別使用使用正方形向外擴張，觸碰到的第一個骨架點分別為點 S_L 以及點 E_L ，如圖 10 所示。此外，點 S_w 以及點 S_L 中間不可以有障礙物，點 S_L 以及點 S 中間也不可有障礙物。同理，點 E_L 和點 E_w 以及點 E_L 和點 E 之間亦不可以有障礙物。

步驟四：由點 S_L 使用骨架進行路徑規劃至點 E_L ，如圖 11，並且定義從點 S_L 至點 E_L 的座標為 $P_i (i = 0, 1, \dots, m)$ 。

步驟六：由點 S 從 P_0 依序對路徑上每個座標 P_i 進行判斷，如果點 S 至 P_i 中間並沒有障礙物，則繼續往下一個點檢查，直到點 S 至 P_i 中間有障礙物的出現，則 P_{i-1} 為連接點 S_C 。針對終點 E 和 P_m 也做相同的事情，則將會得到點 E_C ，如圖 12 所示。

步驟七：最後依序將點 S 和點 S_C 用直線連接，點 E_C 和點 E 使用直線連接。如此便可得到完整的路徑，如圖 13。

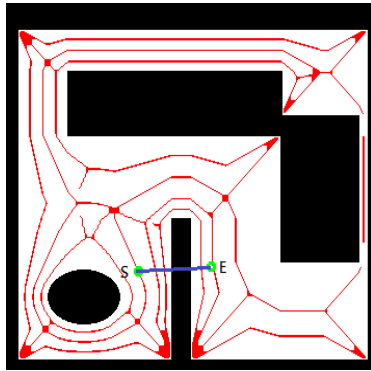


圖 8 將起點與終點直線連線

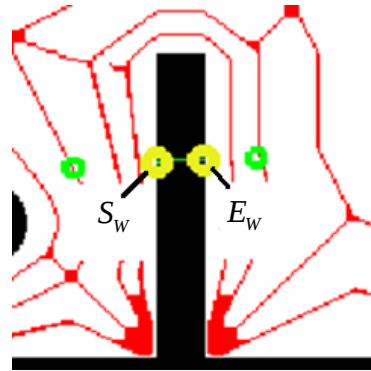
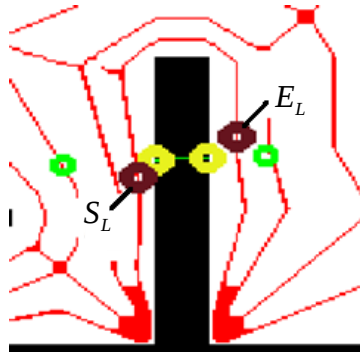
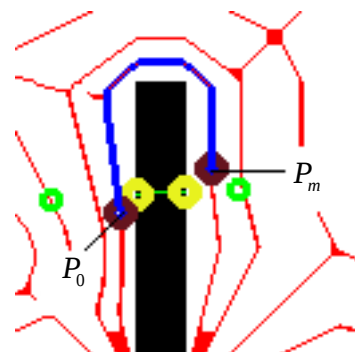
圖 9 點 S_W 及點 E_W 的搜尋圖 10 點 S_L 及點 E_L 的搜尋

圖 11 由骨架路徑規劃

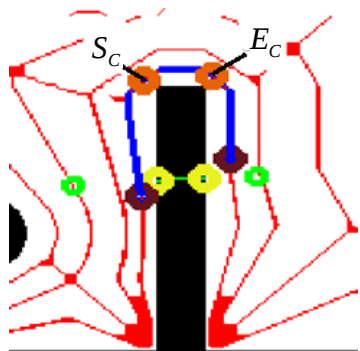


圖 12 搜尋連接點

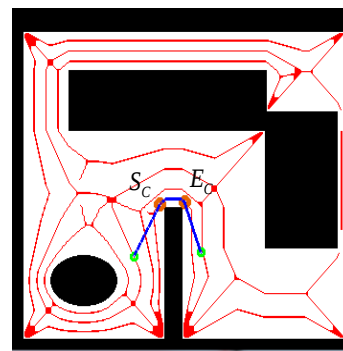


圖 13 連接完整路徑

伍、機器人主動式跨樓層功能

本章節中，將說明如何使機器人成功地使用視覺感測器以及機械手臂來觸碰到指定的按鈕。圖 14 為機器人搭乘電梯之動作流程圖。圖 15 為按壓電梯按鈕流程圖，在這個部分，將「獲取電梯按鈕的座標」以及「操作手臂」分為兩個模組，而在本論文中，有沒有觸碰到按鈕的判斷標準為手臂的馬達負載，如果手臂有觸壓到按鈕，馬達的負載就會上升，進而可以判斷出手臂是否已觸碰到物體，而在觸碰到物體之後，並不能確定此物體就為按鈕，於是機器人會使用視覺感測器來偵測按鈕是否有發光，若有發光的話則流程結束，若無發光，則流程從頭進行一次。

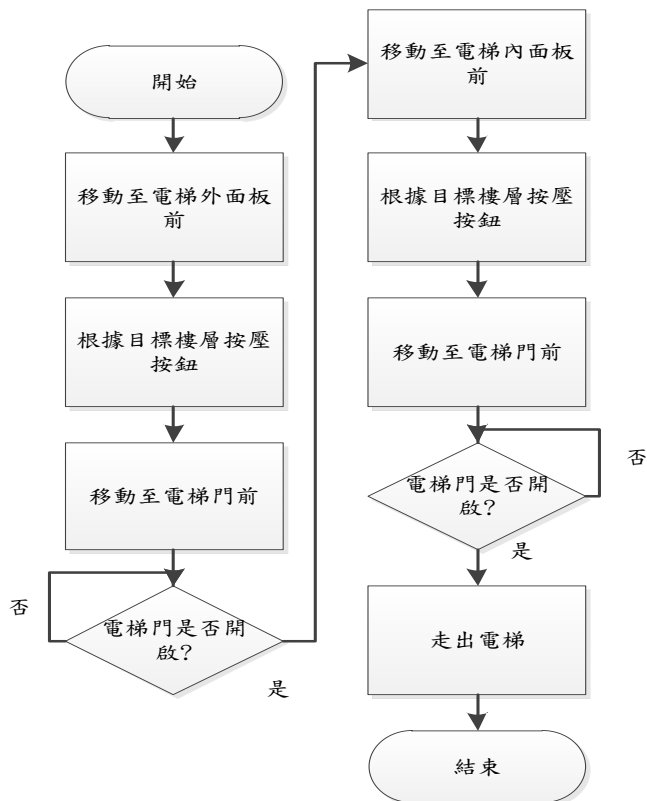


圖 14 機器人搭乘電梯之動作流程圖

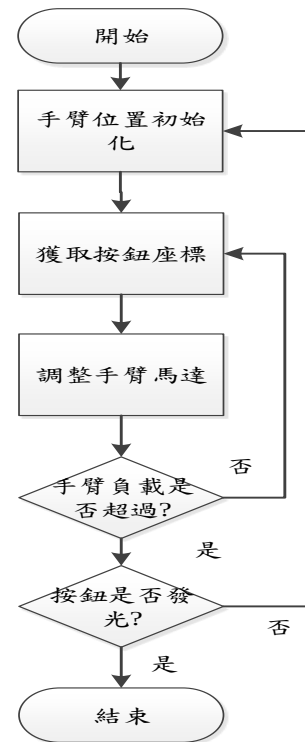


圖 15 按壓按鈕流程圖

圖 16 為電梯按鈕獲取的流程圖，圖 17(a) 為科技大樓內部的電梯面板，圖 17(b) 為二值化之後的結果，圖 17(c) 則是經過侵蝕與膨脹後的結果，而圖 17(d) 為每個輪廓提取出來的結果。

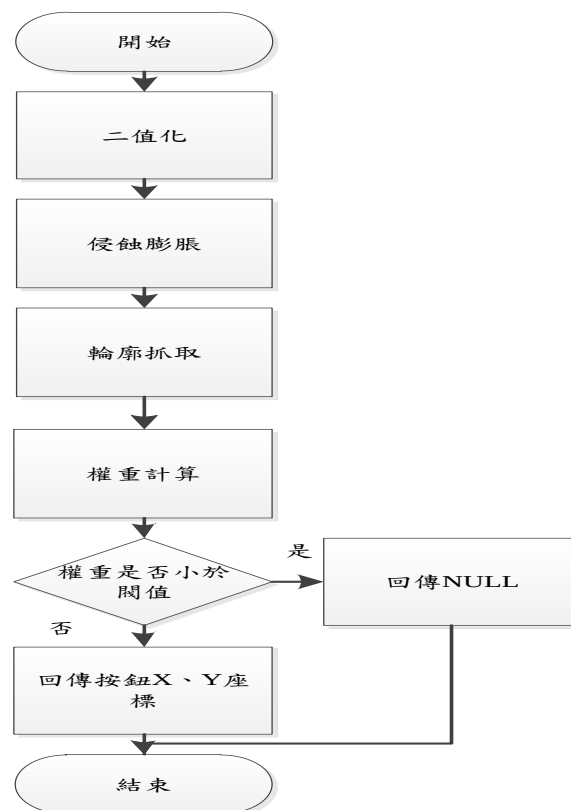


圖 16 獲取電梯按鈕座標之流程圖

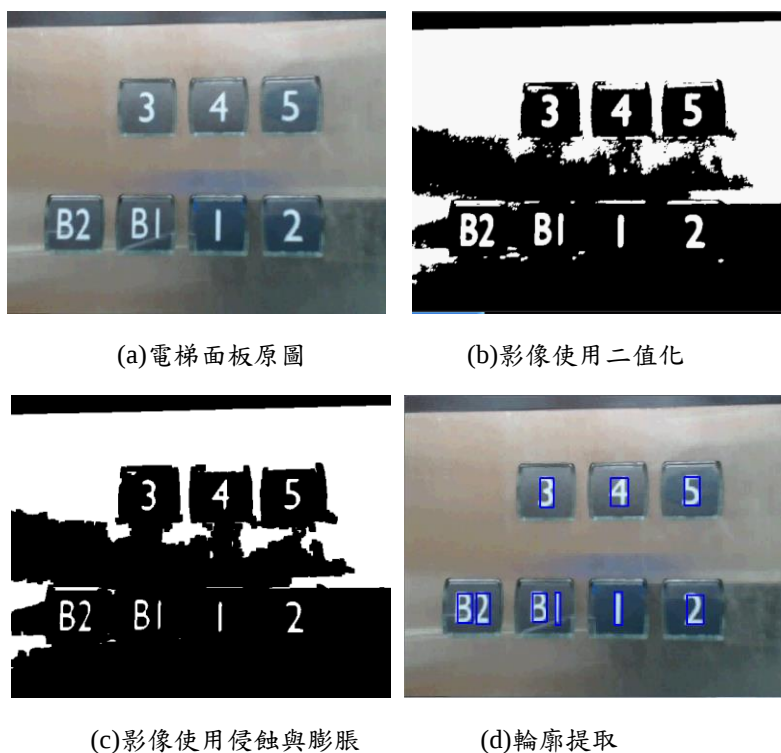


圖 17 電梯按鈕框取

接著，將方形內部的資料來計算權重，使用事先建立好的電梯按鈕數字模型以及目前方框內的物件做比對來獲得權重值，比對方法如下，使用式(4)計算出黑白像素在方框中所佔的比例， n_i 為數字 n ，九宮格中第 i 格特徵值。 i_{white} 為第 i 格內白色像素的 pixel 數量， i_{all} 為第 i 格內所有的 pixel 數量。接著將每個從畫面中獲取到的方形內的物件切成九宮格的形式，將每個格子中的白色像素比例計算出來，並且帶入式(5)。

$$n_i = \frac{i_{white}}{i_{all}} \quad (4)$$

$$W_n^k = \sum_{i=1}^9 |n_i - k_i| \quad (5)$$

其中 W_n^k 為方形 k 對應到數字按鈕 n 的權重值， k_i 為物件 k 以九宮格中的第 i 格像素的比例值。如此以來，就可以算出每個物件 k 對應每個模型所建立出來權重。

有了電梯按鈕的座標後，將依照座標來調整控制手臂的馬達，使手臂觸碰到對應的按鈕，核心概念是讓按鈕保持在畫面中心，然後再伸直機械手臂，就像人類在觸碰按鈕一樣，先瞄準中心點，再伸直手臂，其流程圖如圖 18。

接著，使用正向運動學，便可以將馬達的角度回推為機械手臂末端的座標，再將目標點設定為手臂末端座標以及按鈕之間直線連線的後續座標，如圖19。圖中 P_3 為手臂末端的座標點， P_1 以及 P_2 則為手臂第一軸以及第二軸的座標點，實施三軸的逆向動力學以解出馬達的角度。

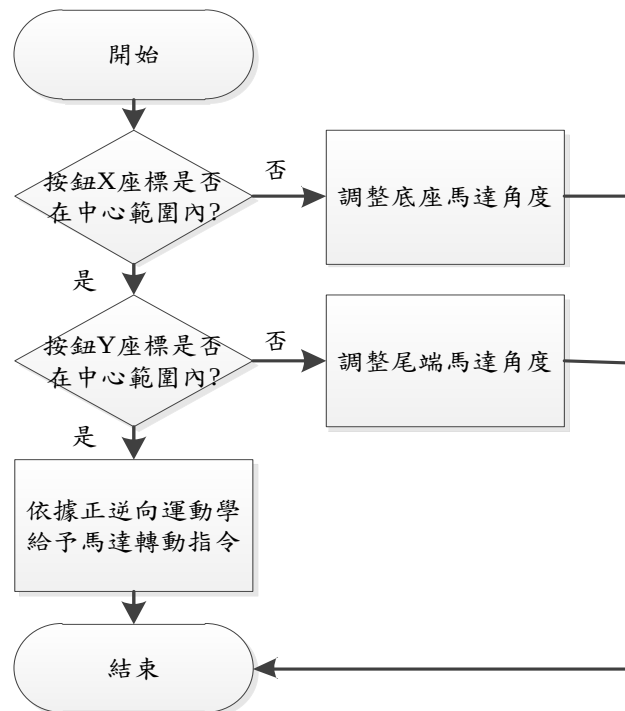


圖 18 調整手臂馬達模組之流程圖

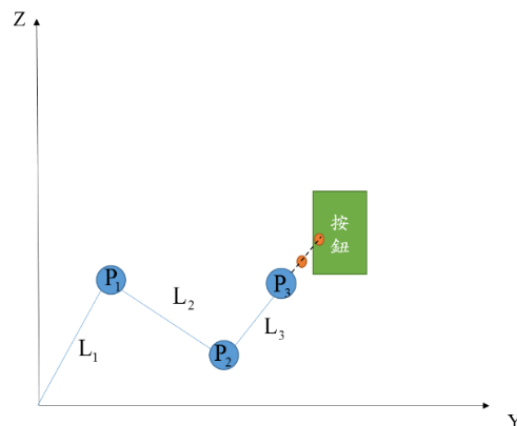


圖 19 手臂與按鈕關係圖

陸、手機 APP 程式設計

在本章節，將解說如何開發使用者介面並傳輸目的地給機器人，圖20為使用者介面的流程圖。在開發軟體方面選擇非常多，而我們則是選擇了 Android Studio，它是一套專門拿來開發安卓系統 APP 的開發軟體，使用的語言為 Java，可以讓使用者快速的開發以及測試APP程式。為了要實現遠端控制指令，選擇 TCP/IP 作為使用者介面的通訊協定，讓控制指令送至機器人內部的筆電。在語音辨識系統上使用的為 Android 手機中內建的 Google 語音辨識模組，省去了開發時間，只要將辨識的結果與地圖中的地標做匹配的動作，就可以完成語音辨識的任務。以下是使用者介面的使用結果，使用 HTC M9 進行軟體安裝，並且每個步驟都使用螢幕截圖結果呈現至圖21。

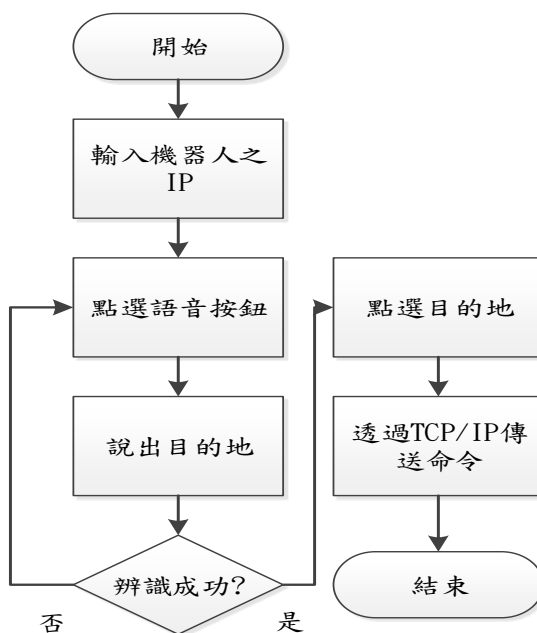
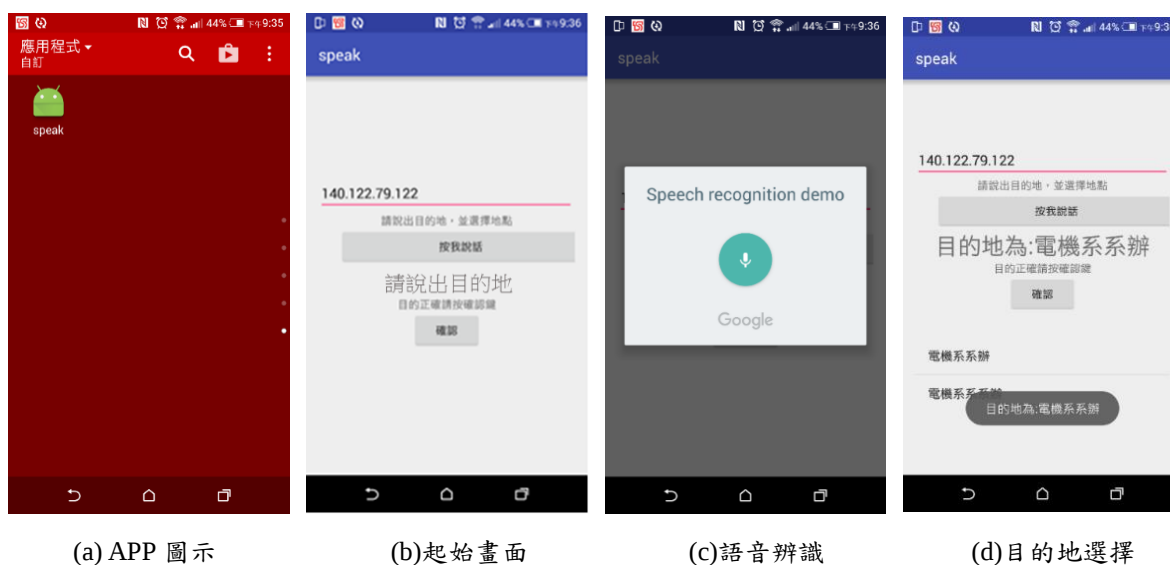


圖 20 使用者介面流程圖



(a) APP 圖示

(b)起始畫面

(c)語音辨識

(d)目的地選擇

圖 21 手機 APP 之使用者介面

柒、實驗結果

將機器人放在科技大樓五樓執行定位的實驗，實驗流程如下；將使用科技大樓五樓地圖以及地標當作實驗環境，使機器人行走於本論文提出的改良型 A* 混合多重骨架所規劃出來的路徑上，在每次行走至轉折點時，將定位結果記錄在地圖上，並且也記錄當下最好粒子的權重值，最後在路徑行走完畢時將所有權重值相加並且除上轉折點的數量進行平均。表 1 及表 2 分別為使用一般傳統的蒙地卡羅定位法與基於錯誤修正向量之蒙地卡羅定位法。從數據中不難發現，改良型的演算法較傳統的演算法所收斂的平均權重較低，代表越接近真實機器人的位置，且軌跡圖也較為平順。比較之後發現，可以在較少迴圈次數中收斂到較接近機器人位置的改良型蒙地卡羅定位法效果較一般蒙地卡羅定位法優異許多。

表 1 傳統的蒙地卡羅定位效果

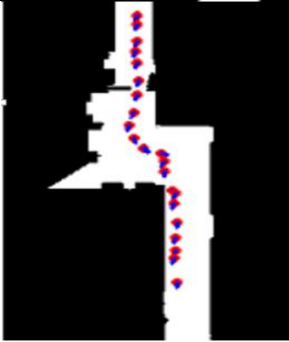
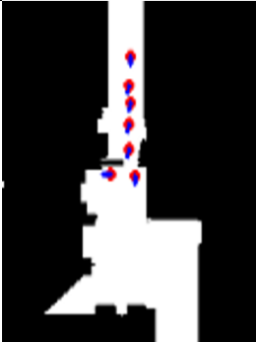
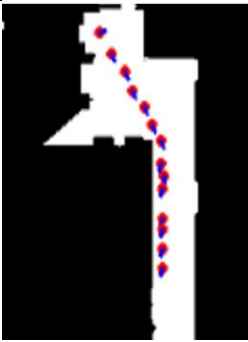
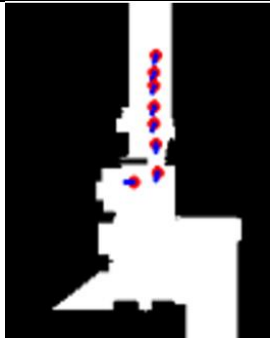
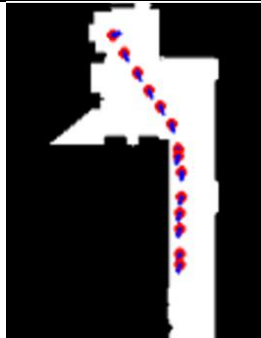
起點/終點	CIR 實驗室/電機系系辦	CIR 實驗室/5F 電梯	5F 電梯/電機系系辦
軌跡圖			
平均權重	182.3	191.3	186.5

表 2 基於錯誤修正向量之蒙地卡羅定位效果

起點/終點	CIR 實驗室/電機系系辦	CIR 實驗室/5F 電梯	5F 電梯/電機系系辦
軌跡圖			
平均權重	156.2	176.2	156.2

路徑規劃的實驗地點亦為科技大樓五樓，而實驗地圖的比例尺為 1 pixel 比 80 mm，地圖障礙物膨脹係數為 3 個 pixel，本實驗將比較三個演算法規劃路徑所花費的時間以及規劃出來的路徑長度，如表 3 至表 5，路徑長度使用的單位為 pixel，時間使用的單位為秒。從數據中得知，與 A* 相比，改良型所規劃出來的路徑一定比 A* 來的安全，而且在時間以及路徑的長短上易有良好的成果。而與傳統 A* 混合骨架演算法來看，本論文提出的演算法在上下骨架時所挑選的點比傳統型的要優良的多，因此省去許多繞路的时间。

表 3 傳統的 A* 路徑規劃

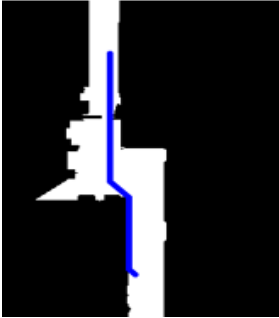
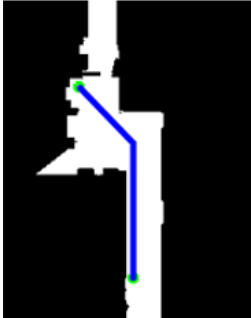
起點/終點	CIR 實驗室/電機系系辦	CIR 實驗室/5F 電梯	5F 電梯/電機系系辦
路徑圖			
時間(秒)	0.010	0.006	0.012
路徑長度(pixel)	194.4	100.4	165.8

表 4 A* 混合骨架之路徑規劃

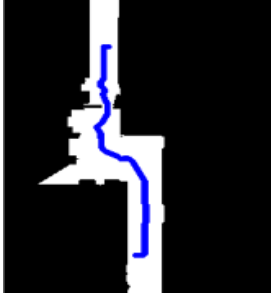
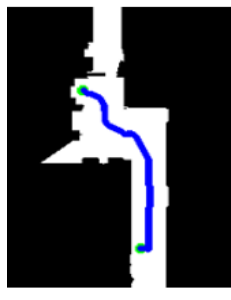
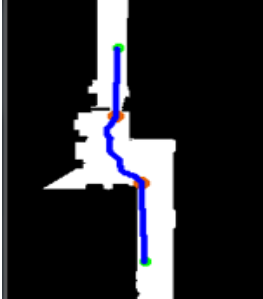
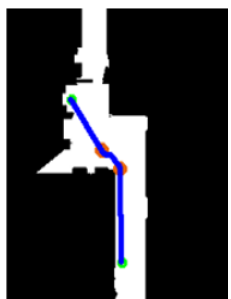
起點/終點	CIR 實驗室/電機系系辦	CIR 實驗室/5F 電梯	5F 電梯/電機系系辦
路徑圖			
時間(秒)	0.016	0.008	0.017
路徑長度(pixel)	281.5	125.3	203.9

表 5 改良型 A* 混合多重骨架之路徑規劃

起點/終點	CIR 實驗室/電機系系辦	CIR 實驗室/5F 電梯	5F 電梯/電機系系辦
路徑圖			
時間(秒)	0.014	0.005	0.018
路徑長度(pixel)	227.4	97.6	161.4

整合性實驗所執行的場所為科技學院，此科技學院共有五樓，本次實驗鎖定樓層為四樓及五樓，其平面圖如圖 22(a)以及圖 22(b)。圖 23(a)為整體機器人不含外殼的硬體架構圖，而考慮到中途發生筆電滑落或被移走，以使得跨樓層之機器人無法順利完成任務。因此，加強整體硬體實現的強健性，在機器人的外部套上外殼以及將平台擴增之後的樣貌為圖 23(b)，而整體的機構規格以及各部分零件之功能顯示於表 6。使用的移動平台為 Pioneer 系列的 P3-DX，其主要功能是提供機器人移動的能力，搭配基於錯誤修正之蒙地卡羅定位法以及改良型 A* 混合多重骨架法所計算出來的路徑，讓機器人可以順利地移動到目的地。在本論文中使用的運算核心為 ASUS 的 K45DV 筆記型電腦，其主要是提供演算法的執行平台，並且負責各感測器的資料蒐集以及處理，再將移動控制命令指派給移動平台或是機械手臂，進而能夠完成自主導航並且搭乘電梯的功能。距離感測器所選用的為 SICK 雷射感測器 LMS500，感測角度由 -5° 至 185° ，有效距離由 0 m 至 80 m。主要提供環境的距離值並且透過 TCP/IP 通訊，傳送給運算核心，使得改良型 particle filter 得以運算出機器人的位置。機械手臂部分所使用的為採智科技的三軸機械手臂，主要是用來完成跨樓層的任務，運算核心由視覺感測器的資訊經由正逆向運動學推算出機械手臂的馬達角度，進而碰觸到指定的電梯按鈕。

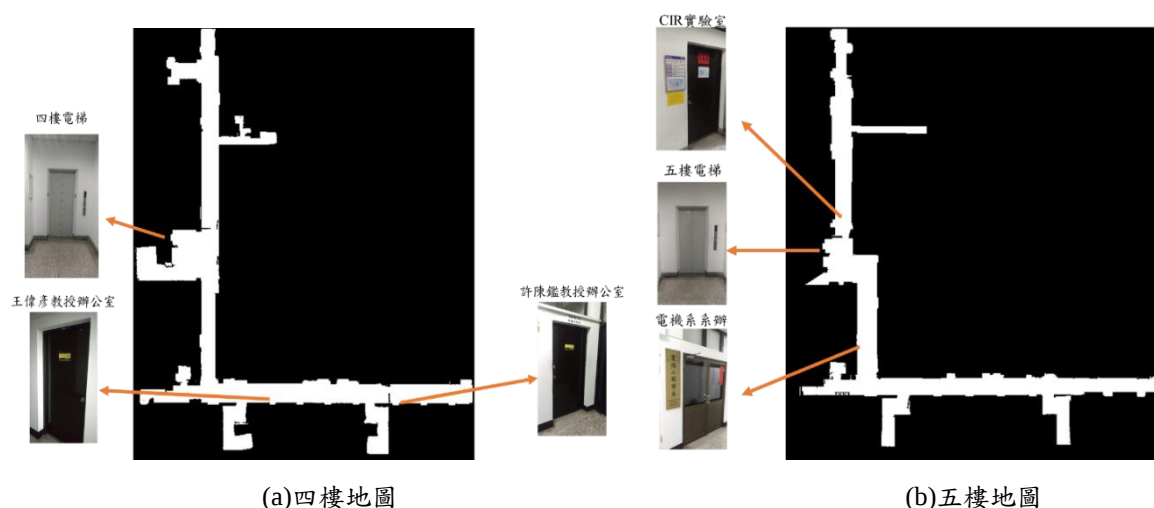


圖 22 科技大樓樓層平面圖

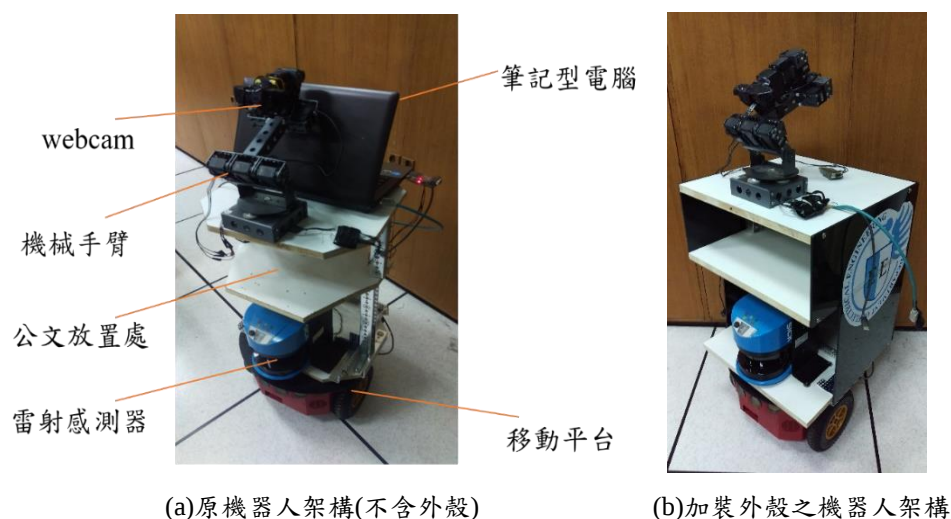


圖 23 機器人架構圖

表 6 機器人設備描述

裝置	描述
運算核心	在本論文中使用的運算核心為 ASUS 的 K45DV 筆電，主要是提供演算法的執行平台，並且負責各感測器的資料蒐集以及處理，再將移動控制命令指派給移動平台或是機械手臂，進而能夠完成自主導航以及搭乘電梯的功能。
距離感測器	距離感測器所選用的為 SICK 雷射感測器 LMS500，感測角度由 -5° 至 185° ，有效距離由 0 m 至 80 m。主要提供環境的距離值並且透過 TCP/IP 通訊，傳送給運算核心，使改良型定位演算法得以運算出機器人的位置。
機械手臂	機械手臂部分所使用的為採智科技的三軸機械手臂，主要是用來完成跨樓層的任务，運算核心由視覺感測器的資訊經由正逆向運動學推算出機械手臂的馬達角度，進而碰觸到指定的電梯按鈕。
視覺感測器	提供運算核心視覺資訊，使運算核心可以抓取電梯按鈕的中心位置，並且下達馬達角度給予機械手臂，觸碰到指定按鈕。
移動平台	移動平台為 Pioneer 系列的 P3-DX，主要功能是提供機器人的移動能力，搭配錯誤修正型蒙地卡羅定位法以及改良型 A*混合多重骨架路徑規劃演算法所計算出來的路徑，讓機器人可以順利的移動到目的地。

跨樓層文件傳遞機器人系統的整體實驗截圖如圖 24，其實驗過程如下：將機器人擺放至科技大樓五樓電機系系辦門外，並且開始初始定位。讓電機系系辦的行政人員將公文放置在機器人內的公文放置處，如圖 24(a)，並使用語音告知機器人要移動至教授辦公室，如圖 24(b)。機器人將自主移動至科技大樓五樓電梯，如圖 24(c)-(d)，並觸碰往下按鈕，如圖 24(e)。接著，機器人將自主進入電梯並觸碰按鈕 4，如圖 24(f)。此外，機器人能夠自主離開電梯。接續著往教授辦公室的位置自主地移動，如圖 24(g)-(i)。最後，機器人到達教授辦公室門口，讓教授領取公文，如圖 24(j)。



圖 24 跨樓層文件傳遞機器人系統之整體實驗截圖

捌、結論

本篇論文中，提出了一個語音控制以及具備跨樓層文件傳遞功能的機器人設計與實現，我們讓機器人可以透過語音的方式得知目的地位置，並讓機器人能自主導航到目的地，如果機器人與目的地位於不同樓層，則機器人將使用感測器以及機械手臂來完成跨樓層的任務。因此，改進定位以及路徑規劃的演算法，分別提出了「基於錯誤修正向量之蒙地卡羅定位法」以及「改良型 A* 混合多重骨架路徑規劃」，來提升機器人的任務執行效能。在實驗章節中，說明了使用以上兩個改良的演算法能夠成功地完成任務。此外，整個跨樓層文件傳遞機器人系統亦具有良好的可行性。

參考文獻

- [1] E. Prassler, A. Ritter, C. Schaeffer, and P. Fiorini. (2000). A short history of cleaning robots, *Autonomous Robots*, 9, 211-226.
- [2] B. Stouten and A. J. Graaf. (2004). *Cooperative transportation of a large object development of an industrial application*, in Proc. of the ICRA'04 IEEE International Conference on Robotics and Automation, pp.2450-2455, doi: 10.1109/ROBOT.2004.1307428.
- [3] S. Patel, R. Sanyal, and T. Sobh. (2006). RISCBOT: A WWW-enabled mobile surveillance and identification robot, *Journal of Intelligent and Robotic Systems*, 45, 15-30.
- [4] M. F. R. Lee, F. H. S. Chiu, C. W. de Silva, and C. Y. A. Shih. (2014). Intelligent navigation and micro-spectrometer content inspection system for a homecare mobile robot, *International Journal of Fuzzy Systems*, 16, 389-399.
- [5] A. Rodriguez-Castaño, G. Heredia, and A. Ollero. (2016). High-speed autonomous navigation system for heavy vehicles, *Applied Soft Computing*, 43, 572-582.
- [6] F. N. Martins et al. (2008). An adaptive dynamic controller for autonomous mobile robot trajectory tracking, *Control Engineering Practice*, 16, 1354-1363.
- [7] J. Fink, A. Ribeiro, and V. Kumar. (2013). Robust control of mobility and communications in autonomous robot teams, *IEEE Access*, 1, 290-309.
- [8] W. Y. Wang, Y. H. Chien, Y. G. Leu, and T. T. Lee. (2008). On-line adaptive T-S fuzzy-neural control for a class of general multi-link robot manipulators, *International Journal of Fuzzy Systems*, 10, 240-249.
- [9] I H. Li, W. Y. Wang, Y. H. Chien, and N. H. Fang. (2013). Autonomous ramp detection and climbing systems for tracked robot using Kinect sensor, *International Journal of Fuzzy Systems*, 15, 452-459.
- [10] L. Paull, S. Saeedi, M. Seto, and H. Li. (2014). AUV navigation and localization: A review, *IEEE Journal of Oceanic Engineering*, 39, 131-149.
- [11] S. Koenig and M. Likhachev. (2005). Fast replanning for navigation in unknown terrain, *IEEE Trans. on Robotics*, 21, 354-363.
- [12] P. A. Miller, J. A. Farrell, Y. Zhao, and V. Djapic. (2010). Autonomous underwater vehicle navigation, *IEEE Journal of Oceanic Engineering*, 35, 663-678.
- [13] D. Scaramuzza et al. (2014). Vision-controlled micro flying robots: From system design to autonomous navigation and mapping in GPS-denied environments, *IEEE Robotics & Automation Magazine*, 21, 26-40.
- [14] F. Fathinezhad, V. Derhami, and M. Rezaeian. (2016). Supervised fuzzy reinforcement learning for robot navigation, *Applied Soft Computing*, 40, 33-41.
- [15] Y. F. Kao, Y. H. Chien, I H. Li, W. Y. Wang, and T. T. Lee. (2013). *Design and implementation of adaptive dynamic controllers for wheeled mobile robots*, in Proc. of the IEEE International Conference on System Science and Engineering, pp. 195-199.
- [16] C. Y. Chen, T. H. S. Li, Y. C. Yeh, and C. C. Chang. (2009). Design and implementation of an adaptive sliding-mode dynamic controller for wheeled mobile robots, *Mechatronics*, 19, 156-166.
- [17] P. Antonini, G. Ippoliti, and S. Longhi. (2006). Learning control of mobile robots using a multiprocessor

- system, *Control Engineering Practice*, 14, 1279-1295.
- [18] Y. H. Chien, W. Y. Wang, I H. Li, K. Y. Lian, and T. T. Lee. (2012). Hybrid intelligent output-feedback control for trajectory tracking of uncertain nonlinear multivariable dynamical systems, *International Journal of Fuzzy Systems*, 14, 141-153.
 - [19] Y. H. Chien, W. Y. Wang, and Y. G. Leu. (2015). On-line hybrid intelligent tracking control for a class of nonaffine multivariable systems, *International Journal of Fuzzy Systems*, 17(1), 39-52.
 - [20] R. G. Lins, S. N. Givigi, and P. R. G. Kurka. (2016). Velocity estimation for autonomous vehicles based on image analysis, *IEEE Trans. on Instrumentation and Measurement*, 65, 96-103.
 - [21] A. Hajiloo, M. Keshmiri, W. F. Xie, and T. T. Wang. (2016). Robust online model predictive control for a constrained image-based visual servoing, *IEEE Trans. on Industrial Electronics*, 63, 2242-2250.
 - [22] I H. Li, M. C. Chen, W. Y. Wang, S. F. Su, and T. W. Lai. (2014). Mobile robot self-localization system using single webcam distance measurement technology in indoor environments, *Sensors*, 14, 2089-2109.
 - [23] L. Zhang, C. Chen, J. Bu, and X. He. (2012) A unified feature and instance selection framework using optimum experimental design, *IEEE Trans. on Image Processing*, 21, 2379-2388.
 - [24] G. Alessandretti, A. Broggi, and P. Cerri. (2007). Vehicle and guard rail detection using radar and vision data fusion, *IEEE Trans. on Intelligent Transportation Systems*, 8, 95-105.
 - [25] Y. J. Shih, C. C. Hsu, W. Y. Wang, and Y. T. Wang. (2015). *Feature extracted algorithm for simultaneous localization and mapping (SLAM)*, in Proc. of the 2015 IEEE International Conference on Consumer Electronics (ICCE), pp.497-498.
 - [26] T. Y. Lin, C. C. Hsu, W. Y. Wang, Y. T. Wang and I H. Li. (2014). *Enhanced simultaneous localization and mapping (ESLAM) for mobile robots*, in Proc. of the SCIS&ISIS 2014, Kitakyushu, Japan.
 - [27] 陳漢忠(2008)。智慧型搭乘電梯機器人(碩士論文)。國立中央大學電機工程研究所，桃園。
 - [28] A. McAndrew. (2004). *An Introduction to Digital Image Processing with Matlab*. Course Technology Ptr.
 - [29] 林玕瑾(2012)。輪型機器人之影像辨識應用於跟隨人與電梯辨識 (碩士論文)。國立中央大學電機工程研究所，桃園。
 - [30] H. M. Choset et al. (2005). *Principles of Robot Motion: Theory, Algorithms, and Implementation*. Cambridge, MA: The MIT press.
 - [31] F. Dellaert, D. Fox, W. Burgard, and S. Thrun. (1999). *Monte Carlo localization for mobile robots*, IEEE International Conference on Robotics and Automation.
 - [32] L. Ming, W. Jun, and Z. Meiqiang. (2010). *On skeleton extraction algorithm for path planning of mobile robots in complex planar maps*, in Proc. of the 29th Chinese Control Conference, pp. 3704-3708.
 - [33] O. Takahashi and R. Schilling. (1989). Motion planning in a plane using generalized Voronoi diagrams, *IEEE Trans. on Robotics and Automation*, 5, 143-150.