

# 科技部補助

## 大專學生研究計畫研究成果報告

計 畫 名 稱	: 結合超音波陣列及模糊邏輯建立無盲区測距系統之建置
------------	----------------------------

執行計畫學生：宋翊慈

學生計畫編號：MOST 107-2813-C-019-021-E

研究期間：107年07月01日至108年02月28日止，計8個月

指導教授：謝易錚

處理方式：本計畫可公開查詢

執行單位：國立臺灣海洋大學電機工程學系

中華民國 108年04月08日

## 目錄

一、摘要	1
二、研究動機與研究問題	1
2-1 研究動機	1
2-2 研究問題	1
三、文獻回顧與探討	1
四、研究方法及步驟	2
4-1 超音波陣列牆設置	3
4-2 超音波參數模型設置	3
4-3 自軸車設計	4
4-4 座標、定義面積轉換設置	5
4-5 數據顯示及軟體平台設計	5
五、研究成果與結論	6
5-1 研究成果	6
5-1.1 高度差設計原理	6
5-1.2 角度差設計原理	6
5-1.3 建立模糊邏輯	7
5-1.4 超音波陣列牆實體成果	7
5-1.5 目標物最佳路徑成果	8
5-2 結論	9
六、參考文獻	10

## 一、摘要

此次研究主要的目的是為了解決超音波在盲區的遮蔽問題，一般超音波在物體、訊號重疊時，常會導致偵測物體資訊出錯，而問題的主因為障礙物的回波訊號(Reflected wave)與累積的殘響訊號(Reverb wave)疊加在一起，而產生超音波的盲區，此區域的測量常會發生判斷及量測距離錯誤的情況，因此本研究預計採用由多個超音波組成的陣列牆當作基底，並根據擴散角度及聲場之方向係數做設計，藉由多方面地發射訊號並且統一回收分析，並透過分散式計算架構來進行分析與顯示，進而辨別盲區中的物品，且搭配 Google Map API 發展出一套偵測盲區中物品、路徑規劃系統的雛形，來驗證超音波在盲區的測量距離的問題。

## 二、研究動機與研究問題

### 2-1 研究動機：

現今產業已經朝向自動化發展為趨勢，距離量測與辨識也漸漸向自動化看齊，其中以超音波測量因具有多項的優點而被看好，例如無破壞性、無接觸、不受電磁干擾、方便及成本低廉，因此在計算距離方面被廣泛地使用。除了可以利用超音波偵測海底地形外，在一般生活應用中，超音波也有拿來製作成倒車雷達的應用，而在軍事的應用上，還有利用超音波雷達進行定位。然而在超音波測量時，發現會因為某些問題而導致距離量測錯誤，例如使用一個超音波測量距離時，若前方物品恰好擋住後方物品，會導致後方物品沒有被偵測到的情況；而在使用多個超音波進行距離量測時，回波的訊號會有重疊及干擾的情形發生，導致測量結果在距離上產生嚴重的誤差。因此，此計畫主要目的就是解決超音波在距離測量上的問題，進而改善超音波的量測與擴散角度之設計。

### 2-2 研究問題：

由於本計畫主要是在探討超音波在量測上之問題，所以研究問題針對超音波的部份分成三個部份：

1. 物品遮蔽問題，而導致無法有效偵測之處理方法。
2. 超音波訊號重疊及干擾問題之處理方法。
3. 聲場之方向係數及擴散角度調整方法。

## 三、文獻回顧與探討

本研究主要是利用超音波感測器當作基底，其組成由超音波發射器、接收器和控制電路所組成。當它在量測時，會發射一連串高頻率的聲波並從離它最近的物體接收訊號回音，藉此來換算其距離，其優點為無破壞性、無接觸、不受電磁干擾等，且它不受光源影響的特性，致使它可利用在各種場合為主要優勢。

論文[1, 2, 3] 本研究通過使用超音波傳感器和模糊方法實現自動開啟/關閉水龍頭，使用超音波之回傳特性，於開起或關閉浴缸的水龍頭時，利用超音波打在水面之反射速率及模糊邏輯(Fuzzy Logic)[4]，檢測其水位是否超出預設標準而限制，並述說超音波在距離檢測，模糊邏輯的重要性。

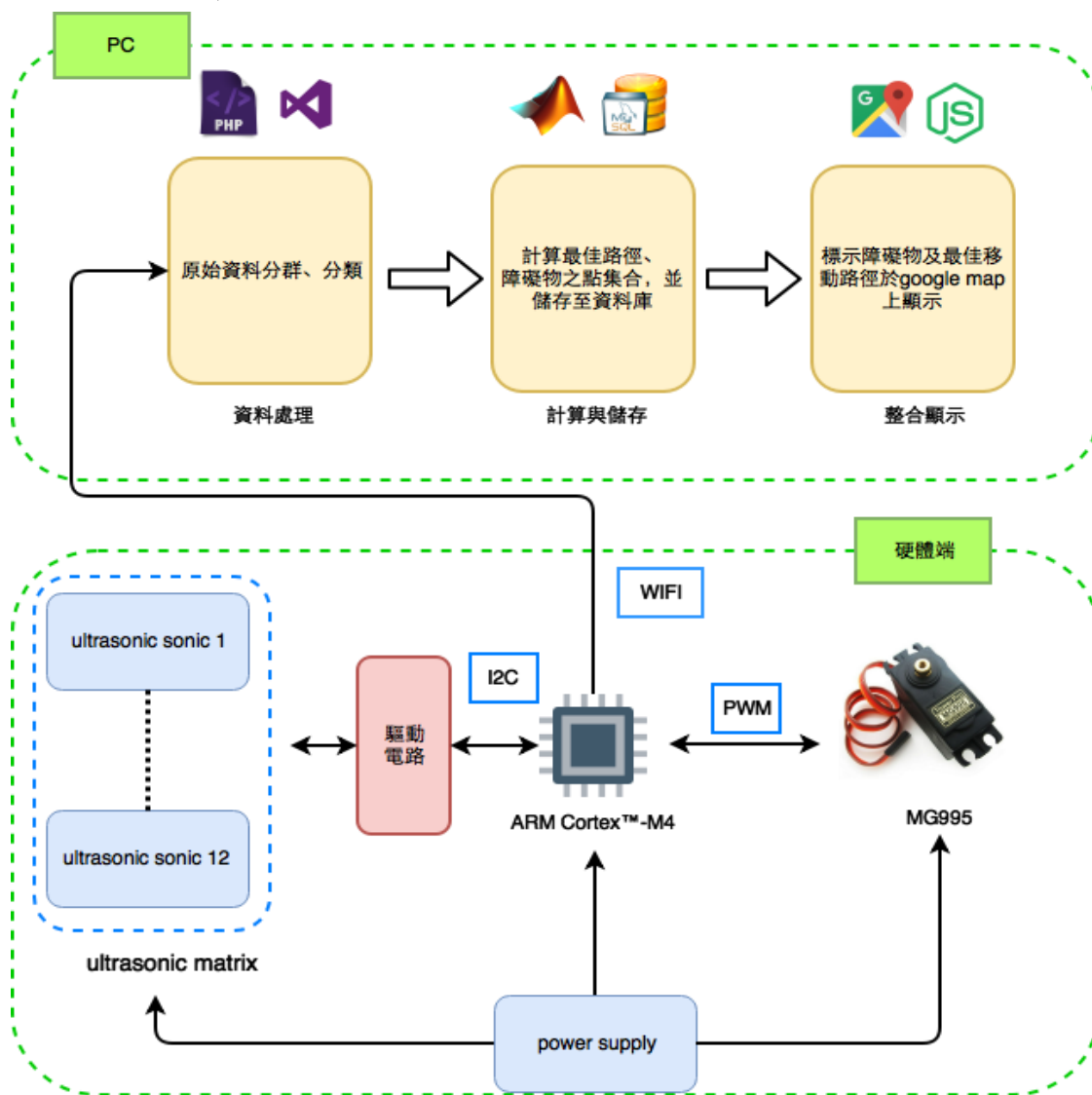
Tsung-Tao Wu 等人於論文[5]中提出了一個近距離相位差法，可有效解決反

射型超音波測距系統，他們設計與倒車雷達模組中特性相同的系統，並利用此系統量測近距離相位差法，得到了在各種差異性較大的測試及不同特性之測量器中，不同大小之盲區範圍皆可有效的偵測障礙物所在位置，解決無盲區偵測的目標，但他們並未明確提到多個超音波所遇到的干擾的情境。

Wei-cyuan Jhang 等人於論文[6]中提出了一個方法來使低價的超音波傳感器來進行近距離測量，使用類比轉數位的模組來進行回波訊號(Receiver wave)的取樣，於類比資料的測量演算上進行分析，以找出最大電壓出現的時間，以此種方式得知，超音波傳感器及物體間的距離就可以被找出來，而實驗展示了此系統最小可以測得 6mm 的距離。

#### 四、研究方法及步驟

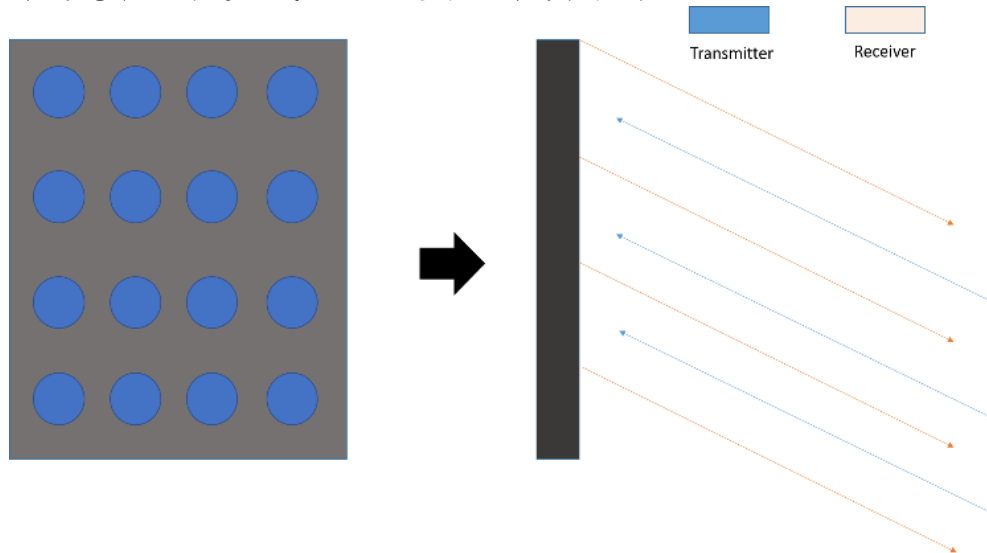
本計畫主要分為硬體端及軟體端，以 ARM Cortex-M4 當作控制晶片，透過自行設計之驅動電路及馬達來控制超音波牆之轉向、量測，並將最後之測得數據傳至軟體端坐分析並整合，其工作主要分為，1. 超音波陣列牆設置、2. 超音波參數模型設置、3. 自走車設計、4. 座標、定義面積轉換設置、5. 數據顯示及軟體平台設計。其系統架構圖如圖一所示：



圖一、系統架構圖

#### 4-1 超音波陣列牆設置：

本研究所使用的超音波型號為 HC-SR04，其主要作用為量測障礙物、障礙物及車體間的距離，以供自走車在到達目的地時更加順利。其工作電壓為 3.3V~5V，在量測時會發送 8 個 40KHZ 的方波，並檢測回波訊號時間來依此計算距離，本計畫以此特性，建製一個 4\*4 的超聲波陣列牆雷達系統，並藉由高度差，來避免平面雷達造成的物體後盲區問題(圖二)。



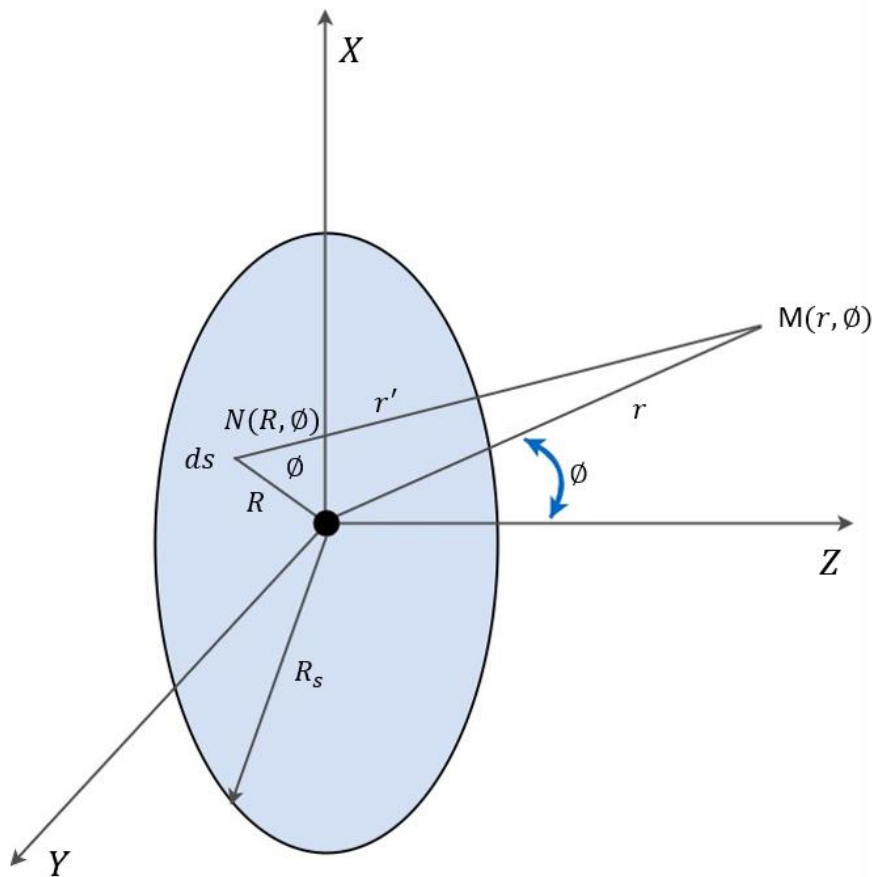
圖二、超音波牆概念圖

#### 4-2 超音波參數模型設置：

超音波在測距方法上有主要兩種方式，分別為相位差法(phase shift method)及飛行時間法(time-of-flight, TOF)。相位差法是利用超音波訊號發射至待測物時，之間的反射波及參考波之間的相位差來求得待測物的距離；飛行時間法則淺顯易懂，也是本計畫最主要用來計算距離的方法，其主要利用超音波在空氣中傳遞的時間來計算感測器與待測物之間的距離，在計算發送與接收的時間差 $\Delta t$ 時，由於距離是根據反射回波的長度計算，所以超音波回傳的時間為 $\Delta t/2$ ，再利用光速參數  $c$  換算成距離  $d$  式(1)。

$$d = c \times \frac{\Delta t}{2} \quad (1)$$

在距離計算系統上，根據裝上的脈衝波(impulses)和發射器本身的物理參數，可決定發射器所發射的訊號能量。假設一個在半無限發射聲場的傳感器存在一系列點，且每個點是發射向外且統一頻率的球面波(spherical wave)，此時  $M$  是各個點疊加聲壓所產生的聲壓點(圖三)。



圖三、降低在磁源場聲壓的方法

在式(2)， $J_1$  是一階 Bessel 函數的第一式， $\lambda$  是 M 與聲源的距離， $\theta$  是 M 與聲源的軸之間的角度， $K_1$  是關於聲阻抗、激發強度以及當下的共鳴頻率的係數。

$$P_s(\gamma, \theta) = \frac{K_1 R_s^2}{\lambda_\gamma} \times \frac{2J_1(kR_s \sin \theta)}{kR_s \sin \theta} \quad (2)$$

$$D_c = \frac{P_s(\gamma, \theta)}{P_s(\gamma, 0)} = \frac{2J_1(kR_s \sin \theta)}{kR_s \sin \theta} \quad (3)$$

$$\theta = \sin^{-1} \frac{\lambda}{2R_s} \quad (4)$$

聲場方向是集中輻射在同一方向的光束參數。在 M 點的束點集中度反映了聲場強度。方向係數  $D_c$  定義於式(3)。當傳感器晶圓固定大小，可透過式(4)計算傳感器的散射角度，以此當作設計陣列牆之角度依據，也這些所測得之分析數據交給後端軟體做進一步處理。

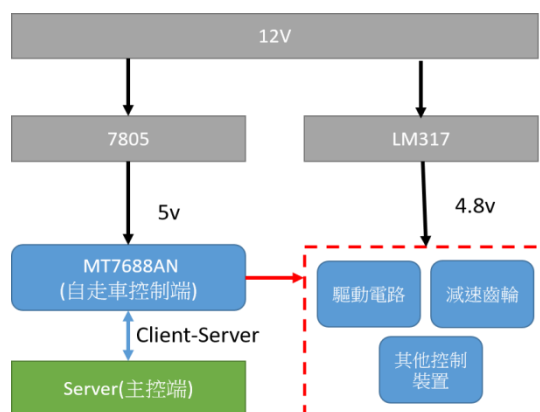
#### 4-3 自走車設計：

本計畫所設計之自走車採用減速齒輪馬達(圖四)，其電源供應採用 12V 電池分壓所得到的 5V 及 4.7V，提供 linkit smart 7688 及減速馬達使用，並藉由軟體端所換算之步伐，來寫入需求的電位高低，以高低差來調整車輪轉向，再由減速齒輪轉距來設定往前、往後一公分，左、右轉 45 度來當指令，整體溝通利用 7688 的強大運算特性及整合之無線網路模組，以主從式架構(Client -

Server)來接收 Server 端發送的移動指令 JSON 字串，解析指令後讓車子移動至目的地為原則其控制方塊圖如圖五。



圖四、減速齒輪馬達



圖五、自走車控制方塊圖

#### 4-4 座標、定義面積轉換設置：

本計畫需將大量超音波數據點及位置進行轉換，而數據顯示方式最主要仰賴 Google Map 來顯示，為此須從 Matlab 轉換成 Map API 可解析之格式，在進行轉換前，會利用數據散射角度進行分類，將資料進行格式轉換，將有意義的資料拿出並從新編排(範圍內之訊號)、捨棄無意義的資料(雜訊)，將此轉換後的數據傳至到 Matlab 上進行數據繪製，輸出雷達圖、路徑圖之點集合，並使用 Haversine formula 式(5)及式(6)來計算原始座標 A 轉換至經緯座標 B 之間的經緯度間的距離轉換，並以此設定使用者之定義圍繞面積，在整合至 Google Map 上顯示。

$$d = 2R \times \arcsin\left(\sqrt{\sin^2\left(\frac{\phi_2 - \phi_1}{2}\right) + \cos\phi_1 \cos\phi_2 \sin^2\left(\frac{\lambda_2 - \lambda_1}{2}\right)}\right) \quad (5)$$

其中 d 為圓距離，R 是地球半徑，而兩點之緯度、經度分別為 $(\phi_1, \lambda_1)$ 與 $(\phi_2, \lambda_2)$ 。

$$\text{Conversion A} = \frac{A * \sqrt{\left(\frac{x_a * y_a * 10^{10}}{x_b * y_b}\right) * \frac{1}{4}}}{-111.19} + \text{center point B}(x, y) \quad (6)$$

式(6)是利用比例尺關係，從 matlab 座標(A)轉成對應的 Google Map 面積(B)，在此將經緯度轉換成公里，但由於統一以 A 的單位面積 $\text{cm}^2$ 做為基底換算，因此在面積上，B 的單位面積會在多個 $\text{km}^2$ 的倍率。

#### 4.5 數據顯示及軟體平台設計：

本計畫所使用之分析及顯示平台為多個語言所組成，採用分散式架構運算，其資料交握過程為共分為四種。

1. 主控端在收到資料後，會資料整理並透過 PHP 及 Visual Studio 來進行資料分群和分類。
2. 將資料傳至 Matlab 計算最佳路徑及障礙物之點集合，並數據點存至 MySQL 資料庫。
3. 透過公式 5 及公式 6 換算座標，將障礙物及最佳移動路徑搭配 JS 標示於 Google Map 顯示。



4. 發送控制訊號給硬體端控制，其分析方塊圖如圖六。



圖六、數據分析方塊圖

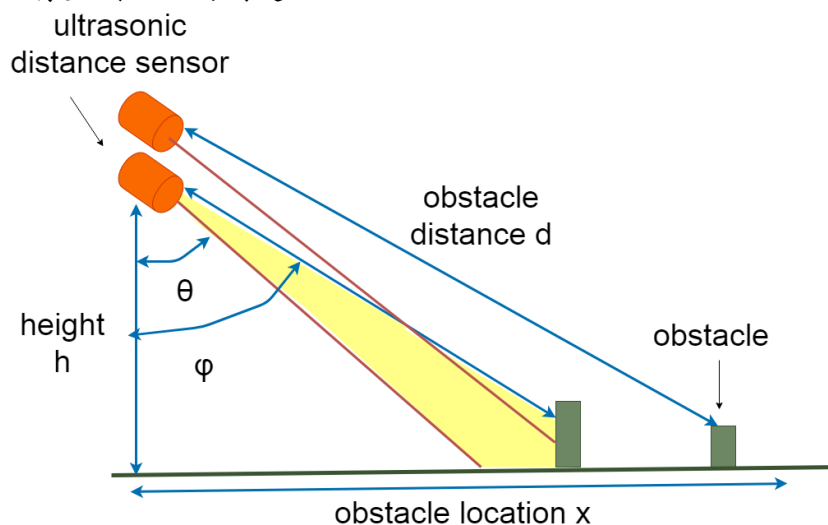
## 五、研究成果與結論

### 5-1 研究成果

#### 5-1.1 高度差設計原理

圖七可看出實驗的設定環境，一個障礙物位於距離超音波感測器  $x$  的位置上，在這裡我們定義超音波陣列牆位於原點的位置上，超音波感測器面對方向與垂直線之間的角度為  $\theta$ ，超音波感測器設置於高度為  $h$ ，超音波陣列牆與障礙物之間的距離為  $d$ 。我們將超音波感測器與障礙物之間的線與垂直線之間的角度定義為  $\varphi$ ，其中黃色的色塊代表著超音波的感測範圍。

而從圖七中，可以看出超音波傳感器設置為不同高度，這個設計可以使超音波可以測到障礙物後面的障礙物，因此超音波牆就採用 4 層高的設計來減少障礙物遮擋而有監測錯誤的問題。

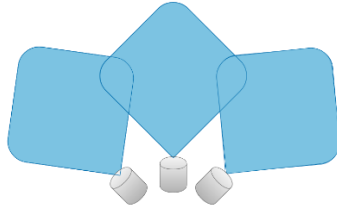


圖七、作品設計高度差概念圖

#### 5-1.2 角度差設計原理

由實驗得知，超音波傳感器只能偵測到 70 度的範圍，而目標為使超音波陣列牆可以偵測到 180 度的範圍，因此要覆蓋到 180 度至少需要 3 個超音波傳感器。經由觀察可以得知傳感器之間夾角 90 度以及擺放為水平時，都不會得到最大的改善，最後測試結果當超音波傳感器夾角 135 度時，可以得到最大面積覆蓋以及最小面積重疊，但是此次作品主要是需要感測近距離的物品，若採用 135 度的設計，則需要所需感測區塊的盲區會過大，所以最後採用 165 度的夾角，而無法偵測 180 度的範圍，就利用轉動陣列牆，每 15 度為一個面，由左到右掃 12 次，來達到大範圍的偵測。



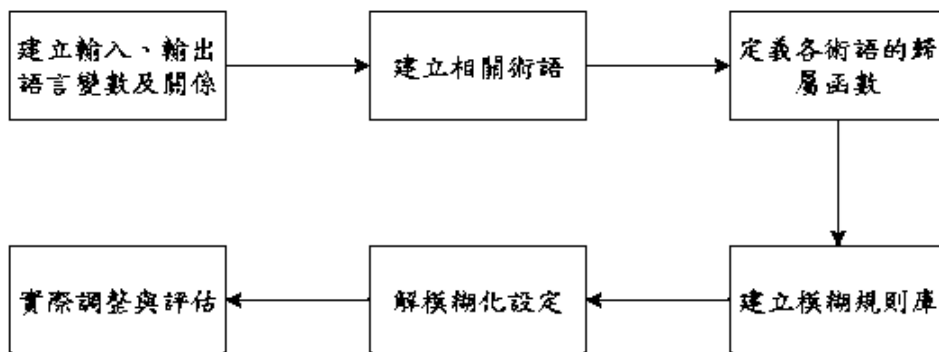


圖八、超音波傳感器夾角 15 度排列示意圖

### 5-1.3 建立模糊邏輯

由於超音波陣列牆包含了 12 顆超音波傳感器，為使系統處理時的時間變得較快且減少雷達繪圖及雜訊問題，我們會使用模糊邏輯來處理這類訊號源。會以上、下閾值的方式，當距離測出大於 100 公分或者是獲得為異常值得數據時，就會將該超音波的數據忽略掉，並將超音波的處理數量減少到 10 顆以下。

模糊邏輯就是對一般認知的數據做定量化處理，其建構模糊邏輯的流程如圖九所示。首先我們必須先確定有哪些輸入以及輸出變數，然後決定各語言變數術語的數量，再來針對每個術語定義它的歸屬函數。而本次的作品中，採用反向處理，利用減少術語的方式減少系統所接收的超音波數據數量。接著依據系統所需的動作反應，將一個一個規則組成模糊控制的知識規則庫，此知識規則庫關係到系統控制反應的正確與否，我們必需清楚整個控制所需的動作。完成規則庫建立，便利用解模糊化將輸出變數術語轉化成一個數值。



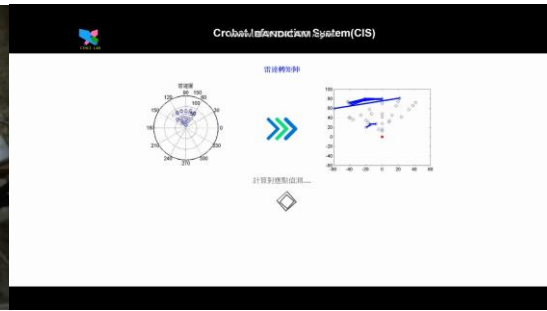
圖九、模糊控制系統之建構

### 5-1.4 超音波陣列牆實體成果

由圖十可以看到超音波陣列牆的成品，透過四層高的陣列牆來偵測到大障礙物後的小障礙物，然後傳至軟體端進行處理，而從圖十一中可以看到至網頁顯示時，距離較近的障礙物寬度較窄，而較遠的卻寬度較寬，主要是當超音波陣列牆在轉動以進行掃描時會使物品變形，因此在雷達圖時發生了與實情相反的情況。



圖十、超音波陣列牆裝置成品圖



圖十一、超音波陣列牆偵測實際結果

### 5-1.5 目標物最佳路徑成果

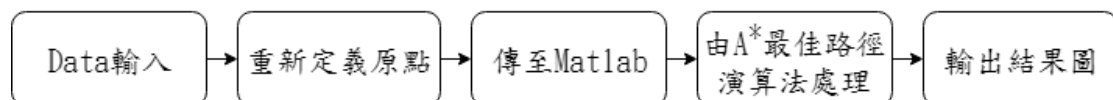
選擇最短路徑可以由 A\*最佳路徑演算法或者是利用 DP，而最後選用 A\*最佳路徑演算法進行，是考慮到了自走車的實際配合運作情形，在移動過程中，自走車左、右轉項需要數秒的時間反應，雖然 A\*最佳路徑演算法不一定會得到最短路徑，但它所呈現的路徑，卻是最符合實際自走車行走情況的最佳路徑。

A\*最佳路徑演算法主要是為了求出最低通過成本，它結合了最良優先搜尋 (Best-first search) 以及 Dijkstra 演算法的優點，在提高搜尋演算法效率同時，也可以保證找到符合低成本的最佳路徑，如果以  $g(n)$  表示從起點到任意頂點  $n$  的實際距離， $h(n)$  表示任意頂點  $n$  到目標頂點的估算距離，其中估計距離會隨著所採用估計函式同而變化，而 A\*演算法的評估公式為：

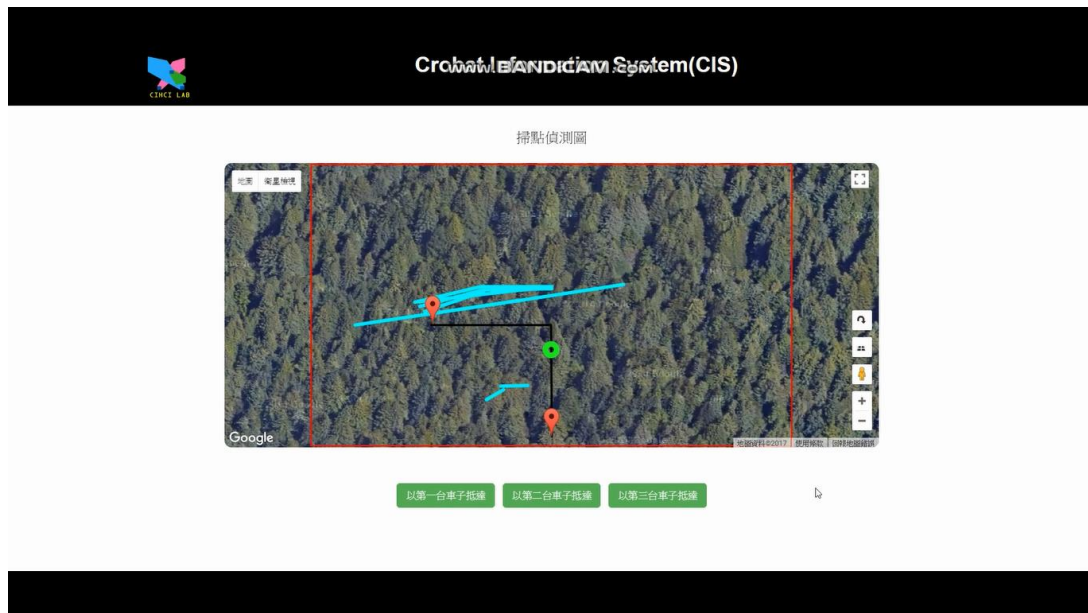
$$f(n) = g(n) + h(n)$$

其中估計函式主要是考慮自軸(走)車轉彎的部分，將改變方向會花費的時間及自走車實際行走花費的時間相加，就會是從原點到每一格所花費的時間成本。

進行最佳路徑處理的流程如圖十二，當數據輸入至軟體端後，由於需要將資料轉換至 Matlab 處理，會先將原始數據進行座標的重新定義，然後透過鏡像的方式使整體座標達到理想的格式，之後再傳至 Matlab 做運算。我們可透過 A\*最佳路徑演算法計算出最佳低成本路徑，然後標示最佳路徑及障礙物於 Google Map，其顯示結果如圖十三。



圖十二、最佳路徑處理流程



圖十三、最佳路徑顯示結果

## 5-2 結論

本計畫透過 HC-SR04 超音波陣列以不同角度以及高度發射訊號，並統一傳回資料庫，再藉由 Visual Basic 呼叫 MATLAB 從 MySQL 抓取數據，最後利用 PHP 顯示於網頁上，過程中遇到了不少問題，其中在決定適合最短路徑的演算法上就經過不少的嘗試，而另外就是超音波陣列牆的角度設計上，雖然所參考的論文提供了大範圍偵測的最佳角度，但是由於主要偵測物所在的距離不同，因此在結構進行參考，但角度上多次嘗試後才的到現在的結果。

在現在天災頻頻的時代，希望可以透過學習如何利用科技，來使救災可以達到花費最少人力成本的結果，因此在未來期許能夠提升到救災的應用層面，來使救災能夠進行的更迅速更順利，並且希望在未來能夠不斷提升作品的完成度，提供更完備的幫助。

## 六、參考文獻

- [1] T. Mantoro; W. Istiono, "Saving water with water level detection in a smart home bathtub using ultrasonic sensor and Fuzzy logic," in Informatics and Computing (ICIC), 2017 Second International Conference on, Jayapura, Indonesia, Indonesia, Nov. 2017.
- [2] G. Álvarez-Arenas T, Gil-Pelegrin E, E. C. J, F. MD, Sancho-Knapik D, C. B. DA, Peguero-Pina JJ, "Ultrasonic Sensing of Plant Water Needs for Agriculture," in Sensors, Vol.16, Issue 7, pp 1-20 (2016).
- [3] H. Lee, S. Jang, G. Shin, S. Hong, D. J. Lee, M. Chun, "An Ultrasonic Multi-Beam Concentration Meter with a Neuro-Fuzzy Algorithm for Water Treatment Plants," in Sensors vol. 15, Issue 10, pp. 26961-26977 (2015).
- [4] C. Angulo, J. Cabestany, P. Rodríguez, M. Batlle, A. González, S. Campos, "Fuzzy expert system for the detection of episodes of poor water quality through continuous measurement," in Expert Systems Applications, Vol 39, Issue 1, pp. 1011-1020 (2012).
- [5] 吳宗道 (2012)。無盲區超音波感測器設計。國立臺北科技大學電機工程學系研究所碩士論文。臺灣博碩士論文知識加值系統，102TIT05442128。
- [6] Q. Liu, P. Bai, Z. Luo, W. Zhang, G. Zhou, "Ultrasonic distance measuring system without blind area," in Signal and Image Processing (ICSIP), IEEE International Conference on, Beijing, China, Aug. 2016.
- [7] X. T. Xi, Q. Y. Dai, L. F. Tian, "Researching on the Method of Reducing the Blind Section in Ultrasonic Distance Measuring," in Microcomputer Information, vol. 25, no. 1, pp. 272-273, 2009.
- [8] S. Kim, H. Kim, "Positional Uncertainty Assessment and Complex Obstacle Detection of an Ultrasonic Sensor Ring with Overlapped Beam Pattern," in International Conference on Control Automation and Systems, vol. 11, pp. 690-693, 2011.
- [9] Y. Taniguchi, K. Nishii, H. Hisamatsu, "Evaluation of a bicycle-mounted ultrasonic distance sensor for monitoring road surface condition," Proceedings of CICSYN 2015, pp. 31-34, Jun. 2015.
- [10] P. Hosur, R. Basavaraj Shettar, M. Potdar, "Environmental awareness around vehicle using ultrasonic sensors," International Conference on Advances in Computing Communications and Informatics (ICACCI), 2016.