

行政院原子能委員會  
委託研究計畫研究報告

同步定位與建圖技術於核設施除役工程之擴增實境應用研究

Study on Augmented Reality Application for  
SLAM-Based Nuclear Facility Decommissioning Task

計畫編號：1032001INER045

受委託機關(構)：國立雲林科技大學電機工程系

計畫主持人：何前程

聯絡電話：05-53342601 #4236

E-mail address：futureho@yuntech.edu.tw

核研所聯絡人員：陳俊凱

報告日期：103 年 11 月 28 日

## 目 錄

中文摘要 .....	II
ABSTRACT.....	III
壹、計畫緣起與目的 .....	1
貳、研究方法與過程 .....	3
參、主要發現與結論 .....	6
一、無需三角函數分量計算的慣性室內定位技術 .....	6
二、旋轉速度判別走路狀態的慣性室內定位技術 .....	9
三、相鄰串列最佳化路徑地圖的迪科斯徹路徑規劃方法 .....	14
四、WIENER-DECONVOLUTION EDGE-LINE POLYLINE 地板偵測技術 .....	27
五、IMU-OPTICAL-FLOW POSE ESTIMATION 擴增實境導航路徑顯示法.....	38
肆、參考文獻 .....	66

## 中文摘要

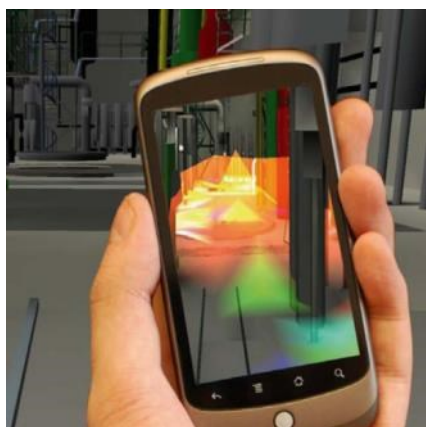
如何提升核設施除役工作的環境安全與降低工作人員的輻射暴露量一直都是最根本重要的議題。本計畫將在行動裝置上，整合內建的三軸加速度計與電子羅盤二個慣性量測模組來獨立完成室內定位與定向工作，不需要任何外在的感測辨識裝置等基礎設施，除非在漫遊至另外一個室內空間而需要進行重置定位時。然後，透過辨別周遭環境特徵，例如：邊緣、角點或斑點，行動裝置決定是否沿用或更新已知輻射地圖，以完成同步定位與建圖技術。接著，在核設施除役工作環境的二維輻射地圖上或三維虛擬實境輻射地圖上，行動裝置計算與規劃輻射量較低的工作路徑或逃生路徑。最後，在實際相機預覽場景中完成精確的地板區域偵測與切割之後，行動裝置將映射二維地圖與路徑規劃到實境地板區域，並且採用擴增實境技術來視覺化地顯示輻射量較低的工作路徑或逃生路徑的導航規劃，以便讓核設施除役工作人員遠離危險區域。

## **Abstract**

How to maximize the environmental safety of nuclear decommissioning task and minimize the radiation exposure of the field workers is always the fundamental issue. On the mobile device, this project will integrate 2 built-in Inertial Measurement Units (IMU), triaxial accelerometer and e-compass, to realize indoor positioning and orientation independently of any external infrastructure of sensors and visual devices, except when roaming over another indoor space causes the demand of resetting the position. Then, the mobile device detects the surrounding environmental features, like edges, corners, and blobs, to determine if the radiation map must be updated or continuously used, in order to accomplish Simultaneous Localization And Mapping (SLAM). Next, on 2D radiation map or 3D virtual-reality radiation map of the nuclear facility decommissioning environment, the mobile device computes the lower-radiation path planning for working or escape. Finally, after finishing the exact floor region detection and segmentation in the actual preview scene of the camera, the mobile device maps 2D map and path planning onto the floor region in the actual preview scene of the camera, and adopts augmented reality technology to visually navigate the lower-radiation working or escape path planning, so that the field workers can keep away from dangerous zones.

## 壹、計畫緣起與目的

核設施除役工作需要執行設備組件拆解，但是高放射性活度的設備組件與高輻射暴露量的工作環境在拆解過程中，對於施工人員與輻射安全都會造成很大的影響。因此，如何提升核設施除役工作的環境安全與降低工作人員的輻射暴露量是核設施除役工程中最重要、最迫切的議題，尤其是讓工作人員可以在行動裝置上立即看見所處的工作環境中，原本肉眼所無法看見的輻射暴露量與安全路線導航的彩色圖像與分佈狀況，以便警示危險區域與導航安全路線，分別如圖1(a)與圖1(b)所示。



(a)



(b)

圖1：在行動裝置上，以擴增實境的視覺化方式顯示所處工作環境的(a)放射性活度與輻射暴露量；(b)安全工作路徑或安全逃生路徑。

繼承上一年度研究計畫所完成的核設施除役工作環境的行動警示裝置成果，本年度研究計畫將研發與實作核設施除役工作環境所需的行動導航裝置，其詳細的技術流程將依序實現以下四個工作階段：1)室內定位；2)同步建圖；3)路徑規劃；4)實境導航，如圖2所示。首先，核設施除役工作人員手上的行動裝置一定要先完成精確的「室內定位」，行動裝置才能知曉目前所處的工作環境的位置。接著，辨

別周遭環境特徵來決定如何實現符合真實工作環境的「同步建圖」。然後，在二維輻射地圖上或三維虛擬實境輻射地圖上，推導計算出工作或逃生所需的輻射量較低的「路徑規劃」。最後，再透過擴增實境的技術，在行動裝置上映射與顯示前一步驟中的二維地圖與路徑規劃至實際相機預覽場景的地板區域中，以完成視覺化的「實境導航」。

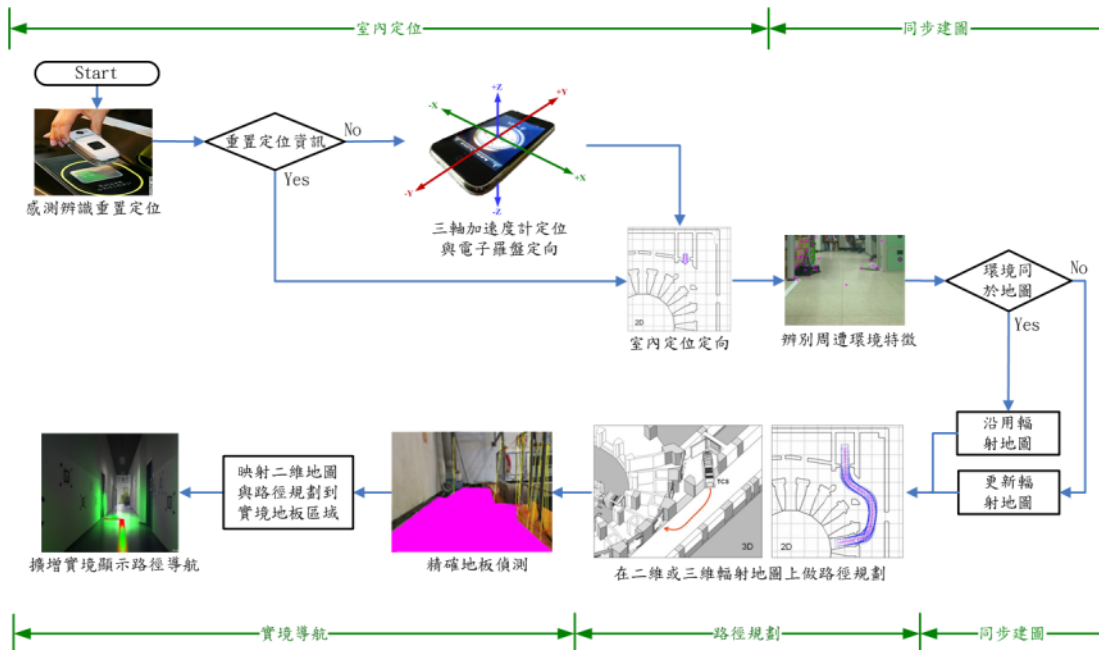


圖2：應用於核設施除役工作環境的行動導航裝置的技術流程圖。

## 貳、研究方法與過程

由於核設施除役工作環境通常充滿了電磁波干擾與金屬屏蔽層，而且不同的核設備組件之間並沒有顯著的外觀或顏色方面的差異特徵。因此，在圖 2 的第一個工作階段「室內定位」，行動裝置將會因為電磁波干擾與金屬屏蔽層而無法順利地接收全球衛星定位系統 (Global Positioning System, GPS) 訊號，而透過射頻識別 (Radio Frequency Identification, RFID) 技術來做室內定位也可能因為電磁波干擾而失真。又核設備組件沒有外觀或顏色方面的差異化特徵，不足以作為行動裝置在執行室內定位時所需的參考地標。因此，本計畫提出基於一般行動裝置都會內建的慣性量測模組，三軸加速度計 (triaxial accelerometer) 與電子羅盤 (e-compass)，來分別實現室內定位與定向工作，詳如後面章節所述 [1]-[5]，並整合室內同步慣性定位定向與建圖技術 [6]-[8]。

由於室內環境地圖的特性與室外環境地圖的特性，截然不同。因此，在圖 2 的第三個工作階段「路徑規劃」，行動裝置將在已經建立妥當的地圖資料庫中，根據使用者需求，在最短時間內規劃出最短的路徑。因此本計畫提出最適用於室內環境導航的路徑規劃方式，並簡化地圖資料庫建立的複雜度 [9]-[13]。

一般擴增實境導航技術的流程可分為影像輸入、影像前置處理、偵測特徵點、特徵點辨識、特徵點追蹤、視角估測、重新繪圖等步驟。其中，視角估測是最容易發生錯誤的步驟 [14]-[41]。因此，在圖 2 的第四個工作階段「實境導航」，本計畫提出使用慣性量測模組 (Inertial Measurement Unit, IMU) 及光流法 (Optical Flow) 來改良擴增實境的影像對位 (Image Registration) 與視角估測 (Pose Registration) 的

準確性。

為了完成圖 1(b)所示的行動導航裝置，本計畫針對圖 2 中的 1) 室內定位技術與 2) 同步建圖技術，提出與完成「無需三角函數分量計算的慣性室內定位技術」與「旋轉速度判別走路狀態的慣性室內定位技術」等二種創新的理論與實作方法，如圖 3 所示。此外，針對圖 2 中的 3) 路徑規劃技術與 4) 實境導航技術，也分別提出與完成「相鄰串列最佳化路徑地圖的迪科斯徹路徑規劃方法」、「Wiener-Deconvolution Edge-Line Polyline 地板偵測方法」及「IMU-Optical-Flow Pose Estimation 擴增實境導航路徑顯示法」等三種創新的理論與實作方法，如圖 4、圖 5 及圖 6 所示。

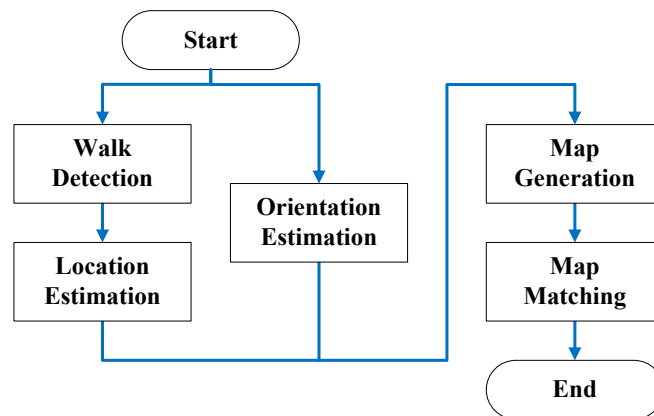


圖 3：整合室內同步慣性定位定向與建圖技術的流程圖。

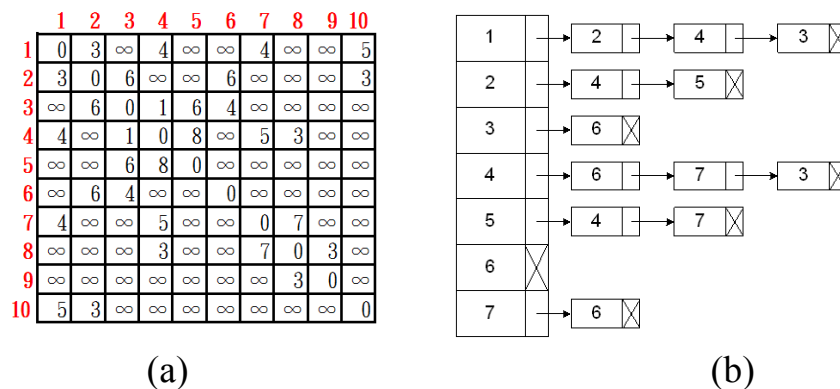


圖 4：迪科斯徹路徑規劃方法之(a)相鄰矩陣路徑地圖表示法與(b)相鄰串列最佳化路徑地圖表示法。



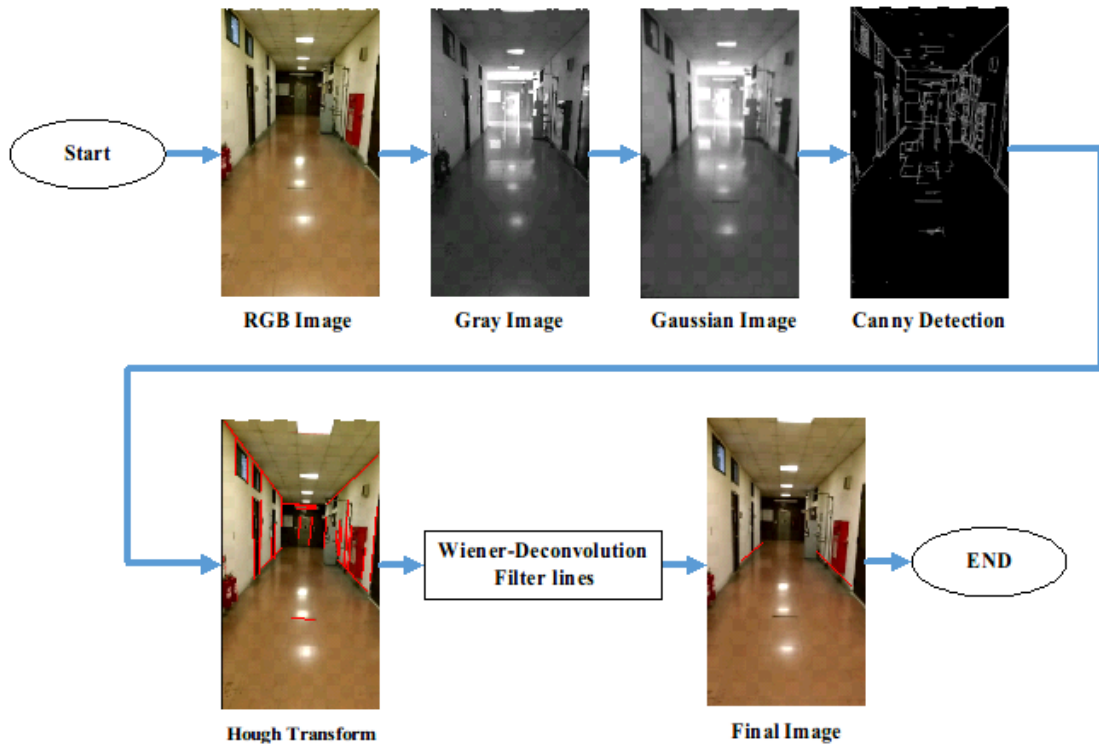


圖 5：Wiener-Deconvolution Edge-Line Polyline 地板偵測方法之流程圖。

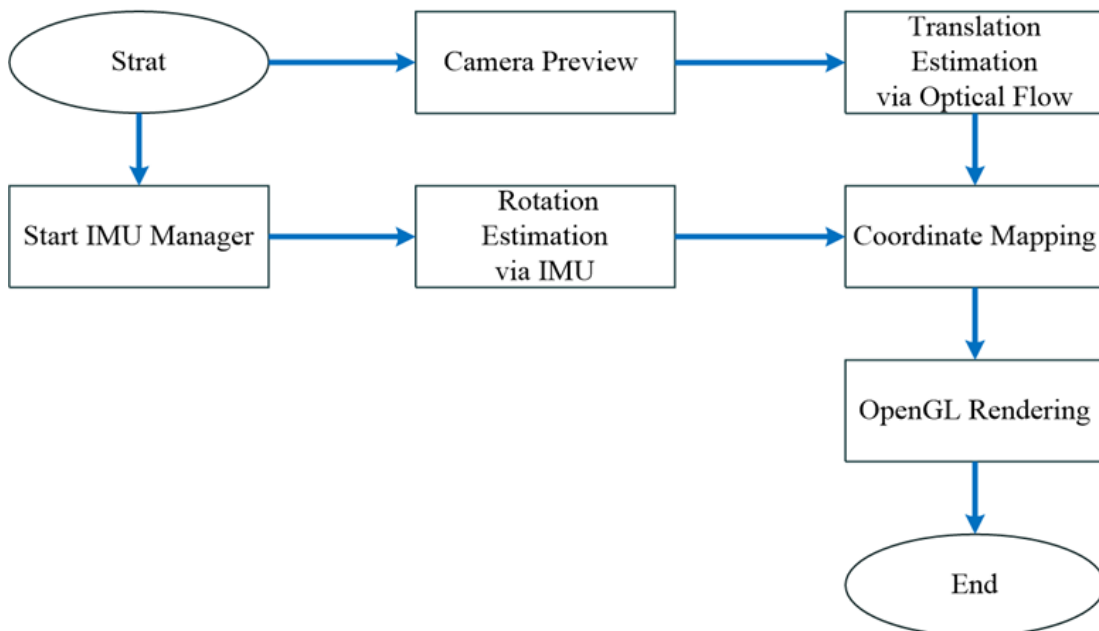


圖 6：IMU-Optical-Flow Pose Estimation 擴增實境導航路徑顯示法之流程圖。

### 參、主要發現與結論

本計畫針對圖 2 中的 1)室內定位技術與 2)同步建圖技術，所提出與完成「無需三角函數分量計算的慣性室內定位技術」與「旋轉速度判別走路狀態的慣性室內定位技術」等二種創新的理論與實作方法，詳細解釋如下：

#### 一、無需三角函數分量計算的慣性室內定位技術

慣性定位(Inertial Positioning)技術是結合了三軸線性加速度計(triaxial accelerometer)、陀螺儀(gyroscope)或電子羅盤(e-compass)等慣性量測模組(Inertial Measurement Unit, IMU)來做定位與定向。慣性定位技術是一種不需要依賴與建置外部的感測辨識等基礎設施，就可以從已知的起始位置，根據連續測得的三軸線性加速度計、三軸旋轉角速度計及電子羅盤的慣性位移變化量來推算出其下一刻的位置與方向，如圖 3 所示。因此其低成本與抗干擾的特性在近年來受到室內定位技術領域的青睞。

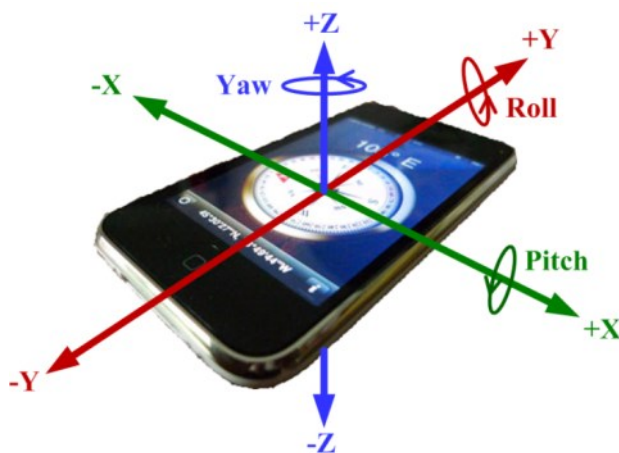
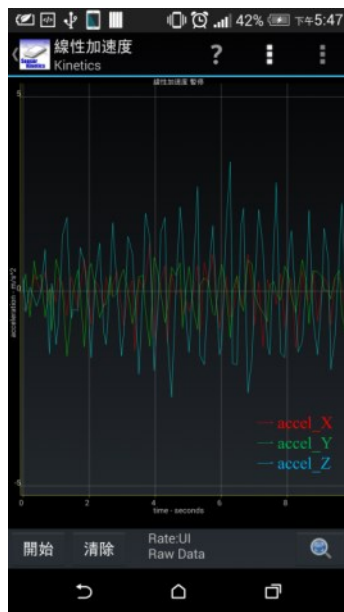
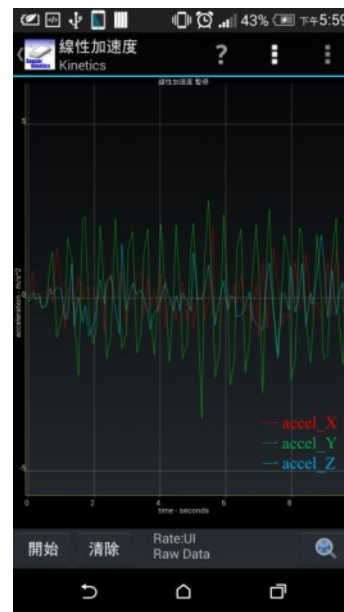


圖 7：慣性感測器的三軸線性加速度計與三軸旋轉角度計之定義。

如圖 7 所示，根據 Android 智慧型手機平台上的慣性感測器的三軸線性加速度計與陀螺儀旋轉角度計（陀螺儀旋轉角度計可以由三軸線性加速度計與重力加速度計來取代）的定義，以 Y 軸的旋轉角度命名為 roll，以 X 軸的旋轉角度命名為 pitch，以 Z 軸的旋轉角度命名為 yaw。



(a)



(b)

圖 8：三軸加速度計訊號波形圖，當手機(a)平放著行走時，與(b)直立著行走時。

當智慧型手機平台是平放著行走時，如圖 8(a)所示，因為 Z 軸加速度量比較有規律且有明顯的上下振幅，所以應用於計步器運算時較為可靠，而 X 軸與 Y 軸的加速度量則較為雜亂，此時不適合應用於計步器的運算或判斷。然而，當智慧型手機平台是直立著行走時，如圖 8(b)所示，換成 Y 軸加速度量比較有規律且有明顯的上下振幅，應用於計步器運算時也較為可靠，而 X 軸與 Z 軸加速度量則

變得比較不可靠。因此為了能隨著手機傾斜而判斷正確的計步器振幅，本計畫提出採用三軸線性加速度計在重力加速度方向分量的總和運算方式，得到精確且可靠的計步器振幅波形。

如圖 9(a)所示，因為 X 軸與 Z 軸之間的最大夾角為 90 度，因此本計畫提出一個簡單又實用的重力加速度方向分量總和的計算方法。本計畫將原本的重力加速度方向分量總和的計算方法的三角函數運算省略，改為直接計算 90 等份的分量。本計畫所提出的重力加速度方向分量總和的計算方法是依據 roll 角度的大小(90- $\alpha$ )，來決定分別對 X 軸加速度量與對 Z 軸加速度量分別擷取 90 等份中的重力加速度方向的分量比例的總和，如數學式(1)所示。

$$X_g + Z_g = X * \frac{90-\alpha}{90} + Z * \frac{\alpha}{90} \quad (1)$$

同理可推，如圖 9(b)所示，因為 Y 軸與 Z 軸之間的最大夾角也為 90 度，因此分成 90 等份，根據 pitch 角度的大小(90- $\beta$ )，來決定分別對 Y 軸加速度量與對 Z 軸加速度量分別擷取 90 等份中的重力加速度方向的分量比例的總和，如數學式(2)所示。

$$Y_g + Z_g = Y * \frac{90-\beta}{90} + Z * \frac{\beta}{90} \quad (2)$$

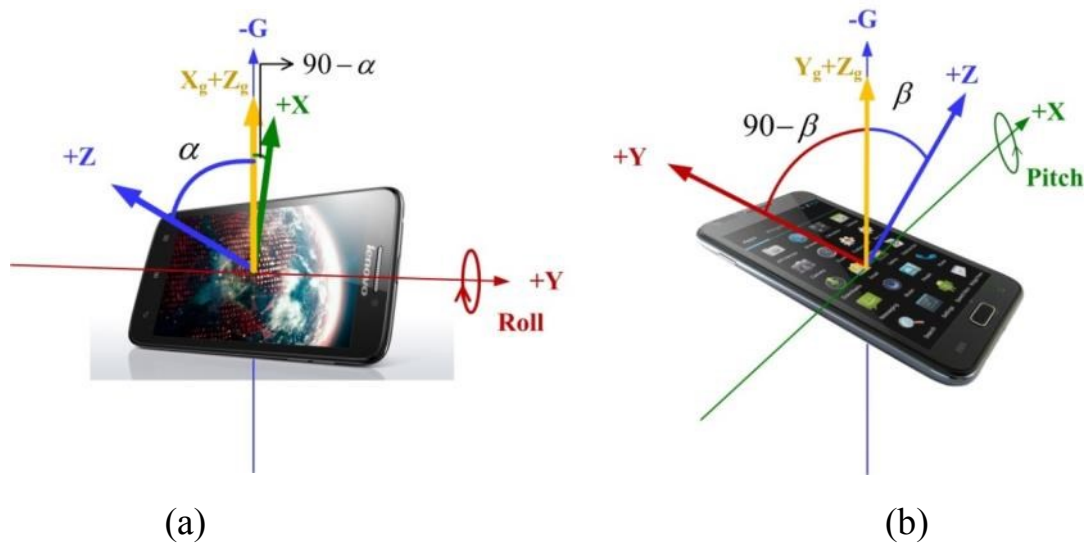


圖 9：(a)X 軸加速度量與 Z 軸加速度量在重力加速度方向的分量比例的總和示意圖，與(b) Y 軸加速度量與 Z 軸加速度量在重力加速度方向的分量比例的總和示意圖。

最後根據 roll 與 pitch 的角度，來決定分別對  $X_g + Z_g$  與  $Y_g + Z_g$  分別擷取 roll 與 pitch 的總偏角量等份中的重力加速度方向的分量比例的總和，以取得三軸加速度計在重力加速度方向的分量總和  $X_g + Y_g + Z_g$ 。再針對  $X_g + Y_g + Z_g$  的波峰與波谷是否介於特定區間來判斷是否為有效的計步位移量，如數學式(3)所示。

$$X_g + Y_g + Z_g = (X_g + Z_g) * \frac{\alpha}{\alpha+\beta} + (Y_g + Z_g) * \frac{\beta}{\alpha+\beta} \quad (3)$$

## 二、旋轉速度判別走路狀態的慣性室內定位技術

### (一) 樣本比對法

使用傳統的樣本比對(template matching, autocorrelation)法，必須

事前儲存使用者行走時，完整步伐週期的數據，如圖 10(a)所示。當每收集一筆新的數據時，不間斷地立即與儲存的資料匹配，假使匹配結果為相似時，及判斷為行走，如圖 10(b)所示。

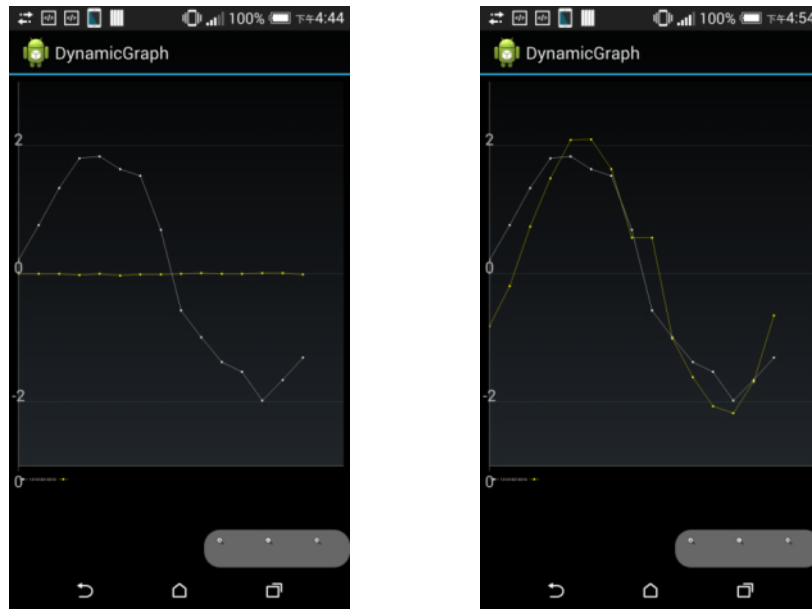


圖 10：白色線條為事先儲存完整步伐週期波的數據，黃色線條為使用者行動狀態，當使用者(a)站立於原地停止不動，與(b)行走前進中。

使用傳統的樣本比對法，作為原地翻轉晃動與行進位移移動的判別，由於每個人行走時，每步步伐情況不一，雖然已放寬相差異 $\pm 0.5(\text{m/s}^2)$ 以內為許可範圍，但準確率不高。

## (二) 峰偵測與過零率法

傳統的峰偵測(peak detection)方法，設定步伐波形的波峰與波谷的個別閾值。傳統的過零率(zero crossing)方法，藉由零點交叉頻率得出步伐波形的週期，因此可設定週期的閾值。結合兩個傳統方法，

可以判斷步伐波形的振幅與週期，如圖 11 所示。

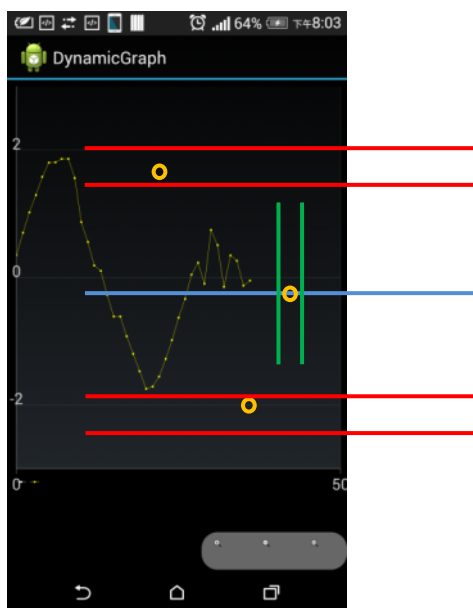


圖 11：峰偵測與過零率法示意圖，紅色線條為步伐波形的波峰與波谷的閾值範圍，綠色線條為週期的閾值。

雖然傳統的峰偵測與過零率法比傳統的樣本比對法更為可靠，但是準確率都仍有改進空間。

### (三) 角速度判別法：

由於使用者在原地翻轉晃動時，也會造成三軸加速度計產生波形振幅變化，會造成慣性感測器誤判使用者在行走狀態，進而誤判使用者的計步位移距離。因此，本計畫提出，透過慣性感測器，擷取 30 筆彼此間旋轉角度差別不超過 5 度的取樣資料並求平均。但是，假如有任一筆資料的旋轉角度變化超過 5 度，將視作手機平台處於原地翻轉晃動的狀態而重新計算計步位移量。此外，假使 30 筆三軸線性加速度計的取樣資料的旋轉角度變化都介於平均值 $\pm 5$ 度以

內，則判斷手機平台可能為正在行進中或原地不動且沒有翻轉晃動。但是，假使某一筆三軸線性加速度計的取樣資料的旋轉角度超過平均值 $\pm 5$ 度，則認定手機平台處於原地翻轉晃動的狀態，則不列入計步位移量的運算中，並且重新取得 30 筆彼此間旋轉角度差別不超過 5 度的三軸線性加速度計的取樣資料並求平均。

圖 12 為無須基礎設施的「慣性定位定向技術」的整體軟硬體架構與模組流程圖，其說明如下：

- Walk Detection (WD) & Location Estimation (LE) 模組：(1) 呼叫 Sensor Manager 介面；(2) 啟動 Accelerometer Driver；(3) 透過 Accelerometer，使用「慣性導航定位法」，定位出待定位目標者的位置(4) 進入 Orientation Estimation 模組。
- Orientation Estimation (OE) 模組：(5) 呼叫 Sensor Manager 介面；(6) 啟動 E-Compass Driver；(7) 透過 E-Compass，判讀待定位目標者的方向；(8) 進入 Map Generation 模組。
- Map Generation (MG) 模組：(9) 使用 Android 作業系統提供的 OpenGL ES 程式庫；(10) 繪製 2D 室內平面地圖；(11) 進入 Map Matching 模組。
- Map Matching (MM) 模組：使用「室內地圖繪製及室內定位位置匹配法」，在圖形化的介面在 2D 室內平面地圖上，繪製定位與定向結果。



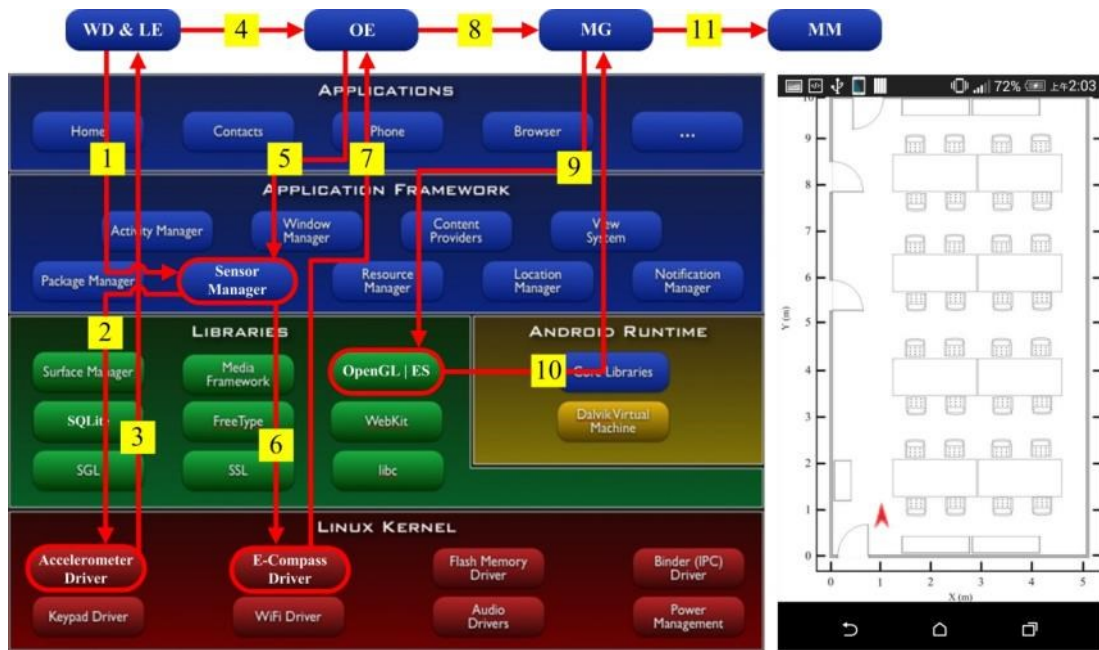


圖 12：「慣性定位定向技術」的整體軟硬體架構與模組流程圖。

### 同步定位定向與建圖顯示技術

一旦完成準確且靈敏的計步器技術，再乘上使用者的步長，在不需要依賴與建置外部的感測辨識等基礎設施，即可得到位移距離  $S$ 。同時，根據電子羅盤(E-Compass)的方位角來持續地判讀使用者的方向。一旦完成室內定位與定向估測之後，產生 2D 室內平面地圖，將起始位置座標與位移距離  $S$  代入 2D 室內平面地圖中做匹配，最後將使用者位置與方向顯示在 2D 室內平面地圖上，以完成整合室內慣性定位定向與建圖技術。圖 13 為基於三軸線性加速度計與電子羅盤所實現的整合室內同步慣性定位定向與建圖技術的初步實作結果。

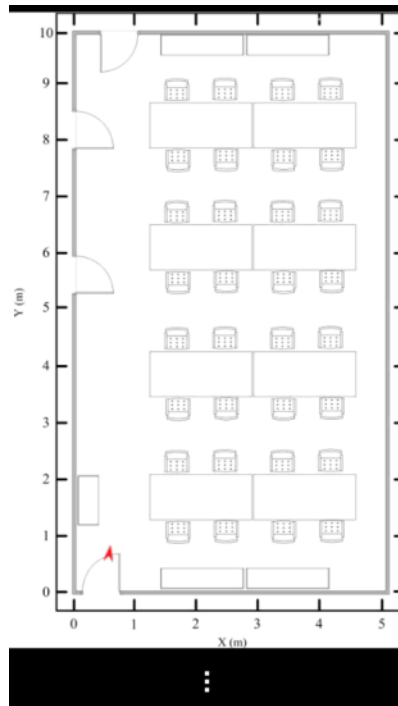


圖 13：整合室內同步慣性定位定向與建圖技術的實作展示結果。

此外，本計畫針對圖 2 中的 3) 路徑規劃技術與 4) 實境導航技術，也提出與完成「相鄰串列最佳化路徑地圖的迪科斯徹路徑規劃方法」、「Wiener-Deconvolution Edge-Line Polyline 地板偵測方法」及「IMU-Optical-Flow Pose Estimation 擴增實境導航路徑顯示法」三種創新的理論與實作方法，詳細解釋如下：

### 三、相鄰串列最佳化路徑地圖的迪科斯徹路徑規劃方法

一套導航系統中，路徑規劃是極為重要的一個部分，但是傳統的路徑規劃與地圖建立方法，不僅執行效率低，地圖資料庫的建立也十分複雜，使用上並不方便，為配合本實驗室與核能研究所合作的「感測辨識技術於核設施除役工程之擴增實境應用研究」計畫，本計畫決定以基於傳統迪科斯徹路徑規劃演算法來進行改良，透過地圖資料庫的最佳化，簡化執行流程，在維持準確性的前提下，將

執行所需時間降到最低。實作結果顯示，基於相鄰串列最佳化的迪科斯徹路徑規劃演算法在越大的場景中，執行時間可以得到越明顯的改善。

迪科斯徹路徑規劃演算法(Dijkstra)，會建立一棵最短路徑樹，從起點向外搜尋，比較與點相連的所有節點，選擇一個最近的節點，將其加入最短路徑樹中，並記錄其距離，接著對於所有的路徑進行鬆弛(Relaxation)，找出最短距離後，再把前一節點記錄下來，然後將起點移動至目前的節點，重複執行上述步驟，直到所有節點都加入最短路徑樹後，即完成路徑規劃，詳如圖 14 之流程圖。

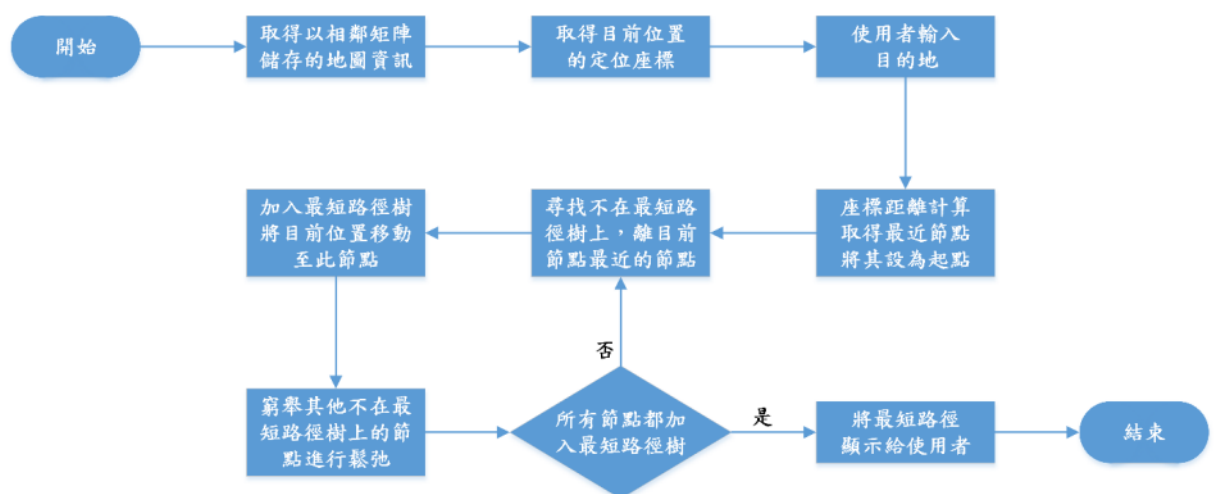


圖 14：傳統迪科斯徹路徑規劃演算法之流程圖。

在目前節點與下一節點間，先找出一條路徑並記錄下來，之後再去探索別條能夠抵達下一節點的路徑，並將其權重與前面紀錄路徑的權重去進行比較，留下權重較小的路徑，重複上述步驟直到所有路徑都被找到，而這種不斷縮短路徑的動作，就是鬆弛，如圖 15 之傳統鬆弛步驟的示意圖。傳統鬆弛步驟是以窮舉的方式，無法限定合理範圍，是路徑規劃步驟中相當費時的步驟。

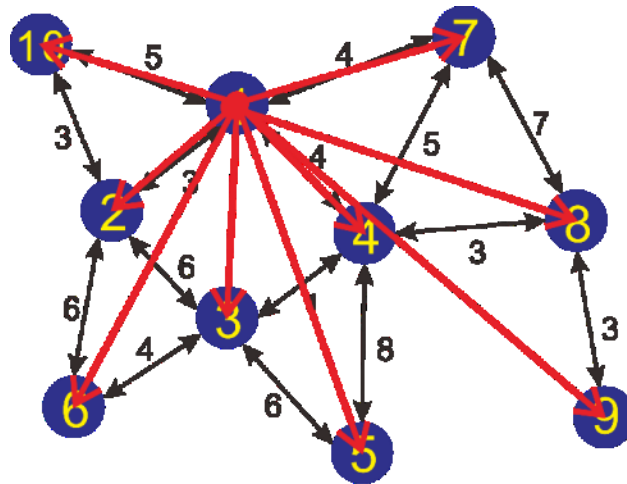


圖 15：傳統鬆弛步驟之示意圖

傳統的貝爾曼-福特路徑規劃演算法(Bellman-Ford)，會建立一棵最短路徑樹，把地圖上的所有節點都設成起點，同時向外延伸連出去的邊，延伸後接著對於不同的路徑進行鬆弛，假設該地圖共有  $V$  個節點，則需進行  $V-1$  次，找出最短距離後，再把前一節點記錄下來，將所有節點搜尋一遍後完成後，再進行負權重檢查，確定無負權重存在，即完成路徑規劃，若有發現權重為負的路徑，則必須進行修正再重新規劃。傳統的貝爾曼-福特路徑規劃演算法的缺點為由於每次執行次數固定，但是最短路徑可能在更早就已經確定，使得執行速度變慢、效率變差，另外每一次的執行都必須進行負權重檢查，同樣會影響效率，使得執行時間增加。

傳統的蟻群路徑規劃演算法(Ant Colony Optimization)，是透過模擬現實生活中螞蟻覓食的過程，以及費洛蒙的濃度變化，會影響螞蟻選擇行徑之路線，因此一開始會先將每一條路徑的費洛蒙濃度皆設為相同，接著從起點出發，在不重複經過的條件下，隨機探訪其他節點，當所有節點皆經過一次後返回起點，每當經過該路徑就增

加其費洛蒙濃度，其他路徑則減少，反覆執行以上步驟，直到收斂出最佳解，即找出最短路徑，如圖 16 之蟻群路徑規劃演算法的示意圖。傳統的蟻群路徑規劃演算法的缺點：由於探訪過程中，必須不斷地隨機探訪其他節點且更新費洛蒙的濃度，過多的探訪節點與隨機參數使得此路徑規劃方法過於複雜，大量的運算導致所需時間增加，因此本計畫不將此方法列入參考。另外隨機探訪的過程中，也可能因為費洛蒙濃度的影響，使得收斂過早，產生侷限範圍的區域最佳解，而錯失最佳的路徑規劃結果。

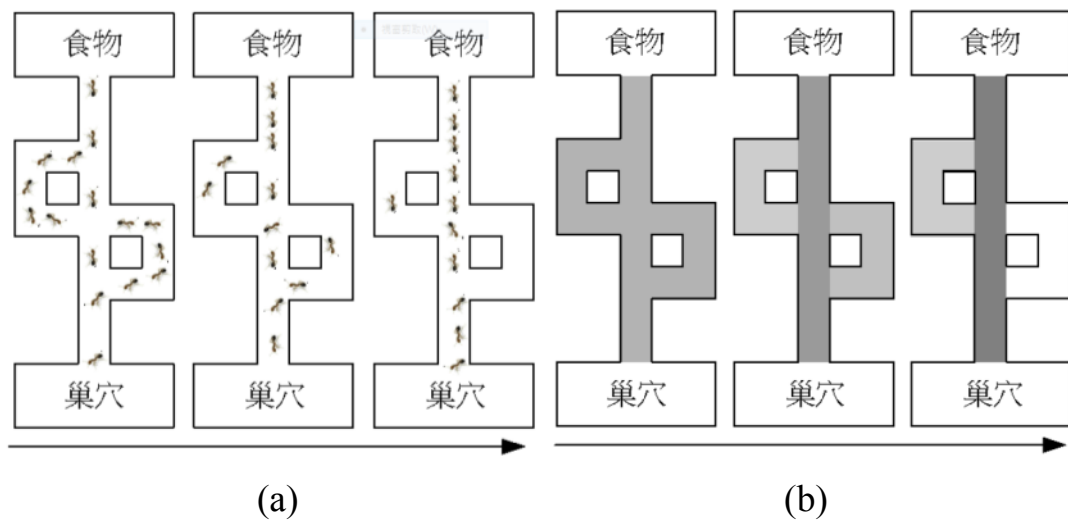


圖 16: 蟻群路徑規劃演算法示意圖之(a)螞蟻行徑路線的變化(b)費洛蒙濃度的變化。

在路徑規劃的演算法過程中，除了路徑規劃方法本身，地圖資訊建立的正確性與完整性也很關鍵，大多會以相鄰矩陣(Adjacency matrix)的形式去儲存，因為相鄰矩陣的直覺性高，讀取資料便利性高。

相鄰矩陣是用來表示節點之間相鄰關係的矩陣，當一張圖有  $n$  個節點時，相鄰矩陣就會有  $n$  階， $M[i][j]=k$  代表第  $i$  個節點和第  $j$  個節點有路可通，加權值為  $k$ [9]； $M[i][j]=\infty$ ，代表第  $i$  個節點和第  $j$

個節點無路可走； $M[i][i]=0$ ，代表自己到自己。而在無向圖中，相鄰矩陣一定是對稱的，而且對角線一定為零，有向圖則不一定如此，如圖 17 所示。

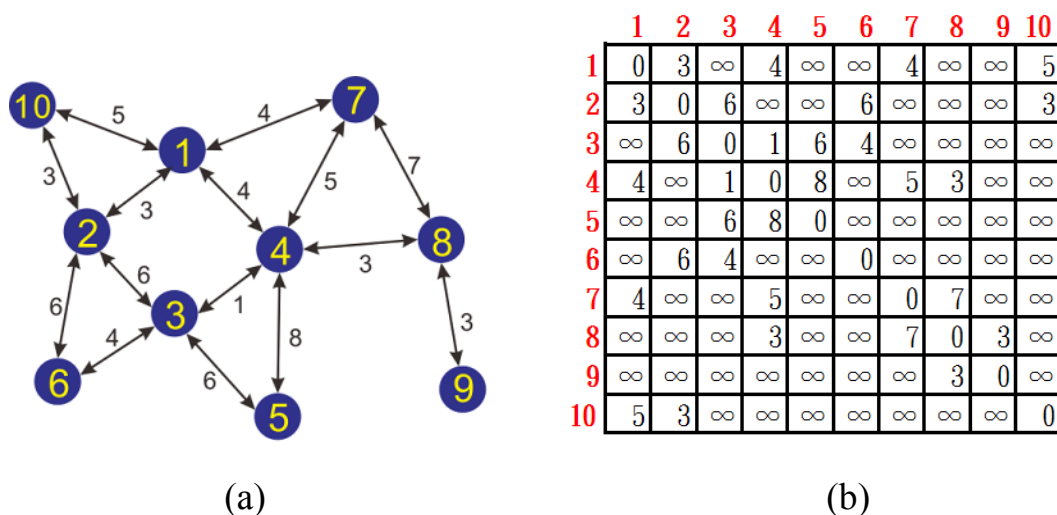


圖 17：(a)路徑地圖；(b)為(a)之相鄰矩陣路徑地圖表示法。

雖然讀取方便，但是相鄰矩陣的使用也有著潛在的問題，當節點數量增加時，所需建立的資料量也會以節點倍數的平方倍增加，大幅度增加資料建立的複雜度與困難度，且過於龐大的資料量，不僅增加記憶體的消耗，在進行路徑規劃時，所需搜尋的範圍也跟著大幅度擴大，使得程式運行時間變長，因此以相鄰矩陣去進行實際應用並不理想。

由於相鄰矩陣中，涵蓋有大量的非必要資訊，造成過多的記憶體浪費，若能簡化這些不必要的節點關係資料，必然對於路徑規劃方法的執行效率會有一定程度的優化，而相鄰串列(Adjacency list)就是簡化這些資訊後的改良版，在相鄰串列中，僅需儲存與該節點相連接的節點編號、與該節點的距離以及下一資料串的記憶體位址，相對於相鄰矩陣的龐大的資料量，大幅度簡化地圖資料庫的資料量，



如圖 18 之相鄰串列地圖表示法之示意圖。但是傳統的相鄰串列地圖表示之建立，節點與距離必須是成對儲存，還要校對記憶體位址，更必須仰賴人力去計算距離儲存資料，且當資料需要進行更新時，還必須時時注意記憶體的定址，資料依舊難以直接進行比對，因此傳統的相鄰串列地圖表示法的便利性將大打折扣。

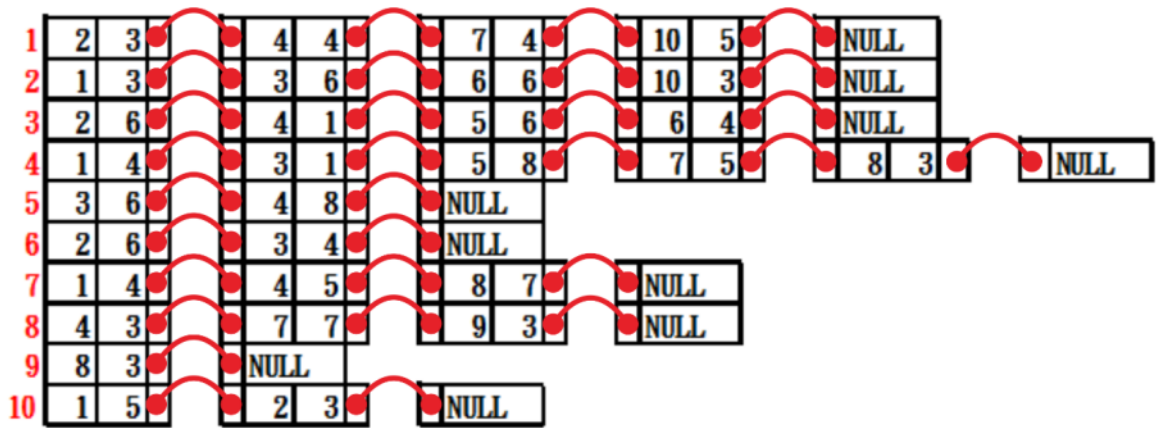


圖 18：圖 17(a)路徑地圖的相鄰陣列路徑地圖表示法。

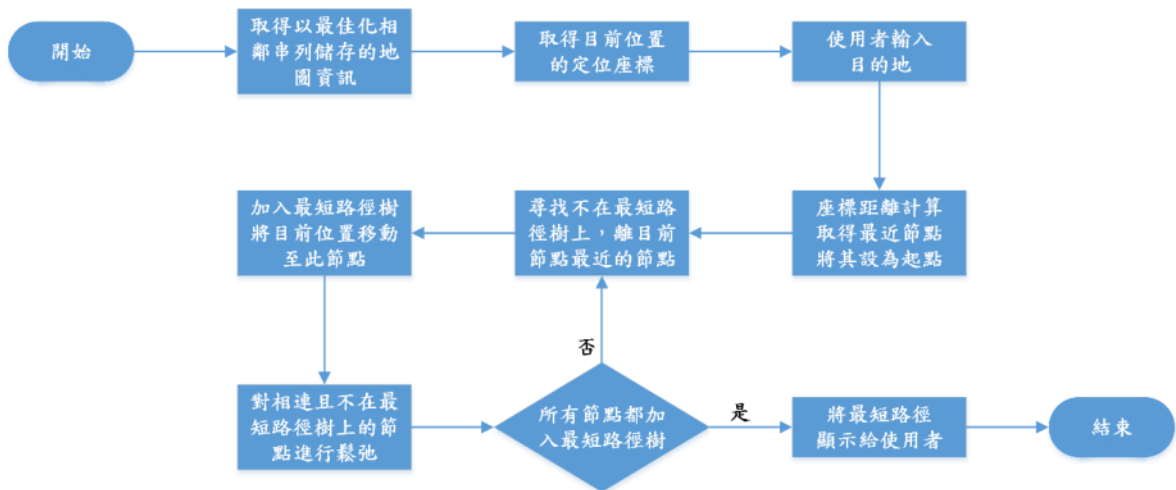


圖 19：相鄰串列最佳化路徑地圖之迪科斯徹路徑規劃方法流程圖。

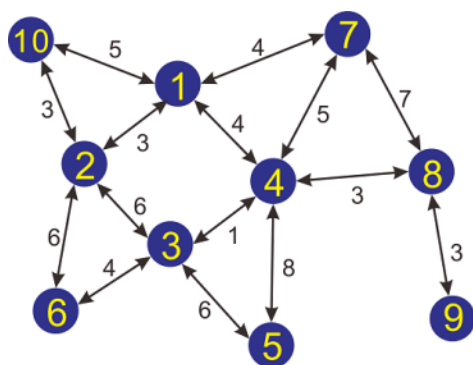
本計畫主要是針對最短路徑規畫方法來進行研究，不需考慮負權重的問題，因此選擇使用迪科斯徹演算法下去進行改良，透過更

改地圖資料庫的表示法，進而調整演算法的部分流程，期望能夠在最短時間內，得到最短且最佳的路徑規劃結果，如圖 19 之相鄰串列最佳化路徑地圖之迪科斯徹路徑規劃方法的流程圖。

本計畫主要是針對實際應用進行開發，但是在實際使用中，使用者的起點位置並不一定會剛好在我們所建立的節點上，為了使程式能夠符合應用需求，決定加入座標系統進行實作，利用座標取得準確的位置，再透過座標距離換算，找出與使用者位置最為相近的節點，再進行後續路徑規劃，使此路徑規劃法更為貼近日常使用。

### 結合座標系統最佳化的相鄰串列

由於座標本身可以利用來計算距離，結合座標系統後，在路徑規劃方法加入一個座標距離換算的副程式，進行路徑規劃的運算時，可以即時呼叫計算節點距離，因此相鄰串列的資料可以再進一步簡化，精簡後的相鄰串列僅需記錄與該節點相連接的節點編號，不僅大幅簡化地圖資訊建立的複雜度，後續對於地圖資料更新也更為容易，如圖 20 之相鄰串列最佳化路徑地圖所示。



(a)

1	2	4	7	10	
2	1	3	6	10	
3	2	4	5	6	
4	1	3	5	7	8
5	3	4			
6	2	3			
7	1	4	8		
8	4	7	9		
9	8				
10	1	2			

(b)

圖 20：(a)路徑地圖；(b)為(a)之相鄰串列最佳化路徑地圖表示法。



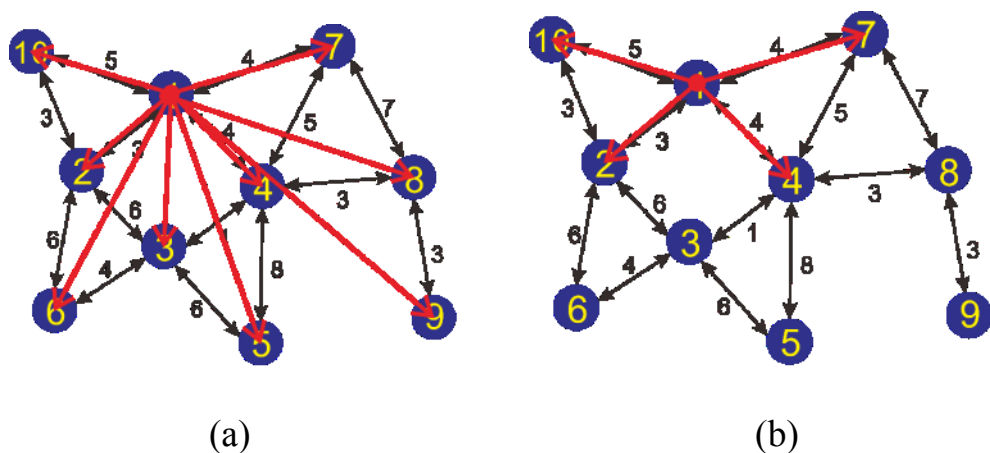


圖 21：(a)傳統鬆弛步驟及(b)最佳化鬆弛步驟的示意圖。

### 最佳化鬆弛步驟

在鬆弛的過程中，若是採用以相鄰矩陣建立的地圖資訊，由於節點間的關係不明確，無法有效侷限範圍，使得每一次在進行鬆弛時，都會將該節點與其他所有節點間的路徑通通列入考慮，無論是否有相連接。但是，在尋找最短路徑的過程中，對沒有相連的節點去進行鬆弛是沒有意義的，只是增加無謂的運算時間浪費，因此改以結合座標最佳化的相鄰串列所建立之地圖資訊，來表示清楚明確的節點關係，在鬆弛過程中，可以輕易判斷出哪些節點是與該節點有相連接的，僅針對有相連的節點去進行鬆弛，減少不必要的時間消耗，詳如圖 21 之傳統與最佳化之鬆弛步驟比較示意圖。

本計畫的實驗數據，主要是對於「傳統迪科斯徹路徑規劃演算法」、「傳統貝爾曼-福特路徑規劃演算法」以及「基於相鄰串列最佳化路徑地圖的迪科斯徹路徑規劃演算法」三種進行執行時間的比較，實驗測試地圖共有三個，分別是住家、一般學校大樓與一般學校實驗室，實驗流程如圖 22 所示。由於蟻群路徑規劃演算法適用於隨時變化的路徑地圖而探訪節點與隨機參數皆過多，使得此路徑規劃方

法的運算過程過於複雜且費時，本計畫將不把蟻群路徑規劃演算法列入實驗數據的比較。

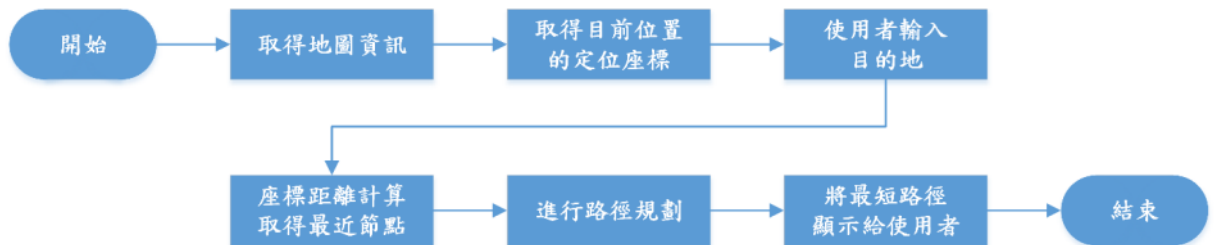


圖 22：路徑規劃方法比較實驗的方法流程圖。

實驗時，分別對三張地圖去進行五組不同的起點與終點測試，每一組都會使用三種不同方法去進行路徑規劃，規劃完成後再去進行路線驗證以及運行時間比較，進而驗證本計畫所提出之方法是否優於其他傳統方法。

第一張地圖選用一般住家，如圖 23 所示，由於一般住家的格局較為簡單，地圖相對單純，總節點數 18 個，節點數量較少，因此首先選用此地圖去進行測試，觀察在簡單的環境中，三者間是否有明顯的差異。

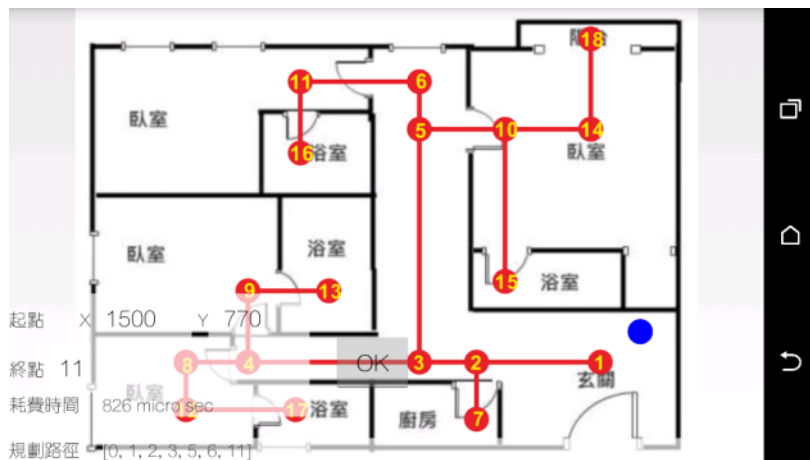


圖 23：一般住家地圖的路徑規劃實驗結果

由表 1 可以發現，三種方法皆可正確找出最短路徑，但是在程式運行時間的部分，本計畫所提出之基於相鄰串列最佳化的迪科斯徹路徑規劃演算法可以在更短的時間內達到一樣的效果，明顯優於其他兩種傳統方法。

表 1：一般住家地圖的路徑規劃的運算時間比較

	傳統迪科斯徹演算法的執行時間	傳統貝爾曼-福特演算法的執行時間	基於相鄰串列最佳化的迪科斯徹路徑規劃演算法的執行時間	規劃結果
M[1][11]	0.573 (ms)	0.877 (ms)	0.389 (ms)	相同
M[18][26]	0.719 (ms)	0.852 (ms)	0.608 (ms)	相同
M[14][9]	0.593 (ms)	0.94 (ms)	0.577 (ms)	相同
M[11][2]	0.794 (ms)	1.126 (ms)	0.624 (ms)	相同
M[18][7]	0.682 (ms)	0.941 (ms)	0.656 (ms)	相同
平均	0.672 (ms)	0.947 (ms)	0.571 (ms)	

第二張地圖選用一般學校教室，如圖 24 所示，相較於一般住家，此場地的隔間增加許多，且許多教室都有前後門，總節點數 47 個，節點數量增加，節點間的關係也更為複雜，因此接下來選用此地圖去進行測試。

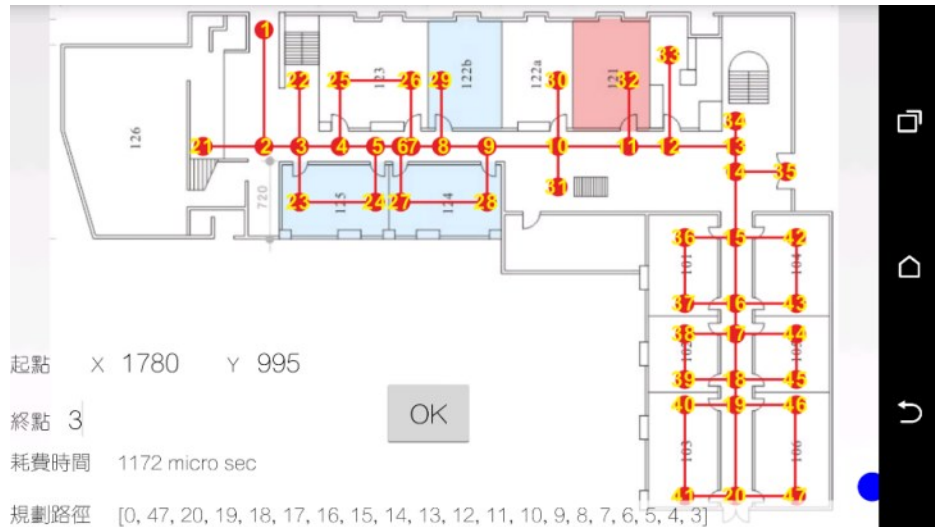


圖 24：一般學校大樓的路徑規劃實驗結果

由表 2 可以發現，三種方法同樣皆可正確找出最短路徑，而程式運行時間的改善，更較前一簡單地圖明顯，本計畫所提出之基於相鄰串列最佳化的迪科斯徹路徑規劃演算法在越為複雜的地圖中，優化程度有更明顯的趨勢。

表 2：一般學校教室的路徑規劃的運算時間比較。

	傳統迪科斯徹演算法的執行時間	傳統貝爾曼-福特演算法的執行時間	基於相鄰串列最佳化的迪科斯徹路徑規劃演算法的執行時間	規劃結果
M[47][3]	1.079 (ms)	6.894 (ms)	0.823 (ms)	相同
M[2][41]	0.91 (ms)	8.038 (ms)	0.826 (ms)	相同
M[23][47]	1.098 (ms)	6.906 (ms)	0.792 (ms)	相同
M[42][2]	0.943 (ms)	6.36 (ms)	0.837 (ms)	相同
M[31][20]	0.945 (ms)	7.062 (ms)	0.918 (ms)	相同
平均	0.995 (ms)	7.052 (ms)	0.839 (ms)	

第三張地圖選用一般學校實驗室，如圖 25 所示，此地圖內的格

局明顯複雜許多，許多教室內還存在著小教室或小隔間，總節點數 62 個，節點數量大增，使得路徑規劃的難度上升，因此選用此地圖。

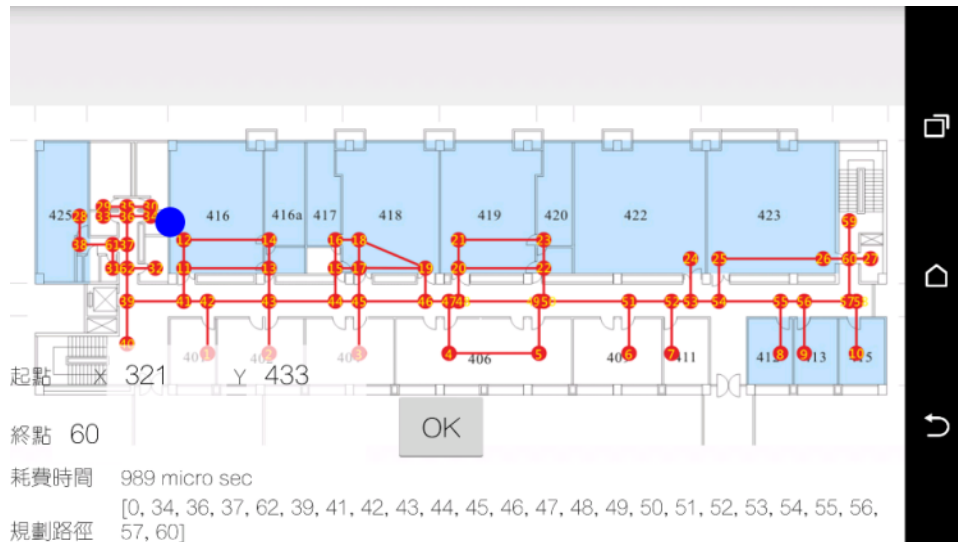


圖 25：一般學校實驗室的路徑規劃實驗結果

由表 3 可以發現，三種方法所規劃之最短路徑接正確無誤，但是在程式運行時，節省的時間幅度差距又拉開一段，由此可知本計畫所提出之基於相鄰串列最佳化的迪科斯徹路徑規劃演算法，對於複雜地圖有更好的處理能力。

表 3：一般學校實驗室的路徑規劃的運算時間比較。

	傳統迪科斯徹演算法的執行時間	傳統貝爾曼-福特演算法的執行時間	基於相鄰串列最佳化的迪科斯徹路徑規劃演算法的執行時間	規劃結果
M[10][31]	1.218 (ms)	8.892 (ms)	1.015 (ms)	相同
M[34][60]	1.082 (ms)	10.345 (ms)	0.878 (ms)	相同
M[23][7]	1.164 (ms)	8.498 (ms)	0.984 (ms)	相同
M[10][40]	1.11 (ms)	9.503 (ms)	0.93 (ms)	相同
M[35][26]	1.166 (ms)	11.303 (ms)	0.986 (ms)	相同

平均	1.148 (ms)	9.708 (ms)	0.959 (ms)	
----	------------	------------	------------	--

由表 4 與表 5 可以得知，本計畫所提出之基於相鄰串列最佳化的迪科斯徹路徑規劃演算法在執行效率上，是較傳統方法更為優良的，且隨著地圖越為複雜，優化程度就越為明顯，因此本方法具有其實作價值。

表 4：傳統迪科斯徹演算法與基於相鄰串列最佳化路徑地圖的迪科斯徹路徑規劃演算法的執行時間改善率比較

	傳統迪科斯徹演算法的執行時間	基於相鄰串列最佳化的迪科斯徹路徑規劃演算法的執行時間	執行時間改善率
一般住家地圖	0.672 (ms)	0.571 (ms)	15.03%
一般學校大樓地圖	0.995 (ms)	0.839 (ms)	15.52%
一般學校實驗室地圖	1.148 (ms)	0.959 (ms)	16.46%

表 5：傳統貝爾曼-福特演算法與基於相鄰串列最佳化路徑地圖的迪科斯徹路徑規劃演算法執行時間改善率比較

	傳統貝爾曼-福特演算法的執行時間	基於相鄰串列最佳化的迪科斯徹路徑規劃演算法的執行時間	執行時間改善率
一般住家地圖	0.947 (ms)	0.571 (ms)	39.7%



一般學校 大樓地圖	7.052 (ms)	0.839 (ms)	88.1%
一般學校 實驗室地圖	9.708 (ms)	0.959 (ms)	90.12%

#### 四、Wiener-Deconvolution Edge-Line Polyline 地板偵測技術

地板偵測與切割方法(Floor Detection and Segmentation)大多被應用於自走機器人的障礙判斷以及路線規劃，為了使機器人在移動時可以藉由內部設置的感測器達到即時避開障礙物的需求，必須要分辨出地板與牆壁的區別，並且進一步地分辨行進路上出現的障礙物。本計畫所要研發的地板偵測與切割方法主要是應用於擴增實境導航，為了使導航的指示箭頭標誌可以正確地服貼於地板中央，必須要找出地板區域或者是兩旁牆壁與地板交界的牆腳線，在擴增實境導航程序一開始運行時，完成初步且精確的影像對位功能。

為了輔助擴增實境顯示導航路徑技術的貼圖，除了使用慣性量測模組(IMU)來進行貼圖修正，同時使用地板偵測方法來進行一開始的貼圖，避免只使用 IMU 方法會形成貼圖不服貼的情形。此地板偵測方法主要是基於 Canny 演算法後所找出的邊緣，把比較接近是牆腳線或者邊界線的部分進行連接，以成功標示出兩旁邊界線，中間的區塊便是我們要尋找的地板區塊。其詳細的技術流程圖，如圖 5 所示。

在圖 5 的精確地板偵測與切割技術流程圖中，首先是先進行二值化影像處理，再取高斯模糊化，降低複雜環境資訊。綠色框選區域部分為 Canny 演算法取得為實際邊緣的線段，因實際上地板貼圖需求，畫面中比較遠的區域本身地板區域比較小，另外在貼圖的時

也不太會去利用到上半部的圖像，所以邊緣線部分只偵測圖像的下半部份，另可以減少程式運算負擔，增加運行速度及每秒偵數，再透過一些過濾方法來篩選出地板區域的邊緣與牆腳線，以便顯示在實際場景中。

在地板偵測與切割技術流程圖中的過濾方法，一般傳統都是採用輪廓(contour)過濾法，輪廓過濾法是將已經找到的邊緣進行選擇性連接，用此方法可以把場景中比較強烈的邊緣做連接，通常一張正常的走廊場景，找到的邊緣通常就是兩旁牆壁與地板的連接線，以及一些場景中兼具有的障礙物。此方法的優點是除了可以找出牆腳線之外，也可以分辨出現實場景中的障礙物部分。缺點是在影像辨識中，光影變化以及地板紋路被當作是強烈的特徵點，此方法也會將這兩種狀況的特徵點取出並連線，另外當地板與牆壁色彩十分接近時，也會有找不到特徵線的狀況發生，如圖 25 所示。

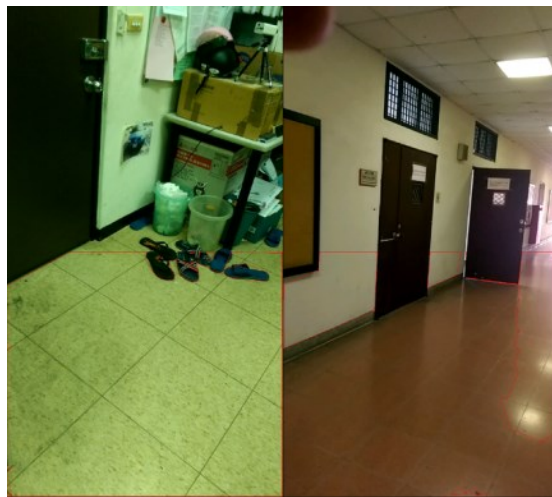


圖 25：應用輪廓過濾方法的地板偵測與切割技術的結果。

在圖 25 中的左圖，輪廓過濾法可以取得正確的牆腳線，但是在門的下緣區域，由於顏色與地板相近，找不到太多可靠的特徵點，



所以邊緣線不能被偵測出來。另外，在右圖中，也因為光影反射的關係，少了一塊地板區域，由此可見，輪廓過濾法深受光影反射問題所擾，因此此方法並不可靠。

EdgeLine 方法主要是利用找出畫面中強烈的特徵點做連線後，把每一條直線的末端接點(End Dots)當作是一個特徵點，再進一步去做連線的動作，其原理是利用找到的連線通常為現實走廊場景中強烈的線段，例如門或者是一旁障礙物的輪廓所形成的垂直線，末端點通常都與地板做連接，把所有找到的末端點做連線後就是需要的地板區域。此方法的優點是正常的走廊圖像中，兩旁找到的線段末端點關鍵且單純，可以有效地切割地板區域。缺點是當場景過於複雜以致於尋找到太多特徵點時，會使得線段末端點過於繁多，在連線時會有誤判的情形，也會有地板區域不符合實際場景的狀況發生，如圖 26 所示。

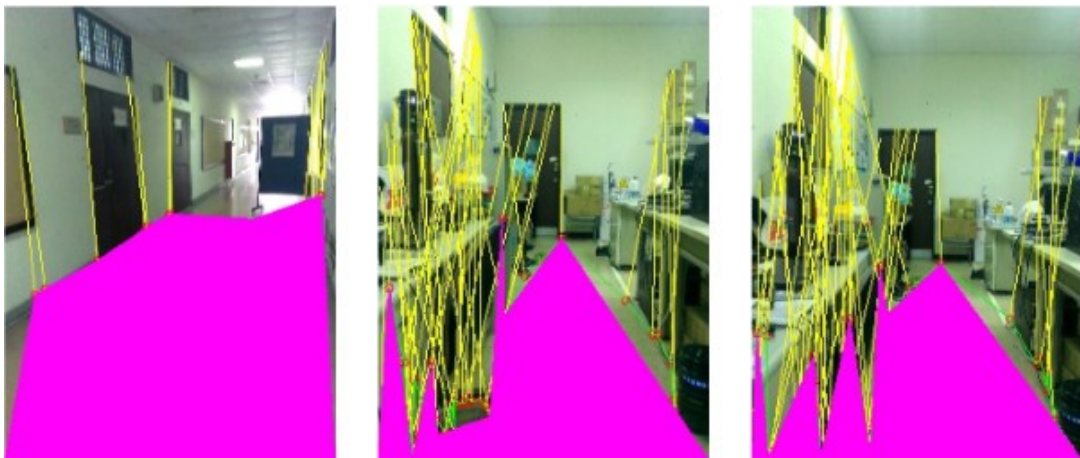


圖 26：應用 EdgeLine 過濾方法的地板偵測與切割技術的結果。

在圖 26 中，右邊的圖片其場景特徵點較為單純，所以可以比較準確地切割地板區域，但是左邊兩張圖因為場景特徵點過於繁雜，導致線段末端點過多，並且在提高解析度至 960\*540 之後，因為圖

片特徵點變得更多而導致運行速度變慢，最終結果也無法很正確地切割地板區域，所以此方法也不可靠。

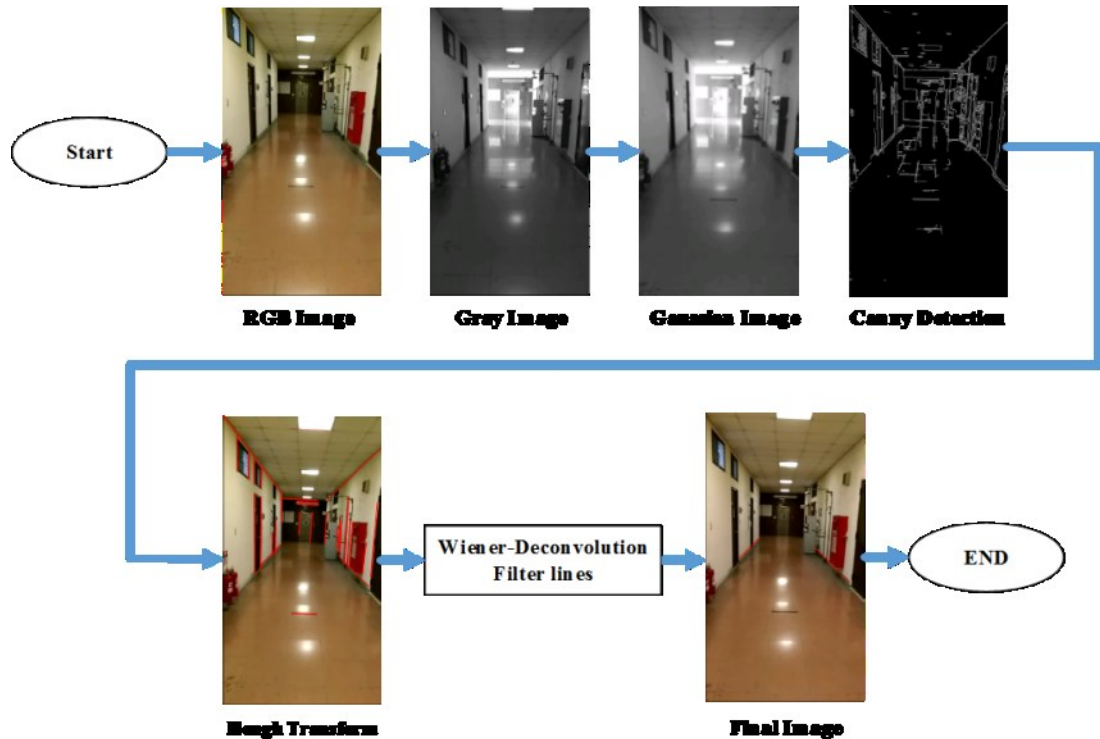


圖 27：Wiener-Deconvolution Edge-Line Polyline 地板偵測技術的流程圖。

圖 27 為本計畫所提出的「Wiener-Deconvolution Edge-Line Polyline 地板偵測技術」的流程圖，上半部分的主要工作為尋找邊緣，一開始先把輸入影像轉成灰階影像，為了把一些細小的特徵點去除掉，使用高斯模糊化使得場景特徵資訊，下半部分利用 Hough Transform 找出較為強烈的直線，再利用 Wiener-Deconvolution 邊緣強化方法來過濾需要的線段，然後比對過真實走廊場景之後，可以推測出正確應該存在的牆腳線大致上位於何處，以及其方向性也有一定的規律，用此方法進行過濾，最後標示出正確的牆腳線。

在影像處理的領域中，尋找有效的特徵點是一件非常重要的事

情，不管是尋找自己想要的區塊或是過濾掉不需要的區塊，都需要找尋必要的特徵點，所以影像處理相關技術中有不少對於尋找特徵點或是過濾特徵點的方法，以下會講解一些此方法有運用到的部分技術。

高斯模糊化：當包含地板的彩色影像輸入時，首先將彩色影像轉換為灰階影像，並且利用高斯模糊化降低複雜環境資訊，只留下較為明顯資訊，如圖 28 所示。



圖 28：高斯模糊化的結果圖。

影像邊緣資訊：將灰階影像由高斯模糊化過後，可降低複雜環境的資訊，接著經由 Canny 邊緣偵測演算法取得邊緣資訊，再從較強的邊緣資訊取得輪廓，如圖 29 所示。



圖 29：尋找影像邊緣資訊的結果。

霍夫轉換(Hough Transform)是一種圖像處理中從圖像中識別幾何形狀的基本方法之一，應用很廣泛並有多種改進演算法。最基本

的霍夫變換是從黑白圖像中檢測直線(或稱為線段)。另外在使用霍夫變換的時候，輸入影像必須先做過偵測邊緣(Edge detection)，另輸入影像必須二值化處理過。在霍夫變換方法中，直線主要以極座標  $(r, \theta)$  來表示，主要實現霍夫變換的概念是，將所有可能通過該特徵點的直線繪製成極座標圖，最後會得到一條正弦曲線。如圖 30 所示。當通過同一極座標點的曲線數目大於內部自訂的閾值，此極座標所代表的直線就是現實中實際存在的直線。

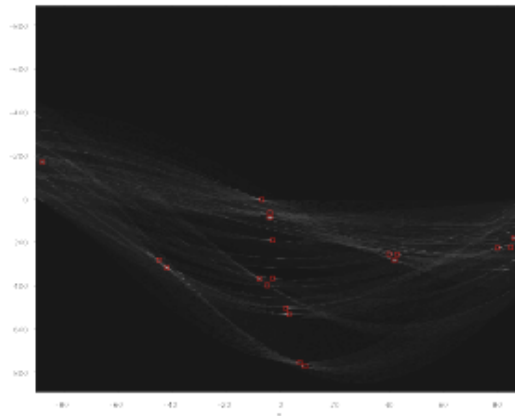


圖 30：經由霍夫轉換演算法的影像處理結果。

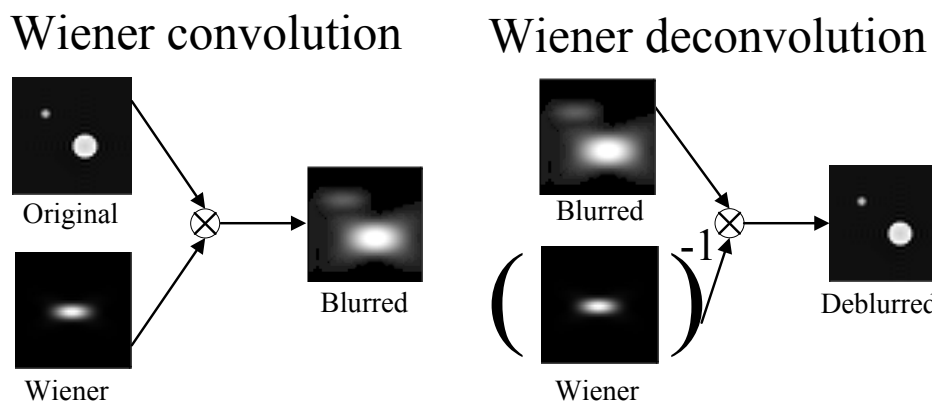


圖 31：Wiener-Deconvolution 邊緣強化法的示意圖。

Wiener-Deconvolution 邊緣強化過濾方法，簡單來講是將模糊的

特徵去模糊化的一個方法，將 Hough transform 取得的線段再更進一步地強化，順便會過濾掉一些不明顯的線段，其中也可以特定角度去做強化，其餘線段會被過濾掉，如圖 31 所示。

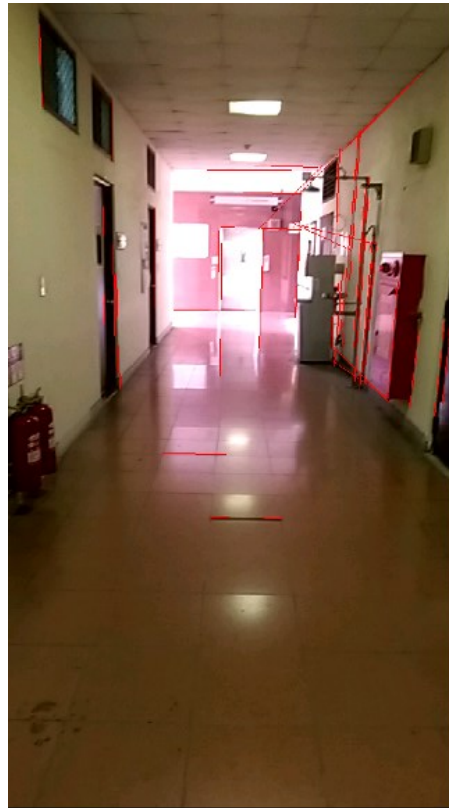


圖 32：經過霍夫轉換與 Wiener-Deconvolution 邊緣強化後的走廊場景。

對於經過霍夫轉換與 Wiener-Deconvolution 邊緣強化過濾方法後，可以取得較為可靠的直線區域，但是場景中可能還是會有水平方向的線段，對於真實的走廊場景中，牆腳線不應該存在著水平方向的線段，又或是場景中有過於垂直的線段，也與現實場景中的牆腳線不符合，如圖 32 所示。

從圖 32 中會發現，場景中間部分會有因光影反射所導致的錯誤線段，不屬於牆腳線的區塊，還有兩旁因為門、柱子、飲水機所找

到的垂直線，這些線段也不符合本方法所需要的牆腳線，所以要把這些線段給移除掉。下面幾個章節將會詳細地介紹如何進行線段的過濾。

在一張正常的走廊場景中，兩旁通常會有門、窗、或是一些擺設物，在影像處理過程中，這些物件往往會因為特徵點明顯而取得它們的邊緣線，但這些線段不是我們所需要的牆腳線，如圖 33 所示。

在圖 33 中，黃線是此方法需要的牆腳線，綠色圓圈圈起來的部分為場景中較為明顯的垂直線，這些線段是需要被去除掉的，由於這些線段有個特點都是屬於 90 度左右垂直線，所以可以利用此點將其過濾掉。

此外，有一些線段是由影像處理中比較難以避免的光影反射或是地板紋理所產生的，這些因為特徵點多所產生的線段，通常出現在地板上，並且是屬於水平或是垂直線段，這些線段也不是我們所需要的牆腳線，如圖 34 所示。

如圖 34 所示，綠色圓圈處這些經過光影反射或是地板紋路所造成的線段，在傳統的地板切割方法往往是十分致命的缺點，又難以去改進，不過本方法因為不拘泥於切割整塊地板區域，而是以找出兩旁牆腳線為主要目標，所以出現這種線段時，可以不予理會直接去除。



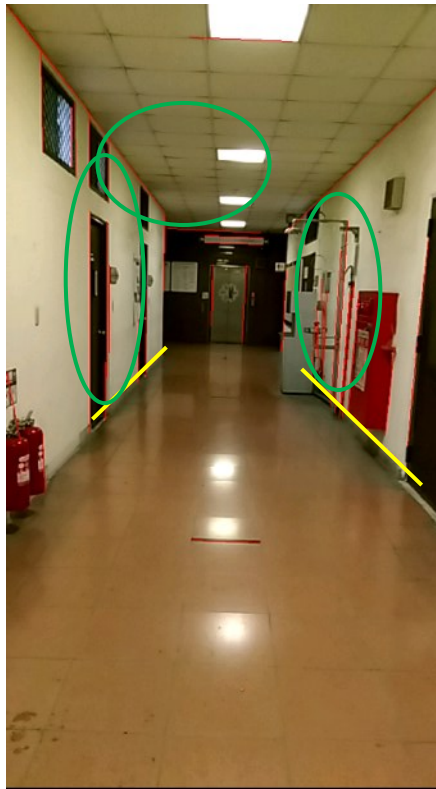


圖 33：垂直線段的過濾示意圖。

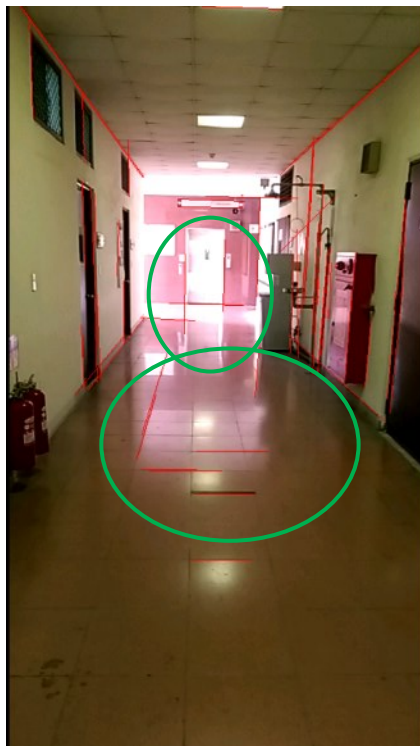


圖 34：光影反射或地板紋路的過濾示意圖。

經過剛剛兩種方法過濾不必要的線段之後，現在會剩下靠近兩旁牆壁的一些線段，既不是垂直線也不是水平線，拿多張走廊場景圖片比對後發現，這些線段有時候會發生一些不可能在現實場景上出現的狀況。如果把場景圖片分成左右兩邊來比對的話，會注意到右半邊的牆腳線應該為從右下往左上延伸的一條斜直線。相對的，左半邊的牆腳線則為左下往右上延伸的一條斜直線，如圖 35 所示。

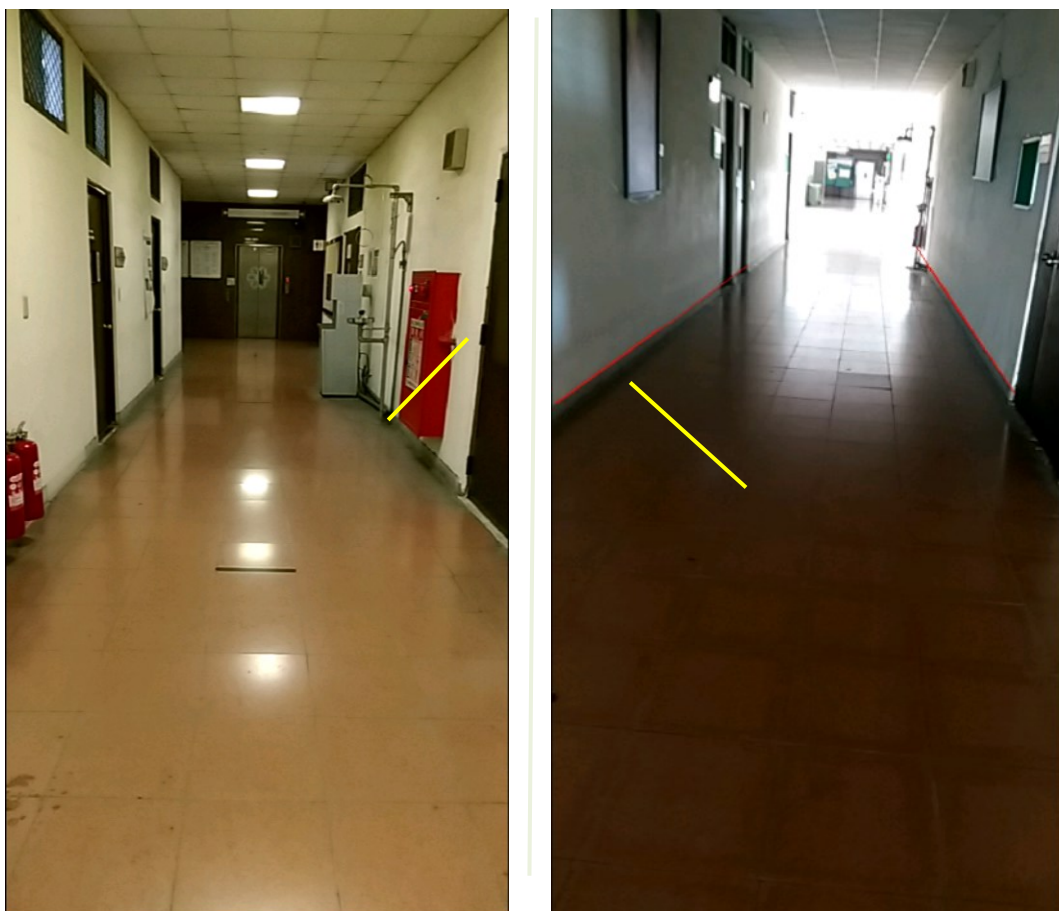


圖 35：(a)真實場景的過濾示意圖；(b) 最後牆腳線偵測結果。

在圖 35(a)中，白線把圖片分為左右兩邊，其中黃線為此方法要尋找的牆腳線，利用與實際場景比對後，可以把不可能發生的狀況給去除掉，例如在右半邊出現了不是右下往左上的斜直線，那條直線就必定不會是牆腳線，同理，左半邊如果出現不是左下往右上的斜直線，也可以將其去除掉，因為那些不是此方法所需要找尋的牆



腳線。經過上面三種方法過濾線段之後，會取得幾乎剩下牆腳線的圖片，如圖 35(b)所示。

如圖 27 所示，以下三個實驗結果分為三種牆腳線過濾方法來做比較：輪廓過濾方法、EdgeLine 過濾方法及 Wiener-Deconvolution 邊緣強化過濾方法。

本計畫所提出的 Wiener-Deconvolution 邊緣強化過濾方法在運算速度上並沒有特別地突出，而是準確度部分相較於其他方法提高了不少，並且由於最終目的為擴增實境導航的初始影像對位功能，並不需要經常地去執行此 Wiener-Deconvolution 邊緣強化過濾方法。在本實驗中，以找出兩旁牆腳線當作正確地偵測圖像，只有一邊的話便是錯誤的偵測，以此基準來計算正確率的部分，表 6 為輪廓過濾方法、EdgeLine 過濾方法及 Wiener-Deconvolution 邊緣強化過濾方法等三個方法的比較。

表 6：三種不同過濾方法的地板偵測與切割方法的比較

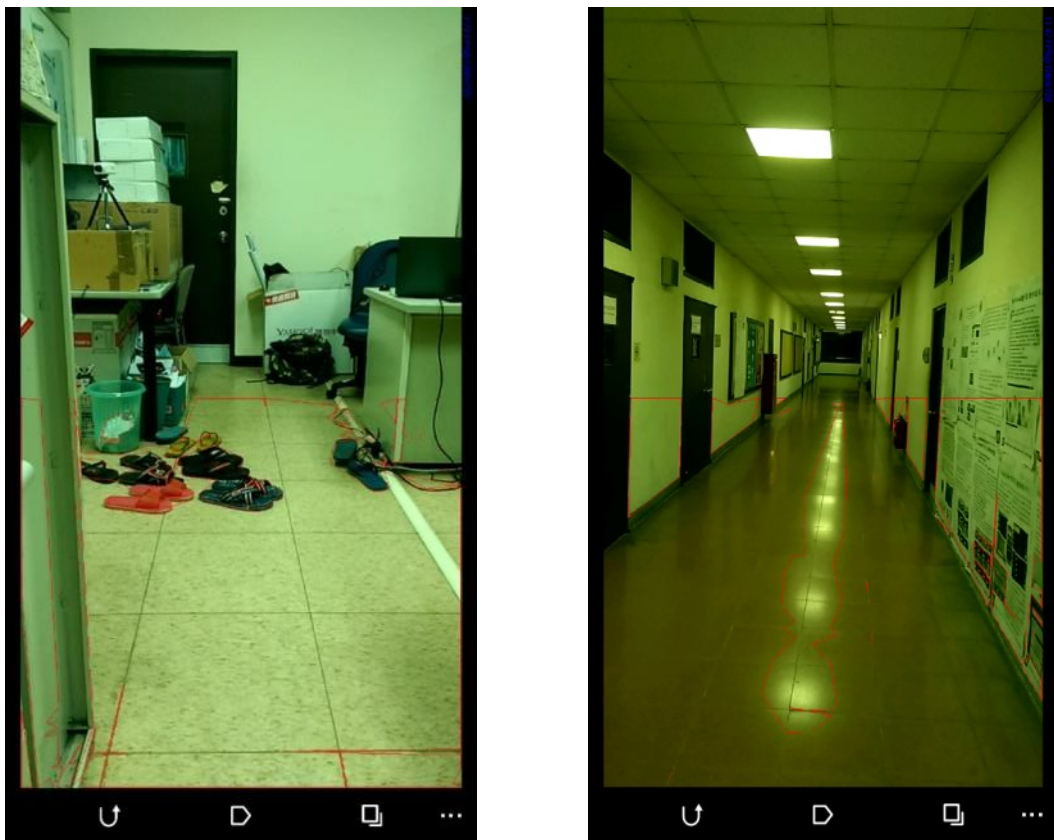
	平均每幅執行時間	正確率
EdgeLine	0.91s	65%
Contours	0.21s	76%
Wiener-Deconvolution	0.36s	91%

樣本數：250 張

圖 28(a)顯示本方法可以切割出地板區域，並避過障礙物部分，不過有一些是靠近邊線，但不是地板區域的線，也同時被顯示出來，但不影響目前結果，另外比較需要注意的是地板本身如果有陰影或較明顯的邊緣，也有機會一併顯示出來。圖 28(b)顯示了影像處理一個比較重大的問題，光源反射容易被當成障礙物，又或者是地板區

域與門差異不大的時候，就沒有辦法有效的找到邊界線。

此方法對於找尋兩旁邊緣線跟以往程式比較起來已經有很高的正確性，只是同時也有產生一些不必要的線段，目前正嘗試著利用影像處理部分來消除掉或是利用 IMU 的輔助來更正確的定位出兩旁邊緣線段。



(a) (b)  
圖 28：(a)實驗室與(b)走廊的地板偵測與切割方法的實作結果。

## 五、IMU-Optical-Flow Pose Estimation 擴增實境導航路徑顯示法

目前擴增實境導航技術與一般擴增實境技術的差異之處在於擴增實境導航技術需要巨大的位移、旋轉、縮放等變動量。相較於一般擴增實境技術只是在固定空間內進行複雜的擴增實境影像對位與

重製繪圖，擴增實境導航技術還需要做到即時與準確兩大要素。但是一般擴增實境技術需要相當的運算能力與硬體需求，如果再應用於導航系統上將會影響導航的效果，而影響擴增實境導航準確度與即時性將會造成重大的事故，因此致力於降低擴增實境導航技術的整體運算量開發，以便實現即時與準確的擴增實境導航技術。

擴增實境主要分為 Registration、Pose Estimation、Render 三大步驟，如圖 29 所示。

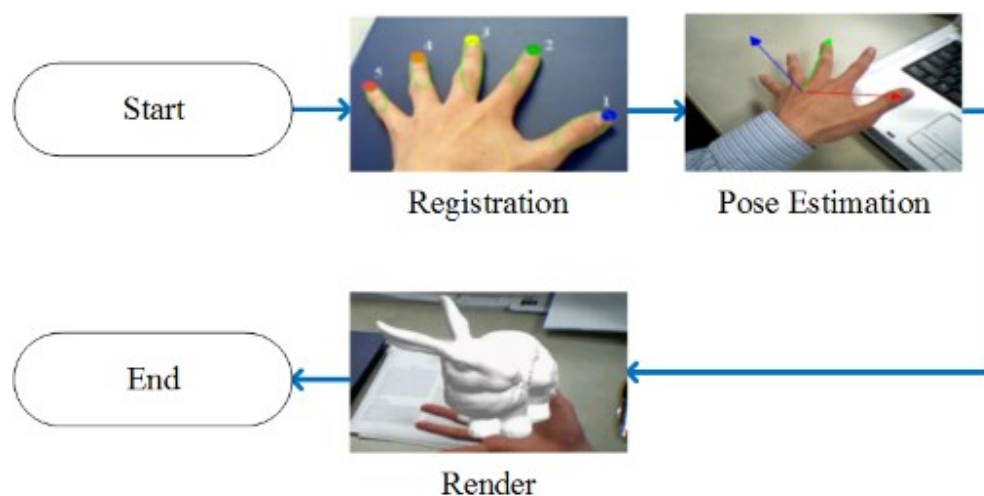


圖 29：一般擴增實境技術的流程圖。

為了有效提升 Registration 成功率，多著重在影像偵測的處理，如：SIFT、SURF、FAST、Harris 等再配合其他濾波器，如：Gaussian Filters、Kalman Filter 等的相關研究，此外，如果只使用偵測方法將會使影像對位的部分不完整，因此，需加入追蹤技術，當影像特徵點匹配成功後，轉為影像追蹤，可提高整體完整度與影像流暢度，通常追蹤方法大都以 Optical Flow 為主；然而，只靠特徵點與追蹤仍然無法使擴增實境技術完整，因此，有不少學者、專家針對 IMU 進行研究，改善擴增實境技術的 Registration。

上述研究方法不外乎就是要使擴增實境的旋轉、位移、縮放等動作更佳精準，根據目前的擴增實境效果，如果只在固定空間內進行移動、旋轉、縮放已經可以達到近乎完美的境界，但將其應用於導航系統時，與在固定空間內的一般擴增實境相比，需要更複雜的變動量計算與提升擴增實境的流暢度，才可使導航技術更加完美，避免系統延遲造成使用者發生不測或誤差。

傳統擴增實境導航可分為依靠偵測方法或透過定位基礎設施，如 RFID、WIFI、GPS 等系統進行定位，再配合其他系統實現擴增實境技術的移動、旋轉、縮放等動作，系統流程如 30 所示。

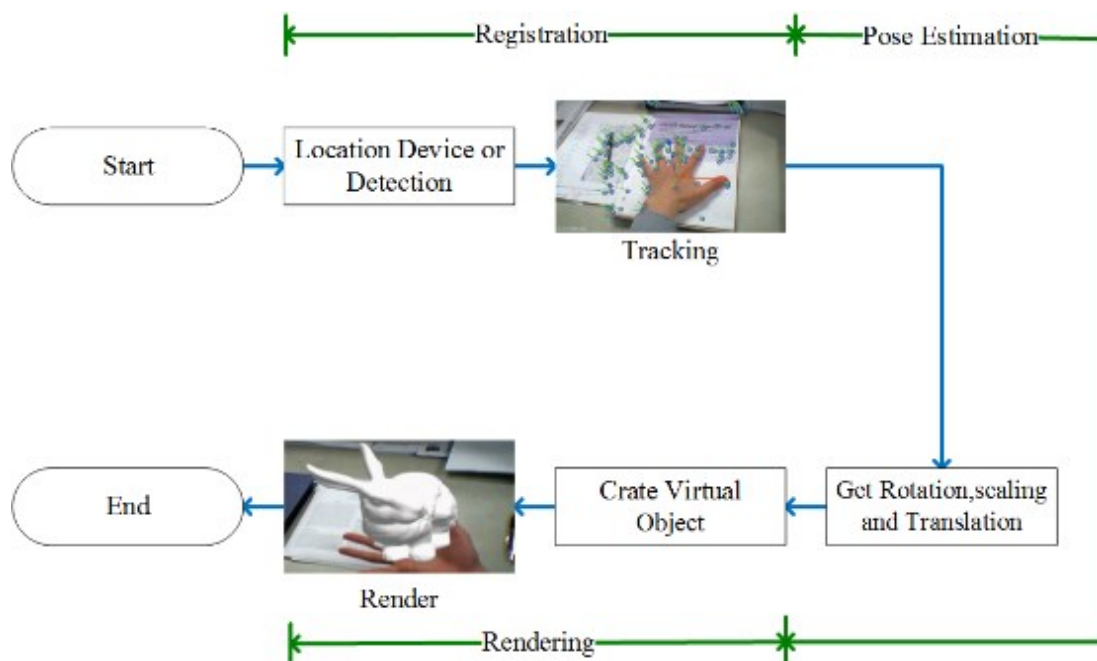


圖 30：傳統擴增實境導航技術的流程圖。

本計畫針對擴增實境導航技術的 Registration 進行研發與改進，不僅簡化了 Registration 與 Pose Estimation 步驟，也增加了系統的即時性與準確度。

本計畫使用 IMU 進行旋轉角度計算，再結合 Optical Flow 進行

位移量與縮放量的估算，這樣的方法既不靠額外架設的 RFID、WIFI 等基礎設施來進行位置計算，且避免 GPS 在室內使用狀況不佳的情形，也可省下一般擴增實境重覆影像處理的步驟，以提高整體執行效率，如圖 31 所示。

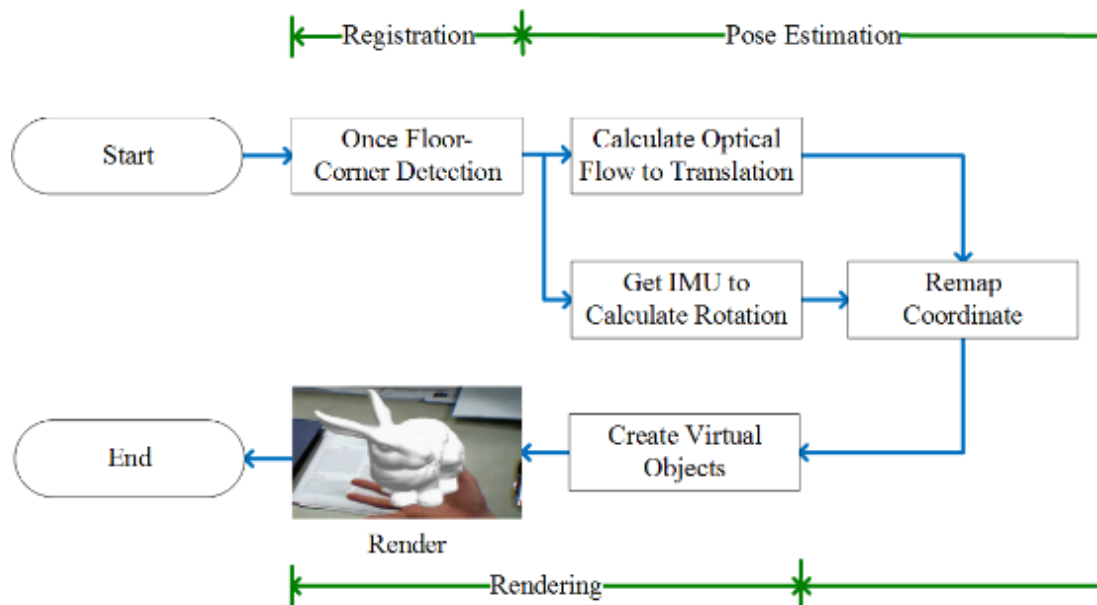


圖 31：結合 IMU 與 Optical Flow 之 Markerless 擴增實境導航系統的流程圖。

一般擴增實境系統可分為 Registration、Pose Estimation、Rendering 等程序才可實現擴增實境，主要是在尋找不同方向位置的位移、旋轉、縮放等變量，而擴增實境導航系統因為活動區域不再限制於特定空間中，因此位移、旋轉、縮放等變量將更為複雜，通常還要配合其他方法才可實現，擴增實境導航系統流程，如圖 30 所示。而擴增實境導航技術，根據 Registration 與 Pose Estimation 的不同又可分成三種方法，第一種是偵測傳統 Marker 的擴增實境導航系統，主要是利用黑白的正方形 Marker 並配合影像處理等技術解決位移、旋轉、縮放等變量來進行擴增實境導航；第二種是結合 IMU 與偵測 Natural Features 的擴增實境導航方法，主要是移除黑白的醜陋



Marker 改以自然物體當作擴增實境導航 Marker 的部分，並配合影像處理等技術與 IMU 解決位移、旋轉、縮放等變量來實現擴增實境導航技術；第三種是結合外部定位裝置的 Markerless 擴增實境導航系統，主要是依靠手持式裝置上的 Sensor 與定位基礎設施系統來解決位移、旋轉、縮放等變量，以實現擴增實境導航技術。

偵測傳統 Marker 的擴增實境導航技術，主要是強調初步的 Registration 部份，根據給予一黑白方塊的 Marker，解決擴增實境導航的解決位移、旋轉、縮放等變量，並進行定位與顯示路徑。

其原理很簡單，在影像中尋找相同特徵點的黑白 Marker 即可進行後續的定位與顯示路徑等步驟。所使用的 Marker 在現實世界中可視為強烈的特徵，因此，其優勢在於能夠精準且快速的找出目標區域進行處理方便後續效果的呈現，系統流程如圖 32 所示。

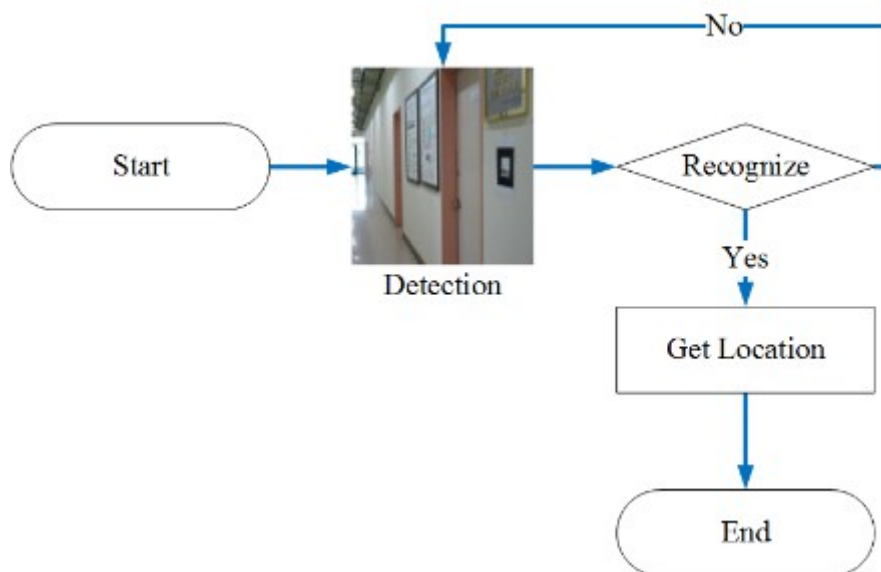


圖 32：偵測傳統 Marker 來進行 Registration 的擴增實境導航技術的流程圖。

偵測完特徵點後，依照 Marker 強烈特徵點的特性，不需其他任

何追蹤方法，只需進行連續不間斷的偵測即可當作追蹤，並依照偵測結果來計算 Homography 轉換矩陣，如圖 33 所示，轉換矩陣包含旋轉矩陣 V 與位移矩陣 W。

$$\begin{aligned} \begin{bmatrix} X_c \\ Y_c \\ Z_c \\ 1 \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} V_{11} & V_{12} & V_{13} & W_x \\ V_{21} & V_{22} & V_{23} & W_y \\ V_{31} & V_{32} & V_{33} & W_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_m \\ Y_m \\ Z_m \\ 1 \end{bmatrix} \\ &= \begin{bmatrix} \mathbf{V}_{3 \times 3} & \mathbf{W}_{3 \times 1} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_m \\ Y_m \\ Z_m \\ 1 \end{bmatrix} = \mathbf{T}_{cm} \begin{bmatrix} X_m \\ Y_m \\ Z_m \\ 1 \end{bmatrix} \end{aligned}$$

圖 33：Homography 轉換矩陣

將旋轉矩陣與位移矩陣乘上原座標點後可得到轉換過後的偏角座標點，如圖 34 所示，經過偏角校正後之座標點配合 OpenGL 進行影像對位，即可完成偵測傳統 Marker 的擴增實境導航系統的實作，如圖 35 所示。

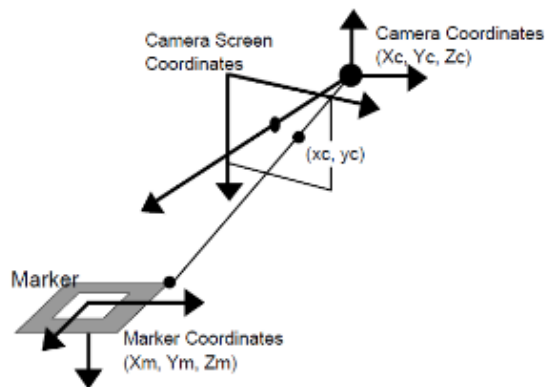


圖 34：座標點偏角校正。



圖 35：偵測傳統 Marker 的擴增實境導航成果。

優點：因使用特徵強烈的黑白 Marker，所以在偵測的部份不論任何角度都可以準確的偵測出 Marker 來進行定位與顯示路徑的效果，且因為是到定點進行偵測，因此定位的準確性非常高誤差極小。

缺點：使用時需要有 Marker 才可進行實作，如需大量使用則要建置許多的 Marker 才可，因此應用範圍受限不符合現今趨勢。

且依靠持續偵測來進行 Marker 追蹤的部份，為了使影像偵測能夠不影響擴增實境導航運作時間，將影像解析度降低方便處理，使得真實世界場景較為模糊。

如圖 36(a)、(b)所示，因特徵點太強烈，導致在偵測時只要辨識與原本乾淨 Marker 有任何不同，將會使影像對位無法進行，因此傳統 Marker 的抗遮蔽能力低。



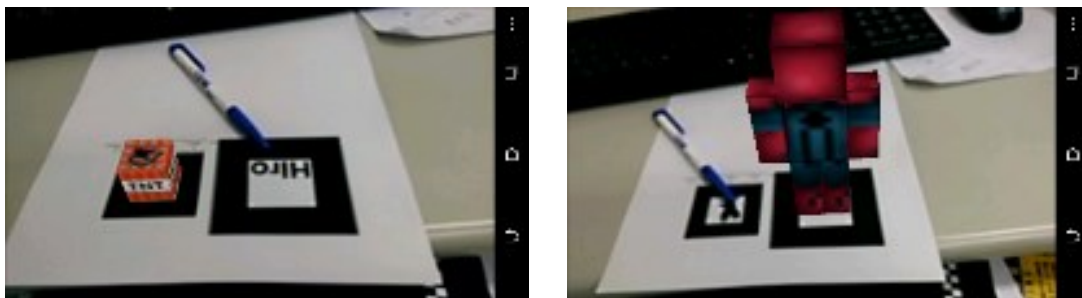


圖 36：Marker 受遮蔽時的擴增實境技術展示。

根據偵測傳統 Marker 的擴增實境導航需要在路口處或特定物品上建置許多黑白 Marker 的缺點，發展出以自然特徵當作 Marker 來進行擴增實境導航實作的方法，如：逃生標誌、門口房號、走廊上的畫像等更換率低的物體，不再受限於黑白 Marker 可依靠自然物體直接實現偵測自然特徵的部份，使擴增實境導航 Marker 在現實場景中不再突兀也不需額外的建設 Marker，再搭配其他慣性裝置系統來測量旋轉量即可完成「結合 IMU 與偵測 Natural Features 的擴增實境導航」系統的 Registration 流程圖，如圖 37 所示。

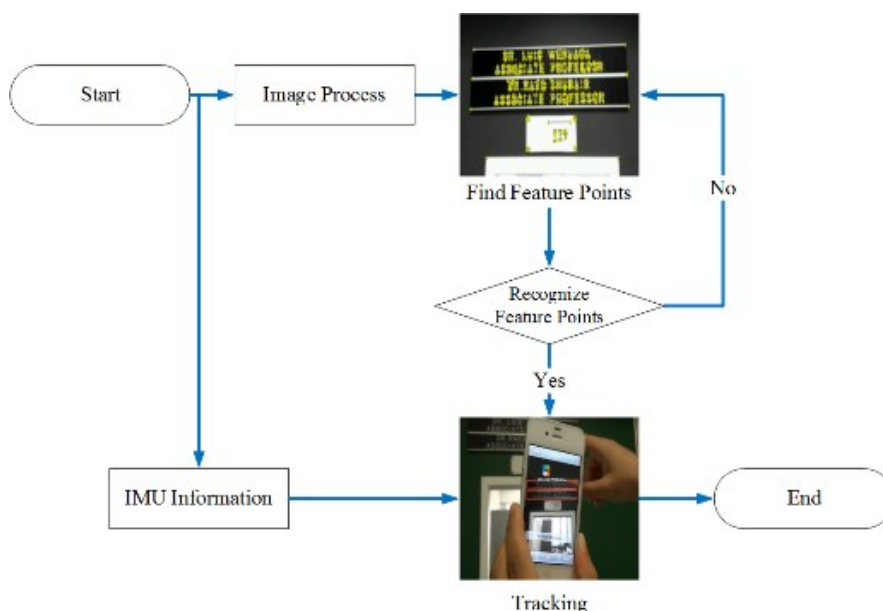


圖 37：結合 IMU 與偵測自然特徵來進行 Registration 的擴增實境導航技術的流程圖。

而要以自然特徵當作 Marker 需要有良好的偵測辨識能力，因此使用各種偵測方法來彌補偵測方面的不足，常見的偵測方法有：尺度不變特徵轉換(Scale-invariant feature transform, SIFT)、加速穩健特徵(Speeded Up Robust Features, SURF)、加速特徵分割測試(Features from Accelerated Segment Test, FAST)等方法再配合其他輔助方法，如：高斯差(Difference of Gaussians, DoG)等來提高特徵點偵測的成功率。

經過真實場景偵測特徵點後，需要在眾多特徵點中尋找目標物的自然特徵點，並進行辨識的動作，如圖 38 所示，假設欲尋找在真實場景中的原子筆，需比較真實場景中的特徵點是否有與欲尋找目標物的自然特徵點相同，如果辨識結果且確定在該場景中有欲尋找之目標物的存在，才進行後續的處理，當場景無欲尋找目標時則會出現辨識錯誤的情況，如圖 38 (b)所示。

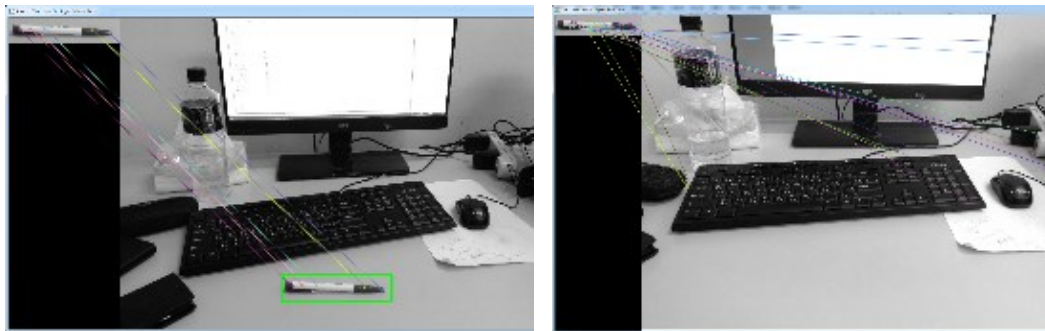


圖 38：(a)辨識成功之結果；(b)辨識錯誤之結果。

有別於偵測傳統 Marker 的擴增實境導航系統，利用持續性的偵測來代替追蹤，偵測自然特徵複雜且不易尋找，如果還是依靠持續偵測的話會造成軟硬體負擔過重使擴增實境效果不理想，因此加入追蹤方法來取代持續偵測的方式，不僅可以節省重複尋找自然特徵

點並辨識的步驟，且可快速的根據辨識到的目標物特徵點進行追蹤。

目前追蹤方法大都採用光流法(Optical Flow)，光流法是從連續影像平面中找到畫面上像素點的亮度變化，從影像平面上推導出該點的相對運動速度，即為光流向量，再以此向量來預估出該點移動方向等資訊，如圖 39 所示。

因此得知現實場景中目標物的自然特徵點後，不再依靠持續偵測改以光流法來進行目標物特徵點的移動，能夠有效地節省持續偵測的時間



圖 39：光流法特徵點追蹤。

欲得知真實場景中目標物與目前視角的偏角可利用偵測與追蹤方法的結果進行比對，並計算出 Homography 轉換矩陣方便座標點的轉換，Homography 轉換矩陣是一種可以在同一目標物不同視角之轉換關係的矩陣，如圖 40 所示，包含相機內部參數、旋轉矩陣、位移矩陣、縮放矩陣等，將這些矩陣相乘才可得到一個  $3 \times 3$  的 H 矩陣，如圖 41 (a)、(b)、(c)、(d)所示，再根據計算出的 Homography 轉換矩陣進行 Pose Estimation 的校正。

由於影像平面的座標系統與現實場景中的座標系統相差一個 Z

軸，因此在進行座標點轉換時，以齊次座標的方式進行才可在 2D 與 3D 間互相轉換座標，如圖 42 所示，通常將轉換後的 2D 空間座標點之 Z 軸定為 0，只取 X 與 Y 值進行影像對位的動作。

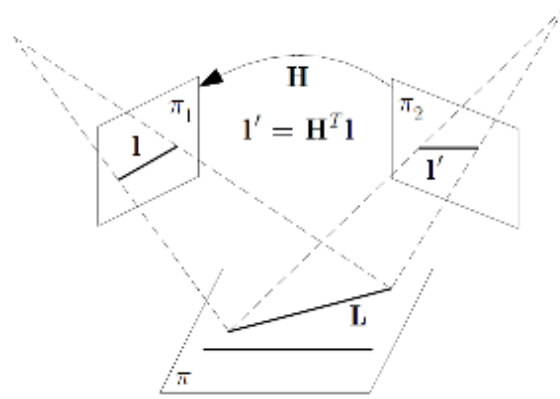


圖 40：不同偏角之 Homography 關係

$$\begin{matrix}
 \begin{bmatrix} f_x & 0 & u_0 \\ 0 & f_y & v_0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} &
 \begin{bmatrix} R_{11} & R_{12} & R_{13} \\ R_{21} & R_{22} & R_{23} \\ R_{31} & R_{32} & R_{33} \end{bmatrix} &
 \begin{bmatrix} T_x \\ T_y \\ T_z \end{bmatrix} &
 \begin{bmatrix} S_x & 0 & 0 \\ 0 & S_y & 0 \\ 0 & 0 & S_z \end{bmatrix} \\
 \text{(a)} & \text{(b)} & \text{(c)} & \text{(d)}
 \end{matrix}$$

圖 41：Homography 轉換矩陣之組成。(a)相機內部參數；(b)旋轉矩陣；(c)位移矩陣；(d)縮放矩陣。

$$\begin{bmatrix} 2D_x \\ 2D_y \\ 2D_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} H_{11} & H_{12} & H_{13} & 0 \\ H_{21} & H_{22} & H_{23} & 0 \\ H_{31} & H_{32} & H_{33} & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 3D_x \\ 3D_y \\ 3D_z \\ 1 \end{bmatrix}$$

圖 42：2D 轉 3D 之齊次座標。

藉由 Homography 矩陣轉換後的座標，才可配合 OpenGL 完成部份「結合 IMU 與偵測自然特徵的擴增實境導航」系統。

然而，單純依靠偵測自然特徵的方法並無法順利的實現擴增實

境導航定點定向的效果，因此，有些開發者會尋找其他的裝置來彌補偵測自然特徵的不足，目前常見的方法有使用慣性量測裝置 (Inertial Measurement Unit, IMU) 進行偵測自然特徵方法的彌補，一般 IMU 包含陀螺儀(Gyroscopes)、三軸加速度計(Accelerometers)、磁場感測器(Magnetometers)等慣性量測裝置，而 IMU 之座標系統定義通常都以手持式裝置螢幕正前方為+Z、螢幕正上方為+Y、螢幕右方為+X，依照這樣的關係來判斷座標軸的數據並加以應用，如圖 43 所示，而 IMU 目前已逐漸發展為手持式裝置的必備項目，因此不需另外添加，即可直接使用。

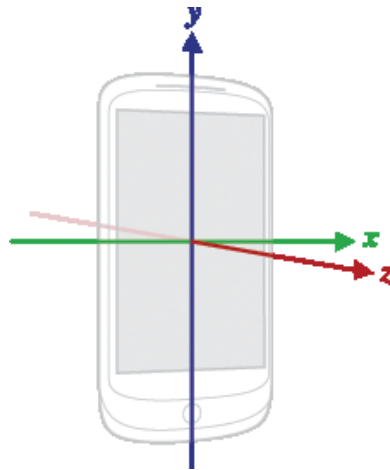


圖 43：IMU 座標軸定義。

要滿足擴增實境導航至少需要，旋轉、縮放、位移三個數據才可完成擴增實境導航，而前面已經依靠偵測自然特徵系統求出位址資訊並計算出位移量，因此需再配合 IMU 計算出目前的偏角以利導航系統的呈現。

根據 IMU 的三軸加速度計可以計算出重力在三軸的分量，得知三軸分量後就可以計算出目前手持式裝置的旋轉角度，如圖 44 所示，但因為三軸加速度計是依靠重力的感測器，所以當手持式裝置平

放時，只能求出 X 與 Y 軸的旋轉角度，無法得知 Z 軸旋轉角度。

為了解決當手持式裝置平放時無法計算 Z 軸旋轉角度的問題，因此除了使用三軸加速度計外再加上磁場感測器來計算目前手持式裝置與地球磁場的關係，進而準確的推算出目前手持式裝置的 X、Y、Z 三軸的旋轉角度。

旋轉角度定義為：Z 軸之旋轉角度(Yaw)、Y 軸之旋轉角度(Roll)、X 軸之旋轉角度(Pitch)，如圖 45 所示。

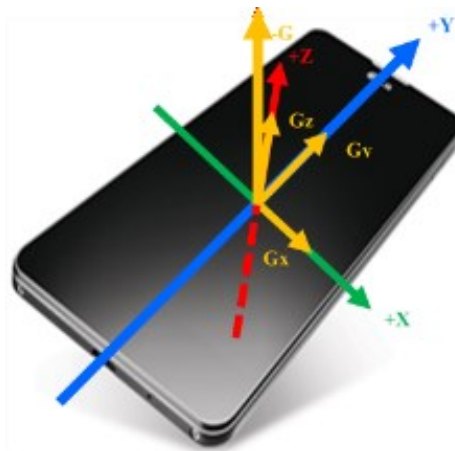


圖 44：三軸加速度計重力分量示意圖。

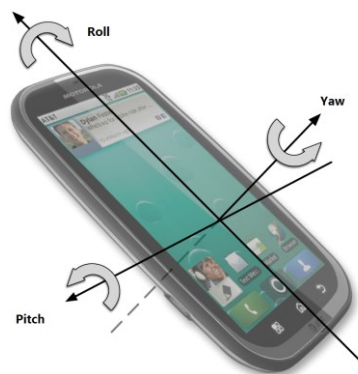


圖 45：三軸旋轉量定義。

結合 IMU 與偵測自然特徵的擴增實境導航方法為了求出位移、旋轉、縮放量，依照所選的自然特徵物體並經過上述等處理後，確



定該物體並與資料庫進行比較，求出目前的位址資訊再加上 IMU 所得的資訊，接著才可進行擴增實境導航的呈現，如圖 46 所示。



圖 46：偵測 Natural Features 的擴增實境導航成果。

綜合上述可以發現為了呈現擴增實境導航系統，必需要先求出目前位址與旋轉、位移、縮放量才可以呈現一個完整「結合 IMU 與偵測 Natural Features 的擴增實境導航」成果。

優點：可透過影像處理與偵測自然特徵點的方法，去除傳統黑白 Marker 在擴增實境導航上的限制，使擴增實境導航能夠更自然，不需在現實場景中建置任何黑白 Marker，也不會造成黑白 Marker 在真實場景中格格不入的感覺。

缺點：如果要進行「結合 IMU 與自然特徵擴增實境導航」實作，需依照不同種類的 Marker 進行影像處理並與事先建立的資料庫中進行比對，獲得目前位址的資訊後再結合 IMU 才可進行位移、旋轉、縮放量的計算，這樣會造成軟體與硬體的負擔，且越複雜的自然特徵點越需要搭配其他繁雜的前置處理程序，才能完成結合 IMU 與自然特徵擴增實境導航的效果。

因為影像處理與偵測的不穩定與耗費的時間過多，皆會影響擴增實境導航的即時性與準確性，為了彌補這項缺陷，發展出使用外部定位基礎設施來進行定位，即可省下一般使用偵測方法尋找畫面中特徵點再與資料庫中的資料進行比對，系統流程如圖 47 所示。

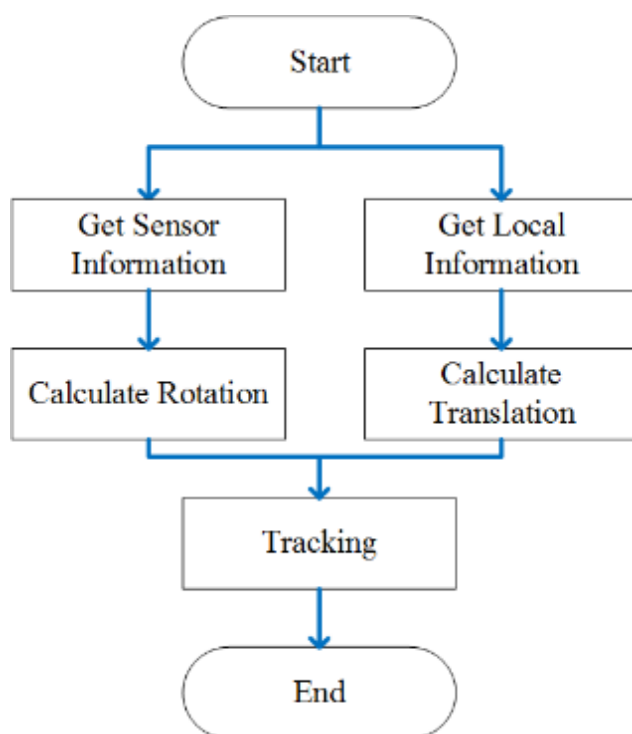


圖 47：結合 IMU 擴增實境 Registration 系統流程圖

為了解決擴增實境導航所需的位移、旋轉、縮放量，且針對偵測方法的不足進行改進，使用外部定位裝置如：WiFi、RFID、GPS 等系統，來取代並計算目前使用者位置並進行擴增實境導航的位移量估測與計算，這樣一來可以將影像偵測所帶來的負擔分散到外部定位裝置上，也可以大量省下影像處理的時間與影像資料庫的建置。

依照不同的定位裝置有不同的特點，如使用 WiFi 定位，因為是利用不同定點的 WiFi 強度來計算出目前在 2D 地圖上的坐標點，因



此在建置好 WIFI 據點後，需要事先在該場景進行一次收集不同坐標點不同的 WIFI 訊號強度並建立數據庫，才可達到定位的效果；使用 RFID 需事先在各定點建立 RFID Tag，且因為環境障礙物或其他干擾容易影響 RFID 訊號，因此在建置完 Tag 後需要對該環境進行 RFID 的環境參數收集才可進行定位，且 RFID 訊號距離較短，因此在建置上需要更多的設置點才可達到定位的效果；選擇 GPS 定位系統眾所皆知室外的定位準確率相當高，且已經廣泛使用在衛星導航系統中，但是在室內的會因受到建築物的遮蔽，使原本精準的定位飄移，因此在擴增實境導航中，該系統較適合應用在室外的導航中，各系統定位示意圖如圖 48 所示。



圖 48：定位示意圖。



圖 49：外部定位裝置擴增實境導航結果。

取得準確的定位資訊後，即可完成擴增實境導航，但是此結果只能簡單顯示方向位置，無法準確的將虛擬圖形與現實場景結合，如圖 49 所示。

如想使影像與現實場景中緊密結合，需再結合上述的影像偵測或是 IMU 等方式，才可求出精準的旋轉、位移、縮放三種變化量，即可實現擴增實境導航效果，如圖 50 所示。

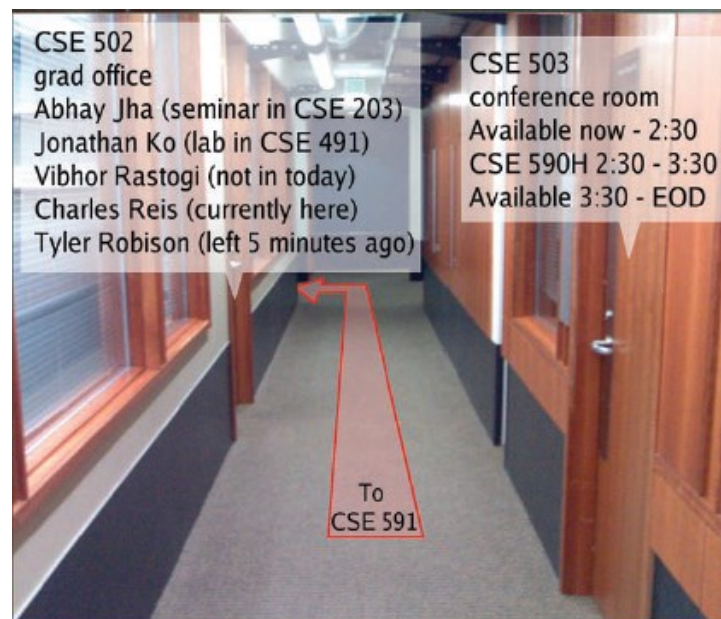


圖 50：結合外部定位裝置的 Markerless 擴增實境導航。

優點：使用外部定位裝置能夠補足依靠偵測方法所不足的地方解決旋轉、縮放、位移量，並能夠有效改善擴增實境導航的精準度，完善結合外部定位裝置的 Markerless 擴增實境導航。

缺點：需額外使用定位系統才可完成結合外部定位裝置的 Markerless 擴增實境導航的實作，如果使用 GPS 會導致 Markerless 擴增實境只能在室外執行，因為 GPS 在室內的定位效果會受到遮蔽物的影響，使效果大打折扣；使用 RFID 需建置許多 Tag，然後再進行環境的數據測量，才可進行 Markerless 擴增實境實作，WIFI 則需

事先走過一次路徑收集數據才可計算出位移量，RFID 與 WIFI 如果換到一個新環境，就必須重新建置與收集該環境的數據才可以進行擴增實境。

傳統擴增實境導航方法主要著重在 Registration 這方面，傳統方法 Registration 依靠偵測或 IMU 與定位方法容易受影響與限制並無法有很高的精準度，本計畫有別於傳統 Registration 方法，提出「結合 IMU 與 Optical Flow 之 Markerless 擴增實境導航系統」，可有效提升擴增實境導航即時性與準確度，系統流程圖如圖 51 所示。

而使用外部定位基礎設施，如：GPS、WIFI、RFID 配合偵測特定目標物或 IMU 等定位方法雖然可以有效提高定位精準度與導航即時性，但因為使用外部定位系統不僅需額外增加成本也需要事前的建設與收集數據才可得到較高的效能，而使用定位裝置容易受到限制，如 GPS 只能在室外使用，室內部分會因建築物的遮蔽，導致 GPS 定位不良而影響擴增實境導航效果；使用 WIFI 需要事先在該場景走動收集不同位置的 WIFI 訊號強度，如果更換新環境就需要重新收集 WIFI 數據，此方法雖然準確率高但前置動作繁雜增加擴增實境導航的不便性；RFID 因傳輸距離較不理想，則需在環境中建置許多 Tag，且環境障礙物會影響 RFID 訊號，因此在建置完 Tag 後需再收集該環境中的訊號資訊，才可進行定位步驟；最後偵測方法，偵測環境中的特定目標物與資料庫內進行比對，符合後定位出目前位置，此方法需事先建立龐大的偵測檔案與位址資訊，且走動時進行偵測會影響偵測準確率可能會發生誤判的情況。

而上述等建置為不外乎是為了求出擴增實境導航系統中的位移、旋轉、縮放量，為了簡化上述 GPS、WiFi、RFID、偵測特定目標物

等定位系統的複雜與不便性，本文提出使用 Optical Flow 代替定位系統計算位移量的部分，可以省去事先建置 Tag、量測環境數據的工作與事先建立特定目標資料庫的動作，節省整體時間並提高效率，並搭配 IMU 計算目前裝置偏角來解決旋轉量的問題。

最後縮放量會根據位移量所得的 Y 軸部分進行位移，當使用 OpenGL 顯現影像對位有 Y 軸移動時，會根據影像遠近產生縮放的效果。

根據「結合 IMU 與 Optical Flow 之 Markerless 擴增實境導航系統」針對傳統方法 Registration 分為以下 4 個部分逐一介紹：

1. Once Floor-Corner Detection
2. 使用 IMU 計算手持式裝置偏角
3. 使用光流法計算手持式裝置位移與縮放
4. Remap Coordinate

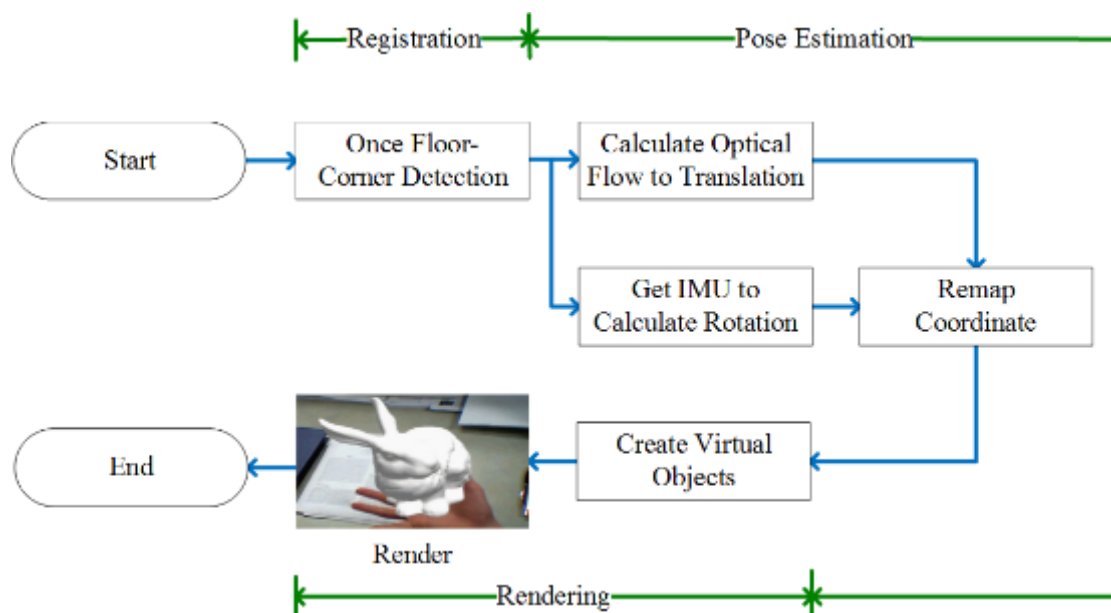


圖 51: 結合 IMU 與 Optical Flow 之 Markerless 擴增實境導航系統流程圖。

## Once Floor-Corner Detection

在整體導航系統中最重要部份不外乎貼圖的精準度，本方法使用 Floor-Corner Detection 進行初次貼圖的確認，通常 Floor-Corner Detection 設定在轉角或更換貼圖時，會在一開始進行貼圖區域的校正之後再依靠 IMU 計算目前與地球重力的夾角來改變貼圖傾斜度與地板浮貼。

## 使用 IMU 計算手持式裝置偏角

目前陀螺儀、三軸加速度計、磁場感測器等慣性感測器 IMU 已漸漸成為手持式裝置的必備項目，IMU 可用於計算手持式裝置的各種慣性數據，如位移量、旋轉量、方位角等，這些數據可用於輔助各種應用層面所需，如定位系統、導航系統、擴增實境等應用方面。

本計畫將 IMU 應用於計算手持式裝置的偏角變化量，根據 IMU 中的三軸加速度計，利用重力在三軸的分量，如圖 52 所示，計算出目前手持式裝置的旋轉量，但是當手持式裝置任一軸與重力平行時，重力在另外兩軸上並無分量，因此無法得知該軸的旋轉角度，因此需加上磁場感測器計算手持式裝置與地球磁場的夾角來彌補三軸加速度計的不足，即可完整的求出三軸旋轉角度變化量，旋轉角度定義為：Z 軸之旋轉角度(Yaw)、Y 軸之旋轉角度(Roll)、X 軸之旋轉角度(Pitch)，如圖 53 所示。

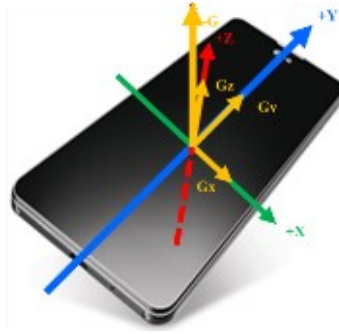


圖 52：三軸加速度計重力分量示意圖。

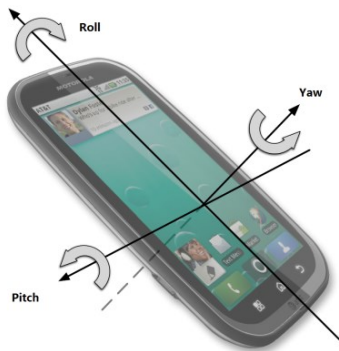


圖 53：三軸旋轉量定義。

根據 IMU 獲得手持式裝置旋轉量後，根據旋轉矩陣定義，如下所示， $\phi$ 、 $\theta$ 、 $\varphi$  分別帶入由三軸加速度計與磁場感測器所得的 Pitch、Roll、Yaw 數據，即可計算出一個 3x3 的旋轉矩陣。

$$\begin{aligned}
 R_{zyx} &= R_z(\varphi) R_y(\theta) R_x(\phi) \\
 &= \begin{bmatrix} \cos \varphi & -\sin \varphi & 0 \\ \sin \varphi & \cos \varphi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} X \begin{bmatrix} \cos \theta & 0 & \sin \theta \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin \theta & 0 & \cos \theta \end{bmatrix} X \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \phi & -\sin \phi \\ 0 & \sin \phi & \cos \phi \end{bmatrix} \\
 &= \begin{bmatrix} \cos \theta \cos \varphi & \cos \phi \sin \varphi + \sin \phi \sin \theta \cos \varphi & \sin \phi \sin \varphi - \cos \phi \sin \theta \cos \varphi \\ -\cos \theta \sin \varphi & \cos \phi \sin \varphi - \sin \phi \sin \theta \sin \varphi & \sin \phi \cos \varphi + \cos \phi \sin \theta \sin \varphi \\ \sin \theta & -\sin \phi \cos \theta & \cos \phi \cos \theta \end{bmatrix} \\
 &= \begin{bmatrix} R_{11} & R_{12} & R_{13} \\ R_{21} & R_{22} & R_{23} \\ R_{31} & R_{32} & R_{33} \end{bmatrix}
 \end{aligned}$$

### 使用光流法計算手持式裝置位移量



使用三軸加速度計與磁場感測，雖然可以解決手持式裝置旋轉偏角的問題，但對於位移量卻無法得知，因此需要另外計算位移量，在位移量的部分是可以根據線性加速度計來計算，但是由於手持式裝置上的慣性量測裝置的精密度其實並不高且容易累積誤差值，因此根據線性加速度計所計算出來的位移量會有誤差，導致計算出來的位移量並無法適用於擴增實境上。

因慣性裝置的誤差會使擴增實境無法有效呈現，因此提出使用光流法來計算位移量，光流法是利用連續影像中像素點在時域上的變化來找到上一 Frame 與當前 Frame 之間的對應關係，從而計算出相鄰 Frame 之間物體運動訊息的一種方法。

一般而言，光流法是由於場景中前景目標本身的移動、相機的運動，或者兩者的共同運動所產生的演算法，因此在追蹤物體時非常有效。

在擴增實境中，必要的呈現方式就是真實場景的 Camera Frame 再加上虛擬的影像貼圖才可構成擴增實境，根據光流法與擴增實境的特性，可以使用擴增實境中的 Camera Frame 來進行光流法的計算，如圖 54 所示。

在圖 54 中可以看到當手持式裝置有位移時，Camera Frame 會有移動的紅色線段，而這些紅色的點是在每一張 Frame 固定的位置進行運算在跟相鄰的 Frame 做比較與計算，而計算的像素點多寡會影響擴增實境系統的處理速度，因此像素點的個數不能取太多以免發生擴增實境處理過慢的情況。



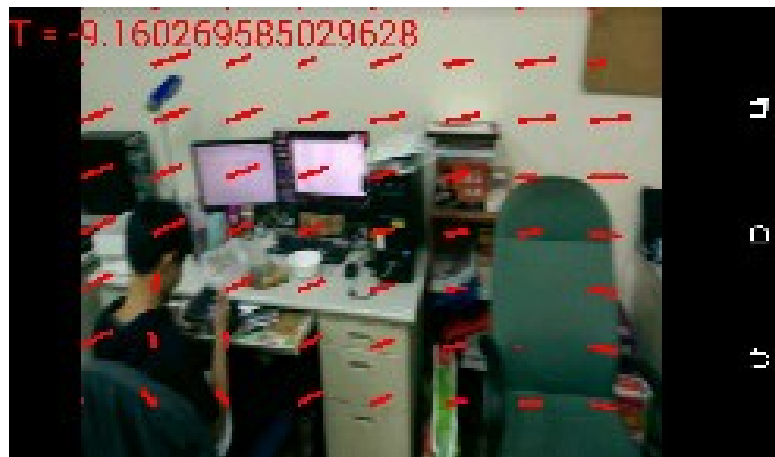


圖 54：光流法之示意圖。

當光源變化不明顯時光流法會判斷該點像素與相鄰 Frame 並沒有差異，判斷為無移動的狀態，或是會有些相似的光源會使判斷結果出來的位移方向錯誤，如圖 55 (a)紅框處與圖 55 (b)所示。



(a)



(b)

圖 55：(a)光流法判斷為無位移；(b)光流法判斷方向錯誤。

在使用光流法計算位移量時，不可只採取單一點進行位移量的計算，要採多點平均的方式進行計算，避免當光源不明顯時光流法無法判斷是否有移動或是判斷移動方向錯誤，因此選擇適當的像素點個數平均分布在 Frame 上並取得每一點的計算結果取平均，修正

光源變化不明顯時，位移量計算錯誤的部分，可根據下列公式計算出位移量。

$$Tx = \frac{\sum_{i=1}^{i=k} Pin.x - Pim.x}{k}$$

$$Ty = \frac{\sum_{i=1}^{i=k} Pin.y - Pim.y}{k}$$

$T_x$ ：影像中 X 軸方向的位移量

$T_y$ ：影像中 Y 軸方向的位移量

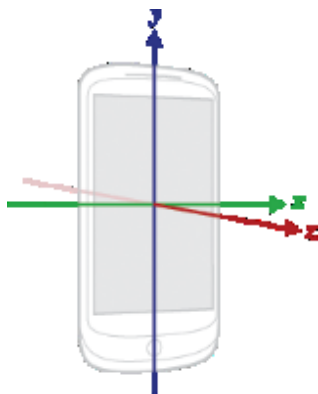
$k$ ：光流法偵測點的總個數

$Pin.x$ ：前一張影像第  $i$  個點的  $x$  值

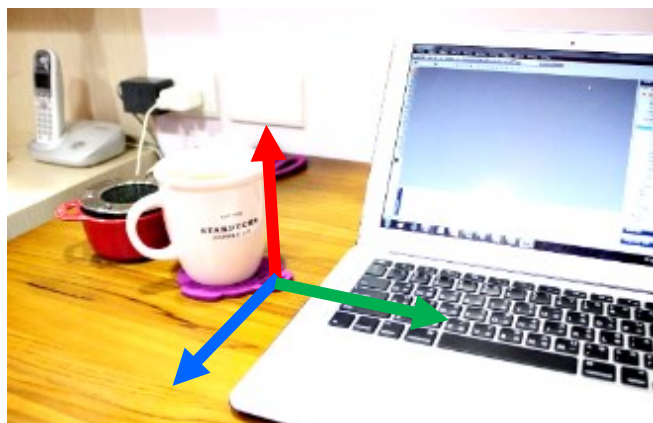
$Pin.y$ ：後一張影像第  $i$  個點的  $y$  值

## Remap Coordinate

在擴增實境系統中，因為手持式裝置座標系統與現實世界座標系統的定義不同，如圖 56 (a)、(b)所示，因此計算出來的旋轉矩陣需要根據現實世界座標系統來進行轉換的動作，才可在影像對位中使用。



(a)



(b)

圖 56：(a)手持式裝置座標系統；(b)現實世界座標系統。

經過座標重新轉換後的旋轉矩陣，即可解決的影像對位中的旋轉部分，進而在 OpenGL 中使用，如圖 57 (a)、(b)、(c) 所示。

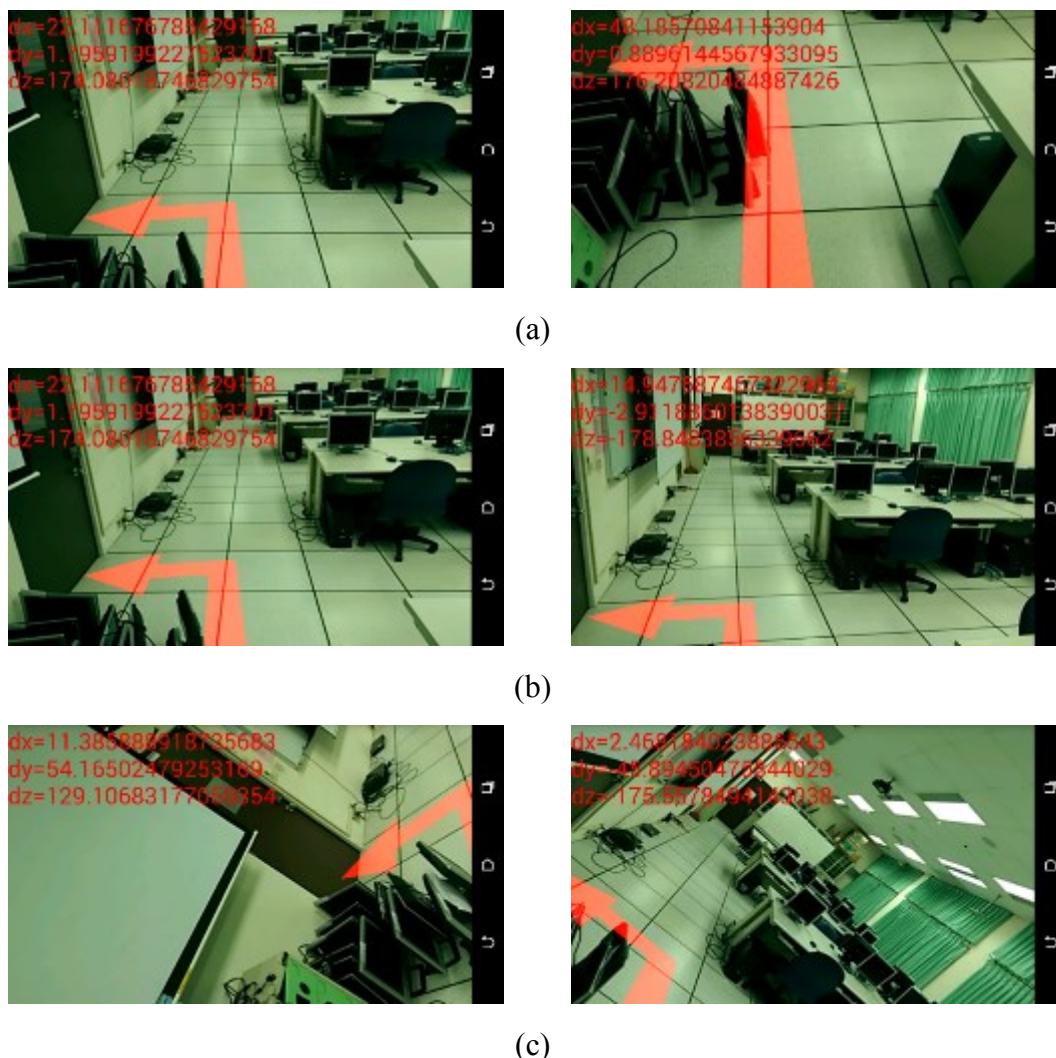


圖 57: 旋轉矩陣應用於 OpenGL。(a)Pitch 翻轉；(b)Roll 翻轉；(c) Yaw 翻轉。

位移量的計算，依照真實世界的座標定義與擴增實境虛擬影像的效果，當手持式裝置往正 X、Y 軸方向移動時，擴增實境上的虛擬貼圖位移的方向應該是要往負 X、Y 軸的方向移動，因此依照這些需求來定義位移的座標軸方向完成擴增實境位移的部分，如圖 58

(a)、(b)、(c)所示，可以看到畫面從定點往右移動在往左移動到原位，OpenGL 的箭頭位移後依然指向同一位置。

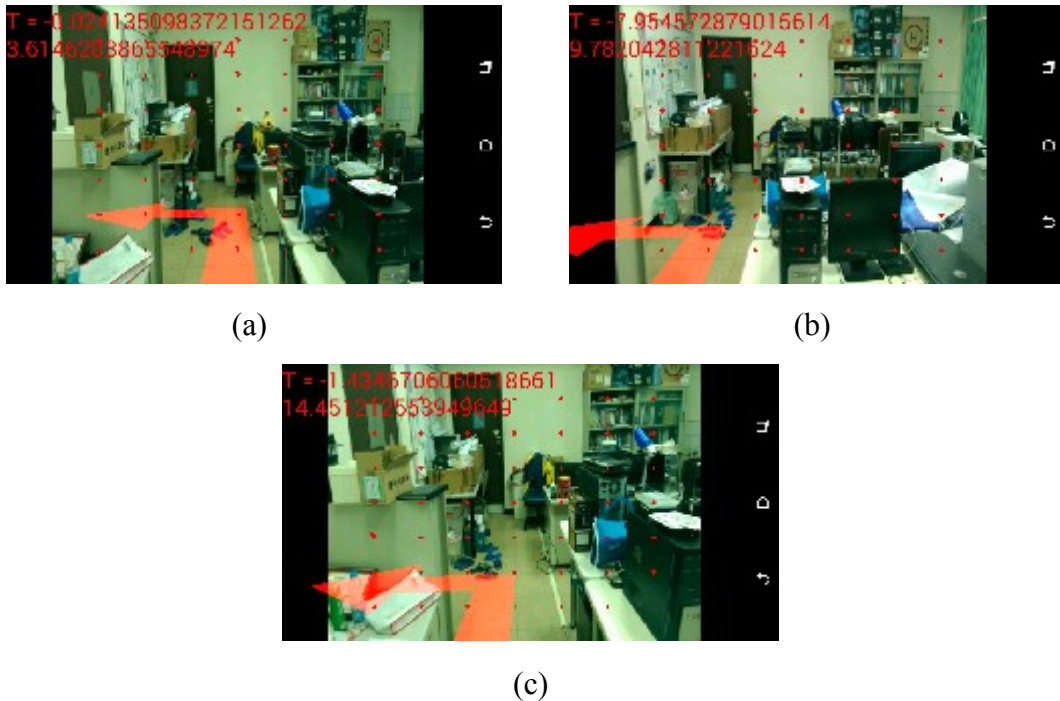
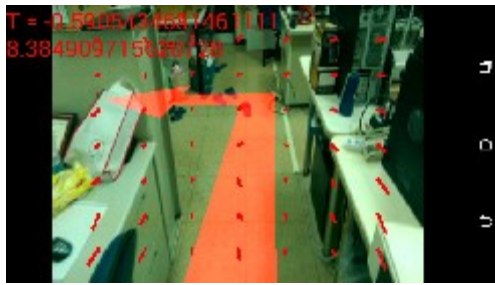


圖 58：光流法計算位移量 Render OpenGL。(a)定點；(b)往右位移；(c)往左位移

縮放的部分在 OpenGL 座標系統定義三軸座標系統，正常情況下因為 OpenGL 的 Z 軸是與眼睛平行，因此只要移動 Z 軸就可以產生縮放的效果，但是在使用旋轉矩陣的時候已經將座標軸重新定義成真實世界的座標軸，因此，Z 軸的部分已經重新定義為真實世界中的 Y 軸，因此要更改 Y 軸，才可達到 OpenGL 縮放的效果，如圖 59 (a)、(b)、(c)、(d)所示，由定點前進到定點後左轉，再轉正往後退的結果。





(a)



(b)



(c)



(d)

圖 59：OpenGL 縮放、位移與旋轉效果。(a)前進；(b)到達定點停止；(c)定點左轉；(d)後退。

本計畫使用 IMU 計算視角偏轉的估測時間僅耗費 50 ms，而傳統偵測方法計算視角偏轉的估測時間為 70ms，而且本計畫使用 IMU 計算視角偏轉的估測準確度比較高，如表 7 所示。

表 7：Pose Rotation 比較

Pose Rotation	Corner	IMU
0 degree	0%	100%
30 degree	17.5%	100%
60 degree	75%	100%
90 degree	90%	100%
120 degree	72%	100%
150 degree	12.5%	100%
180 degree	0%	100%

本計畫在今年度完成的重點工作項目與未來的發展應用目標

如下：

- 一、發展並整合三軸加速度計與電子羅盤的慣性室內定位技術，建立適用於核設施拆解工作環境的室內定位技術，不需要任何外在的感測辨識裝置等基礎設施；
- 二、在行動裝置平台上，研發同步定位與建圖技術，並且能即時地執行擴增實境來顯示與導航工作環境中的安全工作路徑或安全逃生路徑；
- 三、建立之技術後續可結合虛擬實境與擴增實境技術，應用於核設施之維修與除役工程中。經由數位工程模擬規劃與現場資訊的提供，輔助作業執行及安全提升；
- 四、完成同步定位與建圖技術與擴增實境導航技術在行動裝置上的實作，並將研究成果與傳統同步定位與建圖技術進行分析與比較，以提供工業應用與教育訓練使用；
- 五、提供核設施除役工作環境所需的行動導航裝置，包含：1) 室內定位；2) 同步建圖；3) 路徑規劃；4) 實境導航，等功能。

## 肆、參考文獻

- [1] U. Shala, et al, “Indoor Positioning using Sensor-fusion in Android Devices,” *Kristianstad University’s thesis*, 2011.
  
- [2] Ching-Hsien Hsu and Chia-Hao Yu. “An accelerometer based approach for indoor localization,” *Proceedings of Symposia and Workshops on Ubiquitous, Autonomic and Trusted Computing (UICATC)*, pp. 223–227, Washington, DC, USA, 2009.
  
- [3] M. Beatriz, C. P. Pombinho, and P. Afonso. “Indoor positioning using a mobile phone with an integrated accelerometer and digital compass,” technical report, DI-FCUL, 2010.
  
- [4] E. Foxlin, "Pedestrian tracking with shoe-mounted inertial sensors," *IEEE Computer graphics and Applications*, vol. 1, pp. 38–46, 2005.
  
- [5] Y. Chon, E. Talipov, and H. Cha, “Autonomous Management of Everyday Places for a Personalized Location Provider,” *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics Part C: Applications and Reviews*, pp. 518-531, Apr. 2011.



- [6] Kun-chan Lan and Wen-Yuah Shih, "Using Simple Harmonic Motion to Estimate Walking Distance for Waist-mounted PDR," *Proceedings of IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC)*, Paris, France, Apr. 2012.
- [7] T. Johnsen and N.-K. Mark, "Virtual and augmented reality in the nuclear plant lifecycle perspective", *International Journal of Nuclear Safety and Simulation*, vol. 1, no. 2, pp. 94–103, Jun. 2010.
- [8] M. Izumi, H. Shimoda, and H. Ishii, "A feasibility study on worksite visualization system using augmented reality for Fugen NPP", *International Journal of Nuclear Safety and Simulation*, vol. 1, no. 1, pp. 30–39, Mar. 2010.
- [9] S. S. Sorensen, "Augmented reality for improved communication of construction and maintenance plans in nuclear power plants", *International Journal of Nuclear Safety and Simulation*, vol. 1, no. 1, pp. 83–88, Mar. 2010.
- [10] A. Eursch, "Increased safety for manual tasks in the field of nuclear science using the technology of augmented reality," *Proceedings of*

- IEEE Nuclear Science Symposium Conference Record*, vol. 3, pp. 2053–2059, Oct. 2007.
- [11]Z. Bian, H. Ishii, and H. Shimoda. “An optimization method of marker arrangement for augmented reality” *Proceedings of IEEE International Symposium on Industrial Electronics*, pp. 1651–1656, Jun. 2007.
- [12]A. H. Dutoit, O. Creighton, G. Klinker, R. Kobylinski, C. Vilsmeier, and B. Bruegge, “Architectural issues in mobile augmented reality systems: a prototyping case study” *Proceedings of Asia-Pacific Software Engineering Conference*, pp. 341–344, Dec. 2001.
- [13]G. Klinker, O. Creighton, A. H. Dutoit, R. Kobylinski, C. Vilsmeier, Brugge, B. “Augmented maintenance of powerplants: a prototyping case study of a mobile AR system”, *Proceedings of IEEE and ACM International Symposium on Augmented Reality*, pp. 124–133, Oct. 2001.
- [14]N. [Mollet](#) and R. [Chellali](#), “Virtual and augmented reality with

- head-tracking for efficient teleoperation of groups of robots”, *Proceedings of International Conference on Cyberworlds*, pp.102–108, Sep. 2008.
- [15]C. S. C. [Rodrigues](#), “VisAr3D: an approach to software architecture teaching based on virtual and augmented reality”, *Proceedings of ACM/IEEE International Conference on Software Engineering*, vol. 2, pp.351–352, May 2010.
- [16]D. [Stoyanov](#), M. [ElHelw](#), B. P. [Lo](#), A. [Chung](#), F. [Bello](#), and [G. -Z. Yang](#) “Current issues of photorealistic rendering for virtual and augmented reality in minimally invasive surgery”, *Proceedings of International Conference on Information Visualization*, pp.350–358, Jul. 2003.
- [17]E. [Lamounier](#), K. [Lopes](#), A. [Cardoso](#), A. [Andrade](#), and A. [Soares](#), “On the use of virtual and augmented reality for upper limb prostheses training and simulation”, *Proceedings of International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*, pp.2451–2454, Aug. 2010.

- [18]R. [Marin](#), P. J. [Sanz](#), and A.P. [del Pobil](#), “A predictive interface based on virtual and augmented reality for task specification in a Web telerobotic system”, *Proceedings of IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*, vol. 3, pp. 3005–3010, Oct. 2002.
- [19]Yinghui Zhang, Tianlei Gao, Deguang Li, and Huaqi Lin, “An improved binarization algorithm of QR code image”, *Proceedings of International Conference on Consumer Electronics, Communications and Networks*, pp. 2376–2379, Apr. 2012.
- [20]Yongsik Kang, Junghoon Lee, Juyoung Lee, and Jaesang Cha, “A study for indoor position detection using LED QR code and smart terminal”, *Proceedings of International Conference on ICT Convergence*, pp. 129–131, Sep. 2011.
- [21]G. Rindahl, T. Johnsen, N-K-F. Mark, and G. Meyer, “Virtual reality in planning and operations from research topic to practical issue”, *Proceedings of International Topical Meeting on Nuclear Plant Instrumentation Controls, and Human Machine Interface Technology*, Nov. 2006.

- [22]B. Nouailhas, S. Tonnoir, P. Laureillard, “Use of virtual reality in maintenance operation at EDF,” *Proceedings of International Topical Meeting on Nuclear Plant Instrumentation Controls, and Human Machine Interface Technology*, Nov. 2006.
- [23]R. Smith, “Tesseract OCR,” [Online]. Available: <http://code.google.com/p/tesseract-ocr>
- [24]D. G. Lowe, “Distinctive image features from scale-invariant keypoints,” *International Journal of Computer Vision*, vol. 60, pp. 91–110, Jan. 2004.
- [25]Y. Li and S. Birchfield, “Image-Based Segmentation of Indoor Corridor Floors for a Mobile Robot,” *Proceedings of IEEE International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS)*, Taipei, Taiwan, October 2010.
- [26]J. Canny, “A Computational Approach To Edge Detection,” *IEEE Transaction on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, pp. 679–698, 1986.

- [27] R. Deriche, "Using Canny's criteria to derive a recursively implemented optimal edge detector," *International Journal of Computer Vision*, vol. 1, pp. 167–187, Apr. 1987.
- [28] Jongbae Kim and Heesung Jun, "Vision-based location positioning using augmented reality for indoor navigation," *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, vol. 54, no. 3, pp. 954–962, Aug. 2008.
- [29] S. DiVerdi and T. Hollerer, "Heads up and camera down: a vision-based tracking modality for mobile mixed reality," *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, vol. 14, no. 3, pp. 500–512, May-Jun. 2008.
- [30] A. D. Cheok and Li Yue, "A novel light-sensor-based information transmission system for indoor positioning and navigation," *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, vol. 60, no. 1, pp. 290–299, Jan. 2011.
- [31] H. Hile and G. Borriello, "Positioning and orientation in indoor environments using camera phones," *IEEE Computer Graphics and Applications*, vol. 28, no. 4, pp. 32–39, Jul.-Aug. 2008.
- [32] A. I. Comport, E. Marchand, M. Pressigout, and F. Chaumette, "Real-time markerless tracking for augmented reality: the virtual visual servoing framework," *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, vol. 12, no. 4, pp. 615–628, Jul.–Aug. 2006.



- [33] Taehee Lee and T. Hollerer, “Multithreaded hybrid feature tracking for markerless augmented reality,” *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, vol. 15, no. 3, pp. 355–368, May–Jun. 2009.
- [34] Y.-G. Kim and W.-J. Kim, “Implementation of augmented reality system for smartphone advertisements,” *International Journal of Multimedia and Ubiquitous Engineering*, vol. 9, no. 2, pp. 385–392, Sep. 2014.
- [35] Ma Ling, Wang Jianming, Zhang Bo, and Wang Shengbei, “Automatic floor segmentation for indoor robot navigation,” *Proceedings of International Conference on Signal Processing Systems (ICSPS)*, vol. 1, pp. V1-684–V1-689, 5-7 Jul. 2010.
- [36] L. F. Posada, K. K. Narayanan, F. Hoffmann, and T. Bertram, “Floor segmentation of omnidirectional images for mobile robot visual navigation,” *Proceedings of IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS)*, pp. 804–809, 18-22 Oct. 2010.
- [37] F. G. Rodriguez-Telles, L. Abril Torres-Mendez, and E. A. Martinez-Garcia, “A Fast Floor Segmentation Algorithm for Visual-Based Robot Navigation,” *Proceedings of International Conference on Computer and Robot Vision (CRV)*, pp.167–173, 28-31 May 2013.
- [38] G. C. Barcelo, G. Panahandeh, and M. Jansson, “Image-based floor segmentation in visual inertial navigation,” *Proceedings of*

*IEEE International Instrumentation and Measurement Technology Conference (I2MTC)*, pp. 1402–1407, 6-9 May 2013.

- [39] G. Simon and M.-O. Berger, “Pose estimation for planar structures,” *IEEE Computer Graphics and Applications*, vol. 22, no. 6, pp. 46–53, Nov./Dec. 2002.
- [40] S. J. D. Prince, K. Xu, and A. D. Cheok, “Augmented reality camera tracking with homographies,” *IEEE Computer Graphics and Applications*, vol. 22, no. 6, pp.39–45, Nov./Dec. 2002.
- [41] M. Maida, M. Preda, and V. H. Le, “Markerless tracking for mobile augmented reality,” *Proceedings of IEEE International Conference on Signal and Image Processing Applications*, pp. 301–306, Nov. 2011.