

# 國立高雄應用科技大學



100-101 年度獎勵科技大學及技術學院

教學卓越計畫

產學及研究成果轉專題製作教材

結合影像和慣性元件之定位技術與系統

# 結合影像和慣性元件之定

## 位技術與系統

(科系) (指導教授) (學生)

電機系 黃敬群老師 學生 葉濟賢

學生 黃偉立

### 摘要

在早期的社會裡，傳統常見的定位技術主要以全球定位系統 GPS(Global Positioning System)[1]或是無線電探測和測距 RADAR(Radio Detection And Ranging)[2]為主，而 GPS 又以廣泛、全球覆蓋率高、可移動定位和高精度為著稱；RADAR 將電磁能量以定向方式發射至空間之中，藉由接收空間內存在物體所反射之電波，可以計算出該物體之方向，高度及速度，並且可以探測物體的形狀，藉以達到物體定位之效果；在目前的時代，由於全球定位技術的發展已越趨成熟，然而，室內環境是一個複雜的空間，無線或衛星訊號在傳播的過程中難免受到室內建築結構、天候以及訊號強度等影響，造成室內精確定位的困難。故我們整理了近年來相關的研究，要取得室內定位資訊，大致上可分為使用純影像、純慣性元件或將影像結合慣性元件，這三大類來達到室內定位，而其中又以影像結合慣性元件最為精確。

### 一、介紹

在現代社會裡，全球定位技術的發展越趨成熟之時，我們的生活基本上受到全球定位系統(Global Positioning System, GPS)、輔助

全球定位系統(Assisted Global Positioning System, AGPS)或無線網路等全面追蹤。突飛猛進的定位技術將所有相關應用如 Wi-Fi、藍牙、GPS 以及 AGPS 整合到了一片小小的晶片之中，以達到全方位定位與節省成本、功耗等目的。然而，室內環境是一個複雜的空間，無線或衛星訊號在傳播的過程中難免受到室內建築結構的影響，造成室內精確定位的困難。

有鑑於此，室內環境的移動物體追蹤與定位在近年來有相當多的研究與應用，以往發表過的系統通常是量測物體與攝影機或雷射掃描器等外部感測器的相對運動來達到追蹤或定位的目的，特別是基於視覺的應用，因為基於視覺的系統精確度比較高，然而，基於電腦視覺的方法往往是複雜且計算量高，此外，基於視覺的感測器會被視線所限制，例如移動物體超出感測器的視線或被遮蔽。

因此，想要解決視覺上的限制，可以使用內部感測器，例如慣性量測元件(Inertial Measurement Unit, IMU)。慣性量測元件包含了加速度儀(Accelerometer)與陀螺儀(Gyroscope)，來量測加速度和角速度，經過初始位置及資料整合後幾可得到載具位置、速度和姿態。慣性量測元件不會受到視覺上的限制，但是會因為偏差(Bias)和飄移(Drift)而造成累積誤差。

基於外部感測器與內部感測器的互補性，可以利用擴展型卡爾曼濾波器(Extended Kalman Filter, EKF)進行整合，進而補償彼此的缺點。

近年來，因智慧型行動電話日益蓬勃發展，且智慧型行動電話的相機畫素也扶搖直上，而慣性量測元件又是現今智慧型行動電話的基本配備，而所謂的 INS (Inertial Navigation System)，慣性導航系統，即是使用陀螺儀結合加速度計來實現的。

慣性導航系統是採用導航演算法，以這一個時間點的偏移角度、相對位移，來計算下一個時間點所在的位置，藉此達到定位。

## 二、相關研究

關於定位，可分為室外定位與室內定位，室外定位不外乎就是GPS和RADAR，而室內定位大致上可分為以下三種方法，純影像、純慣性元件和影像結合慣性元件等，其目的都是要定位使用者的位置或姿態，在此我們將分別介紹以下5種方法的相關研究並比較各種方法的優劣。

### 1. 全球定位系統

首先，我們先介紹目前最常見的室外定位方法，全球定位系統(Global Positioning System, GPS)，簡稱GPS，目前導航軟體絕大部分都是依賴GPS來實現定位功能。

GPS系統的前身為美軍研製的一種子午儀衛星定位系統，1958年研製，1964年正式投入使用。該系統用5到6顆衛星組成的星網工作，每天最多繞過地球13次，並且無法給出高度資訊，在定位精度方面也不盡如人意。然而，子午儀系統使得研發部門對衛星定位取得了初步的經驗，並驗證了由衛星系統進行定位的可行性。由於衛星定位顯示出在導航方面的巨大優越性及子午儀系統存在對潛艇和艦船導航方面的巨大缺陷。美國海陸空三軍及民用部門都感到迫切需要一種新的衛星導航系統。為此，美國海軍研究實驗室(NRL)提出了名為Tinmation的用12到18顆衛星組成10000km高度的全球定位網計劃，並於67年、69年和74年各發射了一顆試驗衛星，在這些衛星上初步試驗了原子鐘計時系統，這是GPS

系統精確定位的基礎。而美國空軍則提出了621-B的以每星群4到5顆衛星組成3至4個星群的計劃，這些衛星中除1顆採用同步軌道外其餘的都使用周期為24h的傾斜軌道。該計劃以偽隨機碼(PRN)為基礎傳播衛星測距信號，其強大的功能，當信號密度低於環境噪聲的1%時也能將其檢測出來。偽隨機碼的成功運用是GPS系統得以取得成功的一個重要基礎。海軍的計劃主要用於為艦船提供低動態的2維定位，空軍的計劃能供提供高動態服務，然而系統過於複雜。由於同時研製兩個系統會造成巨大的費用，而且這裡兩個計劃都是為了提供全球定位而設計的，所以1973年美國國防部將二者合二為一，並由國防部牽頭的衛星導航定位聯合計劃局(JPO)領導，還將辦事機構設立在洛杉磯的空軍太空處。該機構成員眾多，包括美國陸軍、海軍、海軍陸戰隊、交通部、國防製圖局、北約和澳大利亞的代表。

GPS系統主要由空間星座部分、地面監控部分和用戶設備部分組成，其中空間星座部分，GPS衛星星座由24顆衛星組成，其中21顆為工作衛星，3顆為備用衛星。24顆衛星均勻分布在6個軌道平面上，即每個軌道面上有4顆衛星。衛星軌道面相對於地球赤道面的軌道傾角為 $55^\circ$ ，各軌道平面的升交點的赤經相差 $60^\circ$ ，一個軌道平面上的衛星比西邊相鄰軌道平面上的相應衛星升交角距超前 $30^\circ$ 。這種布局的目的是保證在全球任何地點、任何時刻至少可以觀測到4顆衛星；地面監控部分主要由1個主控站(Master Control Station，簡稱MCS)、4個地面天線站(Ground Antenna)和6個監測站(Monitor Station)組成，主控站是整個地面監控系統的管理中心和技術

中心，天線站的作用是把主控站計算得到的衛星星歷、導航電文等資訊注入到相應的衛星，故注入站同時也是監測站，監測站的主要作用是採集 GPS 衛星數據和當地的環境數據，然後發送給主控站；用戶設備主要是 GPS 接收機，作用是從 GPS 衛星收到信號並利用傳來的資訊計算用戶的三維位置及時間。

再者，為了使精確度提昇，科學界發展另一種技術，稱為差分全球定位系統 (Differential GPS) [3]，簡稱 DGPS。亦即利用附近的已知參考座標點，來修正 GPS 的誤差。再把這個即時誤差值加入本身座標運算的考慮，便可獲得更精確的值。

主要特點：

- 全天候，不易受任何天氣的影響
- 全球覆蓋（高達 98%）
- 三維定點定速定時高精度
- 測站間無需通視
- 快速、省時、高效率
- 應用廣泛、多功能
- 可移動定位

## 2. 雷達

其工作原理是將電磁能量以定向方式發射至空間之中，藉由接收空間內存在物體所反射之電波，可以計算出該物體之方向，高度及速度，並且可以探測物體的形狀。以地面為目標的雷達可以用於探測地面的精確形狀。

而早期雷達是由於二戰期間當時英國和德國交戰時，英國急需一種能探測空中金屬物體的雷達（技術）能在反空襲戰中幫助搜尋德國飛機。二戰期間，雷達就已經出現了地對空、空對地（搜索）轟炸、空對空（截擊）火

控、敵我識別功能的雷達技術；當代雷達同時多功能的能力使得戰場指揮員在各種不同的搜索與跟蹤模式下對目標進行掃瞄，並對干擾誤差進行自動修正，而且大多數的控制功能是在系統內部完成的。

早期的雷達天線是固定的、無方向的陣列，只有距離信息。天線在一定的時間間隔內發射射頻脈衝，將接收到的回波放大，並在示波器的 CRT 上顯示，產生一個與目標位置對應的水平線，供雷達操作員識別目標的大致距離，但由於當時所用的射頻電波頻率較低，為了有效地發射和接收射頻信號，雷達系統需要一個很大的天線，這種天線不能遷移或者改變方向，而且只能探測到大目標，且距離信息的精度也很低，如圖(1)。



圖(1). 雷達站

主要特點：

- 同時多功能
- 傳感器融合

- 高靈敏度
- 隱身
- 反隱身
- 雷達 ECCM
- 自動目標識別
- 戰場敵我識別
- 高可靠性

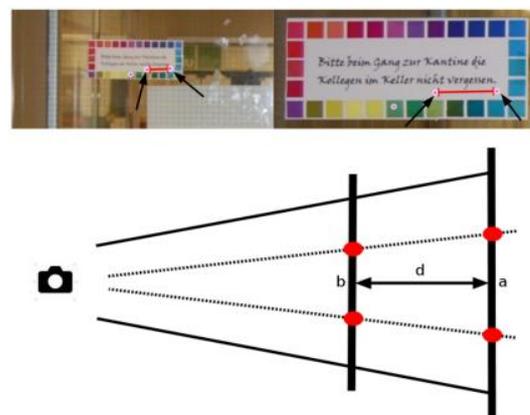
### 3. 純影像的定位

關於室內定位，首先，我們先介紹以純影像來實現定位的方法，所謂純影像就是以單純的影像來實現定位，因此方法不結合慣性元件，在此，我們介紹[4]所提出的 MoVIPS (Mobile Visual Indoor Positioning System)，它主要使用了距離估測法和影像辨識技術來獲得高品質的定位，而因智慧型手機硬體規格日趨成熟，其所提供的相機更是扶搖直上，固使用智慧型手機就可提供高解析度影像，並在事先建立資料庫時，使用其內的慣性元件來得知圖像位置，在後續步驟就可直接以影像來實現定位。

MoVIPS 提供了照片模式、平均值影片模式和投票影片模式。首先，在照片模式，於一個場景內，先取得多張影像用來建立場景資料庫，這些在資料庫內的影像都事先得知其位置資訊，在照片模式下，手機鏡頭所拍攝的高解析度影像，上傳至伺服器，並提取 SURF (Speed Up Robust Features) 特徵描述符，且在先前事先建立好的資料庫中搜尋最相近的那張影像並將其結果返回顯示在手機上，如圖(2)，右圖為攝影機拍攝影像，可得知位置、角度、匹配點數等等資訊，左圖為此影像在平面圖中的位置。



圖(2). 手機螢幕畫面



圖(3). 距離估測演算法

而圖(3)為距離估測演算法，估算距離的比率，以用來衡量視點與圖像之間的距離，可用來提高定位的精確度。

平均值影片模式先拍攝連續的影像序列，上傳至伺服器，再提取特徵並與資料庫影像比對，並返回所有幀估測位置的平均值。

投票影片模式也必須先拍攝連續的影像序列，並上傳至伺服器，一樣提取特徵並比對提取位置，不同的是，這裡是從資料庫中提取返回最多匹配數圖像的位置，並將結果顯示在手機上，如圖(2)。

最後，我們可以由表(1)所示，三種模式的累積分布函數位置的誤差與雷達相比，其中都以照片模式較為精確，因其有高解析度圖像且無動態模糊，故其誤差最小，而平均值影片

模式，因其動態模糊與低解析度的關係，造成誤差較大。

System	25% [m]	50% [m]	75% [m]
Photo Mode (Stationary)	0.28	0.68	1.25
Video Mode (Averaging)	2.39	3.88	4.4
Video Mode (Voting)	1.0	2.85	4.4
RADAR	1.92	2.94	4.69

表(1). 各種模式下累積分布函數位置誤差

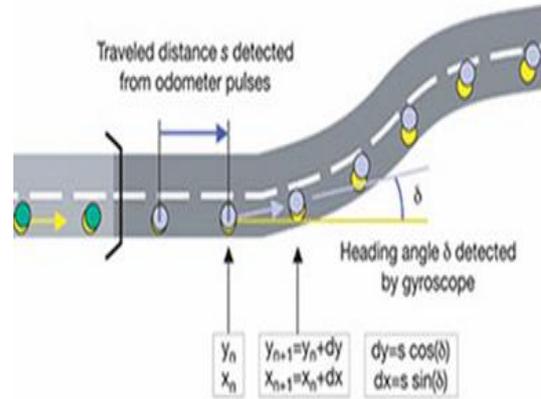
#### 4. 純慣性元件的定位

這裡主要是以[5]所提到的方法，就是以加速度計和陀螺儀來實現慣性導航系統 (Inertial Navigation Systems)，加速度計可用來計算物體的位移，陀螺儀可用來計算物體依三軸旋轉偏移的角度，再經由導航演算法的推算，達到室內定位之實現。而目前，智慧型手機內都含有加速度計與陀螺儀，故在此將INS應用於智慧型手機上。

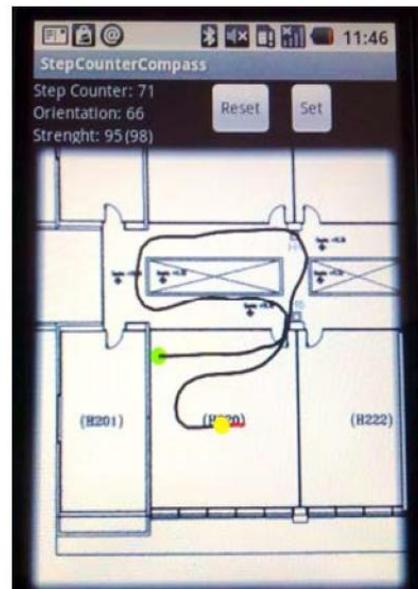
在此，我們先將手機掃描二維條碼，如圖(4)，從伺服器取得其初始位置與平面地圖，再來，應用導航演算法來計算下一步的位置，如圖(5)，最後將使用者行走的路線顯示在平面圖上，如圖(6)。



圖(4). 使用者讀取二維條碼和初始位置



圖(5)導航演算法概念



圖(6). 螢幕上顯示預測路徑

為了使定位更加精確，這裡使用了 plane-to-plane homography，在此先說明什麼是 homography，如公式(1)，二維影像平面表示為  $(x, y, 1)^T$ ，影像轉換到三維空間的 homogeneous 座標表示為  $(X, Y, Z, 1)^T$ ，投影矩陣 P 可由攝影機內部參數和外部參數計算出來，為一個  $3 \times 4$  的矩陣，表示為公式(2)。

$$\lambda \begin{pmatrix} x \\ y \\ 1 \end{pmatrix} = [P] \begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \end{pmatrix} \quad (1)$$

$\lambda$ : 比例參數

$x$ 、 $y$ : 影像平面座標

$P$ : 攝影機投影矩陣

$X$ 、 $Y$ 、 $Z$ : 影像轉換到3維空間的座標

$$P = K[R \mid T] \quad (2)$$

$P$ : 攝影機投影矩陣

$K$ : 攝影機內部參數

$R$ : 攝影機旋轉矩陣

$T$ : 攝影機平移矩陣

$$\lambda \begin{pmatrix} x \\ y \\ 1 \end{pmatrix} = [H] \begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z = 0 \\ 1 \end{pmatrix} \quad (3)$$

$$H = \begin{bmatrix} h_{11} & h_{12} & h_{13} \\ h_{21} & h_{22} & h_{23} \\ h_{31} & h_{32} & h_{33} \end{bmatrix} = [K] [r_1 \ r_2 \ t] \quad (4)$$

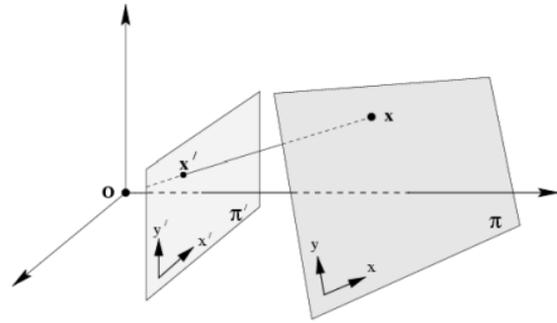
plane-to-plane homography 如公式(3)所示，其做法是令  $Z = 0$ ，將它限制於  $X, Y$  平面上，所以公式(4)的  $H$  因少了對  $Z$  軸的旋轉與位移，可將其表示為公式(4)。圖(7)表示為影像平面和物體平面的關係， $x'$  表示在物體平面  $\pi'$  物體的點而  $x$  表示該物體投影在影像平面  $\pi$  的點。公式(5)表示令  $z=0$  的 2 維平面  $P_i$  轉換到平面圖像  $P_i'$  的關係。

$$P_i' = HP_i \quad (5)$$

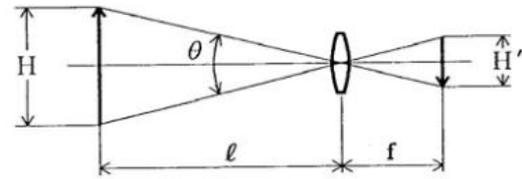
$P_i'$  : 令  $z=0$  的 2 維平面

$H$ : 轉換矩陣

$P_i$ : 平面圖像



圖(7)



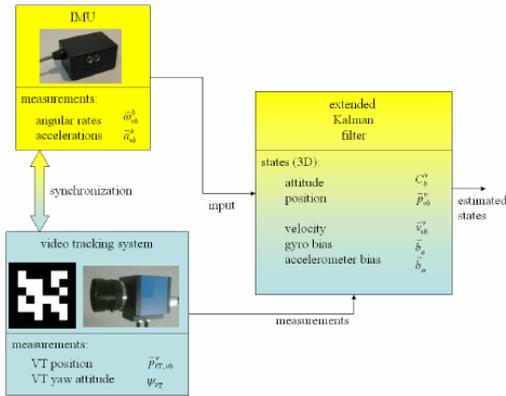
圖(8)

故最後可由圖(8)看出，經由三角關係可推倒出 2 維矩陣到攝影機的距離  $l$ ，由此更加確定使用者對於二維矩陣的距離，以此提升其精確度。

## 5. 影像結合慣性元件

### 5.1 內部感測器和視訊追蹤系統

Hartmann[6]發表了一個對室內物體位置估測的系統，其系統是利用到一個微機電慣性量測元件(MEMS IMU)及一個基於標誌(marker-based)的視訊追蹤系統(Video Tracking System)，並且利用擴展型的卡爾曼濾波器將兩個互補的感測器整合起來，以達到追蹤定位的效果，如圖(9)。



圖(9). 系統架構

### A. IMU

Hartmann 是選用 Analog Devices[7]的 IMU (型號 ADIS16350)，並將其安裝於移動物體上，量測出移動物體的角速度及加速度。IMU 訊號的採樣頻率是 400Hz，陀螺儀和加速度儀分別有  $0.4^\circ/\text{s}$  和  $0.05\text{m}/\text{s}^2$  的標準偏差。

### B. 視訊追蹤系統

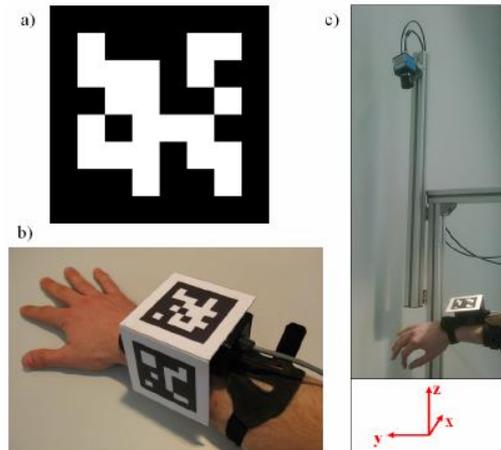
為了獲得移動物體的絕對位置，以補償 IMU 因為偏差和飄移而造成的累積誤差，Hartmann 使用基於標記的視訊追蹤系統。視訊追蹤系統是使用一個或多個外部攝影機，選用 The Imaging Source [8]的攝影機(型號 DBK21BF04)，來觀察物體的移動，利用[9]的 VT 演算法量測一個基準標記，如圖 a)在定義座標系上的位置和姿態。假設已知這個標記的尺寸，並且標記是非對稱的，如此一來，就可以利用一台攝影機來估測一個貼有標記的物體在 3D 空間的位置與姿態。

### C. 測試設置

在這裡是以追蹤手的移動來當作測試的情況，所以這種情況下必須將 IMU 及標記安裝在手上，如圖 b)，而攝影機的架設及攝影機的座標系如圖 c)。校正好的攝影機利用 VT 演算法將物體移動的位置及姿態記錄在 PC 上，

典型視訊追蹤在這種測試設置下能達到平均每秒 5-10 的量測值，且位置的精度範圍是毫米，而由於攝影機大多是光軸平行於 Z 軸的情況下拍攝，因此垂直於攝影機光軸的姿態量測比較不可靠。

至於 IMU 與視訊追蹤系統是利用觸發來進行同步，而攝影機的曝光時間是  $1/1000\text{s}$ ，因此每 1ms 觸發一次。



圖(10). a)視訊追蹤的標記 b)IMU 和標記安裝在手上 c)測試環境使用一台攝影機

## 5.2 導航演算法

在 3D 空間中的物體追蹤，需要適當的採樣頻率才能得到可靠的估計，但由於偏差與飄移會產生累積誤差，所以微機電的 IMU 沒辦法長時間的估計位置，另一方面，視訊追蹤系統會被視線所限制。因此，利用擴展型的卡爾曼濾波器整合這兩種感測器所得到的資訊，就可以增加精確度和取樣頻率。

### A. 導航模型

在這裡導航模型可描述成兩個座標系，一個是 IMU 的座標系 b-frame，另一個則是視訊追蹤系統的座標系 v-frame，在這個導航模型裡，我們必須要將 IMU 量測到的加速度及角速度轉換成移動物體在 v-frame 的姿態、位置以及速度。

而 IMU 量測到的尤拉角(roll  $\phi$ , pitch  $\theta$ , yaw  $\psi$ ) 可以組成一個矩陣來表示 b-frame 與 v-frame 之間的旋轉關係, 旋轉矩陣如下

$$C_b^v = \begin{pmatrix} c\psi c\theta & c\psi s\theta s\phi - s\psi c\phi & c\psi s\theta c\phi + s\psi s\phi \\ s\psi c\theta & s\psi s\theta s\phi + c\psi c\phi & s\psi s\theta c\phi - c\psi s\phi \\ -s\theta & c\theta s\phi & c\theta c\phi \end{pmatrix} \quad (6)$$

上式的 s 表示 sin, c 表示 cos, 而尤拉角與 b-frame 量測到的角速度  $\vec{\omega}_{vb}^b$  之間的微分關係如下

$$\dot{\phi} = (\omega_{vb,y}^b \sin\phi + \omega_{vb,z}^b \cos\phi) \tan\theta + \omega_{vb,x}^b \quad (7)$$

$$\dot{\theta} = \omega_{vb,y}^b \cos\phi - \omega_{vb,z}^b \sin\phi \quad (8)$$

$$\dot{\psi} = (\omega_{vb,y}^b \sin\phi + \omega_{vb,z}^b \cos\phi) \sec\theta \quad (9)$$

我們正確的估計出姿態角之後, 就可以利用式(6)將 b-frame 的加速度  $\vec{a}_{vb}^b$  轉換到 v-frame 的  $\vec{a}_{vb}^v$ , 再加上重力  $\vec{g}^v$  的影響, 所以動態速度可以表示如下

$$\vec{v}_{vb}^v = \vec{a}_{vb}^v + \vec{g}^v = C_b^v \vec{a}_{vb}^b + \vec{g}^v \quad (10)$$

最後位置的微分方程式如下

$$\dot{\vec{p}}_{vb}^v = \vec{v}_{vb}^v \quad (11)$$

## B. 擴展型卡爾曼濾波器

卡爾曼濾波器被廣泛的運用在導航上的問題, 在此追蹤的應用中要利用 EKF 估計 15 個狀態, 如下

根據式(12), 所有的狀態向量包括:

- 表示姿態的尤拉角  $\vec{\Psi} (\phi, \theta, \psi)$
- 位置  $\vec{p}_{vb}^v (x, y, z)$
- 速度  $\vec{v}_{vb}^v (v_x, v_y, v_z)$
- 角速度的偏差  $\vec{b}_\omega (b_{\omega x}, b_{\omega y}, b_{\omega z})$
- 加速度的偏差  $\vec{b}_a (b_{ax}, b_{ay}, b_{az})$

$$\vec{x}_k = \left( \vec{\Psi}_k^T \quad \vec{p}_{vb,k}^v{}^T \quad \vec{v}_{vb,k}^v{}^T \quad \vec{b}_{\omega,k}{}^T \quad \vec{b}_{a,k}{}^T \right)^T \quad (12)$$

從 IMU 量測到的加速度  $\vec{a}_{vb,IMU}^b$  和角速

度  $\vec{\omega}_{vb,IMU}^b$  被當作濾波器的輸入, 如下

$$\vec{u}_k = \left( \vec{\omega}_{vb,IMU,k}^b{}^T \quad \vec{a}_{vb,IMU,k}^b{}^T \right)^T \quad (13)$$

IMU 的量測值通常會有偏差  $\vec{b}$  和雜訊  $\vec{w}$ , 在卡爾曼濾波器會其考慮在模型裡, 因此, 感測器的偏差及雜訊表示如下

$$\vec{\omega}_{vb,IMU}^b = \vec{\omega}_{vb}^b + \vec{b}_\omega + \vec{w}_\omega \quad (14)$$

$$\vec{a}_{vb,IMU}^b = \vec{a}_{vb}^b + \vec{b}_a + \vec{w}_a \quad (15)$$

在這裡擴展型卡爾曼濾波器是用離散微分方程來表示此導航模型的狀態方程式及量測方程式, 如下

$$\vec{x}_{k+1} = \vec{f}(\vec{x}_k, \vec{u}_k, \vec{w}_k) \quad (16)$$

$$\vec{z}_k = \vec{h}(\vec{x}_k, \vec{v}_k) \quad (17)$$

根據上一節的微分方程, 可以推導出上述的非線性方程式

$$\vec{f}(\vec{x}, \vec{u}, \vec{w}) = \begin{pmatrix} \vec{\Psi} + \vec{f}_{EulerUpdate}(\vec{x}, \vec{u}, \vec{w}) \\ \vec{p}_{vb}^v + \vec{v}_{vb}^v \Delta T + \frac{1}{2} \Delta T^2 (C_b^v \vec{a}_{vb}^b + \vec{g}^v) \\ \vec{v}_{vb}^v + \Delta T (C_b^v \vec{a}_{vb}^b + \vec{g}^v) \\ \vec{b}_\omega \\ \vec{b}_a \end{pmatrix} \quad (18)$$

上式中的  $\vec{a}_{vb}^b$  用來取代式(15), 包含加速度的量測值、偏差和雜訊, 而尤拉角的更新方程式如下

$$\vec{f}_{EulerUpdate}(\vec{x}, \vec{u}, \vec{w}) = \begin{pmatrix} (\omega_{vb,y}^b s\phi + \omega_{vb,z}^b c\phi) \tan\theta + \omega_{vb,x}^b \\ \omega_{vb,y}^b c\phi - \omega_{vb,z}^b s\phi \\ (\omega_{vb,y}^b s\phi + \omega_{vb,z}^b c\phi) \sec\theta \end{pmatrix} \Delta T \quad (19)$$

上式中的  $\vec{\omega}_{vb}^b$  用來取代式(14), 包含角速度的量測值、偏差和雜訊。

視訊追蹤系統可以直接測量位置及姿態, 所以量測方程式可以表示成

$$\vec{h}(\vec{x}, \vec{v}) = \begin{pmatrix} \psi \\ \vec{p}_{vb}^v \end{pmatrix} + \vec{v} \quad (20)$$

這裡的  $\vec{v}$  式視訊追蹤系統量測到的雜訊, 而在式(20)中只有偏航角 yaw 被考慮, 因為視訊系統是從上面往下拍移動物體, 所以量

測到的旋轉角 roll 與俯仰角 pitch 是不可靠的。

根據式(19)和式(20)，可以計算出 EKF 所需的偏導數矩陣，如下

$$\Phi_k = \frac{\partial \vec{f}}{\partial \vec{x}}(\vec{x}_k, \vec{u}_k, 0) \quad (21)$$

$$W_k = \frac{\partial \vec{f}}{\partial \vec{w}}(\vec{x}_k, \vec{u}_k, 0) \quad (22)$$

$$H_k = \frac{\partial \vec{h}}{\partial \vec{x}}(\vec{x}_k, 0) \quad (23)$$

$$V_k = \frac{\partial \vec{h}}{\partial \vec{v}}(\vec{x}_k, 0) \quad (24)$$

這些矩陣將會用在擴展型卡爾曼濾波器的預測的步驟

$$\vec{x}_{k+1}^- = \vec{f}(\vec{x}_k^+, \vec{u}_k, 0), \quad (25)$$

$$P_{k+1}^- = \Phi_k P_k^+ \Phi_k^T + W_k Q_k W_k^T \quad (26)$$

和校正的步驟中

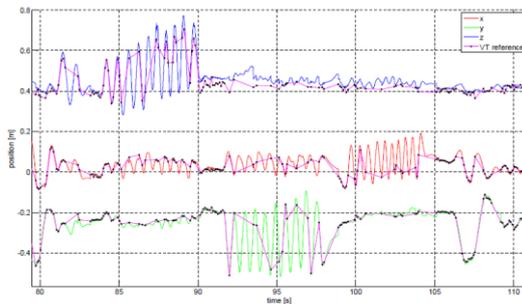
$$K_k = P_k^- H_k^T (H_k P_k^- H_k^T + V_k R_k V_k^T)^{-1}, \quad (27)$$

$$\vec{x}_k^+ = \vec{x}_k^- + K_k (\vec{z}_k - \vec{h}(\vec{x}_k^-, 0)), \quad (28)$$

$$P_k^+ = (I - K_k H_k) P_k^-. \quad (29)$$

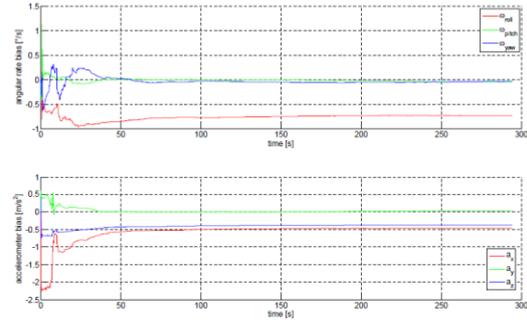
### 5.3 實驗結果

Hartmann 的實驗結果，是將 EKF 做出來的結果與視訊系統的結果作比較，如圖(11)，可以明顯的觀察到其中有幾段視訊系統的結果，會因為物體移動的速度過快而導致資訊遺失的現象。



圖(11). EKF 位置估測結果與 VT 系統實際量測位置的結果

而 EKF 在角速度與加速度偏差的估測，如圖(12)，也可以明顯的觀察到偏差的估測經過大約 50 秒後會開始穩定，可以看得出 EKF 的整合的確可以改善 IMU 和視訊追蹤系統彼此的缺點，表(2)是 Hartmann 所實驗的誤差與環境設定。



圖(12). EKF 偏差的估測

test sequence	Position - mean deviation to VT [m]		
	x	y	z
1	0.0063	0.0075	0.0167
2	0.0075	0.0082	0.0137
3	0.0069	0.0067	0.0163
4	0.0072	0.0064	0.0130
5	0.0096	0.0099	0.0221
6	0.0078	0.0076	0.0168
<b>overall</b>	<b>0.0075</b>	<b>0.0077</b>	<b>0.0164</b>

test sequence	Position - maximal deviation to VT [m]		
	x	y	z
1	0.0747	0.1054	0.1434
2	0.1123	0.0846	0.1066
3	0.0964	0.1167	0.0890
4	0.0884	0.1390	0.0811
5	0.1408	0.1778	0.1489
6	0.1540	0.1093	0.0998
<b>overall</b>	<b>0.1540</b>	<b>0.1778</b>	<b>0.1489</b>

test sequence	VT measurements		
	sampling rate <sup>1)</sup>	outage max <sup>2)</sup>	#outages >1s <sup>3)</sup>
1	6.01	2.42	26
2	5.86	2.23	18
3	6.47	1.62	9
4	6.35	2.05	7
5	4.42	3.19	49
6	5.83	1.94	20
<b>overall</b>	<b>5.8229</b>	<b>2.2405</b>	<b>21.5</b>

<sup>1)</sup> average sampling rate in test sequence [Hz]  
<sup>2)</sup> longest outage in test sequence [s]  
<sup>3)</sup> number of outages >1s in test sequence

表(2). EKF 與視訊追蹤系統的比較結果

### 三、結論

室內定位因建築環境使的訊號衰減，其無法由全球定位系統和雷達來實現，固我們研讀了許多室內定位技術並且在以上做了大致的簡介，包括影像定位、感測器定位和影像結合慣性元件定位等方式，而在這之中，又以影像結合慣性元件定位的精確度最為準確，因其將影像與慣性元件利用卡爾曼濾波器整合，如實驗結果所示，可提供較小的定位誤差。

### 四、參考文獻

- [1]<<http://zh.wikipedia.org/wiki/GPS>>
- [2]<<http://en.wikipedia.org/wiki/Radar>>
- [3]<[http://en.wikipedia.org/wiki/Differential\\_GPS](http://en.wikipedia.org/wiki/Differential_GPS)>
- [4]Martin Werner and Moritz Kessel, “Indoor Position Using Smartphone Camera” *In Position Location and Navigation(IPIN), 2011 IEEE*
- [5]Alberto Serra, Tiziana Dessi, Davide Carbon, Vlad Popescu, Luigi Atzori “Inertial Navigation Systems for User-Centric Indoor Applications” *NEM proceedings, 2010*
- [6]B. Hartmann, N. Link, and G. F. Trommer, “Indoor 3d position estimation using low-cost inertial sensors and marker-based video-tracking,” *In Position Location and Navigation Symposium (PLANS), 2010 IEEE/ION, May 2010, pp. 319 - 326.*
- [7]Analog Devices, Inc.  
<<http://www.analog.com>.>
- [8]The Imaging Source  
<<http://www.theimagingsource.com>.>
- [9]H. Kato and M. Billinghurst, “Marker

tracking and hmd calibration for a video-based augmented reality conferencing system,” *IWAR ' 99: Proceedings of the 2nd IEEE and AC International Workshop on Augmented Reality*, p. 85, 1999.

Martin Werner and Moritz Kessel, “Indoor Position Using Smartphone Camera” *in Position Location and Navigation(IPIN), 2011 IEEE*