



# 利用慣性感測器陣列實現一單磁矩地標近場定位系統

A Single Dipole-based Localization Method in Near Magnetic Field using IMU Array

孫冠群 / 駱聖文

工研院機械所 智慧機器人技術組 物流機器人系統部

**摘要：** 本文旨在利用一特定設計之慣性與磁力感測器陣列，尋找一相對於單磁矩地標之近場三維空間定位方法，實現精確有效的三維空間近場定位系統。此陣列的設計搭配新推導之演算法，有助於轉換系統中的非線性方程式，並利用得到的線性方程式與磁力線在空間中的梯度矩陣，配合使用條件限制式的卡爾曼濾波器來融合系統感測器資訊與解析出狀態值，以達到穩定的定位與姿態估測結果。最後以模擬與實驗結果來驗證此一基於單磁矩地標演算法在估測待測點三維座標的正確性與收斂性。

**Abstract :** This study focused on finding an efficient 3D localization method related to a single dipole landmark in the near magnetic field using an IMU (Inertial Measurement Unit) array. We derived a novel algorithm that could avoid dealing with higher-order nonlinearity and singularity of distance in denominator in a mathematical dipole model by using a designed structure array to approach the gradient tensor. Moreover, we applied a state constrained Kalman filter to solve an underdetermined problem and estimate the rotation matrix between a sensor and a landmark simultaneously. The simulation analysis and experiment result showed the effectiveness of the proposed algorithm in 3D positioning estimation from a single dipole magnetic landmark.

**關鍵詞：** 慣性感測器、磁力計、定位系統

**Keywords :** Inertial Measurement Unit、Magnetometer、Localization System

## 前言

機器人的室內定位系統長久以來一直是難解的問題，原因並非感測技術上的缺乏，主因在於對於定位精度的需求、感測器及計算單元的成本之取捨以及布建的難易度，造成需要定位資訊的應用一直沒有一項殺手級的方案可以適用於所有應用狀

況，依照現有的定位技術方法來分類如表 1。

(1) 三角定位法(triangulation)：傳統的定位法，原理在於利用 3 個以上已知座標的地標點，分別測量待測物與地標之間的距離，每一固定距離可以畫出一個圓，其圓周上的點即為待測點的可能位置，三個以上有相交的圓即可得到唯一的

表 1 定位技術分類

定位技術	三角定位法	指紋定位法	同步地圖建立與定位法	視覺定位法
感測裝置	藍芽、WiFi、超音波、雷射、全球定位系統(GPS)、聲納、雷達	藍芽、WiFi、地球磁力場	雷射測距儀、光學雷達(LiDAR)	深度或立體相機(stereo camera)
定位精度	公尺~毫米等級	公尺等級	公分等級	毫米等級
工作範圍	中~大範圍	中範圍	中範圍	小範圍



位置，藉以上方法反推待測物相對於地標的座標位置。此方法大致又可分为量測能量大小或是時間(相位)差，其優點在於定位運作的範圍較廣，從粗定位到細定位都有可以滿足需求的解決方案；缺點則在於布建的環境成本高，以及待測物與地標之間容易受到遮蔽的干擾造成定位的誤差。

- (2) 指紋定位法(fingerprinting)：目前新興的定位做法，事先建立好空間中現成的物理圖案資訊地圖(pattern map)，例如空間中無線訊號的能量分佈情形，或是地球磁場因為經過導磁物質(如鋼筋水泥等)而有的場型變化地圖；使用上係利用待測物上的感測器來感測目前所得到的資訊與物理圖案資訊地圖，然後以比對的方式來反推待測物所在的座標位置。優點在於布建便宜，幾乎不需要任何額外的地標成本，且較不會有累積誤差；缺點則為定位精度不夠，且容易受時變因素的干擾。
- (3) 同步地圖建立與定位法(simultaneous localization and mapping, SLAM)：目前無軌式導引系統最常見的定位方法，待測物上需配備有雷射測距儀，並在待測物的運動過程中，通過重複觀測與計算出的地圖特徵(如牆角、柱子等)定位待測物自身的位置和姿態，再根據自身位置逐漸累進地構建地圖，從而達到同時座標定位和地圖構建之目的。優點在於幾乎不需要任何額外的地標成本，定位精度可以達到公分等級；缺點為感測器價格偏高，安裝需求體積偏大。
- (4) 視覺定位法(vision)：視覺定位法概括所有需要利用攝影機的定位方法，包括具備深度資訊的攝影機如 Microsoft™ Kinect [32]、Zed Camera [33]等來取得深度影像特徵進而作辨別比對，或是利用特定視覺圖型安裝於定位處，藉由影像處理方法來辨別相對於圖案的座標位置資訊的方法等。其優點為定位精度高，可以達到毫米(mm)等級定位水準，缺點為定位範圍受限於攝

影機視角與遠近，通常在大範圍的定位比較不可行，再者視覺系統非常容易受到光線的影響，在明暗變化非常大的場域中，會使得攝像設備的成像有過度曝光的情形，造成無法繼續使用之情況。

在文獻上需要定位的應用很多，舉例來說，室內定位導航[1]、人體動作追縱[2]、物體姿態辨識[3]、三維空間地圖建立[4, 5]、物體裂痕偵測[6-8]等，大多數會用到的感測器包括全球定位系統(global positioning system, GPS) [9]、雷射測距儀[10]、視覺系統[11]、利用 Wi-Fi 訊號來定位的方法[12-14]、以及利用聲源或是雷達波的系統[15]。GPS 系統已實際應用多年，但一般只限於在戶外定位，且容易受到天氣變化影響，一但進入到室內就必需加上雷射測距儀或是視覺系統輔助[16-18]，受到價格不菲、需要高速運算單元以及要有特徵明顯的場地等原因，造成這個方法不容易推廣。本文要介紹的定位技術是利用分析單磁矩的磁力場分佈情形來達到近場定位的功效，在文獻上利用此技術來做定位的包括有[19-21]，大部分需要利用重複疊帶(recursive)的方法來計算空間的磁場梯度矩陣，然而運用疊帶的方法容易使整個系統溢散，而我們則是利用設計感測器矩陣搭配基於卡曼濾波器的演算法來融合感測器資訊，進而估測求解，省去了疊帶的步驟也增強了系統的剛健性(robustness)，其演算法與技術細節如下介紹。本文同時已投稿至 IEEE 會議論文並在 2016 年於上海發表[30]。

## 單磁矩地標定位方法介紹

### 1. 單磁矩模型

圖 1 為單磁矩模型的示意圖，其中  $\mathbf{p}$  為地標磁矩，對應座標系統  $[Ox \ Oy \ Oz]$ ，而感測器陣列對應座標系統為  $[bx \ by \ bz]$ ，感測器陣列處放置至少 4 個感測器(將他們編號為 0 號、1 號、2 號、3 號)，其中編號 0 號的感測器放置於原點，1 號，2 號以及 3 號感測器分別放置於感測器陣列對應座

更完整的內容

請參考【機械工業雜誌】412期・106年7月號

每期220元・一年12期2200元

劃撥帳號：07188562 工業技術研究院機械所

訂書專線：03-591-9342

傳真訂購：03-582-2011

機械工業雜誌官方網站：[www.automan.tw](http://www.automan.tw)

機械工業雜誌信箱：[jmi@itri.org.tw](mailto:jmi@itri.org.tw)