

雷達感測物件距離之性能驗證

國立台北科技大學 機器感知實驗室 / 吳哲佑

車用毫米波雷達能感測長短距離之交通物件的能力，但由於是以無線電波為主動發射的來源訊號，因此，在實際的交通環境進行物件感測時，仍存在干擾和量測漂移的現象，同時，雷達感知物件邊界位置資訊，並不十分精確，若能有效的對於雷達感測物件距離之性能進行驗證，並提供距離感測誤差分析，以作為改善雷達感測或雷達影像感測之演算法設計之修正參考。

光達相較於雷達感知物件距離有較高的精確度，本計畫將以光達配合雷達與影像資訊進行校準，將配准後之雷達和影像資訊，和經過光達感測物件分割後之資訊，進行比對和分析，對雷達實際感測物件距離之性能進行驗證，提供物件距離感測誤差之統計分析，以作為開發雷達影像感測物件距離之參考依據。

一、校正演算法設計

為了共同校正多個感測器，校正目標應在所有相關模式下均可檢測到。我們使用的校準目標設計，如圖 1 所示，具有四個圓形孔，並且在板子背面的中央還包含一個金屬三面角反射器，以提供強大的雷達反射。此外，我們的校準板是由泡沫聚苯乙烯製成的，不會影響角反射器的可檢測性。

相機和光達檢測器都返回四個圓心的位置。具有四個特徵點有助於識別錯誤的檢測，因為最大距離（對角線）與最小距離（正方形的邊）之比應等於 $\sqrt{2}$ 。偏離該比值的異常板將被丟棄。雷達在二維平面上返回檢測結果，並生成極坐標和 RCS 值的測量值。在預期 RCS 範圍內的所有檢測中，採用與汽車最接近的雷達檢測。本研究所使用校準演算法如圖 2 所示：

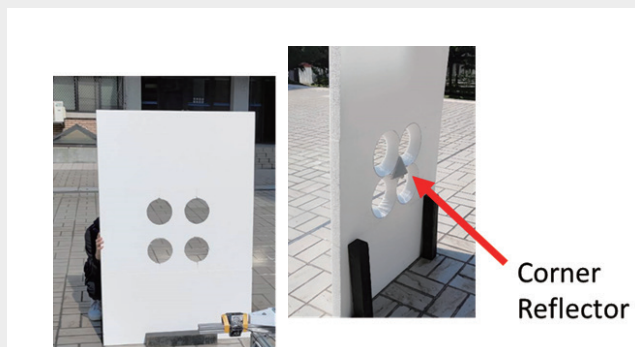


圖 1.

我們所使用的校正目標設計，金屬三面角反射器如紅色箭頭所示

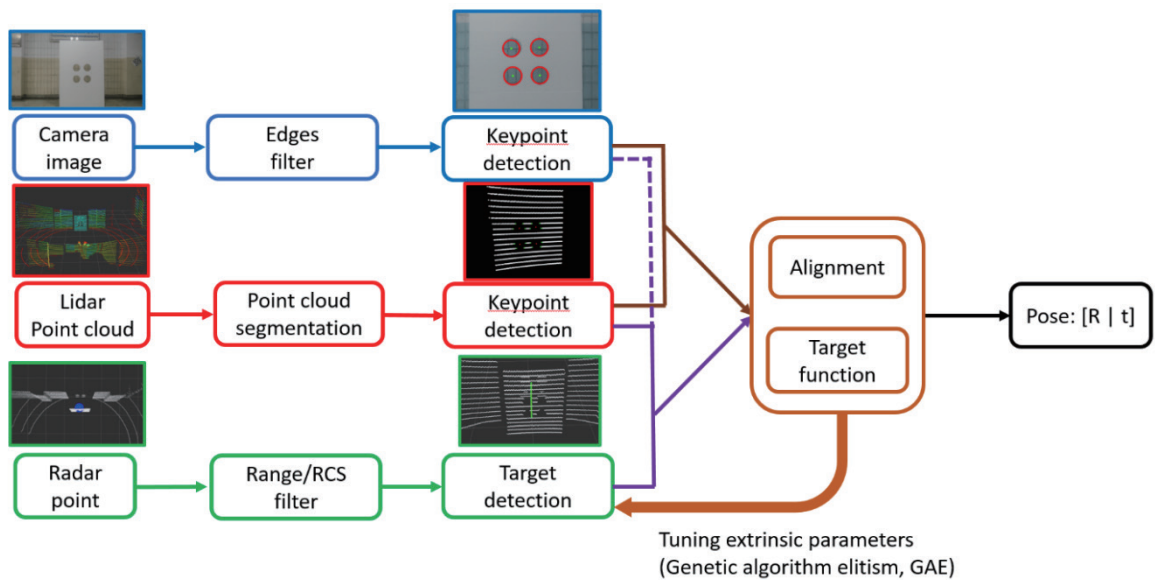


圖 2. 校準演算法流程圖

在相機處理的部分，我們先將相機所得到的影像資訊先進行高斯濾波平滑降低影像的雜訊，再進行 Canny 邊緣偵測，最後再將邊緣偵測的結果做 Hough 找圓，進而得到四個圓的圓心。光達點雲的部分，我們先針對感興趣的區域使用 RANSAC 方法獲取平面，在平面上將同一線上相鄰的點的距離做差值，差值超過閾值的就視為找到平面的邊緣點，由於邊緣點雲存在深度不連續，再經過去除離群值得到圓的邊界得到圓心。最後雷達的部分經由距離以及 RCS 範圍的篩選後，得到我們角反射器的極座標位置，然而在這由於我們雷達使用的是 77GHz 毫米波雷達，較難以得知物體 z 軸的座標，所以我們會在物體座標位置進行 z 方向的上下延伸，來配準經由影像或光達點雲計算過後目標板子的中心點。

最後的步驟，就是進行對準與評分的操作，尋找出最佳的修正偏移量，而尋找的方式主

要會依靠經過初次配準後的結果當作其初始條件，在附近設定一個搜尋空間。在這個搜尋空間中，找出一組最好的修正量，用以修正光達、相機和雷達的外部參數。

當我們建立起目標函數，去評斷光達及單眼相機外部參數的效果後，最後我們需要在我們所建立的搜尋空間中，尋找一個最佳的外部參數修正量，在這個修正量中，總共有 6 個參數，分別為 x 方向、y 方向、z 方向、roll 方向角、pitch 方向角、yaw 方向角，如何解決在這搜尋空間中總共找出 6 個參數的最佳參數，是我們所面臨的問題，若是使用窮盡搜尋法去搜尋，相當耗時。因此，我們提出以菁英選擇式的基因演算法 (Genetic algorithm with elitism, GAE) 來進行快速且精確的搜尋，選擇這樣的演算法，主因是我們的目標函數是透過光達和影像和雷達處理後所得到的結果，並不是一個封閉的關係式，我們又期望演算法的選

擇過程能夠快速地找尋外部參數的最佳解，因此，我們選用有菁英選擇式的基因演算法快速且精確收斂目標點的性質，增進搜尋演算的性能，改善現有演算法多感測器校正的效能。

二、實驗平台

針對我們最後得到的外部參數結果進行測試驗證，使用的光達、相機和雷達分別為 Velodyne 16 線，Logitech c922 彩色攝影機，解析度為 1280*720 像素空間，還有 Continental ARS408-21 77GHz 毫米波雷達，實際上我們所感測的目標會有三個，校正版、機車和汽車，我們會以光達所在位置當做原點，高精度雷射測距儀當作真實距離 (Ground Truth)，進行光達和雷達的物件距離的性能分析，(圖 3-a) 為雷達所感測的物件距離映射到影像的結果，藍色圓點為雷達映射點，不同圓點大小，代表不同的距離資訊，(圖 3-b) 為雷達所感測的物件距離映射到光達測距圖的結果，從此圖中可以看到雷達測到三種物件的距離資訊和 RCS 值，位於校正板後的角反射器的 RCS 值最高，其次，是車輛與機車，(圖 3-c) 為光達所感測物件距離映射至影像的結果，圖中不同顏色，代表不同深度距離，(圖 3-d) 為光達所感測物件距離資訊圖的結果。將光達和雷達與影像的感知模組經過移動 20 次不同距離與角度的實驗與測試，分別以雷達、光達以及高精度雷射測距儀，測量出此三種物件距離，如表 1 所示，光達測距的誤差最小，約略在 3 公分以下，針對我們所提出的菁英選擇式的基因演算搜尋法，所得到的外部參數資訊，經過測距性能分析，相較於 (2020 Domhof et al.)^[1] 所提出的多感測器校正法，我們有較優越的測距性能。



圖 3-a. 相機 - 光達 - 雷達映射資訊 - 雷達投影至影像

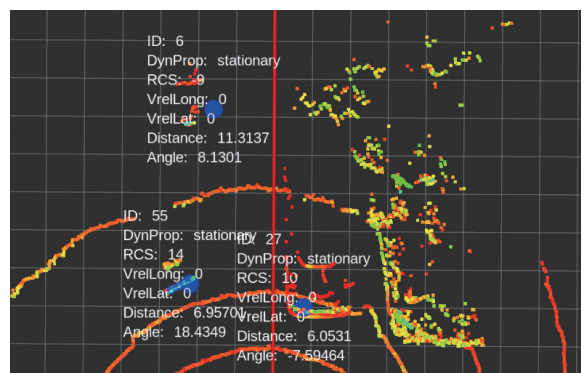


圖 3-b. 相機 - 光達 - 雷達映射資訊 - 雷達投影至光達

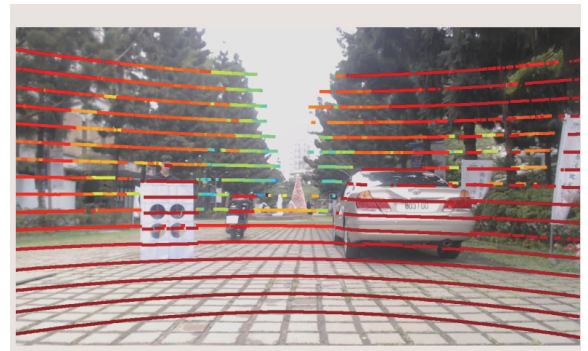


圖 3-c. 相機 - 光達 - 雷達映射資訊 - 光達投影至影像

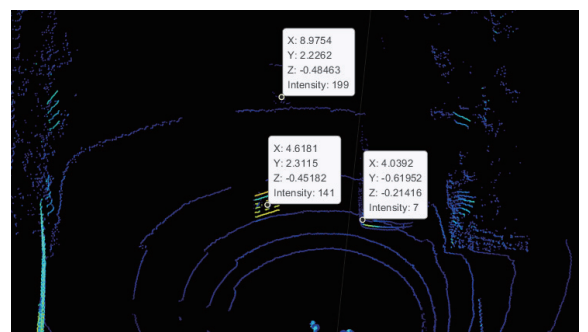


圖 3-d. 相機 - 光達 - 雷達映射資訊 - 光達感測距離

表 1、雷達測距性能比較

平均誤差[m]	汽車	校正板	機車
光達測距	0.029	0.007	0.029
雷達測距(Domhof et al.)[1]	0.224	0.147	0.250
雷達測距(Proposed)	0.137	0.046	0.210

三、結語

經由我們所提出的校正演算法對於靜態的測距分析已有初步成果，而且，從實驗中也可觀察出光達測高精密的測距效能，未來會再進行實車動態實驗測試，將會以光達測距的資訊，當作對標的參考，對實車上的雷達測距性能進行評估與分析，同時，將加入 2 組 RTK(自車和待測的交通物件) 高精度定位模組於實驗中，可抽樣評估以光達測距評估雷達測距之效能的 KPI，作為實車測試報告之參考。

四、附錄

表 2、Continental ARS 408-21 長距雷達 77 GHz 規格表

測量性能	一般目標(非反射目標)
測距範圍	0.2-250m(長距模式), 0.20-70m/100m(短距模式, ±45°範圍內), 0.20-20m(短距模式, ±60°範圍內)
距離測量分辨率	1.79m(長距模式), 0.39m(短距模式, 0.2m@standstill), 在滿足 1.5 到 2 倍分辨率的條件下可對兩個物體進行區分
距離測量精度	±0.40m(長距模式), ±0.40m(短距模式, ±0.05m@standstill)
水平角分辨率	1.6°(長距模式), 3.2°@0° / 4.5°@±45° / 12.3°@±60° (短距模式), 在滿足 1.5 到 2 倍分辨率的條件下可對兩個物體進行區分
水平角精度	±0.1°(長距模式), ±0.3°@0° / ±1°@±45° / ±5°@±60° (短距模式)
速度範圍	-400 km/h ... +200 km/h (- 表示遠離目標, + 表示靠近目標)
速度分辨率	0.37 km/h (長距模式) , 0.43km/h(短距模式)
速度精度	±0.1km/h

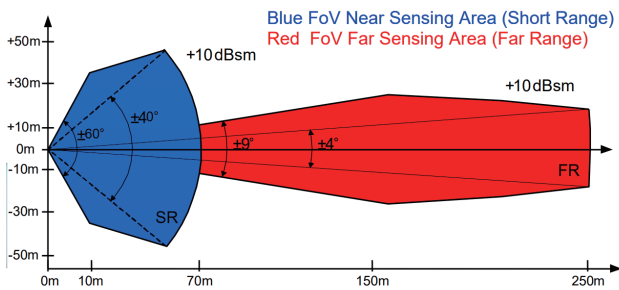


圖 4 . ARS 408-21 測距範圍

表 3、Velodyne VLP-16 規格表



規格	
通道數	16
波長	905nm
測量距離	最遠 100m
測量準確度	±3cm(常規)
水平視野	360°
垂直視野	30° (+15° to -15°)
水平分辨率	0.1-0.4°
垂直分辨率	2.0°

參考資料

- [1] J. Domhof, J. F. P. Kooij, and D. M. Gavrila, "An Extrinsic Calibration Tool for Lidar, Camera and Radar," In 2019 International Conference on Robotics and Automation (ICRA), pages 8107–8113, May 2019.