

藍牙低功耗定位系統的設計與實現

專題編號：114-2-CSIE-S012

執行期限：114年第1學期至114年第2學期

指導教授：吳和庭

專題參與人員：112590014 張孟綺

112590015 彭晞晴

112AB0053 楊子毅

一、摘要

本研究針對單一使用 RSSI 或 AoA 易受多徑干擾導致定位不穩的問題，提出一套融合式定位方法。結合兩者互補特性，運用分群法、卡爾曼濾波與最小平方方法優化資料處理，以提升定位精度與穩定性。此外，設計支援多 Tag 的雙層識別機制並整合溫度感測，成功建置即時全端室內定位系統。

關鍵詞：藍牙低功耗(BLE)、室內定位、RSSI、AoA、多裝置定位、卡爾曼濾波

二、緣由與目的

室內環境因多徑效應使單一 BLE 定位(RSSI/AoA)易生誤差，難以兼顧精度與穩定性。本研究目的為：(1) 整合 RSSI 優化 AoA 角度量測；(2) 濾除多徑干擾以提升軌跡穩定性；(3) 建立多 Tag 識別傳輸架構；(4) 實作 Vue.js 前端即時視覺化監控介面，提供完整室內定位解決方案。

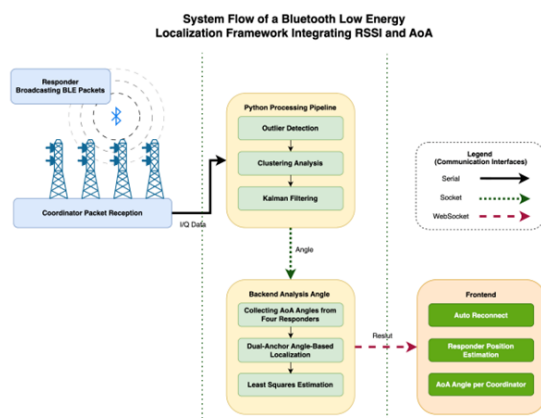


圖1 研究流程圖

三、研究報告內容

本即時定位系統分為三端：硬體端接收 BLE 封包並擷取 RSSI 與 I/Q Data；後端(Python)執行融合演算法進行角度與

座標估測；前端(Vue.js)透過 WebSocket 實現即時通訊並動態呈現軌跡與感測數據。

四、核心技術與演算法

為克服硬體本身條件與多路徑干擾，本研究提出以下優化流程：

- (一) 滑動視窗異常檢測：建立角度緩衝區，若新採樣與歷史穩定平均值相差較大則判定為異常值並剔除。
- (二) 階層式分群法：動態合併量測資料，篩選主要角度分布並排除離散誤差。
- (三) 卡爾曼濾波：利用二維狀態模型平滑時間序列資料，抑制角度震盪。
- (四) 雙錨點定位與最小平方方法：交叉比對多組錨點(Anchor)，透過最小平方方法擬合最佳軌跡。最佳軌跡。

五、多 Tag 識別機制

本研究透過 SyncHandle 與 Responder (Tag) MAC Address 建立雙層識別機制，以區分不同 Tag 來源。Tag 於初始廣播階段發送自身 MAC Address，建立 MAC 與 SyncHandle 對應關係；後續僅傳送 payload 資訊，系統則透過已建立之 mapping 機制，利用 SyncHandle 辨識並追蹤各 Tag 資料來源。

六、實驗環境建置與測試規劃

驗證場域設於宏裕科技大樓六樓中庭，於空地建置邊長一公尺之正方形區域，四個頂點配置由 TI-CC26X2R1 與 BOOSTXL-AOA 組成的四組 Anchor 接收節點。動態測試採用自走車搭載Tag，以定速沿座標(10,-10)至(0,0)對角線移動，以此作為真實移動路徑，如圖2。

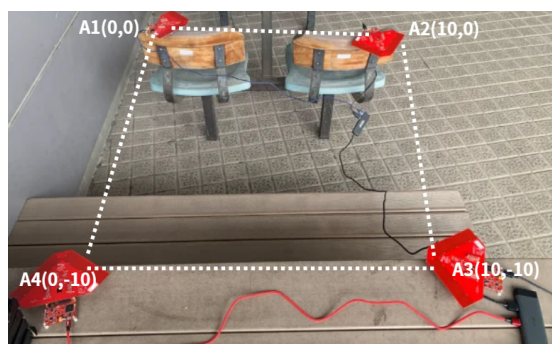


圖 2 實體場域佈署示意圖

七、實驗結果與成效分析

(一) 角度定點量測成效：測試結果顯示，在 0° 至 $\pm 45^\circ$ 中小角度範圍內，演算法優化後之角度量測精準度與穩定度皆獲得顯著提升。其中以 0° 正前方表現最佳，優化後平均絕對誤差僅 0.52° （標準差收斂至 0.54° ）。

(二) 自走車動態軌跡校正成效：本實驗採用自組小車搭載 Tag，以定速沿對角線由座標 (10,-10) 移動至 (0,0)，即時連續軌跡對比如圖 3 所示。未經演算法優化之系統因環境干擾，座標點呈現大幅度隨機震盪與偏離；而導入本研究之演算法後，能有效消除隨機跳變現象，軌跡相較平滑且收斂，貼合真實移動路徑，實證本專題之演算法具備校正軌跡功能。



圖 3 真實路徑、原始數據與優化軌跡之三者對比圖

(三) 前端頁面展示：前端網頁透過 WebSocket 協定，接收後端座標與溫度數據。如圖 4 所示，介面成功同步繪製多組

Tag 的移動軌跡，並於側邊即時顯示其對應之 Tag Mac Address 與環境溫度。實證本系統具備完善的多目標同步定位與感測資料整合能力。

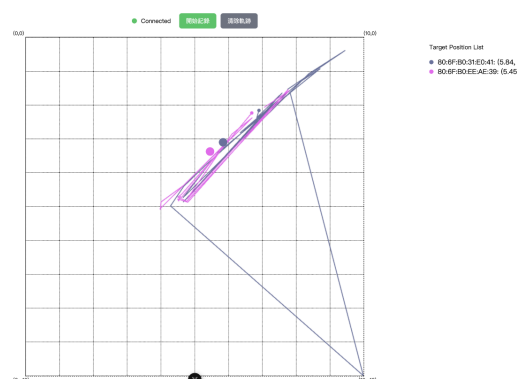


圖 4 多 Tag 同步定位前端介面展示

八、結論

本研究成功建構一套融合 RSSI 與 AoA 技術之 BLE 室內定位系統，並完成多 Tag 即時定位與前端監控功能之整合。系統透過 BLE Advertising 傳送資料，由 Anchor 接收 RSSI 與 I/Q Data 後，利用定位演算法進行位置估測，透過 WebSocket 將定位結果即時顯示於前端介面。

九、參考文獻

- [1] 楊信致，「藍牙低功耗系統之雙錨點角度定位演算法」，北科大碩士論文，2022。
- [2] Texas Instruments, "BLE5-Stack API Documentation," [Online].
- [3] G. Welch and G. Bishop, "An introduction to the Kalman filter," UNC, 1995.
- [4] F. Milano, H. da Rocha, M. Laracca, L. Ferrigno, A. Espírito Santo, J. Salvado and V. Paciello, "BLE-Based Indoor Localization: Analysis of Some Solutions for Performance Improvement," Sensors, vol. 24, no. 2, p. 376, Jan. 2024.