

UWB, GPS, BLE 하이브리드 방식을 이용한 고정밀 차량 위치 추적 시스템

지성민, 정성찬, 전승현*

대전대학교 컴퓨터공학과

noridev@icloud.com, jscksk@naver.com, creemur@dju.kr*

High-Precision Vehicle Tracking System using Hybrid UWB, GPS and BLE

Seongmin Ji, Seongchan Jeong, Seunghyun Jeon*

Dept. of Computer Engineering, Daejeon University

요약

본 논문은 대형 복합 시설 및 지하 주차장에서 발생하는 차량 위치 파악의 어려움을 해결하기 위해 GPS, BLE, UWB 기술을 결합한 하이브리드 차량 탐색 시스템을 제안한다. 기존 GPS의 실내 음영 문제와 BLE의 낮은 정밀도를 보완하기 위해, 스마트폰의 UWB 기술을 활용하여 cm 단위의 정밀 측위와 방향 탐지를 구현하였다. 본 시스템은 저비용으로 높은 수준의 정확도와 낮은 소모 전력 및 사용자 편의성을 제공함으로써, 기존 차량 탐색 시스템의 패러다임을 전환할 잠재력을 지니고 있다.

I. 서론

대형 쇼핑몰이나 지하 주차장에서의 주차된 차량 위치 탐색 시, 기존 위치 기반 서비스(Location Based System, LBS)의 핵심인 GPS는 실내 신호 음영 및 난반사 문제로, BLE(Bluetooth Low Energy)는 수많은 기기에서 사용되는 2.4GHz 신호 간섭 문제가 있으며, 특성상 거리 및 방향 측정과 같은 정밀 측위 정확도가 낮아 적합하지 않다. 반면, 최근 모바일 기기에 도입된 UWB(Ultra-Wideband) 기술은 넓은 대역폭을 이용해 cm 단위의 정밀 거리 측정과 도래각(Angle of Arrival, AoA) 기반의 방향 탐지가 가능하다. Apple에서는 이러한 변화를 적극적으로 반영하고 있어 iOS 환경이 본 논문에 적합하다고 판단하였다.

따라서 본 논문에서는 iOS 환경에서의 GPS의 광역 위치 정보와 BLE의 대략적인 근거리 거리 측정 및 UWB의 정밀 측위 기술을 결합하고, 모바일 기기의 리소스 제약을 고려한 최적화된 데이터 처리 파이프라인을 갖춘 GPS, BLE, UWB 하이브리드 위치 추적 시스템을 제안한다.

II. 시스템 구조

본 시스템은 사용자 단말(iOS)과 차량 내 UWB 모듈로 구성되며, 데이터 처리 흐름에 따라 그림 1과 같이 3계층으로 설계되었다.

- **통신 계층 (Communication):** `BluetoothManager`가 담당한다. BLE를 통해 저전력으로 장치를 스캔 및 연결하며, UWB 세션 초기화를 위한 토큰(NI-DiscoveryToken) 교환 등의 핸드셰이크를 수행한다.
- **측위 계층 (Positioning):** `NearbyInteractionManager`가 UWB 모듈로부터 거리(Distance), 방향(Direction), 고도(Elevation) 정보를 실시간으로 수신한다. 또한, 안정적인 위치 추적을 위해 이동 평균 필터

(Moving Average Filter)를 적용하여 노이즈를 감소시킨다.

- **표현 계층 (Presentation):** `MapKit` 기반의 지도 뷰에서 차량의 위치와 현재 내 위치를 표시하는 `FindMyCarMapView`와 모듈과 단말 간의 거리 및 방향을 표시하는 `MeasurementDisplayView`를 통해 사용자에게 직관적인 시각 정보를 제공하는 표현 계층(Presentation Layer)을 구성하였다. Apple의 `MapKit`을 이용한 경로 안내를 사용할 수 있고, BLE 및 UWB 범위 내에서는 나침반 형태의 방향 지시기를 제공해 사용자 친화적 인터페이스를 구현한다.

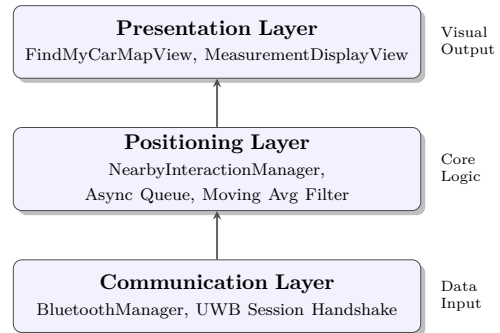


그림 1. 계층형 시스템 구조

III. 핵심 기술

본 시스템은 각 통신 기술의 커버리지 특성을 활용하여 단계별 추적 로직을 수행한다.

- 1) **GPS:** BLE/UWB 연결이 불가능한 원거리에서는 차량의 마지막 GPS 좌표를 지도에 표시한다. 통신이 끊어진 시점의 위치를 저장하여 대략적인 경로를 안내한다.
- 2) **BLE:** 차량 인근(약 10~30m) 진입 시 연결된다. RSSI 강도에 따라 거리를 4단계("매우 가까움", "가까움", "근처에 있음", "멀리 있음")로 표시하며, 임계값 진입 시 자동으로 UWB 세션을 트리거하여 배터리 효율을 관리한다.
- 3) **UWB:** BLE 범위 내에서 활성화되며 cm 단위 거리와 정확한 방향을 제공한다. 복잡한 주차장에서 차량의 정확한 위치와 층수(고도 차이)를 식별한다.

IV. 구현 기술 (Implementation Technology)

본 논문에서는 실제 환경에서 발생하는 기술적 문제들을 해결하기 위해 다음과 같은 알고리즘과 로직을 구현하였다.

A. 시스템 안정성을 위한 최적화

- **UWB 세션 자동 복구 (Auto-Recovery):** 전파 간섭이나 알 수 없는 이유로 UWB 세션이 중단(Suspended)되거나 데이터 수신에 멈추는(Stall) 현상을 방지한다. Watchdog 로직을 통해 5초 이상 데이터 수신에 없을 경우, `forceRestartSession()`을 호출하여 즉시 세션을 재설정한다.
- **비동기 큐 최적화 (Async Queue):** 초당 수십 회 발생하는 고빈도 데이터를 메인 스레드에서 처리 시 발생하는 UI 지연을 방지한다. 백그라운드 스레드에서 작업을 처리하며, Serial Background Queue를 통해 I/O 로직을 분리하고, 위치 변화가 5m 이상일 때만 저장하도록 하여 연산 부하를 줄였다.
- **UI 업데이트 디바운싱 (Debouncing):** 센서 데이터 빈도와 화면 주사율 간의 차이로 인해 발생하는 기기 발열을 막기 위해 UI 갱신 주기를 0.2초로 제한하여 렌더링 효율을 높였다.

B. 탐색 모드

본 시스템은 상황에 따라 적절한 추적 모드를 자동으로 전환하여 사용자의 편의성을 극대화하며, 모바일 환경에서의 제한된 리소스를 최소한으로 사용하도록 설계되었다.

- **하이브리드 탐색 모드:** 앱 실행 시 이전에 저장된 기기 정보를 로드하고, 백그라운드에서 마지막으로 연결한 차량과 자동으로 연결을 시도한다. 차량과 멀리 떨어진 경우 MapKit 기반의 지도 뷰에서 GPS를 통해 표시되는 현재 내 위치와 차량의 마지막 위치 간 경로를 표시하여 차량 근처로 이동을 유도한다.
- **정밀 탐색 모드:** 차량에 근접하여 BLE 연결이 성립되면 UWB 탐색을 시작한다. 사용자는 거리(m/cm)와 방향 및 고도(Above/Below) 정보를 통해 층수가 다른 복잡한 주차장에서도 쉽고 빠르게 차량의 위치를 파악할 수 있다.

실제 모바일 환경에서의 안정성과 성능 최적화를 위해 그림. 2과 같은 로직을 구현하였다.

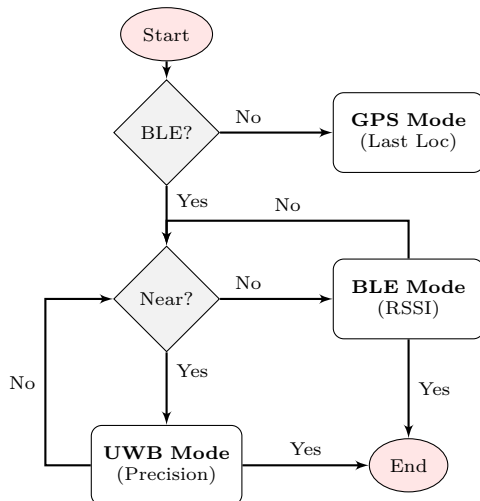


그림 2. 하이브리드 탐색 모드 논리 흐름

V. 결론

본 논문은 CoreBluetooth와 Nearby Interaction Framework를 활용하여 UWB 모듈(그림. 3)을 통한 저비용·저전력 차량 추적 시스템을 구현하였으며, 세션 자동 복구 및 대량의 센서 데이터에 대한 비동기 데이터 처리로 시스템 안정성을 확보하고, GPS-BLE-UWB 하이브리드 연동을 통해 실내외 환경 제약을 극복하였다. 이는 모바일 환경에 최적화된 데이터 파이프라인을 통해 저비용으로 고정밀 측위를 실현한 선도적 사례(그림. 4)이다.

향후에는 주차면 단위의 UWB 인프라 및 mmWave(밀리미터파) 기술을 도입하여 더욱 정확한 차량 위치를 제공하고 주차 가능 여부까지 판단하는 통합 주차 관제 시스템으로 발전시킬 수 있도록 지속적으로 개발해나갈 예정이다.

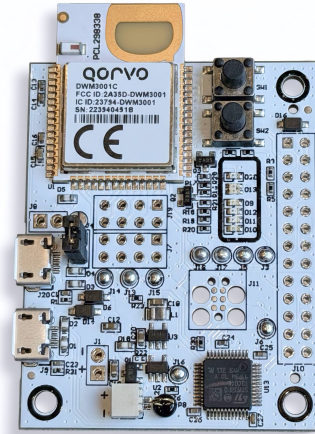


그림 3. UWB 모듈 (DWM3001CDK)



그림 4. 데모

참고 문헌

- [1] Apple Inc., "Nearby Interaction: Locate and interact with nearby devices using identifiers, distance, and direction," Apple Developer Documentation.
- [2] Apple Inc., "Core Bluetooth: Communicate with Bluetooth low energy and BR/EDR ("Classic") Devices," Apple Developer Documentation.
- [3] Apple Inc., "Core Location: Obtain the geographic location and orientation of a device," Apple Developer Documentation.
- [4] G. Caso *et al.*, "Performance Comparison of WiFi and UWB Fingerprinting Indoor Positioning Systems," *Technologies*, vol. 6, no. 1, 2018, doi: 10.3390/technologies6010014.
- [5] IEEE Standard for Low-Rate Wireless Networks—Amendment 1: Enhanced Impulse Radio (EiR) Ultra-Wideband (UWB) Physical Layers (PHYs) and Associated Ranging Techniques, IEEE Std 802.15.4z-2020.
- [6] Apple Inc., "Concurrency Programming Guide: Dispatch Queues," Apple Archive.