

스마트폰을 활용한 실내 주차 위치 추정 시스템

이규열, 김승구*

주식회사 모다무, *충북대학교

dlrbduf1346@gmail.com, kimsk@cbnu.ac.kr

Smartphone-Based Indoor Parking Location Estimation System

Lee Kyu Yeol, Kim Seung Ku*

Modamu Co., Ltd, *Chungbuk National University

요약

본 논문에서는 스마트폰에 내장된 기압·GNSS·IMU 센서를 활용하여 실내 진입 추론, CNN 기반 층 이동 감지, 회전 벡터 보정·ZUPT 칼만 필터·선형 보간 스무딩을 결합한 층 내 2차원 궤적 추정을 일관 수행하는 통합 파이프라인을 제안한다. 제안 시스템은 청주 소재 5개 실내 주차장에서 총 75회 실험을 통해 실내 진입 추론 정확도 98.7%, 층 이동 감지 정확도 96.0%, 평균 주차 위치 정확도 94.3%(오차 2.60m)를 달성하여, 추가 인프라 없이도 다양한 실내 주차 환경에서 안정적인 위치 추정 성능을 실증하였다.

I. 서 론

현대의 스마트 모빌리티 환경에서는 건물 내부에서의 차량 위치를 파악하는 기술이 주차 효율성, 물류 자동화 등 다양한 응용 분야의 핵심 요소로 자리 잡고 있다. 그러나 위성 기반 GNSS(Global Navigation Satellite System) 신호가 차단되는 실내·지하 공간에서는 전통적인 위치 추정 방법이 통하지 않으며, 이를 대체하기 위해 Wi-Fi, Bluetooth Low Energy, UWB(Ultra-wideband) 같은 무선 인프라를 추가로 구축하는 방식이 제안되어 왔다. 이러한 외부 인프라 기반 방법은 설치 비용·유지보수 부담이 크고, 주차장 구조 변경이나 전파 환경 변화에 따라 성능이 급격히 저하되는 문제가 있다. 반면, 대부분의 운전자가 이미 보유한 스마트폰의 내장된 센서들을 활용하면, 별도 하드웨어 추가 없이 차량 상태와 주행 이벤트를 실시간으로 감지할 수 있다. 본 연구는 스마트폰에 내장된 기압 센서, GNSS 센서, IMU(Inertial Measurement Unit) 센서를 활용하여 다음 세 기능을 단일 파이프라인으로 통합한 차량 실내 주차 위치 추정 시스템을 제안한다.

1. 실내 진입 추론- 차량이 외부 도로에서 주차 내부 건물로 진입하는 순간을 감지하여 실내 모드로 전환한다.
2. 층 이동 감지- 경사로 주행 시 상승·하강 패턴을 분석해 차량의 층 변화를 지속적으로 추적한다.
3. 층 내 이동 추정- 층 이동이 종료된 시점부터 주차 완료까지의 2차원 이동 경로를 계산해 최종 주차 위치 산출한다.

II. 본 론

본 장에서는 제안하는 실내 주차 위치 추정 시스템의 단계별 처리 과정을 설명한다.

먼저 실내 진입 추론은 차량의 실외에서 실내로 진입하는 과정에서의 스마트폰 GNSS 신호와 기압의 변화를 이용하여 판단한다. 주행 중에 지속적으로 실내 진입 여부를 판단해야 하기 때문에 주기적으로 기압을 수집·분석한다. 기압은 고도에 따라 상대적으로 변화하기 때문에 [1] 차량이 실내 주차장에 진입할 때 짧은 시간 내에 기압 상승 또는 하강이 발생한다.

또한, 실내 환경에서는 GNSS 수신 위성 수가 감소하는 특징을 활용하여, 기압 변화와 GNSS 수신 위성 수 감소를 결합한 이중 조건 방식으로 실내 진입 여부를 판단할 수 있다. 해당 방법으로 청주 소재 5개 실내 주차장에서 75회 실험을 수행한 결과, 74회를 올바르게 판단하였다.

층 이동 감지는 차량이 경사로를 따라 상·하향 이동할 때 발생하는 층간 변화를 실시간으로 검출하는 과정이다. 이를 위해 먼저 기압 연속 변화량이 실험적으로 도출한 임계치를 초과하는 시점을 층 이동 후보 구간으로 식별하고, 해당 구간에서 수집된 IMU 3축 가속도 시계열 데이터를 CNN(Convolutional neural network) 기반 분류 모델에 입력하여 ‘상향’, ‘하향’, ‘수평 이동’ 세 클래스로 판별한다. 모델 학습을 위해 실내 주차장 경사로 주행 데이터를 1.5초 윈도우로 분할해 총 1,500개의 샘플을 생성하였으며, 이를 70:30 비율로 학습용(1,050개) 및 검증·테스트용(450개)으로 활용하였다. 최종 분류 모델은 테스트 세트에서 96.2%의 정확도를 기록하였다. 그림 1과 그림 2는 CNN 기반 분류 모델에 대한 학습 손실·정확도 그래프와 혼동 행렬 히트맵이다.

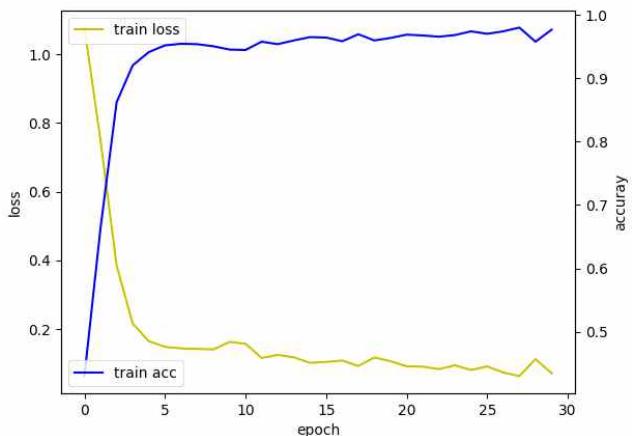


그림 1. Epoch 별 학습 손실·정확도 그래프

이후 후처리 단계에서는 분류 결과가 ‘상향’ 또는 ‘하향’으로 연속 검출된

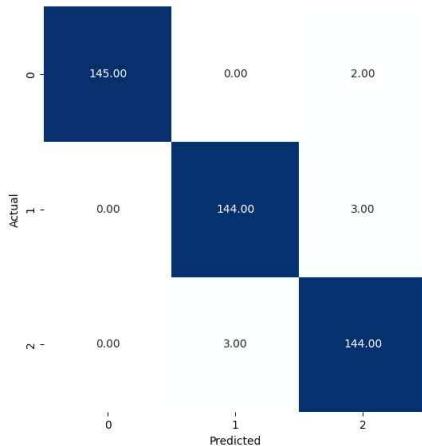


그림 2. CNN 분류 모델의 혼동 행렬 히트맵

누적 시간이 설정된 임계치를 초과할 때에만 이를 유효 층 이동 이벤트로 확정함으로써, 짧은 노이즈나 급격한 조향에 의한 오검출을 억제하고, 검출된 이벤트에 따라 누적 층 정보를 갱신한다. 해당 방법으로 총 75회의 층 이동 이벤트를 대상으로 실험을 진행했으며, 이 중 72건이 올바르게 판정되어 96%의 정확도를 달성하였다. 이 중 3회의 오분류는 경사로 간격이 짧은 주행 시나리오에서 차량의 속도가 매우 빠를 때 발생하였다. 층 내 이동 추정은 층 간 이동이 종료된 시점부터 주차 종료 시점까지의 2차원 평면 궤적과 구간별 이동 거리를 산출하는 단계이다. 이를 위해 먼저 회전 벡터 기반 자세 보정을 거쳐 스마트폰의 원시 가속도 및 자이로스코프 데이터를 어떠한 자세에서도 일관되게 측정할 수 있는 글로벌 좌표계 정보로 변환한다[2]. 보정된 가속도 데이터를 활용해, 중력 성분의 변화 폭이 사전 정의한 임계치 이하로 유지되는 구간을 정지 마스크로 검출하며[3], 회전 벡터 보정을 거친 z축 각속도 데이터를 분석하여 회전 마스크로 회전 구간을 식별한다. 이때, 회전 마스크 구간에서는 z축 각속도의 크기에 비례해 순간 회전 속도를 산정한다. 이후 ZUPT(Zero Velocity Update) 기반 1차원 칼만 필터로 드리프트를 보정하고[4], 정지·회전 구간 전후에 선형 보간 스무딩을 적용하여 연속적이고 물리적으로 일관된 속도 프로파일을 확보한다. 마지막으로 샘플링 레이트 100 Hz에 대응하는 샘플 간격 $\Delta t = 0.01\text{s}$ 만큼 속도를 적분하여 2차원 변위 ($\Delta x, \Delta y$)를 산출하고, 전체 이동 거리 및 정지·회전·이동 구간별 이동 거리도 함께 계산하였다. 실험은 차량을 특정 위치에 주차한 후 추정한 위치와 실제 위치를 비교하여 평균 오차율과 정확도를 산출했으며, 평균 정확도는 각 회차의 정확도를 회차 수만큼 산술평균하여 계산하였다. 수식 (1)은 각 회차의 정확도 $Accuracy_i$ 를 계산하는 식이다.

$$Accuracy_i = (1 - \frac{ME_i}{Distance_i}) \times 100\% \quad (1)$$

장소	평균 오차(ME, m)	평균 정확도(%)
NC백화점	1.90	97.2
현대백화점	3.27	94.9
롯데아울렛	2.38	93.6
홈플러스 청주점	3.46	91.5
충북대학교 도서관	2.00	94.3
총계	2.60	94.3

표 1. 층 내 이동 추정 실험 결과

표 1은 위 방법으로 청주 소재 5개 실내 주차장에서 각 15회 실험을 수행한 결과이다. 실험에서 차량의 평균 이동거리는 50.3m이며, 3개의 안드로이드 스마트폰을 시료로 수행되었다. 실험 결과를 종합해보면 총 75회의 주행 실험에서 평균 오차 2.60m, 평균 정확도 94.3%를 달성하였으며 다양한 실내 주차 환경에서도 안정적인 위치 추정 성능을 확인하였다.

III. 결 론

본 연구에서 제안한 스마트폰 기반 실내 주차 위치 추정 시스템은 실내 진입 추론, 층 이동 감지, 층 내 경로 추정을 하나의 파이프라인으로 결합하였다. 5개 주차장 75회 실험에서 실내 진입 98.7%, 층 이동 96.0%, 층 내 이동 평균 오차 2.60 m·정확도 94.3%를 기록하여, 추가 인프라 없이도 다양한 실내 주차 환경에서 안정적인 위치 추정이 가능함을 입증하였다. 또한, 본 시스템을 기반으로 개발한 안드로이드 애플리케이션 차차장이 Google Play에 배포되어 실제 사용자 환경에서의 활용 가능성을 확대하고 있다. 향후 연구로는 사용자별 주행 스타일 차이를 반영해 모델의 파라미터를 자동 튜닝하는 개인화 보정 알고리즘을 연구하여 위치 추정 정밀도를 개선할 계획이다.



그림 4. Google Play 스토어에 등록된 ‘차차장’ 앱 상세 화면 예시

ACKNOWLEDGMENT

본 연구는 2025년도 중소벤처기업부의 기술개발사업 지원에 의한 연구임 [RS-2023-00263827]

참 고 문 헌

- [1] Toni Fetzer, Frank Ebner, Frank Deinzer and Marcin Grzegorzek, “Using Barometer for Floor Assignment within Statistical Indoor Localization,” Sensors, vol. 23, no. 1, p. 80, Dec. 2022
- [2] Android Developers, “Rotation Vector Sensor,” Android Sensor Overview, https://developer.android.com/guide/topics/sensors/sensors_overview (accessed 2025).
- [3] Skog, I. and Handel, P., “In-Car Positioning and Navigation Technologies – A Survey,” IEEE Trans. Intell. Transp. Syst., vol.10, no.1, pp.4 - 21, 2009.
- [4] Welch, G., and Bishop, G., “An Introduction to the Kalman Filter,” Tech. Rep. TR 95-041, University of North Carolina at Chapel Hill, 2001.