스마트폰 센서를 활용한 지하주차장 내 방지턱 탐지

정주빈, 김관수, 신요안*

숭실대학교 전자정보공학부

jubin4167@soongsil.ac.kr, v-_-v333@hanmail.net, *yashin@ssu.ac.kr

(*교신저자)

Smartphone Sensor-Based Detection of Speed Bumps in Underground Parking Environments

Ju-bin Jung, Kwan-soo Kim, Yoan Shin*

School of Electronic Engineering, Soongsil University

(*Corresponding author)

요 약

본 논문에서는 GPS 신호가 불안정한 지하주차장 등의 실내 환경에서 스마트폰 가속도 센서를 활용하여 관성 항법 기반 차량 위치 추정 수행시 발생하는 누적 오차를 완화하는 방안을 고려한다. 특히, 차량이 방지턱을 통과할 때 가속도 센서값이 순간적으로 크게 변동되며 이를 적분하는 과정에서 위치 추정 오차가 급격히 증가하게 된다. 이에 본 연구는 이러한 이벤트를 탐지 가능한 기준점으로 정의하고, 가속도 크기의 진폭 변화 패턴을 기반으로 딥러닝 모델을 통해 방지턱 통과 여부를 분류한다. 이후 예측된 분류 결과를 바탕으로 방지턱 통과 구간의 이벤트를 보정하며, 실제 차량 운행 실험을 통해 방지턱 탐지 결과의 신뢰도 향상 및 제안 방식의 실용성을 검증한다.

Ⅰ. 서 론

최근 스마트폰의 보급 확대와 센서 성능의 향상으로, 외부 인프라 없이 스마트폰 내장 센서를 활용한 차량 관성 항법 (Vehicle Dead Reckoning; VDR) 기술이 활발히 연구되고 있다[1]. 지하주차장과 같이 GPS (Global Positioning System) 신호가 수신되지 않거나 매우 불안정한 환경에서는 GPS 기반 위치 추정 방식의 활용이 사실상 불가능하며, 이러한 한계를 극복하기 위한 대안으로 스마트폰 내장 관성 측정 장치 (Inertial Measurement Unit; IMU)를 활용한 VDR 방식이 주목받고 있다.

그러나 IMU 센서 기반 VDR은 시간 경과에 따라 센서 노이즈가 누적되며, 주행 시간이 길어질수록 위치 추정 오차가 커지는 드리프트 (Drift) 현상이 발생한다. 특히 차량이 방지턱이나 맨홀 뚜껑과 같은 구조물을 통과할 때, 센서 데이터에 급격한 동적 변화가 발생하여 방향 및 위치 추정의 정확도에 부정적인 영향을 미친다[2]. 따라서, 이러한 이벤트를 고려하지 않으면 실내 환경에서의 위치 추정 신뢰도가 심각하게 저하될 수 있다. 또한, 방지턱은 지하주차장에서 반복적으로 발생하는 대표적인 물리적 이벤트로, 이를 정확히 탐지할 수 있다면 VDR의 누적 오차를 완화할 수 있는 유용한 기준점으로 활용될 수 있다.

본 논문에서는 이러한 관점에서, 스마트폰의 IMU 센서 데이터를 기반으로 차량이 방지턱을 통과할 때 발생하는 센서 신호의 특징을 분석하고, 이를 통해 방지턱 이벤트를 탐지하는 방법을 제안한다.

Ⅱ. 데이터 수집 및 모델 구축

본 연구에서는 방지턱 이벤트를 기반으로 관성 항법의 누적 오차를 완화할 수 있는 기준점을 확보하기 위해, 스마트폰 가속도 센서를 활용한 탐지 모델을 구축하였다. 모델 학습을 위한 데이터는 숭실대학교 형남공학관 지하 1층 주차장에서 수집되었으며, 스마트폰은 차량의 중앙에 수직 방향으로 고정하여 설치하였다. 차량은 방지턱이 포함된 경로와 일반 평탄 경로를 각각 주행하였고, 가속도 데이터는 20Hz의 주기로 수집하였다. 스마트폰에 내장된 가속도 센서는 물체에 작용하는 선형 가속도를 x, y, z의 3축 방향 벡터 형태로 측정하며, 시간에 따른 속도 변화율을 반영하는 물리적 센서로, 차량 주행 중 발생하는 다양한 동적 이벤트를 정밀하게 감지할 수 있다. 본 연구에서는 이런 센서의 특성을 활용하여, 방지턱 통과 시 나타나는 급격한 진폭 변화를 탐지 가능한 물리적 이벤트로 정의하고 이를 모델링하였다.

수집된 데이터는 전처리 과정을 통해 3축 가속도값으로부터 가속도 크기를 계산하였으며, 각 구간의 진폭 변화 양상을 분석하였다. 방지턱 구간에서는 그림 1에 제시된 바와 같이, 가속도 크기가 급격히 증가하고 짧은 시간 내에 하강하는 특이한 진폭 패턴이 반복적으로 나타났으며, 일반 주행 구간과는 명확히 구분되는 분포 특성을 보였다.

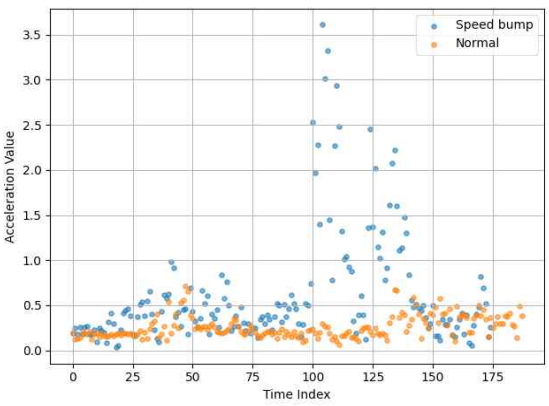

그림 1. 지하주차장 주행 중 방지턱 유무에 따른 스마트폰 가속도 센서값

이러한 패턴을 기반으로 가속도 크기와 해당 구간의 방지턱 유무를 라

벨링하여 데이터셋을 구축하고, 랜덤 포레스트 (Random Forest; RF) 분류 모델의 입력으로 사용하여 방지턱 탐지 모델을 구축하였다[3]. 랜덤 포레스트는 다수의 결정 트리를 구성하고 이들의 예측 결과를 앙상블하여 최종 출력을 도출하는 지도 학습 기반 분류 기법으로, 노이즈에 강하고 다양한 특징 조합을 자동으로 학습하는 데 효과적이다[4]. 모델의 입력은 가속도 크기 데이터이며, 출력은 해당 구간이 방지턱을 포함하는지 여부를 나타내는 이진 클래스 (0: 일반 구간, 1: 방지턱 구간)로 설정하였다.

Ⅲ. 실험 결과 및 결론

모델의 성능 검증을 위한 테스트 데이터는 숭실대학교 형남공학관 지하주차장에서 수집하였으며, 그림 2의 주황색 점선은 보정 전 RF 모델 예측 결과를 나타낸다. 예측 결과는 전반적으로 안정적인 탐지 성능을 보였지만, 짧은 길이의 오탐지 구간이 일부 존재하였다. 이에 따라, 모델 출력 결과를 기반으로 방지턱 구간의 시작과 끝을 식별한 뒤, 해당 구간 전체를 보정하는 후처리 과정을 수행하였다[5]. 보정 결과, 그림 2에 제시된 바와 같이, 초록색 점선과 파란색 실선이 유사하게 정렬된 것을 확인하였으며, 보정 전후 성능 변화는 표 1에 제시하였다. 이러한 보정 방식은 탐지 결과의 신뢰도를 높이는데 효과적이였으며, 후속 단계에서 이벤트 발생 시점에서의 가속도 센서 보정 또는 이동 거리 보정을 통해 적분 누적 오차를 완화하는 데 활용될 수 있다.

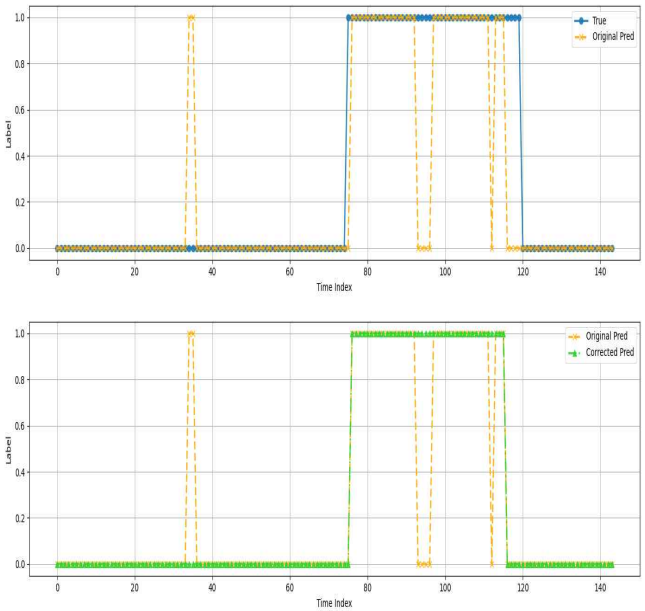

그림 2. 방지턱 탐지 결과 비교
(상: 실제값과 예측 결과, 하: 보정 전후 예측 결과)

표 1. 보정 전·후 RF 모델의 방지턱 탐지 성능 비교 결과

RF 예측 모델	Accuracy	F1-Score
Before Correction	91.67%	89.77%
After Correction	96.53%	95.83%

본 연구에서는 GPS 수신이 어려운 지하주차장 등의 실내 환경에서, 스마트폰 가속도 센서를 활용하여 차량의 방지턱 통과 시점을 탐지하고 이를 관성 항법 기반 위치 추정의 누적 오차 보정 기준점으로 활용하는 방식을 제안하였다. 방지턱 통과 시 나타나는 가속도 크기의 고유 진폭 패턴을 기반으로 Random Forest 모델을 학습하고, 분류 결과에 보정 방법을 사용하여 방지턱 구간 탐지 정확도를 향상시켰다. 그 결과, 보정 전 대비 정확도는 4.6%, F1-Score (Macro Average)는 6% 개선되었으며, 제안 방식의 효과를 실험적으로 검증하였다.

향후에는 방지턱 외에도 경사로, 맨홀 등 다양한 형태의 도로 구조물에 대해 탐지 가능성을 확장하고, 자이로스코프 및 자기장 센서 등 추가적인 IMU 정보를 포함한 멀티 센서 융합 방식을 도입함으로써, 이벤트 탐지의 정밀도와 환경 적응성을 더욱 향상시킬 계획이다.

ACKNOWLEDGMENT

본 연구는 과학기술정보통신부 및 정보통신기획평가원의 대학ICT연구센터사업의 연구결과로 수행되었음 (IITP-2025-RS-2023-00258639)

참 고 문 헌

[1] J. Wahlström, I. Skog, P. Händel, and A. Nehorai, “IMU-based smartphone-to-vehicle positioning,” *IEEE Trans. Intell. Vehicles*, vol. 1, no. 2, pp. 139-147, June 2016.

[2] E. Gallon, M. Joerger, and B. Pervan, “Development of stochastic IMU error models for INS/GNSS integration,” *Proc. ION GNSS+2021*, vol. 34, pp. 2565 - 2577, St. Louis, USA, Sept. 2021.

[3] B. Al-Shargabi, M. Hassan, and T. Al-Rousan, “A novel approach for the detection of road speed bumps using accelerometer sensor,” *TEM Jour.*, vol. 9, no. 2, pp. 469-476, May 2020.

[4] L. Breiman, “Random forests,” *Mach. Learn.*, vol. 45, pp. 5-32, 2001.

[5] R. J. Adams and B. M. Marlin, “Learning time series detection models from temporally imprecise labels,” *Proc. AISTATS 2017*, vol. 54, pp. 157-165, Fort Lauderdale, USA, Apr. 2017.