

도심 환경에서 제약조건 기반 RANSAC을 이용한 GNSS 도플러 속도 추정방법

김태호, 윤정현, 박병운*

*세종대학교

*byungwoon@sejong.ac.kr

GNSS Doppler Velocity Estimation Using Constraint-Based RANSAC in Urban Environments

Kim Taeho, Jeonghyeon Yun, Park Byungwoon*

*Sejong Univ.

요약

본 연구에서는 GNSS(Global Navigation Satellite System) 시스템에서 도플러 측정치를 설명하는 이상 신호를 제거하기 위해 제약조건 기반 RANSAC(Random Sample Consensus) 알고리즘을 적용하는 방법을 제안하였다. 실험 결과, 도심 환경에서 취득된 주행 데이터에 대해 제안한 방법은 기존 기법 대비 속도 추정 정확도가 향상됨을 확인하였다.

I. 서 론

위성 항법 시스템인 GNSS(Global Navigation Satellite System)는 사용자의 위치 및 속도를 추정하기 위해 활용되는 전 지구적 항법 시스템이다[1]. 최근 스마트폰을 기반으로 한 위치·항법 서비스의 활용이 증가함에 따라, 저가형 GNSS 수신기를 이용한 안정적인 위치 및 속도 추정 기술의 중요성이 더욱 부각되고 있다[2][3].

스마트폰 GNSS 수신기는 도심 환경에서 다중경로 및 NLOS(Non-Line of Sight) 신호의 영향으로 관측치에 이상 신호가 빈번히 포함되며, 이로 인해 위치 및 속도 추정 정확도가 저하된다[4]. 이러한 환경에서 도플러 측정치는 코드 관측치에 비해 상대적으로 안정적인 잡음 특성을 가지며, 유의미한 속도 정보를 제공할 수 있어 스마트폰 기반 속도 추정에 효과적으로 활용될 수 있다[4]. 그러나 도플러 측정치 역시 도심 환경에서는 NLOS 신호의 영향을 받아 측정치에 이상치가 포함되며 추정 성능이 저하되는 문제점이 있다.

이러한 문제를 완화하기 위해 기존 연구에서는 RANSAC(Random Sample Consensus)과 같은 강건 추정 기법이 적용되었다[5][6]. 그러나 기존 RANSAC은 각 epoch에서 서브셋을 독립적으로 선택하는 구조로 인해 시간적 연속성이 충분히 반영되지 못하며, 이상 신호가 우세한 경우 잘못된 속도 해가 선택될 수 있다[6]. 이에 본 연구에서는 칼만 필터 기반의 동적 제약조건을 추정 과정에 통합하여, 시간적으로 일관된 속도 추정을 가능하게 하는 방법을 제안하였다.

II. 본론

본 연구에서는 도플러 기반 속도 추정 결과의 연속성을 확보하고 추정 안정성을 향상시키기 위해 동역학 모델 기반 칼만 필터를 적용하고, 필터의 추정값을 제약조건으로 활용하여 RANSAC 알고리즘에 통합하였다. 칼만 필터의 상태 벡터는 수신기 속도, 가속도 및 수신기 시계오차 변화율을 포함하도록 구성하였으며, 가속도 성분은 랜덤 워크 모델로 가정하여

실제 주행 환경에서 발생할 수 있는 불규칙한 속도 변화를 반영하였다.

칼만 필터를 통해 추정된 속도는 각 epoch에서의 사진 정보로 활용될 수 있으며, 본 연구에서는 이 중 수직 속도 성분을 의사관측(pseudo-observation)으로 정의하여 도플러 기반 속도 추정 과정에 제약조건으로 통합하였다. 수직 속도는 수신기 위치에서 정의된 수직 방향을 기준으로 ECEF 좌표계 속도 벡터를 투영함으로써 계산되며, 해당 제약은 기존 도플러 관측 모델에 추가되어 확장된 관측 모델의 형태로 구성된다. 확장된 관측 모델에서의 잔차는 도플러 관측 잔차와 수직 속도 제약 잔차로 구성되며, 각 잔차는 대응하는 표준편차로 정규화되어 RANSAC 알고리즘의 비용함수에 통합된다. 최종적으로 RANSAC 알고리즘을 통해 비용함수가 최소가 되는 합의 집합을 기반으로 최종 속도 해가 산출된다.

III. 실험 및 결과

제안한 알고리즘의 성능을 검증하기 위해, 대한민국 판교 지역에서 수행한 동적 실험 데이터를 사용하였다.

실험 장비로는 Qualcomm 칩셋이 탑재된 Samsung Galaxy S23 스마트폰을 사용하여, 상용 단말 환경에서의 실용적인 성능을 평가하였다. 또한 기준값 산출을 위해 NovAtel GPS-703-GGG 안테나와 SBG Ellipse-D 가 결합된 기준 시스템(reference system)을 함께 운용하였으며, 이를 바탕으로 제안 기법과 기존 기법 간의 성능을 정량적으로 비교하였다.

이때 도플러 표준편차 및 가속도 항에 대한 프로세스 노이즈는 표 1에 제시된 파라미터 값을 적용하였다.

Table 1

$\sigma_{Doppler}$	$\sigma_{acceleration}$
0.3	1

실험 결과, 제안한 동적 제약조건 기반 RANSAC 알고리즘은 기존 RANSAC 기법 대비 수평 방향 속도

성분에서의 RMS 오차가 약 67.3% 감소하였으며, 수직 성분의 RMS 오차 또한 약 65.2% 감소함을 확인하였다.

IV. 결론

본 논문에서는 도심 환경에서 스마트폰 플랫폼의 속도 추정 정확도 향상을 위하여 동적 제약조건을 고려한 RANSAC 알고리즘을 제안하였다. 제안한 기법은 판교 지역에서 수행한 동적 주행 실험 데이터를 이용하여 검증하였으며, 기존 RANSAC 기법 대비 수직 및 수평 방향 속도 성분에서 RMS 오차가 유의미하게 감소함을 확인하였다.

ACKNOWLEDGMENT

본 연구는 과학기술정보통신부의 재원으로 한국연구재단, 무인이동체원천기술개발사업단의 지원을 받아 무인이동체원천기술개발사업을 통해 수행되었음. (No. 2020M3C1C1A01086407)

본 연구는 우주항공청의 재원으로 지원을 받아 수행된 것임(과제번호: RS-2022-NR067078)

본 연구는 과학기술정보통신부 및 정보통신기획평가원의 대학 ICT 연구센터사업의 연구결과로 수행되었음(IITP-2025-RS-2024-00437494)

참고 문헌

[1] Kaplan, E.; Hegarty, C. Understanding GPS: Principles and Applications; Artech House: Norwood, MA, USA, 2005

USA, 2005.

[2] Google Developers, "Raw GNSS Measurements",

Available:

<https://developer.android.com/develop/sensors-and-location/sensors/gnss>

[3] Jeonghyeon, Yun, Cheolsoon Lim, Byungwoon Park, "Inherent Limitations of Smartphone GNSS Positioning and Effective Methods to Increase the Accuracy Utilizing

Dual-Frequency Measurements". Sensors. 2022;
22(24):9879. <https://doi.org/10.3390/s22249879>

[4] Yun, J., Kim, S., Youn, T., Kim, G., Park, W., & Park, B. (2024b, September). Third place winner of the Smartphone Decimeter Challenge: Improving smartphone accuracy with a two-step accurate velocity estimation. In Proceedings of the 37th International Technical Meeting of the Satellite Division of the Institute of Navigation (ION GNSS+ 2024) (pp. 2691– 2702). <https://doi.org/10.33012/2024.19922>

[5] Gaetano Castaldo ,Antonio Angrisano ,Salvatore Gaglione, Salvatore Troisi1, "P-RANSAC: An Integrity Monitoring Approach for GNSS Signal Degraded Scenario", International Journal of Navigation and Observation, vol. 2014, Sep 23 2014. doi:

<http://dx.doi.org/10.1155/2014/173818>

[6] Kim, Taeho, Yun, Jeonghyeon, Park, Byungwoon, "Error Ellipse-Based Outlier Detection for GNSS Doppler Measurements in Urban Environments," *Proceedings of the 38th International Technical Meeting of the Satellite Division of The Institute of Navigation (ION GNSS+ 2025)*, Baltimore, Maryland, September 2025, pp. 1112– 1119. <https://doi.org/10.33012/2025.20317>