

## 저궤도 위성을 이용한 기존 정밀 측위 방식의 GDOP 향상 기법

이상목, M. Humayun Kabir, 신원재  
아주대학교 전자공학과  
{whgdmsekf, humayun, wjshin}@ajou.ac.kr

## A Scheme to Improve GDOP for Next-Generation Global Positioning Systems with LEO Satellites

Sangmok Lee, M. Humayun Kabir, Wonjae Shin  
Department of Electrical and Computer Engineering, Ajou Univ.

## 요약

일상 생활 속 네비게이션, 공공 자전거 대여 서비스, 스마트폰 게임 등 위치 정보를 필요로 하는 다양한 어플리케이션이 존재한다. 이러한 어플리케이션들에 필요한 위치 정보를 얻기 위해서 위성항법시스템(GPS, Global Positioning System)을 이용한다. GPS는 중궤도(Medium Earth Orbit, MEO) 위성을 이용하여 세계 어디에서나 최소 4 개의 GPS 위성을 관측할 수 있는데, 이와 달리 저궤도(Low Earth Orbit, LEO) 위성은 그 수가 많아 더 많은 위성을 관측할 수 있다. GPS 수신기는 위성 신호를 받아 자신의 위치를 결정하는데, 이때 위치 측정을 방해하는 여러 원인들 중 하나인 GDOP(Geometric Dilution of Precision)는 위성과 사용자 간의 상대적인 위치에 따라 결정된다. 본 논문에서는 기존 GPS의 측위 기술 기법에 저궤도 위성을 추가적으로 이용하여 GDOP를 개선하고, 이를 통해 정밀 측위 기술을 향상시킬 수 있음을 제시한다.

## I. 연구 배경 및 목적

GPS(Global Positioning System)는 우리 일상 속에 꼭 필요한 서비스이다. 특정 장소를 찾아갈 때 지도의 위치 정보서비스를 이용하거나, 전자기기를 잃어버렸을 때 위치 추적 기능을 통해 찾을 수 있다. GPS는 중궤도(Medium Earth Orbit, MEO) 위성을 이용하는데, 세계 어느 곳에서나 최소 4 개 이상의 위성을 관측할 수 있다. GPS는 위성 수신자 간의 의사거리(Pseudorange)를 이용하여 다변 측량 기법(Multilateration)을 통해 수신자의 위치를 추정한다. 의사거리에는 많은 측정오차가 포함되어 있기 때문에 그림 1-(a)와 같이 다변측량의 결과로 수신자의 위치를 한 점으로 얻어낼 수 없고, 그림 1-(b), (c)와 같이 불확실성 영역(Uncertainty region) 위의 한점으로 얻어낼 수 있다. 불확실성 영역이 넓을수록 위치 추정 오류 확률이 올라간다. 즉, GPS 위성과 수신자의 상대위치에 따라 발생하는 위치 추정 오차가 달라진다. 이를 GDOP(Geometric Dilution of Precision)라고 한다[1]. GDOP 값이 낮을수록 오차 확률이 적는데, 보통 5 이하의 값에서 신뢰할 수 있는 위치 추정을 할 수 있다. [2]에서는 서로 다른 환경에서 GDOP와 측위 오차(Position Error)를 분석하였다. GPS 위성에 대해 가시선(LOS, Line-Of-Sight)확보가 어려운 환경에 대해서는 GDOP와 위치 오차가 크게 측정되었다.

현재 OneWeb, SpaceX와 같이 저궤도 위성 기반 글로벌 통신서비스가 출현하면서 많은 군집 저궤도 위성이 운용되고 있다. 저궤도 위성의 수는 GPS 위성에 비해 월등히 많아, 같은 환경에서 더 많이 관측된다. [2]에서와 같이 GPS 위성에 대해 LOS 확보가 어려운 상황에서 저궤도 위성을 이용하면 GDOP 값을 낮추고 위치 추정 정확도를 높일 수 있을 것으로 보인다. 본 논문에서는 환경에 따른 GDOP와 측위 오차의 상관관계를 분석하고, 저궤도 위성을 추가적으로 이용하여 GDOP 값을 낮출 수 있음을 제안한다.

서로 다른 환경 3 곳에서 삼성 스마트폰 SM-A315N 모델을 이용해 GNSS(Global Navigation Satellite System)데이터를 측정하였으며, GNSS 위성 중 GPS 위성만을 이용하였다. 측정된 장소는 아주대학교 동상 옆, 아주대학교 원천관 정문, 강남역 교보문고 건물 뒤에서 측정하였다. 3 곳의 실제위치는 각각 37°16'58.8"N 127°02'34.9"E, 37°16'56.9"N 127°02'36.2"E, 37°30'12.8"N 127°01'25.3"E이며, GDOP와 측위 오차는 MATLAB 오픈소스를 사용하여 계산하였다[3]. 그림 2,3,4는 열린 공간(Open sky environment), 반-열린 공간(Semi open environment), 고층 건물 사이(Urban canyon environment)에서 측정된 데이터이다. 열린 공간에서는 넓은 영역에서 GPS 위성 신호를 수신할 수 있고, 낮은 GDOP가 측정되었다. 측위 오차의 범위는 최대 40m로 측정되었다. 반면에 반-열린 공간에서는 GPS 위성 신호를 열린 공간에 비해 반만 수신할 수 있기 때문에 상대적으로 높은 GDOP 값이 측정되었고, 오차범위는 최대 300m로 측정되었다. 마지막으로 고층 건물 사이에서는 GPS 위성 신호를 더욱 제한적으로 수신하고, 가장 높은 GDOP 값이 측정되었다. 최대 측위 오차는 약 5000m로 측정되었다.

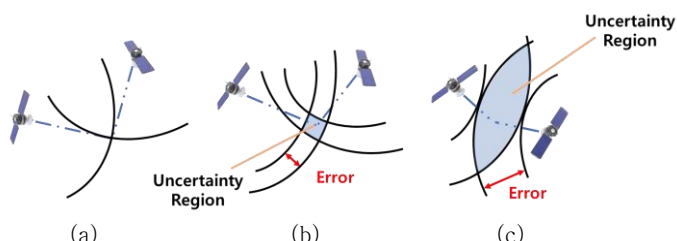


그림 1. 수신자와 위성의 상대적인 위치에 따른 GDOP  
(a)이상적인 위치 추정, (b)낮은 GDOP, (c)높은 GDOP

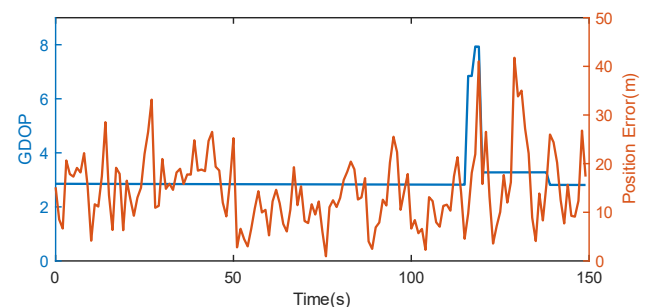


그림 2. 열린 공간에서의 GDOP 값과 위치 오차

## II. 환경에 따른 GDOP와 위치오차 상관관계 분석

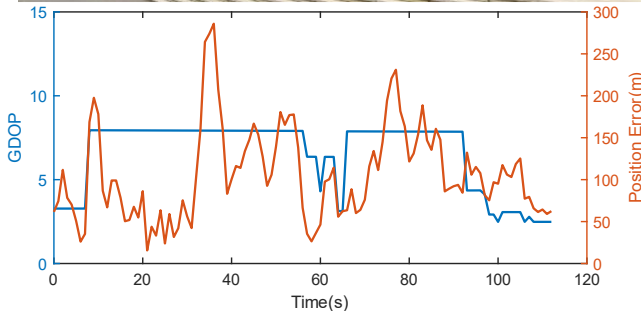


그림 3. 반-열린 공간에서의 GDOP 값과 위치 오차

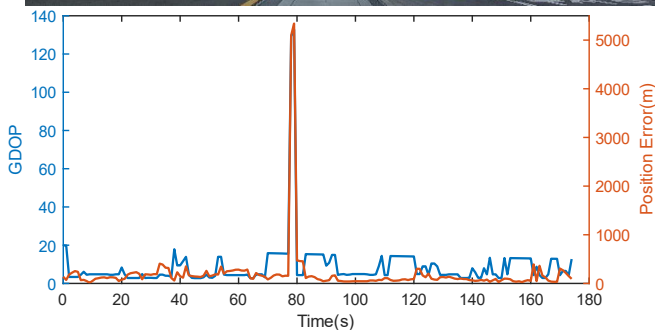


그림 4. 고층 건물 사이에서의 GDOP 값과 위치 오차

GDOP 값을 낮추기 위해서는 불확실성 영역간의 직교성(Orthogonality)이 확보가 되어야 하는데, 반-열린 공간과 고층 건물 사이에서는 상대적으로 직교성을 확보하기 어렵다.

GDOP와 위치오차 상관계수를 구했을 때 열린 공간, 반-열린 공간, 고층 건물 사이에서 0.2342, 0.3157, 0.9123로 측정되었다. 열린 공간에서는 낮은 GDOP 값이 측정되어, 측위 오차에 크게 영향을 주지 않았다. 고층 건물 사이에서는 GDOP가 가장 높게 측정되었으며, 0.9123으로 상관도가 가장 높게 측정되었다. 즉 GDOP 값이 높을 때는 측위오차에 많은 영향을 주는 것을 알 수 있다.

### III. 저궤도 위성을 이용한 GDOP 개선 제안

위의 실험에서 확인하였듯이 GDOP는 위치 오차에 영향을 준다. 특히 건물 사이와 같은 공간에서 GPS 위성의 LOS 확보가 어렵기 때문에 GDOP 값이 평균적으로 높게 측정된다. 이러한 환경에서 저궤도 위성을 추가적으로 측위기술에 이용하여 GDOP를 낮출 수 있음을 제안한다. MATLAB을 이용하여 GDOP를 계산하였으며, 위성에 대한 필요한 정보는 TLE 파일을 이용해 시뮬레이션 하였다. GPS 위성은 총 31대를 이용하였으며, 저궤도 위성은 SpaceX 97대를 이용하였다. 그림 5에서 GPS 위성만을 이용하였을 때 수신기와

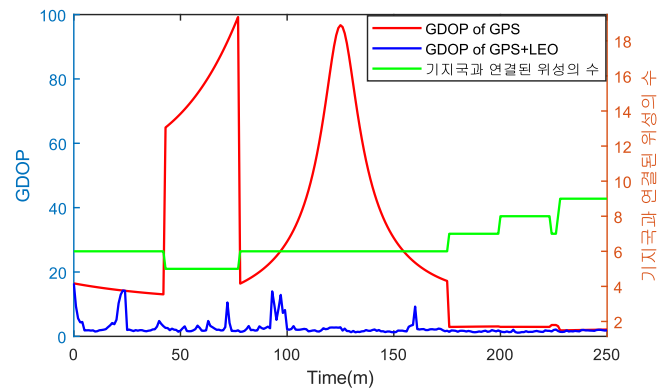


그림 5. GDOP와 기지국과 연결된 위성의 수 비교

연결된 위성의 수를 나타냈다. 특정 시간대에서 수신기와 연결된 위성의 수가 일정함에도 불구하고 GDOP 값이 높아진다. 이 구간에서 4대의 GPS가 불확실성 영역의 직교성을 확보하지 못하는 배치관계를 보였다. 이러한 상황에서 저궤도 위성 97대를 추가적으로 이용하여 구한 GDOP를 그림 5에서 비교하였다. GPS만을 이용하였을 때는 251분 중 176분 동안 GDOP 값이 5 이상이다. 이 시간대에서는 높은 측위 오차가 예상된다. 반면 저궤도 위성을 추가로 사용하였을 때, 251분 중 단 17분 동안 GDOP 값을 5 이상 값을 가졌다. 이처럼 저궤도 위성을 추가적으로 사용하여 GDOP 값을 개선할 수 있고, 평균적인 측위 오차 개선에 기여할 수 있을 것이다.

### IV. 결 론

저궤도 위성을 측위 기법에 추가적으로 사용하기 위해서는 해결해야 할 문제가 있다. 저궤도 위성은 GPS 위성에 비해 매우 빠르기 때문에 도플러 효과가 크게 발생하여 신호에 영향을 줄 수 있다. 또한 저궤도 위성은 매우 많기 때문에 수신자 입장에서 저궤도 위성 신호 중 어떤 신호를 받아야 할 지 결정해야 한다. 이러한 문제들을 해결하여 저궤도 위성을 측위 기술 기법에 이용한다면 GPS 위성에 대해 LOS가 확보되지 않는 환경에서 저궤도 위성을 추가적으로 이용해 높은 측위 정확도를 기대할 수 있을 것이다.

### ACKNOWLEDGMENT

본 연구는 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업(No. 2021R1A4A1030775)과 정보통신기획평가원(No.2022-0-00704, No.2018-0-01424)의 지원을 받아 수행된 연구임.

### 참 고 문 헌

- [1] V. S. I. Dutt *et al.*, "Investigation of GDOP for Precise user Position Computation with all Satellites in view and Optimum four Satellite Configurations," *J. Ind. Geophys. Union*, 13(3), 139-148, 2009.
- [2] M. Humayun Kabir *et al.*, "Performance Evaluation of GNSS Positioning with Geometric Dilution of Precision", *The 13th International Conference on ICT Convergence*, Jeju, South Korea, Oct.2022.
- [3] S. Kuznetsov, M. Fu, D. Herenu, M. Khaider, and F. V. Diggle, Google/gps-measurement tools, <https://github.com/google/gpsmeasurement-tools> (last access on 3 August 2022).