

육상교통환경 위성항법 성능 예측을 위한 Sky-View-Factor 기반 Dilution of Precision 분석

Analysis of Sky-View-Factor based Dilution of Precision for Evaluation of GNSS Performance in Land Road Environment

홍운기*, 최광식*, 이은성*, 임성혁*, 허문범*

Woon-Ki Hong*, Kwang-Sik Choi*, Eun-Sung Lee*, Sung-Hyuck Im*, Moon-Beom Heo*

요약

위성항법의 가시성, Dilution of Precision (DOP), 신호대잡음비 등과 같은 위치결정 성능지표는 개활지 환경과 같이 항법위성의 가시성이 좋은 지역에서 그 활용도가 높으며, 육상교통환경의 경우 그 활용도가 낮다. 본 논문은 육상교통환경에서 위성항법 신호를 활용하여 위치결정을 수행하는 경우 활용도가 높은 성능지표로 Sky View based DOP (SVDOP)을 제안한다. SVDOP은 Sky-View Factor(SVF)를 응용하여 개발되었으며, 기존의 SVF의 문제점을 극복할 수 있다. Sky-View 영상을 활용하여 특징점을 선택하고 이를 활용하여 DOP를 계산할 수 있다. 제안된 방법을 이용하는 경우 SVF 사용보다 육상교통환경에서 위치결정 성능 예측에 용이함을 확인할 수 있다.

Abstract

The conventional indexes for describing the GNSS positioning performance such as satellite visibility, dilution of precision (DOP) and signal to noise ratio is very useful in open sky, however, they are not useful in the land road environment. In this paper new index is suggested for describing the GNSS positioning performance for the road environment. The new index is called Sky View based DOP (SVDOP). SVDOP is derived referring the Sky-View-Factor (SVF). The usefulness is analyzed by comparing the SVDOP and SVF in land road environment after the singularity points are selected and SVDOP is calculated.

Key words : GPS, GNSS, Sky-View-Factor, Performance, Land Road Environment

I. 서론

위성항법 신호를 활용하여 위치결정을 수행할 경우 위치결정의 오차는 항법위성의 가시성, DOP (Dilution of Precision), 신호대잡음비 등과 같은 성능지표에 영향을 받는다. 일반적으로 측량의 경우 위상

항법 신호를 활용하여 위치결정을 수행하기 전에 해당 지역에 대한 성능지표를 분석하여[3] 해당지역에서 위성항법 오차의 예측 값이 가장 낮은 시기에 측량을 수행하게 된다.

이러한 성능지표는 개활지 환경과 같이 항법위성의 가시성이 좋은 지역에서 그 활용도가 높으며, 육

* 한국항공우주연구원 (Korea Aerospace Research Institute)

· 제1저자 (First Author) : 홍운기 (Woon-Ki Hong, Tel : +82-10-3279-8145, email : antrobot@kari.re.kr)

· 투고일자 : 2012년 11월 20일

· 심사(수정)일자 : 2012년 11월 20일 (수정일자 : 2012년 12월 15일)

· 게재일자 : 2012년 12월 30일

상교통환경과 같이 주변에 높은 건물 등이 다수 분포하는 경우 그 활용도가 낮다. 개활지가 아닌 경우, 측량지점 인근 3차원 지형도를 가지고 성능지표를 분석하여야 하는데, 해당 지역의 3차원 지형도를 얻기 어려우며, 3차원 지형도를 획득하여도 3차원 지형도를 활용하여 특정지역에서 성능지표를 예측하는 프로그램을 개발하는데 많은 시간이 걸리기 때문이다.

본 논문은 육상교통환경에서 위성항법 신호를 활용하여 위치결정을 수행하는 경우 활용도가 높은 성능지표로 Sky View based DOP (SVDOP)을 제안한다. SVDOP은 Sky-View Factor를 응용하여 개발되었으며, 기존의SVF의 문제점을 극복할 수 있다.

Sky-View 영상을 구하기 위하여 180°화각의 어안렌즈를 사용하여 촬영을 하였고 촬영된 영상을 Edge Detect Filter를 통해 모서리 영상을 구하고 이 모서리 영상을 2진화 하여서 Sky-View 영상을 구하였다. 구해진 Sky-View 영상의 중앙으로부터 30° 간격으로 12개의 가상의 선을 형성하고 형성된 가상의 직선과 Sky-View 영상과 만나는 점을 특징점으로 선택하고 특징점으로 활용하여 DOP를 계산하였다.

육상교통환경에서 기존 SVF를 활용하는 경우 위성항법 활용 위치결정 성능예측값은 실제 위치결정 오차와 불일치하는 경우가 많이 발생하는 반면 SVDOP를 활용하는 경우 실제 위치결정 오차에 상당히 근접함을 확인 하였다. 따라서 육상교통환경에서 제안된 방법을 이용하는 경우가 SVF 사용보다 환경 분석에 용이함을 확인 하였다.

II. Sky-View-Factor

SVF는 도로의 한 위치에서 하늘이 관측되는 정도는 나타내는 파라미터(Parameter)이다. 개활지와 같이 하늘이 완전히 전개되는 경우 SVF는 0이되며, 밀폐된 지역과 같이 하늘이 완전히 차폐되는 경우 SVF는 1이된다. 일반적으로 SVF를 계산하는 방법은 세가지가 있다. 첫 번째는 기하학적 조건을 활용하는 방법이며, 두 번째는 영상학을 활용하는 방법이다.[4] 마지막 방법은 위성항법을 활용하는 방법이다.

기하학적인 방법은 1980년대에 도심 건물들의 높

이와 넓이의 비를 고려하여 단순하게 모델링하는 방법이였다. 그러나 현재의 연구는 이론적으로 정확성을 높이기 위하여 영상학적인 방법을 선호한다.

광학학적인 방법은 어안렌즈를 사용하여 측정하고자 하는 위치의 360° 주변 환경을 촬영하여 영상 프로세싱을 통해 SVF 값을 얻을 수 있다. 그림 1은 도로에서 어안렌즈를 활용하여 하늘을 관측한 모습을 나타낸다 [1].



그림 1. 어안렌즈로 촬영한 하늘사진
Fig. 1. Sky view picture captured by a fish-eye lens

위성항법을 활용하여 SVF를 계산하는 방법은 특정 위치에서 관측 가능한 항법위성의 좌표를 계산하고 DOP을 예측하여 SVF로 변환하는 방법이다. 이 방법은 비교적 쉽게 구현할 수 있으나, 실제 어안렌즈를 활용하는 방법에 비하여 정확도가 20% 정도 떨어지는 단점이 있다 [2].

III. 위성항법 적용 SVF의 문제점

위성항법 위치결정 성능예측에 SVF를 활용하는 경우 개활지는 물론이고 도심과 같이 높은 건물이 다수 있는 지역에서도 지형도 등과 같은 특정한 데이터 베이스 없이 용이하게 성능지표로 활용할 수 있다.

그러나 기존의 SVF는 하늘의 개폐정도를 비율로 나타낼 뿐, 위성항법을 활용한 위치결정의 성능지표로 활용하기에 한계가 있다.

특정지역의 Sky-View를 관측할 때, 그림 2와 같이

아래 반원이 차폐되는 경우와 그림 3과 같이 주변이 원모양으로 차폐되는 경우 모두 SVF는 0.5가 된다.[6] 하지만 그림 2의 경우 항법위성은 2개 관측되며, 그림 3의 경우 항법위성은 4개 관측되므로 서로 다른 상황이다. 따라서 육상교통환경과 같이 주위에 건물이 있는 지역에서는 SVF를 직접적으로 위성항법 위치결정의 성능지표로 활용할 수 없다.

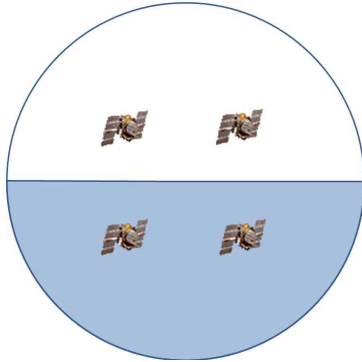


그림 2. SVF 0.5의 환경 1
Fig. 2. SVF 0.5 configuration 1

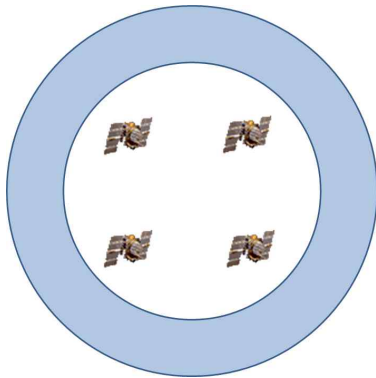


그림 3. SVF 0.5의 환경 2
Fig. 3. SVF 0.5 configuration 2

IV. Sky View based DOP

SVF를 육상교통환경에서 위성항법의 성능지표로 직접 활용하는 경우 발생하는 문제점을 해결하기 위하여 Sky View를 기반으로 새로운 DOP을 본 논문은 제안한다. 새로운 DOP은 SVDOP (Sky View based DOP)이라 명명하며, 본 장에서는 SVDOP의 계산 방법을 단계적으로 설명한다.

4-1 DOP의 계산 방법

위성항법측정값을 활용한 위치결정 성능지표로 사용되는 DOP의 종류로 Geometric DOP (GDOP), Horizontal DOP (HDOP), Vertical DOP (VDOP), Time DOP (TDOP) 등이 있으며, DOP이 계산되는 일련의 과정을 설명하면 다음과 같다.

i 번째 항법위성의 코드측정값은 다음의 식 1과 같이 전개할 수 있다.

$$\rho_u^i = \sqrt{(x_i - x_u)^2 + (y_i - y_u)^2 + (z_i - z_u)^2} + cb_u + v_i \quad (1)$$

여기서, ρ 는 위성항법 코드측정값, i 는 항법위성 식별자, u 는 사용자 식별자, x_i, y_i, z_i 는 항법위성 i 의 좌표, x_u, y_u, z_u 는 사용자 u 의 좌표, c 는 빛의 속도, b_u 는 수신기의 시계 바이어스, v 는 측정 잡음이다.

식 1을 n 개의 위성에 대하여 초기 사용자 위치 x_o, y_o, z_o 를 기준으로 선형화하게 되면, 식 2와 같이 유도할 수 있다.

$$\Delta\rho = H\Delta x + v \quad (2)$$

여기서, $\Delta\rho$ 는 의사거리 차이 벡터, H 는 선형화 기준점에 대한 항법위성의 시선행렬, Δx 는 선형화 기준점에 대한 사용자좌표와 수신기시계오차의 벡터, v 는 측정잡음 벡터이다.

식 2에서 행렬 H 의 i 번째 행 h_i 을 정리하면, 식 3과 같으며, 따라서 행렬 H 의 물리적 의미는 초기 사용자의 위치에 대한 관측 위성의 시선펍터임을 확인할 수 있다.

$$h_i = \left[-\frac{x^i - x_o}{\rho_o^i} \quad -\frac{y^i - y_o}{\rho_o^i} \quad -\frac{z^i - z_o}{\rho_o^i} \right] \quad (3)$$

GDOP은 식 2의 행렬 H 와 관계가 있으며, $(HH^T)^{-1}$ 의 대각성분을 활용하여 계산하게 된다. 육상교통환경에서 위치결정을 수행하는 경우 수평면

오차가 중요한 관심대상이므로 HDOP을 성능지표로 활용하게 되며, 이를 계산하는 방법은 식 4에서 식 6 까지 설명된다.

$$(HH^T)^{-1} = \begin{bmatrix} D_{11} & D_{12} & D_{13} & D_{14} \\ D_{21} & D_{22} & D_{23} & D_{24} \\ D_{31} & D_{32} & D_{33} & D_{34} \\ D_{41} & D_{42} & D_{43} & D_{44} \end{bmatrix} \quad (4)$$

$$GDOP = \sqrt{D_{11} + D_{22} + D_{33} + D_{44}} \quad (5)$$

$$HDOP = \sqrt{D_{11} + D_{22}} \quad (6)$$

4-2 Sky View DOP의 계산 방법

SVDOP을 Sky-View 영상을 활용하여 계산하게 된다. 180°화각의 어안 렌즈를 사용하여 촬영한 영상을 2진화 하여서 Sky-View 영상을 구하고, 영상 중앙으로부터 30° 간격으로 12개의 가상의 선을 형성하고 형성된 가상의 직선과 Sky-View 영상과 만나는 점을 특징점으로 선택하고 특징점의 위치를 직교좌표계로 변환하고 이를 가상의 항법위성 좌표로 가정하여 HDOP을 계산하는 것과 같게 계산한다. 이렇게 계산된 DOP을 SVDOP이라고 명명하며, SVF의 값이 같더라도 관측환경에 따라서 SVDOP은 다르게 되어, 위성항법 위치결정의 성능지표로 활용될 수 있다.

그림 4는 어안렌즈로부터 촬영된 영상의 특징점을 붉은 사각점으로 나타낸 것이며, 그림 5는 구형좌표계와 직교좌표계의 관계를 나타낸 것이다.

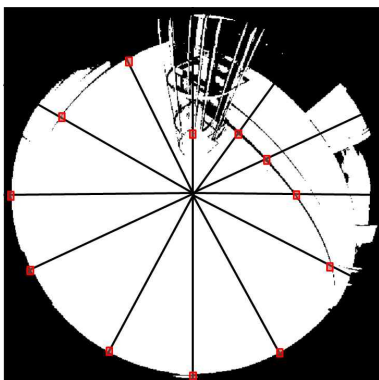


그림 4. 특징점이 표시된 영상
Fig. 4. Singularity Point image

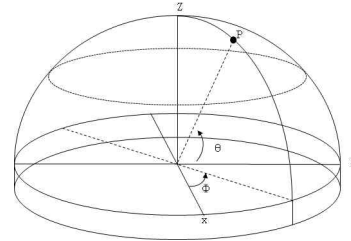


그림 5. 구형좌표계와 직교좌표계의 관계
Fig. 5. Relation between spherical coordinates and cartesian coordinates

어안렌즈에서 관측된 Sky-View의 특징점 i 의 좌표는 구면좌표계의 방위각 Φ_i 와 고도각 θ_i 로 표현할 수 있으며, 이를 직교좌표계 x_i, y_i, z_i 로 변환 할 수 있다. 구면좌표계와 직교좌표계의 변환식은 다음 식 7과 같다.

$$\begin{aligned} x_i &= r \cos(\theta_i) \cos(\Phi_i) \\ y_i &= r \cos(\theta_i) \sin(\Phi_i) \\ z_i &= r \sin(\theta_i) \end{aligned} \quad (7)$$

여기서 r 은 어안렌즈의 중심에서 구면좌표계에 투영된 특징점의 거리이며, Sky-View의 특징점의 r 은 모두 동일하다. 식 3의 H 행렬의 i 번째 행 h_i 를 Sky-View에서 획득한 가상의 항법위성의 좌표에 적용하면 식 8과 같이 된다.

$$h_i = \begin{bmatrix} -\cos(\theta_i) \cos(\Phi_i) \\ -\cos(\theta_i) \sin(\Phi_i) \\ -\sin(\theta_i) \end{bmatrix}^T \quad (8)$$

식 8을 각각의 특징점에 대하여 적용하여 H 를 계산하고 이를 활용하여 DOP을 계산하면, SVDOP이 된다. 그림 6와 같이 아래 반원이 차폐되는 경우 SVDOP은 1.11로 계산되며 그림 7과 같이 주변이 원 모양으로 차폐되는 경우 SVDOP은 0.64로 계산된다.

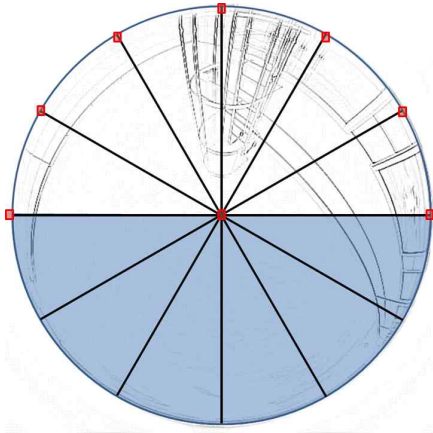


그림 6. SVF 0.5 환경의 특징점 1
Fig. 6. Singularity Point of SVF 0.5 configuration 1

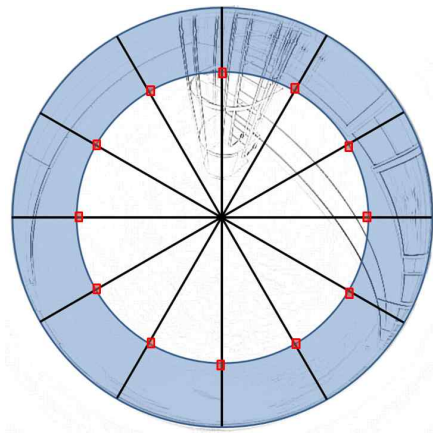


그림 7. SVF 0.5의 특징점 2
Fig.7. Singularity Point of SVF 0.5 configuration 2

V. 육상교통 환경에서 Sky View based DOP 계산을 위한 특징점 실측 계산

본 장에서는 실제 어안렌즈의 영상을 활용하여 SVDOP을 계산하는 방법을 단계적으로 설명한다.

5-1 사진 촬영

정확한 Sky-View 영상을 얻기 위해서는 하늘과 수직이 되는 방향으로 그리고 측량할 차량의 중심 부분에서 영상을 촬영한다. 이때 사용하는 렌즈는 360°의 촬영이 가능한 어안 렌즈를 사용하여 촬영한다.



그림 8. 어안 렌즈의 설치
Fig. 8. installation of Fish-eye lens

그림 8과 같이 차량의 중심 부분에 어안 렌즈를 장착하여 육상 교통 환경에서 사용자가 빠르게 이동을 하더라도 위성항법 성능을 예측할 Sky-View 영상을 촬영할 수 있게 하였다. 이렇게 촬영된 영상은 그림 9와 같다.



그림 9. 촬영된 Sky-View
Fig. 9. Captured Sky-View

5-2 영상정보의 이진화

촬영된 Sky-View 영상을 단순화 하고 영역을 정하기 위해서 그림 10과 같이 이진화를 진행한다.[5] Sky-View 영상을 이진화 하기 위해서는 각 영상에 맞는 이진화 스케일을 조절할 필요가 있다. 스케일을 조절하여 이진화를 이루었다고 해도 아래 그림 10과 같이 건물의 영역이 사라지는 것을 확인 할 수가 있다.

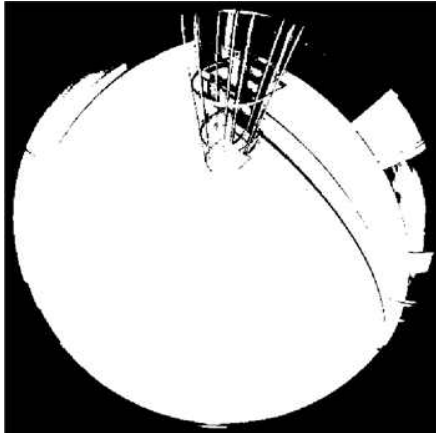


그림 10. 이진화된 Sky-View 영상
Fig. 10. Binarized Sky-View Image

5-3 Edge Detect Filter 적용

Sky-View 영상을 단순히 이진화 하는 것보다는 먼저 Edge Detect Filter를 통해 건물이나 장애물의 모서리 부분을 확인하고 이진화를 진행 하는 것이 좋다. 아래 그림 4는 그림 2의 촬영된 Sky-View 영상을 Edge Detect Filter를 통해 영상의 모서리를 찾아낸 그림이다.

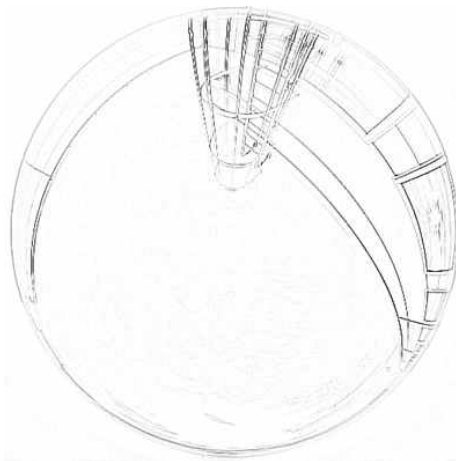


그림 11. Edge Filter 후 영상
Fig. 11. Image made by Edge Filter

그림 4와 같이 건물이나 장애물 등의 모서리 부분을 검출해 낸 후 그림 5와 같이 중앙으로부터 30° 간격의 임의의 직선을 만든다.

5-4 특징점 계산

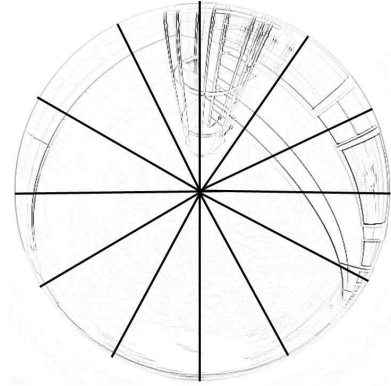


그림 12. 30° 간격의 가상 직선
Fig. 12. Virtual Straight of 30° interval

중앙으로부터 30° 간격으로 만들어진 임의의 직선들은 Edge Detect Filter를 통해 만들어진 Sky-View 영상의 모서리 영역과 만나게 되는데 그림 6과 같이 중앙으로부터 처음으로 만나게 되는 12개의 점들을 특징점으로 선정한다.

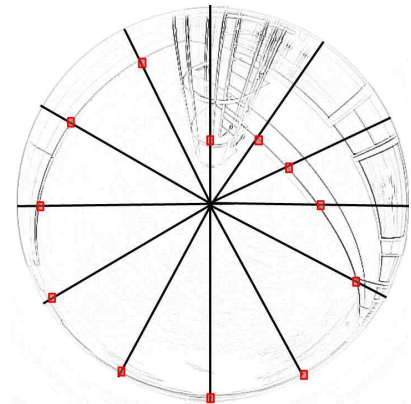


그림 13. 12개의 특징점
Fig. 13. 12 Singularity Point

5-4 특징점을 활용한 SVDOP 계산

식 8을 이용하여 실제 Sky-View 이미지의 특징점을 적용하여 H 를 계산하고 이를 활용하여 DOP을 계산하여 실측 SVDOP을 계산하면 0.702가 됨을 확인 할 수가 있었다.

VII. 결 론

본 논문은 육상교통환경에서 위성항법 신호를 활

용하여 위치결정을 수행하는 경우 활용도가 높은 성능지표로 Sky View based DOP (SVDOP)을 제안하였다. 본 논문은 실험을 통해서 육상교통환경에서 기존 SVF를 활용하는 경우 위성항법 활용 위치결정 성능 예측값은 실제 위치결정 오차의 발생 정도와 불일치하는 경우가 많이 발생하는 반면 SVDOP를 활용하는 경우 실제 위치결정 오차의 발생정도에 상당히 근접함을 확인 할 수 있었다. 앞으로 실제 육상교통환경에서 제안된 방법을 이용하여 SVDOP를 확인하는 연구가 필요해 보인다.

balance modeling utilizing sky-view factors determined from digital imagery" *Proceedings of the 10th SIRWEC Conference*, 2000

감사의 글

본 연구는 국토해양부 위성항법기반 교통인프라 기술개발의 연구비 지원(06교통핵심A3)에 의해 수행되었습니다.

Reference

- [1] "Quality Assessment of DTM Generated from RTK GPS Data on Area with Various Sky View", *ION GNSS 16-19/Sep. 2008*, pp 1462-1469
- [2] T. GAL. "Comparison between sky view factor values computed by two different methods in an urban environment", *Acta Climatologica et chorologica*, pp. 17-26, 2007
- [3] L. Chapman., "Short Communication Sky-View Factor Approximation using GPS Receivers", *INTERNATIONAL JOURNAL OF CLIMATOLOGY* , pp. 615-621, 2002.
- [4] Blennow K. 1995. Sky view factors from high resolution scanned fish-eye lens photographic negatives. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology* 12: 1357-1362.
- [5] L. CHAPMAN "Real-Time Sky-View Factor Calculation and Approximation" *JOURNAL OF ATMOSPHERIC AND OCEANIC TECHNOLOGY*, pp 730-741 , 2003
- [6] L. CHAPMAN "Improved one dimensional energy

홍 운 기



2009년 2월: 대전대학교 IT전자공학 (공학사)
2011년 2월: 광운대학교 제어계측 공학(공학석사)
2011년 2월~현재: 한국항공우주 연구원 연구원
관심분야: 위성항법 정밀위치결정, 위성항법시스템고장검출, 위성

항법 보강항법시스템

임 성 혁



2003년 2월 : 건국대학교 전자정보 통신공학과(공학사)
2005년 2월 : 건국대학교 전자정보 통신공학과(공학석사)
2011년 2월 : 건국대학교 전자정보 통신공학과(공학박사)
2011년 ~ 현재 : 한국항공우주연구

원 선임연구원

관심분야: 소프트웨어 GPS, GPS anti-jamming, GPS 신호 처리, 결합항법

이 은 성



1996년 2월 : 건국대학교 항공우주 공학(공학사)
1998년 2월 : 건국대학교 기계공학 (공학석사)
2005년 2월 : 건국대학교 항공우주 공학(공학박사)
2007년 ~현재 : 한국항공우주연구원 선임연구원

관심분야: 위성항법 정밀위치결정, 위성항법 시스템 고장검출, 위성항법 보강항법시스템

허 문 범 (許文範)



1992년 2월 : 경희대학교 기계공학 (공학사)
1997년 2월 : Illinois Institute of Technology(공학석사)
2004년 2월:Illinois Institute of Technology(공학박사)
2005년 ~ 현재 : 한국항공우주연구원 선임연구원

관심분야: 위성항법 정밀위치결정, 위성항법시스템고장 검출, 위성항법 보강항법시스템

최 광 식



2008년 2월 : 충남대학교 메카트로닉스 공학(공학사)
2010년 2월 : 충남대학교 지능로봇 시스템(공학석사)
2012년 2월 ~ 현재 : 한국항공우주연구원 연구원
관심분야: 위성항법 정밀위치결정, 위성항법 시스템 고장검출, 복합

항법 시스템