

KASS 가용성 성능 평가를 위한 MATLAB GUI 기반 소프트웨어 설계

Development of MATLAB GUI Based Software for Analysis of KASS Availability Performance

최 봉 관 · 한 덕 화 · 김 동 욱 · 김 정 범 · 기 창 돈*

서울대학교 기계항공공학부, 정밀기계설계공동연구소

Bong-kwan Choi · Deok-hwa Han · Dong-uk Kim · Jung-beom Kim · Chang-don Kee*

School of Mechanical and Aerospace Engineering and the SNU-IAMD, Seoul National University, Seoul, 08826, Korea

[요 약]

본 논문에서는 KASS (korea augmentation satellite system) 의 가용성 성능 평가를 위한 MATLAB GUI (graphical user interface) 기반의 소프트웨어에 대해 소개한다. 본 소프트웨어는 MV (minimum variance) estimator 와 Kriging 알고리즘을 이용해 한반도 지역의 지상 사용자 및 항공기 사용자에게 대해 UDRE (user differential range error) 와 GIVE (grid ionospheric vertical error) 와 같은 무결성 정보를 생성한다. 또한 본 소프트웨어는 생성한 정보를 이용하여 사용자의 각 위치에 대해 정확도, 보호 수준, 가용성 지도를 제공한다. 특히 항공기 경로에 대해 경로에 따른 보호 수준 값을 계산하는 기능을 수행한다. 항공기 사용자에게 대한 보호 수준 값 계산 결과는 EGNOS (european geostationary navigation overlay service) 의 시뮬레이션 툴인 SBASimulator#2의 결과와 비교하여 검증하였다. 그 결과 본 소프트웨어가 생성한 보호 수준의 값의 오차가 약 2% 정도로 정확하게 나온 것을 확인하였다.

[Abstract]

This paper introduces a MATLAB graphical user interface (GUI) based software for analysis of korea augmentation satellite system (KASS) availability performance. This software uses minimum variance (MV) estimator and Kriging algorithm to generate integrity information such as user differential range error (UDRE) and grid ionospheric vertical error (GIVE). The information is offered to ground and aviation users in Korean region. The software also gives accuracy data, protection level data and availability map about each user position by using the integrity information. In particular the software calculates the protection level along a path of aircraft. We verified the result of protection level of aviation user by comparing them with the results of SBASimulator#2, which is a simulation tool of european geostationary navigation overlay service (EGNOS). As a result, the protection level error between the result of our software and the SBASimulator#2 was about 2% which means that the result of our software is accurate.

Key word : SBAS simulation software, Korea augmentation satellite system, SBASimulator, MATLAB GUI, Aircraft.

<https://doi.org/10.12673/jant.2018.22.5.384>



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Received 23 August 2018; Revised 2 October 2018

Accepted (Publication) 26 October 2018 (30 October 2018)

*Corresponding Author ; Chang-don Kee

Tel: +82-2-880-1912

E-mail: Kee@snu.ac.kr

1. 서론

SBAS (satellite based augmentation system) 는 위치 사용자에게 보정 정보와 무결성 정보를 줌으로써 높은 수준의 정확도와 안전성을 제공한다. 따라서 오늘날 항공기 사용자와 같이 안전성이 중시되는 시스템에서 SBAS는 빼 놓을 수 없는 요소가 되었다. 실제로 미국의 WAAS (wide area augmentation system), 유럽의 EGNOS (european geostationary navigation overlay service) 경우와 같이 선진국에서는 오래 전부터 각 나라만의 SBAS를 구축하고 개발을 진행해왔다. 한국에서는 2014년부터 한국 지역에 APV-1 서비스를 제공하기 위해 한국형 SBAS인 KASS (korea augmentation satellite system)를 개발해오고 있다.

이에 따라 이전 연구에서 KASS를 예비설계하고 가용성을 평가하기 위한 시뮬레이션 소프트웨어를 제작한 바 있다 [1]. 해당 소프트웨어는 고유의 알고리즘을 이용하여 SBAS의 무결성 정보인 UDRE (user differential range error)와 GIVE (grid ionospheric vertical error)를 생성한다. 이 소프트웨어는 생성한 무결성 정보를 이용하여 표준 SBAS positioning 알고리즘에 따라 보호수준을 계산하며 그 결과를 이용해 SBAS의 가용성 평가를 할 수 있다. 하지만 해당 소프트웨어는 정적 사용자에 대해서만 가용성 분석이 가능하기 때문에 동적 사용자, 특히 자세가 실시간으로 변하는 항공기 사용자에게 대해서는 가용성 분석이 어렵다는 단점이 있다.

항공기 자세에 따라 보호수준을 계산하고 가용성을 평가하는 소프트웨어로는 EGNOS의 시뮬레이션 툴인 SBASimulator#2가 존재한다. 이 소프트웨어는 인터넷 상에서 java기반으로 실행되며 비행기의 자세를 설정하면 사용자가 원하는 위치, 시간에 대해 보호수준을 계산하여 결과를 보여준다. 하지만 해당 소프트웨어는 KASS에서 개발 예정인 기준국에 대한 데이터가 없기 때문에 한반도 지역에 대한 가용성 평가를 할 수 없다는 단점이 있다. 또한 해당 소프트웨어는 고정된 항공기의 자세나 위치와 같은 단순한 경우에 대해서만 분석이 가능하다.

항공기 사용자에게 KASS의 성능을 평가하기 위해서는 지속적으로 변하는 항공기의 자세와 위치를 고려할 수 있어야 한다. 따라서 본 논문에서는 시간에 따라 변하는 항공기의 위치와 자세에 대해 KASS의 성능을 분석할 수 있는 항공기 사용자용 KASS성능평가 소프트웨어를 개발하였다. 개발한 소프트웨어는 김포나 인천 등 실제 공항에 착륙하는 항공기의 자세와 위치에 대한 데이터를 입력할 수 있으며 그에 대해 KASS의 성능을 분석할 수 있다. 개발한 소프트웨어는 무결성 정보를 생성할 때 UDRE의 경우 MV (minimum variance) estimator 방식, GIVE의 경우 Kriging 방식과 threat model을 이용한다. 또한 항공기 사용자에게 가용성을 평가하기 위해 가시 위성을 판단할 때 항공기의 body horizon을 고려하였다. Local horizon을 고려하였을 때 보호수준 결과는 SBASimulator#2의 결과와

비교하여 검증을 실시하였다. 그 결과 보호수준의 값의 차이가 약 2%정도로 정확하게 나온 것을 확인하였다. 최종적으로는 개발한 소프트웨어를 MATLAB의 GUI로 구현하였다.

II. 항공기 사용자용 KASS성능평가 소프트웨어

2-1 항공기 사용자용 KASS성능평가 소프트웨어의 소개

본 논문에서는 KASS의 성능을 평가하기 위해 항공기 사용자용 KASS성능평가 소프트웨어를 만들고 이를 MATLAB의 GUI로 구현하였다. 그림 1에는 본 소프트웨어의 구상도가 나타나 있다. 처음에 시나리오를 세팅하고 시뮬레이션을 위한 데이터를 넣으면 소프트웨어에서 여러 값들을 계산하고 결과를 내주는 과정을 의미한다. 그림 2는 GUI로 구현한 소프트웨어의 메인 화면이다. 메인 화면에서는 시뮬레이션의 시간과 사용자의 위치, 위성의 궤도 생성 시 방송궤도력을 이용할 지 almanac을 이용할 지와 이용할 KASS의 기준국을 설정할 수 있다. Aircraft dynamics를 이용하지 않거나 aircraft dynamics를 이용하더라도 항공기의 기존 데이터를 불러오지 않으면 DOP, position error, protection level, availability의 결과를 설정한 시간과 위치에 대해 지도 형식으로 시뮬레이션의 결과를 보여준다. 그림 3은 개발한 소프트웨어를 이용해 실행한 시뮬레이션의 availability 결과를 예시로 보여준 것이다. Availability란 계산한 보호수준이 서비스 레벨별로 정해진 alert limit을 만족하는 정도를 의미한다.

Aircraft dynamics를 사용하고 미리 저장해놓은 공항으로 접근하는 항공기의 위치와 자세 데이터를 불러온다면 그림 2에서 aircraft dynamics 버튼이 활성화된다. 이 버튼을 누르면 그림 4와 같이 새 창이 생성되고 데이터에 저장된 시간 간격에 따라 결과를 실시간으로 보여준다. 보여주는 결과로는 비행기의 자세, 가시 위성, 비행기 자세 및 경로 정보와 보호 수준, 사용자 위치 오차가 있다.

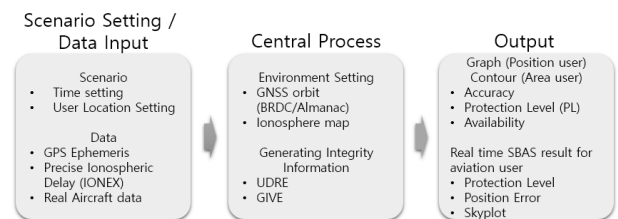


그림 1. 항공기 사용자용 KASS성능평가 소프트웨어의 구상도
 Fig. 1. Process of KASS performance analysis software for aviation user.

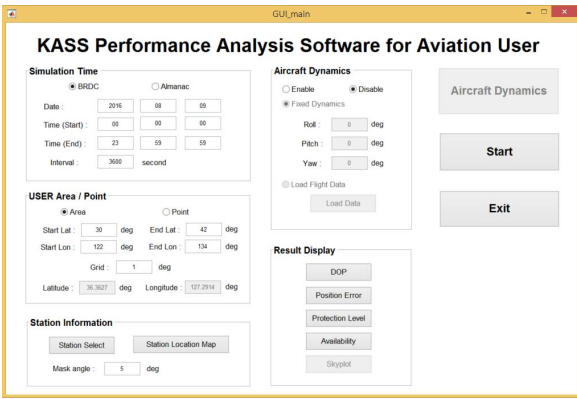


그림 2. 항공기 사용자용 KASS성능평가 소프트웨어의 메인 화면

Fig. 2. Main window of KASS performance analysis software for aviation user.

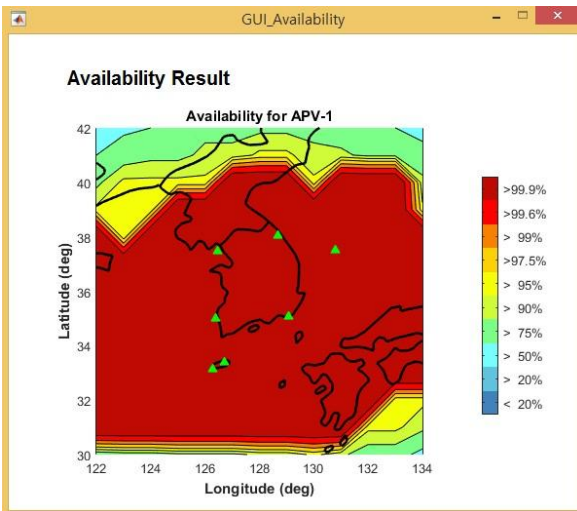


그림 3. 항공기 사용자용 KASS성능평가 소프트웨어의 가용성 결과 지도

Fig. 3. Availability result map of KASS performance analysis software for aviation user.

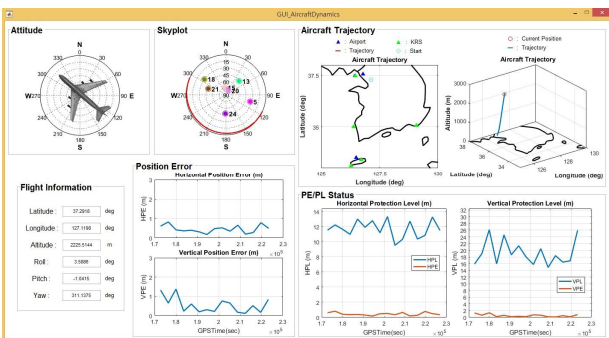


그림 4. Aircraft dynamics 사용 시 결과 창

Fig. 4. Aircraft dynamics result.

2-2 개발한 소프트웨어의 알고리즘

2-2-1 UDRE 생성 알고리즘

UDRE는 SBAS가 생성하는 무결성 정보 중 GPS의 위성과 관련된 것이다. SBAS 사용자는 UDRE를 이용하여 위성의 궤도 오차와 시계 오차를 추정할 때 생기는 오차를 bounding 할 수 있다. UDRE를 생성하기 위해서는 위성의 궤도 오차 및 시계 오차를 추정해야한다. SBAS의 기준국에서 전리층 지연 오차, 대류층 지연 오차를 제거하고 난 뒤의 측정치 식은 (1)과 같다.

$$\delta\rho = \delta R \cdot \hat{e} - \delta b + \delta B + \epsilon \quad (1)$$

$$\begin{pmatrix} \Delta\rho_1 \\ \Delta\rho_2 \\ \vdots \\ \Delta\rho_m \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} E_1 & -I & I_1 \\ E_2 & -I & I_2 \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ E_m & -I & I_m \end{pmatrix} \begin{bmatrix} \Delta R \\ \Delta b \\ \Delta B \end{bmatrix} + \epsilon \quad (2)$$

$$z = Hx + v \quad (3)$$

(1) 식에서 $\delta\rho$ 는 의사거리의 잔차, δR 은 위성 궤도 오차 벡터, \hat{e} 는 기준국과 위성 사이의 단위 벡터, δb 는 위성 시계오차 잔차, δB 는 수신기 시계 오차 잔차, ϵ 는 기타 잔차들의 합을 의미한다. (2)의 식은 (1)과 같은 측정치를 m개의 기준국에서 수집했을 때의 식을 행렬 형태로 표현한 것이며 (3)은 이를 방정식으로 표현한 것이다. 개발한 소프트웨어는 (3)의 방정식을 풀 때 MV estimator 방식을 사용하며 그 과정은 다음과 같다 [2].

$$E[x] = \bar{x}, cov(x) = A \text{ (priority information)} \quad (4)$$

$$J_{MV} = \frac{1}{2}(x - \bar{x})^T A(x - \bar{x}) \quad (5)$$

$$+ \frac{1}{2}(z - Hx)^T W^{-1}(z - Hx)$$

$$\hat{x}_{MV} = (A^{-1} + H^T W^{-1} H)^{-1} H^T W^{-1} z \quad (6)$$

$$\hat{P}_{MV} = (A^{-1} + H^T W^{-1} H)^{-1} \quad (7)$$

(4) 식에서의 공분산 행렬은 이미 알고 있는 위성 오차의 분석 정보를 이용하여 선형적으로 정한 것이다. W행렬은 (1)식에서의 잔차 ϵ 에 대한 공분산 행렬을 의미한다. (5)식과 같은 performance index J_{MV} 를 정해놓고 식을 풀면 (6)과 같은 해와 (7)과 같은 공분산 행렬을 얻을 수 있으며 이 값을 이용하여 UDRE를 추정할 수 있다. 그 과정은 다음과 같다[2].

$$P_{UDRE} = R + H\hat{P}_{MV}H^T \quad (8)$$

$$\sigma_{UDRE}^2 = \left(\sum_{i=1}^M \frac{1}{P_{UDRE,i}} \right)^{-1} \quad (9)$$

$$UDRE = \sigma_{UDRE} \times 3.29 \quad (10)$$

식 (8)에서 R 행렬은 측정치의 공분산 행렬을 의미하고 식 (9)의 i는 P 행렬의 i번째 대각 성분을 의미한다. 식 (10)에서 3.29의 숫자는 99.9%의 오차를 bounding할 수 있는 값이다.

2-2-2 GIVE 생성 알고리즘

GIVE는 SBAS에서 전리층 지연 오차를 추정할 때 생기는 추정 오차에 대한 무결성 정보이다. SBAS는 IGP (ionospheric grid point)에서의 수직 전리층 지연 값을 방송하기 때문에 IPP (ionospheric pierce point)에서의 수직 전리층 지연 값으로부터 IGP에서의 수직 전리층 지연 값을 추정해야한다. 그 방법으로는 여러 개가 존재하지만 본 소프트웨어는 Kriging 방식을 이용하였다[3]. Kriging 방식은 IPP에서의 측정치 사이의 공간적 상관성을 고려하여 IGP에서의 값을 추정하는 방식으로 과정은 다음과 같다.

$$I(\Delta x) = \sum_{i=1}^N w_i I_{meas}(\Delta x_i) = \underline{w}^T I_{IPP} \quad (11)$$

$$\sigma_{IGP}^2(w) = w^T C w - 2w^T c + c_0 + w^T M w \quad (12)$$

$$M \equiv \epsilon_{IPP} \epsilon_{IPP}^T, C \equiv r_{IPP} r_{IPP}^T, \quad (13)$$

$$c \equiv r(\Delta x) r_{IPP}, c_0 \equiv r^2(\Delta x)$$

식 (11)은 IPP에서의 수직 전리층 지연 값으로부터 IGP에서의 수직 전리층 지연 값을 구하는 과정이며 w는 Kriging 방식으로부터 나오는 weighting vector이다. 결과적으로 분산 값은 식 (12)와 같이 나오게 된다. 식 (13)에 각 행렬이 의미하는 바가 적혀있다. 추가적으로 본 소프트웨어는 GIVE를 계산할 때 undersampled threat model을 고려하였다[4]. Threat model은 IPP에서의 측정치가 한 쪽에 치우쳐져 있거나 IGP로 지나치게 먼 경우 측정치가 정확하지 않으므로 이를 고려하여 앞서 식 (12)로부터 구한 분산 값을 키워주는 역할을 한다. Threat model을 고려한 경우 최종적인 분산 값과 그로부터 얻는 GIVE 값은 다음과 같다.

$$\sigma_{GIVE}^2 = \sigma_{IGP}^2 + \sigma_{undersampled}^2 \quad (14)$$

$$GIVE = \sigma_{GIVE} \times 3.29 \quad (15)$$

식 (14)는 Kriging 방식에서 얻은 분산과 전리층 threat model로부터 얻은 분산을 합하여 전체 분산 값을 구하는 것이고 이를 통해 (15)로부터 최종 GIVE 값을 얻는다.

2-2-3 항공기 사용자에 대한 보호수준 계산 알고리즘

항공기 사용자에 대해 KASS의 가용성 성능을 평가하기 위해서는 항공기 사용자에 대해 보호수준을 계산하여야 한다. 항공기의 dynamics는 SBAS의 성능에 많은 영향을 미친다. 예를

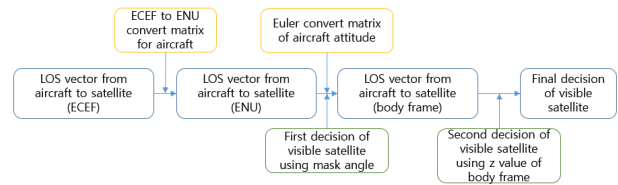


그림 5. 항공기 사용자 가시위성 판단 알고리즘
Fig. 5. Algorithm for decision of visible satellites of aircrafts.

들면 이착륙 시에 비행기가 수직으로 가속을 할 때 수신기 성능이 감소되기 때문에 SBAS 성능이 떨어진다. 이 외에도 항공기의 형태나 안테나가 항공기의 어느 위치에 장착되어 있는지 역시 SBAS의 성능에 영향을 미친다. 하지만 이러한 요소들이 SBAS 성능에 영향을 끼치는 이유는 대부분 위성파와 항공기의 수신기 사이에 masking이 일어나거나 multipath가 발생하기 때문이다[5]. 따라서 본 소프트웨어는 항공기 사용자에 대해 보호수준을 계산할 때 masking을 고려하여 항공기 사용자의 가시위성을 판단하였다. 항공기 사용자의 가시위성을 판단할 때는 항공기의 날개 면을 연장시킨 body horizon을 이용하였다. 먼저 ECEF좌표계로 표현된 항공기 사용자와 위성 사이의 LOS 벡터를 항공기에 대해 ENU좌표로 표현한다. ENU좌표로 표현된 LOS 벡터 값은 지상으로부터 mask angle을 적용하여 가시위성을 판단할 때 사용된다. 다음으로는 ENU좌표로 표현된 LOS 벡터를 항공기의 body frame에 대해 표현한다. 변환할 때는 항공기 자세의 roll, pitch, yaw 각에 따른 오일러 변환 행렬을 이용하였다. 결과적으로 항공기의 body frame에 대해 표현된 LOS 벡터의 z값의 부호에 따라 가시위성을 2차적으로 판단한다.

III. 항공기 사용자용 KASS성능평가 소프트웨어 알고리즘 검증

3-1 UDRE 및 GIVE 생성 알고리즘 검증

본 연구팀이 개발한 소프트웨어의 UDRE와 GIVE의 생성 알고리즘은 이전연구에서 이미 검증한 바 있다[1]. 해당 알고리즘들을 검증하기 위해서 본 소프트웨어로 얻은 결과와 실제 SBAS의 결과를 비교하였으며 실제 SBAS의 결과로는 EGNOS의 검증된 프로그램인 PEGASUS의 결과를 이용하였다. 개발한 소프트웨어로부터 얻은 UDRE, GIVE 결과는 실제 EGNOS의 데이터와 매우 유사하였으며 이를 통해 얻은 보호수준의 결과는 1m 이내의 오차를 유지하였다.

3-2 항공기 사용자에 대한 보호수준 계산 알고리즘 검증

본 연구팀이 개발한 소프트웨어를 이용해서 얻은 항공기 사용자에 대한 보호수준 결과를 검증하기 위해서 EGNOS의 시뮬

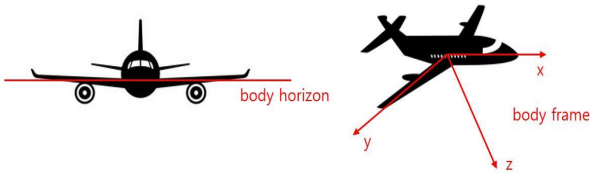


그림 6. 항공기의 body horizon 및 body frame
 Fig. 6. Body horizon and body frame of aircraft.

표 1. 검증을 위한 시뮬레이션의 세부 설정
 Table 1. Setting of simulation for verification.

Simulation date	2016.08.09
Simulation length / step size	24hours / 600sec
Position of user	Toulouse Latitude : 43.42° Longitude : 1.5°

표 2. 항공기 사용자에게 대한 시뮬레이션 보호수준 결과
 Table 2. Protection level result of simulation for aviation user.

Attitude of aircraft	No dynamics	Roll 30deg	Roll 30deg Pitch 30deg
Mean of HPL difference (m)	0.1231	0.1795	0.2030
Proportion of HPL difference (%)	1.86	2.15	2.15
Mean of VPL difference (m)	0.1905	0.2865	0.2751
Proportion of VPL difference (%)	1.86	2.04	1.93

레이션 틀인 SBASimulator#2의 보호수준 결과와 비교하였다. 검증을 위해서 보호수준을 계산하기 위한 무결성 정보 생성 알고리즘을 SBASimulator#2와 일치시키는 과정이 필요했다. 무결성 정보를 생성하기 위해 SBASimulator#2가 사용하고 있는 알고리즘은 사용자 manual 형태로 제공하고 있었으며 이를 MATLAB으로 구현하였다[6]. 검증을 위해 본 소프트웨어가 무결성 정보를 생성할 때 SBASimulator#2의 알고리즘을 이용하도록 설정을 바꾼 뒤 시뮬레이션을 수행하였다. 시뮬레이션을 위해 2016년 8월 9일의 방송궤도력을 이용했으며 SBASimulator#2의 경우 유럽 지역에서의 시뮬레이션만 가능하므로 사용자 위치를 유럽의 Toulouse 지역으로 설정하였다. 시뮬레이션의 세부 설정은 표 1과 같다. 시뮬레이션은 항공기의 자세 변화가 없는 경우와 roll이 30도만큼 변환 경우, roll과 pitch가 각각 30도씩 변환 경우에 대해 수행하였으며 설정한 날짜에 대해 하루 동안의 보호수준의 결과는 그림 6와 같이 나왔다. 그림 6에서 볼 수 있듯이 항공기의 자세변화가 없는 경우와 자세변화가 있는 경우 모두 개발한 소프트웨어의 결과와 SBASimulator#2의 결과가 양상이 비슷한 것을 알 수 있다. 각

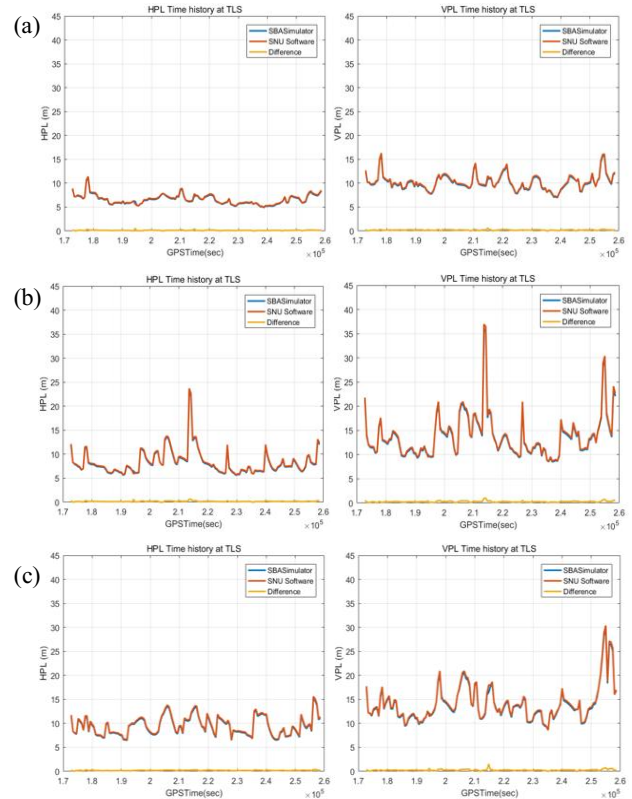


그림 7. 시뮬레이션 보호 수준 결과 (a) 항공기 자세 변화 없는 경우 (b) roll 30도 변화 (c) roll 30도 변화, pitch 30도 변화
 Fig. 7. Protection level result of simulation (a) No aircraft dynamics (b) Roll 30deg (c) Roll 30deg, pitch 30deg.

경우에 대해 본 소프트웨어의 보호수준 값 결과와 SBASimulator#2의 보호수준 값 결과의 차이가 표 2에 정리되어 있다. 표 2에서 항공기 자세의 변화가 없는 경우의 결과를 보면 보호수준의 값의 차이가 0.2m였고 SBASimulator#2의 결과에 비해 2%이내의 오차를 보였다. 이를 통해 알 수 있는 사실은 SBASimulator#2의 무결성 정보 생성 알고리즘을 MATLAB으로 잘 구현하였다는 것이다. 추가적으로 항공기의 자세변화가 있는 경우 SBASimulator#2의 결과 값과 본 소프트웨어의 결과 값의 차이는 0.3m였으며 이는 SBASimulator#2의 값에 비해 2% 오차였다. 이를 통해 본 연구팀이 개발한 소프트웨어의 항공기의 가시위성 판단 알고리즘이 잘 구현되었다는 사실을 알 수 있다.

IV. 결론

본 논문에서는 KASS의 가용성 성능 평가를 위한 소프트웨어를 개발하였으며 이를 MATLAB의 GUI로 구현하였다. 특히 지속적으로 변하는 항공기의 위치와 자세 데이터에 대해 KASS의 가용성을 평가할 수 있도록 알고리즘을 구현하였다. 항공기

사용자에 대한 보호수준 알고리즘은 EGNOS의 시뮬레이션 소프트웨어인 SBASimulator#2의 결과와 비교하여 검증하였다. 검증을 할 때는 결과 값 비교를 위해 기존에 본 소프트웨어가 사용하고 있는 무결성 정보 생성 알고리즘이 아닌 SBASimulator#2에서 사용하고 있는 무결성 정보 생성 알고리즘을 이용하도록 본 소프트웨어를 수정하였다. 그 결과 SBASimulator#2의 보호수준 값과 개발한 소프트웨어의 보호수준의 값의 차이가 0.3m 이내였고 SBASimulator#2의 값에 비해 2%정도의 오차를 보였다. 결과적으로 본 논문에서는 한반도 지역에서 시간에 따라 지속적으로 위치와 자세가 변하는 항공기에 대해 KASS의 성능을 분석할 수 있는 소프트웨어를 개발하였다. 추가적으로 항공기 사용자에게 대한 보호수준 알고리즘에 수신기의 위치, 항공기의 이착륙과 같은 움직임 등 보호수준 결과에 영향을 미칠 수 있는 설정을 더 추가한다면 보다 성능이 더 좋아질 것으로 기대한다.

Acknowledgments

본 연구는 서울대학교 정밀기계설계공동연구소를 통해 계약된 국토교통부 국토교통기술촉진연구개발사업의 연구비지원(18CTAP-C129724-02)에 의해 수행되었습니다. 그리고 서울대학교 항공우주신기술연구소의 지원과 서울대학교 공학연구원의 시설 지원에도 감사를 드립니다.



최 봉 관 (Bong-kwan Choi)

2017년 2월 : 서울대학교 기계항공공학부 (공학사)
 2017년 3월 ~ 현재 : 서울대학교 대학원 기계항공공학부 석사과정
 ※관심분야 : 광역보정항법시스템, 전리층 지연



한 덕 화 (Deok-hwa Han)

2011년 2월 : 서울대학교 기계항공공학부 (공학사)
 2018년 2월 : 서울대학교 대학원 기계항공공학부 (공학박사)
 2018년 3월 ~ 현재 : 서울대학교 정밀기계설계공동연구소 (박사 후 연구원)
 ※관심분야 : 광역보정항법시스템, 전리층 지연



김 동 옥 (Dong-uk Kim)

2013년 8월 : 서울대학교 기계항공공학부 (공학사)
 2013년 9월 ~ 현재 : 서울대학교 대학원 기계항공공학부 석박사 통합과정
 ※관심분야 : 광역보정항법시스템, RTK

References

- [1] B. K. Choi, D. H. Hwa, D. U. Kim, J. B. Kim, C. D. Kee, "Development of SBAS simulation software for analysis of KASS availability performance," in *International Symposium on GNSS 2017*, Hong Kong: China, pp. 10-13, Dec. 2017.
- [2] D. Y. Kim, A study on correction generation algorithms for wide area differential GNSS, Ph.D. dissertation, Seoul National University, Seoul, Korea, 2007.
- [3] L. Sparks., J. Blanch, N. Pandya, "Estimating ionospheric delay using Kriging: 1. Methodology," *Radio Sciences*, Vol. 46, RS0D21, Oct 2011.
- [4] N. Pandya, M. Gran, E. Paredes, "WAAS performance improvement with a new undersampled ionospheric gradient threat model metric", in *Proceedings of the 2007 National Technical Meeting of The Institute of Navigation*, San Diego: CA, pp. 22-24, Jan. 2007.
- [5] Z. Avionik, Braunschweig, EGNOS operational test and validation for civil aviation programme outline, Eurocontrol, Germany, EEC Report No. 342, Dec. 1999.
- [6] D. Jiri, K. Igor, Upgrade of SBAS simulator user manual, ESA-ESTEC, Netherlands, Nov. 2015.



김 정 범 (Jung-beom Kim)

2012년 8월 : 서울대학교 기계항공공학부 (공학사)

2014년 8월 : 서울대학교 대학원 기계항공공학부 (공학석사)

2014년 9월 ~ 현재 : 서울대학교 대학원 기계항공공학부 공학박사과정

※관심분야 : DGPS, GPS/INS



기 창 돈 (Changdon Kee)

1984년 2월 : 서울대학교 항공공학과 (공학사)

1986년 2월 : 서울대학교 항공공학과 (공학석사)

1994년 1월 : 미국 스탠포드대학교 항공우주공학과 (공학박사)

1996년 9월 ~ 현재 : 서울대학교 대학원 기계항공공학부 교수

※관심분야 : 위성항법시스템, 보정위성항법시스템, 광역보정위성항법시스템, 초정밀위치결정시스템, 우주비행체 자세결정, 무인 항공기 자동제어 시스템, 실내용 자동항법시스템, 항공교통관제시스템