

論文

J. of The Korean Society for Aeronautical and Space Sciences 43(2), 125-132(2015)

DOI:http://dx.doi.org/10.5139/JKSAS.2015.43.2.125

ISSN 1225-1348(print), 2287-6871(online)

한국형 위성항법시스템의 UDRE 모니터링 분석

박종근*, 안종선*, 허문범**, 주정민**, 이기훈***, 정상경*, 이영재*

UDRE Monitoring Analysis of Korean Satellite Navigation System

Jong-Geun Park*, Jongsun Ahn*, Moon-Beom Heo**, Jung Min Joo**, Kihoon Lee***,

Sangkyung Sung* and Young Jae Lee*

Konkuk University*, Korea Aerospace Research Institute**

Agency for Defense Development***

ABSTRACT

This paper is about analysis of UDRE monitoring method for Korean Satellite navigation system, which is the correction parameter of satellite measurements. New receiver clock bias and tropospheric delay error estimation method to make pseudo-range residual for UDRE monitoring is proposed. Saastamoinen model and Neill mapping function are used for estimate the tropospheric delay and EKF is used for estimate the receiver clock bias. Through the satellite measurements and regional weather data received directly from the domestic is using for UDRE monitoring analysis, more suitable UDRE monitoring threshold can be deducted and it is expected to be utilized for fault detection technique of Korean Satellite Navigation System.

초 록

본 논문은 한국형 위성항법시스템의 위성궤도, 위성시계 고장 검출이 가능한 UDRE에 대한 모니터링 알고리즘 분석을 수행하였다. UDRE 모니터링을 위한 의사거리 잔차 생성 방법 중 대류권 지연오차와 수신기 시계바이어스 추정방법에 대해 새로운 알고리즘을 제안한다. 대류권 지연오차는 국내 기상데이터에 더욱 적합한 Saastamoinen 모델과 Neill 매핑함수의 조합 모델을 사용하였으며, 수신기 시계 바이어스 추정방법으로는 칼만필터를 사용한 기법을 사용하였다. 국내 지역에서 직접 수신한 위성데이터와 기상데이터를 사용한 UDRE 모니터링 분석을 통해 한국지역에 더욱 적합한 UDRE 모니터링 한계치(Threshold)를 도출하고 추 후 한국형 위성항법시스템의 고장검출 기법으로 활용할 수 있을 것으로 기대한다.

Key Words : Wide Area GNSS (광역 위성항법시스템), UDRE (User Differential Range Error) Monitoring (측정값 잔차 모니터링), Integrity Monitoring (무결성 검사)

† Received : March 31, 2014 Revised : January 22, 2015 Accepted : January 23, 2015

* Corresponding author, E-mail : younglee@konkuk.ac.kr

I. 서론

GNSS(Global Navigation Satellite System)은 위성에서 방송되는 측위 신호를 이용하여 지구상 어디에서든 24시간 이용 가능한 위성항법시스템을 말한다. 대표적인 GNSS로는 미국의 GPS(Global Positioning System)가 있으며, GPS 뿐만 아니라 러시아의 GLONASS(Global Navigation Satellite System), EU의 Galileo, 중국의 COMPASS 등의 시스템들이 개발 및 구동 중이다.

GNSS는 위성신호를 사용하는 시스템의 특성상 신호에 포함된 오차들로 인해 단독으로 사용할 경우 항공기와 같이 높은 수준의 정확성(Accuracy)과 무결성(Integrity)을 요구하는 사용자의 요구조건을 만족시킬 수 없다는 한계를 갖고 있다[1]. 이러한 단독 GNSS의 한계점을 극복하고자 개발된 시스템이 보강항법시스템(Augmentation System)이다. 보강항법시스템은 지상기반 보강항법시스템과 (GBAS; Ground Based Augmentation System) 위성기반 보강항법시스템 (SBAS; Satellite Based Augmentation System) 등이 개발되어 사용되고 있다. GBAS는 공항 등 좁은 지역에 설치되어 항법해 성능을 높이는 것을 목표로 하며[2], SBAS는 넓은 지역에 분포하고 있는 사용자들에게 추가적인 위성메시지 방송을 통해 보강을 지원하는 시스템으로 달리 광역보강항법시스템이라고 불린다.

SBAS는 정확히 측량된 지점의 여러 곳의 지상 기준국(WRS; Wide Area Reference Station) 관측지점을 통해 수신한 위성 신호를 사용하여 보정정보를 생성하고, 생성한 보정정보에 대한 검증 및 무결성 검사를 주 기준국(WMS; Wide Area Master Station)에서 수행한다. 검증 및 무결성 검사를 통과한 보정정보는 Fig. 1과 같이

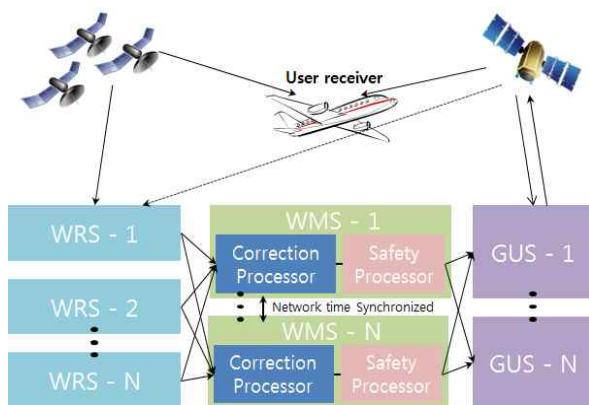


Fig. 1. SBAS Main Process and Concept

지상에 위치한 업링크 시스템 (GUS; Ground Uplink System)을 통해 위성으로 전송되어 다시 위성을 통해 사용자에게 전송된다.

SBAS는 개발단계를 넘어서 성숙단계에 접어들었으며, 이에 따라 최근 무결성 문제에 대한 관심이 높아지고 있다. SBAS는 광역에 보정정보를 제공하는 시스템이기 때문에 시스템이 설치되는 지역에 따라 특수한 고려가 필요하다. 마찬가지로 현재 연구되고 있는 한국형 위성항법시스템도 광역 보강항법시스템으로의 설치가 필요하다면 기존 SBAS들의 알고리즘을 그대로 적용하는 것이 아니라, 지역적 특수성을 고려한 보강항법 알고리즘의 수정 및 보완이 필요하다.

SBAS는 1990년대 초기 전리층 및 위성부분 오차를 수신기간 공통오차로 볼 수 없는 넓은 지역에 적은 수의 기준국을 설치하여 DGPS 수준의 정확도를 제공할 수 있다는 연구 결과로부터 시작되었다[3][7]. 이러한 접근 방법을 통해 개발된 SBAS는 위성 신호 측위 시 가장 큰 불확실성 요소인 전리층 지연오차 및 위성 시계, 위성 궤도 오차에 대한 불확실성 때문에 정확성에 대해 성능향상의 한계가 존재한다. 또한 정확성뿐만 아니라, 국지적 전리층 폭풍과 같은 이상 현상 및 위성 항법메시지 이상으로 인한 시스템 고장 검출에 대한 중요성이 대두되고 있다. 한편 우리나라에서도 광역 위성항법보강시스템을 기반으로 하는 한국형 위성항법시스템의 개발을 위한 연구가 수행중이다.

본 논문에서는 광역 위성항법보강시스템의 무결성 검사를 위하여 보강항법시스템에서 생성된 의사거리 보정정보에 대한 불확실성을 나타내는 지표인 UDRE (User Differential Range Error)에 대한 모니터링기법을 분석한다. 추 후 한국형 위성항법시스템 도입을 고려하여 국토지리정보원 수원 관측소의 데이터를 수집하여 국내지역의 데이터를 사용한 UDRE 감시기법을 수행하고 한국형 위성항법에 적용가능 여부를 분석한다.

본 논문의 2.1절에서는 SBAS GPS 측정식에 대해 설명하고 2.2절에서는 UDRE 추정을 위한 의사거리 잔차 추정방법과 오차 제거 방식에 대해 설명한다. 그 후 UDRE 추정 및 검증을 수행하고 한계치를 도출하여 분석을 통해 결론을 정리하며 결론을 맺었다.

II. 본론

2.1 SBAS measurement equation

GNSS는 위성으로부터 신호가 출발하여 사용

자에게 도착하기까지 여러 가지 다양한 원인들로 인해 오차를 수반한다. 중요한 오차 요인으로는 전리층 지연, 대류층 지연, 위성 궤도오차 및 위성 시계오차, 다중경로 오차, 열잡음 및 신호 오차 등이 있다. GNSS 광역보강시스템은 위와 같이 신호에 포함되어 있는 오차에 대한 보정정보를 생성하여 넓은 영역에 분포된 사용자에게 제공이 가능하다. 넓은 영역에 보정정보를 제공하기 위해서 GNSS 광역보강시스템은 넓게 분포된 광역기준국, 중앙처리국, 그리고 광역사용자로 이루어진 세 가지 핵심 구성요소로 이루어져 있다. 광역기준국은 각각 이중주파수 GNSS 수신기, 기상장비, 데이터 처리용 PC등으로 구성된다. 광역기준국은 GNSS 신호를 측정하여 중앙기준국으로 보내는 역할을 하며, 신호를 전송하기 전에 위성관련 오차 측정치와 전리층 관련 측정치로 분리하여 전달한다[4].

이중 주파수 수신기로부터 얻을 수 있는 L1/L2 주파수의 의사거리 (Code)와 반송파 (Carrier)를 식으로 나타내면 아래와 같다.

$$\rho_{L1} = d + i_i + t + B - b + \epsilon_{\rho_{L1}} \quad (1)$$

$$\rho_{L2} = d + \gamma \cdot i_{L1} + t + B - b + \epsilon_{\rho_{L2}} \quad (2)$$

$$\phi_{L2} = d - \gamma \cdot i_{L1} + t + B - b + \lambda_{L2} N_{L2} + \epsilon_{\phi_2} \quad (3)$$

ρ_{L1}, ρ_{L2} : 의사거리

ϕ_{L1}, ϕ_{L2} : 반송파 위상

i_{L1} : L1주파수의 전리층지연

γ : L1, L2 주파수 제공의 비율 = $\left(\frac{77}{60}\right)^2 \approx 1.65$

b : 위성의 시계 오차

B : 수신기의 시계 오차

$\epsilon_{\rho_{L1}}, \epsilon_{\rho_{L2}}$: 반송파 위상 측정치 잡음

N_{L1}, N_{L2} : 반송파 위상 미지 정수

$\lambda_{L1}, \lambda_{L2}$: 반송파파장

의사거리 측정치는 GPS 위치 측위의 기본이 되는 측정치로 위성으로부터 전송된 PRN (Pseudo-Random Noise) 코드와 GPS 수신기에서 생성된 PRN 코드를 수신기의 correlator를 통해 correlation하여 얻은 측정치이다. 반송파 측정치는 GPS 위성 반송파의 위상과 수신기 내부에서 자체적으로 생성한 반송파 위상의 차이를 구하여 측정한다. 반송파는 코드 측정치에 비해 정밀하여 더욱 나은 항법해를 계산할 수 있다[9].

2.2 의사거리 잔차 추정 및 오차제거

광역 보강시스템의 모든 오차 보정치는 L1 주

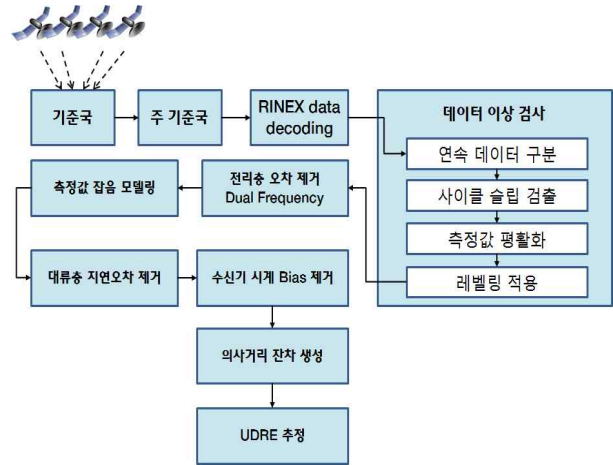


Fig. 2. Flowchart of UDRE Monitoring

파수의 의사거리 측정치를 기준으로 생성한다. 식 (1)의 L1주파수 의사거리 측정식에 광역기준국 번호 i 와 GPS 위성 번호를 나타내는 j 를 포함하여 다시 나타내면 아래와 같다.

$$\rho^j_i = d^j_i + i^j_i + t^j_i - b^j_i + B_i + \epsilon_{\rho} \quad (4)$$

의사거리 측정값은 식 (4)를 통해 알 수 있듯이 위성과 기준국사이의 기하학적 거리에 전리층 지연 오차, 대류층 지연 오차, 위성 시계 오차, 기준국 수신기 시계오차, 측정값 잡음 등의 성분이 포함되어 있다. 이 중 기하학적 거리를 나타내는 d^j_i 는 자신의 위치를 정확히 알고 있는 광역보강시스템의 기준국과 위성사이의 거리로 기하학적 계산에 따라 산출하지만 방송궤도력의 불확실성으로 인해 위성 궤도오차가 포함되어 있다. 이 중 추정하고자 하는 위성 관련 오차만 남기기 위해 본 논문에서는 아래 Fig. 2와 같은 흐름도를 제안하여 나머지 오차들에 대한 제거과정을 진행하여 UDRE 모니터링을 수행하였다.

2.2.1 전리층 지연 및 IFB 추정

전리층 지연 오차는 광역보강항법시스템 기준국의 이중주파수 측정값을 사용하여 제거한다[5]. 이는 두 주파수인 L1과 L2 주파수 파장 길이 차이에 따라 전리층을 통과하는 시간이 다르다는 점을 이용하는 방법이다. 정확한 전리층 지연오차를 계산하기 위해서는 위성에서 동일한 시각에 두 주파수가 출발하여 동일한 시각에 들어온 신호를 수신기 내부에서 처리해야 한다. 그러나 위성이나 수신기 내부의 경로차이에 의한 IFB (Inter Frequency Bias)가 발생하여 정확성에 영향을 미치므로 반드시 고려해야 한다. 본 논문에서는 수신기 IFB는 전리층 총 전자수를 계산하는

과정에서 도출하였으며, 위성 IFB는 IGS에서 제공하는 값을 반영하였다[8]. (현재 IGS에서는 우리나라의 GPS 기준국 중 수원과 대전 관측소에 대한 수신기 IFB값을 제공하고 있다.)

$$i_{i,\rho}^j = \frac{\rho_{i,L2}^j - \rho_{i,L1}^j}{\gamma - 1} \quad (5)$$

$$i_{i,\phi}^j = \frac{\phi_{i,L1}^j - \phi_{i,L2}^j}{\gamma - 1} \quad (6)$$

$$iVTEC = (STEC_{ij} - b_{rev,j} - b^{sat,j}) \times \cos \chi_{ij} \quad (7)$$

$$\sec \chi_{ij} \times iVTEC + b_{rev,i} + b^{sat,j} = STEC_{ij} \quad (8)$$

$$STEC_{ij} = 9.52 \times (P_1 - P_2) \quad (9)$$

$$x = (H^T W H)^{-1} H^T W Y \quad (10)$$

$iVTEC$: 수직방향의 총 전자수

$STEC$: 시선방향의 총 전자수

P_1 : L1주파수 (P1코드)

P_2 : L2주파수 (P1코드)

$b^{sat,j}$: j번째 위성 DCB (IGS)

$b_{rev,i}$: i번째 수신기 DCB (IGS)

x : elevation angel

측정값은 반송파-평활화(Carrier Phase-Smoothing)와 수준화 (Leveling)과정을 적용한 정보를 사용하며 평활화와 수준화의 정확도를 떨어뜨릴 수 있는 불연속한 데이터는 미리 처리하였다. 각 지점의 시선방향의 전리층 지연값은 최소자승법으로 구한 수직방향의 전리층 총 전자수 단위를 환산하여 각 지점에 투영 후 계산한다.

수직방향의 전리층 총 전자수와 수신기 IFB는 하나의 격자지점 내의 수신기들의 측정값이 많을수록 상대적으로 정확한 값을 추정할 수 있다. 식 (11~12)는 수준화된 시선방향의 총 전자수를 계산하는 방법을 나타낸다.

$$STEC_{Leveling} = STEC_{\phi} + Corr \quad (11)$$

$$Corr = \frac{\sum_{i=1}^N (STEC_{p,i} - STEC_{\phi,i}) \sin \alpha_i}{\sin \alpha_i} \quad (12)$$

$STEC_{Leveling}$: 수준화를 적용한 시선방향 총전자수

$STEC_p$: 코드 측정값을 이용한 시선방향 총전자수

$STEC_{\phi}$: 반송파 측정값을 이용한 시선방향 총전자수

$\sin \alpha_i$: i번째 가중치 함수

$Corr$: 보정항 (업데이트)

Table 1. Receiver IFB estimation result (SUWON, National Geographic Information Institute)

수원기준국 (ns)	IGS IFB	추정 IFB	IFB 차이
2월 15일	26.2	24.6	1.50

Table 1을 통해 IFB가 잘 예측되었음을 알 수 있다. 이 방법을 통해 추 후 국내 여러 다른 지역에 설치될 광역보강항법시스템 기준국들의 수신기 IFB를 추정할 수 있다.

2.2.2 수신기 시계 오차 추정

수신기 시계 오차 추정을 위해 GPS/INS에서 사용하고 있는 정렬 개념을 활용하였다. 상태변수를 추정하는 필터로는 확장형 칼만필터 (EKF; Extended Kalman Filter)를 사용하였다. INS에서는 초기에 센서 바이어스를 추정하기 위한 정렬 과정을 수행하는데, 이 중 정밀정렬은 항체의 속도가 0이라는 점을 이용하여 센서 바이어스를 추정 후 보상하는 방법이다.

본 논문에서는 INS/GPS의 정밀정렬 개념을 사용하여 기준국의 속도가 0이라는 점과 기준국의 정확한 위치정보를 사용하여 칼만 필터의 상태 방정식과 측정값 방정식을 구성하여 필터에 적용해 수신기 시계오차 추정을 수행하였다. 수신기 시계 바이어스를 추정하기 위한 상태변수는 아래 식 (13)과 같이 각 축별 위치오차, 속도오차, 수신기 시계 바이어스, 수신기 시계 드리프트를 포함하는 8차 모델을 사용하였다.

$$X = [\delta x \ \delta y \ \delta z \ \delta V_x \ \delta V_y \ \delta V_z \ b_{bias} \ b_{drift}] \quad (13)$$

$\delta x, \delta y, \delta z$: 위치 오차 (3축)

$\delta V_x, \delta V_y, \delta V_z$: 속도 오차 (3축)

b_{bias} : 수신기 시계 바이어스

b_{drift} : 수신기 시계 드리프트

Figure 3는 수신기 시계 오차 추정 결과를 나타낸다. 추정결과 평균적으로 약 10ns 정도의 오차를 확인할 수 있었다.

2.2.3 대류층 지연 오차 추정

기존 SBAS에서 대류층 지연오차 추정을 위해 사용하는 모델은 국내 지역의 기상환경을 반영하지 못해 실제 오차를 잘 추정하지 못한다. 따라서 기 개발된 대류층 지연 모델과 매핑함수의 새로운 조합을 통해 국내 지역의 환경정보를 잘 반영하는 대류권 지연 모델을 사용하였다[6].

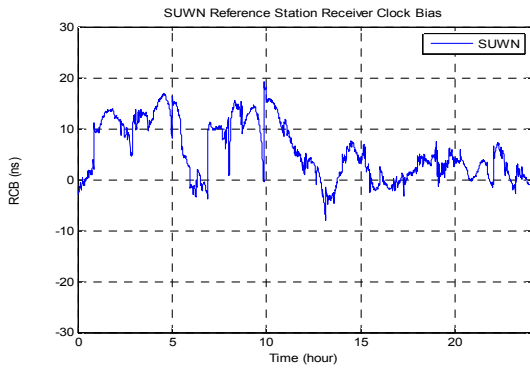


Fig. 3. Result of receiver clock bias estimation (Feb. 15, 2014)

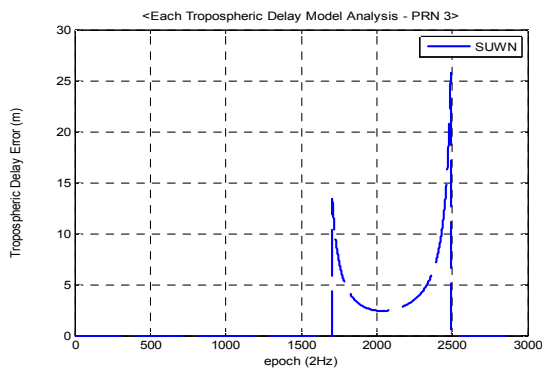


Fig. 4. Result of Tropospheric Delay Error (PRN 3, Feb. 15, 2014)

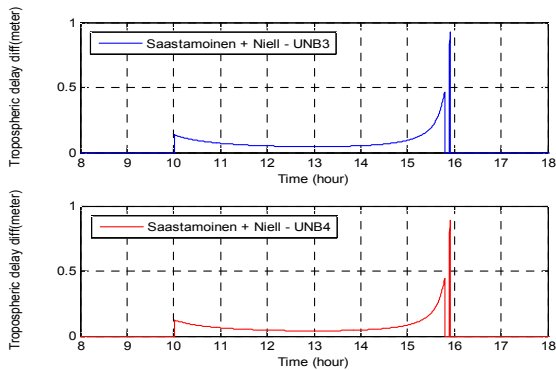


Fig. 5. Residual results of tropospheric delay error (PRN 3, Feb. 15, 2014)

대류권 지연오차 추정을 위해 사용한 모델은 Saastamoinen 모델이며 Niell 매핑함수를 함께 사용하였다. WAAS 등 기존의 광역 위성항법 보강시스템에서 사용되고 있는 UNB3/UNB4 모델은 전 세계적인 기상파라미터를 수집하여 생성한 대류권 지연 오차 추정모델이기 때문에 4계절이 뚜렷한 국내지역에서는 특히 여름계절에 그 추정

성능이 떨어지는 모델이다. 분석에 사용한 대류권 지연 오차 추정 결과는 아래 Fig. 4와 같다. Fig. 5는 UNB3/UNB4 모델과 논문에서 사용한 Saastamoinen + Niell 매핑함수의 대류권 추정결과 비교이다. 비교 결과 저양각에서 약 1m 정도의 오차를 확인할 수 있었다.

2.2.4 그 외 잡음 제거

GPS 측정값에 포함되어 있는 멀티패스나 신호 잡음 및 열잡음 등의 영향을 줄이기 위해 반송파 기반의 평활화 방법을 사용하였다. 식 (14)에서 N은 평활화 기법을 위한 상수이며, 본 논문에서는 5의 값으로 설정하였다.

$$\rho_s(k) = \frac{1}{N}\rho(k) + \frac{N-1}{N}(\rho_s(k-1) + \phi(k) - \phi(k-1)) \quad (14)$$

- ρ_s : 평활화를 적용한 의사거리 코드 측정값
- ϕ : 반송파 측정값
- N : 평활화 상수
- k : 에폭 (Epoch)

제거한 잡음은 그 값을 추정하여 모델링한 후 수신기 시계오차 추정을 위한 칼만 필터의 공분산 모델로 사용했다. 수신기별로 알맞은 공분산 모델을 사용하지 않을 시 수신기 시계오차가 제대로 추정되지 않음으로 반드시 공분산 모델에 대한 추정이 필요하다.

2.3 UDRE 추정

2.3.1 UDRE 추정 방법

UDRE란 광역 위성항법보강시스템의 중앙 기준국에서 위성 궤도 오차 보정치와 위성 시계 오차 보정치의 추정 오차 수준을 나타내는 값이다. GBAS에서 사용하는 URA (User Range Accuracy)와 비슷한 개념으로 위성관련 오차에 추정성능을 나타내는 파라미터이다.

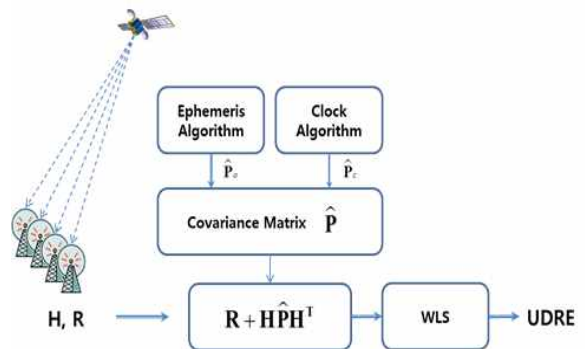


Fig. 6. Estimation Methodology of UDRE

$$\sigma_{UDRE}^2 = \left(\sum_{i=1}^M \frac{1}{P_{UDRE,ii}} \right)^{-1} \quad (15)$$

$$P_{UDRE} = R + H\hat{P}H^T$$

R : 측정값 공분산 행렬

H : 기준국 위성간의 시선벡터 행렬

\hat{P} : 위성 궤도 및 시계 오차 공분산

Figure 6은 UDRE 추정방법에 대한 흐름도를 나타내며, 식 (15~16)는 UDRE를 추정하기 위한 공식이다. 측정값 공분산과 위성궤도 및 시계 오차 공분산들을 대각행렬 항에 배치한 P 행렬을 사용해 UDRE 분산을 추정한다.

$$P = \begin{bmatrix} P_o & 0 \\ 0 & P_c \end{bmatrix} \quad (16)$$

2.3.2 UDRE 한계치 검사

UDRE 한계치 검사 위해서는 먼저 다중 기준국에서 공통위성이 3개 이상 보이는지에 대한 Visibility check를 수행해야 한다. Visibility check를 통과한 후에 추정값을 사용하여 UDRE residual을 계산한다. UDRE residual은 측정값에서 오차를 제거하고 위성관련 오차만 남아있는 의사거리 잔차를 사용하여 계산한다. 다음으로 계산된 UDRE를 사용하여 한계치 (Threshold)를 계산하고 UDRE residual과 비교하여 UDRE Residual이 한계치를 넘지 않는지 검사한다. 만약 UDRE residual이 한계치를 넘을 경우 alarm을 울리고 한계치를 넘지 않을 경우 HMI (Harzadous Misleading Information) 확률검사를 수행한다. HMI 검사를 통과하지 못할 시에는 not monitored라는 메시지를 출력한다.

HMI 확률검사를 수행하기 위한 공식과 UDRE 한계치 계산공식은 아래 식 (17~18)와 같다.

$$P_{HMI} = \Pr(|X_{UDRE} + X_{Mon}| < T, |X_{UDRE}| > L) \leq \Phi\left(\frac{L-T}{\sigma_{mon}}\right) \quad (17)$$

P_{HMI} : HMI 발생 확률

$X_{UDRE} + X_{Mon}$: UDRE residual 절대값

T : Indicating no alarm

L : $K_{HMI} \cdot \sigma_{UDRE}$ (UDRE Protection Level)

$$T_{UDRE(A/B)} = \alpha_{dw} \alpha_{sf} K_{FA} \sqrt{\sigma_{UDRE}^2 + \sigma_{mon(A/B)}^2} + \alpha_{trop} \sigma_{trop}^2 \quad (18)$$

α_{dw} : de-weight factor

α_{sf} : Scale factor

σ_{mon} : monitoring residual variance

K_{FA} : OSP (Operational System Parameter); 3.29

$$\sigma_{UDRE} = \frac{UDRE}{3.29}$$

사용된 de-weight factor는 위성 양각에 따라 투영되는 위성 궤도 오차와 위성 시계 오차의 크기가 달라지는 것에 대한 무결성을 만족시키기 위해 사용되는 마진 상수이며 계산하는 수식은 아래 식 (19)과 같다.

$$\alpha_{dw} = \begin{cases} \sqrt{\frac{1}{dw1_{ops} \times el + dw2_{ops}} + dw3_{osp}}, & \text{if } el < 7 \\ 1, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (19)$$

$$dw1_{osp} : 0.238060528495$$

$$dw2_{osp} : -1.17983911751$$

$$dw3_{osp} : -1.055141155463$$

기준국에서 수신한 모든 위성에 대한 residual과 한계치를 사용하여 한계치 검사를 수행하며, de-weight factor 계산에 사용되는 상수들은 SBAS의 OSP (Operational System Parameter)에 제시된 값을 사용하였다[10].

2.4 실험 및 분석

국내지역의 위성항법시스템의 환경적 특성을 반영하여 분석하기 위해 국토지리정보원의 기준국에서 직접 수신한 데이터를 사용하여 분석을 수행하였다. 사용한 데이터는 국토지리정보원 수월 기준국에서 2010년 2월 15일 수집한 데이터이다.

위성 궤도와 시계 오차에 대한 측정값 도메인에서의 보정값 잔차 크기 모니터링을 수행한 결과는 Fig. 7와 같다. 그림을 통해 알 수 있듯이 추정된 UDRE residual이 계산된 한계치 보다 항상 크기가 작아 고장이 발생하지 않은 정상상태임을 알 수 있다. Fig. 5는 가시위성 중 PRN 2번의 UDRE Residual 검사 결과이다. 오른쪽 마지

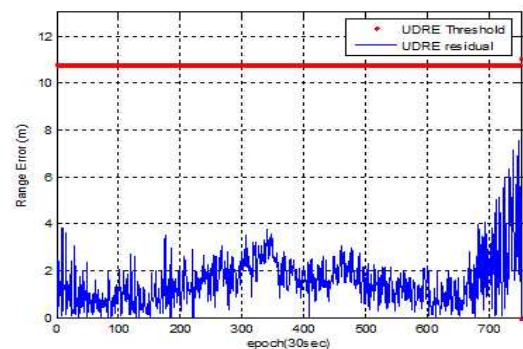


Fig. 7. UDRE monitoring result (PRN 2)

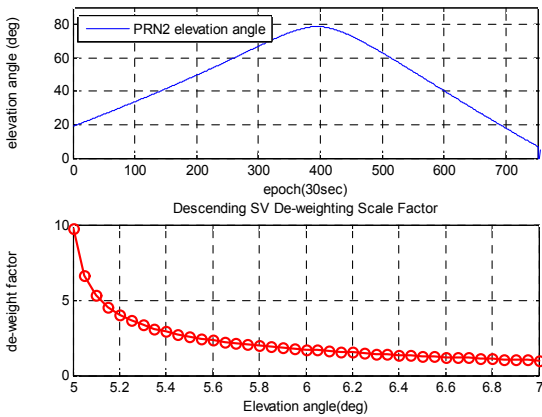


Fig. 8. Elevation angle and de-weighting factor

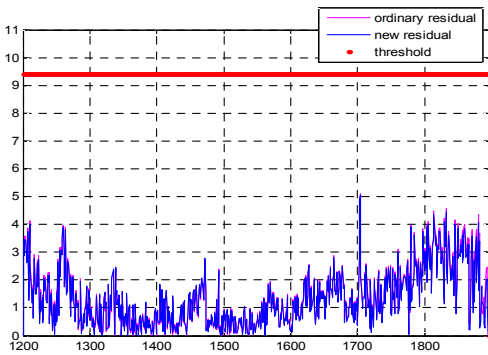


Fig. 9. Comparison of UDRE monitoring w.r.t pseudorange residual generation method (PRN 7)

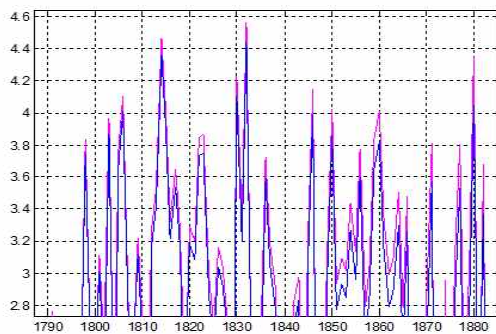


Fig. 10. Expansion of UDRE monitoring w.r.t pseudorange residual generation method (PRN 7)

막 부분을 보면 UDRE 한계치가 상승하는 것을 볼 수 있는데, 이는 Fig. 8을 통해 알 수 있듯이 PRN 2번 위성의 양각이 700 epoch 이후에 7°이하로 떨어져 de-weight factor의 증가하기 때문이다. 국토지리정보원 기준국의 Mask angle은 5°이

기 때문에 위성 양각이 5°이하로 떨어지는 경우에는 한계치 또한 0으로 설정한다[10].

실험결과 국내지역 정상상태에서 수신한 데이터는 UDRE residual이 계산된 한계치를 넘지 않아 고장이 발생하지 않았음을 확인할 수 있었다. 또한 국내 기상환경을 잘 반영하는 대류층 지연 오차 모델을 선정하여 더욱 정확한 의사거리 잔차를 추정하였으며 이를 바탕으로 분석을 진행한 결과 UDRE 한계치 검사를 만족함을 보였다.

또한 Fig. 9와 Fig. 10을 통해 기존의 의사거리 잔차 생성방식과 대류층 지연오차 추정방식을 달리하여 제안한 의사거리 잔차 추정방식을 비교해 보았을 때 저양각 부근에서 기존의 의사거리 잔차 생성방식 보다 한계치와 차이가 더 큰 것을 확인할 수 있었다. 따라서 무결성을 만족하며 기존의 방법보다 국내환경에서 작지만 가용성이 향상됨을 확인하였다. Fig. 9은 의사거리 잔차 생성 방식에 따른 차이를 비교한 결과이고, Fig. 10은 Fig. 9에 대한 저양각 부분의 확대 결과이다.

III. 결 론

본 연구는 광역 위성항법보강시스템에서 무결성 판단의 한가지 방법으로 사용되는 UDRE 모니터링 방법에 대한 이론적 설명 및 분석을 수행하였다. UDRE는 위성관련 오차인 위성 궤도 오차와 위성 시계 오차 보정치에 대한 추정성능을 나타내는 지표로 그 값이 잘 추정되었을 경우 대부분의 정상상태에서 10m 미만의 오차를 갖는다.

GPS 측정값에는 위성관련 오차뿐만 아니라 전리층 지연 오차, 대류층 지연 오차, 수신기 시계 오차, 멀티패스 및 열잡음 등의 다양한 오차가 포함되어 있기 때문에 UDRE residual 계산을 위해 위성관련 오차를 제외한 전리층 지연, 대류층 지연, 수신기 시계 오차 그리고 멀티패스 및 열잡음에 대한 제거를 수행하여 의사거리 잔차를 추정하였다. 전리층 지연 오차는 L1/L2 이중 주파수를 활용하여 제거하였으며, 수신기 IFB는 전리층 총 전자수를 활용하여 제거하고 위성 IFB는 IGS에서 제공하는 값을 활용하여 제거하였다. 대류층 지연 오차는 기존 광역 위성항법보강시스템에서 보편적으로 사용되는 대류층 지연 모델을 사용하지 않고, 국내 지역의 기상환경을 더욱 잘 반영하는 Saastamoinen 모델과 Niell 매핑함수의 조합을 사용하여 더욱 향상된 대류층 지연오차 추정 성능을 활용하였다. 수신기 시계 오차는 GPS/INS 결합항법의 정렬개념을 사용하여 확장형 칼만 필터를 통해 추정하였으며 멀티패스와

열잡음 등의 오차는 측정값의 평활화 기법을 통해 제거하였다.

결과적으로 국토지리정보원의 수원기준국에서 직접 수신한 국내지역 데이터를 사용하여 국내지역의 환경적 특성을 반영한 새로운 의사거리 잔차 추정기법을 사용해 UDRE 모니터링 기법을 분석하여 한국형 위성항법시스템에도 UDRE 모니터링 기법이 적용 가능함을 확인할 수 있었다. 또한 기존의 의사거리 잔차 추정방식의 결과와 비교하여 국내지역 데이터를 사용하였을 때 저양각 위성에서 작지만 가용성이 향상됨을 확인할 수 있었다.

이 방법을 활용하여 추 후 연구 개발이 진행될 한국형 위성항법시스템의 성능요구조건을 도출하기 위한 자료로 사용할 수 있으며 국내지역에 맞는 시스템의 환경적 특성을 반영하는 가용성 및 무결성 판단기법으로 사용할 수 있을 것이다.

후 기

본 연구는 방위사업청과 국방과학연구소가 지원하는 국방위성항법특화연구센터 사업의 일환으로 수행되었습니다.

References

- 1) Jongsun Ahn, Dae Hee Won, Sangkyung Sung, Moon Beom Heo, Ensung Lee, Young Jae Lee, "Analysis of GBAS Availability and Requirement with respect to Protection Level at Jeju International Airport", *Journal of The Korean Society for Aeronautical and Space Sciences*, Vol 39, No., 2011. 10, pp. 946~951
- 2) Hyung Tae Nho, Jongsun Ahn,

Sangkyung Sung, Hyang-Sig Jun, Chanhong Yeom, Young Jae Lee "Research on Algorithm and Operation Boundary for Fault Detection of Onboard GNSS Receiver", *Journal of The Korean Society for Aeronautical and Space Sciences*, Vol. 40, No. 2 2012. 2, pp. 171~177

3) Chang Don Kee, "WADGPS (Wide Area Differential GPS) : Future Navigation System", *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, Vol.32, No.2, April, 1996, pp.795~808.

4) Do Yun Kim, *A Study on Correction Generation Algorithms for Wide Area Differential GNSS*, Ph.D. Dissertation, Seoul National University, 2007.

5) Yi-Chung Chao, *Real Time Implementation of the Wide Area Augmentation System for the Global Positioning System with an Emphasis on Ionospheric Modeling*, Ph.D. Dissertation, Stanford University, June, 1997.

6) Hyung Tae Nho, *Performance Analysis of the Models and Tropospheric Delay Error Estimation on Using GPS Measurements*, Mater Thesis, Konkuk University, 2012

7) Chang Don Kee, *Wide Area Differential GPS (WADGPS)*, Ph.D. Dissertation, Stanford University, 1993.

8) J. Kouba, "A Guide to Using International GPS Service (IGS) Products", IGS, 2003.

9) P. Misra. and P. Enge, *Global Positioning System: Signals, Measurements and Performance*, Ganga-Jamuna Press, 2001.

10) Raytheon Company, *Algorithm Description Document for the User Differential Range Error (UDRE) Monitor of the Wide Area Augmentation System*, FAA, Washington. DC, 2010.