

Network RTK 환경에서 위성에 의한 이상 검출 기법

† 신미영 · 조득재* · 유윤자** · 홍철의*** · 박상현****

†,*,***,**** 한국해양과학기술원 선박해양플랜트연구소, 해양안전기술연구부, ** 한국선급, 녹색산업기술원

Anomaly Detection Technique of Satellite on Network RTK

† Mi Young Shin · Deuk Jae Cho* · Yun-Ja Yoo** · Cheol-Ye Hong*** · Sang-Hyun Park****

†,*,***,**** Maritime Safety Research Division, Korea Institute of Ocean Science & Technology, Daejeon 305-343, Korea
** Green&Industrial Technology Center, Korea Register of Shipping, Daejeon 305-343, Korea

요 약 : 개선된 정확도 성능을 확보하기 위하여 보강 시스템을 이용한 많은 연구가 진행되고 있다. 네트워크 RTK는 다중 기준국의 반송파 측정치 보정정보를 이용하여 시공간 오차를 보강한 측위성능을 얻기 위한 기법으로 현재에도 꾸준히 연구되고 있다. 그러나 성능개선을 목적으로 한 알고리즘 개선안에 대한 연구는 지속적으로 연구되었지만, 무결성 확보를 위한 연구는 아직 미비하다. 본 논문에서는 네트워크 RTK에서의 무결성 확보를 위한 기초연구로 위성이상 발생 시나리오가 인가된 위성 신호를 생성하고, DL-V3 모델의 이중주파수용 상용 수신기를 사용하여 수신한 데이터를 사용하여 제안한 알고리즘의 이상 검출 성능을 검증하였다.

핵심용어 : 네트워크 RTK, 무결성, 위성 이상, 이상 검출, 위성 식별

Abstract : A positioning technique using the augmentation system has been researched to improve the accuracy. The network RTK is the precise positioning technique using carrier phase correction data from reference stations and is constantly being researched. The study for the system accuracy has been performed but system integrity research has not been done as much as system accuracy. In this paper, we presented the anomaly detection algorithm by satellite system and the diagnosis algorithm to a basic research in the integrity on network RTK. And the presented algorithms are verified on the DL-V3 dual-frequency receiver and the simulated error scenario using the GSS7700.

Key words : Network RTK, Integrity, Satellite Anomaly, Anomaly Detection, Anomaly Satellite Identification

1. 서 론

현재 위성항법 활용분야 및 응용범위가 급격히 증가하고 있으며, 이에 따라 활용분야 전반에서 효율성과 안정성 향상을 위해 보다 정확하고, 신뢰할 수 있는 위성항법 기반 위치정보 서비스 및 인프라에 대한 요구와 관심이 높아지고 있다. 사용자에게 더 정확한 위성항법 기반의 위치정보 제공을 위해서는 기존에 항공분야와 해양분야에서 활용되었던 코드 기반 보강 기술과는 달리 반송파 기반의 기술 연구가 필요하다. 네트워크 RTK(Real Time Kinematics)는 다중 기준국의 반송파 기반 보강 기술로 초반에는 센티미터 수준의 측위성능을 요구하는 측지·측량 분야에서 주로 활용하기 위해 연구되었으며, 최근에는 ITS(Intelligent Transportation Systems), 정밀접근,

항만항법 등과 같이 동적 시스템에서의 측위 성능 개선을 위한 목적으로 많은 연구가 진행 중이다. 측지·측량 분야에서 중요시 하는 정확도(accuracy) 개선을 목적으로 한 연구는 많은 곳에서 지속적으로 수행해 왔지만, 측위 목적의 응용분야에 활용하기 위해 필요한 다른 성능 요구 요소인 무결성(integrity), 연속성(continuity), 가용성(availability)에 대한 연구는 아직 미비한 상태이다. 측위를 목적으로 한 동적 시스템에서 네트워크 RTK의 실제 구현 및 적용을 위해서는 정확도 외에도 무결성, 연속성, 가용성을 위한 연구가 필요하다. 따라서 본 논문에서는 네트워크 RTK 환경에서의 무결성 연구를 위한 기반기술로서, 다중 기준국 기반의 네트워크 RTK 기술에서 활용할 수 있는 위성신호 이상 감시 처리 기법을 제안하였다.

† 교신저자 : 정희원, myshin@kiost.ac 042)866-3668

* 정희원, djcho@kiost.ac 042)866-3683

** 정희원, yjyoo@krs.co.kr 070)8799-8789

*** 정희원, hush@kiost.ac 042)866-3677

**** 정희원, shpark@kiost.ac 042)866-3681

(주) 이 논문은 “Network RTK 환경에서 위성에 의한 이상 검출 기법”이란 제목으로 “2012년도 공동학술대회 한국항해항만학회논문집 (경주교육문화회관, 2012.6.21-23, pp.62-64)”에 발표되었음.

반송파 측정치에 영향을 미치는 요소들에 대한 이상 감시 기술 개발을 효과적으로 수행하기 위해선 과거 발생한 이상현상에 대한 사례분석이 필요하다. 따라서 본 논문의 2장에서는 기존의 이상 사례 및 타 시스템 및 운영체제에서 이상 감시를 위해 사용했던 기법을 정리하였다. 3장에서는 위성시계 및 궤도와 같은 위성에 의한 이상 시에 다중 기준국 기반의 네트워크 RTK 환경에서 이상을 검출하고, 이상위성 및 원인을 식별할 수 있는 위성신호 이상 감시 처리 알고리즘을 제안하였다. 이상 재현이 가능한 상용 시뮬레이터와 이중 주파수용 수신기를 사용하여 4장에서 제안 알고리즘의 타당성을 검증하였으며, 5장에서 결론을 맺었다.

2. 기존의 이상 사례 및 검출 기법

2.1 위성에 의한 이상 사례 분석

과거 10년 동안 NANU(Notice Advisory to Navstar Users)에서 공지한 GPS(Global Positioning Systems) 이상 발생 건수는 Fig. 1과 같다(CelesTrack, 2012). 그림을 통해 2000년도 이후부터 BLOCK II 위성으로 대체하기 전인 2007

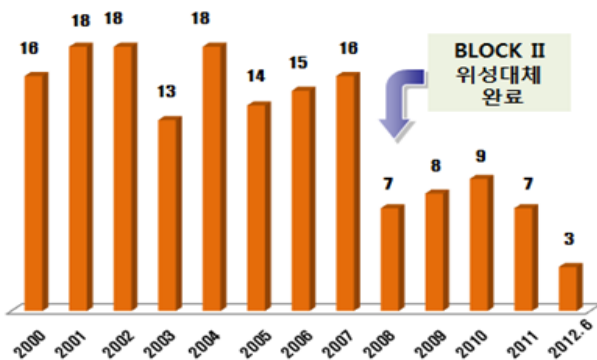


Fig. 1 The number of GPS NANU items

Table 1 The non-noticed GPS anomaly list

	위성시계 이상	위성궤도 이상	항법메시지 이상	기타
2010				SVN39
2009			SVN54	SVN49
2007	SVN37	SVN40 SVN24	SVN51	SVN54
2006		SVN24		
2004	SVN23			
2003	SVN27 SVN35			
2002			SVN21	
2001	SVN22			
2000	SVN14 SVN16		SVN39	

년도까지 보통 일 년에 10건 이상의 이상이 발생한 것을 확인할 수 있다. GPS의 노후화가 가장 큰 요인으로 분석되는 이 고장사례는 2008년도 이후, 운용 위성이 BLOCK II로 모두 대체된 뒤로 눈에 띄게 감소하였다. Table 1은 NANU에서 사전에 공지하지 못한 GPS 이상 발생 사례이다(Park, 2010). 이상 발생 원인은 위성시계 이상, 위성궤도 이상, 항법메시지 이상이 가장 대표적이다.

이와 같은 GPS 이상은 해당 위성의 의사거리 오차를 증가시키고, 코드 및 반송파 위상 측정치가 불안정한 상태를 보이며 불연속 지점이 발생하고, 측위오차가 증가하는 현상을 초래한다. 사용자 입장에서, 공지된 GPS 이상 사례에 대해서는 대처할 수 있지만, 그렇지 않은 경우에는 측위 서비스의 안정성이 저하되고 최종적으로는 서비스가 불가능하게 된다. 그러므로 응용분야에 따라 환경에 적합한 이상 감시 처리가 요구된다.

2.2 타 시스템에서의 위성 이상 감시 처리 기법

다른 응용분야에서 적용하고 있는 대표적인 위성 이상 감시 기법의 예로는 단일 사용자 수신기에서 적용하고 있는 RAIM(Receiver Autonomous Integrity Monitoring) 기법, DGPS(Differential GPS)에서 운용하고 있는 RSIM(Reference Station and Integrity Monitors), LAAS(Local Area Augmentation System)에서 운용하고 있는 3-QM(Quality Monitoring) 등이 있다.

단일 사용자 수신기에서 자체적으로 적용하고 있는 RAIM 기법은 의사거리 및 위치해 비교법, 항법해 최대 분리거리 비교법, 패리티 벡터를 이용하는 방법 등이 있다(Parkinson et al., 1996). 이들 방법은 대부분 잉여 측정치를 이용하여 이상 유무를 판별하는 기법으로, 사용상에 제약이 많고 신뢰도가 낮으며 단일 사용자 수신기의 측위 성능에 의존적인 특성이 있다.

DGPS에서 운용하고 있는 RSIM은 생성한 코드 기반 보정 정보의 무결성을 보장하기 위한 것으로 DGPS 기준국의 수신기 위치를 정확하게 알고 있다는 특성을 이용하여 측정된 의사거리와 예측된 의사거리의 차를 분석하여 이상 유무를 판단한다(Suh, 2006). 이 방법은 관측되는 모든 위성에 대하여 개별적으로 이상 유무를 검출할 수 있으나, 이상 위성 검출에 대한 변별력이 낮고, 코드 측정치를 대상으로 하므로 요구 성능이 낮아 네트워크 RTK에서의 적용에는 적합하지 않다.

LAAS에서 운용하고 있는 3-QM은 크게 GPS 위성에 의하여 발생하는 신호 이상 및 전파 전송 과정에서 발생하는 이온층의 급격한 변화를 검사하는 SQM(Signal QM), 항법메시지의 오류를 검사하는 DQM(Data QM), 수신기의 측정치를 검사하는 MQM(Measurement QM)으로 구성된다(Park, 2005). SQM은 EWF(Evil Waveform), 신호 전력 이상, 이온층 발산 검출을 주 목적으로 하며, 이를 적용하기 위해서는 수신기를 필요에 맞춰 재설계하는 과정이 필요하다. DQM은 코드 이상, 항법신호 비트 오류, 궤도 정보 이상 검출을 주 목적으로 한다. MQM은 코드 및 반송파 위상 측정치의 이상 검출을 주

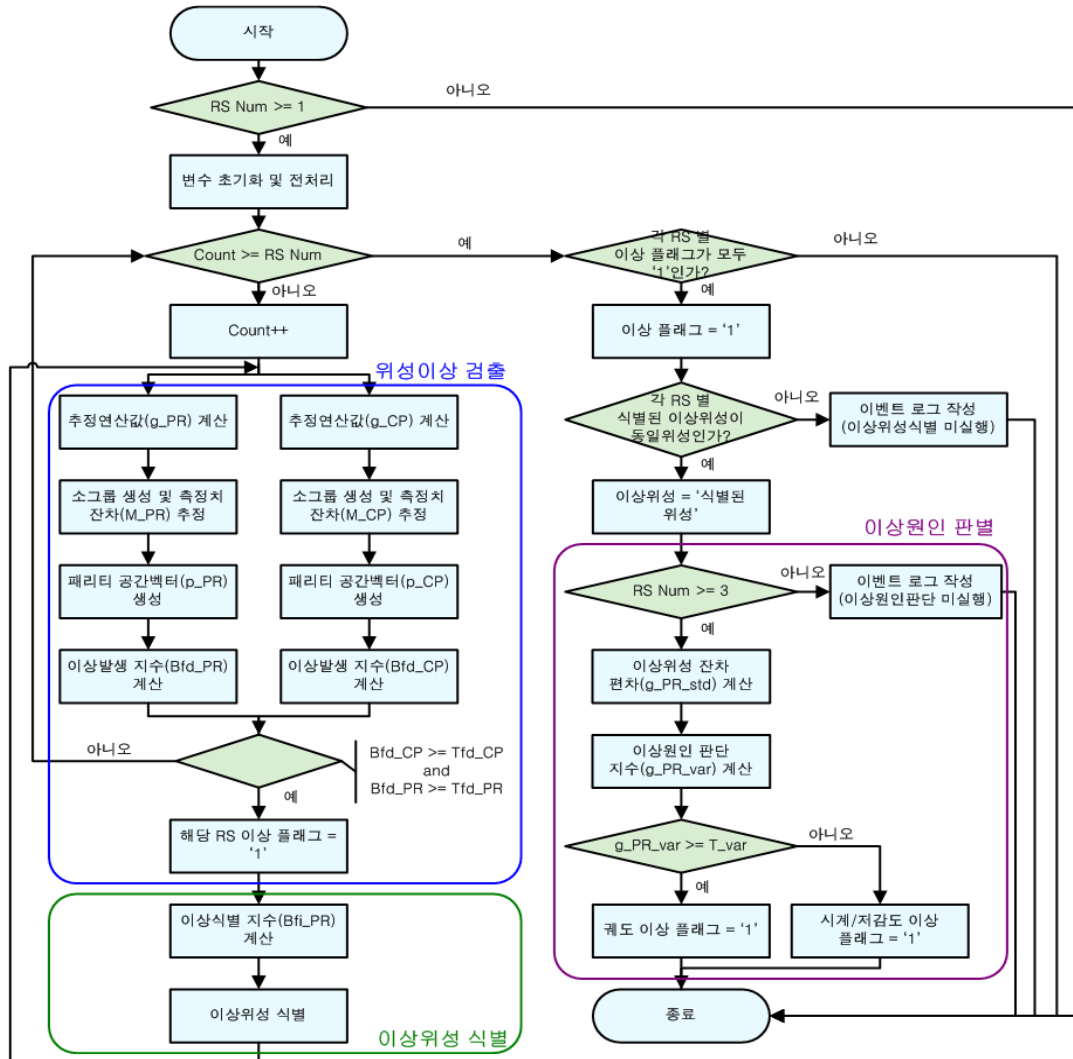


Fig. 2 The flowchart of anomaly detection

목적으로 하며, 필터 발산 검사, 측정치 변화 검사, Sigma 값 검사, B-value 검사를 수행한다. 3-QM은 수신기 재설계를 통해 스무딩된 코드 측정치를 대상으로 하는 LAAS 시스템에 적합하게 규격 및 성능을 규정화한 방법으로 네트워크 RTK에서의 적용에는 적합하지 않다. 그러므로 측위를 목적으로 하는 동적 시스템에 상용 수신기를 사용하여 네트워크 RTK 기술을 활용하기 위해서는 다중 기준국 기반의 반송파 측정치를 사용하는 네트워크 RTK 환경에 적합한 이상 감시 처리 기법의 개발이 필요하다.

3. 제안한 이상 감시 처리 기법

본 논문에서는 위성 이상 검출을 위해 패리티 벡터 기법을 근간으로 사용하여 구현하였다. 네트워크 RTK 환경에서는 기준국용 수신기의 위치가 고정이고, 절대위치 정보를 정확하게 알고 있으므로 RAIM의 패리티 벡터 알고리즘의 단점을 보완하였으며, 알고리즘의 안정성을 위하여 식 (1), 식 (2)와 같이 스무딩된 코드 측정치 Ψ 와 반송파 측정치 Φ 를 사용하였

고, 반송파 측정치의 미지정수 문제를 해결하기 위해서 식 (2)에서 반송파 측정치의 초기값 Φ_{init} 을 기준값으로 상대적인 변화량을 분석하여 알고리즘에 적용하였다. 알고리즘의 입력과 라미터는 식 (1), 식 (2)와 같이 코드 및 반송파 측정치의 잔차이다.

$$g_{PR} = \Psi - \{R + cT + Id + Td\} \quad (1)$$

$$g_{CP} = (\Phi - \Phi_{init}) - \{(R + cT - Id + Td) - \Phi_{init}\} \quad (2)$$

여기서, g_{PR} 과 g_{CP} 는 코드 및 반송파 측정치의 잔차 성분이고, Ψ 와 Φ 는 수신기에서 출력한 코드 및 반송파 측정치이며, Φ_{init} 는 수신기에서 출력한 반송파 측정치의 초기값이다. R 은 위성과 절대위치를 알고있는 기준국용 수신기 사이의 실제거리, c 는 빛의 속도, T 는 위성 시계 오차, Id 는 이온층 지연 오차, Td 는 대류권 지연 오차를 나타낸다.

위성에 의한 이상을 검출하기 위하여 다중 기준국의 공통 가시위성에 대한 코드 및 반송파 측정치의 잔차를 사용하여

Fig. 2와 같이 각 운용 기준국에 독립적으로 위성이상 검출 및 이상위성 식별 기능을 수행하고, 조건 판단 하에 다중 기준국을 대상으로 이상원인 판별 기능을 수행한다.

3.1 위성이상 검출

위성이상 여부를 검출하기 위하여 각각의 코드 및 반송파 측정치의 잔차를 대상으로 $(n-1)$ 개의 위성군으로 구성된 n 개의 소그룹으로 분류하고, 각 소그룹의 추정 연산 벡터 G 를 생성한다. 예를들어 가시위성이 PRN 1, PRN 2, PRN 4, PRN 6, PRN 7, PRN 8이고 코드 측정치 잔차를 사용한다면, 이 때 n 은 6이고, 6개 소그룹의 코드 추정 연산 벡터 G_PR^i 는 식 (3)과 같이 구성한다.

$$\begin{aligned} G_PR^1 &= [g_PR_2 \ g_PR_4 \ g_PR_6 \ g_PR_7 \ g_PR_8]^T & (3) \\ G_PR^2 &= [g_PR_1 \ g_PR_4 \ g_PR_6 \ g_PR_7 \ g_PR_8]^T \\ G_PR^3 &= [g_PR_1 \ g_PR_2 \ g_PR_6 \ g_PR_7 \ g_PR_8]^T \\ G_PR^4 &= [g_PR_1 \ g_PR_2 \ g_PR_4 \ g_PR_7 \ g_PR_8]^T \\ G_PR^5 &= [g_PR_1 \ g_PR_2 \ g_PR_4 \ g_PR_6 \ g_PR_8]^T \\ G_PR^6 &= [g_PR_1 \ g_PR_2 \ g_PR_4 \ g_PR_6 \ g_PR_7]^T \end{aligned}$$

계산한 추정 연산 벡터 G^i 로부터 이상 판단을 위한 추정 연산 벡터 M 을 식 (4)와 같이 구성한다. 이 때 $E(x)$ 는 x 벡터의 평균을 의미한다.

$$M = [E(G^1) \ E(G^2) \ \dots \ E(G^{n-1}) \ E(G^n)]^T \quad (4)$$

이상 판단을 위한 추정 연산 벡터 M 으로부터 페리티 공간 벡터 p 를 식 (5)와 같이 생성한다.

$$p = V \cdot M \quad (5)$$

여기서 V 는 식 (6)의 조건을 만족하는 행렬이며, W 는 $(n \times 1)$ 크기의 '1'로 구성된 벡터이고, I 는 $(n-1) \times (n-1)$ 크기의 단위행렬이다.

$$V \cdot W = 0, \quad V \cdot V^T = I \quad (6)$$

이상발생 가능 지수 B_{fd} 는 페리티 공간 벡터 p 를 이용하여 식 (7)과 같이 생성하며, 위성이상 여부는 식 (8)과 같이 코드 및 반송파 측정치 잔차 각각에 대한 이상발생 가능 지수 B_{fd-CP} , B_{fd-PR} 과 임계치 T_{fd-CP} , T_{fd-PR} 의 비교를 통해 판단한다. 이 때, 임계치는 상용 수신기를 사용한 실험을 통해 코드 및 반송파 측정치 잔차의 특성을 분석하여 최적값을 결정하였다.

$$B_{fd} = p^T \cdot p \quad (7)$$

$$(B_{fd-CP} \geq T_{fd-CP}) \ \& \ (B_{fd-PR} \geq T_{fd-PR}) \quad (8)$$

3.2 이상위성 식별

만약 위성이상이 검출되었다면, 어떤 위성에서 이상이 발생하였는지를 식별하는 이상위성 식별 기능을 처리한다. 이를 위하여 n 개의 가시위성 별로 코드 측정치 잔차를 이용한 페리티 공간 벡터 p_PR 로부터 이상식별 지수 B_{fi} 를 식 (9)와 같이 생성한다.

$$B_{fi}^j = v^j \cdot p_PR / |v^j| \quad (9)$$

여기서 v^j 는 V 행렬의 j 번째 열 벡터이고, $|x|$ 는 열 벡터 x 의 크기(norm)이다. n 개의 이상식별 지수 B_{fi}^j 중에서 가장 큰 값을 갖는 j 를 검출하고, j 소그룹에 포함되어 있는 위성군을 정상위성으로 판단하고, j 소그룹에 포함되어 있지 않은 위성을 이상위성으로 식별한다. 네트워크 RTK 서비스를 위해 운용 중인 모든 기준국에서 위성이상이 검출되고, 식별된 이상위성이 동일위성일 때, 최종적으로 '위성이상 상태'로 판단하고, 해당 위성을 '이상위성'으로 식별한다.

3.3 이상원인 판별

만약 '위성이상 상태'고 '이상위성'이 식별되었으며 Network RTK를 위한 운용 기준국 수가 3초 이상이라면, 이상원인 판별 기능을 수행한다. 이상원인을 알 수 있다면, 위성이상 발생 시에 이에 대한 경고가 가능하며, 이상원인을 배제한 환경에서의 서비스를 지속적으로 제공함으로써 서비스의 가용성을 높일 수 있다. 몇 가지 조건만 만족한다면, 이상원인 판별 처리를 통해서 위성이상 시에 가장 대표적인 원인인 위성시계 이상인지, 위성궤도 이상인지 여부를 판별할 수 있다. 기준국 입장에서 특정 위성에서 발생한 위성시계 이상은 모든 기준국에 대해 공통오차 요인으로 작용하지만, 위성궤도 이상은 각 기준국 별로 차이가 존재한다. 이 차이는 기준국 간의 기지선과 위성 궤적이 동일 선상에 위치하고, 기준국 간에 거리가 장거리 일수록 분명하게 나타난다. 따라서 본 논문에서는 위성 이상이 판별된 이후, 운용 기준국의 '이상위성'의 코드 측정치 잔차 g_PR 의 100 예폭에 대한 분산 특성을 분석하여 이상원인 판별을 수행하였다.

이상원인 판별을 위하여 m 개의 운용 기준국에 대한 '이상위성'의 g_PR 을 대상으로 $(m-1)$ 개의 기준국군으로 구성된 m 개의 소그룹으로 분류하고, 각 소그룹의 이상위성 잔차 편차 g_std 를 생성한다. 예를들어 운용 기준국 수가 4조라면, 이 때 m 은 4이고, 4개 소그룹의 이상위성 잔차 편차 g_std^k 는 식 (10)과 같이 구성한다. 이 때 $std(x)$ 는 x 벡터의 표준편차를 의미한다.

$$g_std^1 = std(g_PR_2 \ g_PR_3 \ g_PR_4) \quad (10)$$

$$g_std^2 = std(g_PR_1 \ g_PR_3 \ g_PR_4)$$

$$g_std^3 = std(g_PR_1 \ g_PR_2 \ g_PR_4)$$

$$g_std^4 = std(g_PR_1 \ g_PR_2 \ g_PR_3)$$

이상원인 판단 지수 g_var 는 이상위성 잔차 편차 g_std^k 를 이용하여 식 (11)과 같이 생성한다. 이 때 $var(x)$ 는 x 벡터의 분산을 의미한다. 이상원인은 식 (12)와 같이 이상원인 판단 지수 g_var 와 임계치 T_var 의 비교를 통해 판단한다. 식 (12)의 조건을 만족하면 ‘위성궤도 이상’으로 판별하고, 만족하지 못하면 ‘위성시계 이상’으로 판별한다. 이 때, 임계치는 위성시계 이상 시나리오에 대한 상용 수신기를 사용한 실험을 통해 이상원인 판단 지수의 특성을 분석하여 최적값을 결정하였다.

$$g_var = var(g_std^1 \ g_std^2 \ g_std^3 \ g_std^4) \quad (11)$$

$$g_var \geq T_var \quad (12)$$

4. 성능평가

4.1 실험환경

제한한 네트워크 RTK 환경에서 위성에 의한 이상 검출 기법의 타당성을 검증하기 위하여 Spirent 社の GSS7700 모델의 시뮬레이터를 사용하여 위성궤도, 시계 오차가 추가된 시나리오를 생성하고, NovAtel 社の 이중 주파수용 상용 수신기 DL-V3 모델을 사용하여 데이터를 수신하였다. 네트워크 RTK를 위해 배치된 기준국 위치는 Fig. 3과 같이 국내 지역을 대상으로 안성, 공주, 보은, 음성에 각각 63.52km, 53.50km, 50.10km, 34.47km 떨어진 곳에 4조의 기준국을 배치하였다. 기준국 위치는 추후 배치할 실제 기준국 환경을 고려하여 결정하였다.

생성한 GPS 시나리오에서 위성 배치는 Fig. 4와 같고, 4조 기준국의 공통 가시위성 중에서 PRN 3에 이상 시나리오를 인

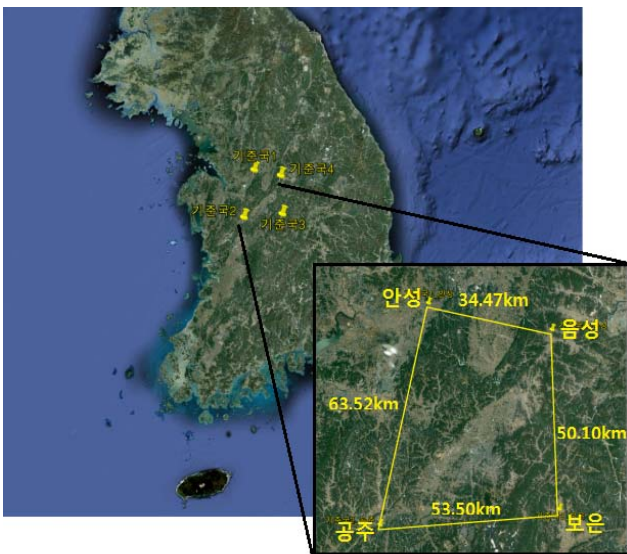


Fig. 3 The test environment

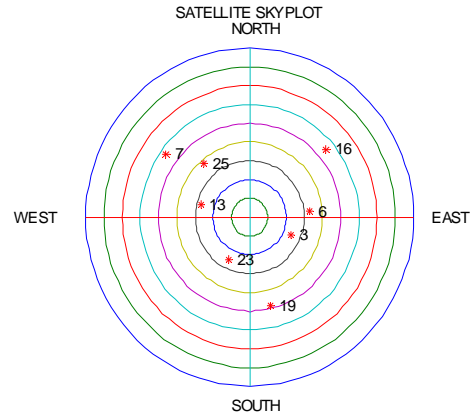


Fig. 4 The satellite skyplot

가하였다. 알고리즘 성능평가를 위해서 GPS 시나리오 상에서 수신기가 신호를 획득한 이후의 약 30분 데이터를 사용하였고, 신호 획득 후에 약 15분이 지난 시점부터 이상이 인가되는 형태로 구성하였다. 위성궤도 이상은 Along, Across, Down 축에 각각 10m, 10m, 5m의 오차를 인가하였고, 위성시계 이상은 1e-11s/s 크기의 드리프트 형태를 갖는 오차를 인가하였다.

4.2 알고리즘 성능평가

위성궤도 이상 시나리오에 대한 실험결과는 다음과 같다. 약 900 에폭 이후부터 추가한 바이어스 형태의 오차 성분으로 인해, Fig. 5, Fig. 6과 같이 902 에폭 이후부터 PRN 3의 코드 및 반송파 측정치 잔차가 점프한 것을 볼 수 있다.

코드 및 반송파 측정치 잔차를 사용한 위성이상 검출 결과는 Fig. 7, Fig. 8과 같다. 그림을 통해 4조의 다중 기준국의 코드 및 반송파 측정치 잔차 각각에 대한 이상발생 가능 지수가 오차가 추가된 시점 이후부터 임계치를 초과한 것을 볼 수 있다. Fig. 9는 902 에폭 이후부터 ‘위성이상 상태’가 검출되고, 4조의 기준국에서 모두 ‘이상위성’이 PRN 3으로 식별된 것을 보인다.

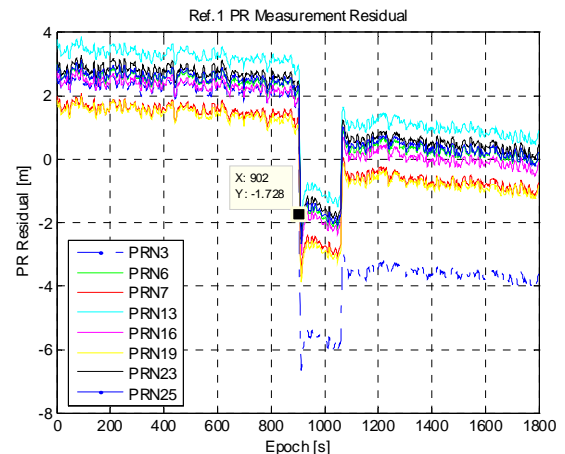


Fig. 5 The code measurement residual of Ref. 1 on the ephemeris anomaly

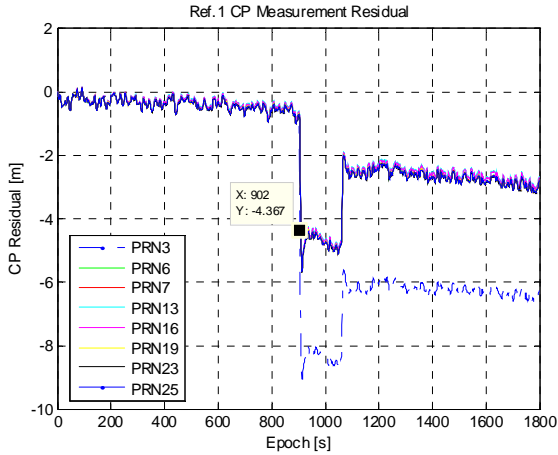


Fig. 6 The carrier-phase measurement residual of Ref. 1 on the ephemeris anomaly

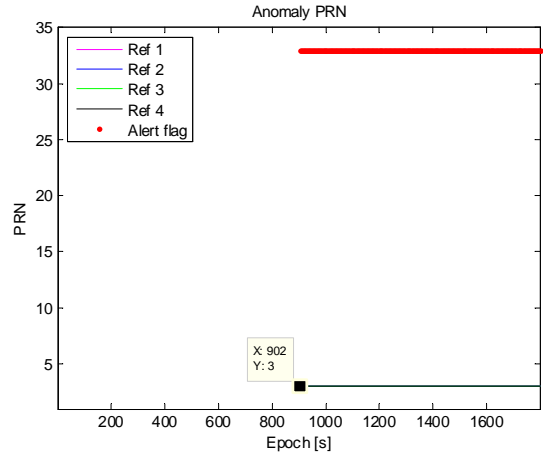


Fig. 9 The anomaly SV identification index on the ephemeris anomaly

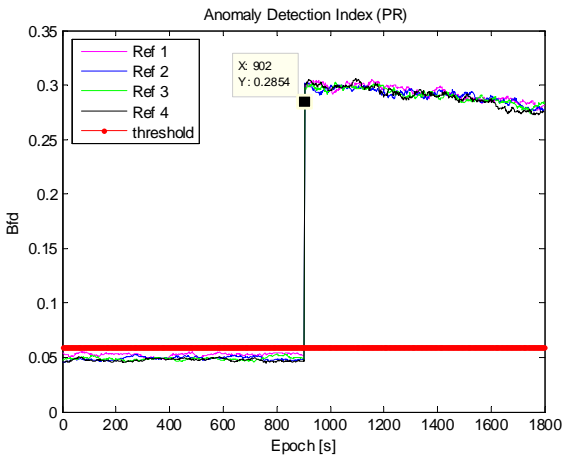


Fig. 7 The anomaly detection index by code on the ephemeris anomaly

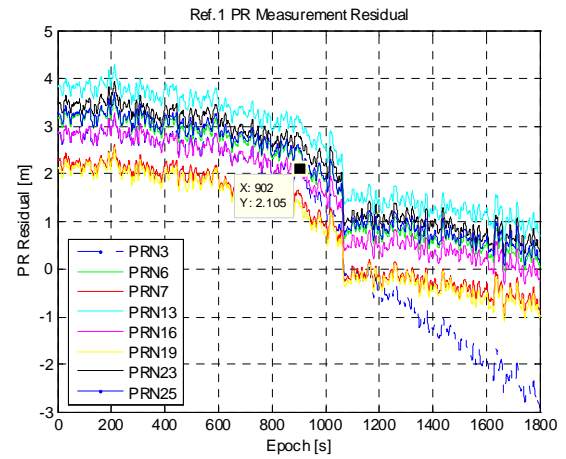


Fig. 10 The carrier-phase measurement residual of Ref. 1 on the satellite clock anomaly

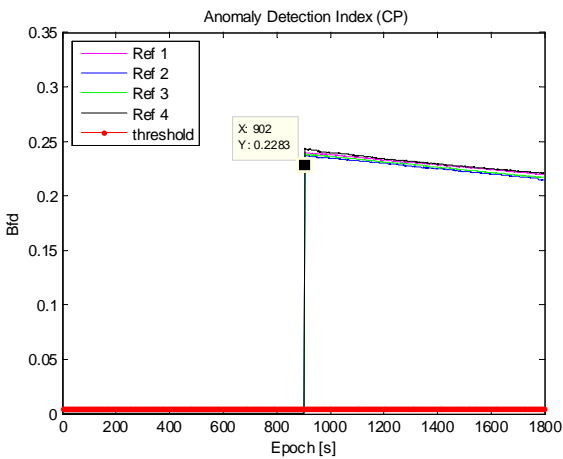


Fig. 8 The anomaly detection index by carrier-phase on the ephemeris anomaly

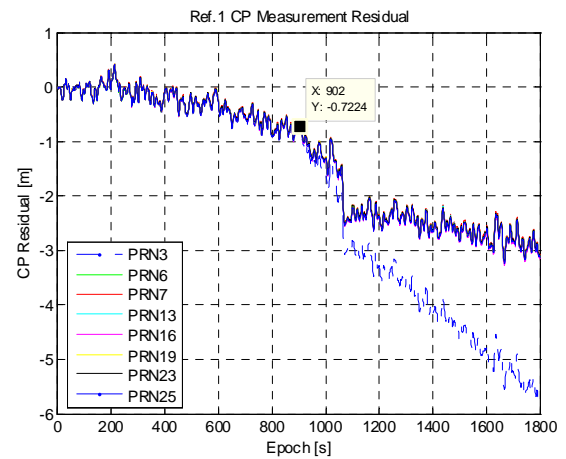


Fig. 11 The code measurement residual of Ref. 1 on the satellite clock anomaly

위성궤도 이상의 경우에 바이어스 형태의 오차가 인가되었기 때문에 이상이 발생하자마자 쉽게 검출할 수 있었다. 위성

시계 이상은 초 당 약 0.003m로 증가하는 드리프트 형태의 오차를 인가하였다. 위성시계 이상 시나리오에 대한 실험결과

다음과 같다. 약 900 에폭 이후부터 추가한 드리프트 형태의 오차 성분으로 인해, Fig. 10, Fig. 11과 같이 902 에폭 이후부터 PRN 3의 코드 및 반송파 측정치 잔차가 점진적으로 증가한 것을 볼 수 있다.

코드 및 반송파 측정치 잔차를 사용한 위성이상 검출 결과는 Fig. 12, Fig. 13과 같다. Fig. 12의 코드 측정치 잔차를 이용한 이상발생 가능 지수는 1108 에폭에서 임계치를 초과한 것을 확인할 수 있고, Fig. 13의 반송파 측정치 잔차를 이용한 이상발생 가능 지수는 1084 에폭에서 임계치를 초과한 것을 확인할 수 있다. 이와 같이 코드 측정치 잔차를 이용한 방법의 이상 검출이 늦은 이유는 코드 측정치의 해상도가 반송파 측정치의 해상도에 비하여 낮기 때문이다. 본 알고리즘에서는 알고리즘의 안정성을 고려하여 코드 및 반송파 측정치를 모두 사용하도록 적용하였기 때문에 최종적으로 1108 에폭에서부터 '위성이상 상태'로 검출된다. Fig. 14는 1108 에폭 이후부터 '위성이상 상태'가 검출되고, 4조의 기준국에서 모두 '이상위성'이 PRN 3으로 식별된 것을 보인다.

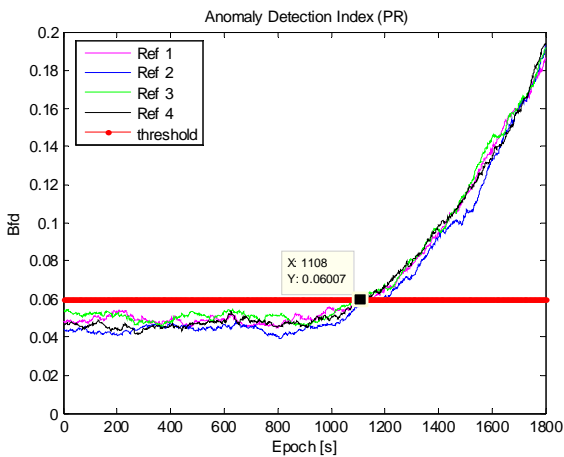


Fig. 12 The anomaly detection index by code on the satellite clock anomaly

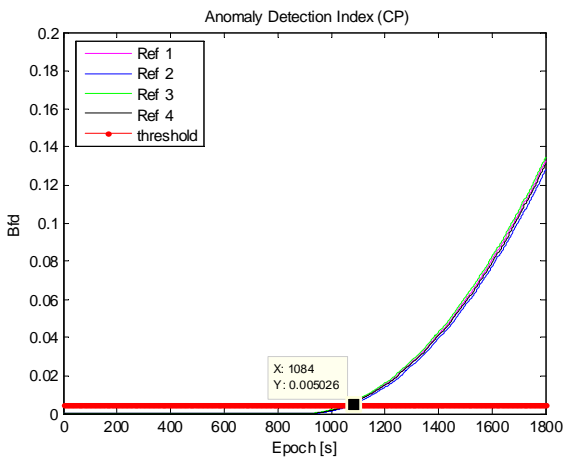


Fig. 13 The anomaly detection index by carrier-phase on the satellite clock anomaly

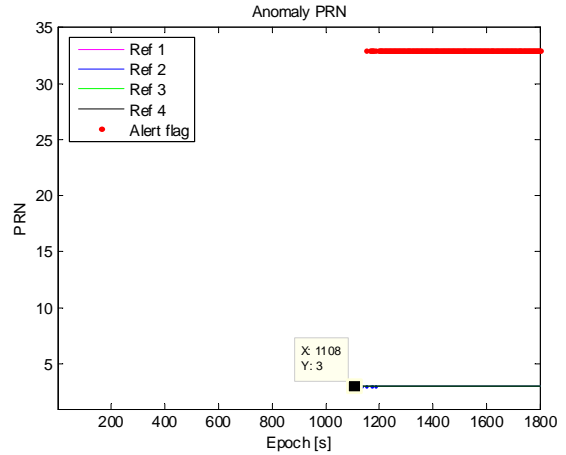


Fig. 14 The anomaly SV identification index on the satellite clock anomaly

실험을 통해 본 알고리즘의 성능을 검증하고, 알고리즘의 한계를 확인하였다. 우선, 제시한 알고리즘은 바이어스 형태 또는 드리프트 형태를 갖는 코드 및 반송파 측정치 오차를 갖는 이상이 발생한 경우에 대하여 모두 검출이 가능하며, 이상을 검출할 수 있는 최소 오차 크기는 약 61.8cm((1108에폭 - 902에폭)×0.003m/s) 이다. 이 결과는 추후 반송파 측정치에 대한 신뢰성을 확보한 후에, 반송파 측정치를 사용하는 구조로의 보완을 통해서 개선이 가능할 것으로 판단된다.

5. 결 론

위성항법 서비스의 사용이 증대됨에 따라 고성능의 측위 정확도를 요구하는 활용분야가 증가하고 있으며, 이를 위하여 기존에 측지·측량 분야에서 주로 활용되던 다중 기준국의 반송파 기반 보강 기술인 네트워크 RTK를 항법 분야에서도 사용하기 위한 많은 연구가 진행되고 있다. 기존의 네트워크 RTK 기술이 고성능의 측위 정확도는 제공할 수 있지만, 실제 항법용 시스템에서 적용하기 위해서는 정확도 이외에도 신뢰성 및 안정성에 대한 연구가 추가적으로 진행되어야 한다. 본 논문은 네트워크 RTK 환경에서의 무결성 연구를 위한 기반 기술로서, 다중 기준국 기반의 위성신호 이상 감지 처리 기법을 제안하였다. 이를 위하여 기존의 이상 사례를 분석하고, 타 시스템에서 활용하고 있는 항법신호 이상검출 알고리즘을 정리하였으며, 이를 토대로 다중 기준국을 활용하여 위성에 의한 이상 검출 알고리즘을 제안하였다. 그리고 시뮬레이터를 사용하여 오차가 인가된 위성 신호를 생성하고, 이중주파수용 상용 수신기를 사용하여 수신한 데이터를 이용하여 제안한 알고리즘의 타당성을 검증하였다. 실험을 통해 제안한 알고리즘이 코드 및 반송파 측정치 오차를 갖는 이상이 발생한 경우에 대하여 이상검출이 가능하며, 이 때 알고리즘 상의 한계는 61.8cm인 것을 확인하였다. 이 성능은 네트워크 RTK를 항법용 시스템에 적용하였을 때, 기준국 입장에서 보장할 수 있는

최대 허용 오차로 판단할 수 있다. 이 결과는 반송파 측정치에 대한 신뢰성을 확보할 수 있다면, 추후에 반송파 측정치를 사용하는 구조로의 보완을 통해서 개선이 가능할 것으로 판단된다. 또한 실측 데이터를 이용한 알고리즘 성능 분석을 통해 알고리즘을 보완하는 작업은 계속 요구된다.

본 연구결과는 네트워크 RTK를 항법용 시스템에 적용하기 위한 기초 연구의 일환으로, 추가적인 연구를 통하여 무결성 확보를 위한 기반기술로 활용될 수 있다. 또한 위성이상이 발생한 경우에 이상원인 제거를 통한 성능개선에도 활용될 수 있을 것으로 예상된다.

후 기

본 연구는 국토해양부 교통체계효율화사업의 연구비 지원(06교통핵심A03; PMS2550)에 의해 수행되었습니다.

참 고 문 헌

- [1] CelesTrack(2012), <http://celestrak.com/GPS/NANU/>
- [2] Parkinson, B. W. and Spilker Jr, J. J. (1996), Global Positioning System: Theory and Applications Volume II.
- [3] Park, C. S. et al.(2005), A study on the methods of GPS signal monitoring, fault detection and identification, and broadcasting, Report, A report to the Ministry of Maritime Affairs and Fisheries.
- [4] Park, S. H. et al.(2010), A study on navigation signal integrity monitoring for GNSS application in land transportation, A report to the Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs.
- [5] Suh, S. H. et al.(2006), A development of the dual-frequency GPS receiver for DGPS reference stations, A report to the Ministry of Maritime Affairs and Fisheries.

원고접수일 : 2012년 07월 13일
심사완료일 : 2013년 02월 13일
원고채택일 : 2013년 02월 13일