

의사거리 평활화에서 시정수 결정에 따른 위치 오차

The Position Error due to changing the Counting in the Smoothing Filter

윤영민*(한국항공우주연구원), 안종선(건국대학교 항공우주정보시스템 공학과),
허문범, 남기욱 (한국항공우주연구원)

1. 서 론

위성항법시스템(GNSS, Global Navigation Satellite System)은 우주공간의 위성을 이용하여 사용자의 정확한 위치 및 시각 정보를 제공하는 시스템으로 대표적인 것으로는 미국의 GPS(Global Positioning System)가 있고 위치, 항법, 시각 정보를 활용하는 분야는 다양하게 확대되어 가고 있다.

항공분야에서는 항공 교통량의 증가로 기존의 통신, 항법, 감시 및 관제시스템이 감당하기 어려울 것에 대한 우려로 국제민간항공기구(ICAO)는 차세대 항행시스템(CNS/ATM, Communication, Navigation Surveillance and Air Traffic Management)을 연구하기 시작했다.

본 논문에서는 GPS 신호의 정확도 향상과 안전성을 충족시키기 위해 GPS 신호의 이상 유무를 검사하는 과정 중 MQM(Measurement Quality Monitoring)에서 사용되는 Code-Carrier Smoothing(평활화) 필터의 시정수 값에 변화에 따른 결과를 알아보려 한다.

2. 본 론

2.1 기술 동향

2.1.1 보강시스템

위치, 항법 및 시각 정보를 제공하는 GNSS(Global Navigation Satellite System)는 미국의 GPS, 러시아의 GLONASS, 유럽연합의 GALILEO가 있다. 제공되는 정보는 여러 오차요인을 가지고 있으므로 항공기에서 요구하는 정확도, 무결성, 연속성, 가용성을 만족할 수 없으므로 신호의 오차를 제거한 보정 신호를 생성하고 감시하는 시스템이 필요하다. 보정정보를 생성하고 감시하는 시스템을 위성항법 보강시스템(Augmentation System)이라 하고 항공용 보강시스

템은 국제민간항공기구(ICAO)에서 서비스 범위 및 제공 방법에 따라 4가지로 분류하였다. 서비스의 적용 범위가 넓은 지역(대륙 혹은 국가)에 제공할 때 정지궤도 위성을 이용하는 SBAS(Satellite-Based Augmentation System)과 지상파를 이용해 제공하는 GRAS(Ground-based Regional Augmentation System)가 있고 항공기가 독자적으로 수행하는 ABAS(Avionic Based Augmentation System)와 공항 부근의 지역에서 제공하는 GBAS(Ground Based Augmentation System)이 있다.

2.1.2 GPS 고장 형태

GPS 수신기로 수신되는 신호는 몇 가지의 오차 요인을 가지고 있다. 대표적으로 위성 궤도, 위성 시계, 전리층 지연, 대류권 지연, 다중경로, 수신기 시계오차 등이 있다. 다중경로 오차와 수신기 시계오차를 제외한 오차들은 여러 수신기를 사용하여 각 수신기에서 측정된 정보를 차분하는 방법으로 상쇄 시킬 수 있다. 위와 같은 오차 요인에 대해 GPS 신호의 무결성을 확보하기 위해서는 6가지의 고장 형태에 대해 검출이 가능해야 한다.

- a) 신호의 뒤뜰림 현상 (Evil Waveform)
- b) 무선 주파수 방해 (RFI: Radio Frequency Interface)의 허용치 초과
- c) GPS SPS (Standard Positioning Service) 신호 규정에 못 미치는 신호의 세기
- d) 코드와 반송파의 발산현상
- e) 코드와 반송파의 갑작스런 변화
- f) GPS 항법메시지의 상태

2.2 무결성 감시

현재 미국에서 수행되는 보강시스템은 항법 정보를 보정하기 위해 2가지를 수행한다. 첫 번째는 차분 보정을 사용자에게 전달하여 사용자의 정확성을 향상시키고 두 번째는 신호의 무결성을 감시하여 사용자의 무결성을 보증한다. 신호의 오차를 형태에 따라 2가지로 분류할 수 있다.

한 가지는 에러의 변화없이 차분 보정 에러에 바이어스가 추가된 형태와 바이어스의 변화없이 차분 보정 에러의 변화가 발생하는 형태가 있다. *Code-Carrier Divergence(CCD)*, 갑작스런 이상 신호, 과도한 가속 등은 첫 번째에 해당된다. 신호의 낮은 전압에 의한 에러 발생은 두 번째에 해당된다.

*CCD*는 이온층의 영향 및 신호 자체 이상에 의해 발생한다. 신호 자체에 의해 발생하는 주요 위협요인은 이론상으로 큰 발생 비율이 가능하고 이는 발산에 대한 감시가 필요하다. 또한 이는 이온층 폭풍의 전방을 감지하는 이익도 얻을 수 있다.

2.1절에서 설명한 *GPS* 신호의 고장들은 부결성 모니터링 알고리즘의 계산 값의 바이어스 형태로 나타나게 된다. 신호의 고장의 여부는 바이어스를 한계치(Threshold)와 비교하여 판별하게 된다. 본 논문에서는 2대의 *NOVATEL OEM4 GPS* 수신기로부터 수신된 데이터를 사용하여 실험을 수행하였다.

2.2.1 IDM (Integrity Data Monitoring)

GPS 무결성 모니터링을 하기 위해서는 각 모니터링 모듈별에 필요한 데이터의 종류 (의사거리, 반송파 정보, 경사각, 위성좌표, 위성시계 보정정보, *CNO*)가 매 에폭(k)마다 모두 들어오는지를 검사하게 된다. *IDM*에서는 *GPS*의 바이너리형태의 데이터를 디코딩하는 과정에서의 소프트웨어적인 결함이나 *GPS* 신호 구조의 문제로 인해 발생하는 고장을 검출하게 된다.

2.2.2 SQM (Signal Quality Monitoring)

*SQM*에서는 *GPS* 신호 자체의 고장으로 발생하는 *C/N0* (*Carrier to Noise power density ratio*)의 세기를 검사하는 *CNO* 검사와 코드 반송파 발산 검사를 수행하게 된다.

2.2.2.1 CNO 검사

CNO 검사에서는 식(1)과 같이 *CNO*의 전, 후 에폭(k)에서의 평균치를 *GPS SPS (Standard Positioning Specification)*에서 규정하고 있는 한계치와 비교하여 이에 미치지 못할 경우 고장 판별 신호를 생성한다.

$$C/N_{0_avg,m,n}(k) = \frac{1}{2}(C/N_{0,m,n}(k-1) + C/N_{0,m,n}(k)) \quad (1)$$

2.2.2.2 코드 반송파 발산 검사

코드-반송파 발산 검사는 *GMA (Geometric Moving Averaging)* 방법을 사용하여 전리층 폭풍에 의한 코드-반송파의 발산을 식(2)와 같이 검사하게 된다.

$$Dvgc_{m,n}(k) = \frac{\tau_d - T_s}{\tau_d} Dvgc_{m,n}(k-1) + \frac{1}{\tau_d} dz_{m,n}(k) \quad (2)$$

$$dz_{m,n}(k) = z_{m,n}(k) - z_{m,n}(k-1)$$

$$z_{m,n}(k) = \rho_{m,n}(k) - \phi_{m,n}(k)$$

$$\tau_d = 200, T_s = 0.5$$

2.2.3 MQM (Measurement Quality Monitoring)

*MQM*에서는 *GPS* 의사거리, 반송파 측정값의 일관성을 검사하게 된다. 즉 전 에폭의 측정값에 비해 갑자기 발생하는 측정값에 의한 오차를 검사하게 된다.

*MQM*에서는 *ARS (Acceleration-Ramp-Step)* 검사, *CSC (Carrier-Smoothed Code) Innovation* 검사를 수행하게 된다.

2.2.3.1 ARS 검사

평활화를 하기 전에 수행되는 *ARS* 검사에서는 반송파 측정값의 갑작스런 변화를 감지하게 된다. 검사 수행을 위해 에폭 10의 연속적인 반송파 보정정보가 필요하다. 이는 검사 한계치의 초과 원인이 반송파 측정인지 가시위성의 변화에 따른 원인인지 알 수가 없기 때문이다. 의사거리 보정정보 또는 반송파 보정정보의 갑작스런 오류로 인해 생기는 측정시 *Impulse, Step, Excessive Acceleration*, 반송파 측정값의 급속도의 변화를 감지한다.

• Ten Fitting Point

$$\phi_{m,n}^*(k) = \phi_{c,m,n}(k) - \frac{1}{N_m} \sum_{j \in S_m(k)} \phi_{c,m,j}(k) \quad (3)$$

N_m : 개준국 수신기 간의 공통 위성수

$\phi_{m,n}(k)$: 반송파 측정값

$R_{m,n}(k)$: 수신기(m), 위성(n) 사이의 실제 거리

$\tau_{m,n}(k)$: 위성시계 보정정보

$$\phi_{c,m,n}(k) = \phi_{m,n}(k) - R_{m,n}(k) - \tau_{m,n}(k) - \phi_{ci,m,n}(0) :$$

반송파 보정정보

$\phi_{ci,m,n}$: 초거 반송파 보정정보

*Ten Fitting Point*를 이용하여 테일러 시리즈를 통해 식(4)과 같이 2차 모델을 정의하고 최소자승

법을 통해 *Acceleration, Ramp, Step* 성분을 결정하게 된다.

$$\phi_{m,n}^*(k,t) = \frac{d^2 \phi_{m,n}^*(k,t)}{dt^2} \cdot \frac{t^2}{2} + \frac{d\phi_{m,n}^*(k,t)}{dt} \cdot t + \phi_{0,m,n}^*(k) \quad (4)$$

$$Acc_{m,n}(k) \equiv \frac{d^2 \phi_{m,n}^*(k,t)}{dt^2}$$

$$Ramp_{m,n}(k) \equiv \frac{d\phi_{m,n}^*(k,t)}{dt}$$

$$Step_{m,n}(k) \equiv \phi_{m,n}^*(k) - \phi_{m,n}^*(k-1, 10 \cdot T_s)$$

Smoothing Counter	2D-RMS(m)
Smoothing	0.9830
Non-Smoothing	1.1436

표 1. 평활화 유무에 따른 2D RMS 변화

2.2.3.2 CSC Innovation 검사

CSC Innovation 검사는 *ARS* 검사를 통과한 반송파 정보를 토대로 의사거리의 갑작스런 변화를 검사하게 된다. *CSC* 검사를 수행하기 위해서는 반송파 정보를 이용한 의사거리의 평활화 과정이 필요하다.

■ 의사거리 평활화

평활화된 의사거리 측정값 $\rho_{s,m,n}(k)$ 은 식 (5)와 같다.

$$\rho_{s,m,n}(k) = \frac{1}{N_s} \rho_{m,n}(k) + \frac{N_s - 1}{N_s} (\rho_{s,m,n}(k-1) + \phi_{m,n}(k) - \phi_{m,n}(k-1)) \quad (5)$$

$\rho_{m,n}$: 의사거리 측정값

N_s : 시간 윈도우 파라미터 (1~200초)

시간 윈도우 파라미터는 1부터 시작하여 200을 유지하게 된다. 만약 다른 모니터링 알고리즘에 의해 고장판별신호가 발생하였다면 다시 재설정 과정을 통해 1부터 다시 시작하게 된다.

의사거리 평활화 과정을 거치게 되면 식 (6)과 같이 *CSC* 검사를 수행한다.

$$Inno_{m,n}(k) = \rho_{m,n}(k) + (\rho_{s,m,n}(k-1) + \phi_{m,n}(k) - \phi_{m,n}(k-1)) \quad (6)$$

2.3 의사거리 평활화 시정수 변화

코드 반송파 평활화 수행한 값과 수행하지 않은 값은 위치 오차에서 차이가 발생한다. 그림 1은 파라미터 값이 200인 경우, 평활화를 수행한 것과 수행하지 않은 것을 X-Y축을 기준으로 오차를 나타낸 것이다. 자세한 위치 오차에 대한 변화 값은 표 1과 같다.

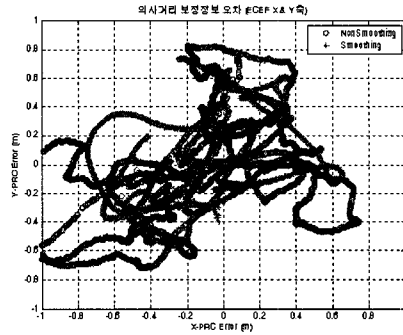


그림 1. 의사거리 보정정보 오차

의사거리 평활화가 무결성 검사에 사용되면서 평활화 과정에서 변화를 줄 수 있는 의사거리와 반송파의 가중치 값을 변화시키면서 위치 오차를 구해보면 아래와 같다. 그림 2는 시간 윈도우 파라미터의 값을 100, 300, 500으로 주었을 경우의 수평 위치오차를 나타낸다.

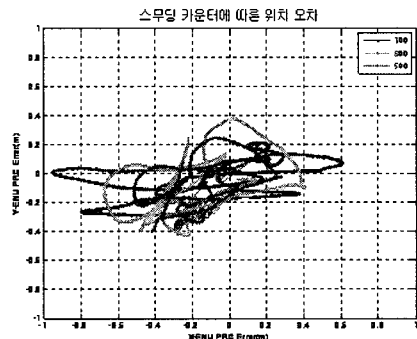


그림 2. 스무딩 카운터에 따른 위치 오차

그림 3은 파라미터 값(카운터)을 0~5000까지 주었을 경우의 2D RMS(Root Mean Square)(m)를 보여준다.

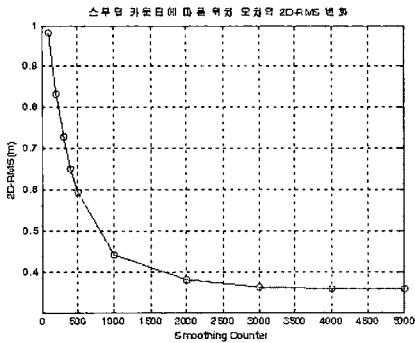


그림 3. 카운터 변화에 따른 2D RMS 변화

3. 결 론

본 논문에서는 GPS의 무결성 모니터링을 통해 GPS 신호의 고장을 검출, 제거하기 위해 다중 기준국 수신기에서 수행되는 Code-Carrier 평활화 과정에 변화를 주어 위치오차의 변화량을 검토하였다.

의사거리와 반송파의 평활화를 오래할수록 위치 오차가 좋아지는 것을 볼 수 있다. 하지만 무결성을 수행하기 위해 평활화에 소요되는 시간과 다른 무결성 감시와의 관계 등에 대한 분석을 통해 가장 적합한 파라미터 값을 결정해야 할 것이다.

향후 연구계획으로 무결성 알고리즘의 보완과 추가, 각 무결성 알고리즘에서 사용되었던 한계치의 현실적인 조정을 통해 시스템의 가용성 및 성능 향상을 위한 연구 수행이 필요하다.

참고문헌

- 1) Specification: Performance Type One Local Area Augmentation System Ground Facility. U.S. Federal Aviation Administration, Washington, D.C., FAA-E-2937, Sept. 21, 1999. Section 3.2.1.2.7.3.3
- 2) G.Xie, S. Pullen, M. Luo, P.L. Normark, D.Akos, J. Lee, P. Enge, B. Pervan, "Integrity Design and Updated Test Results for the Stanford LAAS Integrity Monitor Testbed." Proceeding of the ION 57th Annual Meeting, Albuquerque, NM, June 11-13, 2001, pp. 681-693