GPS 항법메시지 이상이 수신기에 미치는 영향 분석

강희원* · 조득재** · 박상현*

Analysis of Influences due to Navigation Message Error of GPS Signals on Receiver

Hee Won Kang* · Deuk Jae Cho** · Sang Hyun Park*

이 논문은 국토해양부 교통체계효율화사업(06교통핵심A03)의 연구비를 지원받았음

요 약

GPS 위성 고장과 같은 GPS 신호 이상에 대한 무결성 감시 연구가 진행되고 있다. GPS 신호의 이상 발생은 GPS 위성의 고장, 이온층 지연 오차의 급격한 증가, 제어부분의 항법 파라미터에 대한 잘못된 모델링 또는 고의적 이상, 전자파 간섭 등이 있는 것으로 알려져 있다. GPS 위성 고장의 경우 반송파, 코드, 항법메시지의 오류에 의해 이상이 발생할 수 있다.

본 논문에서는 항법메시지에 이상이 있는 상황을 GPS 시뮬레이터를 이용하여 재현하고, 항법메시지 이상이 GPS 수신기에 미치는 영향을 분석하였다. GPS 항법메시지를 구성하는 프리앰블, HOW의 TOW 카운트메시지와 서브프레임의 ID를 나타내는 비트, 위성상태 관련 비트, 그 외의 항법메시지 이상에 대해 정리하고 이를 재현하였으며, 이러한 이상이 GPS 수신기에 미치는 영향을 분석하기 위하여 위성의 개수, DOP, 의사거리를 통해 관찰하였다.

ABSTRACT

The integrity monitoring of anomalous GPS signal have been researched because of the degradation of GPS satellite performance. It is known that anomalous GPS signal can occur by failure of GPS satellite, sudden increase of ionosphere delay error, SA, wrong modeling for navigation parameters from control segment, and an electromagnetic wave interference, etc. In case of GPS anomaly by satellites can arise from carrier frequency, code and navigation message.

In this paper, the scenarios with navigation message errors were made by using GPS simulator, and the influences of GPS navigation message error to receiver were analysed. The anomalies of preamble, bits related TOW count message, subframe ID in HOW, bits related satellite healthy, and the other navigation message errors were described and simulated. Also, the number of satellites, DOP and pseudorange are analyzed to know how the anomalous signal can affect on GPS receiver.

키워드

GPS 이상 신호, 항법메시지 이상, 무결성 감시, GPS 시뮬레이터

Key word

GPS Anomaly, Navigation Message Error, Integrity Monitoring, GPS Simulator

* 한국해양연구원 해양안전·방제기술연구부

** 한국해양연구원 해양안전·방제기술연구부

(교신저자, djcho@moeri.re.kr)

접수일자 : 2010. 08. 26

심사완료일자 : 2010. 09. 13

I. 서 론

GPS(Global Positioning System) 위성항법시스템은 군사, 선박 운행, 해양 조난 구조, 차량 항법 등과 같은 많은 분야에서 응용되고 있다. 해양, 항공과 같은 분야에서는 인간의 생명, 안전과 직접적으로 연결되어 있어 잘못된 정보 제공시 심각한 문제를 발생시킬 수 있다[1].

GPS 신호의 이상은 GPS 위성의 고장, 이온층 지연 오차의 급격한 증가, 제어 운영국의 항법 파라미터에 대한 잘못된 모델링 또는 고의적 이상, 전자파 간섭 등으로 발생한다고 알려져 있으며, 그림 1에서 구분한 것과 같이 제어부분, 위성부분, 사용자부분에서 발생할 수 있다 [1]-[6].

그림 1. GPS 구조
Fig. 1 GPS Architecture

제어부분에서 발생하는 이상은 지상에서 GPS위성으로 궤도파라미터 및 보정정보파라미터 등의 잘못된 정보 전송에 의한 이상과 SA(Selective Availability)와 같은 고의적인 이상 등이 있고, 위성부분에서 발생하는 이상은 GPS 반송파와 코드 신호 이상, 항법메시지 이상, 위성시계 이상과 같은 GPS 위성의 하드웨어 고장이나 소프트웨어 고장에 의한 이상 등이 있으며, 사용자부분에서 발생하는 이상은 다중경로, 전리층 및 대류권 지연, GPS 신호의 전송 과정 중 발생하는 고장에 의해 발생하는 이상 등이 있다[1],[2],[4].

본 논문에서는 GPS 신호의 항법메시지 이상 시나리오를 재현하여 수신기에 미치는 영향을 모의실험을 통해 분석하였다.

본 논문의 구성은 2장에서 프리앰블(Preamble), HOW (Handover Word)의 TOW(Time Of Week) 카운트메시지와 서브프레임(Subframe)의 ID를 나타내는 비트, 위성상

태(Health) 관련 비트, 그 외의 항법메시지 이상에 대해 서술하고, 3장에서는 모의실험을 통해 GPS 신호의 항법메시지 이상이 수신기에 미치는 영향을 보았다. 마지막으로 5장에서 결론을 맺는다.

II. 항법메시지 이상

GPS 신호의 항법메시지는 위성의 궤도(Ephemeris) 정보, 알마낙(Almanac), 보정계수 등을 포함하고 있다. 50bps의 속도로 전송되는 데이터는 30비트(Bit)가 한 워드(Word)로 구성되며, 10개의 워드는 하나의 서브프레임을 이룬다. 서브프레임 5개는 하나의 페이지(Page)가 되며, 25개의 페이지는 하나의 항법메시지를 이룬다 [3],[7].

그림 2. 항법메시지 구조
Fig. 2 Navigation-Message Structure

그림 3. 서브프레임 1~5 구성
Fig. 3 Subframe 1~5 Structure

그림 2와 그림 3은 각각 항법메시지의 구조와 서브프레임 1~5의 구조를 나타낸 것이다. 그림 3에서 알 수 있듯이 모든 서브프레임의 첫 번째 워드는 TLM (Telemetry)이고, 두 번째 워드는 HOW이며, 각각의 구조는 그림 4와 5에 나타내었다[3],[7],[8].

그림 4. TLM 구조
Fig. 4 TLM Structure

그림 5. HOW 구조
Fig. 5 HOW Structure

2.1 프리앰블 이상

일반적으로 프리앰블은 데이터를 송수신 할 때, 데이터의 시작이나 끝을 알리기 위한 신호이다. GPS 신호의 항법메시지에서 프리앰블은 서브프레임의 시작을 의미하며, '10001011'로 8비트로 구성된다. 수신기는 항법을 수행하기 전에 프레임동기(Frame Synchronization)를 수행하는데, 이는 GPS 신호의 서브프레임 동기를 말한다. 프레임동기의 방법 중 하나로 프리앰블 검사가 있고, 각 프레임의 프리앰블을 검사할 때 정해진 '10001011'의 값을 가지지 않으면 이상으로 판단한다.

2.2 HOW(HandOver Word) 이상

HOW 이상으로는 상위 17비트로 구성되는 TOW 카운트메시지, 20~22번째 비트가 나타내는 서브프레임 ID 이상이 있다.

2.2.1 TOW 카운트메시지 이상

TOW 카운트메시지는 GPS 시간(GPS Time) 중 한 주 내에서의 시간정보를 나타내며, 모든 서브프레임에서 HOW의 상위 17비트로 구성되어 있고, 서브프레임이 순차적으로 변할 때마다 TOW 카운트메시지 값도 1씩 증가한다.

따라서 서브프레임이 순차적으로 변할 때마다 TOW 카운트메시지가 순차적으로 1씩 변하지 않으면 이상으로 판단한다.

2.2.2 서브프레임의 ID 항법메시지 이상

모든 서브프레임에서 HOW의 20, 21, 22번째 비트는 서브프레임의 ID를 나타낸다. GPS에서는 서브프레임 1~5만을 사용하며, 서브프레임 1은 '001', 서브프레임 2는 '010', 서브프레임 3은 '011', 서브프레임 4는 '100', 서브프레임 5는 '101'로 나타낸다. 만약 서브프레임의 ID가 1, 2, 3, 4, 5로 순차적인 수를 가지지 않거나 0, 6, 7의 수를 가진다면 이상으로 판단한다.

2.3 TLM, HOW 외의 이상

2.1절과 2.2절에서 설명한 TLM과 HOW 외의 항법메시지 이상으로 모든 서브프레임 내의 항법메시지가 모두 '0'일 경우와 위성상태 관련 비트 이상이 있다.

2.3.1 모든 서브프레임 내의 항법메시지가 모두 '0'일 경우

모든 서브프레임의 항법메시지는 그림 3에서 볼 수 있듯이 GPS 시간의 주 정보(Week Number), 위성상태, 위성 시계에 관한 정보, 위성 궤도 파라미터 정보들을 포함하고 있다. 모든 서브프레임 내의 항법메시지가 모두 '0'이라면 GPS 시간, 위성의 위치 등의 정보를 정확하게 계산할 수 없는 문제가 발생한다.

2.3.2 위성상태 관련 비트 이상

위성상태 관련 비트는 서브프레임 1의 3번째 워드에 6개의 비트로 표현된다. 6개의 비트 중 최상위 비트가 '1'이면, 위성 신호의 일부 또는 전체에 문제가 발생하였다는 것을 알려준다.

2.3.3 위성 궤도 파라미터 이상

GPS 신호에는 위성의 위치, 위성의 속도, GPS time을 구할 수 있는 파라미터들이 포함되어 있다. 위성의 위치와 속도는 케플러 법칙으로 나타낼 수 있다.

위성이 지구를 중심으로 이상적인 타원 궤도로 움직인다면 궤도는 표 1에 나타낸 6개의 파라미터로부터 나타낼 수 있고, 이 파라미터 값을 안다면, 위성의 위치 관계는 그림 6과 같이 나타낼 수 있다[2],[5],[8].

표 1. 타원 궤도에 대한 케플러 파라미터
Table. 1 Kepler Parameters for Elliptical Orbit

파라미터		특징
a	장축의 길이	타원 궤도의 길이
e	이심률	(장축길이-단축 길이)/ 장축 길이
Ω	RAAN(Right Ascension of the Ascending Node)	지구적도 평면상에서 춘분점과 Ascending 점 사이의 각
ω	근지점의 편각	지구 평면상에서 Ascending 점과 근지점 사이의 각
i	경사도	지구 적도면과 위성 궤도 사이의 각
f	실제 근점 이각	궤도 평면상에서 근지점과 위성의 위치 사이의 각

그림 6. 케플러 파라미터들로 표현한 위성의 위치
Fig. 6 Satellite Position with Kepler Parameters

III. 모의실험 환경

GPS 신호의 항법메시지 이상 시나리오는 Spirent사의 GSS-7700의 GPS 시뮬레이터로부터 재현하였고, NovAtel사의 DL-V3 GPS 수신기를 이용하여 데이터를 수집하였다. 위성 신호의 이상에 대한 현상 분석은 MATLAB을 이용하였으며 이와 같은 분석을 위한 실험 환경을 그림 7에 나타내었다.

위성 신호를 생성할 때 가시 위성은 1, 2, 8, 13, 14, 20, 23, 24번에 대해 8개를 설정하고, 가시 위성 중 1번 위성 에 이상을 주었다.

그림 7. 시뮬레이션 환경
Fig. 7 Simulation Environment

IV. 수신기에 미치는 영향 분석

4.1 프리앰블 항법메시지 이상

프리앰블 항법메시지 이상의 시나리오는 다음과 같이 재현하였다.

- 정상 3분(00:00:00~00:03:00, 345600~345780(GPS time))
- 이상 3분(00:03:01~00:06:00, 345781~345960(GPS time)): 1번 위성의 프리앰블을 '10001000'의 값으로 변경
- 정상 5분(00:06:01~00:11:00, 345961~346260(GPS time))

그림 8. 의사거리를 측정한 위성의 개수
Fig. 8 The Number of Satellite with Measured Pseudorange

그림 8은 주어진 시나리오의 시간 내에서 의사거리를 측정하는 위성의 개수를 나타낸 그림이며, 이상이 발생한 구간에서 5차레에 걸쳐 7개의 위성으로부터 의사거리를 측정하였다. 이는 서브프레임 1의 TLM에서 프리앰블 이상이 발생하였기 때문에 항법하기 이전에 서브프레임 동기를 못하여 나타난 현상이다.

4.2 HOW 항법메시지 이상

4.2.1 TOW 카운트 메시지 이상

TOW 카운트 메시지 이상의 시나리오는 다음과 같이 재현하였다.

- 이상 5분(00:00:00~00:05:00, 345600~345900(GPS time)): 1번 위성의 서브프레임 2의 두 번째 워드에 존재하는 TOW 카운트 메시지 중 LSB 16번째와 17번째 비트 반전
- 정상 5분(00:05:01~00:10:00, 345901~346200(GPS time))

그 결과 345915초부터 8개의 가시 위성으로부터 의사거리를 측정하고, 항법을 수행하였다. 이는 345900초까지 1번 위성의 TOW 카운트 메시지에 이상이 발생되어 1번 위성과 다른 위성들의 TOW 카운트 메시지 값이 달라 시각 동기를 하지 못하기 때문이다. 345900초 이후에는 1번 위성의 탐색이 가능하였다.

그림 9. 위성의 배치에 따른 정밀도의 정도
Fig. 9 Dilution of Precision

그림 9에서 ①은 345711초, ②는 345801초, ③은 345915초이고, 각 ①, ②, ③시점에서 위성의 개수는 하나씩 증가하였다. 그림 9로부터 가시 위성 개수의 증가로부터 DOP이 더 작은 값을 가진다는 것을 알 수 있다.

4.2.2 서브프레임의 ID 항법메시지 이상

서브프레임의 ID 항법메시지 이상 시나리오는 다음과 같이 재현하였다.

- 이상 5분(00:00:00~00:05:00, 345600~345900(GPS time)): 1번 위성의 서브프레임 2, 4번의 HOW의 20번째 비트는 0, 21번째 비트는 0, 22번째 비트는 1로 수정
- 정상 3분(00:05:01~00:08:00, 345901~346080(GPS time))

그 결과 345680초부터 8개의 가시 위성으로부터 의사거리를 측정하는 것을 알 수 있다. 하지만, 수신기에서 8개 위성의 위치 계산은 그림 10에서 점선으로 표현한 345914초부터 수행되었다. 이는 프리앰블과 TOW로부터 서브프레임의 동기는 이루어져 의사거리는 측정할 수 있으나, 위성의 위치는 정확한 위성 궤도 파라미터로부터 계산이 가능하기 때문에 이상이 종료된 시간(345900초) 이후에 계산한 것으로 판단할 수 있다.

그림 10. 8개의 위성으로부터 측정된 의사거리
Fig. 10 Measured Pseudorange from 8 Satellites

4.3 TLM, HOW의 이상

4.3.1 모든 서브프레임 내의 항법메시지가 모두 '0'일 경우

모든 서브프레임 내의 항법메시지가 모두 '0'인 경우의 시나리오는 다음과 같이 재현하였다.

- 정상 5분(00:00:00~00:05:00, 345600~345900(GPS time))
- 이상 6분(00:05:01~00:11:00, 345901~346260(GPS time)): 1번 위성의 모든 서브프레임 내의 항법메시지 0으로 수정
- 정상 1분 30초(00:11:01~00:12:30, 346261~346350 (GPS time))

그림 11. 가시위성의 개수
Fig. 11 The Number of Visual Satellite

그 결과 그림 11에서 볼 수 있듯이 이상이 발생한 구간에서 6번에 걸쳐 36초 동안 7개의 가시위성을 가졌으며, 22초 동안 8개의 가시위성을 가졌다. 실제로 수신기에서 위성위치는 345660초부터 계산되었다.

4.3.2 위성상태 관련 비트 이상

위성상태 관련 비트 이상 시나리오는 다음과 같이 재현하였다.

- 이상 5분(00:00:00~00:05:00, 345600~345900(GPS time)): 1번 위성의 서브프레임 1의 워드 3의 7~12번째 비트를 '100010'으로 수정
- 정상 5분(00:05:01~00:10:00, 345901~346200(GPS time))

그 결과 345662초(GPS time)부터 8개의 가시 위성으로부터 의사거리를 측정하였으나, 수신기에서 위성의 위치 계산은 345914초까지 1번 위성을 제외한 7개의 위성 위치에 대해 이행되었으며, 1번 위성의 위치는 345915초부터 계산되어졌다.

그림 12는 시간에 따른 DOP을 나타낸 것이며, 8개의 위성 위치로부터 항법을 한 이후인 345915초부터 DOP가 작아지는 것을 확인할 수 있다. 이와 같은 현상은 위성상태를 나타내는 비트가 '100010'이면 모든 신호가 이상이 있는 것을 뜻하므로 수신기가 1번 위성에서 이상이 발생한 시간동안 항법메시지 해석을 못하였기 때문이다.

그림 12. 위성의 배치에 따른 정밀도의 정도
Fig. 12 Dilution of Precision

4.3.3 위성 궤도 파라미터 이상

위성 궤도 파라미터 이상 시나리오는 다음과 같이 재현하였다.

- 이상 15분(00:00:00~00:15:00, 345600~346500(GPS time)): 1번 위성의 서브프레임 2의 워드 9에서 14번째 항법메시지의 비트 반전

서브프레임 2의 워드 9에서 14번째 항법메시지의 비트는 $\sqrt{a}$ 로서 궤도 파라미터 값을 나타내는 비트 중 하나이다. a 는 그림 6에서 알 수 있듯이 타원의 장축이며, 이 값은 위성의 위치를 구할 때 사용하는 파라미터이다. 따라서 이 비트에 이상이 있을 경우, 위성의 위치는 잘못 계산된다.

표 2. A, B의 각 축의 오차 RMS
Table. 2 The Error RMS of x, y and z axis with A, B

위성 번호	x축의 오차 RMS		y축의 오차 RMS		z축의 오차 RMS	
	A_x	B_x	A_y	B_y	A_z	B_z
11	0.0248	3.786	0.0099	24.5882	0.0070	10.591
12	0.0195	12.22	0.0279	11.5580	0.0039	12.942
18	0.0058	23.80	0.0073	15.8121	0.0070	11.146
13	0.0085	25.97	0.004	9.2091	0.0038	13.787
14	0.0048	21.18	0.0021	5.5996	0.0145	17.199
20	0.0106	31.13	0.0150	2.1519	0.0064	4.6107
23	0.0171	7.512	0.0095	29.5043	0.0154	2.2103
24	0.0073	2.361	0.0134	26.3510	0.0181	8.7425

표 2에서 A_x, A_y, A_z 는 이상이 없는 GPS 신호의 경우에 대해 GPS 시뮬레이터에서 생성한 위성의 위치와 수신기에서 계산한 위성의 위치 차이를 각 축에서 계산한 RMS이고, B_x, B_y, B_z 는 서브프레임 2의 워드 9에서 14 번째 항법메시지의 비트에 이상이 있는 GPS 신호의 경우에 대해 GPS 시뮬레이터에서 생성한 위성의 위치와 수신기에서 계산한 위성의 위치 차이를 각 축에서 계산한 RMS이다. 표 2로부터 서브프레임 2의 워드 9에서 14 번째 항법메시지의 비트에 이상이 발생할 경우 위성위치에 오차가 발생하는 것을 확인 할 수 있다. 이는 잘못된 궤도 파라미터로부터 위성의 위치를 계산하기 때문에 발생한 현상이다.

VI. 결 론

본 논문에서는 항법메시지 이상이 있는 GPS 신호의 시나리오를 재현하고 수신기에 미치는 영향을 모의실험을 통해 분석하였다. 항법메시지 이상이 있는 경우 위성의 개수와 DOP가 변화하는 현상을 보였고, 위성궤도 파라미터 이상은 위성 위치 계산에 오류를 가져왔다. 이와 같은 분석 결과는 향후 GPS 고장 검출 및 제거 연구에 활용될 계획이다.

참고문헌

- [1] 박찬식, 이상정 외 8명, GPS 신호감시, 이상판단 및 방송기법 연구, 한국해양연구원, 연구보고서, 2005.
- [2] E.D.Kaplan and C.J.Hegarty, (eds.), *Understanding GPS Principles and Application*, 2nd Ed., Artech House, 2006.
- [3] J.B.Tsui, *Fundamentals of Global Positioning System Receivers: A Software Approach*, 2nd Ed., John Wiley and Sons, 2005.
- [4] P.D.Groves, *Principles of GNSS, Inertial, and Multisensor Integrated Navigation Systems*, Igor Vadman, 2008.
- [5] P.Mista and P.Enge, *Global Positioning System: Signals, Measurements, and Performance*, Ganga-amuna Press, Lincoln, Massachusetts, 2006.

- [6] Bradford W, *Global Positioning Systems: Theory and Applications, Volume I*, American Institute of Aeronautics and Astronautics Inc., 1996.
- [7] Navstar GPS Space Segment/Navigation User Interfaces, ICD-GPS-200, 25 September, 1997.
- [8] K.Borre, D.M.Akos, N.Bertelsen, P.Rinder, A software-defined GPS and Galileo Receiver, Birkhauser Boston, 2007.

저자소개

강희원(Hee Won Kang)

2008년 충남대학교 전자전파정보
통신공학과(공학사)

2010년 충남대학교 전자전파정보
통신공학과(공학석사)

현재 한국해양연구원 해양안전·방재기술연구부
연구원

※관심분야: GPS/INS, 위성항법보정시스템

조득재(Deuk Jae Cho)

한국해양정보통신학회 논문지
제 14권 제 4호 참조

박상현(Sang Hyun Park)

한국해양정보통신학회 논문지
제 14권 제 4호 참조