

해양 분야 DGPS를 위한 코드, 반송파, 항법 메시지 검사 기법

김정원*, 장한진*, 김태호**, 손석보***, 황동환****, 이상정****, 박찬식**, 서상현*****

* 충남대학교 전자공학과, ** 충북대학교 전기전자컴퓨터공학부, *** (주)네비콤, **** 충남대학교 전기정보통신공학부, ***** 한국해양연구원 해양시스템안전연구소

A Monitoring Method of Code, Carrier and Navigation Message for Marine Local Area DGPS

Kim Jeong Won*, Jang Han Jin*, Kim Tae Ho**, Son Seok Bo***, Hwang Dong-Hwan****, Lee Sang Jeong*****, Park Chansik**, Suh Sang Hyun*****

* Department of Electronics Engineering, Chungnam National University,
** School of Electrical and Computer Engineering, Chungbuk National University,
*** Navicom Ltd.,

**** School of Electrical Engineering and Information and Communication Engineering, Chungnam National University
***** Korea Research Institute of Ships and Ocean Engineering, Korea Ocean Research and Development Institute

Abstract - 본 논문에서는 해양분야에 적용 가능한 GPS(Global Positioning System) 코드, 반송파, 항법 메시지 감시 기법을 제안한다. GPS를 구성하고 있는 위성, 지상 제어국, 사용자부에 내재한 고장 요인들에 대하여 분석하고 이를 바탕으로 각 고장에 대응할 수 있는 검사 기법들을 제시한다. 제시하는 검사기법은 DGPS 기준국에서 수행할 수 있는 검사 기법으로 신호 감시 기법(SQM, Signal Quality Monitoring), 데이터 감시 기법(DQM, Data Quality Monitoring), 측정치 감시 기법(MQM, Measurement Quality Monitoring)으로 구성된다. 해양 분야에 적용을 위하여 해양 분야에서 요구하는 GNSS(Global Navigation Satellite System)에 대한 안전 조건을 조사하고 이를 바탕으로 해양 분야에 사용가능한 감시 기법을 제시한다.

1. 서 론

GPS(Global Positioning System)는 GPS 위성, 지상 운영국과 감시국, 사용자로 구성되어 동작된다[1]. GPS 위성은 20,200km상공에 위치하여 동작하는 관계로 우주 환경의 영향과 장시간 사용으로 인한 노후화로 이상이 발생할 수 있다. 지상 운영국에서는 위성의 상태를 감시하고 위성의 항법 정보를 갱신해주는 역할을 수행한다. 지상 운영국의 오류로 잘못된 정보가 갱신되어 위성에 이상이 발생할 수도 있다. GPS 위성 신호는 대기층을 통과하면서 이온층등의 영향을 받게 되는데 예기치 못한 이온층 변화로 인하여 수신 신호에 이상이 발생하기도 한다. 또한 사용자 수신 환경에 의해 발생할 수 있는 다중 경로 오차 등이 일정한 크기 이상으로 발생한다면 문제를 유발시킬 수도 있다[2].

본 논문에서는 GPS 신호 감시를 위하여 먼저 GPS에 발생할 수 있는 이상 요인들에 대하여 분석하고 이를 바탕으로 각각의 이상들을 검출할 수 있는 방법에 대하여 제시하고자 한다. 제시하려는 방법은 신호 감시 기법(Signal Quality Monitoring), 데이터 감시 기법(Data Quality Monitoring), 측정치 감시 기법(Measurement Quality Monitoring)으로 이루어진다. 제시하는 감시 기법들은 반송파, 코드, 항법 메시지를 검사하여 위성, 운영국, 사용자 측에서 발생할 수 있는 다양한 이상들에 대하여 대처할 수 있는 방법들이다. 해양 분야에서 GNSS에 대한 요구 조건을 분석하고 이를 바탕으로 해양 분야에 적합한 GPS 감시 기법을 제한하도록 한다.

2. GPS의 이상 요인

2.1 GPS 위성 이상

GPS 위성의 이상은 크게 두 가지 원인에 의하여 발생한다. 위성에 탑재된 전자장비에 의하여 발생하는 고장과 GPS의 방송 정보에 발생하는 오류로 나눌 수 있다. GPS 위성의 전자장비에 의하여 발생하는 고장은 장시간 사용에 의한 노후화, 열악한 동작 환경 등이 원인이 된다. 방송 정보의 오류는 운영국의 실수, 데이터 저장 메모리 오류등이 원인이 되어 발생한다. GPS 위성에 발생하는 이상은 다음과 같이 정리할 수 있다.

• **GPS 신호 왜곡** : GPS는 신호에 포함되어 있는 코드(C/A, P)를 이용하여 위성까지의 거리를 구한다. GPS 위성의 코드 생성 회로의 불안정한 동작으로 인하여 그림 1에 나타낸바와 같이 코드가 왜곡되어 생성되기도 한다. 이러한 이상은 1993년 19번 위성에 발생했던 것으로 알려져 있다[3].

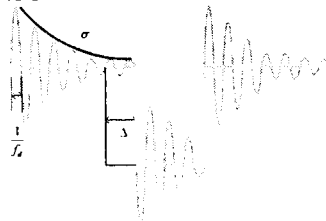


그림 1. GPS 코드 왜곡

신호 왜곡은 그림에서와 보는바와 같이 디지털과 아날로그 왜곡으로 나눌 수 있고 두 가지 오류가 독립적으로 또는 복합적으로 발생한다.

• **항법 메시지 오류** : GPS 항법 메시지에 위성의 궤도 정보(Ephemeris, Almanac), 위성 시계 오차 보정 정보 등이 포함되어 있고 이 정보들은 측위에 매우 중요한 요소로 사용된다. 항법 정보는 지상 감시국에서 수집한 정보를 이용하여 운영국이 위성에 주기적으로 전송한다. 그렇지만 운영국의 궤도 모델에 대한 오류 또는 실수로 인하여 잘못된 항법 정보를 전송할 수 있다. 또한 위성이 궤도를 운행하는 중 예기치 못한 원인으로 인하여 자신이 전송하는 궤도 정보와 다르게 운행할 수도 있다.

• **우주 방사선에 의한 저장 데이터 변경** : 우주 방사선에는 고 에너지 입자들이 존재하고 고 에너지 입자는 위성 전자 장비에 영향을 주고, 특히 메모리에 저장되어 있는 이진 데이터를 변하게 할 수 있다. 물론 검사, 복원

회로가 내장되어 있지만 검출하지 못하는 경우가 발생한다면 사용자측에서는 매우 큰 오류가 발생할 수도 있다.

2.2 전송 과정 중의 이상

GPS 신호는 전송 과정 중에 이온층과 대류층의 영향으로 전달 지연 오차가 발생한다. 특히 이온층 지연은 태양 측정 활동 등의 영향으로 인해 급격하게 증가할 수도 있다. DGPS와 같은 보정 위성 항법 시스템에서는 이온층 오차는 기준국과 사용자간의 공통 오차라고 가정하여 보정을 하는데 이온층이 급격하게 변화하는 경우에는 공통 오차라고 볼 수 없게 되고 보정을 하더라도 오차가 제거되지 않는다. 그림 2는 이온층 폭풍에 의한 영향을 나타내고 있다.

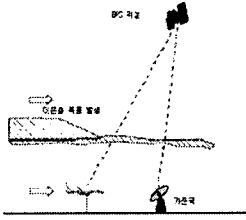


그림 2. 이온층 폭풍의 영향

이러한 현상은 실제 2000년 4월에 미국에서 보고된 바 있다.

2.3 사용자 측에서 발생하는 이상

GPS에 발생하는 오차 중에는 위성, 전송 과정에 발생하는 요인 외에도 사용자 수신기에서 발생하는 다중 경로 오차, 수신기 열잡음 오차도 포함되어 있다. 보통 이런 오차 성분이 매우 작지만 예기치 못한 경우가 발생하여 크기가 증가할 수도 있고 이로 인해 사용자의 항법 오차를 증가시킬 수 있다. 특히 DGPS같은 분야에서는 이러한 오차 성분이 비 공통 오차이기 때문에 기준국 수신기에 다중경로 오차나 열잡음 오차가 증가한다면 기준국에서 계산한 보정 정보는 신뢰성을 보장할 수 없다.

3. GPS 이상 검사 기법

앞서 서술한 바와 같이 GPS의 이상은 여러 가지 요인에 의하여 발생하기 때문에 각각의 이상 원인에 맞춘 검사 기법을 적용해야 정확하게 이상을 검출할 수 있다. GPS 신호에 왜곡이 발생하는 경우는 신호 감시 기법을 이용하여 검사한다. 항법 메시지에 발생하는 이상은 데이터 감시 기법으로 검사하고 의사거리 또는 의사거리 변화율등의 측정치에 이상이 발생하는 경우는 측정치 감시 기법으로 검사하도록 한다. 각각의 검사 기법은 DGPS 기준국과 같이 잘 알려진 위치에 설치된 곳에서 수행하는 검사 기법들이다. 이번 절에서는 각각의 검사 기법과 해양 분야의 안전 요구 조건을 분석하여 해양 분야에 적합한 GPS 신호 이상 감시 기법을 제시하도록 한다.

3.1 신호감시기법 (Signal Quality Monitoring)

GPS 신호 왜곡은 그림 1과 같은 형태로 발생한다. 신호 왜곡은 디지털 결합과 아날로그 결합으로 나타나고 사용자 수신기에서 비정상적 상관특성을 나타낸다. 디지털 결합은 디지털 신호에 앞섬 또는 뒤짐이 발생하면서 발생하는 결합 이때의 상관 함수 특성은 다음 그림 3과 같이 나타난다.

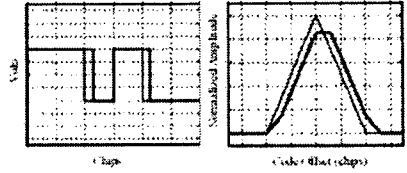


그림 3. 디지털 신호 결합 현상

그림에서 보는 바와 같이 디지털 결합 발생 시에는 상관 함수의 지연과 첨두치 손실로 인하여 의사거리 오차를 발생 시킬 수 있다. 아날로그 결합은 신호 생성 회로의 과도 응답으로 인하여 울림 현상이 발생하는 경우로 다음 그림 4와 같이 나타낼 수 있다.

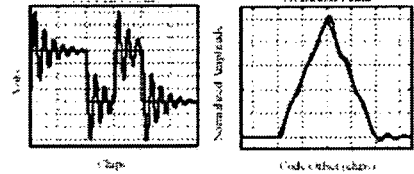


그림 4. 아날로그 신호 결합 현상

신호 왜곡은 디지털 결합과 아날로그 결합이 복합적으로 나타날 경우도 있고 그림 3과 4의 현상이 결합된 상관 특성을 나타낸다. 그림 5는 복합된 신호 왜곡을 나타낸 그림이다.

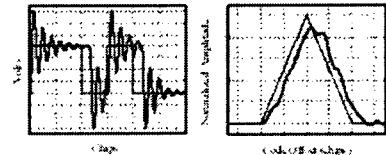


그림 5. 복합적인 신호 왜곡 현상

신호 왜곡은 직접적으로는 상관 특성에 영향을 주기 때문에 상관기를 이용한 검출 방법이 사용된다. 이상적인 경우에는 대칭형태의 상관특성을 보이는 반면 신호 왜곡이 발생한 경우에는 지연, 첨두치 손실, 울림 현상에 의하여 비대칭, 첨두값 변화 등의 현상이 발생하고 다중 상관기를 이용하면 이를 검출 할 수 있다. 그림 6은 다중 상관기를 이용한 신호 왜곡 검사 기법을 나타내고 있다.

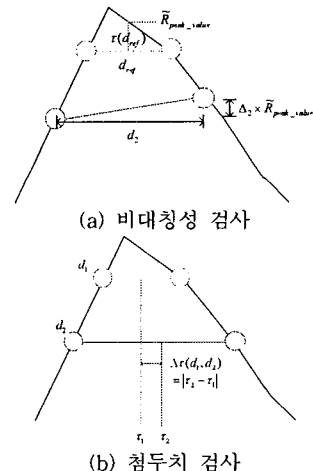


그림 6. 신호 검사 기법

그림 6의 (a)와 (b)는 서로 다른 칩 간격을 가지는 다중 상관기를 이용하여 상관 함수의 첨두값 변화와 비대칭성을 확인하는 방법이다. 그림에서 볼 수 있듯이 다중 상관기를 이용하면 신호 왜곡 발생 여부를 검사할 수 있다.

3.2 데이터감시기법 (Data Quality Monitoring)

GPS 항법 메시지에 포함되어 있는 항법 데이터는 항법에 매우 중요한 요소이고 데이터에 문제가 발생한다면 DGPS와 같은 보정 시스템으로도 보완이 불가능하기 때문에 항상 항법 데이터에 이상이 있는지를 검사해야 한다. 데이터 검사 기법은 항법 데이터의 비트 오류 검사 외에도 궤도 정보와 같은 항법 파라미터에 대한 검사를 수행하여 이상 여부를 판단한다. 그림 7에 데이터 감시기법의 순서를 나타내고 있다.

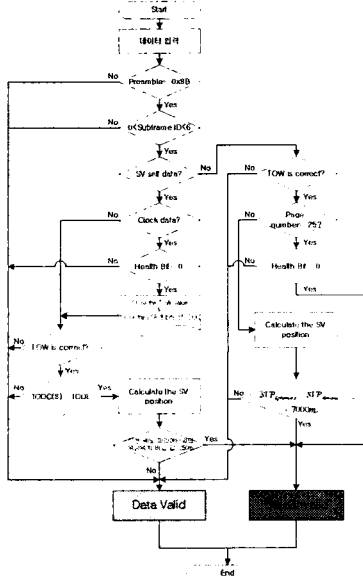


그림 7. 데이터 감시기법

3.3 측정치감시기법 (Measurement Quality Monitoring)

GPS의 측정치는 의사거리, 의사거리 변화율, 반송파 위상 측정치이다. 측정치 이상은 이온층의 급격한 변화, 일정 크기 이상의 다중 경로 오차 등에 의하여 발생한다. DGPS 기준국에서는 자신이 수신한 측정치의 이상 여부를 먼저 판단하여 계산한 보정 정보의 전송 여부를 결정해야 한다. 측정치 검사 기법은 다음과 같은 단계로 이루어진다.

3.3.1 이온층 기율기 검사

반송파 위상 측정치를 이용하여 그림 2와 같은 현상이 발생여부를 검사한다. 검사는 다음 식과 같이 수행한다.

$$\begin{pmatrix} \phi_1^* \\ \phi_2^* \\ \vdots \\ \phi_{10}^* \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \phi_1^* & \Delta t & \frac{1}{2} \Delta t^2 \\ \phi_2^* & \Delta t & \frac{1}{2} \Delta t^2 \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ \phi_{10}^* & \Delta t & \frac{1}{2} \Delta t^2 \end{pmatrix} * \begin{pmatrix} \theta_0^* \\ \frac{d\phi^*}{dt} \\ \frac{d^2\phi^*}{dt^2} \end{pmatrix} \quad (2)$$

ϕ^* 는 반송파 위상 측정치를 나타내고, Δt 는 측정치간의 시간 간격을 나타낸다. 이온층 기율기 검사는 식(2)와 같이 이온층 변화의 속도 성분과 가속도 성분을 검출하여 이상 여부를 판단한다.

3.3.2 Sigma, B value 검사 기법

기준국의 측정치에는 여러 가지 오차 성분이 포함되어 있다. 그 중 비 공통 오차에 대한 검사는 Sigma와 B-value 검사 기법을 이용하여 검사를 수행한다.

$$\sqrt{\text{Var}(\Delta\Psi_{RR}^{SV(m)})} \leq \sigma_{pr_gnd}(\theta) \quad (3)$$

Sigma 검사 기법은 식 (3)과 같이 m번째 위성의 측정치에 대한 의사 거리 보정치의 편차를 계산하여 임계치 초

과 여부를 판단한다.

$$B_n^m = \Delta\Psi_{RR}^{SV(m)} - \frac{1}{N-1} \sum_{i=1, i \neq n}^N \Delta\Psi_{RR}^{SV(i)}$$

$$\sqrt{\text{Var}(B_n^m)} \leq \sqrt{\frac{(M+1)}{(N-1)NM}} \sigma_{pr_gnd}(\theta) \quad (4)$$

B-value는 식 (4)와 같이 여러 개의 수신기 측정치 중 이상이 있는 수신기의 측정치를 판별하는데 사용하는 값이면 임계치 초과 여부로 이상을 판단한다.

3.3 해양 분야 안전 요구 조건에 따른 임계치

현재 국내에서도 DGPS 기준국이 해양수산부에 의하여 운영되고 있다. DGPS 기준국에 제시한 감시기법을 적용하기 위해서는 해양 분야의 안전 요구 조건을 만족하는 임계치를 결정해야 한다. IALA(International Association of Marine to Navigation and Lighthouse Authorities)에서는 해양 분야 DGNSS 서비스의 정확도(수평 위치)요구 조건을 대양 운항 시 100m(95%), 연안/항구 근처 운항 시에는 10m(95%)로 권고하고 있다. 이를 바탕으로 해양 분야의 감시기법의 임계치를 다음과 같이 결정할 수 있다.

$$\begin{aligned} \delta\text{Pos}_{95\%} &\approx 2 \times \text{HDOP}_{rms} \sigma_{UDRE} (\approx \sigma_{pr_gnd}) = 100\text{m} \\ \sigma_{pr_gnd} &= \frac{100\text{m}}{2 \times \text{HDOP}_{rms}} \end{aligned} \quad (5)$$

$$\begin{aligned} \delta\text{Pos}_{95\%} &\approx 2 \times \text{HDOP}_{rms} \sigma_{UDRE} (\approx \sigma_{pr_gnd}) = 10\text{m} \\ \sigma_{pr_gnd} &= \frac{10\text{m}}{2 \times \text{HDOP}_{rms}} \end{aligned} \quad (6)$$

식(5)는 대양 운항시의 임계치를 나타내고 식(6)은 연안 운항시의 임계치를 나타내고 있고 HDOP_{rms} 은 HDOP의 RMS(Root Mean Square)값으로 실험값 또는 위성의 양각에 대한 모델로 나타낼 수 있다.

4. 결 론

본 논문에서는 GPS위성을 구성하는 있는 각 요소들에서 발생할 수 있는 이상 원인에 대하여 분석하였다. GPS 위성의 전자 장비의 오류 및 우주 환경에 의한 이상, 지상 운용국의 잘못된 정보 갱신에 의한 오류, 전송 과정과 사용자 수신기의 신호 수신 환경에 의하여 발생할 수 있는 이상 원인 및 현상에 대하여 분석하였다. 해양 분야에 대한 안전 요구 조건을 바탕으로 해양 분야에 적합한 신호 검사 기법, 데이터 검사 기법, 측정치 검사 기법들을 제시하였다.

추후로는 모의 실험과 실측 데이터를 이용한 실험을 통하여 제시한 감시기법들의 성능을 검증하도록 하겠다.

[참 고 문 헌]

- [1] E. D. Kaplan, *Understanding GPS : Principle and Application*, Artech House, 1996.
- [2] Andrew Jonathan Jakab, *Quality Monitoring Of GPS Signals*, UCGE Reports, July 2001.
- [3] Phelts, R.E., Akos, D.M., Enge, P., "Robust Signal Quality Monitoring and Detection of Evil Waveforms," *Proceedings for the Institute of Navigation*, September 2000.
- [4] M. Luo, S.pullen, et al., "LAAS Ionosphere Spatial Gradient Threat Model and Impact of LGF and Airborne Monitoring", *Proceeding of ION GPS 2003*, pp 103-111, 2003
- [5] RTCA DO-245, *Minimum Aviation System Performance Standard for the Local Area Augmentation System*, 1998