

GPS 위성이상 분석 및 이상신호 모델링

고재영* · 한영훈* · 신미영* · † 조득재

*,† 한국해양과학기술원 선박해양플랜트연구소 해양안전기술연구부

요 약 : GPS는 항행, 측량, 지도제작, 시각동기 등 정확한 위치정보가 필요한 여러 분야에서 활용되고 있으며, 이에 대한 의존도는 점점 증가하고 있는 추세이다. 따라서 GPS 신호에 이상이 발생하는 경우 GPS를 기반으로 한 여러 시스템에서 혼란 및 막대한 경제적 손실이 발생할 것으로 예상된다. 이를 방지하기 위해 GPS 신호의 이상 감시를 위한 연구가 활발히 이루어지고 있는 추세이며, 이러한 연구 중에는 기존의 이상사례에 대해 분석하는 부분도 포함된다. GPS 신호 이상은 위성 고장, 태양폭풍에 의한 이온층의 급격한 변화, 항법메시지의 오류, 전자파 간섭 등 여러 요인에 의해 발생하게 된다. 본 논문에서는 위성 고장 사례 중 위성시계 이상, 위성궤도 이상과 이온층 폭풍에 의한 이상, 대류층 변화에 의한 이상에 대해 분석하고 이 때 고장으로 인해 발생한 이상신호에 대해 모델링을 수행한다. 기존의 이상사례에 대한 분석결과 및 모델링한 신호는 GPS 신호의 이상 감시 알고리즘을 개발 및 검증하기 위한 목적으로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

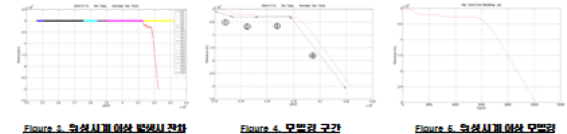
핵심용어 : GPS 신호이상, 이상신호 모델링, 위성시계 이상, 위성궤도 이상

연구배경

- GPS의 의존도 증가
 - 항행, 측량, 지도제작, 시각동기 등 여러 분야에서 활용
 - GPS 신호에 이상이 발생하는 경우 GPS를 기반으로 한 시스템에 혼란 및 막대한 경제적 손실 발생
 - GPS 신호 이상 감시를 위한 연구가 필요
- 기존의 이상사례 분석 및 모델링
 - GPS 신호 이상은 위성 고장, 항법메시지의 오류, 전자파 간섭, 태양폭풍에 의한 이온층의 급격한 변화 등 여러요인에 의해 발생
 - 위성 고장 사례 중 위성시계 이상, 위성궤도 이상에 대해 분석
 - 이온층 폭풍에 의한 이상, 대류층의 변화에 따른 이상에 대해 분석
 - 이상신호에 대해 모델링

위성시계 이상(1/2)

- 이상 분석
 - 2004.01.01 18:30 ~ 21:18분 발생(대전 기준국)
 - SVN23/PRN23의 위성시계 이상
 - L1 Band에 371MHz의 오차 발생
- 모델링
 - 모델링을 위해 이상현상이 발생한 구간 4등분
 - 표준편차는 모델식과 실제잔차의 차이가 2-시그마(95.45%)가 만족되도록 선택



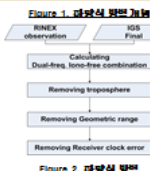
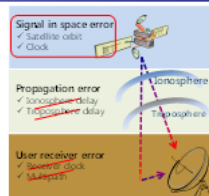
이상사례 분석 방법

- 하향식 방법
 - 의사거리에서 위성궤도, 위성시계에 대한 오차를 제외한 모든 오차 제거

$$PR_i = \|X_i - x_{rcp}\| + c(b_i - b_{rcp}) + I + T + v + \epsilon$$

$$Error = PR_i - \|X_i - x_{rcp}\| - \{c(b_i - b_{rcp}) + I + T\}$$

X_i , satellite position
 x_{rcp} , receiver position of the reference station
 c , speed of light
 b_i , satellite clock error → From the RINEX navigation file
 I , ionosphere delay → Using dual frequencies
 T , troposphere delay → Using the Hopfield model
 M , multipath error
 v , receiver noise
 b_{rcp} , receiver clock error



$$\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \frac{PR_i - \|X_i - x_{rcp}\| - \{c(b_i - b_{rcp}) + I + T\}}{N-1}$$

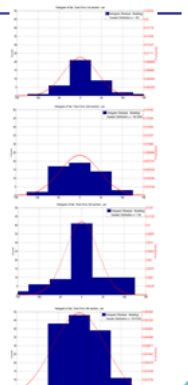
위성시계 이상(1/2)

Table 1. 위성시계 오차분석(kor)

Epoch	Model Eq.	Std
1~1350	$[-1.2753 \times 10^{-9}t^2 + 8.7822 \times 10^{-9}t + 1.0289 \times 10^6] + [-9.4921 \times 10^{-7}t - 4.912 \times 10^{-6}t^2 + 0.1227t - 14.8818] + 88.9154/\sqrt{t}$	40
1351~3000	$[8.7821 \times 10^{-9}t^2 + 4.9621 \times 10^{-9}t + 9.0038 \times 10^6] + [-7.4959 \times 10^{-7}t + 0.0289t - 5.6440] + 20240/\sqrt{t}$	46.4340
3001~5400	$[-1.5477 \times 10^{-9}t^2 + 8.9772 \times 10^{-9}t + 0.9486 \times 10^6]$	38
5401~10110	$[1.0283 \times 10^{-9}t^2 + 3.793 \times 10^{-9}t + 2.3138 \times 10^6] + [-1.2206 \times 10^{-7}t + 3.7705 \times 10^{-6}t + 8.8781 \times 10^{-6}t + 7.1571 \times 10^{-6}t + 3.6781 \times 10^6] + 0.0147t - 2.3958 + 23780/\sqrt{t}$	63.6124

Table 2. 위성시계 오차분석(jco)

Epoch	Model Eq.	Std
1~1350	$[1.2753 \times 10^{-9}t^2 + 8.7822 \times 10^{-9}t + 1.0289 \times 10^6] + [-9.4921 \times 10^{-7}t - 4.912 \times 10^{-6}t^2 + 0.1227t - 14.8818] + 88.9154/\sqrt{t}$	40
1351~3000	$[8.7821 \times 10^{-9}t^2 + 4.9621 \times 10^{-9}t + 9.0038 \times 10^6] + [-7.3758 \times 10^{-7}t + 0.0289t + 5.6622] + 20178/\sqrt{t}$	46.4340
3001~5400	$[1.5477 \times 10^{-9}t^2 + 8.9772 \times 10^{-9}t + 0.9486 \times 10^6]$	38
5401~10110	$[1.0283 \times 10^{-9}t^2 + 3.793 \times 10^{-9}t + 2.3138 \times 10^6] + [-1.2206 \times 10^{-7}t + 3.7705 \times 10^{-6}t + 8.8781 \times 10^{-6}t + 7.1571 \times 10^{-6}t + 3.6781 \times 10^6] + 0.0147t - 2.3958 + 23780/\sqrt{t}$	63.6124



† 교신저자 djcho@kordi.re.k

위성계도 이상

- 이상 분석
 - 2007.02.08 20:40 ~ 23:45분 발생(캐나다 헬리팩스)
 - SVN40/PRN10의 위성계도 이상
 - Ephemeris의 궤도 파라미터 이상
- 모델링
 - 표준편차는 모델식과 실제잔차의 차이가 2-시그마(95.45%)가 만족되도록 선택

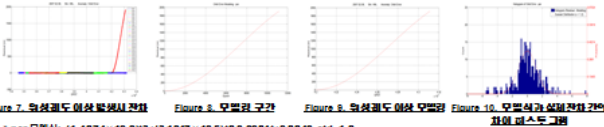


Figure 7. 위성계도 이상 발생시 잔차 Figure 8. 모델링 구간 Figure 9. 위성계도 이상 모델링 Figure 10. 모델식과 실제잔차간의 자료 분포도 그래프

* par 모델식: $(-1.4274 \times 10^{-9})x^3 + (3.1947 \times 10^{-5})x^2 + 0.00841x + 0.2240$, std. 1.2
 * adr 모델식: $(-1.426 \times 10^{-9})x^3 + (3.1977 \times 10^{-5})x^2 - 0.00871x + 0.2312$, std. 1.2

7



결론 및 추후과제

- 본 논문에서는 기존에 발생한 이상사례에 대한 분석 수행
- 분석 결과를 바탕으로 각 사례에 대해 모델링 수행
- GPS 신호 이상 감시 알고리즘 검증에 모델링된 신호 활용 가능할 것으로 기대
- 추후에 실신호에 모델링된 신호를 인가하는 이상재현 시뮬레이터 개발

10



이온층 폭풍에 의한 이상

- 이상분석 방법
 - IGS TEC grid map 이용
 - 이온층 폭풍이 없었던 날(2011.01.01~2011.01.31)의 평균값과 이온층 폭풍의 영향이 있었던 날의 TEC 값 차이 분석
- 이상분석 및 모델링
 - 2011.02.18일 발생
 - X급 태양폭풍에 의한 이온층 폭풍

모델식: $(-1.9034 \times 10^{-5})x^2 + (1.0055 \times 10^{-4})x + 10.47$
 $(-3.0781 \times 10^{-3})x^3 + (2.5790 \times 10^{-3})x^2 + (1.4193 \times 10^{-2})x + 7$
 $(-5.1575 \times 10^{-2})x^4 + (1.2107 \times 10^{-1})x^3 + (1.7352 \times 10^{-1})x^2 + (1.3539 \times 10^{-1})x + 4.7085$
 $(-10^{-7})x^5 + (3.9632 \times 10^{-4})x + 5.1287$

Table 9. IGS TEC grid map 분석결과

시간	00:00	02:00	04:00	06:00	08:00	10:00	12:00
2011.02.18 TEC	16.6666	22.6617	22.1610	20.0040	16.7661	11.6606	8.6671
2011.01.01 - 2011.01.31 TEC 평균값	8.6618	16.6672	16.1609	12.0122	8.6606	7.6197	7.6218
시간	14:00	16:00	18:00	20:00	22:00	24:00	-
2011.02.18 TEC	8.6112	8.6606	8.6761	8.6000	8.0104	10.6664	-
2011.01.01 - 2011.01.31 TEC 평균값	7.6690	8.6620	7.6617	8.6106	8.1676	10.6667	-

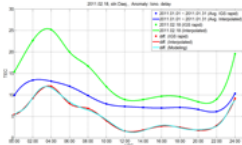


Figure 11. 2011.01.01 ~ 2011.01.31, 2011.02.18 TEC 값 및 모델링

8



후 기

본 연구는 국토교통부 교통체계효율화사업의 연구비 지원(O6-A03)에 의해 수행되었습니다.

대류층 변화에 의한 이상

- 이상분석 방법
 - 기상청 지역별상세관측자료(AWS) 데이터 이용
 - 맑은 날(2012.08.09)과 태풍이 지나간 날의 기압, 습도, 온도 차이에 대해 분석
- 이상분석 및 모델링
 - 2012.08.29 발생
 - 태풍 볼라벤에 의한 대류층 변화

온도 모델식: $(-5.0842 \times 10^{-8})x^4 + (1.3487 \times 10^{-7})x^3 + (1.9748 \times 10^{-6})x^2 + (2.0228 \times 10^{-5})x + 15$
 $(-2.0288 \times 10^{-6})x^4 + (1.1511 \times 10^{-5})x^3 + (1.3483 \times 10^{-4})x^2 + (0.001781 \times 10^{-2})x + 10.2271$
 $(1.1888 \times 10^{-2})x^3 + (1.7788 \times 10^{-3})x^2 + (1.2224 \times 10^{-2})x + (0.2881 \times 10^{-2})x + 10.2247$
 $(1.7888 \times 10^{-7})x^4 + (8.8871 \times 10^{-7})x^3 + (5.1752 \times 10^{-6})x^2 + (5.1276 \times 10^{-5})x + 10.6103$
 $(1.2077 \times 10^{-5})x^2 + (2.0781 \times 10^{-5})x + 10.2015$
 $(1.1041 \times 10^{-7})x^4 + (1.1081 \times 10^{-6})x^3 + (1.0388 \times 10^{-5})x^2 + (1.0388 \times 10^{-5})x + 10.2271$
 $(-5.2974 \times 10^{-2})x^3 + (1.2588 \times 10^{-2})x^2 + (1.3266 \times 10^{-2})x + (0.2794 \times 10^{-2})x + 10.2017$
 $(-1.821 \times 10^{-2})x^3 + (1.0298 \times 10^{-2})x^2 + (1.0298 \times 10^{-2})x + (1.1212 \times 10^{-2})x + 10.2017$
 $(-8.8277 \times 10^{-4})x^3 + (1.0194 \times 10^{-3})x^2 + (1.0194 \times 10^{-3})x + 10.2015$
 기압 모델식: $(-1.0575 \times 10^{-28})x^4 + (1.7868 \times 10^{-28})x^3 + (1.8725 \times 10^{-28})x^2 + (1.3005 \times 10^{-28})x + 10.2016$
 $(-7.8426 \times 10^{-11})x^3 + (3.8773 \times 10^{-7})x^2 + (1.0194 \times 10^{-6})x + 10.2015$

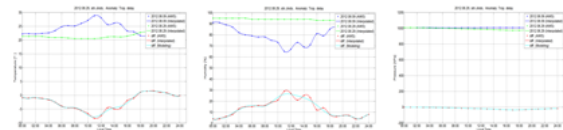


Figure 12. 2012.08.09, 2012.08.29 날씨 상세관측자료전도

9

