

Article

GNSS 전파교란 영향분석 시뮬레이터 구현 및 시험

주인원*, 신천식

Implementation and Test of Simulator
for Analyzing Effect of GNSS Jamming

Inone Joo* and Cheonsig Sin

ABSTRACT

As a dependency on Global Navigation Satellite System (GNSS) becomes increase in various applications, its reliability has been very important. However, in South Korea, Global Positioning System (GPS) jamming incident happened four times since 2010. GNSS signal is so weak that it is highly susceptible to all types of the jamming. GNSS jamming can cause serious damage in the safety-critical applications based on the GNSS. In this paper, we present the GNSS jamming signal propagation prediction simulator based on ITU-R P.1546 model. This simulator is developed for preventing or reducing the damage from the GNSS jamming attack by predicting the jamming propagation strength based on the geographical information in Korean peninsula.

KeyWords : GNSS(위성항법시스템), Jamming(전파교란), Simulator(시뮬레이터), Prediction(예측)

I. 서 론

GNSS(Global Navigation Satellite System)는 위성을 이용한 측위를 제공하는 위성항법시스템이다. 현재 운용중인 시스템으로, 대표적으로 미국의 GPS(Global Positioning System)가 있고, 러시아 Glonass(GLObal NAVigation Satellite System), 중국의 BDS(BeiDou Navigation Satellite System)가 있다. GNSS는 실생활과 밀접한 스마트폰, 차량 내비게이션뿐만 아니라, 측지/측량분야, 긴급 구조분야, 항공, 해상, 철도, 고속도로 등에서 활용되고 있고, 이동통신망, 전력망 및 금융망의 시각동기에 사용되므로 국가적으로 볼 때 매우 중요한 역할을 담당하고 있다[1].

Received : 22. July. 2016. Revised : 10. Dec. 2016.

Accepted : 23. Dec. 2016

* 한국전자통신연구원 위성항법.레이다연구실

연락처자 E-mail : inone@etri.re.kr

대전시 유성구 가정로 138

GNSS 신호는 CDMA (Code Division Multiple Access) 방식을 사용하므로 확산이득만큼 전파교란신호에 강인한 특성을 갖지만, 확산이득을 초과하는 강한 교란신호에 대해서는 전파 교란이 될 수밖에 없다. 특히 우리나라의 경우, 남북관계의 특수성으로 인해 북한으로부터 GPS 전파교란 사건이 여러 차례 발생하였다. 다음 표는 2010년~2016년 동안 북한의 4차에 걸친 GPS 전파 교란으로 인한 피해 현황을 보여준다[2][3].

Table 1. GPS jamming Status in Korea

구분	1차 '10.8.23-26 (4일간)	2차 '11.3.4-14 (11일간)	3차 '12.4.28-5.13 (16일간)	4차 '16.3.31-4.5 (6일간)
통신	기지국 181국	기지국 145국	영향없음	기지국 1,794국
항공	15대	106대	1,016대	1,007대
해양	1척	10척	254척	715척
영향 지역	서해안 일부	수도권 서북부	수도권 서북부	인천경기 강원 일부

이처럼, GNSS 전파교란은 이동통신 장애 및 어선의 조업 중단 사태 등 국민 실생활과 밀접한 분야의 피해를 줄 뿐만 아니라, 특히 항공분야의 경우, 인천공항과 김포공항에서 뜨고 내리는 민간항공기가 하루 1천편이 넘는 상황에서 국제민간 항공기 안전에 중대한 위해요소이다. 따라서, GNSS 전파교란에 따른 피해를 예방하거나 최소화하기 위하여 GNSS 전파교란 신호세기를 예측하고, GNSS 수신기들의 장애 영향을 분석할 수 있는 시뮬레이터의 개발이 필요하다.

본 논문은 ITU-R P.1546 전파모델을 이용하여 GNSS 전파교란신호의 세기를 예측하고 GNSS 수신기들의 영향을 분석할 수 있는 시뮬레이터의 구현 및 시험 결과를 보여준다[4]. ITU-R P.1546 전파예측 모델[5]은 30~3,000MHz 주파수 대역 및 1~1,000Km 거리에서 지상파 전파를 예측하는데 사용되는 모델이다. 따라서, ITU-R P.1546 모델은 GNSS 주파수 대역을 포함하고 있고, 전파교란은 일반적으로 지상파 형태로 발생되므로 전파교란신호를 예측하는데 적합한 모델로 판단되어 사용되었다. 제안된 시뮬레이터는 설정된 영역의 지형고도 프로파일 정보를 제공하므로, 사용자는 LOS (Line of Sight) 기반으로 추정된 전파교란원의 위치를 지형고도 분석결과를 이용하여 보정하고 GNSS 교란신호의 영향을 다양하게 분석할 수 있다. 특히 항공기 안전운항을 방해하는 GNSS 전파교란 신호의 영향 범위를 파악 및 예측하므로 항공기의 안전운항을 위한 보조정보로서 활용될 수 있다.

II. 시뮬레이터 구현

1. ITU-R P.1546 전파 모델부

ITU-R P.1546 전파 모델은 특정 주파수(100, 600, 2000MHz), 거리(1~1000Km), 시간율(1,10, 50%), 및 송신안테나 높이(10~1200m)에 따른 전계강도값이 제시되고, 그 이외에 값은 보간법과 외삽법을 통해 전계강도를 산출한다. Fig.1은 ITU-R P.1546 전파모델의 송신 안테나 높이에 따른 전계강도 산출 흐름도를 보여준다[4][5]. 입력파라미터를 수신하여 송신안테나 높이, 최대 전계강도 및 각각의 공칭값을 산출하고, 거리함수의 전계강도 보간루프, 주파수 함수의 전계강도 보간루프 및 시간율 함수의 전계강도 보간루프를 통해 입력파라미터에 해당하는 전계강도가 산출된다.

Fig.2는 육상, GPS L1 중심주파수(1575.42 MHz), 시간율 1%인 조건에서 1kW 실효방사전력

송출시, 거리 및 송신안테나 높이에 따른 전계강도값을 도시한 것이다.

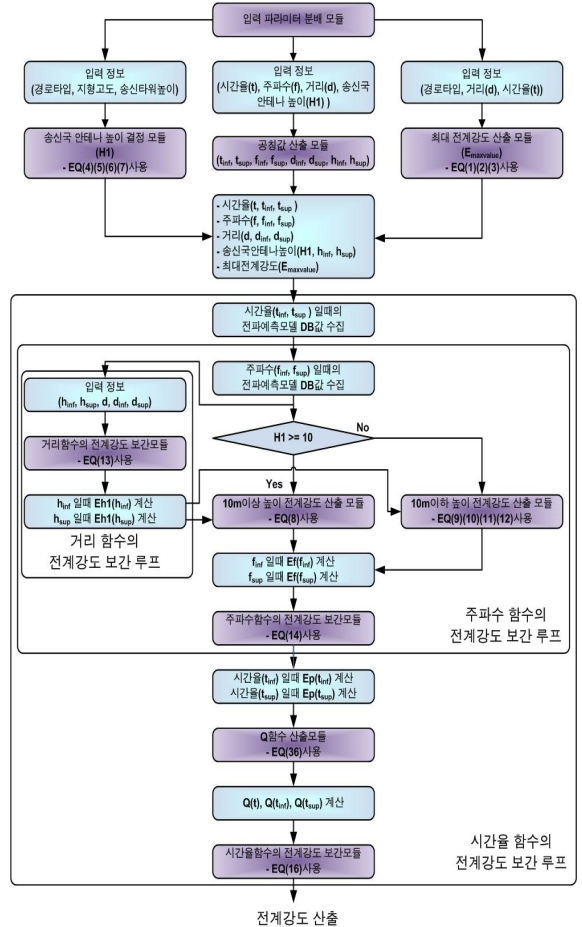


Fig.1 Flow Chart of ITU-R P.1546 Model

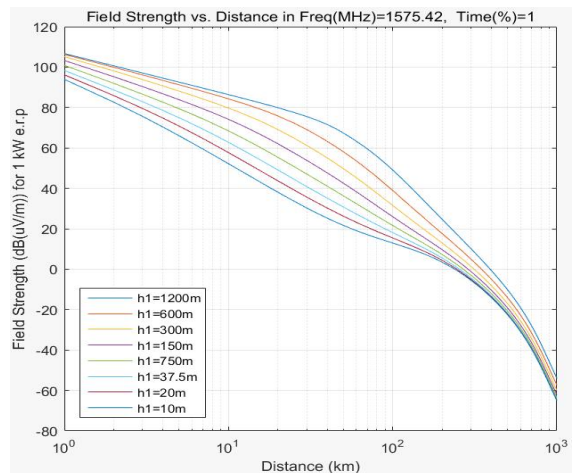


Fig.2 Field Strength vs. Distance

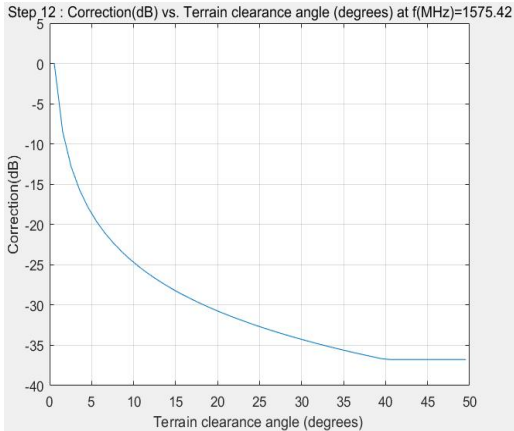


Fig.3 Correction(dB) vs. tca angle

송신출력기반으로 산출된 전계강도는 수신안테나 지점 주변의 지형정보 및 수신안테나에서 송신안테나 방향의 지형정보 등의 환경정보를 이용하여 손실값을 산출하여 보정하며, 주요 알고리즘은 다음과 같다.

- Step_12 : 수신안테나 지점에서 지형정보를 이용하여 송신안테나방향 (16Km까지)으로 LOS 조건을 만족시키는 각도(tca : terrain clearance angle)에 따른 보정
- Step_13 : 대류층 산란을 통한 전계강도 보정
- Step_14 : 수신안테나 주변의 대표적인 높이 (h2)에 따른 보정
- Step_15 : 단거리 도심/외곽 경로의 전계강도 보정

Fig.3는 step 12 보정 알고리즘 결과 예시로, GPS L1 중심주파수(1575.42 MHz)일 때 tca 각도에 따른 전계강도 보정 결과를 도시한 것이다.

2. 영향분석 결과 도시부

GNSS 전파교란 영향 분석 시뮬레이터는 각 지점에서 전파예측모델에 의해 산출된 전파교란 신호 세기를 사용자가 쉽게 인식할 수 있도록 색상 상에 의해 지도상에 도시하여 준다. Fig.4는 영향 분석 결과 도시부 구현과정을 보여준다. GNSS 전파교란원의 위치, 송출세기, 주파수 등을 설정한다. GNSS 전파교란 영향을 분석할 영역을 선택하면 선택영역의 고도정보가 추출된다. GNSS 전파교란원과 영역내의 각각의 포인트간에 고도 정보를 기반으로 ITU-R 전파예측모델을 적용하여 전계강도를 산출한다. 전계강도값은 신호세기 값으로 환산하여 적용될 수 있다.

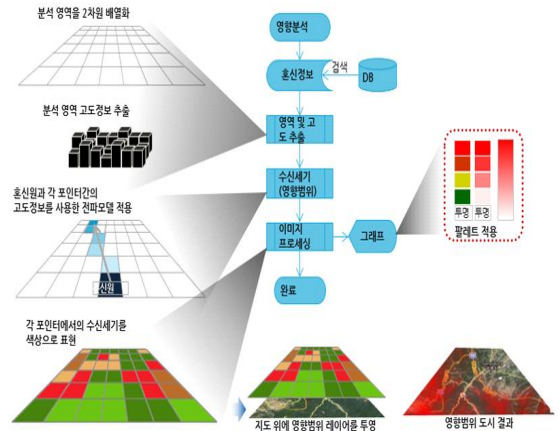


Fig.4 Implementation of Display Module

Table 2. GPS Receiver Characteristics by Jamming

재밍형태	중심주파수	신호획득단계	
		항법에 산출불가 시점의 재밍수신세기	항법에 임계오차 초과 시점의 재밍수신세기
Single Tone	1575.42 MHz	ex) -100dBm	ex) -90dBm
	1574.42 MHz	ex) -100dBm	ex) -90dBm
Multi Tone	1575.42 MHz	ex) -100dBm	ex) -90dBm
	1574.42 MHz		
	1575.42 MHz		
	1576.42 MHz		
Sweep	1571.42 MHz	ex) -100dBm	ex) -90dBm
	1579.42 MHz		
	5.1 us		
Pulse / Chirp	10 Hz	ex) -100dBm	ex) -90dBm
	1575.42 MHz		
	100 ms		
Narrow band	90%	ex) -100dBm	ex) -90dBm
	1575.42 MHz		
Wide band	1 MHz	ex) -100dBm	ex) -90dBm
	1575.42 MHz		
AWGN	10 MHz	ex) -100dBm	ex) -90dBm
	1575.42 MHz	ex) -100dBm	ex) -90dBm

전계강도 또는 수신세기 값의 범위에 해당하는 색상은 팔레트를 적용하여 다양하게 사용자가 설정할 수 있도록 구현된다. 최종적으로, 각각의 포인트의 전파교란신호의 수신세기 값은 색상으로 표현되고, 그 결과를 지도상에 투영하면, 선택한 영역에 대한 분석결과가 색상으로 도시된다.

3. 수신기 전파교란 특성 측정 결과

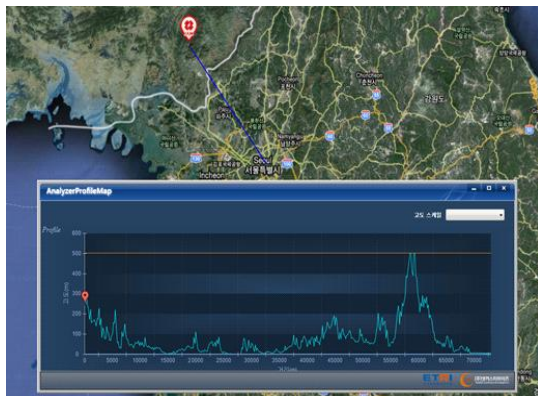
GNSS 전파교란 영향 분석 시뮬레이터는 전파교란에 의한 수신기의 장애 상태를 도시하는 기능을 제공한다. 이를 위해 특정 수신기의 다양한 전파교란 형태에 의한 영향 특성 결과를 사전에 측정한다. Table 2는 수신기 전파교란 특성 측정 결과 포맷의 예를 보여준다. Single/Multi Tone, Sweep, Pulse/Chirp, Narrow/Wide/AWGN 형태의 전파교란에 대하여 수신기의 동작상태가 신호획득단계 및 신호추적단계일 때 항법해 산출여부

및 임계오차 초과 여부를 시험하여 각 단계별 전파교란 수신세기를 측정한다. GNSS 전파교란 영향 분석 시뮬레이터는 수신기의 장애 상태를 결정하는 전파교란 수신세기와 시뮬레이션에 의한 교란신호 수신세기간의 비교를 통해 지도상에 수신기의 장애 상태를 도시한다.

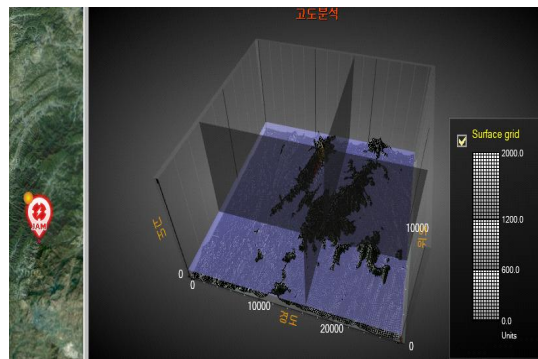
III. 시뮬레이터 시험

1. 지형 프로파일 분석

GNSS 전파교란 영향분석 시뮬레이터는 두 지점간의 지형 프로파일을 제공하므로, Fig.5(a)와 같이 전파교란원(빨간색 표시)과 영향 받는 지점간의 고도정보를 분석할 수 있다. 또한, Fig.5(b)와 같이 전파교란원 지점을 포함하여 주변의 고도정보를 분석할 수 있으므로 전파교란원의 위치를 다양하게 변경하면서 우리나라 영역에서 교란신호의 영향을 분석할 수 있다. 예를 들면, GNSS 전파교란 감시시스템에서 LOS(Line of Sight) 기반으로 추정된 전파교란원 위치가 주변의



(a) Point to Point Terrain



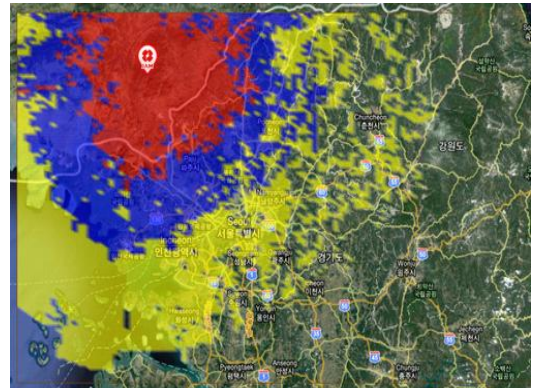
(b) Analysis of Estimated Jammer Location

Fig.5 Geographical Height Analysis

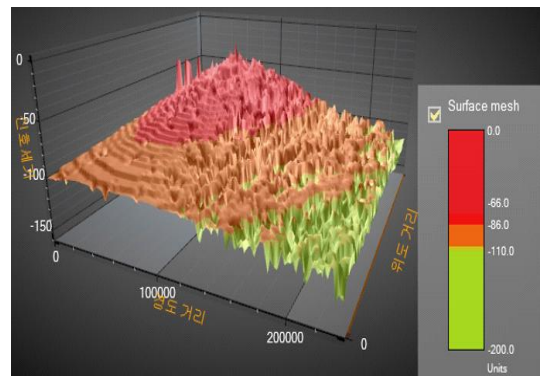
고도가 높은 지형에 둘러 싸여 있는 상식적으로 교란발생 지점으로 납득하기 어려운 고도가 낮은 지형일 수 있다. 이런 경우, 사용자는 주변의 고도가 높은 현실적으로 교란발생 가능한 지점들로 변경하여 교란신호의 영향을 분석한다.

2. 전파교란 신호 영향 분석

Fig.6은 GPS 전파교란이 빈번하게 발생하는 수도권과 비교적 인접한 북한 개성주변에서 GPS L1 중심주파수로 Tone형태의 1kW 송출신호를 설정하고 전파교란신호 영향을 분석한 결과를 보여준다. Fig.6 (a)는 전파교란신호의 세기를 지도상에 색상으로 도시한 것으로 빨간색-파란색-노란색 순으로 신호의 강도를 파악할 수 있다. 사용자는 교란신호의 수신세기 값의 범위에 해당하는 색상을 다양하게 설정할 수 있다. Fig.6 (b)는 신호의 수신세기를 색상과 함께 높낮음으로 도시하여 사용자가 보다 입체적으로 교란신호의 영향을 분석할 수 있다. 그림 상에서 x-y축은 지도의 경도-위도에 해당하며, z축은 신호의 수신세기에 해당된다.



(a) 2 Dimension Analysis



(b) 3 Dimension Analysis

Fig.6 Propagation Analysis of GPS Jamming

Fig.7은 시뮬레이션에 의한 교란신호의 수신세기과 사전에 측정된 GNSS 수신기의 장애 상태를 결정하는 전파교란 수신세기 임계값간의 비교를 통해 수신기의 장애 상태를 지도상에 도시한 결과를 보여준다.

3. Longley-Rice 모델과 비교 분석

GNSS 전파교란 영향분석 시뮬레이터에서 추정된 신호세기가 실제 측정된 신호세기와 어느 정도 오차가 있는지 분석할 필요가 있다. 하지만, GNSS 전파교란 신호는 불법신호이므로 송출하여 실제 시험하기에는 불가능하다. 한편, 실제 GNSS 전파교란이 장시간 발생하면 다양한 지점에서 실측할 수 있지만, 이 방법은 많은 시간 및 인력이 필요하며, GNSS 전파교란원의 위치 및 송출세기를 정확하게 모르기 때문에 한계가 있다. 따라서 ITU-R P.1546 모델과 더불어 미국에서 전파예측모델로 많이 사용되는 Longley-Rice 모델을 이용하여 간접적으로 예측된 수신세기 결과를 비교하였다. Fig.8에서 확인할 수 있듯이 보라색 선상의 동일 지점에서 두 모델의 색상이 유사하며, 이를 통해 본 시뮬레이터에서 예측된 수신세기 결과를 간접적으로 검증하였다.

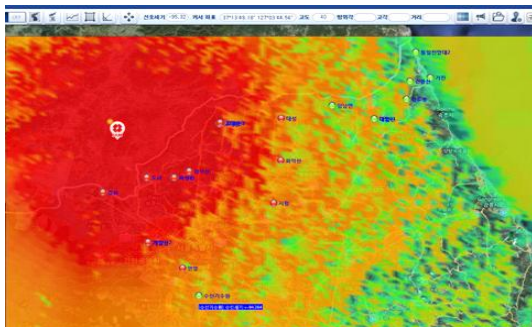


Fig.7 Effect of Receiver by GPS Jamming

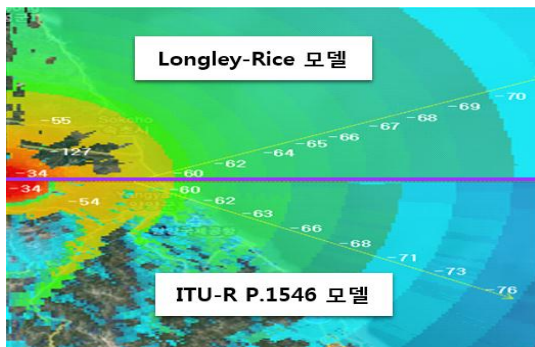


Fig.8 Comparison between ITU-R P.1546 and Longley-Rice Model

V. 결 론

GNSS 위성항법시스템은 실생활과 밀접하게 활용되고 있으며, 특히 이동통신망, 항공 및 선박 등에 활용되므로 국민 안전 및 국가 안보에 위협적일 수 있다. 본 논문은 지상파 서비스 전파예측을 위해 ITU에서 권장하는 모델인 ITU-R P.1546 전파모델을 이용하여 GNSS 전파교란신호의 영향을 분석할 수 있는 시뮬레이터의 구현 및 시험 결과를 제시하였다. 제안된 시뮬레이터는 추정된 전파교란원의 위치를 다양한 위치로 변경하면서 우리나라에 미치는 교란신호의 영향을 입체적으로 분석할 수 있고, 항법수신기들의 장애 발생 가능범위를 다양하게 예측할 수 있다. 또한 GNSS 전파교란에 의한 수신기의 영향분석 및 예측 정보는 항공우항분야에서 GNSS 전파교란으로부터 안전한 운항에 기여할 것으로 판단된다.

후 기

본 연구는 미래창조과학부의 2014년 정보통신·방송(ICT) 연구개발사업[2014-044-052-001] 연구결과로 수행되었음.

Reference

- 1) Inone Joo, Cheonsig Sin, Sanguk Lee, et al, "Technical Trends of Monitoring GPS Jamming", Trend Analysis of Electronics and Telecommunication, vol 26, issue 4, 2011
- 2) Yonhapnews, Press Release, "Equipment Damage in Civil and Military by GPS Jamming of North Korea" 9, October, 2013
- 3) Ministry of Science, ICT and Future Planning, Press Release, "GPS Jamming Status", 2016.
- 4) Inone Joo, Cheonsig Sin and Jaehoon Kim, "GPS Jamming Propagation Prediction Simulator using ITU-R P.1546 Model", Korea Satellite Information & Telecommunication Conference, vol 1. 2015.
- 5) ITU-R P.1546-3, Method for point-to-area predictions for terrestrial services in the frequency range 30 MHz to 3000 MHz.
- 6) Young-Heung Kang et al, "Comparison of propagation models based on DIV field strength measurement in urban environment", Journal of The Korea Navigation Institute, vol 17, issue 5, 2013, 484p-490p.