

근접한 두 GPS 수신기의 의사거리 차 분석

김 하 송*, 김 선 용°

A Study on Pseudo-Range Difference between Adjacent GPS Receivers

Hasong Kim*, Sun Yong Kim°

요 약

의사거리는 GPS 수신기의 위치를 결정하기 위한 오차를 포함해 측정된 GPS 위성과 수신기 사이의 거리이다. 재방송 재밍기는 GPS 수신기에 가까이 있을 때 효과적으로 동작한다. 본 논문에서는 재방송 재밍의 원리를 효과적으로 이해하기 위해 근접한 GPS 수신기의 의사거리 차를 분석한다.

Key Words : GPS, Repeat-Back Jamming, Meaconing, Pseudo-range

ABSTRACT

Pseudorange is the pseudo distance between a GPS satellite and a GPS receiver to determine the receiver's position. The closer the distance between jammer and victim receiver is, the more effective a repeat-back jamming is. In this letter, we analyze the pseudorange difference between adjacent GPS receivers using real GPS pseudorange data to understand the effects by the repeat-back jamming.

I. 서 론

GPS (global positioning system) 신호가 재밍에 취약한 이유는 지상으로부터 약 20,000 km 상공에서 공전하는 GPS 위성에서 송신하는 신호가 지상에서는 상당히 미약하게 수신되고, 민간용 수신신호인 GPS L1 C/A(coarse/acquisition) 신호의 구조가 완벽히 공

개되어 있기 때문이다. 약간의 전자회로와 관련된 지식만 갖추면 누구나 GPS 신호에 대한 재밍 신호를 발생시킬 수 있으며, 인터넷 상거래를 통해 저렴한 가격으로 단순 재밍기를 쉽게 구입할 수 있다. GPS에 대한 의도적 전파방해인 재밍은 단순 재밍, 재방송 재밍, 기만 재밍으로 구분된다¹⁾. 본 논문에서는 발생 가능성이 비교적 높고, 피해 정도가 단순 재밍보다 큰 재방송 재밍에 초점을 맞춘다.

GPS 수신기로 직접 수신되는 GPS 위성신호와 재방송되는 GPS 위성신호 사이의 차이를 대표할 수 있는 값 가운데 하나는 모든 GPS 수신기가 위치와 속도를 도출하기 위해 측정하는 의사거리(pseudo-range)이다²⁾. 본 논문에서는 재방송 재밍의 원리를 체계적으로 이해할 수 있는 요소 가운데 하나인 근접한 두 GPS 수신기의 의사거리를 실제 실험 데이터를 활용해 분석한다.

II. 재방송 재밍 모형과 의사거리

본 논문에서는 간결한 수식표현을 위해 다중경로 신호는 없다고 가정한다. 재방송 재밍 신호의 경우 GPS 신호와 같은 DS/SS (direct sequence/spread spectrum) 신호를 사용하기 때문에 수신기로부터 한 칩(chip) 이상 떨어진 거리에서 재방송 재밍 신호가 송신되는 경우 역확산을 통해 서로가 구분된다. 일반적인 DS/SS 체계를 통신 물리계층으로 사용하는 이동통신시스템에서는 이 신호들을 유용하게 활용할 수 있는 RAKE 수신기가 제안된 바 있다. 'RAKE'란 용어는 '서로 한 칩 이상 떨어진 DS/SS 신호의 상관 값은 서로를 분명히 구별할 수 있기 때문에 각 지연을 명확히 추정할 수 있고, 이를 이용해 신호 전력을 바닥에 떨어진 낙엽을 갈퀴로 그러모으듯이 신호 전력을 모아 신호 대 잡음비를 개선할 수 있다.'는 의미로 사용되었다. 단일 재방송 재밍환경에서 수신신호 모형은 다음과 같다.

$$r(t) = s(t) + j(t) + n(t) \tag{1}$$

여기서, $s(t)$ 는 구체적으로 식 (2)와 같은 GPS L1 C/A 신호, $j(t)$ 는 식 (3)과 같은 재방송 재밍 신호, $n(t)$ 는 평균 0, 분산 $N_0/2$ 인 가산성 정규잡음신호이다.

* 본 논문은 2016학년도 건국대학교의 연구년교원 지원에 의하여 연구되었음

• First Author : Konkuk University Department of Electronics Engineering, marie8513@konkuk.ac.kr, 학생회원

° Corresponding Author : Konkuk University Department of Electronics Engineering, kimsy@konkuk.ac.kr, 종신회원

논문번호 : KICS2016-11-337, Received November 2, 2016; Revised December 6, 2016; Accepted December 6, 2016

$$s(t) = \sum_{k=1}^K a_k p_k(t - \tau_k) e^{-j\theta_k} \quad (2)$$

여기서, K 는 수신기에서 수신된 가지 GPS 위성 수, a_k , τ_k , 그리고 θ_k 는 각각 k 째 GPS 위성의 수신 진폭, 시간 지연(delay), 그리고 위상천이(phase shift)이다.

$$j(t) = a_j \cdot s'(t) \delta(t - \tau_j) e^{-j\theta_j} + a_j n_j(t) \quad (3)$$

여기서 a_j , τ_j , 그리고 θ_j 는 각각 재방송 재밍기에 의한 재방송 재밍신호의 진폭, 전파지연, 그리고 위상천이, $s'(t)$ 는 식 (4)와 같은 재방송 재밍기에서 수신한 가지 GPS 위성 신호, $\delta(t)$ 는 단위 임펄스 함수, $n_j(t)$ 는 재방송 재밍기에서 수신한 가산성 정규잡음 신호이다. 식 (3)처럼 재방송 재밍 신호의 경우 단순히 재방송 재밍기에서 수신한 GPS 신호만 재방사하는 것이 아니라 재방송 재밍기에서 수신한 가산성 정규잡음신호도 함께 재방사한다.

$$s'(t) = \sum_{l=1}^L a'_l p_l(t - \tau'_l) e^{-j\theta'_l} \quad (4)$$

여기서, L 은 재방송 재밍기에서 수신된 가지 GPS 위성 수, a'_l , τ'_l , 그리고 θ'_l 는 각각 l 째 GPS 위성의 수신 진폭, 시간 지연(delay), 그리고 위상천이(phase shift)이다.

GPS 수신기로 직접 수신되는 GPS 위성신호와 재방송되는 GPS 위성신호 사이의 차이를 대표할 수 있는 값 가운데 하나는 모든 GPS 수신기가 측위해를 도출하기 위해 측정하는 의사거리이다.

그림 1처럼 지표면에 있는 GPS 수신기를 사용하는 사용자의 위치는 ECEF (Earth centered Earth fixed)

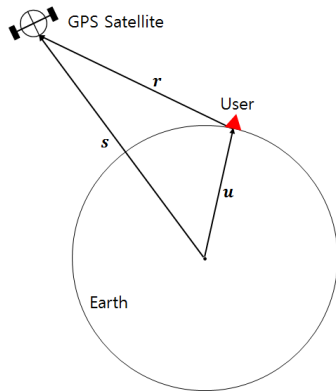


그림 1. 사용자 위치의 벡터 표현 [2]
Fig. 1. User position vector representation [2]

직교좌표계로 표현한 사용자 위치의 벡터 u 로 표현할 수 있다. 그림 1에서 벡터 s 는 ECEF 직교좌표계에서 GPS 위성의 위치벡터, 벡터 r 은 식 (5)와 같은 GPS 위성과 사용자의 벡터차이다.

$$r = s - u \quad (5)$$

식 (5)의 크기는 GPS 위성과 사용자의 기하학적 거리이며, 이는 다음과 같이 다시 쓸 수 있다.

$$r = \|s - u\| \quad (6)$$

GPS 신호를 수신기에서 수신해 얻은 거리는 이 오차요소를 고려해 의사거리로 정의하며, 이는 다음처럼 다시 쓸 수 있다.

$$\rho = r + c(t_u - \delta t) \quad (8)$$

여기서, c 는 광속, t_u 는 GPS 수신기의 시각이다. GPS 시스템 시간과 GPS 위성에 탑재된 원자시계 사이에 미세한 시간 오차 δt 는 GPS 지상국에서 수시로 측정해 이를 보정할 수 있는 값을 GPS 항법 메시지에 포함해 송신한다. 따라서 항법 메시지를 해석한 GPS 수신기는 δt 를 쉽게 보정할 수 있다. 이를 고려해 GPS 위성과 사용자의 기하학적 거리 r 은 다음과 같이 다시 쓸 수 있다^[2].

$$r = \rho - ct_u \quad (9)$$

의사거리를 고려한 재방송 재밍 모형은 그림 2와 같다.

그림 2에서 ρ_k^u 는 k 번 GPS 위성으로부터 사용자의 GPS 수신기까지의 의사거리, ρ_k^j 는 k 번 GPS 위성으로부터 GPS 재방송 재밍기까지의 의사거리, ρ_j^u 는 GPS 재방송 재밍기와 사용자의 GPS 수신기까지의

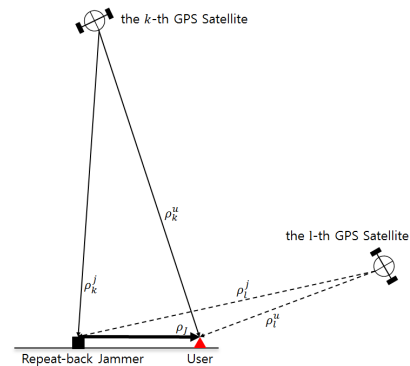


그림 2. 의사거리를 고려한 재방송 재밍 모형
Fig. 2. Repeat-back jamming model based on pseudo-range

의사거리이다. 일반적인 GPS 수신기는 의사거리로부터 수신기의 위치해를 얻기 위해 가중최소자승 (weighted least square) 방법 등을 활용하며, GPS 수신기가 재방송 재밍 영향을 완벽히 받은 경우 ρ_p 가 차분되어 사라져 GPS 수신기의 위치를 재방송 재밍기의 위치로 특정 한다.

III. 실험 및 분석

본 논문에서는 재방송 재밍 신호에 의한 영향을 구체적으로 확인하기 위해 근접한 2개의 GPS 수신기의 실제 수신 데이터를 바탕으로 의사거리 경향을 분석한다. 두 GPS 수신기의 거리차에 따른 수신된 의사거리의 경향을 분석하기 위해 그림 3과 같은 장소에서 실험을 진행하였다.

실험은 ⊕로 표시한 기준위치를 포함한 실험위치 A - C에서 수신되는 GPS 신호를 저장하기 위해 RaceLogic사의 LabSat3를 사용했으며, 저장된 신호 분석을 위해 IFEN사의 SX-NSR GPS 소프트웨어 수신기를 사용했다. 실험위치 A - C는 기준위치에서 직선거리로 50m씩 떨어져 있다. 추후 후처리를 위해 잡음 요소를 고려하기 위해 각 위치 쌍에서 같은 시간에 5분 간격으로 10회씩 GPS 신호를 저장했다. 실험 시간에 실험장소에서 측정된 가시 GPS 위성의 천구도(sky plot)는 그림 4와 같고, 각 GPS 위성의 위치는 표 1과 같다. 기준위치와 실험위치 쌍의 각 GPS 위성별 평균 의사거리 차는 표 2와 같다.

표 2처럼 두 GPS 수신기의 평균 의사거리 차는 고도각이 큰 경우 작으며, 기준위치와 실험위치의 거리가 먼 경우 평균 의사거리차도 크다. 이는 표 2에서 (기울임체로 표현한) 고도각이 낮은 경우 지상의 거리 차에 의사거리의 변위가 크기 때문이다.

GPS 위성이 천정에 가까이 위치하는 경우 기준위치와 실험위치의 거리에 따른 평균 의사거리 차는 거의 없다. 따라서 재방송 재밍에 따른 영향을 최소화하

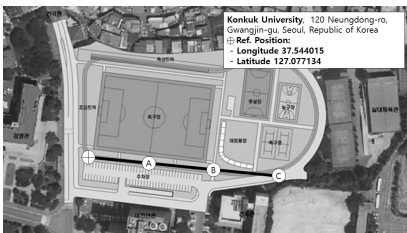


그림 3. 실험장소
Fig. 3. Test spot

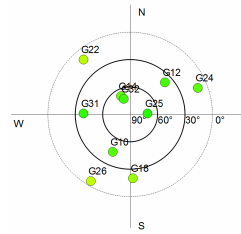


그림 4. 가시 GPS 위성의 천구도
Fig. 4. Sky plot of the visible GPS satellites

표 1. 각 GPS 위성별 위치
Table 1. Position of the GPS satellites

SV #	Elevation [deg]	Azimuth [deg]
10	44.20	204.79
12	37.16	47.44
14	66.88	333.96
18	19.32	176.86
22	10.33	319.41
24	9.97	68.49
25	70.06	86.46
26	4.61	210.36
31	38.82	271.71
32	71.38	336.74

표 2. 기준위치와 실험위치 쌍의 각 GPS 위성별 평균 의사거리차
Table 2. Difference between reference and test points according to GPS satellite vehicles (SVs)

SV #	$\Delta\rho(ref,A)$	$\Delta\rho(ref,B)$	$\Delta\rho(ref,C)$
10	1265.5 m	2326.7 m	3829.1 m
12	1432.6 m	3021.6 m	4426.8 m
14	1104.2 m	1217.2 m	1606.0 m
18	1231.7 m	2723.3 m	5327.3 m
22	2301.0 m	4862.2 m	6672.1 m
24	1613.9 m	3126.5 m	7321.6 m
25	1407.2 m	1651.3 m	1542.2 m
26	2002.6 m	3996.2 m	8601.2 m
31	1031.2 m	2723.6 m	3102.6 m
32	1103.6 m	1327.5 m	1252.3 m

기 위해서는 고도각이 높은 신호를 선택해 통합 의사잡음신호를 생성해 활용하면 재방송 재밍 검출 확률을 높일 수 있다.

본 논문에서는 재방송 재밍의 원리를 체계적으로 이해할 수 있는 요소 가운데 하나인 근접한 두 GPS 수신기의 의사거리를 분석하였다. 추후에는 재방송 재밍기를 사용했을 때의 영향을 함께 분석해 통합 의사잡음 신호의 실효성을 평가할 예정이다.

References

- [1] F. Dovis, *GNSS Interference Threats and Countermeasures*, Artech House, Norwood, MA, 2015.
- [2] E. D. Kaplan and C. J. Hegarty, *Understanding GPS Principles and Applications*, 2nd Ed., Artech House, Norwood, MA, 2006.
- [3] I.-S. Lee, S.-J. Oh, and J.-H. Han, "Narrow-band jamming signal cancellation algorithm for GPS receivers," *J. KICS*, vol. 41, no. 08, pp. 859-867, Aug. 2016.