

Region Defense Technique Using Multiple Satellite Navigation Spoofing Signals

Chi-Hun Lee¹, Seungho Choi¹, Young-Joong Lee¹, Sang Jeong Lee^{2†}

¹Agency for Defense Development, Daejeon 34186, Korea

²Department of Electronics Engineering, Chungnam National University, Daejeon 34134, Korea

ABSTRACT

The satellite navigation deception technology disturbs the navigation solution of the receiver by generating a deceptive signal simulating the actual satellite for the satellite navigation receiver mounted on the unmanned aerial vehicle, which is the target of deception. A single spoofing technique that creates a single deceptive position and velocity can be divided into a synchronized spoofing signal that matches the code delay, Doppler frequency, and navigation message with the real satellite and an unsynchronized spoofing signal that does not match. In order to generate a signal synchronized with a satellite signal, a very sophisticated and high precision signal generation technology is required. In addition, the current position and speed of the UAV equipped with the receiver must be accurately detected in real time. Considering the detection accuracy of the current radar technology that detects small UAVs, it is difficult to detect UAVs with an accuracy of less than one chip. In this paper, we assume the asynchrony of a single spoofing signal and propose a region defense technique using multiple spoofing signals.

Keywords: jamming, single spoofing, multi spoofing, synchronous spoofing, region deception

1. 서론

위성항법 방해 기술은 표적 (Spoofing target)이 되는 무인기에 탑재되어 있는 위성항법 수신기를 대상으로 실제 위성을 모사한 신호를 생성하여 수신기의 항법해를 교란시키는 것이다. 대상 수신기는 실제와 다른 허위 위치와 속도를 인식하도록 유도된다 (Lee et al. 2013, Dosis 2015).

고난이도 방해 신호는 실제 위성신호와 방해 신호를 같은 신호로 인식할 수 있도록 위성신호와 동기화 필요하다. 공간상에서 항법신호의 전파되는 특성을 고려하여 코드지연에 대한 시각 보상을 하고, 수신기와 위성과의 상대적인 운동을 고려한 도플러 천이를 반영하여 반송파를 설계한다. 또한 이온층 및 대류층

오차 값을 보상하고, 방해 신호가 자유 공간 상으로 전파되는 시간 지연 값을 고려하여 위성신호와 동기된 방해 신호를 생성한다 (Humphreys et al. 2008, 2010).

고난이도 방해 신호조차 반드시 방해 대상 무인기의 정확한 위치와 속도 정보를 실시간으로 반영할 때 동기성을 가질 수 있다 (Lee et al. 2016, 2019, Lee & Lee 2017). 무인기 탐지 장비를 이용해서 무인기의 위치와 속도 정보를 얻지만, 무인기 탐지장비는 자체적인 오차를 지닌다. 대표적인 무인기 탐지장비인 레이더는 탐지 추적오차가 있다. 탐지 레이더는 기본적으로 방위각과 고각 범위에서 분해능이 존재한다. 예를 들어 방위각에서 수 degree 분해능을 갖는 레이더는 분해능 각도 이내에 여러 개의 무인기가 있더라도 동일한 것으로 판단한다. 이러한 특성은 탐지 거리가 멀어질수록 오차가 증가하는 결과를 가져온다. 또한 레이더가 탐지한 정보를 방해장비로 전송할 때 시간지연 오차도 발생한다.

고가의 레이더와 같은 탐지 장비 없이 다시 말해 대상 위협의 위치와 속도 정보가 주어지지 않은 조건에서 방해가 가능한 기술은 경제성이 높은 방어 기술이 될 수 있다. 임의의 영역에서 비행하는 무인기를 총알 하나로 추락시키는 것은 매우 어려운 일이다. 방해 기술도 이와 마찬가지로. 하나의 위치와 속도를 가지는

Received Apr 22, 2022 Revised May 25, 2022 Accepted Jun 15, 2022

†Corresponding Author

E-mail: E-mail: eesjl@cnu.ac.kr

Tel: +82-42-825-3991 Fax: +82-42-823-5436

Chi-Hun Lee <https://orcid.org/0000-0002-3014-5118>

Seungho Choi <https://orcid.org/0000-0002-5038-1871>

Young-Joong Lee <https://orcid.org/0000-0003-3495-7014>

Sang Jeong Lee <https://orcid.org/0000-0002-9400-5157>

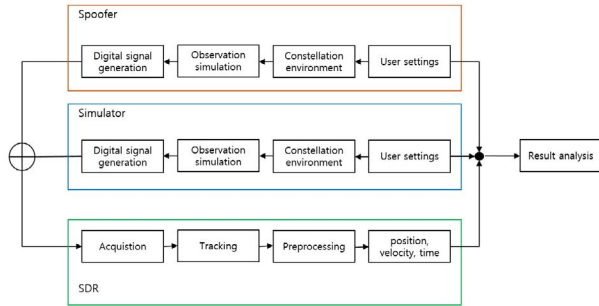


Fig. 1. Simulation environments.

Table 1. Commercial SDR receiver tracking loop parameters.

Tracking parameters	Values
Correlation spacing	0.25 chip
E-L spacing	0.5 chip
FLL order	2
FLL bandwidth	20 Hz
PLL order	3
PLL bandwidth	18 Hz
DLL order	3
DLL bandwidth	10 Hz

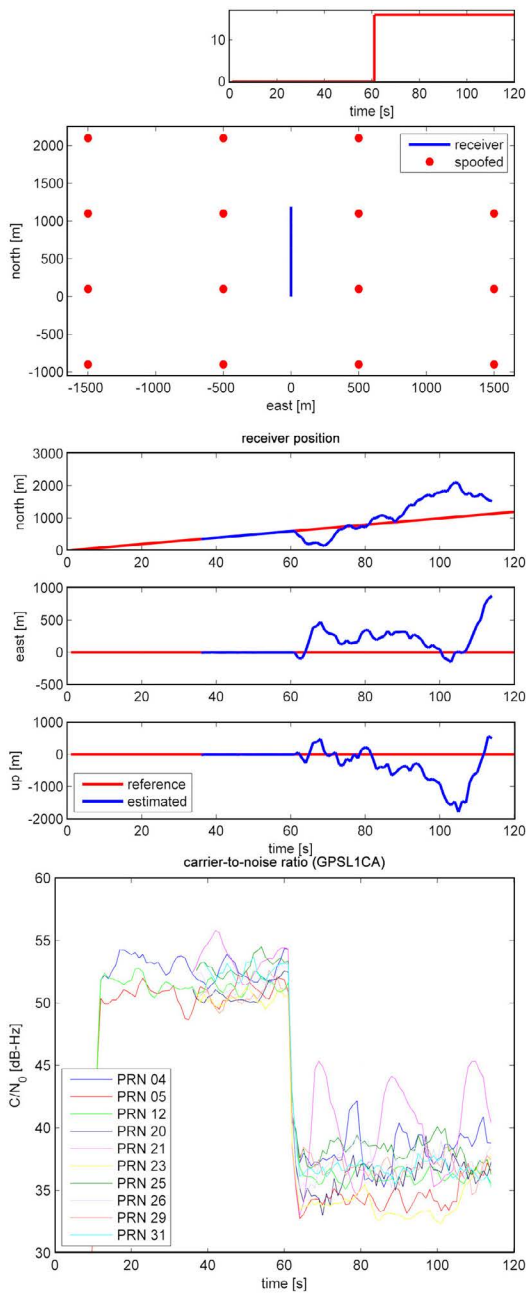


Fig. 2. Multiple static spoofing simulation results.

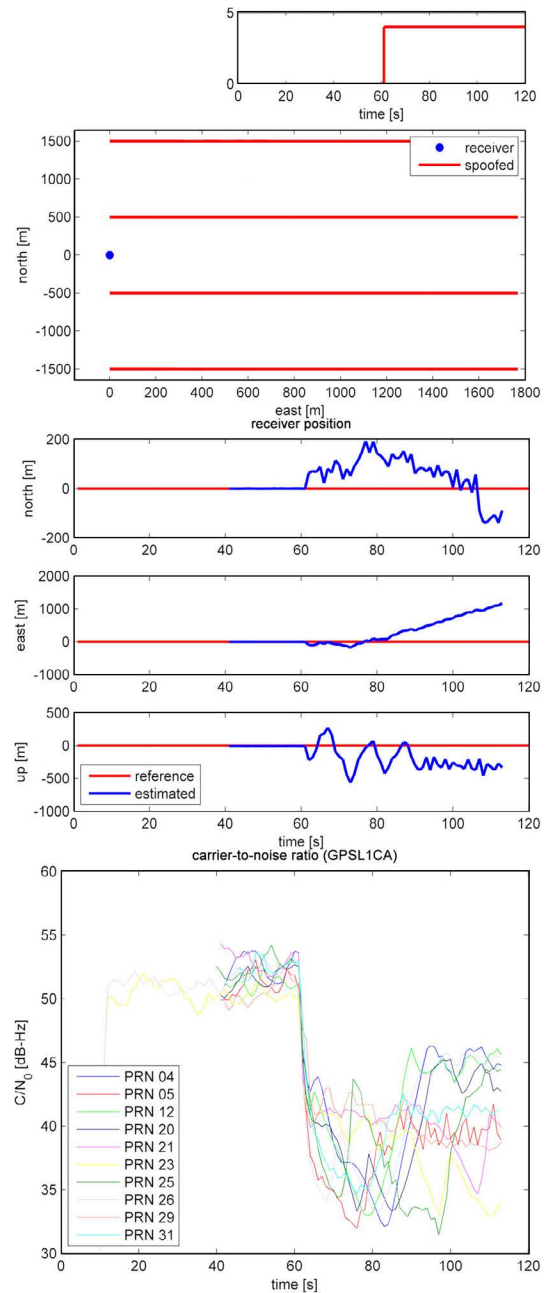


Fig. 3. Multiple dynamic spoofing simulation results.

단일 방해신호로 무인기를 방해하는 기술은 총알 하나로 무인기를 맞히는 것과 유사하다. 여러 개의 위치와 속도를 가지는 다중 방해 신호를 응용하여 탐지 장비가 없는 조건에서 무인기를 방해할 수 있는 영역 방어 기술을 제안한다.

본 논문에서는 단일 및 다중 방해 신호 분석 결과를 되짚어보고, 영역 방어 기술의 설계 과정을 설명한다. Software Defined Radio (SDR) 수신기를 이용하여 방해 신호가 수신기에 입력되었을 시의 효과를 시뮬레이션을 통해 살펴보고 예측 결과를 제시한다.

2. 본론

2.1 단일/다중 방해 신호 분석

하나의 위치와 속도를 만들어 내는 방해 신호를 단일 방해 신호라 하고, 2개 이상의 위치와 속도를 만드는 신호를 다중 방해 신호라 한다. 위성항법 방해 신호를 시뮬레이션을 통해 생성하여 소프트웨어 수신기에서 위성항법 방해 신호에 의해 어떠한 변화가 있는지 분석한다.

시뮬레이션은 오스트리아 Teleorbit 사의 GSDR2X 소프트웨어 수신기와 GIPSE GNSS 시뮬레이터를 이용하여 수행된다. Fig. 1은 시뮬레이션 환경을 보여준다. 시뮬레이터는 표적 무인기에서 입력 받는 위성신호를 모의하고, 방해 장치는 위성항법 방해 신호를 발생한다. 수신기는 시뮬레이터의 신호와 방해 신호가 합하여 입력된다. 수신기는 100 km/h 이내의 속도로 산악 지형을 낮게 이동하는 무인기에 탑재되는 상황을 가정한다. 이동 속도 변화에도 빠른 응답이 가능한 Frequency Lock Loop (FLL) Assist 구조의 추적 루프 변수를 고려하여 수신기 변수를 Table 1과 같이 설정한다. 시뮬레이터 및 방해 장치 설정 값과 SDR 수신기에서 항법 결과를 비교 분석한다.

우선 단일 방해 신호의 발생 위치 오차에 따른 분석을 실시하였다. 고정위치 단일 방해 시뮬레이션 조건에서 방해 신호와 표적 간의 위치오차를 C/A 코드 chip을 기준으로 이격거리를 1/2 chip (150 m), 1 chip (300 m), 3 chip (1,000 m) 이상 다르게 하여 방해 효과를 분석하였다. 실험 결과 1 chip 보다 많이 이격된 방해 신호로는 의도된 위치로 방해하기는 어렵고, 효과적인 방해를 위해서는 1 chip 이내의 정확도로 방해신호를 생성하여야 한다.

레이더의 탐지 분해능 및 표적 정보 전달 시간 지연을 고려 시 1 chip 이내의 정확도로 방해 신호를 만드는 것은 어렵다. 이러한 어려움을 극복하기 위해 여러 위치를 동시에 만들어내는 다중 방해 신호를 고려하였다. 다시 말해 하나의 방해 위치가 아닌 여러 개의 방해 위치가 동시에 있을 경우 효과가 어떻게 달라지는지 시뮬레이션 하였다. 여러 개의 고정 위치를 모의하는 다중 신호로 인해 기대한 방해 효과는 수신기가 경로를 따라 항법을 하던 중 방해 신호가 인가되면 여러 개의 고정 방해 신호 중에 실제 위성 신호의 위치와 가장 가까운 방해 신호의 위치로 유도되는 것이었다.

Fig. 2는 고정 위치의 다중 방해 신호를 이용한 시뮬레이션 결과이다. 고정 위치를 모의하는 다중 방해 신호를 표적 수신기의

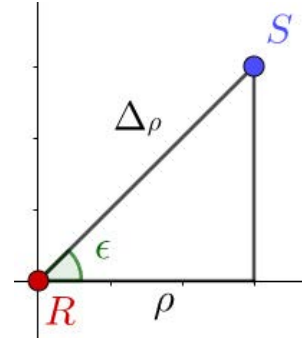


Fig. 4. Simplified receiver-to-satellite ground distance calculation.

이동 중심에서 16개의 신호로 이격 배치하였다. 결과적으로 표적은 고정 위치의 다중 방해 신호로 유도되지 않았고, 무인기의 이동 시 항법 오차를 발생시키는 잡음 재밍 수준 정도의 효과를 보였다.

이후 정확한 위치를 알지 못하는 고정된 표적을 대상으로 경로 이동을 하는 동적 다중 방해 신호를 이용하여 표적의 위치와 속도를 변화시킬 수 있을 것인가를 실험하였다. 시뮬레이션 조건 및 결과는 Fig. 3과 같다. 원점에서 고정위치로 항법을 하는 표적을 동쪽 방향으로 이동하는 방해 신호 4개를 동시에 생성하였다. 각 신호는 1 km 간격으로 이격하여 움직이는 형태로 생성하였다. 위의 조건에서 4개의 방해 신호 중 가장 가까운 신호 중 하나의 경로를 따라서 이동할 것으로 예상하였다. 시험 결과 정확히 의도한 위치와 속도는 아니더라도 기만 신호와 같은 방향으로 이동시키는 것이 가능하다는 결론을 얻었다 (Lee & Lee 2020). 하지만 위치와 속도를 모르는 조건하에서 의도한 위치와 속도로 정확히 유도할 수 있는 방법에 대한 추가적인 연구가 필요하였고, 영역 방어 신호를 구현하게 되었다.

2.2 단일/다중 방해 신호 분석

무인기 공격으로부터 보호가 필요한 지역을 방어하기 위한 위성항법 방해 기술을 영역 방어 기술이라고 하고, 영역 방어를 효과적으로 하기 위한 신호를 영역 방어 신호로 한다. 보호가 필요한 특정 영역 (Area of Interest, AOI)의 크기를 10 km x 10 km로 가정할 후 다중 방해 신호를 변형하여 영역 방어 신호를 설계한다.

영역 방어 신호의 코드 지연 값과 도플러 값은 보호하기 위한 영역 (AOI)과 그 영역 내 위성의 기하학적인 배치와 관련이 깊다. Fig. 4의 지상에서 수신기 (R)와 위성 (S)의 거리를 표현하면 식 (1)과 같고, 코드 지연값 관점에서 보면, 수신기의 천정 (zenith) 방향에 위치한 위성의 1 chip에 해당하는 길이로 인해 발생할 수 있는 지상에서 위치오차 ($\Delta\rho$)와 지평선 방향에서 위치한 위성의 delay 오차 (ρ)는 다른 것을 알 수 있다.

$$\rho = \frac{\Delta\rho}{\cos(\epsilon)} \quad (1)$$

식 (2)에서 도플러 변화량은 수신기 (R)와 위성 (S)의 상대적인 운동 변화로 인해 주파수 변화량 Δf 이고, 이는 상대속도

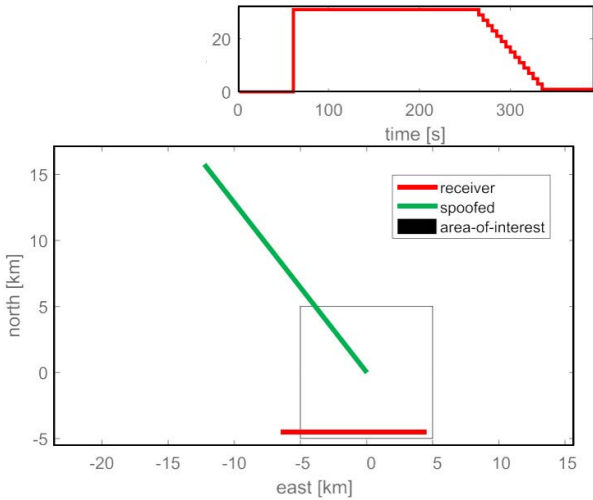


Fig. 5. Region defense signals simulation conditions.

(relative velocity) v_r 에 비례한다. f_R 은 수신기의 RF 신호 주파수, f_s 는 위성의 RF 신호 주파수, r 은 거리, v_r 은 수신기와 위성의 상대 속도이다.

$$\begin{aligned} \Delta f &= f_R - f_s = -\frac{v_r}{c} \cdot f_s \\ &= -\frac{1}{c} \cdot f_s \frac{\partial r}{\partial t} = -\frac{1}{c} \cdot f_s \cdot \dot{r} \end{aligned} \quad (2)$$

$$\dot{r} = v_r = \frac{\partial r}{\partial t} \quad (3)$$

식 (3)에서 위성의 위치가 수신기의 천정 방향에 가까워수록 위성과의 상대속도 v_r 은 0에 수렴하므로 수신기에서의 도플러 변화량도 0에 수렴하는 것을 알 수 있다. 이것은 영역 방어를 위해 필요한 code offset 및 doppler bin의 크기는 위성의 배치와 수신기 위치와 속도에 따라 달라짐을 의미하고, 영역 방어 신호 생성에 고려해야 한다.

영역 방어 신호 시뮬레이션 조건은 Fig. 5와 같다. 원점에서 서쪽으로 움직이는 수신기를 가정하고, 적색 라인을 따라서 움직인다. 수신기가 항법을 시작한 후 60초 경과하여 초록색 라인의 영역 방어 신호를 생성한다. 영역 방어 신호는 몇 가지 단계를 거쳐 수신기의 tracking loop를 기만하여, 최종적으로 북서쪽 방향으로 흘러 나가도록 유도한다. 이때 3단계에 걸쳐 원 신호의 항법을 놓치게 하면서 방해 신호로 항법을 유인하는 방법을 설명한다.

2.2.1 Search(A) 단계

특정 영역 내에 있는 수신기를 포착하는 방법은 대상 표적의 정확한 위치에 대한 정보가 없으면 특정 영역을 시간에 따라 모두 포함할 수 있도록 code offset을 변화시켜야 한다. code offset을 변화시키는 것을 code offset sweep이라고 하고 위치를 모르는 대상을 방해하기 위한 첫 번째 단계이다.

Fig. 6의 방해의 첫 번째 단계에서 가장 중요한 것은 모든 방해 신호들이 영역 전체를 code sweep하여 수신기의 추적 루프를 기만 신호 중 하나를 추적하도록 유도하는 것이다. 특정 영역 내에 위치한 타겟 수신기는 code sweep된 기만 신호로 인해 추적 루

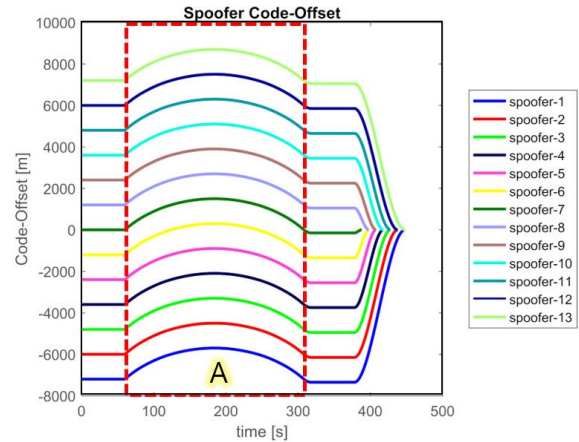


Fig. 6. Code offset change in the search step.

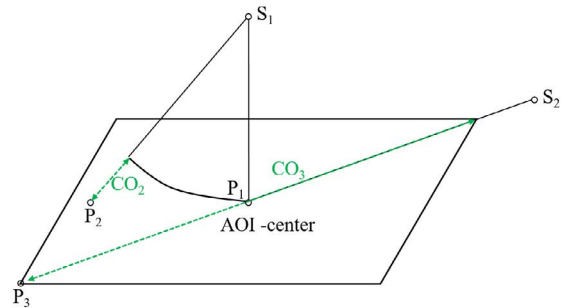


Fig. 7. Geometric relation of satellite signals with AOI.

프를 놓치고 이후 수렴된 위치로 이동하여 항법을 하도록 유도한다. 첫 번째 단계에서는 수신기가 위성 신호를 추적하고 있는 것을 기만 신호를 추적하도록 유도하는 과정이 반드시 필요하다.

이론적으로 하나의 방해 신호를 이용하여 code offset sweep을 하면 전체 영역 (AOI)을 커버할 수 있다. 하지만 단점은 영역이 큰 경우 연속적인 추적을 위해서는 특정 code offset 변화 속도를 초과할 수 없기 때문에 시간이 오래 걸린다는 것이다. 일정한 code offset으로 각각 가장 가까운 방해 신호로 분리된 여러 개의 다중 방해신호를 동시에 sweep을 하면 시간을 줄일 수 있다.

방해에 필요한 code offset 범위는 영역 (AOI)의 크기와 비례한다. Fig. 7에서 영역의 중심 좌표의 정점에 위치한 위성 (S1)의 관점에서 보면 영역 전체를 이동하는 수신기는 위성에 대한 상대적인 도플러 및 의사거리가 갖게 되어 기하학적으로 다소 작은 범위 (CO2)를 가진다. 반면 고도가 0이고, 직사각형의 한쪽 꼭지점에 위치한 위성 (S2)의 경우는 반대로 가장 큰 도플러 및 code offset 범위 (CO3)를 가진다. 따라서 sweep할 code offset의 범위는 직사각형의 대각선 길이에 해당된다.

2.2.2 PVT Movement(B) 단계

첫 번째 단계에서 생성된 다중 신호에 의해 전체 code offset이 sweep을 하게 되면 대상 수신기가 방해 신호 중 하나를 따라

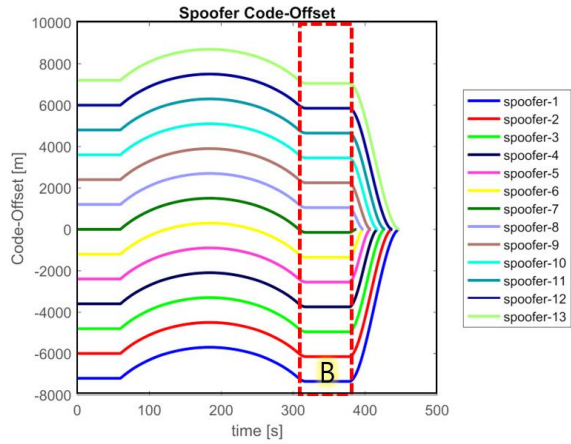


Fig. 8. Code offset change in the PVT movement step.

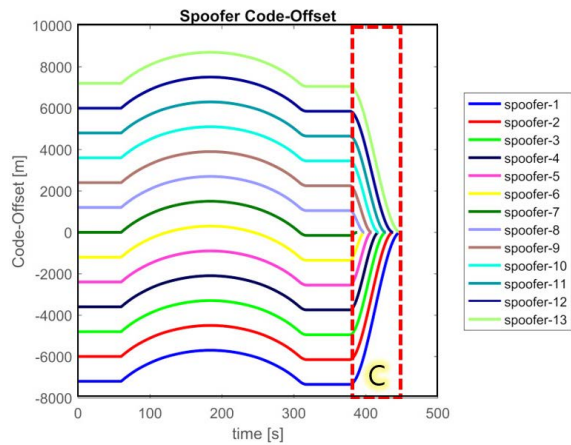


Fig. 9. Code offset change in the joining step.

서 움직일 것을 가정할 수 있다. 대상 수신기의 위치와 속도를 특정할 수 없기 때문에 모든 방해 신호는 영역 (AOI) 내의 모이기 위한 약속된 위치로 이동시켜야 한다. 최종 목표 위치는 방어 공간 외부에 있는 것이 바람직하며 실제 위성 신호가 방해 신호와 겹치지 않도록 해야 한다. Fig. 8은 PVT movement 단계에서의 code offset 변화 모습이다. 이 단계에서는 code offset이 일정하게 유지되고 방해된 PVT 솔루션만 변경이 된다. 초기 방해 위치 (원점)에서 외부로 빠져나가는 형태가 된다. 즉 위성의 배치는 그대로 유지되고, 의사거리 및 위상은 수신기 PVT 해가 빠져나가는 위치값으로 변경된다.

2.2.3 Joining(C) 단계

여러 방해 신호가 겹쳐 있는 상태는 주파수 스펙트럼과 모호한 PVT 결과를 가진다. 정상적으로 항법을 하는 상태로 돌아가려면 다중 방해 신호의 code offset이 '0'이 되도록 줄여주는 단계가 필요하다. Fig. 9는 joining 단계에서의 code offset 변화를 보여준다. 방해장치는 어떤 신호가 추적이 되는지에 대한 정보가 없기

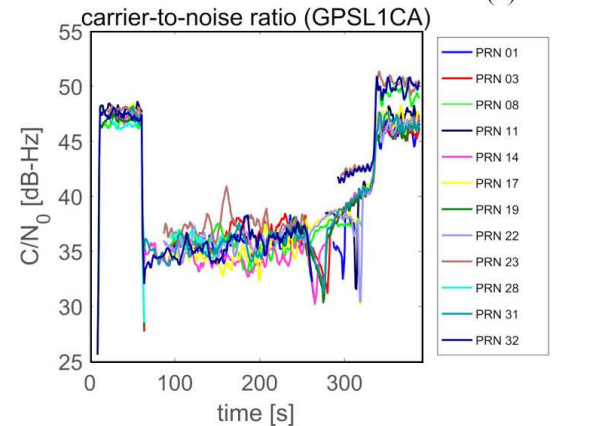
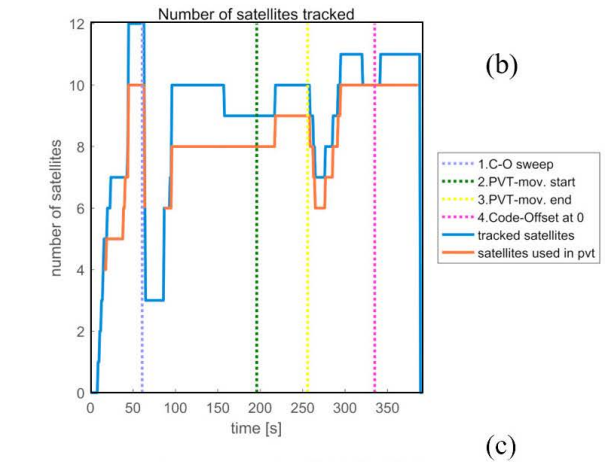
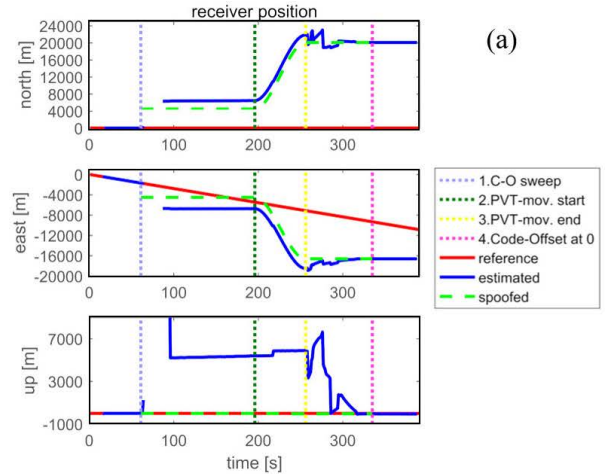


Fig. 10. Simulation results with the region defense signals.

때문에 code offset이 '0'이 되도록 하고 하나의 방해 신호를 제외한 모든 방해 신호는 사라져야 한다. 하나만 남겨진 방해 신호는 원하는 위치로 대상 수신기를 이동할 수 있게 된다.

2.3 영역 방어 신호 분석

3단계로 구분된 각 단계별 영역 방어 신호의 역할 및 기능에

대한 이해를 바탕으로 수신기에서의 동작 변화와 함께 영역 방어 신호를 분석한다. 각 절차의 단계별로 1단계는 code offset sweep이 시작되는 단계, 2단계는 code offset sweep이 끝나고, PVT movement가 시작되는 단계, 3단계는 PVT movement가 끝나고 joining이 시작되는 단계, 4단계는 joining이 끝나는 단계로 구분된다. 단계별로 4가지의 색상으로 구분하여 수직으로 표시된다.

각 위성에 대해서 생성된 방해 신호들은 영역 (AOI) 전체를 code sweep하여 수신기의 추적 루프가 기만 신호를 추적하도록 유도하는 것이다. 방해 신호들은 서로 다른 code offset으로 시작되고, 시간에 따라 모든 도플러 값을 포함하도록 code offset을 변경하여 실제 방해 유도를 시작한다.

Fig. 10a는 수신기가 항법을 하고 있는 위치 값을 남북 방향, 동서 방향, 고도 방향의 3가지 축으로 시간에 따른 위치 변화를 도시화 하였다. 적색 실선 그래프는 수신기가 실제 위성신호를 이용하여 이동하는 기준 (reference) 위치를 표시하였다. 수신기는 동쪽에서 서쪽방향으로 시속 100 km/h 로 이동하는 조건이다. 청색 실선 그래프는 수신기가 위성신호와 방해신호를 입력 받아 수신기에 위치 해 (estimated)를 계산한 결과이다. 녹색 점선 그래프는 여러 개의 방해 신호 중 가운데 위치하는 신호로 항법을 한 위치 값이다. 방해 신호의 초기 위치는 Fig. 5와 같이 수신기에서부터 북쪽 방향으로 4 km, 서쪽 방향으로 4 km 이격된 위치 오차가 있는 상황이고, 이 위치를 기준으로 다중 방해 신호를 생성하여 sweep 단계를 시작한다. 초록색 세로 점선은 'PVT Movement'를 시작하는 지점이고, 노란색 세로 점선은 'PVT Movement'를 종료하는 지점이다. 방해 신호의 PVT 위치는 Fig. 5에서 보는 바와 같이 북서 방향으로 이동하는 경로로 생성된다. 이후 'joining' 단계에서 다중 신호는 하나의 방해 신호 형태로 된다. 분홍색 점선은 이 단계가 완료되는 시점이다. Fig. 10b는 수신기에서 tracking을 하고 있는 위성의 개수를 나타낸 그래프이다. 초기에는 12개의 위성을 추적하지만, 방해 신호가 인가가 되면 순간적으로 추적 위성신호 개수가 3개가 된다.

이후 'search' 단계의 영역 방어 신호를 추적하면서 tracking 위성 신호는 10개로 변화된다. 추적 위성을 놓치는 상황에서 Fig. 10a에서 보듯이 위치해를 계산하지 못하고, Fig. 10c에서 C/No 값이 낮아지는 현상을 확인할 수 있다. 'PVT Movement'가 시작되기 전부터 수신기는 방위각 방향에서는 방해 신호의 위치에 근접하여 항법을 하고 있으나, 고각 방향에서는 큰 오차가 있음을 확인할 수 있다. 'joining' 단계에서 tracking 위성 수가 늘어나고 고각 오차도 줄어드는 것을 확인할 수 있다. 또한 C/No 수치도 정상 범위 내에서 영역 방어 신호로 기만이 가능한 것을 확인할 수 있다.

3. 결론

본 논문에서는 단일 방해 신호의 비동기성을 인정하고, 하나의 위치가 아닌 여러 개의 위치와 속도의 신호를 만들어 내는 다중 방해 신호를 제안하였다. 다중 방해 신호는 신호의 동적 형태에 따라 고정 위치 형태의 다중 방해신호, 위치가 이동하는 동적 다중 방해 신호 형태로 모의 시험하였다. 수신기가 고정된 위치

에 있는 경우 1 chip 이내 위치 오차의 다중 방해 신호는 효과가 있었으나, 수신기가 움직이는 상황에서는 방해 효과가 낮거나, 원하는 위치로 유도가 되지 않는 결과를 나타냈다.

다중 방해 기술을 응용하여 여러 개의 방해 신호를 동시에 움직이면서 일정 지역을 방어하기 위한 영역 방어 기술을 제안하였다. 영역 방어 신호는 높은 출력의 방해 신호를 사용하지 않아 항재밍 수신 알고리즘에 강하고, 레이더와 같이 탐지장비가 없는 상황에서도 방해가 가능한 기술이다. 또한 영역 방어 기술은 보호 영역의 크기와 위협에 방해 대상 수신기의 형태에 따라 최적화된 방해 기법을 찾아낼 수 있고, 다양한 응용이 가능하다.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Conceptualization, Lee, C. H. and Lee, S. J.; methodology, Lee, C. H.; software, Lee, C. H. and Choi, S. H.; validation, Lee, C. H. and Lee, Y. J.; formal analysis, Lee, C. H.; investigation, Lee, Y. J.; resources, Lee, C. H.; data curation, Choi, S. H.; writing—original draft preparation, Lee, C. H.; writing review and editing, Lee, S. J.; visualization, Lee, C. H.; supervision, Lee, S. J.

CONFLICTS OF INTEREST

The authors declare no conflict of interest.

REFERENCES

- Dovis, F. 2015, GNSS Interference Threats and Countermeasures (Boston: Artech House Inc.)
- Humphreys, T. E., Bhatti, J. A., & Ledvina, B. M. 2010, The GPS assimilator: A method for upgrading existing GPS user equipment to improve accuracy, robustness, and resistance to spoofing, Proceedings of the 23rd International Technical Meeting of the Satellite Division of The Institute of Navigation (ION GNSS 2010), Portland, OR, 21-24 Sep 2010, pp.1942-1952. <https://www.ion.org/publications/abstract.cfm?articleID=9306>
- Humphreys, T. E., Ledvina, B. M., Psiaki, M. L., O'Hanlon, B. W., & Kintner Jr., P. M. 2008, Assessing the spoofing threat: development of a portable GPS civilian spoofer, Proceedings of the 21st International Technical Meeting of the Satellite Division of The Institute of Navigation (ION GNSS 2008), Savannah, GA, 16-19 Sep 2008, pp.2314-2325. <https://www.ion.org/publications/abstract.cfm?articleID=8132>
- Lee, C. H., Choi, S. H., Choi, C. T., & Jeong, U. S. 2013, The analysis of effectiveness for the noise jamming signal

on the GPS receiver, in 2013 KGS Conf., Ramada Jeju, Korea, 6-8 Nov 2013, p.84. <http://ipnt.or.kr/2013proc/58>

Lee, C. H., Choi, S. H., Choi, C. T., & Shin, W. H. 2016, The effect analysis for the partial meaconing signal on the GPS receiver, in 2016 KGS Conf., Phoenix Ireland Jeju, Korea, 2-4 Nov 2013, pp.76-79. <http://ipnt.or.kr/2016proc/18>

Lee, C. H., Choi, S. H., Kim, S. K., Choi, W. S., & Chang, L. K. 2019, Influence analysis of spreading modulated GNSS synchronous spoofing, in 2019 KICS Conf., Ramada Jeju, Korea, June 2019, pp.601-602.

Lee, C. H. & Lee, S. J. 2017, Influence analysis of satellite unsynchronized spoofing, in 2017 IPNT Conf., Ramada Jeju, Korea, 1-3 Nov 2017, pp.602-605. <http://ipnt.or.kr/2017proc/132>

Lee, C. H. & Lee, S. J. 2020, Analysis of Single and Multiple Spoofing Techniques for GPS Receiver Deception in Low Target Detection Accuracy, The Journal of Korean Institute of Communications and Information Sciences, 45, 609-615.



Sang Jeong Lee is a professor in the Department of Electronics Engineering, Chungnam National University, Korea. He received his B.S., M.S., and Ph.D. degrees from Seoul National University, Korea, in 1979, 1981, and 1987, respectively. His research interests include GNSS receiver design and robust control.



Chi-Hun Lee is a senior research engineer of Agency for Defense Development, Korea. He received Ph. D. degrees in the Department of Electronics Engineering at Chungnam National University. His research interests include Electronic Warfare, GNSS spoofing.



Seungho Choi is a principle research engineer of Agency for Defense Development, Korea. He received Ph. D. degrees in the Department of Electronic Engineering from Korea Advanced Institute of Science and Technology, Korea in 2008. His research interests include electronic warfare, microwave systems.



Young-Joong Lee is a principle research engineer of Agency for Defense Development, Korea. He received Ph. D. degrees in the Department of Electronic Engineering from Chungnam National University, Korea in 2019. His research interests include electronic warfare, anti-jamming receiver.