

PN 유도 기반 능동 RF 탐색기 조우 시나리오에서 반복형 능동 유인체 대응에 따른 공중 플랫폼 생존성 분석

Survivability for Airborne Platform on Encounter Scenarios where Repeater-type Active Decoy Counteracts Active RF Seeker System Operating Based on PN Guidance Law

임재원 · 정기환 · 이현수 · 고일석

Jae-Won Rim · Ki-Hwan Jung · Hyunsoo Lee · Il-Suek Koh

요 약

본 논문에서는 PN 유도 법칙을 기반으로 동작하는 능동 RF 탐색기에 대한 반복형 능동 유인체의 제밍 환경에서 공중 플랫폼의 생존성을 분석한다. 플랫폼의 기동, 유인체의 RF 제원(spec), 탐색기의 접근 거리 및 방향 등 다른 조건의 여러 조우 시나리오에서 플랫폼에 대한 탐색기의 miss distance를 계산한다. Miss distance와 근접신관거리와의 비교를 통해 플랫폼의 생존 여부를 판별하며, 이를 기반으로 몇몇 조우 시나리오에서 플랫폼 생존 영역을 도출한다.

Abstract

We herein analyze the survivability of an airborne platform when an active decoy delivers jamming attacks against an active RF seeker system that operates based on the proportional navigation guidance law. In encounter scenarios with various conditions, such as platform maneuvering, the decoy's RF specification, and the seeker's approaching range and angles, the missed distance of the RF seeker is evaluated. By comparing the missed distance with the proximity of the fuze range, the platform's survivability is determined and the survival area of the platform is drawn on several encounter scenarios.

Key words: Active Decoy, Active RF Seeker, Miss Distance, Proximity Fuze Range, PN Guidance

I. 서 론

공중 플랫폼에 접근하는 RF 탐색기로부터 플랫폼의 생존성을 확보하는 것은 매우 중요하다. RF 탐색기로부터 플랫폼을 보호하기 위한 하나의 방법으로 전자방해책

(Electronic Counter Measure: ECM)이 사용되어 왔다. ECM 기법 중 하나인 반복형 능동 유인체(active decoy)는 플랫폼으로부터 사출되어 RF 탐색기에서 수신된 신호를 증폭하여 재방사하는 물체로 RF 탐색기에 제밍 공격을 가하여 적 레이더를 기만하며 저렴한 비용과 높은 효율성으

「본 연구는 광주과학기술원 전자전특화연구센터를 통한 방위사업청과 국방과학연구소 연구비 지원으로 수행되었습니다.」

「본 논문에서 사용된 플랫폼 및 유인체 운동 해석 데이터를 제공해주신 인하대학교 항공우주공학과 공력 해석 및 설계 연구실의 이승수 교수님과 백청 학생, 그리고 송영원 학생에게 감사의 말씀을 전합니다.」

인하대학교 전자공학과 (Department of Electronic Engineering, Inha University)

· Manuscript received February 20, 2018 ; Revised March 23, 2018 ; Accepted April 2, 2018. (ID No. 20180220-003S)

· Corresponding Author: Il-Suek Koh (e-mail: ikoh@inha.ac.kr)

로 각광받아왔다^[1]. 유인체의 운용에 따른 RF 탐색기에 대한 기만 효과를 분석하기 위해서는 현실성을 반영한 여러 조우 시나리오에서 해석이 가능한 M&S(Modeling & Simulation) 접근법이 필요하다. 이를 위해 플랫폼의 편파에 따른 2D RCS(Radar Cross Section), 플랫폼 운동에 따른 유인체 정확한 궤적 및 자세각, 탐색기 및 유인체의 편파, 방사 패턴, 안테나 이득 등의 RF 제원(spec), 탐색기의 레이더 신호처리 모듈 모사 등과 같은 고려사항이 요구되며, 이는 최종 시뮬레이션 결과에 큰 영향을 미친다. 최근 위 기술한 사항들을 고려하여 유인체의 성능을 분석하기 위한 이론적인 M&S 접근법이 제안되었다^{[2][3]}. 그러나 이는 플랫폼에 접근하는 RF 탐색기가 아닌 지상 추적 레이더에 대한 유인체의 성능 분석으로 국한된다.

본 논문에서는 RF 탐색기에 대한 유인체의 기만 효과 및 플랫폼 생존성 분석을 다룬다. RF 탐색기의 운동으로 인한 간편한 하드웨어 구현(hardware implementation)으로 많은 RF 탐색기에 보편적으로 사용되는 비례항법(Proportional Navigation: PN) 유도 법칙을 고려한다. II 절에서 제안하는 M&S 접근법 및 모델링 방법을 기술하며 III 절에서는 RF 탐색기 모델링 방법에 대해 기술한다. IV 절에서는 여러 조우시나리오에서 RF 탐색기에 대한 플랫폼의 생존 영역을 도출하며 이에 대한 분석을 제시한다.

II. M & S 접근법

그림 1은 조우 시나리오에서 M&S 접근법에 대한 요약

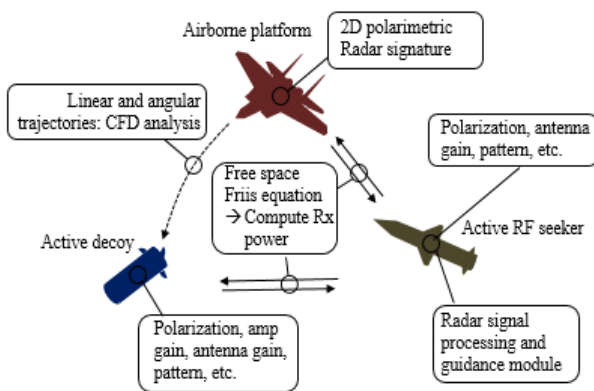


그림 1. M&S 접근법 요약

Fig. 1. Summary of M&S approach.

을 나타낸다. RF 탐색기는 안테나 빔을 플랫폼의 위치로 조향하고 플랫폼의 예상요격지점으로 발사되며 플랫폼은 유인체를 사출하고 기동을 수행한다. 플랫폼의 기동은 유인체의 공력과 모멘트에 영향을 주기 때문에 유인체의 운동에 영향을 미친다. 따라서 정확한 유인체의 궤적 해석을 위해, 전산유체역학(Computational Fluid Dynamics: CFD) 해석을 통해 유인체의 간섭유동장 데이터베이스를 구축하고, 이를 기반으로 6 자유도(Degree of Freedom: DOF) 방정식의 해를 구해야 한다^[4]. RF 탐색기는 매 펄스 반복 시간(Pulse Repetition Time: PRT)마다 chirp 신호를 송/수신한 후 레이더 신호 처리를 통해 표적(플랫폼 혹은 유인체) 위치를 추정하며, 유도 법칙에 따라 추정된 표적 위치로 유도된다. 이 때, 두 물체로부터 수신되는 신호를 계산하기 위해서는 플랫폼의 편파에 따른 2D 모노스태틱 레이더 시그니처 데이터베이스가 필요하며 유인체의 RF 제원을 고려하여야 한다. 매 PRT 동안 두 물체의 움직임은 무시할 수 있으며, 탐색기의 안테나 주엽(main lobe)은 공중에 위치한 두 물체를 향하며 지상 표면에 의한 반사에 의해 부엽(side lobe)에 수신되는 신호의 크기는 매우 작기 때문에 무시 가능하다. 따라서 두 물체로부터 반사되어 탐색기에서 수신되는 시간 영역(time-domain) 전력은 자유 공간(free space) Friis 전송 방정식^[5]을 통해 계산이 가능하다. 위에 기술한 플랫폼 기동에 따른 유인체의 운동 해석 방법과 시간 영역 전력 계산을 위한 방법은 참고문헌 [2]에 자세히 기술되어 있으며, 본 논문에서는 이와 동일한 모델링을 고려한다. RF 탐색기의 레이더 신호 처리 및 유도에 대한 모델링은 다음 절에 자세히 기술한다.

III. 능동 RF 탐색기 모델링

RF 탐색기에서 송신되는 chirp 신호는 다음과 같다.

$$r(t) = \exp(j\omega t + \pi\mu t^2) \text{rect}(t/\tau) \quad (1)$$

여기서 ω 는 캐리어 각주파수(angular frequency)이고, μ 는 chirp rate [Hz/sec]이며 $\text{rect}(\cdot)$ 는 사각 윈도우(rectangular window)를 나타낸다. 유인체로부터 수신되는 제밍 전력을 J , 플랫폼으로부터 반사되는 전력을 S 라 할 때, n 번째 PRT에 수신 chirp 신호는 다음과 같다.

$\vec{V}_t (= \vec{v}_s)$, 탐색기의 위치 속도를 \vec{R}_m , \vec{V}_m 로 표기할 때, PN 유도 법칙을 기반으로 탐색기의 가속 명령 벡터(acceleration command vector)는 다음과 같다.

$$\vec{n}_c = N_p |\vec{V}_{mt}| \vec{\Omega} \times \vec{R}_{mt} / |\vec{R}_{mt}| \quad (6)$$

여기서 $\vec{R}_{mt} = \vec{R}_t - \vec{R}_m$, $\vec{V}_{mt} = \vec{V}_t - \vec{V}_m$ 이다. N_p 는 비례 상수이며, 일반적으로 3과 5사이의 양의 실수 값으로 설계되며^[9], 본 논문에서는 평균값인 $N_p = 4$ 를 가정한다. 또한 $\vec{\Omega} = (\vec{R}_{mt} \times \vec{V}_{mt}) / (\vec{R}_{mt} \cdot \vec{R}_{mt})$ 는 회전 벡터를 나타낸다. 식 (6)에서 계산된 가속 명령 벡터는 매 PRT마다 반복적으로 표적 방향으로 유도(guide)되며, 반복절차는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \vec{R}_m^{(n+1)} &= \vec{R}_m^{(n)} + T \vec{V}_m^{(n)} + 0.5 T^2 \vec{n}_c^{(n)} \\ \vec{V}_m^{(n+1)} &= \vec{V}_m^{(n)} + T \vec{n}_c^{(n)} \end{aligned} \quad (7)$$

식 (6)의 가속 명령 벡터의 크기(부하율: load factor)는 일반적으로 제한되며 본 논문에서는 $\max(|\vec{n}_c|) = 12 \text{ g}$ ($g = 9.81 \text{ m/s}^2$)로 고려한다^[9].

IV. 시뮬레이션 결과 및 분석

그림 3은 동적 시뮬레이션 순서도를 나타낸다. 플랫폼, 유인체, 탐색기의 초기조건을 설정한 후 탐색기의 PRT마다 각 물체들은 위치를 갱신한다. 추정된 표적 정보(위치 및 속도)를 기반으로 탐색기는 속도벡터를 갱신하며 표적의 요격 혹은 누락(missing) 시 시뮬레이션은 종료되며

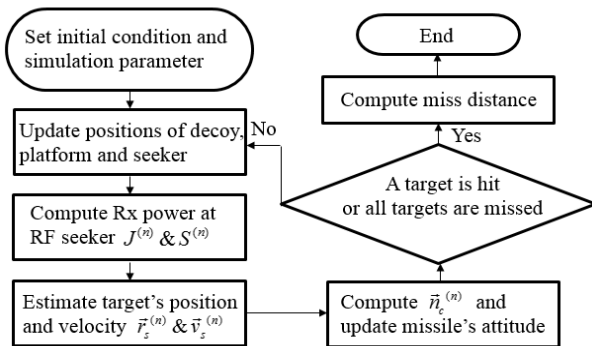


그림 3. 동적 시뮬레이션 순서도

Fig. 3. Flow chart of dynamic simulation.

플랫폼에 대한 탐색기의 miss distance를 계산한다. 표적(플랫폼 혹은 유인체)가 탐색기의 근접신관거리(proximity fuze range)^[10] 내에 위치할 경우 요격되었다고 판별한다. 플랫폼의 기동 및 속도는 플랫폼의 생존성에 영향을 미치는 중요한 요소이다^[9]. 따라서 본 논문에서는 이에 대한 효과를 분석하기 위해 고려하는 플랫폼 및 유인체의 동적 시나리오는 표 1과 같다^[2]. 유인체의 사출 위치와 각도는 플랫폼의 지역좌표계에서 정의된다(참고문헌 [2] 참고). 플랫폼의 기동(선회비행 혹은 직선비행) 및 플랫폼의 기동 속도(0.4 Mach 혹은 0.8 Mach)의 조건 변화에 따라 유인체를 운용하는 시나리오에서 플랫폼의 생존성을 확인한다. RF 탐색기의 여러 접근 거리 및 방향에 대해 유인체의 재밍에 따른 플랫폼 생존성을 분석하기 위해 미사일의 초기 접근 위치를 플랫폼의 초기 지역좌표계 \hat{x}_p , \hat{y}_p , \hat{z}_p 에서 그림 4와 같이 정의한다. 시뮬레이션 파라미터 및 초기 조건은 표 2에 요약되어 있다^[11]. RF 탐색기의 성능 검증을 위해 먼저 단일 고정 위치($R_0 = 3 \text{ km}$, $\theta_0 = 15^\circ$, $\phi_0 = 0^\circ$)에서 발사된 초기조건 하에 시나리오 1에서 플랫폼과 유인체로부터 수신된 전력 히스토리 및 궤적을 분석하면 그림 5와 같다. 그림 5에서 볼 수 있듯이 플랫폼과 유인체로부터 반사되어 RF 탐색기의 수신되는 전력은 참고문헌 [2]에 제안된 방법의 결과와 동일함을 확인할 수 있고, 탐색기는 이 전력을 기반으로 표적을 지속적으로 추적한다. 이 시나리오에서 유인체는 탐색기의 근접신관거리 내에 들어와 소실되며 플랫폼은 2.33초에 RF 탐색기

표 1. 공중 플랫폼 및 능동 유인체 동적 시나리오

Table 1. Scenarios of airborne platform and active decoy.

| | Scenario 1 | Scenario 2 | Scenario 3 |
|----------------------------|---|------------|------------|
| Dynamics (platform) | Turn | Turn | Straight |
| Turn rate (platform) | 2 g | 2 g | 0 g |
| Velocity (platform) | 0.8 Mach | 0.4 Mach | 0.8 Mach |
| Init. location (platform) | (0, 5,000, 2,000) [m] (global) | | |
| Init. direction (platform) | -y direction (global) | | |
| Ejection location (decoy) | (-5.2, -1.3, 0.6) [m] | | |
| Ejection angle (decoy) | $\theta_0 = 0^\circ$, $\phi_0 = 0^\circ$ | | |
| Ejection force (decoy) | 867 N | | |

와 플랫폼의 최소거리, 즉 miss distance가 78 m가 되며, 근접신관거리 반경 밖에 놓여 생존성이 보장된다(그림 5(b)).

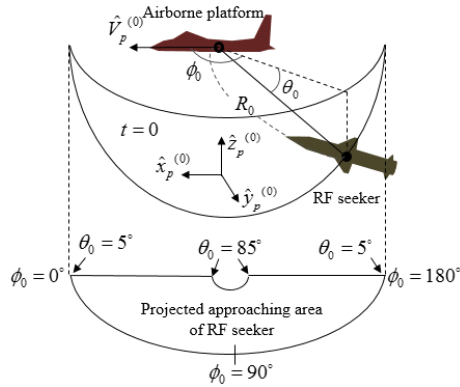
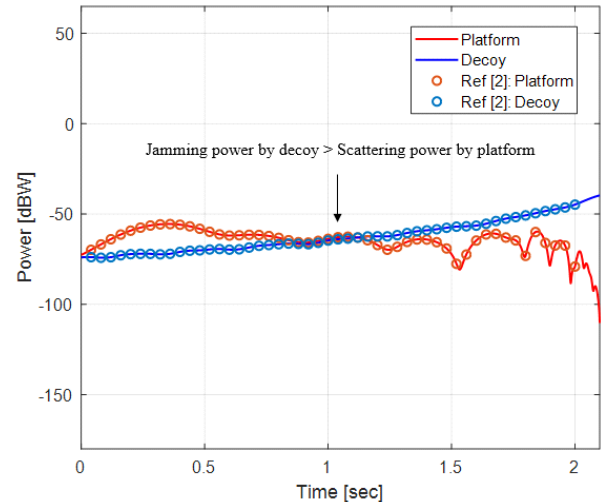


그림 4. 플랫폼 지역좌표계에서 능동 RF 탐색기의 초기 접근 위치
Fig. 4. Initial approaching location of active RF seeker in local coordinates of platform.

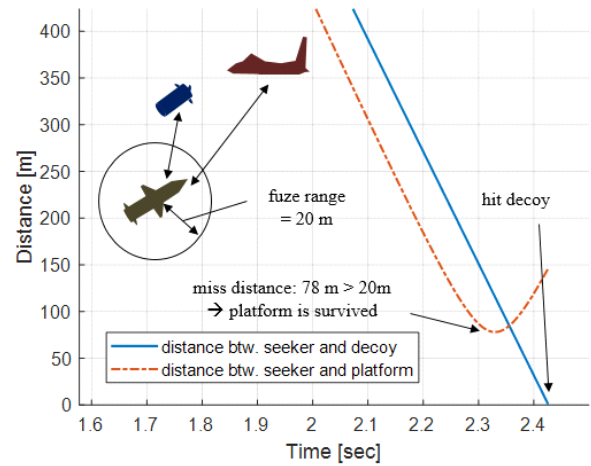
표 2. 시뮬레이션 파라미터 및 초기조건
Table 2. Simulation parameters and initial condition.

| Objects | Parameters | Value or state |
|-----------|----------------------|----------------------|
| Decoy | Antenna gain | 10 dBi |
| | Amp gain | 15 dB |
| | HPBW | 90° |
| | Antenna pattern | end-fire, broad-side |
| | Polarization | CP |
| RF seeker | Frequency | 16 GHz |
| | Transmit power | 1 kW |
| | PRT | 1 msec |
| | Pulse width | 1 μsec |
| | Chirp rate | 60 MHz/μsec |
| | Initial velocity | 3 Mach |
| | Load factor | 12 g |
| | Fuze range | 20 m |
| | # of antenna element | 232 |
| | Antenna spacing | λ/2 |
| | HPBW | 8° |
| | Polarization | LP |
| | Guidance law | PN |

이는 대략 1.1초 이후부터 유인체로부터 탐색기에 전달되는 재밍 전력이 플랫폼의 산란 전력보다 커지기 시작하여 RF 탐색기가 최대 전력이 수신되는 유인체 방향으로 유도되기 때문이다(그림 5(a)의 수신 전력 히스토리 참조). 플랫폼의 생존성을 확보하기 위해 유인체의 효율적인



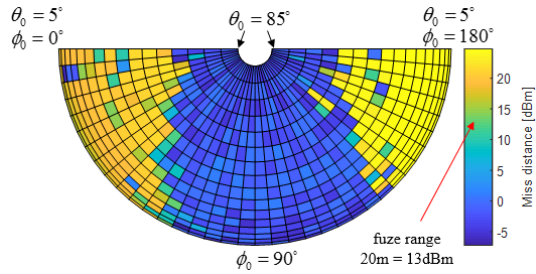
(a) 전력 히스토리
(a) Power history



(b) 1D 거리
(b) 1D distance

그림 5. RF 탐색기 수신 전력 히스토리, 3D 궤적 및 탐색기와 플랫폼, 유인체 사이의 거리 (시나리오 1)
Fig. 5. Power history received by RF seeker, 3D trajectory, and distance between seeker-platform and seeker-decoy (scenario 1).

재밍 영역을 찾는 것은 중요하다^[3]. 따라서 본 논문에서는 그림 4에 나타난 RF 탐색기의 여러 접근 시나리오에서 유인체의 재밍이 존재할 경우 플랫폼에 대한 탐색기의 miss distance를 계산하여 플랫폼 생존 영역을 계산하며 이는 그림 6(a)와 같다. RF 탐색기의 접근 거리는 $R_0=3$ km이며 접근 각도 ϕ_0 와 θ_0 은 모두 5° 간격으로 샘플링되었으며, 샘플링 범위는 각각 $\phi_0=0\sim180^\circ$ 와 $\theta_0=5\sim85^\circ$ 이다. Miss distance가 근접신관거리 20 m($=13$ dBm) 내/외에 위치한 경우 플랫폼은 소실/생존하였다고 판별하며, 이를 기반으로 플랫폼의 생존 영역을 표시하면 그림 6(b)와 같다. 유인체의 방사패턴은 end-fire이므로 LOS 축 방향($\phi_0=0^\circ$)과 반대 방향($\phi_0=180^\circ$)으로 재밍 전력이 방사되기 때문에 그림 6(b)에서 볼 수 있듯이 정면과 후면에서 접근하는 탐색기에 대해 플랫폼의 생존 영역이 형성된다. 그림 6(b)는 유인체의 전력증폭이득이 15 dB일 때의 결과이며, 전력증폭이득에 따른 플랫폼의 생존 영역을 분석하



(a) Miss distance

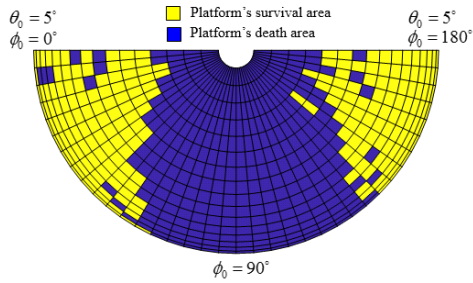
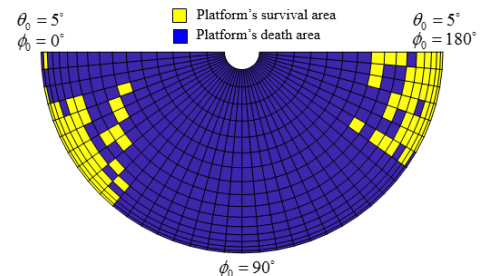

 (b) 플랫폼 생존 영역
(b) Platform's survival area

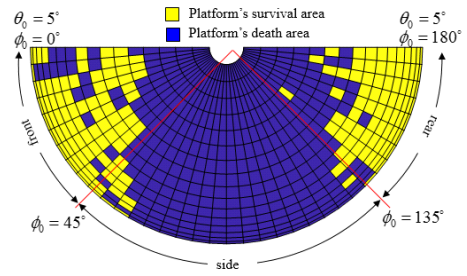
그림 6. RF 탐색기의 접근 위치에 따른 miss distance 및 플랫폼 생존 영역 (시나리오 1)

Fig. 6. Miss distance and platform survival area for various RF seeker approaching locations (scenario 1).

면 그림 7과 같다. 유인체의 재밍에 의한 플랫폼 생존 영역을 정량화하기 위해 전체 영역과 플랫폼 생존 영역의 비(ratio)로써 재밍 효과도(jamming effectiveness)을 수치화한다. RF 탐색기의 접근 방향을 정면($\phi_0=0\sim45^\circ$), 측면($\phi_0=45\sim135^\circ$), 후면($\phi_0=135\sim180^\circ$)으로 나누어 각 영역에서 유인체의 전력증폭이득에 따른 재밍 효과도를 계산하면 그림 8과 같다. 정면과 후면에 접근하는 탐색기에 대해 20 dB의 전력증폭이득으로 68 %의 재밍 실효성을 확보할 수 있음을 확인할 수 있으며, 전력증폭이득이 증가함에 따라 재밍 효과도는 점진적으로 증가한다. 25 dB의 증폭이득 시 대략 70 %의 재밍 효과도를 도출해낼 수 있다. 측면에 접근하는 RF 탐색기에 대한 재밍 효과도의 변화는 미미하며, 이는 유인체의 빔 패턴이 end-fire이므로 측면으로 방사되는 에너지의 변화가 작기 때문이다. Broad-side 빔 패턴을 갖는 유인체의 전력증폭 이득에 따른 재밍 효과도를 나타내면 그림 9와 같다. 주엽의 방향인 측면으로 재밍 전력이 가장 크게 전달되에도 불구하고, 옆면에



(a) 6 dB



(b) 12 dB

그림 7. 유인체 전력증폭이득에 따른 플랫폼 생존 영역 (시나리오 1)

Fig. 7. Platform's survival area with respect to power amplifier gain of decoy(scenario 1).

서 접근하는 미사일에 대한 재밍 효과가 정면/측면에서 접근하는 미사일에 대한 재밍 효과보다 떨어지며, amp gain이 15 dB일 때 재밍 효과도가 대략 15 % 더 낮은 것을 확인할 수 있다. 이를 분석하기 위해 RF 탐색기 접근 방향이 방위각 ϕ_0 방향으로 변할 때 플랫폼의 RCS를 나타내면 그림 10과 같다. 플랫폼의 측면의 유효 반사 면적이 넓고, 이에 따라 RCS(Radar Cross Section)가 정/후면의

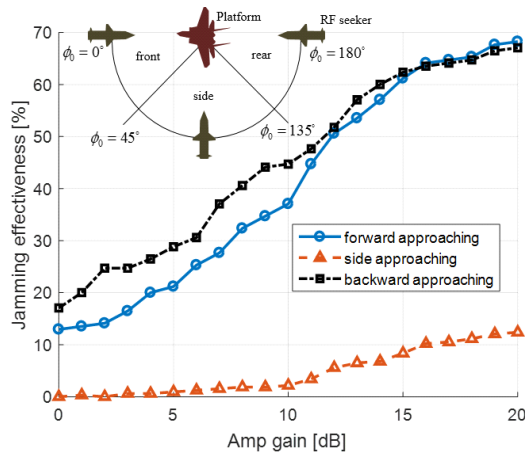


그림 8. 전력증폭이득에 따른 재밍 효과도(end-fire)
Fig. 8. Jamming effectiveness of decoy for amp gain(end-fire).

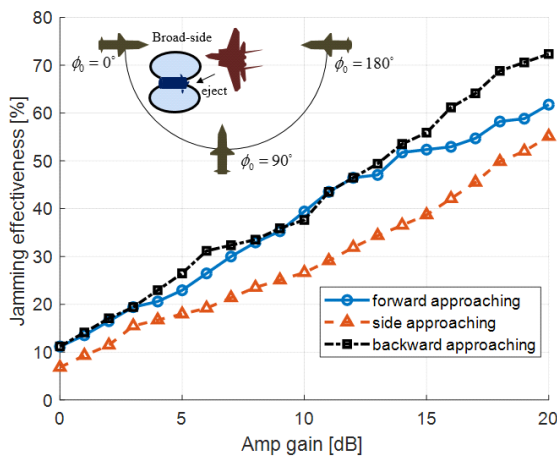


그림 9. 전력증폭이득에 따른 재밍 효과도(broad-side): 시나리오 1
Fig. 9. Jamming effectiveness of decoy for amp gain(broad-side): scenario 1.

RCS에 비해 높기 때문에 측면으로 접근하는 탐색기에 대해 J/S 비 (jamming-to-signal ratio)가 낮다. 따라서 측면에서 접근하는 RF 탐색기에 대한 기만 효과가 정면/후면에서 접근하는 탐색기에 대한 기만 효과보다 비교적 낮게 나타난다. 다음은 RF 탐색기의 초기 접근 거리에 대해 플랫폼 생존성을 분석하면 그림 11과 같다. 플랫폼은 선회 비행(2 g)하며 속도는 0.8 Mach(시나리오 1)와 0.4 Mach(시나리오 2)일 때의 결과 비교를 나타내며 플랫폼 기동 속도가 생존성에 미치는 영향을 분석한다.

탐색기 접근거리 1 km에서 플랫폼이 0.4 Mach로 기동하는 경우, 플랫폼의 생존영역은 존재하지 않으며 0.8 Mach로 기동하는 경우, 후면 접근 탐색기에 대해 접근 영역에 대해 플랫폼의 생존성이 존재한다. 탐색기의 초기 접근 거리가 증가함에 따라 플랫폼의 생존성이 증가하는 것을 확인할 수 있다. 이를 자세히 분석하기 위해 탐색기 초기 접근 거리에 대한 재밍 효과도를 분석하면 그림 12와 같다. 0.8 Mach의 기동으로 정면 1.0 km 이상 거리에서 접근하는 탐색기에 대해 플랫폼 생존성이 보장되며 0.4 Mach 기동으로는 1.4 km 이상 거리에서 접근하는 탐색기에 대해 플랫폼의 생존성이 보장된다. 2 km 이상에서 접근하는 탐색기에 대해서는 정/후면 60~67 %의 재밍 효과도로 수렴한다. 이는 플랫폼과 유인체의 이격 거

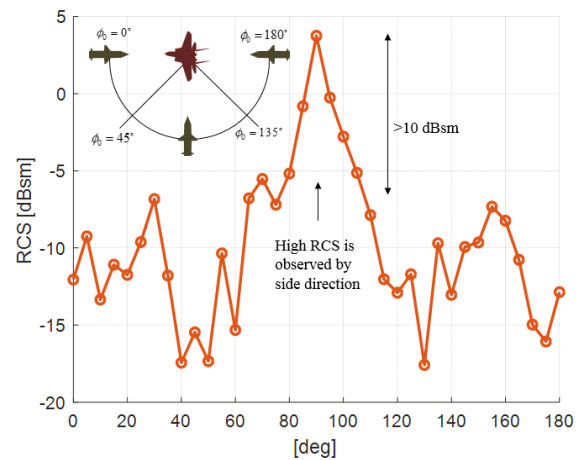


그림 10. RF 탐색기 접근 방향에 따른 플랫폼 RCS: 시나리오 1
Fig. 10. Platform's RCS for RF seeker approaching angle: scenario 1.

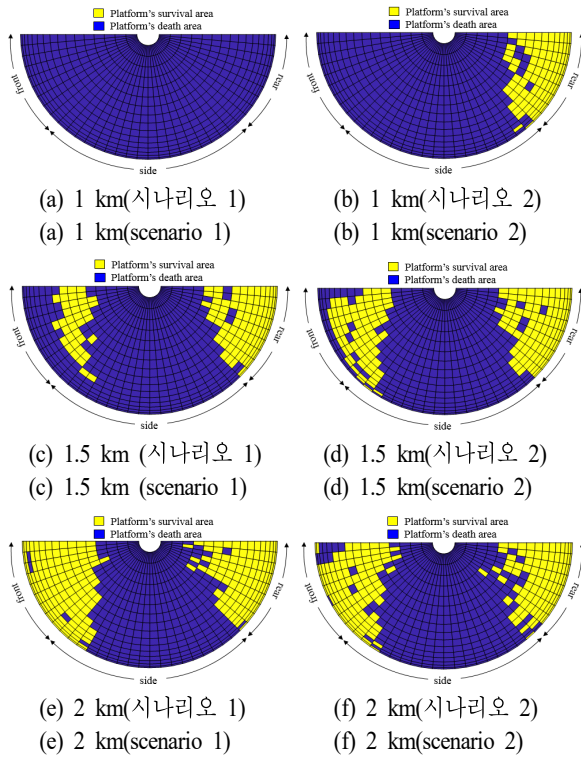


그림 11. RF 탐색기 초기 접근 거리 및 플랫폼 속도에 따른 플랫폼 생존성

Fig. 11. Platform survivability for initial RF seeker approaching range and platform velocity.

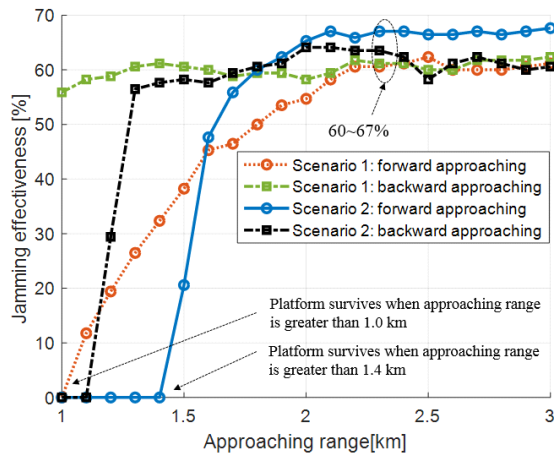


그림 12. RF 탐색기 초기 접근 거리에 따른 재밍 효과도 (시나리오 1 vs 시나리오 2)

Fig. 12. Jamming effectiveness for initial RF seeker approaching range (scenario 1 vs scenario 2).

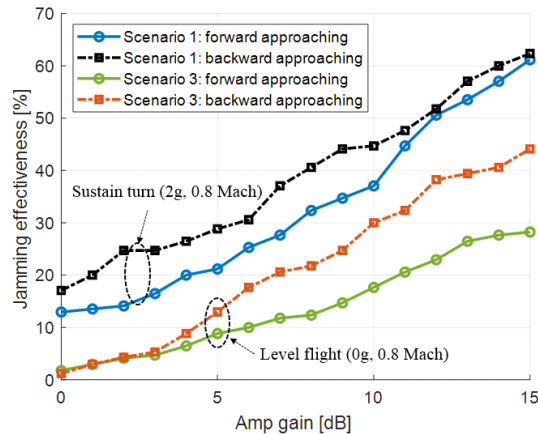
리로부터 기인한다. 플랫폼이 0.4 Mach로 기동하는 경우 두 물체의 격리 거리가 0.8 Mach로 기동하는 경우에 비해 느리게 증가한다. 0.4 Mach 기동 시 탐색기 접근거리 1.4 km부터 격리 거리가 근접신관거리인 20 m 이상이 되고 0.8 Mach 기동 시에는 1 km 탐색기 접근거리에 대해 20 m 이상이 되며, 이는 그림 12에 나타난 정면 접근 탐색기 접근거리에 대한 플랫폼 생존 시작 지점과 일치한다. 즉, 탐색기에 대한 기만이 효과적으로 이루어져 탐색기가 유인체 방향으로 유도되어도 플랫폼과의 격리 거리가 충분히 확보되지 못하여 플랫폼이 탐색기의 근접신관거리 내에 위치하여 생존성이 보장되지 않는다. 따라서 플랫폼은 탐색기가 2 km 이하로 접근하기 이전에 미리 유인체를 사출하여 이격 시간을 확보하여야 생존성을 증대시킬 수 있다.

플랫폼의 기동은 탐색기의 유도에 영향을 미치는 요인 중 하나이다^[9]. 따라서 플랫폼 기동이 플랫폼 생존영역에 미치는 영향을 분석하며 이를 위해 표 1의 선회비행(시나리오 1)과 직선비행(시나리오 3)을 고려한다. 유인체의 빔 패턴은 end-fire이고 안테나 이득은 10 dB이며 RF 탐색기는 3 km의 거리에서 전 방향에서 접근하며 정/후면에서 전력증폭이득에 따른 재밍 효과도를 나타내면 그림 13(a)와 같다. 플랫폼이 선회 비행하는 시나리오의 결과가 직선비행 시나리오의 결과에 비해 정면 접근 탐색기에 대해 대략 15~20 %, 후면 접근 탐색기에 대해 10~15 % 더 높은 재밍 효과도를 갖는다. 이는 선회비행을 하는 경우 직선비행을 하는 경우에 비해 탐색기에서 관측되는 플랫폼 RCS를 낮추어 높은 J/S 비를 이끌어 낼 수 있기 때문이다(그림 13(b), (c)).

V. 결론 및 향후 계획

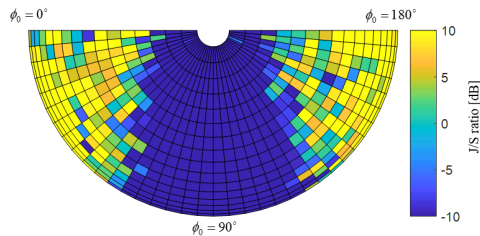
본 논문에서는 PN 유도 기반 능동 RF 탐색기의 조우 시나리오에서 반복형 능동 유인체의 재밍/기만 효과에 의한 공중 플랫폼의 생존성을 분석하였다. 플랫폼의 기동, 유인체의 RF 제원(spec), 탐색기의 접근 거리 및 방향 등 여러 다른 조건의 시나리오에서 플랫폼에 대한 탐색기의 miss distance를 계산하였고 이를 근접신관거리와 비교하여 플랫폼의 생존 여부를 판별하였다. 몇몇 조우 시나리오에서 플랫폼의 생존영역을 기반으로 정/측/후면에서 접

근하는 탐색기에 대한 플랫폼의 생존영역을 도출하였으며 이에 대한 원인 분석을 수행하였다. 유인체가 End-fire 빔 패턴으로 전파를 방사할 때 정/후면 접근하는 RF 탐색



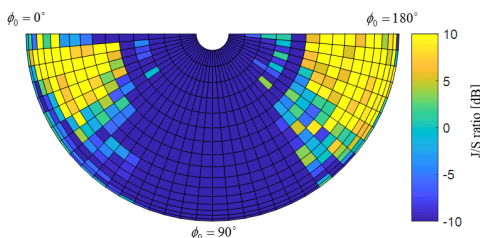
(a) 재밍 효과도

(a) Jamming effectiveness



(b) J/S 비 (시나리오 1)

(b) J/S ratio(scenario 1)



(c) J/S 비(시나리오 3)

(c) J/S ratio(scenario 3)

그림 13. 플랫폼 선회비행 및 직선비행 시 유인체 증폭 이득에 따른 재밍 효과도 (시나리오 1 vs 시나리오 3)

Fig. 13. Jamming effectiveness for amplifier gain of active decoy when platform follows level flight or sustain turn maneuvering(scenario 1 vs scenario 3).

기에 대해 높은 기만 효과를 분석하였다. 또한 동일한 안테나 이득을 갖는 조건하에서 유인체가 Broad-side 빔 패턴으로 전파를 방사할 때의 기만효과를 분석한 결과 End-fire의 빔이 Broad-side 빔보다 측면에서 접근하는 RF 탐색기에 대한 높은 기만 효과가 높음을 확인할 수 있었다. 이는 플랫폼의 측면의 유효 반사 면적이 넓어 RCS가 크고 이에 따라 탐색기를 기만하기 위해 더 많은 재밍 전력이 요구되었기 때문이다. 플랫폼이 선회 비행하는 경우 플랫폼의 속도(0.4 Mach vs 0.8 Mach)가 생존성에 미치는 영향을 분석한 결과 플랫폼의 속도가 빠를수록 근거리에서 접근하는 탐색기에 대해 높은 생존성을 확보할 수 있었다. 이는 빠른 기동으로 플랫폼과 유인체의 격리 거리를 탐색기의 근접신관거리보다 크게 확보할 수 있었기 때문이다. 플랫폼의 속도가 느릴 경우 탐색기가 접근 거리가 가까우면 유인체에 의한 기만으로 탐색기가 유인체로 접근하더라도 근접신관거리 내에 플랫폼도 위치하기 때문에 생존성 확보가 어려움을 확인하였다. 또한 플랫폼의 기동이 플랫폼의 생존성에 미치는 영향을 분석한 결과, 플랫폼이 선회비행을 하는 경우 직선비행을 하는 경우에 비해 RCS 감소 효과로 RF 탐색기에 대해 높은 J/S 비를 확보하여 RF 탐색기에 대해 10~20% 높은 재밍 효과도를 이끌어 낼 수 있음을 확인하였다.

본 논문에서 제안된 플랫폼 생존 영역 도출 시뮬레이션을 기반으로 임의의 조우 시나리오에서 플랫폼의 생존성을 극대화하기 위한 주요 인자에 대한 분석을 수행할 수 있다. 나아가 분석된 인자들의 최적의(optimal) 조건들을 도출하여 공중 플랫폼에 접근하는 적 탐색기 레이더에 대한 효율적 기만을 도모할 수 있다.

References

- [1] F. Neri, "Anti-monopulse jamming techniques," in *Proceedings of the 2001 SBMO/IEEE MTT-S International Microwave and Optoelectronics Conference(Cat. No. 01TH8568)*, Aug. 2001, vol. 2, pp. 45-50.
- [2] J. W. Rim, K. H. Jung, I. S. Koh, C. Baek, S. Lee, and S. H. Choi, "Simulation of dynamic EADs jamming performance against tracking radar in presence of airborne platform," *International Journal of Aeronautical and Space*

- Sciences*, vol. 16, no. 3, pp. 475-483, 2015.
- [3] J. W. Rim, I. S. Koh, and S. H. Choi, "Jamming performance analysis for repeater-type active decoy against ground tracking radar considering dynamics of platform and decoy," in *18th International Radar Symposium(IRS)*, Prague, Jun. 2017, pp. 1-9.
- [4] E. K. Kwak, J. H. Shin, S. S. Lee, K. Y. Choi, J. S. Hyun, and N. G. Kim, "Development of an off-line 6-DOF simulation program for store separation analysis," *Journal of the Korean Society for Aeronautical & Space Sciences*, vol. 37, no. 12, pp. 1252-1257, 2009.
- [5] D. M. Pozar, *Microwave Engineering*, John Wiley & Sons, 2009.
- [6] Y. Zheng, S. M. Tseng, and K. B. Yu, "Closed-form four-channel monopulse two-target resolution," *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, vol. 39, no. 3, pp. 1083-1089, Jul. 2003.
- [7] A. W. Rihaczek, *Principles of High-Resolution Radar*, Norwood, MA, Artech House, 1996.
- [8] A. M. Navarro, "General properties of alpha beta, and alpha beta gamma tracking filters," *NASA STI/Recon Technical Report N*, vol. 77, 1977.
- [9] P. Zarchan, *Tactical and Strategic Missile Guidance*, American Institute of Aeronautics and Astronautics, 2012.
- [10] L. Brown, "The proximity fuze," *IEEE Aerospace and Electronic Systems Magazine*, vol. 8, no. 7, pp. 3-10, 1993.
- [11] J. W. Rim, I. S. Koh, "Effect of beam pattern and amplifier gain of repeater-type active decoy on jamming to active RF seeker system based on proportional navigation law," in *International Radar Symposium*, Bonn, Germany, Jun. 2018 (in press).

임 재 원



2014년 8월: 인하대학교 전자공학과 (공학사)
 2016년 8월: 인하대학교 전자공학과 (공학석사)
 2016년 9월~현재: 인하대학교 전자공학과 박사과정
 [주 관심분야] Electronic Warfare, Radar

M&S, Numerical Analysis

이 현 수



2012년 8월: 인하대학교 전자공학과 (공학사)
 2014년 8월: 인하대학교 전자공학과 (공학석사)
 2014년 9월~현재: 인하대학교 전자공학과 박사과정
 [주 관심분야] 전자파 수치해석

정 기 환



2013년 2월: 인하대학교 전자공학과 (공학사)
 2015년 2월: 인하대학교 전자공학과 (공학석사)
 2015년 3월~현재: 인하대학교 전자공학과 박사과정
 2017년 6월~현재: 광주과학기술원 전자

전특화연구센터 연구원

[주 관심분야] Electronic Warfare, Radar M&S, Numerical Analysis

고 일 석



1992년 2월: 연세대학교 전자공학과 (공학사)
 1994년 2월: 연세대학교 전자공학과 (공학석사)
 1996년 4월: LG 전자 연구원
 2002년 8월: The University of Michigan at Ann Arbor 전기 및 전산과 (공학박사)

2004년 3월~2010년 8월: 인하대학교 정보통신대학원 교수

2010년 9월~현재: 인하대학교 전자공학과 교수

[주 관심분야] Theoretical Electromagnetics, Numerical Analysis, Wave Propagation through Complex Media