

디코이 안테나를 이용한 레이더의 ARM 방어 기술

채규수^{1*}, 임중수¹, 김민년¹
¹백석대학교 정보통신학부

An anti-ARM technique using decoy antennas

Gyoo-Soo Chae^{1*}, Joong-Soo Lim¹ and Min-Nyun Kim¹

¹Division of Information Communication Eng., Baekseok University/RDRC KAIST

요약 본 논문은 디코이(Decoy) 안테나를 사용하여 레이더를 보호하기 위한 레이더 전파회피 기술에 대한 것이다. 디코이 안테나의 효과를 알아보기 위해 대방미사일(ARM) 수신기에 도달하는 감시 레이더 신호와 디코이 신호의 합성 신호의 위상과 진폭을 분석하였다. 그리고 다수 디코이의 배치 방법과 배치 거리에 따른 ARM의 요격효과를 시뮬레이션 하고, ARM 방어를 위한 효과적인 디코이 배치 방법 및 배치거리를 제안한다.

Abstract This paper describes an anti-ARM technique using multiple decoy antennas. We investigate the radar and decoy antenna signal received at the ARM receiver to verify the effect of decoy antennas. And we develop a simulation program using Matlab for optimum positions of the decoys and the effect of ARM by distance between decoys. We suggest optimum positions and distance between decoys based on our simulation results.

Key Words : Decoy antenna, ARM, Anti-ARM, Radar

1. 서론

전파 회피기술은 한반도와 같은 산악지형에서 최적의 레이더 운용 사이트를 선정하고 다른 발생신호 장치를 추가하여 레이더에 발생하는 전파를 효율적으로 관리함으로써 레이더 운용을 적에게 최소로 노출시켜 대방사미사일(ARM: Anti Radiation Missile)등의 공격을 피하면서 원하는 정보를 충분히 획득할 수 있도록 하는 기술을 말한다. 특히, 현대전에서는 적의 대공방어망을 억제하기 위한 정밀 유도무기, 대방사미사일에 의한 공격이 급격히 증대되고, 전파방해 전용 무인기가 등장하면서 레이더를 보호하기 위한 레이더 전파회피 기술에 대한 연구가 매우 활발하게 진행되고 있다[1-5]. 대방사미사일은 레이더가 레이더 기지에서 운용되는 동안에 레이더가 방사한 전파를 ARM의 수신기가 수신하여 전파가 도래하는 방향을 탐지한 후에 전파가 도래되는 방향에 레이더가 있다고 가정하고 레이더 기지를 공격하는 미사일이다. 이러한 대방사 미사일은 1983년 9월 이스라엘이 시리아와 전

쟁에서 Baika Valley 에 있는 19개의 SA-6 미사일 기지의 레이더를 이스라엘이 ARM을 사용하여 파괴했으며, 걸프 전에서도 개전 초기에 연합군의 ARM과 정밀 유도 무기가 이라크의 레이더 기지 공격에 많이 사용되었다.

대방사미사일은 공대지, 지대지, 함대지 미사일 형태가 있으며 미국이나 유럽에서 사용하는 미사일의 직경은 최대 직경이 약 40cm이고, 러시아에 의해서 개발된 ARM 미사일의 직경은 최대 직경은 약 1m 정도이다. ARM은 능동형 미사일의 탄두에 부착되는 탐색기 대신에 적의 레이더에서 발사되는 전파를 수신하는 전자전 장비의 방향탐지기와 유사한 수동형 레이더 추적기를 보유하고 있다. 현재 사용되는 대부분의 레이더 추적기는 수동형 방향 추적기로 전자지원 장비의 수신기 및 방탐기와 구성 및 기능이 유사하다.

ARM을 방어하는 주요 전파회피기술은 직접 타격(Hard kill), 채프(Chaff), 디코이 안테나, 디코이 안테나와 블링킹(Blinking) 병행, 레이더 파라미터 변경 등이 있으며 이중에서도 디코이 안테나를 사용하는 기법과 블링

본 연구는 한국과학기술원 전파탐지특화연구센터를 통한 국방과학연구소의 연구비 지원으로 수행되었습니다.

*교신저자 : 채규수(gschae@bu.ac.kr)

접수일 09년 09월 15일

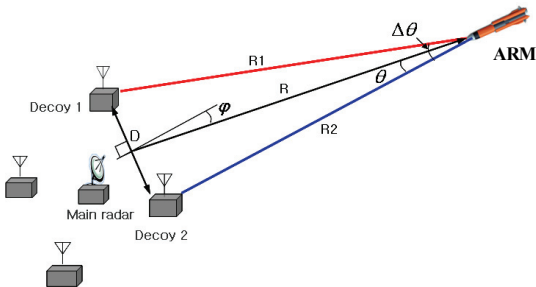
수정일 09년 10월 07일

게재확정일 09년 10월 14일

킹 기법이 매우 효과적이다[6-8]. 이러한 전파회피 기술들이 소개되었지만 디코이 안테나의 배치에 대한 이론적인 모델이 제시되지 않았다. 본 논문에서는 디코이 안테나를 사용한 전파회피가 효과적으로 이루어 지기위해 디코이 안테나의 최적 배치 간격을 시뮬레이션을 통해 구하고자 한다.

2. 디코이 안테나를 사용한 ARM 방어 기술

감시레이더를 보호하기위해서 많이 사용하는 방법은 감시레이더 주변에 디코이 안테나를 설치하여 ARM의 표적 추적기가 감시 레이더 대신 디코이 안테나를 추적하거나 또는 디코이 안테나 송신신호와 감시 레이더의 송신신호의 합성에 의해서 감시 레이더와 디코이 안테나의 중간지점을 추적하도록 하는 방법이다. 그림 1은 ARM 방어를 위한 디코이 안테나를 이용한 레이더 사이트 운용 개념도이다.



[그림 1] 레이더와 디코이 안테나 운용 개념도

디코이 안테나를 사용하는 전파회피기술은 감시 레이더와 디코이 안테나의 신호 크기만을 조정하여 운용하는 방법과 신호크기와 위상을 함께 조정하여 운용하는 방법이 있다. 감시 레이더의 주엽(Main-lobe)이 ARM 추적기와 조우하는 시간은 감시 레이더의 회전 또는 스캔 속도에 비례하므로 ARM은 대부분의 경우 감시 레이더의 주엽과 조우하지 않고 부엽(Side-lobe)과 조우하게 된다. 디코이 안테나의 출력을 감시 레이더의 부엽 출력 보다 크게 할 경우 ARM은 디코이 안테나를 추적할 확률이 높다. 디코이 안테나의 중요성이 증대되어 최근에 와서는 여러 개의 디코이 안테나를 설치하기도 하고, 이와 별도로 여러 종류의 레이더를 능동적으로 모의할 수 있는 능동 디코이가 개발되어 설치되기도 한다. 능동 디코이는 넓은 주파수 대역의 레이더 신호를 복제할 수 있으며, 펄스폭과 펄스 간격 등도 다양하게 복제할 수 있다.

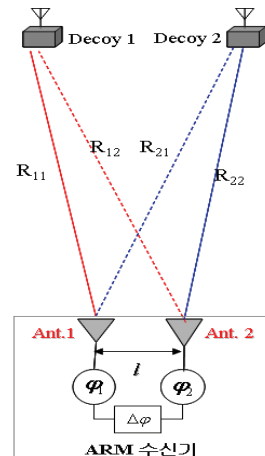
추적 ARM의 각도오차 판별기가 선형특성을 가지고 진폭비교 방법으로 방향을 판별하는 경우에, 두 디코이 안테나의 가운데 지점에서 나타나는 각도오차(θ_e)는

$$\theta_e = \Delta\theta \cdot (\alpha^2 - 1) / 2(\alpha^2 + 1) \quad (1)$$

와 같이 표현할 수 있으며, α 는 두 안테나의 상대전압 진폭 비이며, $\Delta\theta = D \cos \psi / R$ 이다. 이 경우 D는 안테나사이의 거리, R은 추적 ARM과 레이더 안테나의 중간 지점과의 거리, ψ 는 추적 ARM 지향 축과 레이더 사이를 수직 이등분하는 선과 이루는 각도를 각각 나타낸다. 이 관계식은 부정합 안테나의 송신세기가 동일한 경우, 두 안테나의 가운데 지점을 추적하게 된다는 결과를 보여준다. 만약 한쪽 안테나의 세기가 더 강하게 되면, 추적 ARM의 안테나 방향은 강한 안테나의 송신신호 쪽에 가깝게 될 것이다.

ARM은 30~100km 거리에서 발사되지만 표적추적을 개시하는 거리는 감시레이더로부터 15~20km 정도 떨어진 곳에서부터 시작한다. 이 경우 디코이 안테나가 효과적으로 동작하기 위해서는 감시 레이더를 운용중지 하든지 그렇지 않으면 디코이 안테나를 감시 레이더와 인접한(약 100~300m) 위치에 설치해야 ARM의 표적 추적기가 감시레이더와 디코이 안테나를 동시에 추적하게 된다. 이 경우 ARM 추적기의 방향 추적 분해능이 중요하며, 일반적으로 약 8°, 성능이 우수한 경우는 2~3°로 추정된다.

그림 2는 ARM 수신기에 도달하는 감시 레이더 신호와 디코이 신호의 합성 신호의 위상과 진폭을 분석하기 위해 공간상 떨어져 있는 2개의 부정합 디코이 안테나가 추적 ARM의 빔 폭 내에 위치하는 경우를 보여주고 있다.



[그림 2] 디코이 안테나 배치와 ARM 수신기

$$E_{11}(R_{11}) = \frac{A_{11} \exp(j2\pi R_{11}/\lambda)}{R_{11}} \quad (2)$$

$$E_{12}(R_{12}) = \frac{A_{12} \exp(j2\pi R_{12}/\lambda)}{R_{12}} \quad (3)$$

$$E_{21}(R_{21}) = \frac{A_{21} \exp(j2\pi R_{21}/\lambda)}{R_{21}} \quad (4)$$

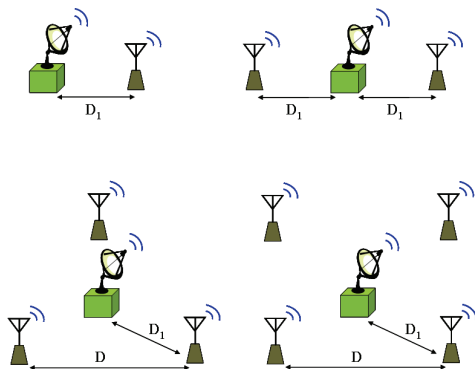
$$E_{22}(R_{22}) = \frac{A_{22} \exp(j2\pi R_{22}/\lambda)}{R_{22}} \quad (5)$$

$$\phi_1 = \arg(E_{11} + E_{21}) \quad (6)$$

$$\phi_2 = \arg(E_{12} + E_{22}) \quad (7)$$

$$\Delta\phi = \phi_1 - \phi_2 \quad (8)$$

식 (2)-(5)는 디코이 안테나로부터 ARM 수신기의 안테나로 수신되는 신호를 표시하고 있다[9-10]. 그리고 식 (6), (7)은 수신기에 도달한 신호의 위상을 표시하며 그 차이가 식 (8)에 나타나 있다. ARM은 이 위상차이($\Delta\phi$)가 0이 되는 방향을 찾아서 공격하게 된다. 본 논문에서는 이 위상차이가 0인 경로를 따라 ARM이 비행 하는 경로를 Matlab 프로그램으로 구현 하였다[11-12]. 그림 3에서는 디코이 안테나의 배치 방법을 나타내었다. ARM이 레이더 사이트에 근접함에 따라 디코이 안테나만 운용한다고 가정할 때, 디코이 안테나의 배치방법을 제안 하는 것이다. 디코이 안테나가 ARM수신기의 방향탐지 빔 폭 내에서 최적의 배치 방법을 제안하고 있다. 표 1에서는 방향탐지 정확도에 따른 디코이 안테나의 최대 이격 거리가 나타나 있다. ARM 수신기의 방향탐지 정확도에 따라 디코이의 배치 간격이 결정되어야 한다. 디코이 안테나가 ARM 수신기의 방향탐지 정확도를 벗어나면 다른 목표물로 인식하여 디코이 안테나의 효과가 없어지기 때문이다.

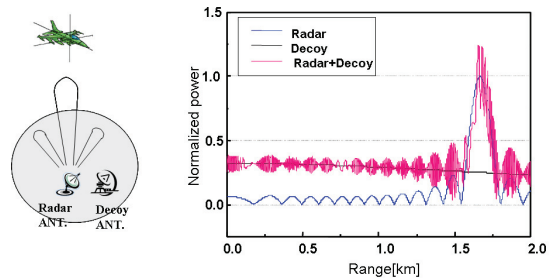


[그림 3] 디코이 안테나 배치 방법

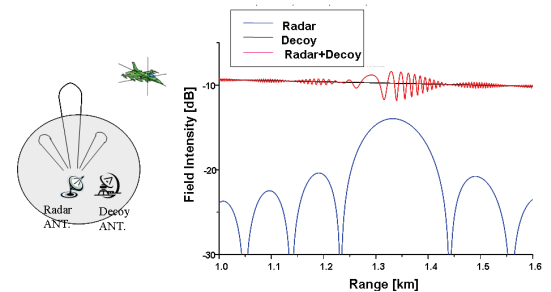
[표 1] ARM 수신기의 방향정확도에 따른 디코이 안테나 배치 방법

디코이수		방향정확도			
		$\pm 1^\circ$	$\pm 2^\circ$	$\pm 3^\circ$	$\pm 5^\circ$
1	D1	97.75m	195.56m	293.48m	489.94m
2	D1	97.75m	195.56m	293.48m	489.94m
3	D	193.55m	383.38m	569.5m	932.7m
	D1	111.74m	221.35m	328.9m	538.5m
4	D	192.14m	377.9m	557.7m	901.04m
	D1	135.87m	267.2m	394.3m	637.13m

※ D : 디코이 사이의 거리, D1 : 레이더와 디코이 사이의 거리

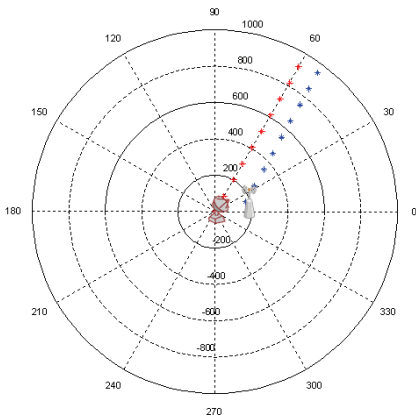


[그림 4] 레이더의 주엽과 Decoy 안테나로부터 교란 (1GHz, 110m, 위상차 90°)



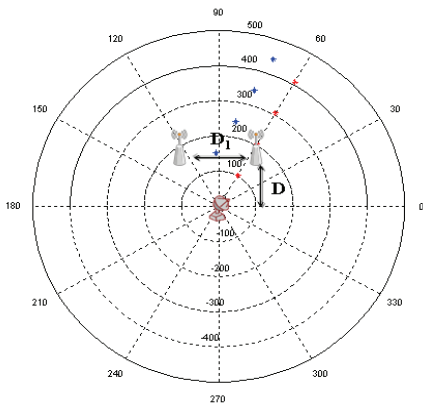
[그림 5] 레이더의 부엽과 Decoy 안테나로부터의 교란 (1GHz, 110m, 위상차 90°)

그림 4는 ARM이 레이더의 주엽과 조우 할 때, 수신기에서 수신되는 신호의 세기가 나타나 있으며 그림 5에서는 부엽과 조우하는 경우 신호의 세기가 나타나 있다. ARM이 주엽과 조우하는 경우는 디코이 안테나의 효과가 거의 없는 것을 알 수 있고 부엽과 조우하는 경우에 디코이 안테나의 효과가 나타나게 된다.



[그림 6] 디코이 안테나를 1개 사용한 경우와 하지 않은 경우의 ARM 비행경로 (사용 주파수 = 9GHz, 거리 = 18km, ARM 방탐정확도 : $\pm 2^\circ$, 레이더와 디코이 사이 간격 : 195m)

그림 6은 디코이 안테나를 1개 사용한 경우와 사용하지 않은 경우의 ARM 비행경로를 나타내고 있고 그림 7은 디코이 안테나를 2개 사용한 경우의 ARM 비행경로를 나타낸다. 디코이를 사용하지 않는 경우는 레이더를 타격하고 1개의 디코이 안테나를 사용한 경우는 디코이 안테나를, 2개의 디코이를 사용한 경우는 디코이 안테나 사이를 타격하는 것을 볼 수 있다.



[그림 7] 디코이 안테나를 2개 사용한 경우의 ARM 비행경로 (D_1 : 192m, D : 135m)

3. 결론

본 논문에서는 디코이 안테나를 사용하여 레이더를 보호하기 위한 레이더 전파회피 기술에 대하여 기술하였다.

디코이를 사용하는 기술은 ARM의 레이더 공격을 방어하는 대표적인 기술이다. 방탐정확도에 따른 다수 디코이의 효과적인 배치 방법과 배치 거리에 따른 ARM의 요격 효과를 Matlab 프로그램을 사용하여 시뮬레이션 하였다. 그리고 ARM 방어를 위한 효과적인 디코이 배치 방법 및 배치거리를 구체적으로 제안한다. 본 연구를 바탕으로 디코이 안테나를 사용한 레이더 전파회피 시뮬레이터를 개발하여 체계적인 레이더 방어기술에 대한 연구가 진행될 것이다.

참고문헌

- [1] M. Emadi, A. Jafargholi, M. H. S. Moghadam and F. Marvasti, "New anti -ARM technique by using random phase and amplitude active decoys," *Progress In Electromagnetics Research*, PIER 87, pp. 297 - 311, 2008.
- [2] Wang Fan, He RuiLong and Sha Xiang, "Anti -ARM technique: feature analysis of ARM warning radar," 2001 CIE International Conference on Radar, Page(s): 293-296, Oct. 2001.
- [3] Wang Fan, He RuiLong and Sha Xiang, "Anti -ARM technique: distributed general- purpose decoy series (DGPD)," 2001 CIE International Conference on Radar, Page(s): 306-309, Oct. 2001.
- [4] Li Neng-Jing, "Radar ECCMs new area: anti -stealth and anti-ARM," *IEEE Trans. on Aerospace and Electronic Systems*, Vol. 31, Issue 3, Page(s): 1120-1127, July 1995.
- [5] D. E. Maurer, R. Chamlou, and K. O. Genovese, "Signal processing algorithms for electronic combat receiver applications," *Johns Hopkins APL Technical Digest*, Vol. 18, No. 1, 1997.
- [6] G. D. Curtis Schleher, *A Electronic Warfare in the Information Age*, Artech House, Boston, 1999.
- [7] Filippo Neri, *Introduction to Electronic Defense Systems*, Artech House, Boston, 1991.
- [8] Leroy B. Van Brunt, *Applied ECM, Volume 3*, EW Engineering, Inc. VA, 1995.
- [9] W. L. Stutzman, *Antenna Theory and Design*, John Wiley & Sons Inc, 1998.
- [10] R. J. Mailloux, *Phased Array Antenna Handbook*, Artech House, Norwood, MA, 1994.
- [11] B. R. Mahafza, *Radar Systems Analysis and Design Using Matlab*, Chapman and Hall/CRC, NY, 2000.

[12] David K. Barton, *Radar System Analysis and Modeling*, Artech House, Norwood, MA, 2005.

채 규 수(Gyoo-Soo Chae) [종신회원]



- 1995년 2월 : 경북대학교 전자공학과 (공학석사)
- 2000년 12월 : Virginia Tech (공학박사)
- 2001년 1월 ~ 2003년 2월 : Amphenol Mobile (RF manager)
- 2003년 3월 ~ 현재 : 백석대학교 정보통신학부 교수

<관심분야>

안테나 설계, 초고주파 이론

임 중 수(Joong-Soo Lim) [정회원]



- 1978년 2월 : 경북대학교 전자공학과 (공학사)
- 1987년 8월 : 충남대학교 전자공학과 (공학석사)
- 1994년 3월 : Auburn University (공학박사)
- 1980년 8월 ~ 2003년 12월 : 국방과학연구소

- 2003년 3월 ~ 현재 : 백석대학교 정보통신학부 교수

<관심분야>

전자파 이론, 광대역 주파수 소자 설계, 레이더 및 전자전 장비 설계/분석

김 민 년(Min-Nyun Kim) [종신회원]



- 1993년 2월 : 홍익대학교 전자공학과 (공학사)
- 1995년 2월 : 홍익대학교 대학원 전자공학과 (공학석사)
- 1995년 : 대우전자 전략기술연구소
- 2003년 6월 : 홍익대학교 대학원 전자공학과(공학박사)

- 2002년 3월 : 백석대학교 정보통신학부 전임강사

<관심분야>

초고주파, 레이더, 전파산란, 광파