

레이다의 전자 보호용 위상정합 특성 분석

임중수^{1*}, 채규수¹

An Analysis of Cross-eye Characteristics for Electronic Protection of Radar

Joong-Soo Lim^{1*} and Gyoo-Soo Chae¹

요 약 본 논문에서는 산악지형이 많은 한반도에서 전파의 다중경로 전달 특성을 분석하여 최적의 레이더 운용 사이트를 선정하고 레이더에 발생하는 전파를 효율적으로 관리함으로써 레이더 운용을 적에게 최소로 노출시켜 대방사 미사일의 공격을 피하면서 원하는 정보를 충분히 획득하는 전자보호 기술에 대해서 기술하였다. 또한 다중 경로에 의한 전파의 위상 특성을 분석하여 전력밀도의 변화를 분석하였다.

Abstract This paper presents a cross-eye characteristics of multi-path wave scattering. Cross-eye method uses the phase differences of multi signals and is used for electronic protection. When a signal is propagated from transmitter to receiver on the ground surface, direct wave and reflected wave signals are combined in front of the receiving antenna with different phases. To calculate and control the amplitude and phase of reflected signal, we have developed a cross eye electronic protection method for radar system and studied the variation of electric power density.

Key Words : PCB(Printed circuit board), Structural analysis, Multi-axis drill machine, Maximum deformation, Yield stress

1. 서론

한반도와 같은 산악지형에서 레이더 운용 사이트를 최적으로 선정하고 레이더에 발생하는 전파를 효율적으로 관리함으로써 레이더 운용을 적에게 최소로 노출시켜 대방사미사일(Anti Radiation Missile)등의 공격을 피하면서 원하는 정보를 충분히 획득하는 것은 매우 중요하다.

이러한 기술을 발전시키기 위한 기본 기술은 지형에 따른 전파의 전파특성을 디지털 지형지도(Digital Terrain Map) 등을 이용하여 정확하게 구축 한 뒤에 전자파 간섭과 전자 위협의 각종 전자 보호 (Electronic Protection) 기술을 분석해야 한다.

본 논문에서는 레이더파의 송수신에 따른 단일 경로에서의 직접파와 대지 반사파, 다중 경로파를 지형과 거리에 따라 전계 강도 세기를 구간 별로 분석하고, 전파 회피를 위한 위상 정합 기술의 특성과 응용을 기술하였다.

2. 레이다의 거리 방정식

먼저 레이더 신호가 공간에서 방사될 때, 레이더 신호는 레이더 송신기의 출력, 송신 안테나, 이득, 공간을 통과하면서 발생하는 전파 손실의 영향을 받으며 탐지하고자 하는 표적이 있는 곳까지 전달된다. 이 때 표적 또는 표적의 수신 단에서 수신되는 신호의 세기는 식(1)과 같다.

$$P_R = \frac{P_t G_t A_e}{4\pi R^2} \quad (1)$$

여기에서 P_t 는 레이더 송신기 출력, G_t 는 송신 안테나 이득, A_e 는 수신 안테나의 개구면적, R 은 탐지 거리이다. 또 안테나 개구면적을 이득 값으로 바꾸면,

$$S = \frac{P_t G_t G_r \lambda^2}{(4\pi R)^2} = P_t G_t G_r \left[\frac{c^2}{(4\pi f R)^2} \right] \quad (2)$$

¹천안대학교 정보통신학부 / KAIST RDRC 센터

*교신저자: 임중수(jslim@cheonan.ac.kr)

여기서, λ 는 고주파 신호의 파장, c 는 전파의 속도이다. 식 (2)에서 λ , c 와 R 의 단위를 일치시키고 이 식을 dB로 표현하면 다음과 같다.

$$10 \log P_R = 10 \log P_t + 10 \log G_t + 10 \log G_r - \alpha_1 [dB] \quad (3)$$

식 (3)에서 편도자유공간손실 α_1 은 식(4)와 같다.

$$\alpha_1 = 20 \log (f_1 R) + K_1 [dB] \quad (4)$$

여기에서, $K_1 = 20 \log (4\pi/c)$ 이며, 100NM 거리에서 7.5GHz 고주파 신호에 대한 단 방향 레이다의 자유공간 손실 α_1 을 계산하면 다음과 같다.

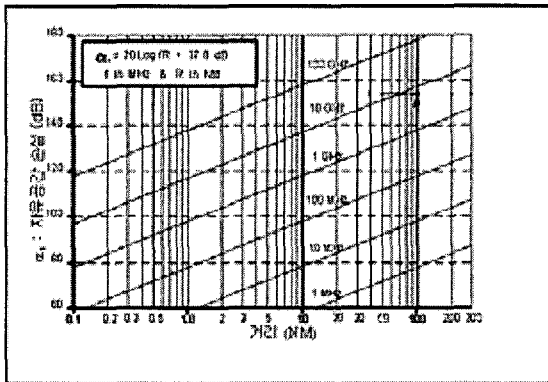


그림 1. 단방향 자유공간 손실

3. 다중 경로 전파의 전파 분석

지상파는 지표파, 직접파, 대지반사파, 회절파 등이며, 수신전계는 이들 중 한 가지 또는 2개 이상의 통로의 합성으로 이루어진다. 따라서 정도의 차이는 있으나 지상파는 대지에 의한 영향과 각 주파수대별 전파특성에 의한 영향을 받는다. 지상파의 수신 전계강도에 영향을 미치는 것은 송신기 출력, 송신 안테나의 특성, 주파수 외에도 회절상태, 지형의 전기적 특성 및 대기의 기상상태 등에 의해서 영향을 받는다.

3.1 직접파의 전파

직접파는 대지 면에 접촉함이 없이 송신 안테나로부터

수신 안테나에 도달하는 전파를 말한다. 이 직접파는 평면대지상에서 빛과 같이 기하학적 가시거리에 의하여 공중의 모든 점에 직선적으로 도달하는 전파이며, 이는 등가 지구반지름을 고려한 전파의 가시거리와 구면 대지의 경우에는 수평선은 한계가 있으므로 송·수신 안테나를 높이면 높일수록 전파의 가시거리는 멀어지게 된다.

3.2 지표면 반사파의 전파

지표면 반사파는 한 번 대지에서 반사한 다음 수신점에 도달되는 전파를 말하며, 대지의 전기정수가 지역에 따라서 일정치 않을 뿐만 아니라 도전율이 완전도체와 같지 않기 때문에 광학적 반사를 하지 못하고 발산한다.

수평면파는 대지에 반사할 때 위상이 180°반전되고 또 반사파는 직접파 보다는 긴 전파통로를 거쳐 수신점에 도달하기 때문에 그만큼 위상이 낮다. 일반적으로 대지반사파는 직접파와 함께 나타나므로 수신전계를 계산할 때 양자를 동시에 고려해야 하며 수직면파와 수평면파의 반사계수가 서로 다르므로 양자를 분리하여 해석해야 한다.

그림 2와 같이 대지를 완전 도체평면으로 가정하고 송·수신 안테나의 높이를 각각 h_1 , h_2 , 송·수신 안테나 간의 거리를 d 라고 하면 수신점 R에서의 전계는 직접파와 대지반사파 전계의 벡터적 합성이 된다.

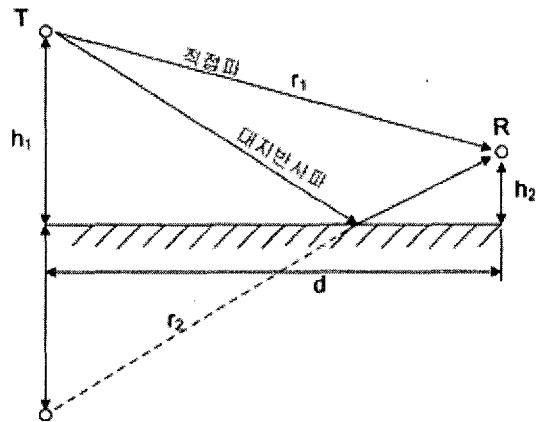


그림 2. 수평 안테나에 의한 수평면파의 방사전계

이 때 대지반사파는 지표면에 대칭이 되는 곳에 있는 영상 안테나(image antenna)로부터 방사된다고 생각하면 문제의 해석을 쉽게 할 수 있다. 수평면파 대지반사파의 위상은 반사계수 $\Gamma_h = -1$ 이므로 대지에서 반사할 때 위상이 반전되고 또 직접파와 대지반사파간의 경로 차에 의한 위상차를 갖는 수신전계가 나타나게 된다.

수신점 R에서 직접파의 전계를 E_D , 대지반사파의 전계를 E_R 이라 하면

$$E_D = |E_D| e^{j\phi_1} \quad (5)$$

$$E_R = |E_R| e^{j\phi_2} \quad (6)$$

로 표현할 수 있다. 반사계수가 -1 이므로 $|E_R| = -|E_D|$ 가 되고 이들의 합성전계는 식(7), (8) 과 같다.

$$E = E_D + E_R = E_D(e^{j\phi_1} - e^{j\phi_2}) \quad (7)$$

$$E = E_D \left| 1 - e^{j\frac{4\pi h_1 h_2}{\lambda d}} \right| \quad (8)$$

수직편파인 경우에는 수평편파와 같은 방법으로 수신 전계를 구할 수 있다. 다만 수평편파의 경우와 다른 점은 수직편파의 반사계수가 $\Gamma_v = +1$ 이라는 것이다.

직접파 및 대지반사파의 전계를 E_D, E_R 하 하면 식(9), 식(10)과 같이 되고, 반사계수가 1이므로 이들의 합성계수는 식(11), (12)가 된다.

$$E_D = |E_D| e^{j\phi_1} \quad (9)$$

$$E_R = |E_R| e^{j\phi_2} \quad (10)$$

$$E = E_D + E_R = E_D(e^{j\phi_1} + e^{j\phi_2}) \quad (11)$$

$$E = |E_D| = E_D |1 + e^{j(\phi_2 - \phi_1)}| = E_D |1 + e^{j\phi}| \quad (12)$$

여기서 $\phi = \phi_2 - \phi_1$ 이므로 식(12)는 식(13)으로 된다.

$$E = 2E_D \cos\left(\frac{2\pi h_1 h_2}{\lambda d}\right) \quad (13)$$

3.3 다중경로 전파계수(Multi-path propagation factor)

전파 계수 F는 자유공간의 조건을 만족하지 않는 전파의 전달특성을 표현 하고자 할 때 사용된다. 이 인자는 송신 측과 수신 측의 경로를 분리해서 정의 하면 식(14)와 같고, 여기서 E는 매질내부, E_0 는 자유공간의 전계이다.

$$F = |E/E_0| \quad (14)$$

지표면 가까이에서 다중경로에 의한 반사계수의 영향이 가장 크게 나타난다. 앞에서 언급 되었듯이 전파계수는 지표면에서 반사된 파의 영향으로 전파되는 파의 합성 및 상쇄 작용을 보여주는 계수이다. 그림 3에서 다중경로 전파의 전파 구조를 보여주고 있다.

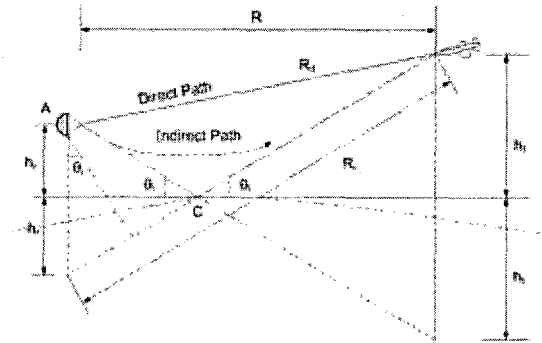


그림 3. 전파의 다중 경로 전파

그림3에서 목표물에 도착하는 신호는 식(15)와 같다.

$$F = |f(\theta_i) + f(-\theta_i)\rho D e^{-j\alpha}| \quad (15)$$

여기서 $f(\theta)$ 는 안테나의 전압 패턴, θ_i 는 목표물의 고도, θ_r 는 입사각, ρ 는 지표면 반사계수의 크기, D 는 발산계수 그리고 α 는 반사파의 위상이다.

$$\alpha = \frac{2\pi\delta_0}{\lambda} + \phi \quad (16)$$

여기서 ϕ 는 반사파의 위상이며 지표면이 완전도체라 가정하면 π 이고 δ_0 은 직접파와 반사파의 경로 차이이며 다음과 같이 표현된다.

$$\delta_0 = R \left(\frac{\cos\theta_i}{\cos\theta_r} - 1 \right) \approx \frac{2h_r h_t}{R} \quad (17)$$

그리고 목표물의 고도 θ_i 는 식 (18)과 같다.

$$\theta_i = \sin^{-1} \left(\frac{h_t - h_r}{R} \right) \approx \frac{h_t - h_r}{R} \quad (18)$$

전파계수의 계산에서 특정안테나의 패턴을 고려하지 않고 생각할 $f(\theta)$ 는 직접파나 반사파가 동일하다. 또 목표물의 고도가 레이더 위치 보다 높다고 가정하면

$$F = \sqrt{1 + \rho^2 + 2\rho \cos\left(\frac{4\pi h_r \theta_i}{\lambda} + \phi\right)} \quad (19)$$

로 표현된다. 이 식을 이용하여 고도별 전파계수를 구할 수 있다.

4. 전자보호 위상정합 특성

위상정합 기법은 그림 5에 나타낸 것과 같이 상호간섭을 일으킬 수 있도록 동기가 이루어진 2개의 재밍 신호원을 기준선 상에서 거리 L 만큼 떨어뜨려 배치함으로써 구현될 수 있다.

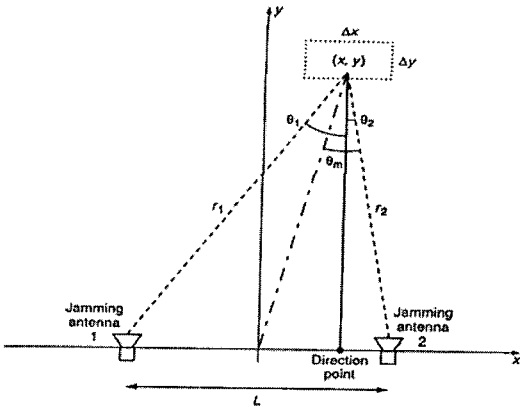


그림 4. 두개의 전력원을 갖는 위상정합 구조

추적 ARM 안테나의 차 (Δ) 패턴은 합 (Σ) 패턴의 3 dB 지점까지는 거의 선형관계가 유지된다. 이러한 근사화를 이용함으로써 두 정합 안테나 신호에 대한 모노펄스 ARM추적기의 측정각도 (θ_1, θ_2)는

$$\begin{aligned} \Delta_1 &= km \theta_1 \Sigma_1 \\ \Delta_2 &= km \theta_2 \Sigma_2 \end{aligned} \quad (20)$$

와 같이 주어지며, km 은 스케일 인자이다. 이 때 모노펄스 ARM 추적기의 추적각도 θ_i 는 식(21)과 같다.

$$\theta_i = \frac{1}{km} \frac{\Delta}{\Sigma} = \frac{\Delta_1 + \Delta_2}{\Sigma_1 + \Sigma_2} = \frac{\theta_1 \Sigma_1 + \theta_2 \Sigma_2}{\Sigma_1 + \Sigma_2} \quad (21)$$

또 신호 합비의 비를 수정하면 추적각도 θ_i 는 식(22)와 같으며, $a=0$ 인 경우 $\theta_i = \theta_{i1}$ 이 된다.

$$\theta_i = \frac{\theta_1 + ae^{j\phi} \theta_2}{1+a} \quad (22)$$

여기에서 a 는 진폭 비, ϕ 는 두 모노펄스 추적 안테나로부터 수신된 레이더 송신신호의 위상차를 의미한다.

그림 4의 재밍 안테나 1, 2에서 송신한 신호가 추적 ARM의 수신기에 도달하는 신호의 합성은 3장에서 분석한 직접파와 대지 반사파의 다중 경로에 의한 합성 신호 전파 특성과 같고, 이것은 레이더의 위상정합 전자보호 기술에 적용할 수 있으며, 식(22)를 이용하여 위상차에 따른 위상정합 신호를 모의하면 그림 5와 같다.

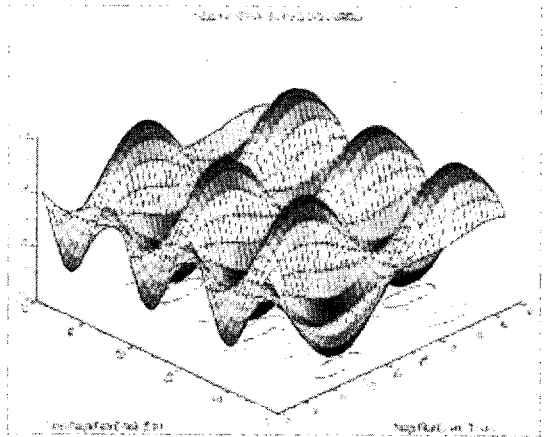


그림 5. 위상정합에 의한 교차면 왜곡

5. 결론

본 연구는 레이더의 전자보호 기술에 적용하기 위해서 디지털 지형 지도를 기반으로 레이더파의 전달 특성을 분석하고, 직접파와 지표반사파의 다중경로 전파를 위상정합 기술에 적용하였다. 모델링 및 모사 결과 두 송신점의 위상변화에 따른 위상차로 인해서 수신신호의 변화가 매우 크게 형성되는 것을 확인하였으며 이는 레이더의 전자보호 기술, 특히 ARM 보호 기술로 활용될 수 있다.

참고문헌

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

[2] Richard Curry, *Radar System Performance Modeling*, Artech Huse, Boston, 2001.

[3] G. D. Curtis Schleher, *A Electronic Warfare in the Information Age*, Artech House, Boston, 1999.

[4] D. C. Schleher, "Introduction to Electronic Warfare," Artech House, 1986.

임 중 수(Joong-Soo Lim)

[정회원]



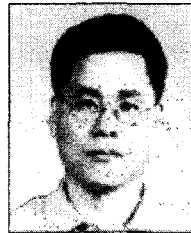
- 1978년 2월 : 경북대학교 전자공학과 (공학사)
- 1987년 8월 : 충남대학교 전자공학과 (공학석사)
- 1994년 3월 : Auburn University, 초고주파공학 (공학박사)
- 1980년 8월 ~ 1989년 12월 : 국방과학연구소, 선임연구원
- 1998년 3월 ~ 2002년 8월 : 충남대학교 전자공학과 겸임교수
- 1994년 1월 ~ 2003년 12월 : 국방과학연구소, 전자탐지 팀장
- 2003년 3월 ~ 현재 : 천안대학교 정보통신학부 교수

<관심분야>

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

채 규 수(Gyoo-Soo Chae)

[종신회원]



- 1993년 2월 : 경북대학교 전자공학과 (공학사)
- 1995년 2월 : 경북대학교 전자공학과 (공학석사)
- 2000년 12월 : Virginia Tech (공학박사)
- 2001년 1월 ~ 2003년 2월 : Amphenol Mobile(RF manager)
- 2003년 3월 ~ 현재 : 천안대학교 정보통신학부 교수

<관심분야>

안테나 설계, 초고주파 이론..