

지면의 경사를 고려한 다중경로 전파특성 분석

채규수, 임중수, 김민년
백석대학교 정보통신학부/RDRC KAIST
e-mail:gschae@bu.ac.kr

An Investigation of Multi-path Propagation Characteristics Considering Slope of the Ground

Gyoo-Soo Chae, Joong-Soo Lim, Min-Nyun Kim
Division of Information & Communication Eng.,
Baekseok University/RDRC KAIST

요 약

본 논문에서 디지털지도를 이용하여 다중경로 전파의 특성을 연구하였다. 일반적으로 목표물에서의 전계의 세기는 직접파와 지면 반사파의 합으로 구해진다. 이 논문에서는 수직면의 장애물인 고압선, 철탑, 산악지형의 경사면 등에 의한 반사파를 고려하여 전체 전계를 계산 하였다. 그리고 지면 반사의 경우, 지면의 경사를 고려하여 목표물에서의 전체 전계의 정확도를 향상시켰다.

1. 서 론

지금까지 전파의 다중경로 전파특성을 고려할 때 지면반사만을 주로 고려하였다[1-3]. 그러나 산악지형에서는 절벽이나 고압선 철탑 등의 수직 형태의 인공 구조물이 있기 때문에 송·수신 구간 부근의 수직 구조물에 대한 반사 특성도 고려하는 것이 필요하다. 특히, 산악지역에서의 전파특성을 계산 할 때는 절벽 등의 지형에 의한 수직반사를 고려하여야 한다. 본 논문에서는 디지털 지도(DTM : Digital Terrain Map)를 이용하여 산악지형의 전계강도를 보다 정확하게 분석하는 방법을 제시하고자 한다. 특히, 산악지형에서 전파를 송신할 때 일어나는 직접파와 수평면 반사파, 산악 지형에 의한 수직면 반사파의 합성전계를 전파의 편파 특성과 위상 특성을 고려하여 계산한다. 또한 지면 반사를 고려할 때 지면의 전면 경사(Main slope)를 고려하여 좀 더 정확한 전파특성을 계산하는 방법을 제시하고자 한다.

산악지형의 전계강도를 정밀하게 분석하기 위해서는 전파의 직진, 반사 그리고 회절 특성을 종합적으로 고

려한 합성전계의 특성을 구해야 한다. 과거에는 전파가 전파되는 경로의 지형자료가 부족하여 전파의 반사나 회절특성을 정확하게 구하지 못하였다. 최근에는 산악 지형에 대한 고도정보를 포함한 디지털 지도를 사용하여 전파의 전달 경로에 대한 지형의 고도와 반사 및 회절영역을 계산할 수 있어서 전파의 합성전계 특성을 보다 정확하게 계산할 수 있게 되었다.

본 논문에서는 이러한 디지털 지도의 특성을 이용하여 산악지형의 합성전계 강도를 구하였다. 일반적으로 전파의 반사특성은 송신지점과 수신지점 사이의 수평면에서의 반사만 다루었다. 그리고 디지털 지도를 사용하는 경우 양자화 된 고도 데이터만 제공되기 때문에 그 고도에서 지면을 수평으로 간주하고 전파가 반사파를 계산한다. 이 경우에 직접파만을 고려한 경우 보다는 정확한 데이터를 얻을 수 있지만 실제 지형과 더 가까운 결과를 얻기 위해 지면의 중단면 경사를 고려하여 계산하는 방법을 제안하고자 한다.

2. 디지털지도를 이용한 전파의 다중경로 전파특성 분석

일반적으로 디지털지도는 지형을 30m² 또는 100m² 셀로 분해하여 각 셀에 대한 평균 고도 정보를 가지고 있으며, 이 자료를 이용하여 송수신점과 주변의 지형을 복원하여 등고선이나 지형 기울기를 계산할 수 있다. 또한 이를 이용해서 전파 가시영역의 산출 및 수평 반사영역들, 수직 반사영역들, 회절 영역들을 찾아서 전파 특성을 계산할 수 있다.

지상파는 지표파, 직접파, 대지반사파, 회절파 등이며, 수신전계는 이들 중 한 가지 또는 두 가지 이상 통로 전파의 합성으로 이루어진다. 따라서 정도의 차이는 있으나 지상파는 대지에 의한 영향과 각 주파수대역별 전파특성에 의해서 영향을 받는다. 지상파의 수신 전계 강도에 영향을 미치는 것은 송신기 출력, 송신 안테나의 특성, 주파수 외에도 회절상태, 지형의 전기적 특성 및 대기의 기상상태 등에 의해서 영향을 받으며, 송수신 구간이 멀거나 사용 주파수가 높아지면 지표파에 의한 영향은 고려하지 않는다.

직접파는 대지면에 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 지구 반지름을 고려한 전파의 가시거리와 구면 대지의 경우에는 수평선은 한계가 있으므로 송·수신 안테나를 높이면 높일수록 전파의 가시거리는 멀어지게 된다.

대표적인 초고주파 전파 장비인 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. 이때, 표적 또는 표적의 수신 단에서 수신되는 신호의 세기는 식 (1)과 같다.

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

여기서, P_t 는 레이더 송신기 출력, G_t 는 송신 안테나 이득, A_e 는 수신 안테나의 유효 개구면적, R 은 탐지거리이다. 그리고 안테나 유효 개구면적을 이득값으로 바꾸면,

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

로 표현 할 수 있다. 여기서, λ 는 고주파 신호의 파장, c 는 전파의 속도이다.

대지 반사파는 한 번 대지에서 반사한 다음 수신점에 도달되는 전파를 말하며, 대지의 기울기나 전기적 특성이 지역에 따라서 일정치 않을 뿐만 아니라 도전율이 완전 도체와 같지 않기 때문에 광학적 반사를 하지 못하고 발산한다. 그림 1은 수평면 반사 다중경로 전파의 전파 개념도를 보여 주고 있다. 수평면파는 대지에 반사할 때 위상이 180°반전되고 또 반사파는 직접파 보다 긴 전파통로를 거쳐 수신점에 도달하기 때문에 그만큼 위상이 늦다. 일반적으로 대지반사파는 직접파와 함께 나타나므로 수신전계를 계산할 때 양자를 동시에 고려해야 하며 수직편파와 수평편파의 반사계수가 서로 다르므로 양자를 분리하여 해석해야 한다.

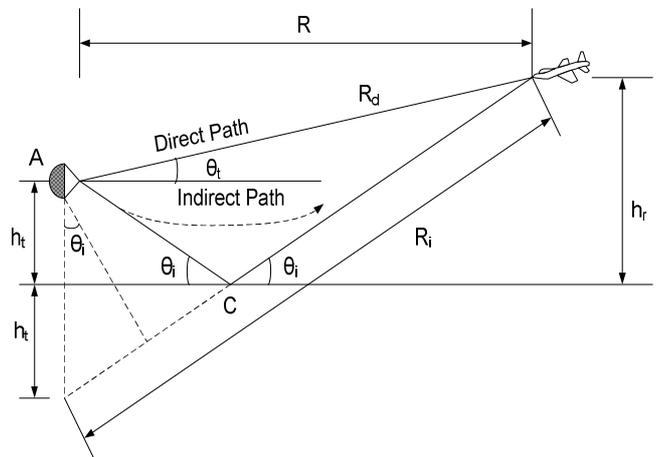


그림 1. 수평면 반사 다중경로 전파의 전파

초단파 이상의 수평편파가 방사된 경우 원거리에서의 수신전계는 직접파와 대지반사파가 주가 되며 지표파의 영향은 거의 무시할 수 있다. 대지를 완전 도체평면으로 가정하고 안테나의 높이(h_t), 목표물의 높이(h_r), 안테나와 목표물의 직선거리(R)를 알면 목표물 위치에서의 반사 전계를 구할 수 있다. 반사파의 반사계수는 지표의 유전율과 주파수의 함수이며 특정 유전율과 주파수에 대하여 수평편파와 수직편파에 대한 반사계수를 구할 수 있다[3]. 또한 수평편파의 위상은 반사계수 $\Gamma_h = -1$ 이므로 대지에서 반사할 때 위상이 반전되고 또 직접파와 대지반사파간의 경로 차에 의한 위상차를 갖는 수신전계가 나타나게 된다. 목표물에서 직접파의 전계를 E_D , 대지반사파의 전계를 E_R 이라 하면 다음 식으로 표현 할 수 있다.

$$E_D = |E_D|e^{j\phi_1} \quad (3)$$

$$E_R = |E_R|e^{j\phi_2} \quad (4)$$

여기서, 지면의 반사계수를 -1로 가정 하였으므로 $|E_R| = -|E_D|$ 가 되고 합성전계는 식 (5)와 같다.

$$E = E_D + E_R = E_D(e^{j\phi_1} - e^{j\phi_2}) \quad (5)$$

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

직접파와 대지반사파의 전계를 E_D, E_R 라고하면 식 (6), 식 (7)과 같이 되고, 반사계수가 1이므로 이들의 합성계수는 식(8)과 같다

$$E_D = |E_D|e^{j\phi_1} \quad (6)$$

$$E_R = |E_R|e^{j\phi_2} \quad (7)$$

$$E = E_D + E_R = E_D(e^{j\phi_1} + e^{j\phi_2}) \quad (8)$$

전파계수(F)는 자유공간의 조건을 만족하지 않는 전파의 전달특성을 표현 하고자 할 때 사용된다. 그리고 송신 측과 수신 측의 경로를 분리해서 정의 하면 식 (9)와 같다. 여기서, E는 매질내부, E₀는 자유공간의 전계이다.

$$F = |E/E_0| \quad (9)$$

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. 목표물에 도착하는 신호는 식 (12)와 같다.

$$F = |f(\theta_t) + f(-\theta_i)\rho D e^{-j\alpha}| \quad (10)$$

여기서, f(θ)는 안테나의 전압 패턴, θ_t는 목표물을 보는 고각, θ_i는 입사각, ρ는 지표면 반사계수의 크기, D는 발산계수 그리고 α는 반사파의 위상이다.

$$\alpha = \frac{2\pi\delta_0}{\lambda} + \phi \quad (11)$$

여기서, φ는 반사파의 위상이며 지표면이 완전도체라

가정하면 π이고 δ₀은 직접파와 반사파의 경로 차이이며 다음과 같이 표현된다.

$$\delta_0 = R \left(\frac{\cos\theta_i}{\cos\theta_r} - 1 \right) \approx \frac{2h_r h_t}{R} \quad (12)$$

3. 반사면의 전면 경사를 고려한 전파 특성

그림 2에서 지면의 경사를 고려한 전파특성을 계산하기 위한 개념도를 보여주고 있다. 본 연구에서 다루는 지면의 종단면 경사는 그림 2의 β이다. 이 경사각은 DTM 자료를 바탕으로 양자화 된 고도 데이터를 이용하여 계산한다. 인접한 두 고도 데이터를 이용한 벡터 \overrightarrow{PQ} 를 얻을 수 있다.

$$\overrightarrow{PQ} = \hat{x}(x_p - x_q) + \hat{y}(y_p - y_q) \quad (13)$$

그리고 $|\overrightarrow{PQ}|$ 의 중점 M(M_x, M_y)과 안테나로 부터의 벡터 \overrightarrow{AM} 을 구할 수 있다.

$$\overrightarrow{AM} = \hat{x}(M_x) + \hat{y}(M_y - h_t) \quad (14)$$

여기서, $M_x = \frac{x_p + x_q}{2}$, $M_y = \frac{y_p + y_q}{2}$ 이다.

경사면에 반사된 반사파가 도달하는 위치를 중점에서 반사된다고 가정하면 아래와 같은 벡터 \overrightarrow{MT} 로 나타낼 수 있다.

$$\overrightarrow{MT} = \hat{x}(M_x - x_t) + \hat{y}(M_y - y_t) \quad (15)$$

이 경우 지면 반사파의 경로를 아래와 같이 벡터 $\overrightarrow{R_i}$ 로 나타낼 수 있으며 이 벡터의 크기가 경로에 해당된다.

$$\overrightarrow{R_i} = \overrightarrow{AM} + \overrightarrow{MT} \quad (16)$$

이 때, 반사파의 지면반사각을 구하기 위해 벡터내적을 이용한다.

$$\cos\theta = \frac{|\overrightarrow{PQ}||\overrightarrow{AM}|}{PQ \cdot AM} \quad (17)$$

여기서, θ는 두 벡터가 이루는 예각으로 법선으로부터 이루는 각은 α₁ = 90 - θ이다. 입사각과 반사각은 항상 같으므로 α₁ = α₂를 만족하여 반사파의 진행 방향을

찾을 수 있다.

그림 3에서는 직접파, 지면 반사파(양자화 된 고도에서의 평면반사), 수직면 반사파, 지면경사를 고려한 반사파에 대한 결과가 나타나 있다. 본 연구에서 사용된 지면 경사는 전파가 지나는 2차원 종단면에서 고도차에 의한 기울기(β)만을 고려하였다. 안테나 높이는 600m이며 고도 2,500m에서 거리에 따른 전력을 보여주고 있고 거리에 따라 전계의 편차가 다소 심하게 나는 것을 볼 수 있으며 실제 전파특성과 유사한 결과로 판단된다.

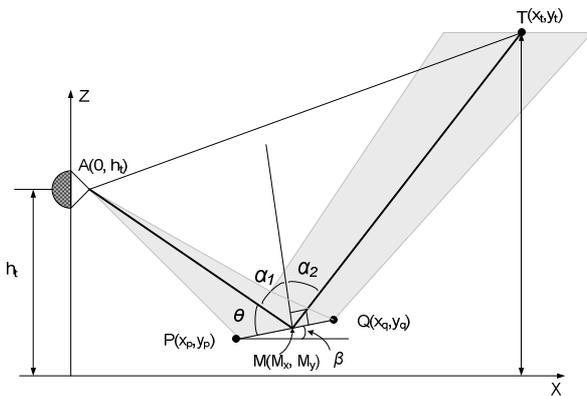


그림 2. 지면경사를 고려한 반사파 계산 개념도

4. 결론

본 연구에서는 직접파와 수평면 반사파 및 수직면 반사파를 고려하고 지면의 경사면을 고려한 정밀한 다중 경로 전파 모델이 소개되었다. 그리고 지면 반사를 고려한 전파 특성과 수직 반사와 지면의 전면 경사를 고려한 전계의 세기가 각각 비교 되었다. 본 연구에서 사용된 파라미터들이 실제 레이더와 정확하게 일치하지는 않지만 다중경로 전파모델의 일반적인 특성을 확인하기에는 만족스러운 결과를 얻었다. 실제 반사환경과 유사한 전파특성을 얻기 위한 전파가 반사되는 횡단면 기울기를 고려한 연구가 계속 진행 되고 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] B. R. Mahafza, *Radar Systems Analysis and Design Using Matlab*, Chapman and Hall/CRC, NY, 2000.

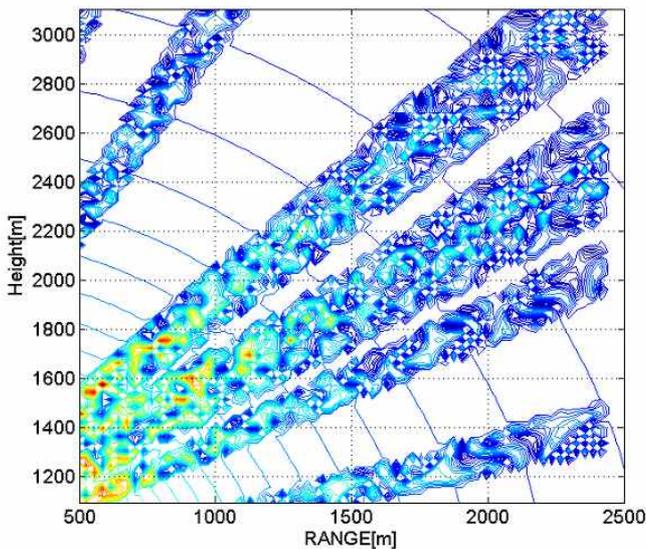


그림 3. 평면 반사와 수직 반사를 고려한 합성전력
(안테나송신 전력 = 1W, 지면 반사되는 안테나 부엽의 전력 = 1W, 지면 반사계수 = -0.98, 수직 반사되는 안테나 부엽의 전력 = 0.05W, 0.03W, 수직면 반사계수 = -0.88), 주파수 1GHz