

바다와 지표면의 산란을 고려한 RF 수신신호세기 계산

모델

현종철, 김상근, 오이석
홍익대학교 전자정보통신공학과
전화/팩스: (02)-333-5443

Estimation Model for RF Signal Strength over Sea and Land Surfaces

Jong Chul Hyun, Sangkeun Kim, Yisok Oh
Department of Electronic Information and Communication Engineering, Hongik University
E-mail : yisokoh@hongik.ac.kr

abstract

The objective of this study is to estimate RF signal strength over sea and land surfaces. For this work we calculated scattering by land with DEM(Digital Elevation Model) and sea surface with RMS surface height. and we selected two area inland and sea shore as RX point. And for each area, we get VV-pol and HH-pol characteristic of scattering at 2.2GHz

Key words : EM scattering, Ray Tracing, RF signal.

1. 서론

비행시험을 위한 원격측정 신호 수신을 위해서 다수의 수신시스템을 운용하고 있다. 다수의 원격측정 수신시스템을 동시에 운용할 경우, 하나의 원격측정 시스템에서 추적을 실패하더라도 다른 하나의 원격측정 시스템이 추적을 계속한다면 중단 없이 원격측정 신호의 수신이 가능하다. 비행시험 전 구간에서 안정된 원격측정 신호를 수신하기 위해서는 최적의 수신위치에 수신시스템을 배치하여 원격측정을 수행하는 작업이 필요하다. 현재는 지형과 비행궤적을 고려한 전파 전파모델의 이론적인 계산 없이 임의의 위치에 수신 시스템을 배치, 운용하고 있다. 실제 비행시험에서 안정된 원격측정 신호를 수신하기 위해서는 시험 전에 시뮬레이션을 통하여 수신신호 예

측을 수행하는 작업이 요구되고 있다.

본 논문은 지형지물과 전파 전파특성을 고려하여 비행체의 비행궤적에 따른 RF 수신 신호 세기를 시험 전에 예측하는 모델에 관한 연구가 목적이다. 바다와 지표면에서의 산란특성, 시험위치로 잡은 서해안의 3D지형, 송수신 안테나 패턴, 반사면 특성, 다중경로 fading 현상을 고려한 통계적 전파 채널 모델이 개발되어 시험 전에 최적의 신호를 수신할 수 있는 위치를 선정할 수 있다면 보다 안정적인 신호 수신이 가능할 것으로 기대된다.

기본적으로 본 논문에는 그림 1과 같이 3가지 경로 직접파, 바다 산란파, 육지 산란파를 계산하여 수신 안테나에서의 전파 세기를 계산하였다. 시뮬레이션을 위해 설정한 장소는 900 X 900의 셀을 가지고 있고, 각 셀당 해상도는 대략적으로 30m X 30m

인 DEM (Digital Elevation Model) 데이터를 이용하였다. 주파수 2.2GHz에서 바다의 유전율은 대략적으로 70.0-j32.0이고, 지표에서의 유전율은 수분 함유량이 10%에서 대략적으로 7.0-j1.2이다. 그리고 수신기의 위치는 내륙과 해안 2곳으로 설정하였으며 수신기는 지표면으로부터 20m 위에 있다고 가정하였다.

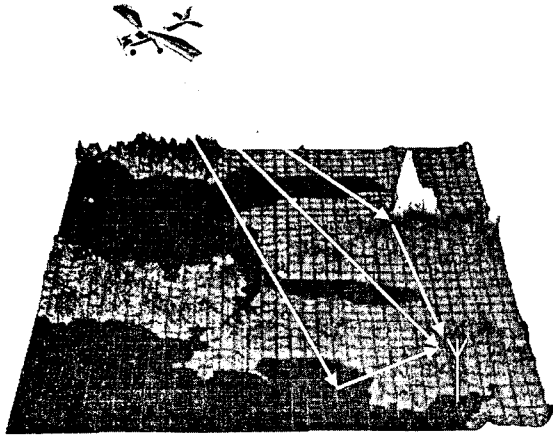


그림 1. 산란 모델 개요

2. 바다에서의 산란 특성

바다에서의 산란특성을 쉽게 계산하기 위해 PO model을 사용하였으며, 이를 검증하기 위해 파장에 비하여 큰 거칠기를 갖는 표면에서 보다 정확한 수치해석적인 방법인 Method of Moments (MoM)을 이용하였다.

2.1 Monte-Carlo MoM simulation

MoM 해석은 $\lambda/10$ cell size x 2000cell의 공간을 설정하여 27.3m의 범위에서 이루어졌으며, Monte-Carlo 방법으로 20회 반복하여 결과값을 도출하였다. 1차원으로 구현된 표면에 대한 해석이므로 동일 편파 해석에서 HH-편파의 경우에는 전계를 이용하였고, VV-편파의 경우에는 자계를 이용하였다.

2차원 적분방정식을 유도한 후 MoM을 이용하여 미소 표면 전류를 구하고, 그로부터 산란 전계를 계산하였다[1]. 그림 2와 같은 유한면에서의 적분 방

정식은 time convention $e^{-i\omega t}$ 을 이용하여 다음과 같다.

$$(\nabla^2 + k^2) \cdot G(\bar{\rho}, \bar{\rho}') = -\delta(\bar{\rho} - \bar{\rho}') \quad (3)$$

여기서, $G(\bar{\rho}, \bar{\rho}') = \frac{i}{4} H_0^{(1)}(k|\bar{\rho} - \bar{\rho}'|)$ 는 2차원에서의 그린함수이다.

$$E_y^i(\bar{\rho}) + \int_c \left[E_y(\bar{\rho}') \frac{\partial G(\bar{\rho}, \bar{\rho}')}{\partial n'} - G(\bar{\rho}, \bar{\rho}') \frac{\partial E_y(\bar{\rho}')}{\partial n'} \right] dl' = \begin{cases} E_y(\bar{\rho}) & (\bar{\rho} \in V_1) \\ 0 & (\bar{\rho} \in V_2) \end{cases} \quad (4)$$

위의 식에서의 미지전류에 해당하는 값을 pulse basis function과 point matching 방법을 적용한 MoM을 이용하여 구한다.

$$\begin{bmatrix} Z_{11}^{mn} \\ Z_{21}^{mn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Z_{12}^{mn} \\ Z_{22}^{mn} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} g_m \\ h_m \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V_m \\ 0 \end{bmatrix} \quad (5)$$

$$\text{여기서, } E_y = \sum_{m=1}^N g_m P_m, \quad \frac{\partial E_y}{\partial n'} = \sum_{m=1}^N h_m P_m \quad (6)$$

식(5)에서 P_m 은 pulse basis 함수이다

MoM을 이용하여 구한 표면 전류값을 이용하여 산란 전계를 구한다.

$$E_y^s(\bar{\rho}) = \int_c \left[E_y(\bar{\rho}') \frac{\partial G(\bar{\rho}, \bar{\rho}')}{\partial n'} - G(\bar{\rho}, \bar{\rho}') \frac{\partial E_y(\bar{\rho}')}{\partial n'} \right] dl' \quad (8)$$

이로부터 Coherent Reflectivity 값을 구한다.

$$|\Gamma(\theta)| = \frac{|E_y^s(\theta)|}{|E_y^i(\theta)|}, \quad (\theta = \theta_i = \theta_s) \quad (9)$$

2.2 Physical Optics 모델

거친 표면에 대한 coherent 반사계수는 다음과 같다[2-3].

$$\Gamma_q(\theta) = \Gamma_{q0} e^{-2k^2 s^2 \cos^2 \theta} \delta_{pq} \quad (10)$$

식(10)에서 k 는 파수, s 는 rms surface height이고, δ_{pq} 는 동일 편파를 보기 위한 Kronecker delta 함수이다. Γ_{h0} , Γ_{v0} 는 각각 수평편파와 수직편파에 대한 Fresnel reflection coefficient이다.

2.3 바다산란 결과 및 검증

그림 2에서 보듯이 완전 평면에 대한 MoM과 PO의 결과는 거의 완벽하게 일치하였다. 그러나 거칠기가 있는 표면에서는 PO 모델이 오차를 갖게 되는데, 그림 3에서 보듯이 거칠기가 작은 표면에서는 거의 일치하는 것을 볼 수 있고, 풍속이 증가하여 표면 거칠기가 클 경우에는 높은 각도에서만 PO 모델이 적용 가능함을 알 수 있다 (그림 4, 5 참조). 이때에 표면 거칠기는 우리나라 서해안의 데이터로부터 풍속에 대한 표면 거칠기를 구하는 실험식을 유도하고[4], 이 식으로부터 유추하였다.

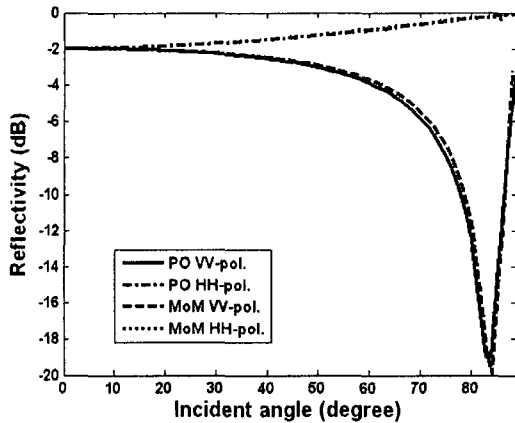


그림 2. PO와 MoM의 완전 평면에 대한 결과 비교

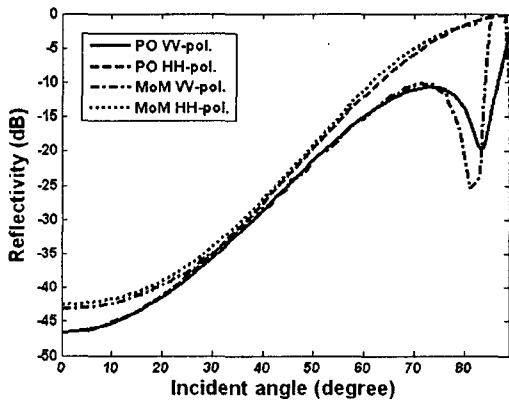


그림 3. PO와 MoM의 결과 비교
($U=2$ m/s, $\sigma_{rms} = 0.034$)

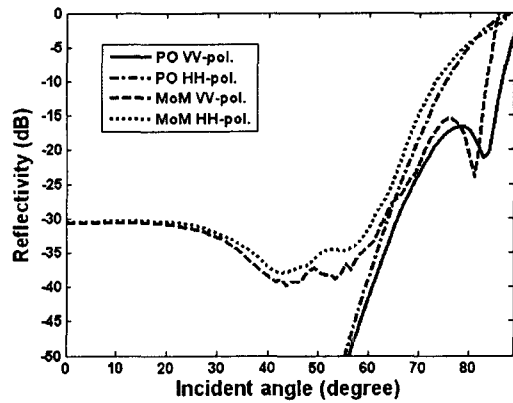


그림 4. PO와 MoM의 결과 비교
($U=4$ m/s, $\sigma_{rms} = 0.063$)

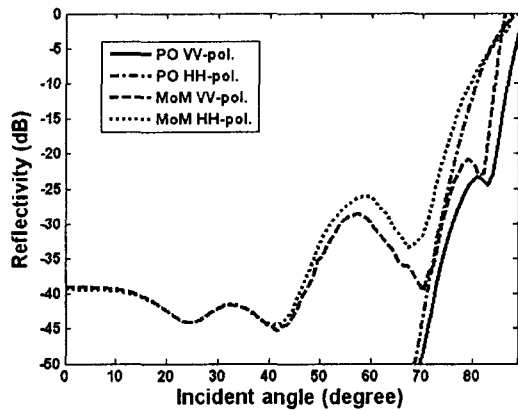


그림 5. PO와 MoM의 결과 비교
($U=6$ m/s, $\sigma_{rms} = 0.10$)

이 결과로부터 바다표면의 전파 산란 모델을 예측하는데 있어서 풍속과 입사각에 대하여 PO model을 적용할 수 있는 범위를 찾아내었고, 그 결과는 그림 6과 같다. 실제 전파경로 해석법에 의한 경우 일정 거리 이상으로 송수신기간의 거리가 멀어지면 입사각이 대부분 80도 이상이기 때문에 PO model로 정확한 해석이 가능하다.

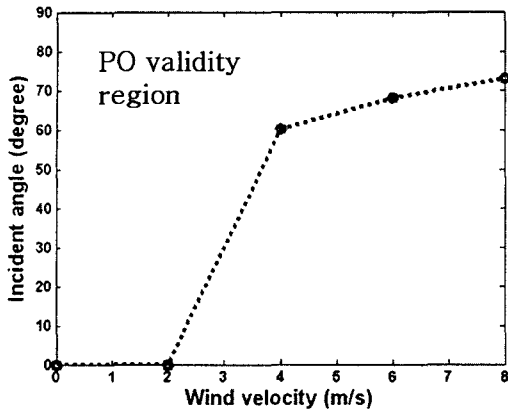


그림 6. PO model의 validity region.

3. 육지에서의 산란 특성

육지에서의 전파 산란 특성은 DEM 데이터를 고려하여 지표면의 기울기에 따른 반사각을 고려하여 ray를 찾고 계산하였다. 육지의 산란은 바다와 다르게 지표면의 높낮이를 저장하고 있는 데이터인 DEM을 이용하게 된다. 지표면은 하나의 기울기를 가지고 있는 평면으로 생각할 수 있으며, Snell's law에 따라 지표면에 반사되어 수신되는 ray를 찾아 낼 수 있다. 이러한 방법으로 지표면에서 1번 산란 되는 경우를 찾아서 전파 산란을 계산하였다. 기본적으로 ray tracing에 의한 전파 세기 계산은 직접 경로의 전파와 한번 반사되어 오는 전파의 계산을 이용하였다. 지표면의 반사파의 계산에서는 지표면의 특성에 따라 전파 감쇠를 계산하였다. 즉, 지표면은 맨 땅 위에 풀 층이 있는 형태이며, 풀 층에서는 vector Radiative Transfer 이론을 이용하여 [5] 1차 다중산란을 포함한 전파 반사를 계산하였다.

4. 계산 결과

4.1 내륙지역에서의 수신신호 세기

내륙지역에서는 송신기의 고도가 높고 상대적으로 수신기의 위치는 매우 낮으므로 바다에서 산란되는 전파는 없게 된다. 결국 내륙지대에 수신기가 위치할 경우 직접파와 지표면에 맞고 들어오는 전파 세

기만을 계산하게 된다. 그림 7에서 VV-편파 이나 HH-편파 비슷한 경향을 보이는 것을 알 수 있으며, 두 경우 모두 거리가 멀어짐에 따라 레벨이 낮아지는 경향을 볼 수 있으며, 수신단과 송신단 사이의 충분한 각도가 확보됨에 따라 반사 포인트가 많아지는 것을 관찰 할 수 있다.

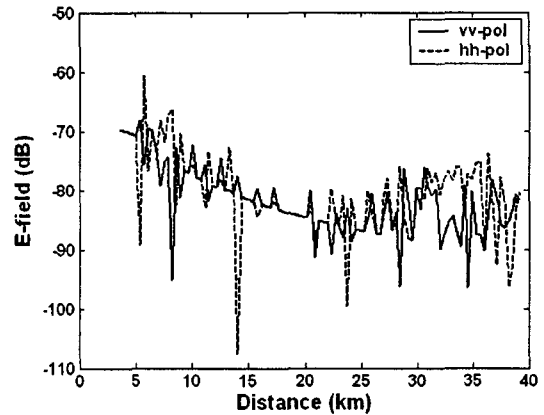


그림 7. 내륙에서의 HH-편파 수신전파 세기 계산

4.2 해안지역에서의 수신신호 세기

해안지역에서는 내륙지역과는 달리 바다에서 산란이 이루어진다. 그림 8에서 보는 바와 같이 HH-편파가 VV-편파 보다는 약간 높게 결과가 나오는 것을 알 수가 있는데 이는 VV-편파에서 반사각이 84도 근처에서 Brewster Angle이 생겨서 반사율이 낮아지기 때문이라고 생각된다.

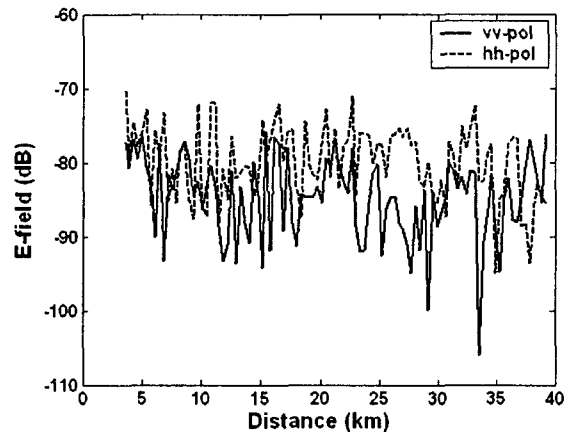


그림 8. 해안지역에서의 VV 편파 전파세기 계산결과

4.3 DEM 데이터를 이용한 거리에 따른
수신세기 시각화

다음 그림은 DEM 데이터를 이용하여 거리에 따른 시뮬레이션을 시각적으로 보여준다. 레벨이 높은 곳은 DEM 데이터 상에서 고도가 높은 지형으로 송신 안테나로부터의 거리가 가까워 지기 때문에 높게 나타나게 된다.

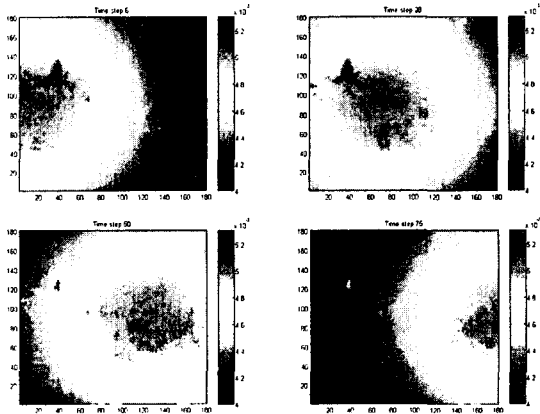


그림 9. DEM 을 이용한 거리에 따른
전파세기 시각화

5. 결론

본 논문은 바다와 육지에서의 전파산란을 모델링하고 시뮬레이션을 통해 지형과 바다의 파고에 따른 산란특성을 계산하고, 수신 지역을 바다산란이 없는 내륙지역과 바다 산란이 있는 해안지역 두 곳으로 설정하고 각각의 위치에서의 산란 특성을 주파수 2.2GHz 대역에서 VV-편파와 HH-편파에 대해서 계산하여 결과를 얻었다. 내륙지역에서의 산란은 바다에 의한 전파산란이 이루어지지 않으며 거리에 따른 감쇄와 반사각도에 따른 지표면에서의 반사 포인트 증가를 알 수 있었다. 해안지역에서의 전파산란의 경우 바다에서의 산란의 영향으로 Brewster Angle이 생기는 VV-편파에서 HH-편파보다 낮은 레벨을 관찰 할 수 있었다. 이에 덧붙여 향후에는 단순한 지형 형태만이 아닌 숲, 밭, 논, 도시 등이 어울어진 지형 특성을 고려한 모델을 제시하고 그에 따른 연구가 수행되어야 할 것이다.

참고문헌

[1] W. Morchin, *Radar Engineer's Sourcebook*, Boston, Artech House, 1993
 [2] F. T. Ulaby, R. K. Moore, A. K. Fung, *Microwave Remote Sensing -active and passive -*, Artech House, 1986.
 [3] R. D. DeRoo and F. T. Ulaby, "Bistatic Specular Scattering from Rough Dielectric Surfaces", *IEEE Antennas and Propagat.*, vol. 42, No.2, Feb. 1994.
 [4] 실시간 해양 관측자료,
<http://realtime.kordi.re.kr>
 [5] L. Tsang and J. A. Kong, *Scattering of Eletromagnetic Waves Numerical Simulation*, Wiley-Interscience Publication.

M E M O