

기상레이다 도플러 신호 모의구현에 관한 연구

이종길*

*인천대학교

A Study on the Doppler Signal Simulation of a Weather Radar

Jong Gil Lee**

**University of Incheon

E-mail : jnglee@incheon.ac.kr

요 약

기상레이다는 최근에 와서 반사 신호의 강도뿐만 아니라 도플러 스펙트럼 분석을 통하여 다양한 정보를 추출함으로써 급변하는 기상현상 및 위험 등을 탐지할 수 있도록 하는 연구가 활발히 진행되어져 왔다. 이러한 목적으로 활용하기 위해서는 다양한 기상레이다 모의 신호의 구현이 필요하다. 따라서 본 논문에서는 기상레이다에서의 다양한 모의 신호 발생 기법에 관하여 분석하고 고찰하였다.

ABSTRACT

Recently, The detection of weather conditions and weather related hazards with a weather radar are being actively investigated based on the echo intensity and the Doppler spectrum analysis. For this purpose, many types of simulated weather signals are needed for investigation. Therefore, this paper analyzed the method to simulate the many weather radar signals.

키워드

weather signal, Doppler spectrum, 기상위험, 기상레이다

1. 서 론

기상레이다 시스템의 활용도를 획기적으로 높이기 위해서는 풍속, 강우강도, turbulence, windshear 등의 주요한 기상자료를 레이다 수신 신호로부터 효과적으로 추출하여 기상예보, 악천후 경보 및 감시등에 이용하여야 한다[1][2]. 따라서 본 논문에서는 이와 같은 목적으로 우선 기상레이다의 신호 및 데이터처리용 알고리즘 연구개발을 위한 모의 기상신호를 발생시키는 기법에 대하여 연구하였다.

우선 기상레이다의 운용환경을 고려한 대칭형 기상레이다의 수신신호 모의발생 기법을 제안하였다. 즉, 신호 및 데이터 처리 알고리즘의 검증 및 보안을 위해서는 다양한 기상상황 및 환경에 따른 모의 기상레이다 신호의 효율적인 발생이

매우 중요하다. 따라서 여러 가지 모의신호 발생을 위한 알고리즘을 모듈화 하여 시험해보고자 하는 기상상황 및 운용환경에 따라 적절한 모듈들을 선택하여 실제신호와 매우 유사한 모의신호를 얻을 수 있도록 하였다. 이를 위해서 여러 가지 종류의 실측 기상 레이다 자료를 분석하였을 뿐 아니라 운용환경에 의해 좌우되는 산, 지표면 및 건물 등에 의한 반사파 정도 등을 고려한 적절한 모델링 기술이 요구되므로 이러한 내용들을 설명하였다. 아울러 수신 기상신호의 도플러 스펙트럼을 주파수 영역에서 다양하게 발생시킬 수 있는 방법을 연구하고 이를 역푸리에 변환함으로써 실질적인 레이다 수신신호와 유사한 시간영역의 모의신호를 얻고자 한다. 또한 지표면 반사, 건물등에 의한 클러터 잡음 등을 주파수영역에

서 운용환경에 따라 적절히 발생시켜 주파수영역의 모의 기상신호에 인가시킬 수 있도록 하는 효율적인 알고리즘을 제안하였다.

II. 도플러신호 모델

시간영역에서 수신되는 기상레이더 신호를 실제와 매우 유사하게 얻어내기 위해서는 우선 주파수 영역에서 실제 관측되는 스펙트럼과 거의 일치하는 기상 스펙트럼 모델을 구하여야 한다. 먼저 수신되는 신호의 통계적 특성을 유도하여 보았다. 기상레이더에 수신되는 I (Inphase) 및 Q (Quadrature phase) 신호는 cell 내의 많은 강수 또는 먼지입자들에 의한 반사파로서 각각 서로 독립적인 랜덤변수로 볼 수 있으므로 I 와 Q 값의 확률밀도는 joint Gaussian 으로 나타낼 수 있다[3]. 따라서 신호의 크기는 Rayleigh 분포를 가지게 되며 여기서 얻고자 하는 전력신호 값은 지수분포(exponential distribution)를 가지게 된다는 것을 유도할 수 있다. 즉,

$$I(i) = s(i) \cos \phi(i) + n(i) \cos \psi(i) \quad (1)$$

$$Q(i) = s(i) \sin \phi(i) + n(i) \sin \psi(i)$$

(1)의 수식에서 s(i)는 Rayleigh 분포를 갖는 envelope 이며 $\phi(i)$ 는 균일분포를 갖는 위상이 된다. 또한 $n(i)$ 및 $\psi(i)$ 는 기상레이더 시스템의 잡음을 나타낸다. 그러므로 (1)식은 펄스반복 주파수(PRF: Pulse Repitition Frequency) 대역 내에서 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$\frac{I(i) + jQ(i)}{N} = \sum_{k=1}^N \sqrt{P_k} \exp(j\theta_k) \exp(j\frac{2\pi ki}{N}) \quad (2)$$

여기서 P_k 는 신호와 배경잡음을 합한 순간전력 값으로서 지수 함수적인 분포를 가지게 된다. 즉 확률분포는 다음과 같이 표시된다.

$$P(P_k) = \frac{1}{N(S_k + np)} \exp[-P_k/(S_k + np)] \quad (3)$$

여기서 시스템의 전체 배경잡음 전력은 $P_n = N \times np$ 가 된다.

다음으로 도플러 스펙트럼 모델을 결정하여야 한다. Cell 내의 많은 입자들이 이동함으로 인해 생기는 도플러 스펙트럼의 수식모델은 다소 복잡

하기는 하지만 해석학적으로 표시가 가능하다. 그러나 결국 cell 내의 전체 스펙트럼은 각 반사입자가 만드는 스펙트럼의 합으로 표시될 수 있으므로 central limit theorem을 적용하면 그 형태가 가우시안 모양을 가지게 됨을 예측할 수 있다. 실제로 관측된 전력 스펙트럼 자료를 분석한 결과 대부분의 경우 가우시안 분포를 가짐을 알 수 있었다. 대칭적인 특성을 갖는 가우시안 전력 스펙트럼은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$S_k = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \sigma_s} \cdot \exp\left[-\frac{(f_k - f_m)^2}{2\sigma_s^2}\right] \quad (4)$$

여기서 S_k 는 주파수별 신호전력을 나타내며 f_m 은 평균 도플러 주파수를 표시한다. 또한 σ_s 는 스펙트럼 폭(spectrum width)으로 부르는 스펙트럼의 표준편차를 나타낸다. 그러면 이러한 스펙트럼에서의 평균 신호대 잡음비(Signal to Noise Ratio)에 관하여 고려하여 보면 다음과 같이 표시할 수 있다. 즉,

$$SNR = \frac{\text{signal power}}{\text{noise power}} = \frac{\sum_{k=1}^N S_k}{P_n} \quad (5)$$

이제 (3)식과 같이 표시되는 지수분포를 일반적으로 많이 쓰이는 균일 분포를 갖는 0에서 1사이의 랜덤변수로 얻기 위한 방법을 생각하여 보자.

X_k 를 0과1사이에서 균일 분포를 갖는 랜덤변수라고 하면 기본적인 확률이론에 의하여 다음과 같은 관계식이 성립함을 알 수 있다.

$$P(P_k) dP_k = P(X_k) dX_k \quad (6)$$

양변을 각각 0에서 P_k , 0에서 X_k 까지 적분하면 다음과 같이 변환된 식을 구할수 있다.

$$P_k = -\ln(1 - X_k) \times (S_k + np) \quad (7)$$

그러므로 (7)식은 다음과 같이 간단히 나타낼 수 있다.

$$P_k = -\ln(X_k) \times (S_k + np) \quad (8)$$

III. 클러터 모델 및 결과

기상레이더의 지표면 반사 클러터를 고려하여 보면 대부분의 기상 레이더가 산의 정상에 위치

하고 있고 지표면은 초목들로 덮여있다고 볼 수 있다. 따라서 반사되는 도플러 클러터는 일반적으로 풍속의 정도에 따라 분산이 결정되는 도플러 주파수 0을 중심으로 하는 가우시안 모델로 생각할 수 있다[3][4][5]. 이러한 가우시안 모델을 NSSL(National Severe Storms Laboratory)에서 S-band 기상레이다로 얻은 실제 측정자료와 비교하여 보면 낮은 풍속에서는 가우시안 모델의 적용이 적합할 것으로 판단되어진다. 그러나 C-band 레이다로 얻은 실제자료를 살펴보면 낮은 풍속에서는 거의 dc 성분으로 표시되며 풍속에 의한 약간의 변화량만이 관측되고 있다는 것을 분석할 수 있다. MIT Lincoln Lab. 의 또다른 관련자료를 분석하여 보면 높은 풍속에서는 이러한 dc 성분이 없으며 두 개의 주파수 대역 레이다 실제자료 모두 가우시안 형태를 보이고 있으나 중심으로부터 멀어질수록 가우시안 모델에 비해 그 값이 더 천천히 감소하는 즉 스펙트럼의 퍼짐정도가 가우시안에 비해 더 큰 형태를 가진다는 것을 알 수 있다[1][6][7].

그러나 이러한 스펙트럼은 모두 정지한 안테나로부터 얻어진 관측자료로서 실제로 대부분의 기상관측 레이다는 360도 전 방향을 관측하기 위하여 안테나가 회전하고 있다. 이러한 안테나 스캐닝에 의해서 생기는 도플러 스펙트럼은 중심쪽으로 가우시안으로 모델링이 가능하고 중심으로 멀어질수록 가우시안 형태보다 더 가파르게 값이 떨어지게 된다. 따라서 우리가 얻는 클러터 스펙트럼은 이러한 안테나 회전에 의한 도플러 스펙트럼과 풍속에 의해 분산이 결정되는 지표면 스펙트럼의 convolution으로 볼 수 있다. 그러므로 convolution으로 얻어지는 최종적인 클러터 스펙트럼은 가우시안 형태로 근사화 시킬 수 있다. 그러므로 안테나 및 풍속에 의한 분산과 위상잡음 전력 및 분산정도를 입력변수로 하는 지표면 클러터 스펙트럼을 가우시안 형태로 발생시켰다. 또한 건물 및 인공구조물에 의한 클러터는 매우 폭이 좁은 가우시안 형태로 근사화 시킬 수 있으므로 분산에 관계된 입력변수의 조정으로 이러한 클러터의 발생이 가능하게끔 하였다.

그러므로 이러한 도플러 신호 모델과 클러터 모델을 이용하여 발생시킨 결과를 그림 1에서 그림 4까지 표시하였다. 그림 1 및 그림 2에서는 클러터가 없는 경우 신호대 잡음비에 따라 모의구현된 기상레이다 도플러 신호를 나타내고 있다. 그림 3 및 그림 4에서는 클러터를 포함한 모의구현된 기상레이다 신호를 보여주고 있는데 클러터에 의한 반사전력이 강할수록 상대적으로 미약한 기상신호의 정보추출에 심한 어려움을 초래하게 된다. 일반적으로 지표면 등 클러터에 의한 반사전력은 그림 3 및 그림 4에서 보는바와 같이 매우 강하게 나타난다. 따라서 이러한 경우 클러터에 의한 반사파를 적절히 제거하여야만 정확한 기상정보를 추출할 수 있다.

A Simulated Weather Spectrum (SNR=20dB, mean freq=300Hz)

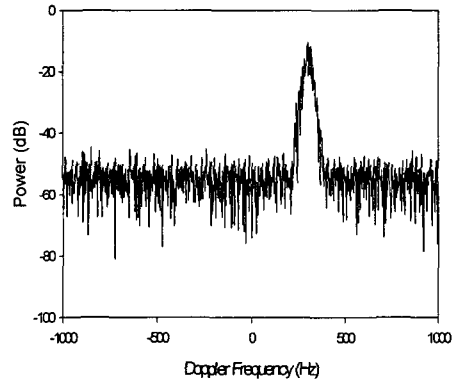


그림 1. 클러터가 없는 경우의 모의기상 신호(스펙트럼 폭=20Hz)

A Simulated Weather Spectrum (SNR=10dB, mean freq=-600Hz)

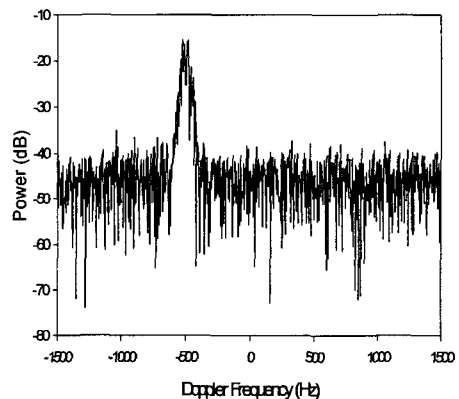


그림 2. 클러터가 없는 경우의 모의기상 신호(스펙트럼 폭=30Hz)

IV. 결 론

모의 실험결과와 그림에서 보는 것처럼 기상레이다에서의 클러터 및 도플러 스펙트럼은 본 논문에서 제안된 기법을 이용하면 효율적인 모의 발생이 가능하다. 기존의 필터링(filtering) 방법은 처리과정이 복잡하여 시간이 많이 걸릴 뿐 아니라 다양한 신호를 발생시키기가 매우 어려웠다. 그러나 본 논문에서 설명된 기법을 활용하면 각각의 파라미터들만을 바꾸어 줌으로서 매우 다양하면서도 실제와 유사한 모의 기상신호를 얻을 수 있음을 알 수 있다. 앞으로의 연구과제로는 모의신호를 좀더 충실히 발생시키기 위한 시스템 위상잡음, 안테나 변조효과 등에 관한 분석도 추가적으로 이루어져야 할 것이다.

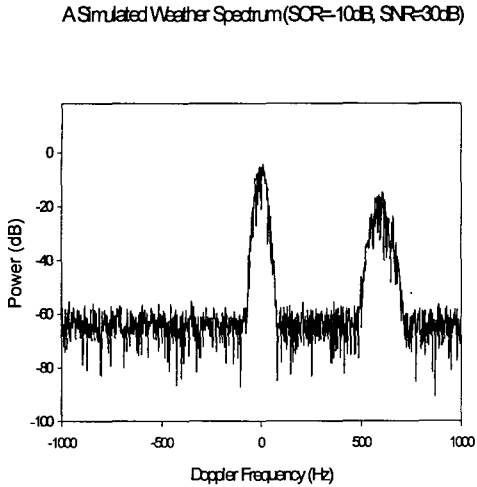


그림 3. 클러터가 존재하는 기상레이다 모의 수신신호
(클러터 스펙트럼 폭=15 Hz, 도플러신호 스펙트럼 폭=25 Hz, 클러터 도플러 평균주파수=0.0Hz, 기상신호의 도플러 평균주파수=600Hz)

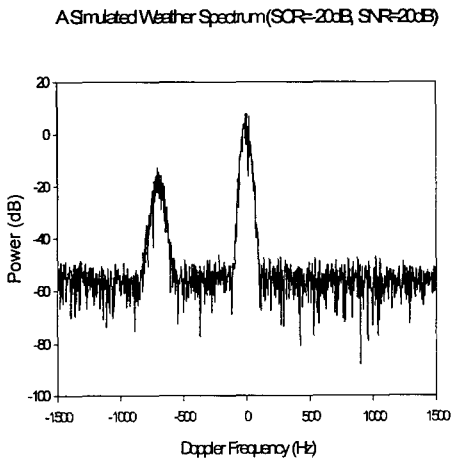


그림 4. 클러터가 존재하는 기상레이다 모의 수신신호
(클러터 스펙트럼 폭=20 Hz, 도플러신호 스펙트럼 폭=30 Hz, 클러터 도플러 평균주파수=0.0Hz, 기상신호의 도플러 평균주파수=-700Hz)

참고문헌

- [1] NEXRAD- 1992 MIT Lincoln Lab. Report.
- [2] R. J. Doviak and C. T. Jobson, "Dual Doppler radar observations of clear air wind perturbations in the planetary boundary layer," J. Geophys. Res., vol.84, no. c2, pp. 699-702, 1979.
- [3] W. H. Heiss, D. L. McGrew and D. Sirmans, "NEXRAD: Next generation weather radar (WSR-88D)," Microwave Journal, Jan. 1990.
- [4] D. W. Burgess, "Single Doppler radar vortex recognition: part I - Mesocyclone signatures," 17th Conf. Radar Meteorol., Amer. Meteorol. Soc., Boston, MA. 02108, pp. 97-103, Oct. 1976.
- [5] R. J. Keeler and R. E. Passarelli, "Signal Processing for Atmospheric Radars" NCAR Technical note, 1989.
- [6] L. H. Janssen and G. A. Van der Spek, "The shape of Doppler spectra from precipitation," IEEE Trans. Aerosp. Electron. Syst., vol. AES-21, pp. 208-219, 1985.
- [7] M. I. Skolnik, *Introduction to radar systems*, McGraw-Hill, 2001.