

기상 레이더에서의 클러터 영향 분석

이종길*

Analysis of Clutter Effects in a Weather Radar

Jonggil Lee*

Department of Information and Telecommunication Engineering, Incheon National University, Incheon 22012, Korea

요 약

기상 레이더는 해당 영역에서의 비, 구름이나 먼지 입자 등에 의해 반사되어 나타나는 기상신호로부터 신호의 도플러 주파수 및 도플러 스펙트럼 폭 값들을 추정한다. 이러한 값들은 평균풍속, 대기교란 정도 등의 정보와 직접적으로 연관된 중요한 변수들이다. 따라서 정확한 기상정보를 얻기 위해서는 이러한 추정 값들에 대한 매우 높은 신뢰성이 요구된다. 그러나 기상 레이더에서는 기상현상에 의한 수신 신호뿐만 아니라 지표면 반사나 이동하는 물체 등에 의한 반사파들, 즉 클러터가 포함되어 나타나게 된다. 이러한 클러터들의 존재는 기상정보 추출을 위한 변수 값들을 추정하는데 심각한 오차를 유발하게 된다. 따라서 본 논문에서는 강력한 클러터들에 의한 추정 오차를 분석하기 위하여 기상 수신신호 및 클러터들에 대한 도플러 스펙트럼 모델들을 각각 도출하였다. 이러한 모델들을 이용하여 기상 신호 및 클러터 전력에 따른 다양한 수신신호들을 모의 구현하고 처리함으로써 클러터에 의한 영향을 분석하였다.

ABSTRACT

A weather radar estimates Doppler frequency and width of Doppler spectrum from the received weather signal which represents the return echoes from rain or dust particles in a corresponding area. These estimates are very important parameters since they are directly related to precipitation, wind velocity and degree of turbulence. Therefore, these estimated values should be highly reliable to obtain accurate weather information. However, the echoes of a weather radar include both the weather signal and the clutter which occurred from ground reflection or moving objects, etc. The existence of the clutter in the echoes may cause serious errors in the estimation of weather-related parameters. Therefore, in this paper, models are developed to represent the weather signal and the clutter for the purpose of analyzing estimation errors caused by the strong clutter echoes. Using these models, various return echoes according to the weather signal and clutter power are simulated to analyze the effects of the clutter.

키워드 : 기상 신호, 도플러 스펙트럼, 클러터, 스펙트럼 모멘트, 추정오차

Key word : Weather signal, Doppler spectrum, Clutter, Spectrum moment, Estimation error

Received 08 May 2016, Revised 09 May 2016, Accepted 25 May 2016

* Corresponding Author Jonggil Lee(E-mail:jnglee@incheon.ac.kr, Tel:+82-32-835-8286)

Department of Information and Telecommunication Engineering, Incheon National University, Incheon 22012, Korea

Open Access <http://dx.doi.org/10.6109/jkice.2016.20.9.1641>

print ISSN: 2234-4772 online ISSN: 2288-4165

©This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.
Copyright © The Korea Institute of Information and Communication Engineering.

I. 서 론

기상 레이더에서는 기상 정보를 얻기 위하여 물방울 또는 먼지 입자 등에 의한 전자파 반사 신호를 수신한다. 이러한 수신 기상신호로부터 도플러 스펙트럼 모멘트들을 추정하여 강우량, 풍속정보 및 풍속 폭, 즉 대기의 교란정도 등에 대한 정보를 추출한다[1-3]. 따라서 정확한 기상정보를 획득하기 위해서는 도플러 스펙트럼 모멘트들의 추정치의 정확도 및 신뢰성이 매우 중요하다.

그러나 기상 레이더에 수신되는 반사파에는 기상 신호뿐만 아니라 다양한 형태의 클러터가 포함된다. 이와 같은 클러터 중 저고도 기상탐지에서 자주 발생하는 안테나 부엽에 의한 지표면 반사 클러터의 경우 기상신호에 비해 매우 강력하게 나타나기 때문에 스펙트럼 모멘트 추정 오차가 심각하게 발생할 수 있다. 이외에도 건물이나 인공 구조물, 차량, 비행기 또는 조류 등에 의한 클러터들도 이러한 모멘트 추정 오차를 유발함으로써 정확한 기상 정보를 얻는데 장애 요인으로 작용한다.

그러므로 본 논문에서는 이와 같은 클러터들의 존재가 기상신호의 스펙트럼 모멘트 추정에 어떤 영향을 주는지 분석하고자 한다. 그러나 실제로 기상 레이더에 수신되는 클러터와 반사 신호들은 기상상태나 운용환경에 따라서 매우 다양한 형태의 클러터 및 기상 신호 도플러 스펙트럼들을 나타내게 된다. 따라서 이러한 다양한 환경조건에서의 클러터에 의한 영향을 분석하기 위하여 우선 수신 기상신호 및 클러터에 대한 도플러 스펙트럼 모델들을 도출하였다. 이와 같이 도출된 모델을 이용하면 다양한 형태의 클러터 및 기상신호 도플러 스펙트럼들의 모의구현이 가능하다.

따라서 운용환경에 따른 클러터 및 기상 신호 도플러 스펙트럼, 즉 다양한 반사파 신호들을 시간영역상에서의 I(inphase), Q(quadrature phase) 값들로 나타낼 수 있다. 그러므로 이러한 값들로부터 스펙트럼 모멘트 추정치들을 구하고 클러터에 의한 오차 및 영향 정도 등을 분석하기 위하여 가장 널리 쓰이고 있는 펄스 페어 추정 방법이라고도 불리는 자기상관 추정방법을 적용하였다[4, 5].

II. 클러터 스펙트럼 모델

기상 신호에 포함되는 클러터는 크게 두 종류로 분류할 수 있다. 첫 번째는 저고도 관측 시 나타나는 강력한 지표면 반사파에 의한 클러터이다. 클러터는 이론적으로 도플러 주파수가 0 인 DC 성분으로 표현되어야 하나 안테나의 회전, 시스템의 오실레이터 위상 잡음 등으로 인하여 0을 중심으로 상대적으로 낮은 도플러 주파수 대역을 점유하는 가우시안 스펙트럼 형태로 나타난다. 이러한 클러터 스펙트럼은 기상신호에 비하여 매우 강력하게 나타나는 경우가 자주 발생하며 또한 클러터의 분산정도를 고려하면 클러터를 기상신호와 완전하게 분리하여 제거하는 것은 매우 어려운 실정이다. 따라서 저주파 대역 차단 필터를 적용하더라도 이러한 클러터 전력의 크기나 분산정도에 따라 클러터의 일정부분이 잔존하여 신호에 포함되게 된다. 그러므로 본 논문에서는 이러한 현상에 의한 추정오차를 분석하기 위하여 지표면 반사파에 의한 클러터 스펙트럼을 다음과 같이 중심 주파수가 0이며 전체 전력이 C_G , 분산이 W_G^2 로 표시되는 가우시안 전력 스펙트럼 모델로 나타내었다[3].

$$GC = \frac{C_G}{\sqrt{2\pi}W_G} \exp\left(\frac{-f^2}{2W_G^2}\right) \quad (1)$$

두 번째 유형의 클러터는 이동하는 물체에 의하여 발생한다. 첫 번째 유형에 비하여 특정한 영역에 한정되어 나타나는 경우가 많다. 따라서 두 번째 유형의 추정치 오차를 분석하기 위하여 다음과 같은 가우시안 이동 클러터 모델을 표시하였다[6].

$$MC = \frac{C_M}{\sqrt{2\pi}W_M} \exp\left(\frac{-(f - f_{dM})^2}{2W_M^2}\right) \quad (2)$$

식(2)에서의 C_M , f_{dM} 및 W_M^2 은 각각 이동 클러터 전력, 이동 클러터 도플러 주파수 및 분산을 의미하는 파라미터이다. 그러므로 식(1) 과 식(2)로 표현되는 고정 클러터 모델, GC 와 이동 클러터 모델, MC의 파라미터 값들을 적절하게 변화시켜줌으로서 기상신호에 포함되는 다양한 형태의 클러터들을 모의 구현하는 것이 가능하다.

III. 기상신호의 도플러 스펙트럼 모델

기상 정보를 나타내는 비, 구름 등의 강우입자 및 먼지입자들에 의한 반사 신호들은 태풍, 돌풍 등으로 인한 풍속 및 풍속장의 교란정도에 따라 도플러 스펙트럼의 중심 주파수나 분산정도가 다르게 나타난다. 거리 및 방위각으로 구분되는 각각의 영역으로부터 수신되는 이러한 기상 신호들은 해당영역에서의 수많은 입자들의 움직임에 의한 반사파들의 합으로서 나타나므로 일반적으로 가우시안 도플러 스펙트럼으로 모델링할 수 있다[6]. 또한 레이더 시스템 및 안테나 잡음 등으로 인한 부가성 백색 가우시안 잡음(additive white Gaussian noise) 을 고려하면 다음과 같은 기상 신호 도플러 스펙트럼 전력 모델을 도출할 수 있다[3].

$$RS = \frac{S_R}{\sqrt{2\pi W_s}} \exp\left[-\frac{(f - f_{ds})^2}{2W_s^2}\right] + N_0 \quad (3)$$

식 (3)에서의 RS 는 기상신호에 의한 수신전력 모델로서 S_R 은 전체 반사 신호전력을, f_{ds} , W_s^2 및 N_0 는 각각 중심 도플러 주파수, 신호의 분산 및 잡음전력 밀도를 표시한다. 그러므로 이동 및 고정 클러터와 기상신호, 잡음전력을 포함한 전체 반사전력 모델 TR 은 식 (1), 식(2) 및 식(3)을 이용하여 다음과 같은 모델로 표현되어 질수 있다.

$$TR = GC + MC + RS \quad (4)$$

식(4)는 총 수신 도플러 전력 스펙트럼을 나타내므로 클러터의 영향 분석을 위하여 시간영역에서 수신되는 I(inphase) 및 Q(quadrature phase) 값으로 표시하여야 한다. 각각의 해당 셀에서 수신되는 이러한 I 및 Q 값들은 해당 영역에서의 수많은 반사파 수신에 의한 현상이므로 가우시안 분포를 나타낸다. 따라서 그 크기 및 전력 값은 각각 Rayleigh 및 지수분포로 나타나게 된다 [7]. 그러므로 이러한 통계적인 특성을 고려하여 식(4)에서 표시된 전체 반사전력 Y에 대한 확률밀도 함수는 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$f_Y(y) = \frac{1}{TR} \exp\left[-\frac{y}{TR}\right] \quad (5)$$

그러므로 Y 를 0에서 1사이의 균일분포를 갖는 랜덤 변수 X 를 이용하여 표시하면 다음과 같이 표시된다.

$$y_k = (TR_k) \times (-\ln(x_k)) \quad (6)$$

식(6)에서의 TR_k 값은 식(4)에 표시된 총 전력 스펙트럼 모델의 $f=f_k$ 에서의 값을 나타내며 x_k 는 0에서 1사이의 균일분포를 갖는 랜덤변수 값이다. 따라서 이러한 값은 아래와 같이 복소수 스펙트럼 신호 형태로 나타낼 수 있다.

$$A_k + jB_k = \sqrt{y_k} \cos(2\pi z_k) + \sqrt{y_k} \sin(2\pi z_k) \quad (7)$$

식(7)에서 z_k 는 0에서 1사이의 균일분포를 갖는 랜덤변수 값이다. 그러므로 식(7)의 값을 푸리에 역 변환하여 시간영역에서의 수신 값들인 I, Q 값들을 얻을 수 있다.

IV. 반사파 특성과 스펙트럼 모멘트 추정

앞장에서 기술한 바와 같이 반사파에는 기상신호 뿐만 아니라 강력한 클러터가 존재하는 경우가 자주 발생한다. 따라서 지표면이나 산 등의 정지된 물체에 의한 클러터들은 일반적으로 저주파 차단 필터를 적용하여 클러터를 제거한다. 그러나 이러한 클러터는 안테나 회전, 시스템 위상 잡음 등에 의한 스펙트럼 분산이 나타나며 이러한 경우 기상신호 정보의 손실 없이 클러터만을 차단하는 것은 매우 어렵다. 또한 이동 클러터의 경우는 기상신호의 도플러 주파수 영역과 겹치는 경우가 많기 때문에 제거 자체가 곤란하다. 따라서 클러터 영향 분석을 위하여 지표면 등에 의한 정지 클러터의 경우는 이상적인 저주파 차단 필터를 적용한다고 가정하였으며 이동 클러터의 경우에는 필터를 적용하지 않았다.

스펙트럼 모멘트 추정 방법으로는 가장 널리 쓰이고 있는 다음과 같은 자기상관 추정(autocorrelation estimation) 방법을 적용하여 도플러 주파수 및 도플러 스펙트럼 폭을 추정하였다[8, 9].

$$\hat{f}_d = \frac{1}{2\pi T_s} \arg \left\{ \hat{R}(T_s) \right\}$$

$$\hat{w} = \frac{1}{\sqrt{2\pi T_s}} \left| 1 - \frac{|\hat{R}(T_s)|}{\hat{S}} \right|^{1/2} \operatorname{sgn} \left(1 - \frac{|\hat{R}(T_s)|}{\hat{S}} \right) \quad (8)$$

$$\hat{R}(T_s) = \frac{1}{M} \sum_{i=0}^{M-1} V^*(iT) V(iT + T_s)$$

$$\hat{S} = \frac{1}{L} \sum_{k=0}^{L-1} |V(k)|^2 - N \quad (9)$$

식(8)에서의 \hat{R} , \hat{S} , T 및 T_s 는 각각 자기상관 및 신호전력 추정치, 펄스페어들 간의 간격 및 펄스페어 내에서의 펄스 간 간격을 나타낸다. 또한 sgn , 즉 부호표시는 팔호안의 값이 음수로 나타날 경우 분석에서 제외하였다. 또한 식(9)에서의 $V(iT)$ 및 $V(k)$ 는 펄스 페어 및 펄스 수신 I, Q 값을, V^* 는 켈레 복소수 값을, M 및 L 은 펄스페어 및 펄스샘플 숫자를, N은 전체 잡음전력을 각각 표시한다. 본 논문에서는 지표면 반사파 등에 의한 고정 클러터 및 이동 클러터가 존재하는 영역으로

구분하여 분석하였다.

V. 결과분석 및 고찰

첫 번째로 지표면 반사파 등에 의한 강력한 고정 클러터가 기상신호와 같이 수신되는 경우를 살펴보았다. 앞에서 제안한 모델 식(4)를 이용하였으며 신호 대 클러터, 클러터 대 잡음전력 비인 SCR(signal to clutter ratio) 및 CNR(clutter to noise ratio)을 각각 -20dB 및 35dB로 설정하였다. 또한 풍속이 균일하게 해당 거리 영역 모두에서 평균 3m/sec 이며 풍속 폭은 4 m/sec 로 가정하였다. 클러터는 강력한 지표면 클러터가 나타나는 저고도 탐지 영역을 가정하였으며 클러터의 평균속도 및 폭은 각각 0 및 1 m/sec 로 하였다. 그림 1과 그림 2의 결과에서 클러터 필터를 적용한 경우는 2m/sec 의 차단대역과 차단영역에서의 40dB 감쇄가 이루어진 결과이다. 그림 1에서 볼 수 있는 것처럼 강력한 지표면 클러터 때문에 클러터의 도플러 주파수 즉 평균 속도인 0 m/sec 부근에서 추정치를 형성한다. 필터를 적용한 경우에도 잔존하는 클러터의 영향으로 정확한 평균풍속 추정이 제대로 이루어지지 않고 있음을 볼 수 있다.

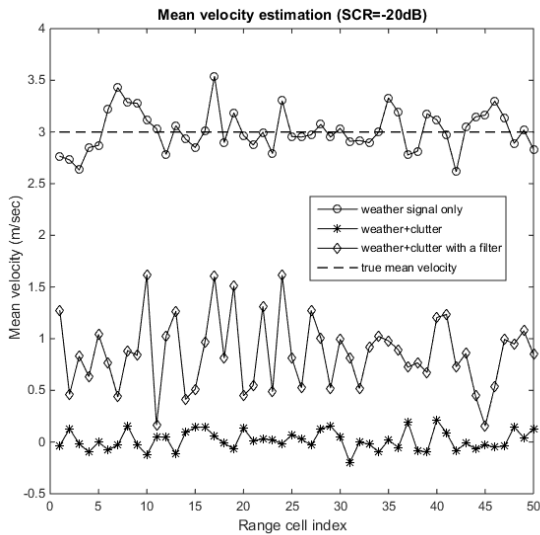


Fig. 1 Mean wind velocity estimation of the weather signal including the clutter(SCR=-20dB, cutoff velocity=2m/sec, mean wind velocity=3m/sec)

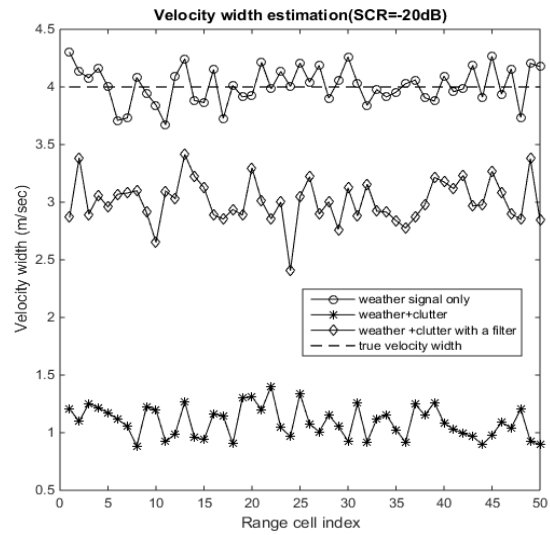


Fig. 2 Wind velocity width estimation of the weather signal including the clutter(SCR=-20dB, cutoff velocity=2m/sec, mean wind velocity=3m/sec)

반면 클러터가 없는 기상 신호에서는 실제 풍속 값인 3m/sec 부근에서 비교적 정확한 추정 값을 얻을 수 있음을 알 수 있다. 그림 2는 풍속 폭을 추정한 결과이다. 그림 2에서 확인 할 수 있는 것처럼 클러터가 잔존하여 제대로 추정치가 나타나지 않고 있다는 것을 확인할 수 있다.

특히 클러터가 그대로 포함된 경우 그림 1과 마찬가지로 풍속 폭의 추정치들은 클러터 폭 값인 1m/sec 주변에서 형성되고 있다. 기상신호만 존재하는 경우에는 실제 풍속 폭 값인 4m/sec 주변에서 비교적 정확한 추정이 이루어지고 있음을 알 수 있다. 따라서 강력한 클러터의 영향을 최대한 축소하기 위하여 같은 조건에서 차단대역을 3m/sec 까지 1.5배 확장하여 적용한 결과를 그림 3과 4에 표시하였다. 그림 3의 결과에서 알 수 있는 것처럼 필터의 차단 대역을 넓힘으로서 상대적으로 매우 강력한 클러터의 차단이 비교적 잘 이루어졌음에도 불구하고 여전히 부정확한 평균 풍속 추정치를 나타내고 있다. 잔존 클러터가 여전히 존재하고 기상신호의 평균 풍속이 3 m/sec 로 매우 낮은 속도이기 때문에 클러터 필터의 차단대역 확장은 기상신호 대역에서의 손실을 초래하기 때문이다. 또한 풍속 폭의 추정의 경우에도 그림 4의 결과에서 보는 것처럼 여전히 존재하는 잔존 클러터

및 기상신호의 손실로 추정치의 정확도는 기상신호만 존재하는 경우와 비교하여 볼 때 많이 떨어진다는 것을 확인할 수 있다.

두 번째의 경우는 앞의 경우와 동일하게 신호 대 클러터 전력비가 -20dB 로 나타나는 매우 강력한 지표면 클러터가 존재하나 기상신호의 평균풍속이 해당 영역에서 40m/sec 로 높게 나타나는 경우를 살펴보았다. 이러한 경우에는 클러터 필터의 차단대역을 넓혀서 강력한 클러터의 제거를 통한 추정치 개선을 이룰 수 있을 것이다.

따라서 차단 풍속을 4m/sec 로 넓혀서 클러터를 제거한 경우의 결과를 그림 5와 그림 6에 나타내었다. 그림 5의 결과에서 알 수 있는 바와 같이 강력한 클러터를 거의 차단함으로써 평균 풍속 추정의 정확도는 기상신호만 존재하는 경우와 거의 유사한 정확도를 나타내고 있다. 그러나 그림 6의 결과를 보면 풍속 폭 추정의 경우는 평균 풍속 추정 값과 달리 기상 신호만 있는 경우의 풍속 폭 추정치에 비해 다소 높은 값을 나타낸다. 미약하게 잔존하는 클러터의 영향으로 풍속 폭 추정치들이 영향을 받고 있음을 알 수 있다. 이와 같은 문제는 차단대역을 더 넓힘으로서 잔여 클러터의 확실한 제거를 통해 정확도를 개선시킬 수 있다. 즉, 기상신호의 평균

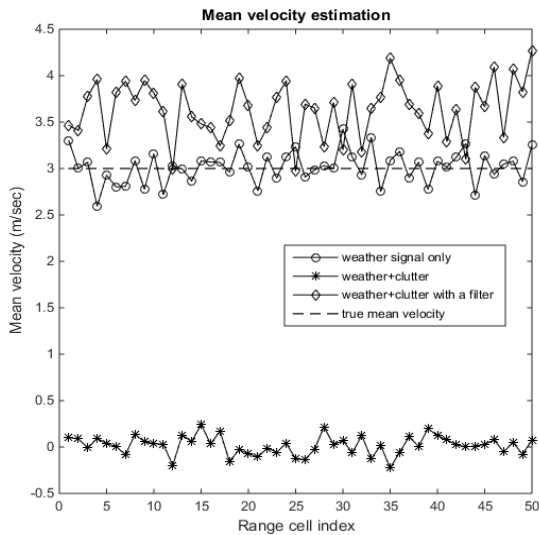


Fig. 3 Mean wind velocity estimation of the weather signal including the clutter (SCR=-20dB, cutoff velocity=3m/sec, mean wind velocity=3m/sec)

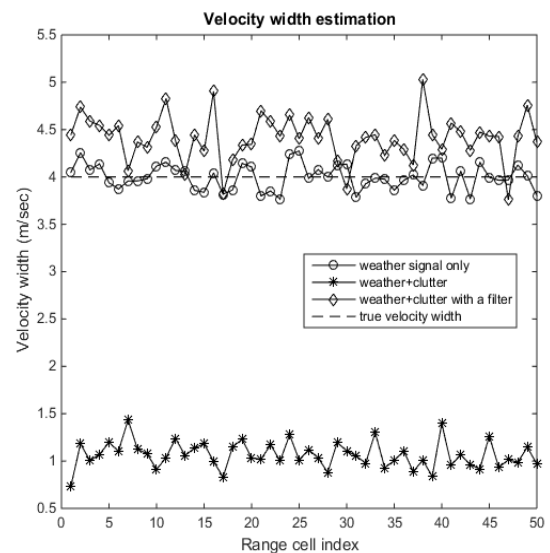


Fig. 4 Wind velocity width estimation of the weather signal including the clutter (SCR=-20dB, cutoff velocity=3m/sec, mean wind velocity=3m/sec)

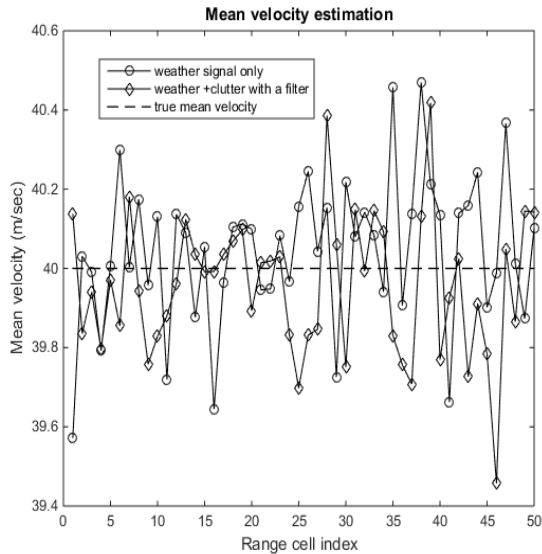


Fig. 5 Mean wind velocity estimation of the weather signal including the clutter (SCR=-20dB, cutoff velocity=4m/sec, mean wind velocity=40m/sec)

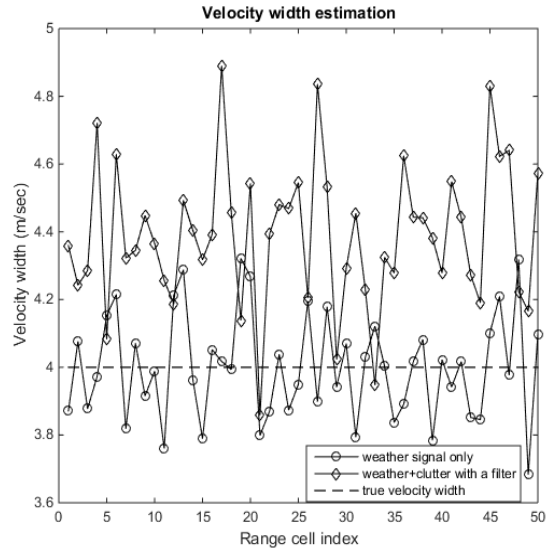


Fig. 6 Wind velocity width estimation of the weather signal including the clutter (SCR=-20dB, cutoff velocity=4m/sec, wind velocity width=4m/sec)

풍속이 높게 나타나 클러터와 기상신호 영역의 분리가 가능한 경우이다.

이제 이동 클러터의 영향을 살펴보았다. 이동 클러터는 클러터와 기상신호의 영역 분리가 대부분의 경우에서 매우 어렵기 때문에 클러터의 제거가 거의 불가능하다. 따라서 본 논문에서는 수신되는 기상신호 전력 대비 이동 클러터의 전력의 크기에 따른 풍속 및 풍속 추정치에의 영향을 분석하고자 한다. 상대적으로 이동 클러터의 전력이 낮은 경우 즉 신호 대 클러터 전력의 비가 10dB 정도로 나타나는 경우이다. 이동 클러터는 비행물체나 조류 등에 의하여 나타나는 경우가 많은데 고정 클러터에 비하여 속도의 분산을 나타내는 속도 폭은 다소 넓게 나타나는 것이 일반적이나 기상신호에 비하여는 상대적으로 좁게 나타난다.

기상신호의 평균 풍속 및 폭이 각각 15m/sec 와 3 m/sec 이며 이동 클러터의 속도 및 폭은 각각 30m/sec 와 1.5m/sec 로 나타낸다고 가정하였다. 우선 신호 대 잡음전력 비 인 SNR 및 클러터 대 잡음전력비, CNR 이 각각 20 dB 및 10dB 로 나타나는 경우의 결과를 살펴보았다. 그림 7 및 그림 8에 풍속 및 풍속 폭 추정치 값을 표시하였다.

여기서는 전 영역에서 동일한 이동 클러터가 존재한

다고 가정하였으며 기상신호의 평균 풍속 또한 일정하게 나타낸다고 가정하였다.

그림 7의 결과에서 볼 수 있는 것처럼 이동 클러터의 속도가 30m/sec 인 것을 감안하면 신호 대 이동클러터 전력의 비가 10dB 로 비교적 기상신호의 세기가 강한 경우에는 평균 풍속 추정치에 큰 오차를 초래하지 않는다는 것을 알 수 있다.

그러나 그림 8의 풍속 폭 추정치 결과를 살펴보면 상대적으로 기상신호의 세기가 비교적 강함에도 불구하고 큰 오차가 발생함을 알 수 있다. 이와 같은 이유는 이동 클러터의 속도가 15m/sec 이고 속도 폭이 1.5m/sec 이므로 이러한 이동 클러터의 속도성분이 세기 정도는 약하지만 풍속 폭 추정에 민감한 영향을 주는 것으로 판단된다. 기상신호와 비교한 상대적인 전력 값의 세기에 따라 평균 풍속 추정치에 비하여 더 큰 오차를 발생 시킴을 알 수 있다.

VI. 결론

기상 레이더에서의 수신 신호로부터 풍속 및 풍속 폭 추정은 기상정보를 파악하는데 매우 중요하다. 이러

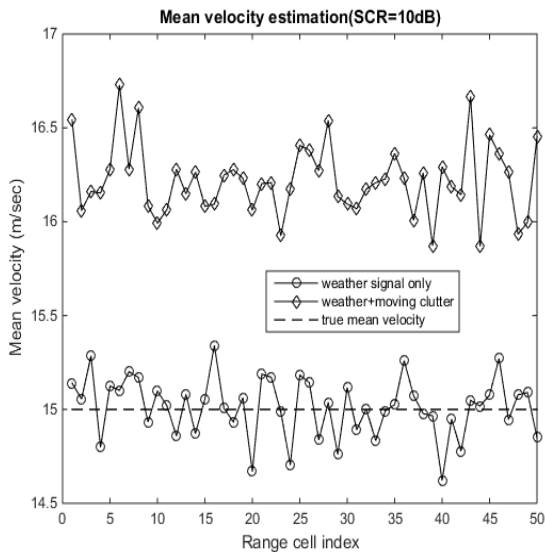


Fig. 7 Mean wind velocity estimation of the weather signal including the moving clutter (SCR=10dB, mean wind velocity = 15m/sec)

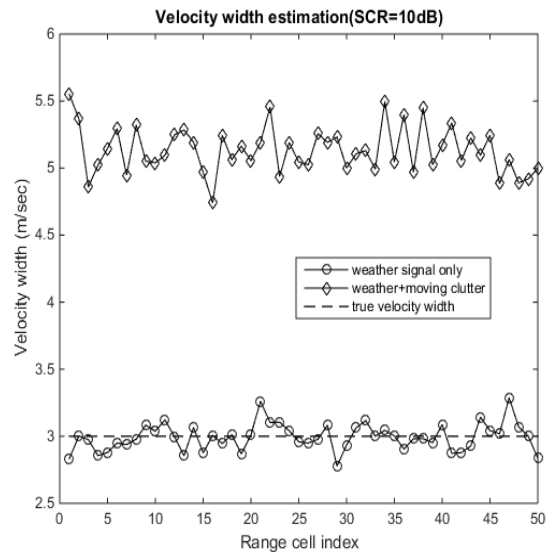


Fig. 8 Wind velocity width estimation of the weather signal including the moving clutter (SCR=10dB, wind velocity width = 3m/sec)

한 추정치들은 수신 펄스열들의 자기상관 값을 추정하여 이루어지게 된다. 그러나 본 논문의 결과 그림들에서 고찰한 바와 같이 기상신호에 포함되어 있는 클러터들로 인해 이러한 추정치들의 신뢰도가 심각하게 훼손될 수 있음을 알 수 있다.

저고도 기상 탐지에서 자주 발생하는 강력한 지표면 반사파의 경우 클러터의 제거가 이루어지지 않는다면 거의 무의미한 추정치를 얻을 수 있음을 확인할 수 있다. 또한 이러한 강력한 클러터들은 거의 완전한 제거가 이루어지지 않는다면 잔존하는 클러터의 영향으로 추정치의 정확도가 매우 나빠진다는 것을 알 수 있다.

따라서 기상신호의 손실 없이 클러터를 거의 완전하게 차단하는 것이 중요하나 기상신호의 풍속이 클러터 영역과 겹치는 부분이 많아질수록 이와 같은 방법을 적용하기 어렵다는 것을 확인할 수 있다. 즉 기상신호의 풍속이 상대적으로 높게 나타나는 경우에는 차단 대역이 넓은 클러터 필터를 적용하여 신뢰성 있는 추정치를 얻을 수 있을 것이다. 또한 레이더 시스템의 오실레이터 위상잡음을 최대한 줄임으로서 클러터의 폭을 감소시킬 수 있으면 클러터의 분리가 상대적으로 용이하므로 저속의 기상정보 추출에 도움이 될 수 있

을 것이다.

이동 클러터의 경우에는 상대적인 전력의 크기에 따라 나타나는 오차 정도를 고찰하였다. 기상신호에 10dB 이상 차이나는 약한 이동 클러터가 포함된다면 평균 풍속에서의 추정오차는 제한적일 것으로 판단된다. 그러나 풍속 폭 추정치의 경우는 상대적으로 더 큰 영향을 받아서 오차가 매우 크게 나타날 수 있다.

본 논문에서는 클러터들이 풍속 및 풍속 추정치에 미치는 영향들을 고찰하였다. 제시된 모의 기상 신호 및 클러터 모의 구현방법들을 활용한다면 다양한 환경에서 발생하는 클러터들의 영향을 분석하는데 매우 유용할 것이다.

ACKNOWLEDGMENTS

This work was supported by the Incheon National University Research Grant in 2015.

REFERENCES

- [1] M. Yeary et al., "A brief overview of weather radar technologies and instrumentation," *IEEE Instrumentation and Measurement Magazine*, vol. 17, no. 5, pp. 10-15, Oct. 2014.
- [2] F. S. Marzano et al., "Volcanic ash cloud retrieval by ground-based microwave weather radar," *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, vol. 44, no. 11, pp. 3235-3246, Nov. 2006.
- [3] R. J. Doviak and D. S. Zrnic, *Doppler Radar and Weather Observations*, 2nd ed. San Diego, CA: Academic Press, 1993.
- [4] K. S. Miller and M. C. Rochwarger, "A covariance approach to spectral moment estimation," *IEEE Transactions on Information Theory*, vol. IT-18, pp. 558-596, Sept. 1972.
- [5] R. F. Woodman, "Spectral moment estimation in MST radars," *Radio Science*, vol. 20, pp. 1185-1195, Nov. 1985.
- [6] L. H. Janssen and G. A. Van der Spek, "The shape of Doppler spectra from precipitation," *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, vol. 21, pp. 208-219, Apr. 1985.
- [7] A. Papoulis and S. U. Pillai, *Probability, Random Variables and Stochastic Processes*, 4th ed. New York, NY: McGraw-Hill, 2002.
- [8] D. S. Zrnic, "Estimation of spectral moments for weather echoes," *IEEE Transactions on Geoscience Electronics*, vol. 17, no. 4, pp. 113-128, Oct. 1979.
- [9] V. M. Melnikov and D. S. Zrnic, "Autocorrelation and cross-correlation estimators of polarimetric variables," *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, vol. 24, no. 8, pp. 1337-1350, Aug. 2007.



이종길(Jonggil Lee)

1990년 5월 미국 Clemson University, Electrical Eng. (Ph.D.)

1991년 1월 ~ 1993년 2월 삼성전자 특수연구소

1993년 3월 ~ 현재 인천대학교 정보통신공학과 교수

※관심분야: 무선통신, 레이더 신호처리, 레이더 시스템