

라이다 신호 처리를 위한 Kolmogorov-Smirnov Test

기법을 사용한 Noise Reduction

A Noise Reduction Method Using Kolmogorov-Smirnov Test
Technique for Lidar Signal Processing

하동훈*, 박찬봉, 이주희

경희대학교 전자공학과, 레이저공학연구소

71153600@cvs1.kyunghee.ac.kr

라이다 계측에서 오차에 기인하는 것은 레이저 파장, 라이다 시스템 파라미터, 분해능, 표준대기 밀도값, 라이다 보정의 정당상과 라이다 위체에서 대기 투과 분포이며⁽¹⁾, Noise에 기인하는 것은 시스템 오차, 배경광, PMT의 SNR, 그리고 Signal Measurement error가 존재한다.

시스템 오차를 무시한다고 해도 후방산란되어 되돌아온 신호에 대한 많은 Noise 성분을 가지고 있다.

$$S_M = S_O + N \quad (1)$$

여기서 S_M 은 측정신호(Measured Signal), S_O 는 원신호(Original Signal), 그리고 N 은 노이즈 항이 된다. 측정된 신호(S_M)는 노이즈 항을 포함하고 있으므로 데이터 프로세싱에는 알맞은 노이즈 성분을 제거해야지만 정확한 원래 신호를 복원할 수 있게 된다.

라이다 계측법은 실시간 정밀 관측이 용이하고, 분해능이 높으며 2차원 이상의 공간 측정이 가능하다는 장점이 있다. 성층권에서 깨끗한 대기에 잘 적용되는 Transmission Method는 각 고도에 대한 후방산란비를 구하게 된다. 위 데이터 프로세싱 방법으로 얻어진 2차원 공간에 데이터들이 어떻게 놓이느냐에 따라 노이즈 성분이 많이 포함되어있는지 적게 포함되어있는지 판단할 수 있다.

2차원 공간 분포가 어떻게 되어있느냐를 판단할 수 있는 K-S Test(Kolmogorov-Smirnov Test)를 통해 통계적인 데이터 처리를 할 수 있다.

K-S Test는 Two Cumulative Distribution Function 사이의 절대차이의 최대값으로 정의된다.

$$D = \max_{-\infty < x < \infty} |S_M(x) - P(x)| \quad (2)$$

여기서 $S_M(x)$ 는 Signal Data Set이고, $P(x)$ 는 Distribution Function이다.

본 논문에서는 2차원 공간 분포가 어떻게 분포하는지를 통계적인 데이터 처리 방법중의 하나인 K-S Test를 사용하여 측정된 신호에 최대 노이즈를 제거함으로써 원신호를 복원하는데 있다.

레이저가 공간에 퍼짐에 따라 수신된 신호는 고도에 따라 푸아송 분포를 이루므로 Distribution Function은 $F_1(x) = \frac{10}{3}x - \frac{3}{2}$ 와 $F_2(x) = -\frac{10}{3}x + \frac{31}{6}$ 을 취했고, Signal Data Set이 $F_1(x)$ 와 $F_2(x)$ 를 만족하는 값을 취하기 위해, 표준 오차가 최소가 되는 Noise 값을 취하여 방정식 (1)에 대입한다.

방정식 (1)에서 노이즈 항이 감소한 신호를 갖고 Transmission Method에 대입하게 된다.

$$R(\lambda, z) = \frac{(z - z_L)^2 N_s(\lambda, z) Q^2(\lambda, z_L, z^*) F_M(\lambda, z^*)}{(z^* - z_L)^2 N_s(\lambda, z^*) Q^2(\lambda, z_L, z) F_M(\lambda, z)} R_{\min}(\lambda) \quad (3)$$

방정식 (3)은 Transmission Method를 이용한 후방산란비를 구하는 일반적인 공식이다⁽²⁾. 여기서 $F_M(\lambda, z)$ 는 파장 λ 와 고도 z 에 단위 체적당 분자 후방산란 단면적(cross section), z 는 높이, z_L 는 라

이다 고도, z^* 는 규격화 높이(Normalized Altitude), $N_s(\lambda, z)$ 는 레이저 파장 λ 로 방사하여 고도 z 에서 되돌아온 신호이고, $Q^2(\lambda, z_L, z) = \exp[-2 \int_{z_L}^z \sigma_e(\lambda, z') dz']$ 로 정의되고, $\sigma_e(\lambda, z')$ 는 파장 λ 와 거리 z' 에 대한 대기 감쇄 계수이다. 최소값인 $R_{min}(\lambda)$ 을 1로 가정할 때 심각한 오차를 이끌어낼 수 있다⁽³⁾. 따라서 본 데이터 프로세싱에서는 1.01로 주어졌다. 개발된 Noise Reduction Method의 흐름도는 그림 1.에 나타나 있으며, 본 방법을 사용하여 라이다 에어로졸 후방산란비(R)의 오차를 최대 10%까지 줄일 수 있다.

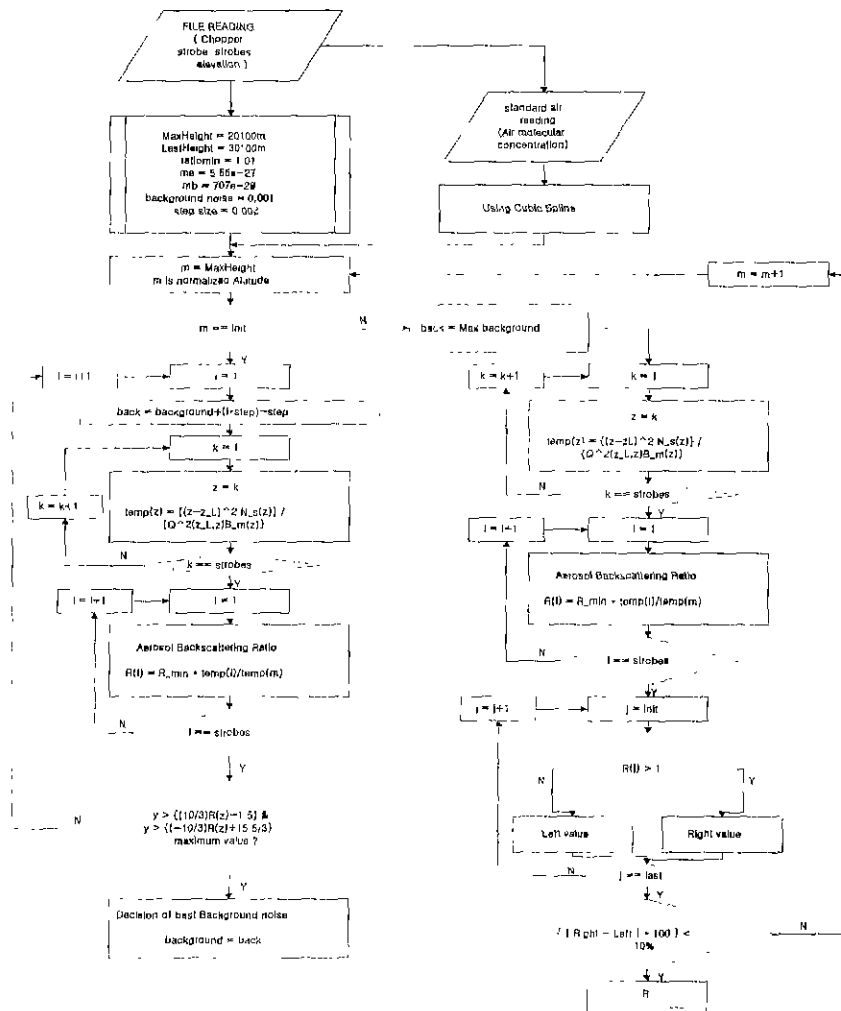


그림 1 Noise Reduction 데이터 프로세싱 흐름도

참고문헌

1. Philip B. Russell, et al., "Methodology for error analysis and simulation of lidar aerosol measurements", Applied Optics, 1979. 11, Vol. 18, p.3783-3797
2. JOHN A REAGAN, et al., "Lidar Sensing of Aerosols and Clouds in the Troposphere and Stratosphere", PROCEEDINGS OF THE IEEE, 1987. 3. Vol. 77, p.433-447
3. Philip B. Russell, et al., "Methodology for error analysis and simulation of lidar aerosol measurements", Applied Optics, 1979. 11. Vol.18, p.3783~3797

