

Noise Reduction Method for Lidar Data Based on a Multivariate Statistical Analysis Method.

奥村 浩、松本 洋典、竹内 延夫

Hiroshi Okumura, Hironori Matsumoto and Nobuo Takeuchi

千葉大学映像隔測研究センター

Remote Sensing and Image Research Center, Chiba University

Abstract : A new noise reduction method based on multivariate statistical technique, **NORMALS (NOise Reduction using Multivariate Analysis for Lidar Signals)**, was developed. Canonical correlation analysis (CCA) was applied in this method. **NORMALS** had the advantage of an effective noise reduction without wave form distortion of the backscatter signal. In addition, **NORMALS** process is executable with an ordinary personal computers, and its calculation time is short enough in comparison with the lidar measurement time. In this paper, the details of **NORMALS** are described and the validity of **NORMALS** is confirmed by the application to actual lidar echo data.

1. はじめに

ライダーによって得られる信号には、散乱体の構造を得るのに必要な後方散乱光の情報だけではなく様々な雑音が含まれていることが多い。ライダー信号に含まれる代表的な雑音には、電流のゆらぎに起因するショット雑音、受光素子の暗電流雑音、増幅器内の回路に起因する熱雑音や電流性・電圧性の雑音などがある^{1,2)}。従来はこれらの雑音をランダムなものと仮定し、データの積算時間を長くすることにより雑音の平滑化、S/N比の向上が図られてきた³⁾。しかしながら、実際のデータではこの仮定が成り立たないことが多いため、データの積算だけでは雑音の平滑効果が必ずしも充分ではなかった。雑音平滑化に用いられる信号処理手法として移動平均法⁴⁾があるが、雑音の影響がその周辺に及んでしまうという問題点があった。本研究ではこうした問題点を解決するために新しい雑音低減法の開発を行った。この手法は、多変量解析法の一つである正準相関分析法を応用したもので、雑音の影響を周辺に及ぼすことなく雑音を低減できるという特長を有する。ここでは、本手法の原理を示し、手法の有効性を評価するために行った実際のライダー信号の処理結果を報告する。

2. 正準相関分析法⁵⁾⁻⁷⁾

正準相関分析法(CCA)は、多変量解析法の一つで、主成分分析法(PCA)同様、複数個の特性変数の分散共分散行列のもつ情報を少数個の総合特性値に要約する手法である。PCAが1群 p 個の変数を対象にした手法であるのに対して、CCAはこれら p 個の変数がそれぞれ s 個と t 個を含む2群に分けられるような場合を対象とした、2つの群間相関の情報を要約するものである。

平均値が0なる2群の特性変量群、 $x_1, \dots, x_s, x_{s+1}, \dots, x_{s+t}$ があるとする。これらを線形結合した新たな特性変量群

$$u_i = \sum_{p=1}^s l_{pi} x_p \quad (i = 1, 2, \dots, s) \quad (1)$$

$$v_j = \sum_{q=1}^t m_{qj} x_{s+q} \quad (j = 1, 2, \dots, t) \quad (2)$$

を考え、

- ① u_i, v_j の平均は0、分散は1である。
- ② u_i と u_i ($i \neq i$) とは無相関である。
- ③ v_j と v_j ($j \neq j$) とは無相関である。
- ④ u_i と v_j ($i \neq j$) とは無相関である。

⑤ u_k と v_k ($k=1, \dots, s$) との間のみに相関係数 r_k が存在し、

$$r_1 \geq r_2 \geq \dots \geq r_k \quad (3)$$

である。

なる諸条件を満たすように、各係数 l_{pi} 、 m_{qj} ($i, p=1, \dots, s; j, q=1, \dots, t$) を決定する。これらの新たな特性変量群 u_i 、 v_j ($i=1, \dots, s; j=1, \dots, t$) を正準変量と呼び、(3)式の各相関係数をそれぞれ第 k 正準相関係数と呼ぶ。 $s=t=3$ の場合の元の特性変量群と正準変量群との関係を Fig.1 に示す。

3. 正準相関分析法に基づく雑音低減法

正準相関分析法をライダー信号の雑音低減に適用する際には、何を各群の特性変数に割り当てるかが重要となる。通常の方法で収集したライダーの信号(以後、 S_1 信号と呼ぶ)を

$$S_1 = S + N_1 \quad (4)$$

で表せると仮定する。ここで、 S は散乱体からの後方散乱信号、 N_1 は雑音成分の総和である。この S_1 信号から S 信号を分離、すなわち S_1 信号から N_1 信号を減算処理すればよいのであるが、 N_1 信号を推定することは非常に困難であるため、単純な減算処理は適用できない。そこで、 N_1 信号のかわりに、 S_1 信号を収集した時刻と同時、あるいは非常に近接した時刻にレーザーを発振させない状態で収集した背景光信号(以後、 S_2 信号と呼ぶ)を用いることにする。 S_2 信号は

$$S_2 = N_2 \quad (5)$$

と表すことができる。 N_1 信号と N_2 信号は必ずしも一致はしないが、 S 信号とは別の性質をもつと考えられる。これらの S_1 と S_2 を第1群の特性変数に割り当てるとすると、第2群の対応する2つの特性変数に必要な条件は次のように記述することができる。

- 1) 第1群の S_1 に対応する第2群の変量 S_1' には、 S_1 よりも雑音成分の細かいゆらぎを抑え、 S 信号の概形を強調したデータを割り当てる。ただし、 S 信号の概形が必要なだけなので、多少形が歪んでいても差し支えない。
- 2) 第1群の S_2 に対応する第2群の変量 S_2' は、雑音成分(N_1 や N_2) と同様の傾向をもち、なおかつ S_2 とは完全には一致しないデータを割り当てる。

これらの条件を満たす S_1' 、 S_2' を第2群の特性変数に割り当てて正準相関分析を行えば、正準変量の性質から、第1群の第1正準変量では S 成分、第2正準変量では雑音成分が強調されるようになる。本手法では、 S_1 と S_2 に移動平均法を施したデータを S_1' 、 S_2' にそれぞれ割り当てた。

4. 処理手順

NORMALS法では、次の手順で雑音低減処理を行う。

- ① レーザーの送光を伴う通常の計測方法でライダーエコーデータ(前節の S_1 信号)を収集する、
- ② 蓋などでレーザーの送光を遮断して、背景光データ(S_2 信号)を収集する。
- ③ ①、②で収集したデータにそれぞれ移動平均法を施し、 S_1' 信号と S_2' 信号を生成する。
- ④ S_1 信号と S_2 信号を第1群のデータ、 S_1' 信号と S_2' 信号を第2群のデータとして正準変量に変換する。
- ⑤ 第1群の第1正準変量のデータが雑音低減済みのライダーエコーデータとなる。

以上の手順をまとめたものを Fig.2 に示す。

5. 実際のライダー信号への適用^{8),9)}

本手法を実際のライダー信号データへ適用した。レーザーを照射して収集した S_1 信号のデータと、蓋でレーザーの送光を遮断して収集した S_2 信号のデータを Fig.3 に示す。本手法による処理結果を Fig.4(a) に、移動平均法による処理結果を(b) に示す。この結果をみると、本手法では雑音成分が完全には分離されていないが、移動平均法による結果にみられる信号の形状変化が全くおこっていないことがわかる。観測点から十分遠い区

間（この区間からの後方散乱信号成分が全くないと考えられる）でのグラウンドレベルに対する変動を「雑音成分」と定義すると、Fig.3の S_f 信号とFig.4(a)との比較の結果、NORMALS法で雑音低減処理を施したことによって雑音成分の振幅がPeak-to-Peakで約30%低減できたことがわかった。また、その区間内の平均値(グラウンドレベル)に対する残差平方和を指標にして評価したところ、NORMALS法を適用したことによって約62%低減できたことがわかった。なお、このデータの処理にはCPUにインテル社の80386(20MHz、80387FPU実装)を用いているパーソナルコンピュータを使用しているが、雑音低減処理(4.の③~⑤)に要した時間は約8秒であった。これはライダー計測に要する時間と比較して十分短い処理時間であり、実用的な処理速度であると考えられる。

5. おわりに

正準相関分析法に基づく新しいライダー信号の雑音低減法を開発した。数値実験や、実データの処理を行ったところ、本手法は散乱体の後方散乱信号の形状を全く変化させずに不必要な雑音成分のレベルを低減させることができるという特長があることがわかった。今後の課題は、本手法をより精度の高い雑音低減法に改良していくことである。

参考文献

- 1) R. H. Kingston: Detection of Optical and Infrared Radiation, Springer-Verlag (1978)
- 2) 武者: 雑音とゆらぎ, パリティ, 4-5, 14/19, 丸善 (1989)
- 3) 笹野, 竹内: レーザーレーダー信号の積算平均によるS/N比改善, 国立公害研究所研究報告, R-39, 39/45 (1983)
- 4) 平山, 森村, 小林: 雑音処理, 計測自動制御学会 (1988)
- 5) 奥野, 久米, 芳賀, 吉澤: 多変量解析法, 日科技連 (1981)
- 6) ラオ: 統計的推測とその応用, 東京図書 (1977)
- 7) D. F. Morrison: Multivariate Statistical Methods (3rd Ed.), McGraw-Hill (1990)
- 8) Takeuchi N. et. al.: A Portable Lidar Using a Diode-Pumped YAG Laser, Proc. of 16th ILRC, 695 / 698 (1992)
- 9) Okumura H. et. al.: A High Speed Signal Processing System for a Diode-Pumped YAG Lidar, Proc. of 16th ILRC, 537 / 539 (1992)

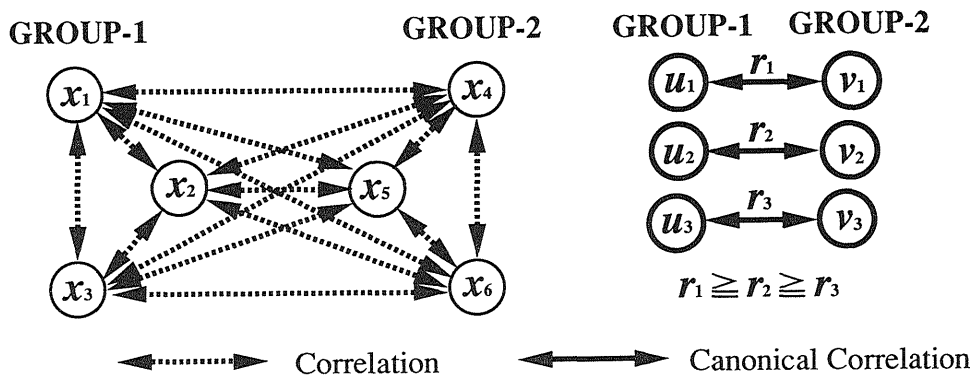


Fig.1 Comparison of characteristic variates and canonical variates ($s = t = 3$).

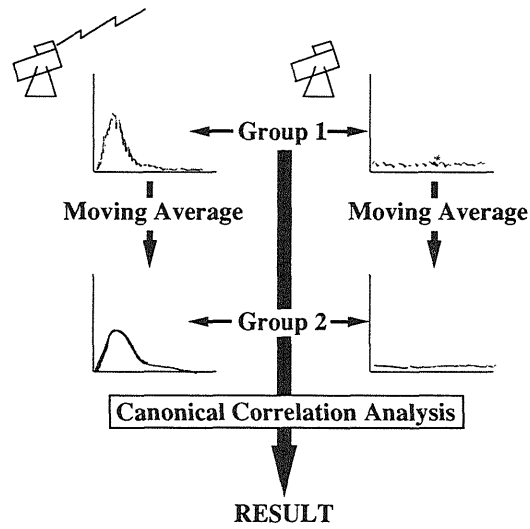


Fig.2 Processing flow.

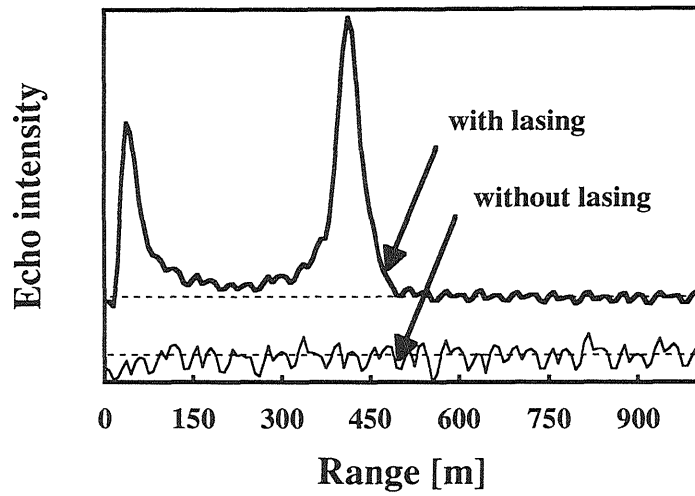


Fig.3 Actual lidar echo data.

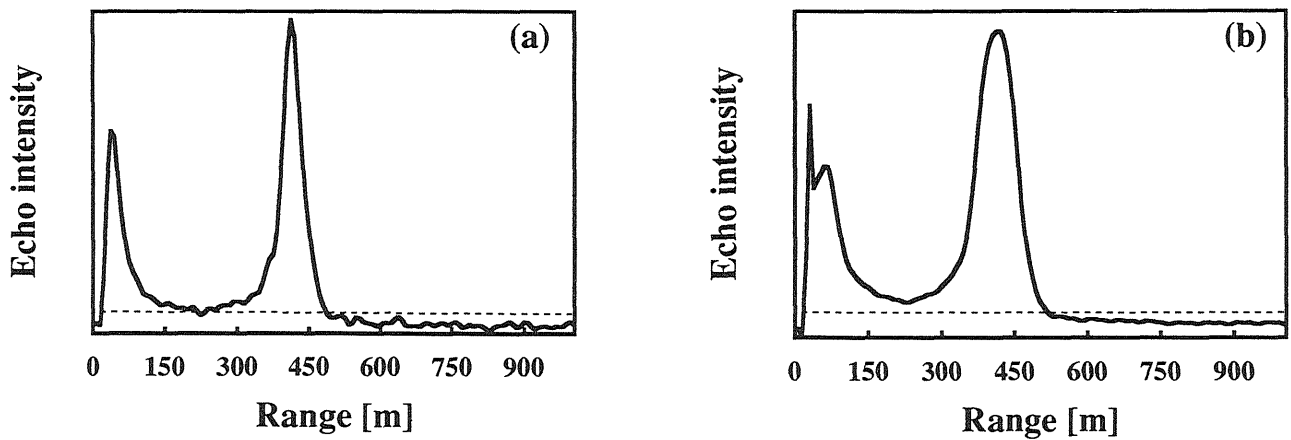


Fig.4 Result of noise reduction by NORMALS (a) and by moving average method (b).