

MU レーダー実時間アダプティブクラッター抑圧システムの開発

*万城 孝弘¹ 橋口 浩之¹ 山本 衛¹

¹京都大学生存圏研究所

1 はじめに

大気レーダー観測において、しばしば強いクラッターエコー(山や建物からのエコー)が問題になることがある。そのクラッター抑圧法として NC-DCMP (Norm Constrained-Directionally Constrained Minimum Power)法[2, 3]が提案され、MU レーダー(Middle and Upper atmosphere Radar)による実観測データに適用し、効果があることが実証されている[2]。この処理は、これまではオフラインで実施されていた。そこで本研究では、NC-DCMP 法によるクラッター抑圧処理を MU レーダーのオンライン処理システムとして実装する。これにより、観測データの容量を数十から数百分の1程度に削減でき、外部記憶装置などの制約の少ない標準観測を行うことが可能になる。

2 NC-DCMP 法

通信分野などでよく用いられる単純な DCMP(Directionally Constrained Minimum Power)法では、大気エコーの SN 比が良いときにエコーを抑圧し過ぎる結果、アンテナパターンのメインローブを崩してしまうという問題がある。この問題を解決するため、Nishimura et al.[2]により疑似雑音を加えることで、クラッターを抑圧しながらメインローブ形状を維持可能な NC-DCMP 法が提案され、大気レーダー観測に有効であることが示されている。図1に DCMP 法、NC-DCMP 法を 2014 年 8 月 18 日 17 時 28 分 50 秒に取得された観測データに対し適用した結果を示す。

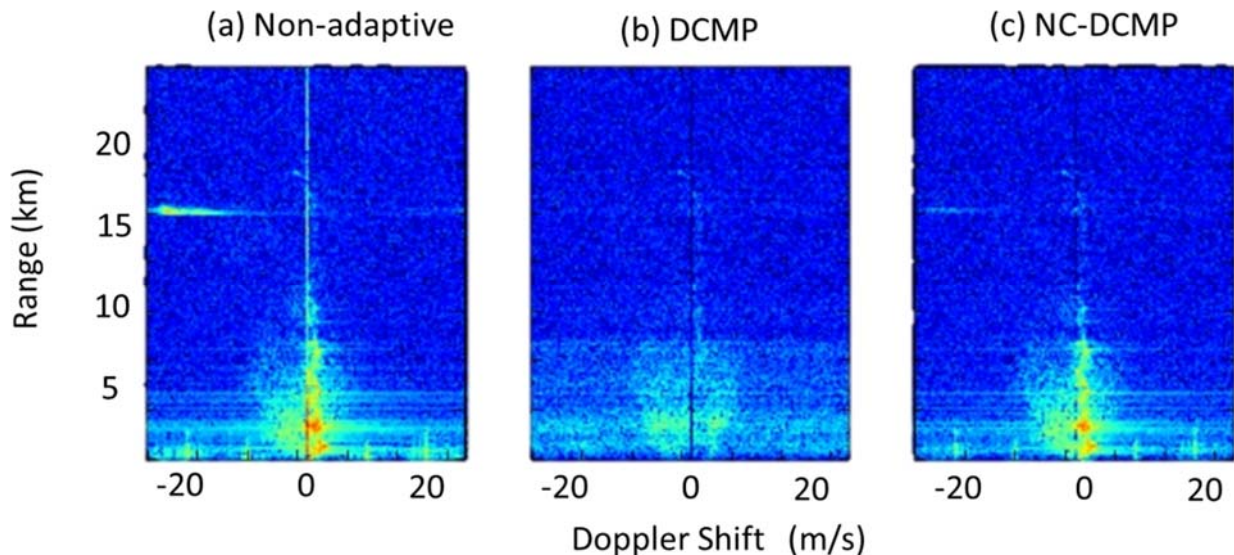


図1 クラッター抑圧処理を行ったドップラースペクトル
(a)クラッター抑圧処理前、(b)DCMP 法、(c)NC-DCMP 法

NC-DCMP 法では、下記の制約条件付最適化問題を解く。

$$\begin{aligned} & \text{minimize} && P = \frac{1}{2} w^H R_{xx} w \\ & \text{subject to} && C^T w^* = N \text{ and } |w^H w| \leq \delta N \end{aligned}$$

P は信号電力、 w はウエイトベクトル、 R_{xx} は入力信号の共分散行列、 C は所望信号の方向ベクトル、 N はアレーの数、 δ はノルム拘束値、 H はエルミート演算子、 $*$ は複素共役を表す。ノルム拘束値は、下記の式により決定できる。

$$G_{SNR} = \frac{\left(1 + \alpha \sqrt{\delta N / (N - 1)}\right)^2}{1 + \delta N}$$

G_{SNR} は許容される SN 比の損失、 α は位相回転を表す定数を示す。本稿では G_{SNR} を -1.8 dB と設定し、 $\delta = 0.05$ を用いた。

3 処理時間の検討

MU レーダーの対流圏・成層圏観測モードでは、観測データ(コヒーレント積分後の 128 点時系列データ)が 8 秒に 1 回取得される。そのため、実時間でクラッター抑圧を行うためには全ての信号処理を 1 つの観測データあたり 8 秒以内に行う必要がある。

本稿では、過去の観測データを用い、実際の観測を模して開発を行った。処理方法の工夫により、NC-DCMP 法の処理時間を、C 言語を用いた実際の観測システムと同じ環境において平均 1.2 秒にまで高速化した。

また、Python 2.7 を用いて、同じ信号処理を実装したところ平均 2.8 秒まで高速化できた。現在、観測システムは C 言語により実装されているが、将来的に可読性・移植性の高い Python により書き換えを行っても、信号処理の部分においては実時間処理が可能であることが示唆された。

4 ウエイトベクトルの時間依存性の検討

山や建物からのエコーは時間的にあまり変化しないと考えられる。すなわち、所望信号の真の到来方向が変化せず、MU レーダーシステムの位相変化によるビームパターンの変化がないと考えられる時間内では、ウエイトベクトルは再利用できると考えられる。図 2 は 2014 年 8 月 18 日 19 時 9 分 52 秒から 2014 年 8 月 19 日 0 時 34 分 16 秒までの観測データから 70 個を無作為に選出し、ウエイトベクトルを求め、各チャンネルの成分の絶対値と偏角を計算し、描画したものである。

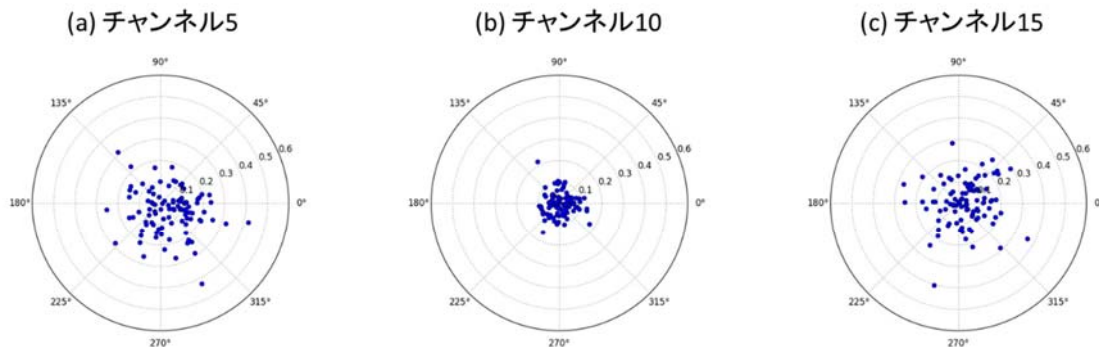


図2 70個のウエイトベクトルの各成分の絶対値と偏角をプロットしたもの
25成分のうち3成分を示した。左からチャンネル5,10,15である。

図2により、ウェイトベクトルの経時変化は比較的大きいことが示唆された。また、(b)チャンネル10のように特定のチャンネルにおいては常にウェイトが小さかった。これは、このチャンネルのサイドローブ特性が悪化し、クラッターエコーを特に強く受信していることなどが原因として考えられる。

上記の70個の観測データを用いて、時刻の若い順に7個の観測データを時間領域において平均した信号からウェイトベクトルを求め、図2と同様に描画し図3が得られた。

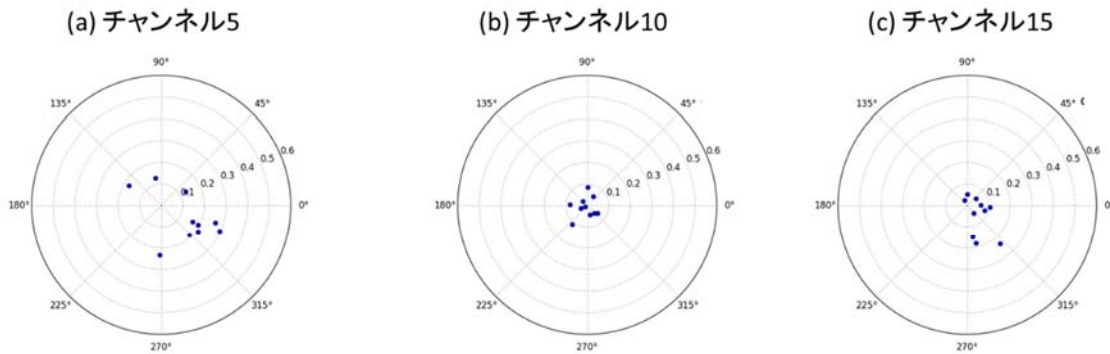


図3 70個のウェイトベクトルの各成分の絶対値と偏角をプロットしたもの
25成分のうち3成分を示した。左からチャンネル5,10,15である。

図2に比べると、偏りが見られるようになった。これにより、長時間平均することでウェイトベクトルが安定性を示すことが示唆された。

5 ウェイトベクトルの再利用

2014年8月18日19時9分52秒から2014年19時10分41秒までに8秒毎に取得された7個の観測データを時間平均したものから計算されるウェイトベクトルを2014年8月18日19時9分52秒の観測データに適用し、2014年8月18日19時9分52秒の観測データから計算されるウェイトベクトルを適用したものと比較を行った。2.2 km 付近のスペクトル図を図4に示す。

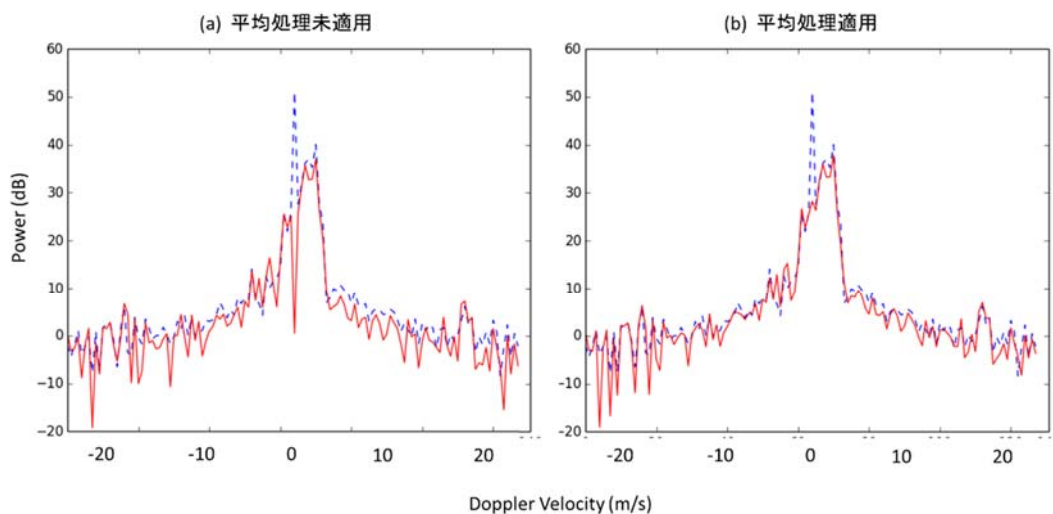


図4 長時間平均をとりウェイトを求めたものとの比較
破線が抑圧前、実線が抑圧後のスペクトルを示す。

図 4 から、長時間平均を取ることで SN 比の損失が低減されることが示唆される。このことから、長時間平均をとり求めたウェイトベクトルを再利用することにより、SN 比の損失を抑え、かつ、信号処理時間を短くできると考えられる。今回用いたデータにおいては、7 個の観測データからひとつのウェイトベクトルを計算すれば良いと言える。MU レーダーの標準観測モードではインコヒーレント積分数が 7 であるので、7 個の平均は実時間処理システムに実装するのに適当である。今後、どのような場合においてウェイトベクトルの再利用が可能かどうか検討を行う必要がある。

6 まとめ

NC-DCMP 法を実装し、要求される時間内で処理が完了する可能性が高いことを確認した。さらに高速化を図るため、ウェイトベクトルの再利用の可能性について検討する。また、図 5 に示すとおり NC-DCMP 法では飛行機エコーなどのクラッターは除去できない。これらのクラッター除去を行う、さらに高度な信号処理を実時間処理システムに組み込むことを検討する。

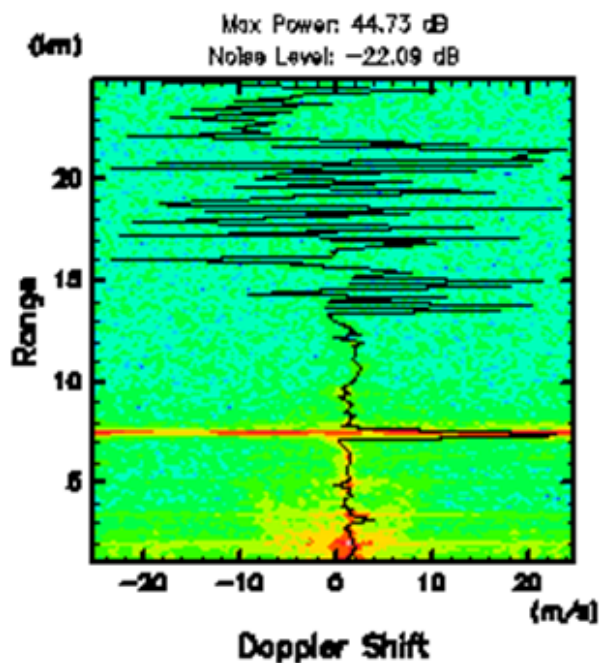


図 5. 距離 7.5km 辺りに飛行機エコーの存在する観測データの NC-DCMP 処理後のドップラースペクトル

参考文献

- [1] 菊間信良, アレーアンテナによる適応信号処理, pp.87-114, 1998
- [2] K. Nishimura, T. Nakamura, T. Sato, and K. Sato, "Adaptive Beamforming Technique for Accurate Vertical Wind Measurements with Multichannel MST Radar", *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, Volume 29, Issue 12, pp.1769-1775, December 2012
- [3] K. Kamio, K. Nishimura, and T. Sato, "Adaptive sidelobe control for clutter rejection of atmospheric radars. ", *Electronics and Communications in Japan*, Volume 87, Issue 3, pp.11-18, March 2004