

MU レーダー外付け受信専用アンテナを用いたアダプティブクラッター抑圧システムの開発

Study on adaptive clutter rejection system using external receiving antennas for the MU radar

*矢吹 諒¹、橋口 浩之¹、寺田 一生¹、山本 衛¹

*Ryo Yabuki¹, Hiroyuki Hashiguchi¹, Issei Terada¹, Mamoru Yamamoto¹

1. 京都大学生存圏研究所

1. Research Institute for Sustainable Humanosphere, Kyoto University

大気レーダー観測において、しばしば強い地形性クラッターエコー(山や建物からのエコー)が観測の障害となることがある。クラッター抑圧法としてNC-DCMP (Norm Constrained-Directionally Constrained Minimum Power)法が提案され、MUレーダーの25チャンネル受信データに適用し、効果があることが実証されている[Nishimura et al., JTech., 2012]。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とにも成功した[Hashiguchi et al., Radio Sci., 2018]。しかし、この方法では若干メインローブにも影響を与えるため、大気エコーのS/Nが劣化するという問題がある。そこで本研究では、水平方向に指向性を有する受信専用の外付けアンテナを用いて、S/N劣化の少ないクラッター抑圧手法について研究した。

NC-DCMP法では、下記の制約条件付最適化問題を解く。

$$\begin{aligned} \text{minimize } P &= 12^H \mathbf{x} \mathbf{x}^H \\ \text{subject to } \mathbf{T}^* &= \mathbf{C}^H \delta \mathbf{N} \end{aligned}$$

P は信号電力、 $\mathbf{x}$ はウェイトベクトル、 $\mathbf{x} \mathbf{x}^H$ は入力信号の共分散行列、 $\mathbf{C}$ は所望信号の方向ベクトル、 $\mathbf{N}$ はアレイの数、 δ はノルム拘束値、 H はエルミート演算子、 T は転置作用素、 $*$ は複素共役を表す。各サブアレイ(アンテナ)のゲイン g_i が異なる場合、方向ベクトルの大きさを $\mathbf{c}_i = \sqrt{g_i} \mathbf{C}$ とすれば良い。特に、 $g_1 \gg g_{2,3}$ のときには、 $\mathbf{C} = [1, 0, 0]^T$ として良い。

MU レーダーアンテナ周辺に、ターンスタイルアンテナを4 基設置した。アンテナからの信号を、リミッター、BPF、LNA を通して増幅した後、MU レーダー観測室まで同軸ケーブルを引き、観測室でLNA でさらに増幅した後、中間周波数(5MHz)にダウンコンバートし、MU レーダー受信システムに入力した。幸い、MU レーダーの超多チャンネル受信システムには4 つの空きチャンネルがあるので、それを利用した。

従来のクラッター抑圧法である25 チャンネルの受信データを独立に使用したNC-DCMP 法と、25 チャンネルを単純合成したものと外付けアンテナ4 チャンネルでNC-DCMP 法を適用したものを比較した。前者では大気エコーのS/N が劣化することがあるが、後者では25 チャンネル単純合成によりメインローブ形状が保証されるので、S/N 劣化は見られなかった。クラッター抑圧特性は、後者では抑圧できる場合と抑圧が十分でない場合があった。これは、外付けアンテナの位置とクラッター源の方向により、メインアンテナと外付けアンテナでレンジがずれることが原因の一つと考えられ、NC-DCMP 処理におけるレンジの最適化により、抑圧結果が改善した。

インドネシア共和国の西スマトラに建設が計画されている赤道MU レーダーは、八木アンテナ19 本を1群とする55 群構成で、各群からの受信信号を独立に取得可能なシステムが提案されている。受信機のチャンネル数は64 とする予定である。本研究の成果は、この赤道MU レーダーにも適用可能である。

キーワード：大気レーダー、クラッター抑圧、ウェイトノルム拘束付DCMP 法、MU レーダー
Keywords: Atmospheric radar, Clutter rejection, NC-DCMP method, MU radar