

UWB MIMO レーダにおける測位法

Target Positioning with an Ultra Wideband MIMO Radar

○ 関 翔平 Idnin Pasya 小林 岳彦

東京電機大学大学院 工学研究科 情報通信工学専攻

〒120-8551 東京都足立区千住旭町5 電話: 03 5284 5510 Fax: 03 5284 5695

E-mail : seki@grace.c.dendai.ac.jp

http://www.wsl.c.dendai.ac.jp/

1. はじめに

近年、複数の送受信アンテナを備えた multiple-input multiple-output (MIMO)技術は、通信容量増加や通信品質向上を目的として無線通信システムへの応用が始まっており、レーダ分野でもターゲット検出率や分解能の向上が図れることから注目され、飛翔体などの高速高精度検出などへの応用が見込まれている。また、MIMO レーダは、フェーズド・アレーレーダと同じアンテナ数を用いた場合にアンテナ数、配置の自由度と性能の向上が注目されている[1]。しかし、MIMO レーダを用いた測角には超広帯域(UWB)信号による近距離ターゲットの位置推定やレーダ断面積(RCS : Radar Cross Section)の変動による影響は考慮されていない。MIMO レーダによる高精度な測位実現のため、最適な測位法やアレー構成を検討する必要がある。そこで、本稿では近距離で高分解能な三角測量を検討することで性能の向上を図る。MIMO レーダにおける位置推定は出射角(DOD : direction of departure)及び到来角(DOA : direction of arrival)を送受信アンテナで同時にアレー処理し推定するものである。

2. 研究目的

MIMO レーダにおける角度推定アルゴリズムは狭帯域信号を前提とした研究が提案されている[2]。しかし、狭帯域信号を使用した角度推定は、RCS の変動に対して不安定である。そこで、角度推定のための MIMO レーダにおける UWB 信号の利用を提案している[3]。本稿では、RCS の変動とターゲット位置を考慮し、提案方式の性能を評価する。

3. 提案アルゴリズム

図 1 に示すように受信した信号に MUSIC 法を適用し UWB 信号を正弦波の和として扱う。各周波数成分において、MUSIC 法による角度推定を行い、多数決を取ってヒストグラム化することで UWB 信号に拡張させ、推定精度を向上させる。次に MUSIC 法について説明する。送受信機アレーの遠方界に位置した無相関な L 個のターゲットをとらえる、M 個の送信機と N 個の受信機の MIMO レーダを仮定する。送信機側では、UWB 帯域上でそれぞれの複数の正弦波から成るものが M 個の直交 UWB 信号が照

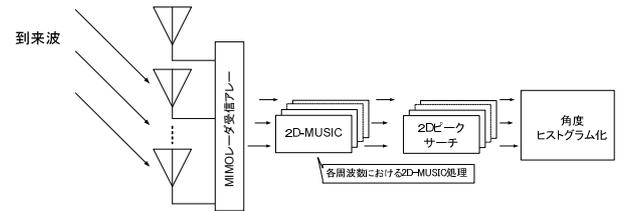


図 1 提案手法の概略図

射される。ここで、 K 個の周波数成分を含んだ複素送信信号波形ベクトルとする。送信信号間の直交性は、時分割方式を通じて達成される。故に、 k 番目の周波数成分の受信信号は(1)式で表すことができる。

$$x_k(t) = [a_t(\phi) \otimes a_r(\theta)] s^k(t) + n(t) \quad (1)$$

\otimes はクロネッカー積、 a_t と a_r は送受信機のステアリングベクトルである。 ϕ および θ はそれぞれ、出射および到来角に対応している。 $S^k(t)$ は送信信号 $s(t)$ の k 番目の周波数成分を表し、 $n(t)$ は白色ガウス雑音の総和である。 k 番目の周波数成分の受信相関行列は(2)式で与えられる。

$$R_{XX_k} = E[x_k(t)x_k(t)^H] \quad (2)$$

$E[\bullet]$ はアンサンブル平均、 $(\bullet)^H$ は複素共役転置を表す。 k 番目の周波数成分の DOD, DOA 推定は、(3)式で与えられた 2D-MUSIC(2-Dimensional Multiple Signal Classification)法で推定することができる。

$$P_{MU}(\phi, \theta) = \frac{1}{[a_t(\phi) \otimes a_r(\theta)]^H e_N e_N^H [a_t(\phi) \otimes a_r(\theta)]} \quad (3)$$

$e_N e_N^H$ は(2)式における共分散行列の固有値分解から得られた雑音固有ベクトルである。

本来 MUSIC 法は狭帯域信号用の角度推定法である。そこで、MUSIC 法を広帯域信号に拡張した角度推定ヒストグラム法を使用する。角度推定ヒストグラム法は、UWB 信号の K 個全ての周波数成分の結果を取得することにより表現することができる。ここで、角度推定(DOD および DOA のどちらか)の総数は、 KL によって与えられる。角度ヒストグラムは、例として 1° 間隔で、 -90 から 90° までの角度 i で表すことができる。ピーク角度発生の正規化数は(4)式で与えられる。

$$\hat{r}^{(i)} = \frac{1}{Z} p^{(i)} \quad (4)$$

$P^{(i)}$ は推定角度 i の発生回数であり、 Z は式(5)で与えられる正規化係数である。

$$Z = \arg \max \hat{r}^{(i)} \quad (5)$$

4. シミュレーション概要及び結果

4.1 シミュレーション概要

提案方式の性能を評価するためにコンピュータによるシミュレーションを行った。表 1 にその諸元を示す。ターゲットはワイブル分布に従う RCS 値を有するようにモデル化した。これは、自動車のような複雑なターゲットの RCS はワイブル分布に従うことが知られている[4]。

4.2 シミュレーション結果

図 2 は DOD と DOA の角度のヒストグラムを示している。周波数帯域幅が 50 MHz の場合には推定値以外にもピークが立ち誤差がみられるが、1000 MHz の場合には角度誤差のピークが抑制され、角度のピークが誤差なく推定された。

帯域幅に対する推定性能は、推定角度と設定値との平均の差をとることによって計算した。図 3 は中心周波数 $f_c = 3.6$ GHz を用いて、周波数帯域幅に対する推定誤差をプロットした。従来のスペクトラム平均化法と提案方式の性能を比較する。より広い周波数帯域幅をとるとき、提案方式は推定性能が改善された。一方、従来法を適用した場合の推定誤差は周波数帯域幅と共に増加した。これは、誤差値の数が多いために平均化の結果に影響を与えたと考えられる。シミュレーション結果より、RCS の変動があるターゲットを測位する際に提案手法の有効性を実証した。

5. まとめ

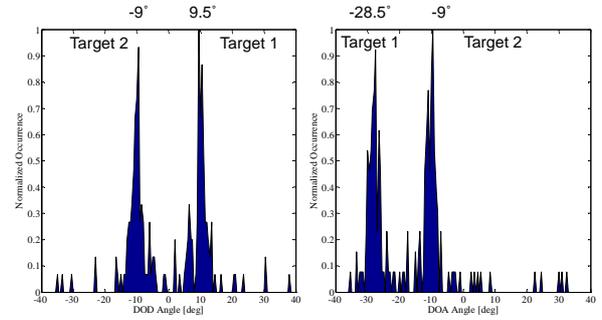
UWB MIMO レーダにおいて、RCS 変動を持つターゲットの検出角度推定性能を評価した。周波数帯域幅を 50 MHz より広くした際、提案方式では推定誤差に低減がみられ、1000 MHz では最大 8° 減少する。したがって、広帯域では測角による測位が有効であるといえる。

参考文献

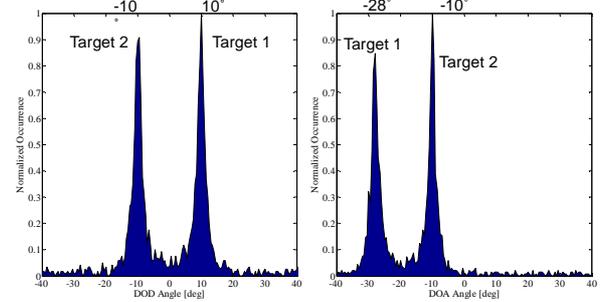
- [1] L. Jian and P. Stoica, "MIMO radar with colocated antennas," *IEEE Signal Processing Magazine*, vol. 24, issue 5, pp. 106-114, 2007.
- [2] C. Yunhe, "Joint estimation of angle and Doppler frequency for bistatic MIMO radar," *Electronics Lett.*, vol. 46, issue 2, pp. 170-172, 2010.
- [3] L. Zhou, M. Zhang, and Y. Zhao, "Angle estimation for two unresolved Swerling I targets in monopulse radar," in *Proc. 2010 International Conf. on Microwave and Millimeter Wave Technology (ICMMT)*, pp. 1622-1625, 2010.

表 1 シミュレーション諸元

アレー構成	4 × 4 MIMO Array
ターゲット数	2
ターゲット方位	$(\phi_1, \theta_1) = (10^\circ, -28^\circ)$ $(\phi_2, \theta_2) = (-10^\circ, -10^\circ)$
SNR	15 dB
スナップショット数	50
RCS 分布	Weibull



(a) 周波数帯域幅：50 MHz



(b) 周波数帯域幅：1000 MHz

図 2 ターゲット検出における角度ヒストグラム

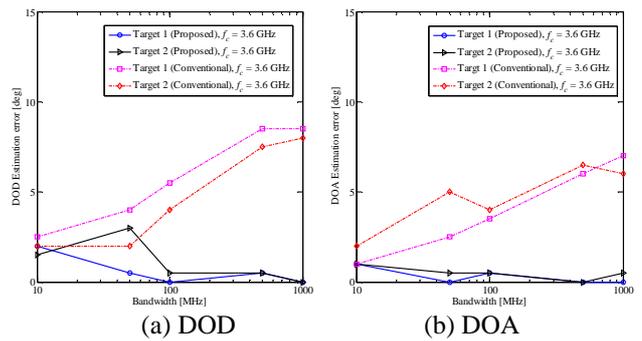


図 3 周波数帯域幅を変化させたときの角度誤差

- [4] W. Buller, B. Wilson, L. van Nieuwstadt, and J. Ebling, "Statistical modelling of measured automotive radar reflections," in *2013 IEEE Int. Instrumentation and Measurement Technology Conf. (I2MTC)*, pp. 349-352, 2013.