

車載レーダを想定したマルチスタティック配置に関する一検討

A Study of Antenna Arrangement for Millimeterwave Radar

山下 遼 新田 大輔 秋田 学 稲葉 敬之
Ryo Yamashita Daisuke Nitta Manabu Akita Takayuki Inaba
電気通信大学大学院情報理工学研究科

Graduate school of Informatics and Engineering, The University of Electro-Communications

1. まえがき

衝突被害軽減ブレーキ用センサとして車載レーダが普及しようとしている。しかし、検知角度を広げたり、人物を検知するためには、現状のレーダでは特に角度分解能が不足すると考えられる。マルチスタティックレーダ方式により角度分解能を高め、また軸線方向速度でなく正しい速度ベクトルが推定可能となれば、不要波抑圧や横切り目標検知が可能となる。本稿では、車のバンパー幅に複数の送信アンテナを配置し、受信はバンパー中心にアレーアンテナを配置するマルチスタティック配置[1]について検討する。

2. マルチスタティック配置

図1に示すように、バンパー中心に M 素子のアレーアンテナを設置し、その左右に送信アンテナを計 N 個配置するような、車載レーダの角度分解能を高めるマルチスタティック配置について考える。各送信アンテナの配置間隔を d_0 、受信アレーの両端とそれに隣接する送信アンテナの間隔を d_1 、受信アレーの素子間隔を d_2 とする。目標の到来角を θ とすると、計測信号モデル \mathbf{X} は

$$\mathbf{X} = \begin{bmatrix} \exp\{2\pi j X(0,0)\sin(\theta)\} & \cdots & \exp\{2\pi j X(0,N-1)\sin(\theta)\} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \exp\{2\pi j X(M-1,0)\sin(\theta)\} & \cdots & \exp\{2\pi j X(M-1,N-1)\sin(\theta)\} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} S_0 \\ \vdots \\ S_{N-1} \end{bmatrix}$$

と書ける。ここで $X(m,n)$ は到来波を平面波としたときの経路長であり、(送受の素子間隔)/(波長)で与えられる。 S_n は各送信アンテナの変調波であり、各変調波は直交していると仮定する。このとき \mathbf{X} を S_n ごとに行方向に並び替えられ、計測信号モデル \mathbf{Y} が得られる。

$$\mathbf{Y} = [S_0 \ \cdots \ S_{N-1}]^T$$

よって \mathbf{Y} に対応するアレー応答行列 $\mathbf{A}(\theta)$ を用いることにより

$$\mathbf{B}(\theta) = \mathbf{A}(\theta)^H \mathbf{Y}$$

θ が推定される。さらに、アンテナ-静止目標間に相対速度(自車速度) V が存在する場合、PRI(Pulse repetition interval)を T 、パルス繰返し数を k とするとドップラシフトによる位相回転により計測信号モデル \mathbf{Z} が得られる。

$$\mathbf{Z} = \mathbf{Y} \cdot \exp\left(2\pi j \frac{2V}{\lambda} \cos(\theta) k T\right)$$

ここで、自車速度 V が既知である場合、DBS(Doppler beam sharpening)[2]を適用することにより、さらなる角度推定の向上が期待される。

3. 計算機シミュレーション

車のバンパー幅を 1.4m と想定し、バンパー幅を等価開口長として得られるような、図1に示すマルチスタティック配置における角度分解能について検討する。レーダパラメータは以下に示すレーダ波を送受信したものとする。また各素子パターンは送受共に無指向性とした。

- 送信周波数 $f = 79\text{GHz}$ (波長 $\lambda = 3.8\text{mm}$)
- 受信アレー数 $M = 64$
- 送信アンテナ数 $N = 8$
- PRI $T = 100\mu\text{sec}$
- パルス繰返し数 $k = 2048$
- アンテナ配置間隔 $d_2 = 0.8\lambda$, $d_1 = d_2$, $d_0 = 2d_1 + (N-1)d_2$

マルチスタティック配置による等価開口長の拡張を検証するため、Tx(0)~(7)を使用するマルチスタティック配置と単一の送信アンテナ Tx(3)を使用する場合のビームパターンを図2に示す。マルチスタティック配置の等価開口長は 1.38m であり、単一の送信アンテナ Tx(3)を使用する場合よりも 7.2 倍大きいので、0.06deg という高分解能が得られた。

次に DBS の効果を検証するため、到来角 $\theta = 20\text{deg}$ 、自車速度 $V = 50\text{km/h}$ としたときの Tx(0)~(7)を使用するマルチスタティック配置において DBS の適用後と適用前の到来角推定の結果を図3に示す。DBS を適用することにより角度分解能が約 1.9 倍向上した。

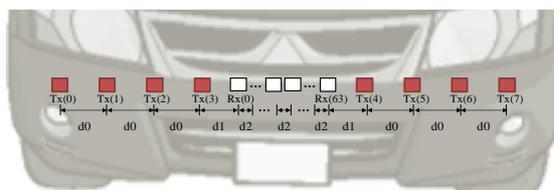


図1. マルチスタティック配置 ($M=64$, $N=8$)

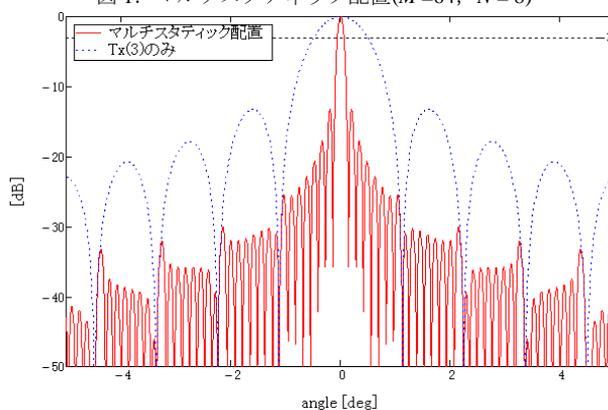


図2. ビームパターン

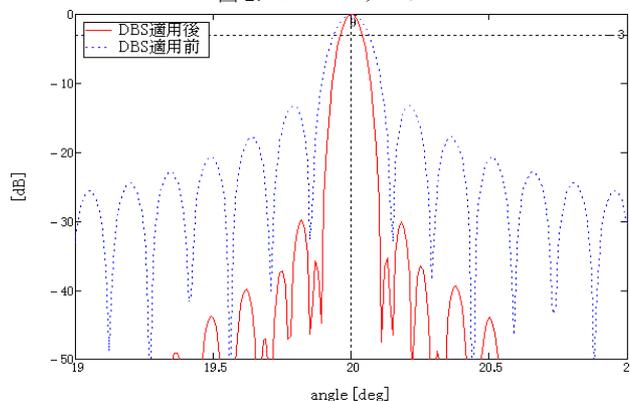


図3. DBS の検証結果

4. むすび

車のバンパー幅を想定し、レーダアンテナを複数搭載し、角度分解能を高めるマルチスタティック配置の一構成について検討した。高角度分解能が得られる本手法は、送信波設計と信号処理すなわち距離推定を組み合わせることで、自車前方のレーダによる画像化のみならず、距離毎の角度分布の推定が期待される。今後、変調方式や時空間信号処理法の適用を想定し、車載用途における各種マルチスタティック配置について検討を進めることが課題である。

参考文献

- [1] 稲葉孝之, 荒木純道, “サーキュレータとスイッチを組み合わせた合成開口レーダアンテナ構成法”, 信学論 (B), vol. J86-B, no. 11, pp. 2423-2427, Nov. 2003.
- [2] G. Pietrzyk, P. Sameczyński, A. Gorzelańczyk, and K. S. Kulpa, “Real-time implementation of Doppler beam sharpening technique with simple velocity estimation,” in Proc. Eur. Radar Conf., Oct. 2004, pp. 185-188.