

自動車用3次元スキャンミリ波レーダ

3D-Scan Millimeter-Wave Radar for Automotive Application

白 川 和 雄	Kazuo SHIRAKAWA
小 橋 秀 平	Shuhei KOBASHI
黒 野 泰 寛	Yasuhiro KURONO
生 野 雅 義	Masayoshi SHONO
伊佐治 修	Osamu ISAJI



要 旨

我々は、距離方向、水平方位、垂直方位の3次元を検出（3D-Scan Radar）できる革新的でかつ簡素な自動車用ミリ波レーダを開発した。本レーダはSiGe Multi Channel Transceiverとuniqueな配列のSector Antennaおよび高度な信号処理技術（㈱富士通研究所と共同開発）により実現したものである。本稿では、検知すべきエリアの検討、3次元スキャンの原理とその構成について解説する。また、併せて、検知するターゲットの方位を算出するためのレーダの送受信信号の位相差を用いる方位演算の原理について説明する。さらに、シミュレーションおよび実環境における実車走行試験より、提案方式で3次元スキャンが可能であることを示している。このレーダによりミリ波レーダの車両搭載作業の簡素化や、より確実な上下物、落下物の検知が可能となる。

Abstract

We have developed an innovative automotive millimeter-wave radar with a simple architecture that provides 3D-Scan which is capable of covering and detecting range direction, azimuth direction and elevation direction. This leading-edge radar has been realized by SiGe Multi Channel Transceiver, uniquely-arranged Sector Antenna and sophisticated and advanced signal process technology (technology co-developed with FUJITSU LABORATORIES LTD.). This paper will highlight consideration of detection area which must be covered, and principle and architecture of the 3D-Scan. It will also explain the principle of direction of arrival operation in which the direction of the detected target is calculated by use of phase difference between a transmitted signal and a received signal at the radar. Moreover, it will show that our proposed method achieves 3D-Scan, based on our simulated results and the results of the mounted sensor performance in the real world test. Introduced 3D-Scan Radar will provide solutions for its simpler installation to a vehicle, and for more promised detection of the objects existing in elevation region both down below and up above and fallen objects.

1

はじめに

自動車用ミリ波レーダの利用は高級車から一般車へと拡がりを見せている。また、早ければ2013年に欧州で搭載が義務化される大型車向けのAEBS (Autonomous Emergency Braking System) を契機に、さらなるミリ波レーダ市場の拡大が期待されている。この市場の拡がりの中で、ミリ波レーダに対しては低コスト化、広角化、高分解能化などの従来からの要求に加え、搭載時におけるビーム軸合わせの簡素化や、上方物や落下物の検知、トラックにおいては重量物積載時におけるビーム軸のズレの補正など新たな機能の要求が出てきている。これらの要求に応えるためには、従来の距離方向と水平方位の2次元スキャンに加え、垂直方位も検出できる機能を有する3次元スキャンレーダの開発が必要である。垂直方位の検出メカニズムは、上方物、落下物の検知にも使用することから高速にスキャンし演算できる方式でなければならない。同時に、コスト面から、従来の2次元スキャンレーダ^{1) - 3)}を大幅に複雑化することなく、3次元スキャンレーダを実現しなければならない。

2

検知エリアの検討

3次元スキャンレーダで想定した検知エリアを図1に示す。まず水平方向については、遠距離側は最大検知距離250mを検知できるようビームを絞ったエリア（狭角ビーム）、中距離側はカーブR50mを想定したFOV $\pm 45\text{deg}$ のエリアをカバー（広角ビーム）し、遠距離、中距離全領域で水平方位演算を行う、いわゆるMMR (Multi-Mode Radar) とした。次に垂直方向については、PCS (Pre-Crash Safety) 判断領域に入ってくる上方物や路面落下物の正確な判断を目的として遠距離用ビームと中距離用ビームを使った両者が重なる水平方位 $\pm 9\text{deg}$ 領域（図1の色付けした領域）で垂直方位演算を行う。また、この範囲で垂直方位演算ができれば、ビーム軸調整の簡素化やビーム軸補正に使用できる。

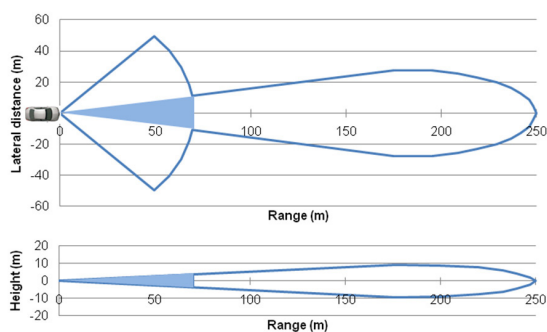


図1 3次元スキャンレーダの想定検知エリア

Fig.1 Considered Detection Area for 3D-Scan Radar

3

3次元スキャンレーダのコンセプト

3次元スキャンを実現するために、水平方向にそれぞれ独立な受信機を持つM個のアンテナと垂直方向にそれぞれ独立な送信機を持つN個のアンテナを配列する。水平方位の検出は、送信アンテナ (Tx) の任意の1個から送信し、M個の受信アンテナ (Rx) で受信して、ESPRIT法による演算処理で行う。垂直方位の検出は、N個のアンテナを1個ずつ順次時分割で切り替えて送信し、M個の受信アンテナの任意の1個で受信してESPRIT法 (Estimation Signal Parameter via a Rotational Invariant Technique) による演算処理で行う。時分割で送信する理由は、送信しているアンテナを特定するためである。実際には、N個のアンテナから時分割送信している時にM個の受信アンテナで受信することで、水平、垂直スキャンを同時に行っている。水平方位・垂直方位の算出イメージを図2に示す。なお、変調方式はFMCWである。

また、MMRとするための遠距離/中距離のエリア切り替えには、送信アンテナのうちL個を狭角ビーム、N-L個を広角ビームとすればよい。試作では、 $M=N=4$ 、 $L=2$ としている。

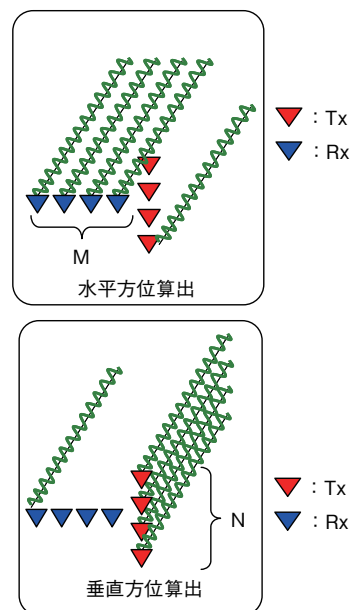
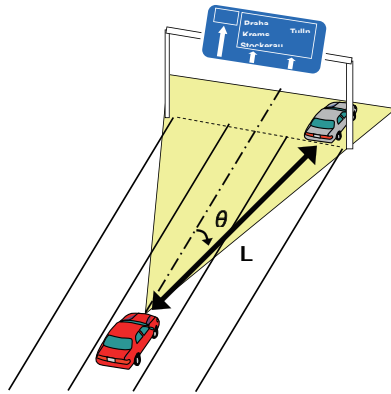


図2 3次元スキャンレーダの各要素の算出イメージ

Fig.2 Calculation Image for Each Element by 3D-Scan Radar

従来の距離方向、水平方位を検出できる2次元スキャンレーダの検出イメージを図3に示す。

水平方位の検出は、M個の受信アンテナの受信位置が異なることによる受信信号の位相差を用いた演算処理により行う。



L: ターゲットの距離
θ: ターゲットの水平方位

図3 2次元スキャンレーダの検出イメージ
Fig.3 Image of 2D-Scan Radar Detection

水平方位の検出は、M個の受信アンテナの受信位置が異なることによる受信信号の位相差を用いた演算処理により行う。水平方位の算出イメージを図4に示す。

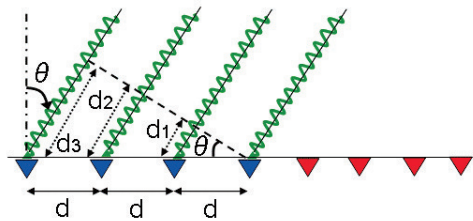
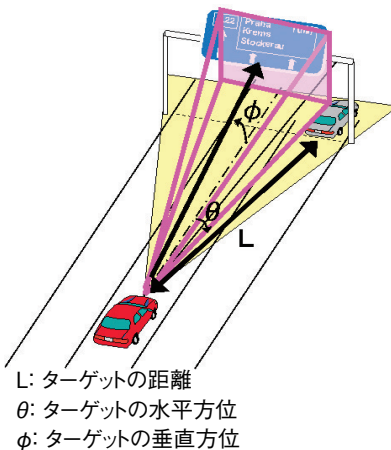


図4 2次元スキャンレーダの位相差を用いた水平方位の算出イメージ
Fig.4 Image of 2D-Scan Radar Azimuth DoA⁽¹⁾ Operation Using Phase Difference

距離方向、水平方位、および、垂直方位を検出できる3次元スキャンレーダの検出イメージを図5に示す。

垂直方位の検出は、N個の送信アンテナの送信位置が高さ方向で異なることによる送信信号の位相差を用いた演算



L: ターゲットの距離
θ: ターゲットの水平方位
φ: ターゲットの垂直方位

図5 3次元スキャンレーダの検出イメージ
Fig.5 Image of 3D-Scan Radar Detection

処理により行う。ターゲットの垂直方位の検出により、従来の2次元スキャンレーダでは不可能であった、図6に示すようなシーン・シナリオにおける、上方物、すなわち、道路標識や看板などの検知が可能となる。

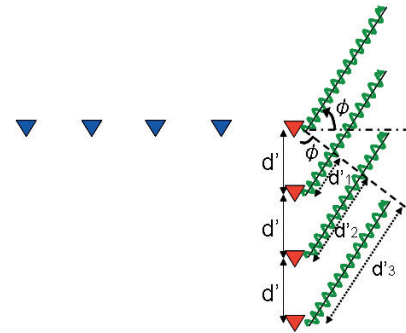


図6 3次元スキャンレーダの位相差を用いた垂直方位の算出イメージ
Fig.6 Image of 3D-Scan Radar Elevation DoA Operation Using Phase Difference

4

シミュレーション結果

実際の道路状況を想定したシミュレーション結果を以下に示す。

標識や行先案内板などの上方物および先行走行車を想定(図7)した信号モデルを作成し、検討に用いた垂直方向のアンテナ指向性を図8に示す。また、開発した3次元スキャン手法での検出状況をシミュレーションした結果を図9に示す。

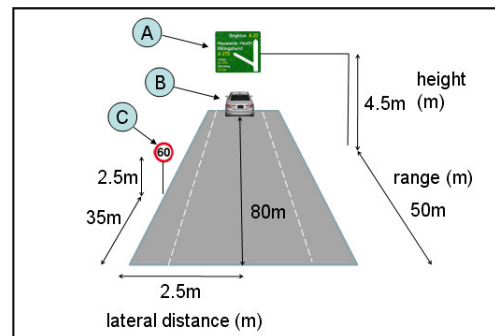


図7 シミュレーションモデル
Fig.7 Simulation Model

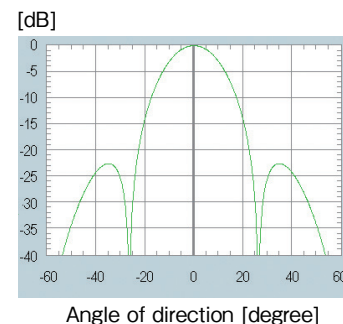
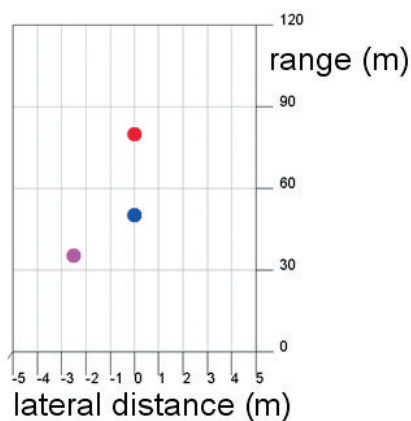
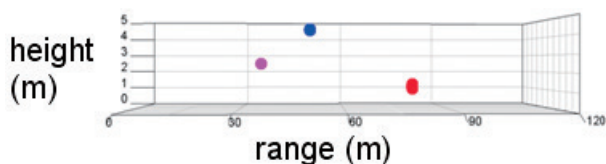


図8 垂直指向性
Fig.8 Elevation Beam Pattern

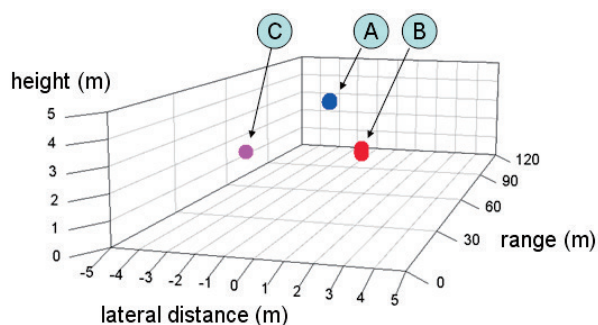
* (1) DoA: Direction of Arrival



(a) 上面視



(b) 側面視



(c) アイソメトリック図

図9 シミュレーション結果
Fig.9 Simulated Result

今回のシミュレーションにより高さ、距離、横位置が異なる3つのターゲットについて良好な検出結果が得られ検出方式の妥当性を確認することができた。

5

実車走行試験結果

実環境における実車走行試験結果を以下に示す。

3次元スキャンレーダを車両前方位置(エンブレム後方)に搭載し、高速道路を走行している状態におけるターゲットの検出状況を確認した。自車両前方(レーダ前方)を走行しているターゲット(トラック)を検出しているシーンを図10に示す。また、図10に示したシーンに対し、新たに現れた隣接車線の追抜き車両を検出している状況を図11に示す。さらに、上方物(看板)を検出している状況を図12に示す。

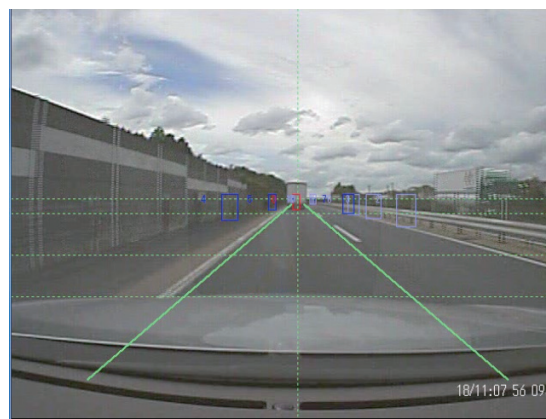


図10 実車走行試験結果(前方車両の検出)

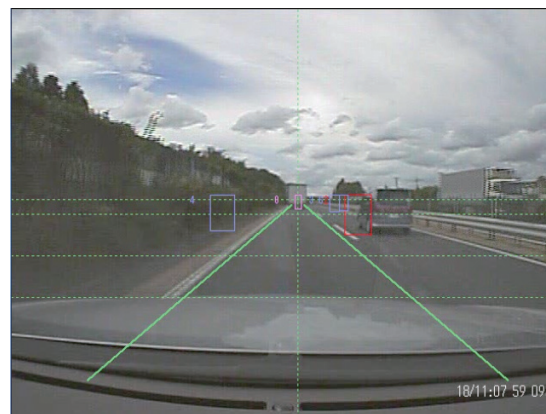
Fig.10 Mounted Sensor Performance Result in real world test
(Detection of Forward Vehicle)


図11 実車走行試験結果(隣接車線の追抜き車両の検出)

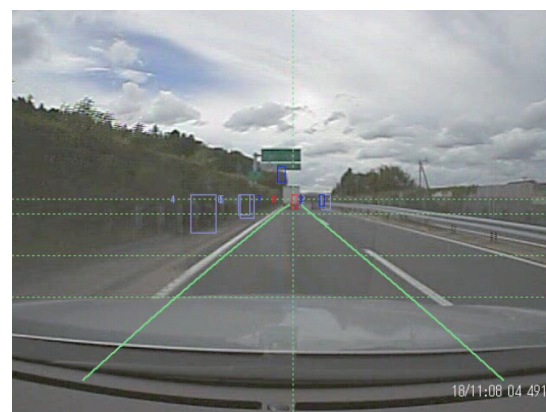
Fig.11 Mounted Sensor Performance Result in real world test
(Detection of Passing Vehicle in adjacent lane)


図12 実車走行試験結果(前方の上方物(看板)の検出)

Fig.12 Mounted Sensor Performance Result in real world test
[Detection of Up-above Object (Traffic Sign)]

今回のデモ走行結果より、前章のシミュレーション結果と同様に高さ、距離、横位置が異なるターゲットについても良好な検出結果が得られ、実環境においても今回の検出方式が実現可能であることを確認できた。

6

レーダ外形サイズ

図13に、今回試作した3次元スキャンレーダの外観写真を示す。3次元スキャンレーダは、従来の2次元スキャンレーダに対して開口面積を大幅に変更するなどの複雑化をすることなく、手の平にのせることができるほど小型・軽量なサイズを維持したまま3次元スキャンレーダを構成し実現できることがわかる。



図13 3次元スキャンレーダ
Fig.13 3D-Scan Radar

7

まとめ

我々の提案した手法により、簡易な構成であっても所望のエリアにおいて3次元スキャンが可能であることを示した。3次元スキャンレーダにより、上下物、落下物の検出がより確実となり、PCSの作動対象に該当しないターゲットを判断でき、低速域のみならず、高速域でのPCSが可能となる。

参考文献

- 1) N. Shima, O. Isaji, M. Kishida, N. Okubo and S. Yamano, "High Resolution Long Range Radar with Small Aperture," IS:04-24, Media Interactive Sessions, ITS-WC 2010.
- 2) K. Honda, K. Yoneda and K. Yamane, "Development of 76GHz Millimeter-Wave Radar," Fujitsu Ten Technical Journal, no.30, pp.60-64, 2008.
- 3) H. Asanuma, Y. Sekiguchi and M.Kishida, "Side Forward Looking Millimeter Wave Radar for Front Diagonal Pre-Crash Safety System," IS:3167, TS102, Technical Session, ITS-WC 2009.

筆者紹介



白川 和雄
(しらかわ かずお)

株式会社富士通研究所ネット
ワーク研究所先端ワイヤレス
研究部
工学博士



小橋 秀平
(こばし しゅうへい)

AS技術本部センサ開発室



黒野 泰寛
(くろの やすひろ)

AS技術本部システム開発室



生野 雅義
(しょうの まさよし)

開発企画室



伊佐治 修
(いさじ おさむ)

AS技術本部センサ開発室室長