

送信ビーム切替型位相モノパルスレーダ

原田知育[†] 浅野孔一[†] 大島繁樹[†] 山田直之[†]
白井正則[†] 林 宏明[†] 渡辺俊明[†] 飯塚英男[†]

アダプティブクルーズコントロールのための前方監視用センサとして、 $\pm 10^\circ$ の方位検出範囲を有するミリ波自動車レーダを試作した。本報告では、簡易な構造でこのような広い方位検出範囲を実現する方式として、送信ビーム切替を併用する位相モノパルス方式を提案している。さらに提案方式に基づきミリ波帯において試作した自動車レーダの構成と、オープンサイトおよび高速道路において性能評価を行った結果について示している。

Phase-Comparison Monopulse Radar with Switched Transmit Beams for Automotive Application

Tomohisa Harada[†], Yoshikazu Asano[†], Shigeki Ohshima[†], Naoyuki Yamada[†],
Masanori Usui[†], Hiroaki Hayashi[†], Toshiaki Watanabe[†] and Hideo Iizuka[†]

A millimeter-wave automotive radar with ± 10 -degree azimuthal field of view has been developed for an adaptive cruise control. A novel technique is introduced for realizing this wide field of view. That is a phase-comparison monopulse technique with switched transmit beams. This technique makes it possible to widen the field of view with a simple structure. The detection performance of the automotive radar has been evaluated on an open field and a high way. It is confirmed that the automotive radar has the fairly good performance.

1. まえがき

アダプティブクルーズコントロール (ACC) のための前方監視用センサとして、ミリ波を用いた自動車レーダが開発されている[1-4]。そこでは所望の方位検出範囲を得るため、機械的にビームを走査する手法や電子的にビームを切替える手法が用いられている。

電子的にビームを切替えるレーダは、ビーム走査を高速に行えることから、走行環

境の変化に素早く応答することができる。しかし、ビーム切替で一般によく用いる切替えスイッチの損失は現状では大きく、さらにその損失は切替え数(すなわちビーム数)とともに増大する。そのため電子的にビームを切替えるレーダでは感度を劣化させることなく方位検出範囲を広げることは難しい。

位相モノパルス方式は、機械的動作や切替えスイッチを用いることなく広い検出範囲を実現できる可能性がある[5]。そのため、位相モノパルス方式は、小型化・低コスト化のために簡易な構造であることが要求さ

[†] (株)豊田中央研究所
Toyota Central R&D Labs., Inc.

れる自動車レーダに適していると思われる。しかしながら、位相モノパルス方式には距離および相対速度が等しい複数の目標物を識別することができないという欠点がある。

本論文では、この問題を解決し、位相モノパルス方式の長所を活かした新しい方式を提案する。さらに、新しい方式に基づきミリ波帯において試作した自動車レーダの構成および性能について述べる。

2. 方式の提案

図1は提案方式の概要を示したものである。この方式では、図に示すように検出範囲を複数のセクタに分割し、各セクタを異なる送信ビームでカバーする。そして、送信ビームを順に切替えて各セクタ毎に位相モノパルス方式を用いて目標物の検出を行う。このセクタ数を適切に選ぶことにより複数の目標物を互いに異なるセクタに含まれるようにすることができるため、距離と相対速度だけでは区別できなかった複数の目標物を識別することが可能になると考えられる。ここでは、半径 500m のカーブ路

において 150m 前方を走行する先行車両を検出できるようにすることを考慮して、目標とする方位検出範囲を $\pm 10^\circ$ とし、この方位検出範囲を3つのセクタに分割している。

3. ハードウェア構成

図2は提案した方式に基づきミリ波帯において試作した自動車レーダのブロック図を、図3は試作したレーダセンサヘッドの外観をそれぞれ示したものである。ここでは、距離および相対速度の検出に FMCW 方式を用いている。

送信アンテナには誘電体レンズアンテナを用いている。3つの異なる送信ビームは、スイッチを用いて給電点をオフセットすることにより実現している。これにより検出範囲を3つのセクタに分けている。それぞれの送信ビームの方向は、 -7° 、 0° 、 $+7^\circ$ であり、ビーム幅はいずれも 6° である。

受信アンテナには2つのマイクロストリップアレーアンテナを用いている。それぞれのアンテナのビーム幅は 33° であり、アンビギュイティが発生しない範囲は $\pm 21^\circ$

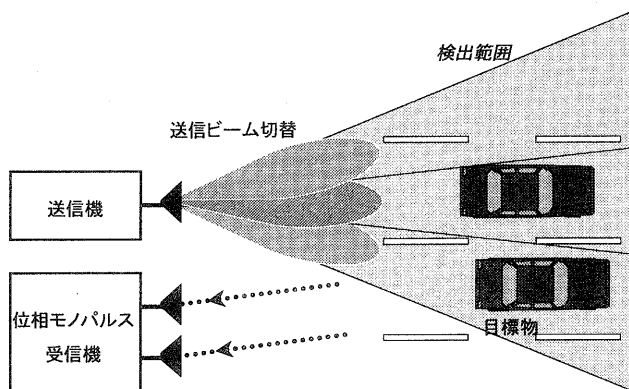


図1 送信ビーム切替型位相モノパルス方式の概要

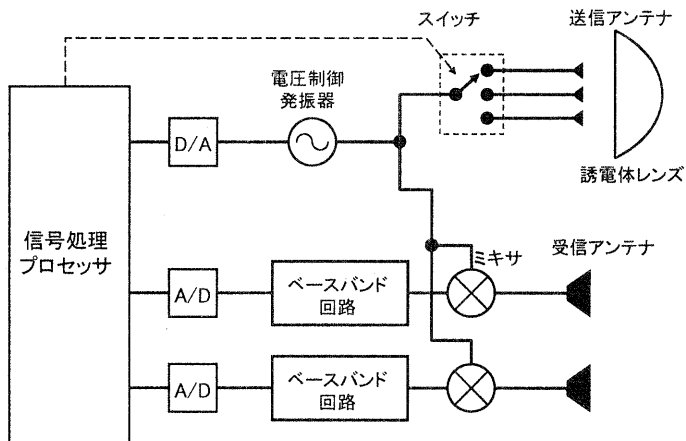


図2 送信ビーム切替型位相モノパルスレーダの構成

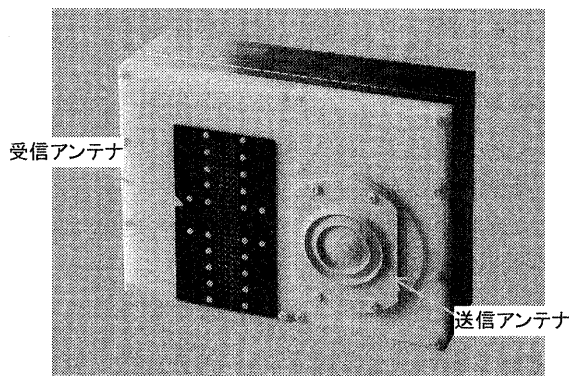


図3 レーダセンサヘッド外観

である。

また、位相モノパルス受信のために2系統の受信回路を用いており、これらの受信回路で得られた2つのベースバンド信号はA/Dコンバータによりデジタル化された後、信号処理プロセッサに取り込まれる。取り込まれた信号は、FFT処理が行われて2組の周波数スペクトルデータに変換され、これらのデータをもとに目標物の検出および追尾が実行される。

4. 信号処理

図4は試作した自動車レーダの信号処理プロセッサ内部で実行される処理の概要を示したものである。

まず、送信ビームをセクタ1側に切替えて電波を送信した時に得られるベースバンド信号をA/Dコンバータを介して取込み、FFT処理を行って周波数スペクトルデータを得る。このデータを基にセクタ1内の目標物の距離、相対速度および方位を検出す

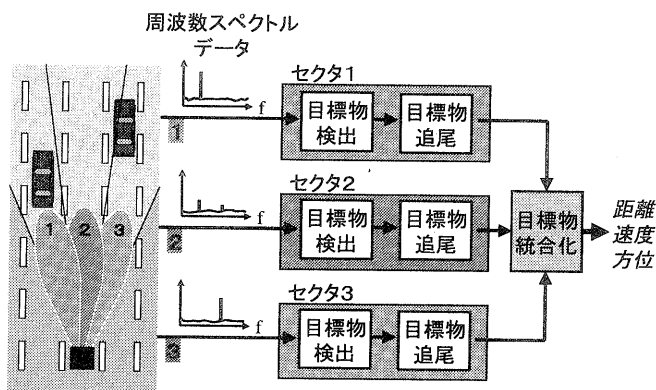


表1 性能諸元

項目	
動作周波数	60.5 GHz
レーダ方式	FMCW
最大検出距離	160 m
検出距離精度	0.2 m
最大検出速度	160 km/h
検出速度精度	< 1 km/h
方位検出範囲	-10.8° ~ +10.2°

図4 信号処理プロセッサでの処理の流れ

る。検出した目標物の中から静止物を除き、残りの目標物に対して追尾処理を行う。ここで追尾処理には $\alpha - \beta$ フィルタを用いている。同様に、送信ビームをセクタ2側およびセクタ3側に切替えて電波を送信し、得られた周波数スペクトルデータを基にそれぞれのセクタ内に含まれる目標物の検出と追尾を行う。そして、それぞれのセクタで得られた追尾処理結果に基づいて最終的な目標物の距離、相対速度および方位を得る。

5. 性能評価

試作した自動車レーダの性能評価をオープンサイトおよび高速道路において実施した。表1に示す性能諸元は、オープンサイトにおいて乗用車を用いて得られたものである。目標としている150m以上の検出距離と、 $\pm 10^\circ$ 以上の方位検出範囲が得られている。表1に示した仕様はISO標準規格におけるACC性能分類のクラスIIを満足するものと考えられる。

図5は、高速道路における前方の交通状

況の画面に目標物の検出結果を上書きして表示したものである。画面の中の十字マークは検出された目標物を示している。距離が60m以下の目標物には、十字マークに加えて楕円が表示されており、その大きさは目標物の距離に反比例している。目標物の距離、相対速度、方位は画面の上側に表示されている。負の値の相対速度は目標物がレーダ搭載車両に接近することを表している。方位の符号は右側がプラス、左側がマイナスとなるように定めている。また、画面上には、検出された目標物をレーダの位置を基準として直交座標で表したものを併せて示している。この例では、前方の5台の車両が検出されている。特に、距離が最も近い目標物1の方位は 9.7° であり、この結果からも試作したレーダがほぼ 10° の方位検出範囲を有していることがわかる。この例をはじめ、ほとんどの状況において先行車両を正しく検出できることを確認している。

以上の結果から、提案した位相モノパルス方式に基づいて試作した自動車レーダが

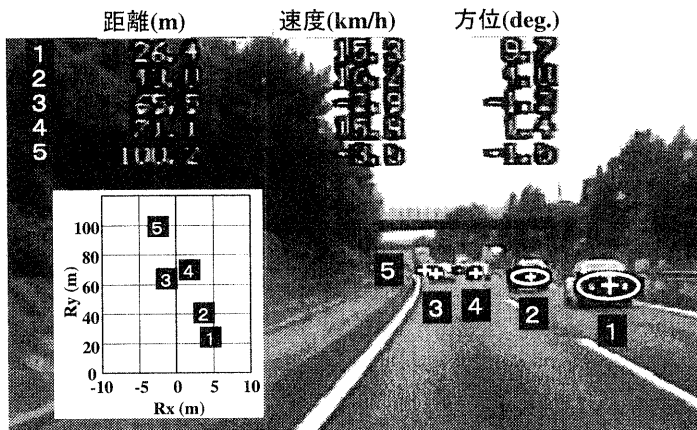


図5 前方交通状況に上書きして表した目標物の検出結果

良好な性能を有することが確認された。この結果は、提案方式の妥当性を示すものであると考える。

6. むすび

簡易な構成で広い方位検出範囲を実現する方式として、送信ビーム切替え型位相モノパルス方式を提案した。さらに提案方式に基づきミリ波帯において自動車レーダを試作し、 $\pm 10^\circ$ 以上の方位検出範囲が得られることを確認した。また、高速道路での評価を通して、試作したレーダが良好な検出性能を有することを確認した。

謝辞

本研究を進めるにあたり、ご協力頂いたトヨタ自動車(株)および富士通テン(株)の関係諸氏に深謝します。また、熱心にご指導・ご討議頂いた当研究所システム2部西川訓利次長、情報通信研究室佐藤和夫研

究員、デバイス部田中雄一研究員をはじめ関係諸氏に深謝します。

参考文献

- [1] C.Eckersten, B-O As, "A High Performance Automotive Radar for Adaptive Cruise Control and Collision Warning / Avoidance," Proc 4th ITS World Congress, 1997.
- [2] M.Hitotsuya et al., "Millimeter-wave Radar and its Automotive Applications," Proc 5th ITS World Congress, 1998.
- [3] M.E.Russell et al., "Millimeter-Wave Radar Sensor for Automotive Intelligent Cruise Control (ICC)," IEEE Trans. Microwave Theory Tech., vol.MTT-45, no.12, pp.2444-2452, Dec. 1997.
- [4] H.Olbrich et al., "A Small, Light Radar Sensor and Control Unit for Adaptive Cruise Control," SAE International Congress & Exposition: Electrical / Electronics, pp.25-30, 1998.
- [5] Radar Handbook, M.Skolnik, pp.18.17-18.19, McGraw-Hill, 1990.