

DSRC 車載機の受信制御装置

原田 知育[†] 小淵 真巳[†]

近年,ETC を始めとする DSRC を用いた様々なアプリケーションの実用化が進められている。そこでは,路面や周辺構造物などでの反射波の影響によって発生する通信エラーが問題となっている。この対策として,従来は周辺構造物に電波吸収体を貼るなどの方法がとられている。しかしながら,汎用 DSRC の使用形態は様々であることから,車載機アンテナの指向性を環境に合わせて適応的に制御する方法がより適していると考えられる。そこで我々は,DSRC 車載機のための受信制御装置の開発を進めている。

本報告では,車載機アンテナの指向性制御による通信品質の改善効果を評価するために試作した車載実験装置の概要,ならびに実環境評価の結果について述べる。

Adaptive Receiving System for DSRC

Tomohisa HARADA[†], Masashi OBUCHI[†]

In recent years, DSRC systems, such as ETC, are in practical use. In the DSRC environments, there is a problem of communication error caused by the influence of the reflective waves. Radio wave absorbers are used in ETC system to solve this problem. However, there are variety of surrounding environments and surrounding structures. So, it is more suitable for DSRC applications to use a method of controlling directional pattern of a mobile antenna. Therefore we have developed a directional pattern control system for improving deterioration of the communication quality.

This paper shows the outline of our developed equipment and the experimental result in an open field.

1. まえがき

近年,ETC(有料道路自動料金収受システム)を始めとする DSRC(専用狭域通信)を用いた様々なアプリケーションが実用化されつつある[1]。DSRC の環境の中でも,路側機から直接到来する電波(直接波)だけでなく路面や周囲の構造物などで反射した電波(反射波)が同時に到来するような環境では,反射波の影響により通信品質の劣化が生じる。また,周辺構造物での多重反射により,通信領域外の車載機との誤った通信が発生する。さらに,道路情報提供サービスのよう

に道路に連続的に配置された路側機と走行中に通信を行う,走行支援への応用においては,他の路側機から発射された干渉波の影響による通信品質の劣化も予想される。これらの問題の対策として,従来は路側機の設置位置を調整したり構造物に電波吸収体を貼り付けるなどの方法がとられていた[2]。しかしながら,汎用の DSRC アプリケーションの使用形態は多種多様であり[1],あらゆるアプリケーションに対して電波吸収体などを用いて対処することはもはや現実的でない。そこで我々は,車載機アンテナの指向性制御により対策を行う方法に着目し,検討を進めている。

本報告では,検討の対象とする指向性制御

[†] トヨタ自動車(株) 第2電子技術部
Toyota Motor Corporation, Electronics
Engineering DIV.II

方式について述べた後、実環境評価のために試作した車載実験装置の概要ならびに動作検証結果について述べる。さらに実環境において評価した結果についても述べる。

2. 対象とする指向性制御方式

指向性制御は、複数のアンテナで受信した信号の振幅と位相を調整して合成することにより、所望の指向性パターンを形成する技術であり、アダプティブアレーや指向性ダイバーシティなど、従来から多くの研究がなされている[3],[4]。代表的な制御方式として、(1)不要波の方向に指向性のヌルを形成して受信品質の向上をはかる方式(ヌルステアリング)と、(2)所望波の方向の利得を増大させることにより受信品質の向上をはかる方式(ビームステアリング)がある[4]。DSRC車載機のようにコストの制約が厳しい場合、制御アルゴリズムは単純で車載機への実装が容易なものが望ましい。

そこで、ヌルステアリングとして、参照信号と合成出力信号の誤差の2乗平均を最小化するMMSE法(Minimum Mean Square

Error)の範疇であるRLS(Recursive Least Squares)アルゴリズムおよびLMS(Least Mean Square)アルゴリズムを検討の対象とする。その際、参照信号にはDSRC信号フレームに含まれるユニークワード(UW)とよばれる既知の情報を利用する。

また、ビームステアリングとして、各アンテナ素子で受信した信号の位相を揃え、振幅に応じて重み付けして合成する最大比合成(MRC: Maximum Ratio Combine)アルゴリズムを検討の対象とする。MRCは、それぞれの受信信号と参照信号の相互相関値を重み係数として用いることにより実現される。ここでは、合成出力信号を参照信号とし、UW等の既知の信号は用いない構成とする。

ヌルステアリングは不要波を除去する方式であるため、不要波を積極的に除去しないビームステアリングに対し良好な通信品質が得られることが期待できる。一方、電波到来方向の変化に対する指向性利得の変化は、ビームの中央付近では比較的小さいのに対し、ヌルの付近では非常に大きい。このことから、受信環境の変化が速く指向性制御が追

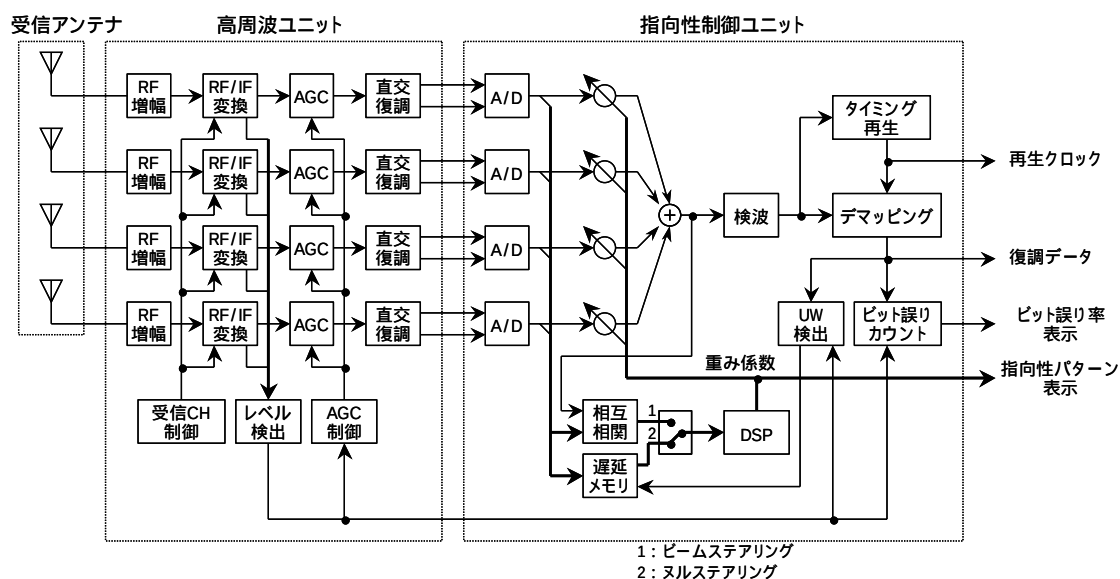


図1 車載実験装置の構成

いつかなくなると、ヌルステアリングはビームステアリングに対し急激に通信品質が劣化することが予想される。これらの性質を踏まえ、実環境において方式の比較検討を行う。

3. 車載実験装置

3.1 装置の概要

実環境において干渉低減効果を評価するため、上記指向性制御方式に対応した車載実験装置を試作した。図1および図2は、それぞれ試作した装置の構成および装置の外観を示したものである。

受信アンテナには、4個の1点給電マイクロストリップアンテナ素子を直線状または方形に配列したものを採用している。各アンテナ素子の利得は約6dBiである。

各アンテナ素子で受信された信号は、高周波ユニットにおいて各アンテナ素子毎に周波数変換、増幅、直交復調等の処理が施されてベースバンド信号に変換される。

指向性制御ユニットに入力されたベースバンド信号は、A/D変換され、指向性制御アルゴリズムに基づいて重み付け合成された後、検波、タイミング再生、デマッピングおよびUW検出が行われる。ここで、ヌルステアリングでは、遅延メモリを用いてUW部分のベースバンド信号が抽出されてDSPに取り込まれる。また、ビームステアリングでは、各ベースバンド信号と合成出力の相互相

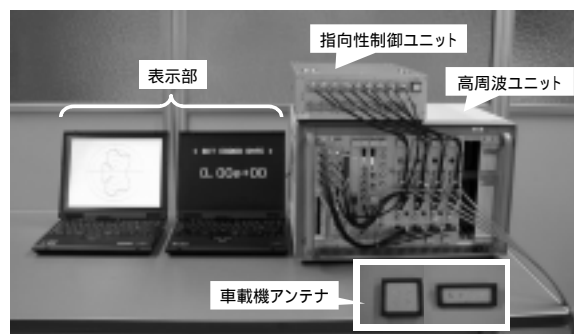


図2 車載実験装置の外観

関値がDSPに取り込まれる。信号処理のタイミングを図3に示す。

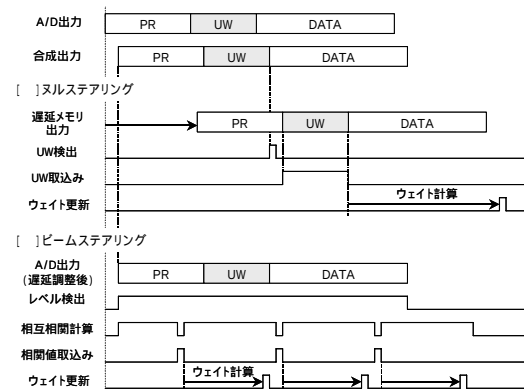


図3 信号処理のタイミング

重み係数（ウェイト）の計算には32bit浮動小数点DSP（クロック周波数166MHz）を用いている。また、検波、タイミング再生、デマッピングおよびUW検出等の処理はFPGAを用いて実現している。

表1に装置の主な仕様を示す。パラメータ値は、ARIB STD T-75を参考に決定した[5]。

表1 車載実験装置の主な仕様

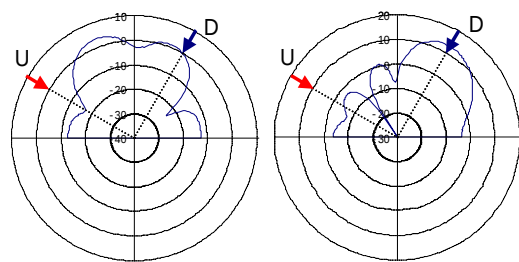
項目	パラメータ	
搬送波周波数	5.8GHz帯	
変調方式	ASK(マンチェスタ符号)	$\pi/4$ シフトQPSK
伝送速度	1.024 Mbps	4.096 Mbps
フレーム形式	PR長: 16シンボル UW長: 32シンボル データ長: 432ビット	PR長: 64シンボル UW長: 16シンボル データ: 440ビット
	PR長: 16シンボル UW長: 16シンボル データ長: 552ビット	PR長: 64シンボル UW長: 8シンボル データ: 1954ビット
アレーアンテナ	4素子リニアアレー、方形アレー	
アルゴリズム	ヌルステアリング (RLS, LMS) ビームステアリング (MRC)	

3.2 動作検証

試作した装置の動作検証を行うため、送受信装置間を無線周波数帯で有線接続した状態で、擬似受信信号を用いて多重波伝搬環境における指向性パターンおよび平均ビット誤り率を観測した。

伝搬環境として、所望波(D)および不要波(U)の2波(互いに無相関)が到来する環境を想定し、各電波の到来方向をそれぞれ $+30^{\circ}$ および -60° 、所望波電力対不要波電力比DURを3dBとした。また、受信アンテナは、素子間隔 0.5λ の4素子リニアアレーとし、各アンテナ素子は無指向性とした。

図4は、指向性制御時における指向性パターンを示したものである。ヌルステアリングにおいては不要波の方向にヌルが形成され、ビームステアリングにおいては所望波の方向に主ビームが形成されていることが確認できる。また、平均ビット誤り率は、指向性制御なしの時、 1.2×10^{-1} であったのに対し、制御を行うことにより 1×10^{-6} 以下となった。



(a)ヌルステアリング (b)ビームステアリング

図4 指向性パターン

表2は、各制御アルゴリズムを用いた場合の処理時間を示したものである。RLSとLMSの処理時間はUW長に比例するが、MRCの処理時間は受信信号の中身に関係なく一定である。

表2 各アルゴリズムの信号処理時間

	RLS	LMS	MRC
UW取込み	131.8 ¹	131.8 ¹	13.0 ²
前処理 ³	83.2 ¹	83.2 ¹	14.6
ウェイト計算	702.4 ¹	90.8 ¹	4.1
ウェイト更新	10.0	10.0	18.9
合計	927.4	315.8	50.6

¹ UW長は16シンボル

² MRCの場合は相関値取込み時間

³ A/D出力の実数化など

単位: μs

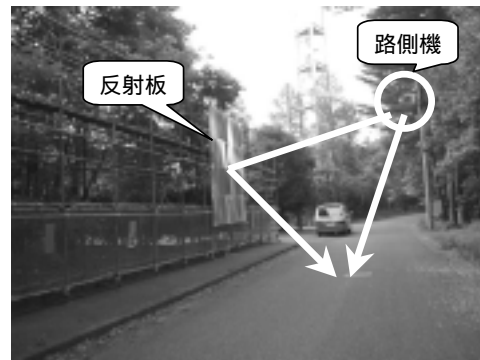


図5 実験環境



図6 車載機アンテナ取付位置

4. 実環境評価

試作した実験装置を用いて、実環境において指向性制御による通信品質改善効果の評価を行った。実環境評価では、図5に示すように道路左側に反射板を設置することにより多重波伝搬環境を生成し、その中を走行しながら、各アンテナ素子における受信レベル、指向性制御あり/なしの場合における受信データのビット誤り率、および重み係数を記録した。なお、車載機アンテナは図6に示すようにダッシュボード上に設置した。

また、実験では、変調方式は $\pi/4$ シフトQPSK、フレーム形式はMDC相当(UW長は8シンボル)とし、信号は路側機から一定周期で送信した。

図7は、車両が通信領域の外側から路側機に向かって50km/hの速度で走行した時の受

信電力およびビット誤り率の変化の一例を示したものである。1 素子受信の場合（指向性制御なし），反射波の影響により受信電力が大きく低下する通信領域内の地点において，ビット誤り率が 1×10^{-1} 程度まで劣化した。これに対し，LMS および MRC を用いて指向性制御を行った場合は，通信領域を含む 50m 以上の区間において ARIB STD T-75 で定められたビット誤り率（ 1×10^{-5} 以下）を満足した。また，LMS および MRC の場合，60km/h 走行時においても良好な結果が得られたが，RLS を用いた場合，40km/h を超える速度において通信領域内でビット誤りが発生した。これは，重み係数の演算および更新が環境の変化に追従できていないことが原因と考えられる。

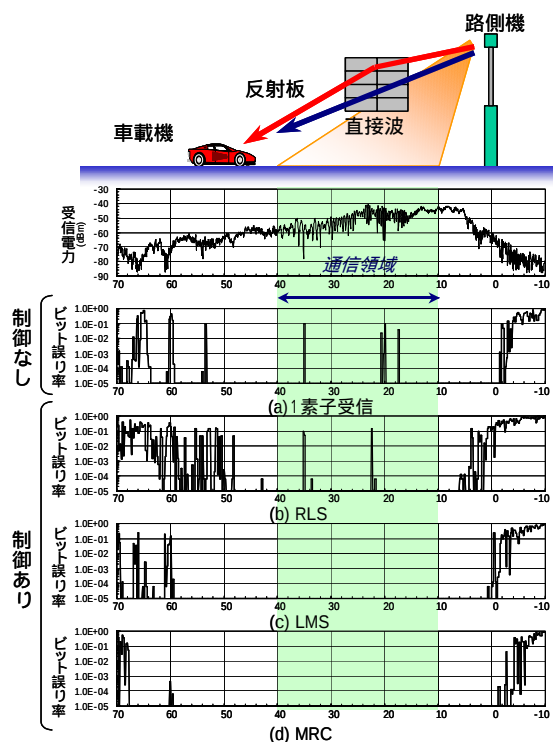


図7 実環境評価結果の一例

(条件) 水平リニアアレー，素子間隔: 0.5λ ，
アンテナ設置角度: 45° ，車速: 50km/h

5. まとめ

路面や周辺構造物での反射波の影響によ

って生じる通信品質の劣化を改善する方法として，車載機アンテナの指向性制御を用いる方法について検討を進めている。コストおよび DSRC 信号フォーマットを考慮し，RLS，LMS および MRC の3つの指向性制御アルゴリズムを検討の対象に選び，車載実験機を試作した。道路左側に反射板を設置して多重波伝搬環境を生成し，指向性制御あり/なしの場合におけるビット誤り率の評価を行った。その結果，LMS または MRC にもとづく制御を行うことにより，通信領域を含む 50m 以上の区間において ARIB STD T-75 で定められたビット誤り率（ 1×10^{-5} 以下）を満足した。

今後は，アンテナ素子間隔，取付け角度，車両速度などのパラメータを変化させた時のビット誤り率の評価，より複雑な環境での評価検討を進める。

謝辞

本研究は通信放送機構(TAO)の委託研究「走行支援システム実現のためのスマートゲートウェイ技術の研究開発」の成果である。

参考文献

- [1] DSRC システム研究会編，ITS インフォメーションシャワー，（株）クリエイト・クルーズ，2000.
- [2] 三ツ井孝禎，芦田哲哉，細谷勝宣，工藤敏夫，柏原一之，“ETC 用電波吸収体の開発，”三菱電線工業時報，第 98 号，2001.
- [3] 中島信生，“アダプティブアレーアンテナの移動通信への応用，”信学論（B），vol.J84-B，no.4，pp.666-679，April 2002.
- [4] 菊間信良，“アレーアンテナによる適応信号処理，”科学技術出版，1998.
- [5] (社)電波産業会，狭域通信(DSRC)システム標準規格 ARIB STD T-75 1.0 版，2001.