PSK-CDM 及び QAM-CDM を用いた連続型 DSRC システム

示沢 寿之†　　原田 博司‡　　白井 宏†　　藤瀬 雅行‡

†中央大学
〒112-0003　東京都文京区春日 1-13-27
‡独立行政法人通信総合研究所
〒239-0847　神奈川県横須賀市光の丘 3-4
Tel:0468-47-5074　Fax:0468-47-5089　E-mail:kazuyuki@crl.go.jp

あらまし　本稿では DSRC システムにおいて高品質な連続通信を実現するために、DSRC システムで用いられている変調方式に対して符号分割多重伝送方式を付加することを提案する。特に本稿においては一次変調として、DQPSK 及び大容量化を目的とした 16QAM を用い、等レベル 2 波独立レイリーフェージング及びライスフェージング環境下における伝送特性を計算機シミュレーションにより評価する。さらに、DSRC システムに基づいたマルチセルラ環境下における伝送特性についても評価を行う。

An advanced continuous DSRC system based on PSK-CDM and QAM-CDM

Kazuyuki SHIMEZAWA†,　Hiroshi HARADA‡,
Hiroshi SHIRAI†　and　Masayuki FUJISE‡

†Chuo University
1-13-27 Kasuga, Bunkyou-ku, Tokyo, 112-0003, Japan
‡Communications Research Laboratory, IAI
3-4 Hikarino-oka, Yokosuka-shi, Kanagawa, 239-0847, Japan
Tel:+81-468-47-5074　Fax:+81-468-47-5089　E-mail:kazuyuki@crl.go.jp

Abstract　In this paper, we propose applying a code-division-multiplexing (CDM) transmission scheme to radio transmission scheme standardized in the DSRC system in order to realize a high quality continuous communication. In this proposed scheme, DQPSK is used as first modulation scheme. Moreover, in order to be higher transmission rate, 16QAM is used. To evaluate transmission performances of the proposed transmission scheme, we calculate bit error rate (BER) performances under 2-paths independently distributed Rayleigh and Rice fading environments by a computer simulation. Next, we also evaluate transmission performances under multi-cellular environment based on the DSRC system.

１．はじめに

現在、高度交通システム（ITS; Intelligent Transport Systems）におけるサービスとして、料金所をノンストップで通過することによる交通渋滞の解消を目的とした ETC（Electronic Toll Collection system）やナビゲーションシステムの高度化を目指した VICS（Vehicle Information Communication System)などの実用化が進められており、また、安全運転の支援や交通管理の最適化、道路管理の効率化などを目的とした様々なサービスが検討されている。

さらに、ユーザが車に居ながら、音楽または映画などのエンターテイメント情報などを即座に観賞したり、またインターネットから所望の情報などを即座にダウンロードするなどの高付加価値に対するニーズが高まっている。それ故、今後もさらに様々なサービスが検討されることが予想され､ITS における無線通信システムに対して、大容量で効率的な情報通信を行うことが求められている。

そのような中で、マルチアプリケーションに対応可能な短距離・小ゾーンの双方向移動通信システムとして位置づけられている DSRC (Dedicated Short Range Communications) システムが注目されており、ITS を構成する上で重要な要素の一つであるものと期待されている[1]。DSRC システムは、道路上に設置された無線基地

局及びその道路上を走行している車両である移動局により構成され、それぞれの間で双方向に無線通信を行うことにより実現される。また、一つの基地局がカバーするセルの大きさが数十メートル程度に制限されており、同一周波数を繰り返し利用することによる周波数資源の有効利用が可能となる[2],[3]。

しかしながら、DSRC システムにおいて連続通信を行う場合、いくつか検討すべき課題がある。特に重要な検討課題の１つが連続通信を行う場合のハンドオーバに関するものである。DSRC システムに対してセルラ通信のコンセプトを適用することにより連続通信をすることが可能となるが、DSRC システムにおける各セルの大きさが非常に小さいため、隣接するセルで異なる周波数を用いた場合、車両が高速で移動するにつれて、頻繁なハンドオーバが必要となる。

そこで、隣接基地局において同一周波数を用い、仮想的に大きなセルを作り、頻繁なハンドオーバを軽減させることが有効である[4],[5]。しかしながら、隣接基地局間においてシンボル間干渉が起こることにより伝送特性に影響を及ぼすことになる。また、高速移動時のマルチパスフェージングによる受信信号のレベルや位相の変動により伝送特性がさらに劣化することになる。そのため、隣接基地局間におけるシンボル間干渉に対して強く、かつマルチパスフェージングに対して耐性のある無線伝送方式が必要となる。

そこで、以上の問題を解決し、また高品質な連続通信することを可能とするために、DSRC システムにおいて用いられる既存の変調方式に対して、複数の拡散符号を用いて低速の情報信号を並列に多重して伝送し、総合的に高速な情報信号の伝送を行う符号分割多重伝送方式（CDM; Code Division Multiplexing）を付加することを提案する[6],[7]。

この符号分割多重伝送方式において、スペクトル拡散を用いた伝送方式であるため伝送遅延時間差のあるマルチパスを分離し、さらに Rake 合成によるパスダイバーシチを比較的容易に行うことが可能である。

本稿では、符号分割多重伝送方式において用いる符号として巡回シフト巡回拡張型符号[8]を用い、また一次変調として、DQPSK（Differential Encoded QPSK）[6],[7]、さらに大容量化を目的として 16QAM（Quadrature Amplitude Modulation）を用いた場合の等レベル 2 波独立レイリーフェージング及びライスフェージング環境下における伝送特性について計算機シミュレーションにより評価を行う。さらに、DSRC システムに基づいたマルチセルラ環境下における伝送特性についても評価を行う。

２．PSK-CDM を用いた DSRC システム

2.1. 原理

提案方式では、DSRC システムにおいて、図１に示すように隣接基地局間で相互に干渉させ合い複局送信を行うことにより、移動局では常に 2 つのアンテナから電波が受信されるようにする。さらに、DSRC システムで用いられる送信機及び受信機には、既存の変調方式に対して符号分割多重伝送方式を付加する。したがって、移動局において受信された２つのパスを分離することが可能となり、さらに最大比合成をすることにより伝送特性を改善することが可能となる。また、もし一方のアンテナからのパスに対してシャドウイングが発生した場合においても、もう一方のアンテナからのパスにより伝送特性の大幅な劣化は防ぐことができる。

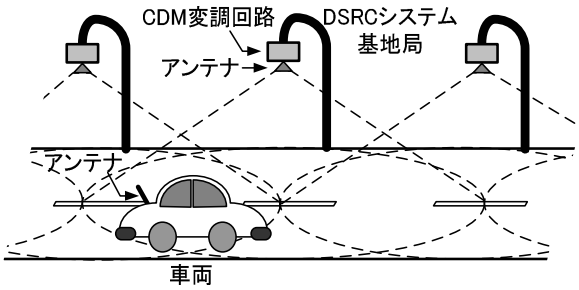


図１　CDM を用いた DSRC システム

符号分割多重伝送方式においては、まず伝送される高速なディジタル情報信号を複数の低速なディジタル情報に分割し同時に伝送する。このときそれらの分割した情報に対して符号による識別子がつけられる。このとき識別子に用いる符号に対する条件として、用いる符号間の相関が出来るだけ低いことが望まれる。そして、その条件をみたすことができる符号の一例として巡回シフト巡回拡張型符号を用いる[9]。

この巡回シフト巡回拡張型符号を用いる理由として、まず、一つの符号を巡回シフトした符号を他の符号とみなして拡散符号として用いるため、受信機において唯一の符号生成器を有するだけで並列チャネルの全ての拡散符号を生成することが可能であることが挙げられる。次に、一つの M 系列符号を巡回拡張することによって遅延波に対する耐性を高めており、さらに相関特性を用いることにより、遅延波を分離し Rake 合成をすることが可能であるため、より高品質な信号伝送が期待できる。

また、提案システムにおいては、既存の DSRC システムで用いられている送信機及び受信機における変調回路に対して、符号分割多重回路を付加することで容易に実現することが可能となる。

2.2. 送信機構成

PSK-CDM を用いた送受信機の構成を図２に示す。送信機において、まず高速の伝送データ信号は相互相関値の蓄積を避けるためにスクランブル回路によってランダムデータ化され、直並列変換器により低速な N チャネルの複数の信号に変換される。そして、各チャネルの信号は DQPSK 変調され、M 系列発生器から巡回シフト符号生成器並びに巡回拡張回路を経て生成した巡回シフ

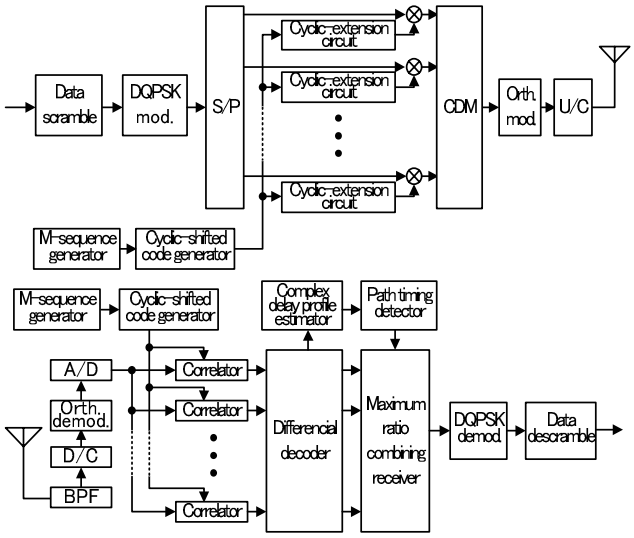


図 2　PSK-CDM を用いた送受信機構成

ト巡回拡張型符号により拡散される。全てのチャネルの信号は符号分割多重回路により符号分割多重された後、送信アンテナより送信される。

2.3. 受信機構成

一方、受信機において、受信アンテナによって受信された信号はバンドパスフィルタによって希望信号が抽出された後、直交検波器によって 2 つの I チャネル及び Q チャネルに分離され、さらにそれぞれの信号は相関器に入力される。相関器においては、受信された信号と送信側で用いられた同様の M 系列を巡回シフトさせた巡回拡張を行う前の符号との相関がとられる。そして複素遅延プロファイル推定器において、それらの相関値を用いることによって遅延プロファイルを測定し、その出力により電力の大きい方から L 個のパスをパスタイミング検出器で選択する。

この検出されたパスタイミングにより、相関器において相関された各チャネルのパスをL個選択し、最大比合成を行う。そして、その信号は DQPSK 復調された後、並直列変換器で高速な直列データに変換され、さらにデスクランブル回路によりデスクランブルされて、元の伝送データは復元される。

2.4. 伝送特性

PSK-CDM による 2 波等レベル独立レイリーフェージング及びライスフェージング環境下における伝送誤り率を表 1 に示すパラメータを用いて計算機シミュレーションにより求めた。その結果を図 3 に示す。このシミュレーションにおいて、一次変調として DQPSK を用い、遅延波の遅延時間は 1 チップ(311[nsec])とし、また最大ドップラー周波数 f_d はそれぞれ 100, 400, 800 及び 1000[Hz]とした。さらに、巡回シフト巡回拡張型符号においては、6 段 M 系列(符号長 63 チップ)に対して 3 チップずつ巡回シフトさせ、さらに前方に 1 チップ及び後方に 2 チップを巡回的に拡張

表 1　PSK-CDM におけるシミュレーションパラメータ

一次変調	DQPSK
伝送レート	2.048 Mbits/s
符号長	66 chips（前方に 1chip，後方に 2chips，巡回シフト数 3chips)
並列伝送数	21 (all transmission channels)
チップレート	3.22 Mchips/s
周波数帯域幅	4.83 MHz (ロールオフ率：0.5)

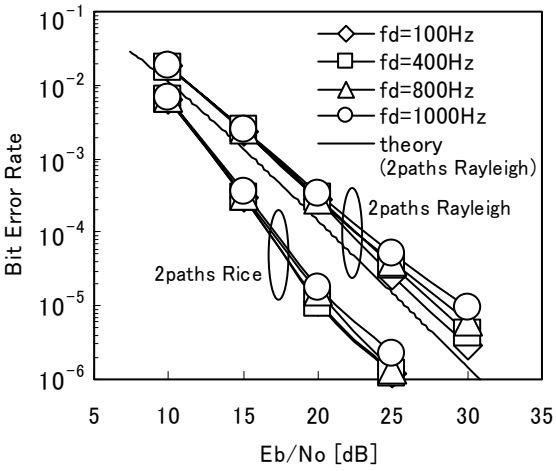


図 3　PSK-CDM の高速フェージング特性

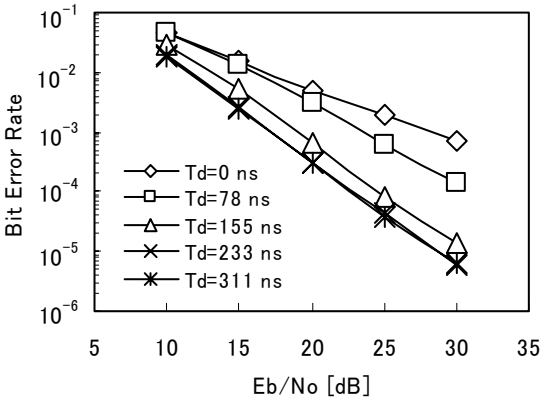


図 4　PSK-CDM において遅延時間をパラメータとしたレイリーフェージング環境下における伝送誤り率特性

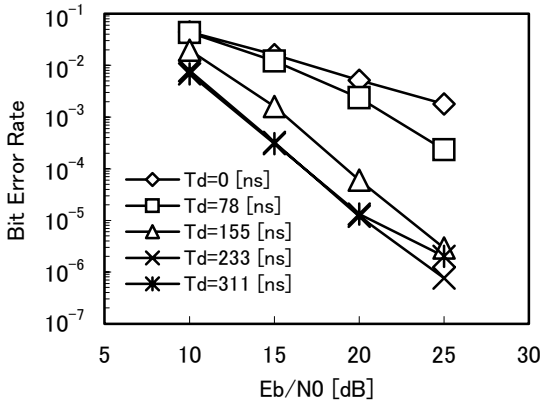


図 5　PSK-CDM において遅延時間をパラメータとしたライスフェージング環境下における伝送誤り率特性

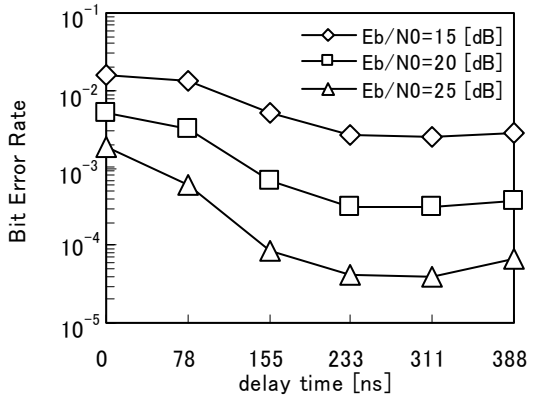


図6　レイリーフェージング環境下における伝送誤り率特性 vs 遅延時間

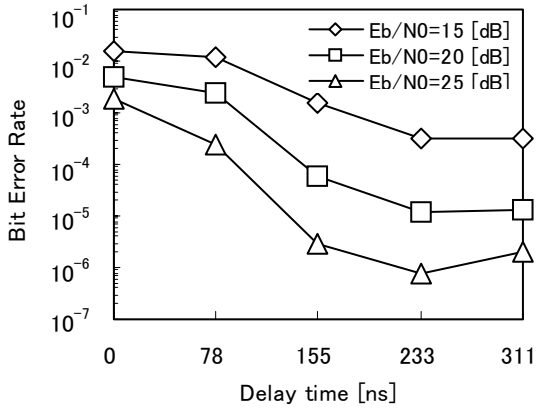


図7　ライスフェージング環境下における伝送誤り率特性 vs 遅延時間

させた符号長 66 チップの符号を用い、その時の並列伝送数を 21 チャネルとした。また、図 3 には 2 波独立レイリーフェージング環境下において最大比合成ダイバーシチを行った場合の理論値も示す。同図より、最大ドップラー周波数 f_d が 1000[Hz]程度の高速フェージング環境下においても十分伝送可能であることが確認できる。

次に、提案方式における遅延波の遅延時間と伝送誤り率の関係を評価した結果を図 4 及び 5 に示す。同シミュレーションにおいて最大ドップラー周波数は 800[Hz]とし、遅延波の遅延時間をそれぞれ 1 チップに対して 4 分の 1 刻みとした。また、遅延時間対伝送誤り率も図 6 及び 7 に示す。同図より、遅延波の遅延時間が 1 チップの半分に相当するおよそ 150[nsec]以上である場合、十分遅延波を分離することが可能であり、最大比合成による伝送特性の改善を確認することができる。

さらに、DSRC システムに基づいたマルチセルラ環境において図 8 に示すような 2 つのセルについて考えた。そして、それぞれのアンテナより複局通信をするものとし、そのような状況下において移動局が通過したときの伝送特性について評価を行う。このシミュレーションにおけるフェージング環境をライスフェージングとし、ライスファクタ k=6[dB]した。また、最大ドップラー周波数は 800[Hz]とし、5.8[GHz]帯において移動局の速度はおよそ 150[km/h]に相当する。ここで、図 8 に示すようなシミュレーションモデルを考えたとき、2 つのアンテナと移動局の相対的な位置関係において、それぞれのアンテナとの伝搬距離の違いにより、到来時間差、受信信号レベル差及びドップラー周波数が図 9 に示すように変化する。同図において、0[m]地点にアンテナ 1、100[m]地点にアンテナ 2 をそれぞれに対応しているものとする。

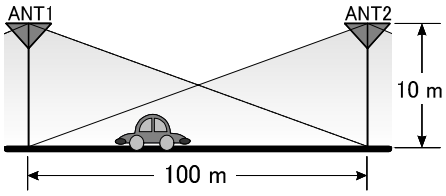


図8　マルチセルラ環境におけるシミュレーションモデル

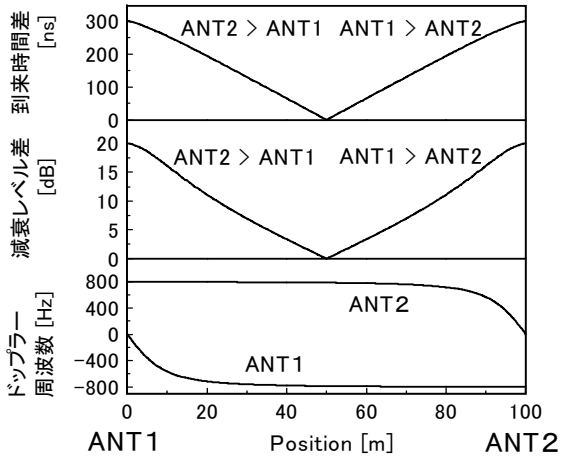


図9　図 8 に示すモデルのシミュレーションパラメータ

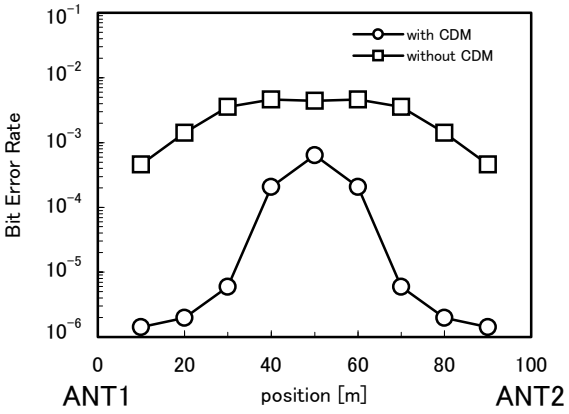


図 10　PSK-CDM を用いたマルチセルラ環境下における伝送誤り率

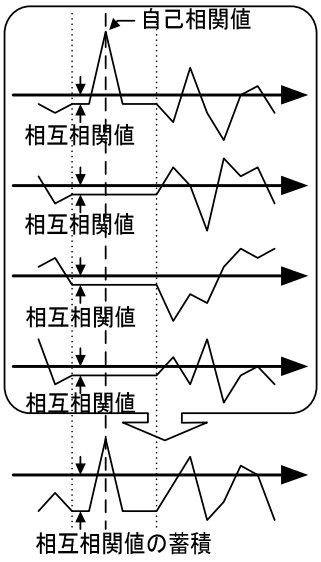


図 11　巡回シフト巡回拡張型符号の相互相関値の蓄積

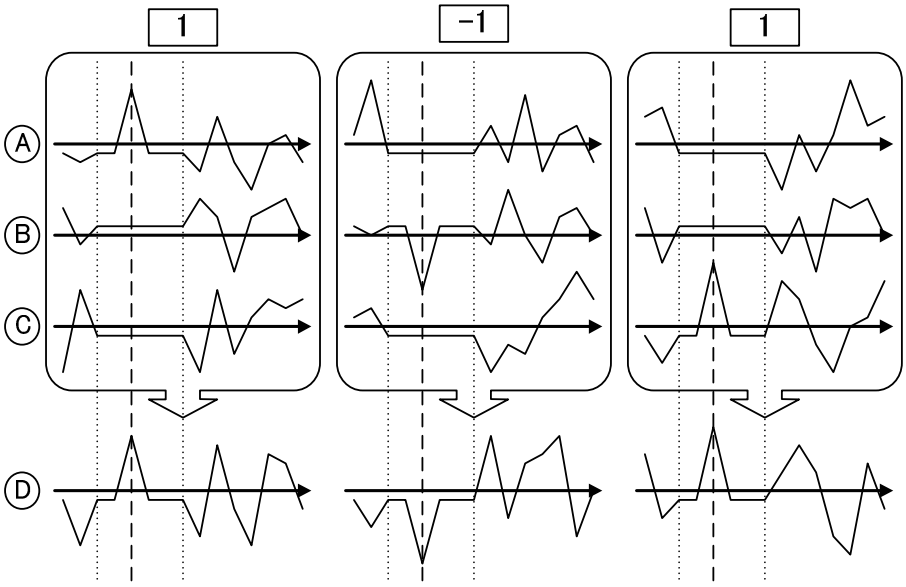


図 12　巡回シフト巡回拡張型符号の相関特性

以上のことを考慮することにより伝送誤り率を求め、その結果を図 10 に示す。同図において、符号分割多重伝送方式を付加しない場合についての特性も示す。これらの特性を比較すると、符号分割多重伝送方式を付加することによって付加しない場合と比べて、最大比合成による特性の改善を確認することができる。

3．QAM-CDM を用いた DSRC システムの高速化

3.1. 原理

一次変調として PSK を用いた場合、表 1 に示すようにチップレート 3.22[Mchips/s]に対してビットレートは 2.048[Mbits/s]を実現しており、帯域幅に対する伝送効率はおよそ 60%程度である。そこで、この帯域幅に対する伝送効率を向上させ、伝送レートを高めることを目的に、一次変調として多値振幅位相変調方式(QAM)を用いることを提案する。

QAM を用いた変調方式において、PSK を用いた場合と同様、拡散符号として巡回シフト巡回拡張型符号を用いて符号分割多重を行う。しかしながら、巡回シフト巡回拡張型符号において、相互相関値が零にはならず、符号長が N である場合、同期点における自己相関値を 1 とするとその相互相関値は-1/N となる。従って、それらを多重するときに問題が発生する。そのときの例として、図 11 に示すような送信情報データ信号を 4 チャネルの 1 としたときに 4 つの巡回シフト巡回拡張型符号を用いて伝送した場合において、受信側で受信信号と 1 番目のチャネルで用いられた符号との間で相関がとられた場合について考える。送信データとして 1 を送信したときに M 系列の自己相関によって同期点以外では常に-1/N となっている。また、他の拡散チャネルにおいても送信情報データ信号が 1 のとき、その相関値は同期点を除いて全て-1/N となるので、この余剰の相関値は他のチャネルの信号レベルを不安定にさせることになる。特に 1 つのチャネルの同期点における相関値は他のチャネルの同期点以外の相関値に起因する干渉を受け、結局同期点における相関値レベルは低くなる。このような相互相関値の蓄積を避けるために、送信データにスクランブルをかけることによってランダムデータ化[10]し、+1 並びに-1 を等確率で生成したにも関わらず、伝送データ及びスクランブルデータの組み合わせによっては、チャネル間において+1 または-1 の一方に集中する可能性がある。QAM においては、位相のみならず振幅に対してもマルチパスフェージング等の影響を精度良く補償することが求められており、相互相関値の蓄積による同期点における相関値レベルの低下によって伝送特性を劣化させることになる。

以上の問題を解決するために、受信機において相互相関値に対して補償を行う。例として図 12 に示すように、送信情報データ信号を（+1,-1,+1）の 3 ビットとし、図中の A,B,C のチャネルにそれぞれの自己相関値が現れるものとする。したがって、それ以外のチャネルでは相互相関値が現れ、それらの蓄積、すなわち各チャネルにおける相関出力は D で示すようになる。ここで、A,B,C の各チャネルにおける相互相関値は全て等しく、結果として、相関出力における蓄積された相互相関値はチャネル間において常に等しい。そこでこの蓄積された相互相関値に対して補償を行うために、まず、各チャネルにおける蓄積された相互相関値を検出し、受信機雑音等を低減させるためにそれらを平均化処理し、そしてその結果を用いて各チャネルに対して補償を行う。結果として、チャネル間の相互相関値を抑制することにより、同期点における相関値レベルの低下を防ぐことが可能

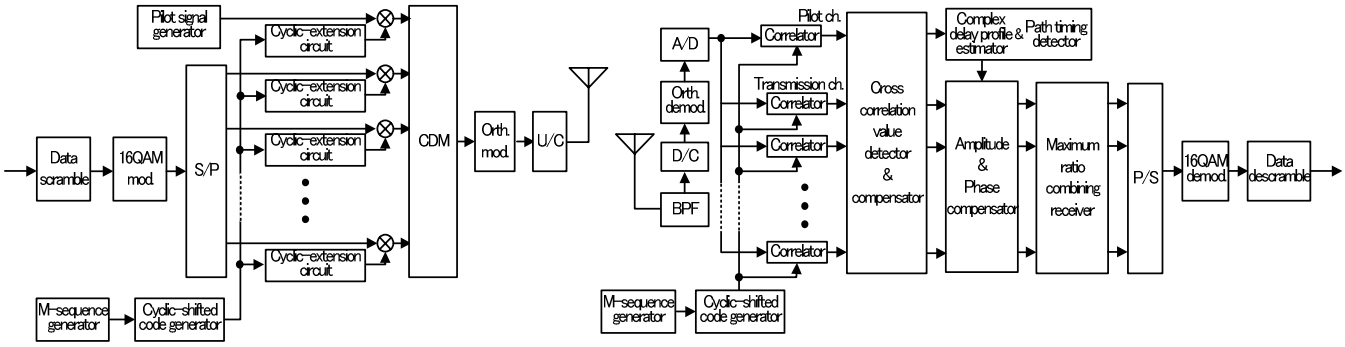


図 13　QAM－CDM を用いた送受信機構成

となる。

3.2. 送信機構成

QAM-CDM を用いた送受信機において、N+1 チャネルの符号分割多重伝送を行い、その内の 1 チャネルは伝搬路推定用のパイロットチャネルとして用い、N チャネルを伝送データチャネルとして用いる。そのときの QAM-CDM を用いた送受信機の構成を図 13 に示す。送信機においては、PSK-CDM を用いたときと同様、高速の伝送データをスクランブルした後、一次変調方式として 16QAM によって変調され、直並列変換器によって低速の N チャネルの信号に変換される。そして、各チャネルに対してそれぞれ巡回シフト巡回拡張型符号により重畳される。ここで、16QAM の信号点に対するマッピング手法としては、図 14 に示す Gray 符号化を行った信号点配置を用いる。一方、パイロットチャネルにおいては、パイロットデータ生成器により生成されたパイロットデータに対しても同様に巡回シフト巡回拡張型符号により重畳される。そして、各チャネルにおける全ての信号は符号分割多重回路によって符号分割多重された後、送信アンテナより送信される。

3.3. 受信機構成

受信機においても PSK-CDM を用いた場合と同様な処理を行うが、相関器において巡回拡張する前の巡回シフト型符号により相関がとられた後、相互相関値の蓄積による同期点における相関値レベルの低下を避けるために、各チャネルにおける相互相関値を検出し、受信機雑音等を低減させるためにそれらを平均化処理し、そしてその結果を用いて各チャネルに対して補償を行う。次にパイロットチャネルを用いて伝搬路の推定を行い、複素遅延プロファイルを測定する。その出力を用いてパスタイミング検出器において電力の大きいほうから L 個のパスが選択される。また、振幅位相補償器において、パイロットシンボルを用いることによって情報チャネルの振幅及び位相が補償される。そして、選択された L 個のパスは最大比合成された後、並列データを直列データに変換し、復調を行い、デスクランブル回路でデスクランブルすることにより、元の伝送データは復元される。

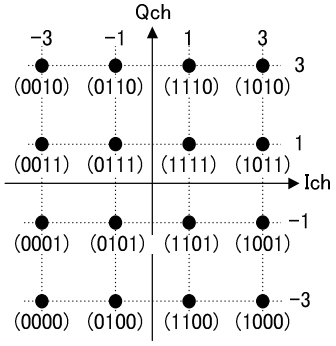


図 14　16QAM 伝送で用いる信号点配置

表 2　QAM-CDM におけるシミュレーションパラメータ

一次変調	16QAM
伝送レート	4.096 Mbits/s
符号長	66 chips（前方に 1chip，後方に 2chips，巡回シフト数 3chips）
並列伝送数	21 (1 pilot channel + 20 transmission channels)
チップレート	3.38 Mchips/s
周波数帯域幅	5.07 MHz (ロールオフ率：0.5)

3.4. 伝送特性

QAM-CDM による 2 波等レベル独立レイリーフェージング及びライスフェージング環境下における伝送誤り率を表 2 に示すパラメータを用いて計算機シミュレーションにより求め、その結果を図 15 に示す。同図においては、PSK-CDM におけるシミュレーションと同様に行い、16QAM を用いた 2 波独立レイリーフェージング環境下での最大比合成ダイバーシチを行った場合の理論値も同図に示した。一次変調として DQPSK を用いた場合と同様に、高速フェージング環境下においてもエラーフロアをとることなく伝送可能であることが確認できる。

次に、図 16 に示すような DSRC システムに基づいたマルチセルラ環境下において、同一信号を送信している 2 つのセル環境における伝送特性についても同様に評価を行った。PSK-CDM のときと同様、最大比合成による効果が確認できる。

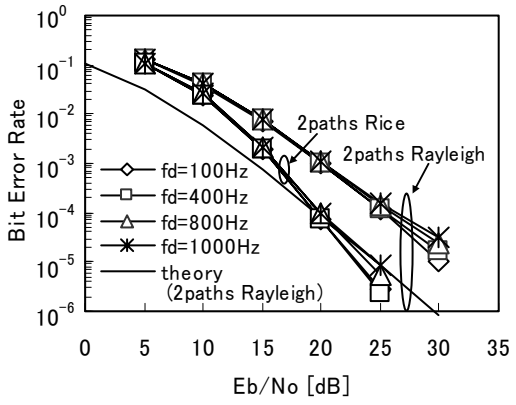


図 15　PSK-CDM の高速フェージング特性

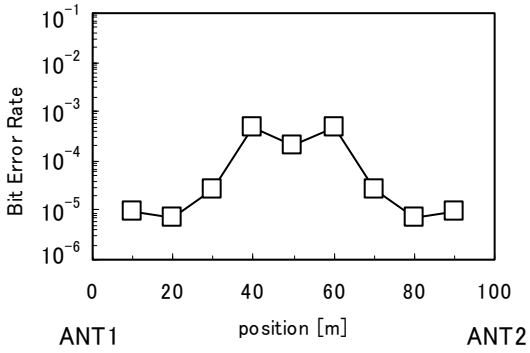


図 16　PSK-CDM を用いたマルチセルラ環境下における伝送誤り率

4．結論

本稿では、DSRC システムにおいて高品質な連続通信を実現するために、DSRC システムで用いられている変調方式に対して符号分割多重伝送方式を付加することを提案した。提案方式において一次変調として、まず DQPSK を用い、次に大容量化を目的に 16QAM を用いた。そして、等レベル 2 波独立レイリーフェージング及びライスフェージング環境下においてそれぞれの場合の伝送特性を計算機シミュレーションにより評価した。その結果、いずれの場合においてもエラーフロアをとることなく伝送可能であることが確認できた。さらに、DSRC システムに基づいた 2 つのセル環境下において双方のアンテナより同一信号を送信した場合の伝送特性についても評価を行った。その結果、符号分割多重伝送方式を付加することによって、付加しない場合と比較して最大比合成による伝送特性の改善を確認することができた。

参考文献

[1] DSRC システム研究会, “ ITS インフォメーションシャワー, ” クリエイトクルーズ.

[2] R. Fukui, “ ASV/AHS in Japan—Development of radio communication systems, ” in Proc. 5th World Congr. Intelligent Transport Systems, Oct. 1998.

[3] S. Ohyama, K. Tachikawa, and M.Sato,“ DSRC standards and ETC systems development in Japan, ” in Proc. 7th World Congr. Intelligent Transport Systems, Turin, Italy, Nov. 2000.

[4] M. Fujise, A. Kato, K. Sato, and H. Harada, “ Intelligent transport systems, ” in Wireless Communication Technologies, N. Morinaga, R. Kohno, and S. Sampei, Eds. Norwell, MA: Kluwer, 2000, ch. 8.

[5] H. Harada, K. Sato, and M. Fujise, “ A feasibility study on a radio-on-fiber based road-to-vehicle communication systems by a code division multiplexing radio transmission scheme, ” in Proc. 1st Workshop ITS Telecommunications (ITST2000), Oct. 2000, pp. 155-160.

[6] 示沢, 原田, 白井, 藤瀬, “ 符号分割多重伝送方式を用いた DSRC システムの基礎伝送特性, ” 信学ソ大, B-5-132, Sept. 2001.

[7] K. Shimezawa, H. Harada, H. Shirai and M. Fujise,“ An advanced DSRC system based on a code-division-multiplexing based radio transmission scheme, ” The 2nd International Workshop on ITS Telecommunications (ITST2001), Oct. 2001, pp. 77-82.

[8] H. Harada, “ Performance Analysis of a New Multi-Code High-Speed Mobile Radio Transmission Scheme Using Cyclic Modified M-Sequence, ” IEICE Trans. Commun., Vol.E83-B, No.6, 2000.

[9] H. Harada, “ OCDM: A new multicode CDM radio transmission system based on cyclic modified M-sequences — Performance evaluation using prototype, ” in Proc. IEEE Vehicular Technology Conf. (VTC’99 Spring), May 1999, pp. 1819-1825.

[10] 原田, 藤瀬, “ 巡回拡張巡回シフト型符号を用いた符号分割多重伝送方式の高速化に関する一検討, ” 信学技報, RCS2000-20, May 2000.