BICM-ID を適用した 8D-4096SP-16QAM 変調方式の BER 特性評価および EXIT チャート解析

BER characteristic evaluation and EXIT Chart analysis of 8D-4096SP-16QAM modulation format with BICM-ID

花島 颯† 那賀 明†

Hayate HANASHIMA† Akira NAKA†

† 茨城大学大学院理工学研究科電気電子システム工学専攻

† Major in Electrical Electronic Systems Engineering, Ibaraki University

1. 背景と目的

近年、ブロードバンドアクセスサービスの普及・発展により、インターネットトラフィックの需要が急速に拡大している。これに対し、ディジタルコヒーレント光通信技術が光ファイバ通信システムに要求されている大容量かつ超高速な伝送を実現している。

更なる大容量化を目的として、本研究では、多次元変調方式である 8D-4096SP-16QAM を用いて、これを高感度に受信するように、符号化変調方式の 1 つである BICM-ID（Bit Interleaved Coded Modulation-Iterative Detection：繰り返し復号法を用いたビットインターリーブ符号化変調）[1]を適用して、BER（Bit Error Rate：ビット誤り率）特性評価および EXIT（EXtrinsic Information Transfer：外部情報伝達）チャート解析を行う。

2. 本研究に用いた手法と評価系の構成

8D-4096SP-16QAM は、4つの時間領域と IQ 平面から構成されている。シンボルを構成する 16 ビットのうち、4 つのビットを冗長ビットとして扱うことにより、各時間領域における変調点の選択に制限が設けられ、最小ユークリッド距離が拡大される。したがって、1 シンボル 12 ビットで計 4096 個のシンボルを持ち、1 平面あたり 3 ビットの伝送を行う。

図 1 に評価系の構成を示す。8D-4096SP-16QAM 信号を、図 1(a)では、AWGN 環境下で伝送し、図 1(b)のディジタルコヒーレント光伝送環境下では、偏波モード分散による偏波間の遅延時間差を全伝送距離で2シンボル相当、波長分散を 16[ps/nm/km]の条件で、光ファイバに線形伝送し、コヒーレント検波後、適応等化を含む高速ディジタル信号処理を行う。図 1(a)(b)ともに受信器において BICM-ID を適用する。BICM-ID とは、ビット判定結果の信頼性を示す対数尤度比の入出力を、復調器と復号器で繰り返し、ビット検出精度を高める手法である。また、LDPC（Low Density Parity Check：低密度パリティ検査）を利用した誤り訂正には、DVB-S.2（Digital Video Broadcasting-Satellite-Second Generation：第 2 世代ディジタル放送規格）を適用する。符号長は 64800、伝送情報量は 300[Gbit/s]、変調におけるシンボルレートは伝送情報量が等しくなるように、符号化率 2/3 において 40[Gbaud]、符号化率 5/6 において 32[Gbaud]とする。

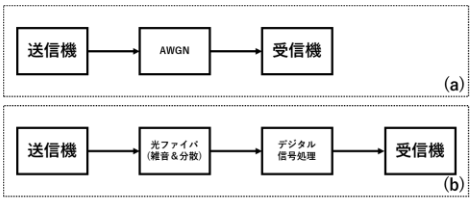

図1 各環境下における評価系の構成

3. 評価結果

各環境下での 1 回目の復調、1 回目の復号、BICM-ID の繰り返しによる 5 回目の復号における BER 特性を、それぞれ図 2、図 3 に示す。

図 2 の AWGN 環境下において、いずれの符号化率においても外部繰り返しを行うことにより、BER が向上し、BICM-ID が有効であることを確認した。また、5 回目の復号において$\mathrm{BER} = 1.0 \times 10^{-4}$となる$E_b/N_0$値は、符号化率 2/3 では 3.3[dB]、符号化率 5/6 では 4.5[dB]であった。

図 3 のディジタルコヒーレント光伝送環境下においても同様に、BICM-ID が有効であることを確認した。5 回目の復号において$\mathrm{BER} = 1.0 \times 10^{-4}$となる$E_b/N_0$値は、符号化率 2/3 では 4.3[dB]、符号化率 5/6 では 6.4[dB]となり、AWGN 環境下と比較して適応等化を行ったことによるE_b/N_0値の劣化は、各々 1.0[dB]、1.9[dB]であった。

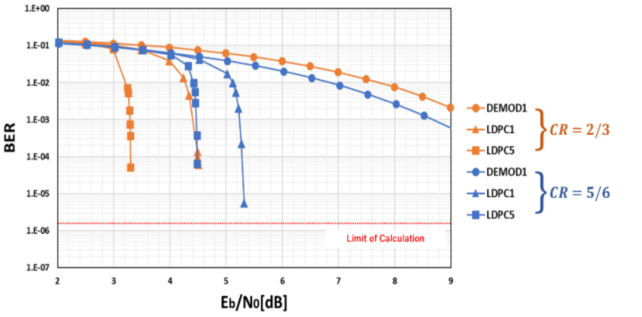

図 2 AWGN 環境下における各符号化率の BER-E_b/N_0特性

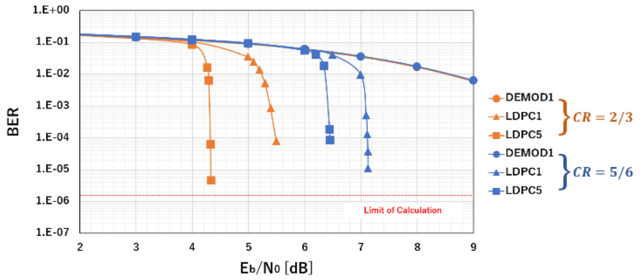

図 3 ディジタルコヒーレント環境下における各符号化率の BER-E_b/N_0特性

4. 結論

本研究で用いた符号化率では、AWGN 環境下とディジタルコヒーレント光伝送環境下のどちらにおいても、BICM-ID が 8D-4096SP-16QAM 変調方式の受信感度向上に有効であることを確認した。また、BICM-ID の繰り返しによる 5 回目の復号において$\mathrm{BER} = 1.0 \times 10^{-4}$となる$E_b/N_0$値について、適応等化を行ったことにより、符号化率 2/3 では 1.0[dB]、符号化率 5/6 では 1.9[dB]の劣化が見られた。

参考文献

[1] 馬場康弘, 衣斐信介, 三瓶政一, “マルチレベル BICM-ID における EXIT 基準パンクチャ制御による符号冗長性の交換に関する検討”, 電子情報通信学会論文誌 B, Vol.IEICE-109, no.341, pp7-12, 2009.

Copyright © 2022 IEICE