

集合分割変調方式を用いた 4PAM 信号の 1 ビット ADC 受信における BER 特性の検討

多賀谷賢信*, 齋藤将人**, 山里敬也***

(*琉球大学工学部工学科電子情報通信コース, **琉球大学工学部, ***名古屋大学)

1. まえがき

受信機の消費電力を低減する方法の一つとして、量子化ビット数が1ビットであるアナログ・デジタル変換器(以降1ビットADC)を用いる方法がある。1ビットADC出力を±1とすると、その出力から正負判定は可能であるものの、振幅は区別できない。これに対して、先行研究では適度な雑音を付加した信号について、1ビットADC出力をオーバーサンプリングと統計処理することにより多値信号を受信可能であることが示された[1]。さらに、高SNR領域における誤り率の劣化を、集合分割符号化変調(SPCM)とLow Density Parity Check (LDPC)符号の適用により、改善されることが示された[2]。一方、集合分割の方法について一般化された手法は明らかになっていない。

本研究では、集合分割の体系化を目的として、集合分割が可能で最も簡素な多値変調方式である4値Pulse Amplitude Modulation (4PAM)信号を用いて、1ビットADC受信によるビット誤り率(BER)特性の評価を行った。

2. 4PAM信号の集合分割法

4PAMは、4種類のシンボル $\{\pm 3, \pm 1\}$ から一つのシンボルを選択して伝送する。本研究では、この集合を2つのコセットに分割する。4PAMの場合、 $S_0 = \{-3, +1\}, \{-1, +3\}$, $S_1 = \{-3, -1\}, \{+1, +3\}$, $S_2 = \{-3, +3\}, \{-1, +1\}$ の3種類の分割方法がある。

3. システムモデル

システムモデルを図1に示す。情報ビット列は、SPCM符号化器により、一部がLDPC符号化され、コセットに応じた4PAMシンボルを生成するためのビット列に変換される。4PAM信号は搬送波を乗算され、Additive White Gaussian Noise (AWGN) 通信路を通過し、1ビットADCで受信された後、ベースバンド信号に変換される。1ビットADC出力は平均化処理を行い、4PAM復調器に入力された後、SPCM復号器により、復号され送信ビット列の推定値が得られる。送信ビット列と復号ビット列を比較してBERを求めた。

3. 数値例

前述のシステムモデルを用いてBERを求める計算シミュレーションを行った。 E_s/N_0 を0dBから50dBまで設定した。LDPC符号は、MATLABで提供されているIEEE 802.11n規格で採用されている符号化率3/4の符号を用いた(表1)。

図2に S_0, S_1, S_2 の分割方法を用いた場合のBER特性を示す。比較用として、符号化変調を用いないもの(uncoded)のBERを示す。図2より、 S_0 と S_1 を用いた場合、 E_s/N_0 の増加につれてBERが改善し、更に増加すると劣化することが分かる。一方、 S_2 を用いた場合、BERが大幅に劣化することが分かる。これは、コセットの判定を誤っているものと考えられる。コセットの分割が誤り率特性に影響を与えることが分かる。SPCMを用いることにより、無符号化の場合に

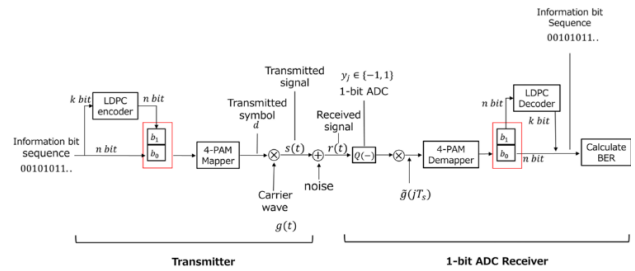


図1 システムモデル

表1 LDPC 符号の諸元

情報ビット数	486
符号化ビット数	648
符号化率	3/4

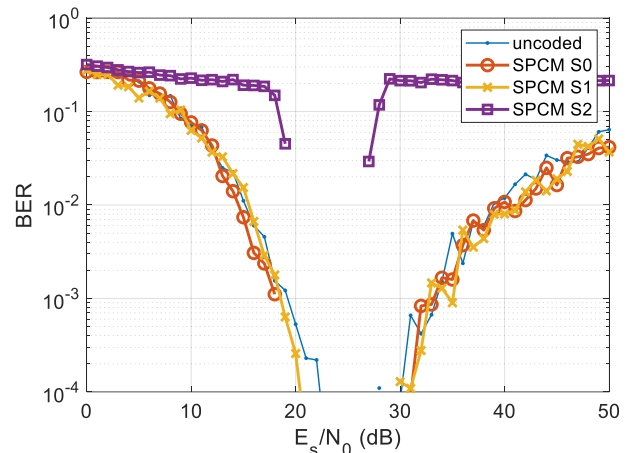


図2 E_s/N_0 に対する BER 特性

比べて所要 E_s/N_0 に1~2dBの改善が見られる。

4. まとめ

本研究では、4PAM信号の1bit ADC受信において、集合分割とLDPC符号を適用し、BER特性の改善効果を検証した。集合分割におけるコセットの選択により、BER特性に大きな違いが現れることが確認できた。今後の課題として、集合分割の一般化、LDPC復号法の最適化が挙げられる。
謝辞

本研究は、JSPS科研費JP24K00886の助成を受けたものです。

参考文献

- [1] 中島康雄, "1bit A/D変換器に雑音を活用した受信機の解析", 名古屋大学大学院工学研究科博士論文, 2020年.
- [2] A. Isozaki, T. Yamazato, S. Lu, M. Saito, "Comparison of Set Partitioning Coded Modulation and Bit-Interleaved Coded Modulation for Noise-aided 1-bit ADC Receiver", (unpublished)