

# インタリーバを適用した PAS 方式のバースト誤り特性改善法

Method for Improving Burst Error Characteristics of PAS Systems Using interleaver

西野 佑希<sup>†</sup> 那賀 明<sup>†</sup>

Yuki Nishino<sup>†</sup> Akira Naka<sup>†</sup>

<sup>†</sup>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

<sup>†</sup> Graduate School of Science and Engineering, Ibaraki University

## 1. 背景・目的

デジタルコヒーレント光通信技術により、1 波長あたり 100Gbps 超の伝送が実現されている。増加が見込まれるインターネットトラフィックに対応するため、よりシャノン限界に近い高速伝送可能かつ通信容量が調節可能な PAS(Probabilistic Amplitude Shaping) 方式を適用した 64QAM が提案されている[1]。しかし、逆整形時にバースト誤りが発生するため、外符号と整形器間にインタリーバを置く構成が提案され、有効性が検証されている。

本研究では外符号と逆整形器間にインタリーバを用いる PAS 方式を適用した 64QAM 変調方式について、LUT(Look Up Table)のサイズと振幅分布のエントロピーをパラメータとして BER 特性を定量的に評価し、インタリーバ適用によるバースト誤りの改善効果を明確にする。

## 2. 評価に用いた手法と構成

図 1 にインタリーバを適用した PAS 方式のブロック図を示す。外符号には複数ビット訂正可能な BCH 符号(Bose-Chaudhuri-Hocquenghem code)を用いた。BCH 符号化後に 10,000 のフレーム数でインタリーバサイズ  $N=1$ (適用無し)、 $N=10$ ,  $N=100$  の 3 つの条件でインタリーバを適用した。DM(Distribution Matcher)整形器では入力  $k$  ビットを  $n$  個の振幅情報へ LUT を用いてブロック変換を行う。ここで、各振幅値(1, 3, 5, 7)の生起確率が異なる LUT を用意することにより、異なる 4 種のエントロピーの条件で変調後のシンボルの生起確率がガウス分布に近づくよう整形を行う。その後、2/3 の符号化率で LDPC(Low-Density Parity-check Code) 符号化を行い送信する。

DM 逆整形器では 1 ビットの誤りから LUT に存在しない振幅列や誤った振幅列に逆整形を行う可能性がある。これにより発生するバースト誤りを低減するため、LUT に存在しない振幅列に対して LLR(Log-Likelihood Ratio)の最も低いビットを反転させ、ブロック変換を再度行う振幅再設定法を適用し、PAS 方式の BER 特性の改善を行う。

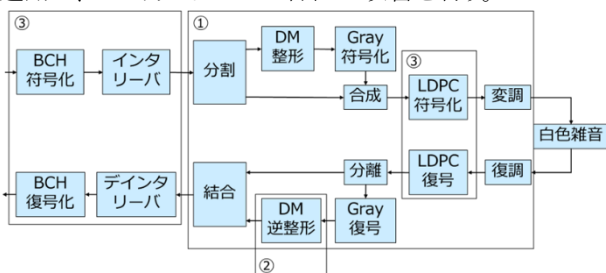


図 1 評価構成

## 3. 評価結果

図 2 に LUT サイズの異なる 3 種類(k6n6, k8n8, k10n10)をインタリーバ数  $N=100$  と  $N=1$ (適用なし)で効果の比較を行った結果を示す。エントロピーはそれぞれの最小となる 4.3 付近の値で統一した。インタリーバを適用しない場合、サイズが大きいほどバースト誤りが起きる確率が高くなるためエ

ラーフロアが生じている。しかし、インタリーバを適用することで大きく改善され、BER 特性はサイズが大きいほど良好となっていることが確認できる。

図 3 に LUT サイズ k10n10 のエントロピー 4 種(4.26, 4.66, 5.09, 5.36)の BER 特性の比較を行った結果を示す。エントロピーが低いほど良好な BER 特性を示した。エントロピーが高い 5.36 では LDPC 復号後より DM 逆整形後に BER 特性が大きく改善していることが確認できる。エントロピーが高い値では LUT 内に存在する他の振幅列に誤る確率が減少し、振幅再設定が機能することで BER 特性が改善していると推測される。

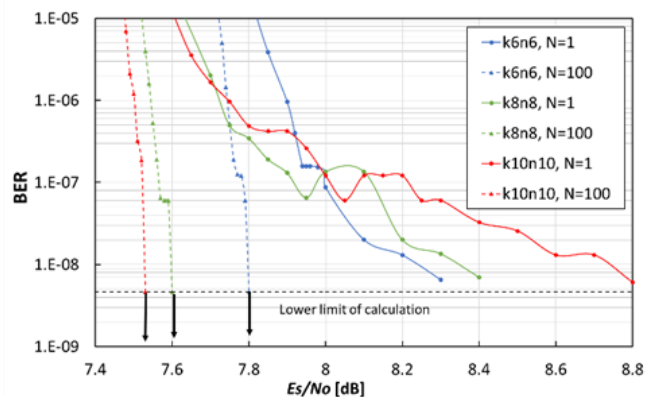


図 2 LUT サイズによる BER 特性の比較

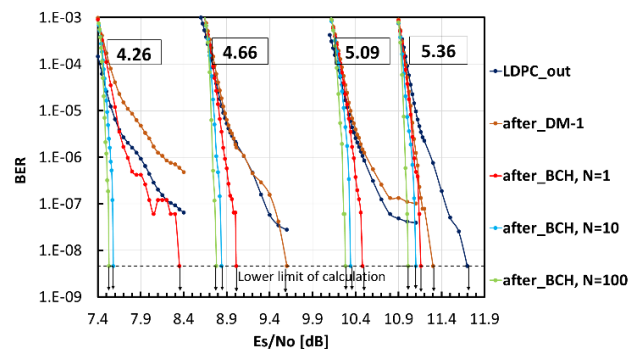


図 3 k10n10 のエントロピー比較

## 4. 結論

インタリーバを適用した PAS 方式のバースト誤り特性の改善を評価した。LUT サイズが大きいほどバースト誤りが大きくなるが、インタリーバの効果によりバースト誤りが低減されることで良好な BER 特性が得られることを示した。また、エントロピーが高い値において BER 特性は劣化し、振幅再設定の効果が大きくなることを示した。

参考文献

[1] Junho Cho, Peter J. Winzer, "Probabilistic Constellation Shaping for Optical Fiber Communications", JOURNAL OF LIGHTWAVE TECHNOLOGY, vol.37, no.6, march 15, 2019.