

拡張マッピングを用いたビットインタリーブ化符号化空間変調の 繰り返し復号法に関する研究

南 聖也 井手 輝二 佐藤 正知
鹿兒島工業高等専門学校 電気電子工学科

1. はじめに

空間変調 (SM) [1] は情報ビットによって送信するアンテナを選択する変調方式であり、変調多値数は IQ 平面上の変調方式と送信アンテナ数に依存する。本稿では、1 つの信号点に対して複数のビットラベルを割り当てる拡張マッピング (EM) [2] を SM に適用することで伝送特性の改善を図る。具体的にはビットインタリーブ化符号化変調の繰り返し復号 (BICM-ID) [3] に SM, EM を追加した EM-BICSM-ID の特性評価を計算機シミュレーションにより行う。

2. EM-BICSM-ID

2.1 送信機 送信する情報ビット系列 $\mathbf{u} \in \{1,0\}$ を誤り訂正符号化し、符号化ビット系列 $\mathbf{c} \in \{1,0\}$ を得る。次に、系列 \mathbf{c} をインタリーブして系列 $\hat{\mathbf{c}} \in \{1,0\}$ を得る。その後、ID の効果を改善するレート 1 符号化 (URC) を行い、最後に SM 変調器で M ビット毎に送信するアンテナ i および信号点 x_i を決定し、送信信号 $\mathbf{x} = [0, \dots, 0, x_i, 0, \dots, 0]$ を生成する。ここで、EM による拡張ビット数を M_{EM} 、IQ 平面の変調多値数を M_{IQ} 、送信アンテナの選択による変調多値数を M_{Tx} とすると、 $M = M_{EM} + M_{IQ} + M_{Tx}$ と表される。

2.2 受信機 通信路でフェージング $h_i(n)$ と雑音 $z(n)$ の影響を受けた受信信号 $y(n) = h_i(n)x_i(n) + z(n)$ を SISO 復調器に入力し、インタリーブされた符号化ビットの外部 LLR ($L_{e,dec}$) を計算する。次に、 $L_{e,dec}$ に対して URC 復号し、デインタリーブで並べ替えた符号化ビットの事前 LLR ($L_{a,dec}$) を通信路値として SISO 復号器に入力して外部 LLR ($L_{e,dec}$) や事後 LLR ($L_{app,dec}$) を得る。

繰り返し処理では、復号器の外部 LLR をインタリーブし、URC 復号器および復調器に対する事前 LLR ($L_{a,dec}$) として再度復調以降の処理を行う。この繰り返し処理を任意の回数繰り返した後、復号器で計算する事後 LLR ($L_{app,dec}$) を硬判定して最終的な再生ビット $\hat{\mathbf{u}} \in \{1,0\}$ を得る。

3. 計算機シミュレーションによる評価

本稿では、送信アンテナ数 4、IQ 平面の変調方式を 16QAM、拡張ビット数を 2 とした 1 シンボル当たり 6 ビット伝送する EM-BICSM-ID を評価する。ビットマッピングは文献 [4] を参考にした。受信アンテナ数は 1、インタリーブはランダムインタリーブ、サイズは 60000 bit である。誤り訂正符号は $(1,1/3)_8$ の再帰的畳み込み符号を用い、URC 符号器は入力ビットを XOR 演算している値を 60 bit 毎に入力ビットと入れ替えたものを出力する。受信機の復号と復調はすべて SISO 入出力とし、Log-MAP 復調 (復号) を行っている。フェージングは送信アンテナ間で無相関のレイリーフェージングを仮定している。

図 1 に繰り返し復調の BER 特性、図 2 に EXIT チャート解析結果を示す。図 1 より、復号の繰り返し回数が増えるに連れて BER が改善しており、100 回繰り返しでは、平均

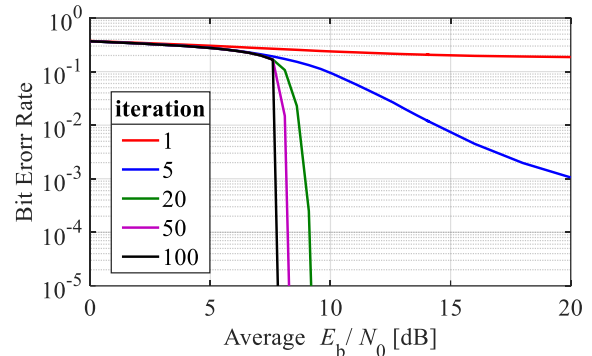


図 1. BER 特性

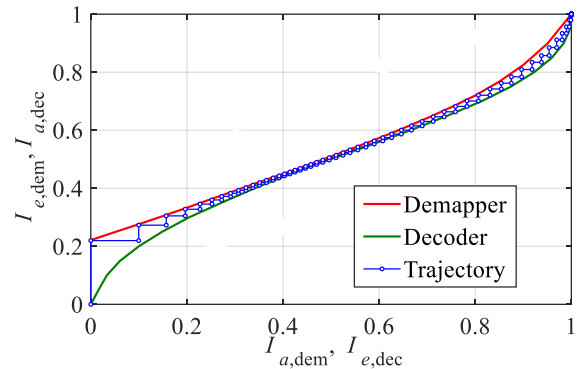


図 2. EXIT チャート特性 (Average $E_b/N_0=8.2\text{dB}$)

$E_b/N_0=7.7\text{dB}$ 付近で急激な改善が見られる。したがって、平均 E_b/N_0 がそれ以上の領域ではエラーフリーに近い特性が得られていると推測できる。図 2 は繰り返しによる BER の収束特性を評価する EXIT チャートで平均 $E_b/N_0=8.2\text{dB}$ の時の解析結果を示す。図より、復調器と復号器の EXIT カーブは交差しておらず、復号軌跡は座標 (0,0) からスタートし、2 つの EXIT カーブの内側を反射しながら座標 (1,1) に向けて移動し、相互情報量が増加している様子が分かる。2 つの EXIT カーブが漸近するような環境でエラーフリーを達成するためには繰り返し回数を多くする必要がある。

4. まとめ

空間変調に拡張マッピングを適用した BICM-ID について計算機シミュレーションにより伝送特性を評価した。今後はビットマッピングの最適化アルゴリズムの検討や異なる環境において特性評価を行う予定である。

謝辞 本研究の一部は、JSPS 科研費 (20K04994) の助成を受けたものである。

参考文献

- [1] R. Mesleh, *et al.*, Proc. Chinacom, pp.1-5, 2006.
- [2] P. Henkel, Proc. IEEE PIMRC, pp.1-4, 2006.
- [3] S. Pflatschinger *et al.*, IEEE trans. Wireless Comm., vol.5, no.11, pp.3174-3181, 2006.
- [4] 富岡ほか, 信学論 vol.J99-B, no.1, pp.26-29, 2016.