

周波数選択性フェージング環境におけるプリコードデッド OFDM 伝送の 繰り返し復調に関する研究

福村 直紀 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

優れた周波数利用効率を示す OFDM 伝送の伝送特性の劣化要因の一つに、周波数選択性フェージングの影響がある。本稿では、フェージング対策として送信シンボルを全サブキャリアに拡散してから OFDM 変調を行うプリコードデッド OFDM 伝送[1]について、さらに伝送特性を改善する3つの繰り返し復調法の検討を行う。

2. プリコードデッド OFDM 伝送

プリコードデッド OFDM 伝送は、一次変調後のシンボル $\mathbf{d} \in \mathbb{C}^{N \times K}$ にプリコーディング行列 $\mathbf{U} \in \mathbb{C}^{N \times N}$ を左から掛けることで一つの OFDM シンボルに含まれるシンボルを全サブキャリアに拡散してから OFDM 変調する。ここで、 N はサブキャリア数、 K は OFDM シンボル数を表す。プリコーディング行列はユニタリ行列とし、本研究では Walsh-Hadamard 行列を用いる。

3. 検討する繰り返し復調方式

3.1 シンボル入れ替え復調法

本復調法[2],[3]は復調して得られた再生ビットから受信シンボルレプリカを作成し、フェージングによって受信電力が低下しているサブキャリアを受信シンボルレプリカと入れ替えて再度復調を行う繰り返し復調法である。シンボル入れ替え処理は周波数等化に ZF 等化を用いる場合に雑音強調を抑制する効果がある。フェージングや繰り返し回数ごとに最適な入れ替えサブキャリア数が異なる。

3.2 合成 LLR 復調法

本復調法[4]は受信機で DFT 後に各サブキャリアに重畳されているシンボルを各サブキャリアで SISO 復調して得られる対数尤度比 (LLR) を合成する復調法で、繰り返し時には重畳されている他のシンボルの軟値干渉信号レプリカを差し引いてから再度 LLR を計算する復調法である。

3.3 事前 MRC 復調法

本復調法[4]はサブキャリア方向に対して最大比合成を行った後に LLR を算出する方法である。繰り返し時の動作としては合成 LLR 復調法と同じである。本変調法と合成 LLR 復調法は重畳されている多シンボルを干渉として扱うところが、ZF 等化と逆プリコーディングによってシンボル間干渉が消えるシンボル入れ替え復調法と大きく異なる。

4. 計算機シミュレーションによる評価

本稿では、2 波のマルチパス環境 (ガードインターバル内の遅延波)、 $DUR=2\text{dB}$ 、 $N=256$ としたとき、一次変調に QPSK、16QAM (ともに Gray マッピング) を用いた際の各繰り返し復調法の BER 特性を比較する。図 1 に QPSK、図 2 に 16QAM の特性を示す。シンボル入れ替え復調法を symbol replacement, 合成 LLR 復調法を LLR combining, 事前 MRC 復調法を pre-MRC と表記し、 i は繰り返し回数として、0 回目 (初回復調) と 4 回目の結果を示す。

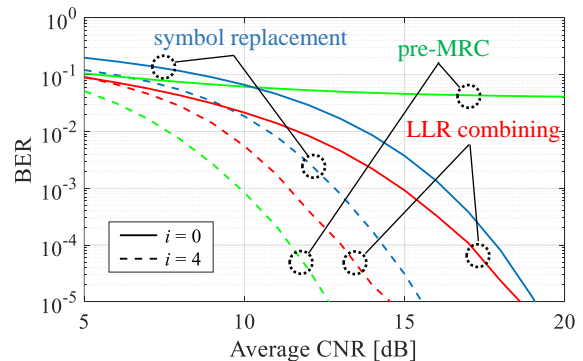


図 1. BER 特性の比較 (QPSK)

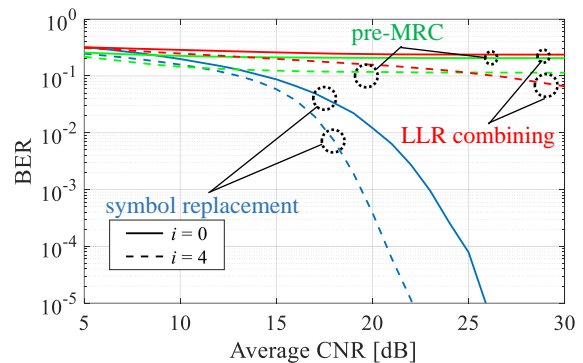


図 2. BER 特性の比較 (16QAM)

図より、QPSK では 3 つの方式とも繰り返し復調を行うことで特性が改善しており、事前 MRC 法が最も良い特性を示している。16QAM では、シンボル入れ替え復調法以外の方法では特性の大幅な改善が見られない。これは初回復調の BER が悪く、干渉シンボルレプリカの精度が悪いためであると考えられる。QPSK で生じなかった理由としては、Gray マッピングを用いた 16QAM では 2 ビットが IQ 軸の振幅の絶対値に対して割り当てられているため、この 2 ビットによりフローア誤りを起こしている。そのため、干渉信号レプリカの減算によって干渉電力を低減できていない。改善のためには誤り訂正符号を利用するか重畳するシンボルを減らすユニタリ行列を用いる方法などが考えられる。

5. まとめ

プリコードデッド OFDM 伝送に対する 3 つの繰り返し復調法の比較を行った。16QAM においては、シンボル入れ替え復調法が優れていることを明らかにした。

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] 伊丹ほか, 映情学誌, vol.51, no.9, pp.1468-1475, 1997.
- [2] 堀居ほか, 映情学誌, vol.62, no.5, pp.755-762, 2008.
- [3] 佐藤, 信学技法, WBS2016-7, pp.35-40, 2016.
- [4] 佐藤, 信学技法, WBS2018-75, pp.267-272, 2018.