

# MIMO-SC-FDE における高速フェージング補償に関する研究

佐竹 孝太 (指導教員：岡本 英二)  
名古屋工業大学 電気電子工学科

## 1. はじめに

移動体無線通信においては伝搬路(チャネル)環境が刻々と変化するため一般に高品質伝送を行うことは容易ではない。近年では高速通信の需要が高まっているため、チャネル推定、補償の役割は重要となっており、高精度な補償が求められている。これまでにフェージング変動を推定し補償する手法として、2次元FFTを用いたフェージング補償方式[1]を検討してきた。一方、マルチパスチャネル通信路での伝送に強い通信方式として、OFDM(orthogonal frequency division multiplexing)が挙げられる。しかし、OFDMはMC(multi carrier)伝送であるため、PAPR(peak to average power ratio)が大きいという欠点がある。そのため、OFDMの原理を用いたSC(single carrier)伝送の等化手法であるSC-FDE(single carrier-frequency domain equalization)が提案されており、高精度なチャネル推定手法の研究が盛んになされている。また、今後のシステムでは送受信側とも複数のアンテナを用いるMIMO(multi input multi output)通信が適用されることが確実視されている。そこで本研究では、2次元FFTを用いたフェージング補償方式をMIMO-SC伝送方式に適用する手法を提案し、伝送効率の向上を図る。そして、計算機シミュレーションにより特性を評価する。

## 2. MIMO-SC パイロットシンボル挿入手法

2×2MIMO通信について考える。各送信アンテナのパイロット信号を $s_1, s_2$ 、各アンテナ間のチャネルを $h_{11}, h_{12}, h_{21}, h_{22}$ 、雑音を $n_1, n_2$ とすると、受信信号 $r_1, r_2$ は

$$\begin{aligned} r_1 &= h_{11}s_1 + h_{12}s_2 + n_1 \\ r_2 &= h_{21}s_1 + h_{22}s_2 + n_2 \end{aligned} \quad (1)$$

のように、2種類の送信信号が複合された状態になる。

図1に提案手法のフレーム構成を示す。パイロットシンボルが挿入されるフレームにおける情報系列の配置方法については[1]の手法を用いる。 $N_f$ フレームごとに1フレーム内に $N_f$ の間隔でパイロットシンボルとnullを交互に挿入する[2]。ここでnullとは0系列のパイロットシンボルである。

次に、フェージング変動量算出の原理について説明する。図1において、送信アンテナ1でパイロットシンボルの部分は送信アンテナ2ではnull、つまり $s_2=0$ であるため、式(1)は

$$\begin{aligned} r_1 &= h_{11}s_1 + n_1 \\ r_2 &= h_{21}s_1 + n_2 \end{aligned} \quad (2)$$

となり、受信信号は1種類の送信信号と雑音の影響しか受けない。よってパイロット信号 $s_1$ で式(2)の除算を行うことにより $h_{11}, h_{21}$ のフェージング変動量を求めることができる。同様に、送信アンテナ2でパイロットシンボルの部分は送信アンテナ1ではnullであるため、式(1)は

$$\begin{aligned} r_1 &= h_{12}s_2 + n_1 \\ r_2 &= h_{22}s_2 + n_2 \end{aligned} \quad (3)$$

となり、パイロット信号 $s_2$ で式(3)の除算を行うことにより $h_{12}, h_{22}$ のフェージング変動量を求めることができる。

## 3. 計算機シミュレーション

計算機シミュレーションにより提案手法の評価を行った。シミュレーション条件を表1、結果を図2に示す。結果より提案手法は、アンテナ数の増加により、アンテナ間干渉が大きくなり、雑音強調が起きるため、SISO(single input single output)の場合よりもBER特性は劣化する。しかし、SISOと比べれば伝送速度は2倍であり、劣化を抑えつつ伝送効率を向上できることが確認できた。

## 4. むすび

本研究では、2次元FFTを用いたフェージング補償方式をMIMO-SCに適用した手法を提案した。計算機シミュレー

ションにより、提案手法でフェージング変動を高精度に補償することができ、MIMO-SCに適用することで伝送効率を向上させることができることを示した。今後の課題として、さらなるフェージング推定精度の向上、スキッタードパイロットシンボルへの適用等が考えられる。

## 参考文献

- [1]元川大路, "SC-FDEにおける高精度チャネル等化手法に関する研究", 名古屋工業大学, 卒業論文, 2008.  
[2]林寛之 他, "MIMO-OFDMにおけるFFTを用いた高速フェージング推定に関する一検討", 電子情報通信学会ソサイエティ大会, Mar. 2009.

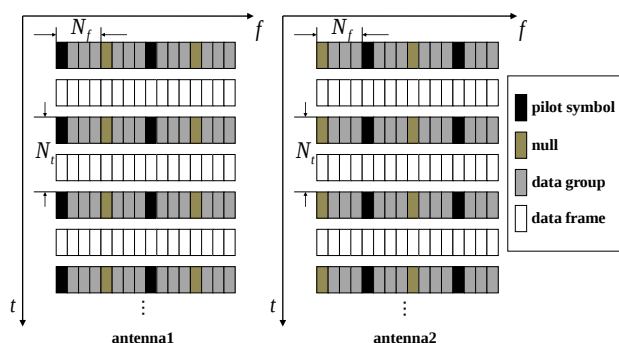


図1 提案手法のフレーム構成

表1 シミュレーション条件

|                           |                |                                    |
|---------------------------|----------------|------------------------------------|
| 通信方式                      |                | 2×2MIMO-SC-FDE                     |
| 変調方式                      |                | QPSK                               |
| FFT ボイント数 $N$             |                | 64                                 |
| 1 シンボル時間                  |                | $T_s$                              |
| CP 長                      |                | $10T_s$                            |
| パイロットシンボル挿入間隔             | 周波数方向<br>$N_f$ | 2                                  |
|                           | 時間方向<br>$N_t$  | 4                                  |
| 時間方向一括補償フレーム数<br>$N_{pr}$ |                | 4                                  |
| 通信路                       |                | 独立 10 パス 3dB 指数減衰<br>レイリーフェージング通信路 |
| フェージング変動速度 $f_d T_s$      |                | 0.0001、0.0005、0.001                |
| 遅延時間                      |                | $T_s$ 、最大遅延：9 $T_s$                |
| 信号分離                      |                | Nulling(SINR-MMSE 基準)              |

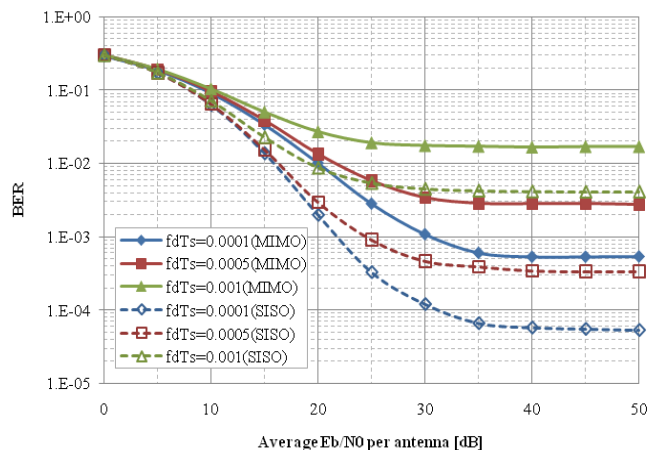


図2  $E_b/N_0$  に対する BER 特性