

# 多値拡散符号による雑音強調抑圧における 伝搬路推定誤差の影響

A-9 Influence of Channel Estimation Error on Noise Enhancement Suppression

with Multilevel Spreading Codes

元木 達也<sup>†</sup> 小林 岳彦<sup>†</sup>

Tatsuya MOTOKI<sup>†</sup> Takehiko KOBAYASHI<sup>†</sup>

<sup>†</sup> 東京電機大学 ワイヤレスシステム研究室

<sup>†</sup> Wireless Systems Laboratory, Tokyo Denki University

## 1. はじめに

当研究室では、多重波歪みを補償する技術である ZF 等化を DS-CDMA(Direct Sequence Code Division Multiple Access)に適用した場合において、問題点である雑音強調を抑圧するためのシステムおよび多値拡散符号生成法を提案している[1]。本報告では提案システムにおいて伝搬路推定誤差が生じた場合の影響を平均 BER(Bit Error Rate)を算出するシミュレーションによって示す。

## 2. 雑音強調抑圧法

DS-CDMA の受信信号 $\mathbf{r}$ は次のように表現できる。

$$\mathbf{r} = \mathbf{H}\mathbf{C}^T\mathbf{d}^T + \mathbf{n} \quad (1)$$

$\mathbf{H}$ は伝搬路行列で要素はチャンネルインパルス応答、 $\mathbf{C}$ は拡散符号行列、 $\mathbf{d}$ は対角要素がデータシンボル系列である対角行列、 $\mathbf{n}$ は白色ガウス雑音を表す。ZF 等化は受信信号 $\mathbf{r}$ に伝搬路行列の擬似逆行列 $\mathbf{H}^+$ を乗算することで行うが、伝搬路行列の行列式 $\det(\mathbf{H})$ が小さい場合に雑音を強調してしまう。そこで $\mathbf{C}^T$ を一種の MIMO 伝搬路とみなし、 $(\mathbf{C}^T)^+\mathbf{H}^+$ を重みとして ZF 等化を行うと、

$$\begin{aligned} \mathbf{r}_{ZF} &= (\mathbf{C}^T)^+\mathbf{H}^+\mathbf{H}\mathbf{C}^T\mathbf{d}^T + (\mathbf{C}^T)^+\mathbf{H}^+\mathbf{n} \\ &= \mathbf{d} + (\mathbf{C}^T)^+\mathbf{H}^+\mathbf{n} \end{aligned} \quad (2)$$

となる。このとき、行列式 $\det(\mathbf{C})$ を大きく制御した拡散符号を用いれば雑音強調を抑圧できる。以下に多値拡散符号の生成法を示す。まず拡散符号行列 $\mathbf{C}$ を特異値分解する。

$$\mathbf{C} = \mathbf{V}\mathbf{\Sigma}\mathbf{U}^H \quad (3)$$

$\mathbf{V}$ と $\mathbf{U}$ はユニタリ行列、 $\mathbf{\Sigma}$ は対角行列を表す。 $\mathbf{\Sigma}$ の対角要素である特異値を全て最大値に置き換えた行列を $\mathbf{\Sigma}'$ とし、特異値分解と逆の操作を行う。この操作により、行列式を大きく制御した多値拡散符号行列 $\mathbf{C}' = \mathbf{V}\mathbf{\Sigma}'\mathbf{U}^H$ が生成できる。

## 3. シミュレーション

平均 BER を算出するシミュレーションにより、提案システムの伝搬路推定誤差の影響を調べる。伝搬路は 10 パス等電力遅延プロファイルを有する周波数選択性フェージングチャンネルを仮定する。理想的に推定したチャンネルインパルス応答にゼロ平均、分散 $2\sigma_{error}^2$ の複素ガウス変数を加えることで推定誤差が生じたものとする。従来システムは拡散符号に Walsh 符号を使用し、提案システムはカオス符号から生成した多値拡散符号を使用する。変調方式は BPSK、拡散率は 32、ガードインターバル長は 16、パス間隔は 1 とし、FFT ポイント数は拡散率と等しい 32 とする。

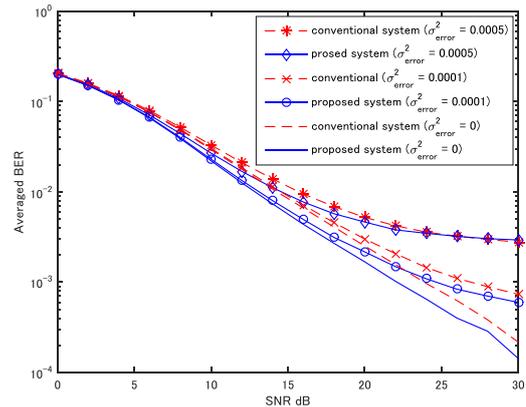


図 1 SNR 対平均 BER 特性

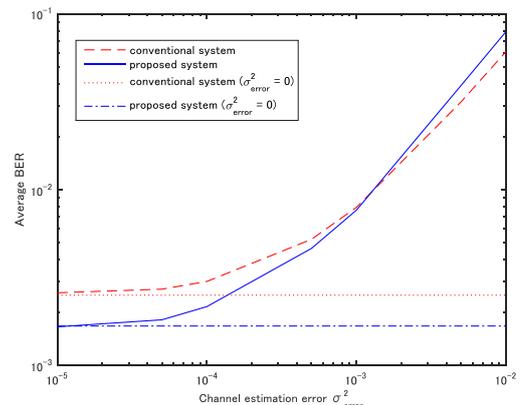


図 2 伝搬路推定誤差の影響

$\sigma_{error}^2$ を変化させた場合の SNR 対平均 BER 特性を図 1、横軸が $\sigma_{error}^2$ で縦軸が平均 BER のグラフ (SNR は 20 dB) を図 2 に示す。 $\sigma_{error}^2 = 0$  (推定誤差なし) の場合、多値拡散符号の効果より、従来システムと比較して提案システムの平均 BER 特性が優れていることが分かる。 $\sigma_{error}^2 = 0.0001$  の場合、SNR の高い領域において BER 特性は劣化するが、両システムを比較すると提案システムが有効であることが分かる。 $\sigma_{error}^2 = 0.0005$  の場合では両システムの BER 特性がほぼ同じ結果になった。図 2 より、BER 特性は推定誤差の影響によって劣化するが、 $\sigma_{error}^2 = 0.001$  程度までは提案システムが有効であることを確認した。

参考文献

[1] 宝柳敬仁, 小林岳彦, “ZF-FDE における雑音強調を抑圧するための多値拡散符号”, 信学技報, WBS2014-49, pp. 53-57, Dec. 2014.