

SC-FDMA を用いるアナログ信号伝送に関する一検討

A study on analog signal transmission using SC-FDMA

ヴォ タンハイ¹ 熊谷 慎也² 小原 辰徳² 安達 文幸²
 Thanh Hai Vo Shinya Kumagai Tatsunori Obara Fumiuyuki Adachi

¹東北大学 工学部 情報知能システム総合学科 ²東北大学 大学院工学研究科 通信工学専攻

¹Department of Information and Intelligent Systems, School of Engineering, Tohoku University

²Department of Communications Engineering, Graduate School of Engineering, Tohoku University

1. まえがき

従来のアナログ伝送では信号の帯域幅が狭いため、チャネル利得が落ち込むと伝送品質が大幅に劣化してしまう。シングルキャリア周波数領域等化(SC-FDE)[1]をアナログ信号伝送に応用することで、その伝送品質の向上を期待できる。本稿では、シングルキャリア周波数分割多元接続(SC-FDMA)[2]をアナログ信号伝送に応用したときの通信品質改善効果を計算機シミュレーションにより明らかにしている。

2. SC-FDMA を用いるアナログ信号伝送系

SC-FDMA を用いるアナログ信号系を図1に示す。送信機では、低域通過フィルタ(LPF)により帯域制限された連続時間アナログ信号をナイキスト間隔でサンプリングした後、 M 個のサンプルから成るブロックに分割する。各 M サンプルブロック $\{s(n); n=0 \sim M-1\}$ に M ポイント高速フーリエ変換(FFT)を適用し、周波数領域信号 $\{S(k); k=0 \sim M-1\}$ へ変換する。得られた M 個の周波数成分をスペクトル整形フィルタ通過後、 N_c サブキャリアから成る帯域内にマッピングし、 N_c ポイント逆 FFT(IFFT)によって時間領域信号に変換する。その後、 N_c サンプルブロックの後尾 N_g サンプルをサイクリックプレフィックス(CP)としてブロック先頭のガードインターバル(GI)に付加して送信する。

本稿では、マッピング法として図2に示すような、送信信号の周波数成分を連続する M 個のサブキャリアに配置する局所配置と、 $GAP=N_c/M$ サブキャリア間隔で配置する分散配置する2つのマッピング法を考える[2]。受信機では受信信号ブロックから CP を除去した後、 N_c ポイント FFT を適用して周波数領域信号に変換し、デマッピングを行う。デマッピング後の周波数領域受信信号 $\{R(k); k=0 \sim M-1\}$ は次式で表される。

$$R(k) = \sqrt{2S}H(k)S(k) + N(k) \quad (1)$$

ここで、 S は平均受信電力、 $H(k)$ はチャネル利得、 $N(k)$ は雑音成分である。得られた周波数領域信号 $\{R(k); k=0 \sim M-1\}$ に次式のように FDE を適用する。

$$\hat{S}(k) = W(k)R(k) = \sqrt{2SW(k)}H(k)S(k) + W(k)N(k) \quad (2)$$

ここで $W(k)$ は FDE 重みであり、本稿では次式のように Zero-forcing(ZF)規範、最大比合成(MRC)規範、最小平均二乗誤差(MMSE)規範に基づく FDE 重みを考える。

$$W(k) = \begin{cases} 1/H(k) & , \text{ZF-FDE} \\ H^*(k) & , \text{MRC-FDE} \\ H^*(k)/\left(|H(k)|^2 + (SNR)^{-1}\right) & , \text{MMSE-FDE} \end{cases} \quad (3)$$

ここで、 SNR は信号対雑音電力比である。FDE 後の周波数領域信号 $\{\hat{S}(k); k=0 \sim M-1\}$ を M ポイント IFFT により時間領域信号へ変換し、その実部を LPF に入力してアナログ信号を再生する。なお、チャネル変動による再生アナログ信号の秦副変動を抑圧するため受信平均電力に基づく自動利得制御 (AGC) を用いた。

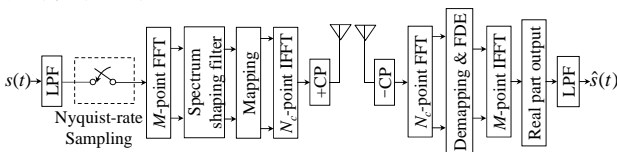


図1. SC-FDMA を用いるアナログ信号伝送系

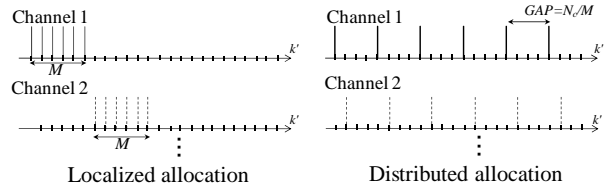


図2. マッピング法

3. 計算機シミュレーション

送信信号として周波数 1kHz の正弦波を仮定する。 $M=64$, $N_c=8192$, $N_g=16$ 及びサンプリング周波数を 8kHz とし、スペクトル整形フィルタとして簡単な矩形フィルタを用いている。サブキャリア間隔は 125Hz となる。一様電力遅延プロファイルを有する $L=16$ パスからなる周波数選択性ブロックレイリーフェージングチャネルを仮定する。図3に正規化 MSE(NMSE)特性を示す。NMSE は次式で定義される。

$$NMSE = \frac{\sum_{n=0}^{N-1} |\tilde{s}(n) - s(n)|^2}{\sum_{n=0}^{N-1} s^2(n)} \quad (4)$$

但し、 N は総サンプル数、 $\tilde{s}(n)$ は復調信号の第 n サンプルである。MMSE-FDE では、分散配置を適用することより大きな周波数ダイバーシチが得られる。図3より、SC-FDMA を用いるアナログ伝送では、従来のアナログ伝送よりも優れた NMSE 特性が得られることが分かる。

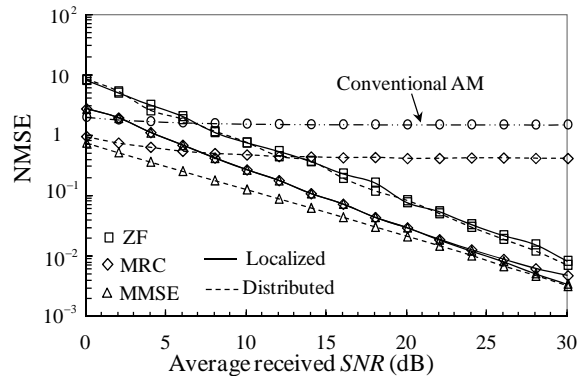


図3. NMSE 特性

4. まとめ

本稿では、SC-FDMA を用いるアナログ信号伝送を提案した。分散配置および MMSE-FDE を用いることで従来の AM 伝送より大幅に伝送品質を改善できることを計算機シミュレーション結果により明らかにした。

参考文献

[1] F. Adachi, H. Tomeba and K. Takeda, IEICE Trans. Commun., Vol.E92-B, No.5 May 2009. [2] H. G. Myung, 15th European Signal Processing Conference 2007, Poznan, Poland, Sep. 2007.