

# 拡散シングルキャリア・ブロックマルチアクセス

## Spread Single-carrier Block Multi-access

安達文幸  
Fumiyuki Adachi

東北大学 大学院工学研究科 電気・通信工学専攻  
Dept. of Electrical and Communication Eng., Graduate School of Eng., Tohoku University

### 1. まえがき

移動通信では、限られた無線帯域を有効に利用するため同一周波数を地理的に離れた場所で再利用しなければならないので、同一周波干渉が伝送特性の限界を与える。3G LTE では、各ユーザの送信ブロックを離散フーリエ変換 (DFT) により直交周波数分解し、それらをお互いに重ならないように広い帯域にマッピングして送信するシングルキャリア周波数分割マルチアクセス (SC-FDMA) [1],[2] が上りリンクに採用されている。広帯域無線チャンネルは周波数選択性の強いチャンネルになるから周波数領域等化 (FDE) [3,4] が必須になる。ところで、拡散を用いないとき、隣接セルから大きなマルチアクセス干渉 (MAI) を受けるので協調送信 (CoMP) が必要になる。一方、拡散を用いれば MAI を低減でき、シングル周波数繰り返しを行える。MAI には自セル MAI と隣接セル MAI とがあるが、もし、図 1 のように自セル MAI を完全に除去 (セル内直交化) できれば、隣接セル MAI 電力が自セル MAI の 0.7 程度のとき、ほぼ 2.4 倍にリンク容量を増大できる。本稿では、拡散に立ち戻り、それを基にした SC マルチアクセスの可能性について述べる。

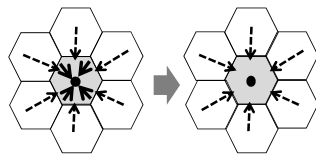


図1 自セルMAIと隣接セルMAI

### 2. 拡散 SC-FDMA

これまで提案された 4 つの SC-FDMA ファミリーの相互関係を図 2 に示す。チップ繰り返し DS-CDMA [5] では、インターリーブ FDMA (IFDMA) [6] の原理を基本にして拡散チップブロック繰り返しによる櫛の歯状スペクトルの生成と周波数オフセットとにより拡散信号を周波数領域で直交配置している。拡散率  $SF=1$  のとき 3G LTE で採用されている分散 SC-FDMA になる。一方、隣接セル MAI を低減するための拡散と DFT 直交周波数分解・マッピングとを組み合わせ、FDE を用いたのが拡散 SC-FDMA である [7,8]。

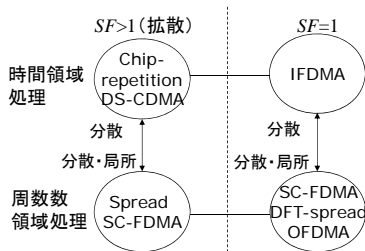


図2 4つのFDMAの相互関係

拡散 SC-FDMA の送信系を図 3 に示す。拡散 SC-FDMA では送信データシンボルを拡散率  $SF_f$  で拡散した後、DFT

直交周波数分解を行って、 $SF_f$  倍広い帯域へマッピングして送信する。総帯域幅つまり総拡散率  $SF (=SF_f \times SF_r)$  が一定のもとで基地局当たりのユーザ数  $U$  に応じて拡散率の組み合わせを適応的に変えることができる。図 4 にターボ符号化ビット誤り率 (BER) 特性を示す。最適な  $SF_f$  と  $SF_r$  の組み合わせは  $(SF_r, SF_f) = (SF/U, U)$  である。

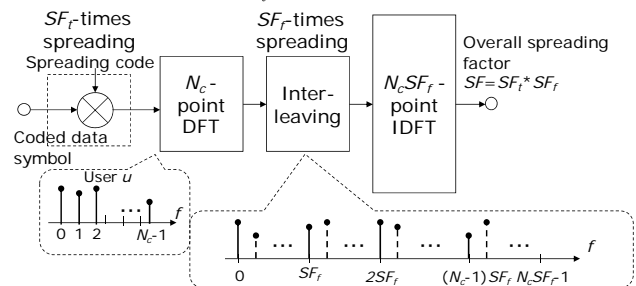


図3 拡散 SC-FDMA

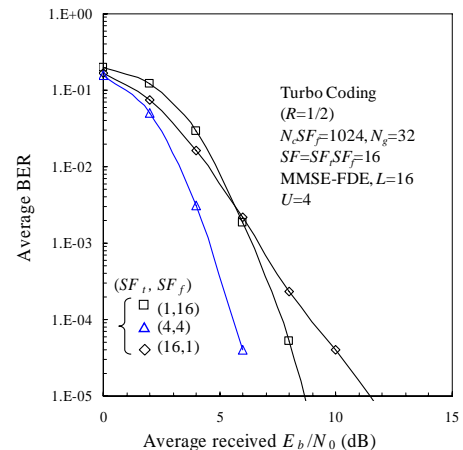


図4 拡散 SC-FDMA の BER 特性

### 3. 2次元ブロック拡散 CDMA

FDMA を用いなくともセル内の直交化ができる。ユーザ間はチップ非同期であるが、FDE のために挿入されるサイクリックプレフィックス (CP) の長さ程度のレベルで準同期させることは可能である。この考えに基づいたのが、送信データシンボルを直交拡散符号により 2 次元 (チップ時間×ブロック時間) 拡散する 2 次元ブロック拡散 CDMA [9] である。送信系を図 5 に示す。ここでは、用語「DS-CDMA」の代わりに「SC-CDMA」を用いている。

ブロック長は FDE ブロック長に等しい。ただし、チャンネルが 2 次元ブロック内で変動するようになると、セル内直交は崩れてしまう。チップ領域拡散率を  $SF_c$ 、ブロック領域拡散率を  $SF_b$  とすると総拡散率  $SF = SF_c \times SF_b$  であり、BER 特性を最良にする拡散率の最適組み合わせは、

$(SF_c, SF_b) = (SF/U, U)$ である. このときの BER 特性を図 6 に示す.

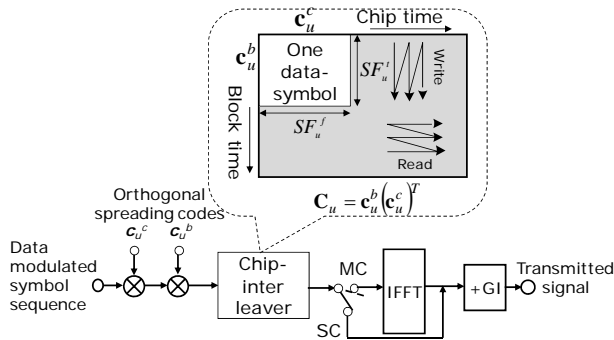


図 5 2次元ブロック拡散 CDMA

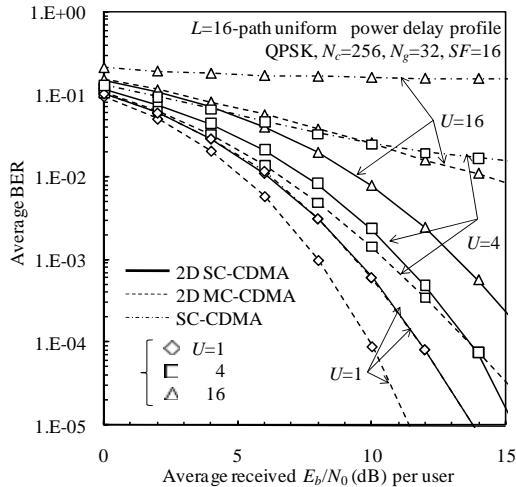


図 6 2次元ブロック拡散 CDMA の BER 特性

5. 巡回シフト SC-CDMA

FDE ブロック長 (ブロック長は少なくとも CP 長の 2 倍以上) が遅延時間の広がりよりも長いことを利用して, 図 7 のよう

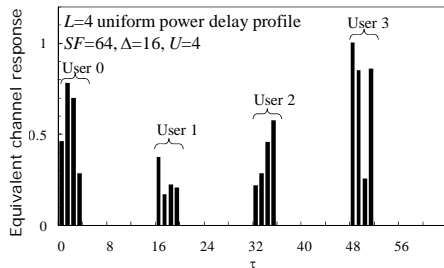


図 7 遅延時間軸上でのユーザ多重

にユーザを遅延時間軸上に多重するのが巡回シフト SC-CDMA である[10]. 送信系を図 8 に示す (「u」はユーザ番号). 同じ拡散符号  $\{c(t); t=0 \sim SF-1\}$  を複数ユーザが共有し, 各ユーザには固有の巡回シフトが与えられる. MMSE-FDE, 逆拡散, ユーザ分離を行ったときの BER 特性を図 9 に示す.

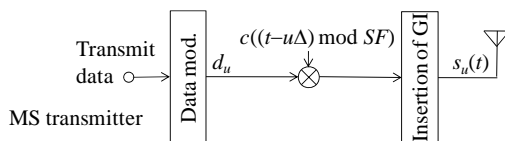


図 8 巡回シフト SC-CDMA

6. むすび

本稿では, 拡散により隣接セル MAI を抑圧しつつ, 自セルユーザの直交アクセスを可能とする拡散 SC-FDMA, 2次元拡散 CDMA, 巡回シフト SC-CDMA を紹介した. 拡散しないときは隣接セルから大きな MAI を受けることがあるので, 3G LTE で検討している CoMP のような基地局連携が必要になる. 拡散は単純な処理で隣接セル MAI を抑圧できる.

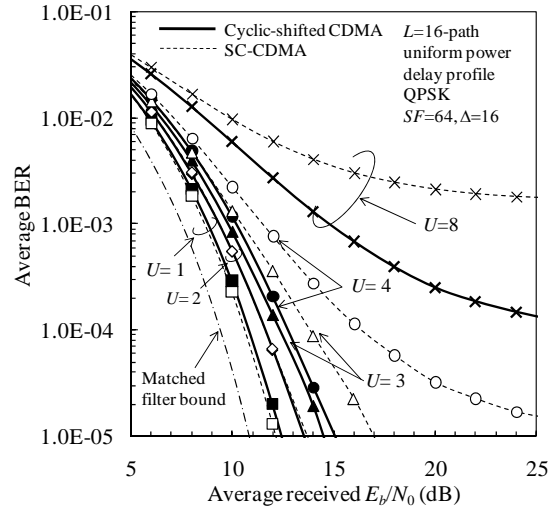


図 9 巡回シフト SC-CDMA の BER 特性

参考文献

- [1] H. G. Myung, J. Lim, and D. J. Goodman, "Single carrier FDMA for uplink wireless transmission," IEEE Vehicular Technology Mag., Vol. 1, pp. 3038, Sept. 2006.
- [2] D. Galda and H. Rohling, "A low-complexity transmitter structure for OFDM-FDMA uplink systems," Proc. IEEE VTC'02-Spring, Birmingham, Alabama, U.S.A., pp. 1737-1741, May 2002.
- [3] D. Falconer, S. L. Ariyavistakul, A. Benyamin-Seeyar, and B. Eidson, "Frequency domain equalization for single-carrier broadband wireless systems," IEEE Commun. Mag., Vol. 40, pp. 58-66, Apr. 2002.
- [4] F. Adachi, T. Sao, and T. Itagaki, "Performance of multicode DS-CDMA using frequency domain equalization in a frequency selective fading channel," IEE Electronics Letters, vol. 39, No.2, pp. 239-241, Jan. 2003.
- [5] Y. Goto, T. Kawamura, H. Atarashi, and M. Sawahashi, "Variable spreading and chip repetition factors (VSCRF)-CDMA in reverse link for broadband wireless access," Proc. IEEE PIMRC2003, pp. 254-259, Sept. 2003.
- [6] M. Schenell, I. Broeck, and U. Sorger, "A promising new wideband multiple-access scheme for future mobile communications systems," Eur. Trans. Telecommun. (ETT), Vol. 10, No. 4, pp. 417-427, July/Aug. 1999.
- [7] K. Takeda and F. Adachi, "Frequency-interleaved CDMA uplink transmission using frequency-domain equalization," Proc. IEEE VTC2005-Fall, Dallas, U.S.A., 26-28 Sept. 2005.
- [8] K. Takeda and F. Adachi, "Frequency-interleaved spread spectrum with MMSE frequency-domain equalization," IEICE Trans. Commun., Vol.E90-B, No.2, pp.260-268, Feb. 2007.
- [9] L. Liu and F. Adachi, "2-dimensional OVFSF spread/chip-interleaved CDMA," IEICE Trans. Commun., Vol. E89-B, No. 12, pp. 3363-3375, Dec. 2006.
- [10] F. Adachi and K. Takeda, "Delay-Time/Code Division Multi-access In a Frequency-Selective Channel," Electronics Letters, Vol. 43, No.18, pp. 984-986, 31 Aug 2007.