

# 送受信協調 SC-ANC 双方向中継における帯域制限フィルタの設計

## Design of Band-Limiting Filter for Transmit/Receive-Cooperative SC-ANC Bi-Directional Relay

宮崎寛之 安達文幸

Hiroyuki MIYAZAKI Fumiyuki ADACHI

東北大学大学院 工学研究科 通信工学専攻

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

### 1. まえがき

筆者らは、ジョイント受信周波数領域等化 (FDE) ・スペクトル合成を用いる送受信協調シングルキャリア (SC) アナログネットワーク符号化 (ANC) 双方向中継について検討している[1]。送受信協調 SC-ANC 双方向中継では、送信信号が端末 (基地局) 送信フィルタ, 中継局受信フィルタ, 中継局送信フィルタおよび基地局 (端末) 受信フィルタの計 4 つの帯域制限フィルタを通過する。そこで本論文では、ジョイント受信 FDE ・スペクトル合成を用いる送受信協調 SC-ANC 双方向中継の送信および受信帯域制限フィルタに 4 乗根自乗余弦フィルタを用いることを提案している。

### 2. ジョイント受信周波数領域等化・スペクトル合成を用いる送受信協調 SC-ANC 双方向中継

ジョイント受信 FDE ・スペクトル合成を用いる送受信協調 SC-ANC 双方向中継における端末, 中継局および基地局の動作と送受信機構成を図 1 に示す。端末および基地局は 1 本, 中継局は  $N_R$  本のアンテナを搭載するものと仮定している。

端末および基地局送信機では,  $N_c$  シンボルからなる送信信号ブロックにサイクリックプレフィックス (CP) を付加した後, 帯域制限フィルタを適用する。そして第 1 タイムスロットにおいて, 端末および基地局が同時に中継局に信号を送信する。中継局では, 受信信号に帯域制限フィルタを適用した後, 2 倍オーバーサンプリングを行う。そして 2 倍オーバーサンプリング後の受信信号から CP を除去した後, 送信 FDE を行う。その後, 中継局は送信 FDE 後の時間領域信号に CP を付加し帯域制限フィルタを適用する。そして第 2 タイムスロットにおいて, 送信信号を端末および基地局に同時送信する。端末および基地局受信機では, 受信信号に帯域制限フィルタを適用した後, 2 倍オーバーサンプリングを行う。そして 2 倍オーバーサンプリング後の受信信号から CP を除去した後, 周波数領域にて自身の送信信号成分の除去およびジョイント FDE ・スペクトル合成を行う。最後にスペクトル合成後の受信信号を時間領域信号に変換した後, データ復調を行う。なお, 送信 FDE と受信 FDE はジョイント FDE ・スペクトル合成後の受信信号と送信信号との平均自乗誤差 (MSE) を最小とするように同時に設計する[1]。

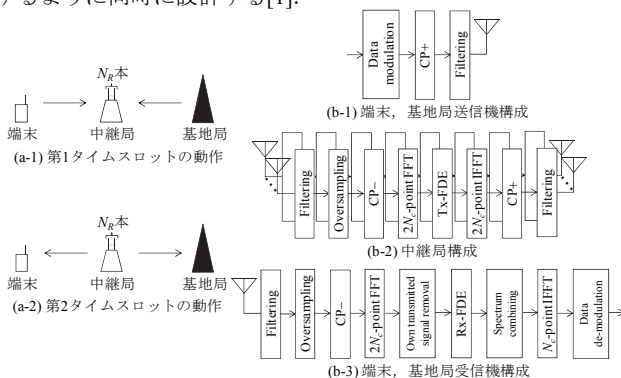


図1 ジョイント受信 FDE ・スペクトル合成を用いる送受信協調 SC-ANC 双方向中継

### 3. 4 乗根自乗余弦フィルタ

帯域制限フィルタとして 4 乗根自乗余弦フィルタを用いる。ロールオフファクタを  $\alpha$  とするとき, 4 乗根自乗余弦フィルタの伝達関数  $\Phi(k); k = -N_c, \dots, N_c - 1$  は次式で与えられる。

$$\Phi(k) = \begin{cases} 1 & 0 \leq \left| \frac{k}{N_c} \right| \leq \frac{1-\alpha}{2} \\ \sqrt{\cos \frac{\pi}{2\alpha} \left( \left| \frac{k}{N_c} \right| - \frac{1-\alpha}{2} \right)} \frac{1-\alpha}{2} \leq \left| \frac{k}{N_c} \right| \leq \frac{1+\alpha}{2} \\ 0 & \frac{1+\alpha}{2} \leq \left| \frac{k}{N_c} \right| \end{cases} \quad (1)$$

上式で示されるように, 4 乗根自乗余弦フィルタは伝達関数を 4 乗したとき, すなわち帯域制限フィルタを 4 回通過したとき, 自乗余弦フィルタ[2]の伝達関数と一致する。

### 4. 計算機シミュレーション

QPSK データ変調を仮定しており, FFT ブロックサイズおよび CP 長はそれぞれ  $N_c=128$ ,  $N_g=16$  とする。一様電力遅延プロファイルを有する  $L=16$  パス周波数選択性ブロックレイリーフェージングを仮定しており, チャネル推定は理想的に行えるものと仮定している。また, 中継局は  $N_R=2$  本のアンテナを搭載するものとしている。端末-中継局間距離および基地局-中継局間距離は等しいものとする。また, 総送信電力一定という条件のもと評価を行っており, 総送信電力の 1/2 を中継局に, 1/4 を端末および基地局に配分するものとする。

4 乗根自乗余弦フィルタをジョイント受信 FDE ・スペクトル合成を用いる送受信協調 SC-ANC 双方向中継に適用した場合の正規化総送信 SNR 対平均 BER 特性を図 2 に示す。ここで, 正規化総送信 SNR とは, 総送信電力で基地局から送信したとき, 端末-基地局間距離の中間点での受信 SNR が  $\Gamma$  (dB) となるような総送信電力対雑音電力比を表す。また比較のため, ルート自乗余弦フィルタ[2]を用いた場合の特性も図 2 に示す。図 2 より, ルート自乗余弦フィルタを用いた場合は, ロールオフファクタが大きくなるにつれて平均 BER 特性が劣化することが分かる。これは帯域制限フィルタに起因する符号間干渉およびブロック間干渉によるものである。一方, 4 乗根自乗余弦フィルタを用いる場合, ロールオフファクタを大きくするにつれて平均 BER 特性を改善できることが分かる。これは, ロールオフファクタを大きくするにつれて帯域幅が広がり, より大きな周波数ダイバーシチ利得を獲得できるためである。

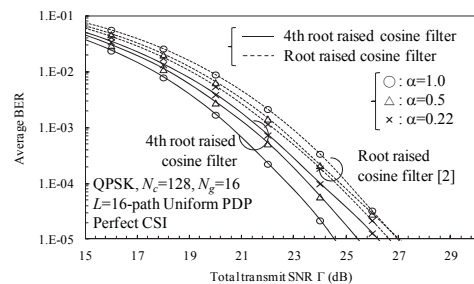


図2 平均 BER 特性

### 5. まとめ

本論文ではジョイント受信 FDE ・スペクトル合成を用いる送受信協調 SC-ANC 双方向中継における帯域制限フィルタについて検討した。計算機シミュレーションにより, 4 乗根自乗余弦フィルタを用いれば, ロールオフファクタを大きくするにつれて平均 BER 特性を改善できることを明らかにした。

[1] 宮崎ら, 信学技報, 2015 年 3 月発表予定。[2] Y. Akaiwa, *Introduction to digital mobile communications*, Wiley, Newyork, 1997. [3] H. Miyazaki et al., *IEICE Trans. Commun.*, vol. E96-B, no. 12, pp. 3153-3162, Dec. 2013. [4] T. Obara et al., *IEICE Trans. Commun.*, vol. E94-B, no. 5, pp. 1366-1375, May. 2011.