

多元接続干渉抑圧フィルタを用いるグラントフリー-NOMA の評価

Evaluation of Grant-Free NOMA with Multiple Access Interference Suppression Filter

大下 真平

Shimpei Ohshita

宮嶋 照行

Teruyuki Miyajima

茨城大学大学院理工学研究科

Graduate School of Science and Engineering, Ibaraki University

1 まえがき

5G では多数の IoT デバイスの無線接続を可能にする技術が求められている。その実現技術の一つとして GF-NOMA (grant free non-orthogonal multiple access) が注目されている。GF-NOMA の問題は多元接続干渉 (multiple access interference: MAI) による性能劣化である。スパースな拡散符号を用いた LDS-OFDM (low density signature orthogonal frequency division multiplexing) はアップリンク GF-NOMA に適した方式であり [1], 我々は LDS-OFDM のための線形時間領域フィルタを用いたブラインド多元接続干渉抑圧法を提案した [2]。本稿では、アクティブユーザ数の本干渉抑圧法の性能への影響をシミュレーションにより評価する。

2 時間領域フィルタを用いる LDS-OFDM

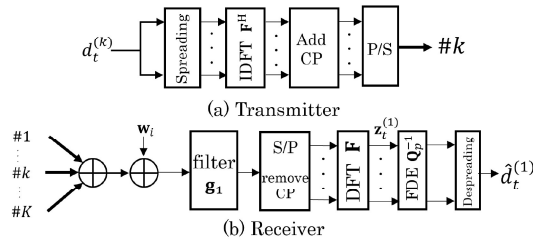


図1 システムモデル。

図1のアップリンク LDS-OFDM システムモデルを考える。LDS-OFDM はスパースな拡散符号 $\{s_k\}$ を用いる MC-CDMA と見なせる。 K 局のユーザのうち少数のみが同時にアクティブとなると仮定する。アクティブユーザは拡散符号 $\{s_k\}$ と N 個のサブキャリアを用いてデータ $d_t^{(k)}$ を送信する。基地局は希望ユーザ ($k=1$) がアクティブであることを知っているが、他ユーザのアクティビティと全ユーザの通信路状態情報は未知とする。基地局は D 本のアンテナ持ち、線形時間領域フィルタにより多元接続干渉抑圧を行う。我々は、周波数領域等化器 (FDE) 出力における希望ユーザに直交する成分を最小にすることで MAI の抑圧を行う方法を提案した [2]。具体的には、目標通信路 \mathbf{Q}_p を与え、評価関数 $J(\mathbf{g}_1) = E \left[\|\mathbf{S}_1^T \mathbf{Q}_p^{-1} \mathbf{z}_t^{(1)}\|^2 \right]$ を最小とするようにフィルタのインパルス応答ベクトル \mathbf{g}_1 を定める。ここで、 \mathbf{S}_1 は希望ユーザの拡散符号に直交する $N \times (N-1)$ 行列、 $\mathbf{z}_t^{(1)}$ は DFT 出力である。 J を最小にする \mathbf{g}_1 は半正定値計画緩和により求められる。

以下では、雑音が無視できる場合、評価関数を最小とすることで MAI が抑圧可能となる条件を示す。

命題: 雑音が無視できると仮定する。制約条件 $E \left[|d_t^{(1)}|^2 \right] \neq 0$ のもとで、 $(N-1) \times (M+L)$ の行列 $\Sigma^{(1,k)}$ が $k \neq 1$ で列フルランク行列なら、評価関数を最小化することで MAI の抑圧が可能である。

証明の概要: DFT 出力は $\mathbf{z}_t^{(1)} = \mathbf{F} \sum_{k=1}^K \mathbf{C}^{(1,k)} \mathbf{F}^H \mathbf{s}^{(k)} d_t^{(k)}$ と書ける。ここで $\mathbf{C}^{(1,k)}$ は第 k ユーザの合成通信路を表す巡回行列。この時、評価関数は $J(\mathbf{g}_1) = \sum_{k=1}^K \left(\|\mathbf{S}_1^T \mathbf{Q}_p^{-1} \mathbf{F} \mathbf{C}^{(1,k)} \mathbf{F}^H \mathbf{s}^{(k)}\|^2 \right)$ と書き直される。 $\Sigma^{(1,k)} \mathbf{c}^{(1,k)} = \mathbf{S}_1^T \mathbf{Q}_p^{-1} \mathbf{F} \mathbf{C}^{(1,k)} \mathbf{F}^H \mathbf{s}^{(k)}$ と置くと、 $k \neq 1$ について $\Sigma^{(1,k)}$ が列フルランクなら、評価関数が最小の時に $\mathbf{c}^{(1,k)} = 0$ となる。ここで、 $\Psi^{(1)} = \mathbf{S}_1^T \mathbf{Q}_p^{-1} \mathbf{F}$, $\hat{\mathbf{s}}^{(k)} = \mathbf{F}^H \mathbf{s}^{(k)}$, \mathbf{F} は N 点 DFT 行列、 $\mathbf{c}^{(1,k)}$ は第 k ユーザの合成通信路インパルス応答である。 □

$\Sigma^{(1,k)}$ ($k \neq 1$) が列フルランクとなるように、行列 \mathbf{S}_1 , \mathbf{Q}_p と各ユーザの拡散符号を決めることで、アクティビティと通信路状態情報を利用することなく時間領域フィルタにより MAI の抑圧が可能となる。

3 シミュレーション結果

サブキャリア数 $N = 16$, CP 長 $P = 4$, 通信路次数 $M = 1$, フィルタ長 $L = 3$, アンテナ数 $D = 2K$, 相関行列の算出に用いるブロック数 $B = 100$, \mathbf{S}_1 はグラムシュミットの直交化により求め、 \mathbf{Q}_p は単位行列とした。希望ユーザを固定し、他のユーザをランダムに選んだ。受信 SNR を 10 dB に固定し、アクティブユーザ数を変化させた時のフィルタ出力における SINR を図2に示す。フィルタを用いない場合は MAI が抑圧できないため SINR が非常に低いが、フィルタにより MAI を抑圧することで高い SINR を達成できている。また、提案法ではアクティブユーザ数が増加しても MAI 抑圧ができている。

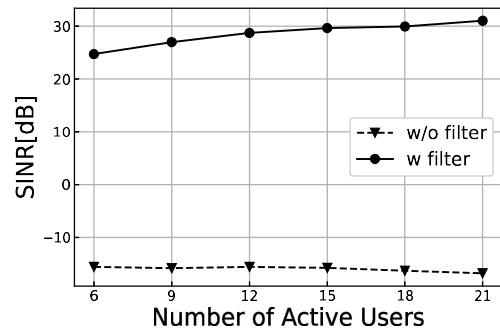


図2 SINR 特性。

4 まとめ

LDS-OFDM のための線形時間領域フィルタによる干渉抑圧法のユーザ数の影響を確認した。

参考文献

- [1] B. Wang, et al., "Compressive sensing...", Proc. IEEE 82nd VTC Fall, Sep. 2015.
- [2] 大下, 宮嶋, "グラントフリー-NOMA のための干渉抑圧フィルタ設計の検討," 信学総大, Mar. 2024.