

全二重マルチユーザシステムにおける干渉抑圧フィルタ設計法の提案

B-5 Proposal of Interference Suppression Filter Design for Full-Duplex Multiuser Systems

天野 匡平
Kyohei Amano宮嶋 照行
Teruyuki Miyajima杉谷 栄規
Yoshiki Sugitani茨城大学工学部
College of Engineering, Ibaraki University

1 まえがき

全二重マルチユーザシステムとは基地局が全二重伝送を行うものであり、半二重システムと比較して最大2倍まで周波数利用効率を改善することができる。しかし同一周波数で同時に送受信を行うため、自己干渉 (SI) と同一チャネル間干渉 (CCI) により性能が劣化する。文献 [1] では SI と CCI を考慮した基地局のビームフォーミング法が提案されているが、周波数非選択性通信路を仮定しており符号間干渉 (ISI) が考慮されていない。本稿では、周波数選択性通信路における全二重マルチユーザシステム基地局のフィルタ設計法を提案し、その有効性をシミュレーションにて確認する。

2 提案法

2.1 システムモデル

システムモデルを図 1 に示す。送信端末 (UMU) と受信端末 (DMU) は 1 本アンテナを持つ。基地局 (BS) は N_r 本の受信アンテナと N_t 本の送信アンテナを持つ。受信フィルタ \mathbf{w} により送信端末-基地局間で発生する ISI を抑圧する。送信フィルタ \mathbf{v} により SI と基地局-受信端末間で発生する ISI を抑圧する。 \mathbf{w}, \mathbf{v} はそれぞれ受信フィルタ、送信フィルタの重み係数を要素とするベクトルであり、フィルタ長は L_U, L_D である。 $\mathbf{H}^{UL}, \mathbf{H}^{DL}, \mathbf{F}, \mathbf{g}$ は上り回線 (UL), 下り回線 (DL) 及び SI, CCI の通信路である。通信路は全て周波数選択性通信路である。各通信路長は M_U, M_D, M_S, M_C である。

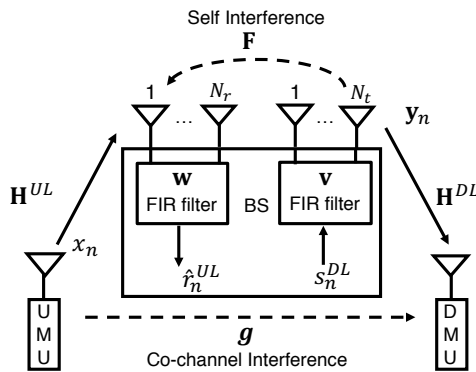


図 1 システムモデル。

x_n, y_n を送信端末、基地局の送信信号、 s_n^{DL} を基地局の送信シンボルとすると基地局の受信フィルタ出力 \hat{r}_n^{UL} と受信端末の受信信号 r_n^{DL} は次式のように表される。

$$\hat{r}_n^{UL} = \mathbf{w}^H \bar{\mathbf{H}}^{UL} \bar{\mathbf{x}}_n + \mathbf{v}^H \bar{\mathbf{F}} \bar{\mathbf{W}}^H \bar{\mathbf{s}}_n^{DL} + \mathbf{w}^H \bar{\mathbf{z}}_n, \quad (1)$$

$$r_n^{DL} = \mathbf{v}^H \mathbf{H}^{DL} \mathbf{s}_n^{DL} + \mathbf{g}^T \mathbf{x}_n^{CCI} + n_n. \quad (2)$$

$\bar{\mathbf{F}}, \bar{\mathbf{H}}^{UL}, \bar{\mathbf{W}}, \bar{\mathbf{x}}_n, \mathbf{x}_n^{CCI}, \bar{\mathbf{s}}_n^{DL}, \mathbf{s}_n^{DL}$ は $\mathbf{F}, \mathbf{H}^{UL}, \mathbf{w}, x_n, s_n^{DL}$ を各通信路長とフィルタ長に拡張したものである。 $\bar{\mathbf{z}}_n, n_n$ は UL, DL の雑音である。式 (1) において右辺第 1 項は希望信号と ISI 成分が含まれた信号を表しており、第 2 項は SI 成分の信号を表している。式 (2) の右辺第 1 項は希望信号

と ISI 成分が含まれた信号を表しており、第 2 項は CCI 成分の信号を表している。

2.2 フィルタ設計法

基地局が通信路状態情報 (CSI) を完全に持つものとする。干渉を抑圧し、UL, DL の SINR を最大にするようなフィルタを受信フィルタ \mathbf{w} 、送信フィルタ \mathbf{v} の順で設計する。送信フィルタ係数 \mathbf{v} は基地局の送信電力 P_{BS} を $P_{BS, max}$ 以下に抑える。基地局の受信フィルタは ISI、送信フィルタは SI と ISI を抑圧する。受信フィルタ係数 \mathbf{w} は次の最適化問題を解くことで求められる。

$$\max_{\mathbf{w}} \text{SINR}_{UL}. \quad (3)$$

式 (3) から求めた \mathbf{w} を用いて \mathbf{v} は次のように求められる。

$$\max_{\mathbf{v}} \text{SINR}_{DL} \text{ s.t. } P_{BS} \leq P_{BS, max}, \bar{\mathbf{W}} \mathbf{F}^H \mathbf{v} = 0. \quad (4)$$

式 (4) の第 2 制約は SI を完全に抑圧する条件であり、ヌル空間への写像を利用する事で常に満足する。式 (3)、式 (4) は一般化固有値問題として解くことができる。

3 シミュレーション

図 2 に基地局送信電力 $P_{BS, max}$ に対する全体スループット特性を示す。比較として半二重通信で最大 SINR を取るようにフィルタ設計を行った場合 (HD) も合わせて載せる。 $N_t = N_r = 5, M_U = M_D = 5, M_S = M_C = 4, L_U = 7, L_D = 10$ で行った。送信端末送信電力は 25dBm とした。また各通信路の伝搬損失を $\sigma_{UL}^2 = \sigma_{DL}^2 = -5\text{dB}, \sigma_{SI}^2 = 0\text{dB}, \sigma_{CCI}^2 = -10\text{dB}$ としている。平均雑音電力は 1mW である。図 2 より、 $P_{BS, max} = 25\text{dBm}$ 以上で提案法 (FD proposed) が HD よりも高いスループットを示している。

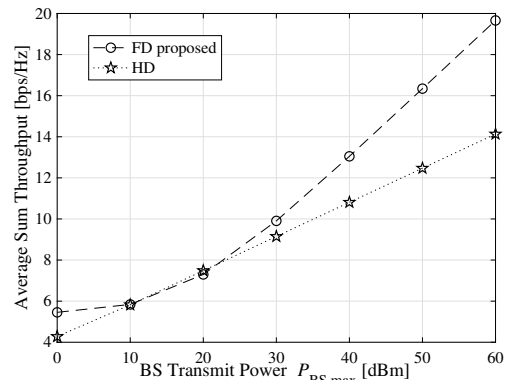


図 2 基地局送信電力対全体スループット。

4 まとめ

干渉を考慮したフィルタ設計法を提案し、有効性をシミュレーションによって確認した。

参考文献

- [1] T.-H. Chang, et al., "Max-min-fairness linear transceiver design for full-duplex multiuser systems," Proc. IEEE SPAWC, pp. 290–294, Sapporo, Jul. 2017.