

Filter-and-Forward リレーにおける 自己干渉を考慮したフィルタ設計法の提案

B-5

Proposal of Filter Design for Filter-and-Forward Relay
with Self-Interference

小柳匠冴
Shogo Koyanagi

宮嶋照行
Teruyuki Miyajima

茨城大学工学部
College of Engineering, Ibaraki University

1 まえがき

リレー伝送は無線ネットワークのカバレッジ拡大に有効な手段の一つである。リレー局で単一周波数による全二重通信を行うとき、自身の送信信号を受信することによる自己干渉 (SI) が問題となる。リレー伝送方式の一つである Amplif-and-Forward(AF) リレーで SI を抑圧する既存の研究 [1] では、SI 抑圧用の回路が必要となり、装置が複雑になる。また、周波数選択性チャンネルに適している Filter-and-Forward (FF) リレー [2] では、SI 抑圧に関する研究はまだ少ない。本稿では、FF リレーの装置を複雑にすることなく SI を抑圧する方法を提案し、シミュレーションによりその動作を確認する。

2 提案法

2.1 システムモデル

今回提案するシステムを図 1 に示す。リレーは複数の受信アンテナ、1つの送信アンテナを持つ。送信機・リレー間、リレー・受信機間、リレー・リレー間のチャンネルはすべて周波数選択性チャンネルであるとする。

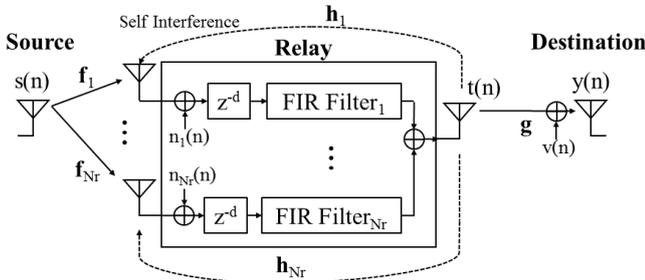


図 1 システムモデル。

ここで、 $s(n)$ は送信信号、 $\mathbf{f}_i = [f_{i,0}, \dots, f_{i,L_f-1}]^T$ 、 $\mathbf{h}_i = [h_{i,0}, \dots, h_{i,L_h-1}]^T$ 、 $\mathbf{g} = [g_0, \dots, g_{L_g-1}]^T$ 、 $i = 1, \dots, N_r$ はそれぞれ、送信機・リレー間、リレー・受信機間のチャンネル、 N_r はリレー受信アンテナ数、 $n_i(n)$ はリレー第 i 受信アンテナでの雑音、 z^{-d} は送信信号と SI 信号との相関をなくすための遅延素子で $d > L_f$ である。 $t(n)$ はリレー送信信号、 $v(n)$ は受信機雑音、 $y(n)$ は受信信号である。 $y(n)$ は次式のように表される。

$$y(n) = \mathbf{w}^H \mathbf{G} \check{\mathbf{F}} \check{\mathbf{s}}(n-d) + \mathbf{w}^H \mathbf{G} \check{\mathbf{H}} \check{\mathbf{t}}(n-d) + \mathbf{w}^H \mathbf{G} \check{\mathbf{I}} \check{\mathbf{n}}(n-d) + v(n). \quad (1)$$

ここで、 \mathbf{w} はフィルタの重み係数 $w_{l,i}$ 、 $l = 0, \dots, L_w - 1$ を要素とするベクトル、 \mathbf{G} 、 $\check{\mathbf{F}}$ 、 $\check{\mathbf{H}}$ はそれぞれ、 \mathbf{g} 、 \mathbf{f}_i 、 \mathbf{h}_i を要素とする行列、 $\check{\mathbf{I}}$ は単位行列と零行列を組み合わせた行列、 $\check{\mathbf{s}}(n) = [s(n), \dots, s(n - L_f - L_w - L_g + 3)]^T$ 、 $\check{\mathbf{t}}(n) = [t(n), \dots, t(n - L_h - L_w - L_g + 3)]^T$ 、 $\check{\mathbf{n}}(n)$ は $\mathbf{n}(n) = [n_1(n), \dots, n_{N_r}(n)]^T$ を並べたベクトルである。

2.2 フィルタの設計法

フィルタの重み係数 \mathbf{w} は、リレー送信電力 P を P_{\max} 以下に抑える、リレー送信信号の SI 成分を 0 にする、という 2 つの制約の下で、受信 SINR を最大化するように決定する。式 (2) を解くことで、最適な \mathbf{w} が求められる。

$$\max_{\mathbf{w}} \text{SINR} \quad \text{s.t.} \quad P \leq P_{\max}, \quad \check{\mathbf{H}}^H \mathbf{w} = \mathbf{0}. \quad (2)$$

ここで、 $P = \mathbf{w}^H (P_s \check{\mathbf{F}} \check{\mathbf{F}}^H + \sigma_n^2 \mathbf{I}) \mathbf{w} = \mathbf{w}^H \mathbf{D} \mathbf{w}$ 、 $\check{\mathbf{F}}$ は \mathbf{f}_i を要素とする行列、 \mathbf{I} は単位行列、 $\sigma_n^2 = E[|n_i(n)|^2]$ 、 $\check{\mathbf{H}}$ は \mathbf{h}_i を要素とする行列である。式 (2) の第 2 制約が SI 成分の除去を表しており、これはヌル空間への写像を用いることで常に満足する。式 (2) 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 に最大リレー送信電力 P_{\max}/σ_n^2 に対する受信 SINR を示す。変調方式は QPSK、リレー受信アンテナ数 $N_r = 5$ 、送信電力 $P_s/\sigma_n^2 = 10$ [dB]、チャンネル長 $L_f = L_g = 5$ 、 $L_h = 2$ で行った。図 2 より提案法において、 $L_w = 1$ (AF に相当) の場合より、 $L_w = 2$ の場合のほうが 5dB ほど SINR が大きい事が分かる。また SI を考慮しない場合と比べて最大で 10dB ほど SINR が改善している。

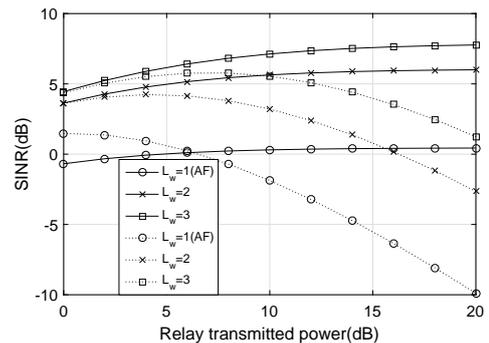


図 2 最大リレー送信電力対 SINR。実線が提案法、破線が SI を考慮しない場合 (式 (2) の第 2 制約無し)。

4 まとめ

自己干渉を考慮した FF リレーのフィルタ設計法を提案し、シミュレーションによってその動作を確認した。

参考文献

- [1] B.Chun, et al., "A spatial-domain joint-nulling method of self-interference in full-duplex relays," *IEEE Commun. Lett.*, vol.16, no.4, pp.436-438, Apr.2012.
- [2] H.Chen, et al., "Filter-and-forward distributed beamforming in relay networks ...," *IEEE Trans. Signal Process.*, vol.58, no.3, pp.1251-1262, Mar.2010.