

周波数選択性通信路における SWIPT システムのための 時空間送信フィルタの提案

A-9 Proposal of Spatio-Temporal Transmit Filtering for SWIPT System
with Frequency Selective Channels

大塚 陽平¹

Yohei Otsuka

宮嶋 照行²

Teruyuki Miyajima

杉谷 栄規²

Yoshiki Sugitani

茨城大学工学部¹

College of Engineering, Ibaraki University

茨城大学大学院理工学研究科²

Graduate School of Science and Engineering, Ibaraki University

1 まえがき

Simultaneous Wireless Information and Power Transfer (SWIPT) システムは無線周波数 (RF) 信号を用いて情報通信と無線電力伝送を同時に行うシステムである。文献 [1] では、SWIPT システムにおける基地局 (BS) のビームフォーミングに関する設計法が提案された。しかし、周波数選択性通信路における符号間干渉 (ISI) は考慮されていない。本研究では、ISI を考慮した SWIPT システムにおける時空間送信フィルタを提案し、その動作をシミュレーションで確認する。

2 システムモデル

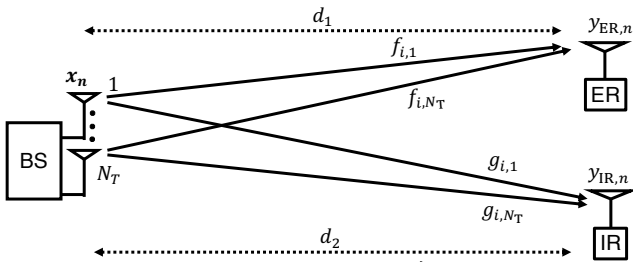


図1 システムモデル。

システムモデルを図1に示す。 N_T 本のアンテナをもつBSから送信されるRF信号 \mathbf{x}_n を、それぞれ単一アンテナを持つエネルギー受信機 (ER) と情報受信機 (IR) で受信するSWIPTシステムを考える。BSで長さ L_w のFIRフィルタを用いることでIRのISIを抑えつつ、ERの収集電力を最大にする。 d_1, d_2 をBS-ER間、BS-IR間の距離とする。BSの j 番目アンテナとERの間の通信路インパルス応答を $f_{i,j}$ 、BSの j 番目アンテナとIRの間の通信路インパルス応答を $g_{i,j}$ を表し、通信路は周波数選択性である。

BSの送信信号は次式で表される。

$$\mathbf{x}_n = \sum_{l=0}^{L_w-1} \mathbf{w}_l^H s_{n-l}. \quad (1)$$

ここで $\mathbf{w}_l = [w_{l,1}, \dots, w_{l,N_T}]^T$ はフィルタ係数であり、 s_n は送信シンボルである。送信電力は $P = E[\|\mathbf{x}_n\|^2]$ で表される。ERでは受信信号 $y_{ER,n}$ を電力 Φ_{ER} に変換する。 $y_{ER,n}$ と Φ_{ER} を次式で表す。

$$y_{ER,n} = \frac{1}{\sqrt{d_1^m}} \sum_{l=0}^{L_f-1} \mathbf{f}_l^T \mathbf{x}_{n-l} + v_n, \quad (2)$$

$$\Phi_{ER} = \eta E[|y_{ER,n}|^2]. \quad (3)$$

ここで m は距離減衰指数、 η は電力変換効率である。一方、IRでの受信信号 y_{IR} は次式で表される。

$$y_{IR,n} = \frac{1}{\sqrt{d_2^m}} \mathbf{w}^H \mathbf{g} s_n + \frac{1}{\sqrt{d_2^m}} \mathbf{w}^H \bar{\mathbf{G}} \bar{s}_n + \eta_n. \quad (4)$$

ここで、 $\mathbf{g}, \bar{\mathbf{G}}$ はそれぞれ希望成分とISI成分の通信路を表しており、第3項は受信雑音成分である。また、 s_n は希望信号成分、 \bar{s}_n はISI成分、 \mathbf{w} は \mathbf{w}_l を通信路とフィルタ長に拡張したものである。BSの利用可能最大送信電力 P_{\max} を超えないように P を制限し、さらに式(4)のISI成分を抑えるために最低受信SINRが γ 以上となることを満たす上で、 Φ_{ER} が最大となるようなBSのフィルタ係数 \mathbf{w} を求める。この時の \mathbf{w} は次式で表すような最適化問題を解くことで求められる。

$$\max_{\mathbf{w}} \Phi_{ER} \quad \text{s.t.} \quad P \leq P_{\max} \quad \text{SINR} \geq \gamma. \quad (5)$$

式(5)は文献[2]と同様の二分法で解くことができる。

3 性能評価

図2にIRの最低要件SINRに対する、ERでの平均収集電力を示している。 $N_T = 6, L_f = L_g = 3, \eta = 0.8, d_1 = 10, d_2 = 50, m = 2.7$ とし、 P_{\max} は13dBmとした。 $L_w = 1$ はフィルタを用いていない場合である。図2より、フィルタ長を増やすことで収集電力の性能が向上していることがわかる。

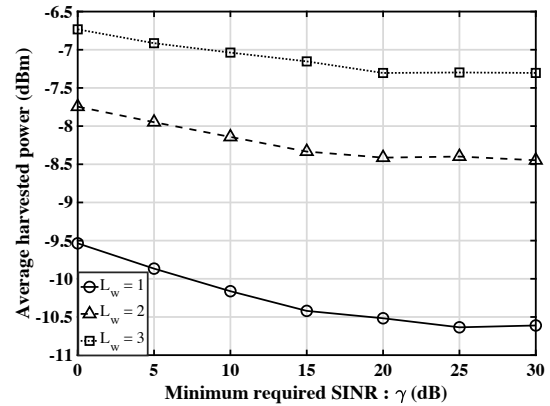


図2 最低要件 SINR に対する平均収集電力。

4 まとめ

ISIを考慮したSWIPTシステムにおける時空間送信フィルタを提案し、シミュレーションによりその動作を確認した。

参考文献

- [1] Z. Xiang, et al., "Robust beamforming for...", IEEE Wireless Commun. Lett., vol. 1, no. 4, pp. 372–375, Aug. 2012.
- [2] H. Chen, et al., "Filter-and-forward distributed beamforming in...", IEEE Trans. Signal Process., vol. 58, no. 3, pp. 1251–1262, Mar. 2010.