

## SWIPTのためのロバストビームフォーミング設計の一検討

## A Study on Robust Beamforming Design for SWIPT

小野寺 千碩

Chihiro Onodera

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

次世代移動通信システムでは、様々な無線サービスを提供するために、高速大容量通信技術に加えて低消費電力端末のための無線電力伝送技術等が必要となる。同一の電波により情報と電力を同時に伝送する SWIPT が周波数有効利用技術として注目されており、基地局 (BS) でのビームフォーミング (BF) が有効であることが知られている [1]。BF 設計のためには瞬時通信路状態情報 (CSI) が必要であるが、頻繁な CSI の推定は効率劣化を引き起こす。瞬時 CSI が利用できないことを想定し、我々は CSI の一次統計量を用いる BF 設計法を提案した [2]。これとは別のアプローチとして、本稿では受信機の位置が不確かな場合に適用可能な BF 設計法を提案する。

## 2 SWIPT のロバスト BF 設計

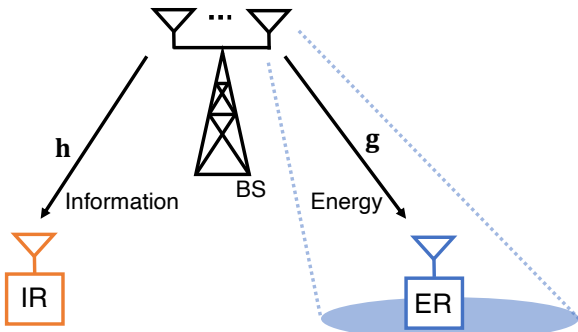


図1 SWIPT システムモデル。

図1のように、 $M$ 本の送信アンテナを持つ基地局 (BS) と単一受信アンテナを持つ情報受信機 (IR)、電力受信機 (ER) からなる SWIPT システムを考える。BS は通信路  $\mathbf{h}$  経由で IR へ情報シンボル  $s_k$  を送り、同時に通信路  $\mathbf{g}$  経由で ER へ電力を送る。BS は送信 BF ベクトル  $\mathbf{w} \in \mathbb{C}^{M \times 1}$  を用いて、時刻  $k$  に  $\mathbf{x}_k = \mathbf{w}s_k$  を送信する。IR の受信信号は  $y_k^{\text{IR}} = \sqrt{\beta} \mathbf{h}^T \mathbf{x}_k + z_k^{\text{IR}}$ 、ER の受信信号は  $y_k^{\text{ER}} = \sqrt{\beta} \mathbf{g}^T \mathbf{x}_k + z_k^{\text{ER}}$  となる。 $\beta$  は距離減衰を表す係数、 $z_k \sim \mathcal{CN}(0, \sigma^2)$  は雑音である。ライスフェージング環境を想定し、 $\mathbf{h}$  の直接波成分を  $\tilde{\mathbf{h}} = [1 \ e^{-j\pi \sin \theta} \dots \ e^{-j(M-1)\pi \sin \theta}]^T$ 、反射波成分を  $\hat{\mathbf{h}} \sim \mathcal{CN}(\mathbf{0}, \mathbf{I})$  とすると、 $\mathbf{h} = \sqrt{\kappa}/(1+\kappa)\tilde{\mathbf{h}} + \sqrt{1/(1+\kappa)}\hat{\mathbf{h}}$  と表せる。 $\theta$  は受信機方向、 $\kappa$  はライスファクタである。 $\mathbf{g}$  についても同様である。

ER の位置は不確かで、 $\theta_1 \leq \theta \leq \theta_2$  の方向に存在することだけが分かっていると仮定する。IR の瞬時 CSI  $\mathbf{h}$  は既知であると仮定する。IR の受信 SNR を  $\Gamma$  以上とし、BS の送信電力を  $P_t$  とする制約の下で、ER へできるだけ大きい電力を供給するような BF 設計を考える。位置の不確

かさにはロバストな BF 設計法として以下を提案する。

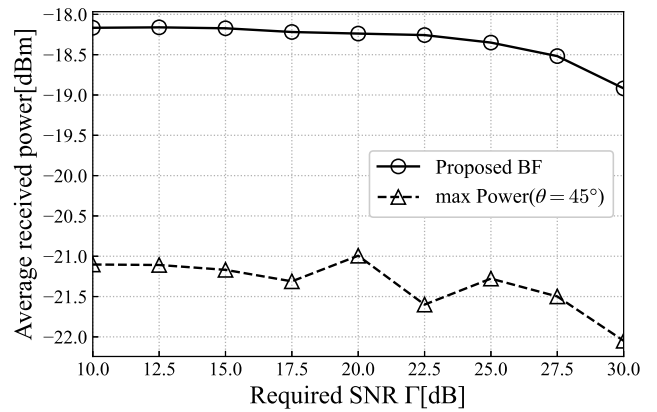
$$\max_{\mathbf{w}} \min_{\theta_1 \leq \theta \leq \theta_2} \mathbf{w}^H \tilde{\mathbf{G}} \mathbf{w}, \text{ s.t. } \frac{\beta \mathbf{w}^H \mathbf{H} \mathbf{w}}{\sigma^2} \geq \Gamma, \|\mathbf{w}\|^2 = P_t. \quad (1)$$

ここで、 $\mathbf{H} \triangleq \mathbf{h}\mathbf{h}^H$ 、 $\tilde{\mathbf{G}} \triangleq \tilde{\mathbf{g}}\tilde{\mathbf{g}}^H$  である。最適化問題 (1) は半正定値計画緩和により近似的に解くことができる。

## 3 シミュレーション結果

シミュレーションにより、提案法の性能を確認する。 $M = 12$ ,  $P_t = 30$  dBm,  $\sigma^2 = -50$  dBm,  $\kappa = 10$  dB,  $\beta = 10^{-1.6} \times D^{-2.7}$ ,  $\theta_1 = 30^\circ$ ,  $\theta_2 = 60^\circ$  とした。 $D$  は BS と受信機間の距離であり IR と ER それぞれ  $D = 10$  m とした。IR は  $0^\circ$  方向に存在し、ER の存在する方向は  $[\theta_1, \theta_2]$  の範囲からランダムに決めた。

図2に要求 SNR  $\Gamma$  に対する ER における平均受信電力を示す。比較として、 $\theta = 45^\circ$  方向の受信電力を最大化するように BF を設計した場合 ( $\max \text{Power}(\theta = 45^\circ)$ ) の結果を示す (拘束条件は (1) と同じ)。提案法 (Proposed BF) の方が ER の平均受信電力が高く、ER の存在する位置が不確かである環境において、提案法は有効であると言える。

図2 要求 SNR  $\Gamma$  に対する ER の平均受信電力。

## 4 まとめ

SWIPT において受信機が不確かな位置に存在する場合に適した BF 設計法を提案し、有効性をシミュレーションにより確認した。

## 参考文献

- [1] J. Xu, et al., "Multiuser MISO Beamforming...", IEEE Trans. Signal Process., vol. 62, no. 18, pp. 4798–4810, Sep. 2014.
- [2] 小野寺, 宮嶋, "統計的 CSI に基づく SWIPT のビームフォーミング設計法の評価," 信学総大, Mar. 2024.