

部分的 CSI に基づく階層型部分的非直交ブロック対角化を用いた 基地局間連携 MIMO における送信基地局選択と送信電力制御の一検討

A Study on Transmission Base Station Selection and Power Control in Layered Partially Non-orthogonal Block Diagonalization for Base Station Cooperated MIMO with Partial CSI Feedback

石井 大介
Daisuke Ishii

樋口 健一
Kenichi Higuchi

東京理科大学 理工学部 電気電子情報工学科
Department of Electrical Engineering, Faculty of Science and Technology, Tokyo University of Science

1. まえがき

チャネル状態情報(CSI)が一部欠損したときの階層型部分的非直交ブロック対角化(BD)法[1]を用いる基地局(BS)間連携マルチユーザ MIMO 伝送について、送信 BS 選択とアンテナ毎送信電力制限を満たす送信電力制御(TPC)法を提案する。

2. 従来の階層型部分的非直交 BD 法

BS 群 \mathcal{B} を用いたユーザ群 \mathcal{K} への BS 間連携 MIMO を考える。BS $b \in \mathcal{B}$ とユーザ $k \in \mathcal{K}$ 間のチャネル行列を $\mathbf{H}_{k,b}$ とする。ユーザ k は各 BS b との平均パソロスがしきい値以内のとき瞬時 CSI として $\mathbf{H}_{k,b}$ を BS にフィードバックし、その他の CSI は平均パソロス情報のみ BS に既知とする。部分的非直交 BD 法では、ミューティング後のチャネル行列を次式で非意する。

$$\hat{\mathbf{H}}_{k,b} = \begin{cases} \mathbf{H}_{k,b}, & \mathbf{H}_{k,b} \text{ is known at BS} \\ \mathbf{O}, & \mathbf{H}_{k,b} \text{ is not known at BS} \end{cases} \quad (1)$$

ここで \mathbf{O} は零行列である。ユーザ k のビームフォーミング(BF)行列は、送信に用いる BS 群に対するユーザ k 以外の $\hat{\mathbf{H}}_{k,b}$ を並べた行列のヌル空間から得られる。ここで、瞬時 CSI の不明な BS の使用は、他ユーザ干渉を抑圧する BF のためのアンテナ自由度が増大する利点と、瞬時 CSI が不明な BS からの送信電力は受信信号電力の増大に積極的に寄与しない欠点がある。

全ユーザをまとめて考える最適な各ユーザの送信 BS 選択制御は計算量的に困難である。文献[1]では簡易な送信 BS 決定法として、ユーザ毎に受信信号電力と他ユーザに与える干渉電力推定値の比を最大化するよう送信 BS 群を決定していた。

3. 提案する送信 BS 選択法及び TPC 法

平均及びワーストユーザスループットをより増大する送信 BS 群の決定を目的とし、1アンテナ当たりの送信電力制限を満たすための TPC も提案する。提案法は、演算量を抑えるため、まずユーザ毎に最大送信電力を仮定して送信 BS 群を決定し、その後与えられた送信 BS 群の条件下で TPC を行う。

(1) 送信 BS 選択

提案法は文献[1]同様にユーザ毎に順番に送信 BS 群を決定するが、 N 回の繰り返し処理でより適切な送信 BS 群に更新する。最初の繰り返し($n=1$)では、送信 BS 群の初期設定のため以下のメトリックを基にユーザ k の送信 BS 群 $\mathcal{S}_k \subseteq \mathcal{B}$ を決定する。

$$\mathcal{S}_k = \arg \max_{\mathcal{S}} \sum_{i \in \mathcal{S}} \lambda_{k,s,i}^2 / T_{k,s} \quad (2)$$

ここで $\lambda_{k,s,i}$ はユーザ k の宛先情報を BS 群 \mathcal{S} で送信すると仮定したときのユーザ k のミューティング後のチャネル行列と BF 行列の積となる実効チャネル行列の i 番目の特異値、 $T_{k,s}$ はこのとき他ユーザに与える干渉電力と自身が受ける干渉電力の推定値である(瞬時 CSI が不明な場合は平均パソロスに基づき推定する)。式(2)のメトリックは文献[1]の方法に類似するが、 $T_{k,s}$ に自身が受ける干渉電力を含める点が異なる。

$n=2$ 以降の繰り返しでは、 $n-1$ 回目の繰り返しで得られた全ユーザの送信 BS 群を前提に各ユーザ k の送信 BS 群 \mathcal{S}_k を更新制御する。更新のルールとしては、 $n=1$ で初期設定した全ユーザの送信 BS 群を用いたときのワーストユーザスループットを下回らない条件下で平均ユーザスループットを最大化する \mathcal{S}_k を再選択する。この処理を n が N に達するまで繰り返す。

(2) TPC

提案する TPC は、平均及びワーストユーザスループットの両方を考慮するため、3ステップで構成される。

ステップ1では、平均ユーザスループットを意識して各送信アンテナの送信電力が制限値 P_{\max} 以下になるよう制御する。まず、送信電力が最大で P_{\max} を超えているアンテナ l を選択する。アンテナ l を送信に用いるユーザ群を \mathcal{K}_l とする。1回の制御当たりの送信電力の更新量を Δp とする。ユーザ群 \mathcal{K}_l の中から送信電力を Δp 低減するユーザを低減後の平均ユーザスループットの減少量が最小となる条件で決定する。この処理を繰り返す

てアンテナ l の送信電力が P_{\max} 以下になったら、他のアンテナに対して同様の処理を繰り返し、全送信アンテナの送信電力が P_{\max} 以下になるよう制御する。

ステップ2では、ワーストユーザスループットの改善を目的とした制御を行う。ワーストユーザスループットの許容最小値を C_w とする。ステップ1の制御の後、ユーザスループットが C_w 以下の最小値となるユーザに対して送信電力を Δp だけ増大する処理を繰り返す。

ステップ3では、ステップ2によって再び送信電力が P_{\max} を超えたアンテナの送信電力を低減する。ここでは、ワーストユーザスループットの劣化を抑えるため、ステップ1と同様の制御において送信電力を低減するユーザ候補から送信電力低減後のスループットが C_w を下回るユーザを除外する形で行う。

4. シミュレーション評価

正六角形7セルモデルにおいて7BSが連携する場合について、ユーザスループット特性を評価した。BSのアンテナ数を2、ユーザ端末のアンテナ数を2とし、セル当たり1ユーザをセル内のランダムな位置に配置した。チャネルモデルとして、3.76乗則の距離減衰とレイリーフェージングを仮定した。最大送信電力で送信したときのセル端での平均 SNR を 5 dB とした。各ユーザ端末は、平均パソロスが最小の BS に加え平均パソロスが最小値から Δ_{CSI} 以内の BS に対し瞬時 CSI をフィードバックできるものとした。 P_{\max} は全ユーザ合計の最大送信電力を全 BS アンテナ数で割った値とした。

図1に提案する送信 BS 選択法の Δ_{CSI} に対する平均及びワーストユーザスループットを示す。TPC は行わない条件で、文献[1]の従来法と比較評価した。図2に提案する TPC 法に対する平均及びワーストユーザスループットを示す。提案送信 BS 選択法を用い、ユーザ間で一様に送信電力を低減してアンテナ当たりの送信電力制限を満たす従来 TPC 法と比較した。図1, 2より提案法は従来法よりも平均及びワーストユーザスループットを同時に増大することができた。

5. まとめ

平均及びワーストユーザスループットを同時に増大可能な送信 BS 選択・TPC 法を提案し、その有効性を示した。

参考文献 [1] Y. Oshima, A. Benjebbour and K. Higuchi, IEICE Trans. Commun., vol. E97-B, no.1, pp.155-163, January 2014.

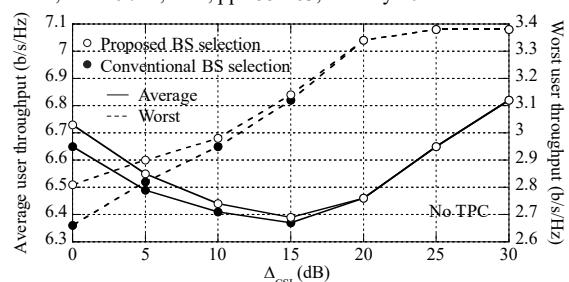


図1. 送信 BS 選択法のスループット比較

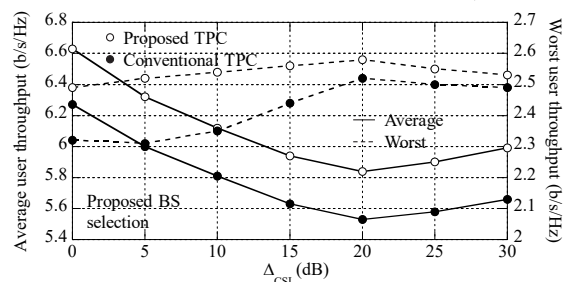


図2. TPC 法のスループット比較