

電気・電子情報工学工学専攻	学籍番号	163241	指導教員氏名	竹内 啓悟
申請者氏名	辰野 渉			

論文要旨(修士)

論文題目	期待値伝播法に基づくパイロット汚染の解消
------	----------------------

近年のライフスタイルや映像コンテンツ視聴環境などの変化に伴い、モバイルトラフィック需要が急増している。この需要に対応するため第5世代無線通信(5G)の普及推進とさらなる高度化に向けた研究が進められている。5Gは超低遅延, 多数端末同時接続, 大容量化などの要求仕様が定められており, これらの要求仕様を満たすための基幹的技術として大規模MIMO (multiple-input multiple-output) が注目されている。

大規模MIMOは, 基地局側に100本以上のアンテナを保有することによって, 複数ユーザとの同時伝送を実現する技術である。多数のアンテナは高い空間自由度を構成する上で重要であり, 周波数利用効率, エネルギー効率, 空間多重利得の向上に貢献する。大規模MIMOは基地局からユーザ端末に向けたダウンリンク伝送において, ビームフォーミングと呼ばれる最適化処理を行う。ビームフォーミングは, 通信路状態情報(channel state information: CSI)に基づく信号処理により各ユーザ向けのビームを形成して, ユーザごとの等価通信路の最適化を行う。CSIの取得方法は, ユーザから送信される既知のパイロット信号を用いて基地局が推定を行う方法が一般的である。

パイロット信号に基づくCSI推定では, ユーザ間のCSIを分離するために直交パイロット信号を割り当てるのが望ましい。しかしながら, パイロット信号系列の総数は系列長を超えられない上に, 通信路のコヒーレンス時間によってパイロット信号の長さも制限される。その結果, 隣接基地局を含む全ユーザに直交パイロット系列を割り当てることができず, 隣接基地局が同じパイロット系列を再利用することになる。パイロット系列の再利用によってCSIを分離することが困難になる現象をパイロット汚染と呼ぶ。大規模MIMOの実現には, パイロット汚染を考慮した通信路推定手法の確立が必要である。

パイロット汚染対策として, パイロット信号が重複しないように送信タイミングを基地局単位で時間シフトした上で, 近似的メッセージ伝播法(approximate message-passing: AMP)による全ユーザのCSIとデータの同時推定手法が提案された。全ユーザの推定値から得られるユーザ間の送信フレームの差異を利用することで, パイロット汚染によって生じた性能劣化を軽減できる。数値実験では, ユーザ間の受信電力差を利用する最先端の既存アプローチを上回る推定性能が確認された。

AMPは優れた推定性能を発揮する一方で, アルゴリズムの収束性を保証するために通信路やデータの統計性に強い制約が必要である。この統計制約は大規模MIMOが想定する通信路環境では満たされないため, AMPを実際の大規模MIMOに適用することは困難である。

AMPを代替する反復推定アルゴリズムとしてbilinear adaptive vector AMP (BAd-VAMP)が提案された。BAd-VAMPは, AMPが収束しないような問題に対しても収束することが数値実験によって確認された。しかしながら, 通信路推定で軟判定前のデータと準最適な推定手法とを使用する点で問題があるため, アルゴリズムを収束させるには設計パラメータを注意深く調節する必要がある。

本研究では, BAd-VAMPの二つの問題点を解消するために, 期待値伝播法に基づく反復同時推定手法を提案する。期待値伝播法は, データ推定の点ではBAd-VAMPと等価であるが, 通信路推定で軟判定後のデータを使用し, さらにベイズ最適な通信路推定を行う点でBAd-VAMPと異なる。本研究の主結果は, AMPが動作しない通信路環境において, 期待値伝播法による通信路とデータの同時推定手法を確立したことである。特に, 受信相関が存在してAMPが収束しない場合に, 提案手法はBAd-VAMPの収束特性を改善したことを数値実験によって確認した。