

Title	A Study on Adaptively Scaled Belief Propagation in Large MIMO Detection
Author(s)	高橋, 拓海
Citation	大阪大学, 2019, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/72403
rights	
Note	やむを得ない事由があると学位審査研究科が承認したため、全文に代えてその内容の要約を公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、 〈a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed"〉 大阪大学の博士論文について 〈/a〉 をご参照ください。

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

Osaka University

論文内容の要旨

氏 名 (高 橋 拓 海)	
論文題名	A Study on Adaptively Scaled Belief Propagation in Large MIMO Detection (大規模MIMO信号検出における適応信念伝搬法に関する研究)
論文内容の要旨	
<p>本論文は、筆者が大阪大学大学院工学研究科・電気電子情報工学専攻在学中に行った、大規模MIMO (Multi-Input Multi-Output) 繰り返し信号検出のための適応信念伝搬法の設計に関する研究をまとめたものであり、以下に示す6章で構成した。</p> <p>第1章は序章であり、統計的MIMO信号検出技術の歴史に沿って信念伝搬法に基づく繰り返し信号検出技術の現状を述べた後、解決すべき問題点を明確にすることで本研究の位置付けを明らかにした。</p> <p>第2章では、本論文の導入として、基本的なシステムモデルと最尤原理に基づく統計的信号検出手法の詳細を与えた。MIMO通信路の大規模化がもたらす統計的性質の変化として通信路硬化効果を解説し、古典的な空間フィルタリングを例にその有用性を明らかにした。一方、現実のMIMO信号検出では、フェージング空間相関や、高多値変調方式の利用に伴うビット間相関、および伝搬路推定誤差により通信路硬化効果が十分に得られず、空間フィルタリングに基づいて信号分離を行う信念伝搬法の収束特性が著しく劣化することを示した。</p> <p>第3章では、有相関MIMO通信路においてガウス信念伝搬法 (GaBP: Gaussian Belief Propagation) の繰り返し処理の収束特性劣化が深刻であることから、その特性改善手法を検討した。フェージング空間相関の存在下での特性劣化原因は、繰り返し処理間の伝搬情報 (ビリーフ) のモデル誤差に起因していることから、その悪影響を抑圧するために瞬時通信路状態に応じたビリーフスケールリング (ASB: Adaptively Scaled Belief) を提案するとともに、各繰り返しの検出状態に応じたスケールリング係数の設計も行った。提案手法の有効性を計算機シミュレーションで評価した結果、提案手法はビリーフのモデル誤差の影響を抑制可能であり、有相関MIMO通信路における受信信号分離性能を大幅に改善できることを明らかにした。</p> <p>第4章では、第3章の技術を高多値変調信号検出に拡張した。高多値変調では、同一シンボルに含まれるビット間の相関が問題となり、ビット単位のビリーフに基づいて動作する従来の信念伝搬法では信号検出が困難であることを述べた。この問題を解決するため、シンボル尤度をそのままビリーフとして伝搬させるシンボル尤度伝搬へGaBPを拡張することを提案し、ASBの概念をシンボル尤度伝搬へと拡張した。さらに、ASBの使用を前提に、条件付きシンボル期待値を低演算量で近似計算する手法を提案した。提案手法の有効性を計算機シミュレーションで評価した結果、ASBはシンボル尤度伝搬においてもビリーフのモデル誤差の影響を抑圧することができ、シンボル期待値の近似計算手法と併用することで、高多値変調信号検出においても低演算量で高精度な信号分離を実現可能であることを明らかにした。</p> <p>第5章では、非直交パイロット系列を用いた伝搬路推定を前提に、伝搬路推定と信号検出の統合設計を行った。非直交パイロット系列がもたらす劣決定問題を回避するための方策として、各繰り返してデータシンボルの仮判定値を追加のパイロット系列として扱う繰り返し伝搬路推定の有効性を、推定誤差行列のプロベニウスノルムの観点から明らかにした。さらに、従来法では考慮されていなかった追加パイロット系列の不完全性 (非直交性・検出誤り) を近似的に追従する手法を提案し、繰り返し伝搬路推定のためのビリーフの設計基準を与えた。提案手法の有効性を計算機シミュレーションで評価した結果、提案手法は追加パイロットの不完全性に起因したビリーフのモデル誤差の影響を抑圧可能であり、繰り返し伝搬路推定を前提とした繰り返し信号検出の受信信号分離性能を大幅に改善できることを明らかにした。</p> <p>第6章は結論であり、本研究で得られた結果の総括を行った後、残された課題を明確にした。</p>	

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏 名 (高 橋 拓 海)		
	(職)	氏 名
論文審査担当者	主 査	教授 三瓶 政一
	副 査	教授 馬場口 登
	副 査	准教授 衣斐 信介
	副 査	教授 滝根 哲哉
	副 査	教授 井上 恭
	副 査	教授 宮地 充子
	副 査	教授 丸田 章博
	副 査	教授 鷺尾 隆 (産業科学研究所)
	副 査	教授 駒谷 和範 (産業科学研究所)

論文審査の結果の要旨

本論文は、大規模 MIMO (Multi-Input Multi-Output) 繰り返し信号検出のための適応信念伝搬法に関する研究をまとめたものであり、以下に示す 6 章より構成されている。

第 1 章は序章であり、統計的 MIMO 信号検出技術の歴史に沿って信念伝搬法に基づく繰り返し信号検出技術の現状を述べた後、解決すべき問題点を明確にすることで本研究の位置付けを明らかにしている。

第 2 章では、本論文の導入として、MIMO 通信路の大規模化がもたらす統計的性質の変化として通信路硬化効果を説明し、その有用性を明らかにするとともに、現実の MIMO 信号検出では、フェージング空間相関や、高多値変調方式の利用に伴うビット間相関、および伝搬路推定誤差により通信路硬化効果が十分に得られず、空間フィルタリングに基づいて信号分離を行う信念伝搬法において収束特性が著しく劣化するという課題があることを明らかにしている。

第 3 章では、有相関 MIMO 通信路においてガウス信念伝搬法 (GaBP: Gaussian Belief Propagation) の繰り返し処理の収束特性劣化に対処するため、瞬時通信路状態に応じたビリーフスケールリング (ASB: Adaptively Scaled Belief) を提案し、計算機シミュレーションにより、提案手法がビリーフのモデル誤差の抑制に有効であること、有相関 MIMO 通信路における受信信号分離能力を大幅に改善できることを明らかにしている。

第 4 章では、第 3 章の技術の高多値変調信号検出への拡張として、ビット尤度に基づくビリーフをシンボル尤度に基づくビリーフへと拡張し、それに基づく GaBP を提案している。また ASB も拡張されたアルゴリズムに適用できる形に修正し、計算機シミュレーションにより、提案手法が多値変調において良好な受信特性を与えることを明らかにしている。

第 5 章では、非直交パイロット系列を用いた伝搬路推定において非直交パイロット系列がもたらす劣決定問題を回避するため、各繰り返しでデータシンボルの仮判定値を追加のパイロット系列として扱う繰り返し伝搬路推定方式を提案し、繰り返し伝搬路推定に適用可能なビリーフの設計基準を提案している。また計算機シミュレーションにより、提案手法の有効性を明らかにしている。

第 6 章は結論であり、本研究で得られた結果の総括を行った後、残された課題を明確にしている。

以上の技術は、従来大規模化を大前提としていた大規模 MIMO に対して、無線システムの実装上や導入環境上の制約条件を考慮してどのように対処すべきかを様々な観点から理論的に解明し、かつ計算機シミュレーションによってその有効性を明らかにしている。以上のように、本論文は大規模 MIMO システムの信号処理分野に数多くの有用な知見を与えており、情報通信工学の発展に寄与するところが多い。よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。