HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	Wireless OFDM Channel Estimation using a Stochastic Approach [an abstract of dissertation and a summary of dissertation review]
Author(s)	萩原, 淳一郎
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(工学)
Dissertation Number	甲第12485号
Issue Date	2016-12-26
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/64461
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.1/jp/
Type	doctoral thesis
File Information	Junichiro_Hagiwara_abstract.pdf, 論文内容の要旨

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

学 位 論 文 内 容 の 要 旨

博士の専攻分野の名称　博士（工学）　氏名　萩原淳一郎

学 位 論 文 題 名

Wireless OFDM Channel Estimation using a Stochastic Approach
（確率・統計的なアプローチを用いた無線 OFDM チャネル推定）

近年無線通信に対する需要は一層拡大しつつあり、この様な要望には OFDM (orthogonal frequency division multiplexing) 伝送の適用がふさわしい。OFDM は広帯域伝送に適した信頼性の高い伝送技術であり、既に様々な分野で実装されている。移動通信環境ではマルチパスフェージングが不可避な現象となるが、この現象は伝送路のフェージング歪を推定し補償することで緩和が可能である。従ってチャネル推定の精度向上は、無線容量を改善する重要な課題であることが分かる。本研究では、無線 OFDM 伝送におけるチャネル推定の精度改善を目的とする。具体的には確率・統計的なアプローチを用いて、平均化効果をもたらすチャネル統計量 (時変) を適切に考慮する方法について検討を行う。更に本研究では、理論的には等価な一括型の推定処理と逐次型の推定処理の間の現実的な差についても明確化を図る。

学位論文の概要は次の通りである。まず第 1 章では、研究の背景・目的、及び論文の構成について述べている。続いて第 2 章では、検討の予備情報として、前提条件、OFDM 伝送の定式化、確率フィルタリングの基礎について述べている。

第 3 章では、チャネル統計量を適切に反映するモデル化について提案する。このモデル化は二つの方法からなっており、一つは推定精度を改善する方法、もう一つは計算量を低減する方法である。最初の方法では、状態空間モデルに基づいて周波数相関を明示的に考慮する。続く方法は最初の方法に基づいており、周波数相関行列を打ち切って疎な三重対角行列に近似することで乗除算回数を低減する。提案法の効果は数値的に検証され、従来のカルマンフィルタに基づく方法に比べ、符号化利得は最大 3dB 程度向上し、計算量の増加は 2% で済む事が確認されている。

第 4 章では、時変のチャネル統計量に追従するために、チャネルとその統計量の同時推定手法を提案する。具体的には、逐次モンテカルロ法に基づく非線形フィルタリング手法である Liu and West filter (LWF) 法をベースとし、チャネルはパイロットチャネルの周波数応答として、またその統計量はモデルの超パラメータとして推定が行われる。しかしながら従来の LWF には課題があり、雑音が多い環境では過学習が発生して尤度の精度が劣化し、超パラメータの推定に大きなバイアスが発生することが、初めて明らかにされる。この課題は既存の平滑化法では解消できないため、カルマン平滑化を用いた新たな正則化法により LWF の改善を図る。その効果は数値的に検証され、チャネル統計量として最大ドップラ周波数と遅延スプレッドの両方が未知の場合、従来の LWF では大幅に特性が劣化し LS (least-squares) 法より悪くなる場合もあるのに比べ、提案法は超パラメータの推定の失敗を回避することで従来法を上回る特性を示し (符号化利得は最大 10dB 程度向上)、性能の下界に迫る良好な特性を達成できることが明らかとなった。

第 5 章では、チャネル統計量が急変した場合にも対応が可能なように、その検出方法を提案する。チャネル統計量の急変が適切に検出できれば、それに応じてチャネル推定処理をリセットすることで速やかな追従が可能となり、チャネル推定精度の劣化を防止することができる。この目的の

ために、カルマンフィルタで得られるイノベーションを活用した検出法を検討している。その結果、遅延スプレッドが急変する場合の計算機シミュレーションを通じ、統計理論に基づく急変の検出が可能であることが明らかとなった。

第 6 章では、定常過程に対するウィナーフィルタとカルマンフィルタに関して現実的な比較を行い、推定の処理形態に応じた特性の差を初めて明らかにする。具体的には、計算機シミュレーションと机上計算を通じ、公平な条件の下で各手法の推定精度と計算量を数値的に検証している。その結果、推定精度に関しては逐次処理による累積誤差がない分ウィナーフィルタの方がわずかに良く、計算量に関しては大規模な行列演算がない分カルマンフィルタの方が大幅に少なくなることが明らかになった。最後に第 7 章では、それまでの章で検討した内容をまとめ、結論を述べている。

無線 OFDM のチャネル推定において、チャネル統計量はその重要性が認識されつつも、これまで必ずしも適切な考慮が行われておらず、既知であると仮定されたり、別の方法で特定化が可能である等の前提がおかれることが一般的であった。本研究ではこの点に関して、最新の強力な確率・統計的アプローチを活用して対峙し、推定精度を大きく改善可能な実用的な手法を提案しており、現実の移動通信における品質の改善に極めて有効であると考えられる。更に本研究の内容は数理的に定式化されているため、無線技術のみならず、確率・統計的なアプローチを応用する人工知能や計量経済学といった、関連分野への展開も可能である。