

電子・情報工学専攻		紹介教官氏名	田所 嘉昭
申請者氏名	工藤 憲昌		

論文要旨 (博士)

論文題目	ノッチ特性と LMS アルゴリズムによるフーリエ係数推定法とその理論解析に関する研究
------	--------------------------------------------

(要旨)

雑音が重畳した正弦的信号のフーリエ分析や周波数推定は多くの分野で非常に重要である。離散的フーリエ変換はこの目的で重要であるが、周波数配置が非調和である場合や振幅が非定常な場合に誤差が生じる問題がある。この問題を克服するために、多くのアルゴリズムが提案され、その中で、LMS アルゴリズムのような勾配形適応アルゴリズムは、非常に少ない演算量で適度な推定性能を持つことから多くの実問題に適用されている。本論文では、ノッチ特性と LMS アルゴリズムを組み合わせ、既存の LMS アルゴリズムを用いたフーリエ係数推定法(LMS 法)の推定性能を改善する方法とその理論解析について述べる。

本論文では、まず、 p 個の既知の任意周波数から成る正弦的信号と加法性雑音の和を対象とする。この信号に対して、NFLMS 法、LPLMS 法を提案している。既存の NFT、CNFT、LMS 法のフーリエ係数の推定精度を計算機シミュレーションにより確認し、更に、改善法を検討するため LMS 法の動的振舞いも含めた理論解析を行なう。その解析結果から、LMS 法では p が増加すると推定精度が劣化することを明らかにする。LMS 動作部分で実質的に $p=1$ とするよう、対象信号を縦続接続した FIR 形ノッチフィルタを通過させた後、LMS アルゴリズムを適用する NFLMS 法を述べる。次に、適応ループ内の瞬時勾配情報を平滑化することで、推定性能を向上させる LPLMS 法を述べる。定常状態の LPLMS 法の周波数特性から、特性改善の仕組みを明らかにするとともに、推定精度の近似解析を行なう。また、計算機シミュレーションにより種々の条件下で LMS 法と推定特性を比較し、 p とステップサイズ μ が大きい時に、LPLMS 法は推定精度が良いことを示す。

次に、加法性雑音に加え干渉波が存在する場合の信号成分のフーリエ係数を求める BPLMS 法を提案する。この場合の LMS 法の動的振舞いを理論的に解析し、IIR 形ノッチフィルタによる BPF を通過させた後 LMS アルゴリズムを適用することで、推定精度を改善できることを示す。BPLMS 法の LMS 動作部分では有色雑音環境下であるため、有色雑音に対する解析を行なう。LMS 法は周波数領域で考えると BPF とみなせることに着目し、IIR 形フィルタの Q を陽に用いた推定精度の近似式を導く。これより、干渉波と対象波の正規化周波数差を、ダウンサンプリングにより広げた BPLMS 法の改善法を述べる。

最後に、上述の提案法の適用範囲を広げるため、周波数の事前情報に偏差がある場合を検討する。既存の周波数推定法では、推定周波数にバイアスが生じる問題がある。また、FIR 形適応ノッチフィルタを縦続接続すると周波数配置密度の粗な帯域で雑音を増幅する問題がある。本論文では、対象周波数を中心とする BPF を通過後、単位円上に零点を拘束した LMS 形適応 FIR 形フィルタを用いて周波数を推定する方法を提案する。 $p=1$ の時に、推定バイアスが生じないように前段の BPF の構造を理論的に決定し、更に、 $p>1$ の場合に拡張する。計算機シミュレーションにより、周波数とフーリエ係数を同時に求める修正 Prony 法と、周波数配置が調和/非調和である場合について推定精度を比較する。

本研究により、加法性雑音や干渉波が存在する場合の信号成分のフーリエ係数を、 $O(p)$ の演算量で既存法より精度良く推定できる。また、陽に BPF の Q を用いた近似式を導出したため、有色雑音下での LMS 形のフーリエ分析法の推定精度を容易に把握できる。