

学位論文題名

ARMA ラティスフィルタの実現法に関する研究

学位論文内容の要旨

信号処理 (signal processing) は、目的とする情報を取り出す効果的な手法を研究する分野である。その一端を担う処理手法に線形予測分析法がある。この分析法は、自己回帰 (AR) モデルの最小 2 乗同定問題と等価であり、AR 係数は、Yule-Walker 方程式を解く事で得られる。さらに、その高速算法 (Levinson-Durbin の算法) が提案され、それに基づいて AR ラティスフィルタが設計されている。

システム関数が極のみを有する AR モデルに対し、極と零の両者を有する自己回帰移動平均 (ARMA) モデルがある。AR モデル 単独では接近した極を分離できないことなどが知られている。また、AR モデルに適合しないものを AR モデルにあてはめるとモデルの次数が一般に非常に大きくなる。このような場合、ARMA モデルをあてはめることによって、少ないパラメータで高精度な推定モデルが得られ、実用的価値が高いとされている。ARMA モデルの係数を少ない計算量で求めるための高速算法も提案されていて、さまざまな ARMA ラティスフィルタが設計されている。AR および ARMA ラティスフィルタは、時間や次数に関して回帰的なアルゴリズムであり、その固有の構造は、フィルタ係数の低感度特性を保ち、フィルタセクションより出力される誤差に直交性が成り立つなどの特徴を示す。

上の特徴から、ジョイントプロセスを用いた高精度等化器やノイズキャンセルフィルタの設計問題、さらには適応制御を目的とし、幾つかの ARMA ラティスフィルタが提案されていた。このような背景の下で、より応用範囲の広い高度な ARMA ラティスフィルタの実現を目的として、本論文の研究が行なわれている。本論文は、さまざまな ARMA ラティスフィルタの中で、応用範囲が広いと考えられる、入力信号を白色ガウス過程に限定しないラティスフィルタを研究対象としている。入力信号に制限を加えないことで予測誤差の構造が複雑になり、フィルタ実現が困難な場合があった。本論文は、このような従来実現困難とされていたフィルタを実現可能とただだけでなく、その特徴を用いることで従来提案されていない新たな手法

で周波数重みを付けたモデル同定を可能としている。本論文は、10章で構成されている。以下に、各章の概要を述べる。

第1章では、本研究の歴史的背景について説明した後、本論文のあらましを述べている。

第2章は、規格化 ARMA ラテイスフィルタの実現法を提案している。規格化 ARMA ラテイスフィルタは、予測誤差の分散を1に規格化したフィルタであり、フィルタ係数の丸め誤差に対する低感度性を保ち、フィルタ区間の格子部分の係数が一致するなどの特徴を持つ。既に提案されていた規格化 ARMA ラテイスフィルタは、AR ラテイスフィルタのマルチポート化により実現されているため、AR 次数と MA 次数が同次数のフィルタのみ実現が可能である。本章では、任意の ARMA 次数で実現可能なアルゴリズムを提案している。本章で提案された規格化フィルタもそのフィルタの格子部分の係数が全て1以下であり、また、格子部分の係数が一致し構造が単純化されている。

第3章は、ARMA ラテイスフィルタ および、第2章で実現した規格化 ARMA ラテイスフィルタを信号合成フィルタとして用いる場合に必要とされる終端部分について考察を行なう。従来の終端部分は、最小2乗近似フィルタのために実現されていたが、本章では、合成信号の相関が参照信号の相関と等しくなるための終端部分を実現する。実現された終端部分は、最小2乗近似フィルタとしての終端部分と異なっており、AR ラテイスフィルタとは異なった事実が得られた。

第4章は、第2章で実現した規格化 ARMA ラテイスフィルタについて任意の ARMA 次数を増減する手法を提案する。第2章で規格化 ARMA ラテイスフィルタを実現する際に基本区間の接続順序に制限を加えた。この制限により、任意の区間を増加しようとしても、既の実現されている規格化 ARMA ラテイスフィルタの最終区間によって実現できる区間が AR 区間であるか、MA 区間であるかが自ずと決まってしまう、それが不可能であった。更に、AR ラテイスフィルタが区間の削減によって AR 次数を削減できるのに対し、ARMA ラテイスフィルタは、最終区間が AR 区間であるか、MA 区間であるかによって、削減できる次数が決まってしまうため、任意次数の減少が不可能である。本章は、このような欠点を解決している。

第5章では、ARMA ラテイスフィルタの逐次処理型実現手法を提案する。提案されたフィルタを用いれば、忘却係数によって、適応的に時変モデルの同定が可能となる。さらに、このラテイスフィルタを実現する際に必要とされる入力信号が白色ガウス過程に限定されないという特徴を用いることによって、ラテイスフィルタによる周波数領域に重みを付けたモデル同定手法を提案する。本章で提案された周波数重みアルゴリズムは、直接入出力信号に重みを付けており、他で提案されている手法と異なり、容易に重みを付けることができる。

第6章では、推定係数への過去の観測信号の影響をより確かに取り除くために、

スライディング方形窓を用いた ARMA ラテイスフィルタの実現法を提案する。第 5 章で提案した 適応型 ARMA ラテイスフィルタは、忘却係数を用いているため、推定 ARMA 係数に対する過去の観測信号の影響は、指数関数的に減少する。本章では、一定時刻よりも過去の観測信号の影響を完全に近く取り除くため、フィルタ実現アルゴリズムにスライディング方形窓を導入した。本章で提案したアルゴリズムは、他のアルゴリズムと異なり、予測誤差の時刻更新を考慮に入れた正確なフィルタ係数の時刻更新を行なっている。

第 7 章は、第 2 章で提案した規格化 ARMA ラテイスフィルタの逐次処理型実現法を導出する。本手法により、規格化 ARMA ラテイスフィルタを用いて、適応的モデル同定が可能となった。

第 8 章は、第 5 章に提案されたフィルタの乗算器個数を減少する。すなわち第 5 章に提案されたフィルタは、任意の周波数領域に重みを付けたモデル同定が可能であるという特徴をもつ。このフィルタをより有効なものにするために、乗算器個数の削減を行なっている。

最後に第 9 章は、第 5 章、第 8 章で提案されたラテイスフィルタを合成フィルタとして用いた場合のフィルタ係数感度について考察する。一般に、本論文で対象としている 4 線型の ARMA ラテイスフィルタは、低感度であることが推察されてきたが、理論的にそれを導出することは困難であり、実際には確認されていなかった。そこで本章では、実験により、構造の異なったラテイスフィルタやダイレクトフォームとの感度比較を行なった。その結果、本研究の ARMA ラテイスフィルタの感度特性は優れており、情報圧縮されたフィルタであるにもかかわらず良い特性を維持していることを確認した。

最後に、第 10 章では全体をまとめ、本研究の成果について要約している。

学位論文審査の要旨

主査	教授	永井信夫
副査	教授	伊藤精彦
副査	教授	小川吉彦
副査	教授	栃内香次
副査	助教授	三木信弘

学位論文題名

ARMA ラテイスフィルタの実現法に関する研究

信号処理 (signal processing) と呼ばれる学問分野は、目的とする情報を取り出すためにはどのような処理を施すのがもっとも効果的であるかを研究する分野である。その一端を担う処理手法に線形予測分析法がある。この分析法は、自己回帰 (AR) モデルの最小 2 乗同定問題と等価であり、モデルの特徴を表現する AR 係数は、Yule-Walker 方程式を解く事で得られる。さらに、その高速算法 (Levinson-Durbin の算法) が提案され、それに基づいて AR ラテイスフィルタが設計されている。

一方、システム関数が極のみを有する AR モデルに対し、極と零の両者を有する自己回帰移動平均 (ARMA) モデルがある。AR モデルを単独で観測データにあてはめると、モデルの次数を非常に大きくしないとうまく適合したモデルが得られない場合がある。このような場合、ARMA モデルをあてはめることによって、少ないパラメータで高精度な推定モデルが得られ、実用的価値が高いとされている。本論文は、このような ARMA モデルを用いた高精度なモデル同定を可能とする ARMA ラテイスフィルタの実現法を提案している。その主な成果は下記に要約される。

先ず第 1 に規格化 ARMA ラテイスフィルタの新しい実現法を提案している。規格化 ARMA ラテイスフィルタは、その固有の構造から優れた性質を持つことが知られていたが、既に提案されていた規格化フィルタは、任意の ARMA 次数ではフィルタ実現が不可能であった。本文で提案された実現アルゴリズムにより、任意の ARMA 次数の規格化 ARMA ラテイスフィルタが実現可能となった。さらに、提案されたフィルタの終端条件を考察し、合成信号の相関と参照信号の相関を一致させる終端部分を実現した。実現された終端部分は、最小 2 乗近似フィルタとしての終端部分と異なり既に得られていた AR ラテイスフィルタとは異なった事実が得ら

れ、本論文が扱うラティスフィルタが他で提案されていたものと評価関数が異なっていることを表す具体的な例となった。また、本論文だけでなく一般に ARMA ラティスフィルタは、任意の次数の削減が不可能であるという欠点を持っていたがこれを解消するアルゴリズムを提案した。

第2に、ARMA ラティスフィルタの逐次処理型実現アルゴリズムを提案し、入力信号が未知で時変なモデルの同定を可能とした。さらに、本文で研究対象としているラティスフィルタの“入力信号を白色ガウス過程に限定しない”という性質を用いることで、周波数領域に重みを付けたモデル同定を可能としている。本文で提案された周波数重みアルゴリズムは、直接入出力信号に重みを付けており、他で提案されている手法と異なり、容易に重みを付けることができる。

第3に、より高精度なモデル同定を可能とするため、スライディング方形窓を用いた ARMA ラティスフィルタの実現法を提案した。本文で提案されたアルゴリズムは、他のアルゴリズムと異なり、予測誤差の時刻更新を考慮に入れた正確なフィルタ係数の時刻更新を行なっている。

第4に、本文で提案しているフィルタの乗算器個数の削減を可能とし、さらに、乗算器個数を削減することによる係数感度特性の劣化が生じていないことを実験により確認した。

以上のように本論文では、高精度で応用範囲の広い ARMA ラティスフィルタの実現手法の提案を行ない、多くの新知見を得ており、デジタル信号処理および電子工学に寄与するところが大きい。よって著者は、博士(工学)の学位を授与される資格あるものと認める。