

審査の結果の要旨

氏名 篠永 充良

本論文は、「SN比が最大となるゼロ拘束条件付き相関フィルタの理論的導出とパルス圧縮レーダにおけるその応用」と題し、従来の非巡回畳み込みフィルタの欠点を解消する新しい相関フィルタとして、巡回畳み込み演算への入力データ変換を活用したゼロ拘束条件付き最適フィルタを構成する方法について理論的・体系的に論じて、その結果をパルス圧縮レーダ他に応用したものであって、全体で10章からなる。

第1章は「序論」であり、電波の有効利用という観点からレーダシステムのパルス圧縮化が強く求められているという背景を述べた上で、従来手法の限界、即ち、相関処理であるパルス圧縮処理のレンジサイドローブ低減を統一的な手法で効果的に行うことが困難である問題を指摘している。また、本研究の対象領域を明確化することにより本論文の背景と目的を明らかにしている。

第2章は「本研究の位置づけと概要」と題し、パルス圧縮処理における従来手法である送信波形設計及び相関フィルタ設計のそれぞれにおいて、拘束条件下における性能最適化が困難であることを指摘するとともに、最適化手法として関連する適応フィルタ理論と本研究手法の関係について論じている。

第3章は「サイドローブフリー・パルス圧縮フィルタの導出」と題し、ゼロ拘束条件付き最適相関フィルタを生成する手法、即ち、サイドローブ抑圧手段としてゼロ拘束を課した上で理論的に出力S/Nが最大となる相関フィルタ設計法を導出している。具体的には、入力データ行列の一部要素についてゼロ置換を実施した上で相関出力ベクトルを定義し、Schwartz の不等式の等号条件を適用することにより理論的にS/N最大となる相関フィルタ係数が行列演算により直接算出可能であることを述べている。

第4章は「サイドローブフリー・パルス圧縮フィルタの分析」と題し、第3章で導出した相関フィルタは、入力データを巡回系列として扱った場合の巡回畳み込みフィルタに相当するものであり、従来の窓関数では実現できない特性であることを述べている。さらに、窓関数と対比可能な2次元の重み行列を新たに定義して、拘束条件によって発生する振幅重み付けの変化を表現し、その物理的な意味について論じている。

第5章は「チャープレーダにおける特性評価」と題し、提案手法をチャープ信号に適用して、設計条件として与えたゼロ拘束波形が実現されることをシミュレーションにより明らかにしている。また、サイドローブ低減効果とそれに伴うS/N低下について従来手法と比較を行い、高い出力S/Nであると同時に低サイドローブの波形が実現できることを示すとともに、実適用における劣化要因に関する考察も加えて手法の有効性を示している。

第6章は「位相符号変調レーダにおける特性評価」と題し、位相符号変調波形においても提案手法は有効であり送信波形形状に依存しない手法であることを明らかにしている。さらに第5章と同様に、シミュレーションによる従来手法との性能比較とともに実適用における劣化要因に関する検討結果により、本手法の有効性について示している。

第7章は「ゼロ出力を拘束条件とするS/N最大フィルタの数学的導出」と題し、従来一般的であった非巡回畳み込み演算に対して、入力データ系列を繰り返し系列に変換した上で巡回畳み込み演算上で相関処理を再定義することによって、本論文で提案したゼロ拘束条件付き最適フィルタが数学的に表現できることを述べている。この再定義によって任意の出力波形が実現可能となり、ゼロ拘束条件付きフィルタ係数を直接算出する一般式を擬似逆行列を使って導くとともに、その理論最適解である拘束条件付き最適フィルタが相関行列のエルミート性から数値的に安定に算出可能であることを明らかにしている。

第8章は「アンテナパターン設計への適用」と題し、第7章で数学的に定義された手法を空間フィルタであるアンテナパターン合成に適用する手法について述べるとともに、アレイアンテナとして実現可能な性能について従来手法と対比させて論じている。このアンテナ設計手法は、各種の応用場面に柔軟に適用可能であり従来手法以上の性能が期待されることを明らかにしている。

第9章は「レーダにおける方位相関処理への適用」と題し、第7章で定義された手法は、バースト信号検出などに用いる相関フィルタ設計にも一般的に適用でき、かつ有効であることを述べている。本章においては、一例としてレーダの方位相関処理に適用した場合について検証し、パルス圧縮処理と共通する特性について述べている。

第10章は「結論」であって、本論文で提案した最適化手法の意義を述べるとともに、電波の有効利用という観点から今後必須となる送信波形設計への研究成果の展開と今後の技術展望について論じている。

以上を要するに、本論文は、レーダシステムのパルス圧縮等に用いられる相関処理において、有限長の入力データに対して巡回畳み込み処理を活用することでゼロ拘束条件付き最適フィルタが直接算出できる理論的導出法を提案し、数学的分析と各種適用事例での評価によってその有効性と実現性を論じたものであって、今後の電子情報学の進展に寄与するところが少なくない。

よって本論文は博士（情報理工学）の学位請求論文として合格と認められる。