氏　　名	山　田　哲　太　郎
学 位 の 種 類	博　士（工　学）
学 位 記 番 号	博　甲　第　９０１３　号
学位授与年月日	平成　３１年　３月　２５日
学位授与の要件	学位規則第４条第１項該当
審 査 研 究 科	システム情報工学研究科
学位論文題目	レーダによる高分解能観測におけるノイズ環境下の信号処理と目標追尾の研究

主　　査	筑波大学　　准教授	工学博士	海老原　　格
副　　査	筑波大学　　教　授	博士（工学）	水　谷　孝　一
副　　査	筑波大学　　准教授	博士（工学）	若　槻　尚　斗
副　　査	筑波大学　　准教授	博士（工学）	庄　野　和　宏
副　　査	筑波大学　　助教	博士（工学）	善　甫　啓　一
副　　査	NTT 未来ねっと研究所 主任研究員	博士（工学）	安　藤　篤　也

論　文　の　要　旨

本論文は、レーダを用いた観測において、移動する対象を正確に検出・追尾するとともに、その状態を精度良く推定するための信号処理に関する研究である、従来、レーダを用いた観測対象の多くは、その分解能内に収まる点目標であったが、近年、アンテナや受信機の高性能化に伴う高分解能化により、分解能を超えて広がりを持つ目標に対する観測が求められている。レーダでは目標の速度、方位、距離等の諸元を観測することができるが、それぞれの諸元に関して分解能を超えた広がりを持つ観測信号が得られた場合、従来の信号処理方式では観測性能が低下するという課題がある。例えば、速度諸元に関しては、信号検出において加速度目標等の速度分解能を超えて信号が広がりを持つ場合、１つの分解能セルあたりのエネルギーが減少し、信号検出性能が低下するという課題がある。方位諸元に関しては、目標捕捉においてレーダのビーム幅よりも目標の存在範囲が広い場合ビームリソースが不足し目標捕捉性能が低下するという課題がある。距離諸元に関しては、目標追尾において距離分解能を跨る目標の状態変化に追従できず目標追尾性能が低下するという課題がある。そこで、分解能を超えて広がりを持つ目標に対する信号処理技術の改善が求められている。

本論文の第一章では、上記の背景を説明するとともに、レーダにおける信号処理技術として、ノイズ環境下における分解能を超えて広がる広域分布目標に対する信号検出技術、目標補足技術、目標追尾技術を各々提案するとともに、その有効性を明らかにすることを研究の目的として定めている。

第二章では、レーダの速度分解能を超えた速度変化を有する目標を受信信号から精度良く検出する信号検出技術を提案している。具体的には、長時間に渡る受信信号の周波数解析、および、雑音尤度

に基づくノンコヒーレントな畳み込み積分を組み合わせた信号検出技術を提案している。そして、計算機シミュレーションを用いて、新しい信号検出技術の性能を評価した結果、先行研究で提案されている信号検出方式と、同等の信号検出率を維持した上で、計算負荷を従来の 1/700 以下に低減できることを明らかにしている。

第三章では、レーダのビーム幅よりも目標の存在範囲が広い環境において、パッシブ電波センサの方位情報を利用して、レーダの目標補足性能を改善する目標補足技術を提案している。具体的には、パッシブ電波センサから得られる方位観測値を用いて目標を追尾し、追尾処理による平滑値が算出される毎に、平滑誤差の分散に従ってレーダのビーム配置を最適化する方式を提案している。そして、計算機シミュレーションを用いて、新しい目標補足技術の性能を評価した結果、パッシブ電波センサの方位情報を利用してビーム配置を最適化することで、従来と比較して、検出確率が 13%向上できることを明らかにしている。

第四章では、レーダの距離分解能を跨って変化する目標を追尾するための目標追尾技術を提案している。具体的には、海洋レーダを用いた津波観測を対象に、レーダビームの観測結果、および、1 次元の浅水方程式を組み合わせる事で、距離と方位セルを超えて変化する流体（津波）を追尾する方式を提案している。そして、計算機シミュレーションを用いて、新しい目標追尾技術の性能を評価した結果、レーダの設置された位置から 30km 以上離れた沖合における流速の予測誤差が従来の 1/2 以下に低減できることを明らかにしている。

第五章では、本研究の総括を行っている。第二章から第四章までの研究を通じて、レーダの分解能を超えて広がりを持つ目標に対する信号検出技術、目標補足技術、目標追尾技術の構築に成功し、結果として、レーダの高機能化に寄与する事ができたと結論づけている。

審　査　の　要　旨

【批評】

電波を用いて対象までの距離や方向を測定するレーダは、航空管制、気象観測、海上監視など、我々の安心、安全な生活を支える上で不可欠な技術である。レーダの性能は、ハードウェアと、信号処理技術によって決定されるが、本論文は、移動する対象を正確に検出・追尾するとともに、その状態を精度良く推定するための信号処理技術（信号検出技術、目標補足技術、目標追尾技術）に関するものである。

まず、信号検出技術では、航空管制用レーダを対象に、畳み込み演算、および、統計的手法を組み合わせることで、現実的な計算コストで、レーダの速度分解能を超えた速度変化を有する目標の検出に挑戦している。先行研究で提案されている手法は、優れた検出性能と引き換えに計算コストが大きな問題があったが、本研究ではその計算コストの問題を解決し、かつ、同等以上の目標検出を達成している。本研究で提案している信号検出技術は、その優れた検出性能と、実装可能な計算コストから、レーダの観測距離の延伸や低コスト化に貢献するものであり、その意義は大きいと認められる。

また、目標補足技術では、同じく航空管制用レーダを対象に、パッシブ電波センサの方位情報を利用して、レーダの目標補足性能を改善する手法を提案している。パッシブ電波センサからの情報を元に、レーダのビーム配置を動的に最適化することで、既存の方式と比較して優れた検出性能と高効率なビームマネージメントを実現する提案手法は、ハードウェアの変更を最小限にとどめつつ、レーダの目標捕捉性能を大きく改善するものであり、その意義は大きいと認められる。

最後に、目標追尾技術では、海洋監視レーダを対象に、分解能セル間に跨る津波の流速を浅水方程式から予測し、予測値とレーダの流速観測値とカルマンフィルタで統合することで、広域にわたる流速を精度良く観測する手法を提案している。レーダで観測された信号と、波の伝搬モデルを組み合わせることで、距離と方位セルを超えて変化する津波を追尾する信号処理は前例があまりなく、高精度な津波観測が実現できる技術として、防災や減災に大きな貢献が期待できる。

本論文は、レーダの分解能を超えて広がりを持つ目標に対する信号検出技術、目標補足技術、目標追尾技術の構築に成功している。そして、航空管制、気象観測、海上監視など、我々の安心、安全な生活を支えているレーダの高機能化に大いに寄与していることから、高く評価できる。

【最終試験の結果】

平成３１年２月８日、システム情報工学研究科において、学位論文審査委員の全員出席のもと、著者に論文について説明を求め、関連事項につき質疑応答を行った。その結果、学位論文審査委員全員によって、合格と判定された。

【結論】

上記の学位論文審査ならびに最終試験の結果に基づき、著者は博士（工学）の学位を受けるに十分な資格を有するものと認める。