

カルマンフィルタを用いた

合成開口レーダ画像のノイズ低減に関する研究

学位論文内容の要旨

本論文はカルマンフィルタを用いた合成開口レーダ (Synthetic Aperture Radar : 以下 SAR と略記) 画像中のノイズ低減手法に関する研究結果をまとめたものである。

SAR はマイクロ波を用いた映像レーダの一つであり、昼夜、天候を問わない観測が可能であり、高い空間分解能をもつ。SAR は航空機や人工衛星に搭載され、地球資源や地球環境の観測等の必要不可欠な観測手段となっている。

この SAR により得られる SAR 画像には、スペックルと呼ばれる胡麻塩状の濃淡が含まれており、画像判読における重大な妨げとなっている。スペックルは、コヒーレントなマイクロ波を用いた観測において一般的に現れるものであり、マイクロ波の散乱の際に生じることから、SAR 画像には不可避なノイズである。通常、このスペックルの低減のために、画像再生過程においてマルチルック処理が行なわれる。この手法は空間分解能の犠牲の下に、スペックルの低減を実現するが、その低減効果は十分なものではない。このため、近年では、デジタル画像復元手法を用いたノイズ提案手法が多く提案されている。これらの手法は、SAR 画像再生処理後に行なわれ、SAR 画像の統計的モデルに基づき、ノイズを含まない後方散乱波を復元することによりノイズの低減を行う。マルチルック処理において、空間分解能の劣化の原因となる合成開口長の分割を行わないため、画像の持つ分解能を保持したままスペックルを低減する手法として期待されている。

これらのフィルタで用いられる SAR 画像モデルにおいて、一般に、後方散乱波は期待値が対象物体により変化することから非定常であると仮定され、スペックルは定常な乗法性ノイズとして仮定される。しかしながら、このスペックルの乗法性は必ずしも成り立つものではなく、都市領域では成り立たないことが指摘されている。このため、これまで提案されている画像再生後の処理手法においても、スペックルを主とするノイズの十分な除去が難しい。

本論文では、SAR 画像中の領域によるスペックルの性質の変化を考慮し、カルマンフィルタを用いたノイズ低減手法を提案する。本手法では、SAR 画像全体においては後方散乱波およびスペックルは非定常であるが、画像上でテクス

チャとして現れる領域内においては、定常とみなすことが可能であることに着目する。この着目に基づき、まず領域分割処理を行い、領域毎にカルマンフィルタを適応させ、処理を行なう。本手法は、SAR 画像におけるスペckルの乗法性が成り立たない場合においてもノイズの低減が可能であり、画像のもつ特徴を保持したまま、高いノイズ低減効果を実現可能としている。本論文では、上記のノイズ低減手法の実現に関して、SAR 画像の領域分割方法ならびに適応的な処理を実現するためのカルマンフィルタの設計について検討している。また、提案手法の有効性に関してシミュレーションおよび実際の衛星画像を用いて検証を行っている。

本論文は、まず第 2 章で、SAR の撮像原理について述べ、本研究において処理対象となる SAR 画像が受信データより構成される過程について説明する。第 3 章では、スペckルの発生原理について説明するとともに、従来のノイズ低減手法の問題点について説明する。第 4 章では、一般的なカルマンフィルタアルゴリズムおよびこれまでに提案されている 2 次元カルマンフィルタについて述べる。第 5 章では、カルマンフィルタを用いた SAR 画像のノイズ低減のための手法を提案する。第 6 章では、SAR 画像のテクスチャ解析法について考察し、提案手法で用いる領域の分類方法を提案する。第 7 章では、シミュレーションおよび実際の SAR 画像に提案手法を適用し、その有効性を確認する。第 8 章では、論文全体のまとめとして、本研究の成果および将来への展望について述べる。

以上を要約すると、本論文は、カルマンフィルタに領域分割処理を組み込むことにより、後方散乱波およびノイズの非定常性を考慮し、従来法では十分なノイズの低減が困難であるスペckルの乗法性が成り立たない場合においてもノイズの低減を可能とする SAR 画像のノイズ低減手法を示している。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 北 島 秀 夫
副 査 教 授 栃 内 香 次
副 査 教 授 青 木 由 直
副 査 助 教 授 長 谷 山 美 紀

学 位 論 文 題 名

カルマンフィルタを用いた 合成開口レーダ画像のノイズ低減に関する研究

本論文において、著者はカルマンフィルタを用いた合成開口レーダ (Synthetic Aperture Radar : 以下 SAR と略記) 画像中のノイズ低減手法に関する研究結果を述べた。

SAR は電波を用いた映像レーダの一つであり、昼夜、天候を問わない観測が可能であり、高い空間分解能をもつ。SAR は航空機や人工衛星に搭載され、地球資源や地球環境の観測等の必要不可欠な観測手段である。

SAR により得られる画像には、スペckルノイズと呼ばれる胡麻塩状の濃淡が含まれ、画像判読を妨げる。スペckルは、コヒーレントな照射源を用いた観測において現れるものであり、SAR 画像の取得段階では不可避なノイズである。

伝統的なスペckルノイズ低減手法としては、画像再生過程において適用されるマルチルック処理が挙げられる。この手法は空間分解能の犠牲の下に、スペckルの低減を実現するが、その低減効果は十分なものではない。

これに対して、画像復元手法を応用したスペckルノイズ低減法においては、SAR 画像の統計的モデルに基づき、ノイズを含まない後方散乱波を復元することによりノイズの低減を行う。マルチルック処理における空間分解能の劣化の原因となる合成開口長の分割を行わないため、画像の持つ分解能を保持したままスペckルを低減する手法として期待される。

これらのフィルタで用いられる SAR 画像モデルにおいて、一般に、後方散乱波は期待値が対象物体により変化することから非定常であると仮定され、スペckルは定常な乗法性ノイズとして仮定される。しかし、スペckルの乗法性は必ずしも成り立つものではなく、都市領域では成り立たない。このため、これまで提案された画像復元では、スペckルを主とするノイズの十分な除去が難しい。

以上の状況のもとで、著者は、本論文において、SAR 画像中の領域によるスペckルノイズの性質の変化を考慮し、カルマンフィルタを用いたノイズ低減手法を提案した。著者は、SAR 画像全体においては後方散乱波およびスペckルは非定常であるが、画像上でテクスチャとして現れる領域内においては、定常とみなすことが可能であることに着目した。これに基づき、まず領域分割処理を行い、領域毎にカルマンフィル

タを適応させる処理法を提案した。本手法は、SAR 画像におけるスペckルの乗法性が成り立たない場合においてもノイズの低減が可能であり、画像のもつ特徴を保持したまま、高いノイズ低減が可能であることを示した。上記ノイズ低減手法の実現に関して、SAR 画像の領域分割方法ならびに適応的な処理を実現するためのカルマンフィルタの設計について検討した。また、提案手法の有効性をシミュレーションおよび実際の衛星画像を用いた実験の結果により示した。

各章の概要は次の通りである。著者は、まず第 2 章で、SAR の撮像原理について述べ、本研究において処理対象となる SAR 画像が受信データより構成される過程について説明した。第 3 章では、スペckルの発生原理について説明し、従来のノイズ低減手法の問題点を説明した。第 4 章では、一般的なカルマンフィルタアルゴリズムおよびこれまでに提案されている 2 次元カルマンフィルタについて述べた。第 5 章では、カルマンフィルタを用いた SAR 画像のノイズ低減のための手法を提案した。第 6 章では、SAR 画像のテクスチャ解析法について考察し、提案手法で用いる領域の分類方法を提案した。第 7 章では、シミュレーションおよび実際の SAR 画像に提案手法を適用した結果を示し、その有効性を主張した。第 8 章では、論文全体のまとめとして、本研究の成果および将来への展望について述べた。

著者は、本論文においてスペckルノイズ低減の実用手段、研究状況、新規提案の内容及びその有効性を正確に記述したと判定する。

以上を要約すると、著者は、カルマンフィルタに領域分割処理を組み込むことにより、後方散乱波およびノイズの非定常性を考慮し、従来法では十分なノイズの低減が困難であるスペckルノイズの乗法性が成り立たない場合においてもノイズの低減を可能とする SAR 画像のノイズ低減手法を提案した。本研究を通じて、情報メディア工学、画像工学への貢献が大きいので、著者は博士（工学）の学位を授与される資格があるものと認める。