

平成21年 6月17日現在

研究種目：若手研究（B）
 研究期間：2007～2008
 課題番号：19760283
 研究課題名（和文）
 惑星探査機／衛星搭載用合成開口レーダにおけるリアルタイム機上画像生成処理の研究
 研究課題名（英文）
 Study on real-time onboard SAR processing for planetary spacecrafts and satellites
 研究代表者
 福田 盛介（FUKUDA SEISUKE）
 独立行政法人宇宙航空研究開発機構・宇宙科学研究本部・助教
 研究者番号：50332151

研究成果の概要：惑星探査機上処理に適した SAR 画像生成アルゴリズムの追及、及びこれを実現するための搭載計算機の検討を行った。具体的には、既設ターゲットに依存しないフィードバック処理的な自動合焦手法、及び搭載計算機の構成検討（演算量の見積もり、処理フローのブロック化／並列化に基づく機能配分の検討、入出力のデータレートやバッファリングすべき演算の中間結果のサイズなどを勘案した搭載メモリ量の推定）などの研究を実施した。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	1,400,000	0	1,400,000
2008年度	1,500,000	450,000	1,950,000
年度			
年度			
年度			
総計	2,900,000	450,000	3,350,000

研究分野：リモートセンシング工学

科研費の分科・細目：電気電子工学・計測工学

キーワード：合成開口レーダ，リモートセンシング，惑星探査

1. 研究開始当初の背景

(1) マイクロ波帯を用いたイメージングセンサである合成開口レーダ (Synthetic Aperture Radar; SAR) は、地球環境のリモートセンシングに多大な役割を果たしている。日本においても、JERS-1(ふよう)や ALOS(だいち)といった地球観測衛星により、SAR 技術の近地球での利用は成熟の域に達してきている。

(2) 米国においては、惑星探査機 Magellan

や Cassini が撮像した金星やタイタン(土星の衛星)の SAR 画像が、惑星科学の発展に大きく貢献した。今後、わが国でも、光学観測に不向きな大気を有する天体や、惑星の永久日陰表面に対する、SAR 観測ミッション計画への機運の高まりが予想される。

(3) 例えば Cassini においては、膨大な SAR の生データを地球へ送信するための電力源に、アイソトープ電池を利用していることに留意する必要がある。日本では原子力技術の宇宙利用に道筋は立っておらず、惑星 SAR ミ

ッションの実現には、広帯域通信を前提として地上で画像合成を行う従来のシステムと一線を画した、斬新なブレークスルーが求められる。

(4) こういった着想の背景には、ここ数年の宇宙用電子部品の飛躍的な性能向上があることは言うまでもない。例えば、SOI(Silicon On Insulator)は宇宙用デバイスの対放射線性を本質的に高める技術であり、SOI ベースの高速なCPUやASIC(スタンダードセル)の開発は、上記のようなパラダイムの変換に大きく寄与するものである。

(5) 惑星探査用 SAR の画像合成を機上で処理する試みは、内外を通じて未だみられない。過去においては、宇宙用電子部品の非力さが研究の芽を摘んでいた側面は否めないが、最近の Rad-Hard 技術の進展を鑑み、機は熟しつつあるといえる。近地球衛星まで範囲を広げても、SAR の衛星機上処理の研究は寡少である。米国のグループが、FPGA をベースとした開発を始めているが、SAR 画像生成の中で最も一般的なレンジドップラ法の第一段処理であるレンジ圧縮を実装したBBMモデルの試作に留まっており、大きな研究の進捗はみられない。また、少しまとまった研究例として、ドイツの大学における試作モデルがあるが、民生品のDSPチップやFPGA、SDRAM等を多数使用しており、放射線環境が過酷な宇宙での利用よりはむしろ、UAV(Unmanned Aerial Vehicle)と呼ばれるような小型の地球観測プラットフォームへ搭載するタイプのシステムであるといえる。

2. 研究の目的

(1) SAR のような大規模なセンサを搭載するミッションを考える場合、最終的にはアンテナのサイズや消費電力等々について、衛星/探査機全体に整合したシステムとしての設計が要されることは言うまでもないが、本研究では、惑星 SAR ミッションの成立性の目処を短期間で得ることを第一の目的とし、探査機上処理に適した SAR 画像生成アルゴリズムの追求、及びこれを実現するための搭載計算機の構成の検討、に注力する。

(2) 消費電力や重量といった機上処理に特有な制約条件を勘案しつつ、ソフトウェアシミュレーション等を通じて、以下のような課題を解決することを目指す。

① 相関演算による 2 次元レーダ画像の生成処理においては、着目する散乱体とプラットフォーム(探査機)とのスラントレンジ距離が、プラットフォームのアジマス方向への進行に伴い変化する、いわゆるレンジマイグレーション

効果の補正の良し悪しが鍵となる。一般的なレンジドップラ法では、レンジマイグレーションの補正に、搭載計算機が比較的不得手とする内挿演算が多用されており、ここでは SAR の原理に立ち返りながら、許容されるアルゴリズムの省略化を検討することが求められる。また、多偏波観測やインタフェロメトリといった高次の SAR アプリケーションにおいては、高精度な位相情報が必須であり、この点についてもミッション要求を精査してレンジマイグレーション補正アルゴリズムを構築する必要がある。また、レンジマイグレーションの 1 次項は対象表面の自転による影響であるが(レンジスキュー)、未知天体の探査においては、パラメトリックにこれを補正することなども検討する。

② 合成開口処理において受信信号との相関をとるアジマス方向の参照関数は、探査機の軌道情報により導出される。地上で相関処理を行う場合には、各種手法により決定された軌道データを用いることが可能であるが、(特に惑星探査機の)機上におけるリアルタイム処理においては、何らかのレベルで自律的にこの問題を解決する必要がある。考えられる選択肢は、ジャイロ等の搭載センサを用いた簡易的な機上軌道決定による方法、もしくは SAR の分野でオートフォーカスと呼ばれる処理からフィードバックをかける方法であり、これらについて、得られる精度、探査機における他のサブシステムとのインターフェース、計算リソース等に関し、総合的なトレードオフを行う。

③ 耐放射線性を有する宇宙用プロセッサの昨今の速度の向上はめざましいが、一般的な SAR 画像合成処理に要する演算速度との間には、GFLOPS 等のチップ単体性能にして未だ 1 桁以上の開きがある。その克服には、マルチチップを用いた並列化が不可避であるが、その際、データの入出力や中間結果保存時のメモリアクセスのコンフリクトやボトルネックの問題に留意すべきと考えられる。メモリ容量も、地上処理と比較してオーダの単位で少ないため、最適な処理フローを検討する。

3. 研究の方法

(1) 本研究はデジタル部の構成や処理アルゴリズムに焦点を絞っているとはいえ、レーダシステムを設計するにあたっては、要求仕様の明確化が重要である。また、探査機の他のサブシステムとのインターフェースについても、設計の前提として確定しておくべき要素であり、以下に挙げるような項目の整理を行う。

- ① 観測周波数・分解能
- ② 処理のリアルタイム性
- ③ SAR 観測モード(多偏波・インタフェロメ

トリ機能など)

- ④ ターゲットとする天体(自転についてなどレンジスキューの見積りに関連. 対象とする表面により, 観測周波数を合わせて考える必要あり. 巡航フェーズや周回観測中の放射線環境や温度は, 使用部品の制約となる.)
- ⑤ SAR システムへの入力パラメータ(軌道情報の有無は, アジマス参照関数の導出に大きく影響)
- ⑥ 地球へのダウンリンクレート

(2) 地上処理の代表的な SAR 画像合成アルゴリズムを, 探査機搭載ハードウェアに親和性の高い形で簡略化する. さらに, 探査機上における各種センサによって推定される軌道データの誤差の影響を吸収しつつ, かつ既設ターゲットに依存しないオートフォーカス手法を検討し, これを組み合わせたソフトウェアシミュレーション等を通じて性能を確認する.

(3) 探査機上処理に適した SAR 画像合成処理アルゴリズムを実現するための, ハードウェア構成の検討を行う. 具体的には, 次のような流れで設計を行う.

- ① 処理アルゴリズムの演算量を見積もり, 使用する演算素子(CPU, DSP など)を選定する. 演算素子については, その時点での入手性をもとより, 多少長いスパン(5 年程度)での宇宙用部品の開発見込みを考慮する.
- ② 処理フローをブロック化し, 複数の演算素子による並列化を検討する. そこでは, 処理ブロック毎に素子を分けるか, あるいはブロック内の処理をパラレル化するか, についてトレードオフを行う.
- ③ 入出力のデータレートやバッファリングすべき演算の中間結果のサイズなどから, 搭載するメモリ量を決定する. 部品の放射線耐性を考慮しつつ, 各処理に必要なアクセススピードに合わせ, 適宜, DRAM/SDRAM や SRAM, Dual-Port-SRAM (DPRAM) を使い分ける. 処理アルゴリズムのプログラムコードを保存する ROM 容量の見積もりも行う. また, 演算素子の並列化に伴うメモリアクセスのコンフリクトを調停する機構なども検討する.
- ④ 消費電力や重量を推定し, 探査機システム内でのフィージビリティを確認する.

4. 研究成果

(1) 探査機搭載計算機のリソースを鑑みたアルゴリズムの簡略化, あるいは並列化について検討作業を行い, 机上実証に必要な環境を整備した.

(2) 既設ターゲットに依存しないフィードバック処理的な自動合焦手法の研究を実施

した. これは, 具体的には, 一様な対象表面を撮る際の SAR 画像の空間的揺らぎの統計に依拠するものである. この着想について, コンピュータ上のシミュレーションで検証を進めるとともに, さらに, これら統計的特徴量から未知惑星表面に関する物理量を推定する方法について研究を行い, グランドデータの存在する地球観測データ(航空機 SAR 画像)を用いて, その効果を確認した(例: 図1).

(3) アルゴリズム検討と並行して, 機上処理を実現するための搭載計算機の構成検討を行った. 具体的には, 処理アルゴリズムの演算量の見積もり, 処理フローのブロック化/並列化に基づく機能配分の検討, 入出力のデータレートやバッファリングすべき演算の中間結果のサイズなどを勘案した搭載メモリ量の推定, などを実施した.

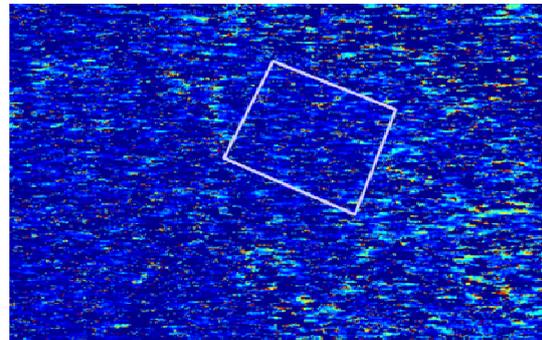
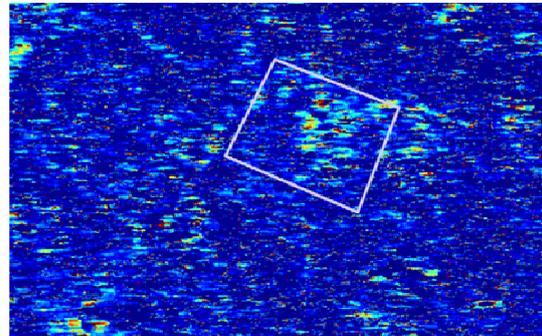


図1 散乱成分の偏波応答(航空機 SAR 画像で検証)

5. 主な発表論文等

(研究代表者, 研究分担者及び連携研究者には下線)

[学会発表] (計4件)

- ① Seisuke Fukuda, System requirements for modern satellite SAR missions, 27th International Symposium on Space Technology and Science (ISTS), July 9th, 2009, Tsukuba.

- ② Seisuke Fukuda, Forest spatial structure enhancing non-Gaussian texture in airborne L-band POLSAR images, 2008 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS 2008), July 8th, 2008, Boston, MA.
- ③ Seisuke Fukuda, Decomposition-based analysis of highly textured forest images acquired by airborne polarimetric SAR, Progress in Electromagnetics Research Symposium (PIERS 2008), March 27th, 2008, Hangzhou, China.
- ④ 福田盛介、粗密構造を有する森林を撮した航空機搭載LバンドPOLSARデータの非ガウシアン性、電子情報通信学会総合大会、2008年3月18日、北九州。

6. 研究組織

(1) 研究代表者

福田 盛介 (FUKUDA SEISUKE)

独立行政法人宇宙航空研究開発機構・宇宙

科学研究本部・助教

研究者番号：50332151