

SAR 超解像処理の並列化検討

4 Z B - 0 6

和泉 秀幸[†] 竹内 秀樹[‡] 佐藤 裕幸[†]

[†] 三菱電機 (株) 情報技術総合研究所 [‡] 三菱電機 (株) 鎌倉製作所

1 はじめに

SAR(Synthetic Aperture Radar: 合成開口レーダ) は、全天候型で地表を高分解能で撮像できるセンサである [2]。SAR はリモートセンシングなどで利用されるが、利用には様々な画像 (信号) 処理が必要になる。これらの画像処理は演算量が多いため、我々は、SMP(Symmetric Multi-processor) でマルチスレッドプログラムによる処理の並列化 (高速化) を進めている。

SAR では、人間が理解可能な画像を生成する画像再生処理が必要になる。再生画像のレンジ分解能は、送信信号の帯域幅など、センサ側の性能によって制限される。再生画像に信号処理を施して、さらに分解能を向上させる超解像手法の 1 つに、MUSIC(Multiple Signal Classification) を利用した方法 [1] がある (図 1 参照)。

MUSIC による超解像処理も、計算負荷が高いと予測されたため、並列処理による高速化を検討している。MUSIC では、処理対象の画像により処理負荷が変動する性質がある。このため、並列処理で、均等な負荷分散が難しいという課題がある。本稿では、この処理に対する並列化の検討結果を示す。

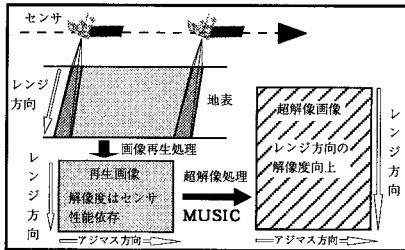


図 1 MUSIC による超解像処理の概要

2 MUSIC 超解像処理の解析

並列化検討を行うにあたり、まず、MUSIC 超解像処理を解析して、各部分処理毎の並列実行の可能性と、部分処理間の依存関係を解析した。また、処理負荷の占める割合を計測した。この結果を図 2 に示す。

解析の結果、MUSIC では、レンジ方向の各行単位で実行可能な (各行間で依存関係が無い) 部分処理が多く、容易に並列実行できることを確認した。逆に、処理を一連の手順にそって進めるため、異なる処理を並列実行すること

Parallelization of SAR Image Super Resolution Processing by Using MUSIC

Information Technology R&D Center, Mitsubishi Electric Corporation, 5-1-1 Ofuna, Kamakura, Kanagawa, 247-8501, Japan

は困難だと判断した。このため、MUSIC では、部分処理毎にデータ並列による高速化を考えることにした。

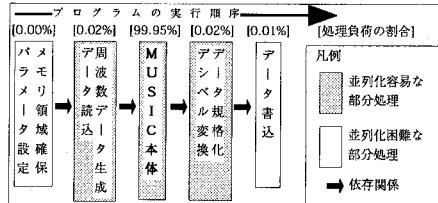


図 2 基本的な処理手順と並列化解析結果

次に、処理負荷の占める割合が最も高い、MUSIC 本体について詳しい解析を実施した。MUSIC 本体では、各レンジ行毎に、固有値を基準に各行に含まれる散乱点の個数 K を推定し、推定した散乱点を基準に画像の解像度向上計算を行う。このため、計算量が一定の部分 (散乱点の個数を推定するまでの部分) と、推定散乱点の数 K に依存して計算量が変化する部分 (散乱点から解像度を向上させる部分) がある。

本稿では、各レンジ行毎の MUSIC 本体処理の実行時間を式 1 で示すことにする。ここで T は全実行時間、 X は計算量一定部分の計算時間、 Y は推定散乱点数 K に依存して計算量が変化する部分の計算時間とする。

$$T = X + Y \quad (式 1)$$

並列処理で MUSIC 本体処理の計算負荷を均等に分割するには、推定散乱点数 K に依存した Y の変動量が、 X の時間と比較してどの程度になるかを調査しておく必要がある。まず、MUSIC 本体で、 X と Y に対応する部分を明確にした (図 3 参照)。

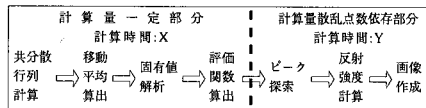


図 3 MUSIC 本体での X と Y の明確化

3 並列化の判断基準となる実行時間の計測

Y の変動量を調査するため、サンプル画像を使って実機上で実行時間を計測した。計測条件は、入力レンジ $128 \times$ アジマス 64 画素の再生画像、出力が 512×64 画素の超解像画像で、計測環境は MIPS R10000(250MHz) $\times 8$ プロセッサの SGI ORIGIN 2000 である。ORIGIN 2000 は並列計算機だが、今回は逐次実行の計測結果である。

図4の計測結果から、Xの時間については、推定散乱点数によらず、ほぼ一定である。一方で、Yの時間については、推定散乱点数Kの2乗から3乗程度に比例して変化している。

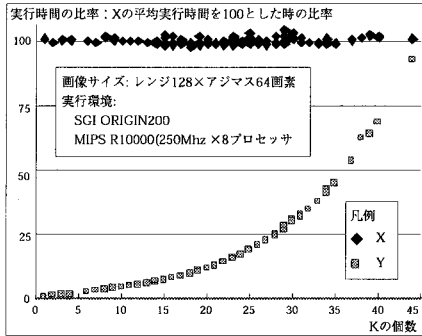


図4 推定散乱点数と実行時間

今回の計測条件で、発見される可能性のある推定散乱点数Kの最大値は63個である。Yは、Kの数が46から48個くらいでXを追い抜く見込みであり、最大値(63個)となった場合は、Xの数倍に達すると予測される。

4 並列化方法の提案

計測結果から、推定散乱点数Kに依存したYの変動量は大きく、単純に画像領域の大きさを基準に分割するだけでは、均等に負荷を分散できないことがわかった。

推定散乱点数のKは、各レンジ行ごとに、入力画像に依存して変わり、かつ、処理前に正確な値を得るのは難しい。このため、次の方針で並列実行する。

- レンジ方向の行単位で処理を分割
依存性解析結果から、レンジ方向の行単位で容易に並列実行できるので、各プロセッサへ割り当てる画像領域の最小単位をレンジ方向1行分とする。
- 動的なスケジューリングで画像領域を分割
推定散乱点数Kに依存した処理負荷の変動に対応するため、各プロセッサに割り当てる処理量を動的に調整可能な、Guided-self スケジューリングを使って画像領域を分割する。

この並列化方針に従った実装を行うことで、ある程度均等に各プロセッサに計算負荷を分割できると考えている。ただし、推定散乱点数Kが大きい場合、例えば図4の条件でKが最大値63個となる時は、Kが数個程度の時と比較して、1行あたりの計算負荷が数倍に増大する。これは、動的なスケジューリングによる調整だけでは対応できない変動量だと考えた。

このため、上記の並列化方針に、一定量の計算負荷を越えた場合に、処理領域の再割当を行う機能を追加した並列化方法を提案する(図5参照)。

- 最大処理量の設定
画像領域を割り当てる時に、対象の領域に対する最大処理量を設定する。最大処理量は、推定散乱点数Kを基準とした値であり、分割サイズの大きさと計算量の変動幅を基準に算出する。
- 1行単位の実行を優先
キャッシュに入ったデータを効率良く実行するため、各行毎に1連のMUSIC本体の処理(共分散行列の計算~画像の再生)を繰り返す形式で実行する。
- 推定散乱点数Kを優先して計算
各行では、まず推定散乱点数Kを求め、Kの値からこの行の処理負荷を算出する。算出した処理負荷は、割当領域ごとに累計して保持しておく。
- 再割当の判定
累計の計算負荷が、最大処理量を越えない場合は、割当領域の次の行を実行する。越えた場合は、割当領域の未処理部分の再割当を指示する。
- 再割当領域の管理
再割当を指示された領域は、他の未処理領域と一緒にする。領域分割では全ての未処理領域の行数を基準に、分割サイズを決定する。

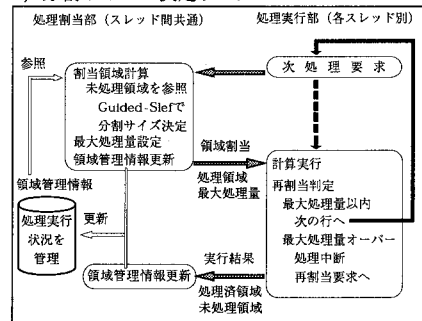


図5 提案する並列化方法

5 まとめ

本稿では、MUSICによる超解像処理を対象に、依存性解析を行い、並列化方法を検討した。MUSICでは、画像に含まれる推定散乱点の個数により、処理負荷が変動する。実機での評価から、この変動量が大きく、並列実行方法を工夫する必要がある結果を得た。本稿では、この結果を踏まえて、推定散乱点の個数を基準にした並列実行方法の提案までを行った。

今後は、提案手法をMUSICによる超解像処理に組み込んで、評価を進めていく。

参考文献

[1] 堀内, 藤坂: レンジ圧縮に MUSIC 法を用いた SAR 画像再生アルゴリズム, 信学会 '99 ツサイエティ大会, B2-3, 1999.
[2] 畚野 信義: 合成開口レーダ, 日本リモートセンシング学会誌, vol.1, no.1, pp.49-107, 1981.