

画像分割による MUSIC 超解像処理の高速化 Optimization by Partitioning the picture for SAR Image Super Resolution Processing Using MUSIC

A-14

和泉 秀幸[†] 竹内 秀樹[‡] 佐藤 裕幸[†]
Hideyuki Izumi Hideki Takeuchi Hiroyuki Sato

1 はじめに

SAR(Synthetic Aperture Radar : 合成開口レーダ) は、全天候型で高分解能で地表を撮像できるセンサである [1]. 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。この処理で生成する再生画像の分解能は、送信信号の帯域幅など、センサの性能で決まる。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 [2] がある (図1 参照)。

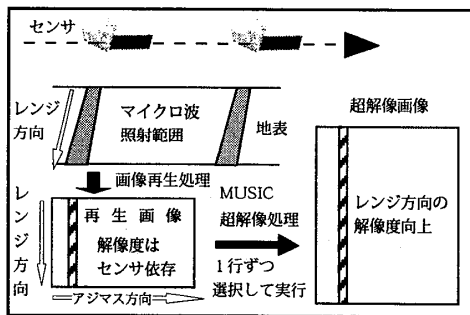


図1 MUSICによる超解像処理の概要

MUSIC 超解像処理 (以後、本稿では MUSIC とする) も計算負荷が高く、高速化を進めている。MUSIC では、画像分割して実行することで処理時間の短縮が見込めるが、処理結果である超解像画像が影響を受ける。本稿では、MUSIC を画像を分割して実行した時の、実行時間と超解像画像に対する初期的な評価結果を示す。

2 MUSIC の概要と画像分割の目的

MUSIC は、画像に含まれる散乱点数を推定し、推定した散乱点数から解像度を向上させるアルゴリズムである。レンジとアジマスの両方向で適用可能だが、本稿ではレンジ方向の解像度を向上させる MUSIC を対象とする。ここでは、レンジ方向の行単位で処理を実行する。

高速化検討では、まず、並列化に向けた依存関係の解析、各部分処理毎の実行時間の計測や計算オーダーの解析を行った (図2 参照)。

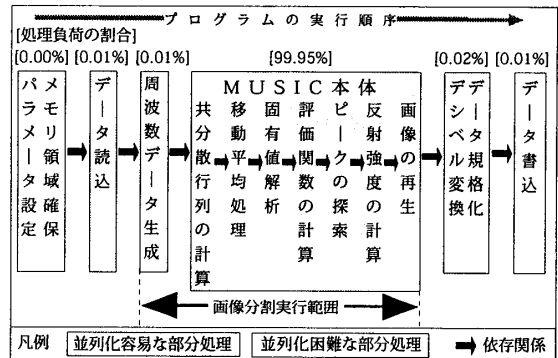


図2 MUSIC 超解像処理

“MUSIC 本体” が全実行時間の 99% 以上を占めるため、この処理に絞って検討を進めた。“MUSIC 本体” は、レンジ行毎の実行には依存関係が無く、一方で処理を一連の手順にそって進める必要があるため、データ並列による高速化を考えることにした。また、計算オーダーは、画像のサイズ (レンジ行の画素数) “N” と各レンジ行で算出する推定散乱点数 “K” に依存する (表1)。

処理名	オーダー
共分散行列の計算	$O(N^2)$
移動平均処理	$O(N^3)$
固有値解析	$O(N^3)$
評価関数の計算	$O(N^3)$
ピークの探索	$O(K + N \log N)$
反射強度の計算	$O(K^3 + K^2 * N + K * N^2)$
画像の再生	$O(K * N)$

このうち、推定散乱点数 “K” は、レンジ行毎に算出され、入力画像により値が変動する。そこで、並列化で負荷分散が困難な課題があると考え、“K” による処理負荷の変動に対応した並列負荷分散方法を優先して検討した [3]。

MUSIC は、再生画像から任意の範囲を切り出し、局所的な再生画像を使って超解像処理を行うこともできる。ただし、固有値を求めるなど、選択した領域で計算を行うため、“N” に依存した計算オーダーとなる。

この特徴から、画像分割 (レンジ行を分割した実行) も MUSIC の高速化方法の候補と考えた。MUSIC では、画像分割の実現が容易であり、また、 $0 \leq K \leq N \div 2 - 2$ と、“N” を小さくできれば “K” による処理負荷の変動量を抑えられる利点も見込める。

ただし、画像を分割して実行した場合には、処理結果が変わることが解っている。ここでは、画像分割による画質

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

への影響を事前に予測できない課題がある(解像度は画像分割の有無に関わらず再生画像よりも向上する。ただし、推定散乱点と現実とが一致する精度の優劣がわからない)。また、計算時間の改善量についても、オーダーには反映されていない係数部分の計算時間と、画像分割を実現するためのオーバーヘッド時間の影響を受ける。

このため、実際に画像を分割して実行できるプログラムを試作して、実行時間と処理結果の画像を評価した。

3 画像分割の評価

評価では、1枚のサンプル画像を使い、分割サイズを変えて、超解像画像作成の基準となる推定散乱点数と、実行時間とを計測した。計測条件は、入力がレンジ128×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)×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。

なお、評価結果では、実行時間と推定散乱点の個数の両方とも、各レンジ行毎の総和を示す。例えば、1行を4分割した場合には、分割された4つの領域の“実行時間の総和”と“推定散乱点数の総和”として示す。

3.1 推定散乱点数

推定散乱点数の計測結果を図3に示す。図3から、推定散乱点数は分割サイズに対して不規則に変化し、分割サイズと推定散乱点数の間に関連性を見い出せなかった。

この推定散乱点数の変動は、分割サイズではなく、データの内容に依存していると推測する。このため、実際に撮影した画像を使った評価では因果関係を調査するのは困難であり、シミュレーションを利用して評価用の模擬データを作成して調査を進める方法が有効だと考えている。

3.2 実行時間

実行時間の計測結果を図4に示す。ここでは、推定散乱点数が最大または最小となった実行時間を、それぞれ分割数1(分割無し)との性能比(改善率)で示す。実行時間の計測範囲は、画像分割実行範囲である(図2参照)。

図4から、画像を半分分割する毎に、2~4倍程度高速化できることがわかる。これは、表1の計算量から見て妥当な性能改善量であり、画像分割による高速化では、オーバーヘッド等の影響が無視できる程小さく、予想通りの高速化を達成できたと考える。また、推定散乱点数が最大時の方が最小時よりも改善率が大きい理由は、推定散乱点に依存した処理で計算負荷が最大である“反射強度の計算”の影響と考える。この計算オーダーが、 $O(K^3 + K^2 * N + K * N^2)$ のため、推定散乱点数が最大時の計算時間で改善が大きかったと考える。

画像分割した各領域の間には依存関係がないため、分割

した領域を並列処理でプロセッサに割り当てる単位としても良い。ここでは、割り当て単位の領域をキャッシュのラインサイズより小さくしない等、キャッシュアクセスも考慮すべきと考える。

行番号	推定散乱点の個数「K」				※分割後の処理領域の画素数	
	分割数	1	2	4		8
1	画素数※	128	64	32	16	
2		3	13	6	8	
3		12	4	12	8	
4		16	14	9	14	
5		6	14	6	8	
6		10	10	10	11	
7		3	7	7	2	
8		10	2	12	8	
9		6	10	11	8	
10		13	7	3	5	
11		24	29	17	3	
12		5	19	18	10	
13		8	7	4	3	
14		13	23	8	8	
15		11	12	8	7	

図3 推定散乱点数

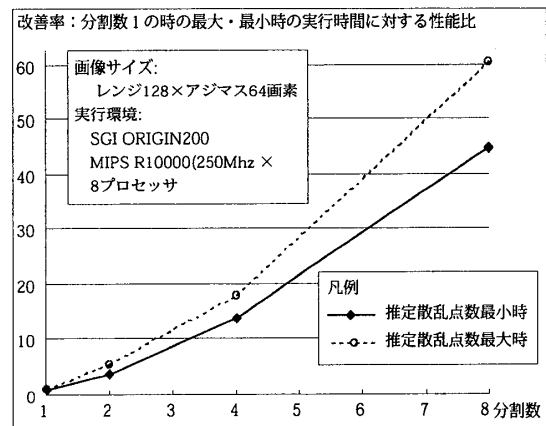


図4 実行時間

4 まとめ

本稿では、画像を分割したMUSICによる超解像処理について、サンプル画像を使って評価した。

この結果、画像分割で小領域の処理を繰り返す方法が、実行時間を大幅に削減できることを確認した。一方で、処理結果画像の品質に影響を与える推定散乱点の個数と分割領域のサイズでは関連性を見い出せなかった。

今後は、推定散乱点数が変動する原因の調査を進める。また、高速化と超解像画像の品質の両方を満足する画像分割法の研究を進める。

参考文献

- [1] 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.
- [2] 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ソサイエティ大会, B2-3, 1999.
- [3] 和泉, 竹内, 佐藤: SAR超解像処理の並列化検討, 第64回情報処全国大会 4ZB-6, Mar. 2002.