

SAR 画像再生処理における演算量削減のためのデータ分割方法の検討

水野 政治 和泉 秀幸 中島 克人

三菱電機(株) 情報技術総合研究所

1 はじめに

合成開口レーダ (Synthetic Aperture Radar, SAR) は、リモートセンシングの分野において、雲霧等の天候に左右されず、高い分解能で地表を撮像することができるセンサとして知られている¹⁾。SARでは、取得した元データから人間が理解できる画像を再生する処理が必要となるが、このSAR画像再生処理は演算量が非常に大きいので、しばしば並列処理の一応用アプリケーションとして取り上げられている。筆者らは、その一並列処理手法として、幾つかの部分画像に分割して並列処理を行う手法を提案した²⁾が、分割する部分画像の大きさによっては演算量を削減できることがわかった。これは、データを分割して処理することによって、本来不要であった演算が削除されるためであり、並列処理を行わない場合であっても有効な手段であると考えられる。そこで、本稿では、データ分割と演算量の関係を整理し、演算量を削減するためのデータ分割方法を示す。

2 SAR 画像再生のアルゴリズム

SAR画像再生のアルゴリズムは種々提案されているが、その中でも、レンジ・ドップラ・アルゴリズムは最も広く一般的に使用されているものの一つである。このアルゴリズムは、レンジ参照関数及びアジマス参照関数との畳込み演算によって、レンジ方向とアジマス方向とに伸長した元データを圧縮し、画像を再生するものである。よく知られているように、畳込み演算は高速フーリエ変換 (Fast Fourier Transform, FFT) を用いることによって演算量を削減できるため、SAR画像再生においてもFFTが用いられるのが一般的である。図1に、本アルゴリズムに基づくSAR画像再生処理の流れを示す。ここで、レンジ/アジマスFFTは、レンジ方向あるいはアジマス方向1ライン分ごとのデータに対するFFTである。また、レンジマイグレーション補正は、アジマス圧縮において正しくデータが圧縮できるよう、データ取得時に生じる観測点との距離の変化を補正する処理であり、データをレンジ方向に適切な量だけ移動、あるいは内挿計算するものである。

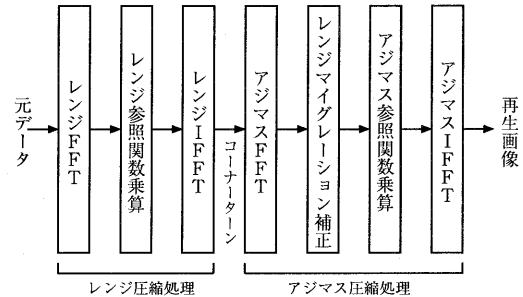


図1: SAR 画像再生処理の流れ

3 SAR 画像再生におけるデータ分割方法

以上のように、レンジ・ドップラ・アルゴリズムの基本部分は畳込み演算であるので、元データを適切な重なりを持たせて分割すれば、各部分画像に対して同様なアルゴリズムで処理を行なった場合でも同様な処理結果を得ることができる。

以下、本稿では、話を単純にするため、レンジ圧縮処理に着目する。アジマス圧縮処理では、レンジマイグレーション補正があるため若干複雑になるが、同様に考えることは可能である。

3.1 レンジ圧縮処理の演算量

いま、元データのレンジ数を n 、レンジ相関長などを考慮し分割時にオーバーラップすべき大きさを m とし、分割なしに処理を行う場合に適用されるFFTの点数を N とおく。実数の加算及び乗算の回数を演算量とした場合、1ライン分のレンジ圧縮処理における演算量 E は次式で表すことができる。

$$\begin{aligned} E &= 5N \log_2 N + 6N + 5N \log_2 N \\ &= 10N \log_2 N + 6N \end{aligned} \quad (1)$$

次に、データを p 個に分割するとし、この場合に各部分領域に適用されるFFTの点数を N_p とおくと、各部分領域の演算量 e_p と全体の演算量 E_p は、

$$e_p = 10N_p \log_2 N_p + 6N_p \quad (2)$$

$$E_p = p \cdot e_p \quad (3)$$

となり、次のような関係が成り立つ場合、 $E > E_p$ 、すなわちデータ分割により演算量を削減することができる。

$$\frac{E}{e_p} > p \quad (4)$$

3.2 データ分割に伴う演算量の変化

さて、分割前の FFT 点数 N と、分割後の FFT 点数 N_p は、いずれも通常 2 の冪乗の数が選ばれるので次のような関係が成り立つ。

$$N = 2^k N_p \quad (k \text{ は } 0 \text{ 以上の整数}) \quad (5)$$

この関係から、式 4 の左辺を整理すると、

$$\frac{E}{e_p} = 2^k \frac{E}{E - 10Nk} \quad (> p) \quad (6)$$

となり、 $k \geq 1$ であれば、 2^k より大きな値となる。例えば、表 1 は、SAR 画像再生処理で用いられるような N の幾つかの値について、式 6 を計算した結果である。

表 1: E/e_p の計算結果

k	2^k	N		
		4096	8192	16384
0	1	1.00	1.00	1.00
1	2	2.17	2.16	2.15
2	4	4.76	4.69	4.64
3	8	10.50	10.26	10.07
4	16	23.44	22.67	22.04

3.3 データ分割数と FFT 点数との関係

上記の通り、少なくとも $2^k > p$ を満たす分割数 p が存在すれば、全体の演算量を削減することができる。そこで、データ分割数 p と分割後の FFT 点数 N_p との関係について整理する。

いま、元のデータ長 n は m だけオーバーラップして p 個に分割するので、均等に分割した場合、分割後の各部分領域のデータ数は $(\frac{n-m}{p} + m)$ 。分割後の FFT 点数 N_p は、これよりも大きい 2 の冪乗の数であるので、次式の関係が成り立つ。

$$N_p \geq \frac{n-m}{p} + m \quad (7)$$

よって、式 5 及び式 7 から、所望の FFT 点数 N_p を満足するような分割数 p は次式で算出できる。

$$p \geq \frac{n-m}{N_p - m} = \frac{n-m}{\frac{N}{2^k} - m} \quad (8)$$

ここで、所望の FFT 点数 N_p を満足する分割数 p は複数存在する可能性があるが、この内の最小の p を選択すべきである。(式 2, 3 より、 N_p が同一の値をとる場合、 p が小さいほど全体の演算量 E_p が小さくなるため)

3.4 適用例

以上の検討から、対象とする SAR 画像再生処理に応じて、式 6 及び式 8 を満足する分割数 p が存在する場合

に、データ分割によって全体の演算量を削減することができる。ここでは、RADARSAT / SAR³⁾ のパラメータを参考に、 $n = 6000, m = 600$ と想定し、この場合の効果について示す。

表 2 は、このケースにおける式 6、式 8 の計算結果をまとめたものである。

表 2: $n = 6000, m = 600$ の場合の計算結果

N_p	k	2^k	式 6 $> p \geq$	式 8
8192	0	1	1.00	$> p \geq 0.71$
4096	1	2	2.16	$> p \geq 1.54$
2048	2	4	4.69	$> p \geq 3.73$
1024	3	8	10.26	$> p \geq 12.74$

$n = 6000$ であることから $N = 8192$ が確定される。 N_p は $m < N_p \leq N$ を満たす 2 の冪乗の数であるので、 $N_p = 8192, 4096, 2048, 1024$ の 4 通りが考えられる。各 N_p について、式 6、式 8 を計算し、(式 6 の結果 $> p \geq$ 式 8 の結果) を満たす、分割数 p において演算量を削減できる。

今回のケースでは、表 2 から、分割数 $p = 2, 4$ の 2 通りにおいて演算量は削減されることがわかる。ここで、全体の演算量は、 $p = 2$ とした場合 $2/2.16 = 0.93\%$ 、 $p = 4$ とした場合 $4/4.69 = 0.85\%$ まで削減できるので、最も効率の良いのは分割数 $p = 4$ の場合である。

4 まとめ

今回、レンジ・ドップラ・アルゴリズムによる SAR 画像再生処理のレンジ圧縮処理における、データ分割方法とその演算量の関係について検討した。データ分割に伴い、本来不要であった演算が削除され、全体の演算量が減少する場合があることに着目し、全体の演算量を削減するためのデータ分割方法とその条件を定式化した。これにより、種々の SAR 画像再生処理の応用において、適切なデータ分割方法の選択を可能とした。

なお、今回、後段のアジマス圧縮処理については検討していないが、同様な手段によって定式化できるものとする。また、今回検討したレンジ圧縮処理は、他の SAR 画像再生処理のアルゴリズムや、種々のレーダ信号処理においても用いられるものであり、多岐の応用に適用できるものと期待する。

参考文献

- 1) Curlander, J. C. and McDonough, R. N.: "SYNTHETIC APERTURE RADAR Systems and Signal Processing", John Wiley & Sons, Inc. (1991).
- 2) 水野政治, 中島克人: 「画像分割方式による SAR 画像再生の並列処理方式の基礎検討」, 情報処理学会第 58 回全国大会, pp. 2-13,14 (1999).
- 3) <http://radarsat.space.gc.ca/>