

SAR 画像再生の並列処理におけるアジマス圧縮処理のデータ分割方法の検討

水野 政治 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。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 (これを SAR 画像再生と呼ぶ) が必要となるが、演算量が非常に大きい。そのため、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。しかし、いわゆるレンジ・ドップラ・アルゴリズムによる SAR 画像再生では、アジマス圧縮処理において単純にデータ分割を行うことができない。そこで、本稿では、アジマス圧縮処理の効果的なデータ分割方法について検討する。

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、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¹⁾。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。基本的な処理の流れを図1に示す。

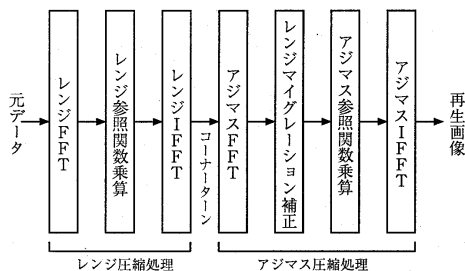


図1: SAR 画像再生処理の流れ

ここで、レンジFFT/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(高速フーリエ変換)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

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。

3 アジマス圧縮処理の並列処理におけるデータ分割方法

前半のレンジ圧縮処理では、いずれの処理もレンジ方向1ライン分を対象とするため、単純にレンジ方向でデータを分割し、並列処理を行うことが可能である。

これに対し、後半のアジマス圧縮処理では、アジマス方向のFFTを行なった後、レンジマイグレーション補正を行うが、この処理はレンジ方向であるため、単純にアジマス方向でデータを分割して一通り並列処理することはできない。そのため、次のような並列処理方法が考えられる。

1. レンジマイグレーション補正で必要となるデータ領域は、予め計算して求めておくことができるので、初めからレンジマイグレーション補正で必要となるデータ分をオーバーラップして分割し、各プロセッサでアジマスFFT、レンジマイグレーション補正を行う。
2. まず単純にアジマス方向にデータを均等分割し、アジマスFFTを行なった後、レンジマイグレーション補正で必要となるデータを隣接するプロセッサ間で転送し、レンジマイグレーション補正以降の処理を行う。

ここで、前者は、プロセッサ間の同期やデータ転送は必要なく制御も単純であるが、データをオーバーラップした分、各プロセッサは余計にアジマスFFTを行わなくてはならず、全体の演算量が増加してしまう。一方、後者の方法では、全体の演算量の増加は伴わないが、アジマスFFT後、プロセッサ間の同期、データ転送が発生する。

いずれの方法でもレンジマイグレーション補正以降の処理は同じであるため、オーバーラップに伴うアジマスFFTの演算時間の増分と、アジマスFFT後のデータ転送のコストとを比較することによって、より効率的な並列処理方法を探ることができる。

3.1 オーバーラップに伴う演算時間の増分

プロセッサ数を P 、レンジ数を R 、レンジマイグレーション数、すなわちオーバーラップすべきデータ量

を r とおくと、データをオーバーラップする場合、各プロセッサは、 $\frac{R-r}{P} + r$ レンジについてアジマス FFT を行うこととなる。一方、アジマス FFT 後にデータ転送を行う並列処理方法では、 $\frac{R}{P}$ レンジについてアジマス FFT を行えばよい。したがって、オーバーラップによる並列処理方法で増加する演算時間は、1 レンジ分のアジマス FFT の演算時間を x とすると、

$$\text{演算時間の増分} = x \cdot r \cdot \left(1 - \frac{1}{P}\right) \quad (1)$$

つまり、オーバーラップによって増加する演算時間は、使用するプロセッサ数が大きくなるのに伴って、ほぼ一定 (r レンジ分のアジマス FFT の演算時間) となる (図 2)。加えて、他のアジマス圧縮処理の演算時間はプロセッサ数に反比例して短くなるため、オーバーラップにより増加する演算時間のアジマス圧縮全体に占める割合は、相対的に大きくなることとなる。

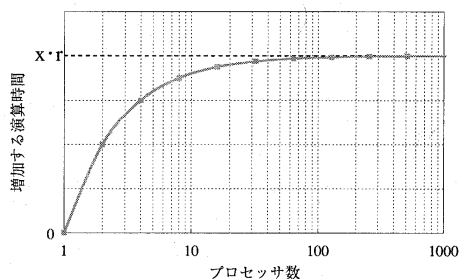


図 2: オーバーラップにより増加する演算時間の変化

3.2 アジマス FFT 後のデータ転送のコスト

アジマス FFT 前にデータをオーバーラップするためには、オーバーラップしない場合に比べ、各プロセッサ当たり $r(1 - \frac{1}{P})$ レンジ分のデータを余計に転送する必要がある。一方、アジマス FFT 後にデータ転送を行う場合には、同じく各プロセッサ当たり $r(1 - \frac{1}{P})$ レンジ分のデータ転送を行うこととなるので、単にデータ転送量のみを比べた場合には違いはない。

しかし、アジマス FFT 後にデータ転送を行う場合、コーナーターンとは別のデータ転送が新たに発生するので、そのデータ転送に伴うオーバーヘッド (C_{tr}) と、各プロセッサの実行制御 (同期等) のコスト (C_{sync}) が増加することとなる。アジマス FFT 後にデータ転送回数を n とすると、増加するデータ転送コストは、

$$\text{データ転送コストの増分} = n \cdot C_{tr} + C_{sync} \quad (2)$$

ここで、 n は隣接するデータ領域を処理するプロセッサ数となるので、 n の最大値は常に 2 であり ($P \geq 3$ の場合)、アジマス FFT 後にデータ転送を行う場合に増加するデータ転送のコストは一定である。

3.3 トレードオフ

いずれの方法がよいかは、式 1、式 2 から算出できる、演算時間の増分とデータ転送コストの増分を比較することによって判断することができる。これらの値は、適用システムの演算性能やデータ転送方法 / 性能に大きく依存するので、ここでは定性的な検討に留める。

現状、オーバーラップ量 r が一般的に数十程度、1 レンジ分のアジマス FFT の演算時間が数百 μs であるため、オーバーラップによる演算時間の増分のオーダーとしては数 ms 程度である。これを一つの目安とする。

共有メモリ型の並列計算機、いわゆる SMP への適用を考えた場合、アジマス FFT 後のデータ転送は (キャッシュミスに伴う) 共有メモリへのアクセスとなり、データ転送オーバーヘッド C_{tr} は十分に小さいと考えられる。また、同期のオーバーヘッド C_{sync} も、 ms のオーダーを十分下回る (例えば、SPL (Simple Parallel Library)²⁾ では、この同期のオーバーヘッドは数 μs 程度) と考えると、アジマス FFT 後にデータ転送を行う方法が適している。

一方、メッセージ通信を基本とした分散メモリ型のシステム、特に Unix のソケット等を用いてメッセージ通信を必要とするシステムでは、数 ms の通信オーバーヘッドが生じるので、アジマス FFT 後のデータ転送のコストは、オーバーラップによる演算時間の増分を上回る可能性が高い。ただし、近年、低遅延の通信ライブラリに対する研究開発が盛んであり、この場合、通信オーバーヘッドは数 μs 程度であるため、アジマス FFT 後のデータ転送のコストを小さくすることができる。

4 まとめ

レンジ・ドップラ・アルゴリズムによる SAR 画像再生を並列処理する場合の、アジマス圧縮処理のデータ分割方法について検討した。アジマス FFT 前にデータをオーバーラップして分割しておく方法では、数十レンジ分のアジマス FFT の演算時間分、演算時間が増加するため、SMP 等の通信オーバーヘッドのない、あるいは小さなシステムでは、演算時間の増加のない、アジマス FFT 後にデータ転送を行う方法が向いている。ただし、近年のプロセッサの高速化に伴い、演算時間は短く、相対的にデータ転送のコストが大きくなる傾向にあるため、オーバーラップによる並列処理方法における演算時間増加の問題も軽減されることが期待できる。

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) 福地雄史, 他: 「マルチプロセッサ対応 UNIX 上での並列プログラム開発支援環境の開発」, 第 48 回情報処理学会全国大会 (1994).