

システム情報工学専攻	学籍番号	937952	指導教官氏名	中川 聖一 梅村 恭司 井上 克己
申請者氏名	呂 健			

論 文 要 旨 (博士)

論文題目	Studies on 2D Convolution Algorithms and Their Implementations on Mesh-connected SIMD Computers (メッシュ結合 SIMD 計算機における二次元コンボリューション・アルゴリズムとその実現の研究)
------	---

画像処理の応用は、大きな計算量を必要とするものが多い。複数のプロセッサ・エレメント (PE) を持つ並列計算機の使用によって、速度向上が期待されるが、PE の間に同期と通信が必要なため、速度向上率が PE 数よりかなり小さい場合が多い。理想的な速度向上率が得られるかどうかは応用の種類やアルゴリズムに大きく依存する。

本論文では、画像処理において頻繁に用いられる最も基本的なオペレーションである二次元コンボリューション (convolution) 計算のための、メッシュ結合の SIMD 計算機上における最適な並列アルゴリズムについて考察する。

二次元コンボリューションは、ある二次元のテンプレートを二次元の画像上に含まれる同じ大きさの全てのウィンドウと比較することにより遂行される。 $N \times N$ の画像と $M \times M$ のテンプレートについて、その二次元コンボリューションを従来の単一プロセッサの逐次計算機で求めるためには $O(N^2M^2)$ の計算時間を要する。このような大量の計算時間を要する問題に対しては、並列計算による効率的な解決方法が強く望まれている。このためにいくつかの解決案が提案されているが、従来の並列アルゴリズムには、以下の 2 つの制約がある：

- 「PE 数が無制限の場合」だけに適用できる。つまり、画像のピクセル数 $N \times N$ と同数の PE が必要であり、画像の大きさに応じて PE 数の増加が必要である。しかし実際の応用においては、利用可能な商用並列計算機の PE 数は固定されている。
- 通信時間がボトル・ネックになり、それは演算時間よりも長い。従来のアルゴリズムでは、PE 数が N^2 の場合、通信量と演算量はどちらも $O(M^2)$ である。しかし実際の計算機においては、通信命令は演算命令より時間がかかるのが普通である。

本論文では、以上の問題を解決するための手法について考察する。

まず「PE 数無制限の場合」に、演算量の下界は $O(M^2)$ 、通信量の下界は $O(M)$ であることを証明する。そして、最適なデータ収集経路を利用することによって、これらの下限を達成できるアルゴリズムを提案する。これによって、通信ボトル・ネックの問題を軽減することができる。

次に、画像の大きさ $N \times N$ に関係なく PE 数が p^2 に固定されている場合における二次元コンボリューションについて述べる。ここで、 $N = pV$ であり、 V は 1 より大きい整数であると仮定する。演算量と通信量の下限がそれぞれ $O(V^2M^2)$ と $O(VM)$ であることを証明し、さらに、これらの下限を達成する最適なアルゴリズムを提案する。