高速画像処理技術

正会員 吉田博文[†],長谷部 淳[†]

高速デジタル画像処理技術について、デジタル画像処理の歩み、その特長、従来の処理方式の高速化の問題点、現在提案されている方式の特徴と問題点、高速処理技術の現状と将来を紹介する。

1. ま え が き

画像処理の技術として、写真技術、光学技術、アナログビデオ技術、デジタルビデオ技術がある。本稿では、他の技術に比べ利点の多いデジタルビデオ技術に限定して述べる。

デジタル画像処理は、1950年代末にパターン認識の研究ではじめて利用された。その後、画像処理は半導体技術の発展と社会的要求の高まりを背景に急速に発展してきた。半導体技術の発展は、安価で高性能なコンピュータを生み出した。このため、コンピュータによる画像処理は各種産業分野、学術研究分野に広く急速に浸透した。一方、画像処理が発展するにつれ、処理対象の画像データ量が増大したり、処理内容が高度で複雑になり、処理速度が遅いことが問題となってきた。これは、今日、一般に使われているコンピュータがノイマン型コンピュータで、画像処理の並列性や、多次元多量データの高速アクセスに適していないことによる。

このような問題を解決するために、近年さまざまな高速画像処理アーキテクチャが提案されている。本稿では、デジタル画像処理の特長と、従来の処理方式が高速化に適していないことを明確にし、これを解決するための提案されている高速化方式や、その特徴について述べる。また、高速画像処理技術の現状と将来についても述べる。

2. デジタル画像処理

2.1 デジタル画像処理の特徴と問題点

1958年にデジタル画像処理は、Ungerによりはじめてパターン認識の研究に利用された¹⁾。その後、医療リモートセンシングをはじめ、広い分野に利用されるようになった。デジタル画像処理の急速な発展の理由のひとつは、他の画像処理技術に比べ次のような優れた特長をもっていることによる。

- (1) 非線形処理が容易であること
- (2) 高精度処理ができること
- (3) 定量的に取り扱えること
- (4) プログラムにより柔軟に処理できること

もうひとつは、半導体技術の進歩である。安価で高性能なコンピュータや、メモリーの集積度の向上と価格の大幅低下により、容易に大容量画像メモリーを入手できるようになり、画像処理の発展に弾みをつけた。

しかし、画像処理が普及するにつれて、要求も増えた。たとえば、画像のサイズが大きくなったり、画像枚数が増えたり、2値から多値に、さらにカラー画像になるにつれて、処理する画像データが増大した。また、処理内容も高度で複雑になってきた。

このような状況変化に伴い、コンピュータによる画像処理の処理速度が遅いことが問題になってきた。さらにデジタルビデオ機器の方式研究、画像のデータ圧縮、画像通信のための符号化などの研究では、1/30秒以内で1フレームの処理を完了するテレビレートでの処理、すなわち、リアルタイム処理が不可欠である。

処理速度の遅い理由のひとつは、ノイマン型コンピ

[†] ソニー株式会社 情報処理研究所

“High Speed Image Processing Technology” by Hirofumi Yoshida and Atsushi Hasebe (Information Systems Research Center, Sony Corporation, Atsugi)

図 1 RGB カラー画像の情報量

ュータは演算を1つずつ逐次的に処理する直列処理しかできず、非常に多くの独立した演算から成る画像処理特有の並列性を全く生かすことができない。もうひとつは、画像処理特有の多次元構造を持つ大量データの高速アクセスと高速転送を考慮していないことによる。

2.2 画像の情報量

処理対象の画像データは、2値画像、濃淡画像、カラー画像など1画素当たりのビット数や、画像のサイズによって情報量が異なる。一般的なコンポーネントビデオ画像について、その情報量と、リアルタイム処理に必要な処理量とデータ転送量を見積ってみる。

図1にRGBカラー画像の情報量を示す。ビデオ画像は1秒当たり30枚の画像から構成されており、デジタル量では、RGB有効画面(720×512画素×3成分)の1秒分の情報量は、約2億6540万ビットと非常に膨大である。たとえば、このRGBカラー画像に3×3空間フィルタ処理を、1MIPSのコンピュータを使って行くと約45秒もかかる。

したがって、この処理をリアルタイムで行うには、約1300倍の能力をもつコンピュータが必要となる。3×3空間フィルタのように簡単な処理にもかかわらず、リアルタイム処理するには非常に高速演算処理能力を持つシステムが必要であることがわかる。

また処理だけでなく、大量データを高速に転送しなければならない。たとえば、サンプリング周波数13.5MHzのRGBカラー画像の入出力は、それぞれ約3億2400万b/sに達する。汎用コンピュータとカラーグラフィックターミナル間の転送が、一般に19.2kb/sであることと比べると、いかに高速な転送が必要であるかがわかる。

3. 高速デジタル画像処理²⁾

3.1 並列処理

半導体の進歩に伴いDSPの開発が盛んに行われており、20MIPSを達成しているDSPもある。しかし

図 2 パイプライン処理の原理

既存のLSI技術から予測すると、数100MIPSが限界と考えられる。数100MIPSのDSPを使っても、前述した簡単な空間フィルタ処理ですらリアルタイム処理は実現できない。画像処理自体が並列性を多く持っていることもあり、画像処理を複数プロセッサを用いて並列処理し、高速化を図る考えが増えてきた。

並列処理はまだ確立された方式ではなく、複数プロセッサの相互結合ネットワーク、分散処理方式、システムアーキテクチャ、プログラミング言語など、解決しなければならない問題が多い。

3.2 高速化方式

演算の高速化方式として、パイプライン方式とパラレル方式とがある。

(1) パイプライン方式

パイプライン方式は、演算処理を何段もの処理単位に分割し、直列に結合し、流れ作業的に演算を実行する方式である。たとえば、 n 段に分割した各段の処理時間を t とすると、 t 秒ごとにデータをパイプラインに流し込むと、最初の演算結果が得られるまでに $n \times t$ 秒かかるが、それ以降は t 秒ごとに結果が得られる。したがって、同一演算を各データに対し次々に行う場合、ひとつのデータの演算実行時間は見掛け上 t 秒になる。図2にパイプライン処理の原理を示す。

今話題のスーパーコンピュータの高速化も、基本的にはパイプライン方式である。パイプライン方式はハードウェアの構造が単純であり、処理の制御も簡単なので比較的容易に高速化できる。しかし、処理速度は素子速度に比例するので高速化に限界がある。また、パイプライン構造に処理が制約を受け、処理の柔軟性に欠ける問題がある。

図3 “韋駄天”のシステム構成

1素子当たりの演算実行時間が $\frac{1}{N}$ になる

図4 パラレル処理の原理

パイプライン方式を採用している高速画像処理システムに“韋駄天”がある³⁾⁴⁾。図3に“韋駄天”のシステム構成を示す。“韋駄天”はパイプライン方式の柔軟性に欠ける問題点をパイプラインの組み換えにより改善している。空間フィルタや濃度変換などをハードウェア化した処理モジュール(PM)を、スイッチングにより処理に応じた結合を形成する、構造可変パイプラインアーキテクチャである。“韋駄天”は512×512画素サイズの8ビット濃淡画像をテレビレートで処理できる。またその後、カラー画像も取り扱えるように改善している⁵⁾。

(2) パラレル方式

パラレル方式は多数の処理要素(PE)に処理を分割して与え、並列的に処理し高速化を図る方式である。たとえば、 N 個のPEを用意し並列的に処理すると原理的には N 倍に高速化できる。図4にパラレル処理の原理を示す。パラレル方式に完全並列型とマルチプロセッサ型とがある。

(a) 完全並列型 パラレル方式の完全並列型は、画像の2次元構造に合わせて各画素に1つのPEを割り当て並列的に処理する形態のシステムである。古くはUnger コンピュータ¹⁾、ILLIAC-III⁶⁾、IL-

図5 AAPのシステム構成

LIAC-IV⁷⁾ などがある。完全並列型は多数のPEを使うので、ハードウェア規模が大きくなり過ぎ、実現がむずかしかった。しかし、LSI技術の進歩により実現できるようになった。しかも多数のPEを規則的に並べた構造なのでLSI化に適している。CLIP-4⁸⁾、DAP⁹⁾、MPP¹⁰⁾、AAP¹¹⁾¹²⁾ など、いくつかのPEを1チップ化し、これを組合せたシステムが開発されている。

完全並列型は、1つの制御系がすべてのPEを同じように制御するSIMD制御ですべてのPEを同時刻に同じ動作させ、演算を超高速に実行できる。しかし、

- ① 各PEに画素データを配布するのに時間がかかる
- ② PEが扱える画素語長が少ない
- ③ すべてのPEは同じ時刻に同じ動作しかできない
- ④ PEの結合関係が固定的で柔軟性に欠ける

図 6 SIPS のシステム構成

などの問題がある。

これらの問題点を改善する工夫も行われている。たとえば AAP では、 256×256 個の各 PE に命令を個別に修飾する制御レジスタを用意し、各 PE で異なる演算を行えるようにした擬似 MIMD 制御方式を採用している。また、バイパス付加型の転送路を用意して PE 間のデータ転送を高速化している。AAP は、1 GIPS~10 GIPS の性能があるといわれている。図 5 に AAP の構成を示す。

(b) マルチプロセッサ型 多数の独立に制御される PE を固定的でなく結合し、処理に応じ結合関係を処理に適した形態に変えられるようにしたシステムである。濃度変換やフィルタ処理のような機械的な処理でなく、たとえば、画像認識のように比較的高レベルの適応型処理を行う場合、パイプライン方式や完全並列型は処理制御の形態が集中的であったり、PE の結合関係が固定的であるので適していない。このような適応型処理を行うのに考えられたのがマルチプロセッサ型である。マルチプロセッサ型には Z80 を 256 個結合した ZMOB⁽¹³⁾ や、RGB カラー画像のリアルタイム処理を行える SIPS⁽¹⁴⁾⁽¹⁵⁾ や画像の符号化を高速に行うことを目的とした NOVI⁽¹⁶⁾ などがある。

SIPS は、カラービデオ画像の動画画像処理アルゴリズムの研究用として開発されたシステムである。約 2.5 GOPS の処理能力を持つので、テレビ全画面に対し、RGB カラー画像処理の多くをテレビレートで実行できる。SIPS は MIMD 制御される多数の PE を効率良く動作させ、ひとつのまとまった仕事をさせる

図 7 NOVI のブロック構成

並列分散処理方式と、各 PE に処理目的に応じマイクロプログラムにより目的の機能を付加できるマイクロプログラム方式を採用し、高速性と柔軟性を実現している。

マルチプロセッサ型は、処理の制御を行うソフトウェアの負担が大きき、実現の障害になっている。SIPS ではシステム内の役割分担を積極的に行い、その役割の範囲で機能付けをすることにより、ソフトウェアの負担を軽減している。図 6 に SIPS のシステム構成を示す。それぞれ複数個の PE から成る PIP 系と PVP 系とがある。PIP 系は画素演算、PVP 系は VIM に対するアドレス生成と、VIM と PIP 系間のデータの流れを管理する大きな役割をもつ。ユーザは、役割ごとに、プログラムにより目的の機能を付加し、目的の処理を行う。

NOVI は、共有メモリーを持たない疎結合のシステムである。図 7 に NOVI の構成を示す。36 個のプロセッサノードから成り、各ノードには 1 M バイトのローカルメモリーを持ち、ノードに処理能力を集中させている。大規模タスクも 1 つのノードで処理できるよう考慮されている。NOVI はマルチコンピュータ型というべきシステムである。また、各ノードのメインプロセッサとして高度並列化を考慮したトランスーパータ¹⁷⁾を使用している。

4. 高速画像処理技術の現状と将来

高速画像処理は、アーキテクチャ、デバイス、ソフトウェアの3要素がバランス良く組合わされて、はじめて実現される。

4.1 アーキテクチャ

高速画像処理のためのシステムとして直列処理形態でなく、並列処理形態が注目されつつある。並列処理形態のアーキテクチャを持つシステムが提案され、実現されている。しかし、現在評価中のものが多い。これらのシステムは高価で、一部の研究機関で使われているにすぎない。このため評価が遅れ、アーキテクチャはまだ確立されていない。

高速画像処理システムには専用ハードウェアの高速性をそのまま生かし、それに柔軟性を持たせようとするものと、柔軟性に富むプログラム処理を高速化しようとするものがある。いずれにせよ、システムにとって高速性と柔軟性は不可欠である。

パイプライン方式や完全並列型では、プロセッサの結合関係が処理に影響を与えないよう柔軟化する工夫を行っている。また、マルチプロセッサ型では、高速化に伴うソフトウェアの負担を軽減する工夫を行っている。プロセッサの疎結合のマルチコンピュータ型は、構造が処理に影響を与えない。しかし、画像データが膨大であるため画像処理では完全に共有資源をなくすことはむずかしいと考える。

イメージコンピュータとしては、高速性と柔軟性とに可能性の大きいマルチプロセッサ型あるいはマルチコンピュータ型の発展型として実現すると考える。パイプライン型や完全並列型は、その構造に適した処理に偉力を発揮するので、特定分野の処理をするのに今後残るであろう。

4.2 デバイス

プロセッサの性能を高め単一プロセッサで高速画像処理することは、LSI 技術の進歩を考慮しても不可能といわれている。並列処理形態を採用するにしても、既存の汎用マイクロプロセッサでは効率が悪い。汎用マイクロプロセッサはノイマン型であり、高度並列処理に使うことを前提として設計されていない。

高度並列処理を前提としたマイクロプロセッサがある。トランスピュータは強力な演算能力と、演算と並行して行える通信能力とを特徴とする。CPU は乗算命令も含め平均 10 MIPS で動作する。PE 間通信のため 4 つのシリアルリンクを持ち、たがいに 1 M byte/s で通信できる。

トランスピュータを数万個使用した超立方格子構造のコンピュータが提案されている。しかし、画像処理に適用した場合、PE 間の通信が多量データに対しても充分行われるか疑問である。

高速画像処理用のデバイスは高度並列処理を前提に設計を行い、強力な演算能力、専用ワークメモリー、PE 間および PE と画像メモリー間の高速・大容量デ

ータ転送を行えるよう考慮しなければならない。トップダウン的設計が必要と考える。

4.3 ソフトウェア

並列処理の場合、与えられた仕事をいくつかのタスクに分割して実行する。タスク分割の最適化はむずかしく、現在稼動しているシステムの多くは人の力に大部分頼っている。将来的には、PE を効率良く動作させ、高速化できるようなタスク分割の最適化を、OS が行えるようにすることが必要である。

いかにハードウェア的に優れたシステムであっても、利用者が使いにくいのでは意味がない。特に、並列処理用の並列向言語はまだ研究段階で、利用者にとって使い易い言語の開発が待たれる。

画像処理では、マウスやタブレットなどを使い、インタラクティブに処理を進めることが多い。そのための使い易いマンマシンインタフェースが必要である。特に、連続的に変化するビデオ画像の場合には、従来の静止画用マンマシンインタフェースはそのままでは使えない。応答の遅い人間と、速いビデオ画像の両方とに整合性の良い動画処理用のマンマシンインタフェースが必要となる。

5. む す び

ディジタル画像処理の高速化が必要となり、各種アーキテクチャが提案されているが、いまだ確立されていない。1985 年には RGB カラー画像をリアルタイム処理できるシステムが現れた¹⁴⁾。しかし、高価であるため、まだ数台しか稼動しておらず、広く使われるまでにいたってない。

リアルタイム処理を行える範囲も、従来のコンピュータ処理で時間がかかっていた単一処理を行えるようになった段階で、処理をいろいろ組合せた高度で複雑な処理をリアルタイム処理できるには、さらに 1 桁以上の高速化が必要である。画像処理に人工知能を取り入れた処理を考えると、いつその高性能化が必要である。そのために、システムのアーキテクチャ、デバイス、ソフトウェアの研究が必要である。

(昭和 62 年 11 月 30 日受付)

【参 考 文 献】

- 1) S. H. Unger: "A Computer Oriented Toward Spatial Problem", Proc. IRE, 46, pp. 1744-1750 (1958)
- 2) 吉田, 長谷部: "リアルタイム画像処理", 日経マグロウヒル社 (1986)
- 3) 佐々木, 佐藤, 岩瀬, 後藤: "構造可変型ビデオレート画像処理システム「韋駄天」", 情報学コンピュータビジョン研資, CV 37-1 (1985)
- 4) 佐々木, 佐藤, 吉田: "構造可変型ビデオレート画像処理システム「韋駄天」", FUJITSU, 37, 3 (1986)

- 5) 古明地, 佐々木, 尾崎, 佐藤, 太田: “カラー動画像処理システム「章駄天/カラー」”, 情報学コンピュータビジョン研資, CV 49-2(1987)
- 6) S. H. McCormic: “The Illinois Pattern Recognition Computer”, IEEE Trans., EC-12, pp. 791-813(1963)
- 7) G. H. Barnes, et al.: “The ILLIAC IV Computer”, IEEE Trans., C-17, pp. 746-757(1968)
- 8) M. J. B. Duff: “CLIP 4: A Large Scale Integrated Circuit Array Parallel Processor”, Proc. 3rd, IJCRP(1976)
- 9) S. F. Reddaway: “DAP-A Distributed Array Processor”, First Annual Symposium on Computer Architecture (1973)
- 10) K. E. Batcher: “Design of A Massively Parallel Processor”, IEEE Trans., C-29, 9, pp. 836-840(1980)
- 11) T. Kondo, et al.: “An LSI Adaptive Processor”, IEEE J., SC-18, 2, pp. 147-159(1983)
- 12) T. Kondo, et al.: “Pseudo MIMD Array Processor: AAP-2”, The 13th Annual International Symposium on Computer Architecture Conference Proceedings, pp. 330-337(1987)
- 13) K. Kushner, et al.: “Image Processing on ZMOB”, IEEE Trans., C-31, 10, pp. 943-952(1982)
- 14) 長谷部, 加藤, 伊藤, 菊池: “マルチプロセッサ型画像処理システム SIPS”, 情報学コンピュータビジョン研資, CV 39-5(1985)
- 15) 長谷部, 米満, 加藤, 伊藤, 藤田, 菊池: “リアルタイム画像処理システム「SIPS」”, PCSJ 87, pp. 41-42(1987)
- 16) 金山, 藤井, 太田, 小野: “マルチコンピュータ型 DSP“NOVI”の構成”, PCSJ 87, pp. 43-44(1987)
- 17) Immos Transputer Reference Manual (Oct., 1986)

略語一覧

AAP	Adaptive Array Processor
CLIP	Cellular Logic Image Processor
DAP	Distributed Array Processor
GIPS	Giga Instruction Per Second 10 億命令/sec
GOPS	Giga Operation Per Second 10 億演算/sec
MIMD	Multiple Instruction Multiple Data stream
MIPS	Mega Instruction Per Second 100 万命令/sec
MPP	Massively Parallel Processor
PE	Processor Element
PIP	Position Invariant Processor
PM	Processing Module
PVP	Position Variant Processor
RGB	Red, Green, Blue
SIMD	Single Instruction Multiple Data stream
SIPS	Sight Information Processing System

よしだ ひろふみ
吉田 博文 昭和 28 年, 岩手大学工学部卒業。35 年, ソニー(株)に入社。研究部にて磁気記録技術, デジタル VTR, デジタル信号処理の研究に従事。現在, 同社情報処理研究所長。正会員。

はせべ あつし
長谷部 淳 昭和 48 年, 東北大学大学院修士課程修了。52 年, ソニー(株)に入社。中央研究所を経て, 現在, 情報処理研究所に勤務。高速デジタル信号処理, デジタルフィルタ設計解析, 高速画像処理システムの研究に従事。

衛星通信入門

野谷邦史・村谷拓郎著

本書は, 衛星通信の入門書として書かれたもので, 衛星通信のあらまし, 衛星通信を構成する衛星, 地上局等の諸要素について平易に解説している他, 現在, 実用に供されている衛星通信システムについても詳述している。まず衛星通信のあらましでは衛星通信の歴史, 衛星通信に使われる電波の種類や割当の現状, 衛星の軌道等について概説しており, 入門書として理解し易い導入部となっている。次いで, 衛星通信回線の仕組みでは衛星通信における信号の流れ, 通信回線の品質, 電波伝播等の基礎的知識についてまとめられている。衛星の構造, 地球局等の章では衛星通信の各要素について幅広く解説している。さらに伝送方式の章では, 衛星回線を通して画像や音声を送送するためのベースバンド処理, 変復調方式などの一般技術, 衛星中継器を多数の局で共同使用する際に必要となる衛星通信に特有な多元接続技術等を解説している。後半はインテルサットシステム, インマルサットシステム,

その他の衛星通信システムについてシステム構成の現状や提供サービスに対応する衛星回線の内容等について概説されており, 具体的に理解し易いものになっている。

全体として技術論に偏らず, 衛星通信の特殊性に起因する諸課題についても随所で解説しており, 入門書として読み易いものになっている。一方用語については, その用語が初めて出る場所で説明を加えるか, 用語解説として巻末にまとめて掲載するなどしてあるとさらに読み易いものになったと思われる。

最近, 衛星通信を利用する第一種衛星通信業者の出現とか, 衛星放送の本格化の兆し等, 衛星通信が世情を賑わしている。また, 電気通信に対する社会的ニーズは広域化, 多様化しており, 衛星通信の知識は, 関連分野に従事している人々は勿論, 学生や一般企業の技術者, ビジネスマンにとって必要なものとなっている。これらの人々にとって, 本書は衛星通信の全容を把握するのに役立つと思われる。

紹介 吉川光高 (NTT)

オーム社刊 (昭和 61 年 9 月発行), A 5 判 211 頁, 定価 2500 円