

combination of backgrounds. Universities would do well to begin now preparing the needed "cross disciplinary" computer architects of the future.

7. The Future

Predictions are notoriously unsafe, but at least one prediction seems so obvious that it can be made with great confidence: "Optical computing" will soon cease to be a helpful term. Optics and electronics will be recognized as the required disciplines in computing. Computers will be forever hybrid and that fact will cease to seem remarkable.

References

- 1) A good survey is given in S. H. Lee, ed.: *Optical Information Processing* (Springer-Verlag, New York,

- 1981).
- 2) "Optical Computing," Special Issue of Proc. IEEE, **72**, July (1984).
- 3) "Optical Computing," Special Issue of Opt. Eng., **23**, January (1984).
- 4) "Optical Computing," Special Issue of Opt. Eng., **24**, January (1985).
- 5) J. W. Goodman, A. R. Dias and L. M. Woody: Opt. Lett., **2** (1978) 1.
- 6) H. J. Caulfield, W. T. Rhodes, M. J. Foster and Horvitz: Opt. Commun., **40** (1981) 86.
- 7) R. P. Bocker, H. J. Caulfield and K. Bromoley: Appl. Opt., **22** (1983) 804.
- 8) A. M. Glass: Science, **226** (1984) 657.
- 9) "Optical Information Processing Components," Special Issue of Opt. Eng., **24**, January (1985).
- 10) H. J. Caulfield, et al.: to be submitted to Appl. Opt. (1984).

(1984年11月19日受理)

光コンピュータへの期待——画像処理分野からの声

田 村 秀 行

電子技術総合研究所パターン情報部 **T305** 茨城県新治郡桜村梅園 1-1-4

"Optical computing"と聞くとフーリエ変換やマッチドフィルタなど古めかしい言葉が連想されるが、「光コンピュータ」というと21世紀に向かう輝かしい未来技術の印象すら与える。こう感じるのは筆者だけであろうか? たんに-ingが-erに変わっただけで先端技術の香りがするのは、未来は光コンピュータだ、バイオコンピュータだと騒ぐ過熱気味の技術マスコミの悪弊に毒されているためかもしれない。

しかしながら、「光コンピュータ」と呼ぶときには、暗黙のうちに「並列処理」や「ディジタル演算」の意味が含まれていて、現在のシリコンコンピュータにとって代わる限りない夢が託されている感がある。これはいわば温故知新、歴史のある光学技術から現在の情報処理技術のボトルネックを解消する何かが生まれることへの期待であろう。筆者は、情報処理分野での画像処理研究を生業としているが、まさにこの種の夢がまずディジタル画像処理の世界で実現できないかと考えている。

そもそもパターン認識・画像処理（以下、PRIPと略す）と光情報処理とはきわめて近い関係にあり、いわば親戚づきあいの間柄である。それをあえて光学側への期待と断わるのは、現在の画像処理はまったくディジタル

処理の全盛であり、それも半導体技術の支配下にあるからである。"Optical computing"を古めかしく感じるのは、この分野で旧来の光学（アナログ）処理が実用的にはほとんど見るべき成果を示しえなかったからであろう。

いうまでもなくディジタル処理の優位性は、高精度・再現性・柔軟性等にある。とりわけ、PRIP分野にとっては、古典的光学処理ではきわめて限られた演算しかできないのに対して、自由自在にプログラムで各種線形/非線形演算を組み立てられるディジタル処理の柔軟性は魅力である。また、試行錯誤を繰り返す PRIP にとっては、同じ実験を何度もやり直せるコンピュータ処理というの、大きな福音であった。いったん画像をディジタル化して計算機内に取りこんでしまえば、後はいつでも何度も好き勝手な処理ができる。端末が与えられ、プログラミング能力さえ有れば、（筆者のように）物理的な現象に精通していないても研究ができるわけである。かくして、洋の東西を問わずディジタル処理が主流となり、膨大な量の論文の山とともにある種の技術体系が築かれるところとなった。

長い間、ディジタル処理の欠点は価格と速度の問題で

あった。最近の目を見はるばかりの半導体技術の進歩によって廉価なメモリやマイクロプロセッサが入手できるようになり、これらをふんだんに使った画像処理向きの高速プロセッサの出現により速度の問題にも対応できるようになりつつある。目下、PRIP 分野において専用高速プロセッサ¹⁾は、研究的にも商業的にも、最もホットな話題の一つである。しかしながら、高速といつても、2次元処理に向かない汎用コンピュータと比べての話であり、人間の視覚機能を代替する PRIP の要求レベルにはほど遠い。ここに光学処理に再び熱い視線を送る理由がある。

だからといって、デジタル処理の長所を残し、高速性を達成するために光論理素子によるコンピュータを、と考えるのは短絡的すぎるだろう。実際、現時点での光コンピュータの研究は、トランジスタのスイッチング特性に基づく論理素子の代替をめざすところから始まっているように見える。しかし、現在のシリコンコンピュータ全体を代替するには技術的課題が多すぎると、その必要もないように感じられる。光ディジタル演算は、相性のよい画像の分野でユニークな使われ方をしてこそ威力を発揮すると思われる。

というのは、いま流行の画像プロセッサは、（速度以外の面でも）決して究極の形とは思えないからである。アーキテクチャ的には、セル構造をもつ完全並列型（SIMD マシンという）や多重パイプライン処理等千差万別であるが、いずれをとってもかなり限られた画像演算しか実行できない。ちなみに、筆者らの開発した画像処理サブルーチン・パッケージ SPIDER²⁾は、代表的な画像処理アルゴリズムを網羅的に収集したものであるが、このうち現在の画像プロセッサで高速に実行できるものは約 30～35% にすぎない。

それでも画像プロセッサが注目を集めるのは、演算の自由度を犠牲にしても、処理の高速性が重視されるからである。一般的な画像パターン認識の枠組の構築は研究者にとって永遠の課題であるが、現実的な応用では限られた技術の組合せで解決できる対象があちこちにある。膨大な画像処理アルゴリズムの集積があるといつても、実際役に立つののは、ヒストグラム・微分・2値化・細線化…程度にすぎないという声もある。これなら、ルックアップテーブルによる濃度階調変換や 3×3 マスクの空間積和演算くらいを高速化した画像プロセッサでも間に合うわけである。

商業ベースのプロセッサというのは、費用効果比がよくなるように基本モジュールを選んでいるのだから、そ

こで実行できる基本演算セットは画像処理手法の最大公約数的なものである。しかし、筆者はかねがねこのセットが適当なものであるかどうか、疑わしく思っている。あるベストセラー的な製品が出現すれば、明確なポリシーをもたない後発メーカーが類似製品を出すのは世の常であるが、それでも LSI 化だワークステーション化だ程度で画像処理はこれで決まりなどと言ってもらいたくはない。計算機業界における IBM 寡占的な現象は、画像処理の世界では起こって欲しくない。

閑話休題。与えられた基本演算セットの組合せで結構解決できる課題は多いといつても、その組合せを見つけることはすべてユーザーの知的作業能力にかかる。すなわち、ある画像を解析したいとすれば、基本演算セットの意味と能力を理解し、適宜これらを試行錯誤的に組み合わせるしかない。このプロセスには何ら学術的な体系はなく、ただただ経験とセンスだけが頼りなのである。

そもそもわれわれはあらゆる設計プロセスにおいて、この種の思考を行なっている。現在のコンピュータがここまで発展を遂げたのには、ブール代数に基づく論理演算・四則演算という最も原始的な演算セットを実現できるからであり、その上に展開されたプログラミング言語では思いどおりに数式を表現できるからである。人工知能が未踏技術であるのは、人間の思考過程が単純な数式・論理式で表現できないからである。

デジタル画像処理技術がもてはやされたのは、先述のように光学・写真処理ではできない演算がプログラムできるからであり、デジタル性そのものの優位性はそう大きくない。むしろ、2 値画像の連結性や距離の問題等はデジタルゆえの弊害である。画像プロセッサのよりどころである 3×3 マスクの空間演算などは、ほんのこの 15～20 年間に案出されたテクニックにすぎない。

この程度の基本モジュールの組合せからなる技術体系は、新しい演算セットが与えられれば容易に構築し直すことができる。高速性の追求が最重視されるならば、光演算こそ新しい体系を生み出す可能性を秘めているといえよう。それは、デジタルであっても 1 画素単位の and/or にまで分解する必要はない。画像処理アルゴリズムの発想のもとは、均質領域/変化分の抽出、形状の変形（膨張・収縮等）、類似性（相関係数）の測定等である。これなら、光処理で実現しやすい 2 次元演算が提示されれば、それをもとに新しい「光ディジタル画像処理技術」の体系が作れるだろう。

一般的な光コンピュータへの発展をめざすならば、基

本演算セットは数学的な完備性を検討すべきかもしれない。しかしながら画像処理への応用であれば、線形/非線形、可逆/不可逆とりまして、適当に数がそろっていればよいのである。大体、いまの画像プロセッサのモジュールはその程度のものなのだから…。

光コンピュータの実現はまず画像から、その基本演算は光学技術に都合のよい空間演算（いまさらフーリエ変換じゃ困るが）で…というのが小論の主張である。光学側の事情をまったく考慮しない一方的なラブコールであ

るが、光学技術者への激励の一端となれば幸いである。

文獻

- 1) 坂上勝彦, 木戸出正継: イメージプロセッサの最近の動向. 電子通信学会誌, 67 (1984) 90.
 - 2) 田村秀行, 坂根茂幸, 富田文明, 横矢直和, 金子正秀, 坂上勝彦: ポータブル画像処理ソフトウェア・パッケージ SPIDER の開発. 情報処理学会論文誌, 23 (1982) 321.

(1984年10月8日受理)

ICO-13 “Optical Computing” から

德光純

キヤノン(株)中央研究所光技術研究部 〒152 東京都目黒区中根 2-2-1

ICO-13 (The 13th Congress of the International Commission for Optics: 第13回国際光学委員会総会)は8月20日から24日まで札幌において開催された。会議全体の様子についてはすでに本誌1984年第5号に紹介されているがここでは今回の会議の主要なテーマの一つであった optical computing に関する発表について報告する。

Optical computing のテーマには二つのオーラルセッションとポスターセッションの一部が当てられ、計 22 件の発表が行なわれた。また Post Deadline Papers の中にも関連したものが数件見られた。それ以外にもオープニングの二つの特別講演のうちの一つが Goodman (Stanford Univ.) の optical interconnection についてのものであったり、他のセッションの発表でも optical computing との関連に言及するものがいくつかあるなどこのテーマに強い関心が向けられていることが感じられた。

発表全体の傾向をつかむために Optical Computing のセッションの 22 件の発表の分類を行なってみると、まず国別では米が 13 件と半数以上を占めよくいわれるようこの分野で圧倒的優位に立っていることを窺わせる。日本からは 3 件であり、他は西独、仏、中国からそれぞれ 2 件ずつの発表であった。内容について分類するとテーマとしてはコンセプト、論理演算、マトリックス演算、空間光変調器、(空間光変調器以外の) デバイス、(フィルタリングを中心とした) 光学情報処理の六つに分けられるのではないかと思われる。このなかで特定

テーマへの集中は顕著ではなく各テーマともおよそ4件前後の発表であった。もちろんおののおのの発表が明快にこの分類に従っているわけではなく、また二つ以上のテーマにまたがっているものも多い。以下に optical computing 関連の発表の内容を各テーマごとに紹介したい。

コンセプトに関して米より3件の講演があった。1件は先に触れた Goodman の特別講演であり、電気で問題となっている interconnection を光を用いて行なうとの提言であった。光による interconnection はすでに LAN や光ディスクで実現されており、問題は LAN からチップ内に至る階層のどこまで浸透できるかでありとりわけチップ内の interconnection が最もインパクトがあると述べた。その具体的な形態として Si と GaAs を別々に集積化したハイブリッド形とヘテロエピタキシーにより Si 上にバッファを介して GaAs を成長させるモノリシック形を示した。Sawchuck (Univ. of Southern California) による招待講演は論理ゲート、デバイス、interconnection、アーキテクチャ、アルゴリズムに関する総説で I/O, CPU, メモリー間が並列に interconnection されている非ノイマン形光コンピュータの構想を示した。ゲートアレーには液晶ライトバルブやその他のしきい値型デバイスを用い、interconnection は計算機プログラムで実現する。Huang (AT & T Bell Labs.) は “Optical Digital Computers?” という疑問符つきのタイトルで光コンピュータ実現の可能性について講演した。やはり光による interconnection が重要で