

最近の技術から

ホログラムを用いた光インターコネクション

石川 正俊・石田 隆行

東京大学工学部計数工学科 〒113 東京都文京区本郷 7-3-1

1. 序

近年、大規模並列処理システムにおける電氣的配線の限界を克服するため、光を情報の媒体としてプロセッサ間の相互接続を実現する自由空間伝搬型光インターコネクションが提案されている。とくに、インターコネクションの再構成が可能なものは、汎用で高次な演算処理に向いているため、注目を集めている。ここでは、その例として筆者らのグループの研究例を紹介する。

2. 並列処理システムにおける光インターコネクションの利用

2.1 背景

並列処理システム内において、PE (processing element) 間のデータのやりとりを実現するために光インターコネクションを利用する際には、光入出力素子と PE を一体化する必要がある。その理由は、分離して製作すると両者を結ぶ電氣的配線が素子数だけ必要となるため、光インターコネクションが意味をなさなくなること、および大規模化が実現不可能となることによる。このため集積化技術を用いて、発光素子、受光素子、処理モジュールを一体化するスマートピクセルを構築することが要求される。この際に、PE の演算処理内容が固定では汎用性に乏しいので、並列処理回路としては汎用の PE を用いることが望ましいといえる。

2.2 システムの概要

このような考え方にに基づき、筆者らの研究グループでは光インターコネクションを用いた並列処理システムを実際に構築した^{1,2)}。この概念図を図 1 に示す。PE としては、前述した要求を満たすものとして、集積化を念頭において独自に設計・開発した並列処理用 LSI (SPE-8) を用いた。この PE はデータの記憶と演算がプログラム可能であるという特長をもつ。インストラクションの実行は SIMD (single instruction stream and multiple data stream) 型で行われ、4 近傍間は電氣的配線をとる構造となっている³⁾。

この PE にそれぞれ発光素子、受光素子が 1 対 1 に接続されており、光インターコネクションによって遠い PE 間へのデータの転送を高速に行えるという特徴もっている。現在、発光素子には 7×8 素子の面発光 LD アレイ (発光素子ピッチ 125 μm) を用いており、受光素子は通常のフォトダイオードを用いている²⁾。PE の処理回路がコンパクトに設計されているため、将来は光入出力素子を含め 64×64 素子を集積化することが可能であると考えている。

光インターコネクション部にはシミュレーティッドアニーリング法による最適化を施した CGH (computer generated hologram) を用い、フーリエ面での乗算を利用してスペースインバリエント光インターコネクションを実現している⁴⁾。この概念図を図 2 に示す。CGH の表

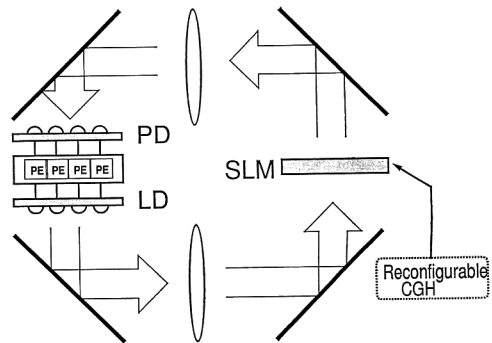


図 1 再構成可能な光インターコネクションを有する並列処理システム

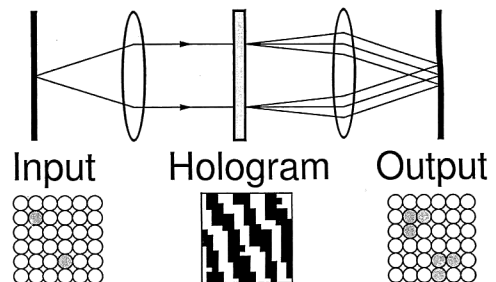


図 2 インターコネクションの原理

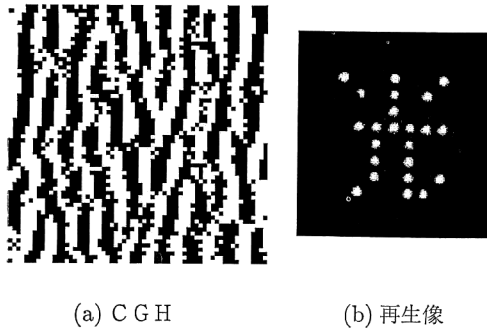


図3 設計した CGH と再生像

表1 行列ベクトル演算のステップ数と実行時間

データセット	83 step	830 μ s
光インターコネクション(a)	9 step	426 μ s
光インターコネクション(b)	9 step	426 μ s
乗算 (PE 内)	14 step	140 μ s
加算 (PE 内)	33 step	330 μ s
光インターコネクション(c)	12 step	456 μ s

示には、浜松ホトニクス社製の位相変調タイプの空間光変調素子 (PAL-SLM) を用いており、CGH パターンを書き換えることにより、インターコネクションの再構成が可能である。図3に設計したホログラムの例とその再生像を示す。良好な像が得られていることがわかる。

2.3 演算例

このシステムでは光インターコネクションを利用し、行列とベクトルの乗算、行列と行列の乗算などが実行可能である。

これらのうち、 7×8 の行列と8成分のベクトルの乗算に関して、アルゴリズムの各ステップについてのステップ数と実行時間を評価すると表1のようなになる。ただし、現在ではCGHの表示装置の動作速度に制限があり、パターンの再構成に100ms程度かかっている。

3. スペースバリエーション光インターコネクション

スペースバリエーション光インターコネクションは接続のパターンが一つに決まってしまうため接続の自由度

が低い。これに対し、スペースバリエーション型のもは任意の接続を可能にするため自由度が高いという長所がある。ホログラムを用いたこのようなスペースバリエーション光インターコネクションの実現方法も開発している⁹⁾。

この方法は、上記の方法をスペースバリエーションタイプに拡張したもので、上記と同様にバイナリーCGHによってoff axisホログラムを実現しているため、許容されるSLMの変調誤差が比較的大きいという特長がある。Off axis CGHは0次光を制御できないため、一般に回折角を大きくとらなくてはならないという短所があるが、本方式では配置を工夫することにより、回折角を小さくすることができている。また、クロスバースイッチと比較してアライメント精度、アライメント点数ともに優位性をもつことが示されている。

4. むすび

ホログラムを用いた再構成可能な光インターコネクションの研究例について紹介した。これらは並列度に対するスケラビリティを考慮してあり、大規模並列システムの実現可能性を有するという特長が挙げられる。

文 献

- 1) M. Ishikawa: "Parallel optoelectronic processing systems and applications," *Proc. Int. Conf. Opt. Comput.* '94, Inst. Phys. Conf. Ser. No. 139, Part I (1995) pp. 41-46.
- 2) 中坊嘉宏, 寺田夏樹, 山本裕紹, 成瀬 誠, 石川正俊: "再構成可能な光インターコネクションを用いた並列処理システム", 光学連合シンポジウム浜松 '94 講演予稿集 (1994) pp. 97-98.
- 3) 石川正俊: "超高速・超並列ビジョンシステム", 光学, **21** (1992) 678-679.
- 4) A. Kirk, T. Tabata and M. Ishikawa: "Design of an optoelectronic cellular processing system with a reconfigurable holographic interconnect," *Appl. Opt.*, **33** (1994) 1629-1639.
- 5) T. Ishida and M. Ishikawa: "Reconfigurable space-variant optical interconnection using binary CGH," *Technical Digest of Optical Computing '95* (1995) pp. PD1-1-PD1-4.

(1995年2月20日受理)