

J-040

並列システムのための専用計算チップと高精細 LCD を搭載した動画 ホログラフィ再生ユニット

Electroholography Unit by Special-Purpose Chip with High-Resolution LCD Panel toward Parallelized System

白木 厚司† 下馬場 朋禄‡ 増田 信之† 伊藤 智義†*
Atsushi Shiraki Tomoyoshi Shimobaba Nobuyuki Masuda Tomoyoshi Ito

1. まえがき

ホログラフィは物体光の波面をそのまま記録・再生できる唯一知られた技術であるため、計算機合成ホログラム (CGH) による電子ホログラフィは究極の三次元動画像技術になるといわれている。しかし、その実用化に向けては、高精細な表示デバイスの開発と超高速な計算機環境が必要であり、実現は困難な状況にある。

ホログラフィは回折光を利用して再生を行うため、表示デバイスについては可視光の波長に近い $1\mu\text{m}$ 程度の高精細さが求められる。近年、反射型液晶ディスプレイ (LCD) や DMD (Digital Micromirror Device) などの高精細化が進んでおり、 $10\mu\text{m}$ を切る製品も市販されるようになってきている。しかし、表示系が高精細になると必然的に計算負荷が増大する。例えば、画素ピッチ $1\mu\text{m}$ で $10\text{cm} \times 10\text{cm}$ の表示面が作られたとしても、その画素数は 100 億になる。

ただし、CGH は面上の各点で独立に計算することが可能であるので、図 1 のような並列分散システムを構築することで上記の問題を解決できる可能性がある。図 1 において、各専用計算チップはそれぞれ割り当てられたホログラムに対してのみ計算を行う。その結果は直接表示面に送られるため、通信負荷は増大しない。しかも、専用計算チップと LCD パネルを組み合わせたユニットによる並列システムは、スケラブルに大きくできるという特徴を持っている。

そこで私たちは、ホログラフィ専用計算チップと表示ディスプレイを組み合わせた基板を作り、これを並列化することで実用化を指向した試作を行った。

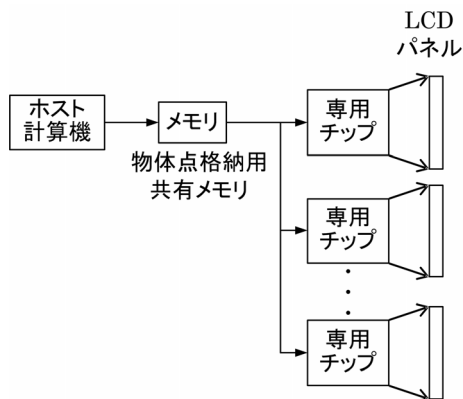


図1 高並列分散処理システム

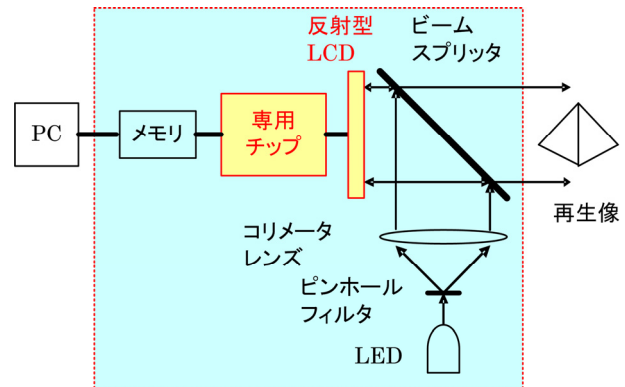


図2 電子ホログラフィ再生装置

2. 試作基板

図 2 は試作を行う電子ホログラフィ再生装置の構成である。PC (Personal Computer) で作成した三次元物体の座標データをメモリに転送する。三次元座標データは専用チップでホログラムに高速に変換され、反射型 LCD に表示される。そこに参照光を当てて三次元再生を行う [1,2]。参照光源にはレーザーまたは発光ダイオード (LED) を用いる。図では LED を用いたシステムを載せた。ピンホール・フィルタとコリメータ・レンズで平行光にして、ビーム・スプリッタを介して LCD に照射する。ホログラムが表示された LCD からの回折光によって三次元像が空間上に再生される。レーザーを参照光源とした場合はピンホール・フィルタの代わりにビーム・エキスパンダが入る。

試作基板は、図 2 において点線で囲まれた水色の部分を $20\text{cm} \times 20\text{cm}$ のユニバーサル基板上に実装して開発した。

前回報告した手作りの基板を図 3 に示す [2]。専用チップには ALTERA 社の 30 万ゲート相当の中規模 FPGA、APEX20KE300E を使用した。表示デバイスには高精細反射型 LCD である Colorado Microdisplay 社の CMD8X6D を使用した。画素ピッチ $12\mu\text{m}$ で、解像度は 800×600 である。専用チップに CMD8X6D 制御回路と CGH を計算する回路を 27 セット実装した。したがって、この専用チップはホログラム上の 27 点を同時に計算する。手配線のために動作周波数は 35MHz と遅いが、この専用チップは Pentium4 3.2GHz 搭載の PC より 4 倍程度高速にホログラムを生成する。図 3 において、LCD は左下に見えるキューブ型ビーム・スプリッタの下に設置されている。

光学系は左寄りに LED、ピンホール・フィルタ、コリメータ・レンズ、ビーム・スプリッタと配置した。正面からビーム・スプリッタをのぞき込むと奥に回折光による虚像を直接目視することができる。また、手前側の実像が結像

† 千葉大学工学部

†* 千葉大学工学部/科学技術振興機構

‡ 理化学研究所

する位置に視野レンズ等を置くことによって、実像を観察することも可能である。

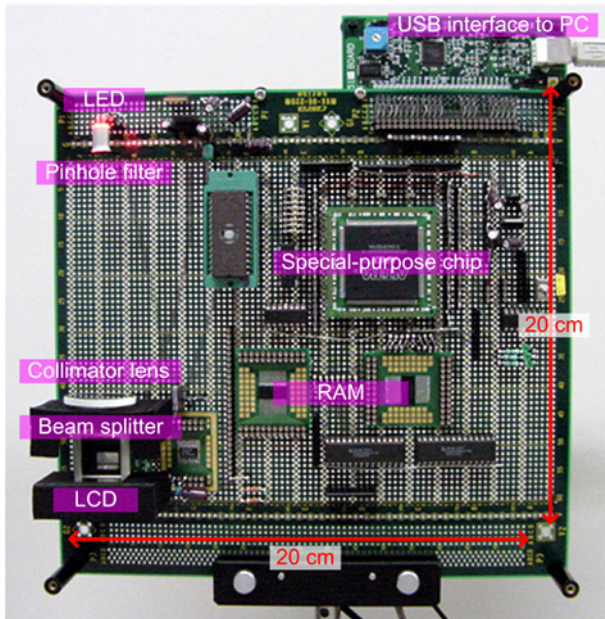


図3 試作ボード

右上部分には PC とのインターフェース回路が実装されている。インターフェースには USB (Universal Serial Bus) を使用した。この理由は、USB はノートパソコンも含む現在のほとんどの PC に標準装備されているので汎用性が高くなること、及び、三次元座標データの通信負荷は小さく、速度的にも十分であったためである。この試作基板では、1000 点程度の三次元像をリアルタイムに近い速度 (0.5 秒/ホログラム) で動画再生することを想定して設計し、実際にそのような仕様になっている。使用している LCD パネルの画素数が 48 万なので、計算チップと LCD パネル間の通信量は 48 万に比例する。それに比べて、PC と基板間の通信量は 1000 にしか比例しないので、ほとんど無視できる程度である。また、全体の通信時間も CGH の作成時間に比べると十分に小さい。

3. プリント基板

図 1 のような並列システムを構築するために、試作基板を元にして、本研究では図 4 に示す専用のプリント基板を作成した。プリント基板化することで量産が可能になり、動作周波数などの電気的な特性も向上する。基本的には試作基板 (図 3) をもとに設計を行ったが、いくつか変更した箇所があるので以下に述べる。

試作基板では CGH 計算回路をパイプライン・アーキテクチャによって設計した。今回はバーチャル・マルチプル・パイプライン (VMP: Virtual Multiple Pipeline) 方式によって計算回路の設計を行った[3]。VMP とは、チップ外部メモリからデータを読み出す周波数の、定数倍のクロックを計算回路に与えることにより、仮想的にパイプライン数を増やして計算回路の演算性能を向上させる技術である。本基板は VMP により実装された CGH 計算回路を 30 個搭載でき、動作周波数は 80MHz となった。物体点データを格納したメモリから 40MHz の速度でデータを読み出し、80MHz の速度でホログラム面上の 2 点の座標を高速に切り



図4 プリント基板による 1 ボードシステム

替え、これらを CGH 計算回路に与えることにより、1 個の CGH 計算回路で同時に 2 点の光強度が計算できる。本ボードでは、言い換えれば CGH 計算回路が 60 個で 40MHz の動作周波数で駆動することと等価となる。1000 点の物体ならば 0.2 秒 (5 フレーム/秒) の速さで動画再生が可能となる。図 3 のボードに比べて演算性能を 2 倍以上に高めることができた。

プリント基板上には LCD と FPGA を中心に搭載し、その他の光学部品は除いた。これは、プリント基板は並列動作させることを第一の目的としたためである。複数枚のプリント基板を用いて拡大された表示面を作り、そこに外部から参照光を照射して使用する。

また、FPGA は 2 個搭載し、CGH 計算用と LCD 制御用を別々のチップにした。これは計算用 FPGA を切り離し、さらに高速な計算を行うシステムとも接続できるようにするためである。分離することにより、より多くの計算回路をひとつのチップに収めることができ、なおかつ動作周波数を向上させることも容易となった。他のシステムと結合するために LVDS (Low Voltage Differential Signaling) バス用のコネクタを装備した。実際、私たちの研究室では、この計算チップよりも 30 倍以上高速な CGH 専用計算ボードを開発している。プリント基板のみによる並列システムの基礎的な研究を進めた後は、さらに高速な計算システムと組み合わせて、実用化に向けたリアルタイムの動画再生システムにチャレンジする予定である。

4. まとめ

並列システムのための動画ホログラフィ再生用基板を試作し、それをもとにプリント基板を作成した。現在、16 枚のプリント基板が手元にあり、並列処理システムの研究を行っているところである。ホログラフィ専用計算システムと表示システムを組み合わせたユニットは、スケラブルに増やすことが可能であるので、実用化に向けたシステムとして有用であると考えられる。

参考文献

- [1] T. Ito, T. Shimobaba, H. Godo and M. Horiuchi, "Holographic reconstruction with a 10- μ m pixel-pitch reflective liquid-crystal display by use of a light-emitting diode reference light", *Opt. Lett.*, 27, 1406-1408 (2002).
- [2] T. Ito and T. Shimobaba, "One-unit system for electroholography by use of a special-purpose computational chip with a high-resolution liquid-crystal display toward a three-dimensional television", *Opt. Express*, 12, 1788-1793 (2004).
- [3] J. Makino, M. Taiji, T. Ebisuzaki and D. Sugimoto, "GRAPE-4: A Massively Parallel Special-Purpose Computer for Collisional N-BODY Simulations", *ApJ*, 480, 432-446 (1997).