

I-022

# 時分割法と誤差拡散法によるマルチカラー電子ホログラフィ Multi-Color Electro-Holography using the Time Division and Error Diffusion Method

下馬場 朋禄\* 中島 翼\* 宮本 康介\* 白木 厚司† 市橋 保之† 増田 信之† 伊藤 智義‡

Tomoyoshi Shimobaba Tsubasa Nakajima Kousuke Miyamoto Atsushi Shiraki Yasuyuki Ichihashi  
Nobuyuki Masuda Tomoyoshi Ito

## 1. はじめに

電子ホログラフィとは、電子的に書き換えが可能なデバイス上に計算機合成ホログラム (CGH: Computer Generated Hologram) を表示することで光の波面を自由に制御できる技術であり、これを応用した立体ディスプレイは原理的に非常に自然な立体画像を再生できる。しかしその実現には、CGH 計算の膨大な演算量を解決する方法と CGH に適した表示システムが必要であり、CGH を応用した実用的な立体ディスプレイシステムは未だに実現されていない。

CGH の計算量を解決するアプローチとしてハードウェア的な手法が提案されており、この問題は今後の半導体技術の進歩とともに解決されると思われる [1, 2]。

一方、表示システムに関しては、その再生像のサイズや観察範囲が小さいといった問題の他に、再生像のカラー化に関する問題が指摘されている。

カラー化に関してはいくつかの手法が提案されている。例えば、3枚の LCD (Liquid Crystal Display) を用意し、それぞれの LCD 上に RGB に対応した CGH を表示し、これらに RGB のレーザ光を照射することで、鮮明なカラー再生像を得る方式が提案されている [3]。また、白色光源を用いたカラー化の実験なども行われている [4]。

筆者らも、1枚の CGH 上にカラー立体情報を記録する波長多重記録法 [5] や、時分割法の提案 [6] を行っている。しかし、これらのカラー化手法は数色程度の再生像を得ることができるが、実用化のためには、より多くの色数を再現できる必要がある。

カラー再現能力が低下する理由として以下のことが考えられる。一般的に CGH は広大なダイナミックレンジを持つが、現在の LCD パネルはダイナミックレンジが低いため、このようなデバイス上に CGH を忠実に再現できないことが、カラー再現能力の低下の一因となっている。また、我々が提案しているカラー化手法で使用した CGH は振幅型ホログラムと呼ばれるもので、このホログラムからの理論的な一次回折効率率は 6% 程度であり、再生像が暗くなってしまうことも一因と考えられる。

本報告では、これらの問題点を解決するために、CGH に記録する立体像データに対して誤差拡散法を適用することで立体像の擬似階調化を行い、時分割法を用いてその CGH から立体像をカラー再生することで、上記の手法に比べさらに多色再生が可能な手法を提案する。

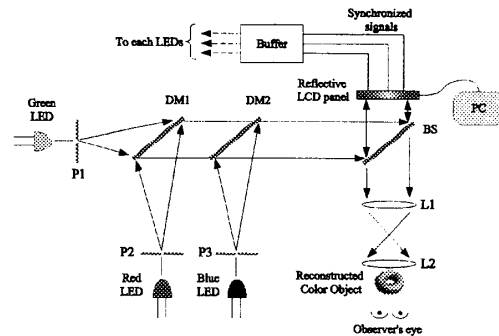


図 1: 時分割法の光学系

## 2. 時分割法によるカラー再生

筆者らが提案している時分割法の概略を述べる [6, 7]。まず始めに、カラー立体像データを用意し、このデータを RGB の各色成分に分離する。次に、各色成分に対応する 3枚の CGH を次式により計算する。

$$I(x_\alpha, y_\alpha) = \sum_{j=1}^N A_j \cos\left(\frac{2\pi}{\lambda_t} \left(z_j + \frac{(x_\alpha - x_j)^2 + (y_\alpha - y_j)^2}{2z_j}\right)\right) \quad (1)$$

ここで、 $N$  は総物体点数、 $A_j$  は立体像の光強度を表す。 $x_\alpha$  と  $y_\alpha$  はホログラム面上の座標、 $x_j, y_j$  と  $z_j$  は立体像を構成する点光源座標を表す。 $\lambda_t$  は参照光源の波長を表す。単色再生像を得る場合、一般に参照光源の波長は定数となるが、時分割法では参照光源を一定時間で切り替える必要があるため  $\lambda_t$  は時間の関数となる。赤色に対応する CGH を計算する場合、 $\lambda_t = 633\text{nm}$ 、緑色は  $\lambda_t = 532\text{nm}$ 、青色は  $\lambda_t = 433\text{nm}$  を用いる。

以上が計算のプロセスである。次に、このように生成した 3枚の CGH から時分割法でカラー再生を行う方法について述べる。

時分割法の光学系を図 1 に示す。図中の反射型 LCD パネル (画素数  $800 \times 600$ 、画素ピッチ  $12\mu\text{m}$ ) は 300Hz と非常に高いリフレッシュレートで動作する。この LCD は、RGB の CGH を 100Hz の描画速度で順次表示し、現在表示している CGH に対応する同期信号が出力される構造になっている。3本の同期信号を電力増幅用のバッファ回路経由で各 LED (5W クラスのハイパワー LED) に接続することにより、LCD 上に表示する CGH と LED の点灯を同期させることができる。これにより、ある時

\*山形大学, Yamagata Univ.

†千葉大学, Chiba Univ.

‡科学技術振興機構 / 千葉大学, JST / Chiba Univ.



図 2: 時分割法のみ使用した実験結果

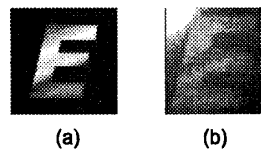


図 4: 時分割法と誤差拡散法を併用した実験結果

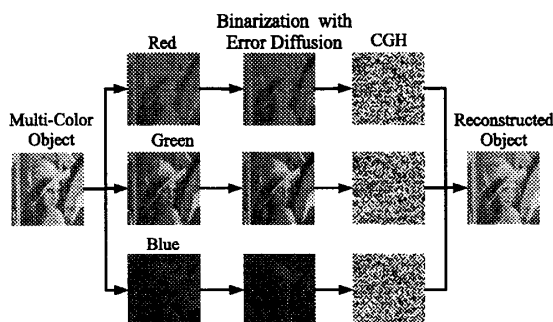


図 3: 誤差拡散法と時分割法によるマルチカラー再生法

刻で RGB いずれかの立体像が短時間に再生され、目の残像効果によるカラー再生像を得ることができる。この方法で得ることができるカラー再生像は3色程度であり、実験例を図2に示す。

### 3. 時分割法と誤差拡散法によるマルチカラー再生

本報告で使用している CGH は振幅型ホログラムで、その理論的な1次回折効率は6%程度と低い。また、時分割法は短時間で立体像を再生させるため、5WクラスのハイパワーLEDを使用しているにもかかわらず、そのカラー再生像は暗いものとなる。そのため、再生像の階調再現能力が低下し、結果として再生できる色数も減少する。しかし、図2のように、2階調のカラー再生像であれば鮮明に再現することができる。

一方、人間の視覚特性が高周波数のノイズを知覚しにくい事を利用した誤差拡散法は、フルカラーの元画像を2値で表現しても、比較的良好な画質を得られることが知られている。

そこで、本報告では、誤差拡散法と時分割法を組み合わせたマルチカラー再生手法を提案する。誤差拡散法のフィルタ係数は数種類存在するが、その中で最も基本的な Floyd & Steinberg 型のフィルタ係数を使用した。提案手法の手順を図3に示す。

まず、フルカラー立体像データを用意し、このデータを RGB の各色成分に分離する。次に、各色成分に対して誤差拡散法を適用し、各色成分の2値擬似階調化を行う。擬似階調化された各色成分の CGH を式(1)で計算し、前章で述べた時分割法で再生させることで、マルチカラー再生像を得ることができる。

本提案手法の実験結果を図4に示す。(a)は元画像、(b)は再生像であり、比較的良好にマルチカラー再生が行えていることがわかる。

### 4. まとめ

誤差拡散法と時分割法を組み合わせたマルチカラー再生手法を提案し、従来手法に比べ豊富な色数を持つ再生像を得ることができた。しかし、現状では、緑の再生像の強度が他の色の再生像に比べ弱いため、黄色などの色再現能力が悪い。緑の参照光源をより高出力なLEDに置き換えることで、今後、さらに色再現能力を改善する予定である。また、今回の報告では、Floyd & Steinberg 型の誤差拡散法を適用した結果のみ示したが、今後は、他の誤差拡散係数での実験も併せて行う予定である。本研究の一部は、文部科学省科学研究費補助金若手研究(B)(課題番号19700082)による補助のもとで行われた。

### 参考文献

- [1] T.Ito, N.Masuda, K.Yoshimura, A.Shiraki, T.Shimobaba and T.Sugie, "A special-purpose computer HORN-5 for a real-time electroholography", *Opt.Express*, **13**, 6, 1923-1932 (2005).
- [2] N. Masuda, T. Ito, T. Tanaka, A. Shiraki and T. Sugie, "Computer generated holography using a graphics processing unit," *Opt. Express*, **14**, 2, pp.587-592 (2006).
- [3] 佐藤甲癸, "液晶表示デバイスを用いたキノフォームによるカラー立体動画像表示", *テレビ誌*, **48**, 10, 1261 - 1266 (1994).
- [4] K.Takano, N.Minami and K.Sato, "Practical Method for Color Electro-Holographic Display System Using a Metal halide lamp and Three LCD Panels", *Proc.SPIE*, **4659**, 61-68 (2002).
- [5] T.Ito and K.Okano, "Color electroholography by three colored reference lights simultaneously incident upon one hologram panel", *Optics Express*, **12**,18, pp.4320-4325.
- [6] T.Shimobaba and T.Ito, "A Color Holographic Reconstruction System by Time Division Multiplexing Method with Reference Lights of Laser", *Opt.Rev.*, **10**, 5, 339-341 (2003).
- [7] 下馬場朋禄, 伊藤智義, 白木厚司, 増田信之, 市橋保之, "誤差拡散法による計算機合成ホログラムからのマルチカラー立体再生像の基礎検討", *ホログラフィックディスプレイ研究会会報*, **26**, 3, 20-23 (2006).