

計算機ホログラムによる並列光アクセスを有する 液体ボリュームディスプレイ

Liquid volumetric display with parallel optical accesses performed by computer-generated hologram

宇都宮大学オプティクス教育研究センター 鈴木大地, °長谷川智士, 早崎芳夫

Center for Optical Research and Education (CORE), Utsunomiya University

Daichi Suzuki, °Satoshi Hasegawa, and Yoshio Hayasaki

E-mail: hasegawa_s@opt.utsunomiya-u.ac.jp

ボリュームディスプレイ (VD: volumetric display) とは、立体を 3 次元空間に直接描画するディスプレイである¹⁾。その中で、3 次的に画像表示材料や発光デバイスが動くことのないものをスタティック VD と呼ぶ。その実現手法は様々であるが、表示空間に対応したビームで光アクセスしてその発光点を走査する方式は、広い視野角を有する²⁾。しかし、発光点の走査速度に限界があり、高速アクセスの新しい仕組みを必要とする。

3 次元画像の画素をボクセルと呼び、VD における表示可能なボクセル数 N と、画像空間のリフレッシュレート f_r は、1 度に表示可能なボクセル数 P と、その単位時間あたりのアクセス回数 K によって、 $Nf_r = PK$ と表される。これまでのビーム走査方式では、 $P=1$ で K を大きくすることによって実現されていた。

本研究では、スタティック VD において、計算機ホログラム (CGH: computer-generated hologram) を用いて、1 度に表示可能なボクセル数 P を増加することによる並列光アクセス型を実証する。

Fig. 1 は並列光アクセス型 VD のシステム構成である。これは、フェムト秒レーザー、3 次元光スキャナ、空間光変調器 (SLM: spatial light modulator)、蛍光溶液により構成された。中心波長 800 nm、最大パルスエネルギー 1 mJ、最大繰り返し周波数 1 kHz のフェムト秒レーザーパルスが、ディスプレイであるフルオレsein 水溶液に集光照射され、2 光子吸収による蛍光発光によりボクセルを形成した。フルオレsein の励起波長は 494 nm、蛍光波長は 521 nm である。ガルバノスキャ

ナにより XY 軸方向に、レンズに取り付けられたモーターステージで光軸(Z 軸)方向に集光点を走査して、2 光子吸収による蛍光発光させた。

並列アクセスは、SLM に表示された CGH によって実現された³⁾。CGH は、フーリエ型であり、最適回転角 (ORA: optimal-rotation-angle) 法⁴⁾により設計された。SLM の画素数は 800×600 pixels で、1 画素の大きさは $20 \times 20 \mu\text{m}^2$ であった。

Fig. 2 は、SLM によって多点集光された発光点を、ガルバノスキャナで走査した様子の写真である。ボクセルは、SLM により星形に生成された。また、スキャナの走査順は、巡回セールスマン問題 (TSP: traveling salesman problem) を解くことにより最適化された。パルスエネルギーは 35 μJ 、繰り返し周波数は 200 Hz、写真の露光時間は 2 s であった。このとき、 $N=2097$, $f_r=4$, $P=57$, $K=200$ とあった。

CGH とフェムト秒レーザー、3 次元光スキャナによって、並列光アクセス型 VD を実現した。ボクセルの生成されるエネルギーのしきい値を 3.2 μJ 、システム全体の透過効率を 48% とすると、最大で $P=150$ の並列アクセスが可能になる。そして、3 次元光スキャナの応答時間を 1 ms とすれば、単位時間あたりに 150,000 voxels を表示できる。

- 1) B. G. Blundell and A. J. Schwarz, IEEE Trans. Vis. Comput. Graph. **8**, 66 (2002).
- 2) K. Langhans et al., Proc. SPIE **5006**, 161 (2003).
- 3) Y. Hayasaki et al., Appl. Phys. Lett. **87**, 031101 (2005).
- 4) J. Bengtsson, Appl. Opt. **33**, 6879 (1994)

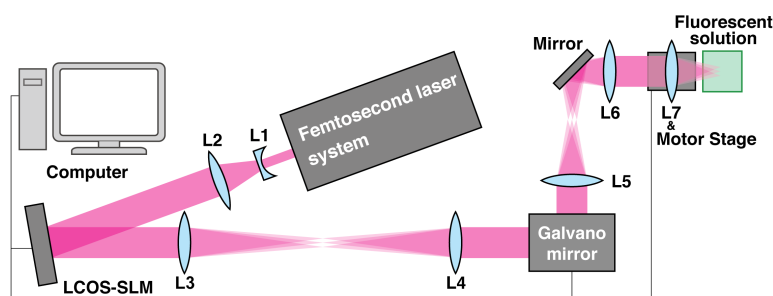


Fig. 1 Parallel optical access volumetric display system

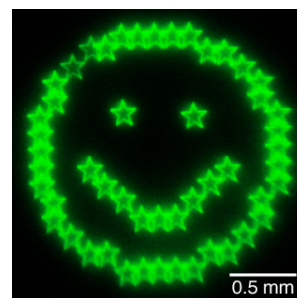


Fig. 2 Picture of volumetric display