Update on 3D displays

画像を更新できるホログラフィック 3D ディスプレイ

Joseph W. Perry

ホログラフィー技術を用いて静的な 3 次元画像を作るのは容易であるが、動画を作るのは非常に困難である。このほど、特別に設計されたポリマーを使った、手のひらサイズのホログラフィック 3D ディスプレイが開発された。このディスプレイでは画像を更新することができ、動画ホログラフィーへの突破口を開く可能性がある。

Nature Vol.451(636-637)/7 February 2008

臨場感を重視する映画ファンは、*Nature* 2008 年 2 月 7 日号 694 ページの Tay ら¹ の報告を歓迎するだろう。著者らはここで、画像を更新できるホログラフィック 3 次元 (3D) ディスプレイという、映画ファンの夢を現実に一歩近づける展開について発表している。このディスプレイには、安価で、加工が容易な、フォトリフラクティブポリマー材料が使われている。この技術が完成するのはまだまだ先のことであるが、最終的に恩恵を受けるのは映画ファンだけではない。視野角が広く、リアルな 3 次元画像を映し出せるディスプレイは、戦況のシミュレーションや鍵穴手術のガイドなど、軍事分野や医療分野への応用が見込まれているからである。

3D 視覚化技術の歴史は長い²。2D ディスプレイと特殊な立体視眼鏡を使った初期のアプローチは、1950 年代初頭の 3D 映画の流行でお馴染みである。立体視眼鏡とは、偏光レンズか、左右別々の色のレンズを入れて、左右の目に別々の画像が見えるようにした眼鏡である。2 つの画像を高速で切り替えながら表示し、画像と同期して開閉するシャッターつきの眼鏡をかけてこれを見ることで、画像が連続的に表示されているように見せるタイプのシステムもある。

こうした立体視眼鏡はわずらわしく、特にカラーフィルターを長時間にわたって使っていると頭痛がしてくることがある。そのため、偏光立体視眼鏡を使った 3D ディスプレイは、科学への応用以上に広がることはなかった。けれども、この 10 年ほどの間に立体視眼鏡を必要としないディスプレイが開発されたことで、3D 画像技術が再び注目されるようになってきた。このシステムでは、レンズアレイつきの 2D ディスプレイを裸眼で見るだけで、左右の目に別々の画像が

見えて、奥行き錯覚が生じる³。しかし、このディスプレイで立体画像を見るためには、決まった位置から見なければならない。見る人の位置に応じて画像を修正するマルチビュー・ディスプレイ (ヘッドトラッキング・ディスプレイ) もあるが、画像の製作・処理・投影のコストが高くなってしまう。

もう 1 つ、よく知られた 3D ディスプレイ技術としてホログラフィーがある。ホログラフィック 3D ディスプレイは、視野角が広く、解像度も高い⁴。このシステムでは、3D 画像は材料中に「貯蔵」されており、光を照射するだけでこれを見ることができる。このように、立体視眼鏡やレンズアレイなどの装置を用いる必要がない 3D ディスプレイは、「オートステレオスコピック・ディスプレイ」とよばれる。ホログラフィック・ディスプレイでは、画像にしたい物体から散乱されたレーザー光 (物体光) と平面波レーザー光 (参照光) の両方を記録して干渉パターンを作り出し、これをフォトポリマーなどに 3 次元的に貯蔵する。干渉パターンを作る光は、ポリマーの中で化学反応を引き起こし、材料の屈折率を局所的に変化させる。このプロセスでは、3D 画像を投影するために必要な光の振幅と位相の情報のすべてを貯蔵することができるが、こうした情報を書き換えることはできない。ゆえに、ディスプレイ上の画像は動かない。

今回 Tay らが開発したディスプレイのサイズは 10cm × 10cm で、それなりの大きさがある。そのベースになる媒体はフォトリフラクティブ材料とよばれるものである。フォトリフラクティブ材料も、画像の (振幅と位相の) 情報を 3 次元的に貯蔵することができる。しかし、フォトポリマーとは異なり、フォトリフラクティブ材料はダイナミックな記憶媒体であり、情報を記憶し、消去し、書き換えることができる (図 1)。

これまで、フォトリフラクティブ材料の研究は、ニオブ酸リチウム (LiNbO_3 ; 参考文献 5) のような無機酸化物の結晶について広く行われてきた。こうした材料がホログラフィーの干渉パターンを吸収すると、干渉パターンの明るい領域で可動性の電荷担体が生じる。外部から電場をかけると (極性結晶では自発分極により)、可動性の電荷が移動して、干渉パターンの暗い領域に蓄積する。その結果、電場の分布が変化し、これに比例して結晶の局所的な屈折率が変化する。これを電気光学効果という。無機結晶は感光性が非常に高いため、この方法により高分解能の画像を生成することができる。しかし、ディスプレイとして実用的なサイズの結晶を成長させるのは困難で、費用もかかる。

フォトリフラクティブポリマー⁶は、この点で興味深い材料である。フォトリフラクティブポリマーは、無機結晶のすべての能力を備えているが、低コストの溶解法 (溶融法) により加工して、大型ディスプレイを作れるからである。今回 Tay ら¹が開発したフォトリフラクティブポリマーは、正電荷を輸送する分子団と光に対して非線形的に分極が変化する色素を結びつけるコポリマーを含んでいる。外部から電場をかけると、色素が回転して整列し、材料の屈折率を変化させる。コポリマーは光増感剤としても働き、光を吸収して、532nm の「書き込み」波長の可動性の電荷を生じる。

このようにして開発された材料は、フォトリフラクティブ材料を使ったディスプレイに欠くことのできない重要な性質を驚くほど多くもっている。まず、コポリマーを使用して相分離 (材料を構成する各種の成分が分離した結果、光を散乱させる領域ができて、画質を劣化させてしまうこと) を最小化することにより、その光学的な品質と均質性が改良されている。また、非線形的な光学応答を示すフッ化物分子団と、分子の運動を促進するための可塑剤を少量ずつ加えることにより、高い感光性を確保し、書き込みと消去のために必要とされるレーザーパワーをそこそこに抑えることを可能にしている。さらに、90 パーセントに近い回折効率は、ディスプレイを明るくし、読み出しパワーを低く抑えることを可能にする。

このディスプレイに書き込みをする際には、電荷の輸送速度を上げるために 9kV の電圧をかける必要があるが、読み出しは 4kV でよい。著者らは、約 3 分でディスプレイの全域に書き込みを行うことができ、その画像は 3 時間にわたり保持することができた。完全に自動化された光学システムは、物体光を処理して細切れにし、ディスプレイの隣接する部分に

図1 便利なディスプレイ。a. 今回 Tay らが開発した、画像を更新できるホログラフィック 3D ディスプレイ¹のベースとなる媒体は、フォトリフラクティブポリマーである。物体から散乱された光と参照光との干渉パターンは、3 次元的に媒体に刻み込まれている。干渉パターンの明るい領域では、可動性の電荷担体である電子(-)と電子が移動した後に残る正孔(+)が生成し、より動きやすい正孔が暗い領域へと移動していく。媒質中の電場の分布と局所的な屈折率は、このようにして変換されて、物体からの光の振幅と位相の情報をマッピングする。b. 第 2 のレーザー光 (読み出し光) をポリマーに照射すると、もとの物体に散乱されたときと同じように散乱されて、3D 画像ができる。この書き込みの仕組みはポリマー中の電荷担体のダイナミクスのみに依存し、電荷担体のダイナミクスは (特定のポリマーと電位については) 媒体に入射する干渉パターンのみに依存するため、ディスプレイの画像は原則として更新可能である。

順次記録していく。ここで用いられるレーザーの強度は 1cm^2 あたり約 100mW あり、書き込み速度も良好である。一連の操作は、原理的にどのようなスケールでも実施可能である。よりパワーの高いレーザーを使ったり、より感度の高いフォトリフラクティブポリマーを使ったりすることで、より大きな領域に同時に書き込みをしたり、小さな領域に高速に書き込みをしたりすることができる。

今後、画像を更新できるホログラフィック 3D ディスプレイのサイズと更新速度が改良されれば、強力かつ高解像度の視覚化技術となるだろう。将来の巨大な軍事・医療・娯楽市場を見込んで、既に激しい開発競争が繰り広げられており、大画面フラットパネル式 3D ディスプレイや、その他の方式のリアルタイム 3D ディスプレイが次々と登場してきている。映画ファンやゲーマーが臨場感あふれるアクションを味わえる日も、そう遠くないかもしれない。■

Joseph W. Perry, ジョージア技術研究所・有機フォトニクス・エレクトロニクス研究所 (米)

1. Tay, S. et al. *Nature* **451**, 694-698 (2008).
2. Wheatstone, C. *Phil. Trans. R. Soc. Lond.* **128**, 371-394 (1838).
3. Dodgson, N. A. *Computer* **38**, 31-36 (2005).
4. Hariharan, P. *Optical Holography: Principles, Techniques and Applications* (Cambridge Univ. Press, 1996).
5. Schirmer, O. F., Thiemann, O. & Wohlecke, M. *J. Phys. Chem. Solids* **52**, 185-200 (1991).
6. Moerner, W. E., Grunnet-Jepsen, A. & Thompson, C. L. *Annu. Rev. Mater. Sci.* **27**, 585-623 (1997).