

画像シフト光学系を用いた視点追従型立体プロジェクター

今井 浩・今井 雅雄

レンチキュラー方式の投射型立体ディスプレイは、特殊なメガネを用いずに大画面の立体映像を観察できるという特徴をもっており、近年、バーチャルリアリティなどでの応用が期待されている。ただし、この方式では視差のある2種類の画像を空間的に分離して左右それぞれの眼に呈示することで立体映像を表示するため、横方向に±1 cm程度の狭い領域のみで立体視が可能である。そのため、観察者は常にこの領域に頭を固定するという不自然な姿勢で立体映像を観察しなければならない。この問題を解消するために、観察者の視点位置に追従して立体視可能領域を制御することで観察領域を拡大する視点追従型立体ディスプレイが提案されている¹⁾。今後、観察者の視点位置に応じた画像を表示するインタラクティブなディスプレイへの応用を考えると、高い追従応答性能が要求される。そこで筆者らは、独自の画像シフト光学系および追従遅延補償法を考案し、インタラクティブな応用に十分対応できる視点追従型立体プロジェクターを開発した²⁻⁴⁾。

1. システム構成

図1に本立体プロジェクターのシステム構成を示す。本立体プロジェクターは、40型のレンチキュラスクリーン、液晶プロジェクター(VGA; 640×480画素)、赤外線光源、CCDカメラ、信号処理装置、視点追従のための画像シフト光学系から構成される。眉間位置に赤外線反射マーカを装着した観察者は、LED(light emitting diode)を用いた赤外線光源で照明され、CCDカメラにより撮像される。撮像後、信号処理装置によりマーカ的位置が視点位置として画像計測され、その計測結果に応じて画像シフト光学系が駆動される。画像シフト光学系はレンチキュラスクリーン上の投射画像を横方向にシフトさせる作用をもち、立体視可能領域を観察者の視点位置に移動させる。

2. 画像シフト光学系

本立体プロジェクターにおける画像シフト光学系を

図2に示す。観察者の位置に応じて平行平板ガラスを傾ける。このとき、屈折の作用で光軸を横方向にシフトさせることができる。光軸のシフト量 Δx とガラスの傾き角 θ の関係は式(1)で表わされる⁵⁾。

$$\Delta x = d \cdot \sin \theta (1 - \cos \theta / \sqrt{n^2 - \sin^2 \theta}) \quad (1)$$

ここで、 d はガラス厚、 n はガラスの屈折率、 θ はガラスの傾き角である。今回試作した装置ではガラス厚を10 mmとし、晶材にBK-7($n=1.51825$)を使用した。観察面において両眼間隔に相当する65 mmだけ立体視可能領域を移動させる場合、光軸のシフト量は液晶パネルの1画素分(95 μm)に相当し、このときの傾き角はわずか1.6°である。本装置においては、立体視可能領域を±40 cmまで拡大でき、この範囲内で良好な立体映像を観察することが可能である。駆動には高精度のサーボモーターと減速機構を使用し、観察面において0.1 mmの追従分解能を実現できる。また、画像シフト光学系は小型軽量のためサンプリング周波数60 Hzの制御

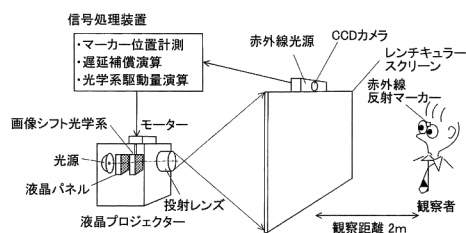


図1 視点追従型立体プロジェクターのシステム構成。

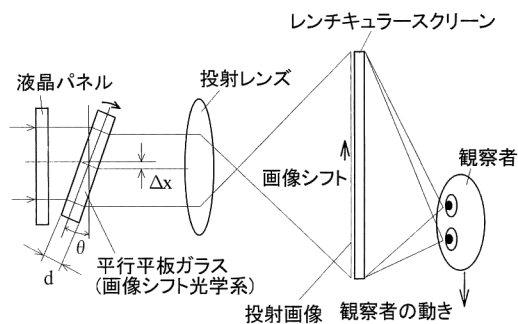


図2 画像シフト光学系。

NEC 光エレクトロニクス研究所 (〒216 川崎市宮前区宮崎 4-1-1)

E-mail: hiro@oel.cl.nec.co.jp

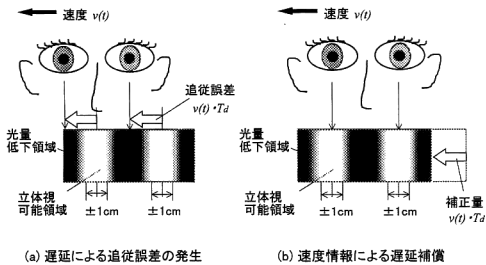


図3 追従遅延による追従誤差の発生とその補償。

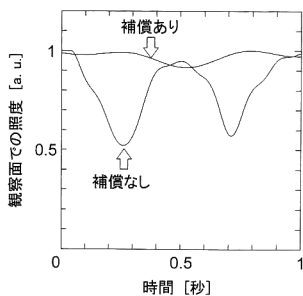


図4 視点の移動に伴う明るさ変化。

に十分応答し、時間分解能の高い滑らかな追従を実現することが可能である。

3. 追従遅延補償法

観察者の撮像時間、信号処理時間等により、検出された視点位置に光学系が追従するまでに約 60 ms 程度の時間を要する (追従遅延)。この追従遅延による追従位置の空間的な遅れを追従誤差とする。追従誤差は観察者速度に比例し、速度が 20 cm/s に達すると 1 cm を超える。追従誤差が 1 cm を超えると、観察者の両眼は図 3(a) に示すように、良好な立体映像を観察できる領域から一時的に逸脱し、観察映像の明るさが急激に低下する²⁻³⁾。このことは一時的であっても観察者に違和感を与え、立体映像の臨場感を低減させてしまう。そこでこの問題を解決するために、観察者の速度情報を用いて追従遅延を補償する方法を考案した。観察者が速度 $v(t)$ で移動している場合の追従誤差は、追従遅延を T_d とすれば $v(t) \cdot T_d$ で近似できる²⁻⁴⁾。したがって図 3(b) に示すように、補正量 $v(t) \cdot T_d$ を追従位置情報に加えることで追従遅延の補償が可能となる。なお、速度 $v(t)$ は一定ではないため、観察者の加減速時に若干の

追従誤差が生じるが、通常観察者の動き (周波数 0.5 Hz 以下、速度 60 cm/s 以内) であれば追従誤差は 1 cm 以内であるので、本システムにおいては速度の時間変化について特に考慮しなくても問題はない。図 4 は視点正弦波状 (振幅 7.5 cm、周波数 1 Hz、最高速度 47 cm/s) で移動した場合の明るさ変化を計測した結果である。遅延補償を行わない場合、視点の移動に伴い明るさが 50% まで低下するが、遅延補償を行うことにより、明るさの低下を 10% 以内に抑制でき、観察者が高速で移動しても常に良好な立体映像を観察できる。

画像シフト光学系による視点追従型立体プロジェクターは、大画面の立体映像表示とともに、高速かつ高精度の視点追従を行うことが可能である。したがって、パッチャリアリティーなど臨場感やインタラクティブ性が要求される応用分野において非常に有効なディスプレイシステムであると考えられる。

文 献

- 1) N. Tetsutani, K. Omura and F. Kishino: "A study on a stereoscopic display employing eye-position tracking for multi-viewers," Proc. SPIE, **2177** (1994) 135-142.
- 2) H. Imai, M. Imai, Y. Ogura and K. Kubota: "Eye-position tracking stereoscopic display using image shifting optics," Proc. SPIE, **2653** (1996) 49-55.
- 3) 今井 浩, 今井雅雄, 小椋行夫: "高速画像シフト光学系を用いた視点追従型立体プロジェクタ", 3次元画像コンファレンス '96 講演論文集 (1996) pp. 114-119.
- 4) H. Imai, M. Imai and Y. Ogura: "Eye-position tracking stereoscopic projector using image shifting optics," Proc. International Display Workshops '96 (1996) pp. 449-452.
- 5) 早見良定: 光機器の光学 I ((財)オプトメカトロニクス協会, 1988).

(1997年2月5日受理)