

LCD プロジェクターを用いた偏光によるステレオ立体視のための画質向上アルゴリズム

小出 雄空明†

白井 暁彦‡

† 神奈川工科大学 大学院 情報工学専攻

‡ 神奈川工科大学 情報学部 情報メディア学科

1 はじめに

近年、デジタルシネマの急速な普及を背景に、立体映画等のステレオ上映（以下 S3D）が一般化しつつある。上映に使用される S3D ディスプレイには、アナグリフ方式、液晶シャッター方式、干渉フィルター方式、直線偏光フィルター方式、円偏光フィルター方式が存在するが、視聴者に電氣的なデバイスを必要とせず、首の角度などに依存しない円偏光フィルター方式は比較的成本が安く、従来不可能であった普及型の液晶プロジェクターで高品質に実現することができれば、今後、広い範囲で利用される可能性がある。

2 関連研究

「RealD」方式は、左右別々の円偏光の映像を 1 台の DLP プロジェクターによって投影、レンズ手前に設置した電気光学液晶変調器を使用し、毎秒 144 回切り替えて投影するもので、世界で最も普及している円偏光 S3D 方式のひとつである。一方、円偏光 S3D 方式に普及型のプロジェクター方式である液晶プロジェクター（以下 LCP）が使用されることは殆ど無い [1]。

高速回転するカラーホイールを光源とし、Digital Mirror Device (DMD) による時分割反射ミラーの制御によって画素を投影する DLP に対し、LCP は光源から RGB 各色の液晶デバイスを透過した光を投影する光学系を持つため、最大輝度は比べて高いが、投影映像に偏光特性があり、一般的な直線偏光 / 円偏光フィルターを使用できないという技術的制約がある。

しかしながら近い将来、4K/8K といった高解像度・大画面化、12 ビット色信号を使った HDR 化、HFR と呼ばれる高フレームレート化時代が予測されており、高解像度化や高速化に限界がある DMD を使った DLP 単体で構成する RealD 方式に対して、明るく安価で高精細の映像が期待できる LCP を 2 台スタック（積み上げ）方式で構築する S3D が品質高く実現できれば、コストや品質、付加価値の面で有利である。

LCP スタック方式による S3D の先行研究の報告例としては、Andrew J. Woods らによる実験例 [2]、米国特

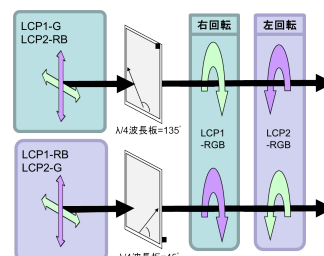


図 1: ± /4 波長板と G 信号入れ替えによる方式

許 US5239372(A)、三洋電機「立体視 LCD プロジェクターシステム」(特開 2003-185969) において提案されている方式が存在する。RGB3 板式 LCP における各色液晶デバイスの光路の違いに注目し、スタックした 2 台のプロジェクターのレンズ手前に ± /4 波長板を設置することを提案している。双対の波長板を使うことで双対の円偏光特性を持った LCP1, LCP2 を用意することができ、RealD と同種の円偏光フィルタ（以下 CPF）によるメガネを用いた S3D を構成できるかに見える。ただし、一般的な LCP では CPF1 に対して、LCP1 の映像は赤 (LCP1-R)、青 (LCP1-B) は減衰できても、緑 (LCP1-G) は透過する。一方、CPF2 は LCP2 映像の赤 (LCP2-R)、青 (LCP2-B) は減衰できても、緑 (LCP2-G) は透過する。これは、RGB3 板式 LCP 内部における、各色をダイクロイックミラーおよびダイクロイックプリズムによって分離・統合した光路の違いに起因するもので、G 信号である LCP1-G と LCP2-G を入れ替えて同スクリーンに投影することにより、S3D を実現するという考え方である (図 1)。

2 台のプロジェクターの投影光の水平方向に対して、それぞれ 45° と 135° の遅相をもつ ± /4 波長板を配置する。このような ± /4 波長板は直線偏光を円偏光に変換する機能を持つ。このとき LCP の特性により異なる偏光をもった R, G, B 光はそれぞれ回転方向の異なる円偏光に変換され、LCP-1 では R, B に右回転、G に左回転、LCP-2 では R, B に左回転、G に右回転が掛かることになる。投影する 2 つの画像の G チャンネルを入れ替えた画像を作成することで、画像 1 つあたりの RGB 光の回転方向を統一することができる。

†Yukua KOIDE ‡Akihiko SHIRAI, Ph.D

†Graduate School of Engineering, Kanagawa Institute of Technology

しかしながら、実際にこの構成を追試してみたところ、スタックされた複数のLCPの色再現性および設置条件にはばらつきがあるため、2つのLCPのG信号入れ替えだけでは十分な画質が維持できないことが確認できた。具体的には2つのプロジェクターの投射角の異なりによるG信号のみ異なる色ムラ（ユニフォミティ異常）が発生し、白色が表現できない(図2)。

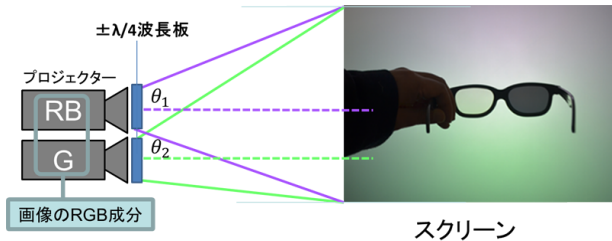


図2: スタックした2プロジェクターにおいてRB画像とG画像の同輝度画像を背面投影した様子、垂直方向のユニフォミティの異なりが目立つ。

この問題は論文 [2] においても指摘されており、幾何的には投射角の違いを吸収できる程度の遠距離かつ狭い画面への投影を行えば無視できる可能性があるが、トレードオフ関係になり利点がない。また、S3Dのために特殊な光路を設計したLCPを利用しては、電気的デバイスではない $\lambda/4$ 波長板を設置するだけでS3Dと2Dスタックを切り替えられる本方式の利点は薄れる。また現在では、提案された当時と異なりアナログRGB信号による映像送ではなく、HDMI, DisplayPort, HD-SDI等のデジタル信号形式が主流になっており、G信号のみのハードの入れ替えは実用上現実的ではない。大型シアターではカラーメーターを使用した大規模なカラーキャリブレーションを行うことも可能であるが、中規模のシネマコンプレックスや、公共ホール、非常設シアターなどではコスト面で現実的でない。

以上のような背景から、本報告では市販のRGB3板式液晶プロジェクターに対し、シンプルな外部構成のみでのS3Dの実現と、その簡易で高速な画質向上アルゴリズムについて報告する。

3 提案方式：G輝度傾斜補正

プロジェクター2台でRBチャンネル、Gチャンネルを切り分けて1画像を投映する場合、プロジェクターを2台重ねることによって投射角 θ_1, θ_2 に差異が生まれる。図2の場合、RBチャンネルを映す上段プロジェクター θ_1 に対し、下段に位置するプロジェクター投射角 θ_2 は煽ることになる。このため図2右のように、プ

ロジェクター2で投映するGチャンネルが下部に行くにしたがって強い輝度で表示される。

光源中央部分のホットスポットは2つのプロジェクターでほぼ共通なので本報告では割愛し、 θ_1, θ_2 の差異にのみ注目し、Gチャンネル輝度にリニアな減光処理を掛けることで、ユニフォミティを改善を試みた。

まず修正前の投影状況を撮影し、垂直方向に走査し、水平方向の画素平均値、中央値、偏差を記録する。このようにして取得したラインごと画素平均値において、(R-B)輝度の差分に対して、(R-G),(B-G)輝度の差分が大きくなるラインに対し、Gチャンネルのみ直線的な減衰処理を行う。リニア減衰処理により、アルゴリズムがシンプルになる。

減衰開始ラインから減衰終了ラインにおける傾きを a とすると、補正後のピクセル値は $I = ay$ と表現でき、少ない演算コストで実装できる。本来、光源の減衰はリニアではないが、プロジェクター等の照明光学系において、光強度の減衰は「半角度」という「光強度が半減する角度」で扱う慣習があり、実用上も扱いやすい。また投射角 θ_1, θ_2 はカメラではなく、将来的にはプロジェクター内蔵の加速度センサーで取得することも可能であろう。

4 評価と考察

補正前と補正後の投影状況を一眼レフカメラ (NICON D5100, ISO感度換算 320, 露出時間 1/80 秒, 絞り値 f/5.6) で撮影した様子が図3である。良好なユニフォミティ補正が行えている事がわかる。今後はリアルタイム映像におけるGPU上での処理などに展開していきたい。

参考文献

- [1] ウシオ電機株式会社. 特集：映像...デジタル化時代に向けて, 2007.
- [2] Andrew J. Woods. Optimal usage of lcd projectors for polarized stereoscopic projection. pp. 5-7, 2001.

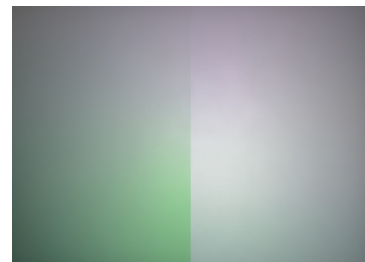


図3: 補正前の投影画像(左) / 補正後(右)