

照明計画のための4自由度光源システムの制御

相島 初花^{1,a)} 岡部 孝弘^{2,b)}

概要：物体認識や物体の幾何学的・光学的モデリングのための照明計画では、被写体を様々な方向の平行光線で照らした画像が用いられる。ロボットアームを用いた従来研究には、機械的な駆動に時間を要したり振動が発生したりする問題がある。また、ライトステージを用いた従来研究では、任意方向の平行光線で被写体を照らすことができない。そこで本稿では、照明計画のために、2枚の透過型液晶を用いた4自由度光源システムを用いて、任意方向の平行光線を生成する手法を提案する。具体的には、2枚の透過型液晶の透過率を制御して任意方向の平行光線を近似的に生成するときに、透過率パターンを求める方法を提案するとともに、その近似精度を調べる。

キーワード：照明計画, 平行光線, ライトフィールド, 3次元ディスプレイ

1. はじめに

物体認識 [2] や反射特性の推定 [1] のための照明計画では、様々な方向の平行光線で被写体を照らした画像が用いられる。従来研究では、ロボットアームに取り付けた光源を動かしたり、ドーム状に光源を配置したライトステージを用いたりして、タスクごと被写体ごとに最適な方向の平行光線下の画像を獲得している。

ところが、ロボットアームを用いる方法には、機械的な移動・回転に時間を要したり、機械的な駆動に伴い振動が発生したりする問題がある。また、ライトステージを用いる方法では、光源が特定の方向に固定されているために、任意方向の平行光線で被写体を照らすことができない。

そこで本稿では、照明計画のために、透過型液晶を用いた4自由度光源システムにより、任意方向の平行光線を生成する手法を提案する。具体的には、2枚の透過型液晶の透過率を制御して任意方向の平行光線を近似的に生成するときに、透過率パターンを求める方法を提案するとともに、その近似精度を調べる。提案手法は、ロボットアームのような機械的な駆動が不要で、ライトステージでは不可能な任意方向の平行光線を生成することができる。

2. 関連研究

複数の透過型液晶を用いてライトフィールドを生成・制

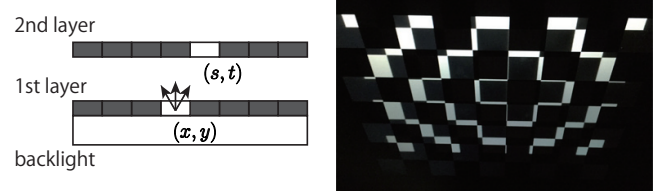


図1 4自由度光源システムの概念図(左)と2枚の透過型液晶の透過率をチェッカーパターン状にしたときの見え(右)。

御する研究は、3次元ディスプレイの分野で数多く行われてきた。例えば、Lanman ら [3] は2枚の透過型液晶を用いた視差障壁に基づく3次元ディスプレイを、Wetzstein ら [4] は3枚の透過型液晶や指向性バックライトを用いた3次元ディスプレイを提案している。

これらの研究の目的は、3次元ディスプレイのユーザが裸眼立体視できるように4次元ライトフィールドを生成することにある。一方、我々の目的は、4次元ライトフィールドを照明として用いて画像処理(本稿では照明計画)を行うことであり、上記のような3次元ディスプレイに関する研究とは目的や方法が異なる。

3. 提案手法

本研究では、液晶ディスプレイと透過型液晶からなる光源システム、つまり、バックライトの前に2枚の透過型液晶を配置した4自由度光源システムを用いる(図1)。この光源システムは、1枚目の透過型液晶の任意の位置 (x, y) と2枚目の透過型液晶の任意の位置 (s, t) の透過率のみを1とすることで、これらを通過する光線を生成することができる。

¹ 九州工業大学 大学院情報工学府 先端情報工学専攻

² 九州工業大学 大学院情報工学研究院 知能情報工学研究系

a) m_aishima@pluto.ai.kyutech.ac.jp

b) okabe@ai.kyutech.ac.jp

提案手法では、2枚の透過型液晶をそれぞれ N 個のブロックに分割し、ブロック単位で透過率を 0 から 1 の間で変化させて平行光線を生成する。このようにして $N^2 (= N \times N)$ 本の異なる光線を生成できることから、 $N \times N$ の行列 \mathbf{W} を用いて任意方向の平行光線を表現する。ここで行列 \mathbf{W} の i 行 j 列成分は、1 枚目の透過型液晶の i 番目のブロックと 2 枚目の透過型液晶の j 番目のブロックを通過する光の強さであり、平行光線の方向に依存してその値が決まる。

ところが、任意方向の平行光線を生成するために制御可能なのは、2枚の透過型液晶の $2N (= N + N)$ 個のブロックの透過率のみである。 N が大きいとき $2N \ll N^2$ となるため、一般に、 $2N$ 個の透過率のみを制御して任意方向の平行光線を生成することは困難である。そこで提案手法では、異なる照明条件下で撮影された K 枚の画像を組み合わせ、平行光線下の画像を近似的に獲得する。これは、重ね合わせの原理から、 K 個の異なる透過率パターンの凸結合で行列 \mathbf{W} を近似することを意味する。

具体的には、 \mathbf{a}_k と \mathbf{b}_k を、 k 番目 ($k = 1, 2, 3, \dots, K$) の透過率パターンにおける 1 枚目と 2 枚目の透過型液晶の透過率を並べたベクトルとし、

$$\min_{\mathbf{a}_k, \mathbf{b}_k, c_k} \left\| \mathbf{W} - \sum_{k=1}^K c_k \mathbf{D} \circ (\mathbf{a}_k \mathbf{b}_k^T) \right\|_F \quad (1)$$

のようにして求める。ここで、 c_k は結合係数、 \circ はアダマール積、 $\|\cdot\|_F$ はフロベニウスノルムである。行列 \mathbf{D} は 2 枚の透過型液晶のブロック間の見かけの短縮を表す行列で、そのサイズは $N \times N$ である。透過率は 0 から 1 の非負値を取るため、 $c_k > 0$ のとき、非負値行列因子分解 (NMF) の枠組みで、交互最適化により透過率パターンを求めることができる。

4. 実験

透過型液晶のブロック数を 63 ($= N$) として実験を行った。図 2 は、透過率パターンの数を 10 ($= K$) としたときに、行列 \mathbf{W} 、および、提案手法によるその近似結果を、 $N \times N$ 画素の画像として可視化したものである。画素値が大きいほどその画素に対応する光線の強さも大きい。平行光線の方向は、透過型液晶に垂直な方向を $(0, 0)$ 、左向きに d_x 度、下向きに d_y 度の方向を (d_x, d_y) と表す。図 3 に、透過率パターンの数 K を変えたときの行列 \mathbf{W} の近似誤差率を示す。

図 2 と図 3 の結果から、定性的にも定量的にも、透過型液晶に垂直な方向の平行光線は、少数の透過率パターンの組み合わせで近似的に生成できることが分かる。一方で、角度 d_x や d_y が大きくなるにつれて、少数の透過率パターンの組み合わせで近似するのが困難になることも分かる。これは、見かけの短縮の影響により、透過型液晶を垂直に通過する光線の強さよりも、斜めに通過する光線の強さが

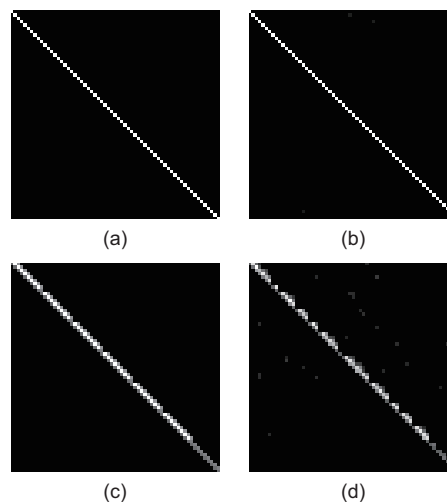


図 2 光線の強さを可視化したもの：光源方向 $(0, 0)$ の (a) 真値と (b) 提案手法による近似結果、および、光源方向 $(20, 20)$ の (c) 真値と (d) 提案手法による近似結果。

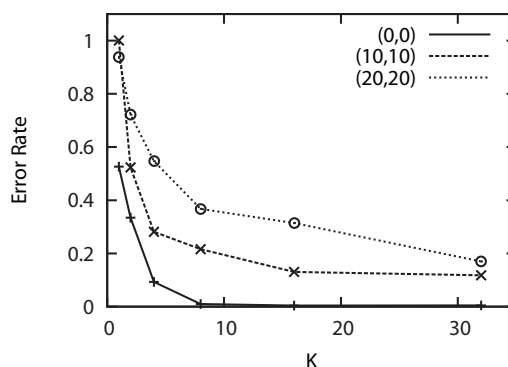


図 3 透過率パターンの数 K を変えたときの行列 \mathbf{W} の誤差率。光源方向は $(0, 0)$ 、 $(10, 10)$ 、および、 $(20, 20)$ 。

小さくなるのが原因であると考えられる。例えば、図 4 のように複数ブロックの透過率を同時に 1 にして、透過型液晶に対して垂直な方向の平行光線を生成するときには、所望の光線の強さは余分な光線の強さよりも大きい。一方、透過型液晶に対して斜めの方向の平行光線を生成するときには、所望の光線の強さは余分な光線の強さよりも小さくなってしまふ。このことから、角度が大きくなるにつれて、行列 \mathbf{W} を複数ブロックの透過率を同時に 1 にした少数の透過率パターンで効率良く近似することが困難になると考えられる。

図 5 に、透過率パターンの数 K を変えたときに得られる実画像を示す。ここでは、平行光線の方向 $(0, 0)$ に応じた重みで $3969 (= N^2)$ 枚の画像を組み合わせた画像を真値とみなした。定性的には、 $K = 1$ のときでもある程度真値に近い画像が得られており、 K が大きくなるにつれて真値により近い画像が得られることが分かる。

5. むすび

本稿では、照明計画のために、透過型液晶を用いた 4 自

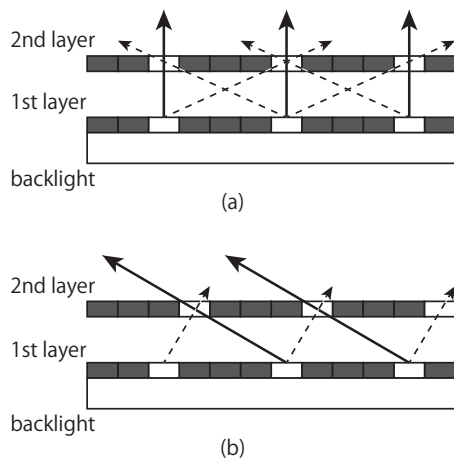


図 4 見かけの短縮の影響：(a) 透過型液晶に対して垂直な方向の平行光線，および，(b) 斜めの方向の平行光線．実線と破線はそれぞれ所望の光線と余分な光線．

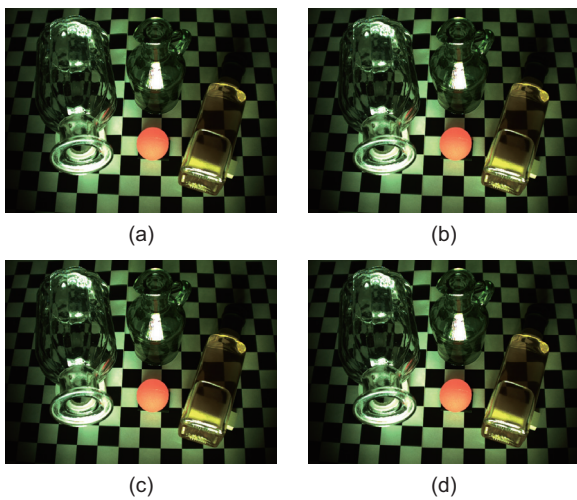


図 5 光源方向が $(0,0)$ のときの実画像：(a) 真値，(b) $K = 1$ ，(c) $K = 4$ ，および，(d) $K = 8$ ．

由度光源システムにより，任意方向の平行光線を生成する手法を提案した．具体的には，2枚の透過型液晶の透過率を制御して任意方向の平行光線を近似的に生成するとき，透過率パターンを求める方法を提案するとともに，その近似精度を調べた．透過型液晶の間隔やブロック数に関する検討や，3枚の透過型液晶を用いた近似精度の向上は今後の課題である．

謝辞 本研究の一部は，JSPS 科研費 JP17H01766 の助成を受けた．

参考文献

- [1] A. Ali, I. Sato, T. Okabe, and Y. Sato, “Efficient modeling of objects BRDF with planned sampling”, IPSJ Trans. CVA, 5, pp.114–118, 2013.
- [2] H. Murase and S. Nayar, “Illumination planning for object recognition using parametric eigenspaces”, IEEE Trans. PAMI, 16(12), pp.1219–1227, 1994.
- [3] D. Lanman, M. Hirsch, Y. Kim, and R. Raskar, “Content-adaptive parallax barriers: optimizing duallayer 3D dis-

- plays using low-rank light field factorization”, In Proc. ACM SIGGRAPH Asia 2010, Article No.163, 2010.
- [4] G. Wetzstein, D. Lanman, M. Hirsch, and R. Raskar, “Tensor displays: compressive light field synthesis using multilayer displays with directional backlighting”, In Proc. ACM SIGGRAPH 2012, Article No.80, 2012.