

時間同期プロジェクターカメラシステムを用いた撮像領域の制御と応用

上田 朝己† 久保 尋之† 船富 卓哉† 向川 康博†

† 奈良先端科学技術大学院大学

E-mail: ueda.tomoki.uj1@is.naist.jp

1 はじめに

カメラは欲しい情報だけでなく、時として不要な情報まで撮影してしまうことがある。例えば、監視カメラに写り込むプライバシー情報や車載カメラが捉えてしまう雨霧の後方散乱光などである。近年、照明と撮像の工夫により、シーン中の特定の領域からの反射光だけを撮影する手法が提案されている。[1] はレーザープロジェクターとローリングシャッターカメラを組み合わせ、これらのラスタ走査の同期により、特定の奥行きからの反射光だけを取得するシステムを構築した。[2] はこれを拡張することで、シーン中の間接光成分のみを取得する方法を提案している。[3] は対象とする領域を曲面や複数面に拡張したが、ガルバノミラーを用いた複雑なシステムが必要となる。

本研究では [1] と同様のシステムを用いて、[1] の撮像領域の自由度を高める手法を提案する。さらに2つの応用を提案し、その有効性を示す。なお本稿では IEEE International Conference on Computational Photography (ICCP) 2019 にて発表予定である筆者らによる論文 [4] について概説し、新たな応用としてマスクイメージングにインペインティングを適用した結果についても述べる。

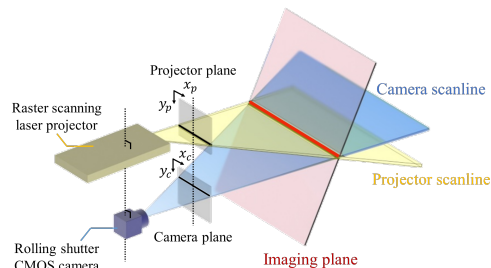
2 同期撮像システムを用いた撮像領域の制御

図 1(a) は本研究で用いるプロジェクターカメラシステムの概要を示している。本システムで使用するレーザープロジェクターとローリングシャッターカメラは、水平な1行を上から下まで繰り返し走査して照明と撮像を行う。これらのプロジェクターとカメラを図 1(a) のように垂直に配置したとき、カメラに写るのは面状の照明と撮像が交わる領域であり、図 1(a) の Imaging plane として示される。

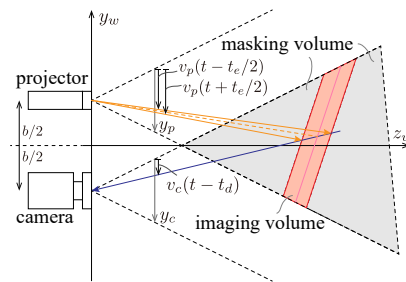
カメラのスクリーン座標 y_c とプロジェクターのスクリーン座標 y_p はそれぞれワールド座標系 (y_w, z_w) との関係式として以下のように表すことができる。

$$y_c = -\frac{f_{cy}(y_w + b/2)}{z_w} - c_{cy}, \quad (1)$$

$$y_p = -\frac{f_{py}(y_w - b/2)}{z_w} - c_{py}. \quad (2)$$



(a) 撮像システムの概要図。



(b) 本手法によって撮像される領域。

図 1: (a) 時間的に同期したプロジェクターの照明とカメラの撮像が特定の傾きと奥行きの面上でライン走査する。(b) 露光時間によって撮像面の厚みを制御する。

ただし、プロジェクターカメラ間のベースラインを b とし、その中点を原点とした。また、プロジェクターとカメラは共に $+z$ 方向を向き、鉛直方向 $(0, 1, 0)$ を共有するように設置されているものとする。また、 f_{cy}, f_{py} はそれぞれカメラとプロジェクターの y 軸方向の焦点距離、 c_{cy}, c_{py} は同様にカメラとプロジェクターのピクセル座標系における光学中心である。

ここで、プロジェクターとカメラによる1ラインの照明と撮像を同期させる。このとき、シーンを走査するプロジェクターが照明する行 y_p とカメラが露光する行 y_c とは、ある時間でそれぞれ次の式によって拘束される。

$$y_p = v_p t, \quad (3)$$

$$y_c = v_c(t - t_d). \quad (4)$$

ただし、プロジェクターとカメラが y 軸方向に走査する速度をそれぞれ v_p, v_c とし、同期されたカメラはプロジェクターの照明に t_d 秒遅れて露光を開始するものとする。

このスクリーン座標系における拘束によって、図 1(a) のように照明と露光は空間中のある傾きと奥行きを持つ面上で交わりながら走査する。

さらに、カメラの露光時間によってこの撮像面の厚みを制御する。プロジェクタと同期したカメラがある 1 行を t_e 秒間露光しているとき、プロジェクタは相対的に t_e 秒間の走査を行う。ここで、カメラが $t - t_e/2$ 秒から $t - t_e/2$ 秒の間にある 1 行を露光するとき、プロジェクタがこの t_e 秒間で照明する行は式 (3) より、照明を開始する行と終了する行を用いて、

$$y_p \in \left[v_p \left(t - \frac{1}{2} t_e \right), v_p \left(t + \frac{1}{2} t_e \right) \right] \quad (5)$$

となる。式 (4)(5) の拘束によって、図 1(b) のように照明と露光は空間中のある領域上で交わりながら走査する。

以上のように、本手法では、プロジェクタとカメラを時間同期し、その拘束式に用いるパラメータを変更することで、撮像面の傾きと奥行きと厚みを制御することが可能である。この撮像領域をシーンに合わせて設定することでイメージングに応用する。

3 実験と結果

3.1 システムの実装

本手法は、レーザープロジェクタとしてソニー社製の MP-CL1A、ローリングシャッターカメラとして IDS 社製のカラーカメラ UI-3250CP-C-HQ およびモノクロカメラ UI-3250CP-M-GL を用いた。図 1(a) のようにプロジェクタとカメラが垂直に並んで配置されるように、3D プリンタで造形した治具によって固定した。また、プロジェクターカメラの時間同期には先行研究 [1] と同一のシステムを用いた。

3.2 リアルタイムマスキング

本手法によって撮像領域を制御することで、シーンの様子を部分的に隠匿可能である。図 2(a) は、机上に書類と小物が置かれたシーンを通常のカメラで撮影した画像である。本手法を用いて撮像面を机の表面に合わせることで、机上以外をマスクした映像 (図 2(b)) を取得することが可能である。さらに、撮像面の厚みの調整により、机上の物体をほぼ完全に隠匿した撮影も可能である (図 2(c))。これは、撮像後に画像処理するような手法 [6] と違って、カメラのセンサ自体がマスク領域からの反射光を受け取っていないため、より秘匿性が高いと考えられる。また、これらの結果はすべて実時間での映像表示が可能である。さらに、図 2(b) のマスク領域に対して画像修復 (インペインティング) [5] を適用した結果を図 2(d) に示す。通常は、深度推定や物体検出などのアルゴリズムによってマスク領域を指定する必要があったが、本手法によるマスク画像を用

いることで、自動的に画像修復の領域指定が可能であることが示された。

3.3 散乱媒体中の物体の鮮明化

本手法を用いることで、霧中にある被写体を鮮明化することが可能である。霧中の物体が不明瞭なのは、霧からの後方散乱光と物体からの反射光の両方がカメラで混在して観測されてしまうためである。そこで、本手法を用いて物体だけに撮像領域を設定することで、霧からの後方散乱光をマスクし、物体を鮮明に撮影する。

図 3(a) のようにペーパークラフトで道路を模したシーンを通常のカメラで撮像した結果を図 3(c) に示す。図 3(b) のように、このシーンに霧を充満させると、後方散乱の影響で画像が不鮮明となってしまうのが見て取れる (図 3(d))。

従来手法の撮像領域は特定奥行きの垂直な撮像面なので、図 3(e) のように傾斜している道路に対しては、一度の撮像だけでは部分的にしか鮮明化できていない。一方で、本手法によって撮像面の傾きを制御することで一度の撮像でシーン中の物体に合わせて鮮明化が可能である。図 3(f)(g) は、本手法によって道路と標識にそれぞれ撮像面を合わせて撮像した結果である。それぞれ一度の撮像で、傾斜している道路や標識の面に合わせて鮮明化された結果が得られた。

さらに撮像領域を適切に設定することで、鮮明化する領域を拡大することが可能である。撮像領域を標識と車の両方に合わせて制御することで図 3(h) の結果を得た。一度の撮像で、傾斜している道路上にある車と標識のどちらも鮮明化できていることが分かる。

4 まとめ

本論文では、シーンの特定領域から反射光を選択的に取得する手法を提案した。そのために同期したレーザープロジェクタとローリングシャッターカメラを用いた。同期のパラメータを制御することで、従来手法よりも高自由度に撮像領域を制御可能となったことを示した。さらに提案手法を応用することで 2 つのイメージング手法を提案した。リアルタイムマスキングへの応用結果から、シーンの幾何に合わせて反射光を選択可能となったことを示した。また、シーンの後方散乱光を取得しないように撮像領域を設定することで、霧中の物体を鮮明に撮影することが可能となったことを示した。今後の展望として、本システムでは撮像領域の制御パラメータを手動で設定しているが、これらのパラメータをシーンに合わせて自動で設定するような手法への取り組みが考えられる。

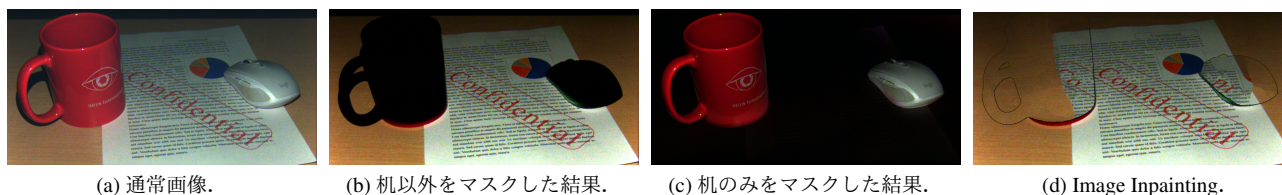


図 2: リアルタイムマスキング. 通常画像 (a) に対して本手法で机上だけを可視化した例 (b) と机上以外の可視化した例 (c). また, (b) を入力としてインペインティング [5] を適用した結果 (d) を示す.

謝辞

本研究は, 科研費 15K16027, JST CREST JP-MJCR1764, および奈良先端科学技術大学院大学支援財団支援事業の助成を受けたものです.

参考文献

- [1] Matthew O'Toole, Supreeth Achar, Srinivasa G. Narasimhan, and Kiriakos N. Kutulakos. Homogeneous codes for energy-efficient illumination and imaging. *ACM Trans. Graph.*, Vol. 34, No. 4, pp. 35:1–35:13, July 2015.
- [2] Hiroyuki Kubo, Suren Jayasuriya, Takafumi Iwaguchi, Takuya Funatomi, Yasuhiro Mukaigawa, and Srinivasa G. Narasimhan. Acquiring and characterizing plane-to-ray indirect light transport. In *IEEE International Conference on Computational Photography, ICCP 2018*, pp. 1–10. Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 5 2018.
- [3] Jian Wang, Joseph Bartels, William Whittaker, Aswin C. Sankaranarayanan, and Srinivasa G. Narasimhan. Programmable triangulation light curtains. In *The European Conference on Computer Vision (ECCV)*, pp. 220–35. 2Springer International Publishing, September 2018.
- [4] T. Ueda, H. Kubo, S. Jayasuriya, T. Funatomi, and Y. Mukaigawa. Slope disparity gating using a synchronized projector-camera system. In *2019 IEEE International Conference on Computational Photography (ICCP)*. to appear (see supplemental pdf.).
- [5] Alasdair Newson, Andrés Almansa, Yann Gousseau, and Patrick Pérez. Non-local patch-based image inpainting. *IPOL Journal*, Vol. 7, pp. 373–385, 2017.
- [6] N. Kawai, T. Sato, and N. Yokoya. Diminished reality based on image inpainting considering background geometry. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, Vol. 22, No. 3, pp. 1236–1247, March 2016.

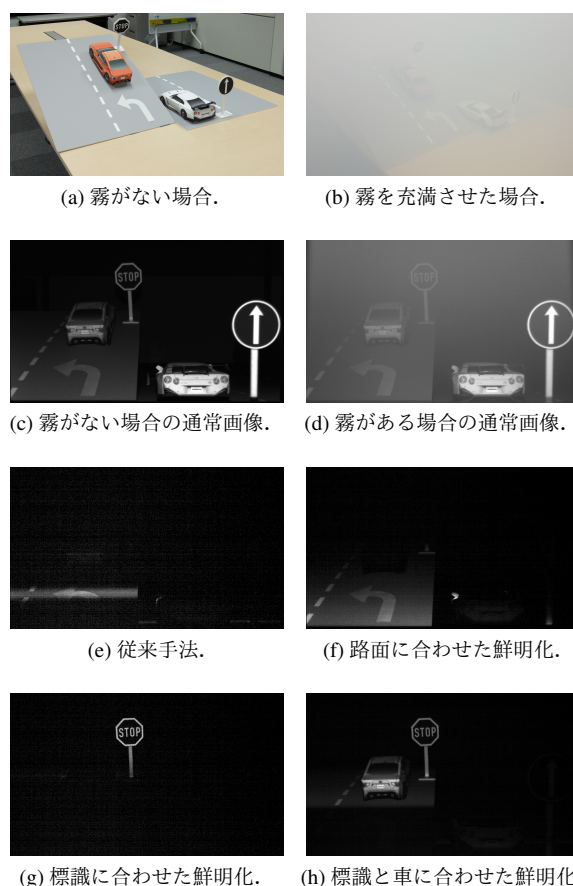


図 3: 道路を模して作成したシーン (a) に, 霧を発生させた (b). 通常のカメラで撮影した画像は, 霧の影響によって不鮮明となる (c)(d). 従来手法 [1] によってシングルショットで取得可能な領域は限られている (e). 本手法によって撮像領域を制御することでシーン中の物体に合わせて鮮明化が可能となった (f)(g)(h).