

# プロジェクションマッピング型タスクライトシステムの開発

豊島 隆司  
Takashi TOYOSHIMA

## 1 はじめに

近年、知的生産性の向上やストレスの軽減、快適性の向上などの観点からオフィス環境の改善に注目が集まっている。オフィス環境において執務者に適切な照度の照明を提供することは快適性の向上に繋がるが、個人によって要求する照度（選好照度）は異なる。執務者の位置毎に異なる照度の環境を実現する手法として、タスク・アンビエント照明の導入が挙げられる。タスク・アンビエント照明は、作業を行う区画に高い照度を与えるタスクライトと、その周辺の空間全体を照らすアンビエントライトを組み合わせる照明である。天井照明のみの環境に比べ、各執務者の選好照度を高精度で実現することが可能であるため、執務者の快適性の向上に有効である。

また、先行研究により、紙面作業において紙面と机上面の輝度比が大きいほど紙面上の選好照度が下がるという研究結果が報告されている<sup>1)</sup>。机上面の輝度を上げずに紙面のみを照らすことにより紙面上の選好照度が下がるため、紙面のみを照らす照明を利用することで環境全体の照度を低く抑えることができる。思考を伴う作業時には周辺照度が低い方が作業に集中しやすくなるという研究結果も報告されている<sup>2)</sup>。そのため周辺照度を下げることが可能である紙面のみを照らす照明は、省電力および執務者の作業効率に貢献する。

## 2 プロジェクションマッピング型タスクライトシステム

### 2.1 システムの概要

プロジェクションマッピング (PM) 型タスクライトシステムは、プロジェクタから映像を投影し、机上の紙面のみを照らす照明を実現するシステムである。プロジェクションマッピングは建物等の立体物の表面に対してプロジェクタで映像を投影する手法である。PM 型タスクライトシステムでは机上面の一部をプロジェクタの投影範囲とし、範囲内の紙面に対して映像を投影することで、紙面のみを照らすタスクライトの機能を実現する。

本システムの概要図を Fig. 1 に示す。システムは、投影範囲の状態を取得する Web カメラ、投影画像の生成処理を行うサーバ、画像を投影するプロジェクタで構成される。紙面に対して映像を投影するためには、プロジェクタの投影範囲内のどの位置に紙面が存在するかを判断する必要がある。そのため、本システムでは紙面の検出に Web カメラおよび画像処理ライブラリである OpenCV の機能を使用し、紙面の検出を行う。プロジェクタは投影映像が机上面からはみ出さないように設置し、カメラはプロジェクタの投影する映像全てを撮影できる位置に設置する。

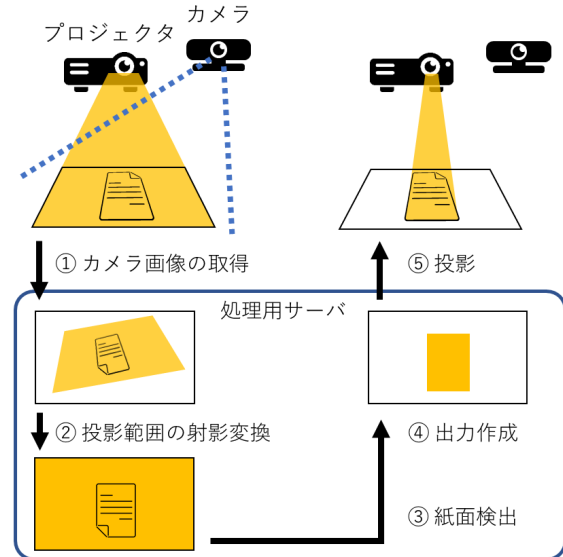


Fig.1 システムの概要図

システムの処理は、以下の順に実行される。

1. カメラ画像の取り込み
2. カメラ画像上におけるプロジェクタの映像投影範囲の切り出し・射影変換による変形
3. 変換後の画像上における紙面の検出
4. プロジェクタから投影する出力画像の作成
5. 出力画像の投影

カメラ画像上の紙面の座標を、プロジェクタ投影画像の作成に用いるためには、座標の変換が必要である。本システムでは、カメラ画像上の座標からプロジェクタ画像上の座標への変換のため、射影変換を用いて画像の変形を行う。

射影変換を行うことで、ある平面をある角度から撮影した像を、別角度から撮影した像に変形できる。そのため、射影変換による変形後の画像上で紙面の認識を行うことにより、認識した紙面の座標を直接プロジェクタの投影画像上の座標として用いることが可能である。

### 2.2 カメラ画像・プロジェクタ画像間の座標変換

プロジェクタ画像上で、紙面の座標を取得するため、カメラ画像上におけるプロジェクタ投影範囲を、射影変換によってプロジェクタ画像と同じ画素数の画像に変形する。射影変換では画像上の変換したい四角形領域の4頂点の座標と変換後の四角形の4頂点の座標から変換行列を作成する。変換行列を適用し、変換することにより、ひし形や台形など任意の四角形の画像を、異なる任意の四角形の画像に変形する。

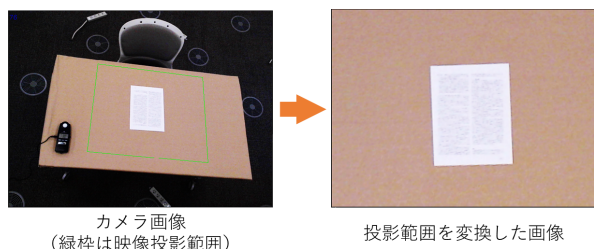


Fig.2 カメラ画像上におけるプロジェクタ映像投影範囲の平面射影変換

変形を行うためには、カメラ画像上におけるプロジェクタの投影範囲がどこであるのかを指定する必要がある。プロジェクタの映像を平面に投影した場合、投影範囲は四角形になるため、投影範囲の4つの頂点の座標を指定することで、カメラ画像上におけるプロジェクタの投影範囲の取得が可能になる。

本システムでは、カメラ画像上におけるプロジェクタの投影範囲の4頂点の座標を画像上のマウス入力により手動で指定し、射影変換の変換前の4頂点の座標として用いる。変換後の画像はプロジェクタの投影画像と同じ画素数の画像となれば良い。そのため、変換後の4頂点の座標はプロジェクタの投影画像のサイズと同じ長方形の頂点の座標を用いる。実際に本システムを用いて、カメラ画像上の領域に対して射影変換を行った画像を Fig. 2 に示す。

### 2.3 紙面の検出および出力画像の作成

プロジェクタ投影範囲の画像の取得後、取得した画像上における紙面の領域の検出を行う。机上面に配置される紙面は一般的に長方形であるため、頂点を4つ持つ四角形の領域を検出することにより紙面の検出が可能である。

紙面検出処理は、画像に対して以下の順に実行される。

1. 画像の二値化
2. 白色領域の膨張・収縮処理
3. 白色領域および輪郭線の検出
4. 輪郭線の平滑化
5. 輪郭線の頂点数の計測

処理の初めに、取得した画像の二値化を行う。二値化処理後、白色領域の膨張、収縮処理を行い、書類上の文字や細かい異物を除去する。次に、二値画像内の白色が連続する領域およびその輪郭を検出し、輪郭線の細かい凹凸を直線にするために輪郭線の平滑化を行う。最後に、輪郭線から領域の頂点数を計測し、頂点数が4である領域を紙面として検出する。検出した紙面領域から4頂点の座標を取得し、プロジェクタ投影画像の該当する領域に描画を行うことで、画像を投影した際に紙面上に描画内容が反映される。

プロジェクタ投影用の画像は全画素を黒に塗りつぶした画像を土台とし、取得した紙面の領域に明度の高い色を描画することで作成する。プロジェクタ投影用の画像の作成後、画像をプロジェクタから投影することにより、プロジェクタは投影範囲内の紙面のみを照らす。

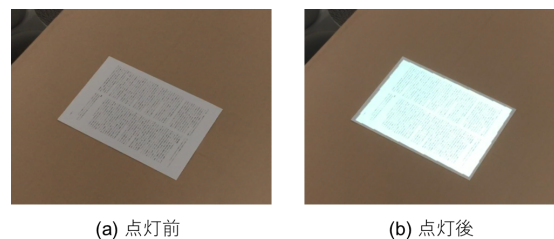


Fig.3 システムにより紙面を照らした様子

### 3 システムの動作確認の結果と考察

システムを用いて書面を照らした際の写真を Fig. 3 に示す。書類を照らすタスクライトの機能は実現できたが、紙面と照射範囲の位置にずれが生じている。照射位置によっては1 cm以上のずれが生じ、精度が良いとは言えない結果となった。このずれの原因は、カメラ画像上におけるプロジェクタの映像投影範囲の選択を手動で行うことにより生じる誤差や、カメラおよびプロジェクタの映像の歪みであると考えられる。

また、現状の問題点として、机上面が白色の場合や、周辺の照明が非常に明るい場合、逆に暗い場合にも書類が認識できないことが挙げられる。原因はカメラ画像上において、机上面と書面が同じ明るさおよび色で映り、二値化による判別が不可能になるためであると考えられる。

### 4 今後の展望

現状では、紙面と照射範囲の位置ずれや、一定の照明環境下でのみ正常に紙面を認識するなど、実用には難がある。紙面と照射範囲に大きなずれがあった場合には実際の執務時に違和感を感じるため、照射範囲の精度の向上は優先すべき課題である。今後の展望としては、照射範囲の精度向上のため、空間コード法<sup>3)</sup>を用いたプロジェクタ・カメラ間の座標対応づけの導入や、明るい環境下でも認識可能である、マーカーを用いた紙面認識の実装を行いたい。

また、現在のシステムでは、カメラ画像上におけるプロジェクタ投影範囲の選択のため、タスクライトの使用前にディスプレイおよびマウスを用いた操作が必要である。これらの操作を必要としないシステムの実現に向け、プロジェクタからマーカーを投影し、自動でプロジェクタの投影範囲を判別する機能の実装を行う。

### 参考文献

- 1) 川村航平, 三木光範, 田村聡明, 中村誠司, 間博人. 紙面作業における選好照度に対する紙面周辺の輝度および色の影響, 第13回日本感性工学会春季大会, Mar.2018.
- 2) 明石行生, 金谷末子, 八木昭宏. 作業者の集中度と周辺照度/作業面照度の比との関係. 照明学会誌, Vol. 80(8A), pp. 540-549, 1996.
- 3) 見市伸裕, 和田俊和, 松山隆司. プロジェクタ・カメラシステムのキャリブレーションに関する研究. 情報処理学会研究報告, Vol. 34, pp. 1-8, 2002.