

プロジェクタとモバイル端末を用いた 仮想タッチスクリーンの提案

相馬 啓佑¹ 間 博人^{†1} 松井 健人¹ 村上 広記¹ 三木 光範^{†1}

概要：

近年，大画面での情報共有を目的としたテーブルトップ型のインタフェースの研究が進んでいる．しかしながら，それらの研究の多くは大型のタッチスクリーンや赤外線センサといった外部機器を必要としているため，汎用性が高いとは言えない．そこで，我々はプロジェクタとモバイル端末のみを用いてプロジェクタの投影面を直接モバイル端末を用いて操作することのできるシステムを提案する．本稿で提案するシステムは赤外線センサや深度カメラといった機器を必要としない．そのため，本システムは多くの場で利用することができ，また直感的な操作が可能であるため，より円滑な情報共有を可能にする．

Prposal of Vertual Touch Screen using a Projector and Mobile Terminal

KEISUKE SOMA¹ HIROTO AIDA^{†1} KENTO MATSUI¹ HIROKI MURAKAMI¹ MITSUNORI MIKI^{†1}

1. 背景

現在，複数人での情報共有や話し合いを目的とした多くの場所には備え付けのプロジェクタが設置してある．これにより，一つの映像を大画面で見ることができ，効率の良い情報共有が可能となっている．

一方，机上面に映像を表示させ直接タッチ操作をするテーブルトップ型のデバイスは会議室のような情報共有の場だけでなくエンターテイメントコンテンツとしても研究が盛んに行われている．しかしながら，それらの研究のほとんどは大型のタッチスクリーンや，外部カメラといった専用の機器が必要となるため，導入コストが高く，実際の会議室への導入例は少ない．

そこで我々は，情報共有の場での利用を想定し，机上面に映像を投影し専用機器無しで仮想的にタッチ操作することが可能なシステムを提案する．プロジェクタは，情報共有の場で一般的に用いられている．他方，近年スマートフォンやタブレットが急速に普及してきており，日本での普及率は2015年で50%を超えている [1]．このことから，我々は既存のプロジェクタとモバイル端末（スマートフォ

ン・タブレット）を用いることで専用の機器を必要としない仮想のタッチスクリーンを提案する．

2. 関連研究

近年，テーブルトップを用いたインタフェースの研究や，モバイル端末，プロジェクタを用いたインタフェースの研究が盛んに行われている．THAW はモバイル端末とパソコンの画面をインタラクティブに連携するシステムである [2]．THAW における位置推定手法は，ディスプレイを薄いグラデーションにし，モバイル端末の背面カメラを用いて，ディスプレイ上の RGB 値を解析することでを行っている．

Myopoint はコンピュータのマウスポイントを腕につけたセンサを用いて操作するシステムである [3]．Myopoint はマウスポイントの移動は腕につけた加速度センサの傾きで操作し，クリックやドラッグといった操作は腕につけた筋電センサを用いて行っている．

Touchjet は投影した映像を専用のペンをつかうことでタッチ可能にするプロジェクタである [4]．このプロジェクタでは映像投影用レンズの横にカメラを設置し，専用のペンの位置を測定している．

ToCoPlay はリズムを直感的に奏でるということを目的

¹ 同志社大学大学院理工学研究科

^{†1} 現在，同志社大学理工学部

に大型のタッチスクリーンを利用することで、より操作のしやすいシステムを開発した [9]。また、Multi-Touch Table は赤外線センサ、カメラ、プロジェクタを用いることで大型のタッチスクリーンを開発した [10]。

その他に、Mouse Light は、小型のプロジェクタとペンのデバイスを用いることで投影面を仮想的にタッチスクリーンのように操作するシステムである [7]。一方で、Touch Projector, Virtual Projection のように、モバイル端末上の映像をプロジェクタのように投影するシステムも開発されている [8]。

このように、直感的に操作することが可能なインタフェースの研究は数多く行われている。しかし、これらの多くが、専用のタッチペンや赤外線センサ、大型のタッチスクリーンといった機器を用いる必要がある。そのため、汎用性の高いシステムとは言い難い。

3. システム概要

我々が本稿で提案するシステムはプロジェクタとモバイル端末のみを用いてプロジェクタの投影面を仮想的にタッチ操作可能にするシステムである。また、プロジェクタは図のように天井から机上面に投影することを前提としている。

3.1 位置推定方法

現在研究がされている多くのシステムでは赤外線センサや深度カメラを用いることでタッチ操作部分を測定している。しかし、提案システムではモバイル端末をプロジェクタの投影面に直接配置し操作を行うため、投影面のどの位置にモバイル端末が配置してあるのかを推定する必要がある。そこで、我々はモバイル端末内蔵のカメラを用いることでモバイル端末のみで位置の推定を行う。

提案システムでは、モバイル端末は机上面において操作することを前提としているため、端末内蔵のフロントカメラで天井に設置したプロジェクタを撮影することが可能である。その撮影画像からプロジェクタの光源のみを抽出し、画像内の光源の座標からモバイル端末自身の位置を推定する。

はじめに、プロジェクタの光源の抽出方法について述べる。プロジェクタの光源は他の部分に比べ格段に明るい。そのため、露出を絞って撮影することにより光源の部分のみが極端に明るい画像を撮影することが可能である。しかしながら、撮影レンズによる反射光によって撮影画像内部に光源とは別に小さな光が映り込む場合がある。それらの光はプロジェクタの光源よりも小さくなる。このことから、提案システムでは撮影画像を式 1 を用いてグレースケール化し。その後、式 2 を用いて二値化し、白く残った部分の中でもっとも大きな箇所を光源として判定した。

次に、画像中の光源部の位置からモバイル端末を推定す

る方法について述べる。式 (3) を用いて、二値化した画像上の光源の位置からモバイル端末の位置を決定する。本システムではプロジェクタは天井に設置していることを前提としているため、投影面の大きさは一定である。このことから、投影面の縦を H 、横幅を W とするとモバイル端末の位置 (x,y) は投影面の左下を $(0,0)$ とした座標系で式 3 と式 4 のように計算することができる。これらにより、モバイル端末のフロントカメラのみを用いてモバイル端末の位置を推定することができる。

$$I_g = (I_o(r) + I_o(g) + I_o(b))/3 \quad (1)$$

$$I_b = \begin{cases} 255(I_g > T) \\ 0(I_g \leq T) \end{cases} \quad (2)$$

$$x = I_b(x)W/P(W) \quad (3)$$

$$y = I_b(y)H/P(H) \quad (4)$$

$I_o(r, g, b)$: Original RGB value

I_g : Gray scale image

I_b : Binarization image

H : Hight of the projection surface

W : Width of the projection surface

$P(W)$: Width of Pixel

$P(H)$: Hight of Pixel

3.2 端末の方向に対する位置推定の補正

3.1 で述べた位置推定方法では、図 1 のように投影面の上下の向きと同じ方向に設置してある場合のみでしか正しく動作しない。しかし、モバイル端末を図 1 の向きのまま操作することは非常に困難である。そこで、モバイル端末の向きに関わらず動作させるために平面的な回転に対して補正処理を行った。

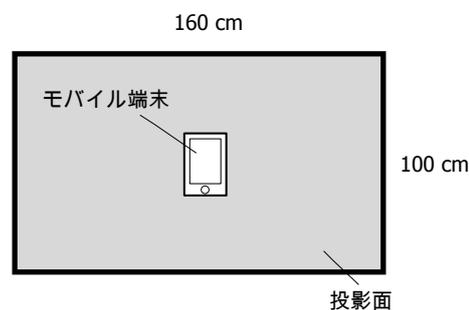


図 1 投影面における端末の配置図

まず、図 1 の上方向を基準として左回りの回転角を θ とした。なお、この角度はモバイル端末内蔵の地磁気計を用いることで測定した。次に、3.1 で行った位置推定結果の (x,y) に式 5 の通り、アフィン変換を行った。これにより、机上面においてモバイル端末の向きに関係なく、位置

推定を行うことが可能となる。

$$(x, y) = AB \quad (5)$$

$$A = \begin{pmatrix} x & y & 1 \end{pmatrix}$$

$$B = \begin{pmatrix} \cos\theta & \sin\theta & 0 \\ -\sin\theta & \cos\theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

θ : Angle of rotation

4. 検証実験

モバイル端末の位置推定とモバイル端末の方向に対する補正の精度検証実験を行った。実験には vivitek 社の QUMI Q5 プロジェクタを用いた。また、モバイル端末は iPhone 6 を使用した。実験環境は図 2 の通り、天井にプロジェクタを設置し、下の机上面にプロジェクタを投影した。

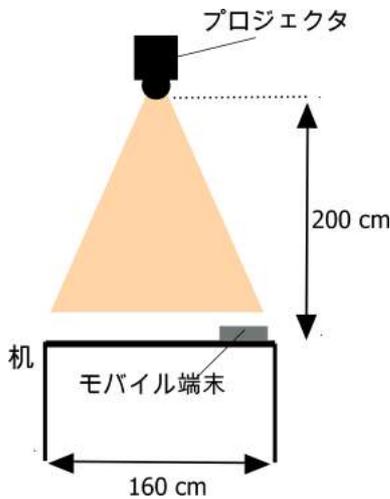


図 2 実験環境

4.1 自己位置推定の精度検証実験

位置推定の検証実験はモバイル端末を投影映像と同じ向きに固定した状況で行った。図 3 はモバイル端末を投影面の右上、左上、左下、右下の順に長方形を描くように動かした時の実験結果である。図 4 はモバイル端末を投影面の右上、左下、右下の順に Z を描くように動かした時の実験結果である。図 5 はモバイル端末を投影面中央で円を描くように動かした時の実験結果である。これらの真値との誤差の平均値は 8.7 cm であった。本実験環境ではプロジェクタの投影面の大きさは 160 cm × 100 cm である。そのため、5.4 % 8.7% の誤差であるため、小さい誤差であるといえる。

しかしながら、最大誤差は 24% と大きくなった。これは、投影面の色が黒から白のように極端に明るさが変化した際にカメラの絞りが急激に変化したことが原因であると考えられる。そのため、露出を固定することでこれらの誤

差を小さくすることが可能と考えられる。

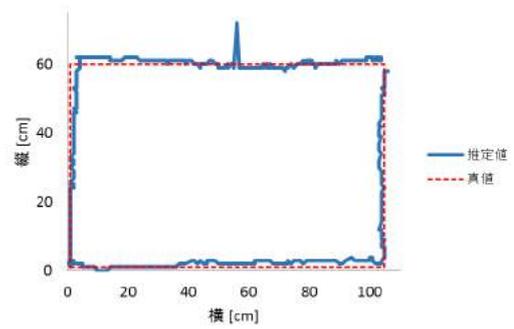


図 3 位置推定結果（四角型）

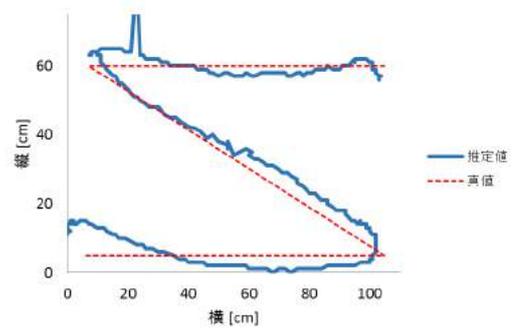


図 4 位置推定実験結果（Z 型）

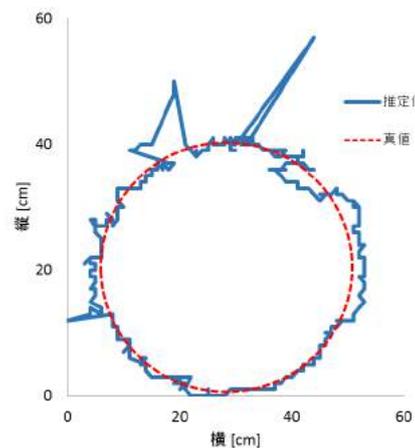


図 5 位置推定実験結果（円型）

4.2 二次元回転に対する補正精度検証実験

投影面の中央で端末を回転させた場合は、端末の画像内においてもプロジェクタの光源が中央に存在する。そのため、端末の向きに関係なく端末が投影面の中央にあるということを推定することができる。しかしながら、投影面の

中央以外の場所では端末の向きが変わることで正しく位置推定をすることができない。

図6は投影面の左上の角で、端末をその場で回転させた時の補正をしていない位置推定結果である。図6は実際には定点で端末を回転させているため、推定位置も一カ所になることが望ましいが、結果は円を描くように推定位置が変化している。そのため、端末内蔵の地磁気計を用いて測定した値を利用して推定位置を補正した。図7はアフィン変換を用いて図6を補正した位置推定結果であり、図6に比べ定点に近い推定を行えていることがわかる。また、その時の回転角の測定結果が図8に示す。

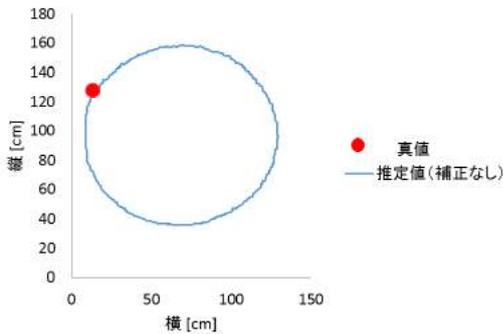


図6 端末の方向に対する補正前の結果

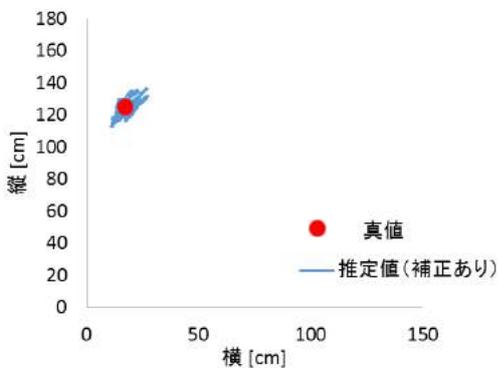


図7 端末の方向に対する補正後の結果

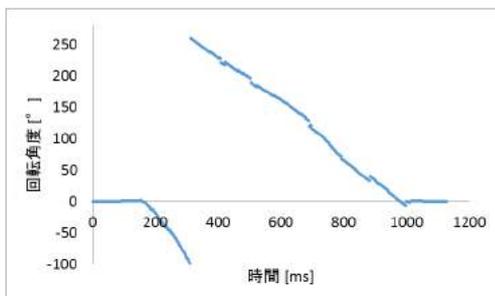


図8 端末回転時の地磁気計の値

次に補正をせずに投影面上で四角を描くようにモバイル端末を回転させながら位置推定を行った。その結果が図9

である。次に同様の方法で補正を行って実験を行った結果が図10である。これらからわかるように、地磁気値を用いてアフィン変換を行うことによりモバイル端末の向きに関わらず位置の推定が可能であることがわかった。

しかし、この補正手法は地磁気計の精度に大きく依存してしまうため、急激な向きの変化が起こると計測値に誤差が生じる。そのため、今後は現在は地磁気値をそのまま利用しているが、値をフィルタリングすることでより高い精度で補正ができるようになると思われる。

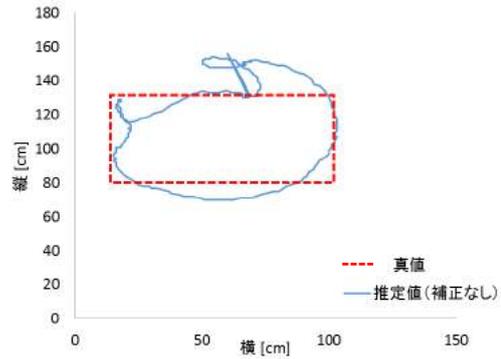


図9 補正前(四角型)

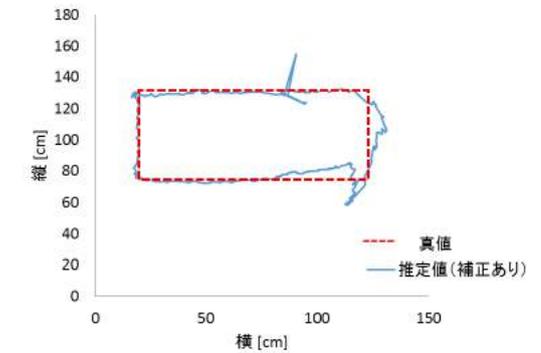


図10 補正後(四角型)

5. 考察・今後の展望

本稿では、机上面に投影したプロジェクタの投影面をモバイル端末を用いて直接タッチ操作するためのシステムを提案した。この位置推定手法として我々は、端末内蔵のカメラを用いて、カメラ画像内のプロジェクタの光源の位置から端末の位置を推定した。

またこの手法の他に、端末内蔵の加速度センサを利用し、それらの値を二重積分することで、移動距離を計算し端末の位置を推定する手法についても検討を行った。しかしながら、加速度センサを用いた場合、位置推定精度が加速度センサの精度に大きく依存する、ということと、加速度の値を二重積分することにより誤差が増大するということから位置推定誤差が著しく増大するという結果になった。ま

た、加速度センサの精度が高い端末を利用した場合においても、利用時間に比例して累積誤差が増大するため位置推定の精度は低くなる。このことから、カメラ画像をもちいることで端末による推定誤差が比較的小さくなり多くの端末で高い推定結果を得ることができ、さらに、累積誤差が生じない本手法を用いた。

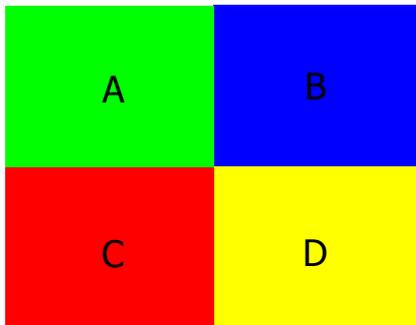


図 11 投影映像

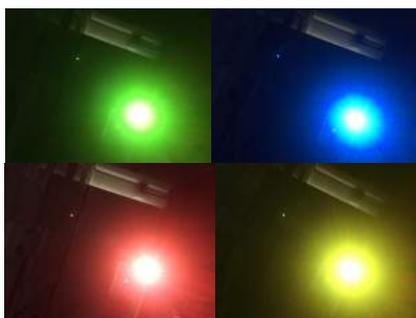


図 12 撮影箇所ごとの撮影結果

また今後は、より高い位置推定の精度を実現するためにプロジェクタの光源の色を利用する方法を検討している。プロジェクタの光源は図 11 のような投影面上で撮影箇所を変えることで図 12 のように、投影箇所の色のみを撮影することができる。このことから、推定位置とその光源の色の 2 つの要素を用いることで位置推定の精度をできると考えている。また、実際にモバイル端末を用いて投影面を操作することのできるアプリケーションを作成し、被験者実験を行うことで本システムを評価したいと考えている。

現在はモバイル端末に内蔵のセンサやカメラを利用することでユーザインタフェースとしてモバイル端末を用いている。しかし、今後は端末内のデータにも着目し、それらの情報もプロジェクタに簡単な動作で投影できるようにしたい。また、プロジェクタ 1 つに対して複数のモバイル端末で同時に操作をすることができるようにすることでより円滑な情報共有ができるシステムにしていきたい。

参考文献

- [1] 総務省, “主な情報通信機器の普及状況,” 入手先 <http://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/whitepaper/ja/h27/html/nc372110.html>.
- [2] Leigh, Sang-won and Schoessler, Philipp and Heibeck, Felix and Maes, Pattie and Ishii, Hiroshi, “THAW: Tangible Interaction with See-Through Augmentation for Smartphones on Computer Screens,” Proceedings of the Ninth International Conference on Tangible, Embedded, and Embodied Interaction, 入手先 <http://doi.acm.org/10.1145/2677199.2680584>.
- [3] Haque, Faizan and Nancel, Mathieu and Vogel, Daniel, “Myopoint: Pointing and Clicking Using Forearm Mounted Electromyography and Inertial Motion Sensors,” Proceedings of the 33rd Annual ACM Conference on Human Factors in Computing Systems, 入手先 <http://doi.acm.org/10.1145/2702123.2702133>.
- [4] “Touchjet Pond: Turn Any Surface Into A Touchscreen,” 入手先 <https://www.indiegogo.com/projects/touchjet-pond-turn-any-surface-into-a-touchscreen#/>.
- [5] Lee, Jinha and Olwal, Alex and Ishii, Hiroshi and Boulanger, Cati, “SpaceTop: Integrating 2D and Spatial 3D Interactions in a See-through Desktop Environment,” Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems, 入手先 <http://doi.acm.org/10.1145/2470654.2470680>.
- [6] Baur, Dominikus and Boring, Sebastian and Feiner, Steven, “Virtual Projection: Exploring Optical Projection As a Metaphor for Multi-device Interaction,” Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems, 入手先 <http://doi.acm.org/10.1145/2207676.2208297>.
- [7] Song, Hyunyoung and Guimbretiere, Francois and Grossman, Tovi and Fitzmaurice, George, “MouseLight: Bimanual Interactions on Digital Paper Using a Pen and a Spatially-aware Mobile Projector,” Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems, 入手先 <http://doi.acm.org/10.1145/1753326.1753697>.
- [8] Boring, Sebastian and Baur, Dominikus and Butz, Andreas and Gustafson, Sean and Baudisch, Patrick, “Touch Projector: Mobile Interaction Through Video,” Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems, 入手先 <http://doi.acm.org/10.1145/1753326.1753671>.
- [9] Lynch, Sean and Nacenta, Miguel A. and Carpendale, Sheelagh “ToCoPlay: Graphical Multi-touch Interaction for Composing and Playing Music,” Proceedings of the 13th IFIP TC 13 International Conference on Human-computer Interaction - Volume Part III, 入手先 <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=2042182.2042211>.
- [10] “Multi-touch Table,” 入手先 <http://rd.csp.it/archives/1221>.