

# モバイル端末およびプロジェクタを用いた仮想的なテーブルトップシステムの提案

中原 孝輔

Kosuke NAKAHARA

## 1 はじめに

近年、タッチパネルや大型ディスプレイといった映像機器の発展によりテーブルトップシステムへの関心が高まっている。テーブルトップシステムとは机上面の映像に対して直感的な操作を実現するシステムである。テーブルトップシステムは一つの情報を複数人で閲覧することが可能であるため、会議やゲームのような協調作業を行う状況を想定した研究が盛んである。しかし、大型かつ高機能なディスプレイを必要とすることから、多くのものが高価であり導入コストが高いという課題がある。

導入コストの課題を解決するために、大型ディスプレイではなくプロジェクタを用いたテーブルトップシステムの研究が盛んである。プロジェクタを用いたテーブルトップシステムの多くはプロジェクタの投影面や本体に対して深度カメラや赤外線カメラといった外部機器を用いる<sup>1) 2)</sup>。よって、実環境での導入には専用の外部機器が必要という課題がある。

本研究ではスマートフォンやタブレット端末といった身近なモバイル端末とプロジェクタを用いて実環境への導入が容易なテーブルトップシステムを提案する。提案手法での操作はモバイル端末上で行う。プロジェクタの光源を内蔵フロントカメラで撮影し、画像内に映るプロジェクタとの相対的位置関係から端末位置を推定する。端末の位置推定により、仮想的なタッチ操作が可能となる。本研究では提案手法の実装を行い二つの検証実験を行う。

一つは位置推定精度実験である。提案手法の精度はモバイル端末の位置推定精度に依存するため、位置推定精度を測定し検証する。検証結果を踏まえ、どのように活用ができるのかを検討する。二つはシステムの時間的精度検証実験である。テーブルトップシステムの利点は直感的な操作ができることである。提案手法の反応時間を実用化を踏まえた予備実験として計測する。

## 2 モバイル端末およびプロジェクタを用いた仮想的なテーブルトップシステム

### 2.1 提案システムの概要

提案システムの構成図を Fig. 1 に示す。Fig. 1 のようにプロジェクタの投影面にモバイル端末を配置し、任意の操作位置へモバイル端末を移動する。モバイル端末は常に内蔵カメラを用いてプロジェクタの光源を撮影し、撮影画像に映る光源の位置から端末の位置推定を行う。

操作は全てモバイル端末の画面上で行う。モバイル端末上で行った操作内容は全て推定位置情報とともにサーバへ送信する。サーバで受信した情報はアプリケーションへ転送し投影映像に操作内容を反映する。

本研究では、プロジェクタとモバイル端末を用いることで、専用の外部機器を用いる必要性がなくなり、実環境への導入が容易となる。

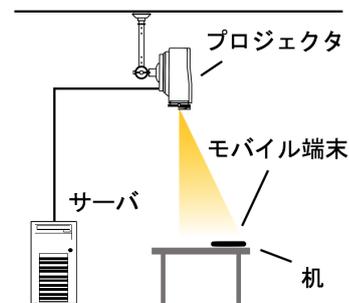


Fig.1 提案システムの構成図

### 2.2 モバイル端末の位置推定手法

本システムではプロジェクタの光源をモバイル端末の前面に内蔵するカメラで撮影し、光源の位置からモバイル端末の位置を推定する。モバイル端末でプロジェクタを撮影した画像と投影面上でのモバイル端末の位置関係を Fig. 2 に示す。Fig. 2 のようにモバイル端末を投影面左上に配置すると、撮影した画像ではプロジェクタの光源が右下に映る。また、モバイル端末を投影面右下に配置した場合には、撮影した画像ではプロジェクタの光源が左側中央に映る。

Fig. 2 に示す通り撮影画像内の赤枠をプロジェクタの投影面と対応させて考える。この時、プロジェクタの光源の位置と投影面上のモバイル端末の位置は、撮影画像内の赤枠の中心点を基準にすると画像内の光源の位置と点対称関係となる。この対応関係を用いることでモバイル端末の位置推定が可能となる。



Fig.2 モバイル端末とプロジェクタ光源の位置関係

### 2.3 モバイル端末の傾きに対する補正手法

提案する位置推定手法は、投影面に対して常に一定の傾きで設置してある場合のみ正しい位置推定を行う。汎用性の高いシステムを構築するために、端末の傾きを補正する必要がある。まず、設置されたモバイル端末の傾きを内蔵センサを用いて計測する。端末の傾きは端末の中心点を基準にして計測する。取得したモバイル端末の傾きだけ、撮影した画像を逆回転することで推定位置を補正する。以

上の手法によりモバイル端末の傾きに関係なく位置推定を行うことが可能となる。

### 3 位置推定精度検証実験

#### 3.1 実験概要

提案手法の想定利用状況を考察するために、位置推定精度について検証を行う。実験に用いたモバイル端末は iPod touch (第6世代) であり、プロジェクタは QUMI Q5 である。実験はプロジェクタの直下に机を設置し、机上面にモバイル端末を置いて行う。投影面の大きさは 1000 mm × 600 mm とする。投影面は Fig. 3 のように 16 分割し、その 9 つの各格子点上において 10 回ずつ位置推定を行った。また、端末の傾きは 0°, 90°, 180°, 270° の 4 パターンで検証を行う。すなわち、9 点において 4 パターンの角度を 10 回ずつ位置推定を行うので、合計 360 回の位置推定である。



Fig.3 16分割したプロジェクタ投影面

#### 3.2 実験結果

位置推定精度の検証実験結果を示す。Fig. 4 に各角度毎の真値と推定位置との平均誤差をまとめたグラフを示す。平均の位置推定誤差は 104.1 mm となった。投影面の大きさが横 1000 mm, 縦 600 mm なので、平均位置推定誤差は投影面の大きさに対して縦 10.41%, 横 17.35% となる。つまり、投影面に対して操作対象のコンテンツの大きさが縦 20%, 横 35% 程度であれば位置推定に誤差が生じた場合にも誤差の影響なく操作が行えると考えられる。

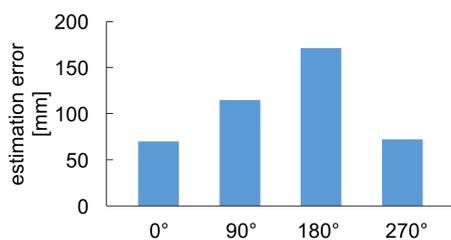


Fig.4 各角度における真値と推定位置との平均誤差

### 4 時間的精度検証実験

#### 4.1 実験概要

提案手法の反応速度を検証するために実験を行った。実験に用いたモバイル端末は iPod touch (第6世代) であり、プロジェクタは QUMI Q5 である。実験はプロジェクタの直下に机を設置し、机上面にモバイル端末を置いて行う。モバイル端末上で操作を行った瞬間から、操作内容が投影面に反映されるまでの時間を測定する。また、反応

速度は通信にかかる処理時間と画像処理にかかる時間、その他の処理にかかる時間の3種類に分類し、それぞれにかかった時間を測定する。web ではレスポンスタイムが 250 ms を超えるとユーザの注目が逸れ始めると言われている<sup>3)</sup> ため、本実験における目標反応時間は 250 ms とする。今回はユーザが操作を行うにあたり違和感を覚えない程度の反応時間を目標としたため、250 ms という基準を参考にした。

#### 4.2 実験結果

モバイル端末上で操作を 10 回繰り返して行い、計測した反応時間の平均値を Table 1 に示す。10 回の検証における総反応時間の平均値は 121.2 ms, 標準偏差は 19.0 ms であった。

通信にかかる時間の標準偏差の値が大きい理由は、通信はネットワーク環境に依存するためである。画像処理にかかった時間とその他の処理にかかった時間は標準偏差の値が小さく安定していることがわかった。全体としての反応時間は 120 ms 前後で安定している。この結果は目標反応時間である 250 ms を達成している。本実験の実験結果を踏まえ、ユーザビリティ検証を通して違和感を感じることなく操作が可能であるかを検証する。

Table1 計測した反応時間の平均値

	平均値 [ms]	標準偏差 [ms]
画像処理にかかる時間	71.0	1.6
通信にかかる時間	48.2	18.0
その他の処理にかかる時間	2.0	0.5
総反応時間	121.2	19.0

### 5 結論と今後の展望

位置推定精度と時間的精度の検証を行った。1000 mm × 600 mm の大きさの投影面に対して平均の位置推定誤差は 104.1 mm である。また、提案手法の平均の反応時間は 121.2 ms である。

今後は 2 つの検証実験の結果を元に、実環境での利用を想定したアプリケーションを実装し、被験者実験にてユーザビリティ評価を行う。今回測定した位置推定誤差と投影面との大小関係を踏まえ、本システムではどのような操作が可能であるのかを検討する。また、位置推定の精度向上も行う。端末内蔵カメラでプロジェクタ光源を撮影する際に、腕の写り込みや外光、レンズの反射などを考慮したロバスト性の高いシステムを構築する。

#### 参考文献

- 1) Xiao, R., Harrison, C., and Hudson, S.E., "World-Kit: rapid and easy creation of ad-hoc interactive applications on everyday surfaces.", In Proceedings of ACM Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (2013). pp. 879-888.
- 2) "Multi-touch Table", <http://ideum.com/touch-tables/>.
- 3) Ilya Grigorik, "High Performance Browser Networking", O'Reilly Media, 2013.