

Phase-Delaying Projector: ハンドヘルドプロジェクタの位相遅れ投影によるインタラクション

木室 俊一[†] 松崎 圭佑[†] 佐藤 宏介[†]

Phase-Delaying Projector: A Handheld Projector Interaction with Phase-Delayed Projection

SHUNICHI KIMURO,[†] KEISUKE MATSUZAKI[†] and KOSUKE SATO[†]

1. はじめに

光学部品の小型化が飛躍的に進み、Optoma 社の PK101 ような小型プロジェクタが普及しつつある。これにより、スクリーンの場所を選ばず、日常的に存在する壁に映像を投影するような状況が訪れると考えられる。ハンドヘルドプロジェクタはモバイル端末でありながらも、大型画面を投影できることが強みである。ユーザが投影した大型画面を見てアプリケーションを操作する時、ユーザはモバイル端末の入力インターフェースと投影画面を交互に見て操作しなければならず、入出力空間の一致したユーザインターフェースが必要であると考えられる。

ハンドヘルドプロジェクタを持つ手の運動にはレーザポインタのように指す動作、手首を捻る動作など日常動作とコンピュータの操作方法が結びつくような動きが存在し、手の運動を用いたインターフェースは習得が容易であると考えられる。また、日常的な経験から、手の運動は目で確認することなく行えると考えられる。よって、手の運動によるハンドヘルドプロジェクタの姿勢変化でコンピュータとインタラクションするシステムが有用であると考えられる。

既存のハンドヘルドプロジェクタシステムは、従来のモバイル端末の小型ディスプレイの代わりとしてハンドヘルドプロジェクタを用い、単純な出力としての利用が多かった¹⁾。このような活用方法を Floating Window と呼ぶ。しかし、Floating Window は、



図 1 Phase-Delaying Projector のコンセプト図

Fig. 1 Phase-Delaying Projector Concept

- コンピュータとインタラクションするために操作インターフェースとして外付けのボタン・タッチパネルなどが必要である
- 投影画像の安定化を行っていないため、外付けインターフェースの操作によって手振れが生じるといった問題点が存在する。

我々は、手の運動によるプロジェクタの姿勢変化を利用してコンピュータとインタラクションするシステムとして、Phase-Delaying Projector (以降 PDP) を提案する。PDP は、投影画像をプロジェクタの光軸に対してあえて遅延して追従する制御を行い、カーソルと投影画像の制御を一時的に分離することで投影画像内コンテンツのポインティングを可能とした。また、投影画像の遅延が安定化制御の役割も担い、手振れの問題も解決した。投影スクリーンにマーカなどを設置し、幾何的に投影を安定化するような技術²⁾³⁾も提案

[†] 大阪大学 大学院基礎工学研究科
Graduate School of Engineering Science,
Osaka University

されているが、PDP はマーカなど特別な道具や環境を必要としないシステムである。

2. 提案システム: Phase-Delaying Projector

本研究の目的は、ハンドヘルドプロジェクタの姿勢変化で投影画像の制御ができ、プロジェクタの姿勢変化を利用した操作インタフェースを提供することである。2.1 で、PDP のデザインコンセプトを説明する。次に、2.2 で作成したプロトタイプシステムについて述べる。

2.1 デザインコンセプト

プロジェクタを出力デバイスとして画像を投影し、さらに入力デバイスとして投影コンテンツの操作インタフェースとして扱うことは、一つのデバイスで二つのパラメータを制御することを意味する。この操作を実現させるための PDP のデザインコンセプトとして、

- 位相遅れ投影技術：投影画像の手振れが防げることに加え、遅延により投影画像が安定化される
- ゼロ位相ポインタ：位相遅れ投影のデスクトップに対してゼロ位相無遅延ポインティングする技術
- 手の運動特性を活かしたインタラクシオン

の三つのアイデアを提案する。

初めに、位相遅れ投影とゼロ位相ポインタのコンセプトを説明する。従来の Floating Window では、プロジェクタの光軸の先に常に映像があった。一方、マーカなどによる幾何的な投影安定化技術²⁾³⁾ では、プロジェクタ姿勢に依らず投影画像を固定させることで、ポインティングが可能になった。これは、プロジェクタの光軸から投影画像を独立させることと投影することでポインティングが可能になると捉えることができる。我々は、プロジェクタの姿勢変化に対して投影画像のプロジェクタの光軸に対する追従を遅延させ、一時的に投影画像とプロジェクタの光軸方向に存在するカーソルを分離させることで、その遅延時間に限り投影画像が静止しポインティングを可能にする。遅延後は、投影画像がプロジェクタの光軸方向を追従するため、ユーザは任意に投影方向をコントロールできる。同時に、遅延投影がフィルタリングとして機能することでユーザの手振れに対する補正の役割も行える。

次に、手の運動を活かしたインタラクシオンコンセプトを説明する。ゼロ位相ポインタと投影するコンテンツの GUI を適切にデザインすることで手を振ることによりターゲット選択などを実装することができる。また、安定化技術が存在するために、手を振る以外にも、手の捻り、手の前後運動等の手の運動(図2)を活



図2 インタフェースに利用する手の運動例
Fig.2 Hand Gestures for User Interface

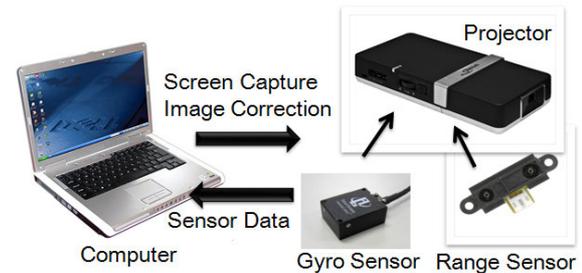


図3 システム構成
Fig.3 System Configuration

用したインタフェースも提案でき、PDP は、Floating Window では行うことの出来なかった外付けインタフェースデバイス無しユーザインタフェースを実装することができる。以上のユーザインタフェースを実装するためには、手の運動によって投影画像を補正する仕組み、投影遅延を生み出す仕組みが必要である。2.2 において、詳細を説明する。

2.2 プロトタイプシステム

2.1 で述べた提案コンセプトを実現させるための図3のようなプロトタイプシステムを制作した。システム構成をハードウェア、位相遅れ投影、ゼロ位相ポインタの順で説明する。

2.2.1 ハードウェア

システム実装に用いるハードウェアは、姿勢センサ (InterSense, InertiaCube3)、距離センサ (Sharp, GP2D12)、モバイルプロジェクタ (Optima pocket projector, PK101)、PC (CPU: Intel Core2 2.0 G.Hz) を用いた。センサのデータは 100Hz でサンプリングした。

2.2.2 位相遅れ投影について

プロジェクタの位相遅れ投影に関して説明する。図4の左図のように PC 画面をキャプチャし、投影画像サイズの 25% 程度のサイズに縮小したコンテンツを投影する(以下、コンテンツ画像)。姿勢センサから得られる *Yaw*, *Roll*, *Pitch* 角のうち、簡易に *Roll* 回転分だけ逆にコンテンツ画像を回転させる。次に *Yaw*, *Pitch* 角よりコンテンツ画像を投影画像内でそれぞれ *X*, *Y* 方向に遅延させる。本研究で用いた *X* 軸方向の遅延

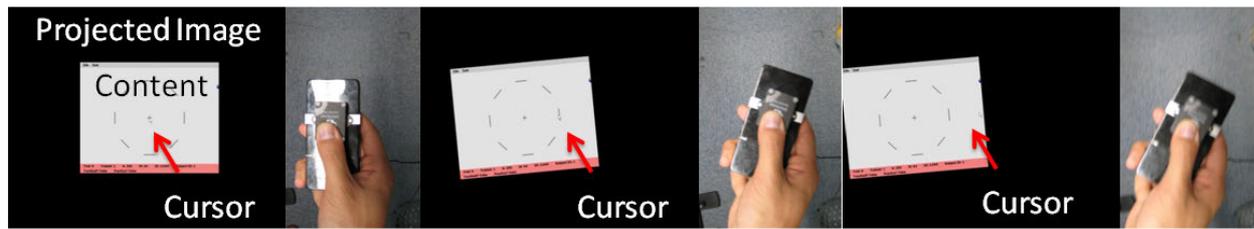


図4 プロジェクタ姿勢に応じた投影画像の変化(左:姿勢変化前,中央・右:右へ姿勢変化後)

Fig. 4 Image Correction(Left: Default Posture, Center and Right: Postual Changes to the Right)

生成式を式(1), (2)に示す. Y軸方向も同様に求めるものとする.

$$\Delta Y_{aw} = Y_{aw0} - \sum_{i=0}^n a_i \cdot Y_{aw_i} / \sum_{i=0}^n a_i \quad (1)$$

$$\Delta X = k \cdot \tan(-1 \cdot \Delta Y_{aw}) \quad (2)$$

(1)式の右辺第2項はFIRフィルタであり位相遅れ,つまり遅延を発生させる.(2)式の k はプロジェクタの画角等に依存する固有の定数である.以降の実験では, a_i をすべて1としサンプル数を $n=10$ とした.サンプリング周期が10msであるため,200ms分投影画像が遅延してプロジェクタの光軸方向を追従する.

2.2.3 ゼロ位相ポインタ

位相遅れ投影のデスクトップに対してゼロ位相無遅延ポインティングする技術である.提案システムではカーソルをプロジェクタの光軸上に常に配置する.位相遅れ投影を行うことでユーザは遅延時間だけコンテンツ画像内でカーソルを動かすことができる.プロジェクタを動かすことで光軸中心にあったコンテンツ画像が遅延して動くため,ユーザ視点ではカーソルが動いているように見える.図4の中・右図は右方向にハンドヘルドプロジェクタを一瞬振った時(フリックした時)の投影画像の変化を示している.投影画像はプロジェクタの光軸に対して遅延するため,カーソルだけがコンテンツ画像内の右方向に移動し,コンテンツ画像の位置は変化していない.この現象によりユーザはカーソルのみを操作した感覚を受ける.また,振った先でプロジェクタの姿勢を変化させなければコンテンツ画像はプロジェクタの光軸に徐々に追従してくる.

3. アプリケーション

PDPを用いたアプリケーションの可能性について議論する.PDPはモバイルプロジェクタの姿勢を変化させる手の運動のみでアプリケーション操作が可能である.本研究では手の運動を,手で瞬間的にプロジェクタを振る「フリック動作」,プロジェクタを持つ手の手首を捻る「捻り動作」,プロジェクタを前後に

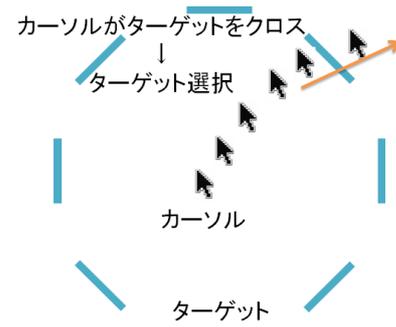


図5 GoalCrossingを活用したメニュー選択
Fig. 5 Menu Selection using GoalCrossing

移動させる前後移動動作」の3個に分類し,それぞれの動作に対応する機能を以下のように設定した.

3.1 フリック動作:メニュー選択(GoalCrossing)

モバイルプロジェクタをフリックさせることで,投影画像の遅延を用いたGoalCrossing⁴⁾のポインティングによりアプリケーションメニューの選択を行う.GoalCrossingは図5のようにターゲットエリアにカーソルを移動させてクリックして選択するのではなく,ターゲットエリアをカーソルがクロスすることで選択されるもので,手に障害者があるユーザに適したポインティング手法である.PDPは投影画像の遅延を利用したターゲットエリアに正確にカーソルを止めるのが難しい不安定なポインティングであるため,GoalCrossingの方が適したポインティング手法だと考えられる.メニュー項目を割り当てたターゲットを作成し,これらのターゲットにカーソルをクロスさせることでターゲット名に対応したパラメータを操作することが可能となるモードへ切り替える.GUIによるアプリケーションの操作には始めにメニュー項目の選択が必要となるため,PDPは基本的に毎回フリック動作によるメニュー選択からアプリケーション操作が始まると考えられる.

3.2 捻り動作:ボリュームの調節

フリック動作において,音量調節といったボリュームの変化量の指定を必要とするメニュー項目を選択した場合,それぞれのボリュームの変化量を入力する必

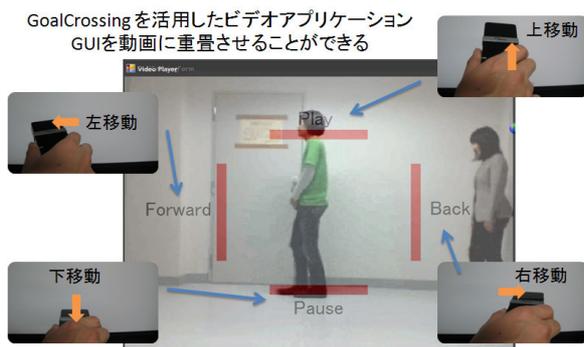


図 6 アプリケーションにおける操作と姿勢変化の対応
Fig. 6 A Correspondence between Hand Gesture and Manipulation

要がある。PDP ではこれらの変化量の入力をモバイルプロジェクタを持つ手を捻る動作により行う。人間は普段から AV 機器の音量調節ダイヤルなどを捻ることでボリュームの微調整を行っていたため、捻るという動作はボリュームの微調整に適していると考えられる。よって、入力する変化量は捻る量によって決定され、捻り量の微調整によって細かな変化量の入力が可能となると考えられる。

3.3 前後移動操作：階層・シーケンスの選択

GUI において、様々な作業を同時に行うと複数のウィンドウが階層的に重複する。これらの複数のウィンドウから操作対象となるウィンドウの選択をプロジェクタの前後移動操作によって行う。また、映像フレームのような時系列に並んだシーケンスの選択をプロジェクタの前後移動操作によって行う⁵⁾。ウィンドウ選択の場合、仮想空間のウィンドウの位置関係と実世界の位置関係が対応し、時系列シーケンスの場合は手前方向に過去、奥方向に未来の画像が表示され、画像の時間関係と実世界の位置関係が対応し、自然な操作による選択が可能であると考えられる。

以上のような操作項目を取り入れたアプリケーション例として、今回は映像再生アプリケーションを構築した(図 6)。

4. ま と め

本研究では、従来の FloatingWindow のコンピュータとインタラクシオンするために外付けインタフェースデバイスが必要である、投影画像の安定化を行っていないため、外付けインタフェースの操作によって手振れが生じるという問題の解決を目指し、投影画像の位相遅れ投影技術を実装し、投影画像が安定化され、かつ手の運動によるハンドヘルドプロジェクタの姿勢変化のみでインタラクシオンを可能とした Phase-

Delaying Projector (PDP) を提案した。ユーザがプロジェクタを把持し姿勢を変化させるだけでポインティングやターゲット選択をはじめとする入力を行うことができるゼロ位相ポインタを示した。また、PDP を利用したアプリケーションの可能性について示し、アプリケーション例として映像再生アプリケーションを実装した。

今後は、位相遅れ投影が視認性などについてユーザに及ぼす影響について評価し、さらにポインティングや投影制御技術をさらに発展させ、幅広いユーザインタフェースに対応できるシステムを目指す。

参 考 文 献

- 1) Sugimoto, M., Miyahara, K., Inoue, H., and Tsunesada, Y.: Hotaru: Intuitive Manipulation Techniques for Projected Displays of Mobile Devices. *INTERACT 2005*, pp.57-68(2005)
- 2) Beardsley, P., Baar, J.V., Raskar, R., and Forlines, C.: Interaction using a handheld projector. *IEEE Computer Graphics and Applications*, 25(1). pp.39-43(2005).
- 3) Cao, X. and Balakrishnan, R.: Interacting with dynamically defined information spaces using a handheld projector and a pen. In *Proc. UIST '06*, pp.225-234(2006).
- 4) Wobbrock, J.O. and Gajos, K.Z.: A comparison of area pointing and goal crossing for people with and without motor impairments. In *Proc. ASSETS '07*, pp.3-10(2007).
- 5) 松崎圭佑, 甲田春樹, 岩井大輔, 佐藤宏介: Snail Light Projector: 超低速光速を模倣した時空間映像インタラクシオン. *インタラクシオン 2009 論文集*, pp.19-20(2009).