

## 装着型プロジェクタと可動鏡による 周辺状況を考慮した映像投影手法

太田 脩平<sup>†1</sup> 寺田 努<sup>†1,†2</sup> 塚本 昌彦<sup>†1</sup>

近年、小型プロジェクタを身体に装着し、コミュニケーションや作業支援に役立つコンテンツを地面や壁などに提示する試みが行われている。ユーザが装着型プロジェクタを用いて映像を投影する際に生じる問題について指摘する研究も多数行われており、本研究は、その中でも周辺状況が投影映像に与える影響について注目している。例えば、映像の投影方向に障害物があれば映像が遮断され、また、映像を投影可能な大きさの平らな面も必要である。

そこで本研究では、投影面を自由に変更できる可動鏡に装着した小型プロジェクタの映像を反射させることで、障害物の回避や、提示コンテンツやユーザ状況に応じて投影に適した面へ映像を投影する手法を提案し、この手法を組み込んだシステムを構築する。実装するにあたり、提示コンテンツやユーザ状況ごとのプロジェクタの適切な映像の投影場所を調査する評価実験を行い、その結果を元にシステムの実装を行った。

### A Projection Method Considering Surrounding Situations by Wearable Projector and Moving Mirror

SHUHEI OTA,<sup>†1</sup> TSUTOMU TERADA<sup>†1,†2</sup>  
and MASAHIKO TSUKAMOTO<sup>†1</sup>

Since a mobile projector is a system to manipulate several kinds of content such as photos, maps, and analog clocks. Further, many researches are done on problems for using wearable projectors. We have focused on the effects on the circumstances surrounding to projected image. For example, view a legible image is not projected image if there are obstacles between a projecting surface and user's eye. Moreover, a flat surface is necessary for projection.

Therefore, we propose a mobile projector system which has a moving mirrors and a camera to change the direction of projection. We investigated the appropriate location for a wearable mobile projector in various situations and with different content by subjective evaluations. We implemented a prototype system that selects an appropriate projection surface dynamically in response to the situation.

### 1. はじめに

近年、半導体技術の進展に伴い、どこにでも持ち運べるだけでなく、どこへでも情報を提示できるという特徴を持った小型プロジェクタが注目されている。小型のデバイスにもかかわらず大画面の映像を投影できるため他者と情報を共有でき、現実世界に情報提示できるため直感的に映像の操作ができるなどの特徴があり、その特徴を活かした様々な研究が行われている。その小型プロジェクタを身体に装着し、コミュニケーションや作業支援に役立つコンテンツを地面や壁などに提示する試みも行われている。例えば、小型プロジェクタとカメラを組み合わせることで投影された写真・地図・時計などのコンテンツの操作を行う研究<sup>1)</sup>が注目されている。また、兵士の軍事活動において、屋外での作戦会議や言語が異なる現地の民間人とのコミュニケーションなどに用いる<sup>2)</sup>といった事例が報告されている。ユーザが装着型プロジェクタを用いて映像を投影する際に生じる問題について指摘する研究も多数行われており、その中でも、本研究は周辺状況が装着型プロジェクタの投影映像に与える影響について注目している。例えば、映像の投影方向に障害物があれば投影映像が遮断され映像の視認が困難となり、また、映像を十分投影可能な大きさの平らな面が存在しなければ、コンテンツ全体を提示できない。さらに、投影場所には床や机、壁、手の平といったものが考えられ、提示コンテンツやユーザ状況によって適した投影場所が異なる。

そこで本研究では、投影面を自由に変更できる可動鏡に装着した小型プロジェクタの映像を反射させることで、障害物の回避や、提示コンテンツやユーザ状況に応じて投影に適した面へ映像を投影する手法を提案し、この手法を組み込んだシステムを構築する。これにより、提示コンテンツやユーザ状況、周辺状況に応じて最適な場所へ映像を投影することができ、ユーザは快適に投影映像を閲覧できる。提案手法を実装するに当たって、ナビゲーションや写真といった提示コンテンツ、直立や着座といったユーザ状況の組み合わせを利用シーンとして定義した。実装するにあたって、映像の投影場所、提示コンテンツやユーザ状況の特徴を調査した上で、利用シーンごとの小型プロジェクタの適切な映像の投影場所を調査する評価実験を行い、その実験結果を元に提案手法のシステムの実装を行った。

<sup>†1</sup> 神戸大学大学院工学研究科  
Graduate School of Engineering, Kobe University

<sup>†2</sup> 科学技術振興機構さきがけ  
PRESTO, Japan Science and Technology Agency

## 2. 関連研究

小型プロジェクタを体に装着する取り組みとして、装着した小型カメラや深度センサよりユーザの手の動きを認識することで、プロジェクタの投影映像を操作する WUW-Wear<sup>1)</sup> や BOWL Procam<sup>3)</sup>, PyGmI<sup>4)</sup> がある。頭部搭載型プロジェクタ (HMP: Head-Mounted Projector) を用いて視点と同じ位置から映像を投影し、投影映像とのインタラクションを行うといった研究<sup>5)</sup> も挙げられる。これらのように、実空間への情報提示、他者との情報共有といった小型プロジェクタの特性を活かした研究やアプリケーションが提案されているが、本研究のようにプロジェクタの様々な利用シーンごとの映像の投影場所については考慮していない。

小型プロジェクタを装着した際の問題について採り上げた研究も多数行われている。Koらは小型プロジェクタを装着し公共の場で使用する際の問題<sup>6)</sup> について述べている。他人から自分の映像が見られてしまうプライバシーの問題や、複数人が同時に使用する際に映像が重なり合い視認が困難となる問題を採り上げているが、本研究のように利用シーンごとや投影場所といった周辺状況についての問題は採り上げられていない。小型プロジェクタの投影面の安定化を目指した事例として、多治見らによる研究<sup>7)</sup> では、腰部に装着した小型プロジェクタの映像を床に投影することを想定し、ジャイロセンサで腰の揺れの変位を推定することで、投影位置を補正している。

また、本研究のように可動鏡とプロジェクタを組み合わせた研究は、大型のプロジェクタの投影映像を可動鏡を用いて、キャリブレーションや台形補正を行う研究<sup>8)9)</sup> は数多く行われているが、本研究とは小型プロジェクタを装着し使用した際の投影場所を評価した上でシステムを実装している点で異なる。

## 3. システム設計

本研究では、ユーザが小型のプロジェクタを装着し、地面や壁に投影されたナビゲーション・動画・メールなど日常生活に役立つ情報を静止・歩行・着座といった状況で見る環境を想定する。しかし、小型プロジェクタを体に装着して映像を投影する際、周辺状況によって最適な投影場所が異なる。また、提示コンテンツやユーザ状況によって適切な映像の投影場所や映像サイズも異なる。したがって本研究では、図 1 のように様々な提示コンテンツ、ユーザ状況や周辺状況において、最適な場所へ映像を投影することで快適に閲覧できる手法の確立が目的となる。

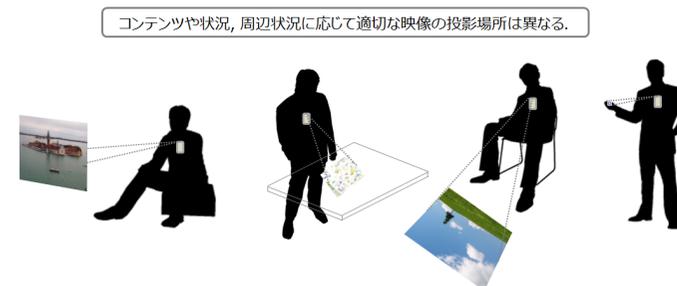


図 1 想定環境

Fig. 1 Environmental assumptions



図 2 システム構成

Fig. 2 System structure

### 3.1 システム構成

提案システムの構成を図 2 に示す。システムは持ち運び可能な小型 PC、小型プロジェクタ、小型の鏡と 2 個のモータからなる可動鏡、深度センサから構成される。これらを組み合わせたデバイスをユーザは装着する。深度センサを用いて周囲の深度情報を取得し、障害物の回避や映像投影に適した面を探索する。2 軸方向に鏡を自由に動かすことが出来る可動鏡によって投影面を投影に適した面へと移動させ、常にユーザが見やすいよう映像を投影することで、ユーザが快適に投影映像を閲覧できるシステムを目指す。

### 3.2 映像投影手法の検討

小型プロジェクタからの映像の最適な投影場所を決定するために、まず、映像の投影場所を検討と分類し、次いで、提示コンテンツやユーザ状況を分類する。

表 1 コンテンツの分類  
Table 1 Classification of content

	テキスト	画像	テキストと画像の混合
静止画	字幕	記事	マンガ
動画	ティッカー	映画	ナビゲーション

### 3.2.1 映像の投影場所の分類

本研究で想定する映像の投影場所を示す。本研究では、床、机（低）、机（高）、壁、手の平を想定している。

- 床: ユーザの顔から遠く離れているため、投影映像との距離も遠くなる。また、プロジェクタからの距離も遠くなるため、大きい映像を投影できる。床に障害物がある、床の色が黒であるなどを除くと、ユーザは常に床を映像の投影場所として選択できる。
- 机（低）: リビングで用いられるテーブルなどの低い机は高さ 40cm ほどである。床と高い机の中間の高さであるため、それらの中間的な特徴をもつ。
- 机（高）: デスクなどの高い机は高さ 70cm ほどであり、ユーザの顔から近く、投影映像との距離も近くなる。また、小型プロジェクタの距離も近くなるため、視認性が高いコンテンツを投影するのに適している一方、大きい映像を投影するのは困難である。
- 壁: ユーザとの距離に応じて映像の投影サイズが異なる。壁に近づくことで、詳細な映像を投影でき、離れることで大きい映像を投影できる。
- 手の平: ユーザがハンズフリーであれば、いつでもどこでも映像を投影できる。手の平の大きさ以上の映像は投影できず、また、両手での映像操作も出来なくなる。投影映像とプロジェクタの距離が近い場合、高い輝度を確保できる。

### 3.2.2 提示コンテンツごとの特徴

表 1 に提示コンテンツの分類およびその代表例を示す。大きく分類して、画像、テキスト、どちらも含むコンテンツが存在し、これらはさらに静止画と動画に分類される。

- テキスト: テキストを読み取るには映像の高い視認性が求められる。文字を読み取るのにちょうど良い大きさの映像を提示する必要がある。
- 画像: 画像には静止画と動画があり、写真や映画などの画像を表示する場合は、コンテンツ全体を把握できることが優先されるため、映像の投影サイズが重視される。静止画と動画を比較すると画面の切り替わりが頻繁に生じるため動画のコンテンツは高い視認性が求められる。
- 画像とテキストの混合: ナビゲーションなどテキストと画像を表示させるコンテンツ

は、上記で説明した画像およびテキストの中間的な位置づけで、すべての要素がバランスよく求められる。

### 3.2.3 ユーザ状況ごとの特徴

コンテンツだけでなくユーザの状況によっても、映像の質に対する要求が異なる。本研究では、ユーザの状況として、直立・着座・歩行の 3 種類を想定する。

- 直立: 直立時はユーザの顔や小型プロジェクタと床や机との距離が最も遠くなる。身長 170cm のユーザの目の位置は床から 160cm 程度である。
- 着座: 着座時は、直立時と比べてユーザの顔や小型プロジェクタと床や机との距離が近く、身長 170cm のユーザの目の位置は床から 110~120cm 程度である。また、腰など装着位置によっては床や机などに投影出来ない場合もある。
- 歩行: 歩行時は床と手の平のみ投影できる。歩行の影響により映像の揺れが生じるため、高い視認性が必要なコンテンツの観覧は困難となる。

### 3.3 映像の投影位置評価

先に述べたように提示コンテンツやユーザ状況ごとに様々な特徴があり、それぞれに最適な投影場所が存在すると考えられる。そこで、提示コンテンツやユーザ状況ごとに最適な小型プロジェクタの映像の投影場所を調査するための評価実験を行った。今回は直立と着座の状況において、ナビゲーションと写真のコンテンツの使用を想定した評価実験を行った。実験の様子を図 3 に示す。投影距離によらずプロジェクタの映像が十分視認可能にするため薄暗い室内で実験を行った。

被験者は提案システムのプロトタイプを装着して評価を行った。プロトタイプの外観を図 4 に示す。小型プロジェクタには Optoma 社のポケットプロジェクタ PK101 を使用した。可動鏡には 24 対 1 ユニポーラステッピングモータ SPG20-332 を 2 個組み合わせ、2 軸方向に回転出来るようにし、それに小型の鏡を取り付けることで作成した。また、可動鏡の制御には Arduino Nano と東芝社のステッピングモータ用ドライバ IC である TA7774P/PG を用いており、これにより自由に投影面を変更出来る。深度センサにはマイクロソフト社の Kinect を用いた。ユーザはプロトタイプを首からぶら下げる形で小型プロジェクタと Kinect を胸の中心に装着する。この装着位置は幅広い提示コンテンツやユーザ状況に対応しているため選択した。ユーザがプロトタイプを装着した様子を図 5 に示す。PC としては SONY 社の VGN-SR94FS を Windows7 上で使用し、PC からの出力映像を小型プロジェクタへの入力映像へ変換する際にはマイコンソフト社の XMOV-2 を使用した。また、PC 上のソフトウェアの開発は Windows7 上で OpenCV と OpenNI のライブラリを用い



図 3 実験の様子

Fig.3 Photograph of the experiment



図 4 プロトタイプ

Fig.4 Photograph of the prototype



図 5 プロトタイプを装着している様子

Fig.5 Photograph of a subject wearing the projector

て C++.NET 2008 を用いた。

### 3.3.1 実験の手続き

20代の男性10名の被験者による評価実験を行った。小型プロジェクタからの映像投影場所候補を床、低い机、高い机、壁、手の平とした。床、低い机、高い机はそれぞれ手前の正面、手前の横側、奥の正面、奥の横側の4種類の計12カ所を、壁は近・中・遠距離の正面と横側の計6カ所を、手の平は任意の1カ所を映像の投影場所とした。床と低い机と壁の投影面は白色で統一し、高い机は限りなく白に近い色の机を用いて色による差が出ないように



図 6 ナビゲーションのコンテンツ

Fig.6 Example of navigation content



図 7 写真のコンテンツ

Fig.7 Example of presenting photo

した。手前と奥、正面と横、近・中・遠距離はそれぞれ Kinect で撮影出来る範囲を元に決めており、例えば、身長170cmの被験者が直立時に床へ映像を投影する時、被験者と投影映像の中心との距離は手前で100cm、奥で150cmほどであり、横は50cmほど正面から投影映像を移動させた場所である。壁への投影の近・中・遠距離はそれぞれ70cm、140cm、210cmとした。横への映像投影の際、左右による点数の違いが予備調査で認められなかったため、被験者が選択した左右片方だけを調査した。

評価実験では直立と着座の状況において、ナビゲーションと写真のコンテンツを使用した。具体的には、ナビゲーションのコンテンツは図6に示すように、地図・出発地点・目的地・出発地点から目的地までのルート・現在地・案内表記からなる。被験者にはこれらの情報を読み取れるかどうかを評価してもらうため高い視認性が必要なコンテンツである。写真のコンテンツは図7に示すような風景の写真を用い、高い視認性を必要としないコンテンツである。被験者にはこれら特徴が異なる提示コンテンツとユーザ状況における投影場所の評価を求めた。評価は5段階評価で行い、その提示コンテンツとユーザ状況において投影場所として適しているならば5点とした。なお、今回の実験では、投影場所の評価のため、投影映像のサイズや台形化、輝度などは考慮せずに評価した。

被験者は各投影場所において、まず直立時のナビゲーションと写真のコンテンツの評価を行い、次いで、着座時のナビゲーションと写真のコンテンツの評価を行った。投影場所の順番は被験者ごとに異なるように配慮し、ナビゲーションと写真のコンテンツの評価の順番もランダムに行った。それぞれの投影場所で、射影変換により投影映像のサイズを被験者が最も見やすい大きさに調節し、台形補正を行うことで、投影場所のみ評価ができるようにし

た．焦点はそれぞれの投影場所で映像が視認できるよう調整し，評価に影響が出ないように注意した．途中での評価点の見直しや再評価することを許し，全ての投影場所が相対的に評価されるようにした．また，実験結果の考察や，各装着位置での詳細な情報分析のために被験者には自由コメントの記入を求め，評価点を付けた理由や根拠の説明も求めた．さらに，実験時の提示コンテンツとユーザ状況それぞれにおいて，正面に映像を投影した時の最適な投影サイズを測定した．

### 3.3.2 実験結果

映像の投影位置の適切さに関する実験結果の平均点と分散値を表2に示す．提示コンテンツやユーザ状況によって各投影場所の評価は異なった．直立時において，写真のコンテンツを観賞する時は中・遠距離から壁へ映像を投影した時が4.4点と最も評価が高く，ナビゲーションを読み取る時は高い机の手前正面へ映像を投影する時が4.5点と最も評価が高かった．着座時において，写真のコンテンツを観賞する時は遠距離から壁へ映像を投影する時が4.8点と最も評価が高く，ナビゲーションを読み取る時は近・中距離から壁へ映像を投影する時が4.5点と最も評価が高かった．

全体を通して，写真のコンテンツはナビゲーションのコンテンツよりも評価が高かった．これは写真はナビゲーションよりも視認性が低いコンテンツであるためである．しかし，直立時の低い机と高い机の手前正面への投影，近距離からの壁正面への投影と，着座時の高い机の手前正面への投影，近距離からの壁正面への投影のみナビゲーションのコンテンツが高い評価を得た．これは視認性が高いナビゲーションのコンテンツは近くへ映像を投影した方が見やすく，逆に写真のコンテンツはある程度距離を離れた方が見やすいためである．

また，全体的に直立時に比べて着座時の評価が高かった．床や机に映像を投影する際は，投影映像との距離が近くなるためである．壁へ映像を投影する際は，5名が「全く変わらない」と答えており，4名が「着座時は姿勢が安定するから見やすい」「テレビを見ている感覚なので着座時の方が良い」などの理由で高い評価を与えた．一方，直立時の評価が高かった投影場所は，写真のコンテンツでは高い机の手前正面と手前横側への投影，近距離から壁横側への投影であり，ナビゲーションのコンテンツでは低い机の奥正面と高い机の手前正面であった．これは着座時は写真との距離が近すぎるため，逆に映像が視認しにくいためである．

投影場所ごとにみると，全ての場所において横側への映像投影は正面より評価が低かった．また，横側へ投影する時は奥よりも手前への投影の方が評価が高かった．床への直立時の映像投影はあまり評価が高くなかった．これは投影場所までの距離が遠いからであり，ま

表2 投影位置の適切さ  
Table 2 Results of appropriateness of projected location

			直立				着座			
			直立		ナビ		写真		ナビ	
			平均	分散	平均	分散	平均	分散	平均	分散
床	手前	正面	3.5	0.28	3.3	0.90	4.1	0.32	3.8	0.62
		横側	2.6	0.71	2.2	0.62	3	0.89	2.8	0.62
	奥	正面	3.9	0.77	3.6	0.93	4.2	0.62	3.8	0.84
		横側	2.3	0.90	2	0.89	3	0.89	2.4	1.16
机(低)	手前	正面	3.7	0.90	3.9	1.21	4.2	0.62	4.1	0.99
		横側	2.8	1.29	2.6	0.71	3.3	1.12	3.1	1.21
	奥	正面	4.1	0.77	3.8	0.62	4.2	0.40	3.7	0.46
		横側	2.4	1.16	2	0.89	2.9	1.43	2.6	1.16
机(高)	手前	正面	4.3	0.46	4.5	0.28	3.9	1.88	4	1.78
		横側	3.1	1.21	2.9	0.77	3	2.00	3	1.78
	奥	正面	4	0.89	3.7	0.46	4.2	0.84	4	0.67
		横側	2.8	1.51	2.2	0.84	2.8	1.96	2.7	1.57
壁	近	正面	3.9	0.77	4.1	0.99	4.1	0.54	4.5	0.28
		横側	2.9	0.99	2.8	0.84	2.8	0.84	2.9	0.77
	中	正面	4.4	0.49	4.2	0.62	4.6	0.27	4.5	0.50
		横側	3.2	0.62	2.9	0.54	3.3	0.46	2.9	0.54
	遠	正面	4.4	0.71	3.8	0.62	4.8	0.18	4.4	0.71
		横側	3.1	0.54	2.6	0.49	3.3	0.46	2.8	0.62
手の平			3.1	2.10	3	2.67	3.3	1.79	3.2	3.07

た「普段，床に表示された映像を見るのが少ないため違和感があった」という意見もあった．しかし，床の正面に映像を投影された時の評価は，他の投影場所の横側へ映像を投影する時より評価が高く，床であっても正面へ映像を投影できるならば，他の場所の横側へ投影するよりも好ましいといえる．低い机への映像投影は提示コンテンツとユーザ状況ごとに評価が異なった．ナビゲーションのコンテンツは手前正面への映像投影の評価が高く，写真のコンテンツは着座時は全体的に評価が高かった一方，直立時は手前正面への評価はあまり高くなかった．高い机は，手前への映像投影はナビゲーションの評価が高く，奥への映像投影は写真の評価が高かった．特に直立時の手前正面へナビゲーションのコンテンツを映像投影する時の評価が最も高く，高い映像の視認性を確保できる投影位置であると考えられる．壁への映像投影は全体的に評価が高かった．その理由として，「投影映像に対してまっすぐに映像を観覧できる」「普段慣れ親しんでいるテレビを見ている感覚なので見やすい」などの被験者のコメントが挙げられる．写真のコンテンツを近距離で映像投影する時は，距離が近

すぎるため他の距離に比べて評価が低くなった。逆に、ナビゲーションのコンテンツを遠距離で映像投影する時は、距離が遠すぎるため他の距離に比べて評価が低くなった。手の平への映像投影は評価が分かれた。10人中4人が高い評価を「距離が近いので映像を見やすい」「携帯電話を見ているようで良い」などの理由で与えたが、6人が「手の平全体に映像を投影したとしても投影映像が小さすぎる」「手のシワなどで投影映像が見にくい」などの理由で低い評価を与えた。また、10人中4人が直立時と着座時で評価は変わらないと答えた。

### 3.3.3 考察

直立時と着座時におけるナビゲーションと写真のコンテンツを用いての評価実験の結果より、これらの利用シーンで小型プロジェクタからの映像の投影場所の評価に差異が見られた。また、それぞれの利用シーンでの最適な映像の投影場所も異なった。利用シーンに応じて最適な投影場所に違いが見られた理由は、提示コンテンツやユーザ状況ごとに、映像の視認性の重要度、最適な投影サイズ、最適な投影映像までの距離などが異なり、それに依りて最適な投影位置も異なるためである。ナビゲーションは高い視認性を必要とし、コンテンツが見やすい適度な大きさを近い距離に投影することが重要であり、写真はある程度距離を取り、少し大きい映像を投影することが重要となる。直立時は着座時は投影場所までの距離が異なるため、それらを考慮して投影場所を選択することが重要となる。また、利用シーンや投影場所ごとに最適な投影サイズも異なることが分かった。投影場所ごとにそれぞれ特徴が異なり、評価も異なるため、周辺状況に応じて、映像が視認しやすい場所に優先的に映像を投影する本手法は有効であるといえる。

## 4. システム実装

評価実験を元にして提案システムのプロトタイプを実装した。システムの外観やスペックについては3.3章で記述した通りである。今回は直立のユーザ状況において、提示コンテンツと周辺状況に応じて適切な投影場所に映像を投影するシステムを実装した。プロトタイプ使用時の可動鏡の様子を図8に示す。左から順に手前の正面、奥の正面、奥の横側へ映像を投影している時の写真である。プロトタイプを実装するに当たり、システムに必要な各機能を以下に示す。

### 周辺状況認識機能

深度センサを用いて周辺状況を認識し、投影映像が見やすい面を探索する。また、障害物を認識し、投影映像と重なるようなら、実験結果に基づいて投影映像を移動させる。実験結果より、直立時の優先順位は、写真のコンテンツの場合、それぞれ正面の遠・中距離から



図8 可動鏡の様子

Fig.8 Photograph of the moving motor

の壁、高い机の手前、低い机の奥、高い机の奥、床の奥と近距離からの壁、低い机の手前、床の手前への投影となっており、正面へ投影出来ない場合はそれぞれの横側、もしくは手の平への投影が望ましい。

### 投影映像座標検出機能

本システムでは可動鏡の角度を記録しておくことで、それに対応した小型プロジェクタからの投影映像の中心の座標を取得する。今回用いたステッピングモータはKinectで認識できる範囲に対してx軸方向に40ステップで画面の左端から右端まで、y軸方向に10ステップで画面の上端から下端まで投影映像を移動できる。これをKinectの解像度である640×480ピクセルに割り当てる。投影したい場所の座標を指定することで、その座標に最も近い座標へ投影映像の中心座標が移動するように鏡を回転させ投影映像を移動させる。

### 台形補正機能

投影映像の視認性をあげるため、投影映像を台形補正する必要がある。投影面に投影された映像には、鏡に対して斜めに投影光が反射するため生じる歪みと、投影面に対して斜めから映像を投影するため生じる歪みが生じる。また、これらの歪みは投影場所によって歪み具合が異なる。さらに、投影面に映し出される投影映像は鏡によって左右反転しており、射影変換を用いてこれらの補正を行う。

### 投影サイズ調節機能

実験結果より提示コンテンツ、ユーザ状況ごとのそれぞれの投影場所での最適な投影サイズが異なった。実験結果をもとにシステムで投影する映像の投影サイズを決定した。投影サイズの調節は台形補正を行った画像に対して射影変換を用いて変換した。

#### 4.1 処理の流れ

システムの処理の流れを説明する．小型プロジェクタに取り付けた Kinect からデプスデータを読み込み，グレースケール画像として表示する．その画像を Laplacian オペレータを用いてエッジ抽出処理をすることで，画像内に存在する物体の輪郭を抽出する．さらに，エッジ抽出処理を行った画像に対してランダムに複数の点を設定し，その点から前後左右に走査を行い，隣接する座標との画素値の差を比較することでひと固まりの領域を探索し，それぞれラベリングを行う．200×200 ピクセル以上の面積があれば投影可能な領域とし，それ以下なら障害物が存在するため投影不可能な領域とする．現在の投影映像の座標が投影不可能な領域内にある時，シリアル通信で Arduino に信号を送り可動鏡を回転させて投影可能な領域に映像を投影する．また，その座標のデプスデータと比較することで高い机や床などの投影場所を判断する．その際の投影場所の優先順位は実験結果を元に決定する．また，現在の投影場所よりも優先順位が高い場所へ投影可能であるならば，優先順位が高い場所へ投影映像を移動させる．その後，射影変換を用いて台形補正や投影サイズを調節することで，ユーザに高い視認性の映像を提供する．

#### 5. おわりに

本研究では，投影面を自由に変更できる可動鏡に装着した小型プロジェクタの映像を反射させることで，障害物の回避や，提示コンテンツやユーザ状況に応じて投影に適した面へ映像を投影する手法を提案し，この手法を組み込んだシステムを構築した．提案手法を実装するにあたって行った特性が異なる 2 種類の提示コンテンツとユーザ状況を組み合わせた適切な映像の投影場所を調査する評価実験では，提示コンテンツやユーザ状況ごとに小型プロジェクタからの映像の投影場所の評価に差異が見られた．提案システムでは，ユーザの利用シーンや周辺状況を考慮して映像の投影場所を変更するだけでなく，投影場所や利用シーンに合わせて投影サイズの調節や台形補正を行うことで，ユーザが快適に映像を閲覧できた．

今後の課題として，プロトタイプを用いた使用評価実験を行う予定である．様々な使用環境で投影場所を変更できる本システムの有用性を確認する必要がある．また，今回実験した提示コンテンツやユーザ状況以外の映像の投影場所の評価や，肩など胸以外の位置に装着した時にどのように評価が変わるかの検証などが考えられる．さらに，投影映像の操作のしやすさといった投影映像の視認性以外の評価基準での最適な投影場所の調査も考えられる．

謝辞 本研究の一部は，科学技術振興機構戦略的創造研究推進事業（さきがけ）および文

部科学省科学研究費補助金基盤研究（A）(20240009) によるものである．ここに記して謝意を表す．

#### 参考文献

- 1) P. Mistry, P. Maes, and L. Chang: WUW-wear Ur world: a Wearable Gestural Interface, *Proc. of the ACM International Conference on Human Factors in Computing Systems Extended Abstracts (CHI EA 2010)*, pp. 4111–4116 (Apr. 2009).
- 2) D. C. McFarlane and S. M. Wilder: Interactive Dirt: Increasing Mobile Work Performance with a Wearable Projector-Camera System,
- 3) 蔵田武志, 酒田信親, 興相正克, 大隈隆史, 大田友一: BOWL プロカムによる手前と奥の投影面を用いたインタラクションの実現にむけて, *情報処理学 CVIM*, 2006-CVIM0156-1, pp. 1-8 (Nov. 2006).
- 4) M. Schwaller, D. Lalanne, and O. A. Khaled: PyGmI: Creation and Evaluation of a Portable Gestural Interface, *Proc. of the Nordic Conference on Human-Computer Interaction (NordicCHI 2010)*, pp. 16–20 (Oct. 2005).
- 5) 稲見昌彦, 関口大陸, 川上直樹, 館 日章: 頭部搭載型プロジェクタの研究 (第 5 報) –実時間画像補正–, *日本バーチャルリアリティ学会第 7 回大会*, pp. 15-18 (Sep. 2002).
- 6) J. C. Ko, L. W. Chan, and Y. P. Hung: Public Issues on Projected User Interface, *Proc. of the ACM International Conference on Human Factors in Computing Systems Extended Abstracts (CHI EA 2010)*, pp. 2873–2881 (Apr. 2010).
- 7) K. Tajimi, K. Uemura, N. Sakata, and S. Nishida: Stabilization Method for Floor Projection with a Hip-Mounted Projector, *Proc. of the International Conference on Artificial Reality and Telexistence (ICAT 2010)*, pp. 77–83 (Dec. 2010).
- 8) P. Claudio: The Everywhere Displays Projector: A Device to Create Ubiquitous Graphical Interfaces, *Proc. of the 3rd International Conference on Ubiquitous Computing (UbiComp 2001)*, pp. 315–331 (Sep. 2001).
- 9) 磯垣広野, K. S. Kyung, 澤野知佳, 福井 悠, 小林孝浩, 鈴木宣也, 関口敦仁: 可動鏡を使ったマルチプロジェクションシステム –Ptolemy–, *情報処理学会シンポジウム論文集*, Vol. 2007, No. 4, pp. 85-86 (Nov. 2008).