

公共メディアへのジェスチャ入力のための ユーザに対する操作指示手法 (2014年10月16日版)

小川 正幹^{1,a)} マルコ ユルム³ 米澤 拓郎¹ 中澤 仁² 徳田 英幸¹

受付日 2014年5月7日, 採録日 2014年10月8日

概要: デジタルディスプレイやプロジェクタなどの情報表示機器の価格の低下にともない、街中や駅などの公共空間で様々な情報の配信を行う公共メディアが普及してきた。また、センサの低価格化やモーションキャプチャ技術の発展によってマルチタッチなどの平面的なインタラクションだけではなく、手全体や体を使った三次元的な入力も可能になった。このような技術を用いた、三次元的な入力を受け取るインタラクティブな公共メディアは今後増加すると考えられる。しかし、公共性の持つ特性と三次元的なインタラクションの複雑さから、ジェスチャのような手法による入力を公共空間において正しくユーザに伝えることは難しい。本研究では、公共空間におけるジェスチャによる入力のためのユーザ誘導およびユーザへの操作指示手法を提案する。提案したユーザ誘導および操作指示手法をもとにジェスチャ入力が可能な公共メディアのプロトタイプを作成しフィールドスタディを行った。フィールドスタディにおいて、72人の被験者に実験に協力してもらい、アンケートに回答してもらい、結果について考察を行った。本稿では、提案する手法を用いて行ったフィールドスタディから得られた知見について述べる。

キーワード: 公共メディア, 公共ディスプレイ, インタラクション, フィールドスタディ

An Instruction Method for Gestural Interaction with Interactive Public Media (version 2014/10/16)

MASAKI OGAWA^{1,a)} MARKO JURMU³ TAKURO YONEZAWA¹ JIN NAKAZAWA² HIDEYUKI TOKUDA¹

Received: May 7, 2014, Accepted: October 8, 2014

Abstract: Due to price reduction of the device which can display information such as digital display and projector, public media which provides many kinds of information is emerging. In addition, due to price reduction of sensors and improvement of technique of motion capture, gestural and three-dimensional inputs are emerging to interact with digital media. Interactive public media which supports three-dimensional inputs will increase. However, instructing gestural inputs has difficulties which contains nature of publicness and complexity of the interaction itself. In this research, we propose the method of instructing the way of interaction for users. We implemented the prototype which supports gestural input and applied our proposal on it. We carried out field study with our prototype and we got feedback from 72 participants of the field study. In this paper, we describe the result of the experiment and discussion of our proposal.

Keywords: public media, public displays, interaction, field study

¹ 慶應義塾大学大学院政策・メディア研究科
Graduate School of Media and Governance, Keio University,
Fujisawa, Kanagawa 252-0882, Japan

² 慶應義塾大学環境情報学部
Faculty of Environment and Information Studies, Keio Uni-
versity, Fujisawa, Kanagawa 252-0882, Japan

³ Department of Computer Science and Engineering, Univer-
sity of OULU

a) richie@ht.sfc.keio.ac.jp

1. はじめに

近年、デジタルディスプレイやプロジェクタなどの情報表示および投影機器の発展により、空間に対して様々な形での情報投影が可能になった。それにともない、駅や街中などの公共空間において様々な情報の配信を行う公共メディアが普及してきた。本稿では、公共空間に存在してい

て情報を配信するメディアのことを「公共メディア」と定義する。たとえば、ショッピングモールにおける店舗案内を行うナビゲーションディスプレイや、プロジェクタを用いて床へ情報を投影するデジタルサイネージなどがあげられる。また、センサの小型化や高機能化により、人々の動きや行動などを解析するモーションキャプチャが簡単に行えるようになった。これにより、人々の身体的な動作を用いたジェスチャによる入力をサポートするようなメディアも登場してきた。たとえば、Microsoft Kinect などの全身の動きをキャプチャして用いるようなアプリケーションや、Leap Motion のような指先の検知に特化したセンサなど、多くのものが開発されてきた。このような、公共メディアの情報投影の多様性やセンシング技術の発展により、人々の身体的な動きや行動による入力をを用いたインタラクティブ手法が用いられるようになってきた。本稿では人々の身体的な動きや行動による入力を「ジェスチャ入力」と定義する。ジェスチャ入力の普及により、今後ジェスチャ入力が可能な公共メディアが増加してゆくと考えられる。しかし、ジェスチャ入力の「正しい方法」をユーザに対して教唆することが難しいため、ジェスチャ入力は公共メディアへの適用が難しいと考えられる。ユーザに対する教唆が難しい理由として、ジェスチャ入力指示に対しての解釈が人によって異なるという点があげられる。したがって、ジェスチャ入力指示を行う際は、ユーザの空間的な位置、身体の動かし方などを詳細に指示する必要がある。

しかし、公共メディアにおいては、その公共性から、長時間のインタラクションは好まれない。たとえば、動画を用いた詳細な解説や、一連の動作をひとつおりの学習するチュートリアルのような仕組みが存在した場合、ユーザがそれを受け取るもしくは完了するためにはある程度時間が必要である。しかし、公共の場においてユーザを長時間拘束することはユーザにストレスを与えるため、これらの手法は適していない。このような問題から、ジェスチャ入力を公共メディアに適用するためには、正しい操作方法を短時間でユーザに伝えるジェスチャ入力教唆手法が必要であると考えられる。

本研究では、公共メディアに対するジェスチャ入力への理解の向上と、本研究で提案するユーザへの入力教唆手法を検証するため、ジェスチャ入力に対応する公共メディアのプロトタイプを作成した。ジェスチャ入力に対応するプロトタイプとして、指の動きによる操作が可能なウェブブラウザを作成した。このプロトタイプは、空間的なユーザの位置を指示するためにプロジェクタを用いて床への情報投影を行うと同時に、ウェブブラウザ上に操作指示をオーバーレイして、ユーザに操作指示を行った。また、作成したプロトタイプを用いてフィールドスタディを行った。フィールドスタディでは、ユーザビリティおよびジェスチャ入力教唆に対するアンケートを行った。またフィールドスタ

ディの様子は動画で記録を行い、ビデオ分析を行った。本稿では、フィールドスタディの結果および得られた知見について述べる。本稿の貢献は、大きく以下の3点である。

- ジェスチャ入力教唆のための要件を整理したこと
- 実際にプロトタイプを作成し、フィールドスタディを行い、72人からのアンケート回答およびビデオによる分析を行ったこと
- 公共メディアへジェスチャ入力を適応する際のインタラクションデザインへの示唆を行ったこと

本稿は以下のように構成される。まず、次章で本研究における要件と関連研究について述べ、本研究の必要性について述べる。次に、3章でフィールドスタディのデザインについて述べ、4章でフィールドスタディで得られた結果を述べる。5章でフィールドスタディの考察を行い、6章で本稿をまとめる。

2. 研究背景

本章ではまず本研究の目的について述べ、本研究の関連研究について述べる。次に、関連研究から考えられる問題意識と本研究の要件について述べる。

2.1 本研究の目的

公共メディアの利点として、個人端末と異なりその影響がその場にいる1人ではない集団を対象としていることがあげられる。その中でも Müller ら [1] が示したように、ジェスチャ入力は人の注意を引く点や、周りへの影響力が強いという点で公共メディアのインタラクション手法として適していると考えられる。したがって本研究では公共メディアへのインタラクション手法としてジェスチャ入りに注目し、その指示手法について要件を整理し、評価を行う。また本研究では、ジェスチャ入力に特化したアプリケーションだけでなく、現在タッチで行われているレベルの細かいタスクを行うアプリケーションを想定し、ジェスチャ入力の可能性を考察する。

2.2 インタラクティブな公共メディア

まず、公共メディアとのインタラクションをする際に、インタラクションの手段は非常に重要である。たとえば、Ballagas ら [2] は公共メディアとのインタラクションの際にスマートフォンを用いることを提案した。それに対して Boring ら [3] は、分類されたスマートフォンのインタラクションの中から Scroll, Tilt, Move という3つのインタラクションを選び、公共メディアへの入力デバイスとしてユーザビリティ評価を行った。また Kray ら [4] は、スマートフォンと公共メディアとのインタラクションにおいて、ジェスチャが潜在的に有用であることを実験を通じて述べている。さらに Kurdyukova ら [5] は、公共メディアとのインタラクションの段階を identification, navigation,

collection の 3 つの段階に分類し、それぞれの段階において最適なモダリティを、実験により求めた。このように、公共メディアとのインタラクションの手段について多くの研究が行われている。インタラクションの手段はタッチパネルによる操作からジェスチャ入力まで幅広く考慮されており、ジェスチャ入力に対する期待や有用性については多く考察されている。

また、インタラクションをデザインする際に、現在人間が持っているメンタルモデルや行動モデルを分析する必要がある。Vogel ら [6] は、人間の公共メディアへの注目の段階を、距離によって Ambient Display Phase, Implicit Interaction Phase, Subtle Interaction Phase, Personal Interaction Phase の 4 つに分類した。そしてそれぞれの段階において、公共メディアの果たす役割や、コンテンツデザインの手法を示唆した。また、Greenberg ら [7] は、人とディスプレイの前の距離だけではなく、ディスプレイに対する人の向き、人の動き、人の識別、ディスプレイの存在する場所を考慮することによって、よりディスプレイの周囲の人々の注意を引くことができ、それに応じた有益なコンテンツが配信できると考えた。一方、Marshall ら [8] は、F-Formation を利用して、特定のシチュエーションにおける人間の行動を観察し、インタラクションが行われる際の人と物の位置関係を分析した。さらに、Marquardt ら [9] は、実際に F-Formation を用いたデバイス間インタラクションシステムを構築した。また、Müller ら [10] は今までに研究されてきた人間の行動モデルをもとに、インタラクティブな公共メディアを構築するための機能としての要件と、空間デザインのために必要な要素について議論した。このように、公共メディアとのインタラクションを実現するために、多くの人間のモデルが分析、利用されている。公共メディアとのインタラクションの設計は、このようなモデルに沿って行われるべきであると考えられる。しかし、アプリケーションや公共メディアの設置環境によって、メディアとユーザとの最適な空間的な位置関係やモデルが変わる可能性がある。したがって、公共メディアはアプリケーションや公共メディアの設置環境に合わせた空間的な位置やユーザの行動を指示する必要があると考えられる。

さらに、このようなインタラクティブな公共メディアは、研究室環境だけではなく、実際に街中や店舗などで評価実験が行われている。O'Hara [11] は、カフェの中にテーブルとして、インタラクティブなディスプレイを配置し、人々の行動を観察し、分析を行った。Müller ら [1] は、街中の壁面にインタラクティブな公共メディアを設置し、人々の行動を観察するとともに、人の注意を引きつける手法を議論した。また、Ojala ら [12] は、街中に長期的にインタラクティブな公共メディアを配置し、その効果を測定した。

また、現在存在する多くのインタラクティブな公共メ

ディアはタッチインタラクションによって制御される。しかし、ジェスチャ入力によるインタラクション手法は多くのアプローチを用いて行われてきた [1], [4], [13], [14], [15]。特に、Grace ら [14] はインタラクティブ性を歩行者に示す複数の手法を比較した。また、ユーザの骨格をキャプチャして画面に表示することで、ユーザが認識されていることをユーザに対してフィードバックを行っていた。しかし、これらはジェスチャ手法そのものや公共メディアのインタラクティブ性が人々にもたらす影響について考察が行われたものであり、ユーザへの行動指示に関する考察は行われていない。さらに、ゲーム機などに用いられる入力手法としても身体的な入力を用いた手法が増え、ジェスチャ入力がより一般的になってきたと考えられる。しかし、ゲーム機などで用いられるジェスチャ入力は、それを訓練する時間が多く設けられており、多くの場合はプレイヤーは操作に関するチュートリアルを行う。また、ゲームの取扱説明書などにすべての情報が記載されているため、センサや機械に対して最適な形でインタラクションができるよう設計されている。しかし、公共の端末を利用する際に訓練のための時間を多くとることは難しく、詳細な取扱説明は情報量が多くなってしまうため、ゲーム機で用いられている行動指示手法は、公共メディアには適さない。

2.3 既存研究に対する問題意識

既存研究では、ジェスチャ入力の可能性やインタラクティブであることをユーザに示すための手法が研究されている。しかし、実際にこのようなジェスチャ入力をサポートするメディアを用いる場合に、操作手法をユーザに指示するための指針や手法がないと考えられる。既存研究のなかで操作指示を用いている研究 [14] も存在するが、操作指示に焦点を当てて体系的な考察は行われていない。したがって、ジェスチャ入力をユーザに対して指示するための指針や手法を作成する必要があると考えられる。

2.4 公共メディアへのジェスチャ入力適用のための要件

公共メディアへジェスチャ入力を適用する場合、タッチによる入力に対して三次元空間を自由に使えるため、より自由度の高いインタラクションが設計できると考えられる。しかし、その自由度の高さと操作に求められる正確性の高さ、および公共メディアの持つ公共性から、公共メディアへのジェスチャ入力適用には課題がある。まず、アプリケーションや取り付けられるセンサの種類、取り付けられる場所などによって最適な空間的位置や、身体的動作の細かい動きが異なると考えられる。したがって、似たようなジェスチャ入力が求められる場合であっても、ユーザはアプリケーションや公共メディアごとにそれらを学習しなければならない。また、ジェスチャ入力の方法が間違っていた場合、ユーザ自信に間違いを補正させ、正しい入力

へと導く必要がある。さらに、前節で述べたようにその公共性から、操作指示のための時間を長時間とすることはできない。したがって、公共メディアへのジェスチャ入力適用のための要件を以下のように定義する。

- ユーザの空間的および身体的動作の指示
- ジェスチャ入力に対する連続的なフィードバック
- インタラクションの操作指示にかかる時間の短さ

まず、ジェスチャ入力のためのユーザの空間的および身体的動作を指示する必要がある。一般的にジェスチャ入力はモーションキャプチャセンサなどの特殊なセンサを用いて行われる。したがって、センサの検知範囲内であれば、ユーザの入力を検知することができない。そのため、インタラクションを行おうとしているユーザをセンサによる検知可能範囲内に誘導する必要がある。また、実際の操作手法の自由度の高さから、身体的動作を適切に指示する必要があると考えられる。次に、ジェスチャ入力に対する連続的なフィードバックが必要であると考えられる。既存の多くの公共メディアは入力が行われたことや現在のユーザのステータスに対するフィードバックが操作結果でしか行われない。したがって、現在ユーザが公共メディアに対してどのような状態であるかをユーザに提示する必要があると考えられる。これにより、自身が正しくインタラクションが行われているかどうかをユーザが知り、自身で間違いを補正することができる。さらに、インタラクション全体を通じて操作指示にかかる時間が短い必要がある。そのため、操作指示に関して学習負荷を下げることにより、操作指示全体にかかる時間を短縮する。また、公共のメディアにおいて、学習負荷の高さはユーザのインタラクションへの動機を低下させる原因となりうる。したがって、操作指示に対する学習負荷が低くデザインされる必要がある。

3. フィールドスタディデザイン

本章ではまず、フィールドスタディを行うためのプロトタイプデザインのデザインについて述べる。次に、プロトタイプを用いたフィールドスタディの手法について述べる。

3.1 プロトタイプデザイン

3.1.1 要件に対するアプローチ

まず、空間的な位置を教唆するために、公共メディア内だけでなく、実空間へ情報投影を行う。前章でも述べたとおり、アプリケーションやセンサの設置場所によって、同じようなインタラクションにおいても、最適な空間的位置はアプリケーションや公共メディアによって異なる。したがって、動的に空間的位置を投影できるプロジェクタを用いて床に対して空間的位置の指示を行う。これにより、ユーザは空間内の自身の立つべき位置を知ることができる。また、身体的な動作指示については、今回は二次元アイコンを用いた動作指示を行う。静的な二次元アイコンは、既

存の手法に対して動画を見る、実際に練習を行うといった指示手法に比べて時間および学習のステップ数が少ないと考えられる。したがって本研究では二次元アイコンを採用した。プロトタイプで可能なすべての操作に対する指示のための二次元アイコンをつねに画面に表示しておくことにより、ユーザはつねに可能な操作を確認できる。また、インタラクションに対する連続的なフィードバックとしてユーザがインタラクションを行っている間は、現在ユーザがどのように認識されているかについて連続的なフィードバックを行う。さらに、視覚的なフィードバックだけではなく、操作が成功した際には音によるフィードバックを行うことにより、ユーザに対して操作の状態を通知する。また、学習負荷を低くするために、二次元アイコンで用いる操作指示はジェスチャの方法だけではなく、フィードバックに用いたポインタの動作を示すことで、身体への指示を抽象化した。さらに、入力と操作の2つのフェーズに分けて操作指示を行うことで、静的なアイコンに過剰な情報が含まれることを防ぎ、学習負荷の低下を目指した。

3.1.2 ソフトウェア

本研究では、ジェスチャ入力により操作可能なウェブブラウザを実装した。今回採用したジェスチャは、1本指と5本指による複数のジェスチャである。本研究では、ジェスチャ入力に対する操作指示を目的としているため、ジェスチャ入力の種類は限定しない。しかし今回は、マルチモーダルなインタラクションという観点から、現在簡単に利用可能なセンサ類で実現可能なジェスチャ入力を対象とした。ウェブブラウザ上では、操作指示のための二次元アイコンが表示され、床に対してプロジェクタを用いた位置指示が行われる。要件を満たすために、床へのプロジェクションは空間的な位置を指示し、二次元アイコンはどのような入力が可能か、どのような動作が可能かを示した。また、操作指示は、つねにオーバーレイされているため、ウェブブラウザのコンテンツへの注目を維持するため、アニメーションするものではなく、静的な二次元アイコンを用いた。さらに、ジェスチャ入力が受け付けられた際は、各操作に対応する音を出力した。連続的なフィードバックを行うために、プロトタイプは人々の存在に対して反応し、その状態によってディスプレイの内容が変化するようにした。

システム全体の流れは図3のようになっている。まず開始時に、ディスプレイにはウェブブラウザのみを表示し、床には足跡の表示と足跡に対してアニメーションする矢印を表示する。次に、足跡をユーザが見つめ、足跡の上に乗る、かつディスプレイに顔を向けている際にディスプレイは操作指示状態へと遷移する。操作指示状態においては、まず5秒間入力手法教唆画面が表示される。入力手法教唆画面においては、今回入力手法として可能であった1本指による入力と5本指による入力について教唆する内容を表示した(図1上方)。5秒後、ディスプレイの状態は変化

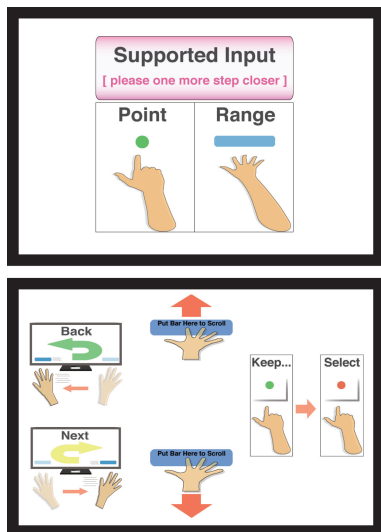


図 1 プロトタイプ上の二次元アイコン. 上の図に示された画像が最初の 5 秒間表示され、その後下の図に示された画像が画面にオーバーレイされる

Fig. 1 Two dimensional icon on prototype. First 5 seconds, instruction on upper figure is shown. After 5 seconds, icons on lower figure will be overlaid.



図 2 プロジェクタによって投影された足跡 (左図) と画面にオーバーレイされた二次元アイコン (右図)

Fig. 2 Foot print projected on the floor (left) and two dimensional icon (right).

し、実際に行うことができる操作の手法が書かれた二次元アイコンがウェブページにオーバーレイされた状態となる (図 1, 図 2). オーバーレイされた二次元アイコンは、ユーザがその場を離れるまで表示され続ける. システムはこの動作をユーザごとに繰り返し行った. 二次元アイコンをオーバーレイする際、二次元アイコンとともに、実際の操作説明を短い文章で表示することで、具体的な操作手法を提示した. 今回のプロトタイプ上でサポートされた動作は、ウェブブラウザにおけるリンクの選択、画面のスクロール、進む、戻るの 4 つの機能であった. リンクを選択は 1 本指をディスプレイに向けたときに現れるアバタをリンクの上に置き、一定時間その場所を指し続けることによって行った. 画面のスクロールは、5 本指をディスプレイに向けたときに現れるアバタを、画面上の同じ色、形の部分に合わせて置くことによって行った. 進む、戻るの操作は 5 本指をディスプレイに向けた状態で手を右に振ると進む、左に振ると戻るの操作を行った.

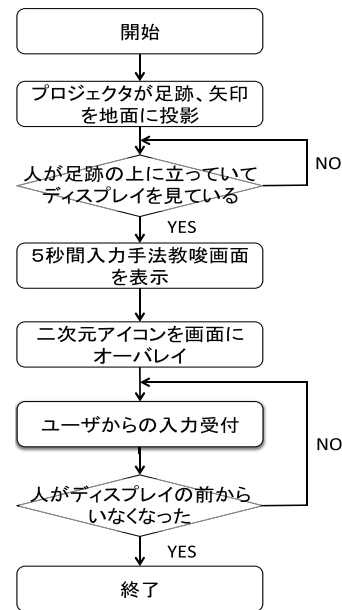


図 3 システム全体の流れ
Fig. 3 System flow.

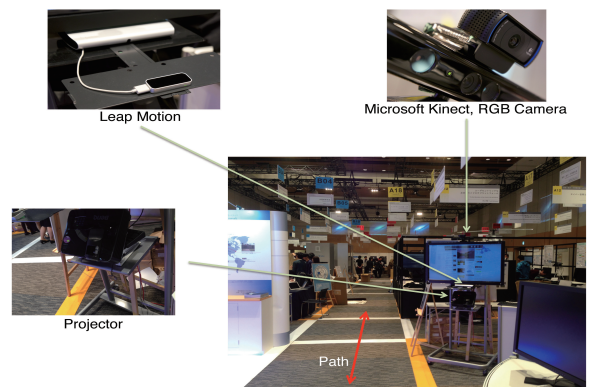


図 4 実際のフィールドスタディのセッティング
Fig. 4 Actual setting of field study.

3.1.3 ハードウェア

プロトタイプにはセンサとして MS Kinect, Leap Motion, RGB カメラを用いた. MS Kinect はディスプレイの前の人々の存在を検知するために用いた. RGB カメラは顔の検知に用いた Kinect で検出した人の位置で顔を検知できた場合、人がディスプレイの前に立っており、ディスプレイの方を向いていると判定した. Leap Motion は手のジェスチャ入力を検知するために使用した. また、出力装置として 42 インチのマルチタッチディスプレイ、プロジェクタ、スピーカを用いた. 実装したアプリケーションの直接の出力としてマルチタッチディスプレイを用い、床への情報投影の手法としてプロジェクタを用いた. また、音による出力を行うためスピーカを用いた. 図 4 に実際の設置の様子を示す. また、図 5 に、それぞれの機器の設置位置を示す. 機器全体は約 176 cm からなっており、その上部に MS Kinect および RGB カメラを設置した. Leap Motion は地上から約 113 cm のところに、ディスプレイか

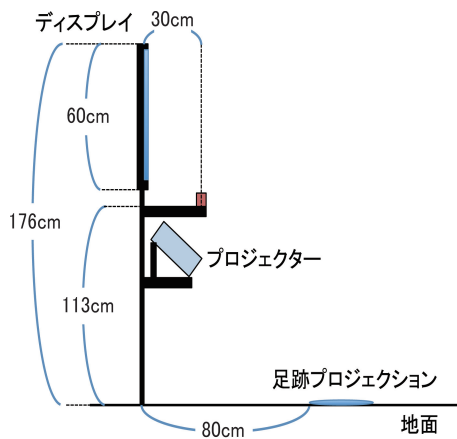


図5 ハードウェアの設置位置

Fig. 5 Hardware deployment.

ら 30 cm 離して設置した。また、足跡プロジェクションは、機器全体から水平方向に 80 cm 離れた位置に投影した。このような配置にすることで、ユーザが操作を行う際足跡プロジェクションによって指示された位置から腕を肩の位置まで上げるような姿勢で操作を行うことを想定し、指示を行った。

3.2 評価手法

本研究ではシステムの定量的な性能評価と、フィールドスタディによる定性的な評価を行う。

3.2.1 性能評価実験

作成したプロトタイプのパフォーマンスを定量的に評価するために、性能評価実験を行う。性能評価実験では、ユーザがジェスチャを行ってから、システムが反応するまでの時間と、アバタがユーザの動きを追従する早さ (FPS) を計測し、評価する。

3.2.2 フィールドスタディ

作成したプロトタイプを用いて、観察的なフィールドスタディを行った。フィールドスタディの目的は、本研究で提案した操作指示手法の妥当性についての検証を行うことである。それに加えて、ジェスチャ入力による公共メディアとのインタラクションが人々にどのような影響を与えるか、人々がジェスチャ入力に対してどのように感じるかを調査する。フィールドスタディは大学によって開かれる公開研究展示場で行った。訪問者は会場を自由に歩くことができ、自由にプロトタイプを操作することができる状態であった。説明員はプロトタイプのそばに常駐しており、訪問者は説明員に対して説明を求めることができた。しかし、説明員は説明を求められるまでは自身から訪問者に接触することはなく、なるべくユーザ自身に操作させるようにした。実際にプロトタイプに対してひととおりの操作を行ったユーザに対してアンケートによる回答を求めた。アンケートでは、被験者の公共メディアの利用経験の有無に関する背景質問と、本研究で提案した操作指示手法の妥当

性を調べるために、操作指示の分かりやすさ、操作指示をふまえたうえでの操作のしやすさについて調査を行った。評価軸として床へのプロジェクションの有用性、二次元アイコンを使った操作指示の妥当性、アバタによるフィードバックの有用性、ジェスチャ入力の可能性について質問を行った。各項目に対する質問の対応表を表 2 に示す。これに加えて、今後のジェスチャ入力への人々の期待を調査するため、ジェスチャ入力の可能性についても被験者に聞くこととした。背景質問に関しては、現在デファクトスタンダードとなった動作も含めて、固定の概念や規格が存在せず種類も多いため、本実験ではジェスチャ入力の経験については問わなかった。アンケートの内容は以下のようになっている。

被験者の背景に関する質問

Q1 街中や駅などに、操作可能なデジタルディスプレイがあることを知っている。

Q2 街中や駅などの操作可能なデジタルディスプレイを利用したことがある。

インストラクション (操作指示) についての質問

Q3 操作するときどの立ち位置で操作をすればよいか分かった。

Q4 手のジェスチャ (1 本指, 5 本指) による入力ができることが分かった。

Q5 ディスプレイをどのように操作するか (操作の種類) が理解できた。

Q6 画面に表示されたアイコン (戻る, 進むなど) は分かりやすかった。

インタラクション (実際の操作) についての質問

Q7 1 本指による操作は簡単だった。

Q8 5 本指による操作は簡単だった。

Q9 自分の思いどおりにディスプレイのコンテンツを操作することができた。

Q10 手のジェスチャによる操作は、タッチによる操作よりも簡単だと感じた。

Q11 ディスプレイが、自分の存在に反応していることが分かった。

Q12 公共の場でインタラクションをすることに、抵抗 (恥ずかしさなど) はなかった。

Q13 ディスプレイの操作は楽しかった。

Q14 街中にこのようなディスプレイ (手のジェスチャやタッチにより操作できるディスプレイ) があったら積極的に利用したい。

被験者の背景に関する質問 (Q1 および Q2) は “はい” か “いいえ” の二択で答える質問であった。他の質問はすべて 5 段階による回答を求めるものであり、すべての質問において 1 は “強くそう思わない”, 5 は “強くそう思う” となっていた。また、映像による詳細な分析を行うために

表 1 5段階評価によるアンケート結果
Table 1 Result of questionnaire.

	Q3	Q4	Q5	Q6	Q7	Q8	Q9	Q10	Q11	Q12	Q13	Q14
最頻値	4	5	5	4	3	3	2	2	5	4	5	5
平均値	3.8	4.0	4.0	3.6	3.3	3.5	3.1	2.5	4.2	3.9	4.3	4.2

表 2 評価項目と質問との対応

Table 2 Correspondence list of evaluation topic and questions.

床へのプロジェクションの有用性	Q3
二次元アイコンの妥当性	Q4, Q5, Q6, Q7, Q8, Q9
アバターフィードバックの有用性	Q7, Q8, Q9, Q11
ジェスチャ入力の可能性	Q10, Q12, Q13, Q14

表 3 システムの性能評価

Table 3 System performance.

評価項目	反応時間
リンクの選択に対する反応時間	0.318 秒
戻る, 進むに対する反応時間	0.573 秒
スクロール操作に対する反応時間	0.03 秒
アバタの追跡速度	33FPS

固定カメラによる録画を行った。

4. 実験結果

本章では、前章で述べた性能評価実験およびフィールドスタディによる実験結果について述べる。

4.1 性能評価実験結果

性能評価実験では、以下の項目について評価を行った。

- リンクの選択に対するシステムの応答時間
- 進む, 戻るの動作に対するシステムの応答時間
- スクロールの動作に対するシステムの応答時間
- ユーザの動きに対するアバタの追跡速度

リンクの選択, 進む, 戻るの動作, スクロールの動作については、その動作を 10 回試行し、動作に対する結果が出力されるのにかかった時間の平均を算出した。ユーザの動きに対するアバタの追跡速度については、1 分間追跡を行った際の平均 FPS を算出した。それぞれの項目に対する結果を、表 3 に示す。スクロール操作については、アバタの表示位置をもとに動作を行っており、アバタの更新速度に依存する。また、各動作の精度は Leap Motion の精度に依存するものである。

4.2 フィールドスタディによる実験結果

本節では、フィールドスタディの結果を述べる。フィールドスタディを行った結果、10 代から 40 代の 72 人の被験者からアンケートを収集した。性別を記入した被験者の中で、58% (36 人) は男性で、42% (26 人) は女性であった。表 1 にアンケート結果の最頻値と平均値を示す。背景に

関する質問 (Q1 および Q2) については、インタラクティブな公共メディアの存在を知っていると答えた人の割合は 73.6%であった。また、実際にインタラクティブな公共メディアを操作したことがあると答えた人の割合は 55.6%であった。したがって、インタラクティブな公共メディアの存在を知っている人の約 75%が、それらを操作したことがあるという結果が得られた。また、被験者 72 人中、35 人の被験者は自力で操作を完了することができたが、37 人の被験者は説明員の説明なしでは操作できなかった。さらに、説明なしで操作できなかった被験者の中の 25 人は最初自分で操作を行って見たが、操作できないため説明を受けていた。また、残りの 12 人は最初から操作することをせず、説明を求めた後操作を行った。したがって、説明なしの状態ですべて実際に操作を試みた被験者は 72 人中 60 人であり、8 割以上の被験者が説明を受ける前に操作を行った。そのため、実験結果がまったく説明がない状態に比べて良い方向に補正される可能性があるが、定性的な評価として妥当な結果であると考えられる。

4.2.1 5段階評価によるアンケート結果

5段階評価によるアンケートについて、各質問における最頻値と平均値を示し、説明する。

Q4, Q5, Q11, Q13, Q14 について、最頻値は 5 であった。各質問における平均値が 4 を超えていることから、これらの質問は、非常に多くの被験者からの同意を強く受け、かつ偏りが少ないことが分かる。Q4, Q5 から、アイコンを用いた操作指示手法について、ユーザから高い支持を受けていることが分かった。また、Q11 から、設置してあるプロトタイプがインタラクション可能であることをユーザに示すことに成功していることが分かる。さらに、Q13, Q14 から、ほとんどの人々が、このようなインタラクティブな公共メディアを使用することについて積極的な姿勢を見せていることが分かった。

Q3, Q6, Q12 について、最頻値は 4 であった。各質問における平均値は 3.5 以上であった。これは、これらの質問が多く被験者からの同意を受け、かつ偏りが少ないことが分かる。Q3, Q6, および点数の高かった Q4, Q5 から、操作指示のコンセプトは被験者たちに受け入れられていたが、アイコンのデザインや提示手法は向上の余地があると考えられる。また、Q12 の平均値は 3.9 であった。このことから、多くの人々が公共の場においてジェスチャ入力をするのに対して否定的ではあるものの [16], そのコンテンツや要求されるジェスチャの大きさによってジェス

チャ入力の受容可能性は変化すると考えられる。

Q7, Q8 について、最頻値は3であった。被験者はどのようにプロトタイプを操作するかについては理解していたようであったが、実際に操作を行う際に正確に操作することは難しいようであった。このフィールドスタディにおいてプロトタイプはセンサの検知範囲や誤った入力に対するフィードバックは行わなかった。そのため、自身が行っているジェスチャが正しいものなのかが分からなくなってしまい、結果的にユーザビリティが低下したと考えられる。

Q9, Q10 について、最頻値は2であった。Q9 において、ほとんどの被験者は思いどおりにプロトタイプを操作できなかった。また、タッチ入力と比較した際も、ジェスチャ入力の優位性は低かった。

5. 実験結果の考察

5.1 システムの性能に関する考察

まず、本研究のフィールドスタディで用いたプロトタイプの性能について考察する。ジェスチャを行った後の反応速度は、リンクの選択に対する反応速度が平均で0.318秒、戻る、進むに対する反応速度が平均で0.573秒であった。この反応速度は、現在流通しているスマートフォンや携帯端末への入力に対する応答速度よりは遅いと考えられる。したがって、プロトタイプに対して、被験者が普段用いている携帯端末レベルの性能を期待してしまっていたと考えられる。また、ユーザの動きに対するアバタの追跡速度は約33FPSであった。Leap Motion 自体のセンシングレートは33FPSより高いが、細かい誤検知による画面のちらつきを抑えるためにシステム側でレートを調節していた。この速度は、一般的なテレビ放送のFPSを上回る数字ではあるが、被験者の動きが速かった場合、追跡に遅延が生じる可能性のある速度であった。また、認識精度に関してはLeap Motion 自身の精度に依存するが、センサが手を補足できる範囲内に正しく手が存在している場合には、90%以上の精度で指の本数、手の形状を認識できる。したがって、理想的な状況下におけるセンサの精度は高いと考えられる。

5.2 アンケート結果に対する考察

5段階評価によるアンケート結果において被験者は、ジェスチャの指示手法には同意しており、評価はおおむね良好であることが分かる。しかし、操作は1本指であっても5本指であっても簡単とはいえず(Q7, Q8)ほとんどの被験者が思いどおりにプロトタイプを操作できなかったことが分かった。指の形状精度が高いにもかかわらず、1本指でも5本指でも操作が難しかったのは、ユーザがセンサの検知範囲を正しく認知できなかったからであると考えられる。本フィールドスタディでは、Leap Motion を用いて操作を行ううえで無理なく操作が行える立ち位置に被験者を

誘導した。しかし、センサの存在やその検知範囲については被験者に対して情報を与えなかった。したがって、細かい操作の部分で被験者の指がセンサの検知範囲から外れてしまい指の形状の認識率が落ちたと考えられる。それにもない、ジェスチャ認識の精度も低下するため思いどおりに操作できなかったと考えられる。

また、被験者の属性によって結果が大きく変わることが分かった。たとえば、男性と女性の間では、最頻値がQ3, Q7, Q8, Q9, Q12 について、男性よりも1ずつ高くなっていた。さらに、10代と20代を比較した際に、Q3, Q9, Q12, Q13, Q14 について、10代の方が最頻値が1高く、Q8 においては10代の方が最頻値が2高かった。このことから、被験者の属性によってインタラクションや操作指示手法に対するユーザの感じ方は大きく異なることが分かった。特に、年齢による違いについては10代の人々の方が若いため、メンタルモデルが構築されており、操作指示に対する理解が早かったと考えられる。したがって、操作指示を行う際に、属性によって操作指示手法を変えることによって、より効率の良い操作指示ができるようになると考えられる。

さらに、手のジェスチャ入力は楽しいが、現状の教唆手法では誰もが同じように操作することが難しいということが分かった。しかし、被験者の多くは新しいインタラクションのモダリティとしてのジェスチャ入力に肯定的であった。適するインタラクションのモダリティは、設置した状況あるいはアプリケーションによって異なると考えられる。たとえば手の届かないところにあるメディアであれば、タッチによる入力が不可能であるため他のモダリティに頼らざるを得ない。本実験においては、タッチによるインタラクションが適していると考えられるセッティングであったにもかかわらず、被験者はジェスチャ入力に興味を示し、肯定的であった。このことから、今後よりジェスチャ入力を用いたインタラクションが受け入れられていき、増加することが期待できる。

5.3 自由記述欄からの被験者の反応に対する考察

本フィールドスタディでは5段階評価によるアンケートに加えて、自由記述によるユーザからのフィードバックを収集した。以下に自由記述欄の内容を一部引用し、考察を行う。

まず、その中の多くのコメントがプロトタイプの反応についてのものであった。“面白いなと思いましたが、やはり反応があまり良くないように感じました。(20代、女性)” “モーション操作がより感度良く直感的になればより世の中に普及すると思う。(年齢未回答、男性)” これらの被験者はインタラクティブな公共メディアをジェスチャ入力によって操作すること自体には積極的であると考えられる。しかし、前節で述べたように、操作に対する反応への

期待が高いと考えられるため、今回実験で使用したプロトタイプタイプの反応速度については否定的であった。しかし、一部の被験者は反応について肯定的であった。“思ったより精度が良くて思いどおりに情報の閲覧ができて楽しかった。(年齢未回答, 性別未回答)”このように、社会的に電子端末への反応速度への期待が高まっているにもかかわらず公共メディアに対する人々の反応に対する期待の大きさは人によって大きく異なると考えられる。また、背景質問の内容から、反応に対する期待の量は、インタラクティブな公共メディアを操作した経験の有無とは関係が見られなかった。

“音が良かった(操作しているときの)(10代, 女性)”この被験者は、操作を行った際の音響効果について述べている。このプロトタイプは、スワイプ操作や選択操作を行った際に、操作を受付けたことに対するフィードバックとして、効果音を再生する。このユーザの回答から、フィードバックとして効果音を用いる手法は効果的であることが分かる。また、効果音が再生されることが分かっていた場合、効果音の有無によってユーザは自身の操作が間違っていたかどうかを判断することができると考えられる。したがって、音響効果は操作の状態を通知する手法として適していると考えられる。

また、ジェスチャ入力を用いられるべきシチュエーションについて言及している被験者もいた。“タッチと比べて、すぐ近くまで近づかなくても良いのがあるところかも。(20代, 男性)”“触れないで操作できるのは手が汚れているときや、料理しているときのレシピ検索のときに便利だと感じました。(20代, 男性)”一般的にジェスチャ入力は公共の場におけるメディアへの入力や、細かい操作を必要とする機器への入力に適さない。しかしながら、ジェスチャ入力には、その可能性や潜在的な期待が存在すると考えられる。

“ディスプレイが動いてびっくりしました。(20代, 女性)”この被験者は、インタラクティブな公共メディアの存在を知っていたが、実際にそれらを操作した経験を持たない被験者であった。インタラクティブな公共メディアの存在や、その操作手法を知っていたとしても、実際にジェスチャ入力によってメディアが反応することに驚くユーザがいることが分かった。これは、多くの公共メディアがタッチによって制御されており、ほとんどの人々がインタラクティブな公共メディアはタッチ操作によって制御されるというメンタルモデルを持っているからであると考えられる。

5.4 操作を完了できなかった被験者に対する考察

本研究のフィールドスタディでは被験者がプロトタイプとインタラクションを行う様子を近くで観察し、記録をとった。本章の各節で述べたようなジェスチャ入力の難しさから、プロトタイプを上手に操作できない被験者が72

人中37人であった。その中でも、25人は最初に自分で操作することを試みたが失敗していた。ビデオ分析を行った結果、この25人には共通して2つの特徴がみられた。

- 1つ目は自身の操作手法が間違っていることに気づかないという特徴である。操作に成功した人々は、自身の立ち位置やセンサに対する手の位置を自身で調整をしながら、センサに対する最適な場所を自分自身で探して操作を行っていた。特に、指をディスプレイに向けた後に間違った方法であればフィードバックが途切れるので、操作に成功した人々はそれをたよりに自身の動きを修正できていた。それに対してこのパターンの被験者は、入力が正確に行われていないにもかかわらず、操作の方法を調整することをしなかった。その原因として、人々は操作に失敗したとき、自身の操作手法が間違っているのか、システムが壊れているのかを判別できなかったことが考えられる。実際に、認識されないことが分かった後もこのパターンの被験者は同じ空間的位置で同じ動作を繰り返していたため、操作手法を変えるという考えがなかったと考えられる。このことから、操作に失敗する人々が操作指示に対する自分の解釈に疑いを持たず、1度解釈が行われると、第三者による間違いの指摘などの外的要因がない限りそれを修正できないということが分かる。
- 2つ目は画面に表示された操作指示を読まないという特徴である。観察による記録から、多くの人々はプロトタイプが人々の動きに対して反応をすることが分かるとうすぐ何らかの動作を始めた。このとき、人々は自身が何らかの方法でプロトタイプとインタラクションを行うことに熱中し、画面に表示された操作指示を読まなかった。そしてひととおり自身の思いつく限りの動作を試した後、“これはどのように操作するのか”という共通の質問をした。説明員は使用法を聞かれた際は、画面に操作手法がすべて記載されている旨をユーザに伝えた。すると、操作手法がすべて画面上に記載されていることを聞き、多くの人々がプロトタイプを操作することができるようになった。このことから、1度このような公共メディアが自身の存在に反応することを知ると、操作手法やメッセージが画面上に表示されるにもかかわらず、それらを見ずにインタラクションを開始することが分かった。

5.5 ユーザにフィードバックする情報に対する考察

本実験で使用したプロトタイプは、ユーザがセンサに対して適切な場所にいる場合にのみユーザの状態をフィードバックした。そのため、人々がひとたび正しい場所から外れてしまった場合、正しくないことに対するユーザの状態のフィードバックなどは行わなかった。したがって多くの人々は、正しい位置から外れたときに、自身が正しい位置

から外れたことに気づかなかった。今回のプロトタイプでは、ユーザを正しくインタラクションさせるための操作指示を行ったが、その間違いを修正するための指示を行わなかったため、多くの人々は自身で間違いを修正できなかった。このことから、操作指示をする際には、正しく導くことだけではなく、間違ってしまった際にユーザを正しい方向へ“戻す”ことを考慮する必要があると考えられる。しかし、実際に操作をするユーザが1人であるかあるいは複数人であるかによってその結果は異なっていると考えられる。多くの被験者が1人でプロトタイプの操作を行ったが、数人のグループが操作を試みる場合が見られた。このとき、実際に操作を行うユーザとそれを見ながら誤りを修正するユーザに分けられた。その結果、操作を行うユーザが操作不能になった場合でも、誤りを修正するユーザの指摘により誤りを修正し、操作を実現するグループも存在していた。このことから、誤りを修正するメカニズムの重要性、必要性が分かる。

本実験では、人々が操作指示付きのインタラクティブな公共メディアを操作する際に、操作に関する説明を読まない傾向にあることが分かった。操作指示は、インタラクションのモダリティや操作手法が複雑になるほど必要性が増すが、ユーザがインタラクションの手法を独自に解釈し、メンタルモデルが構築された直後から、操作指示は無意味なものへ変化する。そして、そのメンタルモデルに従って、自身では操作法を見いだせない状態になるまで試行を繰り返す。このことから、ユーザは潜在的に正しい入力手法の操作指示については欲してはいるものの、操作指示に関する文章や文字を読むことに対して積極的ではないことが分かった。したがって、ユーザに対して詳細な操作指示を提示しようとするほど、操作指示を多くの情報量で理解するための動機が減少してゆくと考えられる。

5.6 ジェスチャ入力指示手法に関する考察

本研究におけるフィールドスタディでは、人々の近接に応じた反応や床へのプロジェクションを用いて人々へインタラクティブ性を示唆した。プロトタイプは床へのプロジェクションでは動く矢印を用いて人々を誘導し、人々が近づいたときに操作指示画面へ遷移するよう設計を行った。人々の近接を用いたインタラクティブ性の示唆は有効であり、他研究では多くその手法を取り入れたプロトタイプを作成している [1], [16]。しかし空間的位置をディスプレイのみで示すことは難しいと考えられる。したがって今回はディスプレイのみではなく、床へのプロジェクションを用いて空間的位置およびインタラクティブ性への示唆を行った。結果として床へのプロジェクションは人々へのインタラクティブ性の示唆、誘導については成功したと考えられる。多くの人々は床へのプロジェクションを発見した後、プロジェクタの所在を探し始めた。そして、プ

ロジェクタの所在を探す中でインタラクティブな公共メディアの存在を発見し、プロジェクションが何のために行われているかを理解した。このことから、公共メディアそのものだけが人々を誘導する必要はなく、それ以外のものを用いた人々の誘導も効果的であることが分かった。一方、ジェスチャ入力実現のための、三次元空間におけるユーザの立ち位置の提示手法としては不十分であったと考えられる。実験では多くの被験者が足跡の上に立って操作をしていた。したがって本研究の目的とする空間的位置の指示には成功していたと考えられる。しかし、人による違いがインタラクティブ性に影響したため、今後の課題として人の身長などの属性から動的に足跡の位置を変化させるなどの工夫が必要である。

本実験では二次元のアイコンを用いて操作指示を行った。これは被験者に対して、漠然とどのような動作をすべきかを伝えるのには成功したが、実際の動作の解釈は人によって異なった。さらに、本実験で用いた二次元のアイコンは、実際の操作指示と操作結果を完全に分けて表現したものではなかったため、いくつかの二次元アイコンは被験者に対して誤解を与えた。特に、“戻す”や“進む”といった動作には、それぞれの操作を象徴する記号として、実際の操作とは関係のない矢印が含まれていた。その結果、被験者はそれらの記号を実際の操作と勘違いしてしまい、操作に失敗してしまっている事象も見られた。このことから、アイコンを用いて操作指示を行う際には実際に行うべき操作と、その操作によって発生する事象を明確に分けて表現する必要があると考えられる。

6. 議論および今後の展望

本章では、本研究で行った実験結果を考察したうえで、公共メディアへのジェスチャ入力に対する操作指示をデザインするうえで重要であると考えられる点について述べる。

6.1 ディスプレイ外の領域を用いた指示の有効性

本研究のフィールドスタディによる結果から、空間的な位置を指示する手法として、ディスプレイ外の領域を用いる指示手法は有効であることが分かった。また、プロジェクタを用いる手法は動的な指示が可能であり、多目的メディアのように複数のアプリケーションが内在するものであっても、アプリケーションごとに柔軟に対応ができる。さらに、プロジェクタに動的なアバタを投影することにより、ユーザの注意を引くことが可能である。したがってディスプレイ外の領域を用いた、特にプロジェクタを用いた指示はジェスチャ入力をユーザに指示するうえで有効であるため、積極的に用いるべきであると考えられる。しかし、ディスプレイ外の空間的位置のみがユーザビリティに影響するわけではないので、この指示手法に過度に依存することはユーザビリティの低下を招く恐れがあると考えら

れる。

6.2 ユーザがジェスチャを行う範囲の明示の必要性

本研究のフィールドスタディにおいて、被験者が思いどおりにジェスチャを行えなかった理由として、被験者がセンサの検知範囲を知ることができなかったことがあげられる。したがって、ユーザにジェスチャを指示する際は、有効範囲を明示する必要があると考えられる。アプリケーションやシステムのインタフェースによって、明示の仕方および可能な方法が異なると考えられるが、明示することによってユーザのセンサ検知範囲に対する学習負荷を減らすことができると考えられる。

6.3 連続的なフィードバックと誤り検知の必要性

本研究のフィールドスタディにおいて、ユーザの行動を追跡し、アクションが行われた際には音によるフィードバックを行うことで、連続的なフィードバックを提供した。これによって、ユーザは自身の状態を知ることができたため、連続的なフィードバックは有効であると考えられる。しかし、操作するためのセンサの検知範囲から外れてしまった際にはフィードバックを行わなかった。そのため、実験において一部の被験者は自身で手を動かす場所を微調整できたが、一部の被験者はできなかった。したがって、適切な動作を行っているかどうかをユーザに対して示す必要があると考えられる。そのためには、ジェスチャ入力に対する誤り検知が必要であると考えられ、誤りの内容もユーザに対してフィードバックされるべきであると考えられる。

6.4 操作指示とコンテンツの分離

本研究では操作指示に二次元アイコンを用いた。しかし、操作指示を見ない被験者やそもそも存在に気づかない被験者も多かった。したがって、操作指示を明示的にコンテンツと分離させる必要があると考えられる。また操作指示アイコンについても、入力指示と入力後の挙動については明示的に分離されるべきであり、複数の要素をアイコンに盛り込むべきではないと考えられる。本研究におけるフィールドスタディにおいて、ブラウザの戻るおよび進む機能を指示するアイコンには、入力指示と入力後の挙動両方を盛り込んだ。しかしこれはユーザの混乱を招いてしまった。そのため、今ユーザがやるべき行動だけが明確に分かるようにデザインすべきであると考えられる。

6.5 今後の課題

本研究で提案した操作指示手法は多目的な公共メディアとのインタラクションを行う際に適用可能であると考えられる。公共メディアはその役割やできることが多様であるため、様々なアプリケーションを動かすことが可能であ

る。したがってアプリケーションの多様性や、公共メディアそのものの多様性から様々なインタラクションのモダリティがサポートされる可能性がある。アプリケーションによって最適なインタラクションのモダリティが異なる場合、アプリケーションは最適な操作手法をアプリケーションごとに指示する必要がある。そこで、公共メディアに装着されているセンサ情報などを一元管理し、操作指示がアプリケーションに依存しない機構を作ることにより、アプリケーション開発者はそのアプリケーションに特化した操作指示を簡単に作ることができるようになる。このように、複数のアプリケーションが同居する環境においてダイナミックに操作指示を変えることにより、よりアプリケーションおよびインタラクション手法に柔軟な公共メディアが実現されることが考えられる。

7. 結論

本稿では、ジェスチャ入力をサポートするインタラクティブな公共メディアについての2日間のフィールドスタディの結果および分析について述べた。フィールドスタディにおいては、2日間で72人の被験者からアンケートによる回答を得た。アンケートの結果、全体として多くの被験者が公共メディアとジェスチャ入力によるインタラクションを行うことについて肯定的であることが分かった。また被験者は、本稿で提案した床へのプロジェクション手法や、情報のフィードバック手法についても肯定的であった。しかしながら、インタラクションと、操作指示のための二次元アイコンの設計については課題が残った。また、操作指示を公共メディアに掲載したとしても、多くのユーザはそれを無視する傾向にある現象についても発見した。このことから、いかに有益な情報が表示されていて、かつそのメディアに対してインタラクションを行おうとしているにもかかわらず、1度インタラクションを開始すると操作指示などの情報は無視されてしまうことが分かった。これらの知見は有用であり、今後のインタラクティブな公共メディアをデザインするための指針として適用されるべきであると考えられる。

謝辞 評価実験にご参加いただいた皆様に感謝する。本研究の一部は、独立行政法人情報通信研究機構にご支援いただいた。

参考文献

- [1] Müller, J., Walter, R., Bailly, G., Nischt, M. and Alt, F.: Looking Glass: A Field Study on Noticing Interactivity of a Shop Window, *Proc. SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems, CHI '12*, pp.297–306, ACM (2012).
- [2] Ballagas, R., Borchers, J., Rohs, M. and Sheridan, J.: The smart phone: A ubiquitous input device, *Pervasive Computing*, Vol.5, No.1, pp.70–77, IEEE (2006).
- [3] Boring, S., Jurmu, M. and Butz, A.: Scroll, Tilt or Move

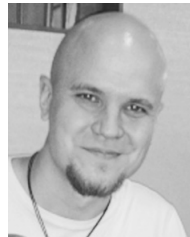
It: Using Mobile Phones to Continuously Control Pointers on Large Public Displays, *Proc. 21st Annual Conference of the Australian Computer-Human Interaction Special Interest Group: Design: Open 24/7, OZCHI '09*, pp.161-168, ACM (2009).

- [4] Kray, C., Nesbitt, D., Dawson, J. and Rohs, M.: User-defined Gestures for Connecting Mobile Phones, Public Displays, and Tabletops, *Proc. 12th International Conference on Human Computer Interaction with Mobile Devices and Services, MobileHCI '10*, pp.239-248, ACM (2010).
- [5] Kurdyukova, E., Obaid, M. and André, E.: Direct, Bodily or Mobile Interaction?: Comparing Interaction Techniques for Personalized Public Displays, *Proc. 11th International Conference on Mobile and Ubiquitous Multimedia, MUM '12*, pp.44:1-44:9, ACM (2012).
- [6] Vogel, D. and Balakrishnan, R.: Interactive Public Ambient Displays: Transitioning from Implicit to Explicit, Public to Personal, Interaction with Multiple Users, *Proc. 17th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology, UIST '04*, pp.137-146, ACM (2004).
- [7] Greenberg, S., Marquardt, N., Ballendat, T., Diaz-Marino, R. and Wang, M.: Proxemic Interactions: The New Ubicomp?, *Interactions*, Vol.18, No.1, pp.42-50 (2011).
- [8] Marshall, P., Rogers, Y. and Pantidi, N.: Using F-formations to Analyse Spatial Patterns of Interaction in Physical Environments, *Proc. ACM 2011 Conference on Computer Supported Cooperative Work, CSCW '11*, pp.445-454, ACM (online), DOI: 10.1145/1958824.1958893 (2011).
- [9] Marquardt, N., Hinckley, K. and Greenberg, S.: Cross-device interaction via micro-mobility and f-formations, *Proc. 25th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology (UIST '12)*, pp.13-22, ACM (2012).
- [10] Müller, J., Alt, F., Michelis, D. and Schmidt, A.: Requirements and Design Space for Interactive Public Displays, *Proc. International Conference on Multimedia, MM '10*, pp.1285-1294, ACM (2010).
- [11] O'Hara, K.: Interactivity and non-interactivity on tabletops, *Proc. SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '10)*, pp.2611-2614, ACM (2010).
- [12] Ojala, T., Kostakos, V., Kukka, H., Heikkinen, T., Linden, T., Jurmu, M., Hosio, S., Kruger, F. and Zanni, D.: Multipurpose Interactive Public Displays in the Wild: Three Years Later, *Computer*, Vol.45, No.5, pp.42-49 (online), DOI: 10.1109/MC.2012.115 (2012).
- [13] Alt, F., Schneegass, S., Girgis, M. and Schmidt, A.: Cognitive Effects of Interactive Public Display Applications, *Proc. PerDis '13*, pp.13-18, ACM (2013).
- [14] Grace, K., Wasinger, R., Ackad, C., Collins, A., Dawson, O., Gluga, R., Kay, J. and Tomitsch, M.: Conveying Interactivity at an Interactive Public Information Display, *Proc. PerDis '13*, pp.19-24, ACM (2013).
- [15] Hespanhol, L., Tomitsch, M., Grace, K., Collins, A. and Kay, J.: Investigating Intuitiveness and Effectiveness of Gestures for Free Spatial Interaction with Large Displays, *Proc. PerDis '12*, pp.6:1-6:6, ACM (2012).
- [16] Jurmu, M., Ogawa, M., Boring, S., Rieki, J. and Tokuda, H.: Waving to a Touch Interface: Descriptive Field Study of a Multipurpose Multimodal Public Display, *Proc. PerDis '13*, pp.7-12, ACM (2013).



小川 正幹

1986年生。2011年慶應義塾大学大学院政策・メディア研究科修士。現在、慶應義塾大学大学院政策・メディア研究科後期博士課程。主に、ユビキタスコンピューティング、スマートスペースコンピューティング、サイバーフィジカルシステムの研究に従事。ACM 学生会員。



マルコ ユルム

2007年オウル大学修士。現在、オウル大学博士課程。主に、ユビキタスコンピューティング、公共ディスプレイ、サイバーフィジカルシステムの研究に従事。ACM 学生会員。



米澤 拓郎 (正会員)

2007年慶應義塾大学大学院政策・メディア研究科修士。2010年慶應義塾大学 Ph.D. (政策・メディア)。現在、慶應義塾大学大学院政策・メディア研究科特任助教。主に、ユビキタスコンピューティングシステム、インタラクティブシステム、センサネットワークの研究に従事。ACM, 日本ソフトウェア科学会各会員。



中澤 仁 (正会員)

慶應義塾大学大学院政策・メディア研究科准教授。博士 (政策・メディア)。ミドルウェア、システムソフトウェア、ユビキタスコンピューティング等の研究に従事。日本ソフトウェア科学会, ACM 各会員。



徳田 英幸 (正会員)

1977年慶應義塾大学大学院高額研究科修士。1983年ウォータールー大学Ph.D.(Computer Science)。同年カーネギーメロン大学計算機科学科勤務。1990年同学科研究准教授。現在、慶應義塾大学大学院政策・メディア研究

科委員長。主に、ユビキタスコンピューティングシステム、オペレーティングシステム、分散システムに関する研究に従事。IEEE, ACM, 日本ソフトウェア科学会各会員。