

## 手のひらインタフェース：画像処理を用いた 公共空間におけるパーソナルな情報提示システム

石井 陽子<sup>†1</sup> 小林 稔<sup>†1</sup>  
中茂 睦裕<sup>†1</sup> 小池 英樹<sup>†2</sup>

本研究では、床面に映像が投影された領域内で手を差し出すことで差し出した手のひらに映像を表示し、その映像を閲覧できるシステム“手のひらインタフェース”を構築した。本論文は、本システムの設計方針と実装について説明し、行った3つの運用実験について述べる。その結果、本システムが公共空間での“パーソナルな情報提示”を可能にすることを確認した。

### Palm Interface: A Display Personally to Show Information in Public Spaces by Using Image Processing

YOKO ISHII,<sup>†1</sup> MINORU KOBAYASHI,<sup>†1</sup>  
MUTSUHIRO NAKASHIGE<sup>†1</sup> and HIDEKI KOIKE<sup>†2</sup>

In this research, we propose a system that allows a user to read information personally in public spaces without wearing any hardware devices. This paper presents the interface system “palm interface”, which displays information on the palm of the user’s hand. This interface employs a snow fall metaphor to induce the user’s action to catch snowflakes of information. In this paper, we describe this system and the evaluation of this system.

<sup>†1</sup> 日本電信電話株式会社 NTT サイバソリューション研究所

NTT Cyber Solutions Laboratories, NIPPON Telegraph and Telephone Corporation

<sup>†2</sup> 電気通信大学大学院情報システム学研究科

The Graduate School of Information Systems, University of Electro-Communications

#### 1. はじめに

現在、公共空間における情報提示には様々な手法が用いられている。一般に広く用いられているのは、ポスターやチラシといった紙媒体を利用したものである。紙媒体は安価で大量に配布することが可能だが、提示される情報は印刷された静的な情報である。その一方で、近年デジタル技術の進歩からデジタルディスプレイも公共空間で利用されるようになった。デジタルディスプレイは、動画や音声など動的な情報を再生したりニュースや株価といった即時性の高い情報をリアルタイムで提供したりするなど、紙媒体とは異なる方法で様々な情報を提供可能なことから広く普及しつつある。

こうした公共空間でのデジタルディスプレイには、不特定多数のユーザに1度に情報を提供するものと、ユーザ個人々に情報を提供するものに大別できる。

不特定多数のユーザに1度に情報を提供するものとしては、駅前など多くの人が集まる場所や乗り換えや待合せなどの滞留時間が発生する場所に設置された大型ディスプレイがある。多くの人が行き交う公共的な空間では複数人に動的な情報を同時に提供できるため、情報伝達の効率性やユーザの利便性からもその利用価値は高いと考える。

個人々に情報を提供する手法としては携帯電話やPDA (Personal Digital Assistant) などのハンドヘルドデバイス (以下デバイス) や情報キオスクを用いる方法などがある。ユーザ個人々に情報を閲覧する環境として広く普及していることや、ボタンやタッチペンなど表示されている情報に対して操作を行う入力装置があることから、ユーザは関心のある情報を自分のペースで閲覧でき、他者を気にせず情報操作を行うことができる。これらは大型ディスプレイにはない利点である。本論文ではこのような個人々人への情報提示を“パーソナルな情報提示”と呼ぶ。

しかしながら、このようなパーソナルな情報提示を公共空間で実現するには、デバイスをユーザ個人々が持つ必要がある。美術館や博物館などでは来館者にPDAを貸し出すことでパーソナルな情報提示を実現することが多い。この場合、機器調達のコストだけでなくメンテナンスにも多くのコストが必要になるという問題がある。個人々がすでに所有している携帯電話を用いると、その問題を回避しながらもパーソナルな情報提示を提供することができる。しかし、あらかじめユーザ登録が必要であったり、情報を閲覧するためにデバイスを取り出し操作する必要があったりするため、提示する情報に強い興味を持っているユーザでなければ情報を閲覧してもらえないという問題がある。ICタグやQRコードを利用すること

で情報にアクセスする際の操作の煩雑さを低減させたシステムも存在するが<sup>\*1</sup>，そもそもデバイスを持っていないユーザはそうしたシステムを利用できないという問題がある．

そこで本研究では，大型ディスプレイの持つ長所とパーソナルな情報提示が持つ長所を兼ね備えた情報提示手法を構築すべく，不特定多数の人が行き交う公共空間において個々人がデバイスを持つことなしに（以下デバイスレス）パーソナルな情報提示を実現することを研究の目的とする．

以下，2章では本研究で構築したシステムの設計について述べ，3章で実装について説明する．4章で応用例を紹介し，5章で表示性能および運用実験，6章で考察と今後の課題，7章で関連研究について述べ，8章で本論文をまとめる．

## 2. 公共空間におけるパーソナルな情報提示

### 2.1 設計要件

パーソナルな情報提示を実現するためにはまず，携帯電話などのディスプレイのように，ユーザ個々人が情報提示媒体を占有する環境を提供し，ユーザによる入力操作を実現する必要がある．これらの要件を満たしつつも本研究では，上で述べた従来のパーソナルな情報提示の短所を解消するためにデバイスレスな環境を実現し，また，大型ディスプレイの長所である複数人への動的な情報提供を実現することで，情報伝達の効率性やユーザの利便性を高めたいと考える．

そこで本研究では以下の事項を設計の要件とした．

- ユーザ個々人が情報提示媒体を占有できる．
- デバイスレスである．
- 容易に情報の操作が行える．
- 不特定多数のユーザが同時に情報を閲覧できる．

次節ではこれらの要件を満たすためのシステムの基本設計について述べる．

### 2.2 基本設計

人は覚え書きをする際に手のひらにペンで文字を書くことがある．また，ものを観察するときに手のひらに対象物を載せて目に近づけて見ることがある．こうしたことをふまえ，本研究では手のひらを個々人が持つ情報を閲覧可能な媒体であると考えた．手のひらはユーザが占有している身体の一部であるため，手のひらに情報を提示することで，ユーザ個々人が



図 1 手のひらへの情報提示

Fig. 1 Projecting information on a palm.

占有できる情報提示媒体とすることができる（図 1）．

また，デバイスレスであることを実現するために，ユーザの手にはマーカなどの特別な装置を身につけさせず，情報閲覧および入力操作にもデバイスを用いないこととする．

次に，手のひらをディスプレイとしたうえで容易な情報操作を実現する手段として，本研究では手のジェスチャを用いる．ジェスチャの研究は従来から広く行われている<sup>1),6)</sup>．本研究では，ユーザが意味を簡単に理解できて実行しやすいジェスチャを採用することで容易な情報の操作を実現する．

そして，複数人の手のひらを同時に検出することで，不特定多数のユーザが同時に情報を閲覧できるようにする．

これまで述べたように，本研究で公共空間でのパーソナルな情報提示を実現するにあたって，以下の事項を基本設計とした．

- 手のひらへ情報を提示する．
- 手にマーカなどの特別な装置を身につけさせない．
- 手のジェスチャによる情報操作を実現する．
- 複数人の手のひらを同時に検出する．

次節ではこれら特徴を持つ情報提示環境を実現するための詳細設計について述べる．

\*1 SuiPo. <http://www.poster.suica.jp/>

### 2.3 詳細設計

#### 1) マーカレスな手のひらへの情報提示

手のひらへ情報を提示するためには、手のひらを検出して、その手のひらの位置に情報を提示するという2つの処理が必要になる。

手のひらを検出する処理としては、手自体を画像処理で検出する方法や、手につけたマーカを画像処理で検出する方法が考えられる。しかし、公共空間においてマーカをユーザに身につけさせることは、先に述べた要件および基本設計にそぐわない。そこで本研究ではユーザの手自体を画像処理により検出する。画像処理による手の検出手法も様々な研究されてきた。使用するハードウェアで分けると、ステレオカメラを用いてその深さ情報を利用するもの<sup>13)</sup>、赤外線カメラを用いて人体の肌の領域を抽出するもの<sup>2)</sup>、カラーカメラを用いて色情報を利用するもの<sup>3)</sup>、またそれらを併用するもの<sup>9)</sup>などがある。本研究ではカラーカメラ画像内から色情報を用いて手のひらを検出することとし、検出する情報としては、位置情報と手のひらの大きさとする。

手のひらへ情報を提示する処理としては、空間の天井面に設置したプロジェクタを用いて検出した手のひらの位置に情報を投影する。その際には、検出した手のひらの大きさに適するように静止画や動画の大きさを変換する。

プロジェクタを用いて手のひらに情報を投影する際の問題として、手のひらが検出されないとその空間においてそうした情報提示が行われていることにユーザが気付かない可能性があることがあげられる。そこで本研究では、情報提示の存在を気付かせるようなきっかけとなる情報をつねに提示しておくこととする。

#### 2) 手のジェスチャによる情報操作

本研究は公共空間での情報提示と閲覧を目的としている。手のジェスチャを使ったインタラクティブな情報操作の研究は様々な行われているが<sup>2),8),9)</sup>、公共空間での利便性を高めるためにも短時間で理解できるようなシンプルなジェスチャが求められると考える。

一方で情報を閲覧する際の操作には、情報を見るもしくは見ないの選択をする、今見ている情報と関連した情報を要求する、異なる情報を比較する、複数の選択肢から1つのものを選ぶ、キーワードなどにより検索を行うなどがある。本研究では、シンプルさを保ちつつもユーザの関心を喚起するような情報提示を実現したいと考え、情報を見る(情報閲覧開始)もしくは見ない(情報閲覧終了)の選択と、関連した情報の要求、を手のジェスチャにより実現する。それぞれに対応したジェスチャとして以下の3つのジェスチャを認識する。

- 情報閲覧開始としての手を差し出す動作

- 情報閲覧終了としての手を握る動作
- 関連した情報の要求としての手を合わせる動作

#### 3) 複数人検出

本研究では、カラーカメラの撮像範囲内つまり手のひらを検出するエリア内に存在する手のひらを複数個同時に検出する。その際に検出エリア内の手のひらで情報の入れ替わりが起きないように、手のひらを追従して検出することとする。

### 3. 手のひらインタフェース

本章ではこれまで述べた設計に従って実装したシステムである“手のひらインタフェース”の概要および実装について述べる。

#### 3.1 システム概要

天井面に設置したカメラで撮影した映像の中から手のひらを検出し、同じく天井面に設置したプロジェクタから手のひらに向けて映像を投影する。図2に本システムの概観およびハードウェア構成を示す。

まず情報提示の存在を気付かせるきっかけとして、「手を差し出してください」といった形で説明を添える方法も考えられるが、本実装では雪や雨のように何らかのアイコンが落下してゆくような映像を、天井面に設置したプロジェクタから床面につねに投影しておく。映像が投影されている領域内でユーザが手を差し出すと、その手のひらを検出しそこに情報を提示する。検出した手の大きさに応じて提示する情報の大きさを変化させ提示する。

ユーザが情報を閲覧したまま手のひらを移動させると、その手のひらを追従して情報を提示し続ける。差し出した手のひらを握ると情報を提示することを止め、再び手のひらを差し出すと新たな情報を提示する。提示する情報が複数ある場合はランダムに選択された情報が手のひらに提示される。また両手に映像が提示された状態で両手を合わせることで、関連した情報を提示することができる。提示する情報はユーザの視線方向を推定したうえでその向きを回転させて表示する。これにより、複数人がそれぞれ自らの視線方向に合う向きで情報を閲覧することができる。

#### 3.2 ハードウェア構成

本システムのハードウェアは、プロジェクタ、カメラ、スピーカ、PCにより構成されている。現在のシステムでは、解像度が1024×768 pixel以上のプロジェクタ、解像度が640×480 pixelのIEEE1394 カラーカメラ、CPUがPentium4 (3.6 GHz)のPCを使用した。

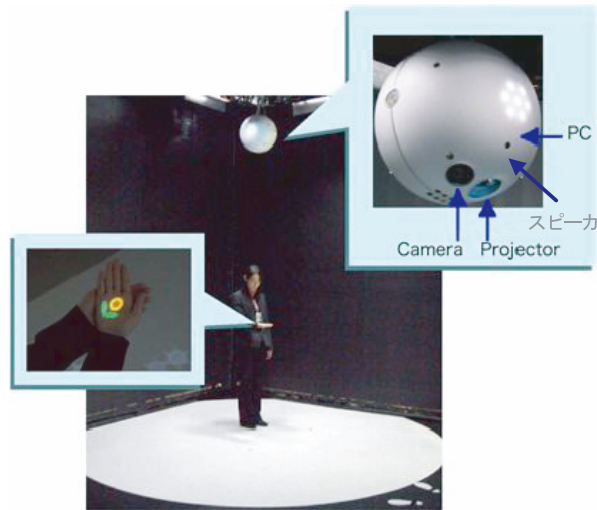


図 2 システム概観およびハードウェア構成  
Fig. 2 The system view and hardware composition.

### 3.3 ソフトウェア構成

ソフトウェアの処理は大きく、手のひら領域の検出、視線方向の推定、そしてジェスチャの検出に分かれる。以下にそれぞれの処理の詳細について述べる。

#### 3.3.1 手のひら領域の検出

カメラから送られた映像に対して、人物がいない初期状態の映像との差分処理を行うことで、カメラ画像内に存在する人体領域を抽出する。人体領域の大きさがあるしきい値より大きい場合には、複数人の人物の重なりが起きていると判断して人体分割処理を行う。人体分割処理は、該当領域に対して縮小処理を行い、その結果として分割された領域数をカメラ内に存在する人数として検出する。

次に各人体領域の重心点を検出し、それを体の重心点として検出する。その後、各人体領域に対して肌色抽出処理を行う。肌色抽出処理はカメラ画像を HSV 成分に分割し、H 成分があるしきい値内の画素を肌色と定め、その領域を抽出する。抽出された肌色領域のうち、あるしきい値を満たす大きさを持つ領域を手のひら候補領域とする。先の人体分割処理により人体が分割できた場合は、手のひら候補領域の重心点との距離がより近い重心点を持つ人体領域と対応付ける。これまでに述べた手のひら候補領域を検出するまでのアルゴリズムを

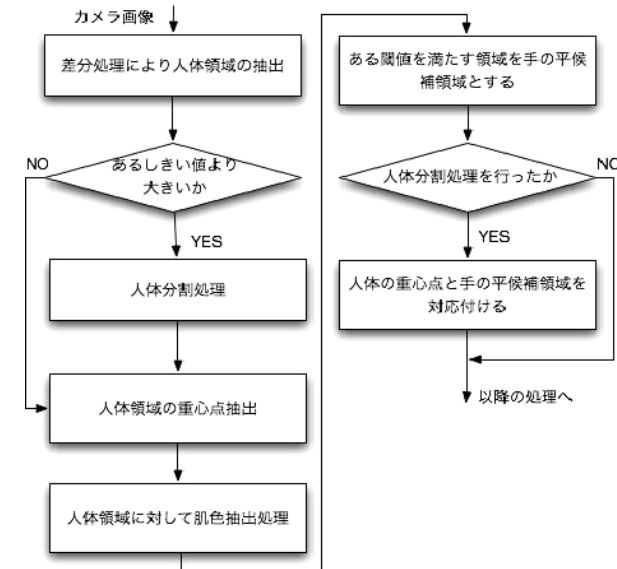


図 3 手のひら領域候補検出までのアルゴリズム  
Fig. 3 Algorithm to search for candidates of areas of palms.

図 3 に示す。

そしてこれらの処理の後、手のひら候補領域から腕などの手以外の領域を削除した手のひら領域を抽出する。本システムでは 3 つの手法を実装したが、それは後述する 3 つの運用実験においてそれぞれ空間や運用の特性が違っており、その違いに合わせて実装を行ったためである。それらの違いは 5 章において後述するとし、以下に手のひら領域の抽出のそれぞれの実装について述べる。

#### 1) 体の重心点の利用

手を差し出した人を頭上のカメラで撮影すると、手のひらは体の末端に存在する。そこで、手のひら候補領域の中で、体の重心点から最も遠い点  $a$  を探す。点  $a$  を中心とした半径  $\alpha$  の円に含まれる領域を、手のひらとして抽出する (図 4 左)。 $\alpha$  の値は一般的な人の手のひらの大きさから経験的に決定した値を用いた。

#### 2) 手と腕の形状情報の利用

次の手法では、手のひらを広げて出すと腕の幅よりも手のひらの幅が大きくなるという人



図 4 手のひらの検出（左：体の重心点の利用，右：形状情報の利用）

Fig. 4 Detections of palms (left: using the location of the center of the body, right: using the shape information of the arm and the hand).

体の形状の情報を利用する（図 4 右）．手のひら候補領域のバウンディングボックスの長辺方向に手のひら候補領域をサンプリングしていき，手のひら候補領域の幅を求める．その幅が最も大きい部分を抽出し，抽出した領域の重心点  $b$  を求める．次に，手のひら候補領域のバウンディングボックスの短辺を構成する点のうち，求められた点  $b$  に最も近い点までの距離を  $\beta$  とし，点  $b$  を中心とした半径  $\beta$  の円に含まれる領域を抽出する（図 4 右）．その中から，体の重心点の利用と同様に，体の重心点から最も遠い重心点（点  $b$ ）を持つ領域を手のひらとして検出する．

### 3) ユーザの立ち位置の利用

本手法はユーザの立ち位置を事前に決めたものに限定し，手のひらを差し出す方向をそれら立ち位置から一意的に決める手法である．その一実装例として本システムではユーザの立ち位置を円形に配置しその中心に向けて手を差し出すよう利用方法を限定した．手のひら候補領域の中から最も画面の中心に近い点  $c$  を持つ領域を求める．次に，点  $c$  を中心とした半径  $\gamma$  の円に含まれる領域を手のひらとして検出する． $\gamma$  の値は一般的な人の手のひらの大きさから経験的に決定した値を用いた．

#### 3.3.2 視線方向の推定

本システムはユーザの視線方向を推定し，ユーザの見やすい向きに情報を回転させて提示する．先に述べた手のひら検出手法の 3) の場合，ユーザの立ち位置と手のひらを差し出す方向を制限したことで，視線方向を一意的に決定することができる．しかし，手法 1) および 2) では視線方向が動的に変化する．以下にその推定方法を述べる．

ユーザの頭上に設置されたカメラから撮影した映像から人の体を検出すると，その重心点は頭の位置と近いことから，体の重心点から手のひらの重心点に向かう方向を本システムで



図 5 手を差し出す動作：情報閲覧の開始

Fig. 5 Gesture of opening a hand starts to show information.

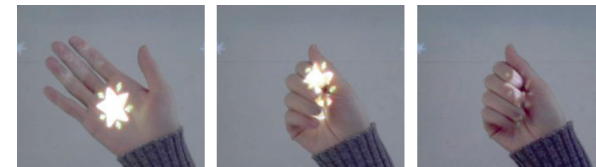


図 6 手を握る動作：情報閲覧の終了

Fig. 6 Gesture of closing a hand stops to show information.

は人の視線方向として推定する．ユーザが両手を差し出した場合，それぞれの手のひらに情報を提示するが，推定した視線方向に合うようにそれぞれ情報を回転させて表示する．

#### 3.3.3 ジェスチャの検出

本システムにおいて手のジェスチャによる情報操作を実現するにあたり，先に述べた手のひらを差し出す動作・手を握る動作・手を合わせる動作の 3 つのジェスチャを実現した．

##### 1) 手を差し出す動作

情報閲覧開始のジェスチャが手を差し出す動作である．ユーザが手のひらを差し出すことで情報を手のひらに提示する（図 5）．実世界においても人は，手に収まる物を受け取るときに手を差し出す．本研究ではこの手を差し出すという動作を行うことで電子的な情報を手のひらに受け取って情報閲覧を開始するとすることとした．

##### 2) 手を握る動作

提示されていた情報閲覧終了のジェスチャが手を握る動作である（図 6）．手のひらのサイズを検出し，カメラ画像の前のフレームより手のひらがあるしきい値を超えて小さくなった場合，手を握ったと検出する．握る動作によって電子的な情報を握りつぶし，消すという操作とした．

また，情報閲覧の開始と終了の動作を手の開閉という自然な流れで行えるようなジェスチャにすることで，情報閲覧の開始と終了を連続して行い，次々に異なる情報を閲覧できるようにした．

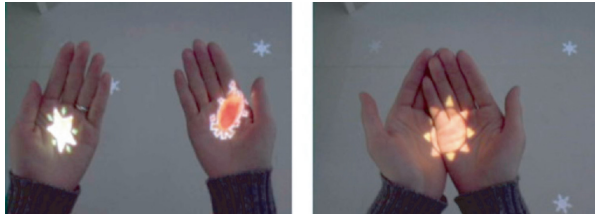


図 7 手を合わせる動作：関連情報の要求  
Fig. 7 Gesture of bringing hands together shows related information.

### 3) 手を合わせる動作

関連した情報の要求のジェスチャが手を合わせる動作である。このジェスチャは、カメラ画像の前のフレームで、あるしきい値より近い距離で2つ存在した手のひらが次のフレームで1つになり、また、その手のひらの領域が、前のフレームよりあるしきい値を超えて大きくなった場合、手のひらが合わされたとして検出する。

右手と左手に情報が提示された状態で両手を合わせる動作を行うと、右手と左手に提示されていた情報から関連した新しい情報を提示する。複数の情報の組合せを事前に定義しておくことで別の情報を引き出すような操作を可能とした。たとえば、炎のアイコンと星のアイコンを組み合わせることで、その2つの特徴を持っている太陽のアイコンを示す、といったようにである(図7)。この手を合わせる動作は、1人のユーザの両手で行うだけでなく、複数のユーザが手を合わせることもできるようにした。これは複数人のユーザの手のひらを認識できる本システムの特徴を活かしたインタラクションを実現しようとしたためである。

## 4. 応用例

次に、本システムの特徴を利用した3つの応用システム：手のひら広告・手のひら和歌・手のひら図鑑について述べる。

### 4.1 応用例1：手のひら広告

公共空間に設置されているディスプレイの多くが広告を目的としているが、本システムを用いて手のひらに広告を表示するのが“手のひら広告”である(図8)。

ショッピングモール内の休憩スペースなどに設置し、そこで滞留している休憩中の人に向けて情報を提示する場面を想定したものである。その一例として、床面にショッピングモールの地図を提示しておき、手を差し出す動作を行うと店舗や売り場の広告を表示するものを



図 8 手のひら広告  
Fig. 8 Advertisements shown on palm.

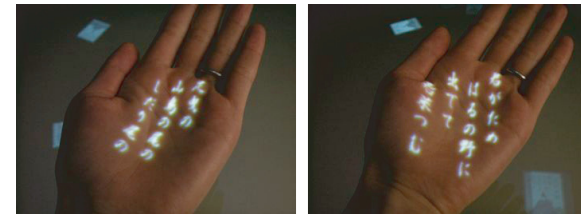


図 9 手のひら和歌  
Fig. 9 Japanese poems shown on palm.

制作した。ポスターなどの静的なディスプレイに提示されている情報の詳細を、QRコードなどを用いて携帯電話に提示するサービスもあるが、本システムではデバイスを用いる必要がないため、だれでも利用することができる。またその場で手を差し出して握るだけで情報を次々に閲覧することができるため、携帯電話を取り出すことなく複数の情報をすぐに閲覧することが可能である。

### 4.2 応用例2：手のひら和歌

本システムでは手を合わせる動作を用いて、それぞれの手に表示されている情報の組合せが適切であるかを判断するシステムを実現することができる。そうした機能を応用した例が、手のひらに和歌を表示する“手のひら和歌”である(図9)。

百人一首からランダムに選ばれた上の句、もしくは下の句が右手と左手に提示される。正しい組合せの句で合わせる動作を行うと、その和歌を読み上げる音声データが流れる。正しくない組合せを合わせると「不正解」という文字を表示する。手を合わせず、それぞれの手で握る動作を行うと、新たな上の句または下の句が表示され、正しい組合せをさらに探すことができる。



図 10 手のひら図鑑

Fig. 10 Living things in an illustrated book shown on palm.

### 4.3 応用例 3：手のひら図鑑

動物や生物の多様な姿を知る手段として図鑑が多くの領域を対象に作成されている。本システムを用いて手のひらに様々な動植物の映像を表示するのが“手のひら図鑑”である(図 10)。本としての図鑑とは異なり動画を再生することが可能であり、静的なディスプレイでは得られない細かい動きを表示することができる。さらに、実物が手のひらに載るような大きさの昆虫や小動物を対象とした場合には、自分の手のひらと大きさを比べられるため、そのスケールをよりリアルに体感できると思われる。この応用システムを利用した者の感想の中には、手のひらに映像を提示することで、実際に動植物を持っているような感覚を感じるというものがあった。

また本システムでは複数人で同時に操作できるため、複数の手のひらの協調動作をトリガとした情報提示を行うことができる。手のひら図鑑ではそうした例として、同じ種や属の動植物を手のひらに提示されている複数のユーザが手を合わせる動作を行った場合に、その種や属の名前が表示されるといったユーザ同士のインタラクションを実現した。

## 5. 表示性能および運用実験

### 5.1 表示性能

本システムでは情報が表示された手のひらをユーザが移動させると、その手のひらを追従して情報を提示し続ける。手のひらに情報を表示する際の画像処理フレームレートは現在のシステムで 16 fps である。

本システムで 7 cm × 7 cm の手のひらを床面から 1 m の高さに差し出した場合に表示できる画素数と、その画素の範囲に 22 pt のゴシック体を表示した場合の文字数を表 1 に示す。本表における値は、プロジェクタを床面から約 2.7 m の高さに設置した際の数値であり、床面でのプロ

表 1 手のひらに提示される画素数と文字数

Table 1 Resolution of image and number of letters shown on a palm.

プロジェクタの解像度	手のひら上の解像度	表示できる文字数(22pt)
XGA (1024×768pixel)	85×85 pixel	12 文字程度
SXGA+ (1400×1050pixel)	116×116 pixel	20 文字程度

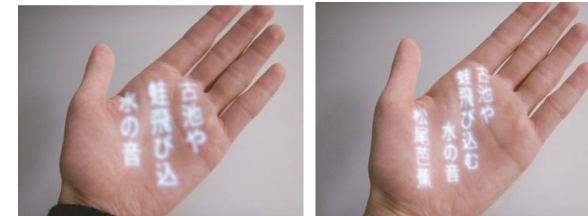


図 11 異なる解像度のプロジェクタで俳句を手のひらに表示した様子(左：XGA、右：SXGA+)  
Fig. 11 Showing a haiku on a palm with projectors of different resolutions (left: XGA right: SXGA+).

ジェクタの映像投影範囲は 1.2 m × 1.5 m 程度である(以降この範囲を情報提示エリアと呼ぶ)。

同様の条件で XGA および SXGA+ と異なる解像度のプロジェクタを用いて、同じ俳句を手のひらに表示した様子を図 11 に示す。XGA のプロジェクタでは五七五の俳句すべては表示できないが、SXGA+ のプロジェクタであれば俳句と作者名を表示できる。

### 5.2 運用実験および手のひら検出方法の比較

本システムの運用実験として展示会・イベント・科学博物館において運用した。表 2 にそれら運用実験に関する情報を示す。3.2.1 項で述べたように、本研究ではそれぞれの空間の特性に応じて異なった手のひら検出手法を実装した。以下に運用の相違点と検出手法の特徴について述べる。

#### 5.2.1 運用 1：体の重心点の利用

この運用は本システムの技術的な説明を目的とし、ユーザは主に大人である。暗幕で仕切られた空間に本システムを設置し、運用中は説明員がユーザにシステムおよび使い方の説明を行った。

表 2 3つの運用実験に関する情報

Table 2 Details of our three system operational tests.

	展示の種別	手のひら 検出方法	ユーザ / 来場者	設置 台数	期間
運用 1	企業技術 展示会	1) 体の 重心点	3,698 人 システム 利用者数	2 台	3 日
運用 2	ゲーム会社 イベント	2) 手と腕の 形状情報	76,562 人 イベント 来場者数	8 台	2 日
運用 3	科学博物館 アトラクシ ョン	3) ユーザの 立ち位置	13,106 人 システム 利用者数	2 台	25 日

この運用では体の重心点を利用する手のひら検出を用いた。この手法では体の重心をベースに手のひらを検出するため、ユーザの服の袖の色が肌色に近い場合でも手のひらを正しく検出することが可能だった。しかし情報提示エリア内に多くのユーザが存在すると、人体領域の重なりが大きくなり、人体領域の重心点の誤認識がおきる。その結果手のひらを正しく検出することができない場合があった。そこで実際の運用では、同時体験人数の上限を3名までとした。

### 5.2.2 運用2：手と腕の形状情報の利用

この運用はイベントの演出を目的としユーザは子供から大人までの幅広い世代である。ユーザが自由に移動を行う広い空間の動線上に本システムを設置し説明員によるシステムおよび使い方の説明は行わなかった。

この運用では手と腕の形状情報を利用した手のひら検出を用いた。この手法を用いると、先の手法で体の重心点の誤認識が起きるような場合でも手のひらを検出することが可能である。そのため情報提示エリア内でユーザが密着するほどに人数が多い場合であっても、ユーザの手のひらを検出することができていた。その一方で、どの手のひらがどの体と対応しているかを検出しないため、手を合わせる動作をした場合に、同じユーザが手を合わせたのか異なるユーザが手を合わせたのかの判別ができないという短所がある。

同時に体験できていた人数の上限は7名程度であったが、画像処理の速度低下などが主な要因ではなく、むしろ情報提示エリア内に同時に滞在できる人数の限度が大きな要因であった。

また肌色に近い色の長袖の服を着用しているユーザは手のひらの幅よりも腕の幅の方が



図 12 科学博物館での運用の様子

Fig. 12 A system operation test at a science museum.

大きくなる場合があり、誤認識を起こす場合があった。カラーカメラに加えて赤外線カメラを併用すればこうした誤認識を減らし、手のひらの検出精度を向上させることができると考える。

### 5.2.3 運用3：ユーザの立ち位置の利用

この運用は科学博物館のアトラクションとして利用することを目的とし、ユーザは主に小学生以下の子供とその家族である。科学博物館内の壁で区切られた小部屋内に本システムを設置し、説明員がユーザにシステムおよび使い方の説明を行った(図12)。

この運用ではユーザの立ち位置を利用した手のひら検出を用いた。情報提示エリアの広さから立ち位置を事前に5つと限定したため、同時に体験できる人数の上限も5名であった。

この手法では人体の重心点の代わりに立ち位置の座標を用いるため、ユーザ同士が密着している場合でも、手のひらを誤認識する機会を減らすことができる。また手を差し出す方向を円の中心へと限定することにより、手のひら候補領域の中で円の中心に最も近いものを手のひらとすることができる。そのため、肌色に近い色の服を着用しているユーザの服を手のひらであると誤認識することがなくなる。

## 6. 考察と今後の課題

本研究では公共空間におけるパーソナルな情報提示を実現することを目的とし、以下の項目を設計の要件としてあげた。



- ユーザ個々人が情報提示媒体を占有できる．
- デバイスレスである．
- 容易に情報の操作が行える．
- 不特定多数のユーザが同時に情報を閲覧できる．

本研究がそれら要件を満たしているかを運用の結果を通して考察する．

運用3では、自分の手のひらに表示されている情報を他者に見せたり、他者と同じ情報を表示させようとしたりする行動が頻繁に観察された。またその際には「僕の」「あなたの」といったように情報の所有者を特定していたことから、自分の見ている情報と他者の見ている情報との切り分けがされており、かつ、手のひらに表示されている情報をそれぞれが所有している情報であると考えていたと思われる。このことから、自分の手のひらで情報を閲覧しているユーザ個々人が情報提示媒体を占有していたと言えるだろう。

表示性能として、手のひらに表示することのできる情報の解像度に制限はあるが、今後プロジェクトの解像度が高くなるにつれ、情報の解像度はさらに増加させることができると考えられる。しかし、現状の制約の中でより多くの情報や自由なレイアウトの情報を表示するには、情報をスクロールしながら表示するなどの方法が必要になると考える。

また本システムでは手のひらが検出されないとその空間において情報提示が行われていることにユーザが気付かない可能性があるという問題があった。それを解決するために、きっかけとなるような映像をつねに提示しておくこととした。運用2では説明員による説明を行わなくてもアイコンが落下してゆく映像をきっかけにユーザが手を差し出し、その結果として手のひらに情報提示がなされることをユーザが理解した様子を多く観察でき、その効果を確認した。

本システムでは手のひらの検出およびジェスチャの認識として、環境に設置したカラーカメラから得られた色情報を使用した。これにより、マーカなどをユーザに身につけさせず、デバイスレスな情報閲覧および操作を行うことを可能にした。

ジェスチャによる情報の操作は、5歳程度の子供もすぐに操作が行っていたことからユーザが意味を簡単に理解できやすいジェスチャとして実装できたと考えられる。システムを操作するユーザの様子を観察すると、手を差し出す動作1つをとってみても、手のひらを傾斜させて出したり、少し丸めて出したり、指を大きく開くもしくは閉じて出したりと「手を差し出す」という1つの言葉に対応したジェスチャにも多様さがあった。本システムでは手のひら自体の細かい形状は利用せず手全体の動きや大きさなどを利用してジェスチャを認識していたことから、こうしたジェスチャの多様さを許容することができたと考える。

こうした多様さへの許容性やロバスト性は、公共空間で利用される情報システムにとって重要な要素の1つだろう。

情報の閲覧に必要な操作には今回実装した操作以外にも、異なる情報を比較する、複数の選択肢から1つを選ぶ、など様々なものがある。今後の課題として、こうした操作に対応するようなジェスチャを実装し、シンプルさを保ちながらも多様な情報を提示できる環境として本システムを発展させていきたいと考える。

同時に両手を認識できる最大のユーザ数は運用2における7名程度だったが、これは現在のプロジェクトの設置状況からくる情報提示エリアの広さの限界によるものであった。投影距離の短いプロジェクトを使用したりプロジェクトの投影距離を長くするような設置方法をとったりするなどして情報提示エリアを拡大し、それに対応できるような高解像度や広角のカメラを使用すれば、同時に体験可能なユーザ数を増やすことができる。1台の計算機に複数台のプロジェクトを接続することで情報提示エリアを拡大できるため、ハードウェア構成およびシステムの設置方法を見直すことは今後の課題の1つである。

定量的な評価やインタビューの分析などによる評価は行っていないが、これまでの運用実験の結果から、公共空間におけるパーソナルな情報提示を実現する手法としての本研究の有効性を確認した。

## 7. 関連研究

公共空間でのパーソナルな情報提示として、情報の概要をデジタルディスプレイに提示し、IrDA や Bluetooth を通じて詳細な情報を携帯電話などのデバイスに送る研究がある<sup>10)</sup>。情報に興味を持ったユーザには詳細な情報を提供できるが携帯電話などが必要であるため、携帯電話を持たないユーザは詳細情報を得られず、ユーザが携帯電話を取り出したうえで操作する必要があるという問題がある。本研究では携帯電話に出力できるほどの多くの文字や画像を提示することは困難であるが、携帯電話を持たないユーザに対応でき、また携帯電話を取り出す必要がなく、公共空間でパーソナルな情報提示をデバイスレスに実現した。

公共空間においてプロジェクトを用いて人に情報を提供しているサービスも広まりつつある<sup>\*1,\*2</sup>。人と映像とがインタラクティブに関わることで情報を変化させる技術は人の興味をひくものとして注目されている。これらはユーザの身体の動きにより映像を変化させてい

\*1 Reactrix Systems, Inc. Reactrix Media. <http://www.reactrix.com/>

\*2 ソリッドレイ研究所, タップトーク2. <http://www.solidray.co.jp/product/eizou/TabTalk2/index.html>

るが、パーソナルな情報提示は実現していない。

Hello.wall<sup>5)</sup> や i-wall<sup>10)</sup> は大型のディスプレイやプロジェクタの画像が投影された公共空間の壁面をパーソナルな情報提示に利用できるシステムである。ID が登録されたユーザと壁面の距離や携帯電話の操作を通して、そのユーザに向けた情報を提示する。壁型のデジタルディスプレイは情報の提示領域を大きく確保しやすく 1 度に多くの人に情報を提供しやすいという利点がある。しかしながら垂直な壁面に提示されたパーソナルな情報は他のユーザにとっても閲覧しやすいため、個人が占有する情報提示媒体として問題がある場合がある。それに対して本研究では、情報提示媒体は水平に近い状態にあり、ユーザの身体にも近いことから他人からの視認性はあまり高くないため、そうした問題が起きにくく、また手のひらという情報提示媒体は個人で占有しているという感覚をより直観的に提供できると考える。

Vogel らはユーザとディスプレイの近さやどの距離でどういったジェスチャを行ったかに応じて提示する情報の内容を動的に切り替えるシステムのプロトタイプを構築した<sup>7)</sup>。どういった場合にどういった情報の切替えを行うかに研究の焦点がおかれており、ユーザが手や体に特殊な装置をつける必要がある。そのため本研究のように不特定多数のユーザが実際に利用できるシステムとはなっていない。

画像処理により検出した手を情報提示媒体として利用する研究も様々に行われている。handyAR では、マーカなどを装着せずに手の位置や傾きを検出し、HMD (Head Mount Display) を通じて手のひらの上に情報を重ねて表示する<sup>3)</sup>。本システムは個人での利用が想定されており、公共空間における複数のユーザによる利用は想定されていない。Contact Water も HMD を装着した人の手のひらの位置に水中の生き物の映像を重ね合わせて表示し、データグローブを装着した手で投げるジェスチャを行うことで他のユーザへその生き物を移動させることができる<sup>4)</sup>。複数人で同時に利用することが想定されているが、handyAR と同様にユーザは HMD を装着する必要がある。本研究で目的とした公共空間でのパーソナルな情報提示をデバイスレスで行うことはできない。PALMbit は情報家電の操作を目的とし、ウェアラブルプロジェクタを用いてリモコンのボタンなどの映像を手のひらに表示するものである<sup>12)</sup>。片方の手の指それぞれにボタンが割り当てられ、もう片方の手でそれぞれの指を指すというジェスチャによりボタン選択の操作を実現する。これも個人での利用が想定されており、本研究が目的とした公共空間における複数人の同時利用は対象となっていない。

## 8. おわりに

本研究では、大型ディスプレイの持つ長所とパーソナルな情報提示が持つ長所を兼ね備えた情報提示手法を構築すべく、不特定多数の人が行き交う公共空間においてデバイスレスでパーソナルな情報提示を実現することを研究の目的とした。この目的を達成するため、ユーザ個々が情報提示媒体を占有できること、デバイスレスであること、容易に情報の操作が行えること、不特定多数のユーザが同時に情報を閲覧できること、を要件とした。これら要件を満たす手法として、手のひらをディスプレイとして手のジェスチャにより情報の操作を行う手のひらインタフェースを設計し、実装した。3 つの運用実験を通して実装したシステムとその設計の有効性を確認した。

謝辞 本論文をまとめるにあたり慶應義塾大学環境情報学中西泰人准教授から多くのコメントをいただいた。ここに記して感謝の意を表する。

## 参 考 文 献

- 1) Hardenberg, C., et al.: Bare-Hand Human-Computer Interaction, *ACM PUI*, pp.1-8 (2001).
- 2) Kobayashi, M. and Koike, H.: EnhancedDesk: Integrating Paper Documents and Digital Documents, *APCHI*, pp.57-62 (1998).
- 3) Lee, T. and Höllerer, T.: Handy AR: Markerless Inspection of Augmented Reality Objects Using Fingertip Tracking, *IEEE ISWC* (2007).
- 4) Murakami, T.: Contact Water, *ACM SIGGRAPH*, n-space gallery (2001).
- 5) Prante, T., et al.: Hello.wall — Beyond Ambient Displays, *Ubicomp* (2003).
- 6) Sato, Y., et al.: Real-time input of 3D pose and gestures of a user's hand and its applications for HCI, *IEEE VR2001*, pp.79-86 (2001).
- 7) Vogel, D. and Balakrishnan, R.: Interactive Public Ambient Displays: Transitioning from Implicit to Explicit, Public to Personal, Interaction with Multiple Users, *UIST*, pp.137-146 (2004).
- 8) Wellner, P.: Interacting with Paper on the DigitalDesk, *Comm. ACM*, Vol.36, No.7, pp.86-97 (1993).
- 9) Wilson, A.D.: PlayAnywhere: A Compact Interactive Tabletop Projection-Vision System, *UIST*, pp.83-92 (2005).
- 10) 鈴木, 本田: アクティブ電子掲示板を用いた情報提示, 情報処理学会研究報告 (HI), Vol.2001, No.3, pp.79-86 (2001).
- 11) 田中ほか: 壁とパーソナル空間の交わりを情報環境にするシステム i-wall, 映像情報メディア学会誌, Vol.56, No.9, pp.1500-1505 (2002).

- 12) 山本, 佐藤: PALMbit: 掌への光投影を利用した身体インタフェース, 映像情報メディア学会誌, Vol.61, No.6, pp.797-804 (2007).
- 13) 深澤ほか: 壁型ディスプレイを用いた非接触対話型電子広告システム, 第14回インタラクティブシステムとソフトウェアに関するワークショップ (WISS 2006) 論文集, pp.65-70 (2006).

(平成 19 年 10 月 11 日受付)

(平成 20 年 4 月 8 日採録)



石井 陽子 (正会員)

2004 年電気通信大学大学院情報システム学研究科修士課程修了。同年日本電信電話(株)NTTサイバーソリューション研究所入社。現在, NTTアイティ株式会社勤務。電気通信大学大学院情報システム学博士課程在学中。実世界指向インタフェース, ヒューマンインタラクションに関する研究開発に従事。平成 17 年度電子情報通信学会学術奨励賞受賞。電子情報通信学会会員。



小林 稔 (正会員)

1990 年慶應義塾大学大学院(計測工学専攻)修士課程修了。同年日本電信電話(株)入社。1996 年米国マサチューセッツ工科大学大学院修士課程修了。現在, NTTサイバーソリューション研究所主幹研究員。主に, 映像を用いたコミュニケーションメディア, インタフェースの研究に従事。電子情報通信学会, 日本バーチャルリアリティ学会, 画像電子学会, 可視化情報学会, ACM, IEEE Computer Society 各会員。博士(工学)。



中茂 睦裕

2000 年岡山県立大学大学院情報系工学研究科修士課程修了。2005 年東京大学大学院工学系研究科博士課程修了。同年日本電信電話(株)入社。現在, NTTサイバーソリューション研究所勤務。主に, ヒューマンインタフェースに関する研究に従事。ヒューマンインタフェース学会, 日本バーチャルリアリティ学会各会員。博士(工学)。



小池 英樹 (正会員)

1991 年東京大学大学院工学系研究科情報工学専攻博士課程修了。工学博士。同年電気通信大学電子情報学科助手。1994 年同大学大学院情報システム学研究科助教授。1994~1996 年, 1997 年 U.C. Berkeley 客員研究員。2003 年 U. Sydney 客員研究員。情報視覚化の研究に従事。特に視覚化へのフラクタルの応用, Perceptual User Interface, 情報セキュリティへの視覚化の応用に興味を持つ。2006 年電気通信大学大学院情報システム学研究科教授。現在に至る。1991 年日本ソフトウェア科学会高橋奨励賞, 2000 年情報処理学会 DICOMO 2000 最優秀論文賞, 2001 年 IEEE VR2001 Honorable Mention for the Outstanding Paper Award 受賞。ACM, IEEE/CS, 日本ソフトウェア科学会, 日本バーチャルリアリティ学会各会員。