

# 赤外線画像認識のテーブルトップシステムにおける マルチユーザジェスチャの評価

須藤翔太<sup>†1</sup> 渋沢進<sup>†2</sup>

小会議や対面協調での作業を目的としてテーブルトップシステムの研究・開発が数多く行われている。本研究ではこれまで、赤外線画像認識によりユーザ位置を識別するテーブルトップシステムの開発を行ってきた。今発表ではさらにマルチユーザジェスチャとしてコピージェスチャの実装を行った。コピージェスチャは対象となるオブジェクトの複製を行う操作であり、異なる2名のユーザのシングルタッチによって行う。コピージェスチャの認識率実験と本システムのユーザビリティ評価実験を行った。その結果、コピージェスチャの平均認識率は85%となり、ユーザビリティ評価では、システム利用のための事前学習が容易で手軽に扱えることが評価された。

## Evaluation of Multi-User Gesture on Infrared Image Recognition Based Tabletop System

SHOTA SUTO<sup>†1</sup> SUSUMU SHIBUSAWA<sup>†2</sup>

Many tabletop systems have been developed to facilitate face-to-face collaboration and work at small meetings. We have developed a tabletop system so far which distinguishes user location by infrared image recognition. This paper presents implementation and evaluation of copy gesture which is one of multi-user gestures. Copy gesture is an operation to replicate a target object and performed by each single touch of two different users. We also performed usability evaluation experiments of this tabletop system. The results show that the average identification rate of copy gesture is 85%. The usability evaluation of this tabletop system shows that prior learning is light and it is easy to treat this system.

### 1. はじめに

人と人が協力しあうことで集団の意思を決定したり、ひとつの成果を出す際のやりとりには様々な方式が存在する。複数人が同じ空間に集まって作業する小会議やグループワークの場面において、テーブルトップシステムは対面協調作業可能なシステムである。テーブルトップシステムでは、表示されている情報に対して、全てのユーザが操作または閲覧が可能な状態にあり、ユーザはディスプレイに触れながらジェスチャを行うことで、多様な入力操作が可能である。テーブルトップシステムはマルチタッチ認識が可能で対面協調作業に適しているという特徴を持ち、数多くの研究が行われている。例えば、テーブルトップシステムにおけるインタラクション手法についての研究[1], [2]や、情報表示技術の開発[3], [4], 協調作業支援への応用[5], [6]など様々な研究である。

テーブルトップシステムでは、複数のユーザによるタッチジェスチャ操作により、オブジェクトの向きが多様になる。ユーザに対してオブジェクトの向きが正対していないと、文章や写真等の理解が困難になる場合がある。このような問題に対して、テーブルに付属する椅子や人にセンサデバイスを取りつけてユーザの位置を識別し、オブジェクトを操作するユーザの位置によって自動的に向きを補正す

る手法が提案されてきた[7]。しかし、このようなセンサデバイスをを用いてユーザの位置を識別する手法では、センサ装着の際の手間や煩わしさが発生したり、デバイスの使い方について学習する必要がある、また、センサの取り付け位置によってはユーザの位置や姿勢が制限されるなどの問題がある。

他方で、画像認識技術を用いて身体の部位の画像を抽出し、ユーザの身体動作を入力操作とするインタラクションシステムの研究が行なわれている[8]。このような画像認識を用いたインタラクションシステムでは、ユーザはセンサデバイス等の入力装置を身体に装着したり手に持つ必要がなく、ユーザに対して負担のかからないシステムを構築することができる。

本研究では、これまでテーブルトップシステムにおけるユーザ位置推定を画像認識によって行う手法を提案し、提案手法を取り入れたテーブルトップシステムの作成を行ってきた[9]。本研究では FTIR 方式のマルチタッチパネルを用い、ユーザのタッチ操作から、画像認識により接触点と手腕の領域情報を取得する。その後、両者の位置関係から接触点と手腕の関連付けを行う。手腕の領域情報からは、その手腕が伸びている方向が分かることから、その手に属している接触点の操作者の位置を推定する。また、本研究では、テーブルトップシステム上で動作する写真オブジェクト操作アプリケーションを実装する。写真オブジェクト操作アプリケーションは、画像データを写真オブジェクトとして読み込みテーブルトップ上に表示し、ユーザはタッ

<sup>†1</sup> 茨城大学大学院理工学研究科  
Graduate School of Science and Engineering, Ibaraki University  
<sup>†2</sup> 茨城大学工学部  
Faculty of Engineering, Ibaraki University

チ操作によってテーブルトップ上のオブジェクトを操作することができる。本システムはジェスチャ操作によりオブジェクトの向きをユーザに正対させる方向転換機能を持つ。また、異なる2人のユーザが1つのオブジェクトに対してそれぞれシングルタッチを行うことで対象のコピーを行うコピージェスチャを実装した。

これまで、本研究では複数ユーザが同時に作業を行う環境での機能が不十分であった。そこで今回は、複数ユーザのジェスチャによって実行されるコピージェスチャの実装を行い、その認識率実験と本システムのユーザビリティ評価実験を行った。その結果、平均のジェスチャ認識率は85%となり、ユーザビリティ評価では、システム利用のための事前学習が容易で手軽に扱える点で高評価を得た。

本稿では2.で本研究に関連するテーブルトップシステムの研究について述べる。3.では、提案するシステムと操作者位置推定手法について述べる。4.は実装したシステムについて述べる。5.では実装したシステムを用いた操作者位置識別に関する実験について述べる。6.で本研究のまとめと今後の課題について述べる。

## 2. 関連研究

テーブルトップシステムにおけるインタフェース開発やインタラクション研究は多岐に渡り、主に情報表示技術の開発や協調作業支援システムへの応用がある。テーブルトップシステムにおける情報表示技術の開発として、超音波式三次元トラッカを取り付けた帽子を身に着けたユーザの位置とディスプレイの位置関係を考慮し、提示する情報を利用者に対して常に正対して表示するシステム[3]がある。また、回転偏光板を取り付けたプロジェクタから発せられる光を、位置センサと偏光板を取り付けたメガネを通して見ることで、情報の可視性を制御するテーブルトップシステム[4]が挙げられる。

協調作業支援システムとしてはユーザ識別可能な多点認識テーブルトップディスプレイ[10]を用いて、ユーザ位置を特定し、その位置によってオブジェクトの向きを正対させることを機能の一部として持つシステム[7]がある。また、ペン型入力デバイスを用いて、異なる分野間の研究者の共同設計作業を支援するシステム[1]が報告されている。

超音波式三次元トラッカを用いた手法[3]や位置センサを取り付けたメガネを装着する手法[4]では、ユーザの位置識別のためにユーザに何らかのセンサデバイスを持たせたり、装着する必要がある。このようなウェアラブルセンサの必要性は、ユーザに対して手間や煩わしさを発生させる。これに対し本研究では、ユーザの身体にセンサデバイスを装着することなく、画像認識によってユーザ位置を識別するテーブルトップシステムを作製している。

## 3. システム構成

### 3.1 システム概要

本研究では、FTIR方式[11]により接触点認識を行うマルチタッチパネルを天板としたテーブルトップシステムを実装した。本システムは、テーブル上の赤外線の様子を撮影するためにテーブルの下方に赤外線 Web カメラを設置し、アクリルパネルを撮影する。また、ユーザに対して写真オブジェクトを表示する手段として、PCに接続されたプロジェクタからテーブル上のアクリルパネルに映像を投影する。

映像投影面となるアクリルパネルにはスクリーンの役目を果たすトレーシングペーパーが貼り付けられており、トレーシングペーパーへプロジェクタ映像を投影することでユーザに対して情報表示を行う。図1にシステムの構成を示す。

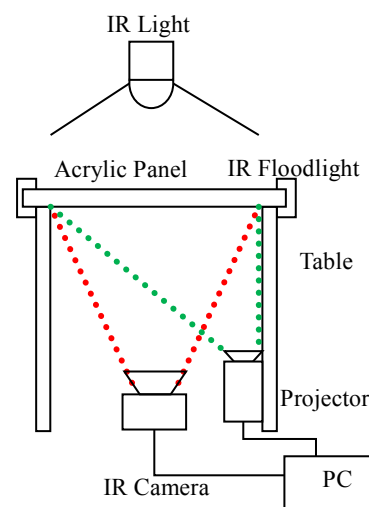


図1 システム構成

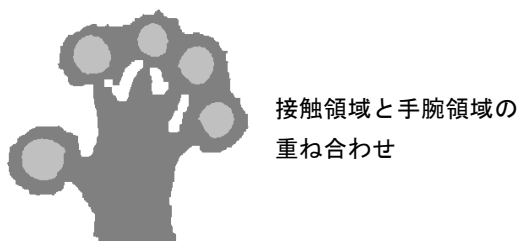
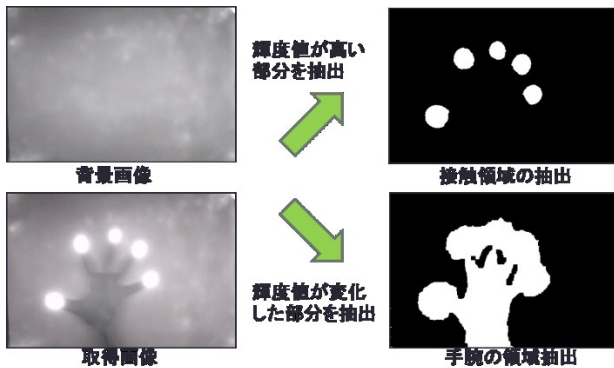
手腕の領域情報を取得するために、テーブル上方の天井に赤外線ライトを設置している。このライトが発する赤外線が手腕が遮ることで、手腕の領域となる赤外線の影がアクリルパネル上に発生し、その様子を赤外線 Web カメラで撮影する。

### 3.2 操作者の位置推定手法の概要

テーブルトップシステムでは一般に、ユーザはテーブルの端から手を伸ばしてオブジェクトの操作を行う。このとき接触点を操作する手腕がどちらの方向から伸びているかを判別することができれば、その接触点の操作者の位置を推定することができる。

FTIR方式の接触点認識では、赤外線 Web カメラによって白く光る接触点と手腕の領域が影として撮影される。このとき、輝度値に対して2種類の背景差分を行い、輝度値が背景よりも高い領域を接触領域、輝度値が変化した領域を手腕の領域として抽出する。こうして抽出された手腕の領域は接触領域を部分集合として持つ。ある接触点に着目

したとき、その接触領域を部分集合とする手腕の領域が存在し、その手腕の領域情報から手腕がどちらから伸びているかが判別可能である。このことから接触点が属する手腕の伸びる方向を通し、間接的に接触点と操作者の位置を結び付けて接触点の操作者位置推定を行う。各領域の抽出手法と操作者位置推定手法の概要を図 2 に示す。



下方に位置するユーザによるタッチ操作と判定

図 2 各領域の抽出と操作者位置推定

### 3.3 操作者の位置推定モデル

#### 3.3.1 接触点と手腕の位置関係

FTIR 方式の接触点認識方式では、接触点が白く光るとともに手腕の領域が赤外線の影響として撮影される。この画像に対し背景差分を行うと、接触領域と接触領域を含む手腕の領域を抽出することができる。図 3(a)に背景差分により抽出した接触領域画像を、図 3(b)に抽出した手腕の領域画像を示す。

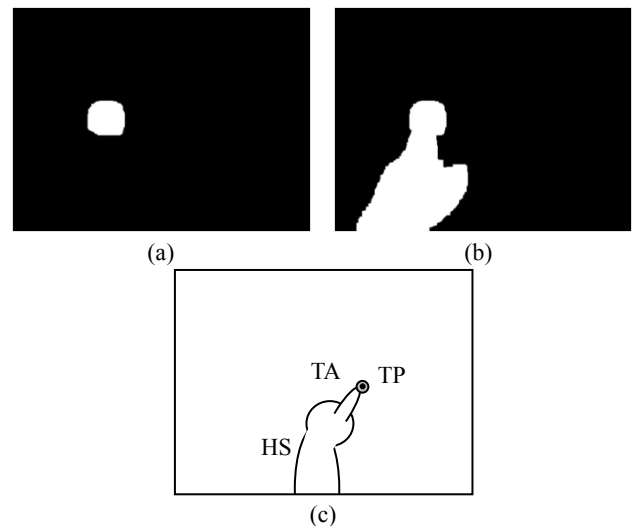


図 3 各領域の抽出と位置関係

接触領域  $TA$  (Touch Area), 接触点  $TP$  (Touch Point), 手腕の影  $HS$  (Hand Shadow) に着目し、その位置関係について図 3(c) に示す。図 3(c) において、手腕の影  $HS$  の指先が示す外側の円が接触領域  $TA$ , 内側の点が接触点  $TP$  を示している。本手法では接触領域の重心を接触点として算出する。

接触点  $TP$  は接触領域  $TA$  の重心であることから、 $TP$  は  $TA$  の要素として以下の関係が成り立つ。

$$TP \in TA \tag{1}$$

このとき、手腕の領域  $Hand$  を  $TA$  と手腕の影  $HS$  の和集合として定義する。

$$Hand \equiv TA \cup HS \tag{2}$$

式(2)より、 $Hand$  と  $TA$ ,  $HS$  について以下の包含関係が成り立つ。

$$TA \subset Hand \tag{3}$$

$$HS \subset Hand \tag{4}$$

式(1), 式(3)より、 $TP$  は  $Hand$  の要素として次の関係が成り立つ。

$$TP \in Hand \tag{5}$$

式(5)より、ある接触点に着目したとき、その接触領域を部分集合とする手腕の領域が存在する。

#### 3.3.2 操作者の位置推定のモデル化

本手法ではまず接触点  $TP$  と先に定義した手腕の領域  $Hand$  の対応関係を調べる。次に、対応する  $Hand$  が示す領域が画像中のどの辺から伸びているかを判別し、その方向を接触点と対応付けることで操作者の位置推定を行う。図 4 に操作者位置推定の際のモデルを示す。

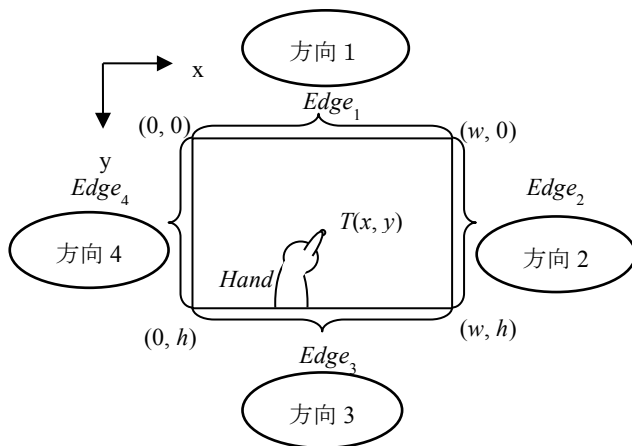


図 4 操作者位置推定のモデル

図 4 の操作者位置推定のモデルにおいて、画像の大きさを幅  $w$ 、高さ  $h$  とする。テーブルトップの 4 辺に対応する方向を  $d(d = 1, 2, 3, 4)$  で表す。このとき、方向  $d$  に対応する辺の座標集合  $Edge_d$  は以下のように表すことができる。

$$Edge_1 = \{(i, 0) | 0 \leq i \leq w\}$$

$$Edge_2 = \{(w, j) | 0 \leq j \leq h\}$$

$$Edge_3 = \{(i, h) | 0 \leq i \leq w\}$$

$$Edge_4 = \{(0, j) | 0 \leq j \leq h\}$$

### 3.4 操作者の位置推定手法

#### 3.4.1 接触点を操作する手腕領域の特定

テーブルトップ上の手腕の領域は複数個存在する場合がある。個別に手腕の領域を認識するために、連結した画素の領域に対してラベリングを行い、各手腕の領域にラベル  $L$  を貼付する。

ある接触点  $TP$  に着目したとき、式(5)よりその  $TP$  の座標を要素とする手腕の領域  $Hand$  が存在する。ラベリング結果より接触点  $TP$  の座標に対応するラベル  $L[TP(x, y)]$  を抽出する。 $L[TP(x, y)]$  は接触点  $TP$  を操作する手腕の領域ラベル  $L[Hand]$  と同じ値である。

#### 3.4.2 手腕の方向判別

図 3 (b)より  $Hand$  は画像の各辺に繋がる連続した領域を持っている。そこで、 $Hand$  がどの辺に繋がっているかを判別することで、その  $Hand$  がどの方向から伸びているかを識別することができる。しかし、ジェスチャ操作の際にユーザがテーブルトップを覗き込むような姿勢をとると、上半身の影が映りこみ、影領域が複数の辺にかかる場合がある。覗き込みによる上半身の映り込みの様子を図 5(a)に、その際の影領域の抽出結果を図 5(b)に示す。

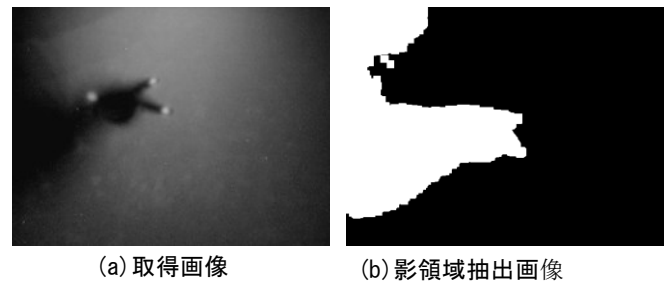


図 5 覗き込みによる影領域

このような場合を考慮して、着目する手腕を含む影領域がかかる各辺の画素数を比較し、最大となる辺を手腕の伸びる方向として判別する。まず、各辺のラベル  $L[Edge_d]$  を走査し、先に導いた  $L[Hand]$  と同値となるラベルを持つ画素の数  $Pixel_d$  を計算する。その後、 $MAX[Pixel_d]$  となる  $d$  を導くことで、 $Hand$  が方向  $d$  から伸びていると判定し、接触点  $TP$  の操作者位置を方向  $d$  と識別する。

図 5 の例では、接触点  $TP$  は  $Edge_4$  にかかる  $Hand$  の画素数  $Pixel_4$  が最大値を取ることから、方向 4 に位置するユーザによる操作と判定する。

## 4. システム実装

### 4.1 テーブルトップ

作成したテーブルトップは高さ 70cm、天板の大きさが 100cm×90cm で、ディスプレイの範囲は 60cm × 50cm である。作成したテーブルトップを図 6 に示す。

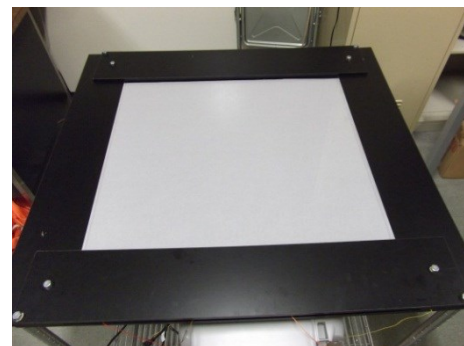


図 6 テーブルトップ

### 4.2 写真オブジェクト操作アプリケーション

本研究では、タッチジェスチャにより写真オブジェクト操作を行うアプリケーションの実装を行った。写真オブジェクト操作アプリケーションは、画像データを写真オブジェクトとして読み込みテーブルトップシステム上に表示する。ユーザはタッチジェスチャを入力操作とし、アプリケーションはその操作を反映した結果を生成する。タッチジェスチャとその内容を表 1 に示す。また、各タッチジェスチャに対するシステムの動作を以下に示す。

- オブジェクトの移動

オブジェクトに 1 本指で触れた状態で、指先を移動させ

ることでオブジェクトの移動を行う。システムは指の移動を検出し、指の移動した方向へ指の移動量だけオブジェクトを移動させる。

● オブジェクトの拡大・縮小

オブジェクトに2本指で触れた状態で指先の間隔を広げたり、狭めたりすることでオブジェクトの拡大・縮小を行う。システムは2本の指の移動を検出し、指の間の距離が長くなることでオブジェクトの拡大、短くなることでオブジェクトの縮小を行う。

● オブジェクトの回転

オブジェクトに2本指で触れた状態で傾けるような動作を行うことでオブジェクトの回転を行う。システムは2本の指の傾きから回転角を算出し、オブジェクトを回転させる。

● オブジェクトの方向転換

オブジェクトを3点タッチすることで、オブジェクトの向きを操作者に正対させる。図7にオブジェクトの方向転換の例を示す。

● オブジェクトのコピー

異なる2人のユーザが1つのオブジェクトに対してそれぞれシングルタッチを行うことで対象のコピーを行う。オブジェクトのコピー操作の手順は以下のようになる。

1. ユーザ A がコピー対象のオブジェクトにシングルタッチを行い維持する。
2. ユーザ B がコピー対象のオブジェクトにシングルタッチを行う。
3. ユーザ A がシングルタッチを行っているオブジェクトがコピーされ、コピーされたオブジェクトはユーザ B の接触点座標を中心として配置される

図8にコピージェスチャの例を示す。

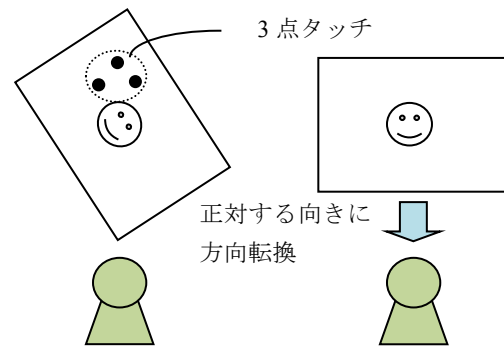


図7 方向転換ジェスチャ

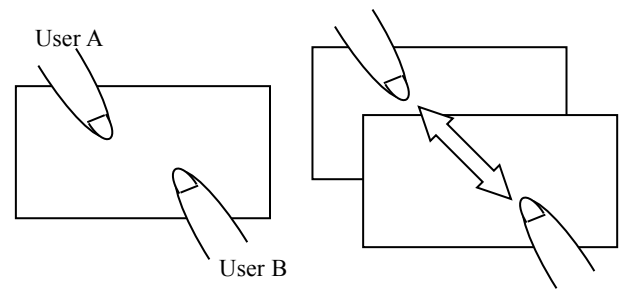


図8 コピージェスチャ

表1 タッチジェスチャ

操作	ユーザ数	タッチ数	操作内容
移動	1	1	オブジェクトを移動させる
拡大・縮小		2	オブジェクトの大きさを変更する
回転			オブジェクトを回転させる
方向転換		3	オブジェクトの向きを操作者に正対させる
コピー	2	2	対象のオブジェクトをコピーする

## 5. 評価実験

コピージェスチャの認識精度測定と本システムのユーザビリティ評価のため被験者実験を行った。ユーザビリティ評価には SUS(System Usability Scale)評価法[12]を用いてアンケート調査を行った。

### 5.1 実験環境

太陽光による赤外線の影響を考慮し、日没後の夜間に実験を行った。4.1において作製したテーブルトップを部屋の中央に設置し、その上方の天井に赤外線ライトを2つ配置している。赤外線ライトは1ユニットの長さが90cmで、6つの赤外線LEDを等間隔に配置している。赤外線ライト同士の配置間隔を70cmとした。天井からテーブルトップ天板までの距離は185cmである。赤外線ライトを図9に、実験環境について図10に示す。



図9 赤外線ライト





図 10 実験環境

### 5.2 コピージェスチャの認識精度実験の結果と考察

コピージェスチャについて被験者実験を行い、その認識率を測定した。8名の被験者を4名ずつに分けテーブルの各辺に配置し、向かい合わせの2名と隣同士の2名の2通りの組み合わせでコピージェスチャを行いその正答率を計測した。ジェスチャを行った回数を  $d_{act}$ 、システムがコピージェスチャを認識した回数を  $d_{detect}$  とするとき、認識率を式(6)によって求めた。

$$\text{認識率} = \frac{d_{detect}}{d_{act}} \times 100 [\%] \quad (6)$$

被験者8名による各組合せのコピージェスチャの認識率を図11に示す。コピージェスチャの認識率の全体平均は約85%であった。

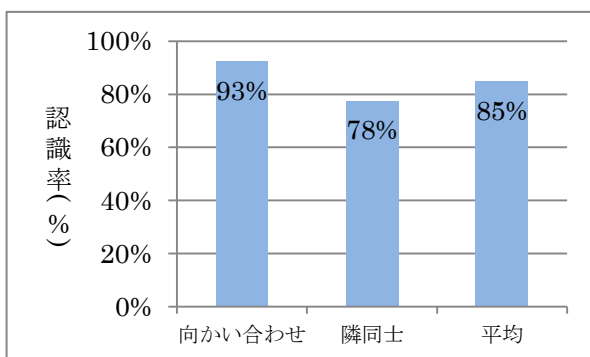


図 11 コピージェスチャの認識率

ジェスチャの認識が失敗した例として、2人のユーザの

うち片方のユーザの方向識別が行えなかった場合があった。図12に片方のユーザの方向識別が不可能な場合について示す。

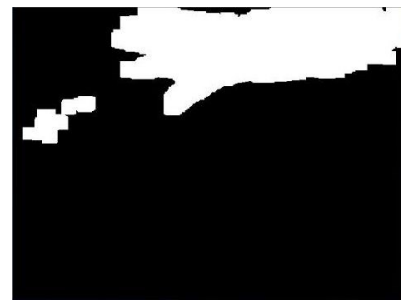


図 12 片方のユーザの方向識別が不可能な場合

図12は向かい合わせの2人のユーザが1つのオブジェクトに対してコピージェスチャを行っている様子である。画像右側に位置するユーザの手腕の影領域からは操作者の位置識別が可能であるが、向かい側のユーザの手腕の影領域からは操作者の位置識別は不可能である。本システムでは2点タッチジェスチャを行う際、両方の接触点のユーザの方向が識別済みかつ異なる場合にコピージェスチャと判定している。図12の場合では、背景初期化の処理の際にユーザの頭部が映りこみ影を作っていたため、背景領域に暗い部分が発生していた。そのため手腕の影領域が背景の暗い部分と判別が付かなくなり、ユーザの方向識別が不可能になっていた。

### 5.3 ユーザビリティ評価実験の結果と考察

被験者がシステムを5分ほど自由に動かした後アンケート調査を行った。アンケート項目はSUS評価法に基づいた質問を設置した。また末尾に自由記述欄を設けた。SUS評価法による各項目のスコア平均を図13に示す。

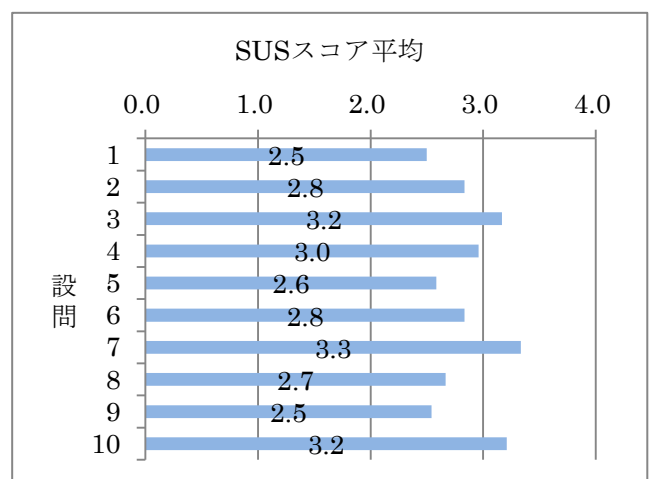


図 13 SUS評価法による各項目のスコア平均

SUS評価法による評価点は100点中平均して71.6点であった。設問3「このシステムは容易に使えると思った」お

よび設問7「たいていのユーザは、システムの使用方法について短時間で学習できると思うか」、設問10「このシステムを使い始める前に多くのことを学ぶ必要があった」が高いスコアを得ていることから、本システムは利用のための事前学習が容易で手軽に扱えるシステムであることが評価されていると考えられる。

また、自由記述欄の意見として「ユーザ識別の結果をユーザに提示してはどうか」といった意見が挙げられた。これについて、テーブル面に接触する前の手腕を検出し操作者位置識別を行い、その結果をカーソルとして視覚的にユーザへ通知を行う。これにより、ユーザに対してシステムの認識を提示することで、操作性の向上に繋がるのではないかと考える。

## 6. おわりに

本研究では画像認識を用いてテーブルトップシステムにおけるユーザの位置を識別する手法に従ってユーザ位置識別可能なテーブルトップシステムを作成した。また、テーブルトップシステム上で動作する写真オブジェクト操作アプリケーションを実装した。コピージェスチャの認識精度実験と本システムのユーザビリティ評価実験を行った。被験者がコピージェスチャを行い、システムのジェスチャ認識結果を記録することで認識率を算出した。その結果、コピージェスチャによる認識率の平均は約85%であった。本実験における認識の失敗は、背景初期化処理に原因があると考えられる。背景初期化処理の際にユーザの頭部が映りこんで影を作っていたために、背景領域に暗い部分が発生していた。そのため手腕の影領域が背景の暗い部分と判別が付かなくなり、ユーザの方向識別が不可能になっていた場合があった。

今後の展望として、写真オブジェクト操作アプリケーションとしての機能の充実、オブジェクトの削除機能やユーザ毎のカーソル表示による視覚的な補助機能の追加や操作者位置識別を活かしたジェスチャ機能の追加が挙げられる。

## 参考文献

- 1) Clifton, P., Mazalek, P., Sanford, J., Rébola, C., Lee, S. and Powell, N.: SketchTop: design collaboration on a multi-touch tabletop, TEI'11, pp.333-336 (2011).
- 2) Haller, M., Brandl, P., Leithinger, D., Leitner, J., Seifried, T. and Billingham, M.: Shared Design Space: Sketching ideas using digital pens and a large augmented tabletop setup, *Advances in Artificial Reality and Tele-Existence*, pp.185-196 (2006).
- 3) 山口徳郎, ミゲルナセンタ, 櫻井智史, 伊藤雄一, 北村喜文, スリラムサブ라마ニアン, カールグトウィン, 岸野文朗: 利用者とディスプレイの位置関係を考慮したパースペクティブ表示, *電子情報通信学会論文誌*, Vol.J91-D, No.12, pp.2746-2754 (2008).
- 4) 櫻井智史, 北村善文, スリラムサブ라마ニアン, 岸野文朗: 回転偏向フィルタにより情報の可視性を制御するテーブルトップ型ディスプレイ, *情報処理学会論文誌*, Vol.50, No.1, pp.332-343 (2009).

- 5) 船本直, 杉山公造: ゼミ型講義におけるテーブルトップ型グループディスカッション支援と評価, 第6回知識創造支援システムシンポジウム報告書, pp.119-126, (2009).
- 6) 大橋誠, 伊藤淳子, 宗森純, 松下光範, 松田昌史: テーブルトップインタフェースを用いた発想支援システムの開発と適用, *情報処理学会論文誌*, Vol.49, No.1, pp.105-115 (2008).
- 7) 北原圭吾, 丸山祐太, 井上智雄, 重野寛, 岡田謙一: 操作者を識別可能な協調学習用多点認識テーブルトップインタフェース, *情報処理学会研究報告*, Vol.2006, No.34, pp.61-66 (2006).
- 8) 間宮暖子, 佐藤俊樹, 福地健太郎, 小池英樹: 指の開閉動作を用いた多人数向けテーブルトップエンタテインメントシステムの実装, *WISS2007* (2007).
- 9) Suto, S. and Shibusawa, S.: A tabletop system using infrared image recognition for multi-user identification, *INTERACT2013* (2013).
- 10) Dietz, P. and Leigh, D.: DiamondTouch: A multiuser touch technology, *ACM Symposium on User Interface Software and Technology (UIST)*, pp.219-226 (2001).
- 11) Han, J. Y.: Low-cost multi-touch sensing through frustrated total internal reflection, *Proc. of the 18th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology (UIST)*, pp.115-118 (2005).
- 12) Brooke, J.: SUS-A quick and dirty usability scale, *Usability Evaluation In Industry*, CRC Press, pp.189-194 (1986).