

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

須藤翔太[†] 渋沢進^{††}

テーブルトップシステムにおいて、ユーザ位置の識別のために身体にセンサデバイスを取りつける手法が多く用いられている。このような手法では、センサ装着の際の手間や煩わしさが発生したり、センサの取り付け位置によってユーザの位置や姿勢が制限されるなど問題がある。そこで本研究では、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する。本提案手法ではまず、ユーザのタッチ操作から、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、その手腕に属する接触点の操作者の位置を推定する。また、本研究では、提案手法を取り入れたユーザの位置を識別する機能を持つテーブルトップシステムの実装を行なった。

Tabletop System to Identify the User Position by Image Recognition

Shota Suto[†] and Susumu Shibusawa^{††}

Many tabletop systems are using sensor devices installed on the human body to identify the user position. Such a method includes the following problems: time and effort to install sensors; the restriction of user's position and posture depending on the sensor position. This paper presents a multi-touch tabletop system by an FTIR method that identifies user's position using an image-recognition technique, and evaluates the performance of the system. Using an image-recognition technique, this system acquires the touch points and hand area from a user's touch operation, and relates the touch points with the hand. The direction of hand can be derived from the hand area, and the user's position is identified from the direction of hand.

1. はじめに

テーブルトップシステムは、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、対面協調作業可能なシステムとして注目が集まっている。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、多彩な入力操作が可能である。これらの特徴を活かした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]などの研究が行われている。

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は多様になる。ユーザに対してオブジェクトの向きが正対していない場合では、文章や写真等の理解が困難になる。このような問題に対して、人やテーブルに付属する椅子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で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用いてユーザの位置を識別する手法[8]では、センサ装着の際の手間や煩わしさが発生する、デバイスの使い方について学習する必要がある、センサの取り付け位置によって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[9]。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。

そこで本研究では、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なう手法を提案する。本提案手法ではFTIR方式のマルチタッチパネル[10]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、提案手法を取り入れたユーザ位置識別機能を持つテーブルトップシステムの作成を行い、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。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する。

[†] 茨城大学大学院理工学研究科
Graduate School of Science and Engineering, Ibaraki University

^{††} 茨城大学工学部
Faculty of Engineering, Ibaraki University

ユーザはタッ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。

本提案手法を評価するために、6名の被験者がテーブルトップの各方向から方向転換ジェスチャを行うことで、操作者位置の識別率についての実験を行った。その結果、方向転換ジェスチャによる操作者位置の識別率の平均は約80%であった。本実験により、提案する画像認識による操作者位置の識別が可能であることを確認した。

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について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.で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、利用者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]などが挙げられる。

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 [8]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。

上記システムは、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提案する。

3. 提案システム

3.1 システム構成

本研究では、FTIR方式[10]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設計する。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なう。図1にシステムの構成を示す。

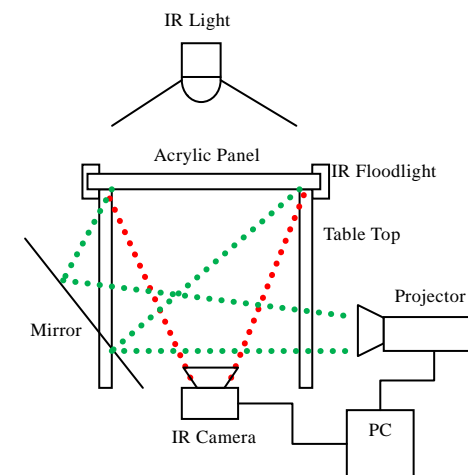


図1 システム構成

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発生し、その様子を赤外線 Web カメラで撮影する。本研究では赤外線ライトとして、同様の働きを持つ蛍光灯を使用する。

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。

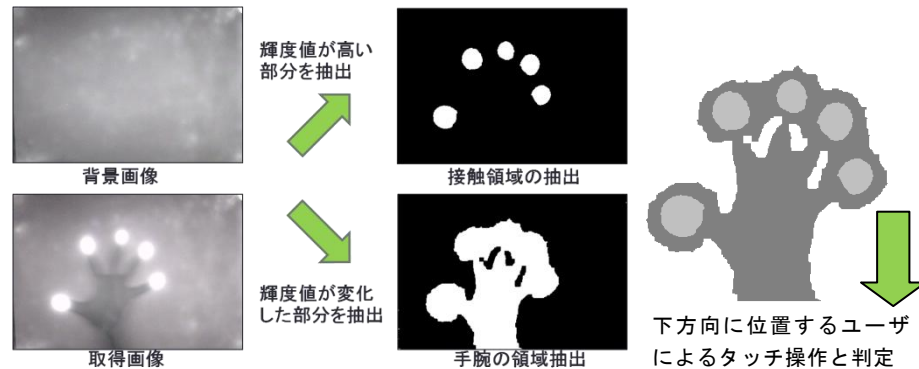


図2 各領域の抽出と操作者位置推定

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様子と、手腕の領域が赤外線の影として撮影される。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。

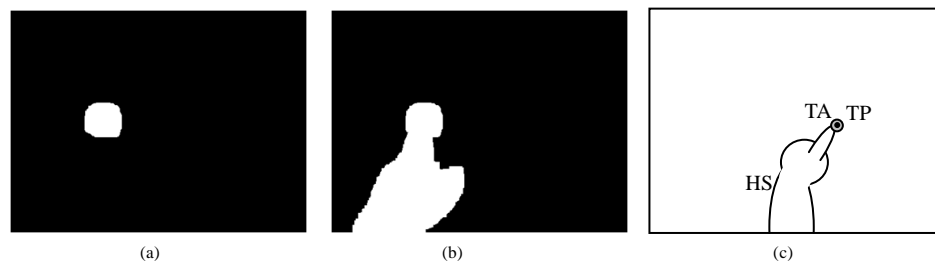


図3 各領域の抽出と位置関係

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 , 内側の円が接触点 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。

$$TP \in TA \quad (1)$$

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。

$$Hand = TA \cup HS \quad (2)$$

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

$$TA \subset Hand \quad (3)$$

$$HS \subset Hand \quad (4)$$

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

$$TP \in Hand \quad (5)$$

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に操作者位置推定時のモデルを示す。

画像の大きさは幅 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方向 d ($d = 1, 2, 3, 4$) とする。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。そこで、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 $L[Hand]$ に

相当し, 2つのラベルは同じ値をとる.

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. この時 *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判別することができる. そこで, 画像の各辺のラベルを走査し, 先に導いた $L[Hand]$ と同値となるラベルを持つ辺を見つけ出す.

$L[Hand]$ と同値となるようなラベルを持つ $Edge_d$ を見つけ出すことで, *Hand* が方向 d から伸びていると判定し, 接触点 TP の操作者位置の方向を方向 d と判定する. 図3の例では, 接触点 TP は $Edge_3$ にかかる *Hand* の領域に含まれているから, 方向3に位置するユーザによる操作と判定する.

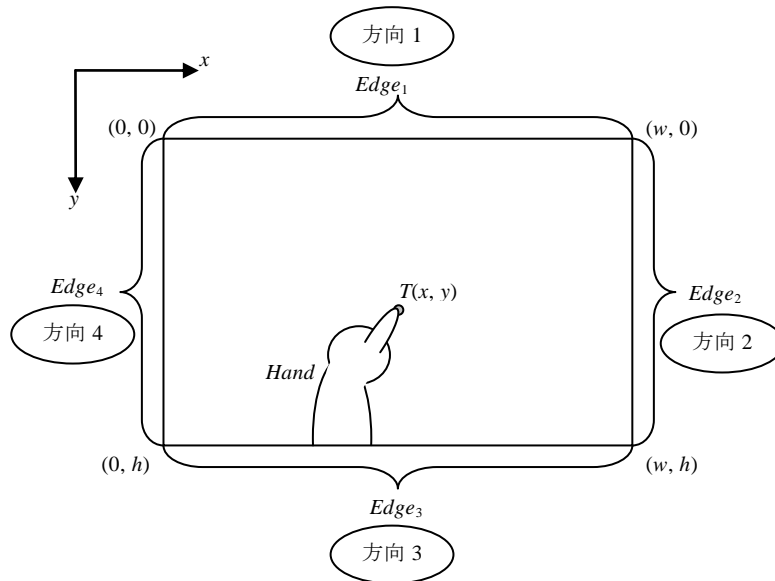


図4 操作者の位置推定のモデル

4. システム実装

4.1 テーブルトップシステム

作成したテーブルトップシステムは高さ 78cm, 天板の大きさが 53cm × 36cm である. ディスプレイの操作範囲は 38cm × 28cm で, プロジェクタと鏡の位置関係で調節が可能である. 作成したテーブルトップを図5に示す.

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6にオブジェクトの方向転換の例を示す.

表1 タッチジェスチャ

操作	タッチ数	操作内容
移動	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



図 5 テーブルトップ

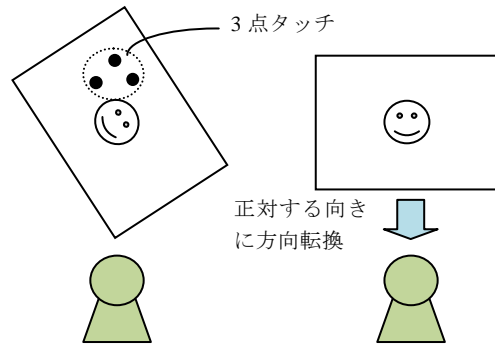


図 6 方向転換ジェスチャ

5. 評価実験

5.1 操作者識別の評価実験

3点タッチによる方向転換ジェスチャについて被験者実験を行い、操作者位置の識別率を求めた。実験では、ジェスチャ操作について説明を行なった後に、被験者6名がテーブルトップシステムの上下左右の方向からジェスチャ操作を20回ずつ行った。その際、システムの判定と実際のユーザの位置を比較し、操作者位置の識別率を求めた。ジェスチャを行った回数を d_{act} 、システムの判定とユーザの位置が一致した回数を $d_{correct}$ とするとき、操作者位置識別率を式(6)によって求める。

$$\text{識別率} = \frac{d_{correct}}{d_{act}} \times 100 [\%] \quad (6)$$

5.2 結果と考察

被験者6名による各方向からの方向転換ジェスチャの識別率の平均を図7に示す。方向転換ジェスチャの識別率の平均は約80%であった。

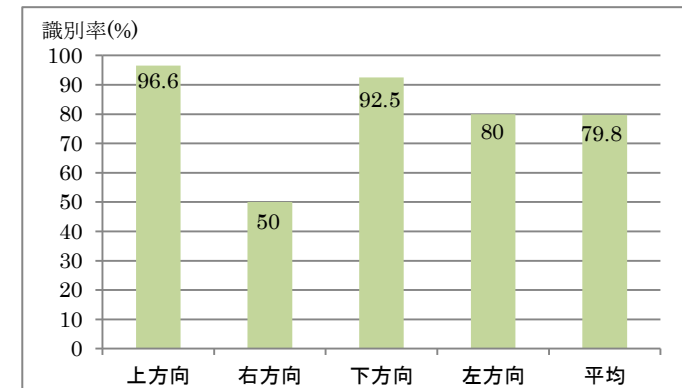


図 7 方向転換ジェスチャの識別率

実験結果を大別すると上下方向は識別率が高く、左右方向は識別率が低くなっている。実験における上下方向はタッチパネルの長辺に位置し、左右方向は短辺に位置している。そのため、左右方向からの操作は2辺にまたがって手腕領域が検出される場合が多く見られた。図8にその一例を示す。



(a) 取得画像



(b) 手腕領域抽出画像

図 8 左方向からの操作の例

図8は左方向に位置する操作者からの方向転換ジェスチャ操作の様子を示している。図8のように2辺にまたがって手腕の領域が検出された場合、辺の走査順によってその操作者位置を判定しているため、システムの判定では下方向に位置するユーザの操作と判定し、誤判定が起きる。このような誤判定を防ぐ手法として、辺にかかる手腕

領域の画素数を比較し、領域が大きい辺を操作者方向と判定するなどの方法が考えられる。

また、図 7 からは右方向の識別率が他方向に比べ顕著に低いことがわかる。その原因として、実験時の右方向の位置は壁に近かったため、壁に反射した赤外線が操作者位置推定に影響したことが考えられる。壁に反射した赤外線は操作者によって遮られ、影として撮影される。また、ユーザの覗き込み等の動作により手腕以外の赤外線の影が撮影される。図 9 にその例を示す。

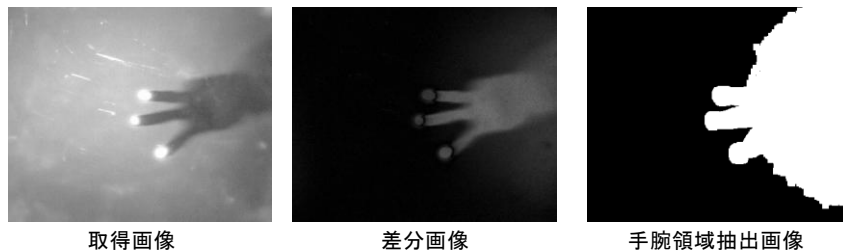


図 9 右方向からの操作の例

図 9 のように手腕以外の赤外線の影が撮影されることで、システムでは影全体の領域を手腕領域として抽出し、誤判定を起こす場合がある。このようなノイズとなる領域では、輝度値の差分は比較的小さい。そこで、テーブルトップ設置環境に応じて手腕領域抽出の閾値を適切に設定することで、このような誤検出を抑える必要がある。

6. おわりに

本稿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を提案し、ユーザ位置識別可能なテーブルトップシステムの作成を行なった。本研究における操作者位置推定は、赤外線画像認識を用いてユーザの接触点と手腕の領域情報を取得し、その位置関係から両者を関連付けする。手腕の領域からは手腕の伸びる方向を推定することができ、その手腕と関連付けされた接触点の操作者を推定する。本研究ではユーザ位置識別可能なテーブルトップシステムの作成を行ない、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。本システムは画像データを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。ジェスチャ操作として移動・拡大縮小・回転と方向転換操作を実装した。

本提案手法を評価するために 6 名の被験者が 4 方向から方向転換ジェスチャを行い、操作者位置の識別率を算出した。その結果、方向転換ジェスチャによる操作者位置の識別率の平均は約 80%であった。このことから、提案する画像認識による操作者位置推定が可能であることを確認した。認識率低下の主な原因としては、手腕領域の誤検出が考えられる。外光や赤外線が壁に反射し、その光をユーザが遮ることでテーブルトップ上に手腕の影以外の影領域が発生する。これにより、手腕領域以外の影を手腕領域として抽出してしまい操作者位置の誤判定が起こる場合があった。

今後の課題として、手腕領域の誤検出を抑えることで操作者位置の識別精度の向上が挙げられる。具体的には、手腕方向判定アルゴリズムの改良や、手腕検出の閾値設定の見直しを行う。今後の展望としてタッチパネルの大型化や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 Billinghurst, 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लग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, 北村喜文, 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) Dietz, P. and Leigh, D.: DiamondTouch: A multiuser touch technology, ACM Symposium on User Interface Software and Technology (UIST), pp.219-226 (2001).
- 9) 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.
- 10) 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, pp. 115-118, 2005.