

# 円筒型マルチタッチインタフェース

内藤 真樹<sup>†</sup>, 小林 敦友<sup>††</sup>, 志築 文太郎<sup>††</sup>, 田中 二郎<sup>††</sup>

<sup>†</sup> 筑波大学 第3学群 情報学類 <sup>††</sup> 筑波大学大学院 システム情報工学研究科 コンピュータサイエンス専攻

我々は、円筒側面を操作面に利用した円筒型マルチタッチインタフェースを提案する。このインタフェースでは操作空間が円柱座標系となるため、操作面は2次元ではあるが、その曲面の奥行きを使用することで3次元に対する操作が可能である。さらに、マルチタッチであることを利用し、両手を使ってオブジェクトの操作やカメラの操作を自然に行うことが出来る。

## Cylindrical Multi-touch Interface

Masaki NAITO<sup>†</sup> Atsutomo KOBAYASHI<sup>††</sup> Buntarou SHIZUKI<sup>††</sup> Jiro TANAKA<sup>††</sup>

<sup>†</sup> College of Information Science, University of Tsukuba

<sup>††</sup> Department of Computer Science, Graduate School of Systems and Information Engineering,  
University of Tsukuba

We introduce cylindrical multi-touch interface which utilizes the cylinder wall as controlling surface. Even though the controlling surface is still two dimensional surface, since the control area of the interface is a cylindrical polar coordinates, the use of the depth along the surface enables users to interact to three dimensional space. Moreover, the nature of multi-touch interface enables users to manipulate objects and camera with both left and right hand.

### 1 はじめに

近年、複数の指や手のひらを使って同時に触ることにより操作するマルチタッチインタフェースの研究・開発が進められている。また、複数の指や手のひらなどを使った操作を行うことによって従来のシングルポインティングデバイスによる操作とは違い、より自然で直感的な操作をジェスチャ等で行うことができ、その手法の研究も多く存在する<sup>4) 7)</sup>。さらに、複数人からの同時入力が可能なことからテーブルトップの研究分野にて、協調作業やコミュニティ、学習支援等の研究も行われている<sup>3) 5) 6)</sup>。また他にも、小型携帯デバイスへの応用も研究されており、これらはアップル社の iPod touch 等で実用化がなされている。しかし、既存のマルチタッチインタフェースは操作面として平面を使用しており、その操作対象も平面であることがほとんどである。

これに対して本研究では、円筒曲面の操作面を備える円筒型マルチタッチインタフェースを作成した。円筒型マルチタッチインタフェースでは、既

存研究で挙げられているマルチタッチインタフェース特有の操作に加えて、インタフェース本体に対して“抱きつく”や両手で“はさむ”といった、従来の平面型のマルチタッチインタフェースとは異なる操作が可能になる。また、円筒の側面から奥部にかけての操作面の奥行きを利用することにより3次元物体の操作を行うことができる。

本稿では、我々が作成した円筒型マルチタッチインタフェース、およびこれを利用したアプリケーションについて報告する。

### 2 円筒型マルチタッチインタフェース

円筒型マルチタッチインタフェースには、従来のシングルポインティングデバイスによる GUI や、平面型のマルチタッチインタフェースと異なり、以下の特徴がある。

- 作業領域の連続性

円筒型であることから左右への作業領域に途切れがないことが挙げられる。ユーザがデバイスの周りを 360 度自由に動くことにより、

没入方の VR 環境とは逆の、全方位から対象への操作が可能になる。

- 奥行きを利用した 3 次元的な操作性

入力に使用する操作面は曲面という 2 次元であるが、操作面自体が曲がっているためユーザの位置に対して奥行きを利用する 3 次元的な操作感を与えることができる。また、このインタフェース自体が奥行きを持っていることにより、従来の平面型マルチタッチインタフェースにおいては“触る”と表現される動作に加えて“抱きつく”、“はさむ”といった操作も可能になる。

図 1 にこの円筒型マルチタッチインタフェースの概略図を示す。

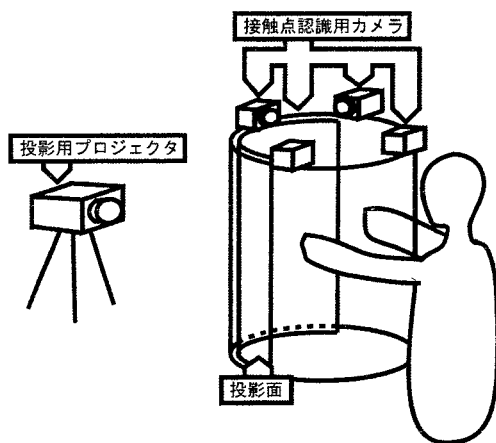


図 1 円筒型マルチタッチインタフェースの概略

## 2.1 タッチパネルのデザイン

ユーザに自然な操作を提供するために以下の設計方針を定めた。

- ユーザが特殊な装置を身に着けずに操作が行えること。
- 両手による操作が行えること。
- 従来のマウスによる操作を負担なく行えること。
- ユーザに操作の結果を示すための情報表示を行うこと。

これらの方針を満たすために、我々は Han の方式<sup>2)</sup>に基づきマルチタッチインタフェースを作成した。

Han の方式ではアクリル素材および赤外線を用いる。アクリルに赤外線を照射することにより、アクリルの内部に入った赤外線がアクリルと空気の屈折率の関係によりアクリルの内部で全反射を起こす。しかし、そのアクリルの表面をユーザが触れると、接触点において全反射が止まり拡散反射が起こる。この拡散反射した赤外線を撮影することによって接触点を認識することができる。これによってユーザは何も特殊な装置を身に着けることなく素手による操作が可能となる。我々はこのアクリル素材としてアクリルパイプを用いた。

また、両手による操作として“抱きつく”ようにインタフェースを覆う操作を可能にするためにアクリルパイプは直径 600mm、高さ 1000mm の大きさとした。これは一般的な成人に対して“抱きつく”ような両手を伸ばして行う操作の際に十分作業領域を確保することができる大きさである。

マウスの操作に関してはマウスエミュレータアプリケーションを作成し、マルチタッチインタフェースによってマウス操作を行えるようにした。詳細は 3 章に記す。

情報表示に関しては、マルチタッチインタフェースがアクリルであることを利用し、円筒の奥部へトレーシングペーパーを貼り、円筒後方に設置したプロジェクタから背面投影することにより、実現した。カメラによる赤外線の拡散反射の認識はトレーシングペーパー越しにも問題なく行うことができ、操作面との競合も問題はない。

## 2.2 タッチパネルの実装

赤外線照射に関しては図 2 に示すように、アクリルパイプの上部切断面に赤外線 LED42 個を約 4cm 間隔で均等に配置した。

今回、我々は赤外線 LED に赤外線のピーク発行波長が 870nm の東芝製 TLN231 を使用し、カメラには波長が 860nm 以下の可視光を除去する赤外線透過フィルタを装着した。これによって可視光を除く赤外線のみを撮影できる。赤外線のみを撮影することにより、投影画像の色空間を制限することなく色の変化に対して精度のよい接触点の識別をすることができる。

また、赤外線 LED からもれた赤外線やアクリル

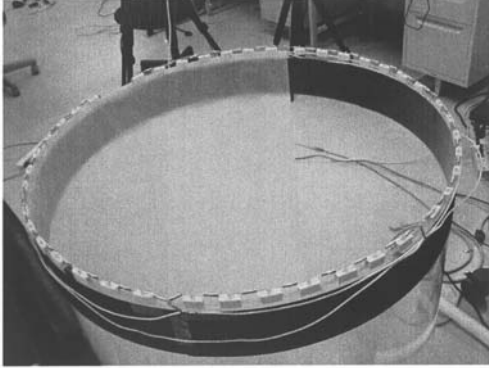


図 2 インタフェース上部に配置した LED

の断面に当たり反射した赤外線がカメラが取得してしまうため、アクリルパイプの断面には黒色のビニールと断衝材を被せて遮光した。

円筒面全体を撮影するためにカメラを複数個用いることとした。4つのカメラを円筒上部に円の中心に向けて設置した場合、各カメラの画角が45度以上である必要がある。そこでカメラには、広角71度のレンズを備えたUSBカメラのMicrosoft®LifeCam VX-6000を使用した。

### 2.3 システム構成

図3に円筒型マルチタッチインタフェースのシステム構成を示す。このシステムは以下の3つの処理部からなる

- USBカメラからの画像を解析し、接触点の座標を得る画像解析部
- 解析したデータをマルチタッチインタフェース

画像投影用プロジェクタ

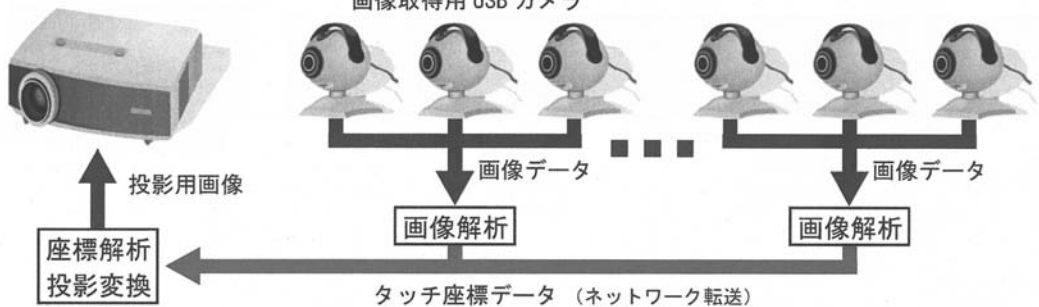


図 3 円筒型マルチタッチインタフェースのシステム構成

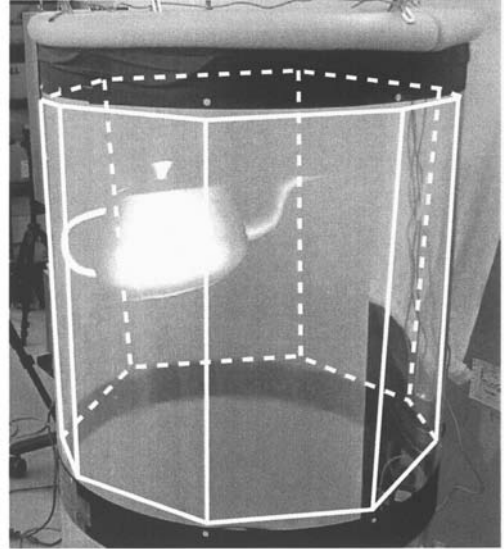


図 4 アクリルパイプの近似八角柱

スの操作を行うための情報に整理する座標解析部

- アプリケーションの情報表示用に投影画像を補正する投影変換部

画像解析部と座標解析部・投影変換部を分離し、ネットワーク上の別の計算機により処理を行っている。これにより、より大きなインタフェースに適応しカメラの台数が増える際や、高負荷のアプリケーションを実行する際にも対応できる。

### 2.3.1 画像解析

画像解析部ではUSBカメラによって撮影した画像から接触領域を認識し、その重心座標を得る。重心位置の取得は、接触領域の面積が小さいものや明度が暗いものはノイズとみなして行わなかった。

また撮影対象が円筒曲面であることにより、撮影した画像上の座標から対応する円筒上の座標への変換も行う必要がある。この変換は円筒曲面をアクリルパイプに内接する八角柱に近似することで行っており、今回は図4に示すように八角柱にて近似を行っている。各カメラは八角柱の面をそれぞれ2面ずつ正面に捉えて撮影し、図5に示すような2つの四角形を撮影画像に収めることができる。この四角形の4つの頂点を利用して Homography 行列を作成する。この Homography 行列を用いてカメラ画像上の点座標を、円柱座標系の点座標に変換した。

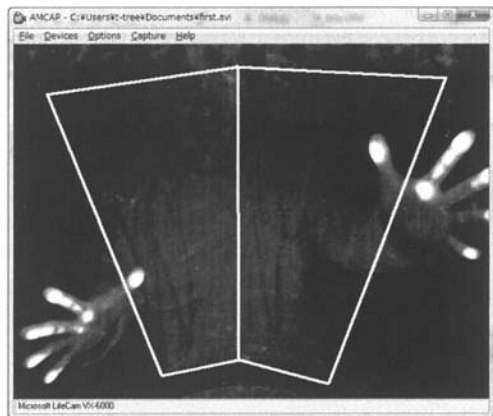


図5 接触点の撮影と近似した四角形の領域イメージ

キャリブレーションの設定は八角柱の各頂点位置を順番にユーザーに入力させることによって行う。これはインタフェースの設置時にのみ行い、設置終了後は常に同じ設定を使うことができる。

### 2.3.2 座標解析

座標解析部においては、画像解析部にて取得した座標データをもとにアプリケーションが実際に使用できる形にデータを処理する。アプリケーションがマルチタッチの座標群を利用するには、前後フレーム間の時間的關係とそれぞれのフレームで

の空間的關係を解析する必要がある。

### 接触点の追跡

複数点を取得しているため、各点を持続的にかつ一意に識別するには前フレームと現フレームを比較する図6に接触点の変化の例を示す。接触点の変化は移動(維持)、出現、消失の3種類からなる。取得した接触点領域Aの重心座標が前フレームの接触点領域A'内に存在するとき接触点領域A'が接触点領域Aに連続して移動したものと判断した。また、前フレームに該当する領域がなかった接触点領域Bは新しく増えた接触点、現フレームに存在する接触領域の重心座標に被らなかつた接触点領域C'は消失した接触点として処理した。

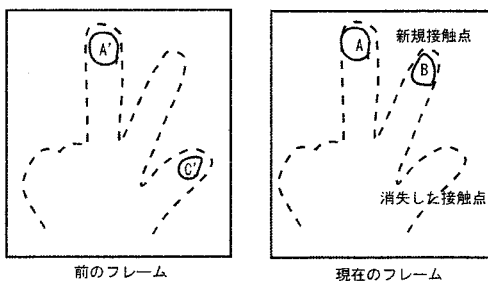


図6 接触点の移動、出現、消失の例

### 接触点のクラスタリング

手のひら全体を利用するようなジェスチャ操作においては、接触点のある手による集合だと判断する必要がある。そのため、接触点をクラスタリングした。

クラスタは近傍にある接触点をまとめたもので、クラスタリングでは、ある閾値以下の距離にある接触点同士を一つのクラスタとしてまとめた。また、クラスタの近傍に出現した接触点は随時そのクラスタに追加することにした。

クラスタ内の接触点が消失したり、クラスタ近傍に接触点が出現した場合にもクラスタは同一のものとして認識される。これにより例えば、人差し指で接触し、そのままその近傍に中指を接触し、人差し指を話した場合でも、中指は最初のクラスタとして認識される。

### 2.3.3 投影変換

投影変換部では、円筒側面に向けて投影を行う際に生じる、投影像の曲面に沿ってのゆがみを補

正をする。本研究では図7のような方法でゆがみの補正を行った。

まず、元画像を仮想空間内での円筒曲面に平行投影する。その円筒を仮想カメラで撮影し、得た画像を実空間のプロジェクタから円筒型マルチタッチインタフェースに投影する。結果として、投影された画像はユーザにとってゆがみのないものに見える。

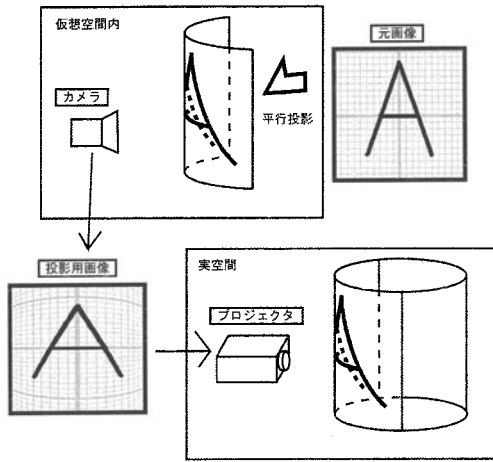


図7 投影画像のゆがみ補正

### 3 サンプルアプリケーション

円筒型マルチタッチインタフェースを利用したアプリケーションとして、3D物体を閲覧する3Dビューアと、マウスエミュレータの2つのアプリケーションを作成した。

#### 3.1 3次元オブジェクトの操作

円筒型マルチタッチインタフェースの3D操作を検討するために3Dオブジェクトのビューアを作成した。図8にビューアを操作している様子を示す。3Dビューアにおいては主に物体の向き調整とカメラの位置調整をそれぞれ“片手による操作”と“両手による操作”にて行う。

図9に片手による操作の例を示す。インタフェースを片手で撫でることによって表示しているオブジェクトの回転を行う。図10に両手による操作の例を示す。両手の接触点の幅を調整することでカメラの前後移動を、両手を同方向に動かすことでカメラの位置を変更する。また、両手を同方向に

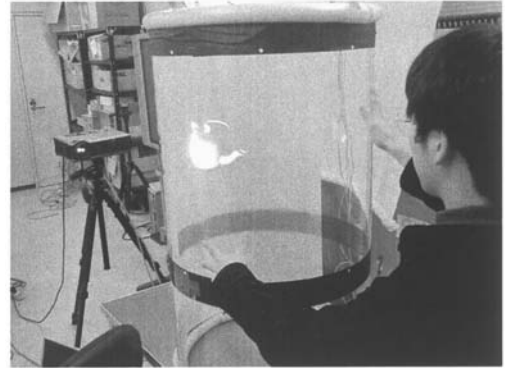


図8 円筒型マルチタッチインタフェースによる3Dモデルの操作

回転させることでカメラの傾きを変更する。

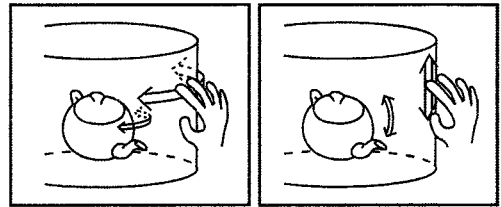


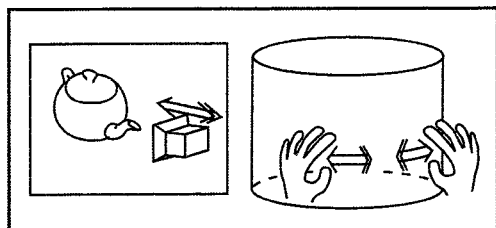
図9 3Dビューアの片手によるモデルの操作

#### 3.2 マウスエミュレータ

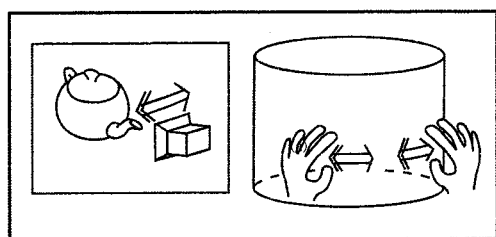
円筒形マルチタッチインタフェースを用いて既存のGUIアプリケーションを操作するためのマウスエミュレータを作成した。円筒型マルチタッチインタフェースでは操作面全体を利き手だけで操作することが困難である。よって、マウスカーソルの操作は片手のみを利用し、どちらの手を使っても行えるように設計を行った。

マウスカーソルの移動に関してはどちらの手で行っても同じく1本の指を使うこととし、マウスカーソルの移動は接触手の移動と1対1に対応させる。マウスボタンに関しては図11に操作方法を示す。まず人差し指(図11-①)と中指(図11-②)を順にタッチさせ、親指(図11-③)をタッチさせることによってマウスの左ボタンの押下を、人差し指(図11-①)と中指(図11-②)を順にタッチさせ、薬指(図11-④)をタッチさせることによってマウスの右ボタンの押下に対応させる。このよ

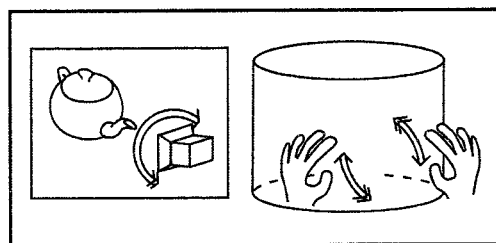
うに設計することによって右手、左手どちらを使っても同じ指を使ってそれぞれのクリックを行うことができる。これは最初の接触点と2つ目の接触点の位置関係から3つ目の接触点の位置によって操作を選択しているため、実際には指の制限はない(図11-③)。



(a) 両手の間隔によるズームの操作



(b) 空間の原点を中心にカメラの回転移動



(c) 注視点を固定したカメラの傾き操作

図10 3Dビューアの両手によるカメラの操作

### 3.3 結果

円筒型マルチタッチインタフェースをサンプルアプリケーションにて実際に使用したところ、操作の認識精度は良好だった。しかし、アプリケーションを操作するうえで幾つか問題点が挙げられた。

3Dビューアのオブジェクトの回転操作において縦方向の回転量を当初図12aのように実際の回転

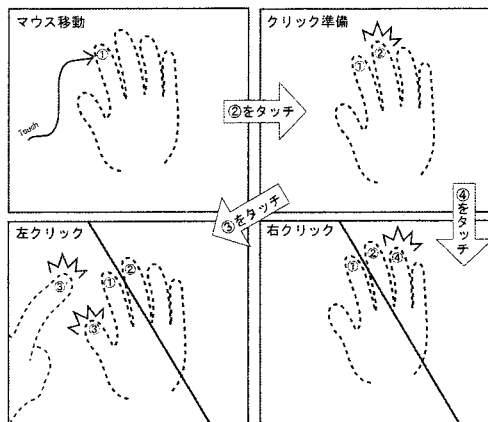
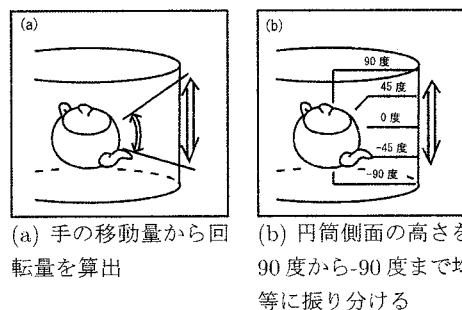


図11 マウスエミュレータによるクリック操作方法

量にあわせて定義していたが、ユーザの意図する動作ではなかった。そこで、図12bのようにリニアに角度を振り分けたとユーザは違和感なく操作を行うことができた。ただし、この対応付けはアプリケーションによって最適な設定が異なると考えられる。今後のアプリケーションの開発の際、各種の対応付けを検討してゆく予定である。



(a) 手の移動量から回転量を算出  
(b) 円筒側面の高さを90度から-90度まで均等に振り分ける

図12 3Dビューアの縦方向の回転

八角柱に近似した際の誤差に関しては3Dビューア、マウスエミュレータの両方に対して誤差はほとんどの場合において問題にはならなかった。しかし、マウスエミュレータを用いて描画ソフトなどの実際に移動した軌跡を表示するソフトを動かしてみる場合では誤差が目立った。縦方向に関しては誤差は感じられないが、横方向に関してはまっすぐ線を引くことができなかつた。これに関してはキャリブレーションの手法を多角形近似ではな

くより正確な手法に改善することで解決できる。

また、マウスエミュレータに関しては操作面を全て使う必要はなく、操作面の前面のみを使うことで画面全体を操作することが出来た。操作面の側面にユーザの望むショートカットボタン等を実装することで、より操作が行いやすくなると考えられる。

#### 4 関連研究

平面型ではないマルチタッチインタフェースシステムとして Grossman らの半球状のデバイスがある<sup>1)</sup>。この研究では半球状のマルチタッチインタフェースの内部にボリュームディスプレイを設置し、内部に表示されている3Dオブジェクトの操作を行う。ただし、このシステムにおいては、ユーザの指の位置を認識するためにセンサーを取り付ける必要がある。情報表示に関しても、現時点においてはボリュームディスプレイの精度としての問題点があり、一般的な作業を行うための十分な情報提示を行っていない。

これに対して本研究ではユーザへの特殊な装置の装着は行うことなく操作ができることを可能にしている。また、情報の提示についてもプロジェクタからのリアプロジェクションを行うことにより、一般的な大画面投影と同じ程度の情報表示が行え、作業を行うのに十分な精度といえる。

#### 5 まとめと今後の課題

本研究では従来の平面型マルチタッチインタフェースとは異なる操作面が円筒形状のマルチタッチインタフェースを作成し、独自のアプリケーションによってこのインタフェースの操作性を調査した。そして、従来の平面型のマルチタッチインタフェースには無い奥行きを利用した3次元物体を対象にした操作手法と、このインタフェースによって従来のマウスによる操作が可能であることを示した。

今後は、3次元的な操作の発展として3Dオブジェクトの編集の適応をめざし、それに適したジェスチャや操作法などを検討する予定である。

#### 参考文献

1) Tovi Grossman, Daniel Wigdor, and Ravin Balakrishnan. Multi-finger gestural interaction with 3d volumetric displays. In *UIST '04*:

*Proceedings of the 17th annual ACM symposium on User interface software and technology*, pp. 61–70, New York, NY, USA, October 2004. ACM.

- 2) Jefferson Y. Han. Low-cost multi-touch sensing through frustrated total internal reflection. In *UIST '05: Proceedings of the 18th annual ACM symposium on User interface software and technology*, pp. 115–118, New York, NY, USA, October 2005. ACM Press.
- 3) Chia Shen, Kathy Ryall, Clifton Forlines, Alan Esenther, Frederic D. Vernier, Katherine Everitt, Mike Wu, Daniel Wigdor, Meredith R. Morris, Mark Hancock, and Edward Tse. Informing the design of direct-touch tabletops. *IEEE Comput. Graph. Appl.*, Vol. 26, No. 5, pp. 36–46, September 2006.
- 4) Mike Wu, Chia Shen, Kathy Ryall, Clifton Forlines, and Ravin Balakrishnan. Gesture registration, relaxation, and reuse for multi-point direct-touch surfaces. In *TABLETOP '06: Proceedings of the First IEEE International Workshop on Horizontal Interactive Human-Computer Systems*, pp. 185–192, Washington, DC, USA, January 2006. IEEE Computer Society.
- 5) 北原圭吾, 井上智雄, 重野寛, 岡田謙一. 協調学習支援を目的としたテーブルトップインタフェース(学習支援). *情報処理学会論文誌*, Vol. 47, No. 11, pp. 3054–3062, November 2006.
- 6) 藤村憲之, 藤吉賢, 石田啓介, 西村拓一. テーブルトップコミュニティ~コミュニティ支援のための実世界指向インターフェース~. *電子情報通信学会技術研究報告. パターン認識・メディア理解*, Vol. 105, No. 534, PRMU2005–181, pp. 189–194, January 2006.
- 7) 石井陽子, 中西泰人, 小池英樹, 岡兼司, 佐藤洋一. Enhancedmovie: 机型インタフェースを用いた動画編集システム. 第11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 WISS2003 予稿集, pp. 79–86, December 2003.