

指を識別するタッチインタフェース向け インタラクション手法の検討

鈴木 優^{†1} 三末 和男^{†2} 田中 二郎^{†2}

タッチインタフェース向けのインタラクション手法のコンセプトとして、Finger-Specific Interaction (以下、FSI) を提案する。FSI はタッチする指を識別し、指の違いを入力として利用するインタラクション手法である。たとえば、既存のタッチインタフェースでは人差し指でのタッチと中指でのタッチはどちらも同じ一点のタッチとして扱われるが、FSI ではそれらを別の入力として扱う。FSI を実現することで、タッチインタフェースで入力として利用できる情報が格段に増加し、さらに eyes-free インタラクションが可能になるという利点がある。本論文では FSI のコンセプトを紹介し、その有効性および抱える問題点について議論を行う。さらに、プロトタイプシステムとして開発した画像処理ベースのシステムと、実際の利用場面を想定したアプリケーション例を紹介する。

An Exploration of Interaction Technique Distinguish Fingers for Interactive Surfaces

YU SUZUKI,^{†1} KAZUO MISUE^{†2} and JIRO TANAKA^{†2}

We propose Finger-Specific Interaction (FSI) as a concept of interaction technique for interactive surfaces. FSI enables a system to identify fingers and deal with the difference of fingers. It means each finger has a separate meaning in FSI. For instance, while current interactive surfaces consider single touch by using the index finger and single touch by using the middle finger as the same operation, our approach considers them as completely different operations. By realizing FSI, the amount of input information increases. In addition, eye-free interaction becomes available. In this paper, we discuss a concept, effectiveness and issues of FSI, and describe a vision-based prototype and applications assumed practical scenarios of interactive surfaces.

1. はじめに

タッチインタフェースの特徴の一つとして、操作に特別なデバイスは必要なく、指や手のみで操作が行える点が挙げられる。このことがディスプレイ面に直接身体で触れて操作するという直感的な操作感覚を生み出している。その一方で、マウスなどの別のデバイスと比較して必ずしも操作性が優れているとはいえない。たとえば、タッチインタフェースではマウスの右クリック/左クリックのような入力の使い分けを行うことができない。つまり、タッチインタフェースでは扱える入力情報量が少ないといえる。このことはタッチインタフェースに内在する問題点の一つであると考えている。

我々はタッチインタフェース向けのインタラクション手法のコンセプトとして、Finger-Specific Interaction (以下、FSI) を提案する。FSI はタッチする指を識別し、指の違いを入力として扱えるようにするというコンセプトである。タッチする指の違いをインタラクションに利用することで、入力プリミティブ数の増加や、eyes-free インタラクションが実現可能になる。

本論文では、FSI のコンセプトと有効性、抱える問題点について述べる。さらに、FSI を実現するプロトタイプシステムと、タッチインタフェースの実用場面を想定したアプリケーション例について紹介する。

2. 関連研究

タッチインタフェースのユーザビリティ向上を目指す研究は多く存在する。たとえば、操作にジェスチャを用いる研究として、複数の指や手全体を用いたジェスチャによる操作¹⁵⁾ や、両手の指でのジェスチャ操作¹⁰⁾、テーブルトップ上部の空間でのジェスチャ操作⁵⁾ などの研究がある。また、タッチする指にかかる力を利用する研究も存在する。力の大きさや方向の検出には、接触面の時間的变化を利用する手法¹⁴⁾ や、透明弾性体の利用した手法¹²⁾ などが提案されている。

我々の提案する FSI は指を識別するというコンセプトであるが、これと類似する研究もいくつか存在する。DiamondTouch²⁾ ではタッチする人の識別を行う。複数人が同時にタッ

^{†1} 京都産業大学
Kyoto Sangyo University

^{†2} 筑波大学
University of Tsukuba

チしてもそれぞれのユーザの操作は保持され、ユーザ間で操作の衝突が発生しなくなるという利点を持つ。FSI は指の識別を行うため、DiamondTouch の利点を包含するといえる。いくつかの研究では我々と同様に指自体に着目している。Sugiura ら¹³⁾ は指紋を利用して単一の指を区別するインタフェースを提案した。複数の指を区別する研究としては、タッチする指の数を線形メニューの操作に応用する研究¹⁾ や、ジェスチャ操作に指の組み合わせを組み込んだメニュー操作に関する研究⁹⁾ などがあるが、これらの研究で使用されている指やアプリケーションは限定的である。また、FingeRing¹⁸⁾ はあらゆる場所で指先でのタッチ入力可能な装着型のキーボードがあるが、これはタッチする行為自体が意味を持つという観点では FSI のコンセプトに近い。我々の提案する FSI は、指の本数や応用例を限定することなく、タッチする指を識別するという大きな枠組みでのインタラクションを考えており、これらの研究を包含するコンセプトであるともいえる。

3. Finger-Specific Interaction

3.1 コンセプト

FSI はタッチする指を識別し、指の違いを入力として扱えるようにするというタッチインタフェース向けのインタラクション手法のコンセプトである。FSI を実現することで、今までほとんど使われてこなかった指の違いを活用できるようになる。たとえば、既存のタッチインタフェースでは人差し指でのタッチと中指でのタッチはどちらも同じ一点のタッチとして扱われるが、FSI ではそれらを別の入力として扱う。つまり、FSI ではそれぞれの指が意味を持つようになる。既存のシステムでは、タッチインタフェース上に表示されたオブジェクトにタッチすることで初めて意味をなす入力となっていたが、FSI ではタッチする行為自体が入力としての意味を持つ。

3.2 有効性

タッチインタフェースには潜在的に以下の 2 つの問題が存在している。

- 入力プリミティブ数が少ない
- eyes-free インタラクションが行えない

FSI をタッチインタフェースの操作体系に導入することで、これらの問題を解決することができる。さらに、指の識別をすることで人間の識別も可能になる。

3.2.1 入力プリミティブ数の増加

入力プリミティブとは、入力情報の最小単位のことを指す。たとえば、マウスの右クリックや左クリック、キーボードの各キーはそれぞれが入力プリミティブである。また、入力ブ

リミティブの組み合わせを入力ボキャブラリと呼ぶ。たとえば、入力操作にマウスの右クリックとキーボードの Control キーと Shift キーを用いる場合、その組み合わせは 7 通り存在し、それらが入力ボキャブラリである。

既存のタッチインタラクション技術では、タッチされた指の位置と、その時間変化が入力情報として主に利用されてきた。既存システムの場合、指の区別が行えないため、どの指で入力してもそれらは同じ一つの入力として扱われてしまう。つまり、入力プリミティブ数は 1 である。

一方、FSI では指を識別するため、各指をそれぞれ異なる入力として扱うことができる。よって、操作に用いる指の数が入力プリミティブ数となる。マルチタッチ環境では複数の指を組み合わせることもでき、 n 本の指の組み合わせの数 $2^n - 1$ が入力ボキャブラリ数となる。たとえば、三点のマルチタッチ操作として、片手で三点をタッチする操作と、片手で二点、もう一方の手で一点をタッチする操作を考える。既存のシステムの場合、両者は同等の入力として扱われる一方で、FSI では異なる入力として扱われる。

FSI は PDA やスマートフォンなどの小型スクリーンを持つモバイルデバイスと特に相性が良いと考えられる。モバイルデバイスにおいて入力ボキャブラリ数を増やすために、しばしばマルチタッチ操作が採用されているが、小さい画面でのマルチタッチ操作は必ずしも快適な操作であるとはいえない。FSI を採用することで、シングルタッチのみでマルチタッチ以上のさまざまな操作が可能になる。モバイルデバイスへ FSI を適用することで、ユーザビリティの向上が期待できる。

3.2.2 eyes-free インタラクションの実現

従来のタッチインタフェースではディスプレイ平面上に表示されたオブジェクトを指で操作するため、その操作には物理的フィードバックが欠けている。そのため、操作するには必ず操作対象を視認する必要があり、eyes-free インタラクションを行うことは困難である。

FSI は指ごとに異なる意味付けを行うことが可能であるため、指でタッチする行為自体をコンピュータへの入力コマンドと考えることもできる。たとえば、メニューアイテムを選択する場合、既存のタッチインタフェースではまずメニューアイコンを視認し、そのアイコンを正確にタッチする必要がある一方で、FSI では指をタッチするだけで操作が完了するということが可能になる。よって、ディスプレイ上の GUI の視認を必要としない操作、つまり eyes-free インタラクションが可能になる。このことから、FSI は人間の運動出力（指でタッチする行為）とコマンド選択を直接繋ぐインタフェース技術と考えることもできる。

タッチインタフェースを持つ携帯音楽プレイヤーなどのモバイルデバイスを操作するため

には必ず画面を視認しなければならない。しかしながら、FSIを採用することで、ポケットやバッグに入れたまま画面を見ることなく操作が行えるようになる。このように、eyes-freeインタラクションの観点からも FSI とモバイルデバイスの相性の良さがわかる。

3.2.3 人間の識別

操作する指を区別することによって、DiamondTouch²⁾ のように操作する人間を識別することも可能になる。これは、タッチインタフェースを用いて CSCW のような複数人での協調作業を行う場面では有効である。FSI では指という細かい粒度で人間を識別することができるため、他人に干渉されない操作など、人の識別だけでも実現できる操作だけでなく、ユーザの指ごとに操作に対する優先度や権限を付与することなどが可能になる。

3.3 抱える問題

3.3.1 対応付けを記憶する困難さ

FSI では、 n 本の指で操作する場合、その組み合わせ数は $2^n - 1$ になる。これは大きな利点である一方、数が膨大になるため、利用者が指の組み合わせとアプリケーション毎の機能との対応付けを記憶するのが困難であるという問題もある。この解決策の一つとして、指の持つ意味の活用が考えられる。国や文化によって違いはあるが、それぞれの指にはなんらかの文化的意味が付加されている。日本では指は複数の意味を持つ。たとえば、親指から順に、父、母、兄、姉、幼児を意味し、薬指は薬を塗るときに使われる。人差し指と中指の組み合わせはハサミや勝利を意味する。また、日常生活シーンでは、ものを掴むときには片手の親指と人差し指を用い、モノを引き延ばすときには両手の指を使う。このような指の持つ意味を活用して対応付けを行うことが、課題を解決するための手がかりになると考えている。

3.3.2 負の運動特性

指の組み合わせによっては指の運動特性として行いにくい組み合わせが存在する。たとえば、片手五本の指をタッチする動作を行う場合、薬指以外の四本の指をタッチする動作や、中指と小指のみをタッチする動作は多少困難である⁹⁾。実際のアプリケーションにおいて、これらの負の運動特性をどのように扱うかということも FSI の課題である。

4. FSI 実現のためのデバイス

我々はプロトタイプシステムとして、450×300mm のテーブルトップインタフェース (図 1 左) を開発した。FSI を実現するためには、どの指でどの座標をタッチしたかを検出する必要がある。このプロトタイプシステムでは、タッチ位置の検出と指の識別を個別に行い、それらを統合するというアプローチをとった。

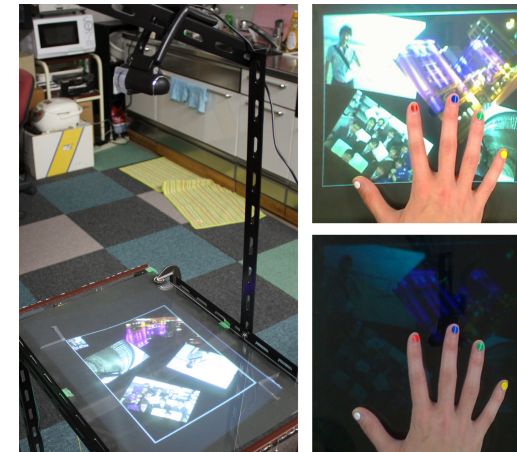


図 1 左：プロトタイプシステム。スクリーンの上部に指検出用のカメラが取り付けられている。右上：指検出用カメラで撮影した未処理の画像。右下：偏光フィルムを付けた状態で指検出用カメラで撮影した画像。

タッチ位置の検出には FTIR (Frustrated Total Internal Reflection) 方式⁴⁾ を採用した。指の識別には、カメラとカラーマーカー、偏光フィルムを利用した。操作の邪魔にならないテーブルの上部にカメラを配置し、その画像から指を検出する。高精度の指検出を行うために、指先にカラーマーカーとして直径 8mm のシールを貼り付けた。指ごとに異なる色のマーカーを貼り付け、その色情報をテーブル上部のカメラで読み取ることで指の違いと位置を検出する。カラーマーカーを用いた指の認識は文献^{11),17)}でも採用されているが、本研究の場合、単純に上部からディスプレイ平面を撮影すると、投影された映像の色とマーカーの色を誤検出が発生してしまう (図 1 右上)。この問題は文献⁸⁾でも利用されている偏光フィルムを 2 枚用いることで解決した。ディスプレイ平面に偏光フィルムを貼り付け、それと直交する方向にもう 1 枚のフィルムをテーブル上部のカメラに貼り付ける。これにより、カメラからは投影された映像は表示されず、その上にある手のみを撮影できるようになる (図 1 右下)。タッチ位置情報と指の位置情報の統合にはそれぞれのディスプレイ上での相対位置を用いた。

色マーカーを使っているため、照明の条件に多少左右されるが、現時点で同時に 8 本までの指を実時間で識別することに成功している。また、正確な精度は今後実験により求める必要があるが、経験上 90%以上の高い精度で正しく認識できている。

5. アプリケーション

FSI のアプリケーション例を紹介する．これらはさまざまなタッチインタフェースの実際の利用シナリオを想定している．いくつかのアプリケーションでは，二つの問題の解決に取り組んでいる．

5.1 大画面向けペイントツール

本ツールは大画面タッチインタフェースでの利用を想定している．一般的なペイントツールにはペン，図形描画，画像貼り付けなどの多くのモードがある．さらに，描画する図形の大きさや色などのパラメータも多く存在する．従来のペイントツールではこれらを切り替えるには GUI 操作が必要であった．一方，FSI を用いたペイントツールでは，GUI 操作を必要としないペイントツールを実現できる．

本ツールでは，操作に両手の三本の指（人差し指，中指，薬指）を利用する．両手を用いる操作では，利き手では細かい動作や高い精度が要求される操作を，非利き手では粗い動作や低い精度しか要求されない操作をするという Asymmetric-dependent Task が提案されており³⁾，それが良いパフォーマンスを示すことも実証されている⁶⁾．本ツールでもこれを応用し，利き手の指に操作の主となる操作を，非利き手には補助的な操作としてモード切り替えを割り当てた．

操作の割り当てを図 2 に示す．操作スタイルとして「非利き手によるモード選択」+「利き手による操作の実行」という両手を組み合わせた操作を基本とする．非利き手を使わずに（0本の指を使うと考える）利き手の指のみで操作する場合，タッチする指に応じて画像貼り付け操作となる．非利き手の人差し指には図形描画（塗りつぶし）モード，中指には色選択（ビビッドカラー）を割り当てた．たとえば，非利き手の人差し指をタッチしながら，利き手の人差し指をタッチすると，それらの指の間に直線が描画され，利き手を中指にすると塗りつぶし矩形が描画される．また，利き手三本の指のみを用いてタッチすると三つの画像が同時に貼り付けられ（図 3(a)），非利き手の人差し指をタッチしながら利き手の人差し指と中指をタッチすると三角形が描画される（図 3(b)）．非利き手の薬指にはキーボードのソフトキーのような振る舞いをする補助操作を割り当てた．非利き手の人差し指，もしくは中指と同時にタッチすることで意味をなす．非利き手の人差し指と薬指の組み合わせには図形描画（輪郭）モード，中指と薬指の組み合わせには色選択（パステルカラー）を割り当てた．

このように，機能の使用頻度や指の組み合わせの行いやすさなどを考慮に入れ，一定のルールに基づいた指の組み合わせと機能の割り当てを行っているため，割り当ての記憶しに

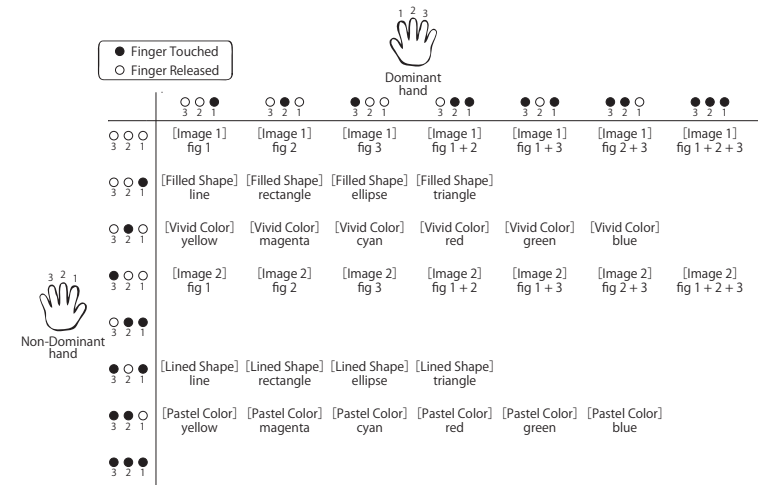


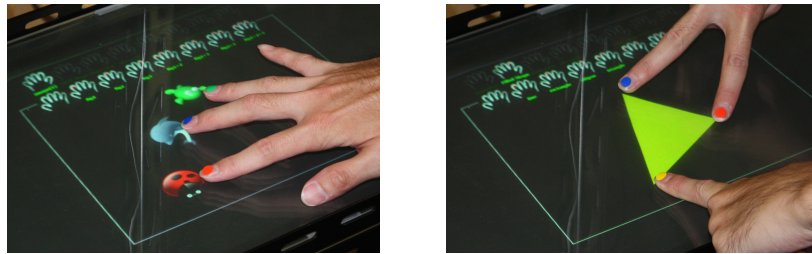
図 2 操作の割り当て表．

くさが軽減されることが期待できる．一方で，ツール使用の初期段階では，これらの組み合わせをすぐに記憶することは困難であることが予想される．この初期段階での記憶に関する問題を解決するために，ディスプレイ上部に対応関係を提示するパネル（図 4）を表示した．パネルには非利き手に割り当てられているモードが表示されており，非利き手をタッチすることで各指に割り当てられている機能が動的に表示される．ユーザは操作しながら指の組み合わせと機能の対応を確認できるため，割り当てを記憶できていない段階でも操作が可能になる．

5.2 携帯型音楽プレイヤー

携帯型音楽プレイヤーなど，インタフェースとしてタッチパネルのみを持つモバイルデバイスが増加しているが，それらに操作には物理的フィードバックがないため，必ずディスプレイを見ながら操作する必要がある．よって，デバイスをポケットやバッグに入れたまま操作を行えないという問題点がある．また，画面が小さいため，マルチタッチ操作は必ずしも快適に行えない．

本アプリケーションは小画面タッチインタフェースを持つモバイルデバイスをシミュレートするためのアプリケーションであり，小画面タッチインタフェースを持つ音楽プレイヤーを想定して開発した．モバイルデバイスは片手で持ち，もう一方の手で操作することが想定



(a) 利き手三本の指でのタッチ.

(b) 両手の三本の指でのタッチ.

図 3 ペイントツールでの三点タッチの例.

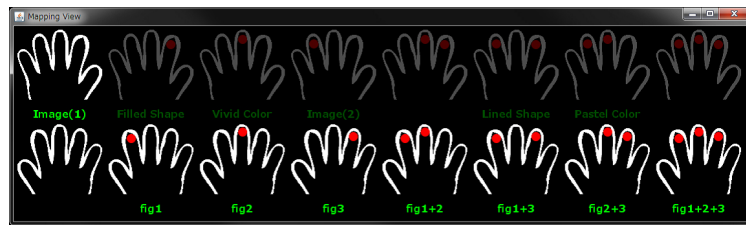


図 4 指の組み合わせと機能との対応関係を提示するパネル.

されるため、操作には片手のみを利用するように設計した。音楽プレイヤーの主な機能のうち再生、停止、楽曲選択、音量調節機能を、それぞれ人差し指、中指、薬指、親指に割り当てた。前者二つはトグル操作であるため、タッチするだけで機能が呼び出される。後者二つは“量”を入力する必要があるため、指をスライドさせる距離で入力する。

5.3 ショルダーサーフィンを防止する認証

タッチインタフェースの問題点の一つとして認証に関する問題がある。タッチインタフェースはその性格上、操作の様子を操作者以外が閲覧することが容易であり、それが望まれている部分もある。一方で、パスフレーズを入力するような認証操作はあまり見られたくない行為であるが、認証行為を隠すような振る舞いをする事は、周囲の人間を信用していないというシグナルとして捉えられかねなく、場面によっては行いにくい行為である⁷⁾。また、PIN 認証はタッチインタフェースにおいても頻繁に利用されている認証方法であるが、

タッチインタフェースではショルダーサーフィン攻撃に特に脆弱である。

我々は FSI を用いた PIN 認証アプリケーション、FSI-PIN 認証を開発した。通常の PIN 認証では 0~9 の数字を数桁を入力するが、FSI-PIN 認証では各数字に対して入力に使用する指情報も付加する。つまり、認証を成功させるためには、正しい指で正しい数字を入力する必要がある。

これはショルダーサーフィンの防止に対して大きく二つの効果をもたらす。まず、ショルダーサーフィンを試みる攻撃者は、数字だけでなく、数字をタッチする指も記憶する必要がある。FSI-PIN 認証では両手十本全ての指を用いた操作を想定しているため、 n 桁のパスフレーズの場合、PIN 認証と比較して FSI-PIN 認証でのパスフレーズの組み合わせは 10^n 倍になる。よって、攻撃者はパスフレーズを記憶することが困難になる。また、FSI-PIN 認証では両手を用いた操作であるため、必然的に入力パネルを両手で覆うような操作スタイルになる。よって、ユーザが意図的に認証行為を隠す振る舞いをする事なく、操作するだけで自然と操作の隠蔽が行われる。これは手元を隠す行為に関する問題をうまく解決しているといえる。

このアプリケーションは、指の組み合わせが膨大で記憶し難いという FSI の負の特徴をうまく活用する応用例でもある。

5.4 運動特性を活用した確認ダイアログ

前述したように、薬指以外の四本の指をタッチする動作や、中指と小指のみをタッチする動作は多少困難であるという運動特性が存在する。この負の運動特性を有効活用したアプリケーションとして、確認ダイアログインタフェースを開発した。一般的な確認ダイアログはボタンを押下するだけで確認作業が終わってしまう。よって、ダイアログの内容をよく確認することなく、ダイアログが閉じられてしまうことがある。

これを防ぐために、本アプリケーションでは指の運動特性を活用し、指示された指のみをタッチすることで閉じることができる確認ダイアログを開発した。ユーザがタッチする指は薬指以外の四本や、中指と小指のみなど、人間が行いにくい指の組み合わせになっている。ユーザはすぐに指をタッチできず、その分だけ内容を確認し、考えるための時間がとれるようになることが期待できる。

6. まとめと今後の課題

タッチインタフェース向けのインタラクション手法のコンセプトとして、Finger-Specific Interaction を提案した。FSI の有効性と抱える問題点について議論を行い、FSI を実現す

るためのプロトタイプシステム, およびその上で動作する, タッチインタフェースの利用シーンを想定したいくつかのアプリケーションを紹介した. タッチインタフェースではマルチタッチやジェスチャによる入力が主流となっているが, 本論文により, 指を識別するという方向性を示し, プロトタイプシステムとアプリケーション例を示したことで, その潜在能力と将来の可能性を示すことができた.

現在のプロトタイプシステムでは, 色マーカーを使っているため, 手や腕の姿勢によってはうまく指の識別が行えないことがある. ディスプレイの上部にカメラが必要であることから, モバイルデバイス向けに実装を行うことは難しい. 今後の課題として, カメラを用いた指認識¹⁶⁾を応用したマーカーレスシステムや, 電気的メカニズムを用いたデバイス開発を行い, モバイルデバイスでも実用的に利用可能な実装を進めたい.

参 考 文 献

- 1) Bailly, G., Lecolinet, E. and Guiard, Y.: Finger-Count & Radial-Stroke Shortcuts: Two Techniques for Augmenting Linear Menus on Multi-Touch Surfaces, *Proceedings of the 28th International Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI'10)*, pp.591-594 (2010).
- 2) Dietz, P. and Leigh, D.: DiamondTouch: a Multi-User Touch Technologys, *Proceedings of the 14th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology (UIST'01)*, pp.219-226 (2001).
- 3) Guiard, Y.: Asymmetric Division of Labor in Human Skilled Bimanual Action: The Kinematic Chain as a Model, *Journal of Motor Behavior*, Vol.19, pp.486-517 (1987).
- 4) Han, J.Y.: Low-Cost Multi-Touch Sensing through Frustrated Total Internal Reflection, *Proceedings of the 18th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology (UIST'05)*, pp.115-118 (2005).
- 5) Hilliges, O., Izadi, S., Wilson, A.D., Hodges, S., Garcia-Mendoza, A. and Butz, A.: Interactions in the Air: Adding Further Depth to Interactive Tabletops, *Proceedings of the 22nd Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology (UIST'09)*, pp.139-148 (2009).
- 6) Hinckley, K., Pausch, R., Proffitt, D., Patten, J. and Kassell, N.: Cooperative Bimanual Action, *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI'97)*, pp.27-34 (1997).
- 7) Kim, D., Dunphy, P., Briggs, P., Hook, J., Nicholson, J., Nicholson, J. and Olivier, P.: Multi-Touch Authentication on Tabletops, *Proceedings of the 28th International Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI'10)*, pp.1093-1102

- (2010).
- 8) Koike, H., Nishikawa, W. and Fukuchi, K.: Transparent 2-D Markers on an LCD Tabletop System, *Proceedings of the 27th International Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI'09)*, pp.163-172 (2009).
- 9) Lepinski, G.J., Grossman, T. and Fitzmaurice, G.: The Design and Evaluation of Multitouch Marking Menus, *Proceedings of the 28th International Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI'10)*, pp.2233-2242 (2010).
- 10) Malik, S., Ranjan, A. and Balakrishnan, R.: Interacting with Large Displays from a Distance with Vision-Tracked Multi-Finger Gestural Input, *Proceedings of the 18th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology (UIST'05)*, pp.43-52 (2005).
- 11) Mistry, P., Maes, P. and Chang, L.: WUW - Wear Ur World - A Wearable Gestural Interface, *Proceedings of the 27th International Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI'09)*, pp.4111-4116 (2009).
- 12) Sato, T., Mamiya, H., Koike, H. and Fukuchi, K.: PhotoelasticTouch: Transparent Rubbery Tangible Interface using an LCD and Photoelasticity, *Proceedings of the 22nd Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology (UIST'09)*, pp.43-52 (2009).
- 13) Sugiura, A. and Koseki, Y.: A User Interface Using Fingerprint Recognition - Holding Commands and Data Objects on Fingers -, *Proceedings of the 11th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology (UIST'98)*, pp.71-79 (1998).
- 14) Wang, F., Cao, X., Ren, X. and Irani, P.: Detecting and Leveraging Finger Orientation for Interaction with Direct-Touch Surfaces, *Proceedings of the 22nd Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology (UIST'09)*, pp.23-32 (2009).
- 15) Wu, M. and Balakrishnan, R.: Multi-Finger and Whole Hand Gestural Interaction Techniques for Multi-User Tabletop Displays, *Proceedings of the 16th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology (UIST'03)*, pp.193-202 (2003).
- 16) 寺嶋一浩, 岩下貴司, 小室 孝, 石川正俊: 携帯機器向け空中キー入力インタフェースのための手指の動作認識アルゴリズム, 第7回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会 (SI'06), pp.1378-1379 (2006).
- 17) 竹川佳成, 寺田 努, 西尾章治郎: 鍵盤楽器のための実時間運指取得システムの構築, コンピュータソフトウェア, Vol.23, No.4, pp.51-59 (2006).
- 18) 福本雅朗, 外村佳伸: Wireless FingeRing: 人体を信号経路に用いた常装着型キーボード, 情報処理学会論文誌, Vol.39, No.5, pp.1423-1430 (1998).