

ユーザ識別機能を持つ FTIR 方式タッチパネル の構築と描画アプリケーションの開発

近藤潤也[†] 吉田慎吾[†] 長谷川弘明[†]
金田重郎[†] 芳賀博英[†]

既存のユーザ識別可能なマルチタッチパネルは、ユーザが何らかのデバイスを装着する必要があり、しかも、高価である。結果的に、身体性を生かした、直感的なインタフェースとはなっていなかった。この問題を解決するため、本稿では、カメラ側に赤外線照射装置を設けた、新構成の大型 FTIR 方式マルチタッチパネルを提案する。具体的には、カメラ側から照射された赤外線が、パネルに接近した手によって反射される画像を、赤外線カメラで追跡する。これによって、何らかの方法で、一旦、手が特定できれば、手がパネルとは一定の距離内を持ってパネル面上を移動する限り、トラッキング可能である。結果的に、限定された範囲ではあるが、ユーザを識別できる。赤外線照射装置は主に赤外線 LED で構成されているため、新パネルは安価に構築できる。また、ユーザが何らかの道具を持つ必要がないため、身体性を活かした直感的なインタラクションを実現できる。著者らは、1m×2m の大型パネルを開発し、複数人で描画可能なサンプル・アプリケーションを構築して、提案方式の有効性を確認した。

Development of FTIR Multi-Touch Panel having User-Identification Function

Junya Kondo[†] and Singo Yoshida[†] and Hiroaki Kazuo[†]
Shigeo Kaneda[†] and Hirohide Haga[†]

Conventional Multi-Touch Panels having user-identification function are very expensive. Moreover, the user is required to wear some ID device. The interface is not intuitive. To resolve this problem, this paper proposes a new large-sized FTIR Multi-Touch Panel having an additional IR emission device on the camera side. This system can track the moving hand which is slightly separated from the panel surface and identify the users in a limited sense. This new panel is low-cost because IR emission device is constructed from mainly IR-LEDs. In addition, the user is not need to wear device. For this reason, the user can interact intuitively. We built the sample application, which two or more persons can use, and checked the validity of this system.

1. はじめに

ユーザの手をデバイスとして複数のタッチ点を検出できるマルチタッチパネルは人間の自然な動作に近い形で作業を可能とした。このためユーザはシステムをより直感的または親和的に、あるいは身体動作を活かして利用できる。特に、各ユーザを識別できるマルチタッチパネルは、各ユーザに対して独自の機能を提供でき、さらに各ユーザの作業履歴の記録が可能となった。

しかし、既存のユーザ識別型マルチタッチパネルは装置が高価、または手に何らかのデバイスを装着する必要があった。特にデバイスの必要性は身体性のあるインタラクションを損ねてしまうおそれがある。そこで、本稿では限定された範囲ではあるが以下のような特徴を有したユーザ識別型 FTIR 方式マルチタッチパネルを提案する。1) 導入コストが安価、2) フリーハンドかつマーカレス、3) 設置が簡易、4) 実用性のある識別精度

具体的には、赤外線カメラ側からの赤外線照明を FTIR パネルに付加することにより、パネルから指が離れた後でも、手の動きを追跡可能とする。実際に 1m×2m の大型 FTIR パネルを開発して、アプリケーションを搭載して有効性を確認した。

以下、第 2 章では、既存手法の問題点を述べ、第 3 章では提案方式の概要を述べる。第 4 章では実装したアプリケーションについて述べる。第 5 章は評価結果であり、第 6 章はまとめである。

2. 既存手法と問題点

ユーザ識別型のマルチタッチパネルには、例えば、Mitsubishi Electric Research Laboratories の「DiamondTouch」がある。これは人体を伝導体として信号が送られる「静電結合」を応用した手法でユーザ識別が行われている。DiamondTouch は、高周波信号を受信するセンサが取り付けられた椅子と送信機がマトリクス状に配置されたテーブルで構成されている。ユーザは椅子に座り、このテーブルに触れると、送信機、ユーザ、受信機とで一種の通信回路が構成される。このときユーザのタッチ操作が受信機からシステムへ送信され、このデータを解析することでタッチ操作とユーザを結びつける。この手法の有効性は、マルチタッチでありながらユーザの作業を正確に識別する点にある。この手法はユーザがテーブルに触れた際に人体を介して椅子へ情報が送信されるため、異なるユーザ同士が接近した作業の場合でも手一本一本に対しての正確な識別が可能となる。これは複数人が同時に参加する状況下で、よりユーザ同士が複雑な作業を行うための重要な要素であるといえる。しかし、作業は必ず決めら

[†] 同志社大学大学院工学研究科
GRADUATE SCHOOL OF ENGINEERING, DOSHISHA UNIVERSITY

れた椅子に座らなければならないので、ユーザの作業範囲は限られてしまう。したがって、ユーザ同士がより協調的な作業が行えるとはいえない。また、立ったままの身体動作を活かした利用ができない問題点も挙げられる。

次に上記のシステムの他に、一般的なセンサを用いてユーザの識別を実現する方法を考える。ここで最も考慮に入れなければならないのは各手法の特徴を把握し、導入環境下で与えられる制約条件をもとに最適な手法を選択することである。図1が示すように、どの手法についても有効性、あるいは問題点はいくつか存在することは分かる。例えば、導入環境下で以下のような制約条件が存在する場合、超音波センサは非常に有効な手法である。

- (1) 導入費用は考慮に入れない
- (2) フリーハンドで作業を行いたい
- (3) 自由に設置して良い

ただし、実際の導入時に上記の制約条件と特徴が完全に一致する状況は少ない。超音波センサはフリーハンドでの作業を可能とし、手の正確な位置を検出できる特徴があるが、高額な導入費用を必要とするため実際の導入は難しい。また、超音波受信機を天井に複数個取り付ける必要があるため、ユーザ識別のために大規模な設置作業を行わなければならない。他の手法についても一長一短の特徴を持つが、特に手に対するセンサの装着はマルチタッチの特徴の一つである身体性のあるインタラクションを損ね、リスト部分での装着はユーザに装着の負担を掛けてしまうため、実用的な手法は現時点では存在しない。

3. 提案システム

本提案するシステムは、FTIR方式のタッチパネルとユーザ識別を実現する赤外線照射装置で構成されている。タッチパネルは大型であるため複数人が同時に作業を行うことができる。また、ユーザの識別は赤外線照射装置を設置するだけで良いのでフリーハンドかつマーカレスで実現され、ユーザは負担の少ないインタラクションが可能となる。さらに、赤外線照射装置は設置が簡易であるため、FTIR方式のタッチパネルがある場所ではどこでも設置を行うことができる。

以下、システム構成を述べ、ユーザ識別の手法を解説する。

1. 接触センサ	概要	接触センサを各ユーザの手に装着させ、タッチパネルのタッチ情報と接触センサの接触情報を照らし合わせて識別を行う
	長所	・精度の高い識別が行える
	短所	・導入コストが高い ・同時タッチの場合は識別が不可能 ・手にセンサを装着しなければならない（リスト部分不可能）
2. 加速度センサ	概要	加速度センサを各ユーザの手に装着させ、タッチパネルのタッチ情報と加速度情報から分析したタッチ情報を照らし合わせて識別を行う
	長所	・接触センサよりは導入コストが低い
	短所	・同時タッチの場合は識別が不可能 ・識別精度が悪い ・導入コストが高い ・手にセンサを装着しなければならない ・検出時間が遅い
3. 赤外線ID	概要	高速点滅する赤外線LEDを各ユーザの手に装着させ、その点滅間隔によってユーザの識別を行う。位置は複数のカメラから検出する
	長所	・同時タッチが可能 ・センサはリスト部分でも装着可能（1と比べた場合は長所）
	短所	・フレームレートの高い赤外線カメラを必要とする ・位置検出のためのカメラが必要となる ・リストにセンサを装着しなければならない
4. 超音波センサ	概要	超音波送信機を各ユーザの手に装着させ、複数の受信機への超音波到達時間の差から手の位置を算出する
	長所	・同時タッチが可能 ・精度の高い識別が行える ・センサはリスト部分でも装着可能（1と比べた場合は長所）
	短所	・導入コストが高い ・リストにセンサを装着しなければならない ・検出時間が遅い

図1 各手法の特徴一覧

3.1 システム構成

本提案システムでは Jeff Han が提唱した FTIR 方式[1]を用いてマルチタッチパネルを構築する。FTIR 方式とは、アクリルパネル内に赤外線を全反射させ、ユーザがパネルにタッチした際に起こる赤外線の乱反射をカメラが捕らえることで位置検出を行う手法である。これは安価な部品構成で十分な検出精度を可能とするため、低い導入コストで大型化を行える点が FTIR 方式を採用した最大の理由である。

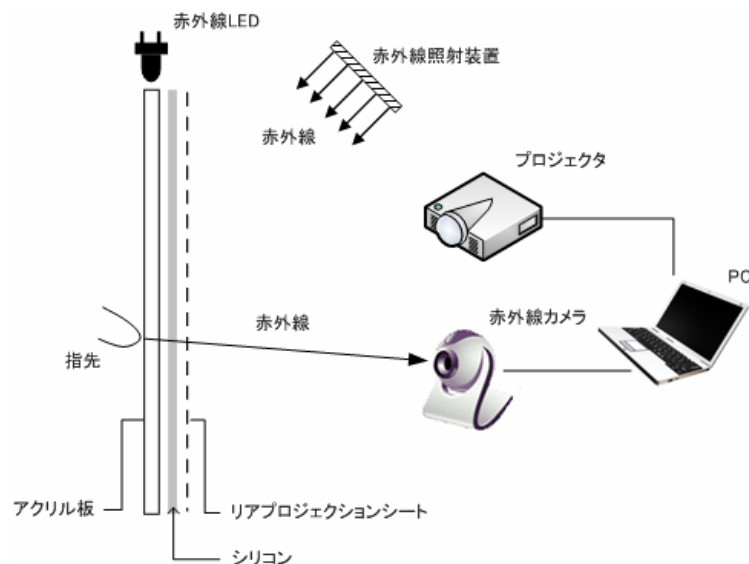


図 2 システム構成

FTIR 方式を用いたマルチタッチパネルとユーザ識別を実現する赤外線照射装置のシステム構成を図 2 示す。今回構築したマルチタッチパネルは一般的な FTIR 方式の基本構成と同じ部品構成で構築されている。パネルは高さ 1m×幅 2m のアクリル板の裏にシリコン、リアプロジェクションフィルムを張った半透明なディスプレイとなっている。また、アクリル板の上下左右端には赤外線 LED が付けられている。これは、アクリルパネル内に赤外線を全反射させるための装置である。このマルチタッチパネルは幼児から大人まで利用が出来るように上から吊り下げる形で高さの調節を可能としている (図 3)。さらに、裏側には映像を映し出すプロジェクタ、タッチ部分を検出する赤外線カメラ、システムを制御する PC が設置されている (図 4)。

また、提案方式の特徴として、FTIR 方式の基本構造とは別に、独自に赤外線照射装置をカメラ側に設置している (図 5)。これは、カメラ側からパネルへ照射された赤外線によってタッチパネルに接近している物体を照らすための装置である。ユーザ識別はこの照らされた物体 (特に手) を追跡することで、どのユーザの手による作業なのかを認識する。以下に、提案するユーザ識別の手法を解説する。



図 3 高さ可変のタッチパネル



図 4 プロジェクタと赤外線カメラ

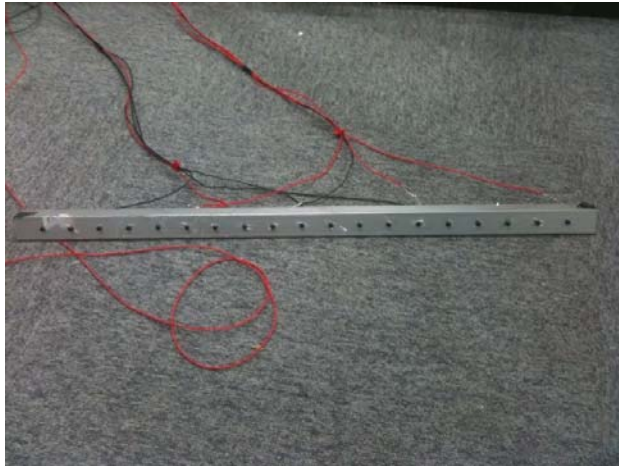


図 5 赤外線照射装置

3.2 手の追跡によるユーザ識別

本提案ユーザ識別は、ユーザが最初にアプリケーション側で表示された特定のエリアをタッチし、システムはタッチされた手を追跡してその手による全ての作業をそのユーザと対応付けることで行われる。この一連の処理の流れは、マルチタッチパネル付近に存在する物体から手のみを抽出してその位置を求める処理と、抽出された手を追跡して、作業とユーザを対応づける処理に大きく分けられる。最初に前者の処理について述べ、最後に後者の処理について述べる。

赤外線照射装置は、カメラ側からマルチタッチパネル全体に対して赤外線を満遍なく照射する装置である。今回のマルチタッチパネルは半透明のディスプレイであるため、近くに存在する物体を強く照らし、遠くに存在する物体は弱く照らされる(図6)。このため、カメラから得られる画像に対して画像処理を行い、手の物体のみを抽出してその位置を求める。行われる画像処理は図7が示す工程となっている。

まず最初に背景差分を用いて環境光などの既存ノイズを除去し、二値化を行う。ここで、二値化の際には閾値を調節して可能な限り手の物体のみを抽出する。次に、モルフォロジー演算を用いた基本的なノイズ除去により主に白い画素の集合に表れる黒いノイズを取り除く。さらに、輪郭の抽出を行い、あらかじめ手の物体について求めておいたパラメータ(輪郭の長さ、面積、モーメント等)をもとに、二値化の際に分離できなかった手以外の物体をここで除去する(図8)。最後に、残った手物体の輪郭から重心点を求め、手の位置を算出する。

次に、抽出された手を追跡して作業とユーザを対応づける処理を説明する。この段階では、抽出された手がどのユーザの手なのかは分からない。そこで、アプリケーション画面に各ユーザに設けられたユーザ識別用のエリアを表示する。ユーザは自分の該当するユーザ識別用エリアにタッチをすると、システムは“タッチをした手”と“タッチをされたユーザ識別用エリアのユーザ”とを対応付ける。そして、対応付けられた手を追跡し、その手によって行われる全ての作業はそのユーザによる作業であるとしてユーザの識別を実現する。また、異なる手に対しても同様の処理が行われ複数のユーザの手を識別する。ただし、ユーザの手がパネル付近から手が離れ、カメラが検出できなくなった場合は手の追跡が行えないのでユーザの識別は解除されてしまう。したがって、ユーザはユーザ識別用エリアにタッチした後、カメラが検出できるように手を常にパネル付近に近づけておく必要がある。もちろん手を動かす場合もパネル付近から離れてはならない。もし、ユーザの識別が解除された場合、ユーザはまたもう一度ユーザ識別用エリアにタッチをして、手をシステムに対して再度提示しなければならない。これはユーザに識別の負担を掛ける結果となるが、ユーザ識別用エリアの工夫によりこの問題を解決できる。

以上が、ユーザ識別の主な流れである。次の節では実際に構築した描画アプリケーションを例に、特に検出された手を追跡する処置の流れについて詳しく説明する。

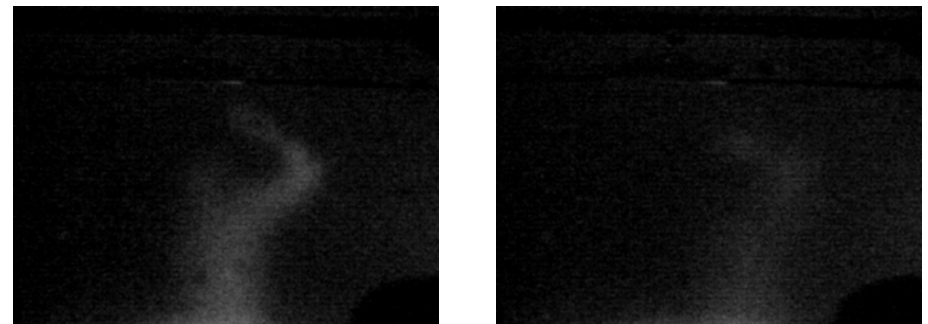


図 6 近くに存在する物体(左)と遠くに存在する物体(右)

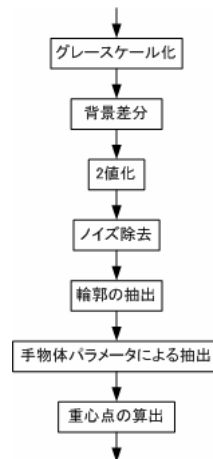


図 7 手物体抽出のフロー図



図 8 近くに存在する物体（左）と抽出された手（右）

3.3 描画アプリケーションによるユーザ識別の例

本提案ユーザ識別は上記で述べた通り二つの処理に大きく分けられる。一つ目の処理は、パネル付近に存在する手を抽出し位置を求める処理である。これはカメラから取得された毎フレームに対して処理が行われ、その時々でパネル付近に存在する手を抽出して位置が求められる。一方、二つ目の処理では抽出された手に対して追跡を行う。この処理で重要な点は、追跡する手とは一つ目の処理で抽出された全ての手に対して行うのではなく、ユーザ識別用エリアにタッチをした手のみを対象として追跡を行う点である。以下、節 2.2 で述べたユーザ識別の流れを今回開発した描画アプリケーションを一例に詳しく説明する。

抽出された手に対して追跡を行う処理では、ユーザがアプリケーション側で用意したユーザ識別用エリアにタッチを行うことから始まる。描画アプリケーションではユーザ識別用エリアをパレットの形で表現し（以後ユーザパレットと呼ぶ）、パレット機能とユーザ識別の役割を併用している。ユーザパレットは、参加しているユーザの数だけ存在し、今自分が選択している色とユーザ別の動物のアイコンを確認できる役割がある(図 9)。

まず、ユーザが自分のユーザパレットにタッチをすると、システムはユーザがタッチをしたその手を抽出し、その手に対して追跡を行う。実際の検出プロセスでは、アプリケーション側がタッチをされたユーザパレットのユーザ番号とその位置情報をシステムに伝え、システムは送られた情報をもとに抽出している複数の手から適切な手を選び出し、その手と送られたユーザ番号を対応付ける。したがって、アプ

リケーション側がユーザ識別用エリアを制御できるため、ユーザ識別の初めのステップである「手を追跡する処理」の合図をアプリケーション側が自由な形で行うことができる。つまり、今回の例ではユーザパレットをユーザ自らが自由に動かすことで、ユーザ識別用エリアの位置をアプリケーション側が変更できる。

システムが追跡を行える範囲は、タッチパネル表面からある一定の距離内だけであるが、手のみを正確に抽出するためその距離は長くはない。このため、ユーザはその長くはない範囲でタッチパネル付近に手を近づけ、常にカメラが検出できるように提示をする必要がある。また、この時アプリケーション側は追跡中の手の位置に円を表示してユーザに対象とする手が追跡中かどうかを知らせる。もしカメラが手を検出できなくなった（手が範囲外に離れてしまった、もしくは他の物体に隠れて見えなくなった）時点で追跡は中止されて円は消える。

次に追跡中の手が描画を行った場合、その手の位置や手の輪郭範囲全てをシステムは把握しているため、そこで行われる作業とユーザを正確に対応付けることができる。このため、複数のユーザ同士が接近して複数の手が近接した場合でも手同士が重なっていないければ（つまり、複数の手が一つの物体としてカメラに検出されていないければ）、それぞれの手の識別は可能である。したがって、アプリケーション側が表示している円はユーザが作業を行える範囲を示しているのではなく、ユーザの識別状態を視覚的に提示しているだけの存在である。

以上が描画アプリケーションを例にしたユーザ識別の流れである。

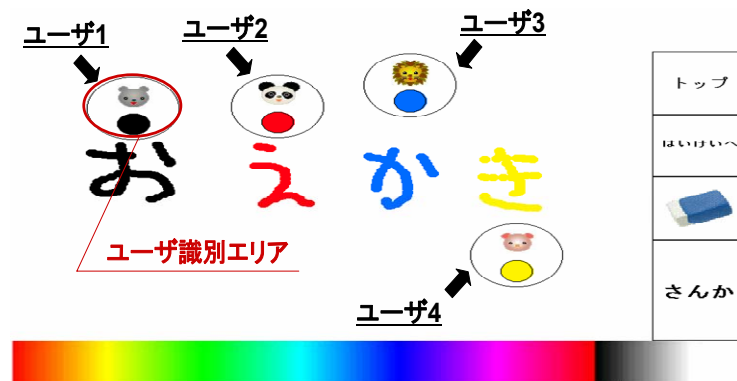


図 9 ユーザパレットとユーザー識別用エリア

4. 描画アプリケーション

本システムのマルチタッチパネルは直接手で作業が行えるため、直感的または親和的に、あるいは身体動作を活かしたアプリケーションの開発が可能となる。一例として今回、このシステムを用いて描画を行うアプリケーションを開発した。より現実世界にフィットした作業を実現できるため、今回の描画は中でもフィンガーペインティングの位置づけとなる。フィンガーペインティングとは、手で直接色をつけて絵を描く作業であるが、この行為がストレスの発散、自己表現につながるとされている。また、本システムはユーザーの識別が行えるため描いた絵を分析することでユーザーの心理状態や精神状態、性格等を知ることができる。さらに、複数人が同時に作業を行った場合、ユーザー同士の人間関係を分析することが可能となる。例えば、お絵書き遊びは幼児にとって日頃親しみのある遊びである。このため幼児がこのアプリケーションを利用した場合、遊びの内容から幼児の発達状況や心理状況、さらには幼児間の交友関係等が分かる可能性があると考えられる。

描画アプリケーションは、描画を行う「描画モード」と描画の履歴を再生する「履歴再生モード」がある。以下に描画モードと履歴再生モードについて解説する。

4.1 描画モード

描画モードでは、以下のような機能を実装している。

- (1) カラーパレット機能
一色を選択する
- (2) 消しゴム機能
一絵を消去する
- (3) ユーザパレット機能
一ユーザー識別用エリアと併用して自分が選択した色を確認する
- (4) 参加機能
一参加ボタンが押されるとユーザーパレットが一つ出現し、参加が可能となる
- (5) 背景変更機能
一背景を変更する

この描画モードはユーザー識別に対応しているため各ユーザーが独立して機能を利用できる。また、描画は手で行われるため筆の太さや塗りつぶし機能は実装されていない。さらに、直線や円、四角形を生成する機能も実装されておらず、色を選択して描画を行うか、描いた絵を消すかのシンプルな構成になっている(図 10)。ユーザーは参加ボタンを押して参加を行う。この時、そのユーザーのユーザーパレットが表示され色の確認、あるいはユーザーの識別が可能となる。ユーザー識別の間は手の位置を中心としてユーザー別の色の円が表示される。ユーザーは円が表示されている間のみ作業(絵を描く、色を変える等の全ての機能を利用する作業)が可能となっている。円が消えた場合は、ユーザーはもう一度ユーザーパレットをタッチして識別を行う必要がある。

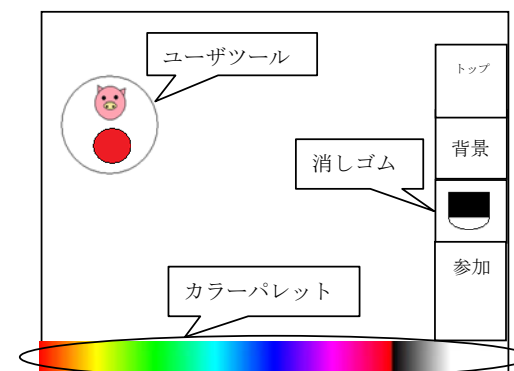


図 10 描画モード画面

4.2 履歴再生モード

履歴再生モードでは、描画モードで描いた絵を再生する機能が実装されている。履歴の再生画面の前には過去の絵を選択する画面があるため、以前に描画した全ての絵が再生可能となっている。このモードは、選択したユーザの履歴を再生、逆再生、停止を行う機能が実装されている(図 11)。ユーザ選択ボタンには、ユーザと関連付けられた動物のアイコンが表示されている。そして、このアイコンボタンにタッチをすると機能(再生、停止、逆再生機能)を適用したいユーザを選択できる。つまり再生ボタンを押した場合は、選択されたユーザに対して各ユーザの絵を再生することになる。また、複数のユーザを選択できるため選択した複数のユーザの絵を同時に再生して、絵の比較を行うことができる。このモードを利用して特に分析者は各ユーザの絵を分析、あるいはユーザ同士の関係性を観察することができる。

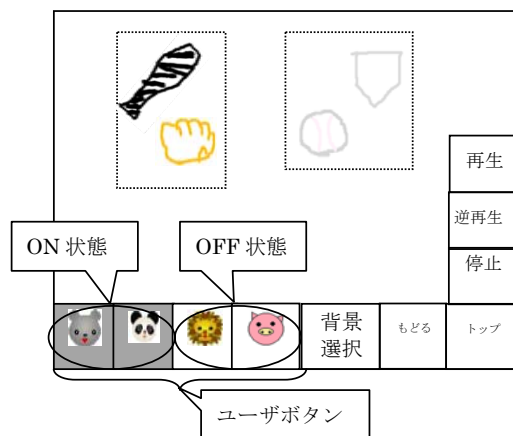


図 11 履歴再生モード画面

5. 提案手法の識別精度

ユーザがマルチタッチパネルからどの程度手を離して作業を行えるのかを検証するため、パネルと手の距離差によって生じる明るさを図 12 に示す。縦軸がカメラから検出された手の平均的な輝度値、横軸がマルチタッチパネルと手との距離である。パネルに触れている時(0cm)から少し離れている時(1cm)にかけて大きく輝度値が減少しているのが分かる。一方、距離が1cm以上の輝度はほぼ比例して値が減少

しているのが確認できる。ここでもう一つ、服の色によって生じる輝度値を表 1 に示す。本手法は手とそれ以外の物体、つまり体とを分離する必要がある。このため着ている服装の色によって生じる輝度値を調べ、ユーザの体の平均的な輝度値を推測して手と体の輝度値の境界線を探る。輝度値を調べるにあたって、パネルと体の距離はユーザが自然に作業を行いやすいと考えられる距離の 45cm で固定して検証を行った。表 1 が示すように、黒は赤外線吸収するため輝度値が他の色より大幅に小さい。また黒以外では、どの色も輝度値 50 前後の結果となった。

図 13 と表 1 の結果から、手と体の輝度値の境界線は 50 前後の値であると推測される。このため、二値化の際に設定する閾値を輝度値 50 前後以上に設定することで手と体の分離が可能となる。したがって、ユーザはパネルからおおよそ 7cm 未満の範囲だけ手を離せる結果となった。しかし、この範囲はユーザの位置とパネルが 45cm の場合であるため、これより距離が短い場合はその分だけ作業範囲が狭くなってしまふ。また、閾値はあらかじめ設定しておく必要があるためシステム稼働中での動的な値の変更は不可能である。したがってユーザが稼働中にパネルへ近づいてしまえば、カメラは体を検出してしまふ。

以上から本手法では、識別範囲が狭い、ユーザがパネルに近づく場合は対応できない、この二つの問題点が挙げられる結果となった。

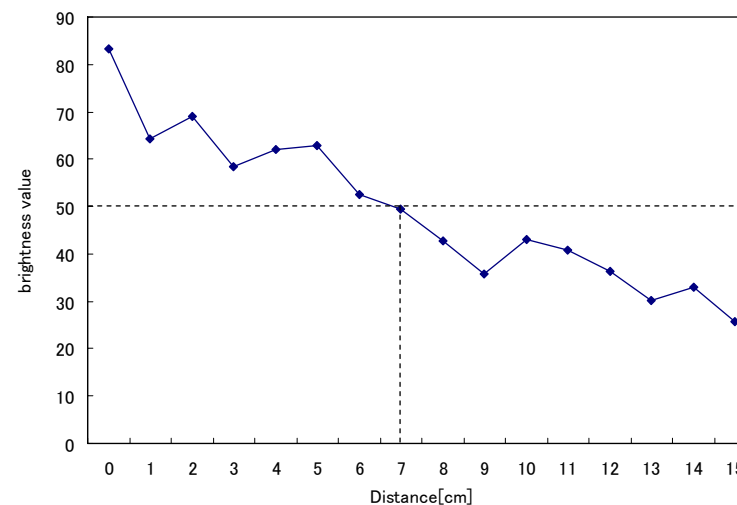


図 12 輝度値と明るさの関係

表 1 色と輝度値の関係 (Distance 45cm)

色	黒	黒に近いグレー	白	白に近いグレー	青	緑	赤
輝度値	10.6	43.6	55.0	51.8	50.4	48.6	49.1

6. おわりに

FTIR 方式の基本構造に独自に赤外線照射装置を追加し、ユーザ識別機能を持った新たなマルチタッチシステムを提案した。さらに、赤外線カメラ一つのセンサでマルチタッチとユーザ識別を同時に可能としたため、ユーザの身体性を確保した直観的なインタクションを実現した。各ユーザは各自の機能を利用してより現実世界で行われる動作に近い作業を行え、さらにその作業履歴が記録される。このため、今回構築した描画アプリケーションを例にその有効性を示した。

またユーザ識別は、初めにユーザがアプリケーション側で設けられた場所にタッチをしなければ行われない。したがってユーザは識別が解除される度にユーザ識別用エリアにタッチをしなければならないため、アプリケーション側でユーザに負担が掛からないような工夫が必要となる。例えば、今回構築した描画アプリケーションでは、実際描画（特にフィンガーペインティング）を行う際に筆（指）でカラーパレットに色を付ける作業が必要である。このため、この色を付ける作業をユーザ識別用エリアにタッチを行う過程に置き換え、ある種のメタファーを形成することでユーザは負担なく、識別を意識せず作業を行うことができる。このようにユーザ識別用エリアはアプリケーション側が自由に制御できるため、各アプリケーションは様々な形でユーザ識別を表現でき、その形態にあった適切なメタファーの形成が可能となる。

最後に、ユーザ識別の問題点として、ユーザが設定以上にタッチパネルへ近づいてしまう場合は識別精度が大幅に落ちてしまい、またユーザの作業範囲が狭いことが挙げられた。今後の展望として、これらの問題点を解決するために赤外線照射装置の改良、あるいは新たな手の追跡方法を取り入れていく予定である。

謝辞 本研究を行うにあたり、ご指導を賜りました金田重郎教授、芳賀博英教授に深く感謝いたします。また、マルチタッチパネル制作にご協力して下さった三洋製作所様、貴重なお時間を割きその仲介役を担っていただいた甲南大学マネジメント創造学部の井上明先生に厚く御礼申し上げます。また、様々な形で支援していただいた情報システム学研究室の皆様感謝致します。

参考文献

- 1) Han, J. Y. 2005. Low-Cost Multi-Touch Sensing through Frustrated Total Internal Reflection. In Proceedings of the 18th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology