

紙窓: カード内領域を独立したタッチパネルディスプレイのように扱うインターフェース

加藤 邦拓^{*1} 宮下 芳明^{*1*2}

Paper Windows: An Interface whose Inside Area Can Be Used as An Independent Touch-panel Display

Kunihiro Kato^{*1}, and Homei Miyashita^{*1 *2}

Abstract – In this paper, we propose “Paper Windows”, a paper interface that can use on the capacitive touch-panel display. Operating through a window on the card allows the user to use it as an independent touch-panel display. Using a paper card can give a user feeling like “using a small touch-panel display”. And we also propose a creating method for interface using inkjet printer with conductive ink. This allows a user to create an interface easily and at a low cost. Furthermore, we experimented on the recognition accuracy of the interface that are painted conductive points.

Keywords : conductive ink, multi-touch, card, physical interface

1. はじめに

今日ではテレビやパソコン、スマートフォン、タブレットなど様々な機器においてディスプレイが備わっており、殆どの場合はディスプレイの全面に情報が表示される。またこうした機器対し、タッチパネルが採用されることも多くなり、その画面に直接手で触ることで入力が可能なものも広く普及するようになった。こうしたディスプレイのあり方は、既に我々にとって当たり前の存在となっているであろう。

本研究では、未来のディスプレイのあり方の可能性の一つとして、「ディスプレイでない物をあたかもディスプレイであるように感じさせる」環境について検討したい。図1は、本研究で提案する手法を用いて作成した紙製インターフェース「紙窓」を用いて、複数人で共同作業を行っている様子である。ここで、例えばこのディスプレイが机と見た目の区別がつかず、完全に一体化している状態になったとしたら、机に置いた紙のカードが、ディスプレイを備えた端末となり、それを操作しているかのようなユーザ体験を与えられるのではないだろうか。

ただの紙のような任意の平面をインターフェースとして使用するインターラクション手法はこれまでにも、数多くなされてきた^{[1], [11]}。本研究では、こうした紙をインターフェースとしたインターラクションを実現するための「プロトタイピング手法」を提案する。提案手法

では、導電性インクと家庭用のインクジェットプリンタを用いてインターフェースの作成を行う。これにより静電容量式タッチパネル上で使用できるインターフェースを、印刷するだけで容易に作成可能となる。

また本提案手法により作成したインターフェース「紙窓」は静電容量式タッチパネルディスプレイ上に押さえつけるだけでアプリケーションを起動し、使用可能な紙製のインターフェースである。穴の空けられた、もしくは一部が透明になっている紙をタッチパネルディスプレイ上に置くことで、紙の内側にアプリケーションが表示される。ユーザはインターフェースの内側に表示された情報を直接タッチすることでアプリケーションを操作することができる。本研究では、こうした紙製のインターフェースで「小さなタッチパネルディスプレイを操作する」ような感覚を与えることのできる環境を実現する。

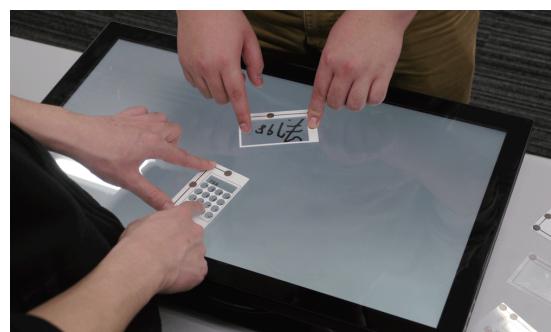


図1 紙窓を用いた複数人での作業の様子

*1: 明治大学大学院 理工学研究科

*2: 独立行政法人科学技術振興機構 CREST

*1: Graduate School of Science and Technology, Meiji University

*2: JST CREST

以下、2章で関連研究について述べる。3章で提案手法及び、新規性について述べ、4章で提案手法を用いたシステム、紙窓について述べる。5章では、提案手

法の認識精度をより向上させるための調査として行った評価実験とその結果について述べ、6章でまとめと展望について述べる。

2. 関連研究

2.1 物理インターフェース内に情報を表示する手法

実物体を用いたインターフェースの研究は数多くなされている。DataTilesでは、平面ディスプレイ上に無線タグを埋め込んだ透明なタイルを配置し、インターフェースとして使用する^[2]。それぞれのタイルごとに異なる情報を表示することができ、また、複数種類のタイル隣接させて配置することで、個々のタイルの機能を組み合わせた複雑な操作を実現している。これらのタイルには操作ガイドとして溝が掘られたものがあり、ユーザはこの溝に沿ってペンデバイスを動かし操作することができる。

Tangible Tilesは、AR マーカを取り付けた透明なタイルを用いたテーブルトップインターフェースを提案している^[7]。天井に配置したカメラから、マーカの位置を検出し、プロジェクタによってタイル上に情報を投影する。Touchplatesは、穴の空いたアクリル製のプレートをディスプレイ上に乗せ、その穴を通してディスプレイをタッチし操作する手法を提案している^[13]。SLAP Widgetsでは半透明なシリコンやアクリル製のキーボード、スライダなどの物理インターフェースをテーブルトップ上で使用する手法を提案している^[5]。SLAP Widgetsの物理インターフェースには、複数のマーカが配置されており、カメラによってこの配置を認識することで、インターフェースの識別を行っている。

本研究で提案するシステムも、ディスプレイ平面上に置いたインターフェース内に情報を表示し、それらを直接操作可能な環境という点でこれらの研究と共通している。なお、提案手法の新規性については次章で説明する。

他にも、PaperWindowsではプロジェクタを用いて実世界上の紙に、情報を投影することで、紙自体をウィンドウとして扱い、操作可能なシステムを提案している^[1]。また、DigitalDesk Calculatorでは、天井から机の上に情報を投影することで、実世界のデスクワークに、デジタルを融合させた環境構築を行っている^[11]。これらのように、実世界上の紙や机などの任意平面上に情報を表示し、インターフェースとして扱う研究も数多く行われている。本研究で提案する手法は、これらの研究で行われてきたような、任意平面上において実世界上の紙をディスプレイとして扱う環境を容易に構築するための手法を目指す。

2.2 タッチパネル上で用いる物理インターフェース

静電容量式タッチセンサの基本原理や、その上で物理的なインターフェースを使用する手法は SmartSkinにおいて提案された^[3]。今日、市販されている多くのタッチパネルデバイスには、この静電容量式のタッチセンサが採用されており、市販のタッチパネルディスプレイ上で物理インターフェースを用いたインタラクションに関する研究が数多くなされている。

CapWidgetsでは、二つの導電部を配置したつまみ型のインターフェースでタッチパネルを操作する手法を提案している^[15]。TUICでは、複数の導電部をインターフェースに配置し、その配置パターンによってインターフェースの識別を行っている^[8]。また、TUICでは特定の箇所に一定の周期でタッチ入力を与え続け、その周波数の違いによって認識する TUIC-fも提案している。くるみるでは、枠型のインターフェースを用いたタブレット操作手法を提案している^[18]。複数の導電部を持つ枠型インターフェースをタブレットに乗せ、それを回す操作によって情報の拡大・縮小などの操作を行うことができる。

CapStonesでは複数の物理インターフェース同士を重ねて用いることで、異なるマルチタッチパターンを生成可能な機構を提案している^[4]。CapStonesには 2×2 マスまたは、 3×3 マスに複数の導電部が配置されている。物理インターフェースを一つ重ねる毎に接地される導電部が増える構造となっており、異なる配置のパターン生成を実現している。Tangible Remote Controllersでは、タブレット端末を用いた大型ディスプレイ作業時のインターフェースを提案している^[17]。導電部を配置したボタン、スライダ、ダイヤルの三種類のインターフェースを実装しており、それらを乗せたタブレット端末自体をコントローラとして、大型ディスプレイでの作業に用いている。

静電容量式のタッチセンサは、接地された物体の接触によってタッチ位置を検出している。そのため、導電部を配置した物理インターフェースを置いただけではタッチ認識を行うことはできず、ここまで挙げた研究の多くはユーザがインターフェースに配置した導電部に触れて使用することを前提としている。

この問題を解決する手法として、PUCsではユーザがインターフェースの導電部に直接触れずとも、タッチパネルディスプレイ上で認識させる手法を提案している^[20]。PUCsでは複数の足を持ったブリッジ状の物理インターフェースをタッチパネル内部の電極に対し斜めに配置して、ウィジェットを通して別の位置にある受信電極と静電結合を発生させることで人体の接触を必要としないタッチ検出を可能としている。

これらの研究のように、複数の導電部を配置するこ

とでマルチタッチを発生させる物理インターフェースを使用する手法自体は既知であり AppMATES のように既に製品として応用されているものもある^[21]。

本研究で提案する手法も、前述した研究と同様に複数の導電部を配置することで、静電容量式のタッチパネルディスプレイ上でマルチタッチを発生させ、インターフェースの認識を行う。一方で、前述した研究で用いられているインターフェースはアクリルなどを加工して作成していることに対し、本研究では導電性インクとインクジェットプリンタを用い、印刷するだけでインターフェースを作成する手法を提案する。

2.3 導電性インクによるインターフェース作成

Instant Inkjet Circuits によって提案された手法を用い、インクジェットプリンタによってインターフェースを作成する手法が提案されている。PrintSense は、導電性インクによって導電部のパターンを印刷することによるタッチセンサの作成手法を提案している^[10]。マルチタッチのセンシングに加え、近接、圧力、センサ自体の折りたたみ状態など複数の情報を取得することが可能となっている。

A Cuttable Multi-touch Sensor も同様に、導電性インクによるセンサの作成手法を行っている。センサの任意の箇所を切っても動作する回路設計を提案しており、様々なデバイスの形に合ったタッチセンサを作成することができる^[14]。

3. 提案手法

3.1 提案手法における新規性

提案手法では導電性インクとインクジェットプリンタを用いることで、静電容量式タッチパネル上で使用可能なインターフェースの作成を行う。

静電容量式タッチパネルの具体的な認識方法については、SmartSkin や、PUCs の論文中にて説明されている^{[3], [20]}。静電容量方式のタッチパネルは人体などの接地された導電体が接近することで、タッチ検出を行っている。タッチパネル内部に透明な電極が縦横に格子状に配置されており、これらの電極は一方が信号の送信、もう一方が信号の受信の役割を担っている。送信側電極には信号が印加されており、受信側電極との交差点において静電結合をしている。静電結合されている箇所に対し、人体などの接地された導電体が接近すると、その電極間における静電容量に変化が生じる。この変化量を計測することでタッチ検出を行っている。市販されているスマートフォンやタブレット端末などのタッチパネルデバイスの多くは、この静電容量式によるタッチセンシングが採用されている。

静電容量式のタッチパネル上でタッチ入力をを行う際、ユーザは直接指をディスプレイに接触させずとも、金

属や導電性ゴムなどの導電体を介してタッチ入力を発生させることが可能である。しかし、こうしたタッチパネルデバイスは、人間の指によるタッチに最適化され、ユーザの意図しないタッチ入力を防ぐ仕組みが設けられていることがある^[20]。そのため、多くのタッチパネルデバイスでは、導電体の接触面が狭すぎるなどの理由で静電容量の変化を十分に起こすことができない場合、タッチ認識を行うことができない。静電容量方式のタッチパネル上で使用する物理インターフェースを作成する場合、これらの制約を考慮して、タッチ入力を発生させるための導電体を配置する必要がある。

ここで、既存の研究において使用されている物理インターフェースの設計についていくつか例を挙げる。SmartSkin では、木やプラスチックなどの絶縁体でできた物体の底面に金属箔を設置している^[3]。この金属箔は物体の側面を通し、物体の上部の金属箔と接続されている。ユーザが上部の金属箔に触れた状態で、物体を静電容量式センサに接触させることで、タッチ入力位置の検出を行っている。くるみる、PUCs, Tangible Remote Controllers なども同様に金属箔を貼り付けたアクリルなどの物体をインターフェースとして使用している^{[17], [18], [20]}。Clip-on Gadgets は、プラスチック製のクリップでできており、一部に数ミリサイズの導電性のゴムをむき出しの状態で配置している。タッチに入力を発生させるための回路や配線はクリップの内側に格納されている^[9]。

このように、物理インターフェースでは、特定の箇所でのみタッチイベントを発生させるため金属箔などを用いて導電部の立体的な配置がなされていることが分かる。

本研究で提案する手法は、紙などの平面上に印刷した導電部をタッチ入力を発生させるための導電部として使用する。立体的な配線を必要とした従来手法とは異なり、本手法では印刷する導電部の大きさや太さを調整することで、全ての導電部が同一平面上に存在しているながら、タッチイベントを発生させる箇所の制御を実現する。提案手法により印刷するだけで導電部の配置が可能なため、特別な加工をせずとも容易にインターフェースの作成が可能となる。

3.2 導電性インクによるインターフェースの印刷

導電性インクを導入したインクジェットプリンタ複合機によって印刷しインターフェースを作成する。導電性インク複合機の環境構築は、Instant Inkjet Circuits を参考に行った^[16]。導電性インクには三菱製紙社製銀ナノ粒子インク (NBSIJ-MU01) を使用する。インクジェットプリンタには Brother インクジェット複合機 (PRIVIO DCP-J740N) を使用した。印刷に使用する用紙は、フォト用紙などのような光沢紙や光沢フィ

ルムを使用する必要がある。また、印刷の設定や紙の品質によっては導電性が得られない場合もあるため、印刷の際には高品質設定で印刷をすることが望ましい。

3.3 マルチタッチパターンの生成

本提案手法では、導電性インクによって印刷した導電部によってマルチタッチを発生させる。印刷した導電部は、タッチイベントを発生させる部分（以後、タッチ入力部）と、それら同士を接続する部分（以後、接続部）からなる（図2左）。ユーザは、印刷したインターフェースを印刷面を上にして静電容量式タッチパネルディスプレイ上に乗せて使用する。インターフェースをディスプレイ上に置いた状態では、導電部は接地されないためタッチイベントは発生しない。ユーザがタッチ入力部のいずれか1点以上に触れることで導電部が接地され、全てのタッチ入力部において同時にタッチイベントを発生させることができる（図2右）。また、印刷したタッチ入力部の配置パターンによって使用されているインターフェースの識別を行うことができる。

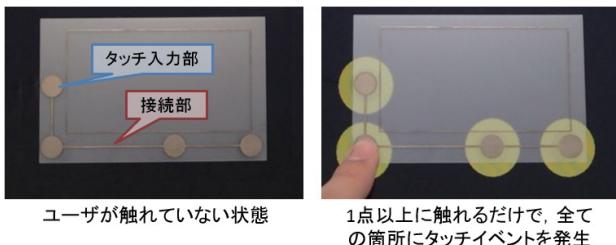


図2 マルチタッチの生成

3.4 タッチイベント発生箇所の制御

紙のように薄い素材であれば、ディスプレイに重ねた上からタッチした場合でもタッチイベントを発生させることができる。このことを利用し、本提案手法ではインターフェースの印刷面を直接ディスプレイに接触させずにタッチイベントを発生させる。また、印刷する導電部の大きさを変えることで、タッチイベントを発生させる箇所を制御する。タッチ入力部を人間の指先程度の大きさで印刷することに対し、接続部をできる限り細くすることで、タッチ入力部でのみタッチイベントを発生させることができるとなる（図3）。

静電容量の変化によってタッチ認識を行うため、印刷面をタッチパネル上に直接接触させ、ユーザがインターフェースの裏面をタッチすることでも同様にマルチタッチを発生させることは原理上可能である。しかし本提案手法では、ユーザがいずれかのタッチ入力部上を触れてインターフェースを使用するため、その箇所を視覚的に明示する必要がある。また、接続部上でタッチ入力が発生することを避けるため、本提案手法では導電部の印刷面を表にし、導電部を紙の厚さ分タッチパネル上から浮かせた状態でインターフェースを使用す

るものとする。

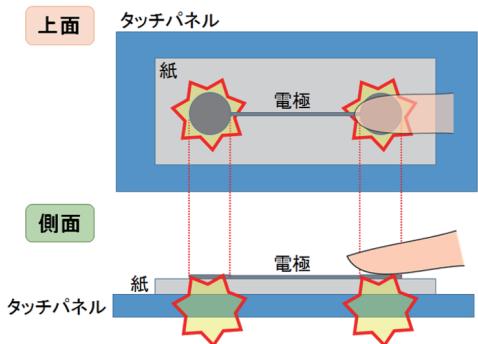


図3 タッチイベント発生箇所の制御

4. 紙窓

本研究で提案する紙窓は、タッチパネルディスプレイ上に置くことでアプリケーションが起動し、そのまま使用することのできるカードインターフェースである。カード状のインターフェースには、透明または穴の空けられた「窓」が空いており、この窓形状に合わせて情報が表示される。また、カードはタッチパネルディスプレイ上の任意の箇所において使用することができ、カードを傾けたり、移動させたりしてもカードに合わせて情報を表示し続ける。起動したアプリケーションは、カードがタッチパネルから離れると同時に終了し、自動で閉じられる。

4.1 アプリケーションカード

紙窓にはユーザが情報を表示するための「窓」として穴が空けられており、ユーザはこの穴を通してアプリケーションを操作する。アプリケーションごとに適したデザインの窓を配置することで、カードに適当なアフォーダンスを付与することが可能となる。

また、図4右のように、窓となる箇所に枠を印刷することで、透明なPET用紙を用いたカードを作成することも可能である。

紙窓のマルチタッチパターンは、カードの位置や角度を検出するための4点のタッチ入力部と、それら全てを繋ぐ、太さ0.5mmの接続部で構成されている（図4）。マルチタッチパターンの位置や角度に応じて、アプリケーションを表示する位置を決定する。またマルチタッチパターンは、カードを識別するためのIDの役割も担っており、カードごとに異なる配置でタッチ入力部を印刷する。これによってカードごと異なるアプリケーションを使用可能とした。具体的な認識アルゴリズムとしては、配置したタッチ入力部4点の内、特定の3点からなる3つの图形を全てのカードに共通して印刷し、この配置を予めシステム上内で登録しておく（図4）。ユーザがこのカードを押さえつけた時、同時

紙窓: カード内領域を独立したタッチパネルディスプレイのように扱うインターフェース

にタッチされた4点のタッチ入力部の中から、予め登録された図形をなす3点を探し、それらの位置情報からアプリケーションを表示する位置を決定する。残った1点のタッチ入力部をカードごとに異なる配置し、その位置によってカードの種類を識別する。今回実装したアプリケーション例では、この識別用のタッチ入力部を、一端に配置された点から7.0 mmずつ間隔を空けて配置した。これは、異なるマルチタッチパターンとして十分に識別可能な距離である。

また、紙窓のアプリケーションカードにはマルチタッチパターンとは別に、割り当てられたアプリケーションのイメージに合わせて自由にデザインを印刷することができる。この際、印刷するデザイン上でタッチイベントを発生させないためにマルチタッチパターンとは接続せず、独立している必要がある。

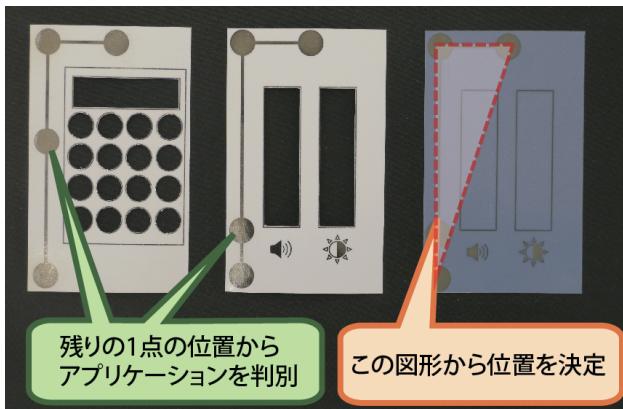


図4 アプリケーションカード

4.2 アプリケーション例

コンピュータ上の作業を行う際、その中心となって使用されるアプリケーションの他に、複数のアプリケーションを平行して使用することがある。しかし、それらの全てのアプリケーションが作業全体を通して必要とは限らず、電卓アプリやペイントアプリなど、機能の限られた作業の補佐的役割となるアプリケーションも少なくない。こうしたアプリケーションは大抵の場合、使用頻度も低く、深い階層に置かれるがちになってしまふ。使用する際は、場合によってはスタートメニューを開き、アプリケーションを探してから起動するような煩雑な手順が必要になる。

本節で述べる紙窓のアプリケーション例では、こうした作業の本質ではないが「今ちょっとだけ使いたい」ようなアプリケーションを即座に起動可能な環境を実現する。これにより、PC上で動作するアプリケーションのメリットである、他のアプリケーションとの連携ができる環境を保つつゝ、実世界の手元にある物をちょっとだけ使うような感覚でアプリケーションの使用が可能となる。

4.2.1 ペイントアプリ

ペイントアプリではユーザはカードの枠内に自由にストロークを描くことができ、簡単な手書きメモアプリとして使用できる(図5左上)。カードをディスプレイから離し、アプリケーションを終了する際、描画した内容を画像として保存する。

4.2.2 電卓アプリ

電卓アプリではカードをディスプレイに乗せることで、ボタン部の穴に数値や演算子などのボタンが表示され、タッチにより数値の入力ができる(図5右上)。また、アプリ終了時に計算結果をクリップボードに記録する。

4.2.3 コントロールパネルスライダ

コントロールパネルスライダでは、2つのスライダが表示される(図5左下)。これらのスライダによってそれぞれPCの音量、ディスプレイ輝度の調整をすることができる。

4.2.4 マルチクリップボード

マルチクリップボードには3つのボタンが配置されており、それぞれコピー、カット、ペーストの機能を持つ(図5右下)。ユーザはデスクトップ上のファイルを選択した状態でこのカードをディスプレイに押さえつけたまま、コピーもしくはカットのボタンを押すことで、カードごとにファイルを保存することができる。また、ファイルが保存されたカードをディスプレイに押さえつけたまま、ファイルの移動先をタップし、ペーストボタンを押すことでファイルの移動が完了する。

異なる配置のマルチタッチパターンに対してそれぞれ別のファイルを格納することができるため、複数のファイルを同時に保持することができる。一度保存されたファイルは上書きされない限りファイルを保持し続けることも可能である。また、本システムは複数端末間での情報移動使用も可能としており、特定の端末上でカードにファイルを保存し、カードを別端末上に乗せてファイルをペーストすることができる。

本システムの関連研究として、記憶の石がある^[19]。この研究では、複数の指で触れる動作をトリガーとして複数コンピュータ間での情報移動を実現している。マルチタッチのパターンによって情報を記録し、コンピュータ間で移動する手法は記憶の石と同様であるが、本システムではマルチタッチパターンを印刷してあるため、一度コピーを行てしまえば、後から何度も使用することができる。また、同じ形状パターンのインターフェースであれば、同じ情報を呼び出すことができるため、インターフェース自体を複製し、配布することで他ユーザとの情報共有も可能である。

5. 評価実験

本提案手法によって特定の箇所にタッチイベントを発生させるにはタッチ入力部の大きさと接続部の太さが適当な値である必要がある。例えば、接続部の太さが細すぎるとプリンタの精度によっては電極が断線し、タッチイベントを発生できないことがある(図6左上)。逆に太すぎてしまうと接続部上においてもタッチイベントが発生してしまい、タッチ位置の制御ができなくなる(図6右上)。また、タッチ入力部が小さすぎるとタッチイベントを発生させるために必要な静電容量の変化を起こせず、タッチ検出ができない(図6左下)。逆に大きすぎてしまうと、中心が定まらずタッチ位置にブレが生じてしまう(図6右下)。以上のことから、提案手法の認識精度をより向上させることを目的とし、印刷した導電部における接続部の太さと、タッチ入力部の大きさの違いによる認識精度を評価する実験を行い、実現する際の最適値を求める。

5.1 接続部の太さについて

まず、接続部上でタッチ入力を発生させないために必要な導電部の太さについて調査を行った。2点のタッチ入力部を有するパターンが印刷されたシートを用意し、タッチパネル上に貼り付ける。この状態で、タッチ入力部の内一方を被験者にタッチさせる。この際、2点のタッチ入力部の両方で安定してタッチ入力が発生した場合を認識成功として、認識率を求める。調査に使用する接続部の太さは、0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0 mm とし、2点のタッチ入力部を異なる点として認識させるため、2点間の距離を30.0 mmとした。実験には Microsoft Surface Pro 3 (解像度 2160 × 1440, 12 インチ) を使用した。印刷用紙には三菱製紙製 銀ナノ粒子インク専用紙 (NB-TP-3GU100) を用いた。被験者は3名の大学院生であり、試行回数は各パターンにつき20回ずつとする。

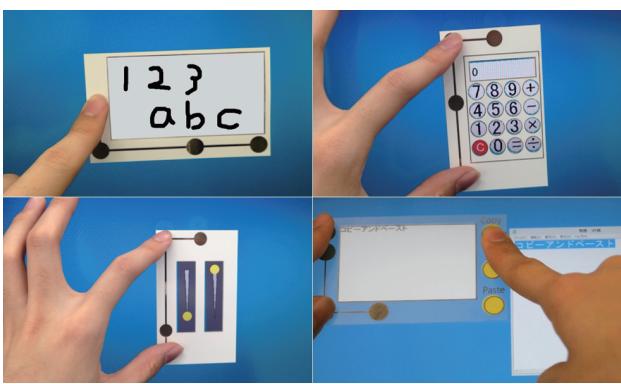


図5 紙窓: ペイントアプリ(左上), 電卓アプリ(右上), コントロールパネルスライダ(左下), マルチクリップボード(右下)

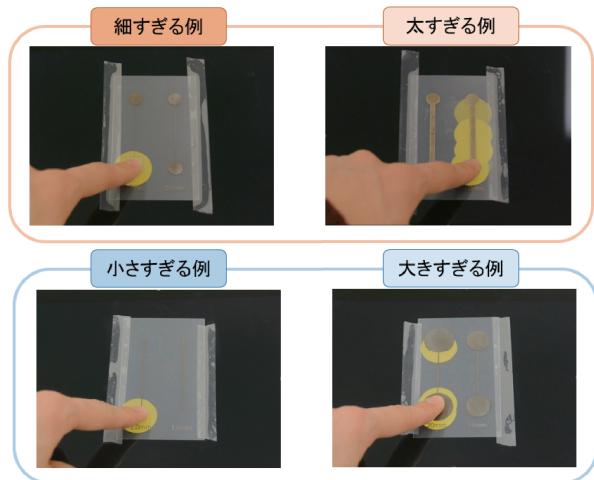


図6 マルチタッチ生成失敗例: 接続部が細すぎる場合(左上), 接続部が太すぎる場合(右上), タッチ入力部が小さすぎる場合(左下), 大きすぎる場合(右下)

結果

接続部の太さを0.5 mm以下に設定することで、全ての被験者が接続部上でタッチ入力を発生させることなくインターフェースの使用に成功した(図7)。太さが1.0 mmになると接続部上でタッチイベントが発生してしまうことがあったり、そもそもパターン上で全くタッチ入力が発生しなかったりとタッチイベントの生成が不安定になることがある。今回の調査では0.1～0.5 mmの細い接続部を持つパターンにおいて、100%の精度でタッチ認識に成功したが、太さ0.1 mmのパターンを用いる場合、印刷用紙やプリンタの精度によっては断線してしまうことがある。このことを考慮すると、接続部は0.2～0.5 mm程度の太さが適切である。

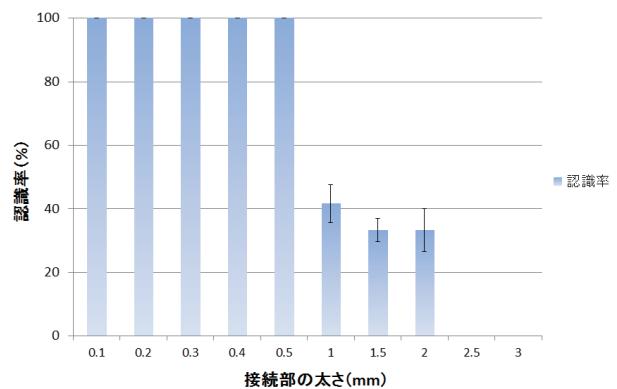


図7 接続部の太さによる認識率

5.2 タッチ認識精度

タッチ入力部の大きさによる認識率の調査を行った。2点のタッチ入力部を有するパターンが印刷されたシートを用意し、被験者に対してタッチ入力部の一端を3

紙窓: カード内領域を独立したタッチパネルディスプレイのように扱うインターフェース

秒間をタッチさせる。この時、もう一端のタッチ入力部(直接タッチしていない方)におけるタッチイベントの有無を記録し、認識率を求めた。実験に使用するマルチタッチパターンは、タッチ入力部の大きさを直径3.0, 4.0, 5.0, 6.0, 7.0, 8.0, 9.0, 10.0, 11.0, 12.0 mm、接続部の太さを調査結果から0.5 mmに設定したものを使用する。また、2点間の距離を30.0 mmとした。

試行回数は各シートに付き10回ずつとし、1回のタッチ操作中にタッチ認識が外れた時間をエラーとする。また、歪みや反りによってシートがタッチパネルディスプレイから離れないよう、ビニールテープでシートを固定して実験を行う。実験にはMicrosoft Surface Pro 3(解像度2160×1440, 12インチ)を使用した。印刷用紙には三菱製紙製銀ナノ粒子インク専用紙(NB-TP-3GU100)を用いた。被験者は日常からタッチパネル端末を使用している大学生及び大学院生の10名である。

結果

記録した実験データから、各タッチ入力部の大きさごとの認識率の平均を求めた(図8)。タッチ入力部の直径6.0 mm以上で90%以上、直径8.0 mm以上であればほぼ100%に近い精度でタッチ入力に成功した。

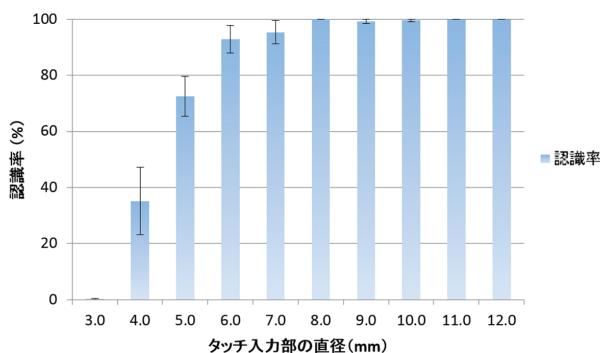


図8 タッチ入力部の大きさによる認識率

また、結果から得られたパラメータを用いたマルチタッチパターンが、市販されている様々なタッチパネル端末において使用可能かを検証した。使用したデバイスはApple iPad 1, 2, mini, iPhone 5, Samsung Galaxy note edge, ASUS Nexus 7, Sony VAIO Pro 11, Type T, MS Surface Pro 1, 3である。検証には、タッチ認識精度実験にて使用したマルチタッチパターンと同じ物を使用する。それぞれのマルチタッチパターンをタッチパネルディスプレイ上に乗せ、タッチ入力を行ったところ、全てデバイスにおいて使用可能であることが確認できた。

5.3 考察

これらの実験結果から、本提案手法によってインターフェースを作成する際、接続部の太さを0.5 mm以下、タッチ入力部を直径0.8 mm以上に設定することで高い認識精度でマルチタッチイベントを発生させることが可能となる。実験に使用したマルチタッチパターンでは、2点のタッチ入力部間の距離を30.0 mmに設定した。この2点のタッチ入力部同士を近づけすぎてしまうと、それらが独立した2点のタッチ入力として認識されなくなる。2点のタッチ入力部同士は10.0 mm程度離れていれば2点のタッチ入力として認識可能であることを確認している。

これらのこと考慮し、以下の条件について作成可能なマルチタッチパターン数を算出する。図9は、以下の条件について作成可能なマルチタッチパターン例である。

- 名刺サイズのカードを5×9マスに分割。各マスにつきタッチ入力部1つが入るものとし、直径10.0 mmの4点のタッチ入力部を配置してインターフェースを作成する(名刺用紙を50×90 mmとして計算)
- 4点のタッチ入力部の内、3点はインターフェースの位置、角度を取得するため、直角三角形をなすよう、図9のA, B区間にそれぞれ1点、角に1点を配置する
- 残りの1点はA区間に置かれた点と同じ列及び、B区間に置かれた点と同じ行に置かないものとする
- 各タッチ入力部同士は隣接させず、周囲1マス以上は間隔を空ける

これらの条件の元、パターン数を算出すると、名刺サイズのカードに400通り以上の異なるマルチタッチパターンを作成できる。また、4.1節にて示したマルチタッチパターンのように、4点のタッチ入力部をL字型に配置したものを含めると約460通りのマルチタッチパターンを作成できる。

また、この条件ではタッチ入力部同士が10.0 mm以上の間隔を空けて配置するものとしたが、タッチ入力部の間隔をより細かく設定することで、パターン数を増やすことができる。他にも、配置するタッチ入力部の数を4点以上に増やす、タッチ入力部のサイズを縮小するなどにより、更に多くのマルチタッチパターンを作成可能である。しかし、誤認識を避けるために必要なタッチ入力部同士の距離や、閾値設定については今後、詳細な実験を行う必要があると考えられる。

今回、実験に使用するマルチタッチパターンの断線を極力避けるため、印刷に導電性インク専用紙(NB-TP-3GU100、厚さ0.13 mm)を使用した。印刷用紙の

厚みによって認識精度が低下する可能性はあるが、本提案手法はフォト用紙などの光沢紙（印刷部分が導電性となるものに限る）であれば適用可能である。現状では他にも、ナカバヤシ デジカメ光沢紙（JPPS-A4N-50, 厚さ 0.15 mm), A-one 名刺用紙 透明つや消しフィルム (51183, 厚さ 0.175 mm), SANWA SUPPLY 写真用紙・薄手 (JP-EK6 A4, 厚さ 0.185 mm) など複数の市販されている用紙で使用可能なことを確認している。

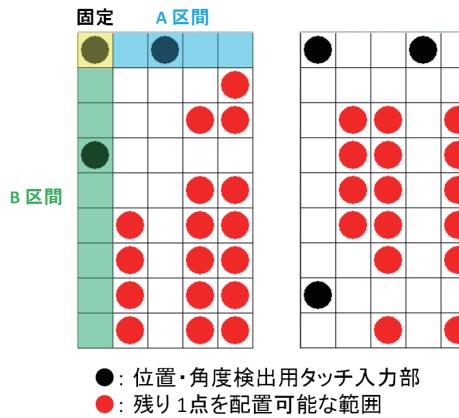


図9 作成可能な異なる配置のマルチタッチパターン例

6.まとめ

本研究では、ただの紙をインターフェースとして使用可能な環境を実現するためのプロトタイピング手法を提案した。提案手法では、全ての導電部を同一平面上に配置していくながら、タッチ入力の発生箇所の制御を可能とすることで、インクジェットプリンタから印刷するだけでインターフェースの作成を実現した。これにより、既存の研究で用いられている物理インターフェースに比べ、より安価かつ容易にインターフェースの作成が可能となった。また、ユーザは紙窓のカードに設けた窓を通してタッチパネルディスプレイを操作することで、あたかもこのカードがそれぞれ独立した一つのディスプレイであるかのように操作することができる。

また、本提案手法の認識精度をより、向上させることを目的とし評価実験を行った。実験結果から、タッチ入力部の直径を 8.0~12.0 mm の範囲内に設定することで高精度のタッチ入力が可能であることがわかった。しかし、タッチ入力部が大きくなる程、その中でタッチイベントが発生する位置にブレが生じる可能性がある。また、紙窓に印刷するマルチタッチパターンの面積が狭いほど、バリエーションに富んだパターンを作成可能なことを考慮すると、8.0 mm が最も適切であるといえる。

今日、テレビや、パソコンなど大型のものから、ス

マートフォン、タブレットなど小型のものまで、様々な機器においてディスプレイが備わっている。こうした機器が使用される場面では、殆どの場合、そのディスプレイの全面を使って何らかの情報が表示される。未来のディスプレイを考える上で、果たして現在我々が「ディスプレイ」と認識している形式がディスプレイであるべき姿なのであろうか。

本研究で述べた紙窓のアプリケーションは実際のところ、PC やタブレットなど既存のタッチパネルディスプレイ上に乗せたカードの位置に合わせて、情報をディスプレイ上に表示しているに過ぎない。しかし、例えば情報を表示するディスプレイが、ユーザにとって「ディスプレイ」ではなく、壁や机などと同様の「ただの平面」として認識される程度の存在であったらどうだろうか。おそらく、本研究で提案した紙窓は、紙が置かれたその一部だけをディスプレイとして情報を表示する（窓からタッチパネルディスプレイ上の情報が見えているだけ）にも関わらず、ただの壁（机）の上に置いた紙自体がタッチパネルを有する独立したディスプレイとなり、表示されたアプリケーションを操作する、という新しいユーザ体験を与えることができるのではないだろうか。これによって壁や扉、机の上、窓や鏡など、ありとあらゆる平面上で、アプリケーションを使用できるディスプレイを出現させることができるものではないだろうか。

DigitalDesk Calculator や、PaperWindows など、紙や机の上など任意平面上をディスプレイのように扱い、日常の作業を支援する試みは数多く行われてきており、またそれらが有用であると証明されている [1], [11]。本研究では、こうした実物体をディスプレイのように扱う環境を、ユーザ自身が容易に作成することのできる環境を実現した。また、実世界上で使用するアプリケーションでありながら、複数のそれらを同時に使用し、連携させることで日常生活における作業を効率良く行うことが可能となる。普段はディスプレイと認識されない“透明”な存在であるが、特定のタイミングで特定の箇所のみがディスプレイになる。そんな未来的なディスプレイの可能性の一つとして、紙窓の手法が役立つのではないかと考える。

参考文献

- [1] David Holman, Roel Vertegaal, Mark Altosaar, Nikolaus Troje, Derek Johns: PaperWindows: Interaction Techniques for Digital Paper, In Proc. CHI'05, pp.591-599, (2005).
- [2] Jun Rekimoto, Brygg Ullner, Haruo Oba: DataTiles: A Modular Platform for Mixed Physical and Graphical Interactions, In Proc. CHI'01, pp.269-276, (2001).
- [3] Jun Rekimoto: SmartSkin: An Infrastructure for

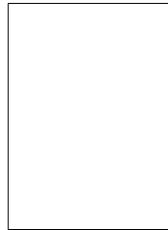
紙窓: カード内領域を独立したタッチパネルディスプレイのように扱うインターフェース

- Freehand Manipulation on Interactive Surfaces, In *Proc. CHI'02*, pp.113-120, (2002).
- [4] Liwei Chun, Stefanie Muller, Anne Roudaut, Patrick Baudisch: CapStones and ZebraWidgets: Sensing Stacks of Building Blocks, Dials and Sliders on Capacitive Touch Screens, In *Proc. CHI'12*, pp.2189-2192, (2012).
- [5] Malte Weiss, Julie Wagner, Roger Jennings, Yvonne Jansen, Ramsin Khoshabeh, James D.Hollan, and Jan Borchers: SLAP Widgets: Bridging the Gap Between Virtual and Physical Controls on Tabletops, In *Proc. CHI'09*, pp.481-490, (2009).
- [6] Malte Weiss, Florian Schwarz, Simon Jakubowski, Jan Borchers: Madgets: Actuating Widgets on Interactive Tabletops, In *Proc. UIST'10*, pp.293-302, (2010).
- [7] Manuela Waldner, Jorg Hauber, Jurgen Zauner, Michael Haller, Mark Billinghurst: Tangible Tiles: Design and Evaluation of a Tangible User Interface in a Collaborative Tabletop Setup, In *Proc. OZCHI'06*, pp.151-158, (2006).
- [8] Neng-Hao Yu, Li-Wei Chan, Seng-Yong Lau, Sung-Sheng Tsai, I-Chun Hsiao, Dian-Je Tsai, Lung-Pan Cheng, Fang-I Hsiao, Mike Y. Chen, Polly Huang, Yi-Ping: TUIC: Enabling Tangible Interaction on Capacitive Multi-touch Display, In *Proc. CHI'11*, pp.2995-3004, (2011).
- [9] Neng-Hao Yu, Sung-Sheng Tsai, I-Chun Hsiao, Dian-Je Tsai, Meng-Han Lee, Mike Y. Chen, Yi-Ping Hung: Clip-on Gadgets: Expanding Multi-touch Interaction Area with Unpowered Tactile Controls, In *Proc. UIST'11*, pp.367-372, (2011).
- [10] Nan-Wei Gong, Jürgen Steimle, Simon Olberding, Steve Hodges, Nicholas Gillian, Yoshihiro Kawahara, Joseph A.Paradiso: PrintSense: A Versatile Sensing Technique to Support Multimodal Flexible Surface Interaction, In *Proc. CHI'14*, pp.1407-1410, (2014).
- [11] Pierre Wellner: The DigitalDesk Calculator: Tangible Manipulation on a Desk Top Display, In *Proc. UIST'91*, pp.27-33, (1991).
- [12] Rong-Hao Liang, Kai-Yin Cheng, Liwei Chan, Chuan-Xhyuan Peng, Mike Y. Chen, Rung-Huei Liang, De-Nian Yang, Bing-Yu Chen: Gauss-Bits: Magnetic Tangible Bits for Portable and Occlusion-Free Near-Surface Interactions, In *Proc. CHI'13*, pp.1391-1400, (2013).
- [13] Shaun K.Kane, Meredith Ringel Morris, Jacob O. Wobbrock: Touchplates: Low-Cost Tactile Overlays for Visually Impaired Touch Screen Users, In *Proc. ASSET'13*, (2013).
- [14] Simon Olberding, Nan-Wei Gong, John Tiab, Joseph A. Paradiso, Jürgen Steimle: A Cuttable Multi-touch Sensor, In *Proc. UIST'13*, pp.245-254, (2013).
- [15] Sven Kratz, Tilo Westermann, Michael Rohs, Georg Essl: CapWidgets: Tangible Widgets versus Multi-Touch Controls on Mobile Devices, In *Proc. CHI'11*, pp.1351-1356, (2011).
- [16] Yoshihiro Kawahara, Steve Hodges, Benjamin S. Cook, Cheng Zhang, and Gregory D. Abowd: Instant Inkjet Circuits: Lab-based Inkjet Printing to Support Rapid Prototyping of UbiComp Devices, In *Proc. UbiComp'13*, pp.363-372, (2013).
- [17] Yvonne Jansen, Pierre Dragicevic, Jean-Daniel Fekete: Tangible Remote Controllers for Wall-Size Displays, In *Proc. CHI'12*, pp.2865-2847, (2012).
- [18] 青木 良輔, 宮下 広夢, 井原 雅行, 大野 健彦, 千明 裕, 小林 稔, 鏡 慎吾: くるみる: 複数導電部をもつ枠型物理オブジェクトを用いたタブレット操作, 情報処理学会研究報告 HCI, ヒューマンコンピュータインタラクション研究会報告 HCI-144, pp.1-8, (2011).
- [19] 池松香, 椎尾一郎: 記憶の石: マルチタッチを利用したデバイス間情報移動, 情報処理学会論文誌, 55(4), pp.1344-1352, (2014).
- [20] 中島康祐, 伊藤 雄一, Simon Voelker, Christian Thoresen, Kjell Ivar Øvergård, Jan Borchers: PUCs: 静電容量方式マルチタッチパネルにおけるユーザの接触を必要としないウェジット検出手法, 情報処理学会論文誌, 56(1), pp.329-337, (2015).
- [21] AppMATES, www.appmatestoys.com.

(2015年1月31日受付, 5月20日再受付)

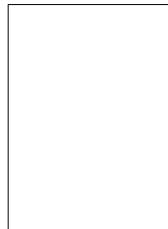
著者紹介

加藤 邦拓



2013年 明治大学理工学部情報科学科卒業。2015年 明治大学大学院理工学研究科新領域創造専攻ディジタルコンテンツ系博士前期課程修了。現在、明治大学大学院博士後期課程に在籍。2015年より同大学理工学部助手、現在に至る。

宮下 芳明 (正会員)



千葉大学工学部卒業(画像工学)、富山大学大学院で音楽教育を専攻、北陸先端科学技術大学院大学にて博士号(知識科学)取得、優秀修了者賞、2007年度より明治大学理工学部に着任。2009年度より准教授。2013年より同大学総合数理学部先端メディアサイエンス学科所属。2014年より教授、現在に至る。日本ソフトウェア科学会、VR学会、ヒューマンインターフェース学会、情報処理学会、ACM各会員。