

# 導電性インク複合機を用いたマルチタッチパターン生成手法

加藤 邦拓<sup>1</sup> 宮下 芳明<sup>1,2</sup>

**概要：**本稿では、導電性インク複合機を用いたマルチタッチパターン生成手法を提案する。複数の導電部を印刷したインターフェースを静電容量式タッチパネルに押さえつけることで、マルチタッチイベントを発生させる。ユーザは印刷された複数の導電部の内、1箇所以上に触れることで、全ての箇所で同時にタッチイベントを発生させることができる。導電部同士を繋ぐ線を極力細く印刷することで、任意の箇所でのみタッチイベントを発生させることを可能とした。また、印刷した導電部の幅や大きさと認識精度についての実験を行い、本提案手法を応用したシステム（スマートフォンのコピーによる制作、ファックスによる伝送、折り紙インターフェースなど）を実装した。

## Generating Technique of Multi-Touch Pattern Using the All-in-One Inkjet Printer with Conductive Ink

KUNIHIRO KATO<sup>1</sup> HOMEI MIYASHITA<sup>1,2</sup>

**Abstract:** In this paper, we describe the generating technique of multi-touch pattern using the all-in-one inkjet printer with conductive ink. This technique enables users to generate multi-touch events against a capacitive multi-touch display; they use paper cards that are printed a number of points with conductive ink. The user, by touching one or more areas within the touch points, can make their touch detectable by all the touch points. By making the line linking the touch points as thin as possible, the touch can be made detectable only on the touch points and not the lines. Furthermore, we experimented on the recognition accuracy of the interface that are painted conductive points. And, we implement the system that was applied our technique.

### 1. はじめに

近年、タブレット端末やテーブルトップ環境などディスプレイ平面上において、実物体を用いたインターフェースの研究が盛んに行われている。これらの研究の中には、静電容量式マルチタッチディスプレイを使用し、静電容量の変化によって物理インターフェースの認識を行っているものがある。こうした研究で使用される物理インターフェースは、アクリルなどを加工した物を使用したり、認識のためにインターフェース自体に金属箔を貼り付けたりと、作成することに手間がかかってしまうことがある。実物体を加工・

制作する手段として、レーザーカッターや3Dプリンタといったラピッドプロトタイピングに用いられる機器の使用が挙げられる。しかし、これらの機器は高額な物が多く、現在でも広く一般に普及しているとは言えない。

ラピッドプロトタイピングに用いられる手段として今日、導電性インクが注目を集めている。導電性インクは一般的な家庭用のプリンタに導入して使用可能であるという利点があり、印刷によって容易に回路を作成可能なことから、基板やセンサなどのプロトタイピングとして使用されることが多い。

本稿では、導電性インクによるラピッドプロトタイピングに着目し、導電性インク複合機を用いたマルチタッチパターン生成手法を提案する。静電容量式マルチタッチディスプレイ上で使用可能なインターフェースを印刷するだけで容易に作成することができる（図1）。ユーザは複数のタッ

<sup>1</sup> 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

Program in Digital Contents Studies, Programs in Frontier Science and Innovation, Graduate School of Science and Technology, Meiji University

<sup>2</sup> 独立行政法人科学技術振興機構, CREST JST, CREST

チポイントを印刷したインターフェースを静電容量式タッチディスプレイ上に押さえつけることでマルチタッチを発生させる。この際ユーザは印刷されたタッチポイントの内1箇所以上に触れることで、全ての箇所においてタッチイベントを発生させることができる。また複合機を用いることで、作成したマルチタッチパターンをスキャナで複製するなど様々な応用例が考えられる。

以下、2章で提案手法について述べる。3章で提案手法の評価実験について述べる。4章で提案手法の応用例について述べ、5章でまとめと展望について述べる。6章で関連研究について述べる。



図1 複合機を用いたマルチタッチインターフェースの印刷

## 2. 提案手法

本提案手法では、導電性インク複合機を用いることで、印刷用紙に導電部を印刷しインターフェースを作成する。ユーザは静電容量式マルチタッチディスプレイ上に印刷したインターフェースを接触させ、マルチタッチを発生させる。

### 2.1 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、Kawahara らの Instant Inkjet Circuits を参考に行った [1]。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。本研究では、複合機には Brother インクジェット複合機 (PRIVIO DCP-J540N) を使用しているが、詰め替え用の空カートリッジが使用可能であれば、他機種のプリンタでも使用可能であると考えられる。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。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することが望ましい。また、原理は確認できていないが、導電性が得られなかった際、印刷直後に印刷面全体を強くこすることで導電性が得られる場合があることを確認した。

### 2.2 マルチタッチパターンの生成

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マルチタッチディスプレイに乗せて使用する。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)。

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。パターンごとに異なった機能のシステムを割り当て、インターフェースをディスプレイに押さえつけることで、それらの機能を呼び出すことができる。

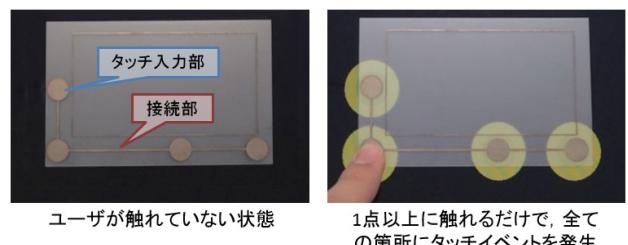


図2 擬似的なマルチタッチの生成

### 2.3 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。これを利用し、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ことができる。また、印刷する導電部の大きさを変えることによって、タッチイベントを発生させる箇所を制御することができる。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可能となる(図3)。

## 3. 実験

印刷した導電部における接続部の幅と、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った。

### 3.1 実験1: 接続部の幅について

まず始めに、接続部においてタッチイベントを発生させないために必要な幅についての調査を行った。実験に使用するマルチタッチパターンとして、2箇所のタッチ入力部とそれらを繋ぐ接続部の幅 0.5~4.0mm(0.5mm 刻み合計8パターン)を印刷したインターフェースを用意した。

被験者に各パターンのタッチ入力部の内1箇所をタッ

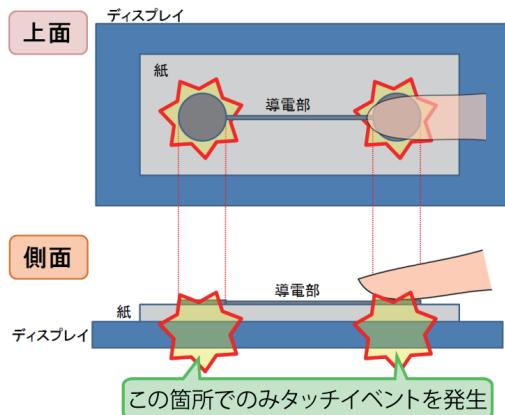


図 3 タッチイベント発生箇所の制御

チさせ、誤認識の発生の有無を記録する。試行回数は各パターンにつき 20 回ずつとする。認識の判定は、2 点以上もしくはそれ以下のタッチ入力数が認識された場合を誤認識とする(図 4)。

被験者は大学生および大学院生の 3 名、実験環境には Microsoft Surface を用いた。カードの 2 箇所のタッチ入力部は、人間の指程度の大きさとして直径 10.0mm に設定した。全てのカードにおいて確実に導電性を持つマルチタッチパターンを印刷するため、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。また、印刷した導電部がディスプレイから浮かないようにするために、カードの両端を平らな物体で押さえつけた状態で実験を行った。

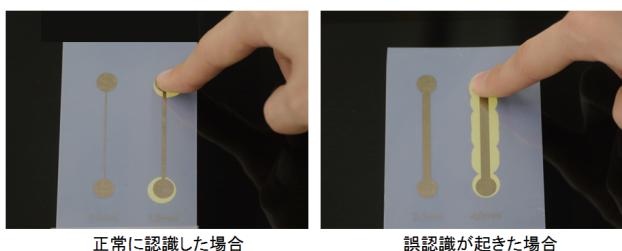


図 4 マルチタッチパターンの正常認識(左)と誤認識(右)

## 実験結果

実験結果から、接続部の幅ごとの認識精度を求めた。接続部の幅が広くなるに連れ、認識精度が低くなっていることが分かる(図 5)。幅 0.5mm では誤認識は一度も発生しておらず、1.0mm でも 90 %以上の精度となった。幅 0.5mm 未満であっても、誤認識を起こさずにインターフェースの使用が可能であると考えられるが、プリンタの精度や、印刷用紙の質によっては導電性が得られなくなる可能性があるため、本手法においては 0.5~1.0mm 程度の幅が適切であると考えられる。

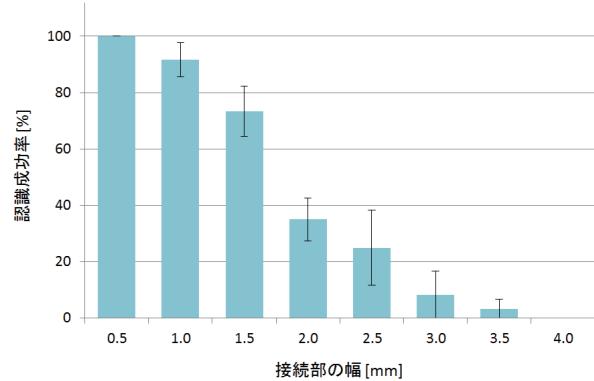


図 5 実験 1 接続部の幅による認識率

## 3.2 実験 2: タッチ入力部の大きさについて

次に、タッチ入力部の大きさによる認識率の調査を行った。実験に使用するマルチタッチパターンとして、6 箇所のタッチ入力部と、それらを繋ぐ接続部を印刷したインターフェースを用意する(図 6)。タッチ入力部の大きさ直径 3.0~10.0mm(0.5mm 刻み合計 15 パターン)とした。

被験者は、印刷されたタッチ入力部を 1 箇所ずつ順にタッチしていく。この際に、被験者が指で直接触れたタッチ入力部以外の箇所で、タッチ入力を認識した数を記録する。試行回数は各パターンにつき 20 回ずつとし、認識の判定はユーザが指で触れている箇所を除いた 5 箇所全てで同時にタッチ入力を認識した場合を認識成功とする。

実験環境、被験者は実験 1 と同様であり、接続部の幅は実験 1 の結果から最も精度の高かった 0.5mm に設定し実験を行った。

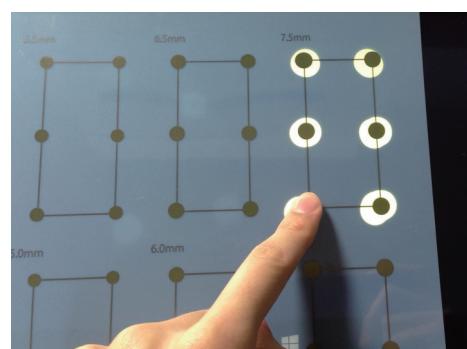


図 6 実験 2 で使用したマルチタッチパターン

## 実験結果

実験結果から、各タッチ入力部の大きさごとのタッチ入力認識箇所数の平均を求めた(図 7)。タッチ入力部の大きさが直径 6.0mm 以上であれば、高い精度でマルチタッチを認識でき、直径 8.0mm 以上であればほぼ確実に全ての点でマルチタッチを発生させることができることが分かる。実験を行った全てのパターンにおいて、最低一度以上はマルチタッチを発生できており、直径 6.0mm 未満であって

も、精度は良くないがマルチタッチを発生させることは可能であるという結果となった。これは、タッチ入力部の大きさが小さいほどインターフェースのゆがみ等の影響によってディスプレイに接触する箇所が少なくなってしまうことが原因であると考えられる。

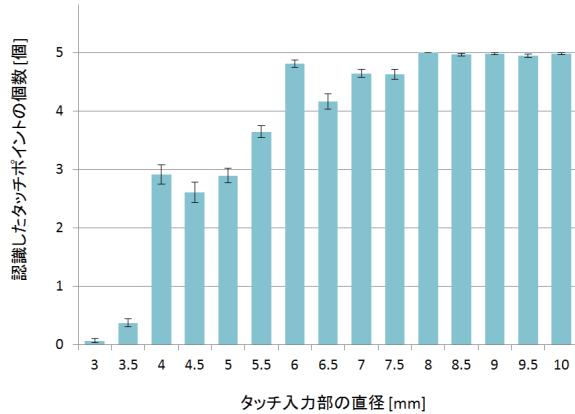


図 7 実験 2 タッチ入力部の大きさごとの認識個数

## 4. 応用例

本提案手法を用いることで、印刷したマルチタッチパターンを複数用意し、それらに対しそれぞれ異なる機能を持たせることができる。また、応用例としてタッチ入力部を接続したマルチタッチパターンの他に、接続を行わず独立したタッチ入力部を一つのインターフェース内に印刷し、機能の拡張をすることが可能である。接続されたマルチタッチパターンによってカードの識別を行い、残りの接続されていない箇所を追加でタッチすることで、複数の機能を使い分けるなどといった使用法が考えられる。

### 4.1 システム応用例

システム応用例として、カードインターフェースを用いた複数コンピュータ間コピー&ペーストシステムを試作した。本システムは、7箇所のタッチ入力部を持つカードを使用する。このタッチ入力部の内、4箇所を接続部によって繋ぎ、残り3箇所は繋がりたくない。接続された4箇所の配置パターンによってカードの識別を行う。ユーザはコピーしたい情報を選択した状態で、接続された4箇所の内1箇所以上を抑えながらカードを使用する。ユーザは接続されていない残りの3箇所をタッチすることで情報を操作する機能をコピー、カット、ペーストの中からを選択することができる(図8)。また、カード中央の枠内に、現在クリップボード内に記録されている情報を表示する。異なるマルチタッチパターンが印刷されたカードはそれぞれが異なるクリップボードとして機能し、カードの枚数分情報を保持することができる。

本システムの関連研究として、池松らの記憶の石があ

る[2]。この研究では、複数の指で触れる動作によっ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原理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、一度コピーを行ってしまえば、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、配布することで他のユーザとの情報共有も可能である。

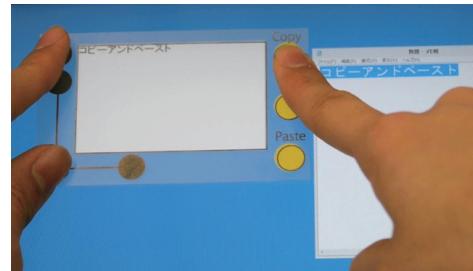


図 8 コピー&ペーストシステム概観

### 4.2 複合機を用いた応用

印刷したインターフェースは、複合機のスキャナを用いることで簡単に複製することができる。現在、実験やシステムで使用しているマルチタッチパターンは、Adobe Illustrator を用いて作成している。パターン描画アプリケーションなどを実装することで、スマートフォン端末で作成したパターンをスキャンし印刷するといったことも可能となり、より簡単にマルチタッチパターンを生成することができる(図9)。他にもユーザ自身が手書きで作成したパターンなど複合機のスキャナを用いた様々なマルチタッチパターン生成手法が考えられる(図10)。また、これらの手法で作成したマルチタッチパターンは、ファックス複合機を用いることで、PCを介さずに離れたユーザに対して送信することもできると考えられる。

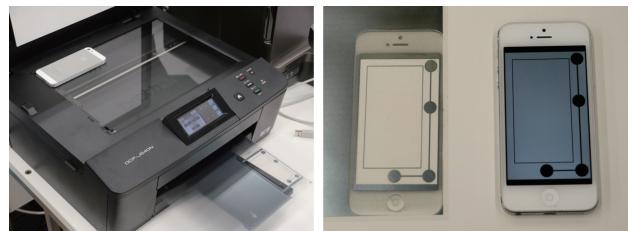


図 9 スマートフォンからマルチタッチパターンを作成

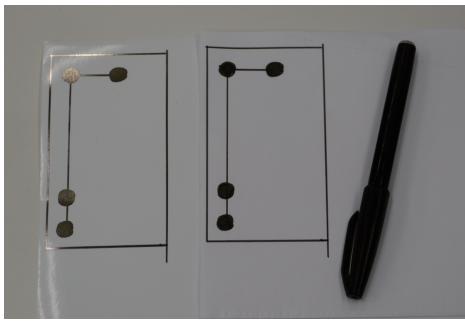


図 10 手書きからマルチタッチパターンを作成

#### 4.3 立体的なインターフェースの作成

導電部を印刷した用紙を折り曲げることで立体的な折り紙インターフェースの作成も可能である(図 11)。ユーザが作成した折り紙をインターフェースとしたタッチディスプレイ上でのインタラクションへの応用ができると考えられる。また、ラベルシール印刷用紙にマルチタッチパターンを印刷し貼り付けることで、身の回りにある物から、インターフェースを作成することも可能である。

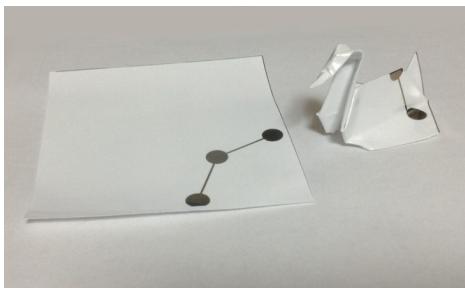


図 11 折り紙インターフェース例

### 5. まとめ

本稿では、導電性インク複合機を用いたマルチタッチパターン生成手法を提案した。導電性インクを用いることで、複数のタッチ入力部を印刷しインターフェースを作成する。ユーザは複数印刷されたタッチ入力部の内、1箇所以上をタッチすることで、擬似的にマルチタッチを生成することができる。また、印刷した接続部とタッチ入力部の幅や大きさによる、マルチタッチパターンの認識率を調査する実験を行い、提案手法を応用したアプリケーションを試作した。

今後の展望として、実験で得られた知見を元に提案手法の応用例を今後も検討していく。今回行った実験では、印刷用紙や実験環境など特定の条件下で行ったが、印刷に使用する用紙の素材や厚さ、タッチパネルディスプレイの性質による認識精度の変化についても調査を行う予定である。また、提案手法を用いたシステムのユーザビリティについての評価も行っていきたい。

### 6. 関連研究

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。Rekimoto らは、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、それぞれのタイルが異なったインターフェースとして使用できる DataTiles を提案している[3]。複数種類のタイルを用いることで、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、ユーザは溝に沿ってペンデバイスを動かし操作ができる。また、同じく Rekimoto は、ユーザが触れた箇所の静電容量の変化によってマルチタッチ操作を認識するセンサである SmartSkin を提案しており、金属箔を貼り付けることによる物理オブジェクトを用いた操作も行っている[4]。

Manuela らは、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 Tangible Tiles を提案している[5]。Shaun らは、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操作可能な Touchplates を提案している[6]。Malte らは半透明なシリコン製のキーボードや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のタッチスクリーン上に乗せることで、それに応じた操作が可能なシステムである SLAP を提案している[7][8]。同じく Malte らは、磁力を用いたテーブルトップインターフェースである Madget を提案している[9]。テーブルトップディスプレイ背面に電磁石と光ファイバケーブルを敷き詰めており、磁石が置かれた際、その箇所にある光ファイバケーブルを点灯させる。その光をカメラで認識することで、位置の検出を行っている。物理インターフェースを入力に用いる他に、テーブルトップディスプレイ背面に敷き詰められた電磁石によって、デバイス自体を自動で動作させたり、LED を点灯させたりといった出力も可能となっている。同様に、磁力を用いた物理インターフェースとして Rong-Hao らは、GaussBits を提案をしている[10]。ディスプレイ背面に S, N 極を判別可能な磁気センサを敷き詰めることで、磁石を取り付けた物理インターフェースの認識を行っている。S, N 極の強さから磁石とディスプレイとの距離や回転角、傾きを取得することで、ディスプレイから浮かせた状態での使用も可能となっている。

Neng-Hao らは、複数の導電部を配置することで、静電容量式マルチタッチディスプレイ上で認識可能な物理インターフェース TUIC を提案している[11]。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物理インターフェースを認識する TUIC-f も提案している。同じく Neng-Hao らは、スマートフォンやタブレット端末の物理インターフェースとして Clip-on Gadgets を提案している[12]。ボタンやキーボードなどを持つクリップを端末に取り付けることで、それぞれの入力

インターフェースを使用することができる。このシステムでは、端末に取り付けたクリップに導電性ゴムが配置されており、端末の画面端に接触している。ユーザがボタンなどを押した際の静電容量の変化を利用し、入力を判定している。青木らは、円形の物理オブジェクトを用いたタブレット操作手法として、くるみるを提案している[13]。複数導電部を持つ物理オブジェクト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。岩島らは、タブレット端末上に乗せて操作することができるつまみ型インターフェースを提案している[14]。このインターフェースによって実世界のLEDライトの輝度を調整するアプリケーションを実装している。

Yvonneらは、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としてTangible Remote Controllersを提案している[15]。ボタン、スライダ、ダイヤルの三種類の物理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ることができる。Liweiらはタブレット操作に用いる物理インターフェースとして、CapStonesを提案している[16]。この研究では、文献[15]と同様に静電容量タッチディスプレイ上に乗せるスライダやダイヤルのインターフェースを実装しているが、これらの複数の物理インターフェース同士を重ねることで、異なった操作を実現している。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ユーザが触れる導電部から、一番下の物理インターフェースとディスプレイとが接触する導電部まで通電する箇所が増える構造となっている。

一般的なコンピュータ環境における研究として、小林らはSpinnerを提案している[17]。物理コントローラをディスプレイに乗せ、コンピュータ上での仮想コントローラに対応させるシステムとなっている。このシステムでは物理コントローラの操作認識にタッチディスプレイによる静電容量の変化を用いておらず、物理コントローラ裏に取り付けられたフォトICセンサによってディスプレイ輝度を読み取ることで認識を行っている。

## 参考文献

- [1] 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. Proceedings of UbiComp'13, pp.363-372, 2013.
- [2] 池松香, 椎尾一郎: 記憶の石: マルチタッチを用いた複数計算機間情報移動, インタラクション2013論文集, pp.80-86, 2013.
- [3] Jun Rekimoto, Brygg Ullner, Haruo Oba: DataTiles: A Modular Platform for Mixed Physical and Graphical Interactions, Proceedings of CHI'01, pp.269-276, 2001.
- [4] Jun Rekimoto: SmartSkin: An Infrastructure for Freehand Manipulation on Interactive Surfaces, Proceedings of CHI'02, pp.113-120, 2002.
- [5] 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, Proceedings of OZCHI'06, pp.151-158, 2006.
- [6] Shaun K.Kane, Meredith Ringel Morris, Jacob O. Wobbrock: Touchplates: Low-Cost Tactile Overlays for Visually Impaired Touch Screen Users, Proceedings of ASSET'13, 2013.
- [7] Malte Weiss, Julie Wagner, Roger Jennings, Yvonne Jansen, Ramsin Khoshabeh, James D.Hollan, Jan Borchers: SLAPbook: Tangible Widgets int Groupware Environments, Proceedings of TEI'09, pp.297-300, 2009.
- [8] 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, Proceedings of CHI'09, pp.481-490, 2009.
- [9] Malte Weiss, Florian Schwarz, Simon Jakubowski, Jan Borchers: Madgents: Actuating Widgets on Interactive Tabletops, Proceedings of UIST'10, pp.293-302, 2010.
- [10] Rong-Hao Liang, Kai-Yin Cheng, Liwei Chan, Chuanchhyuan Peng, Mike Y. Chen, Rung-Huei Liang, De-Nian Yang, Bing-Yu Chen: GaussBits: Magnetic Tangible Bits for Portable and Occlusion-Free Near-Surface Interactions, Proceedings of CHI'13, pp.1391-1400, 2013.
- [11] 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, Proceedings of CHI'11, pp.2995-3004, 2011.
- [12] 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, Proceedings of UIST'11, pp.367-372, 2011.
- [13] 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: 複数導電部をもつ棹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.
- [14] 岩島 伊織, 赤羽 亨, 小林 茂, 鈴木 宣也: タッチパネル上にのせる触知認知可能なコントロールインターフェースの提案とプロトタイプ「つかみどころ」の制作, インタラクション2012論文集, pp.989-993, 2012.
- [15] Yvonne Jansen, Pierre Dragicevic, Jean-Daniel Fekete: Tangible Remote Controllers for Wall-Size Displays, Proceedings of CHI'12, pp.2865-2847, 2012.
- [16] Liwei Chun, Stefanie Muller, Anne Roudaut, Patrick Baudisch: CapStones and ZebraWidgets: Sensing Stacks of Building Blocks, Dials and Sliders on Capacitive Touch Screens, Proceedings of CHI'12, pp.2189-2192, 2012.
- [17] 小林 茂, 赤松 正行: Spinner: 再構成可能なユーザインターフェースへのシンプルなアプローチ, 情報処理学会研究報告. [音楽情報科学], pp.1-6, 2005.