

# タスクに特化された紙状タッチ入力コントローラ

小森谷 大介<sup>\*1</sup> 志築 文太郎<sup>\*2</sup> 田中 二郎<sup>\*2</sup>

## Task-specific paper-based touch controller

Daisuke Komoriya<sup>\*1</sup>, Buntarou Shizuki<sup>\*2</sup> and Jiro Tanaka<sup>\*2</sup>

**Abstract** – We present task-specific paper-based touch controllers. A task-specific paper-based touch controller is a paper that provides the touch UI designed for a specific task. A user can choose the paper corresponding to a task by holding it onto a clipboard. This activates an application corresponding to the task and allows the user to manipulate the application using the touch UI on the paper designed for the task. We implemented task-specific paper-based touch controllers using silver nano-ink.

**Keywords** : Paper-based controller, rapid prototyping, real-world oriented interface, touch, sketch, silver nano-ink

### 1. はじめに

計算機操作の入力インタフェースの代表例としてマウス及びキーボードが存在する。これらは GUI 操作環境においては汎用的に用いられており、多くの場面上において有効に機能する。しかしながらマウス及びキーボードは汎用的なインタフェースであり、ソフトウェア又はタスクに特化するように作られたものではない。入力インタフェースを利用するユーザや操作対象のアプリケーションは無数に存在するため、それらの特徴に合わせた専用のものが存在すれば、作業効率やユーザエクスペリエンスの向上につながると考えられる。

本稿では、タスクに特化された紙状タッチ入力コントローラを提案する。ユーザは紙に自由に図形及び文字を記述する。その後、銀ナノ粒子インクのパターンを文字及び図形に合わせて印刷することにより、タスクに特化された紙状タッチ入力コントローラを作成できる。使用する際は、使用したい紙状タッチ入力コントローラをバイндаに挟むことにより、コンピュータと接続される。また、バイндаに紙状タッチ入力コントローラを挟んだ状態にて、ショートカットなどのコマンドの対応付けを行うことによって、タッチ入力によりそれに応じたコマンドを実行することができる。今回我々が作成した紙状タッチ入力コントローラ及びバイндаを図 1 に示す。

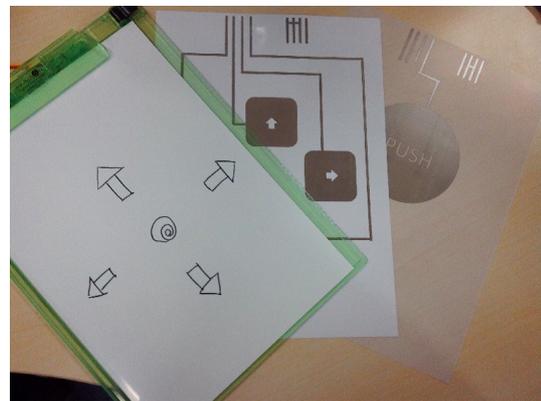


図 1 作成した紙状タッチ入力コントローラとバイнда  
Fig.1 Paper-based touch controller and the clipboard of our system.

### 2. 関連研究

本研究は紙という実物体をコンピュータの操作に用いる。よって、関連研究として、紙をコンピュータへの入力に用いる研究、及び実物体と操作の関連付けを行う研究が挙げられる。また、我々は紙状タッチ入力コントローラの実装に導電性インクを用いているため、導電性インクを実装に用いた HCI 研究も述べる。

#### 2.1 紙を用いた入力

現実の紙をカメラを用いてコンピュータへの入力に用いる試みは多くなされている。EnhancedDesk<sup>[1]</sup>は、拡張机型インタフェースにより、紙情報と電子情報の統合を実現した。プロジェクトにより机にコンピュータの画面を投影し、同時に机上をカメラを用いて撮影することにより、手指及びタッチを認識し、ユーザとのインタラクションを可能にした。紙コントロールパネル<sup>[2]</sup>は紙に描いた図形をボタンとして扱い、図形を指でタッチすることにより計算機の操作を行う。紙

\*1: 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

\*2: 筑波大学 システム情報系

\*1: Department of Computer Science, Graduate School of Systems and Information Engineering, University of Tsukuba

\*2: Systems and Information of Engineering, University of Tsukuba

に図形を描き、アプリケーションのショートカットなどを割り当てることにより、ユーザ独自のタッチ入力インタフェースが作成できる。我々の研究は、カメラを利用しないためユーザはカメラの向きを気にする必要はない。

紙に書かれたスケッチを GUI に変換するという研究もなされている。SketchiXML<sup>[3]</sup> は、スケッチを XML のコードに変換する研究である。XML のコードとして出力することにより、様々なアプリケーションに対応することが可能である。UISKEI<sup>[4]</sup> は、ペンベースのデザイナ向けユーザインタフェース作成支援ソフトである。スケッチをボタンやテキストボックスなどの GUI の部品に変換を行う。Clemens<sup>[5]</sup> は紙にアノトデジタルペンを用いて書いた GUI を携帯電話の GUI に変換する研究を行った。

我々の研究は、図形及び文字を書いた紙をそのままタッチ入力コントローラとして利用する。

## 2.2 実物体と操作の関連付け

物体と操作の関連付けは、TUI の分野において多く研究されている<sup>[11]</sup>。

物体と操作の関連付け手法の一つとして、ディスプレイに表示されているオブジェクトのうち、操作したいオブジェクトの上に物体を載せることにより、オブジェクトと操作が対応付けられるというものがある<sup>[12][13][14]</sup>。また、Tangible Tiles<sup>[15]</sup> は、プロジェクト及びカメラが投影・撮影可能な机上にて、AR マーカのついたタイルを用いて電子情報を操作する研究である。カメラは AR マーカによりタイルの位置及び向きを認識し、それに合わせてプロジェクトにより、タイルに電子情報を提示する。ユーザはタイルを動かしたり、持ち上げたり、置くことにより操作を行う。Draw-to-Map<sup>[17]</sup> は、デスクトップ環境における GUI をポインタを用いてなぞるように描くことにより、物理コントローラの操作と GUI 操作とを対応付けている。Instant User Interface<sup>[18]</sup> はペンやコップなどの日常的に利用する物品とコンピュータの操作を結びつけた。Scott<sup>[19]</sup> は 3 次元の物体にタッチ入力可能なボタンを実装し、コンピュータとの操作を結びつけた。また、Block<sup>[20]</sup> は、Villar<sup>[21][22]</sup> の電子部品を自由に追加し操作可能にするサーフェスである VoodooIO プラットフォームを用いて、デスクトップのコピー&ペストを物理ボタンに割り当てる手法を示した。Greenberg<sup>[23]</sup> の Customizable Physical Interfaces は、Phidgets<sup>[24]</sup> に繋がれた物理デバイスと GUI のボタン、メニュー、スライダ等を関連付けるインタフェースである。

我々の研究は、ユーザが紙に書いた図形及び文字を操作と関連付ける。

## 2.3 導電性インクを実装に用いた HCI 研究

川原らは、銀ナノ粒子インクをインクジェットプリンタにより印刷することにより回路を作成できるようにした<sup>[6]</sup>。PrintSense<sup>[7]</sup> は、導電性インクを用いて回路パターンをプリントアウトすることにより、曲げることが可能なタッチコントローラを実装している。曲げた状態においても、曲げ方も認識できるほか、タッチセンサ及び近接センサとして利用できる。Electronic Popables<sup>[8]</sup> は導電性インクを用いることにより飛び出す絵本に回路を作成し、ボタンを押すと光る、音が鳴るなどのインタラクションを可能にした。Paper Generators<sup>[9]</sup> は紙のユーザのインタラクションにより電気を発生させる研究である。導電性インクを用いて紙の上に回路を作成し、特定の場所をユーザがタッチ、こする、回すなどのインタラクションをすると電気を発生させることができる。

紙窓<sup>[10]</sup> は、カードに複数の導電部を配置し、タッチパネルディスプレイに乗せることでカードに対応したアプリケーションが表示される。カードをディスプレイにおいている間のみ対応しているアプリケーションは実行され、カードの置く・離すといった動作によりアプリケーションの切り替えを素早く行うことができる。またカードには切り抜きがあり、カードをタッチパネルに置くことにより、切り抜かれた部分が入出力のインタフェースとなる。

我々は、紙状タッチ入力コントローラのタッチ検出機構の実装に導電性インクを使用する。

## 3. 提案手法

タスクに特化された紙状タッチ入力コントローラ（紙コントローラ）は、各タスクごとに 1 枚ずつ用意される。すなわち、タスクと紙コントローラは 1 対 1 に対応する。

### 3.1 紙状タッチ入力コントローラを用いた操作

紙コントローラを用いた操作の流れをを図 2 に示す。ユーザはまず行いたいタスクに対応した紙コントローラをバインダに挟む。そうすることにより、コンピュータはタスクに対応するアプリケーション（ここでは音楽プレイヤー）のウィンドウをアクティブ状態にする（図 2b）。その後、ユーザは紙コントローラの再生ボタンを押すことにより、音楽を再生することができる（図 2c）。

### 3.2 紙コントローラの定義

ユーザはコンピュータまたはペンを用いて紙コントローラを定義することが可能である。

#### 3.2.1 デザイン

ユーザは自由に図形及びラベルをコンピュータまたはペンにて描く。それぞれの形及び大きさは自由であ

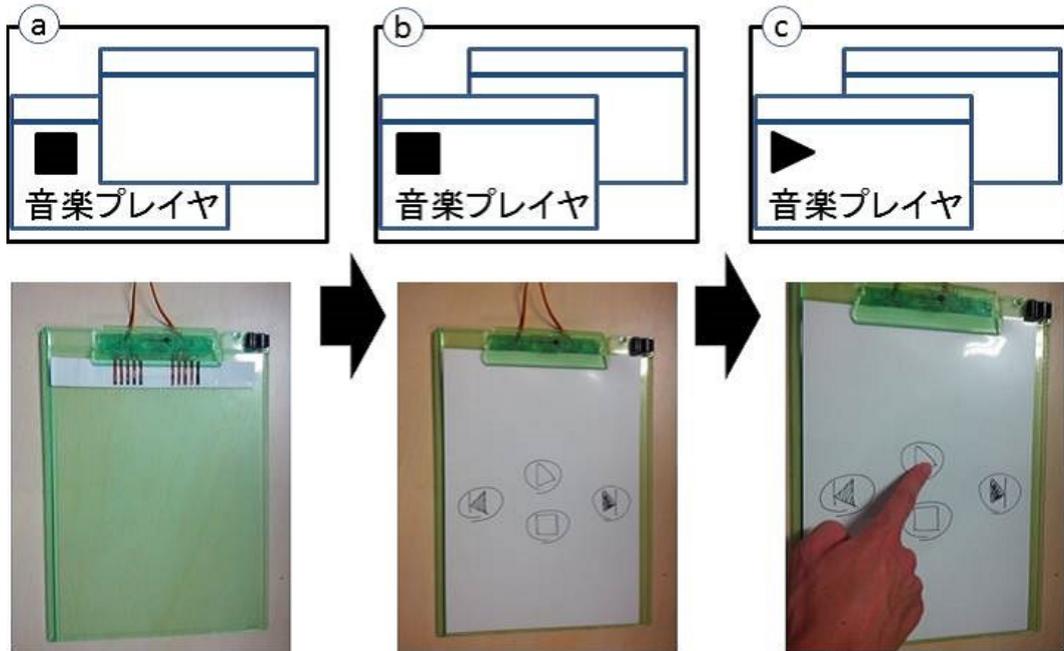


図2 操作方法（音楽プレイヤーを用いて再生する例）。a) 初期状態、b) 紙状タッチ入力コントローラをバインダにセットすると音楽プレイヤーが最前面になる。c) 再生ボタンをタッチすることにより、音楽が再生される。

Fig.2 Example application of a task-specific paper-based touch controller(controlling a music player): a) Initial state, b) a music player becomes active after holding the paper onto the clipboard, then c) the user can play a music by touching the play button.

り、図解の内部にもメモ及び書き込みを行うことができる。これにより、図形の外見に意味を持たせて、割り当てられた機能が一目でわかるコントローラが作成可能である。

### 3.2.2 タッチ機能の実装

図形及びラベルに合わせて、タッチ入力用のボタンを作るための銀ナノインクの回路パターンを紙に印刷する。それぞれのボタン及び配線が交差しなければどのようなパターンでも問題はない。本研究では、銀ナノインクを表面に印刷し、銀ナノインクの印刷自体をユーザへのアノテーションとしたもの及び、パターンを裏面に印刷したものとの二つを実装した。

### 3.2.3 機能の割り当て

各紙上のボタンと、その紙に対応するアプリケーション、およびそのアプリケーション上で実行すべきキーボード入力の割り当てを行う。

## 4. プロトタイプシステム1：紙の表面に銀ナノ粒子インクを印刷したプロトタイプ

提案手法の有効性を調べるためにプロトタイプシステムを作成した。プロトタイプシステムの回路図を図3に示す。プロトタイプシステムはコンピュータ、Arduino、バインダ、紙コントローラから構成されている。コンピュータとArduinoはUSBケーブルを使用して、RS232Cにて通信を行う。タッチの認識には

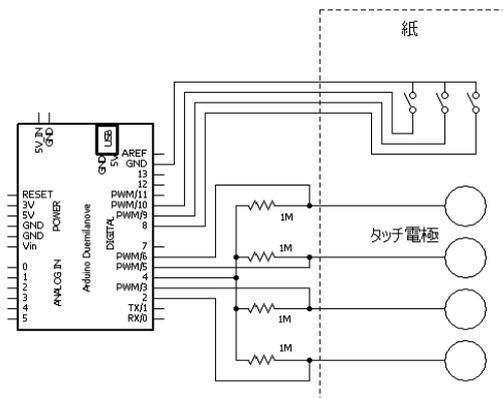


図3 プロトタイプシステム1の回路図

Fig.3 Circuit of Prototype 1.

Arduinoを用いており、静電容量を監視することによりタッチを認識している。コンピュータ側のシステムの実装にはC#を用いて行った。各機能はSendKeysコマンドによって実行される。また、Windows APIにより、ウィンドウ情報の取得及び最前面のウィンドウの切り替えを行っている。

### 4.1 外観とハードウェア

システムの外見は図4のように形になっている。バインダの紙を押さえる部分には銅箔テープにより、8個の接点を設けてある。紙を押さえた際、この8個の

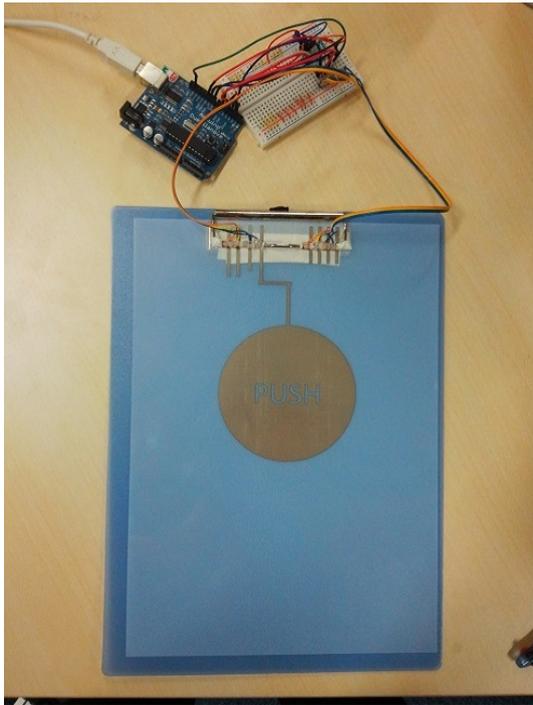


図4 プロトタイプシステム1の外観  
Fig.4 Overview of Prototype 1.

接点が銀ナノ粒子インクと接触する。8個の接点の内4個はタッチ入力用として使用される。残りの4個は紙の識別用として使用される。バイндаの接点を確実なものとするために紙に印刷される銀ナノ粒子インクは接続部のパターンは一定の距離をあけて印刷されている。

#### 4.2 紙コントローラの認識

4個の接点は3個のスイッチのように動作する。1個の接点はグランドにつながっており、そのほかの3個はそれぞれ Arduino の異なるピンに接続されている。紙の識別には3個の接点がグランドといくつ接続されているかを計測する。つまり、現実装では合計で7種類の紙の識別が行える。

#### 4.3 タッチの認識

タッチの認識方法を述べる。まず各ボタンに5V電圧を加えてから、電圧が2.5V以下になるまでの時間を測定することによりキャパシタンスを測定する。タッチの認識には、この時間がタッチをしていないときは約5ms、タッチをしている状態では8ms以上になることを利用する。なお、これに伴って現在の実装では、タッチの認識頻度が毎秒8msとなっている。

#### 4.4 コンピュータの設定用アプリケーション

機能を割り当てるための設定用アプリケーションは図5のような外観をしており、以下の機能を持つ。

- 紙コントローラの対象となるアプリケーションを指定する

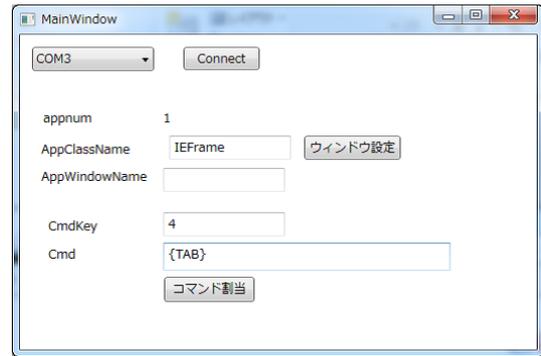


図5 設定用アプリケーション  
Fig.5 Application for setting.

- 紙コントローラのボタンとキーボード入力を関連付ける
- 紙コントローラにされたタッチに応じてキーボード入力の実行
- 紙コントローラとアプリケーションおよびキーボード入力の保存

##### 4.4.1 紙コントローラの対象となるアプリケーションを指定する

紙コントローラをバイндаに挟んだ状態の時に、設定用アプリケーションにて、ウィンドウ設定ボタンを押下する。その後、設定したいウィンドウをアクティブにすることにより、紙コントローラとウィンドウの設定を行うことができる。アプリケーションは、この時選択されたウィンドウの AppClassName を取得し記録する。

##### 4.4.2 紙コントローラのボタンとキーボード入力を関連付ける

紙コントローラのボタンとキーボード入力を設定する場合は、設定したい紙コントローラのボタンをタッチする。その後、テキストボックスに登録したいキーボード入力を入力する。あるいは、キーボード記録用のボタンをクリックし、キーボード入力を行う。このボタンは、再度ボタンが押されるまでの間のキーボード入力をすべて監視し、紙コントローラのコマンドとして記録する。

##### 4.4.3 紙コントローラにされたタッチに応じてキーボード入力の実行

設定されたキーボード入力は.Net Framework4.0の Sendkeys クラスを使用してアプリケーションに送信される。

##### 4.4.4 紙コントローラとアプリケーションおよびキーボード入力の保存

設定されたウィンドウ及びキーボード入力は xml ファイルとして保存される。このファイルは設定用アプリケーション起動時に読み込まれる。

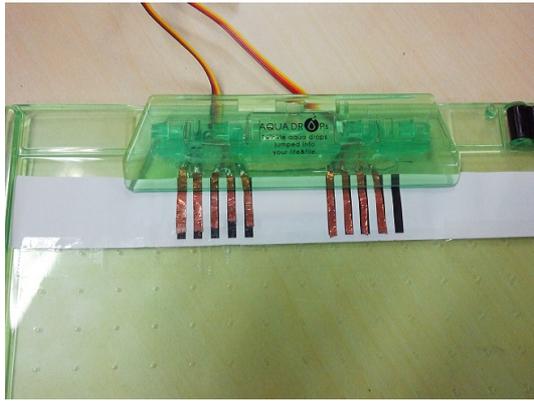


図6 プロトタイプシステム2のクリップ部  
Fig.6 Clip of the clipboard in Prototype 2.

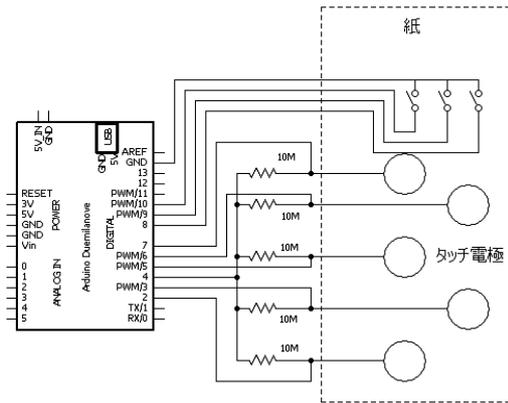


図7 プロトタイプシステム2の回路図  
Fig.7 Circuit of Prototype 2.

#### 4.5 問題点

紙コントローラとして使用することは可能だったが、いくつかの問題点が存在した。バイндаの接点がかかり方によっては接続されない時が存在したり、チャタリングが発生したりした。そのため、紙の識別がうまくいかずに異なる紙として識別されたり、紙をタッチしているにも関わらずタッチが認識されないといった問題が発生した。また、銀ナノ粒子インクを紙の表面に印刷していることから、デザイン性が大きく損なわれている。紙をバイндаに挟む際、紙の位置を銅箔テープと銀ナノ粒子インクの位置を合わせる動作が煩わしいという問題もある。これらの問題を解決すべき、二つ目のプロトタイプシステムを作成した。

### 5. プロトタイプ2：紙の裏面に銀ナノ粒子インクを印刷したプロトタイプ

接続が不安定という問題に対しては、厚手に両面テープを用いて銅箔テープをクリップ部に張ることで解決した。銀ナノ粒子インクを裏面に印刷することにより、表面はユーザが自由に図形及び文字を書けるようにした。また、上部と左側に凸部のあるバイндаを選定することにより、紙の位置合わせを手軽に行えるようにした（図6）。プロトタイプシステム2の回路図を図7に示す。

#### 5.1 外観とハードウェア

バイндаとして LIHIT 社の A-5010-6 を使用した。これは上部と左側に凸部があり、紙を簡単に同じ位置に固定することが可能となっている。そのため、紙をセットする際に銅箔テープと銀ナノ粒子インクの接点を合わせるといった手順が容易になる。このタイプでは、銀ナノ粒子インクの印刷面を裏側にするため、紙に印刷された銀ナノ粒子インクとの接続用の銅箔テープも紙の裏側となる方に設置する必要がある。コピー用紙に銅箔テープの位置を決めたものを印刷し、どこに銅箔テープを張っていった。その後、はんだ付けを行い

配線はクリップ部の下部に穴をあけ、そこを通した。また、前回のプロトタイプでは銅箔テープと銀ナノ粒子インクの接触不良が問題となったため、厚手の両面テープにより銅箔テープをバイндаに肯定することにより解決した。接点は前回のから一つ増え、紙識別用接点が4個、タッチ入力用の接点が5個の9個になっている。

#### 5.2 紙コントローラの認識

4.2節と同様に、4個の接点は3個のスイッチのように動作し、合計で7種類の紙コントローラの識別が行える。

#### 5.3 タッチの認識

4.3節と同様に、キャパシタンスの変化によりタッチを認識する。

### 6. 適用例

タスクに特化された紙状の入力コントローラを用いて、いくつかのタスクを実行した。それぞれの例における利点及び問題点を述べる。

#### 6.1 音楽プレイヤーの操作

著者が音楽プレイヤーの操作として使用した紙コントローラを図2bに示す。これには再生、停止、前へ、次への4つのボタンが存在する。

#### タスクの切り替えが容易

音楽プレイヤーの操作は、一度に多くの操作をするものではなく、時々少量の操作をするものである。具体的にいうと、今聞きたくはない曲が流れてきた時に、次の曲に送る操作を行う程度である。その動作のために現状行っているタスクを一時中断し、音楽プレイヤーウィンドウをアクティブにし、曲を送るという操作をしなければならない。しかし、本研究にて提案した紙コントローラを使用した際はそのような操作は必要なく、バイндаに挟まっている紙コントローラを操作するだけで

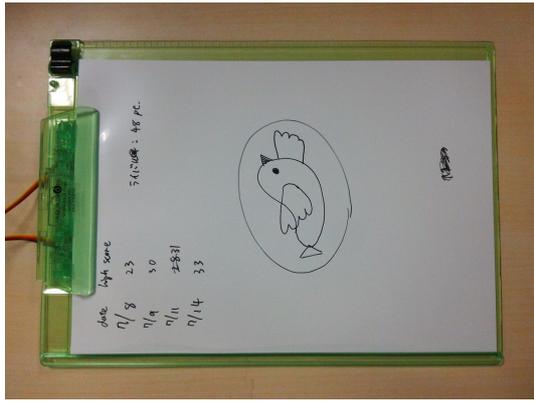


図8 ゲーム用の1ボタン紙状タッチ入力コントローラ  
Fig.8 One button paper-based touch controller for the game

操作が行えるため現状行っているタスクが中断されない。

#### 操作領域を拡張できる

GUIに置いては操作領域と表示領域は同じ領域である。しかしながら提案した紙コントローラは表示領域は持たないが操作領域が存在するものである。表示すべき情報が少ない音楽プレイヤーの操作においては表示領域は拡張されなくても、操作領域の拡張されるだけで快適な操作環境を構築することができる。

### 6.2 ゲーム

図8のような1ボタンをゲームパッドとして使用し、カジュアルゲームのコントローラとして使用した。カジュアルゲームはウェブ上にあるものをプレイした。紙コントローラをバインダにセットすると、ブラウザが最前面に表示され、あらかじめ指定したウェブアドレスを入力し、移動する。その結果、紙を挟むだけでゲームの起動が行え、ゲームをプレイすることが可能になる。

#### 自由に図形や文字が書ける

自由に図形や文字が書けるため、ゲームの攻略方法などを紙コントローラに記述していくことができる。また、ゲームのキャラクタなどを紙コントローラに書いたりすることで、それ専用のものとなりモチベーションが増加する。

#### 触覚フィードバックがない

紙コントローラは紙であるため触覚フィードバックがない。これに起因して、ボタンを押す際に画面から紙に視線を移動させる必要がある。ゲームの場合はボタンを押すタイミング及び敵の出現など画面への注視が重要になることが多いため、視線を画面が外すことは大きな負担となる。

### 6.3 ウェブブラウジング

4つのボタンを次のリンクへ移動、前のリンクへ移動、確定、戻るに割り当てることによりウェブブラウジング可能な紙状コントローラを作成した。

#### ホームページの設定ができる

紙をバインダに挟んだ際にもコマンドを実行することができるが、その時に、特定のウェブページを開くように設定をしておくことにより、紙を取り換えることにより特定のウェブページを開くことができる。これは一種のブックマーク機能のように機能する。

#### 操作性が低い

ボタン数が少ないことやスクロールがない、また表示された情報を直接操作することはできないため通常のマウスやキーボードを用いた操作より操作がしにくい。

## 7. まとめと今後の課題

我々はタスクに特化された紙状タッチ入力コントローラを提案し、その作成と使用を行うためのシステムを実装した。ユーザは紙に図形や文字を書き、それに合わせて銀ナノ粒子インクのパターンを印刷する。その後、キーボードマクロの機能を割り当てることにより紙状タッチ入力コントローラを作成する。図形にタッチすることにより割り当てられた機能が呼び出され、コンピュータの操作を行うことができる。今回の実装では紙状タッチ入力コントローラとコンピュータの接続にバインダを用いたが、リング型ファイルを用いる実装も考えられる。その場合、バインダに紙状タッチ入力コントローラを挟み直すのではなく、めくることにより使用する紙状タッチ入力コントローラを切り変える。今後は、スライダなどボタン以外の入力についても実装していくとともに、被験者実験を通して評価を行う。

#### 参考文献

- [1] Hideki, K., Yoichi, S. and Yoshinori, K.: Integrating Paper and Digital Information on Enhanced-Desk: A Method for Realtime Finger Tracking on an Augmented Desk System, *ACM Transactions on Computer-Human Interaction.*, Vol. 8, No. 4, pp. 307-322 (2001).
- [2] 金子, 田中: 紙コントロールパネル: 紙を用いたタッチインタフェースの作成, *インタラクション 2014*, pp. 562-567 (2014).
- [3] Coyette, A., Faulkner, S., Kolp, M., Limbourg, Q. and Vanderdonckt, J.: SketchiXML: Towards a Multi-agent Design Tool for Sketching User Interfaces Based on USIXML, in *Proceedings of the 3rd Annual Conference on Task Models and Diagrams, TAMODIA '04*, pp. 75-82, New York, NY, USA (2004), ACM.

- [4] Segura, V. C. V. B., Barbosa, S. D. J. and Simões, F. P.: UISKEI: A Sketch-based Prototyping Tool for Defining and Evaluating User Interface Behavior, in *Proceedings of the International Working Conference on Advanced Visual Interfaces*, AVI '12, pp. 18–25, New York, NY, USA (2012), ACM.
- [5] Holzmann, C. and Vogler, M.: Building Interactive Prototypes of Mobile User Interfaces with a Digital Pen, in *Proceedings of the 10th Asia Pacific Conference on Computer Human Interaction*, APCHI '12, pp. 159–168, New York, NY, USA (2012), ACM.
- [6] Kawahara, Y., Hodges, S., Cook, B. S., Zhang, C. and Abowd, G. D.: Instant Inkjet Circuits: Lab-based Inkjet Printing to Support Rapid Prototyping of UbiComp Devices, in *Proceedings of the 2013 ACM International Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing*, UbiComp '13, pp. 363–372, New York, NY, USA (2013), ACM.
- [7] Gong, N.-W., Steimle, J., Olberding, S., Hodges, S., Gillian, N. E., Kawahara, Y. and Paradiso, J. A.: PrintSense: A Versatile Sensing Technique to Support Multimodal Flexible Surface Interaction, in *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '14, pp. 1407–1410, New York, NY, USA (2014), ACM.
- [8] Qi, J. and Buechley, L.: Electronic Popables: Exploring Paper-based Computing through an Interactive Pop-up Book, in *Proceedings of the Fourth International Conference on Tangible, Embedded, and Embodied Interaction*, TEI '10, pp. 121–128, New York, NY, USA (2010), ACM.
- [9] Karagozler, M. E., Poupyrev, I., Fedder, G. K. and Suzuki, Y.: Paper Generators: Harvesting Energy from Touching, Rubbing and Sliding, in *Proceedings of the 26th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, UIST '13, pp. 23–30, New York, NY, USA (2013), ACM.
- [10] 加藤, 宮下: 紙窓: そこに置くだけで操作可能なカードインタフェース, 第21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, WISS '13, pp. 163–164, 日本ソフトウェア科学会 (2013).
- [11] Ishii, H.: Tangible Bits: Beyond Pixels, in *Proceedings of the 2nd International Conference on Tangible and Embedded Interaction*, TEI '08, pp. xv–xxv, New York, NY, USA (2008), ACM.
- [12] Liang, R.-H., Cheng, K.-Y., Chan, L., Peng, C.-X., Chen, M. Y., Liang, R.-H., Yang, D.-N. and Chen, B.-Y.: GaussBits: Magnetic Tangible Bits for Portable and Occlusion-free Near-surface Interactions, in *Proceedings of the 2013 ACM annual conference on Human factors in computing systems*, CHI '13, pp. 1391–1400, New York, NY, USA (2013), ACM.
- [13] Chan, L., Müller, S., Roudaut, A. and Baudisch, P.: CapStones and ZebraWidgets: Sensing Stacks of Building Blocks, Dials and Sliders on Capacitive Touch Screens, in *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '12, pp. 2189–2192, New York, NY, USA (2012), ACM.
- [14] Weiss, M., Wagner, J., Jansen, Y., Jennings, R., Khoshabeh, R., Hollan, J. D. and Borchers, J.: SLAP Widgets: Bridging the Gap Between Virtual and Physical Controls on Tabletops, in *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '09, pp. 481–490, New York, NY, USA (2009), ACM.
- [15] Waldner, M., Hauber, J., Zauner, J., Haller, M. and Billinghamurst, M.: Tangible Tiles: Design and Evaluation of a Tangible User Interface in a Collaborative Tabletop Setup, in *Proceedings of the 18th Australia Conference on Computer-Human Interaction: Design: Activities, Artefacts and Environments*, OZCHI '06, pp. 151–158, New York, NY, USA (2006), ACM.
- [16] Boring, S., Baur, D., Butz, A., Gustafson, S. and Baudisch, P.: Touch Projector: Mobile Interaction through Video, in *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '10, pp. 2287–2296, New York, NY, USA (2010), ACM.
- [17] 大江, 志築, 田中: Draw-to-Map: 物理コントローラとGUIの対応付け手法, 情報処理学会研究報告, 152回ヒューマンコンピュータインタラクション研究会, pp. 1–8, 情報処理学会 (2013).
- [18] Corsten, C., Avellino, I., Möllers, M. and Borchers, J.: Instant User Interfaces: Repurposing Everyday Objects As Input Devices, in *Proceedings of the 2013 ACM International Conference on Interactive Tabletops and Surfaces*, ITS '13, pp. 71–80, New York, NY, USA (2013), ACM.
- [19] Hudson, S. E. and Mankoff, J.: Rapid Construction of Functioning Physical Interfaces from Cardboard, Thumbtacks, Tin Foil and Masking Tape, in *Proceedings of the 19th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, UIST '06, pp. 289–298, New York, NY, USA (2006), ACM.
- [20] Block, F., Villar, N. and Gellersen, H.: A Malleable Physical Interface for Copying, Pasting, and Organizing Digital Clips, in *Proceedings of the 2nd International Conference on Tangible and Embedded Interaction*, TEI '08, pp. 117–120, New York, NY, USA (2008), ACM.
- [21] Villar, N., Gilleade, K. M., Ramdunyellis, D. and Gellersen, H.: The VoodooIO Gaming Kit: A Real-time Adaptable Gaming Controller, *Computers in Entertainment*, Vol. 5, No. 3 (2007).
- [22] Villar, N. and Gellersen, H.: A Malleable Control Structure for Softwired User Interfaces, in *Proceedings of the 1st International Conference on Tangible and Embedded Interaction*, TEI '07, pp. 49–56, New York, NY, USA (2007), ACM.
- [23] Greenberg, S. and Boyle, M.: Customizable Physical Interfaces for Interacting with Conventional Applications, in *Proceedings of the 15th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, UIST '02, pp. 31–40, New York, NY, USA (2002), ACM.
- [24] Greenberg, S. and Fitchett, C.: Phidgets: Easy Development of Physical Interfaces through Physical Widgets, in *Proceedings of the 14th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, UIST '01, pp. 209–218, New York, NY, USA (2001), ACM.