

画面外におけるスタイラスの動作を用いる ペイントアプリケーション

鈴木文佳^{†1} 志築文太郎^{†2} 田中二郎^{†2}

本研究では直接入力スタイラスインタフェースを対象とし、ブラシの設定の変更などの描画以外の操作のために画面外領域を使用するペイントアプリケーションを開発する。画面外領域とは、入力面である画面の周囲に存在する枠や机のような平面の領域である。我々はシステム設計のため、絵の描き方とペイントアプリケーションの使用方法について調査を行った。本稿ではこの調査と、調査結果を受けて設計したシステムについて述べる。

Paint Application for Stylus Interface using Offscreen Areas

AYAKA SUZUKI,^{†1} BUNTAROU SHIZUKI^{†2}
and JIRO TANAKA^{†2}

In this paper, we present the paint application for stylus interface using offscreen areas. We use the display's bezel and a surface in front of the display as offscreen areas. To design the paint application using offscreen areas, we first conducted a structured user study to explore the way of real painting methods. Based on our exploration, we designed and implemented the paint application. In this application, a user can rotate, translate or scale the canvas and is also able to change the size and color of the brush using stylus inputs in offscreen areas.

^{†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
Department of Computer Science, Graduate School of Systems and Information Engineering,
University of Tsukuba

^{†2} 筑波大学システム情報系
Faculty of Engineering, Information and Systems, University of Tsukuba

1. はじめに

タブレット PC や液晶ペンタブレットに搭載されているスタイラス入力は、描画に適した入力形態である。また、人はコンピュータを用いて描画を行うとき、点や線の描画の他に様々な機能を使用する。例えば、描画する線の色やサイズの変更操作、キャンバスのスクロール操作がある。これらの機能は描画中に頻繁に使用される。しかしながら、スタイラスを用いて描画を行う際に使用するペイントアプリケーションは、マウス用に設計された従来のインタフェースを備える。従来のインタフェースは小さなアイコンやスライダを多数使用するが、スタイラスはタップの際にペン先がぶれるため、アイコンやスライダのバーなどの小さい対象を選択することが困難である。

1.1 先行研究

この課題を解決するため、我々は先行研究¹⁾において、直接入力スタイラスインタフェースを対象とし、スタイラスの操作範囲を拡張した。通常、直接入力スタイラスインタフェースにおいて、入力面は画面そのものである。先行研究では画面周囲に存在する平面を画面外領域と定義し、そのうち画面の枠と画面手前の机の領域を使用した。画面外領域に対して、画面の内側を画面内領域と定義する。画面外領域を用いた入力の際はストロークを用いる。これはペン先のぶれによるタップの誤動作を回避するためである。

更に、画面外領域を操作に使用するペイントアプリケーションを実装し、評価実験を行った。このアプリケーションはスタイラスを用いて操作される。画面内領域に対する入力によってキャンバスへの描画を行い、画面外領域である画面の枠に対する入力によってパラメータの変更操作を行う。変更するパラメータとして、描画色の変更、ブラシサイズの変更、キャンバスのスクロールの3種類を使用した。アプリケーションの実行画面を図1、描画色の変更中の画面を図2に示す。図2中の矢印の方向にストロークを行うと描画色が変わられ、変更後の描画色は図2中の赤枠の部分に表示される。評価実験では、被験者からアプリケーションの操作感と、新たに搭載してほしい機能についてのコメントを得た。実験結果より、ユーザはペイントアプリケーションについて使いやすくと評価した。新たに搭載してほしい機能として、キャンバスの回転やレイヤ機能が挙げられた。

1.2 研究の目的

今回は、より多くの機能を搭載したペイントアプリケーションの開発を目的とする。そのためには、新しく搭載する機能とその操作方法について決定する必要がある。そこで我々は、描画中によく行われる操作からペイントアプリケーションの新しい機能を設計すること



図 1 ペイントアプリケーションの実行画面
Fig.1 The paint application in previous work.

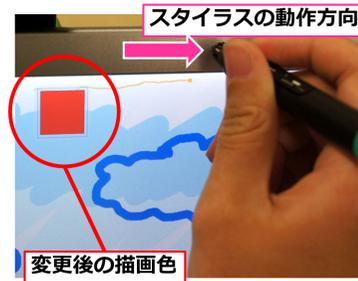


図 2 画面外領域に対する操作中の画面
Fig.2 To control the brush color using offscreen area.

を目的とし、人が絵を描く際の行動を調査した。本稿では、まず絵の描き方に関する調査と、調査結果に基づいたアプリケーションの設計について述べ、次にアプリケーションの衣装について述べる。

2. 絵の描き方に関する調査

ペイントアプリケーションの設計指針を作成するため、人が絵を描く際の行動を調査した。調査では日常的に絵を描く人を対象とし、紙に対する描画と、PCを用いた描画の2種類について、描画中の行動を比較した。

調査の流れを以下に示す。まず事前に被験者に対してアンケートを行い、被験者の描画経験と普段絵を描く際の環境について尋ねた。次に2種類のタスクを実施した。タスクでは、被験者に見本を見て絵を描くように指示し、描画の様子を観察した。タスク終了後にインタビューを行い、被験者が普段絵を描く際の環境について詳細な質問を行った。

2.1 タスク

紙に対する描画とPCを用いた描画の2種類のタスクを設定し、各タスク中の行動を観察した。以降はこれらのタスクを「紙タスク」「PCタスク」と呼称する。全ての被験者は紙タスクを先に行い、続いてPCタスクを行った。タスクは大学内のゼミ室において行い、描画の際に使用する画材と環境は、調査のために用意したものを使用した。環境を統一した理由は、同じ画材またはペイントソフトを用いることによって被験者間での操作頻度の比較を可能にするためである。但し、被験者から普段使用している画材を使用したいと申し出があった場合は、その画材を使用させた。また、描画のための見本には写真を使用した。



図 3 紙タスク実施時の様子
Fig.3 An environment in paper task.



図 4 PCタスク実施時の様子
Fig.4 An environment in PC task.

紙タスク用の見本とPCタスク用の見本に異なる2枚の写真を用意し、それらを合わせて1セットとして、全部で2セット4種類の写真を使用した。各タスクの時間は30分程度とし、被験者から延長の申し出があった場合のみ延長した。また、タスクの実施時の様子をビデオに撮影し、観察に使用した。

2.2 環境と機材

紙タスクでは画材に36色の色鉛筆、Hと2Bの鉛筆、消しゴム、鉛筆削り、A4のコピー用紙を使用した。被験者のうち1名は、持参したシャープペンシルを鉛筆の代わりに使用した。紙に対する描画では、使用可能な色の種類は画材の色数に制限される。そこで、色の変更が自由に行われるように、色数の多い36色の色鉛筆を用いた。

PCタスクでは環境にペイントソフト(Windows版 Adobe Photoshop CS3)、マウス、ペンタブレット(Wacom intuos3 PTZ-431W)を使用した。被験者のうち1名は、持参したペンタブレットを使用した。ペイントソフトとペンタブレットは、事前アンケートより被験者の中で使用者が多かったものを参考に決定した。また、タスク開始前に、ペイントソフトのツールウィンドウの配置を使用しやすく変更するよう被験者に指示した。各タスク実施時の様子を図3、図4に、それぞれ示す。

2.3 被験者

被験者として大学生と大学院生の6名を雇用した。そのうち男性が3名、女性が3名であり、右利きが5名、左利きが1名だった。事前アンケートにおいて、3名は普段の描画時にPCを用いると回答し、残りの3名は紙とPCを用いて描画を行うと回答した。また、6名ともペンタブレットの使用経験があると回答した。

表 1 紙タスク中の操作頻度 (回/分)

Table 1 Frequency of each operation in paper task (count/minute).

| | 色鉛筆を出す | 色鉛筆をしまう | 消しゴム | 色鉛筆を持ち替る | 紙の移動 | 紙の回転 |
|------|--------|---------|-------|----------|-------|-------|
| 平均 | 0.567 | 0.375 | 0.304 | 0.741 | 0.549 | 1.982 |
| 標準偏差 | 0.455 | 0.545 | 0.277 | 0.607 | 0.490 | 2.122 |

2.4 観察項目

タスクの観察の際は各タスク中の操作頻度に着目した。被験者によってタスク実施時間が異なるため、操作回数を被験者ごとのタスク実施時間で割った値、すなわち 1 分間あたりの操作回数を操作頻度とする。注目する操作は、ペイントアプリケーションにおいてよく使用される操作であるツールの切り替えにあたる操作、ブラシの設定変更にあたる操作、キャンバスに対する操作の 3 種類とした。これらの他に、ビデオの観察からタスク中によく見られた行動についても操作頻度を計測した。

紙タスクにおいては、ツールの切り替えにあたる操作として色鉛筆をケースから取り出す操作、色鉛筆をしまう操作、消しゴム操作の 3 種類、ブラシの設定変更にあたる操作として色鉛筆を持ち替る操作、キャンバスに対する操作として紙の移動操作、紙の回転操作の 2 種類を計測した。色鉛筆を持ち替る操作は、既にケースから取り出してある色鉛筆どうしを持ち替えた回数を計測した。PC タスクにおいて、ツールの切り替えにあたる操作としてツールの選択操作とショートカットキーによるツールの変更操作の 2 種類、ブラシの設定変更にあたる操作として色の変更操作とスポイトによる色の取得、ブラシウィンドウの表示の 3 種類、キャンバスに対する操作としてキャンバスのスクロール、拡大、縮小の 2 種類、その他の操作について計測した。色の変更操作として、カラーピッカーの表示と、スライダの調節による色の生成、カラーパレットからの色の選択の 3 種類の操作を合わせて計測した。その他の操作として、レイヤの作成、選択、移動操作と、フィルタ操作の回数を計測した。

2.5 結果

各タスクにおいて着目した操作とその操作頻度を表 1、表 2 にそれぞれ示す。

計測結果より、紙タスクにおける紙の回転と、PC タスクにおけるキャンバスのスクロール、その他の操作の 3 つの操作頻度が高いことがわかった。これらの操作に対する観察について詳しく述べる。

キャンバスに対する操作頻度 操作頻度の計測結果より、紙タスクにおける紙の回転と、PC タスクにおけるキャンバスのスクロールが頻繁に行われていることがわかった。これら

表 2 PC タスク中の操作頻度 (回/分)

Table 2 Frequency of each operation in PC task (count/minute).

| | ツール選択 | ショートカットキー | 色の変更 | スポイト | ブラシウィンドウ | スクロール | 拡大 | 縮小 | その他 |
|------|-------|-----------|-------|-------|----------|-------|-------|-------|-------|
| 平均 | 0.358 | 1.043 | 0.646 | 0.242 | 0.435 | 1.930 | 0.270 | 0.451 | 1.867 |
| 標準偏差 | 0.463 | 1.573 | 0.227 | 0.521 | 0.185 | 2.493 | 0.183 | 0.566 | 0.603 |

2 つはキャンバスに対する操作である。そこで、同じくキャンバスに対する操作である紙の移動と合わせて分析を行う。被験者ごとの操作頻度のグラフを図 5 に示す。図 5 より、被験者 B や D は紙に対する操作を行うが、PC の場合はスクロールをほとんど行わず、被験者 C は逆に紙に対する操作をほとんど行わないが、PC の場合のスクロールを頻繁に行う。また、被験者 E は紙に対しても PC の場合でもキャンバスに対する操作を頻繁に行っている。ここから、キャンバスに対する操作を使用するユーザは頻繁に操作を使用し、逆にキャンバスに対する操作を行わないユーザはほとんど操作を使用しないということがわかった。

レイヤに対する操作頻度 紙の回転とキャンバスのスクロールの次に操作頻度が高いのは、PC タスクにおけるその他の操作である。この操作はレイヤに対する操作とフィルタ操作を含むが、そのうちフィルタ操作の回数はごく少なく、大半がレイヤに対する操作であった。ユーザはレイヤごとに描画や編集を行うことが可能であり、多くは絵をパーツごとに分けて描画するために使用される。ビデオの観察より、被験者は全員が描画のためにレイヤを使用しており、レイヤの作成、移動、表示の切り替えといった操作を頻繁に行っていた。

また、ある被験者はインタビューの際に、レイヤを大量に使用すると回答した。その被験者の作業画面のレイヤウィンドウを図 6 に示す。画面の縦方向に可能な限り広くレイヤウィンドウが表示されている。この結果から、レイヤを大量に使用するユーザがいることがわかる。

ツールの配置と手の移動量 紙タスクの観察中、一度使用した色鉛筆をケースに戻さず、紙の周囲に置く (図 7)、あるいは非利き手にまとめて持つ (図 8) という行動が見られた。被験者 6 名のうち 4 名がこの行動をとっていた。残り 2 名のうち 1 名は、色鉛筆を 1 本ずつケースから取り出して使用し (図 9)、1 名は色鉛筆を使用せずに鉛筆のみを用いて描画を行った。

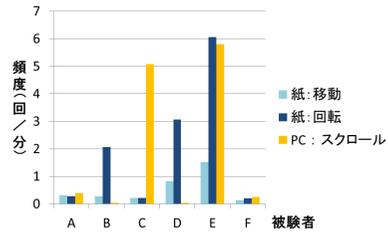


図 5 キャンバスに対する操作の頻度
 Fig. 5 Frequency of canvas control.



図 6 ある被験者のレイアウトウィンドウ
 Fig. 6 The layer window which a subject use usually.



図 7 色鉛筆を非利き手にまとめて持つ被験者
 Fig. 7 A subject who has colored pencils in her non-dominant hand.



図 8 色鉛筆を紙の周囲に置く被験者
 Fig. 8 A subject who places colored pencils on a desk.



図 9 色鉛筆を 1 本ずつ使用する被験者
 Fig. 9 A subject who uses a colored pencil at a time.

また、ある被験者は PC タスクにおいて、まずレイヤを選択し、次にツールを選択し、最後にキャンバスに描画を行うという 3 つの手順を繰り返して描画を行っていた。この被験者は、ペイントソフトのツールウィンドウの配置を初期設定からあまり変えずにタスクを実施していた。タスクに使用したペイントソフトは、初期設定ではレイヤウィンドウが画面右端、ツールパレットが画面左端に配置されているため、レイヤとツールの選択を繰り返すと、スタイラスを入力面の左右に交互に向けなければならない。そのため、手の移動量が増加する。更に、この被験者は持参したペンタブレットを使用しており、それは我々が準備したペンタブレットよりも入力面が一回り大きかった。そのため、他の被験者よりも手の移動量の増加が顕著であった。

2.6 アプリケーションの設計

調査結果と分析より、ペイントアプリケーションの設計指針を作成した。

入力にはスタイラスを使用し、スタイラスが接地した位置によって、描画とそれ以外の操

作を切り分ける。描画とそれ以外の操作を分け、それぞれの操作範囲を画面内領域と画面外領域に分けることによって、ユーザは画面内領域全てをキャンバスとして使用することが可能となる。

ブラシやキャンバスのパラメータを変更する動作として、我々は画面外領域に対するスタイラスの単純な動作を使用する。具体的には、スタイラスのストロークを使用する。ユーザが画面外領域においてスタイラスのストロークを開始すると、その領域に割り当てられた操作が実行され、ストロークによってパラメータが変更される。そしてユーザがストロークを終了したとき、つまりユーザがスタイラスを画面外領域から離れた際に、パラメータが決定される。画面の枠に対して入力を行う際は、枠に対して平行方向にストロークを行う。また、枠の角の領域も利用する。角の領域に割り当てた操作を実行する際には、ある枠の領域から隣の領域へ L 字を描くようにストロークを行う。ストロークの軌跡が L 字を描いて隣の領域に入った時点において、割り当てられた操作が実行される。画面手前の机の領域に対して入力を行う際は、縦横方向にストロークを行う。

1 種類のパラメータの決定は単純なストロークによって操作可能である。しかし、より複雑な操作が必要となる場合がある。例えばレイヤに対する操作は、レイヤの作成、選択、表示の切り替えなどを含んでおり、これらは 1 種類のパラメータの決定では表せない。そのため、枠の 1 辺に対して複数の操作を割り当てる場合、変更するパラメータの決定は以下のように行う。まず、枠に対して垂直方向にストロークを行い、複数のパラメータから 1 つを選択する。次に、スタイラスを接地したまま枠に対して平行方向にストロークを行い、パラメータを変更する。単純操作の場合と同じように、ストロークの終了によってパラメータが決定される。

画面外領域に割り当てた操作と、操作結果をユーザに示すため、画面内領域の端の部分を表示のために使用する。ユーザがスタイラスを画面外領域上でホバーさせると、割り当てられた操作を表すビジュアルキューが表示される。ユーザが画面外領域に対する操作を開始すると、操作によって変更されたパラメータを表すビジュアルフィードバックが表示される。これらはキャンバスの上に重畳して表示される。

調査結果より、キャンバスの回転やスクロール、レイヤ操作は頻繁に使用されることがわかった。そこで、ユーザがこれらの操作を簡単に実行できるようにする必要がある。また、タスクの観察より、ユーザの手の移動量を減少させる必要があると考えられる。我々の提案するペイントアプリケーションでは、画面外領域に割り当てた操作はストロークによって実行されるため、単純な動作で呼び出すことが可能である。更に、これらの操作を、手の移動

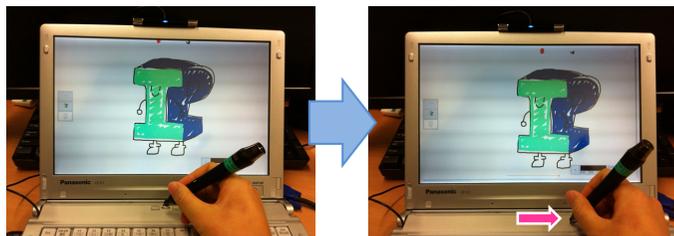


図 10 キャンバスの移動
Fig. 10 Translation of the canvas.

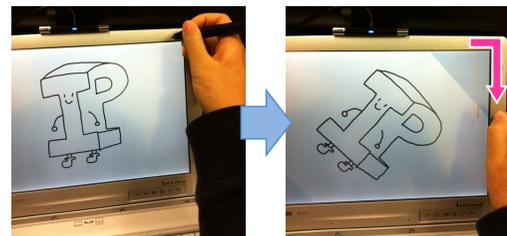


図 11 キャンバスの回転
Fig. 11 Rotation the canvas.

量を減少させるように画面外領域に割り当てる。

3. アプリケーションの実装

我々は、前節において立てた設計指針に基づいてペイントアプリケーションを実装した。この節ではペイントアプリケーションの描画以外の操作の実装について述べる。

キャンバスの移動と回転 キャンバスの移動は画面手前の机の領域に割り当てた。キャンバスの移動操作を図 10 に示す。図 10 左はキャンバス移動前の画面、図 10 右はキャンバス移動中の画面であり、図 10 右図の矢印はストロークの方向を表している。以下、図中の矢印はスタイラスを動かした方向を表す。画面手前の机の領域においてスタイラスを縦横に動かすことにより、キャンバスの自由移動が可能となる。

また、キャンバスの回転は画面の枠の角に割り当てた。キャンバスの回転操作を図 11 に示す。図 11 左はキャンバス回転前の画面、図 11 右はキャンバス回転中の画面である。枠の角の領域において L 字を描くことによって、時計回りまたは反時計回りにキャンバスを回転する。

レイヤの一覧表示 ペイントアプリケーションにレイヤ機能を搭載するためには、レイヤ一覧の表示と、レイヤに対する操作を行う必要がある。そこで、画面の枠にスタイラスを向けたときにレイヤのサムネイル一覧が表示されるようにする。レイヤを表示した画面を図 12 に、図 12 中のレイヤ一覧を拡大した様子を図 13 に、それぞれ示す。現在選択されているレイヤは赤枠、その他のレイヤは黒枠で表示される。レイヤは絵同士の重なりを表しており、上下関係を持つ。そこで操作位置には縦方向の枠、すなわち画面左右の枠を使用する。レイヤのサムネイルは画面枠のすぐ内側に表示される。

レイヤに対する操作のうち、レイヤの選択、表示の切り替え、移動を実装した。レイヤ



図 12 レイヤー一覧の表示
Fig. 12 The view of all layers.

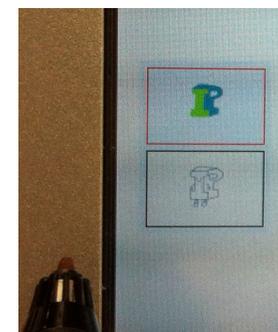


図 13 左図のレイヤー一覧の部分を拡大した様子
Fig. 13 Extended figure of Fig. 12.

の選択方法を図 14、表示の切り替え方法を図 15、移動方法を図 16 にそれぞれ示す。図中の矢印はストロークの方向を示している。矢印の始点がストロークの始点となる。レイヤの選択と表示の切り替えは、レイヤ同士の関係を変化させない。そのため、横方向のストロークを使用する。移動操作はレイヤの上下関係を変化させる操作であるため、縦方向のストロークを使用する。

ツールの一覧表示 ペイントアプリケーションに操作を追加する際に、画面外領域 1 か所に対して 1 種類の操作を割り当てていくと、割り当てられる操作の数は画面外領域の分割数に限定される。そこで、複数の操作をまとめたツールパレットを実装した。ツールパレットを表示している画面を図 17 に示す。ユーザはツールパレット中から変更したいパラメータを選択し、そのパラメータに対して操作を行う。また、手の移動量を減少させるために、スタイラスの先端から一番近い画面端にツールパレットを配置する。

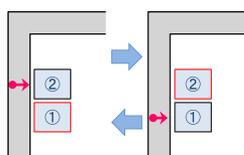


図 14 レイヤの選択
Fig. 14 Selection of a layer.

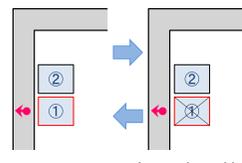


図 15 レイヤの表示の切り替え
Fig. 15 Switch of a layer
visibility.

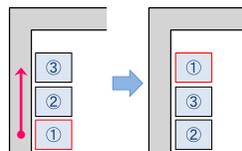


図 16 レイヤの移動
Fig. 16 Move of a layer.

画面の枠のうちレイヤの表示に左右の枠を使用するため、今回の実装では上下の枠を用いてツールパレットの操作を行うこととした。

ツールパレットの操作方法を図 18 を用いて示す。ユーザは描画色の色相のパラメータを変更させようとする。まず、ユーザがスタイラスを枠上にホバーさせるとツールパレットが表示される。ユーザは枠上において、図中の矢印の始点の位置から横方向にストロークを開始する。そしてツールパレット中の Hue と書かれた地点まで来たら縦方向にストロークを行う。その結果、色相のパラメータ変更機能が実行され、再び横方向にストロークを行うと色相のパラメータを変更することができる。変更後の描画色はツールパレット内に表示される。Hue, Sat, Val という 3 つの描画色変更ツールの上に表示されている色が、現在選択されている描画色である。ユーザがストロークを終了すると、ツールパレットに表示されている色が描画色として確定される。

現在の実装では、ツールパレットに、ブラシサイズの変更操作、描画色（色相、彩度、明度）の変更操作、そしてキャンバスのズーム操作を備えている。これらの操作は、調査結果より、操作頻度は高くないがよく使用される操作であるといえる。これらの操作を 1 つのツールパレットにまとめることによって、描画以外のすべての操作を画面外領域に割り当てることが可能となった。

4. 関連研究

Nijboer ら²⁾ はスケッチインタフェースのために、キャンバスの周囲にジェスチャのための領域を設けるインタフェースを開発した。ジェスチャ領域におけるドラッグを使用して、キャンバスの回転、移動、ズーム操作を行う。Nijboer らは画面内のキャンバスの周囲の領域を使用しているが、本研究は画面の枠や画面手前の机といった画面外の領域まで操作範囲を拡張しており、描画とそれ以外の操作の誤認識の減少が期待できる。Apitz ら³⁾ は、スタイラスによるクロッシング操作を取り入れたドローアプリケーションのインタフェースを開



図 17 ツールパレット
Fig. 17 The tool palette.

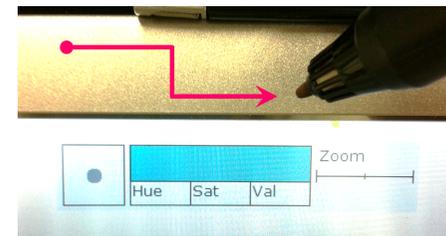


図 18 ツールパレットの操作方法
Fig. 18 Selection a tool in the tool palette.

発した。このシステムはブラシの設定変更やメニューの表示をクロッシング操作によって行う。しかし、キャンバス上にメニューを表示する必要があり、更にクロッシング操作のために領域を広く使用する。本研究で提案するシステムは、キャンバス上には画面外領域に割り当てた操作のキューと、変更後のパラメータのみを表示する。表示のために使用する領域、つまりキャンバスを隠す領域を小さくすることができる。

Hinckley ら⁴⁾ は、タッチインタフェースにおいてスタイラスとタッチによって操作するインタフェースを開発した。この研究ではスタイラスとタッチの意味を切り分けるために、スクラップブックの作成を観察する実験を行い、実世界において使用されているメタファを用いたインタラクション手法を提案している。本研究は、描画の際のスタイラスの使用法に焦点を当てているため、Hinckley らが目指す画像編集手法とは対象が異なる。

Grossman ら⁵⁾、鈴木ら⁶⁾、Tian ら⁷⁾、梅林ら⁸⁾ はスタイラスの姿勢情報を用いたインタラクション手法を提案している。本研究はスタイラスインタフェースの拡張のために操作範囲を拡張している点でこれらと異なる。

また、Butler ら⁹⁾ や Kane ら¹⁰⁾、Mistry ら¹¹⁾ は、デバイスの周囲に操作面を生成するシステムを開発した。これらの研究では生成した操作面に対するタッチやドラッグを検出して操作に用いている。本研究ではスタイラス入力操作範囲を拡張しているという点でこれらと異なる。

5. まとめと今後の課題

我々は、ペイントアプリケーションに必要な機能を調べるため、人が絵を描く際の行動を調査した。調査結果より、紙に絵を描く際の紙の回転と、PC を用いて絵を描く際のキャンバスのスクロール、そしてレイヤに対する操作の頻度が特に高いことがわかった。また、タ

スク実施時の観察からは、手の移動量が大いという問題点がわかった。これらの調査結果から、我々はペイントアプリケーションの設計を行った。更にアプリケーションの設計に基づいて、キャンパスのスクロールと回転機能、レイヤ機能、ツールパレットによるブラシのパラメータ機能とキャンパスのズーム機能を実装した。画面内領域に対する入力によって描画を行い、画面外領域に対する入力によってパラメータの変更を行うペイントアプリケーションを実現した。

今後は実装したペイントアプリケーションの評価を行う。被験者に実際にアプリケーションを使用して描画してもらい、使用感と機能の割り当て位置の正当性について評価する。また、レイヤー一覧やツールパレットの表示方法について検討する。

参 考 文 献

- 1) 鈴木文佳, 志築文太郎, 田中二郎: 画面外におけるスタイラスの動作を用いた入力インタフェース, 情報処理学会第 73 回全国大会論文集, Vol.4, 社団法人情報処理学会, pp.317-318 (2011).
- 2) Nijboer, M., Gerl, M. and Isenberg, T.: Exploring frame gestures for fluid free-hand sketching, *Proceedings of the Seventh Sketch-Based Interfaces and Modeling Symposium*, SBIM '10, pp.57-62 (2010).
- 3) Apitz, G. and Guimbretière, F.: CrossY: a crossing-based drawing application, *Proceedings of the 17th annual ACM symposium on User interface software and technology*, UIST '04, pp.3-12 (2004).
- 4) Hinckley, K., Yatani, K., Pahud, M., Coddington, N., Rodenhouse, J., Wilson, A., Benko, H. and Buxton, B.: Pen + touch = new tools, *Proceedings of the 23rd annual ACM symposium on User interface software and technology*, UIST '10, pp.27-36 (2010).
- 5) Grossman, T., Hinckley, K., Baudisch, P., Agrawala, M. and Balakrishnan, R.: Hover widgets: using the tracking state to extend the capabilities of pen-operated devices, *Proceedings of the SIGCHI conference on Human Factors in computing systems*, CHI '06, pp.861-870 (2006).
- 6) 鈴木 優, 三末和男, 田中二郎: ユーザに優しいデジタルノート向けスタイラスインタフェース, 第 15 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 2007), pp.69-74 (2007).
- 7) Tian, F., Xu, L., Wang, H., Zhang, X., Liu, Y., Setlur, V. and Dai, G.: Tilt menu: using the 3D orientation information of pen devices to extend the selection capability of pen-based user interfaces, *Proceedings of the twenty-sixth annual SIGCHI conference on Human factors in computing systems*, CHI '08, pp.1371-1380 (2008).
- 8) 梅林靖弘, 丸山一貴, 寺田 実: ペンタブレットの空中動作を利用したインタラクシ

- ン, 第 17 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 2009), pp.121-122 (2009).
- 9) Butler, A., Izadi, S. and Hodges, S.: SideSight: multi-”touch” interaction around small devices, *Proceedings of the 21st annual ACM symposium on User interface software and technology*, UIST '08, pp.201-204 (2008).
- 10) Kane, S.K., Avrahami, D., Wobbrock, J.O., Harrison, B., Rea, A.D., Philipose, M. and LaMarca, A.: Bonfire: a nomadic system for hybrid laptop-tabletop interaction, *Proceedings of the 22nd annual ACM symposium on User interface software and technology*, UIST '09, pp.129-138 (2009).
- 11) Mistry, P. and Maes, P.: Mouseless: a computer mouse as small as invisible, *Proceedings of the 2011 annual conference extended abstracts on Human factors in computing systems*, CHI EA '11, pp.1099-1104 (2011).