カーボンコピーメタファを用いたトラックパッド用対話技法

池松 香¹ 椎尾 一郎^{1,a)}

概要:一般的な PC に装備されたトラックパッドでの手書きの文字入力やイラスト描画は、スマートフォンやタブレット PC での入力に比べて、操作に時間を要する。これは後者においては、入力面座標が画面座標に 1 対 1 対応する絶対座標系による入力であるのに対し、前者はマウスと同じく指の移動量をポインタの移動量に対応させた相対座標系を基準とした入力方式だからである。本稿では、トラックパッド入力においてこれら 2 つの入力方式を直感的に切替えるインターフェースである、カーボンコピーメタファを利用したトラックパッド用対話技法を提案する。さらに評価実験で得た知見を元に、実際の GUI 環境で利用できるシステムとして実装した。本手法では、トラックパッド入力面に絶対座標入力可能な小領域をPC 画面上に設定する。カーボンコピーメタファは、この領域を手元にある"カーボン紙片"とみなし、非利き手でカーボン紙片の移動と固定のモード切り替えを実行し、利き手で移動と入力を行う手法である。

Trackpad-based Mode Switching Techniques Using Carbon Copy Metaphor

IKEMATSU KAORI¹ SIIO ITIRO^{1,a)}

Abstract: Hand-drawing characters or images using smartphones and tablets is much easier than drawing using track-pads commonly equipped in laptops PCs and desktop computers. This is because tablets are absolute coordinates input devices whereas track-pads are relative coordinates input devices similar to conventional mice. This paper proposes a novel input technique that aims to switch between relative and absolute coordinates input methods seamlessly based on the "carbon copy" metaphor. We display a small workspace ("carbon copy area") on a PC screen that corresponds one-to-one with the handy trackpad. The user can input hand-written characters or images using absolute coordinates input on this virtual carbon copy paper, and move it anywhere a user likes using relative coordinates. Our technique allows a user to call both absolute and relative coordinates inputs and use the appropriately with arbitrary timing. We can obtain multiple advantages by combining these methods. We developed a desktop application software to utilize this technique in a realistic GUI environment based on user evaluation.

1. はじめに

近年スマートフォンやタブレット PC, ペンタブレット,トラックパッドなど,タッチサーフェスによる入力方法は一般的なものになった。現在利用されているタッチサーフェスには,相対座標系を使った入力と絶対座標系を使った入力の2種類の方式が存在する。相対座標系を用いた入力は,マウスによる入力と同様の,カーソルの現在位置からの移動差分を伝える方法である。トラックパッドはマウ

スと同様に相対座標系を用いており、ユーザがタッチしつつ指を動かすと画面上のポインターが指の移動量に対応して移動する。ユーザが指を持ち上げて元の位置に戻すことを繰り返したり、システムがポインターの移動に擬似的な加速度を加味することで、入力面が小さく、物理的に小さい動作の入力しかできない機器であっても、大きい画面を比較的容易に操作することができる。一方、絶対座標系を用いた入力はスマートフォンやタブレット PC、ペンタブレットなどによる入力と同様の、入力面座標が画面座標に1対1対応する方法である。この入力方法は、実世界においてペンで紙に絵や文字を書く際のペン先の動きと同様の動きを指先で行うため、手書きの文字・図形入力や画像編

¹ お茶の水女子大学人間文化創成科学研究科

Ochanomizu University, Bunkyo, Tokyo 112-8610, Japan

a) siio@acm.org

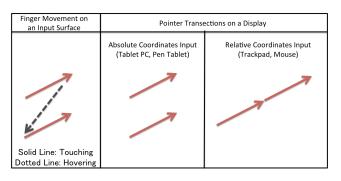


図 1 人の入力(左)と、それに対応する絶対座標入力方式及び相対 座標入力方式の表示面でのポインタの軌跡

Fig. 1 Input method: input by a finger (left), relative coordinates (middle), and absolute coordinates (right).

集の切り抜きなどの作業をより簡単に行うことができる.

我々はこの相対座標系及び絶対座標系を用いた 2 種類の 入力方式に着目し、新たな入力インターフェースの設計を 行った. 図1は相対座標入力方式と絶対座標入力方式によ る表示面でのポインタの動きの違いを表したものである. PC でこのような絶対座標のポインティングを容易に行う には、ペンタブレットなどの特殊な入力装置を必要とする が、トラックパッドなどにおいても絶対座標による入力 を提供すれば、手書き文字や図形・画像操作が容易になる と考えられる. しかし、大型のディスプレイが利用される PC 環境では、トラックパッド面と画面サイズの隔たりが 大きいため、それぞれの座標を全対応させると指の動きが 画面上に大きく拡大されることになり、細かい操作が困難 になる. トラックパッド面に対応して絶対座標入力できる 小領域を画面上に設定し、その領域にだけ手書きの文字や 絵を書き込めるようにすれば、指の移動量とポインタの移 動量が同程度になり、この問題は解決できる。しかしなが ら,入力用小領域を画面の中に設定したり,移動させたり するための使いやすいインタフェースを提供する必要があ る. 一方で、メニュー選択やウィンドウ操作などの一般の GUI 操作をトラックパッドで行う場合は,現行の相対座標 入力が優れている。前述したように、指を持ち上げて戻す 動作や擬似的な加速度機能により、大きな移動量を達成し つつ、操作対象の近辺では解像度の高い細かい操作が可能 だからである.

そこで本研究では、デスクトップ PC やノート PC など、相対座標入力を基準とする操作方法のデバイス上で、(1)相対座標入力と絶対座標入力の切り替えと、(2) 絶対座標入力エリアの移動と入力を直感的に切り替える手法として、カーボンコピーのメタファを利用したインターフェースを提案する。本方式では、ユーザが手書き文字や絵の入力等の絶対座標入力を必要としたときに、画面上に仮想的な"カーボン紙片"を表示する。ユーザは、両手のマルチタッチ操作により、入力したい領域へこのカーボン紙片を移動したり、またカーボン紙片の上に描画をすることがで

きる. また,近年ではタッチ入力を受けつける,画面と入力面が一体化している PC が販売されてはいるものの,画面サイズが大きくなるとタッチ入力が困難になり,あるいは手元の小さなトラックパッドで操作するにも画面内の移動が煩雑になると言った問題がある. 提案手法は,絶対座標入力と相対座標入力を任意の場面で呼び出して,目的に合わせて2つの入力方法の利点を活かすことを目指す.

2. カーボンコピーメタファ

本論文では、PCのトラックパッド操作において相対座標モードと絶対座標モードを提供し、これらを直感的に操作する方式として、事務作業で使われるカーボンコピーをメタファにしたインタフェース手法を提案する。カーボンコピーは事務作業において書類の間にカーボン紙を挟み、筆圧により下の紙に複写する手法である。

提案方式において通常のトラックパッド操作は、従来方 式と同様の相対座標モードで機能する. 一方, ユーザが非 利き手でタッチ面に触れると、触れている間、ポインタ の場に仮想的な"カーボン紙片"が現れる。これは、コン ピュータ画面内のデスクトップ上に置いたカーボン紙片の メタファである. 実世界のカーボン紙片は, 指で軽く押さ えて動かすことで、机上を移動させることができる。また 指で強く押さえて固定することで、カーボン紙片への描画 を下の書類に転写することができる。この動作をベースと して、以下のインタフェース手法を提供する。すなわち、 非利き手指のタッチで現れたカーボン紙片は、非利き手指 1本でタッチされている間、机上で固定されていないカー ボン紙片と同様に、利き手指のドラッグ操作で動かすこと ができる。ユーザがさらに非利き手の2本指でタッチ面に 触れると、仮想的なカーボン紙片はデスクトップ画面に固 定され、この下のオブジェクトに対して、絶対座標による 操作が可能になる。カーボン紙片の下に図を描くことがで きるオブジェクトがあれば、トラックパッド上での利き手 の描画操作で手書き文字や図を描く事ができる. 以上によ り、トラックパッド操作の相対座標モードと絶対座標モー ドの切り替え操作、さらには、絶対座標モードにおいて描 画対象となる画面領域の移動操作を、直感的に行うことが できる.

2.1 予備実験

本システムでは、実世界の事務作業でカーボン紙を使うときと同様な動作で、入力領域の移動とそこへの入力作業を実現しようと考えた。そこで、コンピュータ内の仮想のカーボン紙片を操作するインタフェースを設計するにあたって、実世界で人がどのようにカーボン紙を操作しているのかを観察する実験を行った。ここでは、大きな画面の一部に描画可能なエリアが設定された状況を考え、図 2 (左)のように、大きな画用紙 (500mm × 400mm)と小さ





図2 予備実験に用いたカーボン紙と画用紙 (左), カーボン紙を用いて複写している様子 (右)

Fig. 2 Carbon paper for preliminary experiment (left); writing on a carbon paper (right).

なカーボン紙片 (130mm × 130mm) を用いた。被験者には、インクの出ないボールペンとカーボン紙を使って、画用紙の上の左半分に自分の名前 (漢字、英字) を、右半分に自由にイラストを描いてもらい、手の動きと道具の扱い方について観察した (図. 4). 被験者は大学生及び大学院生 6名 (右利き 5名、左利き 1名) である。図 3 は、描画しよう

	P1 (R)	P2 (R)	P3 (R)	P4 (R)	P5 (L)	P6 (R)
Moving Carbon Paper	000	0000	00 00	000	%	0000
Writing on Carbon Paper	0 0	0	0 0	0 0	0 0	0
P: Participant (R): Right Hander (L): Left Hander Fingertip Position of Right Hand Carbon Paper						

図3 予備実験における被験者毎のカーボン紙の扱い方. (移動と記入の場合に利用する手の指数と押さえる場所)

Fig. 3 Manipulation of the carbon paper by each participant in the preliminary experiment.

とする画用紙上の場所へ、カーボン紙を移動させる動作と、カーボン紙の上からインクの出ないボールペンを使って下の紙に描画を行う動作における、被験者の様子をまとめたものである。カーボン紙を移動・固定するために使った指数と、カーボン紙片上の触れた場所を列挙している。カーボン紙上で記入をする動作においては、被験者全員が、図4のように、非利き手でカーボン紙の端を抑えていた。これは描画にあたって、薄いカーボン紙がめくれること無く確実に固定するとともに、描画のための領域を多く確保するためにとった動作と考えられる。一方で、カーボン紙を目的の場所へ移動させる動作においては、カーボン紙を抑える位置、それに使用する手(利き手、非利き手)及び指の本数は被験者によって様々だった。

前節の予備実験にもとづき、次のようなインターフェース設計を行った。被験者がカーボン紙上で描画を行った動作に着目し、タッチサーフェス上で絶対座標入力を行う際

のトリガとして"2点で非利き手側の端を抑える"という 動作を取り入れた。ユーザがトラックパッドで1点タッチ によるカーソル移動中に、非利き手の2本指でトラック パッドを軽く抑えると画面上のポインター部分に、トラッ クパッドと同じ縦横サイズ比の矩形領域が現れ、その領域 内で絶対座標入力を行える。この画面上に現れた矩形の絶 対座標入力エリアを以後カーボンコピーエリア, 絶対座標 入力のモードをカーボンコピーモードと呼ぶ。このカーボ ンコピーエリアでの入力中操作に、抑えていた非利き手の 二点を離すと,カーボンコピーエリアは画面上から消失し 通常の相対座標入力に切り替わる。ここで現れるカーボン コピーエリアは、画面の一部だけをカバーしているので、 大きな領域を作業対象とする場合には、領域を移動させる 必要がある。これは前節の予備実験でカーボン紙片を画用 紙の上で移動させる動作に相当する. 本手法は, 1点タッ チによる相対座標入力モードでカーソルの移動を行い,2 点タッチ追加によりカーボンコピーモードを起動し,入力 領域の移動とそこへの入力作業をシームレスに切り替える ことを実現する.

2.2 インターフェース設計

3. 実装

設計したインタフェースに基づくプロトタイプを、Apple 社の Mac OS X 10.9 アプリケーションとして実装した.



図4 予備実験における被験者6名のカーボン紙上への記入動作

Fig. 4 The behavior of writing characters on a carbon paper of 6 participants in preliminary experiment.

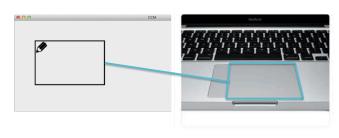


図 5 試作アプリケーション動作例. 黒枠で示したカーボンコピー エリアがトラックパッド入力エリアに対応する.

Fig. 5 Black-framed carbon copy area corresponds to the input area on the trackpad.

黒枠で示したカーボンコピーエリアが表示された状態であ る. さきの実験に対応させると、デスクトップ画面全体が 画用紙に、黒枠内がカーボン紙に相当する. 本プロトタイ プでは、図6のように、トラックパッド上のトリガエリア を2本指で抑えることでカーボンコピーエリアを画面上に 出現・固定しつつ, 入力エリアを1本指でタッチすること で、カーボンコピーエリアにペイント入力をすることがで きる。トラックパッドの位置座標とアプリケーション内の カーボンコピーエリアの位置座標は1対1対応しており, 絶対座標による入力を行える. トリガエリアを1本指のみ でタッチしつつ、別の指でカーボンコピーエリアをタッチ 操作すると、カーボンコピーエリアが移動し、画面内にお けるカーボンコピーエリアの場所を変更することができる. ここで説明した手法は、マルチタッチ入力を想定してい る. しかしながら、マルチタッチ入力を受け付けないコン ピュータにおいても、キーボードの併用により提案手法は 可能であると考えた. そこで、同 MacBookPro において、 トラックパッドの上部隅に近接する Command・英数また は Command・かなキーを領する方法を実装した。これは、 キーを押下する動作をカーボン紙の端を押さえる動作に見 立てるものである。 すなわち、Command キーの押下をト リガエリアの1点タッチに、Command キーと共に英数ま

図5(左)は、ユーザがトリガエリアをタッチすることで、

3.1 状態遷移

想定した.

図7にトラックパッド上でのジェスチャ入力と本アプリケーションの機能のマッピングを示す。図中の丸は、トラックパッド上でタッチされている指(青は固定指、赤は可動指)を表している。すなわち、State No.1 は一本指で入力エリアにタッチし動かす状態を示す。トリガエリアに触れていない状態でユーザが入力エリアにタッチすると、従来の相対座標入力モードでのトラックパッド操作を提供

たはかなキーを押下することをトリガエリアの2点タッチ

の代替とする。この手法の場合、トリガエリアは存在せず、

トラックパッド全体が入力エリアとなる。右利きの被験者

は英数キーを、左利きの被験者はかなキーを用いることを



図 6 トラックパッドでの入力面分割 (ユーザーが右利きの場合)

Fig. 6 Trackpad divided into two areas. This figure shows the case for a right-handed person.

State No.	Fingertip Position on a Trackpad	Display Screen	Functional Instruction
1			Moving a Cursor Pointer (Relative Coordinates)
2	•		Showing a Carbon Copy Area
3		le_	Moving a Cursor Pointer (Absolute Coordinates)
4		· .	Moving a Carbon Copy Area (Relative Coordinates)

:Moving Fingertip:Fixed Fingertip

図 7 Trackpad 上でのジェスチャと提案手法の機能のマッピングFig. 7 Mapping between fingertip position on trackpad and CCM function.

する。ユーザが非利き手側の2本指でトリガエリアをタッチするとState No.2 に遷移する。このとき、画面上のポインター位置にカーボンコピーエリアが表示され、ユーザが利き手側の一本指で入力エリアにタッチすることで絶対座標入力が可能となる (State No.3)。また、非利き手の一本指でトリガエリアにタッチしつつ入力エリアをドラッグすることでカーボンコピーエリアの画面内移動を行う (State No.4)。プロトタイプの実装では入力エリアへのタッチで、カーボンコピーエリアの対応する場所へポインターが移動し、ドラッグで描画を行う。このモードは、領域の移動のみを可能とする。以上のように、カーボン紙片操作を想起させる非利き手のタッチでカーボンコピーエリア矩形が現れ、これをしっかり固定する動作を想起させる非利き手の二点タッチでその位置が固定されることで、シンプルで直感的なモード切り替えを提供する。

4. 評価実験

提案手法の有効性を検証するために、作業効率について、 従来の相対座標入力のみによる入力方法と提案手法の入力 方法を比較する評価実験を行った。

4.1 評価手法

Apple 社の MacBookPro(13 インチ)上に、提案方式による操作を実現するシンプルなペイントアプリケーションを実装し、このコンピュータに組み込まれているトラックパッドを用いて以下の評価実験を行った。実験により比較するのは下記の3手法である。

- (1) 提案手法による入力 (multi-touch)
- (2) 提案手法による入力 (keyboard)

(3) 従来の相対座標入力

提案手法による入力 (multi-touch) とは、前述した、カー ボンコピーメタファを用いトリガエリアへの非利き手2点 タッチにより絶対座標と相対座標の入力を切り替える手法 である. 提案手法による入力 (keyboard) とは、絶対座標 と相対座標の入力の切り替えを、非利き手の2点タッチで はなく、Command・英数またはCommand・かなキーの押 下により代替する手法である。被験者は、20代から60代 の大学院生及び会社員(女性8名, 男性1名, うち左利き2 名)の合計9名である。これらの被験者に対して、画面上 に配置された5個の長方形の内部に、それぞれ指定された 動物の英単語(いずれも合計画数 5, 小文字)を手書きする タスク (図8) を依頼した。記入する順番に関しては特に 指示しなかった. 実験開始前に, 筆者がタスクの内容と操 作方法を実演しつつ口頭で説明し、その後被験者に5分間 以内で、被験者が満足するまで入力の練習を行ってもらっ た. 次にカーボンコピーメタファによる本方式 (2 手法) と 従来の相対座標入力方式を用いて、このタスクを各10回ず つ行い、タスク遂行にかかる時間を測定した。すなわち、 3 手法 x 9 (被験者/手法) x 10 (タスク/被験者) x 5 (単語/ タスク) = 1350 単語のデータを得た。また、提案手法2方 式に関しては、相対座標入力と絶対座標入力の意図してい ない切り替わりの回数 (エラー回数) をタスク毎に数えて もらった。本方式では、マルチタッチ操作もしくはキー入 力操作により絶対座標入力エリアを出現させ、これをター ゲットの矩形枠付近で固定し、トラックパッド面へのタッ チと指移動による手書き操作により文字を描く. 従来方式 では、トラックパッド面でのドラッグと指を持ち上げての 移動を繰り返して文字を手書きする。9名の被験者(1,2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9) は下表1の順番で(1) 提案手法によ る入力 (multi-touch), (2) 提案手法による入力 (keyboard) , (3) 従来の相対座標入力によりタスクを行った。表1内

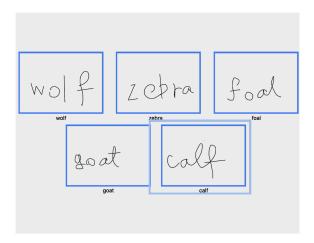


図 8 評価実験用のペイントアプリケーション画面

Fig. 8 Prototype application for the comparison experiment. Writing task: five animal names in lowercase using five strokes for each word

(1)(2)(3) はそれぞれ上記の手法と対応している.

表 1 評価実験における被験者ごとの実行タスク順序

Table 1 Sequence of tasks for each participant in the comparison experiments.

被験者	実行タスク順序
1, 2	$(1) \to (2) \to (3)$
3	$(1) \to (3) \to (2)$
4, 5	$(2) \to (3) \to (1)$
6	$(2) \to (1) \to (3)$
7, 8	$(3) \to (1) \to (2)$
9	$(3) \to (2) \to (1)$

4.2 結果と考察

本方式と従来方式によるタスク実行時間をグラフ9に 示す. 入力手法ごとのタスク遂行平均時間から、初めは、 提案手法による入力 (multi-touch): 4.4WPM(Word Per Minutes) と提案手法による入力 (keyboard): 5.8WPM は, 従来手法による入力: 6.0WPM に比べ必ずしも速くない. しかし、被験者たちはすぐに各入力手法の使用方法を習得 し、提案手法による入力 (multi-touch) は5 試行目、提案 手法による入力 (keyboard) は2試行目から従来手法より も速くなった. 試行回数が進むと最終的 (10 試行目) に提 案手法による入力 (multi-touch) は 3.5WPM, 提案手法に よる入力 (keyboard) は 3.7WPM だけ従来手法よりも速く 入力できるという結果を得た. また, 相対座標入力方式に おいて、タスク遂行時間は初回よりも 10 試行目の方が短 くなっているものの、その差は 0.9WPM であり、提案手法 (multi-touch)6.0WPM・提案手法 (keyboard)4.8WPM と 比較し、大きな差異は見受けられない。これは、被験者が 日常的に相対座標入力方式のインターフェースを使用して おり、操作に慣れているためだと考えられる。一方、それ ぞれの被験者が行った提案手法のカーボンコピーメタファ 入力における、タスク遂行時間の推移を観察すると、先に 行われたタスクより、後に行われたタスクの遂行時間が短 くなっていることが分かる. これは、カーボンコピーメタ ファの操作方法に慣れることで、操作にかかる時間が短縮 され、より効率的な入力が可能になった結果であろう。以 上の実験結果より、本方式は従来の相対座標入力方式より も効率的であり、短時間の操作で入力方法習得可能である ことが示された。

提案手法2方式における,ユーザー自身に数えてもらったエラー回数については,各方式10回×9名×5単語=450語の単語書取中,提案手法による入力(multi-touch)は20回,提案手法による入力(keyboard)は4回生じた.前者は,トリガエリアに誤って描画に用いた指が侵入してしまう/トリガエリアの指を離してしまうことが原因である.後者に関しては,カーボンコピーモード中に押下している

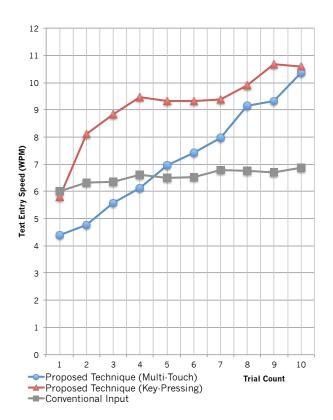


図 9 手法別単語入力速度平均

Fig. 9 Mean input speed for each technique in WPM.

キーを誤って離してしまうことが理由である。これらのエラーはいずれも提案手法の習熟により軽減できると推測される。さらに、トリガエリアに誤って描画に用いた指が侵入してしまうエラーに関しては、トラックパッドにテープなどで色を付け、カーボンコピーエリアを視覚的に伝えたり、トラックパッドの端の部分に指を置くよう指示することで改善されると考えられる。

カーボンコピーのメタファの適用に関しては、理解しやすいインターフェースである、普段からタブレットなどでもフレーム部分を抑えて絵を描くことをするため馴染みやすい、などの肯定的な意見が得られた。一方で、キーボードをモード切替のスイッチとしたほうが、入力エリアを広く使える、手が疲れない等の意見も得られた。

5. 常駐アプリケーションの実装

カーボンコピーメタファの機能を実現するプログラムを、専用アプリケーションとしてだけでなく、より汎用的な使用を目的とし、Mac OS X 10.11上で動作する常駐(ステータスバー)アプリケーションとして実装した。基本的な動作は図7に示す通りであるが、前述の評価実験から得た知見に基づき改良を加えた。

まず,トリガエリアを幅 5.0mm に縮小し,図 10 のように,非利き手の2本指でトラックパッドのエッジ部分にかかるように抑えてカーボンコピーモードを起動するよう変更した。また、ステータスバーメニューのオプション



図 10 常駐アプリケーションにおけるトリガエリア (エッジ部分) Fig. 10 Rescaling trigger area to 5.0 mm on a trackpad.

State	Fingertip Position	Display Screen	Functional	
No.	on a Trackpad		Instruction	
5		M.	Scaling a Carbon Copy Area	

図 12 常駐アプリケーションにおける追加機能

Fig. 12 Additional function for resident application.

メニューの選択により、英数・かなキー押下の動作からもモード切替を行える設計とした。本アプリケーションを起動し、カーボンコピーモードに切り替えると図11(中)のように、画面内のカーソル位置に半透明の矩形領域が出現する。この矩形領域内で行う絶対座標入力はデスクトップ環境のGUI、ウィンドウに対して実行可能である。

また、カーボンコピーエリアを拡大・縮小する機能を追加した。この機能は入力エリアでの2点上下ピンチで起動する(図12). 例えば、画面全体まで拡大すると図11(右)のように画面全体を覆う半透明の矩形領域が現われる。この状態でトラックパッドと画面の座標は一対一に対応する。この機能により、ユーザーは大画面を手元の小さいトラックパッドで操作するような状況であっても、一瞬で端から反対側の端までカーソルを移動したり、画面の四隅にカーソルを運び、ホットコーナーに登録している動作を実行することが可能となる。

6. 関連研究

本研究では、タッチサーフェス上で入力座標系を切り替えるインタフェースを提供する。そこで、本セクションはモード・機能の切り替えに関する先行研究を紹介する。ARC-Pad[8] はスマートフォン画面と PC 画面を一対一に対応させた絶対座標によるカーソル制御を行う。本研究は一対一に対応するエリアの移動及び拡大縮小も行うことができ、かつこれらの入力をシームレスに切り替えられる点で優位性がある。文鎮メタファ [12] では、ユーザーが現実世界の道具を扱う際の手の動きに着目し、スクロールや編集などの機能を使い分ける方法を提案した。本研究でも、

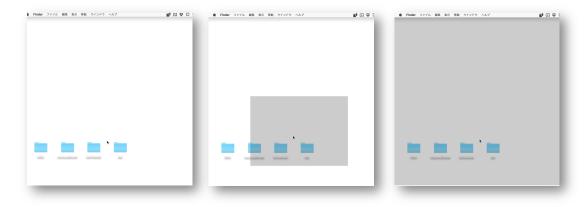


図 11 通常の相対座標入力モード (左)

カーボンコピーモード (トラックパッドサイズのカーボンコピーエリア)(中) カーボンコピーモード (全画面サイズのカーボンコピーエリア)(右)

Fig. 11 Usual relative coordinate input mode (left), Proposed carbon copy method of trackpad size mode (middle), and full screen size mode (right).

仮想のカーボン紙片を移動・固定するモード切り替えに, 紙を押さえて固定するメタファを用いている。しかし、デ バイスとして広く普及しているマルチタッチサーフェスの みを利用し実装しているため、特別なセンサを追加するこ となく実現可能であり、またユーザごとの利き手の違いに も柔軟に対応でき実用的である. RodDirect[9] では、デバ イスに格納されているタッチペンの回転や抜き差しする操 作でドラッグやスクロールの切り替えを行う。Toolglass and Magic Lenses[2] は非利き手でトラックボールマウス を操作することで画面上の矩形領域を移動し、利き手のマ ウスで矩形内のメニューを選択・切替を行う. 他にもタッ チの際に指を認識し、各々の指に対応した機能の使い分け を実現するインタラクション手法 [17] [13], 傾きセンサや 近接センサにより周辺状況に合わせてモードを自動で変 更する手法 [6], 静電容量センサを搭載したキーボード上 で、タイピングとポインティングを使い分ける手法[15], 感圧センサを搭載したペンを握る強さと筆圧の組み合わせ により機能を使い分ける手法 [14], 加速度センサを搭載し た専用のスタイラスペンで、空中でのジェスチャを取得し ショートカットアクションを実行する研究 [16]、ペンデバ イスと指先のタッチに別の機能を振り分けることでモード の切替を行う研究 [7] [11] や、タッチ入力とホバー入力を 組み合わせ、単純なタッチとは別のコマンドを割り当てる 手法 [4] などがある. 製品化されているものでは、デスク トップPC やノートPC の側面に赤外線センサを取り付け ることにより、専用のタッチペンと指のタッチを識別する Touch8*1などがある。ここで挙げた手法においては、いず れも入力方法の判別に外付けのハードウェアやカメラ、セ ンサを搭載したペンデバイス、指紋認証装置などを必要と するが、提案手法では、これらの特殊なハードウェアが一

切不要な方法を目標とした。

また、特殊な外部センサを追加せずに実現可能な方式では、指がノートPCのタッチパッドに触れることでキーボードの機能を切り替える ThumbSense[10]、タッチパネルと指先の接触面積の変化によりズームやスクロールの使い分けを実現する The fat thumb[3]、指が画面に触れている状態をスイッチとして、端末を前後・左右へ動かしズーム・スクロールを行う手法 [18]、2 点タッチと 1 点タッチで利き手と非利き手にそれぞれ異なる機能を割り振る手法 [1]、現実世界の文具を持とうとする際の指の姿勢を利用し、タブレットPC上での機能切り替えを提供する TouchTools[5]、マルチタッチジェスチャを拡張し、機能の割り当てをユーザが定義できるツール、Jitouch*2、BetterTouchTool*3などがある

このように、様々なモード切替の方法/モードの組み合わせが提案されてきたが、本研究のように、デスクトップPCやノートPCなど、相対座標入力が基本になるデバイスにおいて、絶対座標系の入力と相対座標系の入力を切り替えをシームレスに行うための研究は類似例がない。

7. まとめと今後の課題

本論文では、カーボンコピーメタファを利用したトラックパッド用の新しい入力技法を提案した。本手法はデスクトップ PC やノート PC で使用されるトラックパッドのような相対座標入力デバイスに対して、絶対座標入力モードを導入し、2つの方式による入力・ 切替を直感的に行う。本手法を用いることで、モードを意識することなく自然な動作で2つの入力方法を切り替えることが可能となる。2つの入力方法の長所を目的に合わせて用いることが可能な

^{*1} http://mvpen.shop-pro.jp/?pid=52837346

^{*2} https://www.jitouch.com/

^{*3} http://www.bettertouchtool.net/

だけでなく、カーボンコピーという実世界のメタファに関連付けられており、理解しやすく使用方法習得もしやすい、 有用性の高いインターフェースであると言えよう。

また、使用に特別なハードウェアやセンサを必要とせず、広く普及しているマルチタッチサーフェスのみで実現可能である。専用のペイントアプリケーションを用いて被験者計9名に評価実験を行い、その結果、10回目の試行で従来手法と比べ平均3.5(WPM)速く入力できることを示した。さらに、実験の考察を踏まえてデスクトップ環境に常駐するアプリケーションを構築し、より汎用的に提案手法を実行できるよう実装を行った。今後は、カーボンコピーモードを明示的にユーザに表すための、視覚的フィードバックの改良などを含めて研究を深めたい。また、実用的な常駐アプリケーションとしてリリースし、より多くのユーザーの使用を元に、実用性を検証したいと考えている。

8. 謝辞

本研究は JSPS 科研費(26330219)の助成を受けたものである。

参考文献

- [1] Benko, H., Wilson, A. D. and Baudisch, P.: Precise Selection Techniques for Multi-touch Screens, Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems, CHI '06, New York, NY, USA, ACM, pp. 1263–1272 (2006).
- [2] Bier, E. A., Stone, M. C., Pier, K., Buxton, W. and DeRose, T. D.: Toolglass and Magic Lenses: The Seethrough Interface, Proceedings of the 20th Annual Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques, SIGGRAPH '93, New York, NY, USA, ACM, pp. 73–80 (online), DOI: 10.1145/166117.166126 (1993).
- [3] Boring, S., Ledo, D., Chen, X. A., Marquardt, N., Tang, A. and Greenberg, S.: The fat thumb: using the thumb's contact size for single-handed mobile interaction, *Proceedings of the 14th international conference on Human-computer interaction with mobile devices and services*, MobileHCI '12, New York, NY, USA, ACM, pp. 39–48 (online), DOI: 10.1145/2371574.2371582 (2012).
- [4] Chen, X. A., Schwarz, J., Harrison, C., Mankoff, J. and Hudson, S. E.: Air+Touch: Interweaving Touch & In-air Gestures, Proceedings of the 27th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology, UIST '14, New York, NY, USA, ACM, pp. 519–525 (online), DOI: 10.1145/2642918.2647392 (2014).
- [5] Harrison, C., Xiao, R., Schwarz, J. and Hudson, S. E.: TouchTools: Leveraging Familiarity and Skill with Physical Tools to Augment Touch Interaction, CHI '14, ACM, pp. 2913–2916 (online), DOI: 10.1145/2556288.2557012 (2014).
- [6] Hinckley, K., Pierce, J., Sinclair, M. and Horvitz, E.: Sensing Techniques for Mobile Interaction, Proceedings of the 13th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology, UIST '00, New York, NY, USA, ACM, pp. 91–100 (online), DOI: 10.1145/354401.354417 (2000).
- [7] Hinckley, K., Yatani, K., Pahud, M., Coddington, N., Rodenhouse, J., Wilson, A., Benko, H. and Buxton, B.:

- Manual deskterity: an exploration of simultaneous pen + touch direct input, *CHI '10 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*, CHI EA '10, New York, NY, USA, ACM, pp. 2793–2802 (online), DOI: 10.1145/1753846.1753865 (2010).
- [8] McCallum, D. C. and Irani, P.: ARC-Pad: Absolute+Relative Cursor Positioning for Large Displays with a Mobile Touchscreen, Proceedings of the 22Nd Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology, UIST '09, New York, NY, USA, ACM, pp. 153–156 (online), DOI: 10.1145/1622176.1622205 (2009).
- [9] Miura, M. and Kunifuji, S.: RodDirect: Twodimensional Input with Stylus Knob, Proceedings of the 8th Conference on Human-computer Interaction with Mobile Devices and Services, MobileHCI '06, New York, NY, USA, ACM, pp. 113–120 (2006).
- [10] Rekimoto, J.: ThumbSense: Automatic Input Mode Sensing for Touchpad-based Interactions, CHI '03 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems, CHI EA '03, New York, NY, USA, ACM, pp. 852– 853 (2003).
- [11] Schwarz, J., Xiao, R., Mankoff, J., Hudson, S. E. and Harrison, C.: Probabilistic Palm Rejection Using Spatiotemporal Touch Features and Iterative Classification, Proceedings of the 32Nd Annual ACM Conference on Human Factors in Computing Systems, CHI '14, New York, NY, USA, ACM, pp. 2009–2012 (2014).
- [12] Siio, I. and Tsujita, H.: Mobile interaction using paper-weight metaphor, Proceedings of the 19th annual ACM symposium on User interface software and technology, UIST '06, New York, NY, USA, ACM, pp. 111–114 (online), DOI: 10.1145/1166253.1166271 (2006).
- [13] Sugiura, A. and Koseki, Y.: A user interface using finger-print recognition: holding commands and data objects on fingers, Proceedings of the 11th annual ACM symposium on User interface software and technology, UIST '98, New York, NY, USA, ACM, pp. 71–79 (1998).
- [14] Suzuki, Y., Misue, K. and Tanaka, J.: Interaction Technique Combining Gripping and Pen Pressures, Proceedings of the 14th International Conference on Knowledge-based and Intelligent Information and Engineering Systems: Part IV, KES'10, Berlin, Heidelberg, Springer-Verlag, pp. 440–448 (2010).
- [15] Tung, Y.-C., Cheng, T. Y., Yu, N.-H., Wang, C. and Chen, M. Y.: FlickBoard: Enabling Trackpad Interaction with Automatic Mode Switching on a Capacitivesensing Keyboard, Proceedings of the 33rd Annual ACM Conference on Human Factors in Computing Systems, CHI '15, New York, NY, USA, ACM, pp. 1847–1850 (online), DOI: 10.1145/2702123.2702582 (2015).
- [16] Y. Suzuki, K. Misue, J. T.: Interface for Digital Notes Using Stylus Motions Made in the Air, Proceedings of the 2nd International Conference on Knowledge, Information and Creativity Support Systems, KICSS2007, JAIST Press, pp. 104–109 (2007).
- [17] 鈴木 優, 三末和男, 田中二郎:指を識別するタッチインタフェース向けインタラクション手法の検討, 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, Vol. 2011, No. 4, pp. 1-6 (2011).
- [18] 村田和義,永友圭一朗,渋谷 雄:携帯端末の動きによるズームとスクロールの並行実行を用いた Web ページ閲覧手法,シンポジウムモバイル研究論文集 / モバイル学会事務局編, Vol. 2010, No. 4, pp. 81-86 (2011).