

カーボンコピーメタファを利用したマルチタッチ入力手法

池松 香^{1,a)} 椎尾 一郎^{1,b)}

概要: スマートフォンやペンタブレットでは手書き文字入力容易であるが、一般的な PC に装備されたトラックパッドでは困難である。これは前者が、入力面座標が画面座標に 1 対 1 対応する絶対座標による入力であるのに対して、後者は、マウスと同様に指の移動量をポインタ移動量に対応させた相対座標による入力であることが理由である。トラックパッドでも、絶対座標による入力を提供すれば、手書きによる文字・図形入力などが容易になると考えられるものの、PC の大きな画面を GUI 操作するためには現行の相対座標入力が有利である。そこで本論文では、トラックパッド入力において相対座標入力と絶対座標入力を直感的に切替える手法として、カーボンコピーメタファに基づくインターフェースを提案する。本方式では、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する。カーボンコピーメタファは、この領域を小さなカーボン紙片とみなして、非利き手でカーボン紙片の移動と固定を切り替えて、利き手で移動と入力をおこなう手法である。

An Intuitive Multi-touch Input Technique Using Carbon Copy Metaphor

IKEMATSU KAORI^{1,a)} SHIO ITIRO^{1,b)}

Abstract: Hand-drawing characters or image by smartphones and tablettes is much easier than drawing by track-pads commonly equipped in PCs and desktop PCs. The reason is that tablettes are absolute coordinates devices while track-pads are relative coordinates devices like conventional mouses. This paper proposes a novel user interface method aims to switch between relative coordinates input and absolute coordinates input seamlessly based on "Carbon Copy Metaphor". The proposed method allows a user to input hand-written characters or images easily by using a track-pad even that the input surface is much smaller than the display.

Keywords: Graphical user interfaces (GUI); multi-touch;

1. はじめに

近年スマートフォン、タブレット PC、ペンタブレット、トラックパッドなど、ペンや指でタッチする入力デバイス（以下タッチサーフェス）による入力方法が一般的になった。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。トラックパッドなど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、入力面が小さくても大きい画面を容易に操作することができる。一方、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絶対座標の入力方法は、入力面上の座標が画面上の座標に 1 対 1 に対応するため、手書きの文字・図形入力や画像編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。

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

¹ お茶の水女子大学
Ochanomizu University, Bunkyo, Tokyo 112-8610, Japan
^{a)} g0920502@gmail.com
^{b)} siiio@acm.org

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フェース手法を提案する。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。

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ー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ーである。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。この動作をもとに、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

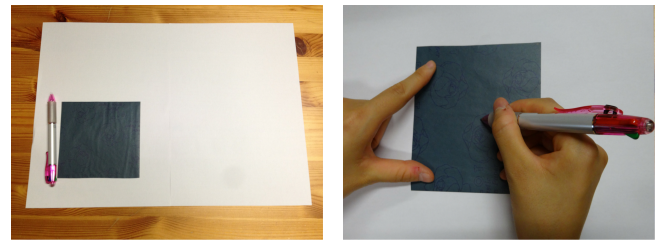


図 1 予備実験に用いたカーボン紙と画用紙 (左)、カーボン紙を用いて複写している様子 (右)

表 1 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)

被験者	カーボン紙の移動	カーボン紙への記入
1	4-5 本 中央部	2 本 非利き手端
2	3-4 本 中央部	2-3 本 非利き手端
3	4-5 本 左・右・下端	2 本 非利き手端
4	3-4 本 非利き手端	2-3 本 非利き手端
5	3 本 非利き手下端	2 本 非利き手端
6	4 本 中央部	2-3 本 非利き手端

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 1 (左) のように、大きな画用紙 (50cm × 40cm) と小さなカーボン紙片 (13cm × 13cm) 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、その様子を観察した。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。

表 1 は、描画しよう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

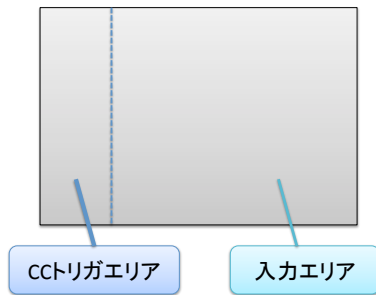


図2 トラックパッドでの入力面分割 (ユーザーが右利きの場合)

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1(右)のように、非利き手でカーボン紙の上下の端を抑えていた。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。

2.2 インターフェース設計

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。図2のように、トラックパッドを2つのエリアに分割し、点線の左側のエリアを、仮想のカーボンコピー紙片を表示させるトリガとなる入力部分にあてた。以下では、左側エリアをトリガエリア、右側を入力エリアと呼ぶ。ユーザーがこのトリガエリアを二点で抑えると、画面上のポインター部分に、絶対座標入力により描画できる矩形領域が現れ、トラックパッドの入力エリアにより絶対座標入力を行える。画面上に現れた矩形の絶対座標入力エリアを以後CC(カーボンコピー)エリアと呼ぶ。このカーボンコピー入力モード中に抑えていた二点を離すと、CCエリアは消失し通常の相対座標入力に切り替わる。

ここで現れる絶対座標入力領域は、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。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。そこで、トリガエリアを1本指でタッチすることでもCCエリアを表示し、このとき入力エリアで位置指定を行うことで、入力領域を移動できるように設計した。予備実験ではカーボン紙を移動させる場合に被験者に共通した動作が観察されなかったため、操作性及び従来の操作との親和性を考慮した設計とした。

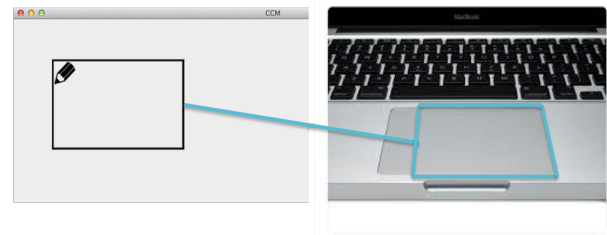


図3 試作アプリケーション動作例。黒枠で示したCCエリアがトラックパッド入力エリアに対応する。

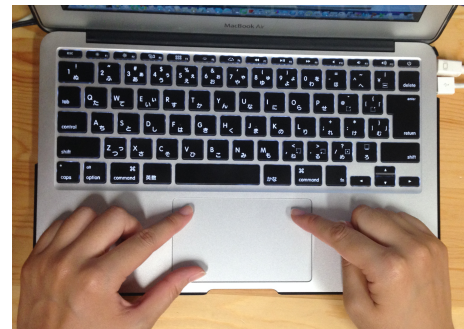


図4 カーボンコピーモードで絶対座標入力している様子

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3(左)は、ユーザーがトリガエリアをタッチすることで、黒枠で示したCC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4のように、トラックパッド上のトリガエリアを2本指で抑えながら、入力エリアを1本指でタッチすることで、CCエリアにペイント入力を行うことができる。トラックパッドの位置座標とアプリケーション内のCC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、別の指で右領域を操作すると、従来の相対座標モードでCCエリアが移動し、CCエリアの場所を変更することができる。

同様の機能を、PCとスマートフォンを連携させた環境でも実装し、手持ちのスマートフォンをトラックパッドの代用として扱い、カーボンコピー入力を行えるアプリを試作した。実装はApple社のiOS6で行い、Mac miniにBluetooth接続し、上記と同じペイントアプリケーションを実行することができる。これにより、タッチサーフェスを備えていないPCでも本方式が利用可能になるだけでなく、スマートフォン上にCCエリアの描画内容を表示することで、より直接的な入力が可能になる。タッチパッド部分に液晶ディスプレイを組み込んだPC^{*1}においても、こ

^{*1} たとえばシャープ社 PC-NJ70B など

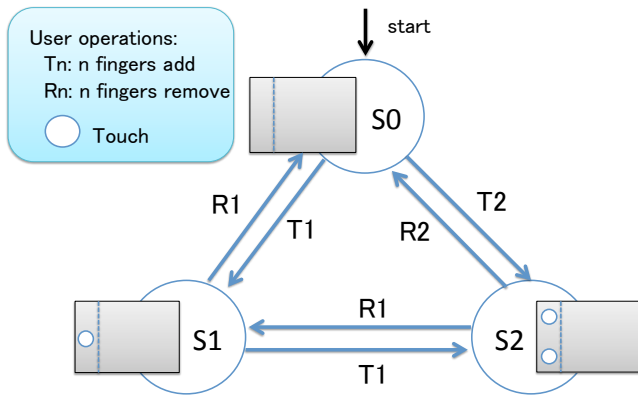


図 5 状態遷移図

のプロトタイプのように、CC エリアへの描画や入力を直感的に行うインタフェースが実現可能である。

3.1 遷移状態

図 5 に本アプリケーションの状態遷移図を示す。遷移状態の数字と併記された図の白丸は、トリガー領域でタッチされている指を表している。すなわち、S0, S1, S2 はそれぞれトリガー領域に 0, 1, 2 本の指がタッチされた状態を示す。状態 S0 から開始する。トリガエリアに触れていない状態 S0 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する。現在の実装ではポインター移動を行うのみであるが、本方式を OS に組み込むことができれば、OS が提供するメニューやボタンなどの GUI 操作やピンチ、スワイプなどのマルチタッチ操作も行うことが可能であろう。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 S2 状態に遷移する。このとき、画面上のポインター位置に CC 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。現在の実装では入力エリアへのタッチで、CC 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。これも OS に組み込むことで、メニューやボタンなどの GUI 部品を絶対座標で操作することが可能になるであろう。また、ユーザが非利き手側の 1 本指でトリガエリアをタッチすると S1 状態に遷移する。このときも、画面上のポインター位置に CC 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をドラッグすることで CC エリアの移動が可能となる。このモードでは、領域の移動のみが可能で、描画や GUI 部品の操作はできない。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 CC 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 2 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. 関連研究

本研究では、タッチサーフェス上で座標モードを切り替えるインタフェースを提供する。そこで、タッチサーフェス上でのモードの切り替えに関する先行研究を紹介する。文鎮メタファ [7] 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、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ーを用いている。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。ThumbSense[5] 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。TouchTools[2] では、現実世界の文具を人が持とうとする際に形成する指の形を使って、タッチパネル上での機能切り替えを提供している。現実世界の道具のメタファーを用いてタッチサーフェス上でのモードの切り替えを行うという点は同じであるが、本研究は、ツールの切り替えではなく入力手法の切り替えに適用している。RodDirect[4] 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。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 [10] [8] や、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 [9] がある。また、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 [3] [6] 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 Touch8² 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指した。また、The fat thumb[1] は、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を実現する。本研究は、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での入力切替を提供している。

5. まとめと今後の課題

本論文では、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、相対座標と絶対座標による入力を直感的に切り替えるための新しいメタファー、カー

*2 <http://mvpen.shop-pro.jp/?pid=52837346>

ボンコピーメタファを提案した。そして、相対座標入力である従来のポインター移動操作をしている時に、トラックパッド上でカーボン紙を抑えるジェスチャをすることで、絶対座標入力に切り替えるマルチタッチインターフェースを提案し、これを実装した。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。提案手法は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。今後は、本方式をより活かせるアプリケーションの開発や表示方法についてさらに検討していきたい。また、実際に多くのユーザーに使用してもらい、評価を行い、実用性について検証したい。

参考文献

- [1] 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).
- [2] Harrison, C., Xiao, R., Schwarz, J. and Hudson, S. E.: TouchTools: Leveraging Familiarity and Skill with Physical Tools to Augment Touch Interaction, *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '14, New York, NY, USA, ACM, pp. 2913–2916 (online), DOI: 10.1145/2556288.2557012 (2014).
- [3] 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).
- [4] Miura, M. and Kunifuji, S.: RodDirect: Two-dimensional 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 (online), DOI: 10.1145/1152215.1152240 (2006).
- [5] 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 (online), DOI: 10.1145/765891.766031 (2003).
- [6] 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 (online), DOI: 10.1145/2556288.2557056 (2014).
- [7] 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).
- [8] Sugiura, A. and Koseki, Y.: A user interface using fingerprint 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 (online), DOI: 10.1145/288392.288575 (1998).
- [9] 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 (online), available from (<http://dl.acm.org/citation.cfm?id=1893971.1894025>) (2010).
- [10] 優 鈴木, 和男三末, 二郎田中: 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).