

## 背面タッチパッドを用いた片手ポインティング

岡田 直之<sup>†</sup> 佐野 渉二<sup>‡</sup> 寺田 努<sup>†</sup> 塚本 昌彦<sup>†</sup>

<sup>†</sup>神戸大学大学院工学研究科 <sup>‡</sup>神戸大学大学院自然科学研究科

近年、携帯電話の高性能化が進み、その用途が広がっている。これに伴い携帯電話に写真編集やウェブブラウジングなどのアプリケーションが搭載され、携帯電話上でもポインティング操作が必要不可欠となりつつある。しかし、携帯電話には表面にボタン型入力装置が設置されており、片手で操作する場合には手で把持しながら範囲指定やドラッグなどのポインティング操作を行うことは困難である。そこで本研究では、デバイスの背面にポインティング装置を設置して利用する背面ポインティングに着目する。本研究では、携帯電話の背面にタッチパッドを装着し、前面でキー操作を行いつつ背面タッチパッドによるポインティングを行う環境を想定する。背面タッチパッドの利用により効率的な入力が実現できるが、予備実験により背面でポインティングを行う場合には操作しにくい方向があり、ポインティングが安定しないという問題があることがわかった。そこで提案方式では、ユーザが行う操作に対して方向別にカーソル移動量を調整する操作量フィルタと操作方向を8方向に強制的に変換するフィルタを提案し、操作性の改善を実現する。評価実験により、提案方式を用いることで背面タッチパッドの操作性が改善されることがわかった。

## One Hand Pointing with Touch Pad on Back Side

Naoyuki OKADA<sup>†</sup>, Shoji SANO<sup>‡</sup>, Tsutomu TERADA<sup>†</sup> and Masahiko TSUKAMOTO<sup>†</sup>

<sup>†</sup>Graduate School of Engineering, Kobe University

<sup>‡</sup>Graduate School of Science and Technology, Kobe University

Recently, portable devices such as mobile phone are used in various purposes because of explosive popularization of mobile phones with high efficiency. Accordingly, various applications such as photo editor and web browser have become to be used on mobile phones. Although these applications need pointing operations for effective use, it is difficult to do pointing operation on mobile phones because users operate the device with their one hand while holding the device by the hand. Therefore, the goal of our study is to construct a pointing operation specialized to a back touch pad. In our using assumption, users input characters with front keys on a mobile phones and operate a pointer with the back touch pad. We achieve the efficient input with the proposed method. However, as the result of pilot study, the proposed using style has a difficult direction of pointing. To resolve this problem, we propose a filter which adjusts distance of cursor according to a direction and that forcibly converts direction of operation into eight directions.

### 1 はじめに

近年、コンピュータの小型化・高性能化に伴い、携帯電話やスマートフォンにおいても高性能、多機能を謳った機種が普及している。このようなハイスペックな携帯電話では、サイズが3インチ以上で解像度も WVGA (800 × 480 ピクセル) 程度の大型で高精細なディスプレイが搭載されており、多くの情報を一度に表示可能である。また、従来から存在する通話機能・メール送受信機能の他に、近年では TV 視聴、カメラ、GPS、電子マネーなど様々な機能が搭載され、携帯電話の用途は広がっている。これらの機能の中でも、PC 準拠のウェブサイトを開覧するためのブラウザや GPS を利用したパーソナルナビゲーション、カメラで撮影した画像の編集な

どの機能ではポインティング操作が重要である。待ち受け画面においても、SoftBank Mobile 931SH[1] のようにショートカットアイコンやウィジェットを自由に配置できるなど、PC のデスクトップ環境のような GUI (Graphical User Interface) を取り入れている機種もあり、携帯電話にポインティングデバイスはなくてはならないものとなりつつある。

しかし、大型のディスプレイを搭載した携帯電話は、ポインティングデバイス部分が本体の端に偏っており、片手で操作する場合に操作性が低いという問題点がある。一部の機種では、タッチスクリーンを搭載し、物理キーをソフトウェアキーに置き換えることで大型ディスプレイと操作性の両立を図っているが、操作時に指がディスプレイを遮る問題や片

手操作時はタッチスクリーンの端部分に指が届きにくいという問題がある。このことから、携帯デバイスのポインティング手法として、携帯デバイス背面にポインティングデバイスを設置することが有効だと考えられる。背面に入力装置を設置することで、ディスプレイに表示された情報を操作する指で遮ることなく、広範囲に正確なポインティング操作が可能である。また、表面や側面のキーと同時にポインティング入力を行うことが可能になるため、複雑な操作が実現できる。

背面タッチパッドを利用する場合、ユーザはデバイスを片手で携帯電話を使用するときのように持ち、持つ手の人差し指でデバイス背面のタッチパッドを操作をする。この際、ポインティングに用いる指以外の部分でデバイスを支える必要があるため指の可動範囲が通常より狭められ、操作性に悪影響を及ぼすことが考えられる。

そこで本論文ではまず、背面操作に適したポインティング装置の評価を行う。続いて携帯デバイスを片手で操作することを想定し、タッチパッドを携帯デバイス背面に設置した装置を用いて操作時における指の可動特性を解析する。この特性を元に、操作性を改善する2つのフィルタリング手法について検討する。

以下、2章では背面入力システム、片手ポインティングシステムについての関連研究について述べる。3章では、予備実験について述べ、この結果から提案するフィルタリング手法についての検討を行う。4章では、使用した背面タッチパッドデバイスのプロトタイプについて述べ、フィルタリングを適用した場合のポインティング評価について述べる。そして、5章では、まとめと今後の課題について述べる。

## 2 関連研究

携帯電話やPDAなどのモバイル機器に搭載するポインティングデバイスについては、小型のジョイスティック [2] やタッチパッド [3] を利用したものをはじめ、スタイラスペンをねじる動きを利用したもの [4] やストラップ型入力デバイスを用いたもの [5] など、多くの研究や特許申請においてさまざまな方式が提案されている。

背面入力を扱った研究としては以下のようなものがある。平岡らによる Behind Touch [6] では、携帯電話型デバイスの背面に12個のキーを設置することで、メニュー操作や文字入力を背面に移し、携帯デバイスのディスプレイ設置面積の拡大を実現しているが、ポインティングについては考慮されていない。廣木らによる Hybrid Touch [7] では、PDA背面にタッチパッドを設置し、表面のタッチスクリーンと背面のタッチパッドを組み合わせて、両面からの複合的な操作を実現している。D. Wigdor らによる LucidTouch [8] では、PDA両面をタッチスクリーン

とし、両面を使った操作を行っている。このとき、背面が見えないという問題点を、デバイス後方を撮影する小型カメラを設置し、背面の指の位置をディスプレイに映し出すことで解決している。岩渕らによる LimpiDual Touch [9] では、半透明のディスプレイで両面タッチスクリーンを使用することで、両面からの入力に対応している。しかし、Hybrid Touch, LucidTouch, LimpiDual Touch は両手で操作するPDAを想定しているため、携帯電話には適さないと考えられる。

一方、片手操作を前提としたポインティングに関する研究も数多く行われている。青木らの研究 [10] では、1軸のロータリーエンコーダを用い、操作軸を切り替えることで2次元のポインティング操作を実現している。峰らの DigiTrack [11] では、指先に受光センサを取り付け、ポインティングなどの操作を行っている。また、塚田らの Ubi-Finger [12] では、人差し指にスイッチとベンドセンサ、加速度センサを組み合わせたデバイスを装着し、実空間オブジェクトの操作や、ポインティングなどを実現している。これらについては、片手で精度の高い操作が実現されているが、手や指に専用の外部デバイスを装着する必要があるため、携帯電話のように単独で用いるデバイスには適していない。

## 3 背面タッチパッドによるポインティング

PCで一般的に普及しているポインティングデバイスで、携帯デバイス用に転用可能なものとしてトラックボール、ジョイスティック、タッチパッドが挙げられる。ジョイスティックは、スティック部分を操作したい方向に倒すことでカーソル移動を行うポインティングデバイスである。小型のものは指先で操作でき、携帯デバイスに適しているが、精密な操作や複雑な操作が困難という問題点がある。トラックボールは、手でボールを回転させることでカーソル操作を行うポインティングデバイスである。指先の少ない動きで操作でき、精密な操作から広域な操作まで幅広く得意としているが、ボールを小さくするほど操作性が低下する傾向にあり、ある程度の大きさのボールを内蔵する必要がある。このため、携帯電話のようなデバイスには適していない。タッチパッドは板状のセンサをなぞることでポインティングを行い、精密な操作や複雑な操作が可能で操作性が高い。ある程度の設置面積が必要であるが、携帯電話の背面へ設置する場合はあまり問題とならない。これらのことから、携帯デバイスの背面ポインティング手法として、タッチパッドが有効だと考えられる。

### 3.1 タッチパッド

タッチパッドはセンシング方式やポインティング方式にいくつかの種類があるが [13], 板状のセンサを指やスタイラスペンで触れたりなぞったりすることでポインティング操作を行うポインティングデバイスであり, 下記の特徴をもつ.

- ある程度の設置面積が必要であるが, 板状やフィルム状で機械的な可動構造がないため, デバイス外装やディスプレイ上に一体化するなど, 省スペースでの設置が可能.
- カーソルの動き方がなぞる指の動きに近く, 直観的な操作が可能.
- 触れる部分や, 触れた時間によりスクロールやタップによるクリック・ダブルクリックなど, タッチパッド単独でさまざまな操作が共存できる.
- 多数のノート PC において採用されており, マウスと並んでユーザに身近なポインティングデバイスである.

### 3.2 背面入力

従来の携帯デバイスでは, 片手操作時にキーの同時押しが困難であるため, ポインティングやキー押下の操作を断続的に行わなければならないが, 背面にポインティングデバイスを搭載することで, これらの操作を別の指に割り当てることができ, ドラッグや範囲指定など, より柔軟な操作が可能となる. また, ポインティングデバイスを背面に設置することで, デバイス表面の物理キーの数を減らすことができる.

### 3.3 予備実験

#### ポインティング速度評価

背面タッチパッドの基本性能を明らかにするために, ランダムで出現するターゲットをクリックするまでにかかる時間を計測する実験を行った. 実験は, 背面タッチパッドの他に, 光学式マウス, 通常使用のタッチパッドを用い, 図 1 に示すように, PC ディスプレイ上の  $800 \times 800$  ピクセルの領域内に配置された  $50 \times 50$  ピクセルのターゲットをクリックしていく. 実験の様子を図 2 に示す. 実験用アプリケーションではユーザがターゲットをクリックすると, 範囲内のランダムな場所に新たなターゲットが配置される. このとき, ユーザごとにターゲットを 30 回クリックさせ, 1 回のクリック操作にかかる平均所要時間を計測した. なお, どのポインティングデバイスも右手のみで操作し, 背面タッチパッド, タッチパッドでのクリックはどちらもタップで行った. 被験者には実験開始前に操作の説明をし, 30 秒程度操作の確認をしてもらった. また, 背面タッチ

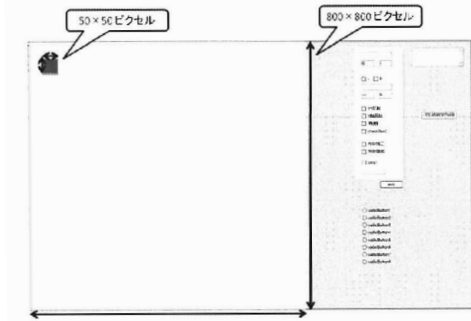


図 1: ポインティング評価特性実験プログラム

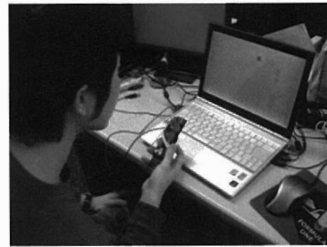


図 2: 実験風景

パッドについては, 5 人の被験者に同様の実験を 5 日間に分けて 5 回行ってもらい習熟度を調査した.

図 3 にマウス, タッチパッドと背面タッチパッドそれぞれの平均ポインティング時間を, 図 4 に背面タッチパッドでのポインティング速度の習熟度による変化を示す.

図 3 より, マウス, タッチパッドに比べ背面タッチパッドは, ポインティング速度が遅いことがわかる. 習熟度についても平均時間が 2200ms 前後に収束しており, 背面タッチパッドは通常のタッチパッドに比べて 1.2~1.3 倍のポインティング時間がかかっていることがわかる.

#### 方向別ポインティング特性評価

ポインティング速度の評価結果および, 背面タッチパッドを使用したユーザの感想から, 操作しやすい方向, しにくい方向があることがわかった. そこで, 方向別操作特性の解析のため, 以下のような実験を行った. 実験用ソフトウェアは図 1 に示す様に PC のディスプレイ上に, 中心に 1 つとその円周上に 8 つのターゲットを配置する. 円周上のターゲットには上から時計回りに 1, 2, 3, ..., 8 とラベリングする. ターゲットのサイズは  $50 \times 50$  ピクセル, 中心から周囲の各アイコンの中心点までの距離は 300 ピクセルとし, 以下の手順で実験を行った.



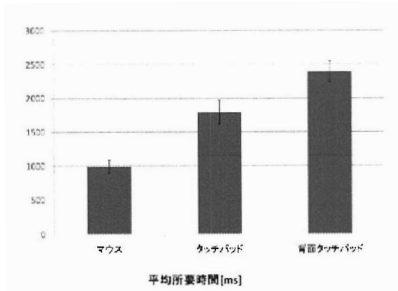


図 3: ポインティング時間

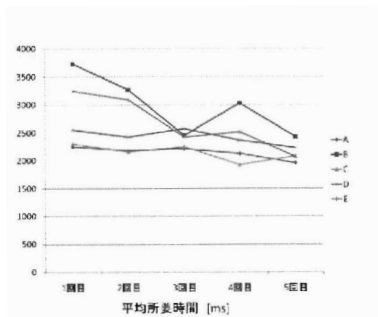


図 4: ポインティング時間の習熟曲線

- 1. 中心のアイコンをクリック
- 2. 周囲の 8 つのアイコンの内、ランダムで 1 つに印がつく
- 3. 印で示されたアイコンをクリック

この操作を各方向に対し 10 回ずつ、計 80 回繰り返す。その時、操作 1 から操作 3 までの時間、カーソルの軌跡、操作した回数として指をタッチパッドに触れ直した回数を記録した。操作デバイスとしては、ポインティング時間の評価と同様にマウス、タッチパッド、背面タッチパッドを用いる。この実験についてもすべて右手で行い、タッチパッドにおけるクリックはタップ操作で行った。被験者は 7 名であった。これらのデータから方向別のポインティング特性を解析する。

図 6 に方向別ポインティング平均時間と平均操作回数、図 7 にそれぞれのデバイスにおける操作軌跡を示す。

図 6 から、1, 8, 7, 6 の方向への操作時間、操作回数が大きく、2, 3, 4, 5 の方向へは値が小さい傾向にあることがわかる。特に、1, 8 の方向は値が大きく、2 の方向は値が小さい。この原因として、操作時における指の動きが関連していると考え

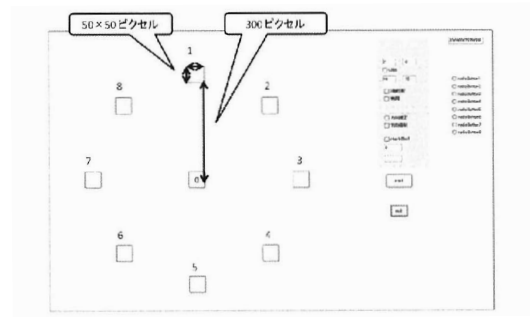


図 5: 方向別操作特性評価プログラム

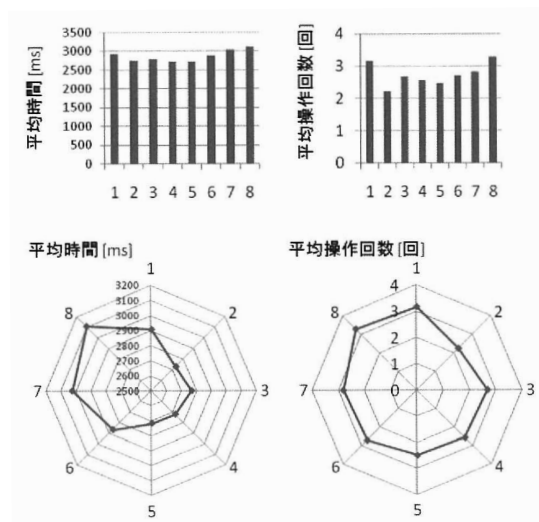


図 6: 方向別ポインティング特性

られる。図 8 のように、背面に設置したタッチパッドを右手で操作した場合に、タッチパッドと操作する人差し指はやや角度が付いている。この場合、1, 8 の方向へカーソルを操作する場合、指を伸ばしながらタッチパッドをなぞる。一方、2 の方向への操作は指を左右に振るような動きでなぞる。このことから、指を伸ばす方向へは操作性が低く、指を左右に振る方向へは操作性が高いため操作時間や操作回数に差が出たといえる。また、図 7 の操作軌跡から、マウスや通常通りに使用したタッチパッドでは、目的地点まで直線的に移動しているのに対し、背面タッチパッドでは経路がまばらで安定していないことがわかる。

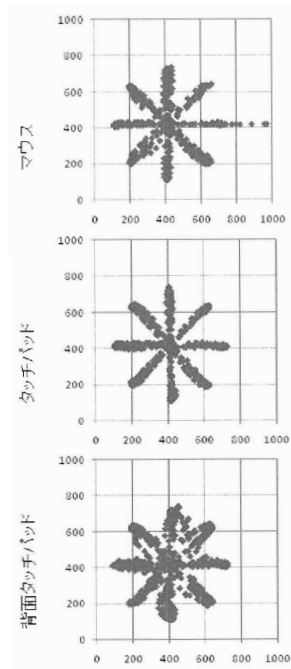


図 7: 各方式におけるポインティング軌跡

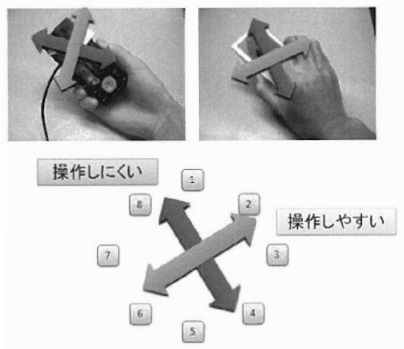


図 8: 指の動きと操作特性

このように、片手・裏面操作という限定的な状況と、指の構造的な問題が操作性に影響を及ぼすことがわかった。この影響を利用して操作性を向上させるフィルタを利用することでポインティング性能が高まるといえる。

### 3.4 フィルタリング手法

前節で述べた予備実験の結果から、背面タッチパッドでのポインティングでは操作する方向によって操作性が異なることがわかった。そこで、背面

表 1: 操作倍率

方向	1	2	3	4	5	6	7	8
倍率	1.4	1.0	1.2	1.2	1.1	1.2	1.3	1.5

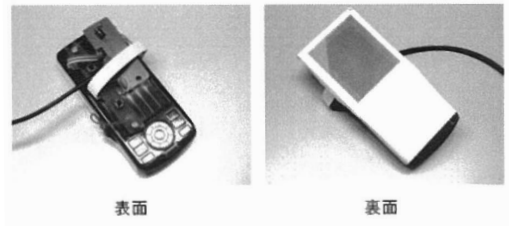


図 9: 背面タッチパッドの外観

タッチパッド上での操作量をカーソル移動に反映させる部分に以下のようなフィルタを適用することで操作性の改善を目指す。操作方向により操作性が異なることから、フィルタには操作方向に依存するものを用いた。操作量から操作方向を求め、その方向に適した補正をかける。

#### 操作倍率フィルタ

方向別操作回数の結果より、操作方向によって目的地点までの操作回数に差異があることがわかった。このことから1回の操作あたりのカーソル移動量が求められるので、これをもとに操作方向ごとに操作量の倍率を表1のように設定し、操作回数の低減とポインティング速度の高速化を図る。最も操作性が良かった2の方向を基準とし、他の方向に補正を加えている。

#### 方向強制フィルタ

カーソルの軌跡より、背面タッチパッドによるポインティングは直線的に動かそうとした場合も方向によっては目的地点まで迂回するような経路を取っていることがわかる。そこで、操作方向を強制的に8方向に限定することで、操作方向を安定させ、直線的なカーソル操作を実現する。このフィルタにより、目的地点まで最短経路を取りやすくなり、ポインティング速度の高速化を図る。

## 4 実装と評価

### 4.1 プロトタイプの実装

図9に示すように背面タッチパッドのプロトタイプを実装した。提案手法は携帯電話での背面タッチパッド利用を想定しており、本体部分にはスライドタイプの携帯電話 (NTT docomo D901i 展示用モックアップ) を用いた。本体背面上部の外装部分に、タッチパッドを取り付けてあり、タッチ領域は

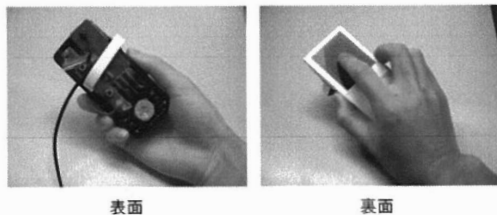


図 10: 背面タッチパッドを把持している様子

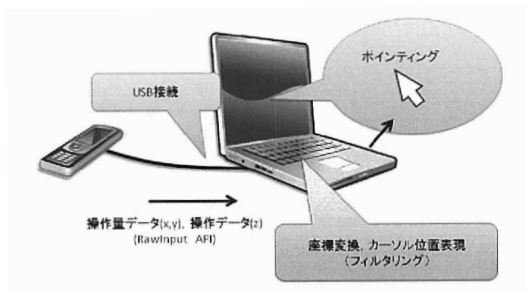


図 11: システム構成

縦 40mm × 横 48mm である。タッチパネルの端から 5mm の領域は、デバイス固定する指が接触して誤作動を起こすことがないように、表面を絶縁し、無効化してある。タッチパッドにはダイヤテック株式会社の FILCO ポータブルタッチパッド スマートトラックライト ATP-400UB [14] を分解したタッチパッド部分のみを取り出したものを使用した。

デバイスは図 10 のように片手で持つ。中指、薬指、小指と手のひらでデバイスを把持し、人差し指で背面のタッチパッドを操作する。デバイス表面を手前に向け、タッチパッド部分が背面になるようにし、デバイスをホールドしていない人差し指で背面のタッチパッド部分をなぞることでポインティングを行うスタイルを基本の入手法とする。

システムの構成を図 11 に示す。背面タッチパッドデバイスは PC に USB デバイスとして認識されており、タッチパッドに何らかの入力を行うと、操作量のデータが PC へ送られる。OS によるカーソル操作は MouseHook を用いて無効化しておき、受信プログラムにより、デバイスからのデータをディスプレイ上に反映する。タッチパッドからの操作量データの受け取りには、HID (Human Interface Device) からの生データを扱う API である RawInput API を利用する。ソフトウェアの実装は Windows XP Professional SP3 上で Visual C # 2008 を用いて

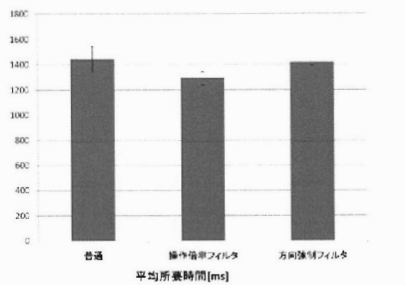


図 12: ポインティング性能評価実験結果

行った。

## 4.2 フィルタの評価

上記のプロトタイプデバイスを用いて、3.4 節で述べた 2 種類のフィルタの効果を検証する。フィルタを使用しない場合、操作倍率フィルタを使用した場合、方向強制フィルタを使用した場合の 3 パターンについて、3.3 節と同様の実験を行った。被験者は 5 人の男子大学生 (22 歳 ~ 25 歳) である。ポインティング性能が改善されたかどうかを検討する。

図 12 にランダムターゲットに対するポインティング性能評価についての実験結果を示す。図より、方向強制フィルタより、操作倍率フィルタの方が性能向上の幅が大きいことがわかる。操作量を調整することで、一回の操作あたりの移動距離が伸び、目的地点への到着時間が平均 11 % 短縮されているが、方向強制フィルタにより操作方向を 8 方向に強制することでは、ポインティング時間に改善は見られなかった。

図 13, 14 に方向別のポインティング時間および操作回数の評価結果を示す。図より、操作倍率フィルタは性能向上に寄与しているが、方向強制フィルタが平均操作時間および平均操作回数に及ぼす効果は小さい。結果より、操作倍率フィルタを用いることでどの方向に対してもほぼ同じ時間でポインティングが行えており、安定したポインティングが実現できていることがわかる。また、図 15 に示すポインティング軌跡を見ると、方向強制フィルタでは、中心のスタート地点付近での経路が直線的になっており、操作の安定化に関して一定の効果は見られたが、目的地点に近づくにしたがって、最短経路上から外れてしまうことがポインティング性能が向上しない理由であると考えられる。

これらの評価結果により、操作倍率フィルタでは、操作しにくい指を伸ばす方向へのアシストが効果的であることが確認できた。また、方向強制フィルタでは、目的地点までの経路が最短距離を取りやすくなっており、ポインティングの安定性の向上に一定

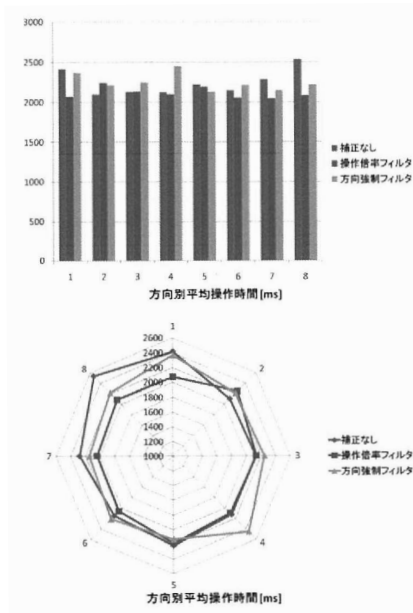


図 13: 方向別ターゲットにおけるフィルタの効果 (ポインティング時間)

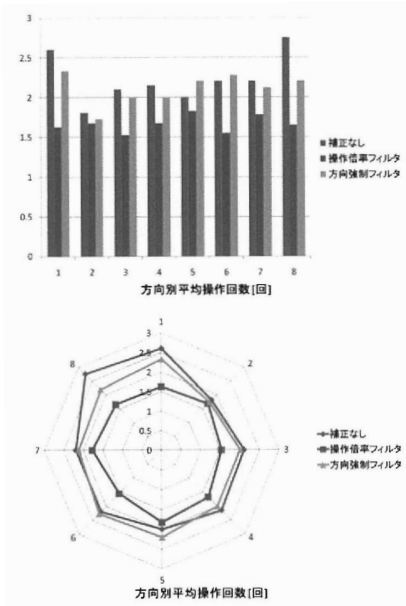


図 14: 方向別ターゲットにおけるフィルタの効果 (操作回数)

の効果が見られたが、ランダムに現れる目的地点への移動ではあまり効果が見られなかった。

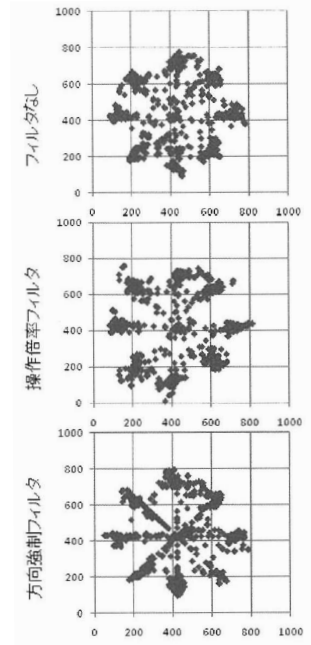


図 15: フィルタ適用時のポインティング軌跡

## 5 まとめと今後の課題

本研究では、携帯電話などの小型モバイル機器において、片手で効率的にポインティング操作を行う方式として背面ポインティングに着目し、背面ポインティングの操作特性解析および背面タッチパッドの操作性を改善するフィルタリング手法の提案を行った。

評価実験の結果から、フィルタリングには一定の効果が見られたが、提案手法を実際に用いる際には手の状態や利用フォームに即した可変フィルタリングを用いるなど、より汎用的なフィルタリング方式やパラメータ調整方式を提案する必要がある。また、現状では背面タッチパッドで実現する操作をポインティングとタップによるクリックのみに限定しているが、デバイス表面や側面の物理キーとの複合的な入力や、ジェスチャ入力などの機能についても効率化の検討を行う予定である。

**謝辞** 本研究の一部は、文部科学省科学研究費補助金基盤研究 (A) (20240009) の支援によるものである。ここに記して謝意を表す。



## 参考文献

- [1] Softbank Mobile 931SH, <http://mb.softbank.jp/mb/product/3G/931sh/>
- [2] 河内谷清久仁, 石川 浩: 携帯情報ブラウジングのための入力デバイス「NaviPoint」, 情報処理学会論文誌 Vol. 39, No. 5(19980515) pp. 1431-1439, 1998.
- [3] 日本電気株式会社, 公開特許公報 (A) , 特開 2005-258653, 2005.
- [4] 三浦元喜, 國藤 進: スタイラスを利用した小型携帯端末向け入力インタフェース RodDirect の評価, 情報処理学会研究報告, ヒューマンインタフェース研究会報告, Vol. 2005, No. 71(20050721) pp. 17-24, 2005.
- [5] 京セラ株式会社, 公開特許公報 (A) , 特開 2008-211523, 2008.
- [6] 平岡茂夫, 宮本一伸, 富松 潔: Behind Touch: 携帯電話のための背面・触覚操作インタフェースによる文字入力, 情報処理学会論文誌, Vol. 44, No. 11, pp. 2520-2527, 2003.
- [7] 廣木桂一, 矢谷浩司, 杉本雅則: Hybrid Touch: モバイルデバイスの表裏両面からの操作を連携させることによる直感的な入力手法, 情報処理学会インタラクシオン 2003, pp. 61-62, 2003.
- [8] D. Wigdor, C. Forlines, P. Baoudisch, J. Barnwell, and C. Shen: LucidTouch: A See-Through Mobile Device, *Proc. of UIST 2007* , pp. 267-278, 2007.
- [9] 岩淵正樹, 寛 康明, 苗村 健: 両面タッチ入力可能な透明インタラクティブディスプレイの基礎検討, 情報処理学会インタラクシオン 2008, pp. 171-172, 2008.
- [10] 青木泰人: ロータリーエンコーダを用いたポインティングデバイスに関する研究, 神戸大学工学部電気電子工学科卒業論文, 2005.
- [11] 峰 健三, 大淵竜太郎: 携帯情報機器のための入力デバイス DigiTrack, ソフトウェア科学会第9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 2001), pp. 125-130, 2001.
- [12] 塚田浩二, 安村通晃: Ubi-Finger: モバイル指向ジェスチャ入力デバイスの研究, 情報処理学会論文誌, Vol. 42, No. 12, pp. 3675-3684, 2002.
- [13] 阿部直哉: タッチパッド入力の可能性, 情報処理学会研究報告, ヒューマンインタフェース研究会報告, Vol. 2002, No. 76, pp. 9-14, 2002.
- [14] ダイヤテック株式会社, FILCO ポータブルタッチパッド スマートトラックライト ATP-400UB, [http://www.diatec.co.jp/products/det.php?prod\\_c=547](http://www.diatec.co.jp/products/det.php?prod_c=547)