

原著論文

モバイル機器における片手操作時の選択可能範囲外にあるオブジェクトの引き寄せ手法

村田 和義, 永田 和信, 渋谷 雄
京都工芸繊維大学

A method for selecting unreachable objects on one-hand operated mobile device with drawing them close to user's thumb

Kazuyoshi MURATA, Kazunobu NAGATA, Yu SHIBUYA
Kyoto Institute of Technology

Abstract: This paper focuses on the one-hand operated mobile devices with touch panel display. Some users use such device with their both hands, i.e., their one hand is used to hold the device and another hand's finger is used to operate the device. However, in our daily life, it is often happens that we can use only one hand for operation. For example, if a user stands in the train, he/she uses his/her one hand to hang on to the strap. As another example, if a user has a bag with his/her one hand, he/she can use another hand only to operate the mobile device. When the user must use the mobile device with his/her one hand, it might be difficult or hard to touch the everywhere on the display. This paper proposed a new method to touch the everywhere on the display with one hand. With the method, user can pull the objects in far area to near area on the display with simple gesture and he/she can touch the desired object easily. From the experimental evaluation, it is found that the proposed method is effective to touch the objects in far area on the display. On the other hand, it is not so efficient because of the increase the number of operation to touch the desired object. However, from the subjective evaluation, it is found that the proposed method gives a good impression to the user.

Keywords: mobile device, one-hand operation

キーワード: モバイル機器, 片手操作

1. はじめに

近年, スマートフォンなどの, タッチスクリーン搭載モバイル機器の普及に伴い, 車内や電車内, 歩行中などの様々な場面でタッチスクリーン搭載モバイル機器を使用する機会が多くなっている。

タッチスクリーン搭載モバイル機器は物理ボタンなどの機械的入力インタフェースを減らすことによって表示領域を拡大している。これにより, 数字キーなどの多数の物理ボタンを用いて操作するモバイル機器に比べて, 一度により多くの情報を画面に表示することが可能となり, 効率的な閲覧を可能としている。さらに, 画面内に表示されているオブジェクトに直接触れて操作することが可能となり, 操作が自然で操作方法の学習が容易になると考えられる。

しかしその一方で, 電車内でつり革につかまっただけで揺れが生じたときなど, モバイル機器を落とさないように, 片手の指

と掌でモバイル機器を挟んでしっかり持ったまま手のポジションを変えずに片手で操作したい場合がある。このような場合, 指の動きが大きく制限され, 広い範囲に指が届きにくい, もしくは届かない領域(以下, 選択困難領域と呼ぶ)ができる。この領域に操作したいオブジェクトがある場合, 操作しにくい, あるいは操作することができないという問題が生じる。

そこで本研究では, タッチスクリーン搭載モバイル機器を片手のみで機器を落とさないようにしっかりと持った状況での使用を想定し, 選択困難領域に配置されたオブジェクトを指が届きやすい領域に引き寄せることで, そのオブジェクトの操作を容易にする手法を提案する。

2. 関連研究

Bezerianosら[1]の提案するThe Vacuumは, 大型ディスプレイを対象としており, ディスプレイ上のなにも表示されていないところで, マウスによるドラッグ操作を行うことで, ドラッグの始点を中心としてドラッグした方向にあるアイコンを縮小して引き寄せることで選択する手法である。この手法はオブジェクトの位置関係を維持し, 複数のターゲットがある場合にも使えるが, 引き寄せる際にアイコンが縮小されるため, ターゲットも小さく

2012年1月31日受理. 2012年3月16日シンポジウム「モバイル'12」にて発表

なり選択しにくくなる。

Karlson ら[2]の提案する ThumbSpace はタッチスクリーン搭載モバイル機器を対象としており、ユーザがあらかじめ画面上に設定しておいた矩形範囲を、モバイル機器の画面全体と対応した絶対座標の疑似タッチパッドとする。この疑似タッチパッドを指で操作することによって、指が届かない領域にあるオブジェクトを選択することが可能となる手法である。この手法は、タッチパッド上で操作を行うため、どこを選択しているのかわかりにくく、タッチスクリーンのオブジェクトに直接接触れることで操作するという利点がなくなっている。

Kurtenbach ら[3]の提案する Marking menus はタッチスクリーン上で 8 方向への直線を描くジェスチャを行うことによってメニュー選択を行う手法である。この手法は効率的なメニュー選択が可能だがタッチスクリーン搭載モバイル機器で使用する場合、スクロールなどの他のジェスチャと共存できない。

Roth ら[4]の提案する Bezel Swipe は最初にタッチスクリーンの外側のフレーム部分をタッチし、タッチスクリーン端の一部を通して画面内までスワイプとよばれる指を滑らせる操作を行うことで選択モードに切替を行う手法である。通常の操作ではタッチスクリーン端をタッチすることはないが、タッチスクリーンの外側から内側へのスワイプ時にタッチスクリーンの端にタッチすることになる。これを利用して Bezel Swipe の認識を行っている。Bezel Swipe によって選択困難領域のオブジェクトが選択できるようになるわけではない。しかし、この手法は、通常の操作でタッチすることがない領域を使用しているため、タッチスクリーン搭載モバイル機器における他のジェスチャと共存することが可能である。そこでこの Bezel Swipe を提案手法のモード切替に用いることにする。

3. 提案手法

本研究では、タッチスクリーン搭載モバイル機器を片手のみで、なおかつ揺れなどで機器を落とさないようにしっかりと持った状況での操作を想定し、選択困難領域にあるオブジェクトを、指が届きやすい領域に引き寄せることで、オブジェクトの選択を容易にする手法を提案する。

提案手法には通常モードと引き寄せモードの 2 種類がある。普段は通常モードによって従来と同様の操作を行う。選択困難領域にあるオブジェクトを選択したい場合には、Bezel swipe を行うことで引き寄せモードに切替を行う。引き寄せモードでは、選択困難領域にあるオブジェクトを指が届きやすい領域に引き寄せる。ユーザは引き寄せられてきたオブジェクトからターゲットを探し、選択を行う。以下に、通常モードと引き寄せモードの詳細について述べる。

3.1 通常モード

通常モードの画面例を図 1 に示す。タッチスクリーンの両端に Bezel Swipe のフィードバック用の細いバーが表示されてい

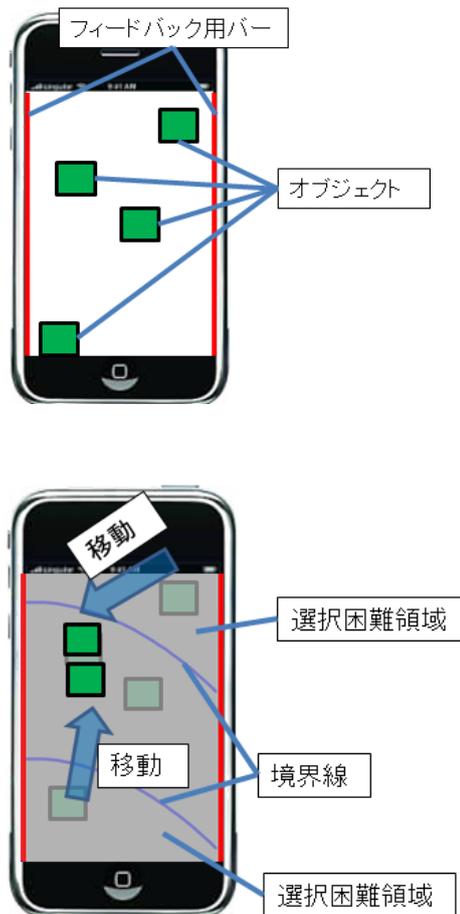
る。フィードバック用バーの色は目立つように赤色とした。

通常モード時の操作方法は、タッチスクリーン搭載モバイル機器の従来操作と同じである。2 章で述べたように、引き寄せモードへの切替に用いる Bezel Swipe はタッチスクリーン搭載モバイル機器の従来操作と共存できる。そのため、ユーザは通常モードにおいて従来と全く同じ操作で機器を扱うことが可能である。

3.2 引き寄せモード

Bezel Swipe が認識されると引き寄せモードに切り替わる。その際、タッチスクリーン端にあるフィードバック用バーの上をユーザの指が通過すると、バーの色が赤色から青色に変化する。タッチスクリーンから指を離して Bezel Swipe を終了すると、フィードバック用バーの色は青色から元の赤色に戻る。

左手にタッチスクリーン搭載モバイル機器を持ち、タッチスクリーンの左側から親指で Bezel Swipe をした場合の、引き寄せモードの画面を図 2 に示す。図に示した境界線はシステムが判断した選択困難領域とそれ以外の領域の境界線を示している。引き寄せモードでは選択困難領域にある全てのオブジェクトが Bezel Swipe を行った指付近の指が届きやすい領域に移動する。オブジェクトが移動する際には、どのオブジェクトがどこに移動したのかをユーザに知らせるために、アニメーシ



ョンを用いて移動させる。また、移動したオブジェクトの元の位置がわかるように、移動したオブジェクトのダミーを元の位置に設置する。さらに、引き寄せたオブジェクトと Bezel Swipe のフィードバック用バー以外の色を全て本来の色から灰色がかった色に変更する。

またこの時、引き寄せたオブジェクトと Bezel Swipe 以外の操作を不可能にする。これは、最初から指の届きやすい領域に存在するオブジェクトと引き寄せたオブジェクトが重なりオブジェクトを選択できなくなることや、オブジェクトが密接することにより誤ったオブジェクトを選択することを防ぐためである。

選択困難領域は Bezel Swipe 時に通過するタッチスクリーン端の縦軸方向の座標からシステムが自動的に判断する。そのため、引き寄せたいオブジェクトが選択困難領域ではない領域に存在していると判断されてしまう可能性がある。その場合は、Bezel Swipe を行う縦方向の位置を変更して再度実行することによって、選択困難領域を再設定することができる。

引き寄せモードの終了は、引き寄せたオブジェクト以外の領域を始点としてタッチスクリーンの内側から外側に向かう、Bezel Swipe とは逆方向のスワイプをすることで行う。これは引き寄せモード切替時のジェスチャと逆向きのジェスチャを用いることでユーザが覚えやすい操作にするためである。

ただし、引き寄せモード時に、1 回のタップやスワイプで操作が終了する場合は、操作終了と同時に引き寄せモードが終了し、通常モードに戻るようにした。これは選択困難領域にあるオブジェクトを連続して操作する可能性は低いと考えたためである。またチェックボックスなど複数回の操作が必要と考えられるオブジェクトを操作する場合、システムが操作終了を認識することが困難であると考えられるため、引き寄せモードを自動的に終了しないようにした。

4. 評価実験

4.1 実験目的

本実験の目的は、提案手法により、選択困難領域にあるオブジェクトをどの程度効率的に選択できるかについて、従来手法との比較評価を行うことである。

ただし、提案手法が想定している状況で従来手法を用いると、指の届かないオブジェクトが存在する可能性が高く、タスクを達成することができないと考えられる。そのため、従来手法を用いる場合は手のポジションを変更可能とした。

4.2 実験用アプリケーション

提案手法は、Apple 社の iPhone 4 (32GB) 上に実装した。また、プログラム開発には Apple 社の Xcode 上で Objective-C を使用した。なお、iPhone 4 の画面解像度は、640×960 [pix] であるが、アプリケーションで利用可能な画面はステータスバーを除いた 640×920 [pix] である。

提案手法の実験用アプリケーションのメイン画面を図 3 に示

す。実験で使用されるオブジェクトにはタッチスクリーン搭載モバイル機器で最も使用頻度が高いと考えられるボタンを用いた。ボタンのサイズは 120×120 [pix] で、5 行 4 列の計 20 個のボタンを設置している。タスク用に各ボタンには 1 から 20 までの番号を表示している。Bezel Swipe の認識領域とフィードバック用バーは左右のスクリーン端から 24 [pix] の幅とした。

従来手法での実験時には、これらのフィードバック用バーを表示せず、Bezel Swipe も認識しないようにした。

実験前に、被験者とは異なる 3 人にタッチスクリーン搭載モバイル機器を片手かつ、しっかり持った状態で、Bezel Swipe を行ってから画面をタッチさせた。Bezel Swipe で通ったタッチスクリーン端の座標を基準とした指がとどきやすいと感じる領域を調べて、3 人とも指が届きやすいと感じた領域の上端と下端に選択困難領域の境界線を設定するようにした。

4.3 タスク

被験者には片手操作かつ手のポジション変更可能での従来手法と、片手操作かつ手のポジション変更不可での提案手法の両方で、オブジェクト選択のタスクを行わせた。被験者に行わせた具体的なタスク手順を以下に示す

- ① 1 つの番号と「StartButton」が表示されたタッチスクリーン搭載モバイル機器を被験者に渡す
 - ② 画面に表示された 1 つの番号をよく確認させてから「StartButton」を押させる
 - ③ 画面が図 3 のメイン画面に遷移する
 - ④ 1～20 の番号が表示されているボタンの中から、確認した番号と同じ番号のボタンを押させる
 - ⑤ 画面が、番号と「StartButton」の画面に遷移する
 - ⑥ 続けて再度、手順②～⑤を行わせる
 - ⑦ 手順②～⑤を 25 回行わせた後、タスクを終了させる
- 操作は全て片手のみで行い、タスク中やタスク毎に持ち手を変更することを禁止した。

最初のターゲットを視覚探索する時間を短縮するためにメイン画面におけるボタンの並びを固定した。そのことは被験者にあらかじめ通知した。ただし、被験者が次に指定されるターゲット番号を予測できないように、ターゲットが指定される順番に規則性はなく、タスク毎に異なるようにした。



4.4 評価項目

本実験における評価項目はタスク達成時間、ならびに主観評価である。タスク達成時間は、1 タスク中の「StartButton」を押してから指定されたターゲットのボタンを押すまでの時間の合計とした。

主観評価は従来手法と提案手法それぞれについて紙のアンケートに答えさせることで行った。アンケート内容はそれぞれの手法について、操作性、学習容易性、およびボタンを押すことが困難だった頻度を5段階で評価させた。さらに、従来手法については「モバイル機器を持つ手のポジションを変えるときに機器を落としそうなどの不安感があったか」を、提案手法については「モバイル機器を持つ手のポジションを変えないことに安心感があったか」を回答させた。操作性と学習容易性の5段階評価は1が最も悪く、5が最も良いとし、ボタンを押すことが困難だった頻度の5段階評価は1が少なく、5が多いとした。各質問には意見があれば書き込めるように自由記述欄を用意した。

4.5 実験方法

大学生および大学院生の計8人(全員男性)を被験者として実験を行った。

両方の手法において室内で座ってタスクを行なった。提案手法の想定している、電車内などの揺れのある状況で実験を行うことも考えられたが、揺れのため実験用モバイル機器を落として破損する可能性があったため、今回の実験は室内で行うこととした。

被験者に行なわせた具体的な実験手順を以下に示す。

- ① 事前アンケートに答えさせる
- ② タスク手順と1つ目の手法の説明をする
- ③ 1つ目の手法を用いた練習用タスクを被験者が十分練習したと感ずるまで行わせる
- ④ 1つ目の手法を用いたタスクを4回行わせる
- ⑤ 1つ目の手法についてのアンケートを書かせる
- ⑥ 2つ目の手法についても②～⑤を行わせる

被験者には事前に日常的にタッチスクリーン搭載モバイル機器を使用しているかについて回答させた。その結果、8人中6人が日常的にタッチスクリーン搭載モバイル機器を使用していた。残りの2人についてもタッチスクリーン搭載モバイル機器の操作経験があり、操作方法を知っていた。また、片手でモバイル機器を操作する際に使用する手は左右の手のどちらかについて回答させた。その結果、右手と答えた被験者が5人、左手と答えた被験者が3人であった。実験ではここで回答した方の手でタッチスクリーン搭載モバイル機器を操作させた。

実験する手法の順番は、順序効果を相殺するため、半分の被験者は最初に従来手法を行ない、その後、提案手法を行なった。残りの被験者は最初に提案手法を行い、その後、従来手法を行った。

各被験者はそれぞれの手法につき4タスク、合計8タスクの実験を行った。

4.6 実験結果

選択が困難なボタンがなく、提案手法において1回も提案手法を用いることがなかった被験者が1人存在した。そこで、その被験者のタスク達成時間は実験結果に含めないこととした。また、別の2人の被験者において、実験のミスによりタスク達成時間が正確に取得できなかったタスクが2つ存在した。そこでそのタスクと対応するタスクの計4タスクも実験結果に含めなかった。対応するタスクとは同じ被験者において各手法における4回のタスク中で同じ回に行なったタスクのことである。例えば、1人の被験者が従来手法で3回目に行なったタスクと対応するタスクは、同じ被験者が提案手法で3回目に行なったタスクとなる。

タスク達成時間の実験結果を図4に示す。提案手法におけるタスク達成時間の平均値は35.5[s]であり、従来手法におけるタスク達成時間の平均値は26.0[s]であった。対応のあるt検定を行った結果、有意差が確認された($t(25)=4.36, p<.05$)。

操作性と学習容易性の主観評価を図5に示す。提案手法における操作性の平均値は3.75であり、従来手法における操作性の平均値である4.25より評価が低かった。しかし、対応のあるt検定を行った結果、有意差は確認されなかった($t(7)=1.18, n.s.$)。また、提案手法における学習容易性の平均値は4.25であった。ただし、従来手法において被験者すべてが操作方法を学習済みだったため、比較はできなかった。

ボタンを押すことが困難だった頻度の主観評価を図6に示す。提案手法における評価の平均値は1.88であり、従来手法における評価の平均値である2.38より低かった。しかし、対応のあるt検定を行った結果、有意差は確認されなかった($t(7)=1.89, n.s.$)。

従来手法において手のポジションを変えることに不安感があった被験者は4人で、不安感がなかった被験者も4人だった。それに対して、提案手法において手のポジションを変えないことに安心感があった被験者は7人で、安心感がなかった被験者は1人だった。

5. 考察

5.1 タスク達成時間

提案手法のタスク達成時間は従来手法のタスク達成時間より有意に遅かった。この要因として、ビデオ分析の結果から以下の点が考えられる。

- Bezel Swipe が認識されなかった
- 引き寄せたいオブジェクトが引き寄せられなかった
- ボタンに指が届くと思ったが実際は届かなかった
- 引き寄せモード時にターゲットの視覚探索が生じた
まず、被験者が Bezel Swipe を行なった際に、Bezel Swipe

が認識されない場合があった。Bezel Swipe の認識はタッチスクリーン端の小さい領域に指がタッチすることで行われる。そのため、素早く Bezel Swipe を行った場合などに Bezel Swipe として認識されない場合がある。これは、Bezel Swipe の操作に慣れることで Bezel Swipe に適した指の速度などが感覚的にわかり、認識率が高くなると考えられる。

また、引き寄せたいオブジェクトがシステムの判断した選択困難領域に存在しなかったため、引き寄せられなかった場合が見られた。その場合、被験者は Bezel Swipe の開始位置を変更して再度行うことで、選択困難領域を設定し直したり、引き寄せモードを終了して直接ボタンを押したりしていた。これは被験者の手の大きさや持ち方によって選択困難領域が異なることが原因と考えられる。この問題の解決にはユーザによ

り異なる選択困難領域を正確に判定する必要がある。ユーザが個別にあらかじめ選択困難領域を設定することや、ユーザの操作からシステムが学習することによって、選択困難領域の判定の正確さを向上させる方法が考えられる。

「Bezel Swipe が認識されなかった」と「引き寄せたいオブジェクトが引き寄せられなかった」ことによる遅延をログ解析により計測した。タスク達成時間から計測した時間を引くと、従来手法のタスク達成時間は 27.6[s]、提案手法のタスク達成時間は 32.7[s]となった。差は小さくなったものの、t 検定の結果、有意差が確認された ($t(25)=5.06, p<.05$)。

被験者がボタンに指が届きやすいと考え、ボタンに向かって指を伸ばし、届きにくい、もしくは届かなかったため、その後あらためて Bezel Swipe を行う場合があった。

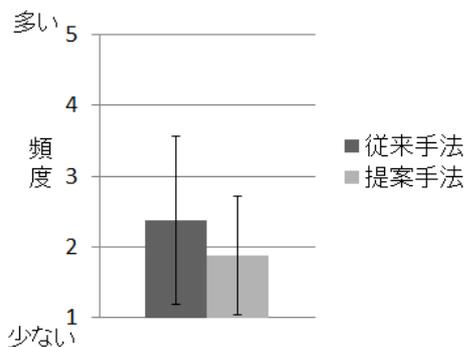
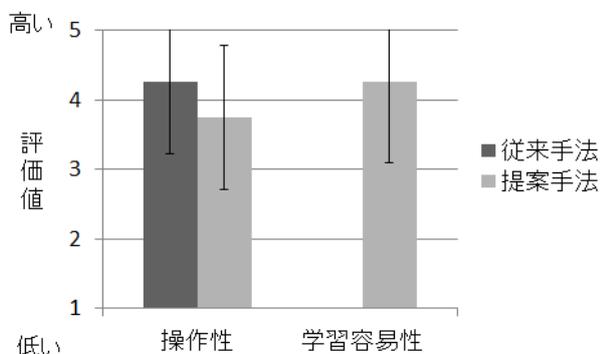
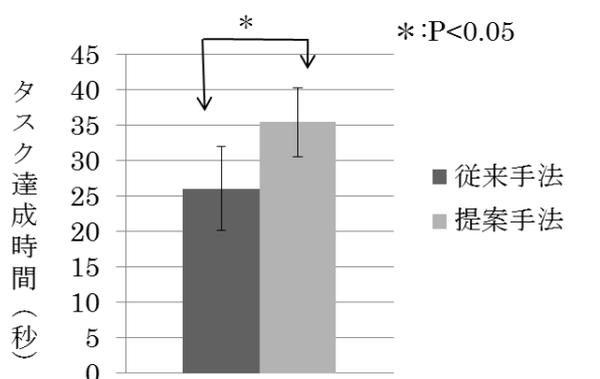
引き寄せモードに切り替えた後、引き寄せたオブジェクトの中からターゲットを再度視覚探索する必要があり、そのため目的のボタンを押すまでに時間がかかってしまう。提案手法では、選択困難領域のオブジェクトを全て引き寄せるため、実験用アプリケーションのようにボタンなどのオブジェクトが多い場合、引き寄せられるオブジェクトが多くなり、ターゲットの視覚探索にかかる時間が長くなったと考えられる。視覚探索時間を短くする方法として、選択困難領域にあるオブジェクト全てを引き寄せるのではなく、ユーザの指定した一部の領域にあるオブジェクトのみを引き寄せることが考えられる。例えば、Bezel Swipe 時に通ったタッチスクリーン端の座標からの距離によって領域を 3 つ程度に分割し、Bezel Swipe 認識後から指を離すまでの指の移動距離でどの領域にあるオブジェクトを引き寄せるか選択する方法が考えられる。

「ボタンに指が届くと思ったが実際は届かなかった」と「引き寄せモード時にターゲットの視覚探索が生じた」とによる影響を取り除くと、提案手法のタスク達成時間がどう変化するかについては、さらなるビデオ分析の必要があり、今後の課題である。

5.2 主観評価

操作性における提案手法の評価は 5 段階評価で 3 以上と高い評価であった。提案手法における自由記述で、「オブジェクトを引き寄せた後の視覚探索が面倒だった」という意見もあった。そのため、タスク達成時間についての考察で述べたように、画面内の一部の領域にあるオブジェクトのみを引き寄せるようにし、ユーザが引き寄せモード時に行う視覚探索の負担を低減することで、操作性を向上できると考えられる。

学習容易性における提案手法の評価は 4 以上と非常に高かったため、提案手法の学習は容易だったといえる。提案手法における自由記述で、「覚えることが少なかった」や「シンプルな操作方法だった」などの意見があった。これは、提案手法で用いた Bezel Swipe は、従来の操作方法を変えることなく、単純なモード切替が可能であるため、学習が容易になったと



考えられる。

ボタンを押すことが困難だった頻度の評価は提案手法において2以下であり、頻度は低いと考えられる。提案手法での自由記述において「届かないボタンが引き寄せられなかった」という意見があったことから、タスク達成時間における考察でも述べたように選択困難領域の判定の正確さを向上させる必要がある。

従来手法において手のポジションを変えることに不安感がなかった被験者は4人で、不安感があった被験者も4人だった。不安感があったと答えた被験者の自由記述で「手のポジションを変更するとき滑りそう」という意見があり、片手で操作する場合には、揺れがないような状況でも手のポジションを変更する際に不安感がある人がいることがわかる。

提案手法において手のポジションを変えることに安心感があつた被験者は7人で、安心感がなかった被験者は1人だった。安心感があつたと答えた被験者の自由記述で「機器をしっかりと持って操作できたので安心だった」という意見があり、モバイル機器をしっかりと持つことで被験者が安心感を得られたことがわかった。

6. おわりに

本研究では、タッチスクリーン搭載モバイル機器を片手でしっかりと持ったまま手のポジションを変更せずに操作する際に生じる選択困難領域に存在するオブジェクトを操作するために、選択困難領域にあるオブジェクトを指の届きやすい領域に引き寄せる手法を提案した。

評価実験の結果、提案手法は片手で手のポジションを変更できる状況での従来手法と比較し、操作時間は有意に遅かった。提案手法の操作性および学習容易性は高かった。さらに、オブジェクトの選択が困難だった頻度は低く、しっかりと持って手のポジションを変えずにモバイル機器を操作することに安心感が得られることが分かった。

参考文献

- [1] Bezerianos, A. and Balakrishnan, R.: The Vacuum: Facilitating the Manipulation of Distant Objects, HCI2005, pp.361-370 (2005)
- [2] Karlson, A.K. and Bederson, B.B.: ThumbSpace: generalized one-handed input for touchscreen-based mobile devices, INTERACT 2007, LNCS 4662, Part I, pp. 324-338 (2007)
- [3] Kurtenbach, G. and Buxton, W.: The limits of expert performance using hierarchic marking menus, CHI'93, pp.482-487 (1993)
- [4] Roth, V. and Turner, T.: Bezel Swipe: Conflict-Free Scrolling and Multiple Selection, CHI 2009, pp.1523-1526 (2009)

著者紹介



村田 和義(正会員)

2005 京都工芸繊維大学大学院博士後期課程修了。博士(工学)。東京農工大学産学官連携研究員、特任助手、特任助教を経て、2007 京都工芸繊維大学情報科学センター助教。遠隔地間でのコミュニケーション支援などに関する研究に従事。モバイル学会、電子情報通信学会、情報処理学会、ヒューマンインタフェース学会、ACM 各会員。



永田 和信(非会員)

2012 京都工芸繊維大学大学院工芸科学研究科情報工学専攻修了。在学中はモバイルインタラクションに関する研究に従事。



渋谷 雄(正会員)

1985 阪大・工・通信工学卒。1990 同大学大学院博士課程了。工博。同年京都工芸繊維大学工芸学部助手。同講師、同助教授を経て、2007 同大学情報科学センター教授。1997~1998 ドイツ、カッセル大学客員研究員。ヒューマンインタフェース、メディアコミュニケーション、モバイルインタラクションに関する研究に従事。モバイル学会、電子情報通信学会、ヒューマンインタフェース学会、システム制御情報学会、日本人間工学会、情報処理学会、ACM 各会員。