

タッチパネル端末におけるオブジェクト操作のための マルチタッチジェスチャの評価

島 佳吾^{1,a)} 志築 文太郎² 高橋 伸²

概要: 我々は、タッチパネル端末を用いるユーザがオブジェクトを素早く選択および操作を行うためのマルチタッチジェスチャを考案した。提案手法を用いるユーザは、2本指で画面をタッチした後、指を1本残してもう一方の指を離すことにより、残した指の下のオブジェクトを選択する。残した指をスライドすることにより複数オブジェクト選択も可能である。選択後、画面から手を離すことなく再びもう一方の指をタッチすることにより、指の下に円形メニューを表示し、メニューに沿って指をスライドすることによりコピー等の操作を行う。提案手法はロングタップのように待ち時間が発生することがなく、また指の移動量も少ないため、素早くオブジェクト選択および操作を行うことが可能である。提案手法によるオブジェクト選択および操作を、既存手法であるダブルタップおよびロングタップと比較する実験を行った結果、提案手法はロングタップよりも有意に速く、また、ダブルタップと同程度の速さにてオブジェクトの選択および操作を行うことができることが示された。

1. はじめに

タブレット端末等のタッチスクリーンを備える携帯情報端末（以下、タッチパネル端末）に実装されている選択操作には時間がかかる場合がある。例えばユーザが、画像や文字列等のオブジェクトに対し、コピー、カット、もしくは削除等の操作を行いたいとする。このときユーザは操作対象のオブジェクトをロングタップ、もしくはダブルタップすることにより選択する。複数のオブジェクトを一度に操作する場合、ユーザはロングタップ後に操作したい全てのオブジェクトをそれぞれタッチすることにより、複数の操作対象を選択する。しかしロングタップにて選択する場合、端末がユーザのロングタップを認識するまでに一定の時間（認識時間。Android 端末においては最短 500 ミリ秒）を要するため、ユーザが指を動かすことができない時間が存在する。また、ダブルタップはアプリケーションによっては画像の拡大、縮小等の選択以外の操作を行う際にも用いられる。アプリケーションによって操作が変わることは、ユーザの混乱を招く可能性がある。さらに、複数の

オブジェクトを選択するために何度もタッチすることは、ユーザが意図しない場所をタッチしてしまい誤動作を招く可能性がある。

一方、近年タッチパネル端末が大型化した結果、その表示領域が拡大されている。そのため、ユーザは容易に複数の指にて画面を操作できることが示されている [1]。

そこで我々は、ユーザが画像や文字列等のオブジェクトを選択し、続けてコピー、カット、もしくは削除等のオブジェクトへの操作を行うためのオブジェクト操作手法である Leaving Select を考案した [3], [4]。ユーザは、2本指にてタッチスクリーンをタッチした後、指を1本タッチした状態で残したまま、他方の指を離すことにより、残した指の下にあるオブジェクトを選択する（選択ジェスチャ）。また、ユーザは残した指をスライドすることにより、複数オブジェクトを指を離すことなく矩形選択することができる。選択ジェスチャにはロングタップのような認識時間が存在しないため、ユーザは素早くオブジェクトを選択できる。さらに、離れた指を矩形選択後に再びタッチすることにより指の下にマーキングメニュー [2] を表示し、メニューに沿って指を動かすことによりコピー、カット、もしくは削除等といったオブジェクトへの操作を選択ジェスチャから連続的に実行できる（操作ジェスチャ）。

我々はこれまでに、Leaving Select の設計指針を示すため、我々はこれまでにスマートフォンを用いた文字列選択において、従来の手法であるロングタップおよびダブル

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

a) keigo@iplab.cs.tsukuba.ac.jp

タップと選択ジェスチャの選択速度および使用感の比較を行った [3]。また、タブレット端末を用いた画像選択において、ロングタップおよびダブルタップと選択ジェスチャの選択速度、および使用感を比較する実験を行った [4]。これらの結果から、選択ジェスチャはロングタップよりも素早く選択を開始できることが分かった。

今回、我々は選択ジェスチャにより選択したオブジェクトに対し、操作ジェスチャにより操作を行う手順を再設計した。また、提案手法によるオブジェクト操作の性能を既存手法と比較する実験を行った。本稿においてはこれらを報告する。

2. 関連研究

提案手法は、タッチパネル端末におけるオブジェクトの選択および操作を、ロングタップおよびダブルタップに代わる新たなタッチジェスチャにより実現する。提案手法に関連する研究として、タッチパネル端末におけるオブジェクトの選択および操作手法の研究が挙げられる。また、タッチパネル端末への入力方法を、新たな入力ジェスチャを設計することにより増やす研究も複数存在する。本節ではこれらを示す。

2.1 オブジェクトの選択および操作手法

タッチパネル端末におけるオブジェクトの選択および操作手法の研究はいくつか存在する。Pin-and-Cross [5] は複数の指を用いるオブジェクトの操作手法である。ユーザはまず操作対象のオブジェクトを1本の指（以下、pin）にてタッチする。その後 pin の周囲に放射線状にメニューが表示されるため、ユーザは pin 以外の指にてメニューをクリックすることにより、オブジェクトに対する操作を行う。Pin-and-Cross を用いるユーザは1つのオブジェクトを pin にて選択し、そのオブジェクトに対し操作を行うが、提案手法を用いるユーザは複数のオブジェクトを一度に選択し、そのオブジェクトに対し操作を行うことができる点で異なる。

Bezel Swipe [6] は、画面の縁（以下、ベゼル）からのスワイプによりオブジェクトの選択を開始する手法である。ユーザは、ベゼルから選択したいオブジェクトまで指をスワイプすることにより、オブジェクトの選択を行う。また、複数のオブジェクトを一度に選択する場合は、片方のベゼルからオブジェクトまで指をスワイプさせ、もう片方のベゼルから別のオブジェクトまで指をスワイプさせることにより、2つのオブジェクト間にあるオブジェクト全てを選択することができる。また BezelCopy [7] は、Bezel Swipe と同様にベゼルからのスワイプを用いる文字列の選択および操作手法である。ユーザは選択したい文字列のある文章を、ベゼルから指をスワイプすることにより選択する。選択された文章は専用のパネルに拡大表示される。ユーザは

パネル上にてコピーを行いたい文字列の選択を行う。その後ユーザはパネル上のアイコンをタップすることにより、アイコンに対応したアプリケーションへと文字列をペーストする。著者らは BezelCopy を用いるユーザが、Bezel Swipe を用いるユーザよりも短い時間にて、文字列の選択およびコピーアンドペーストを完了できたことを報告している。Bezel Swipe もしくは BezelCopy を用いるユーザがオブジェクトの選択を開始する場合、端末のベゼルからスワイプを行う必要があるが、提案手法を用いるユーザはタッチパネル上の任意の場所からオブジェクトの選択を開始することができる。

三浦ら [8] はユーザが文字列の選択を行う際に、1文字ずつではなく単語単位にて選択する手法を提案している。また、Fuccella ら [9] は文字列の選択にソフトウェアキーボード上のスワイプ操作を使用している。これらの手法では複数回のタッチ操作を必要とするが、提案手法では1回のタッチ操作にて複数オブジェクトの選択を行うことができる。

提案手法と同様に複数指を用いてオブジェクトのコピーアンドペーストを行う手法として、Memory Stones [10] が挙げられる。コピーを行いたいオブジェクトを複数の指でつまみ、別の端末上に置くというメタファに基づいた操作により、ユーザは複数のタッチパネル端末間におけるオブジェクトのコピーアンドペーストを行うことができる。一方、提案手法を用いるユーザは同一端末内において、複数オブジェクトの選択、および選択したオブジェクトをコピーもしくはカットを行う等の、オブジェクトに対する操作を画面から手を離すことなく行うことができる。

2.2 新たな入力ジェスチャ提案

センサもしくはアクチュエータを用いた、タッチパネル端末への新たな入力ジェスチャが提案されている。ForceTap [11] は、ユーザが端末をタッチする際の加速度を端末の内蔵センサによって取得することにより、タッチの強弱を識別し、強弱に応じた操作を提案している。また、3D Touch [12] は端末に搭載された圧力センサによってタッチの強弱を取得し、新たなタッチジェスチャを提案している。Sensor Synaesthesia [13] は、加速度センサおよびジャイロセンサから取得した情報と、タッチ操作を組み合わせた新たな入力体系を提案している。GripSense [14] は、端末に内蔵されている加速度センサとバイブレータを併用することにより、端末を握る強さを認識する。また、端末の傾きを入力手法として用いる研究もある [15]。これらの研究は、端末に内蔵されているセンサもしくはアクチュエータのみを用いているため、追加センサを用意する必要がない。提案手法はこれらと同様に端末に内蔵されているタッチセンサのみを用いるため、追加センサを用意する必要がない。

タッチスクリーンにタッチする指の触れ方の違いを入力

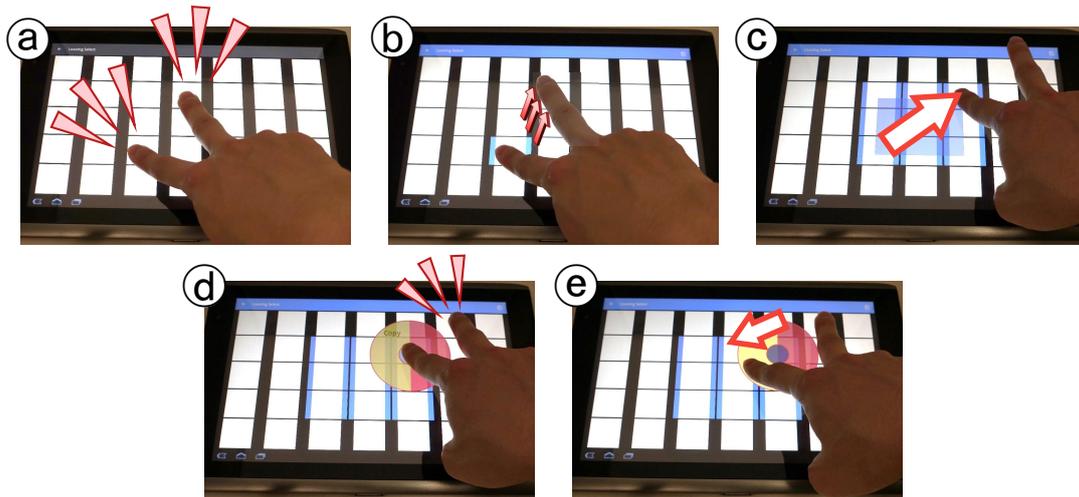


図 1 Leaving Select による画像の選択およびコピー操作
Fig. 1 Image selection and copy by Leaving Select.

に用いる手法も研究されている。MicroRolls [16] は、親指をタッチパネル上で転がす動作を新たなタッチジェスチャとして用いた。The Fat Thumb [17] は、ユーザがタッチパネル端末を片手親指を用いてタッチする際のタッチ面積の大小に基づく新たなタッチジェスチャを提案している。同様に、Benko ら [18] は、タッチ面積を選択操作の精度向上に用いた。また、タッチの方向によるインタラクションについても研究されている [19], [20]。他にも、離れた座標に対する連続タップによる、新たなタッチジェスチャが提案されている [21], [22]。提案手法は、これらのタッチ操作と競合しない新たなタッチジェスチャである。

3. 提案手法 : Leaving Select

Leaving Select は選択ジェスチャと操作ジェスチャからなる、画像や文字列等のオブジェクトを選択し、続けてコピー、カット、もしくは削除等といったオブジェクトへの操作を行うための、オブジェクト操作手法である。選択ジェスチャはオブジェクトの選択を実行するためのジェスチャである。また、操作ジェスチャは選択ジェスチャにより選択したオブジェクトに対し、コピー等の操作を実行するためのジェスチャである。本節において、選択ジェスチャによるオブジェクト選択、および操作ジェスチャによるオブジェクト操作の方法を、画像のコピーを例として説明する。

まず、選択ジェスチャによるオブジェクト選択の方法を示す。図 1a に示すように、ユーザは 2 本の指を用いて画面をタッチする。その後、図 1b に示すように選択したい画像上の指を 1 本タッチした状態で残したまま、他方の指を離すことにより、残した指の下の画像を選択する。この時残す指は、タッチした指のうちどちらの指でもよい。複数の画像を選択する場合は、残した指をスライドさせることにより、図 1c に示すように残した時点の位置を開始点として矩形選択できる。

次に、操作ジェスチャによるオブジェクト操作の方法を示す。ユーザは図 1c のように画像を選択後、選択した画像のコピーを行うとする。この場合、ユーザは選択ジェスチャにて残した指以外の指にて再び画面の任意の場所をタッチする。この時、画像選択を行った指の下に、図 1d に示すようなマーキングメニューが表示される。図 1d においては、メニューの左側が選択したオブジェクトのコピーを示している。コピーを行うユーザは、図 1e に示すように指を左にスライドすることによりメニューを選択し、手を離す。この時点において、選択されたオブジェクトがコピーされる。

これらのジェスチャにより、ユーザはオブジェクト選択からコピー等の操作を、タッチパネルから指を離すことなく一連の動作として素早く行うことができる。

4. 被験者実験

Leaving Select によるオブジェクト操作の性能を評価するため、タッチパネル端末において用いられる画像操作（選択およびコピー）の性能および使用感について、既存手法との比較実験を行った。既存の画像操作においては、ロングタップもしくはダブルタップにより選択を行い、画面の右上もしくは選択範囲の下部等の特定の位置に表示されるメニューをタッチすることによりコピーを行う。また、既存の画像選択において複数の画像を選択する場合は、画像を 1 つずつタップすることにより行う。一方、Leaving Select を用いる場合、スライドによる矩形選択により一度のタッチ操作にて複数画像を選択できる。複数画像選択時の手法間の差を生じさせないため、今回の実験においては既存の画像操作においてもスライドによる矩形選択を行えることとした。被験者への負担および手法間の影響を軽減するために、実験は被験者ごとに 1 日 1 手法行うこととし、3 日に分けて行った。

4.1 被験者

大学生および大学院生 8 名（男性 6 名，女性 2 名，平均 23.5 歳）を被験者として雇用した。すべての被験者は右利きであった。すべての被験者は日常的にスマートフォンを利用しており，スマートフォンの利用歴は平均 48.6 ヶ月であった。また，5 名の被験者はタブレット端末利用歴があり，利用歴は平均 21.4 ヶ月であった。1 日あたり 50 分程度の時間を要したため，実験終了後，各被験者には実験への参加に対する謝礼として 2,460 円（= 820 円 × 3 日分）を支払った。

4.2 実験機器

実験用端末として，タブレット端末 (ICONIA TAB A500, 端末サイズ: 高さ 260 mm × 幅 177 mm × 厚さ 13 mm, 画面サイズ: 10.1 インチ (高さ 217 mm × 幅 137 mm), OS: Android 3.2.1) を用いた。

4.3 試行

被験者が 1 試行中に選択すべき画像は図 2 に示すように，緑，赤および黄色にてハイライトされる。緑が最初に選択すべき画像（選択開始地点），赤が最後に選択すべき画像（選択終了地点）である。なお，選択すべき画像が 1 つだけの時は，その画像は緑色にてハイライトされる。被験者が画面にタッチしてから，ハイライトされた画像すべてを選択状態にし，コピー操作を完了するまでを 1 試行とした。被験者がコピー操作を行った時に，ハイライトされた画像と選択した画像が一致していたら，次の試行に移る。ハイライトされた画像と選択した画像が一致しない場合はエラー音が鳴る。その場合，被験者は正しい範囲を選択しなおし，コピー操作を行うこととした。

以下に各手法ごとの 1 試行を示す。

Leaving Select

被験者はまず，ハイライトされた範囲を確認する。確認後，被験者は右手の指 2 本（人差し指および任意の指）にて画面をタッチする。この時，人差し指は緑色にハイライトされた画像の上に置く。次に被験者は人差し指を残し，もう一方の指を画面から離すことにより，人差し指の下の画像を選択状態にする。複数の画像を選択する場合，被験者は人差し指をスライドすることにより，もう一方の指を離れた時点の人差し指の位置を開始点として矩形選択する。画像選択後，被験者は人差し指を離すことなく再び任意の指にて画面をタッチする。すると人差し指を中心にマーキングメニューが表示されるため，被験者は人差し指を左側のコピーメニュー上にスライドし，手を離す。

ロングタップおよびダブルタップ

被験者はまず，ハイライトされた範囲を確認する。確認後，被験者は右手の人差し指にて緑色にハイライトされた画像をロングタップ（またはダブルタップ）することによ

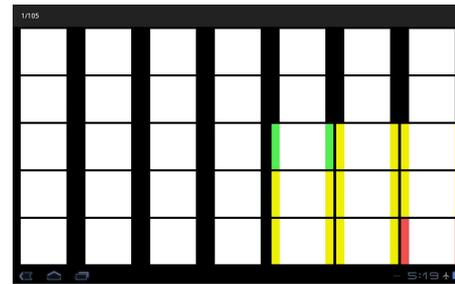


図 2 実験に用いたアプリケーションの画面

Fig. 2 Application used in our user study.

り，人差し指の下の画像を選択する。なお，ロングタップの認識時間は Android 端末における最短の認識時間である 500 ミリ秒とした。複数の画像を選択する場合，被験者は人差し指をスライドすることにより，ロングタップ（またはダブルタップ）した位置を開始点として矩形選択する。画像選択後，被験者は右手の指 2 本（人差し指および任意の指）にて画面をタッチする。すると，2 本の指の中心を中心にマーキングメニューが表示されるため，被験者は画面から指を 2 本とも離し，続けて人差し指にて左側のコピーメニュー上をタッチする。

4.4 実験タスク

サイズ条件として，1 枚，4 枚，9 枚（1 × 1，2 × 2，3 × 3 の矩形）の画像がハイライトされる。また，画面に表示された 35 枚の画像全てが選択終了地点となる。なお，選択開始地点となる画像は，選択終了地点となる画像に対し，1 × 1，2 × 2，3 × 3 の画像を一度に選択できる画像の中からランダムに選定される。よって被験者が行ったタスクは，4.3 節にて示した試行を 1 試行とし，105 試行（= 選択終了地点 35 ヶ所 × 3 サイズ条件）を 1 セッションとするタスクである。被験者は 3 手法（Leaving Select，ロングタップ，ダブルタップ）のセッションを手法ごとに連続して 8 セッション行った。なお，順序効果を打ち消すため，手法の提示順は被験者ごとにランダムとした。また，被験者は 1 日あたり 8 セッション行い，手法ごとに日を変えて実験を行った。結果として，各被験者は

3 (Leaving Select, ロングタップ, ダブルタップ)
× 105 (試行)
× 8 (セッション)
= 2520 (試行)
を行った。

被験者は手法ごとに，練習タスクとして 4 隅および中央画像の選択およびコピーを 3 セット行った。3 セット完了後，被験者は 4 隅および中央画像の選択およびコピーを行い，実験者は被験者が失敗なく選択およびコピーを行うことができることを確認した。このとき被験者がうまく選択およびコピーができなかった場合は，失敗なく選択でき



図 3 実験の様子

Fig. 3 Experimental situation.

るまで繰り返し 4 隅および中央画像の選択およびコピーを行った。練習タスク終了後、被験者が実験開始ボタンをタッチすると、図 2 のように画像が表示される。被験者はハイライトされた画像を確認し、試行を開始した。また被験者は、疲労による影響を軽減するために、セッション間に 1 分以上の休憩をとった。

実験者は被験者に、各試行においてなるべく素早くかつ正確に操作を行うよう指示した。また、実験条件をそろえるために、すべての画面操作を右手にて行うよう指示した。加えて図 3 に示すように、実験中は椅子に座り、端末を机に置き左手にて支えるよう指示した。

各手法の全セッションが終了するごと（8 セッションごと）に被験者に System Usability Scale (SUS) [23] に回答するよう求めた。SUS は 10 項目の質問に対し 5 段階の評価を用いて答えることにより、システムの使いやすさを定量的に評価するためのアンケートである。SUS の質問は英語にて記述されているが、本実験の被験者は全員日本語を第一言語としていたため、今回は古井ら [24] により日本語に翻訳されたものを原文に併記し、被験者に提示した。加えて被験者に使用感を自由記述するアンケートに回答するよう求めた。本実験は、被験者ごとに 1 日あたり、手法の説明からアンケート回答までに 50 分程度の時間を要した。

4.5 結果

サイズ条件ごとの試行時間を図 4 に示す。なお、本稿にて示すグラフのエラーバーはすべて標準偏差を表している。各サイズ条件ごとに試行時間の正規性を検定したところ、すべての条件下において正規性が見られなかったため、ノンパラメトリック検定である Kruskal-Wallis の検定により各手法間の有意差の有無を検定した。検定に用いた統計解析ツールである SPSS statistics は、Kruskal-Wallis の検定において帰無仮説を棄却した場合、ペアごとの比較を実施する。以下、断りがない場合はこの比較により有意差が認められた手法を述べる。なお、有意水準は $p < 0.05$ とした。

図 4 に示されるように、試行時間はすべてのサイズ条件においてダブルタップ、提案手法、ロングタップの順に短かった。また、すべてのサイズ条件において、提案手

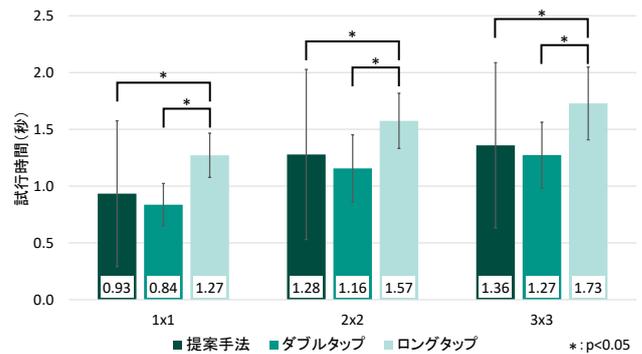


図 4 サイズ条件ごとの試行時間

Fig. 4 Trial time under each size condition.

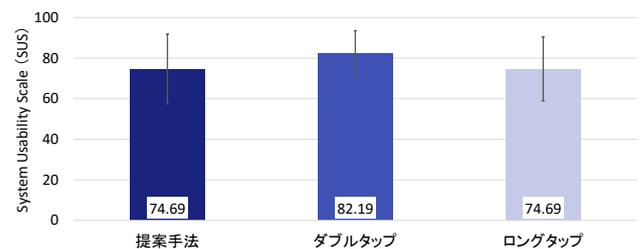


図 5 手法ごとのユーザビリティ

Fig. 5 System usability scale of each method.

法-ロングタップ間、およびダブルタップ-ロングタップ間に有意差があり、提案手法-ダブルタップ間には有意差は無かった。

図 5 に SUS により得られた各手法のユーザビリティを示す。なお、SUS の値は大きい方が良い結果と言える。結果として、ダブルタップが最も結果が良く、提案手法とロングタップが同点であった。また、すべての手法間に有意差は無かった。

4.6 考察

図 6, 図 7, および図 8 に、各サイズ条件におけるセッションごとの試行時間を示す。これらによると、ダブルタップおよびロングタップの試行時間と比較し、提案手法の試行時間が右肩下がりとなっていることが分かる。既存手法であるダブルタップおよびロングタップについては、被験者がその操作に十分慣れているため、試行時間に大きな変化は見られなかった。一方、提案手法については、被験者がその操作に慣れていないため、セッションを重ねるごとに試行時間が短くなる傾向にある。

図 6-図 8 によると、提案手法における後半 4 セッションの試行時間の変化は、前半 4 セッションの試行時間と比較すると小さい。このことから、被験者は練習タスクおよび 4 回のセッション (= 420 試行) を経て提案手法に慣れたと考えられる。そこで提案手法の操作に慣れた場合の試行時間を確かめるため、図 9 に後半 4 セッションにおけるサイズ条件ごとの試行時間を示す。後半 4 セッションの試行

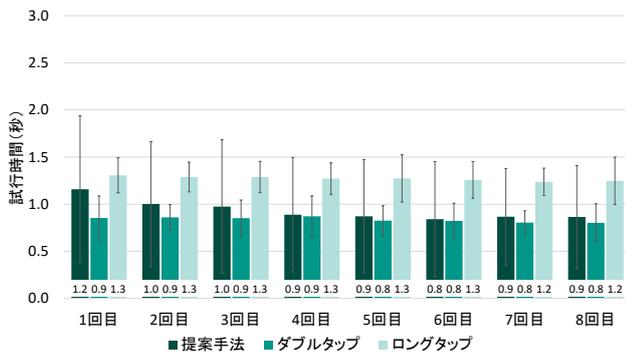


図 6 1 × 1 条件におけるセッションごとの試行時間

Fig. 6 Trial time of each session under 1 × 1 condition.

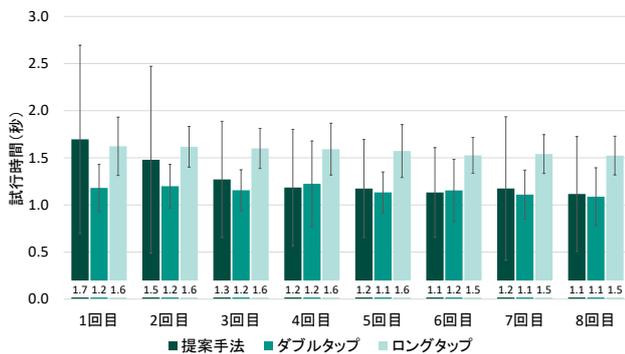


図 7 2 × 2 条件におけるセッションごとの試行時間

Fig. 7 Trial time of each session under 2 × 2 condition.

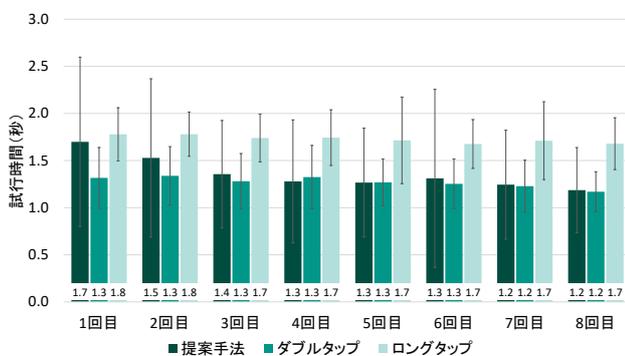


図 8 3 × 3 条件におけるセッションごとの試行時間

Fig. 8 Trial time of each session under 3 × 3 condition.

時間は全体の試行時間と同様に、すべてのサイズ条件においてダブルタップ、提案手法、ロングタップの順に短かった。また、すべてのサイズ条件において、提案手法-ダブルタップ間、提案手法-ロングタップ間、およびダブルタップ-ロングタップ間に有意差があった。提案手法およびダブルタップ間に有意差は見られたものの、提案手法に慣れてゆけばユーザはダブルタップと同程度に素早く操作を行うことができるようになる可能性が示唆された。

図 4 および図 9 のエラーバーを見ると、提案手法はダブルタップおよびロングタップと比較してエラーバーが長いことが分かる。これは、被験者が提案手法の操作に慣れて

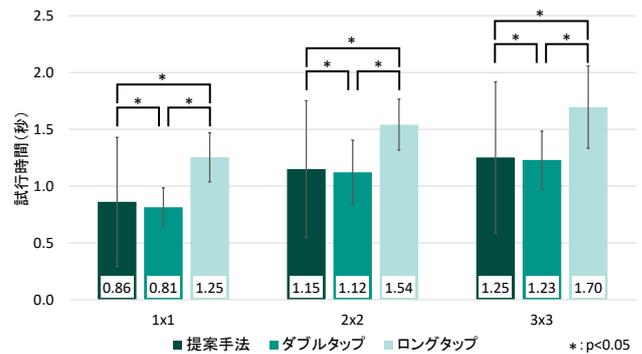


図 9 後半 4 セッションにおけるサイズ条件ごとの試行時間

Fig. 9 Trial time under each size condition in the last 4 sessions.

いないために操作ミスを生じた結果、多くの時間を要する試行があったことを意味する。我々は被験者の操作ログを確認したところ、操作ミスとして以下の 3 種類の操作を行っていたことが分かった。

- (1) 提案手法において、試行中に画面から手を離す。また、ダブルタップおよびロングタップにおいて、規定数（ダブルタップの場合は 2 回の連続タップ、メニュー表示、およびコピーメニュー選択の合計 4 回。ロングタップの場合は 3 回）より多く画面をタッチする。
- (2) メニュー選択において、コピー以外のメニューを選択する。
- (3) ハイライト画像以外の画像を選択した状態においてコピーを行う。

そこで、これらの操作をエラーとし、またエラー率を次のように定義することとした。

$$\text{エラー率} = \frac{\text{エラーの出現回数}}{\text{総試行数}}$$

この定義に基づき算出したサイズ条件ごとのエラー率を図 10 に示す。1 × 1 条件において、提案手法-ロングタップ間、およびダブルタップ-ロングタップ間に有意差があり、提案手法-ダブルタップ間には有意差は無かった。2 × 2 条件において、提案手法-ロングタップ間、および提案手法-ロングタップ間に有意差があり、ダブルタップ-ロングタップ間には有意差は無かった。3 × 3 条件において、提案手法-ロングタップ間、および提案手法-ロングタップ間に有意差があり、ダブルタップ-ロングタップ間には有意差は無かった。図 10 によると、ダブルタップおよびロングタップと比較し、提案手法においては誤操作およびコピー以外のメニューを選択した割合が多い。この原因の一つとして、人差し指を画面から離すことなく他の指にて画面をタッチすることは普段行わない操作であるため、被験者は意図せず画面から手を離してしまったことが考えられる。また、別の原因も考えられる。提案手法では、被験者が操作ジェスチャによりメニューを表示した後、メニューを選択する際には、タッチした 2 本の指を離すことなく選

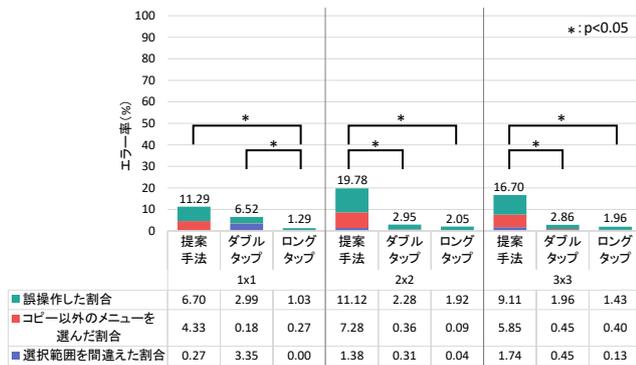


図 10 サイズ条件ごとのエラー率

Fig. 10 The error rate under each size condition.

択する必要があった。2本の指をタッチしたまま片方の指をスライドすることは通常行わない操作であり、コピーメニューまで指をスライドする前に他のメニュー上にて手を離してしまうことがあったと考えられる。また、図 10 において、1 × 1 条件におけるダブルタップは他手法より選択範囲を間違えた割合が多かった。ダブルタップにより 1 × 1 の画像を選択する場合、被験者はダブルタップした点から指をスライドする必要はない。しかし、2 × 2 および 3 × 3 の画像を選択する場合は指をスライドする必要があり、この操作に慣れた被験者は 1 × 1 の画像を選択する場合であっても指をスライドしてしまったため、このような結果が得られたと考えられる。

このように図 10 にて示したエラーの多くは、被験者が操作に不慣れであったため引き起こされた可能性がある。そこで、操作に慣れたユーザがエラーなく操作を行った場合の試行時間を調べるため、手法ごとに後半 4 セッションからエラーによりかかった時間を除いた試行時間を算出した。図 11 に、後半 4 セッションにおけるサイズ条件ごとの、エラーを除いた試行時間について示す。エラーを除いた試行時間は、すべてのサイズ条件において提案手法が最も短く、次いでダブルタップ、ロングタップの順であった。また、すべてのサイズ条件において、提案手法-ダブルタップ間、提案手法-ロングタップ間、およびダブルタップ-ロングタップ間に有意差があった。このことから、エラーなく操作を行うことができた場合は、ダブルタップよりも有意に速くオブジェクト操作を行うことができる可能性があることが分かった。そのため、提案手法におけるエラーを軽減することができれば、ダブルタップと同等以上の性能にて提案手法を使用することができることが示唆された。

5. 議論

5.1 エラーの軽減

4 節にて示した実験において、提案手法におけるエラー率を下げる事ができれば、更なる性能向上が望めることが分かった。また、提案手法のエラーの原因として、操作

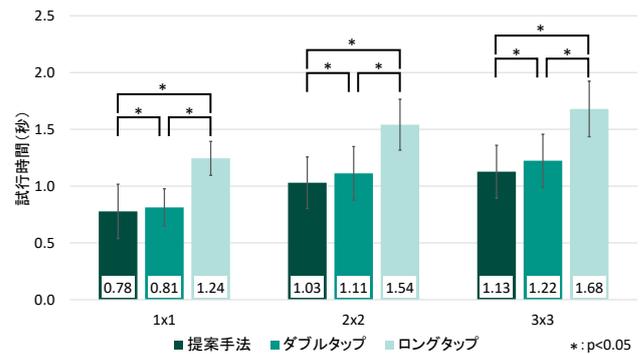


図 11 後半 4 セッションにおけるサイズ条件ごとの、エラーを除いた試行時間

Fig. 11 Trial time excluding errors under each size condition in the latter 4 sessions.

ジェスチャによりメニューを表示した後、メニューを選択するまでの間、2本の指にて画面をタッチし続ける必要があることが挙げられる。すなわち、2本指でタッチし続ける必要がなくなればエラー率を下げる事ができると考えられる。そのため、今後操作ジェスチャにおいて2本目の指にてタッチした後、指を画面から離すことにより、メニューを表示することを検討する。また、提案手法を片手操作だけでなく、両手操作にて使うことを検討する。ユーザが両手を用いて提案手法を使用すれば、選択ジェスチャおよび操作ジェスチャにおいて2本指でタッチするときに、左右の手の指を1本ずつ用いることができる。これにより、片手の2本指で画面をタッチし続ける必要が無くなるため、メニュー表示に変更を加えることなくエラー率を下げる事ができる可能性がある。

5.2 アプリケーション

選択操作には矩形選択以外の方法もある。本節にて、それらの選択方法を提案手法を用いて実装する方法を示す。

5.2.1 ペイントアプリケーション

ペイントアプリケーションにおいて、任意に輪郭を描いて選択範囲を指定する自由選択が提供されていることがある。矩形選択と自由選択の両方を同時にユーザに提供するために、自由選択を提案手法、矩形選択をダブルタップに割り当てる設計が考えられる。このように設計すると、ユーザが自由選択中に細かい部分を選択したい場合は、選択している指と別の1本指にてピンチジェスチャを行うことにより、選択している指を離すことなく画面の拡大縮小を行うことができるようになる。これにより、ユーザは自由選択中において手を離すことなく正確に選択できるようになると考えられる。

5.2.2 文字列選択

テキストエディタや Web ブラウザにおいて、文字列のコピーを行いたいことがある。しかし画面に表示される文字は、範囲選択に用いる指より小さく、コピーを行いたい

範囲を正確に選択することは困難である。そこで提案手法により文字列を選択する場合、選択ジェスチャにより右手の人差し指を用いて大まかに選択した後、選択の終了点を中指のタップで一文字右に、親指のタップで一文字左にずらせるような設計が考えられる。これにより、ユーザは文字列のコピーを行う際に正確に範囲を選択できるようになると考えられる。

6. まとめと今後の課題

タッチパネル端末を用いるユーザが画像や文字列等のオブジェクトを選択し、続けてコピー、カット、もしくは削除等のオブジェクトへの操作を行うためのオブジェクト操作手法である Leaving Select を考案した。また、Android 端末上にて動作する実験用アプリケーションを実装し、提案手法によるオブジェクト操作の性能を、既存手法であるダブルタップおよびロングタップと比較する実験を行った。その結果、提案手法はロングタップよりも有意に速くオブジェクトを操作できることが分かった。また、ユーザが操作に慣れエラー率が下がった場合は、提案手法はダブルタップと同等以上の性能にてオブジェクトを操作できることが示唆された。

今後は、エラー率を下げるためにマーキングメニューの表示方法について検討する。その後、5.2 節にて述べたアプリケーションを実装する。また、そのアプリケーションを用いた使用感調査を実施し、その結果に基づいたさらなる性能向上を検討する。

参考文献

- [1] 井上育美, 棟方渚, Rafal Rzepka, 荒木健治. 3指を用いたタッチパネル入力の評価と考察について(評価, エンタテイメントのためのメディアとリアリティ, 一般). 電子情報通信学会技術研究報告. MVE, マルチメディア・仮想環境基礎, Vol. 114, No. 73, pp. 63–70, 2014.
- [2] Gordon Kurtenbach and William Buxton. The limits of expert performance using hierarchic marking menus. CHI '93, pp. 482–487, New York, NY, USA, 1993. ACM.
- [3] 島佳吾, 箱田博之, 栗原拓郎, 志築文太郎, 田中二郎. 3点タッチを起動ジェスチャとする範囲選択. 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, pp. 1–8, 2014.
- [4] 島佳吾, 志築文太郎, 田中二郎. タッチパネル端末におけるオブジェクト選択のためのマルチタッチ操作. インタラクション2016 論文集, pp. 493–498, 2016.
- [5] Yuexing Luo and Daniel Vogel. Pin-and-Cross: A unimanual multitouch technique combining static touches with crossing selection. UIST '15, pp. 323–332, New York, NY, USA, 2015. ACM.
- [6] Volker Roth and Thea Turner. Bezel Swipe: Conflict-free scrolling and multiple selection on mobile touch screen devices. CHI '09, pp. 1523–1526, New York, NY, USA, 2009. ACM.
- [7] Chen Chen, Simon T. Perrault, Shengdong Zhao, and Wei Tsang Ooi. BezelCopy: An efficient cross-application copy-paste technique for touchscreen smartphones. AVI '14, pp. 185–192, New York, NY, USA, 2014. ACM.
- [8] 三浦元喜, 最所賢至, 清弘祥太. タブレット型端末における日本語形態素を考慮した文字列範囲選択手法. WISS '14, pp. 45–46, 2014.
- [9] Vittorio Fuccella, Poika Isokoski, and Benoit Martin. Gestures and Widgets: Performance in text editing on multi-touch capable mobile devices. CHI '13, pp. 2785–2794, New York, NY, USA, 2013. ACM.
- [10] Kaori Ikematsu and Itiro Siio. Memory Stones: An intuitive information transfer technique between multi-touch computers. HotMobile '15, pp. 3–8, New York, NY, USA, 2015. ACM.
- [11] Seongkook Heo and Geehyuk Lee. Forcetap: Extending the input vocabulary of mobile touch screens by adding tap gestures. MobileHCI '11, pp. 113–122, New York, NY, USA, 2011. ACM.
- [12] Apple. iPhone 6s 3D Touch. <https://developer.apple.com/ios/3d-touch/> (accessed 2016.12.21).
- [13] Ken Hinckley and Hyunyoung Song. Sensor Synaesthesia: Touch in motion, and motion in touch. CHI '11, pp. 801–810, New York, NY, USA, 2011. ACM.
- [14] Mayank Goel, Jacob Wobbrock, and Shwetak Patel. GripSense: Using built-in sensors to detect hand posture and pressure on commodity mobile phones. UIST '12, pp. 545–554, New York, NY, USA, 2012. ACM.
- [15] Theophanis Tsandilas, Caroline Appert, Anastasia Bezerianos, and David Bonnet. Coordination of tilt and touch in one- and two-handed use. CHI '14, pp. 2001–2004, New York, NY, USA, 2014. ACM.
- [16] Anne Roudaut, Eric Lecolinet, and Yves Guiard. MicroRolls: Expanding touch-screen input vocabulary by distinguishing rolls vs. slides of the thumb. CHI '09, pp. 927–936, New York, NY, USA, 2009. ACM.
- [17] Sebastian Boring, David Ledo, Xiang 'Anthony' Chen, Nicolai Marquardt, Anthony Tang, and Saul Greenberg. The Fat Thumb: Using the thumb's contact size for single-handed mobile interaction. MobileHCI '12, pp. 207–208, New York, NY, USA, 2012. ACM.
- [18] Hrvoje Benko, Andrew D. Wilson, and Patrick Baudisch. Precise selection techniques for multi-touch screens. CHI '06, pp. 1263–1272, New York, NY, USA, 2006. ACM.
- [19] Feng Wang and Xiangshi Ren. Empirical evaluation for finger input properties in multi-touch interaction. CHI '09, pp. 1063–1072, New York, NY, USA, 2009. ACM.
- [20] Feng Wang, Xiang Cao, Xiangshi Ren, and Pourang Irani. Detecting and leveraging finger orientation for interaction with direct-touch surfaces. UIST '09, pp. 23–32, New York, NY, USA, 2009. ACM.
- [21] Seongkook Heo, Jiseong Gu, and Geehyuk Lee. Expanding touch input vocabulary by using consecutive distant taps. CHI '14, pp. 2597–2606, New York, NY, USA, 2014. ACM.
- [22] Ian Oakley, DoYoung Lee, MD. Rasel Islam, and Augusto Esteves. Beats: Tapping gestures for smart watches. CHI '15, pp. 1237–1246, New York, NY, USA, 2015. ACM.
- [23] John Brooke. SUS: A retrospective. *J. Usability Studies*, Vol. 8, No. 2, pp. 29–40, 2013.
- [24] 古井陽之助, 前田環貴, 松本誠義. 講義画面の自動連続キャプチャを行う講義・学習支援システムとその評価実験. 火の国情報シンポジウム 2014, 2014.