

選択ターゲット候補の半円状再配置による スマートフォンでの片手選択操作手法の提案

秋葉 翔太^{†1} 崔 明根^{†1} 坂本 大介^{†1} 小野 哲雄^{†1}

概要：本研究ではスマートフォンの片手操作時のターゲット選択手法として、一回のタップと親指の移動量の少ない操作のみで選択が完了する手法を提案する。提案手法では選択ターゲットを明示的に示すために、タップされた点を中心として、選択候補となるターゲット全てを指に被らないように指の周りに半円状に再配置する。本研究では、再配置した目標ターゲットを選択する手法として、目標ターゲットの方向へ直接指を傾けて選択する One Half-Pie、2 段に配置されたターゲットを押し込み動作によって切り替えながら選択する Two Half-Pie、タップした地点からドラッグした量に応じてターゲットの選択が行われる RailDragger の 3 つの選択ジェスチャを実装し評価する。実験では 3 つの選択手法を用いてそれぞれポインティングタスクを行い、選択終了までの時間と選択精度の観点から選択手法の評価を行った。その結果、提案する 3 手法において選択時間に関しては RailDragger が、選択精度に関しては Two Half-Pie が最も優れていることが分かった。

1. はじめに

スマートフォンはタブレットや PC と異なり、片手での操作が多いデバイスである。スマートフォンを片手で把持し操作を行う場面では、把持している手の親指のみで操作をすることが多いために複雑な操作ができず、いくつかの単純な操作を組み合わせる方法がある。例えばブラウザ使用時にリンクが密集しているサイトでは、直接リンクをタップしようとしても意図していないリンクを誤って選択しやすいために、ダブルタップで画面を拡大してからタップでリンクを選ぶという手順を踏む操作方法がある。また iOS や Android に搭載されている、複数のアプリを一括で管理できるフォルダ機能では一度フォルダアイコンをタップし、画面中央に表示されるアプリの候補の中から使いたいアプリをタップするという手順がある。以上のようなターゲット選択動作は、決定するまでに 2 回以上のタップを行わなければいけない上、2 回目以降のタップでは一度タップした位置と近い位置をタップするとは限らず、非連続的な動作となってしまう。また片手操作に着目した場合、タップ回数が多いことや親指の移動量が多いことによるスマートフォンの把持姿勢への影響も考えられる。

そこで本研究では複数ターゲットの片手選択を対象に、ターゲットを再配置し、一回のタップかつ少ない親指の移動量で選択が完了する手法を提案する。まず本研究では選

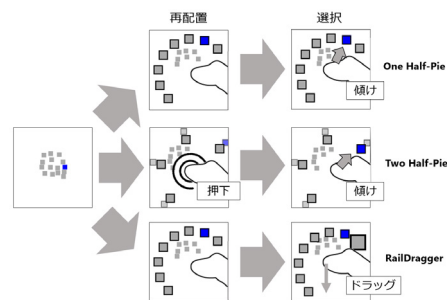


図 1 提案手法のイメージ図。Two Half-Pie ではタップで再展開を行い、その後押下することによって選択する段を切り替える。

択ターゲット候補の提示方法として、タップされた地点を中心として選択可能なターゲットを半円状に再配置する。ターゲットを整列させることによって、選択可能なターゲットをわかりやすくユーザに提示することを可能とする。その後の選択手法として、目標ターゲットの方向へ直接指を傾けて選択する One Half-Pie、ターゲットを二段に分けて再配置し、押し込み動作で選択する段を切り替え、ターゲットの方向へ指を傾けることで選択する Two Half-Pie、上下方向のドラッグ動作によってターゲットの半円自体を回転させてターゲットの選択を行う RailDragger の 3 つを提案する。本稿では提案手法における 3 種類の選択手法とその評価について述べる。本稿の貢献を以下に要約する。

- ターゲット選択時の候補提示として、半円状にターゲットを再配置する提示方法を 3 つ提案した。
- 実験によって 3 つの提案手法がどのような場面で有効

^{†1} 現在、北海道大学

であるかを調査した。

2. 関連研究

2.1 選択ターゲットの再配置とスマートフォンの片手操作

本研究ではスマートフォンの片手ターゲット選択においてなるべく親指を移動せずに選択できるように、ターゲットの再配置を行う。Findlater らによる Enhanced Area Cursors[9] では、マウス操作において円状に選択ターゲットを再配置し、細かいターゲットの選択を容易にしている。また Karlson らによる ThumbSpace[10] では、携帯端末において親指の届く範囲内に画面全てを縮小し、親指の無理な移動をすることなく項目選択が可能である。またスマートフォンの片手操作時の把持姿勢の安定性に関して、Corsten らによる ForceRay[4] では、圧力を入力に用いることで、把持姿勢の安定性が従来手法に比べ改善されたとしている。

2.2 タッチデバイスにおけるターゲット選択手法

タッチデバイスにおいて、密集した小さいターゲットを直接タップして選択することは難しいため、それらの容易な選択を可能にする手法が複数提案されている。Yatani らによる Escape[2] では、各ターゲットに矢印を割り当てることにより、タップしてからスワイプする動作のみでターゲットの選択が可能である。Au らによる LinearDragger[3] ではタップした地点からドラッグした距離に応じてターゲットの選択が行われる。しかし、タッチデバイスでの選択ジェスチャでは、画面の表示に指が重なり画面が見えにくくなるという Occlusion 問題が発生する。様々なターゲット選択手法において Occlusion 問題は重要視されており、Vogel らによる Shift[1] では、タップされている周辺の画面を指の上に拡大表示することで Occlusion 問題を解決している。Brandl らによる Occlusion Aware Menu[5] では、操作する手と重なって見えなくなる Pie Menu の一部分を取り除くことによって、Occlusion 問題の起こらないメニュー選択手法を提案している。

3. 提案手法

3.1 選択ターゲット候補の再配置

ターゲット選択手法において、選択するターゲットをそのまま画面上に表示すると、指が画面の表示に重なり画面が見にくくなる Occlusion 問題が起こり、ターゲット選択が困難になることが予想される。そこで本研究では、Occlusion 問題を回避しつつ、最小限の指の動きでターゲット選択を可能にするデザインとして、Enhanced Area Cursor[9] を参考に、タップした指の周りにターゲットを半円状に再配置させる(図1)。また選択可能なターゲットについては、選択可能であることを明示的に示すために拡大表示し、黒枠で囲むようにした。

続いてターゲットを再配置した後の選択ジェスチャを3つ考案し実装した。なお次項では右手でスマートフォンを把持し、右親指のみでの操作をした場合の説明をする。

3.2 再配置されたターゲットに対する選択手法

本研究では、選択ターゲット候補を半円状に再配置した後の選択ジェスチャとして下記の3手法を提案する。全ての選択ジェスチャにおいて、選択中となっているターゲットは、他の再配置されているターゲットよりも拡大されて表示される。また決定ジェスチャは指を離すだけとすることで、タップしてターゲットを再配置し、目的のターゲットを選択し、指を離すという手順で一回のタップでの選択を可能としている。

3.2.1 One Half-Pie

One Half-Pie は半円状に再配置したターゲット群に対して、選択したいターゲットの方向へ直接指を傾けて選択を行う手法である(図2(a))。各ターゲットの選択範囲は、再配置されるターゲット数によって変化し、一つのターゲットあたり $180^\circ / (\text{ターゲット数} - 1)$ だけ割り当てられる。また右端と左端のターゲットの角度は選択のしやすさを考慮して、 -90° から 270° まで選択範囲を拡張することで、選択をしやすくした(図3)。この選択手法は以降 1HP と表記する。

3.2.2 Two Half-Pie

1HP ではターゲットの数が多くなっていくにつれて、各ターゲットに割り当てられる角度が小さくなっていき、正確な選択が難しくなることが考えられる。そこで選択できる数を維持し、より正確な選択を可能にするために、Half-Pie を二段にわたって展開し、選択する段を切り替えながら目標ターゲットを選択する手法を提案する。ここでは選択できる方の段を一段目、選択できず半透明で表示されている方の段を二段目と表記する。一段目と二段目の切り替えには、2次元の親指の動きを減らすために、ForceRay[4] で用いられている画面を強く押すことによる 3DTouch[8] を用いた。段を切り替える際には、タップしてターゲットが再配置された状態で、圧力をかけて押下することによって、手前と奥のターゲットが入れ替わる(図2(b))。またこの手法でも 1HP と同様の各ターゲットに対する角度割当てがなされており、選択動作自体は 1HP と同様にターゲットの方向へ指を傾ける動作である。この選択手法は以降 2HP と表記する。

3.2.3 RailDragger

上記2手法においては、目標ターゲットが存在している方向に向けて直接指を傾けることで選択動作を行っていたが、この手法では LinearDragger[3] を参考に、上下方向のドラッグ操作によって選択動作を行う。最初にタップしてターゲットを再配置した時点で、この手法では、タップされた位置から 45° 上のターゲットが常に選択状態となっ

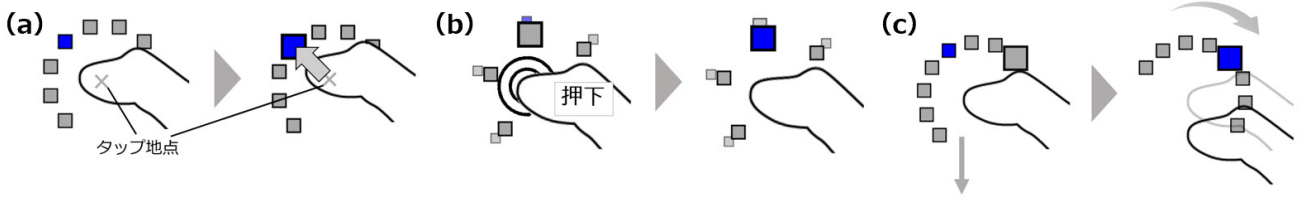


図 2 各種選択手法の操作方法. (a): 1HP の選択方法. (b): 2HP での 3DTouch による一段目と二段目の切り替え. (c): RD でのドラッグ動作による半円状に再配置したターゲットの回転.

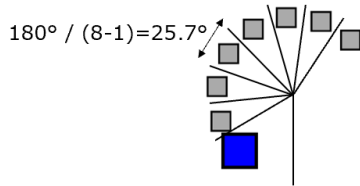


図 3 1HP における, 各ターゲットに対する角度割り当て. 選択ターゲット数が 8 個の場合.

ている. タップした座標から $50\text{pt} / (\text{ターゲット数})$ だけ下方向へドラッグすることで, 1 ターゲット分だけ再配置されたターゲット群が時計回りに回転し, ターゲットの選択が可能となる (図 2 (c)). つまり右の方のターゲットを選ぶ場合は, あまりドラッグ動作は必要ないが, 左端のターゲットを選ぶことになるほど, より長い距離をドラッグする必要があるという手法になっている. 50pt 以上のドラッグを行った場合には左端のターゲットが選択される. この選択手法は以降 RD と表記する.

3.3 実装

今回の実験・実装では, Apple の iPhone8 (サイズ $138.4\text{mm} \times 67.3\text{mm} \times 7.3\text{mm}$, 解像度 $1334\text{px} \times 750\text{px}$, OS: iOS13.2) を用いて行った. 各手法において, ターゲットを再配置する際に角度をつけずに提示した場合, 左端のターゲットなどに対して画面の表示に指が重なり, 画面が見えなくなる Occlusion 問題が発生すると考えられる. そのため, 今回の実装では親指のタップの角度を 45° 程度と想定し, 展開の際に角度をつけることによって Occlusion 問題の影響を抑えることにした. (図 4) また再配置の際の半円の半径は, 画面端からターゲットがはみださないかつ, 操作する指に被りにくいという二つの条件のもとで, 3 手法全てにおいて共通で 75pt とした. ポインティングタスク時に実験設定で想定されていない数のターゲットが再配置されることを避けるため, 画面のどこをタップしても設定されている全てのターゲットが再配置されるようにした. またスマートフォンを左手で操作する場合には, 角度を反転させてターゲットを再配置する. またポインティングタスク時の目標ターゲットは, 各選択手法で様々な位置

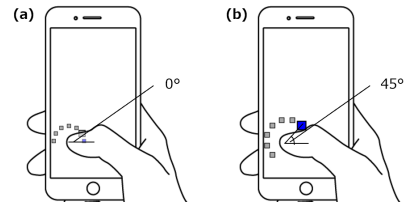


図 4 (a): 目的のターゲットが指によって隠れてしまう Occlusion 問題 (b): 展開に角度をつけることによる Occlusion 問題の回避

のターゲットを選択させるために, 再配置されたターゲットの中からランダムに決定される.

4. 評価実験

3 つの選択手法において, パフォーマンス測定のためにポインティングタスクを用いた実験を行う. 実験全体にかかった時間は全体で約 40 分程度であった.

4.1 実験参加者

実験参加者は普段からスマートフォンを使用している大学生, 大学院生 12 名 (男性 9 名, 女性 3 名, 平均 22.0 歳) であった. 実験参加者 12 名のうち 10 名が右手でスマートフォンを操作し, 残り 2 人が左手でスマートフォンの操作を行った. また 1 日にスマートフォンを使用している時間は平均 3.6 時間 ($SD=1.426$) であり, スマートフォンの使用歴は平均 77.83 ヶ月 ($SD=12.44$) であった.

4.2 実験手順

操作説明や練習のために, 実際のポインティングタスクでは用いられないパラメータでのポインティング練習ができるアプリを準備した. (以降 PracticeApp と表記する.)

まず実験参加者に PracticeApp を用いて提案手法の操作方法を説明した. その後実験参加者にスマートフォンを渡し, 1 分程度操作方法の確認をしてもらった. 続いて内容が印刷された紙でタスクについての説明を行った. その後タスクを一定回数行ってもらい, タスクで用いた手法に関するアンケートへの記入をもらった. この流れを 3 手法分繰り返した.

全ての手法において, 各タスクは画面の中央に表示され

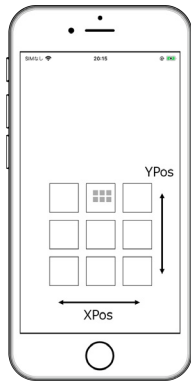


図 5 ポインティングタスクにおけるターゲットの出現位置

た $2\text{cm} \times 2\text{cm}$ の”Start”と印字されたボタンをタップすることによって実験参加者が開始する。スタートボタンがタップされると、画面上にフォルダをイメージした灰色のターゲットの集合が表示される。このターゲットの集合がタップされて半円状に再配置されると、複数ターゲットの中にランダムに一つだけ青色のターゲットが表示され、それが今回のポインティングタスクにおける目標ターゲットとなる。実験参加者には青色のターゲットを選択するように説明した。選択が終了すると再びスタートボタンが表示され、次のタスクへと移行する。またタスクにおいてはなるべく青いターゲットが確実に拡大されたのを確認してから決定するように注意を促した。また画面上の領域全てにおいて、ターゲットが再配置されるようになっている仕様を伝えた上で、ターゲットの集合をタップするように説明した。

4.3 実験デザイン

実験は参加者内実験計画を用いて実施した。独立変数は、手法 (1HP, 2HP, RD の 3 種類), XPos (親指の付け根から近い, 画面の中央, 親指の付け根から遠いの 3 種類), YPos (親指の付け根から近い, 画面の中央, 親指の付け根から遠いの 3 種類), ターゲットの選択回数 (5 個, 6 個, 7 個, 8 個, 9 個, 10 個の 6 種類) である。ターゲット集合の出現位置に関しては、スマートフォンでの片手操作時における親指の届く範囲を調査した研究 [6,7] を参考に、片手操作で親指の無理なく届く範囲で、図 5 に示した黒枠の中に表示した。ターゲットの表示方法としては、複数のアプリがまとまったフォルダからアプリの一つ選んで起動する状況を考え、一つ当たりのターゲットサイズを $12\text{pt} \times 12\text{pt}$, ターゲット間の幅を 4pt に設定した。また左手でスマートフォンを操作した場合には、操作ログとして記録した XPos と、ターゲットを再配置させる方向を反転させた。

参加者ごとに独立変数の組み合わせを 2 回ずつ行ったので、一人当たりのタスクの数は $3 \times 3 \times 3 \times 6 \times 2 = 324$ 回、全データ数は $324 \times 12 = 3888$ データとなる。そのうち指

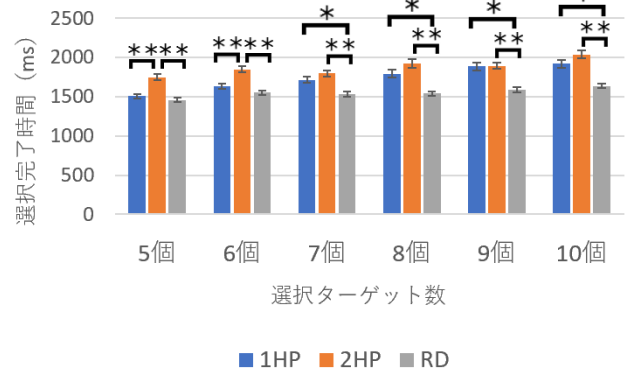


図 6 手法とターゲット数の組み合わせに対する選択時間 (有意差: $*p < 0.05$, $**p < 0.01$)

をすぐ離してしまい、選択動作を行わずに次のタスクへと移行してしまった 28 データを取り除いた 3860 データを分析に使用した。またタスク終了後に自由記述のアンケートを行った。すべてのタスク・アンケートの終了後、各手法について気づいた点と、参加者自身の好みによる 3 手法の順位付けをインタビューで尋ねた。ポインティングタスクを行う手法の順番についてはラテン格子法によって決定した。

5. 実験結果

選択時間と精度の二つの従属変数に関して 4 要因分散分析を行った。多重比較には Holm の方法を用いた。

5.1 選択時間

選択時間に関して単純主効果の手法 ($F_{2,22} = 14.40$, $p < 0.001$), XPos ($F_{2,22} = 8.84$, $p < 0.01$), YPos ($F_{2,22} = 4.28$, $p < 0.05$), 選択ターゲット数 ($F_{5,55} = 26.53$, $p < 0.001$) について有意差が確認された。また一次の交互作用として手法 \times XPos ($F_{4,44} = 4.35$, $p < 0.01$), 手法 \times YPos ($F_{4,44} = 2.97$, $p < 0.05$), 手法 \times 選択ターゲット数 ($F_{10,110} = 3.09$, $p < 0.01$) について有意差が確認された。1HP と 2HP の 2 手法は XPos に有意差があり, (1HP ($F_{2,22} = 5.73$, $p < 0.01$), 2HP ($F_{2,22} = 8.61$, $p < 0.01$)) 全ての手法は選択ターゲット数に有意差があった。(1HP ($F_{5,55} = 17.48$, $p < 0.001$), 2HP ($F_{5,55} = 7.75$, $p < 0.001$), RD ($F_{5,55} = 4.98$, $p < 0.001$))

各手法ごとの平均選択時間は 1HP が 1740.95ms , 2HP が 1874.75ms , RD が 1551.09ms であった。選択ターゲット数と手法の組み合わせに対する選択時間を図 6 に示す。

5.2 精度

精度に関しては単純主効果の手法 ($F_{2,22} = 5.99$, $p < 0.01$), 選択ターゲット数 ($F_{5,55} = 5.73$, $p < 0.001$) について有意差が確認された。一次の交互作用として手法

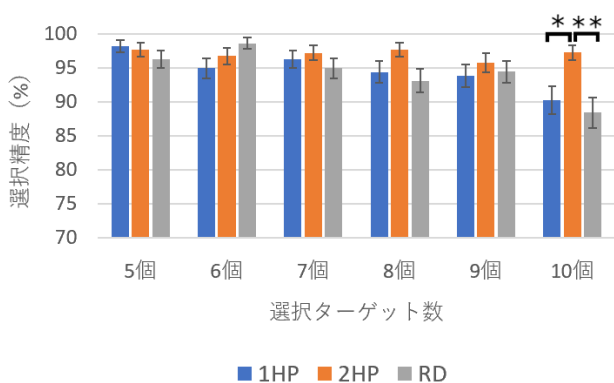


図 7 手法とターゲット数の組み合わせに対する精度 (有意差：
* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$)

×選択ターゲット数 ($F_{10,110} = 1.81$, $p < 0.1$), XPos × YPos ($F_{4,44} = 2.2$, $p < 0.1$) について有意差が確認された。二次の交互作用として手法 × YPos × 選択ターゲット数 ($F_{20,220} = 1.56$, $p < 0.1$), XPos × YPos × 選択ターゲット数 ($F_{20,220} = 1.52$, $p < 0.1$) について有意差が確認された。ターゲット数 10 個は手法に有意差が確認された ($F_{2,22} = 6.44$, $p < 0.01$)。また RD が選択ターゲット数 6 個と 10 個の時に有意差が確認された ($p < 0.05$) のみで、それ以外には手法と選択ターゲット数の有意差は確認されなかった。

各手法ごとの平均精度は 1HP が 94.6%, 2HP が 97.0%, RD が 94.3% であった。手法と選択ターゲット数の組み合わせに対する精度を図 7 に示す。

5.3 インタビュー結果

インタビューで実験参加者に各手法における好みの順位を尋ねたところ、実験参加者 12 名中 9 名が RD を 1 位とし、2 名が 2HP を 1 位、1 名が 1HP を 1 位とした。また RD を 1 位にした実験参加者は 5 名が 2HP を 2 位に、4 名が 1HP を 2 位とした。2HP を 1 位とした参加者はどちらも 1HP を 2 位としていた。1HP を 1 位とした参加者は RD を 2 位としていた。

6. 考察

本稿では、スマートフォンにおいて半円状に再配置した複数ターゲットに対する選択手法として 1HP, 2HP, RD の 3 手法を提案し、各手法の評価を行うためにポインティングタスクを行った。その結果、以下の点が明らかになった。

- (1) それぞれの平均選択終了時間は RD (1551.09ms), 1HP (1740.95ms), 2HP (1874.75ms) であった。
- (2) 全ての手法において、ターゲット選択数が多いほど選択時間がかかっていた。
- (3) 1HP と 2HP は表示場所に関して指に近い XPos, 指から遠い XPos では中央の XPos に比べて選択時間がか

かっていた。

- (4) それぞれの平均選択精度は 2HP (97.0%), 1HP (94.6) %, RD (94.3) % であった。
- (5) RD においてターゲット数 10 個と 6 個のときにのみ精度に差が見られたが、他の手法 × 選択ターゲット数の組み合わせに関しては精度の差が見られなかった。
- (6) 実験参加者 12 名中 9 名が RD を 1 番好みの手法とした。RD を 1 位とした参加者の中で 2 位は 1HP が 4 人、2HP が 5 人であった。

6.1 選択時間について

全ての手法において選択ターゲット数に応じて選択時間が変わっており、選択ターゲット数が 7 個未満では RD と 1HP が早かったが、7 個以上の数になると RD が他 2 つの手法よりも素早く選択できることが示された。1HP と 2HP で選択ジェスチャに用いた指を傾けるという動作が、普段スマートフォンを使う際にあまり馴染みのない動作である一方で、RD でのドラッグ動作は普段から使用される動作であるために素早い選択が可能であったと考えられる。しかし、指を傾けるという操作も特別複雑なものではないので、ユーザの慣れによって 1HP と 2HP の選択時間が改善することも十分可能性として残されている。2HP では押し込み動作という 3 次元の動作を要求したことと、現時点で押し込み動作が製品に搭載されているものが少ない (iPhone6s から iPhoneXs までのスマートフォンで 3DTouch として利用されている) ために、あまり押し込むという操作に慣れている参加者が少なかったことが選択時間が多くかかった原因として考えられる。RD において選択ターゲット数における選択時間の有意差は 5 個と 10 個の時のみに見られた。そのため、RD は手軽に素早く選択したい場合に有用な手法であると考えられる。

6.2 精度について

平均精度は 3 手法のうち 2HP が最も高かった。これに関しては選択ターゲットを二段に分けることによって、一段あたりの候補数を減らした効果が表れたのだと考えられる。2HP ではターゲット数による精度の違いは見られなかったため、ターゲット数が多くなっても確実に選択できる手法であるといえる。また選択精度が 95% 程度でユーザが無理なく選択できるとすると、1HP ではターゲット数 8 個 (精度 94.37%) まで選択できることになり、表示方法が違うだけで選択動作は同じである 2HP に関しては、最大 16 個までのターゲットを無理なく選択できるといえる。また選択ターゲット数が増えるごとに 1HP と RD では精度が低くなっていたが、2HP においてはターゲット数によらずほぼ 96% 程度の非常に高精度な選択ができていた。この結果からも 2HP は多量のターゲットに強い選択手法だといえることができる。

6.3 アンケート・インタビューについて

1HP ではアンケートにおいて、数が多いと微調整が難しく、意図したターゲットとずれたターゲットを選択してしまったという意見が多くあげられた。そのため7個以上の選択ではRDの方が早い手法であるということと、指を傾ける角度の微調整の難しさを考慮すると、7個程度までの選択までにしか適用しにくいといえる。しかし1HPではどの位置のターゲットを選択する場合でも、親指の移動量はほとんど変わらないため、非常に少ない(4個程度など)ターゲット数においては素早い選択手法である可能性がある。

2HPでは、奇数の時の提示の仕方が一段目と二段目の区別がつきにくく、わかりにくいといった声が多くあげられた。(図8(a))そのため、二段目の提示方法を不自然の無いようなデザインに変える必要があると考えられる。(図8(b))また「思ったより強く押し込まないといけなかった」「傾けただけで押し込み判定にされた」などといった意見があり、どの程度の圧力を押し込みと思うかは個人差が大きいため、押し込みの閾値のキャリブレーションが必要であることがわかった。

選択方法を順位付けしてもらった結果では、実験参加者12名中9名がRDを1位としており、RDが最もユーザに受け入れられやすい選択手法であるといえる。また2位を1HPか2HPにするかは半分に分かれており、2HPで用いた押し込み動作に好感を持たなかったかどうかで順位が変動していると見られる。

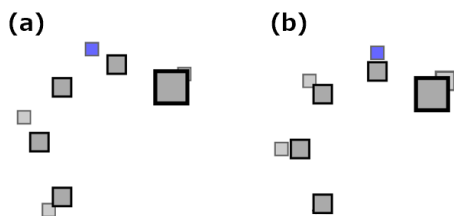


図8 (a): 選択ターゲット数が奇数の時の2HP (b): 二段目のターゲットが必ず一段目の後ろに存在するように調整した2HP

7. まとめ

本研究ではスマートフォンの片手操作時のターゲット選択において、選択可能なターゲット候補を指に近い位置に再配置することで、最小限の親指操作でターゲット選択を可能にする手法を提案した。具体的にはOne Half-Pie (1HP), Two Half-Pie (2HP), RailDragger (RD)の3手法を実装・評価した。実験の結果から、RDが最もユーザに受け入れられやすく、短時間での選択が可能であることが分かった。

参考文献

- [1] Daniel Vogel and Patrick Baudisch. Shift: A Technique for Operating Pen-Based Interfaces Using Touch. In Proc. CHI '07, p.657-666. (2007).
- [2] Koji Yatani, Kurt Partridge, Marshall Bern, and Mark W. Newman. Escape: A Target Selection Technique Using Visually-cued Gestures. In Proc.CHI '08, p.286-294. (2008).
- [3] Oscar Kin-Chung Au, Xiaojun Su, and Rynson W.H. Lau. LinearDragger: a Linear Selector for One-finger Target Acquisition. In Proc.CHI '14, p.2607-2616. (2014).
- [4] Christian Corsten, Marcel Lahaye, Jan Borchers, and Simon Voelker. ForceRay: Extending Thumb Reach via Force Input Stabilizes Device Grip for Mobile Touch Input. In Proc.CHI '19. (2019).
- [5] Peter Brandl, Jakob Leitner, Thomas Seifried, Michael Haller, Bernard Doray, and Paul To. Occlusion-Aware Menu Design for Digital Tabletops. In Proc.CHI EA '09, p.3223-3228. (2009).
- [6] Huy Viet Le, Sven Mayer, Patrick Bader, and Niels Henze. Fingers' Range and Comfortable Area for One-Handed Smartphone Interaction Beyond the Touchscreen. In Proc.CHI '18, Paper 31, 12 pages. (2018).
- [7] Joanna Bergstrom-Lehtovirta and Antti Oulasvirta. Modeling the Functional Area of the Thumb on Mobile Touchscreen Surfaces. In Proc.CHI '14, p.1991-2000. (2014).
- [8] Apple Inc. 2019: 3DTouch - User Interaction - iOS - Human Interface Guidelines(online), 入手先 <<https://developer.apple.com/design/human-interface-guidelines/ios/user-interaction/3d-touch/>>(2019.12.23)
- [9] Leah Findlater, Alex Jansen, Kristen Shinohara, Morgan Dixon, Peter Kamb, Joshua Rakita, and Jacob O. Wobbrock. Enhanced Area Cursors: Reducing Fine Pointing Demands for People with Motor Impairments. In Proc.UIST '10, p.153-162. (2010).
- [10] Karlson A.K., Bederson B.B. ThumbSpace: Generalized One-Handed Input for Touchscreen-Based Mobile Devices. In: Baranauskas C., Palanque P., Abascal J., Barbosa S.D.J. (eds) Human-Computer Interaction - INTERACT 2007. INTERACT 2007. Lecture Notes in Computer Science, vol 4662. (2007).