Vol.2019-HCI-185 No.9
Vol.2019-UBI-64 No.9
2019/12/10

画面拡張時における ミラーリング領域の表示方法に関する比較調査

漆山 裕太[1,a)]　志築 文太郎[2,b)]　高橋 伸[2,c)]

概要：我々は，ディスプレイを見ながらのスマートフォン上での操作を可能にし，かつディスプレイ全域にてコンテンツを閲覧可能にすることを目的とした，外部ディスプレイを用いたスマートフォンの画面拡張手法を提案している．提案手法は，スマートフォンの表示をそのままディスプレイに映し，さらにスマートフォンの画面に収まらないコンテンツをその外側に表示することにより探索を必要とする作業を速めることが示唆されている．ただし，我々の画面拡張手法には，様々な設計要素が存在する．本研究にて，我々はこれらの設計要素のうち，ミラーリング領域を示す表示方法として検討した 4 種を用いる場合のターゲット選択性能およびユーザビリティを比較する実験を行った．その結果，ミラーリング領域を示す枠を何も表示しない方法を採用すべきでないことがわかった．

1. はじめに

会議室やパブリックスペースには，デスクトップおよびラップトップ（本論文では以降「旧来型 PC」と呼ぶ）を接続して用いることを想定して表示用設備であるモニタやプロジェクタが整備されてきた．一方で，近年にはスマートフォンが旧来型 PC を上回るほどに民間に広く普及している．ゆえに，スマートフォンのみを用いて旧来型 PC を用いる場合と同等に既存の表示用設備を用いてプレゼンテーションや会議が行えるようになれば，出張時の荷物量の削減，節電，あるいは個人端末の一本化による設備管理コスト削減が見込まれる．したがって，これら既存の表示用設備をスマートフォンにおいても利活用可能にするための表示手法および操作手法が必要になると考えられる．

スマートフォンにより表示用設備であるモニタやプロジェクタへコンテンツを表示する既存手法として，ミラーリングとキャスティングが民生用に普及する AirPlay[*1]，Chromecast[*2]，および Miracast[*3]において用いられている．ミラーリングはスマートフォンの画面上の表示を GUI を含めてそのまま外部ディスプレイ上に投影する手法であり，キャスティングはスマートフォン上の映像および画像コンテンツのみを外部ディスプレイ上に表示し，操作のための GUI をスマートフォン上のみに表示する手法である．しかし，ミラーリングでは外部ディスプレイ上に表示されるコンテンツがスマートフォンの画面上に表示されるコンテンツに制限され，キャスティングでは外部ディスプレイを見ながらの手元のスマートフォン上での操作には困難が伴う問題が生じる．

我々はこれらの課題を解決するためのスマートフォンによる外部ディスプレイへの表示手法として，画面拡張手法を提案している [1, 2]．提案手法は，スマートフォンの表示を GUI を含めてそのまま外部ディスプレイ上に投影し，さらにスマートフォンの画面に収まらないコンテンツをその外側に表示する．このアプローチは，大画面ディスプレイ上の一部領域を切り抜くことにより大画面ディスプレイ上のコンテンツをスマートフォン上にて操作する研究 [3] とは反対に，スマートフォン上に表示できない画面外の領域を外部ディスプレイに表示することによりスマートフォンの操作の効率化を図るものである．また，提案手法は外部ディスプレイ上にてコンテンツを広く表示しながら手元のスマートフォンの画面上にてコンテンツの詳細を確認できるため，Focus plus context screens [4] や Overview+Detail [5] と同様に，文書理解やターゲット探索のタスクに適すると考えられる．実際に，我々のこれまでの研究にて，画面拡張手法はスマートフォンの画面外に位置するターゲット選択を高速化し，探索を必要とする作業を速めることが示唆されている．さらに，提案手法は外部ディスプレイが利用可能な場合にスマートフォンの表示

1 筑波大学コンピュータサイエンス専攻
2 筑波大学システム情報系
a) urushiyama@iplab.cs.tsukuba.ac.jp
b) shizuki@cs.tsukuba.ac.jp
c) takahashi@cs.tsukuba.ac.jp
*1 https://www.apple.com/airplay/
*2 https://www.google.com/chromecast/built-in/
*3 https://www.wi-fi.org/discover-wi-fi/miracast

© 2019 Information Processing Society of Japan

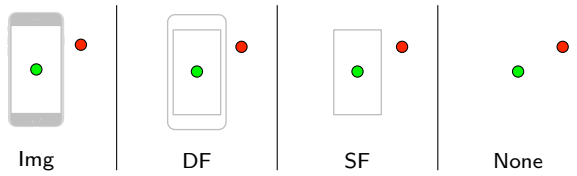

図 1　ミラーリング領域を示す表示方法として検討した 4 種.

を一切変更せずに外部ディスプレイ上に投影するため，外部ディスプレイが利用可能かどうかに関わらず，スマートフォン上におけるコンテンツの表示方法および操作方法に同一のものを用いることができる．

ただし，我々の画面拡張手法には，様々な設計要素が存在する．具体例として以下が挙げられる：

- 外部ディスプレイ上に投影されたスマートフォンの画面表示領域（ミラーリング領域）の表示方法
- ミラーリング領域とスマートフォンの実画面領域とのスケール比
- コンテンツの縦横スクロールのための操作方法

これらの設計要素を検証し最適化することにより，画面拡張手法を用いたスマートフォン上での作業のさらなる効率化を行う必要がある．

本研究にて，我々はこれらの設計要素のうち，手始めに外部ディスプレイ上のミラーリング領域を示す表示方法を決定するため，ミラーリング領域を示す表示方法として検討した 4 種（図 1）をそれぞれ用いる場合における，ターゲット選択性能およびユーザビリティを比較するためのターゲット選択実験を行った．

2. 関連研究

提案手法は，スマートフォンの画面外側に位置するコンテンツを大画面ディスプレイ上に表示することにより画面を拡張する手法である．したがって，本節ではスマートフォンと大画面ディスプレイを用いたインタラクション，画面外側に位置するコンテンツに対するインタラクション，およびモバイル端末画面の拡張に関する先行事例を述べ，それらに対する提案手法の位置付けを説明する．

2.1 スマートフォンと大画面ディスプレイを用いたインタラクション

スマートフォンと大画面ディスプレイを用いたインタラクション手法が研究されている．Rashid ら [3] は，大画面ディスプレイ上の一部をスマートフォンの画面上に投影し，投影されたターゲットをタップにより選択させる Proximal Selection と，大画面ディスプレイ上の一部を拡大し，スマートフォンを向けたターゲットをスマートフォンの画面のタップにより選択させる Distal Selection を提案した．また，実験の結果，前者が複数のターゲット選択が生じる複雑なタスクに，後者が単純なタスクに適していると報告した．また，Zadow ら [6] は，大画面ディスプレイ上の共同作業領域を各人のスマートフォンを用いて操作する手法を提案した．この手法は，大画面ディスプレイの両端にある各人の作業領域上に QR コードを表示し，コードをスキャンしたスマートフォンをリモートコントローラとして利用可能にする．Paay ら [7] は，先行研究にて提案された大画面ディスプレイとスマートフォンとのインタラクションにおけるオブジェクトの操作手法を Pinching，Swiping，Swinging，Flicking の 4 つに大別し，それぞれの手法を評価した．Paay らの区分では，Pinching はピンチによるつかむ動作により，Swiping はスワイプによるはじく動作により，Swinging はスマートフォンを持つ手を振る動作により，Flicking はスマートフォンを瞬時に傾ける動作により，オブジェクトを大画面ディスプレイとスマートフォンとの間にて移動させる手法を指す．Paay らは Swiping が最も効率的，高速かつ正確な操作手法であり，次点に Swinging が適した操作手法であると報告している．

Rashid らの手法および Zadow らの手法は，大画面ディスプレイ上にあるコンテンツおよび作業領域をスマートフォン上にて操作することを主眼としている一方で，我々の画面拡張手法はスマートフォン上にあるコンテンツを大画面ディスプレイ上に拡張して表示する．Paay らの区分した操作手法は大画面ディスプレイとスマートフォンの画面を異なる作業領域として用いることを想定している一方で，我々の画面拡張手法は大画面ディスプレイをスマートフォンの画面を拡張した表示領域として用いる．

2.2 画面外側に位置するコンテンツに対するインタラクション

携帯端末の画面外側に位置するコンテンツを表示あるいは選択可能にするインタラクション手法が研究されている．Baudisch と Rosenholtz [8] は，画面外側に位置するオブジェクトの存在とその位置を，オブジェクトを中心とする画面の端まで広がるリングを表示することによりユーザに示す表示手法である Halo を提案した．Gustafson ら [9] は，多数のオブジェクトに対して視認性が低下する Halo の欠点を解決するため，リングの代替として画面外側のオブジェクトの位置を頂点とする二等辺三角形を用いる Wedge を提案した．Irani ら [10] は，始点から指定した方向へ伸びる半直線を描画し，半直線が衝突する位置にある画面外側のオブジェクトのプロキシを半直線の根元側に表示することにより，プロキシを選択してそのオブジェクトの位置まで表示を移動可能な操作手法である Hop を提案した．Hossain ら [11] は，画面外側に位置するオブジェクトの位置を画面端にドットとして表現し，画面端の領域をドットごとに各オブジェクトを選択するための領域に分割することにより，画面外側のオブジェクト選択を可能にする手法である EdgeSplit を提案した．

これらの先行研究は，画面外側に位置するコンテンツを同じ画面上にて表示あるいは選択することを可能にする．一方で我々の画面拡張手法は，画面外側に位置するコンテンツを異なる画面，すなわち大画面ディスプレイ上にて表示することを可能にする．また，画面拡張手法は手元にて操作する端末の画面上の表示に対する変更を伴わないため，これら先行研究との併用が可能である．

2.3 モバイル端末画面の拡張

モバイル端末の画面の表示領域を拡張する手法が研究されている．Lucero ら [12] および Nielsen ら [13] は，平面上に置いたモバイル端末の周囲に他のモバイル端末を置くことにより，複数端末の画面を横断するように表示領域を拡張することにより，複数人での写真の受け渡しやオフィスのチーム作業を行う手法を提案した．Seifert ら [14] は，モバイル端末の画面上と接続されたディスプレイ上にコンテンツとユーザインタフェースを分散させて再配置することにより，モバイル端末の表示領域と操作領域を拡張する手法である MobIES を提案した．Seifert ら [14] の手法の他にも，モバイル端末の画面の操作領域を拡張する手法が研究されている．Butler ら [15] は端末側面に装着した赤外線近接センサを，Abe ら [16] はスタイラスに取り付けた永久磁石と端末内蔵の磁力計を，Rateau ら [17] は端末のインカメラとミラーを用いて，それぞれ独立にスマートフォンの画面外側における入力操作を提案した．

これらの先行研究のうち，モバイル端末の画面の表示領域を拡張するもの [12–14] と同様に，我々の画面拡張手法は大画面ディスプレイ上にスマートフォンの画面上の表示領域を拡張する．その中でも，画面拡張手法は Lucero ら [12] および Nielsen ら [13] と同様に，スマートフォン上のコンテンツを，スマートフォン上の表示を保ったまま他の表示装置上へと拡張するアプローチをとる．

3. 実験

外部ディスプレイ上のミラーリング領域の表示方法として検討した 4 種をそれぞれ用いた場合における，ターゲット選択性能およびユーザビリティを比較するため，ターゲット選択をタスクとした実験を行った．

3.1 設計

研究室内の男性 8 人を実験参加者（P_1–P_8）とした．実験参加者の年齢は平均 22.6 歳（標準偏差 0.52 歳）だった．実験参加者は全員が右利きであり，普段からスマートフォンを常用していた．

外部ディスプレイとして 49 インチ 4K モニタ（I-O DATA，EX-LD4K492DB）をフル HD 解像度にて用い，スマートフォンとして iPhone 7（Apple，Model A1779）を用いた．スマートフォンと外部ディスプレイとの接続には Apple TV 4K（Model A1842）を介した AirPlay を用い，スマートフォン上と外部ディスプレイ上のターゲットの大きさを実寸にて同一とした．外部ディスプレイに対して実験参加者は真正面から対峙し，2 m 離れた位置にある椅子に座った状態にて実験に参加した．

外部ディスプレイ上のミラーリング領域を示す表示方法（V）として検討した以下 4 種それぞれにおいて同様のタスクを行った：

- スマートフォンの画像を表示する（Img，図 1 左上）
- スマートフォンの外形と画面の枠をグレーの線により表示する（DF，図 1 右上）
- スマートフォンの画面の枠のみをグレーの線により表示する（SF，図 1 左下）
- 枠を何も表示しない（None，図 1 右下）

Img は，実際の画像を用いることにより，ユーザがミラーリング領域の大きさを把握しやすくなることを期待した方法である．DF は，Img 同様にユーザがミラーリング領域の大きさを把握しやすくなるのみならず，Img とは異なりターゲットと重なって表示される領域を削減することにより，いち早くユーザがターゲットを発見できることを期待した方法である．SF は，Img と DF とは異なりスマートフォンの外形に関する情報を提示しない方法である．ミラーリング領域を示す視覚情報を何も表示しない None は，ミラーリング領域を示す視覚情報が有用であるかを検証するための方法である．

3.1.1 タスク

タスクは 2 つのターゲットを順にタップするターゲット選択である．実験参加者はまず，スマートフォンと外部ディスプレイ双方の中心に出現する 1 番目の赤色の円形ターゲットをタップする．次に，1 番目のターゲットを始点とした特定の距離および方向に出現する 2 番目の赤色の円形ターゲットを，必要に応じてスワイプによりスクロールした後にタップにより選択する．2 つの連続するターゲット選択を 1 タスクとするため，1 番目のターゲット選択失敗時には同一の条件にてタスクを再度実施した一方で，2 番目のターゲット選択失敗時には次のタスクへと移行した．ターゲット選択成功時および失敗時には，それぞれ異なる効果音および振動のフィードバックが実験参加者に与えられた．また，選択に成功した際に，視覚的フィードバックとして 1 番目のターゲットが緑色へと変化した．

また，3 種のターゲット幅（$W = 7.0$，14.1，および 21.1 mm），3 種のターゲット間距離（$D = 56.3$，59.8，および 63.4 mm），ならびに 12 種の，1 番目のターゲットから 2 番目のターゲットまでの方向（$A_z = 0°$ から 330° まで 30° 刻み）の計 108 の組み合わせに対してランダムな順にタスクを実施することを 1 セッションとした．なお，ター

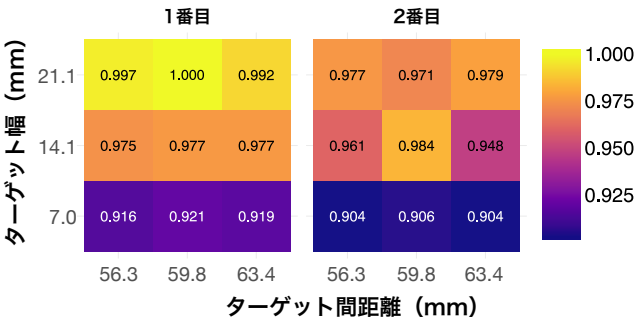

図 2　ターゲット幅およびターゲット間距離の組み合わせに対する 1 番目および 2 番目の平均ターゲット選択精度.

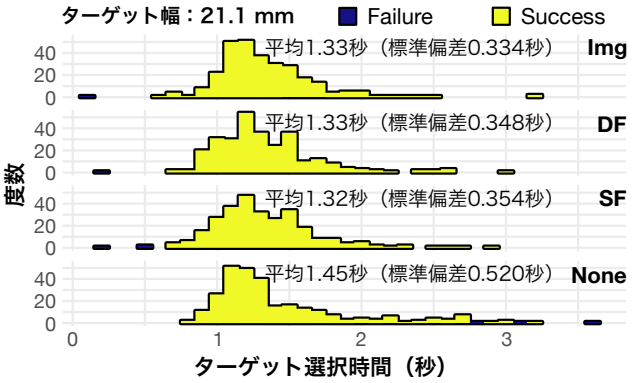

図 3　ターゲット幅が 21.1 mm のときの表示方法毎のターゲット選択時間.

ゲット幅およびターゲット間距離は，Apple の推奨する最小ターゲットサイズである 44 × 44 pt [18] の iPhone 7 上の一辺の実寸である 7.04 mm を基準として，ターゲット幅では 1 倍，2 倍，および 3 倍，ならびにターゲット間距離では 8 倍，8.5 倍，および 9 倍となるように指定した．また，ターゲット間距離の最小値は，iPhone 7 の画面の高さの半分を上回るものとした．

3.1.2　手順

被験者内実験として，実験参加者は表示手法毎に 1 セッションずつタスクを実施した．その際，各表示方法のセッション実施順はラテン方格法を用いて決定した．実験開始時に，実験者は実験参加者に対して，実験時にはスマートフォンを右手のみで把持し，右手親指のみで操作を行うように指示した．また，スマートフォンの画面を見ることを許可するものの，2 番目のターゲットのほとんどはスマートフォンの画面外側に出現することに注意するように指示した．また，各表示方法のセッション間には実験参加者に System Usability Scale（SUS）[19] を用いたアンケートをセッションに対する感想の自由記述欄とともに記入させ，記入後には実験参加者に最大 5 分間の休憩をとってもらった．実験は 1 人あたり休憩を含め平均 31 分，最大 38 分かかった．

3.2　結果

本節では実験により得られた結果に関して，まず定量的な評価に基づくターゲット選択性能を報告し，その後に定量的な SUS スコアおよび実験参加者からのコメントに基づくユーザビリティを報告する．なお，本節では有意水準を 0.01 とする．

3.2.1　ターゲット選択性能

ターゲット選択性能を示す従属変数として，ターゲット選択精度（Acc，ターゲットへのタップ回数のうちターゲットのタップに成功した割合），ターゲット選択時間（T，1 番目のターゲット選択から 2 番目のターゲット選択までの所要時間），クラッチ回数（C_F，パン操作のために指を画面に触れてから離した回数）およびクラッチ総距離（C_D，パン操作によりスクロールさせた距離の合計）を用いた．実験設計より，独立変数としてターゲット幅 W，ターゲット間距離 D，方向 Az，実験参加者 P，および表示方法 V が存在する．1 番目のターゲットは必ず画面中央に表示されるため，外部ディスプレイ上の表示を見て位置を探索する必要が生じる 2 番目のターゲットと比較して表示方法の影響を受けにくいと考えられる．したがって，以降はまずターゲット選択性能に与えるターゲット幅およびターゲット間距離の影響を分析し，そのうち有意な相関を与える独立変数の各群に関して 1 番目と 2 番目とのターゲット選択精度間に有意差が示されるかを分析することにより，ターゲット幅およびターゲット間距離以外の要因による影響を調査する．その後，有意差が示された群に関して，ターゲット選択精度，ターゲット選択時間，クラッチ回数，およびクラッチ総距離についてターゲット幅およびターゲット間距離を除く独立変数の主効果を分析する．

ターゲット幅およびターゲット間距離

ターゲット幅およびターゲット間距離の組み合わせに対する 1 番目および 2 番目の平均ターゲット選択精度を算出した（図 2）．図より，1 番目および 2 番目の平均ターゲット選択精度はターゲット間距離よりもターゲット幅の影響を強く受ける傾向が見られた．ケンドールの順位相関係数に基づく無相関検定の結果，1 番目および 2 番目のターゲット選択精度はともにターゲット幅との有意な正の相関が示された（それぞれ $p_{Acc_1,W} = 2.6 \times 10^{-24}; \tau = 0.16$，$p_{Acc_2,W} = 1.3 \times 10^{-14}; \tau = 0.12$）一方で，ともにターゲット間距離との有意な相関は示されなかった（それぞれ $p_{Acc_1,D} = 1$，$p_{Acc_2,D} = 0.71$）．

ターゲット選択精度へのターゲット幅の影響が判明したため，続いてターゲット幅の各群に関して 1 番目と 2 番目とのターゲット選択精度間に有意差が示されるかを分析した．マン・ホイットニーの漸近 U 検定の結果，1 番目と 2 番目とのターゲット選択精度間には $W = 21.1$ mm のときのみ有意差が示された（$p_{Acc_{1-2},W=7.0} = 0.22$，$p_{Acc_{1-2},W=14.1} = 0.091$，および $p_{Acc_{1-2},W=21.1} = 1.86 \times 10^{-5}$）．したがって 2 番目

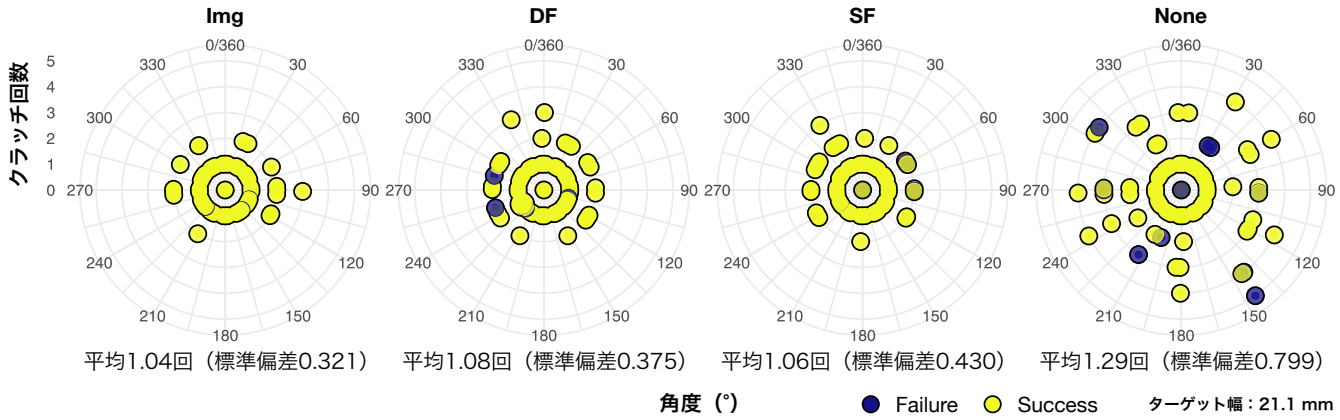

図 4 ターゲット幅が 21.1 mm のときの表示方法毎のクラッチ回数．各点はタスクを表し，偏角は 1 番目から 2 番目のターゲット選択位置までの方向を，動径はクラッチ回数を示す．

のターゲット選択精度は，$W = 21.1$ mm のときにターゲット幅以外の要因による影響を受けて 1 番目のターゲット選択精度よりも低くなったと考えられる．以降は 1 番目および 2 番目のターゲット選択精度のうち，ターゲット幅 $W = 21.1$ mm のものに着目した．

ターゲット選択精度

クラスカル・ウォリス検定の結果，2 番目のターゲット選択精度に対して実験参加者の有意な主効果が示された（$p_{Acc_2,P} = 1.2 \times 10^{-24}$）．Holm 補正を用いたマン・ホイットニーの漸近 U 検定による多重比較の結果，平均ターゲット選択精度が最も低い 0.84（標準偏差 0.37）だった P_6 のみが，他の実験参加者と比較して有意に 2 番目のターゲット選択精度が低いことが示された（それぞれ $p_{Acc_2,P_{1-6}} = p_{Acc_2,P_{2-6}} = p_{Acc_2,P_{4-6}} = p_{Acc_2,P_{6-8}} = 1.3 \times 10^{-5}$，$p_{Acc_2,P_{3-6}} = p_{Acc_2,P_{5-6}} = 2.0 \times 10^{-4}$，$p_{Acc_2,P_{6-7}} = 5.1 \times 10^{-5}$）．ただし，クラスカル・ウォリス検定の結果，1 番目のターゲット選択精度に対しては実験参加者の有意な主効果が示されなかった（$p_{Acc_1,P} = 0.028$）．また，クラスカル・ウォリス検定の結果，2 番目のターゲット選択精度に対して表示方法，ターゲット間距離，および方向の有意な主効果は示されなかった（それぞれ $p_{Acc_2,V} = 0.45$，$p_{Acc_2,D} = 0.77$，および $p_{Acc_2,Az} = 0.32$）．

ターゲット選択時間

ターゲット幅 $W = 21.1$ mm のときのターゲット選択時間を図 3 に示す．加えてターゲット選択成功時のターゲット選択時間を成功時ターゲット選択時間（T_S）として算出したものの，マン・ホイットニーの漸近 U 検定の結果，ターゲット選択時間と成功時ターゲット選択時間の間には有意差はなかった（$p_{T-T_S} = 0.64$）．

図 3 より，None の場合のターゲット選択時間は他の表示方法と比較してわずかに長くなる傾向が見られたものの，クラスカル・ウォリス検定の結果，ターゲット選択時間に対する表示方法の有意な主効果は示されなかった（$p_{T,V} = 0.58$）．一方で，クラスカル・ウォリス検定の結果，ターゲット選択時間に対する実験参加者，ターゲット間距離，および方向の有意な主効果が示された（それぞれ $p_{T,P} = 4.8 \times 10^{-71}$，$p_{T,D} = 1.5 \times 10^{-3}$，および $p_{T,Az} = 2.3 \times 10^{-53}$）．Holm 補正を用いたマン・ホイットニーの漸近 U 検定による多重比較の結果，平均ターゲット選択時間が最も長い 1.98 秒（標準偏差 0.506 秒）だった P_6 は，他の実験参加者と比較して有意にターゲット選択時間が長いことが示された（$p_{T,P_{1-6}} = 3.0 \times 10^{-37}$，$p_{T,P_{2-6}} = 4.1 \times 10^{-39}$，$p_{T,P_{3-6}} = 7.3 \times 10^{-31}$，$p_{T,P_{4-6}} = 4.4 \times 10^{-27}$，$p_{T,P_{5-6}} = 3.9 \times 10^{-44}$，$p_{T,P_{6-7}} = 3.8 \times 10^{-29}$，$p_{T,P_{6-8}} = 1.4 \times 10^{-32}$）．また，平均成功時ターゲット選択時間が最も長い 1.95 秒（標準偏差 0.477 秒）だった P_6 は，他の実験参加者と比較して有意に成功時ターゲット選択時間が長いことが示された（$p_{T_S,P_{1-6}} = 3.3 \times 10^{-34}$，$p_{T_S,P_{2-6}} = 2.8 \times 10^{-36}$，$p_{T_S,P_{3-6}} = 1.5 \times 10^{-27}$，$p_{T_S,P_{4-6}} = 2.8 \times 10^{-24}$，$p_{T_S,P_{5-6}} = 2.0 \times 10^{-40}$，$p_{T_S,P_{6-7}} = 7.4 \times 10^{-26}$，$p_{T_S,P_{6-8}} = 5.4 \times 10^{-30}$）．

クラッチ回数およびクラッチ総距離

ターゲット幅 $W = 21.1$ mm のときの表示方法毎のクラッチ回数およびその分布を図 4 に示す．クラスカル・ウォリス検定の結果，クラッチ回数に対して表示方法の有意な主効果が示された（$p_{C_F,V} = 2.2 \times 10^{-3}$）．また，Holm 補正を用いたマン・ホイットニーの漸近 U 検定による多重比較の結果，None では Img と比較して有意にクラッチ回数が多いことが示された（$p_{C_F,\mathrm{None-Img}} = 1.9 \times 10^{-3}$）．一方で，クラスカル・ウォリス検定の結果，クラッチ総距離に対する表示方法の有意な主効果は示されなかった（$p_{C_D,V} = 0.15$）．この結果は，None では他の表示方法，特に Img と比較して短い距離のパン操作が高い頻度にて行われたことを示す．

3.2.2 ユーザビリティ

SUS を用いたアンケートの集計結果を図 5 および図 6 に示す．図 5 に示すように DF の平均 SUS スコアが 85.0 と最も高くなったものの，クラスカル・ウォリス検定の結果，

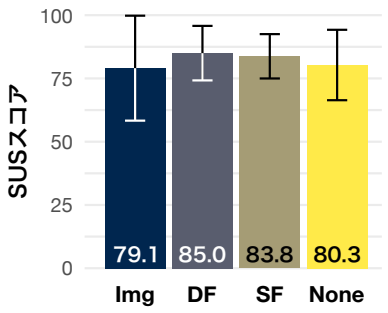

図 5　SUS スコアの表示方法毎の平均．エラーバーは標準偏差を表す．

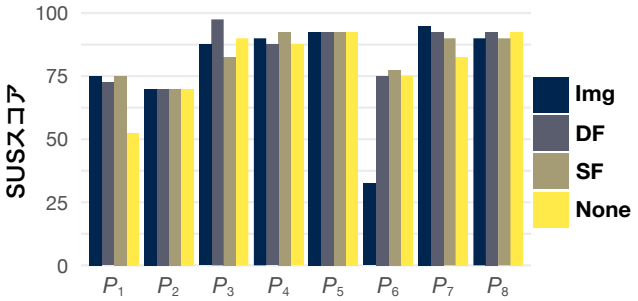

図 6　実験参加者および表示方法毎の SUS スコア．

SUS スコアに対する表示方法の有意な主効果は示されなかった（$p_{SUS,V} = 0.88$）．また，図 6 に示すように実験参加者毎に SUS スコアが異なる傾向が見られた．クラスカル・ウォリス検定の結果，SUS スコアに対する実験参加者の有意な主効果が示された（$p_{SUS,P} = 1.1 \times 10^{-3}$）ものの，Holm 補正を用いたマン・ホイットニーの漸近 U 検定による多重比較の結果，すべての実験参加者の組において SUS スコアの有意差はなかった（$p_{SUS,Px-y} \geq 0.37$）．

また，ケンドールの順位相関係数に基づく無相関検定の結果，SUS スコアに対する平均ターゲット選択精度，平均ターゲット選択時間，平均クラッチ回数，および平均クラッチ総距離の有意な相関は示されなかった（それぞれ $p_{SUS,\overline{Acc}} = 0.60$，$p_{SUS,\overline{T}} = 0.51$，$p_{SUS,\overline{C_F}} = 0.67$，$p_{SUS,\overline{C_D}} = 0.25$）．

アンケートの自由記述欄および口頭にて実験参加者から得られたコメントのうち，視線移動と各表示方法に対する意見を抜粋したものを表 1 に示す．SF に対して，画面枠のみ表示されるために DF および Img よりも見やすいという意見が P_1 および P_4 の双方から得られた．また，Img，DF，および SF に対する意見は賛否両論であった一方で，None に対する意見は否定的であった．

3.3　考察

本節では，ターゲット選択性能およびユーザビリティの観点からの考察を順に述べた後に，妥当なミラーリング領域の表示方法を検討する．

3.3.1　ターゲット選択性能

実験結果より，ターゲット選択精度およびターゲット選択時間に対する表示方法の有意な主効果は示されなかった．したがって，少なくとも実験に用いたような単純なタスクにおいては，どの表示方法を選択してもターゲット選択性能への影響がないと考えられる．

一方で，2 番目のターゲット選択精度およびターゲット選択時間に対する実験参加者の有意な主効果が示された．特に，P_6 はターゲット選択精度が低く，ターゲット選択時間および成功時ターゲット選択時間がともに長かった．この原因として，P_6 が大画面ディスプレイを主に見て操作を行い，ミスしたときのみ手元の画面を確認したために，エラーが多くターゲット選択に時間を要した可能性が考えられる．すなわち，本研究における実験ではスマートフォンの画面を見ることを許可していたものの，スマートフォンの画面を極力見ない，あるいは画面が見えない条件ではターゲット選択性能が異なる可能性がある．実際にクラスカル・ウォリス検定の結果，P_6 の 2 番目のターゲット選択精度およびターゲット選択時間に対する表示方法の有意な主効果が示され（それぞれ $p_{Acc_2,V|P_6} = 8.7 \times 10^{-6}$ および $p_{T,V|P_6} = 1.2 \times 10^{-36}$），Holm 補正を用いたマン・ホイッ

表 1　実験参加者から得られたコメント（一部抜粋）．カギ括弧付きのものはアンケートの自由記述欄より，カギ括弧なしのものは口頭にて得られたコメントを表す．

表示方法	回答者	コメント
全般	P_6	大画面ディスプレイを主に見て，ミスしたときに手元の画面を確認した．
	P_8	1 番目のターゲットはスマートフォンを見てタップし，その後にディスプレイをみて 2 番目の位置を確認してから再度手元の画面を確認した．
Img	P_3	「枠に要素がかさなった時みえづらい」
	P_7	距離感が SF よりもイメージできた．
	P_8	DF とあまり変わらない．
DF	P_1	（None と比較して）「枠ありの方が扱いやすい」
	P_7	Img と同じように思える．
SF	P_1	「スマートフォンの形ではなく画面枠のみの方が分かりやすく扱いやすい」
	P_3	「None にくらべた差は少ない」
	P_4	「SF のほうが DF や Img と比べてみやすい」
	P_7	枠があるためわかりやすいものの，おそらくターゲットがあるだろう位置に対してスクロールせずにタップすることが多かった．
	P_8	Img と同じように思える．
None	P_1	「画面枠がないと把握がしにくい」
	P_3	「スマートフォンを見ずに操作することが少し難しい」
	P_6	難しかった．
	P_7	2 回のミスの内 1 回目のミスに気づかなかった．

© 2019 Information Processing Society of Japan

トニーの漸近 U 検定による多重比較の結果，None では他の表示方法と比較して有意に低いターゲット選択精度（平均 0.57，標準偏差 0.50）および有意に長いターゲット選択時間（平均 2.64 秒，標準偏差 0.38 秒）となったことが示された（それぞれ $p_{Acc_2,\mathsf{Img-None}|P_6} = 3.3 \times 10^{-3}$，$p_{Acc_2,\mathsf{DF-None}|P_6} = 6.4 \times 10^{-4}$，ならびに $p_{Acc_2,\mathsf{SF-None}|P_6} = 9.0 \times 10^{-5}$ および $p_{T,\mathsf{Img-None}|P_6} = 1.4 \times 10^{-26}$，$p_{T,\mathsf{DF-None}|P_6} = 6.5 \times 10^{-24}$，ならびに $p_{T,\mathsf{SF-None}|P_6} = 3.3 \times 10^{-25}$）．したがって，スマートフォンの画面を極力見ない，あるいは画面が見えない条件では None を避ける必要がある可能性がある．

また，パン操作の頻度の観点から，None では他の表示方法，特に Img と比較して短い距離のパン操作が高い頻度にて行われたことが明らかになった．これは，枠が表示されていない場合に実験参加者がパン操作による移動量を把握しにくかったためだと考えられる．クラッチ回数が多いことは必ずしもターゲット選択性能に悪影響を与えるわけではないと報告されている [20] ものの，認知負荷を増加させるとも報告されている [21] ため，None は避けるべきであると考えられる．

3.3.2 ユーザビリティ

集計された SUS スコアに対する表示方法の有意な主効果は示されなかった一方で，実験参加者に対する有意な主効果が示された．また，SUS スコアに対して平均ターゲット選択精度，平均ターゲット選択時間，平均クラッチ回数，および平均クラッチ総距離との有意な相関は示されなかった．したがって，表示方法に対するユーザビリティの評価は人それぞれであり，ターゲット選択性能との相関関係はないと考えられる．

一方で，SUS スコアの表示方法間の有意差はないものの，None に対する否定的なコメントが多く得られた．したがって，None は避けるべきであると考えられる．

3.3.3 妥当なミラーリング領域の表示方法

ターゲット選択性能およびユーザビリティの観点から None は避けるべきであると考えられる．したがって，Img，DF，あるいは SF を採用すべきであると考えられる．Img，DF，および SF のうちいずれを採用すべきかについての指標は明らかでないものの，Img および DF の実装には端末の外形に関する情報が必要なため SF よりも実装難度が高い点を考慮すると SF を採用すべきである，と考えられる．

4. 議論と今後の課題

本節では，今回実施した実験にて検討しなかったその他の設計要素，提案手法とミラーリングおよびキャスティングとの比較，提案手法の利用例に関して順に述べる．

4.1 その他の設計要素

今回実施した実験では，ミラーリング領域とスマートフォンの実画面領域とのスケール比を実寸にて同一とした．しかし，スケール比が異なる場合においては，Img および DF が提示するスマートフォンの外形が実験参加者にとって縦横スクロールの移動量を把握するために有効となる可能性がある．

また，実験ではクラッチの発生しうるパン操作により縦横のスクロールを行わせた．一方で，クラッチの発生しない操作方法を用いる場合においては，None も採用可能であると考えられる．

4.2 ミラーリングおよびキャスティングとの比較

今回実施した実験では，提案手法のミラーリング領域の表示方法を比較検討したため，ミラーリングおよびキャスティングとの比較を行っていない．提案手法の特性をよりよく理解し，提案手法の適した利用例を調査するために，提案手法とミラーリングおよびキャスティングとの差異を調査する必要がある．

4.3 利用例

提案手法の考えられる利用例として，地図アプリケーションおよびカレンダーアプリケーションが挙げられる．地図アプリケーションでは，手元にあるスマートフォンの画面にて地図の詳細を確認しながら，外部ディスプレイにて目的地までの経路全体を近くにいる人々と共有できる．カレンダーアプリでは，手元にあるスマートフォンの画面にてある 1 日の予定を確認しながら，外部ディスプレイにてその週のすべての予定を近くにいる人々と共有できる．これらの利用例では提案手法を周囲の人々との情報共有に用いる．したがって，スマートフォンを操作する人の周囲にて外部ディスプレイ上の表示を見る場合における，ミラーリング領域の表示方法による理解度の差異を検証する必要がある．

5. おわりに

本研究にて，我々はミラーリング領域を示す表示方法として検討した 4 種（Img，DF，SF，None）を用いる場合のターゲット選択性能およびユーザビリティを比較するためのターゲット選択実験を行った． 実験にて得られたターゲット選択性能およびユーザビリティの観点から，None は避けるべきであると考えられることがわかった．Img，DF あるいは SF のいずれを採用すべきかについての指標は明らかでないものの，Img および DF の実装には端末の外形に関する情報が必要なため SF よりも実装難度が高い点を考慮すると SF を採用すべきである，と考えられる． 今後は今回の実験にて検討しなかった設計要素に関する調査および提案手法とミラーリングおよびキャスティングとのより複雑なタスクを用いた比較を行う予定である．

© 2019 Information Processing Society of Japan

参考文献

[1] 漆山裕太，志築文太郎，高橋　伸：外部ディスプレイを用いたスマートフォンの画面拡張手法の予備調査，第 27 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 2019, 日本ソフトウェア科学会 (2019).

[2] Urushiyama, Y., Shizuki, B. and Takahashi, S.: Preliminary Study of Screen Extension for Smartphone Using External Display, *Symposium on Spatial User Interaction*, SUI '19, New York, NY, USA, ACM, pp. 29:1–29:2 (online), DOI: 10.1145/3357251.3359750 (2019).

[3] Rashid, U., Kauko, J., Häkkilä, J. and Quigley, A.: Proximal and Distal Selection of Widgets: Designing Distributed UI for Mobile Interaction with Large Display, *Proceedings of the 13th International Conference on Human Computer Interaction with Mobile Devices and Services*, MobileHCI '11, New York, NY, USA, ACM, pp. 495–498 (online), DOI: 10.1145/2037373.2037446 (2011).

[4] Baudisch, P., Good, N. and Stewart, P.: Focus Plus Context Screens: Combining Display Technology with Visualization Techniques, *Proceedings of the 14th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, UIST '01, New York, NY, USA, ACM, pp. 31–40 (online), DOI: 10.1145/502348.502354 (2001).

[5] Cockburn, A., Karlson, A. and Bederson, B. B.: A Review of Overview+Detail, Zooming, and Focus+Context Interfaces, *ACM Comput. Surv.*, Vol. 41, No. 1, pp. 2:1–2:31 (online), DOI: 10.1145/1456650.1456652 (2009).

[6] von Zadow, U., Siegel, A. and Dachselt, R.: Multi-User Multi-Device Interaction with Large Displays at the Point of Sale: An Application Case, *Proceedings of the 2015 International Conference on Interactive Tabletops & Surfaces*, ITS '15, New York, NY, USA, ACM, pp. 343–348 (online), DOI: 10.1145/2817721.2823504 (2015).

[7] Paay, J., Raptis, D., Kjeldskov, J., Skov, M. B., Ruder, E. V. and Lauridsen, B. M.: Investigating Cross-Device Interaction Between a Handheld Device and a Large Display, *Proceedings of the 2017 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '17, New York, NY, USA, ACM, pp. 6608–6619 (online), DOI: 10.1145/3025453.3025724 (2017).

[8] Baudisch, P. and Rosenholtz, R.: Halo: A Technique for Visualizing Off-Screen Objects, *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '03, New York, NY, USA, ACM, pp. 481–488 (online), DOI: 10.1145/642611.642695 (2003).

[9] Gustafson, S., Baudisch, P., Gutwin, C. and Irani, P.: Wedge: Clutter-Free Visualization of Off-Screen Locations, *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '08, New York, NY, USA, ACM, pp. 787–796 (online), DOI: 10.1145/1357054.1357179 (2008).

[10] Irani, P., Gutwin, C. and Yang, X. D.: Improving Selection of Off-Screen Targets with Hopping, *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '06, New York, NY, USA, ACM, pp. 299–308 (online), DOI: 10.1145/1124772.1124818 (2006).

[11] Hossain, Z., Hasan, K., Liang, H.-N. and Irani, P.: EdgeSplit: Facilitating the Selection of Off-Screen Objects, *Proceedings of the 14th International Conference on Human-Computer Interaction with Mobile Devices and Services*, MobileHCI '12, New York, NY, USA, ACM, pp. 79–82 (online), DOI: 10.1145/2371574.2371588 (2012).

[12] Lucero, A., Holopainen, J. and Jokela, T.: *Pass-Them-Around*: Collaborative Use of Mobile Phones for Photo Sharing, *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '11, New York, NY, USA, ACM, pp. 1787–1796 (online), DOI: 10.1145/1978942.1979201 (2011).

[13] Nielsen, H. S., Olsen, M. P., Skov, M. B. and Kjeldskov, J.: JuxtaPinch: Exploring Multi-Device Interaction in Collocated Photo Sharing, *Proceedings of the 16th International Conference on Human-Computer Interaction with Mobile Devices & Services*, MobileHCI '14, New York, NY, USA, ACM, pp. 183–192 (online), DOI: 10.1145/2628363.2628369 (2014).

[14] Seifert, J., Schneider, D. and Rukzio, E.: Extending Mobile Interfaces with External Screens, *Human-Computer Interaction – INTERACT 2013* (Kotzé, P., Marsden, G., Lindgaard, G., Wesson, J. and Winckler, M., eds.), Lecture Notes in Computer Science, Springer Berlin Heidelberg, pp. 722–729 (2013).

[15] Butler, A., Izadi, S. and Hodges, S.: SideSight: Multi-"Touch" Interaction Around Small Devices, *Proceedings of the 21st Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, UIST '08, New York, NY, USA, ACM, pp. 201–204 (online), DOI: 10.1145/1449715.1449746 (2008).

[16] Abe, T., Shizuki, B. and Tanaka, J.: Input Techniques to the Surface Around a Smartphone Using a Magnet Attached on a Stylus, *Proceedings of the 2016 CHI Conference Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*, CHI EA '16, New York, NY, USA, ACM, pp. 2395–2402 (online), DOI: 10.1145/2851581.2892376 (2016).

[17] Rateau, H., Rekik, Y., Lank, E. and Grisoni, L.: Ether-Toolbars: Evaluating Off-Screen Toolbars for Mobile Interaction, *Proceedings of the 23rd International Conference on Intelligent User Interfaces Companion*, IUI '18 Companion, New York, NY, USA, ACM, pp. 17:1–17:2 (online), DOI: 10.1145/3180308.3180325 (2018).

[18] Apple Inc.: Adaptivity and Layout - Visual Design - iOS - Human Interface Guidelines - Apple Developer, , available from ⟨`https://developer.apple.com/design/human-interface-guidelines/ios/visual-design/adaptivity-and-layout/`⟩ (accessed 2019-11-18).

[19] Brooke, J.: SUS : A Quick and Dirty Usability Scale, *Usability Evaluation in Industry*, pp. 189–194 (1996).

[20] Nancel, M., Vogel, D. and Lank, E.: Clutching Is Not (Necessarily) the Enemy, *Proceedings of the 33rd Annual ACM Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '15, New York, NY, USA, ACM, pp. 4199–4202 (online), DOI: 10.1145/2702123.2702134 (2015).

[21] Ducasse, J., Macé, M., Oriola, B. and Jouffrais, C.: BotMap: Non-Visual Panning and Zooming with an Actuated Tabletop Tangible Interface, *ACM Transactions on Computer-Human Interaction*, Vol. 25, No. 4, pp. 24:1–24:42 (online), DOI: 10.1145/3204460 (2018).

© 2019 Information Processing Society of Japan