

大画面ディスプレイのための 両眼視差を利用したユーザインタフェースの評価

吉村圭悟^{†1} 小川剛史^{†2}

筆者らはこれまで、ユーザが大画面ディスプレイや大型スクリーンに対して指差し動作を行った際に、ディスプレイに重なって見える指の両眼像を用いた「両眼視差インタフェース」を提案している。プロトタイプでは、RGB-Dカメラから得た指と両眼の座標を用いて指の両眼像の座標を推定しており、指の両眼像を用いた「選択・解除」、「移動」、「拡大縮小」の3つの基本操作を可能にしている。本稿では、二つの実験を通じて、提案インタフェースそのものの性能に関する考察と、前述した三つの操作手法の性能に関する考察を行った。これらの実験から得られた知見をもとに、提案インタフェースの有用性と課題を検討する。

Evaluation of a User Interface Using Binocular Parallax for Large Displays

KEIGO YOSHIMURA^{†1} TAKEFUMI OGAWA^{†2}

1. はじめに

大画面ディスプレイに対する直感的なユーザインタフェースとしてジェスチャ認識を利用した操作方式に関する研究[1,2]が盛んに行われており、特に指差し動作に基づく入力方法[1]はユーザにとってより直感的で分かり易く、様々な場面での応用が期待されている。指差し動作によるインタフェースでは、空間におけるユーザの指先や両眼の座標を基準として、画面上でのポインティング座標を推定している。しかし、大画面ディスプレイや大型スクリーンに表示されたコンテンツを指差しによって操作する場合、直接画面に触れない限り、両眼視差によってコンテンツと指を重ねて見ることができず、タッチパネルのような直感的な操作は困難である。

著者らの研究グループではこれまでに、上記の問題を解決するため、両眼視差によって生じる2つの両眼像を積極的に利用した、直感的で分かり易い新たなユーザインタフェース「両眼視差インタフェース」を提案してきた[3]。図1に示すように、提案インタフェースでは、両眼視差によって2本に見える指を用いて、ディスプレイ上のコンテンツを掴んで移動したり、サイズを変更したりすることが可能で、遠くの大画面ディスプレイをあたかもタッチディスプレイのように直感的に操作できる。

本稿では、提案する両眼視差インタフェースの有効性を検証するために実施した被験者実験およびその評価について述べる。以下2章では大画面ディスプレイのための既存インタフェースについて述べ、3章で両眼視差インタフェ

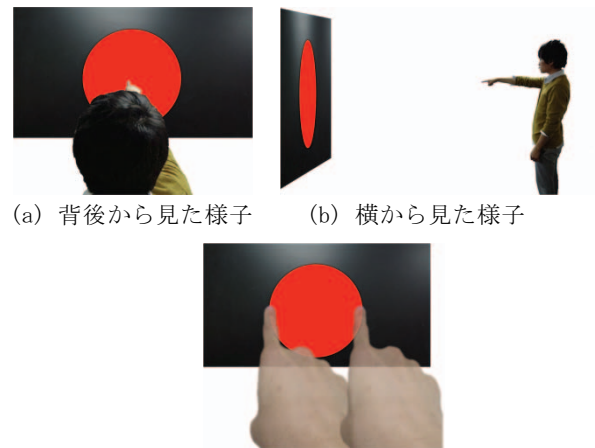


図1 両眼視差インタフェースの概要

ースの概要を述べる。4章でプロトタイプの実装について述べ、5章で評価実験の概要と結果を示し、考察する。最後に6章において本稿のまとめについて述べる。

2. 関連研究

大画面ディスプレイに対するインタフェースとして、これまで多くの手法が提案されている。

ユーザに赤外光レーザポインタを持たせて、画面上に表示されたコンテンツの操作を行う Cheng らの手法[4]や、棒状のデバイスを用いてペン操作のような入力操作を可能にする Cao らの手法[5]では、複雑な入力操作を可能にしているが、操作手法が直感的でなく、ユーザがデバイスを把持する必要がある。

^{†1} 東京大学大学院学際情報学府学際情報学専攻

^{†2} 東京大学情報基盤センター

指差し動作によるジェスチャ入力を利用した操作方法として、Vogelらは、手袋に装着したマーカを、モーションキャプチャカメラシステムを用いて検出し、得られた手の三次元情報からユーザの人差し指方向へのポインタを表示する手法を提案している[1]。一方、新谷ら[6]や井村ら[7]は、指差し位置の推定精度に着目し、新たな指差し位置推定手法を提案している。同様に、両手によるハンドジェスチャを入力として用いた手法[2]も提案されており、ユーザに特別な機器を把持させずに入力を実現している。しかし、これらのジェスチャ動作を用いた手法は、ディスプレイと手を同時に見ようとした際、両眼視差による問題が生じる。

両眼視差の問題に着目した手法としてLeeらの手法[8]がある。この手法では、ユーザの手元に設置した透過ディスプレイ越しに、遠くにある大画面ディスプレイ上でのポインティング操作を実現している。ユーザが操作するポインタは大画面ディスプレイではなく、透過ディスプレイ上に表示しており、大画面ディスプレイに焦点を合わせた場合に、両眼像の重なりによって一つのポインタとして見えるようにしている。両眼視差によってポインタと指を重ねて操作することができない問題は解決しているが、ユーザの手元に位置姿勢が既知の透過ディスプレイが必要で、システムを構築するための制約が大きい。

3. 両眼視差インタフェースの概要

3.1 概要

図2に示すように、通常、操作対象であるディスプレイ上のオブジェクトに焦点を合わせると、手前にある指は二重に見え、オブジェクトを指差すことが難しくなる。一方、指に焦点を合わせるとディスプレイが二重に見え、同様に、オブジェクトを操作できない。

そこで、ディスプレイに焦点を合わせた際に、両眼視差によって現れる2本の指を用いて、オブジェクトを操作する手法を提案する。提案インタフェースでは、大画面ディスプレイやスクリーンに提示されているコンテンツに対して、離れた場所にいるユーザが指差し動作のみを用いて、タッチパネルを操作するようにコンテンツに擬似的に触れて操作する仕組みを提供する。

3.2 選択・解除

「選択」操作は、実際に物体を掴むように、画面上に表示した操作対象となるオブジェクトを両眼視差によって現れる2本の指で挟み込むことで実現し、選択の解除はオブジェクトを掴んでいた両眼視差によって現れる2本の指を離すことで行う。図3にオブジェクトの選択操作の概要を示す。

3.3 移動

「移動」操作は、実際に物体を掴んで移動するように、オブジェクトの両端を、両眼視差によって現れる2本の指で挟み、その状態を維持しながら指差し方向を変更するこ

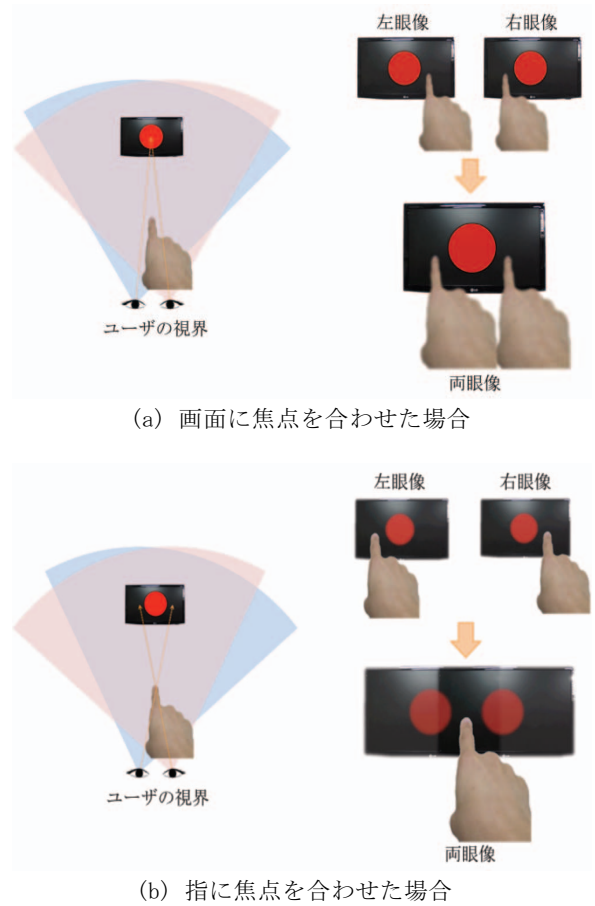


図2 指差し操作における両眼視差の影響

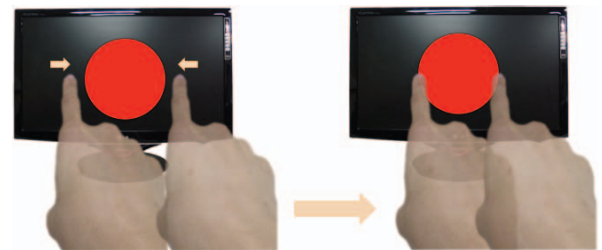


図3 「選択」操作

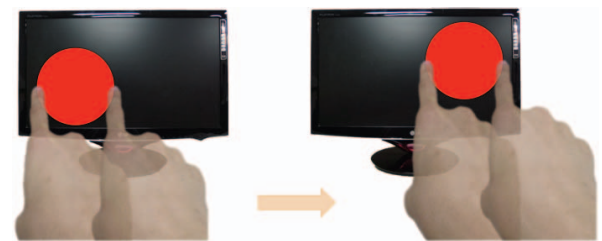


図3 「移動」操作

とで移動、オブジェクトから指を離して操作を完了する。図4にオブジェクトの移動操作の概要を示す。

3.4 拡大縮小

「拡大縮小」操作は、実際に物体の端を持って引き伸ばしたり、押し縮めるように、オブジェクトの両端を、両眼視差によって現れる2本の指で掴んで広げたり、縮めたりすることで実現する。両眼視差によって現れる2本の指の間

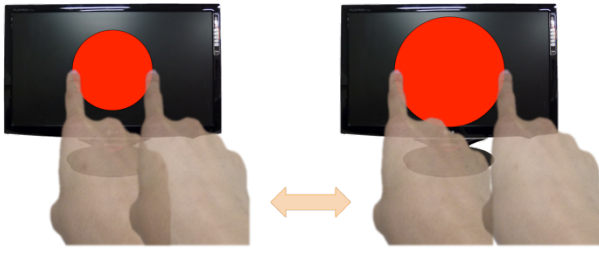


図 5 「拡大縮小」操作

隔を広げる動作は、指を目に近づけることに対応し、逆に指の間隔を狭める動作は、指を目から遠ざける（画面に指を近づける）ことに対応するが、この動作は「選択・解除」操作における指の動作と区別がつかないため、オブジェクトを挿込んだ状態をロックする操作を追加することとした。具体的には、簡単化のため、左手を挙げる動作を、ロック操作に割り当てている。図 5 に「拡大縮小」操作の概要を示す。

4. プロトタイプの実装

プロトタイプを実装する際、大画面ディスプレイから離れた位置にいるユーザが特にデバイスに身に付けることなく、ディスプレイに表示されたコンテンツを操作できるように、まず、空間における指および目の座標は、環境に設置したセンサを用いて検出することとした。提案システムの概略図を図 6 に示す。

本システムは、大画面ディスプレイやスクリーンの利用を想定しているが、現在は以下の環境で実装を行っている。DELL 社製デスクトップ PC (OS: Windows7) に 24 インチディスプレイと Microsoft 社製 Kinect を接続し、Kinect は、ディスプレイの中心から 90cm 上部に設置した。プログラミング言語には Processing を使用し、Kinect のデバイスドライバには SensorKinect を、Kinect を制御するためのライブラリには OpenNI を、ジェスチャ認識等を行うためのライブラリには NITE を、Processing で Kinect を扱うためのライブラリとして Simple-OpenNI を利用している。また、ユーザの移動範囲は、ディスプレイから半径 5m 以内としている。

4.1 指差し位置推定

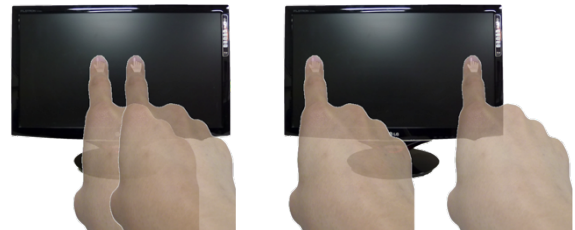
本システムでは、RGB-D カメラから取得できる距離画像と骨格トラッキングを組み合わせることによって取得可能な右手および顔の関節の三次元座標を取得する。これらの座標に、人の平均的な両眼間隔および人差し指の長さをオフセットとして、空間における指先および両眼の三次元座標を推定する。ディスプレイ上での指差し位置（カーソル）の座標を $(Cursor_x, Cursor_y)$ 、指先の三次元座標 $(Finger_x, Finger_y, Finger_z)$ 、目の三次元座標を (Eye_x, Eye_y, Eye_z) とすると、カーソルの座標は以下の式で表される（図 7）。



図 6 提案システムの概略図



図 7 指差し位置推定



(a) 画面に近い場合 (b) 画面から遠い場合

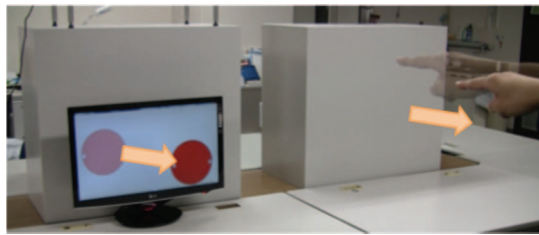
図 8 指の前後移動に伴う視差

$$Cursor_x = Finger_x - Finger_z \frac{Eye_x - Finger_x}{Eye_x - Finger_z} \quad (1)$$

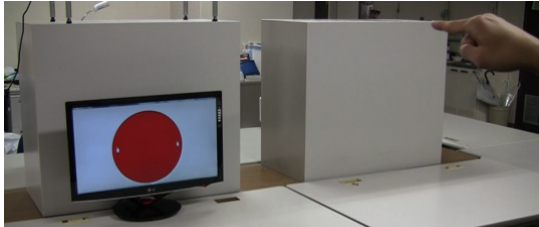
$$Cursor_y = Finger_y - Finger_z \frac{Eye_y - Finger_y}{Eye_x - Finger_z} \quad (2)$$

4.2 各操作の実装

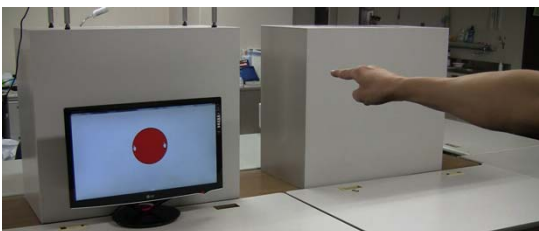
前節で述べた指差し位置推定手法を用いて、ディスプレイ上での指の座標を算出し、ユーザへのフィードバックとして指差し位置が確認できるように、指の両眼像がディスプレイと重なる位置にカーソルを表示する。ユーザは指をディスプレイと顔の間で前後させることにより、カーソルの間隔を変更できる。指先をディスプレイに近づけた場合、すなわちユーザが腕を伸ばした状態では、視差が小さくなるため、カーソル間の距離も小さくなる。一方、指先を顔



(a) 「移動」操作



(b) 「拡大」操作



(c) 「縮小」操作

図 4 各操作の様子

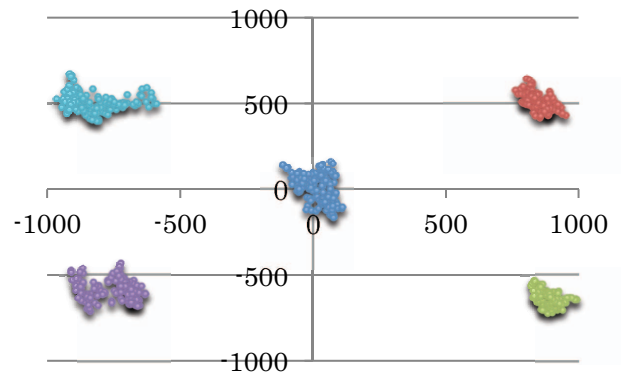
に近づけた場合には、視差が大きくなるため、カーソル間の距離は大きくなる。このような動作を基本に、各操作を実装した。まず、「選択」動作では、カーソルでオブジェクトを挟み、カーソル間の距離とオブジェクトの幅がしきい値以下となった場合に、そのオブジェクトの選択に成功した判定をしている。「移動」操作では、オブジェクト選択中に、オブジェクトの重心座標を両カーソルの中点座標に一致させることで実現している。「拡大縮小」操作では、ユーザが左手を挙げるジェスチャを RGB-D カメラで検出し、左手が上がっている間はカーソルからオブジェクトが離れない、ロック状態となるようにしている。オブジェクトをロックした状態で、ユーザが指を前後させると、カーソルの移動に応じてオブジェクトの幅を変化させている。オブジェクトを移動および拡大縮小している様子を図 9 に示す。

5. 評価実験

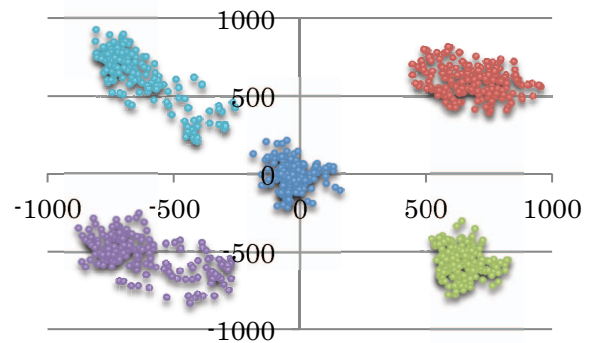
プロトタイプにおける指差し位置の検出精度ならびに操作性を評価するため、以下に述べる 2 種類の実験を実施した。

5.1 実験 1

プロトタイプによる指差し位置の正確さを評価するため、画面に表示された 2 つのカーソルのジッタを測定した。解像度が 1920×1080 のディスプレイを高さ 70cm の机の上に設置し、RGB-D カメラをディスプレイの中心から上部 90cm 離れた位置に設置する。被験者は画面から 225cm 離



(a) 腕を伸ばした状態



(b) 腕を曲げた状態

図 10 カーソルの中点の座標

れた位置に立ち、その位置から動くことなく、指定の位置まで指差し動作を行った。

画面の 5 箇所に表示される各円の両端をユーザが 3 秒間指差しした際のカーソルの中点座標を計測した。表示する円の直径は、被験者が腕を伸ばした状態で両眼視差によって生じる 2 つの指先の幅と同じ値とした。ユーザは右腕を伸ばした状態と右腕を曲げて指先を顔に近づけた状態の 2 パターンの試行を行った。腕を伸ばした状態と腕を曲げた状態での顔から指先までの距離はそれぞれ 67cm と 30cm である。なお、本実験の被験者は、成人男性 1 名である。

5.2 実験結果と考察

実験結果を図 10 に示す。グラフの軸は、画面のピクセル幅に対応させている。計測した 180 フレームについてカーソルの中点座標をプロットしている。

腕を伸ばした状態では、いずれの場所においても、ジッタは 300~400 ピクセルであった。腕を曲げた状態では、伸ばした状態に比べて、ディスプレイの中心を指している場合にはジッタに大きな差は見られないものの、四隅を指している場合には、ジッタが大きくなっていることが分かる。被験者からは、腕を曲げながら四隅を指している場合、両眼視差によって現れる 2 つ指先とカーソルの位置が大きく乖離することがあるとの意見を得た。今後、精度向上のため手法を改めて検討する必要がある。

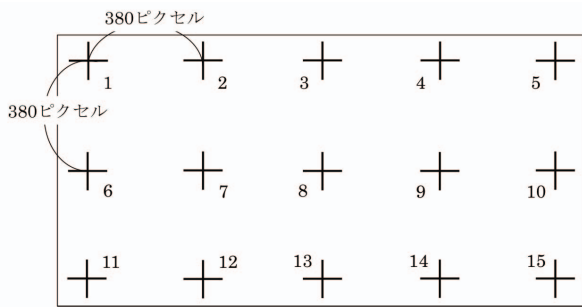


図 11 格子点

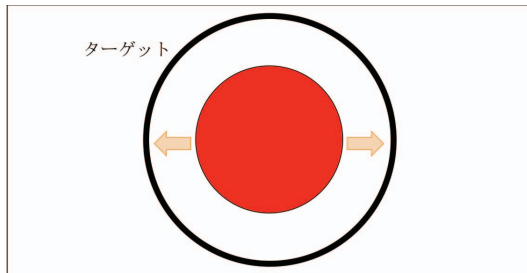


図 12 実験 2-3

5.3 実験 2

プロトタイプの実験性を評価するため、実験 1 と同環境において、以下の 3 種類の実験を行った。被験者は、成人男性 3 名である。なお、被験者 1 は提案インターフェースを使い慣れた者であり、被験者 2, 3 は本実験で始めて使用する者である。

実験 2-1)「選択」操作を評価するため、画面上の 3×5 の格子点上 (図 11) に表示されるオブジェクトを選択させる実験を行った。なお、格子点 15 ヶ所のうち中心点は「選択」操作を開始する初期位置とした。

実験手順を説明する。まず、被験者に腕を伸ばした状態にさせ、両眼視差によって生じる 2 本の指の幅を測定する。以後、この測定値の間隔で、画面の中央に表示された半径 80 ピクセルの 2 つの円を、「選択」操作を行う前のスタート地点とする。スタート地点に指を合わせると、格子点 8 を除く 14 ヶ所の格子点の中からランダムに選ばれた 1 点に円が表示され、その円を被験者に選択させる。選択が完了すれば、その円が消え、再びスタート地点が表示される。以上の、タスクを 14 ヶ所すべての地点で行う。

実験 2-2)「移動」操作を評価するため、格子点 8 から、残りの格子点に表示された円の位置に移動させる操作を行った。格子点は、実験 2-1 と同様に、図 11 の通りである。

実験手順を説明する。格子点 8 に表示された円を選択すると、移動先となる目標位置が残りの格子点からランダムに選ばれ、その場所に円が表示される。被験者には、画面中央にある円を選択して、目標位置に表示されている円に重ねて置くように指示した。オブジェクトを正しく移動できたかどうかは、二つの円の中心間の距離が 20 ピクセル以内であるかどうかを基準に判定した。なお、移動させる円の直径は、被験者が腕を伸ばした状態でちょうど掴むこと

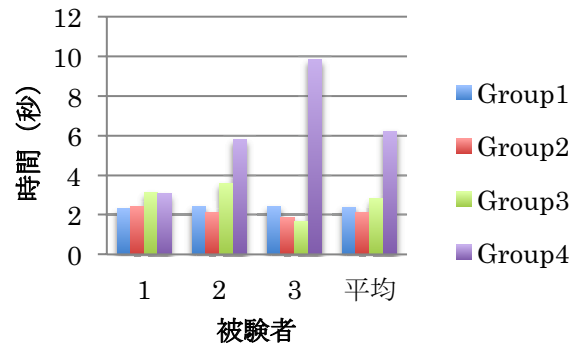


図 13 実験 2-1 の結果

のできる長さとした。以上のタスクを 14 ヶ所すべての地点で行う。

実験 2-3)「拡大縮小」操作を評価するため、円を指示された大きさに変更させる実験を行った。腕を伸ばした状態で両眼視差によって生じる 2 本の指の幅を x ピクセルとした時、直径を $x+160(k-2)$ ($k=1, 2, \dots, 7$)ピクセルとする 7 種類の円を用意した。それぞれを円 1, 円 2, ..., 円 7 と呼ぶ。被験者には、円 3 を基準円とし、指定したサイズに拡大縮小させた。

実験手順を説明する。まず、画面の中央に表示した基準円を被験者が選択しロックすると、ターゲットとなる大きさの円が表示され、被験者にはターゲットと同じ大きさになるよう操作してから、選択を解除させる (図 12)。選択を解除した際に、操作対象の円の直径とターゲットの直径との誤差が ± 20 ピクセルの範囲に収まっていれば、拡大縮小操作は成功したと判定し、操作に失敗した場合には、成功するまで操作させた。円 3 以外の 6 種類の円をターゲットとして以上のタスクを実施した。ターゲットはランダムに選択される。なお、円 1 は被験者自身が前進しなければ、合わせることはできないサイズである。被験者が指を前後させても合わせることはできないと判断した場合には、その試行はキャンセルできるようにした。

5.4 実験結果と考察

実験 2-1 の結果を図 13 に示す。画面中央から選択対象が設置された格子点までの距離毎に、対象を選択するまでの平均所要時間を被験者毎に示している。格子点 8 からの距離に応じて、点 3, 7, 9, 13 をグループ 1, 点 2, 4, 12, 14 をグループ 2, 点 6, 10 をグループ 3, 点 1, 5, 11, 15 をグループ 4 とした。グラフより、グループ 4 の格子点に表示された対象の選択には、どの被験者も共通して時間を要している。これは指差し動作の移動距離が大きいことが主な理由であると考えているが、それに加えて実験 1 の結果から、画面左側でジッタが大きくなっていることも、選択に時間を要した要因であると考えられる。

実験 2-2 の結果を図 14 に示す。実験 2-1 と同様に、グループ 4 への移動操作には時間が掛かっており、移動距離の

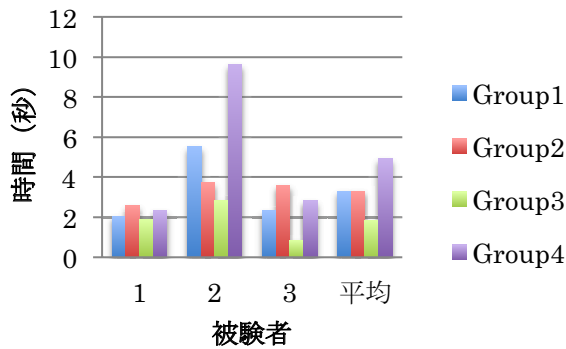


図 14 実験 2-2 の結果

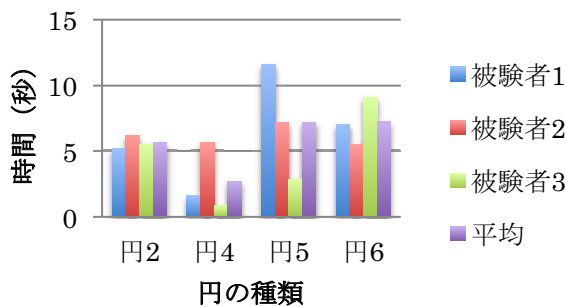


図 15 実験 2-3 の結果

影響が大きいと考えられる。しかし、各被験者ともに、グループ 3 への移動操作は短時間でタスクを完了しており、この原因に関しては追加実験を行って確認する予定である。

実験 2-3 の結果を図 15 に示す。ここでは、各被験者が対象の大きさに合わせるために要した時間と、その平均時間を示している。横軸の値が大きくなるほど、半径が大きな円に対応している。円 1 および円 7 に関しては、どの被験者も指の動きだけでは、ターゲットに合わせる事ができなかったため、グラフから省略した。グラフより、拡大操作の方が、縮小操作よりも時間を要していることが分かる。実験 1 の結果にて上述した通り、指を顔に近づけた状態ではカーソルのジッタが大きくなる事が影響していると考えられる。

また、提案インタフェースを使い慣れた被験者 1 と初めて利用した被験者 2, 3 の間には、各操作において所要時間に多少違いが見られるものの、操作できない被験者はおらず、両眼像を用いたインタフェースの可能性を確認できた。今後、使い慣れることによって、各操作の所要時間も減少することを期待している。

6. おわりに

本稿では、大画面ディスプレイ利用時における指差しインタフェースにおいて、両眼視差を活用した新しいユーザインタフェース「両眼視差インタフェース」について、その基本性能と、オブジェクトに対する 3 つの基本操作であ

る「選択・解除」、「移動」、「拡大縮小」の操作性に関して、それぞれ被験者実験による評価を行った。被験者 3 名のうち 2 名は、指の両眼像を用いたインタフェースを利用するのは初めてであったが、各操作を実行できることが確認できた。プロトタイプの基本性能に関して、特に腕を曲げた場合の指差し位置の推定精度が低下することが判明した。また、各操作手法については、操作に要する時間に多少のばらつきはあるものの、その有効性は確かめることができた。今後は、指差し位置推定の精度向上、移動や拡大縮小以外の新たな操作手法に関する検討を行う予定である。

謝辞

本研究の一部は日本学術振興会科学研究費補助金基盤研究 (C) (25330227) の研究助成によるものである。ここに記して謝意を表す。

参考文献

- 1) Vogel, D. & Balakrishnan, R.: Distant Freehand Pointing and Clicking on Very Large, High Resolution Displays, *Proc. of UIST*, pp.33-42, 2005.
- 2) 中村卓, 高橋伸, 田中二郎: ハンドジェスチャを用いた公共大画面向けインタフェース, *DICOMO2006*, 2006.
- 3) 吉村圭悟, 小川剛史: 両眼視差を考慮した大画面ディスプレイのための指差しインタフェースの提案, *VR 学研報*, Vol19, No.CS-2, 2014. (発表予定)
- 4) Cheng, K. & Pulo, K.: Direct Interaction with Large-Scale Display Systems using Infrared Laser Tracking Devices, *Proc. of UIST*, pp.33-42, 2005.
- 5) Cao, X. & Balakrishnan, R.: VisionWand: Interaction Techniques for Large Displays using a Passive Wand Tracked in 3D, *Proc. of UIST*, pp.173-182, 2003.
- 6) 新谷晃市, 間下以大, 清川清, 竹村治雄: 大画面ポインティングシステムのための回帰モデルによる単眼画像からの指差し位置の推定, *情報処理学会研究報告*, Vol.2009-CVIM-167, No.33, 2009.
- 7) 井村誠孝, 武田直之, 佐々木博史, 安室喜弘, 眞鍋佳嗣, 千原國宏: VR 空間における操作者の姿勢に基づく指示方向推定, *情報処理学会論文誌*, Vol.48, No.3, 2007.
- 8) Lee, J. & Bae, S.: Binocular Cursor: Enabling Selection on Transparent Display Troubled by Binocular Parallax, *Proc. of CHI*, pp.3169-31, 2013.