

大画面ディスプレイのための 両眼視差を考慮したコンテンツ操作手法

吉村圭悟^{†1} 小川剛史^{†2}

筆者らはこれまでに、ユーザが大画面ディスプレイのような離れた画面に対し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、実際に大型スクリーンを用いて2つの実験を実施し、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3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について議論する。

Content Operation Methods Considering Binocular Parallax for a Large Display

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

We have proposed *Binocular Interface*, which enables interactions with an object by using two pseudo fingers, which the user will see due to binocular parallax during pointing to a distant display like a large display. In a prototype, pointing positions on the display are estimated on the basis of the positions of eyes and a finger detected by an RGB-D camera, and we implemented three basic operations (*select*, *move*, and *resize*) using duplicate fingers. In this paper, we carried out 2 experiments using a large screen actually, evaluated the basic performance and the operability of 3 operations. Based on the results these experiments gave, we consider the utility of the proposed interface and problem.

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[3]、24インチのディスプレイを用いて、その基本的な性能と3つの操作手法の性能に関する評価を行ってきた[4]。提案インタフェースでは、図2に示すように、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

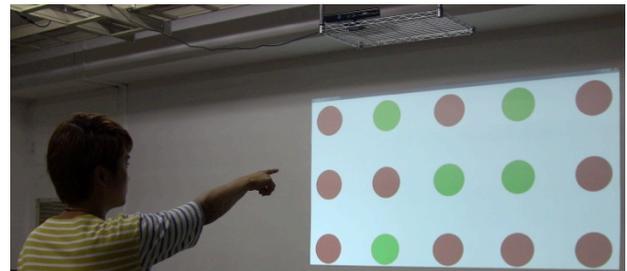


図1 両眼視差インタフェースの概要
Figure 1 Overview of *Binocular Interface*

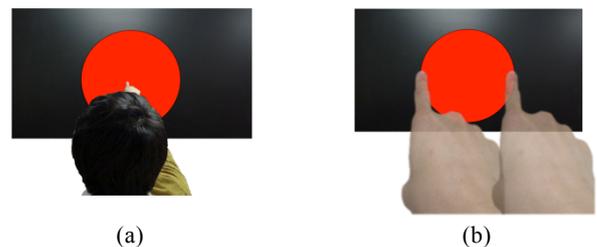


図2 大画面ディスプレイ上のコンテンツをユーザが指差し様子; (a) 背後から見た様子; (b) ユーザの見る視界
Figure 2 A user operates an object on a large display by pointing; (a) a view from behind the user; (b) the user's view

動したり、サイズを変更したりすることが可能で、遠くの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、実際に100インチのスクリーンを用いて実施した被験者実験およびその評価につい

^{†1} 東京大学大学院学際情報学府
Graduate School of Interdisciplinary Information Studies,
The University of Tokyo

^{†2} 東京大学情報基盤センター
Information Technology Center, The University of Tokyo

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ースの概要を述べる。4章で100インチスクリーンを用いた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ー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[5]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[6]では、複雑な入力操作を可能にしているが、操作方法が直感的でなく、ユーザがデバイスを把持する必要がある。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[7]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[9]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タ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3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

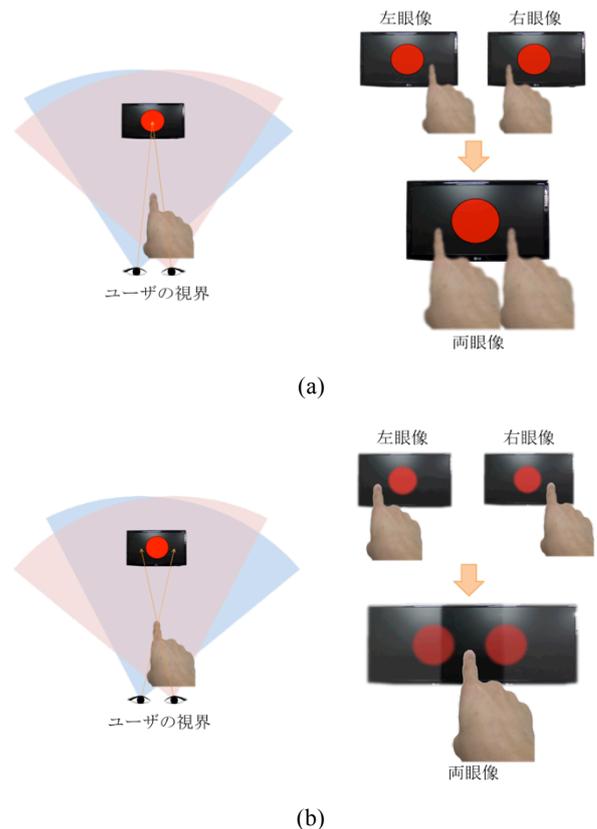


図3 指差し操作における両眼視差の影響; (a) 画面に焦点を合わせた場合; (b) 指に焦点を合わせた場合
Figure 3 Influence of binocular parallax in pointing; (a) when a user focuses on the display; (b) when a user focuses on the user's fingertip

る手法を提案している。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4(a)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(b)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

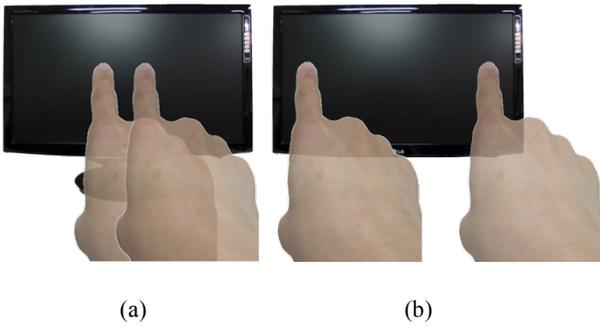


図 4 指の前後移動に伴う両眼視差の変化; (a) 指を画面に近づけた場合; (b) 指を画面から遠ざけた場合

Figure 4 Change of Binocular parallax by moving a finger; (a) Moving the finger forward; (b) Moving the finger backward

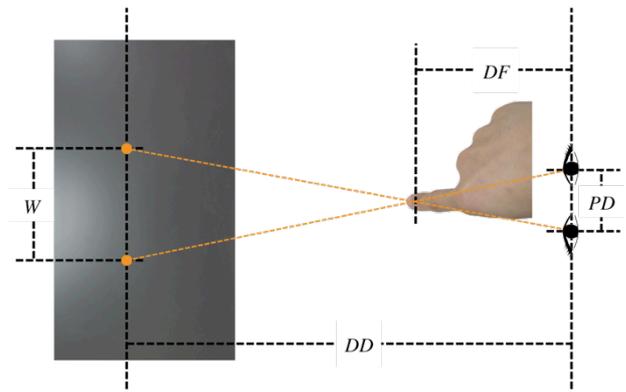


図 6 PD, DD, DF および W の定義

Figure 6 The define of PD, DD, DF, and W

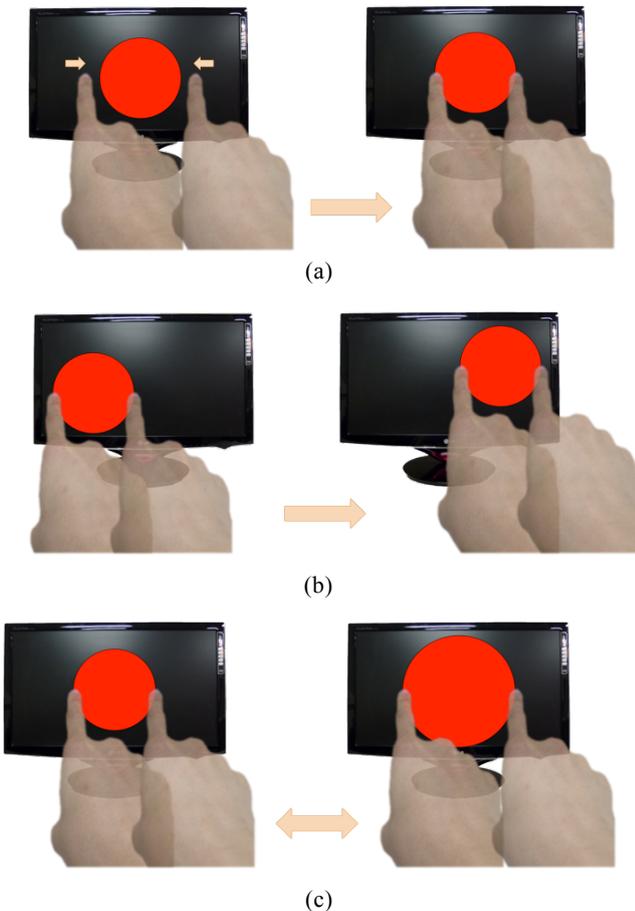


図 5 操作手法; (a) 選択・解除; (b) 移動; (c) 拡大縮小
 Figure 5 Operation methods; (a) select; (b) move; (c) resize

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、オブジェクトを掴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 4(c)に「拡大縮小」操作の

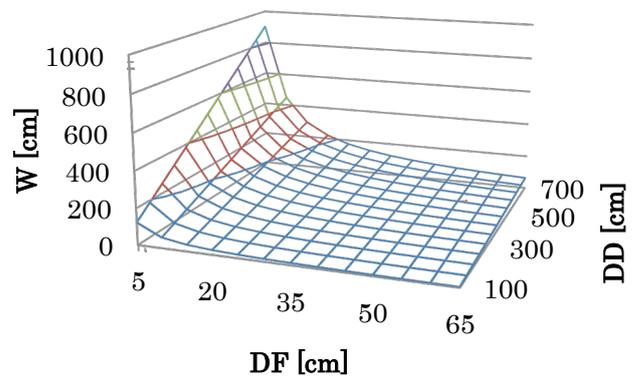


図 7 W のダイナミックレンジ (PD=6.5cm)

Figure 7 The dynamic range of W (PD=6.5cm)

概要を示す。

3.5 特徴

タッチスクリーンを用いた操作は、直接操作対象に触れて行えるため、直接的で分かり易いインタフェースとなっているが、操作対象に触れることによって指の下に操作対象が隠れてしまい、操作を困難にするという問題も生じる。提案手法では、指の両眼像を用いて操作するため、対象が指で隠れることはなく視認できる。同様に、ディスプレイ上のその他の領域についても視認できるため、例えば、対象を選択して移動させるような操作が容易になる。

一方、両眼像の幅の制約によって、ユーザが操作可能な操作対象の大きさには制限がある。両眼像の幅は、ユーザが腕を伸ばした状態で最小となり、反対に、腕を最大限顔に近づけた状態で最大となる。スクリーン上での両眼像の幅 W は、両目の幅を PD 、スクリーンから両目までの距離を DD 、両目から指先までの距離を DF として、以下の式で表される。

$$W = PD(DD - DF)/DF \quad (1)$$

例えば、日本人の成人男性をユーザとして想定した場合、平均的な両目の幅は 6.5cm であり、スクリーンから 2m 離れた場所で操作を行うとき、顔から 40cm 離れた位置にユ

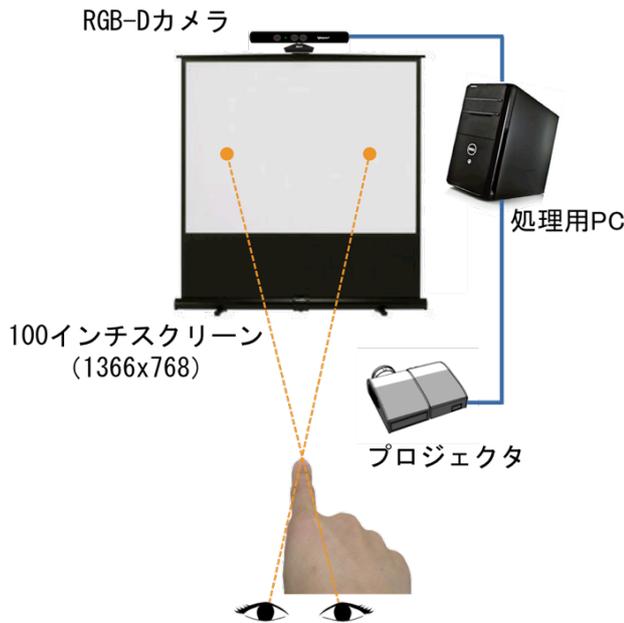


図 8 提案システムの概略図

Figure 8 The configuration of proposed system

ーザの指先がある場合には、スクリーン上での両眼像の幅は 26cm となる。両眼像の幅のダイナミックレンジは、ユーザとスクリーンとの距離に依存しており、図 7 のように表される。

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を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 7 に示す。

本システムは、以下の環境で実装を行っている。lenovo 社製ノート PC (OS: Windows7) にプロジェクタと Microsoft 社製 Kinect を接続し、100 インチのスクリーンに投影する。Kinect は、スクリーンの上部中心に設置した。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

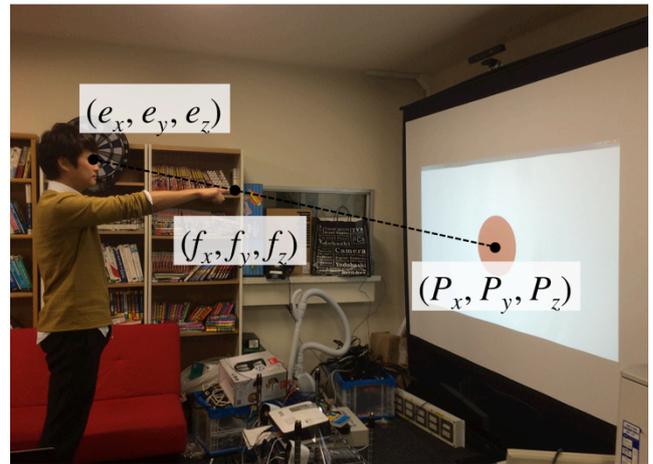


図 9 指差し位置推定

Figure 9 Estimation of pointing position

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 (P_x, P_y, P_z) 、指先の三次元座標を (f_x, f_y, f_z) 、目の三次元座標を (e_x, e_y, e_z) とすると、カーソルの座標は以下の式で表される (図 8)。

$$P_x = f_x - f_z \cdot (e_x - f_x) / (e_x - f_x) \quad (2)$$

$$P_y = f_y - f_z \cdot (e_y - f_y) / (e_y - f_y) \quad (3)$$

$$P_z = 0 \quad (4)$$

5. 評価実験

本システム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 2 種類の実験を実施した。実験環境は図 10 に示す通りである。

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 5 カ所を指差す際の指差し位置のジッタを測定した。被験者は画面から 3m 離れた位置に立ち、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 2 つの円をユーザが 5 秒間指差した際の、スクリーン上における両眼像の中心座標を計測した (図 11)。表示する 2 つの円の幅は、被験者がそれぞれの状態での両眼像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。各被験者が腕を曲げた状態で

表 1 ターゲットのグループ
 Table 1 The group of the targets

# グループ	# ターゲット
1	3, 7, 9, 13
2	2, 4, 12, 14
3	6, 10
4	1, 5, 11, 15

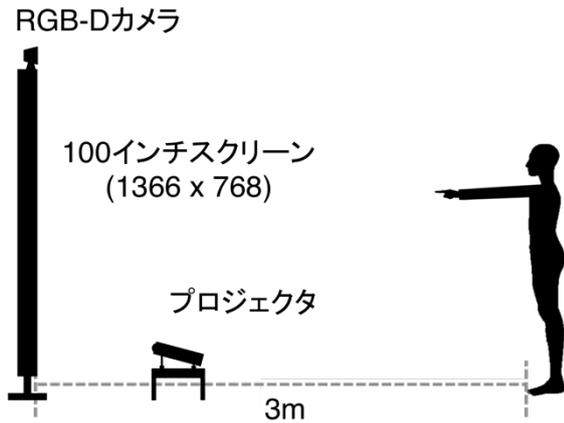


図 10 実験環境

Figure 10 Experimental configuration

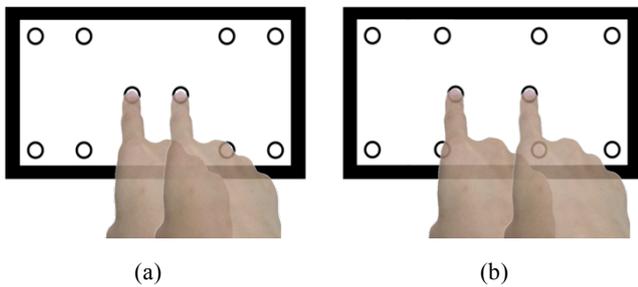


図 11 実験 1; (a) 腕を伸ばした状態; (b) 腕を曲げた状態

Figure 11 Experiment 1; (a) The arm is stretched; (b) The arm is bent

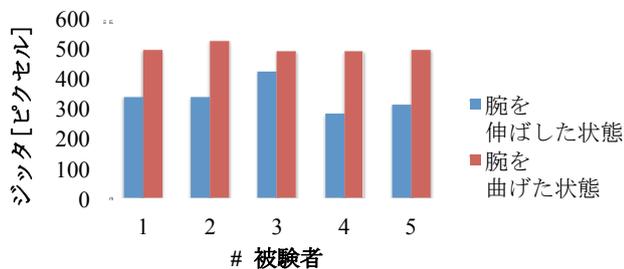


図 12 実験 1 結果

Figure 12 The results of experiment 1

の顔から指先までの距離はそれぞれ 40cm である。なお、本実験の被験者は、成人男性 5 名である。

5.2 実験結果と考察

実験結果を図 12 に示す。腕を伸ばした状態では、被験者 5 人のジッタの平均値は 337 ピクセルであった。一方、腕を曲げた状態では、被験者 5 人のジッタの平均値は 446 ピクセルであり、腕を曲げた状態よりも伸ばした状態の方が推定値は安定している。

腕を曲げた状態では、頭部に手を近づける動作をするため、頭部が手の死角となり、頭部検出の誤差が増加したと考えられる。

5.3 実験 2

プロトタイプの操作性を評価するため、実験 1 と同環境

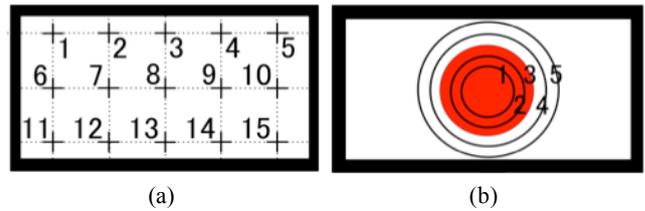


図 13 実験 2; (a) 実験 2-1 および 2-2 におけるターゲット表示位置; (b) 実験 2-3 におけるターゲットと基準円
 Figure 13 Experiment 2; (a) lattice points to display targets in experiment 2-1 and 2-2; (b) targets and basic circle in experiment 2-3

において (図 10), 以下 3 種類の実験を行った。被験者は、実験 1 同様、成人男性 5 名である。

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 13(a)) 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。

実験手順は以下の通りである。まず、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 40 ピクセルの二つの円を、「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、その円が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。以上の試行を、一人あたり 10 試行実施した。

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 13(a)の通りである。

実験手順は以下の通りである。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 30 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。以上の試行を、一人あたり 10 試行実施した。

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 $x+160(k-1)$ ($k=1, 2, \dots, 5$) ピクセルとする 5 種類の円を用意した。それぞれを円 1, 円 2, ..., 円 5 と呼ぶ (図 13(b))。被験者には、円 3 を基準円とし、指定したサ

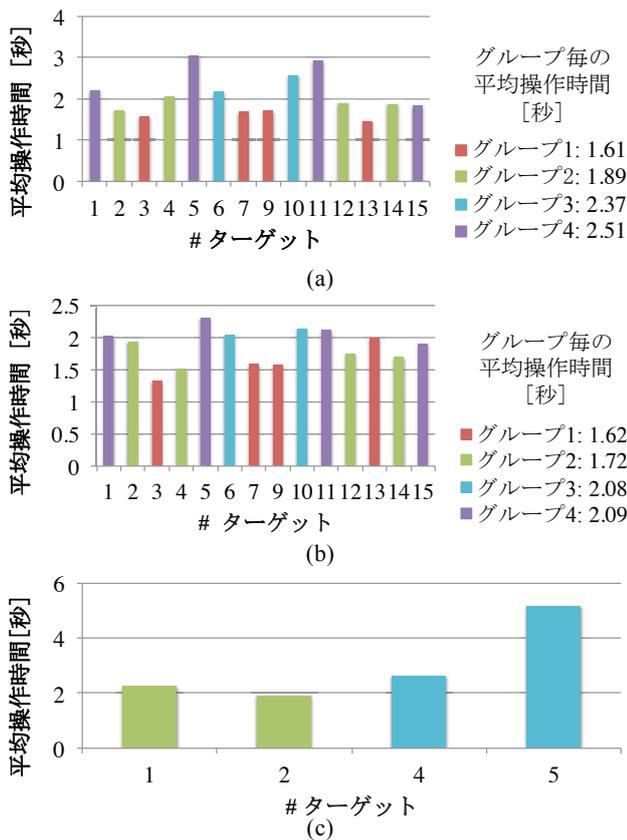


図 14 実験 2 結果; (a) 2-1; (b) 2-2; (c) 2-3

Figure 14 The results of experiment 2; (a) 2-1; (b) 2-2; (c) 2-3

イズに拡大縮小させた。

実験手順は以下の通りである。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。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±30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4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。

5.4 実験結果と考察

実験 2-1 の結果を図 14(a)に示す。画面中央から選択対象が表示された各格子点までの操作時間の平均時間と、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の平均操作時間を示している。このとき、格子点8からの距離に応じて、表1に示すように分類している。グラフより、中心からの距離が大きくなるにつれて、操作時間を要する傾向にあると言える。これは指差し動作の移動距離が大きいために主な理由であると考えている。

実験 2-2 の結果を図 14(b)に示す。実験 2-1 と同様に、グループ 4 への移動操作は多くの時間を要しており、選択操作同様に、移動距離の影響が大きいためであると考えられ

る。

実験 2-3 の結果を図 14(c)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平均時間を示している。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のが原因であると考えられる。

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、実際に大画面スクリーンを用いて、それぞれ被験者実験による評価を行った。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分かった。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、概ね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.
- 4) 吉村圭悟, 小川剛史: 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, *DICOMO2014*, 2014.
- 5) Cheng, K. & Pulo, K.: Direct Interaction with Large-Scale Display Systems using Infrared Laser Tracking Devices, *Proc. of UIST*, pp.33-42, 2005.
- 6) Cao, X. & Balakrishnan, R.: VisionWand: Interaction Techniques for Large Displays using a Passive Wand Tracked in 3D, *Proc. of UIST*, pp.173-182, 2003.
- 7) 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.
- 8) 井村誠孝, 武田直之, 佐々木博史, 安室喜弘, 眞鍋佳嗣, 千原宏宏: 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.
- 9) Lee, J. & Bae, S.: Binocular Cursor: Enabling Selection on Transparent Display Troubled by Binocular Parallax, *Proc. of CHI*, pp.3169-31, 2013.