

開散性眼球運動による奥行き方向への視線入力手法

工藤慎也^{†1} 岡部浩之^{†1} 蜂須拓^{†1†2}
佐藤未知^{†1†2} 福島政期^{†1†2} 梶本裕之^{†1†3}

PC の入力手法として提案されている視線入力は、ディスプレイ上の視点位置をカーソル座標として用いることで手を使わない操作が可能となるが、ボタン等の選択動作が視線移動と区別されにくいという問題が存在する。そこで我々は、開散性眼球運動を計測することで画面奥行き方向への視点移動を検出し、その奥行き方向への移動を選択動作とする手法を提案する。本稿では、ボタン押し込み動作における提案手法の有用性を従来手法と比較した。

Input method using divergence eye movement

Shinya Kudo, Hiroyuki Okabe, Taku Hachisu,
Michi Sato, Shogo Fukushima and Hiroyuki Kajimoto

Gaze input interface offers hands-free operation by using the view point position as the cursor coordinates on the display. However, it has a problem that the selecting operation of the button is undistinguishable from viewing eye movement. We propose a new input method by measuring the divergence eye movement, so that when the users move their viewpoints forward, the button is naturally “pressed”. In this paper, we compared this method with conventional method by selection task and evaluated the effectiveness of the proposed method.

1. はじめに

マウスやキーボードに加えた新たな PC 用入力デバイスとして視線入力が提案されている。ディスプレイ上に表示したアイコンやボタンを一定時間注視ないし瞬目することで、操作・選択動作をするというものである 1)2)。しかし、注視や瞬目をを用いると意図しない自然な眼球運動を決定動作と誤認してしまうという問題（いわゆる Midas Touch Problem）が指摘されている 3)。

この問題に対して大野らは視線入力における選択動作のパラメータとして視線位置だけでなく、ウィンドウとの距離や注視時間を設けることで誤選択を軽減する手法を提案している 4)。また Zhai らは視線をカーソル移動のみに用い、選択動作はマウスを用いることで誤選択を回避している 5)。しかし前者は操作速度とのトレード・オフの関係があり、後者は本来眼球運動入力が必要な多くの用途では利用できないと考えられる。

我々は注視や瞬目以外の動作を用いて、誤選択を軽減しつつ、直感的な選択動作を実現することを目的とした。本稿では、直感的な選択動作を実現する為に、“押す”という行為を連想可能な“奥を見る”という行為に着目し、その際に生じる開散性眼球運動を検出することで、誤認識を軽

減しつつ決定動作を行えるか検証した。

2. 提示手法

奥を見た時に生じる眼球運動である開散性眼球運動は、両眼と注視点からなる輻輳角を変化させる（図 1）。Pfeiffer らは輻輳角から注視点の 3 次元位置の推定を試みている 6)。そこで、我々はこの注視点の 3 次元位置の推定手法を用いて、奥行き方向への注視点移動を検出し選択動作として解釈させる手法を提案する。

まず視線計測装置を用い、ディスプレイ平面上の両眼座標を取得する。開散性眼球運動により右眼座標は右側に、左眼座標は左側にそれぞれ移動する。この移動量の合計を両眼座標差と呼ぶことにする。計測された両眼座標差 dx 、瞳孔間距離 dp 、眼球-ディスプレイ間距離 d から、視点の奥行き位置 $depth$ は以下から推定することができる（図 2）。

$$depth = \frac{d}{dp - dx} dx \quad (1)$$

推定された視点の奥行き位置の変化に伴って、ディスプレイに描画された立方体が押し込まれることで、奥行き方向への入力を表現した（図 3）。

予備実験の結果、何もない空間に視線移動を行なうのは訓練なしでは難しいことがわかったため、奥行き方向への視線移動を容易にするためにハーフミラーを用いて、ディスプレイの奥側に指標を設けた。これにより、能動的な輻

^{†1} 電気通信大学
The University of Electro-communications
^{†2} 日本学術振興会特別研究員
JSPS Research Fellow
^{†3} 科学技術振興機構さきがけ
Japan Science and Technology Agency

輦運動が困難な人々に対しても、ディスプレイ奥の鏡像を注視することで輦角を調節可能にした。

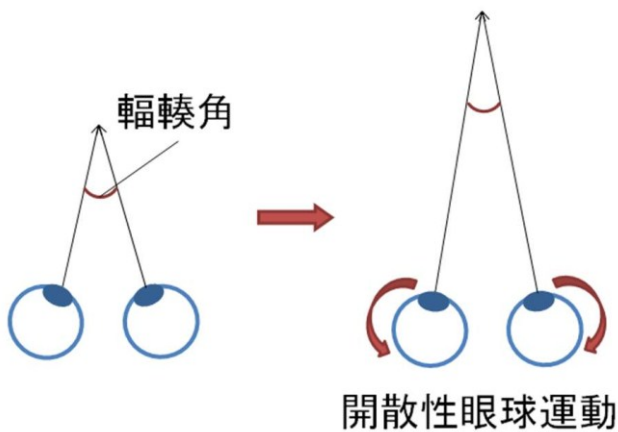


図 1 輦角と開散性眼球運動

Figure 1 Angle of convergence and divergence eye movement

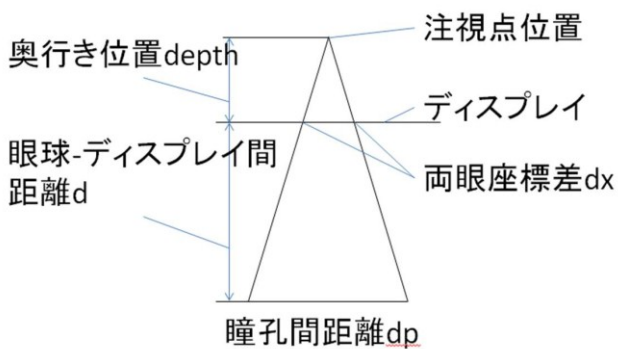


図 2 奥行き視点位置の推定

Figure 2 Estimate of the depth viewpoint position

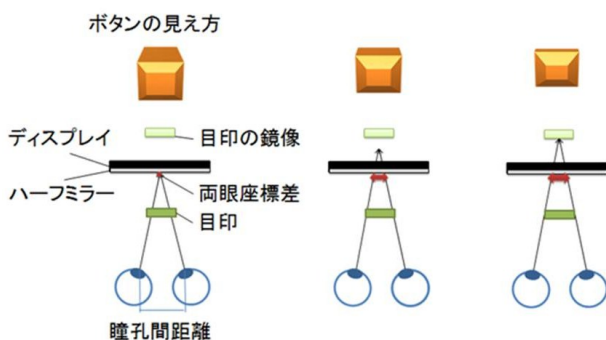


図 3 提示手法

Figure 3 Presentation technique

3. 実験

提案手法の操作性を検証する実験を行った。また、従来手法との比較として、瞬目を用いた決定手法と比較を行った。

3.1 実験環境

実験環境を図 4 に示す。眼球とディスプレイの距離が 700mm になるように顎台を机に固定し、被験者の眼球位置を固定した。眼球とディスプレイの距離が 700mm の場合、輦角-調節矛盾が生じない最遠距離はディスプレイから奥 700mm である⁷⁾。そこで、目印の位置を輦角調節矛盾が生じないディスプレイから 300mm に設置した。目印を見た時に生じる両眼座標差は 20mm に相当する。

瞳孔間距離は一般的な 65mm を用い、視線計測装置 (EyeTech Digital Systems 社製 TM3) は瞳孔・角膜反射法を用いた据え置き型の視線計測装置を用いた。注視点分解能は 1.0° である。実験開始前に被験者それぞれに対し、ディスプレイ平面上を見た際の注視点のキャリブレーションを行った。用いたディスプレイの解像度は 1920×1080 で、視角換算で水平方向 35.7deg 、垂直方向 23.3deg であった。実験時のボタンの大きさは一辺 40mm の正方形であるので、視角換算で水平方向、垂直方向ともに 3.27deg である。描画には OpenGL を用いた。実験の様子を図 5 に示す。

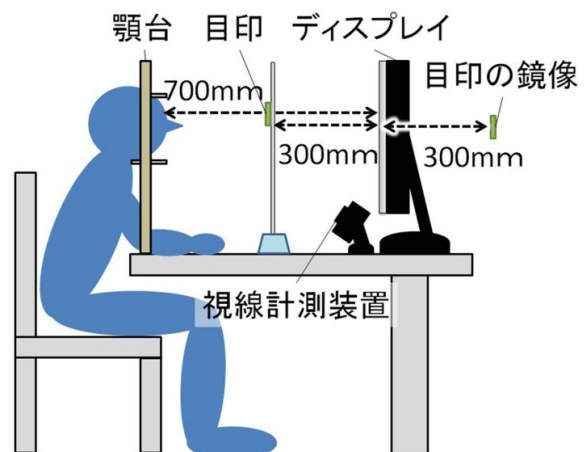


図 4 実験環境図

Figure 4 Environment of experiment



図 5 実験の様子

Figure 5 Appearance of experiment

3.2 実験条件

決定動作として奥行き方向への入力と瞬目を用いた入力を比較した。奥行き入力は、ディスプレイ奥の目印に視点を移動することで、ディスプレイ上のボタンが押し込まれていき、視点の奥行き推定位置が目印位置に達すると決定と判定される手法である。一方、瞬目を用いた入力は、任意のボタン上で0.5秒間閉眼した時に決定と判定される手法である。

ディスプレイ上に9つの数字入力用のボタンを表示し、中央に5桁の数字をランダムに提示した。被験者にこの数字を入力させた。誤入力が生じた場合には正しい数字を再度入力するのではなく、次桁の数字を入力するよう指示した。5つの数字入力を1セットし、奥行き入力手法、瞬目入力手法それぞれに対して10セット行った。実験時のボタン配置を図6に示す。



図6 実験画面図

Figure 6 Figure of experiment screen

3.3 実験手順

まず、被験者は奥行き方向への入力に慣れるために1-2分程度奥行き入力手法の練習を行った。実験開始後、5桁の数字を入力するように指示をし、入力にかかった時間と入力した数字の正答率を記録した。各試行後5秒の休憩時間を設け、入力+休憩を1セットとし、各被験者で10セットの試行を行った。10セット終了後、5分の休憩をとった。奥行き入力と同様に、瞬目を用いた入力手法に慣れるための練習を1-2分程度行い、同様の流れで試行を行った。被験者は22~28歳の3名(男1名(メガネ着用)、女2名(ソフトコンタクト使用1名、メガネ着用1名)、平均年齢24.6歳)である。

3.4 実験結果

全被験者の正答率を図7、入力時間を図8にそれぞれまとめて示す。

奥行き入力、瞬き入力の正答率はともに80%後半で、正答率に差はほとんど生まれなかった。入力時間に関しては

瞬きの方が1.5秒ほど速く入力できる傾向が見られた。しかしながら奥行き入力と瞬き入力との間に顕著な差は生まれなかった。

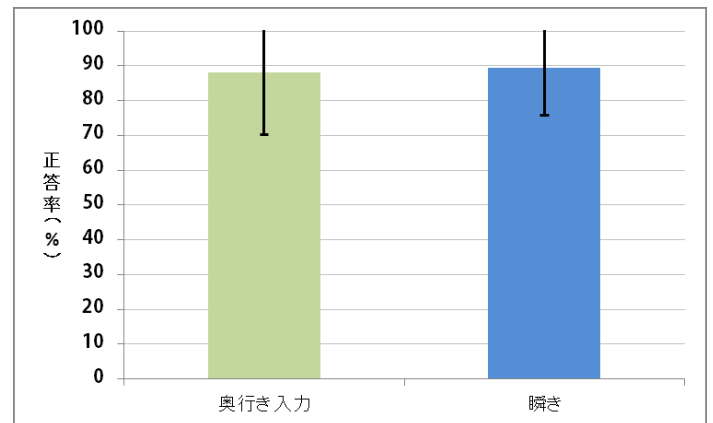


図7 正答率(秒)

Figure 7 Correct answer rate

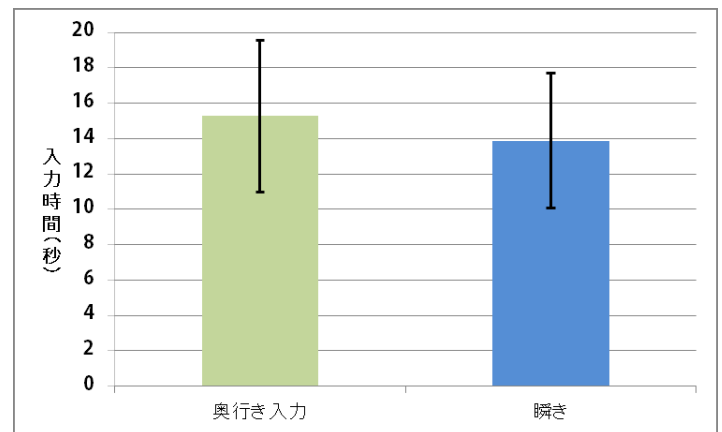


図8 入力時間

Figure 8 The input time required

3.5 考察

実験結果より、奥行き方向への入力にかかる時間が15.0±0.5秒なのに対し、瞬目を用いた入力手法の場合13.5±0.5秒となった。また正答率に関しても奥行きが88±0.5%なのに対し、瞬目は89.0±0.5%となり、従来手法とほぼ同等の性能が提示できることが分かった。なお今回は被験者人数の都合ですべての被験者を奥行き方向への入力実験から開始しており、学習効果が生じると考えられるが、それでもなお2つの手法で大きな差は見られなかった。

瞬目を用いる方法は閲覧と決定動作を明瞭に区別することは出来ず、従来のMidas Touch Problemを解決する手法とはいえない。これに対して決定動作に奥行きを用いることで、閲覧と決定動作を明確に区別することが可能になったと考えられ、この意味で奥行き方向への入力は有用であると言える。

現在は被験者数が少ない段階ではあるが各被験者におい

て、奥行き入力、瞬目入力のしやすさに差が見られた。これはメガネやコンタクトの着用によって、キャリブレーションの精度がそれぞれの被験者において変化したためと思われる。奥行き入力は微少に変化する両眼座標差を用いているため、瞬き入力よりもキャリブレーション精度が求められる。このため良いキャリブレーション精度が得られなかった被験者に対しては、瞬き入力の方が操作しやすい状況となっていたと考えられる。また、今回行ったキャリブレーションはそもそも2次元平面上のみであり、2次元平面での視線移動のみを用いて行うことができる瞬き入力が有利な条件となっていた可能性がある。Pfeifferらは3Dディスプレイを用いて3次元キャリブレーション行っているが6)、今後は奥行きを含めたキャリブレーションを行うべきであると思われる。

内観報告として、瞬き入力に比べて奥行き入力には眼精疲労が伴うという意見が得られた。これは奥行き方向への指標として設けた目印が小さく、意識的に奥を見ようとする必要があったため、不自然な眼球動作が生じてしまったことが原因であると思われる。また、奥を見た時に押しこむ対象が2重に見えてしまい、入力が行えているか分かりづらいという意見も得られた。今後、3Dディスプレイを用いることで、奥行きへの視点移動をさらに容易にしつつ、視覚的にも自然な入力を提示する予定である。

4. おわりに

今回我々は、奥行き方向への視線入力手法を提案し、従来手法である瞬き入力手法と比較した。その結果、奥行き入力は従来手法と同程度の入力が行えることが示唆された。今後、3Dディスプレイを用いて、より容易で分かりやすい入力手法に改善していく。

参考文献

- 1) 大野健彦: 視線インタフェースにおける選択過程と取得過程の識別, インタラクティブシステムとソフトウェアV(尾内理紀夫(編)), 近代科学社, pp. 65-70 (1997).
- 2) 大野健彦: 視線を用いた高速なメニュー選択作業, 情報処理学会論文誌, Vol. 40, No. 2, pp. 602-612 (1999).
- 3) Robert J.K. Jacob: What you look at is what you get: eye movement-based interaction techniques, Proceedings of CHI'90 (1990)
- 4) 大野健彦: 視線を利用したウインドウ操作環境, 信学技報 HIP99-29, pp. 17-24 (1999).
- 5) Shumin Zhai, Carlos Morimoto and Steven Ihde: Manual and Gaze Input Cascaded (MAGIC) Pointing, Proceedings of CHI'99, ACM Press, pp.246253 (1999).
- 6) Pfeiffer, Thies ; Latoschik, Marc Erich ; Wachsmuth, Ipke: Evaluation of Binocular Eye Trackers and Algorithms for 3D Gaze Interaction in Virtual Reality Environments, Journal of Virtual Reality and Broadcasting 5(16). (2008).
- 7) 原島博, 3次元画像と人間の科学, オーム社, pp.152-163, (2000).