

VR 空間操作コマンドとしてのアイジェスチャ UI 特性分析 (2) ~直列型アイジェスチャの UI 特性分析~

後藤健太†1 柴田史久†1 木村朝子†1

概要: アイトラッキング技術の向上によって, アイジェスチャと呼ばれる視線移動のような目の動きを入力とする研究が登場してきた。しかし, VR 空間においてアイジェスチャを入力として用いた研究はまだ数が少なく, 知見は十分ではないと考えられる。そこで我々の先行研究では, VR 空間における入力方法として各アイジェスチャ (注視, 瞬き, ウィンク, 見開く, 細める) にどのような特性があり, 各々がどのような操作に適しているのかについての分析・考察を行った。しかし, 先行研究で対象とされていたアイジェスチャは, 単一動作のために誤認識が生じやすいことや, ジェスチャの数が少ないこと等が課題として挙げられていた。そこで本稿では, アイジェスチャを複数用いる直列型アイジェスチャについて定義・整理を行い, VR 空間における入力方法としてどのような特性があり, どのような操作に適しているのか, 分析と考察を行った。

キーワード: HMD, VR, アイジェスチャ, 視線入力, ユーザインタフェース

1. はじめに

人工現実感 (Virtual Reality; VR) の技術が発達したことによって, これまで平面のディスプレイ上に映像として表示されていた世界に, 自身が入り込んだような体験が可能となった。それに伴い, 身体の動きを入力とする手法の研究が活発化している。この理由としては, VR 空間のような自身が入り込んだ体験が可能になる空間では, 自らの身体を動かすことで入力を行うことが直観的である点や, Kinect や Leap Motion に代表されるような, 身体動作を容易に取得可能な安価なデバイスが登場した点などが考えられる。

また, 身体の動きを入力方法とした研究では, これまでハンドジェスチャと呼ばれるユーザの手や腕の動きを入力として利用するものが主であった[1][2]。最近では, 視線移動や瞬きなどの目の動き (以降, アイジェスチャ) を入力とする研究も登場してきた[3][4]。しかし, アイトラッキング機能が搭載された HMD が普及し始めてから間もないこともあり, VR 空間においてアイジェスチャを入力として用いた研究はまだ数が少なく, アイジェスチャに関する知見は十分ではないと考えられる。

そこで我々は, VR 空間操作コマンドとしてのアイジェスチャの体系化を最終目的として研究を進めている。その第 1 歩である先行研究[5]では, アイジェスチャの列挙と整理を行い, 「注視」「瞬き」「ウィンク」「見開く」「細める」の 5 種類の単一アイジェスチャについて分析対象とした。また VR 空間操作を抽象化して整理を行い, アイジェスチャによる操作は大きく分けて単発的な入力であるか, 継続的な入力であるかという入力の観点と, その操作が ON/OFF 操作か値変更操作かという観点によって 4 パターンに分類した。その 4 パターンをもとに実験設計をし, 5

種類の単一アイジェスチャについてどのような特性があり, どのような操作に適しているのかについての分析を行っていた。しかし, 日常生活の動作との混同や, ジェスチャの種類数の少なさが, 実際にアイジェスチャを利用する際に課題となる可能性が挙げられた。

そこで本研究では, VR 空間操作コマンドとしてのアイジェスチャに関する UI 特性分析の次なるステップとして, 1 つのアイジェスチャを連続して行う直列型アイジェスチャを提唱し, それに対して VR 空間における入力方法としてどのような特性があり, どのような操作に適しているのかについての分析を行った。

2. アイジェスチャの設計

2.1 単一アイジェスチャの定義

ここでは, 本稿で扱う直列型アイジェスチャに関する定義を行う前に, 単一アイジェスチャの種類と動作としての定義について示す。

単一アイジェスチャは, 先行研究[5]と同様, 「注視」「瞬き」「ウィンク」「見開く」「細める」の 5 種類とした。注視とは, 一定位置を見続ける動作である。瞬きとは, 両目を閉じて開く動作 (本稿では一定時間両目を閉じる場合も瞬きと呼ぶ) である。ウィンクとは, 片目のみを閉じて開く動作 (本稿では一定時間片目を閉じる場合もウィンクと呼ぶ) である。見開くとは, 両目を大きく開く動作である。眉を上にあげる動作と同等であり, 細めると逆の動作であるといえる。細めるとは, 薄目にするような動作である。見開くと逆の動作であるといえる。

2.2 直列型アイジェスチャの定義

直列型アイジェスチャとは, 2 つのアイジェスチャを連続して行う動作を指す。一連の動作を行うことで 1 つの直列型アイジェスチャコマンドと呼称する。つまり, あるアイジェスチャをし終えた後, 直ぐにあるアイジェスチャを行う連続アイジェスチャといえる。例えば, 左ウィンクした後右ウィンクするといった動作を指す (図 1)。そして,

†1 立命館大学大学院 情報理工学研究所
Graduate School of Information Science and Engineering,
Ritsumeikan University

前半部分のアイジェスチャを第1動作、後半部分のアイジェスチャを第2動作と定義した。定義上、第3動作、第4動作、…と続けていくことも可能であるが、複雑になることや、実際に利用する際の簡便さなどの観点から本稿では第2動作までを対象とした。直列型アイジェスチャを構成する各動作は、2.1で挙げた5種類（注視・瞬き・ウインク・見開く・細める）の内、注視は組合せに不向きであることから除外し、ウインクを左右別のもとして扱うことで、瞬き、右ウインク、左ウインク、見開く、細めるの5種類から成り立つものとした。よって直列型アイジェスチャは、第1動作、第2動作が各5種類あるため計25通りの組合せ方が存在する（表1）。

以降、直列型アイジェスチャを本文中で示す際に、「第1動作→第2動作」のように矢印を用いて表す場合がある。例えば、瞬き→左ウインクと記されている場合、それは瞬きをした後すぐに左ウインクをする、という直列型アイジェスチャを表す。

2.3 アイジェスチャによるVR空間操作の分類

本稿では直列型アイジェスチャのUI特性を分析するために、VR空間におけるアイジェスチャ入力を評価する。本研究では、先行研究[5]に倣い、アイジェスチャによる入力操作を4パターンに分類した。分類結果は先行研究[5]のものを用いることとした。即ち、直列型アイジェスチャで行うVR空間への入力と操作を、単発的な入力であるか、



図1 直列型アイジェスチャ
(第1動作：左ウインク、第2動作：右ウインク)



図2 システム構成



図3 電極の貼り付け位置

継続的な入力であるかという入力の観点と、その操作がON/OFF操作か値変更操作かという観点によって4パターンに分類する。この4パターンの入力操作を評価する。

3. 実験準備

3.1 システム構成

実験では、VR空間における基本機能を各アイジェスチャで操作する際のUI特性を評価する。システム構成、電極の貼り付け位置を図2、図3に示す。今回、HMDであるVIVE Pro Eyeを用いてVR空間における実験環境を実装した。VIVE Pro Eyeとは、HTC社が開発・販売しているアイトラッキング機能を搭載したHMDである。また、HMDの制御や仮想物体の描画に関しては、ゲームエンジンであるUnityを用いた。筋電位計測機器では、人が見開く際に用いる筋肉である前頭筋に電極を貼りつけることによって見開く動作を検出している。

3.2 アイジェスチャ認識

2章で定義した各アイジェスチャを以下のように定義して認識する。

直列型アイジェスチャを構成する第1動作、第2動作としてのアイジェスチャは単一アイジェスチャのアルゴリズムと同様であるため、先行研究に倣った[5]。

よってここでは、直列型アイジェスチャの認識で使用した第1動作と第2動作の間のインターバルタイムについて述べる。インターバルタイムとは、その時間を超えれば、仮に第1動作の後に何かアイジェスチャを行ったとしても直列型アイジェスチャとしては認識されない時間のことである。第1動作が終了してから、そのインターバルタイム内にアイジェスチャを行ったとき、初めて直列型アイジェスチャを行ったと認識される。このインターバルタイムを、実験では1500msとした。これは、続けて2つのアイジェスチャを行うにあたって短すぎず、かつ長すぎない時間に

表1 直列型アイジェスチャ一覧

	瞬き	左ウインク	右ウインク	見開く	細める
瞬き					
左ウインク					
右ウインク					
見開く					
細める					

するために著者らが試行して設定した値である。これにより意図しないアイジェスチャの発生を抑えることが可能である。

3.3 評価指標

評価指標は基本的に先行研究に倣った[5]。客観的指標として平均作業時間、平均エラー回数を用いた。主観的指標として容易性、学習容易性、適合性、疲れにくさ、好みの5項目について、7段階のリッカート尺度で回答させた。また、7を最高評価、1を最低評価として回答させている。先行研究では好みの順位を聴取していたが、それは評価対象が3または5通りであったため、25通りある入力を順位づけて評価することが難しいと考えた。よって好みの順位と異なる評価項目として「操作割り当て」を聴取した。これは、実験終了後に「それぞれの実験で用いた操作に直列型アイジェスチャを1つずつ割り当てるとしたらどう割り振るか」を聴取したものである。

4. 実験

4.1 目的

本研究では、VR空間操作コマンドとしての各アイジェスチャの特性を分析するために、アイジェスチャの評価実験を実施した。実験では、VR空間の各タスクにおける各アイジェスチャ入力の評価することを目的とし、タスクの種類によって4つに分けた。これらの実験結果から各直列型アイジェスチャ入力の評価・分析することで、VR空間操作コマンドとしての各アイジェスチャがどのようなタスクに適しているのか、そして各々にどのようなUIとしての特性が考えられるのかを考察する。

また、各タスクは先行研究と同様である。そのため実験内容の詳細は[5]を参照されたい。

4.2 課題と手続き

タスク1の課題は、目標となる数字が描かれたオブジェクトを視線で捉えランダムに指定された直列型アイジェスチャを行い選択することである。タスク2の課題は、目標となる数字が描かれたオブジェクトを視線で捉えランダムに指定された直列型アイジェスチャを行うことで掴み、目標地点まで移動させることである。タスク3の課題は、直列型アイジェスチャで正面に配置されたオブジェクトの色を切り替え、目標の色になるまで変更することである。最後にタスク4の課題は、直列型アイジェスチャの第2動作を行い続けることで立方体を目的の大きさになるまで拡大させることである。

以上のタスクを1回成功させるまでを1試行としてカウントし、各直列型アイジェスチャにつき3試行を行い、その後主観評価の回答に移った。

また、実験開始前にアイジェスチャの練習、視線位置と筋電位閾値の設定を行った上で開始している。

4.3 条件

本実験では、第1動作、第2動作ともに図1で挙げた全ての直列型アイジェスチャを対象とした。それぞれが「瞬き」「左ウインク」「右ウインク」「見開く」「細める」の5種類で構成されているため、タスク1、タスク3の評価対象は $5 \times 5 = 25$ 通りとした。タスク2、タスク4は継続的な入力であり操作対象を視認する必要があるため、直列型アイジェスチャの内、第2動作が瞬きの組合せを除外した $5 \times 4 = 20$ 通りを評価対象とした。

4.4 参加者

成人12名が実験に参加した。矯正を含め、全員が正常視力を有した。利き目は右目である者が4名、左目である者が8名であった。

4.5 結果

各タスクの結果を抜粋して示す。主観評価からは総合的な評価が反映されると考えた好みと操作割り当てを示す。客観評価からは使用感に大きな影響を与えると考えられる平均エラー回数について示す。

以降、図中の箱ひげ図の×印は平均値を表す。また、凡例と横軸は入力方法を表している。A1からA5のAとは、第1動作を表しており、B1からB5のBとは、第2動作を表している。A・Bの後に記載されている数値は、1から5の順に、瞬き・左ウインク・右ウインク・見開く・細めるを指している。たとえば、A1であれば第1動作が瞬きであることを表し、B5であれば第2動作が細めるであることを表している。

4.5.1 タスク1：選択

好みについての結果を図4に示す。各動作の各アイジェスチャにどのような特性があるのかを分析するために、2要因参加者内分散分析を行った。その結果、すべての主効果が有意だった(第1動作、 $F_{(4, 44)} = 4.296, p = .005$; 第2動作、 $F_{(4, 44)} = 4.196, p = .006$)。しかし、第1動作と第2動作の交互作用が有意だった($F_{(16, 176)} = 1.832, p = .030$)ため、先に述べた主効果は、有意な交互作用によって限定される。

ここで、第1動作の効果に着目すると、第2動作が瞬き、左ウインク、右ウインクの時、第1動作の単純主効果が有意であった(瞬き、 $F_{(4, 220)} = 4.746, p = .001$; 左ウインク、 $F_{(4, 220)} = 4.746, p = .001$; 右ウインク、 $F_{(4, 220)} = 3.498, p = .009$)。そこで、多重比較を行い、有意な差異があったペアを図4(a)に記載した。図4(a)より、第2動作が瞬き、ウインクにおいて、第1動作が瞬きであるか第2動作と同じアイジェスチャである場合、見開くや細めるに対して有意に好まれたことが示された。

次に、第2動作の効果に着目すると、第1動作が瞬き、左ウインク、右ウインクの時、第2動作の単純主効果が有意であった(瞬き、 $F_{(4, 220)} = 3.843, p = .005$; 左ウインク、 $F_{(4, 220)} = 4.263, p = .002$; 右ウインク、 $F_{(4, 220)} = 3.893, p = .002$)。

= .005). そこで、同様に多重比較を行い、有意な差異があったペアを図4 (b)に記載した。図4 (b)より、第1動作が瞬き、ウインクにおいて、第2動作が第1動作と同じアイジェスチャである場合、見開くや細めるに対して有意に好まれたことが示された。

つまり、見開く、細めるを除いた3種類のアイジェスチャ(瞬き、左ウインク、右ウインク)において、同一のアイジェスチャが連続したとき、相乗効果により他のアイジェスチャを組合せた場合より好まれる傾向にあった。同一のアイジェスチャである場合のほかにも、第1動作が瞬き、第2動作がウインクである場合は第2動作が見開くや細めるである場合よりも好まれることがわかった。これらの結果をまとめると、最も好まれるのは瞬き→瞬きで、次点として第1動作・第2動作がともにウインクの組合せ(左ウインク→右ウインク、左ウインク→左ウインク等)や、第1動作が瞬き、第2動作がウインクの組合せ(瞬き→左ウインク、瞬き→右ウインク)と続く。各動作に見開くか細めるが含まれると、他のアイジェスチャの組合せに対して好みの評価値は低かったといえる。

次に、タスク1において1回選択を成功させるまでに失敗した回数を示す、平均エラー回数の結果について述べる。2要因参加者内分散分析を行った結果、すべての主効果、及び交互作用で有意ではなかった(第1動作, $F_{(4, 44)} = 1.941, p = .120$; 第2動作, $F_{(4, 44)} = 1.257, p = .301$; 交互作用, $F_{(16, 176)} = 0.708, p = .784$)。選択タスクにおいてエラーが少なかったため、入力方法間で違いが出なかったと考えられる。

実験終了後、体験した全ての入力方法の中で、選択に直列型アイジェスチャを1つだけ割り当てるとしたらどれを選ぶかを聴取したところ、瞬き→瞬きに最も割り当てられ

た(7/12人)。また、瞬き→左ウインクが2人、1人に選ばれた直列型アイジェスチャが左ウインク→左ウインク、右ウインク→左ウインク、細める→瞬きとなった。動作ごとに操作割り当ての内訳をみると、第1動作では瞬き(9/12人)、第2動作でも瞬き(8/12人)が最多であった。

4.5.2 タスク2: 掴み

好みについての結果を図5に示す。2要因参加者内分散分析を行った結果、すべての主効果が有意だった(第1動作, $F_{(4, 44)} = 5.721, p < .001$; 第2動作, $F_{(3, 33)} = 5.844, p = .003$)。しかし、第1動作と第2動作の交互作用が有意だった($F_{(12, 132)} = 2.848, p = .002$)ため、先に述べた主効果は、有意な交互作用によって限定される。

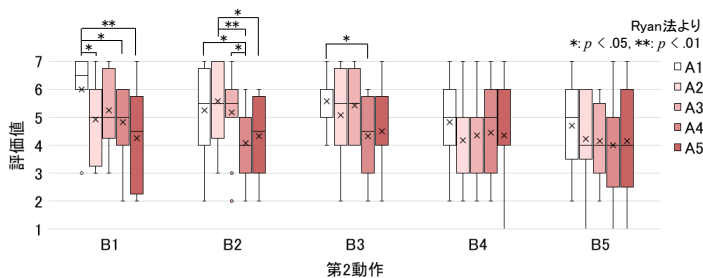
ここで、第1動作の効果に着目すると、第2動作が左ウインク、右ウインクの時、第1動作の単純主効果が有意であった(左ウインク, $F_{(4, 176)} = 4.877, p < .001$; 右ウインク, $F_{(4, 176)} = 8.448, p < .001$)。そこで、多重比較を行い、有意な差異があったペアを図5 (a)に記載した。図5 (a)より、第2動作がウインクにおいて、第1動作が瞬き、ウインクである場合に、見開く、細めるに対して有意に好まれる傾向にあることが示された。

また第2動作の効果に着目すると、第1動作が瞬き、左ウインク、右ウインクの時、第2動作の単純主効果が有意であった(瞬き, $F_{(3, 165)} = 5.863, p < .001$; 左ウインク, $F_{(3, 165)} = 9.210, p < .001$; 右ウインク, $F_{(3, 165)} = 5.754, p < .001$)。そこで、同様に多重比較を行い、有意な差異があったペアを図5 (b)に記載した。図5 (b)より、第1動作が瞬き、ウインクにおいて、第2動作がウインクである場合に、見開くと細めるに対して有意に好まれたことが示された。

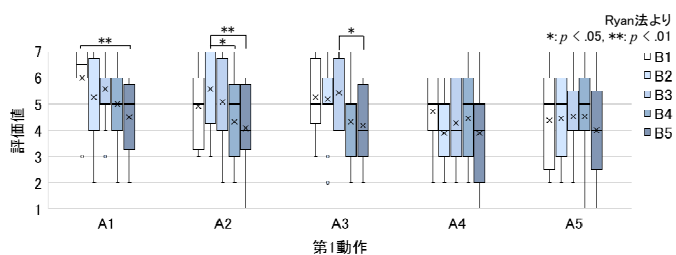
つまり、第1動作、第2動作に見開くと細めるを含まない、瞬き→ウインクもしくはウインク→ウインク(全てウインクは左右どちらでも良い)の直列型アイジェスチャである場合に好まれたことが示された。

次に、実験2において掴み移動を1試行成功させるまでに失敗した回数を示す、平均エラー回数の結果について述べる。2要因参加者内分散分析を行った結果、第1動作と第2動作の交互作用、第1動作の主効果は有意でなかった(交互作用, $F_{(12, 132)} = 1.130, p = .341$; 第1動作, $F_{(4, 44)} = 0.486, p = .746$)が、第2動作の主効果に有意であった($F_{(3, 33)} = 7.575, p < .001$)。第2動作の主効果における多重比較を行った結果、まず左ウインクが、見開くと細めるに対して有意にエラー回数が少なかった([B2-B4] $t_{(33)} = 3.790, p = .004$; [B2-B5] $t_{(33)} = 3.073, p = .017$)。また、右ウインクも左ウインクと同様に、見開くと細めるに対して有意にエラー回数が少なかった([B3-B4] $t_{(33)} = 3.585, p = .004$; [B3-B5] $t_{(33)} = 2.868, p = .014$)。

つまり、第1動作が何であるかに関わらず、第2動作が見開くか細めるの時、第2動作が左ウインク、右ウインクである場合よりもエラー回数が増えることがわかった。



(a) 第1動作を凡例とした場合



(b) 第2動作を凡例とした場合

図4 タスク1: 好み

実験終了後、体験した全ての入力方法の中で、掴みに直列型アイジェスチャを1つだけ割り当てるとしたらどれを選ぶかを聴取したところ、約半数(5/12人)が瞬き→右ウインクの組合せを割り当てた。また、瞬き→左ウインクの組合せを割り当てた人数も含めると過半数(8/12人)となった。残りの割り当ては左ウインク→左ウインク、右ウインク→右ウインクがそれぞれ2人であった。動作ごとに操作割り当ての内訳をみると、第1動作では瞬き(8/12人)、第2動作ではウインク(12/12人)が最多であった(左ウインク:5/12人、右ウインク:7/12人)。

4.5.3 タスク 3 : 色変更

好みについての結果を図6に示す。2要因参加者内分散分析を行った結果、第1動作と第2動作の交互作用は有意でなかった($F_{(16,176)} = 0.890, p = .582$)が、すべての主効果が有意だった(第1動作, $F_{(4,44)} = 6.847, p < .001$; 第2動作, $F_{(4,44)} = 9.113, p < .001$)。それぞれの主効果における多重比較を行った結果を図6(a)(b)に示す。図6(a)(b)より、第1動作では瞬きが見開くと細めるに対して有意に好まれ([A1-A4] $t_{(44)} = 4.911, p < .001$; [A1-A5] $t_{(44)} = 3.868, p = .003$)、第2動作では瞬きに加えて、左ウインク、右ウインクも見開くと細めるに対して有意に好まれた([B1-B4] $t_{(44)} = 4.298, p < .001$; [B1-B5] $t_{(44)} = 4.580, p < .001$; [B2-B4] $t_{(44)} = 3.523, p = .005$; [B2-B5] $t_{(44)} = 3.805, p = .003$; [B3-B4] $t_{(44)} = 3.241, p = .006$; [B3-B5] $t_{(44)} = 3.523, p = .005$)。

これらの結果から、色変更タスクにおける好みを考えるにあたって組合せ方を考慮する必要はなく、動作ごとに切り離して考えることが可能であることが示唆された。具体的には、第1動作では瞬きが好まれ、第2動作では瞬き、

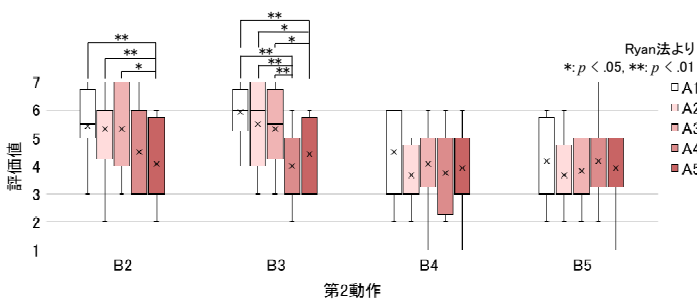
ウインクの順に色変更タスクにおける直列型アイジェスチャとして好まれたといえる。反対に第1動作、第2動作のどちらの動作に対しても、見開くと細めるは好まれなかったといえることがわかった。

次に、実験3において色変更1試行を成功させるまでに失敗した回数を示す、平均エラー回数の結果について述べる。2要因参加者内分散分析を行った結果、第1動作と第2動作の交互作用は有意でなく($F_{(16,176)} = 0.788, p = .698$)、またすべての主効果が有意でなかった(第1動作, $F_{(4,44)} = 2.528, p = .054$; 第2動作, $F_{(4,44)} = 1.509, p = .216$)。

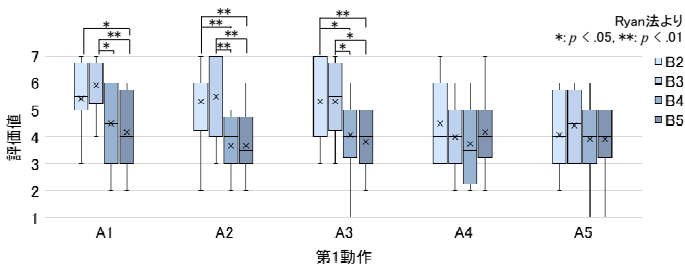
実験終了後、体験した全ての入力方法の中で、色変更直列型アイジェスチャを1つだけ割り当てるとしたらどれを選ぶかを聴取した結果、これまでのタスク1,2の結果と比較して、割り当てに大きな差はなく、最多の割り当てでも瞬き→瞬きの3/12人とどまった。動作ごとに操作割り当ての内訳をみると、第1動作では瞬き(6/12人)、第2動作でも瞬き(5/12人)が最多であった。割り当てで差が見られなかったのは、選択(タスク1)に対してほとんどの人が瞬き→瞬きに操作を割り当てていたことが理由として考えられる。回答の際に特に割り当てる順番は指定していなかったが、選択タスクに、まず瞬き→瞬きを割り当てるという実験参加者が多かった。そのため、それ以外の直列型アイジェスチャから割り当てを選ぶことになる。しかしこのタスクでも瞬き→瞬きにおいて評価が高い傾向が見られたため、割り当て結果に差が見られなかったのだと考える。また、優先して割り当てられなかったということは、色変更タスクには直列型アイジェスチャが比較的不適といえるのではないかと考えた。

4.5.4 タスク 4 : 拡大

全体的にこの入力方法をどれくらい好んだか、という好

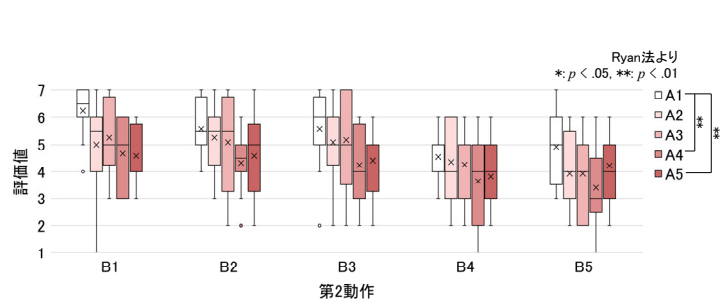


(a) 第1動作を凡例とした場合

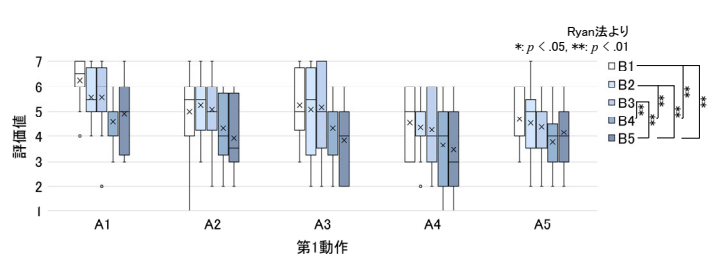


(b) 第2動作を凡例とした場合

図5 タスク 2 : 好み



(a) 第1動作を凡例とした場合



(b) 第2動作を凡例とした場合

図6 タスク 3 : 好み

みについての結果を図7に示す。2要因参加者内分散分析を行った結果、第1動作と第2動作の交互作用、第2動作の主効果は有意でなかった(交互作用, $F_{(12, 132)} = 1.091, p = .373$; 第2動作, $F_{(3, 33)} = 2.758, p = .058$)が、第1動作の主効果が有意であった(第1動作, $F_{(4, 44)} = 4.014, p = .007$)。

第1動作の主効果における多重比較を行った結果、瞬きが見開くに対して有意に好まれた([A1-A4] $t_{(44)} = 3.813, p = .004$)。また、左ウインク、右ウインクが見開くに対して有意傾向を示した([A2-A4] $t_{(44)} = 2.451, p = .091$; [A3-A4] $t_{(44)} = 2.814, p = .055$)。この結果の内、有意であったものは図7(a)に記載している。以上の結果から、拡大タスクにおいて、好みに影響を与えるのは組合せ方ではなく、第1動作のアイジェスチャごとに考えられ、瞬きが見開くに対して有意に好まれたことが分かった。また第2動作では差は認められず、どのアイジェスチャで行っても好みには影響を与えないと判断できることがわかった。

次に、タスク4において拡大1試行を成功させるまでに失敗した回数を示す、平均エラー回数の結果について述べる。2要因参加者内分散分析を行った結果、第1動作と第2動作の交互作用は有意でなく($F_{(12, 132)} = 0.481, p = .923$)、またすべての主効果が有意でなかった(第1動作, $F_{(4, 44)} = 1.243, p = .307$; 第2動作, $F_{(3, 33)} = 2.442, p = .082$)。

実験終了後、体験した全ての入力方法の中で、拡大に直列型アイジェスチャを1つだけ割り当てるとしたらどれを選ぶかを聴取した結果、瞬き→見開くに最も割り当てられた(6/12人)。動作ごとに内訳を確認すると、第1動作では瞬きが最も選ばれ(8/12人)、見開くや細めるはだれも選ばなかった。第2動作では見開くが最も選ばれ(6/12人)、細めるはだれも選ばなかった。このようになった理由とし

て、見開くが今回挙げた第2動作のアイジェスチャの中で、拡大という操作に対して最も直観的だったこと、また他の操作に対して見開くを用いた直列型アイジェスチャが割り当てられていない場合が多かったことが考えられる。第2動作の左ウインク、右ウインクを合わせて考えた場合、見開くと同程度に選ばれていることが分かる。これは、各主観評価項目で第2動作において有意差が認められない場合が多かったという点に従う。つまり、第2動作においてどのアイジェスチャも拡大に不適であるということではなく、他の操作と併用して使うことを鑑みた際には見開くが優先して選ばれるということがいえると考えた。

5. 考察

5.1 アイジェスチャの第1動作としてのUI特性

直列型アイジェスチャにおいて第1動作は、操作内容を問わず、第2動作への導入動作・予備動作といえることができる。このため、第1動作において重要であるのはアイジェスチャの容易さ、疲れにくさ、第2動作への接続性であると考えた。接続性とは、第1動作→第2動作の直列型アイジェスチャの覚えやすさや、その動作同士を組み合わせることで入力しやすくなるかどうかを指す。容易さ、疲れにくさ、接続性の観点から各アイジェスチャ(瞬き、ウインク、見開く、細める)が第1動作として適しているかそうでないか、各アイジェスチャの持つUI特性から判断を行う。またウインクについて、実験中は左と右に分けていたが、動作ごとに考える場合は左右の区別をする必要がないため、ここではまとめて述べることにする。

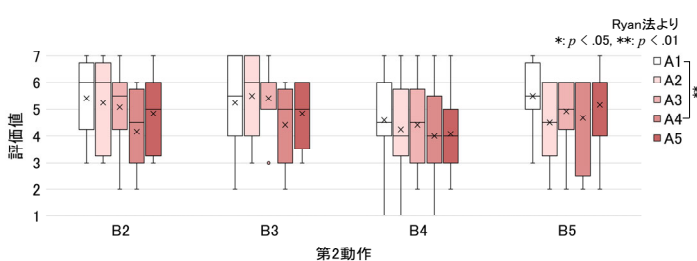
【瞬き】

瞬きは、今回挙げたアイジェスチャの中で最も容易であり、最も疲れにくく、どのようなアイジェスチャが第2動作に続いてそのアイジェスチャのやりやすさは変わらないといえる。これは瞬き自体が日常的に、かつ無意識に行っており慣れている動作であることから明らかである。すべての実験で、第1動作において有意な差が認められたとき、ほとんどの項目で瞬きが高く評価されていたことから、瞬きが最も第1動作として適切なアイジェスチャであるといえると考えた。

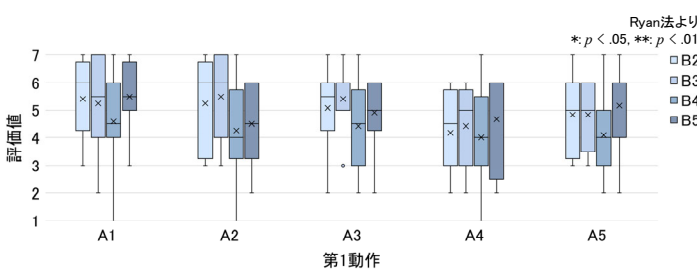
【ウインク (左ウインク, 右ウインク)】

ウインクは、瞬きと比べると容易さ、疲れにくさ、接続性のすべてで劣るものの、見開くと比べるといずれも高い評価を得ていた。これはウインクが瞬きと同様に目を閉じるという動作であり、ウインクが出来る体験者にとっては制御が容易であったためと考えることができる。結果をまとめると、瞬きより低く、見開くより高い評価を得ており、細めるとは同等かそれ以上の評価だったため、第1動作として不適ではないといえる。

ウインクに特筆される点として、第2動作に用いるアイジェスチャによって評価に差がみられたことが挙げら



(a) 第1動作を凡例とした場合



(b) 第2動作を凡例とした場合

図7 タスク4: 好み

れる。第2動作に見開くか細めるを用いる場合は、第2動作に瞬きかウイंकを用いる場合と比べて、すべての実験で学習容易性や好みの評価が低かった。第2動作に瞬きかウイंकをとる場合は、左目→右目、左目→左目、左目→両目のように、閉じる目がどちらなのかを覚え、ジェスチャを行うのみである点で統一されているため、比較的好まれたと考えられる。特に選択タスクでは、同一の目を閉じるウイंकが続く場合(左ウイंक→左ウイंक、右ウイंक→右ウイंक)、マウス操作でいうダブルクリックに見立てたというコメントもあり、好まれることがわかった。選択タスク以外では同一の目を閉じるウイंकが続くか、各動作で異なる目を閉じるウイंकが続くかで全体的に差はなく同程度の評価であったが、疲れにくさで概ね後者が高い評価を得ていた。このことから、選択を除いた操作内容に対して、使用頻度の多い場合は、第2動作とは異なる目を閉じるウイंकを採用するか、第2動作に瞬きを採用することで、第1動作として瞬きの代替としてウイंकを使用することに問題はないと考える。

【見開く】

VR空間操作コマンドとして考えたとき、第1動作に見開くは不適であると考えた。これは実験を通して、有意に低い評価を得ていた項目のほとんどに見開くが含まれていたためである。今回の条件下では、HMDを押し上げるような力を入れる動作となっており、第1動作として重要である指標の容易さ、疲れにくさ、接続性のすべてで適性があるとはいえない。ただし、VRを対象としない場合は、この限りではない。これは聴き取り調査で得た、やりやすさに関する評価値と、実際にHMDを装着して行った実験の容易性で最も評価に差があったアイジェスチャであったことから推測した。

【細める】

細めるは基本的に第1動作としては適しているとはいえないと考えた。これはすべての実験を通して、容易さで有意に高く評価されていなかったためである。しかし疲れにくさにおいては、見開くとは異なり、有意に低い評価を得ているタスクがなかったため、必ずしも不適であるとはいえないと考えた。参加者から得たコメントの中で、「細めるは注視に近いイメージを持った」というものがあり、これと作業時間が有意に長かったことを踏まえて、その操作内容の種類にかかわらず、時間的な制約がない、かつ注目して行う必要があるような操作であれば採用する余地があると考えた。総合すると、第1動作としての細めるには、疲れにくいアイジェスチャではあるものの、容易性、接続性の評価が低いと考えたため、その操作内容にかかわらず、基本的には適しているとはいえないと考えた。

5.2 アイジェスチャの第2動作としてのUI特性

直列型アイジェスチャにおいて第2動作は、操作内容を

問わず、実質的にその操作を決定する動作ということができる。このため、聴取した評価項目の内、第2動作において第1動作と比べて重要であるのはアイジェスチャの操作に対する適合性、好みであると考えた。また第1動作と同様に、容易さ、疲れにくさ、接続性も踏まえた総合的な評価が重要であると考えた。適合性、好み、接続性の観点から各アイジェスチャが第2動作として適しているかそうでないか、各アイジェスチャの持つUI特性から判断を行う。

【瞬き】

第1動作の考察でも述べたように、瞬きは今回挙げたアイジェスチャの中で最も容易であり、疲れにくく、第1動作に瞬きやウイंक、細めるを用いる場合はそのやりやすさに関して変わらないといえる。これは瞬きという動作自体が日常的に、かつ無意識に行っており慣れている動作であることから明らかである。このため、単発的な入力で行う選択である色変更において第2動作において有意な差が認められたとき、いずれの評価項目でも有意に高い評価を得ていたことから、単発的な入力で行う操作に対して直列型アイジェスチャ内で割り当てを考えた場合、瞬きが最も第2動作として適切なアイジェスチャであるといえると考えた。

【ウイंक(左ウイंक、右ウイंक)】

単発的な入力で行う操作に対する実験においてウイंकは、瞬きと比べると適合性、好みで劣るものの、継続的な入力で行う操作ができるという利点がある。継続的な入力で行う操作に対するタスク(掴み、拡大)の内、掴みでは見開くや細めると比較して高い評価を得ている項目が多く認められた。これはウイंकが瞬きと同様に目を閉じるという動作であり、視線ブレの影響が少ないため、できる人にとっては制御が容易であったことが理由として考えられる。つまり、継続的な入力で行うON/OFF操作の場合、見開くや細めるより高い評価を得ており、第2動作として適しているといえる。また、継続的な入力で行う値変更操作の場合でも見開くや細めるに対して差はなかったため、継続的な入力で行う操作であればその内容を問わず、適しているといえると考えた。

単発的な入力で行うON/OFF操作に対しては、瞬きには劣るものの、次点として採用される余地はあると考えた。この場合、第1動作の考察でも述べたように、同一の目を閉じるウイंकが続く(左ウイंक→左ウイंक、右ウイंक→右ウイंक)と接続性が高くなると考えられるため、第1動作の制限はありつつも、単発的なON/OFF操作に対して第2動作としてウイंकを瞬きの次点として採用することは可能であると考えた。単発的な入力で行う値変更操作に対しては、基本的に単発的な入力で行うON/OFF操作と同じであると考えた。異なる点として、何度も行う操作であるため、同一の目を閉じるウイंकが続く必要はなく、疲れにくさを考慮したとき、第1動作を瞬きとする

か、第2動作のウイंकとは異なる目を閉じるウイंकであれば適していると考えた。

つまり、継続的な入力で行う ON/OFF 操作の場合はウイंकが最も適しており、継続的な入力で行う値変更操作の場合は見開くや細めると並んで適していると結論付けた。また単発的な入力に対しては瞬きの次点として、第1動作が条件を満たすときには適していると考えられる。

【見開く】

見開くは、拡大操作においてのみ適しており、さらにその操作には適合性、好みが反映されると考えた。操作割り当てにおいて最も割り当てられた一方で、拡大を除くタスクにおいてほとんどの項目で有意に低い評価を得ていたことから、単発的な入力には不適であり、拡大に対してのみ適していると考えられる。ここで、継続的な入力で行う値変更操作全般ではなく拡大にのみ適していると限定したのは、見開くという動作が特に拡大に直観的であったことが理由である。操作割り当てにおいて半数を占めたものの、各評価項目では有意に高い評価を得られず差がなかったことから結論付けた。第1動作の考察で論じたように見開くは疲れやすい UI 特性をもつため、拡大以外の継続的な入力で行う値変更操作に割り当てる際には、使用頻度が低い場合には適している可能性があるが、使用頻度が高い場合には不適である可能性が高いことが考えられる。

【細める】

細めるは、見開くと同様に拡大以外では適合性、好みの評価が低く、単発的な入力には不適であることが示唆された。また視線情報を伴う掴みでも評価が低かった。これは視線ブレの影響が大きいことが考えられる。一方で、拡大でウイंकや見開くと評価に差がみられなかったことから、継続的な入力で行う値変更操作で、かつ細める動作に直観的であるものであれば適しているといえることが考えられる。細めるは見開くとは対になっている動作であるため、たとえば、見開くにおいて適していると言及した拡大の反対の操作である縮小に向いているのではないかと考えられる。

6. むすび

VR 技術の発達に伴い、身体の動きを入力とする研究が活発化している。しかし、VR 空間においてアイジェスチャを入力として用いた研究はまだ数が少なく、知見は十分ではないと考えられる。このことに着目し、先行研究では、単一アイジェスチャとして注視、瞬き、ウイंक、見開く、細めるの5種類のアイジェスチャの UI 特性についての研究が行われていたが、単一動作のために誤認識が生じやすいことや、ジェスチャの数が少ないこと等が課題として挙げられていた。

そこで本研究では、アイジェスチャを続けて行うことで1つのコマンドとする直列型アイジェスチャの提唱を行い、

VR 空間操作コマンドとしての直列型アイジェスチャの UI 特性の分析に取り組んだ。

まず、単一アイジェスチャとして定義されていたアイジェスチャ群を基に、直列型アイジェスチャの定義と整理を行った。次に、構築したアイトラッキング環境を用いてアイジェスチャ入力を評価する実験を実施した。VR 空間における操作を4パターンに分類したものを実験タスクとして設定し、UI 特性を分析するため実験を行った。

実験結果から VR 空間操作コマンドとしての各アイジェスチャを、第1動作、第2動作ごとに分析・考察し、第1動作では疲れにくさ、容易さ、接続性が重視されたため瞬きが基本的に適していること、第2動作では適合性、好み、重要視されたため、選択、色変更には瞬きが、掴みにはウイंकが、拡大には見開くが適することを明らかにした。

以上のことから、VR 空間操作コマンドとしての直列型アイジェスチャの UI 特性を確認した。今後の展望としては、並列型アイジェスチャの UI 特性分析がまず考えられる。ほかにも、本研究ではあくまで直列型アイジェスチャの UI 特性のみの分析を行っており、実際の利用を想定していないため、実用に向けた問題点や利用する際の知見は得ていないことが挙げられる。よって、本研究の知見を用いたアイジェスチャ操作型の VR アプリケーションの開発やその事例の分析も必要である。

謝辞

本研究の使用機器を貸与していただいた京都大学工学研究科の中村裕一先生、ご指導いただいた井藤秀隆氏に感謝の意を表す。

参考文献

- [1] J. S. Pierce, B. C. Stearns, and R. Pausch: "Voodoo dolls: seamless interaction at multiple scales in virtual environments," Proc. symposium on Interactive 3D graphics, pp.141 - 145, 1999.
- [2] F. Tecchia, G. Avveduto, R. Brondi, M. Carrozzino, and M. Bergamasco: "I'm in VR!: using your own hands in a fully immersive MR system," Proc. Virtual Reality Software and Technology, pp. 73 - 76, 2014.
- [3] V. Rajanna, J. Hansen: "Gaze typing in virtual reality: impact of keyboard design, selection method, and motion," Proc. Eye Tracking Research & Applications, No. 15, 2018.
- [4] J. Orlosky, T. Toyama, K. Kiyokawa, and D. Sonntag: "ModuLAR: Eye-controlled vision augmentations for head mounted displays," *IEEE transactions on visualization and computer graphics*, vol.21, No.11, pp. 1259 - 1268, 2015.
- [5] 夏目達也, 内村裕也, 柴田史久, 木村朝子: "VR 空間操作コマンドとしてのアイジェスチャ UI 特性分析 (1)~単一アイジェスチャの特性分析~", 第192回 HCI 研究会, 2021.