教師の指さし動作認識に基づく 生徒の遠隔授業参加支援

嚴 筵景^{a,*} 柴田 論^a 穆 盛林^a 荻田 知則^b 大森 孝哉^a

Supporting Students to Participate in Remote Classes

Based on Recognition of Teachers' Pointing Motions on the Blackboard

Yeonkyung Eom^{a,*}, Satoru Shibata^a, Shenglin Mu^a, Tomonori Karita^b, Takaya Omori^a

(Received July 20, 2020; revised August 31, 2020; accepted September 4, 2020)

Abstract

It is difficult for students under hospital care by the reasons of severe disease to attend school classes, and there exists many students who takes remote classes due to COVID-19 in 2020. We constructed a system which enables a student to attend classes using an alter ego robot which provides scenery of the class to the student through a monitor in front of the student. It is important to restrict the amount of information on the class lesson given to the student to avoid decrease in concentration. As a method to restrict the amount of the information, we propose a service in which notable description on the blackboard pointed by the teacher is magnified and shown to the student through the monitor. The parameters which can affect human psychology such as magnification rate, tracking characteristics to the change of the pointed position, the timing to return from magnification to the normal display when the pointing motion ends, are evaluated by the Semantic Differential method. It is clarified from the factor analysis that the emotion to the service can be expressed by the factors of legibility, emotionality and stability. In addition, the desirable magnification rate, breakpoint frequency of the first order delay characteristics to the change of pointed position, and dead time before returning to the normal display are clarified.

キーワード：遠隔学習支援システム, Kinect センサー, 教師の指さし動作, 因子分析

Keywords: Remote learning support system, Kinect sensor, Pointing motion of the teacher, Factor analysis.

1. 緒言

現在、重度の病気や怪我等の理由で病室のベッドの上で生活をしている児童及び学生は多く存在している。そのような人にとって自ら出歩き授業に参加することは困難であり、院内でも授業に参加できることが望ましい⁽¹⁾。また、2020年は新型コロナウイルスの流行により、多くの学生は自宅から遠隔授業を受講せざるを得ない状況に陥り、遠隔授業の質の向上が期待されている。

我々の研究グループは、重度の病気や怪我等で授業に参加できない児童及び学生(以下、長期欠席児)が病室のベッドの上から視線入力により自らの代理となるアバターロボット(以下、アバターロボット)を遠隔操作し、周囲の環境情報を取得することで授業に参加するシステムを提案した⁽²⁾。視線方向の推定には使用者に非接触であり、一般の病室でも比較的設置の簡易なwebカメラを使用している。また、ロボットはユーザの操作により任意の方向へ移動可能であることを考慮し、足回りに全方向移動機構を有するものとし、ロボットに設置したカメラ映像により周囲の環境情報を容易に伝え、情報支援が行えるようにしている。このシステムは長期欠席生徒のための授業参加支援にとどまらず、新型コロナウイルスにより遠隔授業を受講する学生にとっても有効であると思われる。

* Corresponding author. E-mail: f861005b@mails.cc.ehime-u.ac.jp

^a 愛媛大学大学院 理工学研究科

〒790-8577 愛媛県松山市文京町3番

Ehime University, Graduate School of Science and Engineering
3, Bunkyo-cho, Ehime, Japan 790-8577

^b 愛媛大学 教育学部

〒790-8577 愛媛県松山市文京町3番

Ehime University, Faculty of Education
3, Bunkyo-cho, Ehime, Japan 790-8577

Fig. 1. System configuration.

Fig. 2. Appearance of avatar robot.

提案したシステムでは、ロボットを用いて授業に参加する際、ユーザの前にあるディスプレイに授業中の風景が表示され、それを見て受講するという形態になっている。このとき、医療的ケアや入院加療が必要な児童生徒の中には、認識能力が十分に発達しておらず、多くの情報が視界に入ることによって集中力の低下を引き起こす場合があることに注意しなくてはならない⁽³⁻⁴⁾。集中力の低下を抑えるためには、ユーザが得る情報量を制限することが重要である⁽⁵⁾。

そこで、授業においてユーザに与える情報量を制限し、なおかつ集中力を高める方法について検討する。講義や授業などにおいて、教師は学生の視線を注目させたい箇所へと誘導するために指さしを行う⁽⁶⁾。学生は教師の意図を感じながら、指された部分に注意を向ける⁽⁷⁾。このように、教師の黒板への指さし動作は重要な部分に入る際の合図であり、指された部分は学生に特に理解してほ

しい部分である。このことから、教師の指さし動作を認識して指された部分を拡大してユーザに提示することが出来れば、注意を喚起して集中力を高め、制限された重要な情報を提示するという意味において理想的である。さらに、指さし点が移動した場合に、ユーザにとって違和感なく黒板上の指された部分を提示することは重要である。

指さし動作の認識、指示点の推定に関しては、指さし時に目標とする位置と実際に指示された位置について調査した報告⁽⁸⁾や遠隔授業を行っている講師が講義資料提示画面のどこを指しているかを調査する報告⁽⁹⁾などがあるが、指で指された部分を拡大して学生に提示する機能や、指さし点の移動に対応した提示機能などは検討されていない。

そこで本報告では、教師の黒板への指さし動作を自動認識し、黒板上の指さし位置の推定及び拡大、指さし位置が移動した際の拡大部分のユーザへの提示を行う機能を付加した新しいシステムを構成する。そして、それらにおける望ましいパラメータについて、心理学的評価手法により検討する。

2. システムの構成

2.1 遠隔授業参加支援システムの構成

遠隔授業参加支援システムの概要を Fig.1 に示す。本システムは病室におけるユーザインタフェース部と、教室内のロボット操作・授業認識部に分かれている。ユーザインタフェース部は授業に関する映像を確認するためのモニター、操作者の顔画像を取得するための web カメラ、画像処理用 PC で構成されている。教室内のロボット操作部は、ロボット PC、ロボット上部に設置された web カメラ、web カメラの映像を処理するノート PC で構成されており、授業認識部は机上の Kinect v2 センサー(以下、Kinect センサー)、画像認識及び通信に用いられる PC(以下、Kinect PC)で構成されている。視線入力部ではモニターに取り付けられているカメラで操作者の視線方向が認識され、モニターの映像上のどこを注視しているかが判断される。その情報を TCP/IP 通信でロボット操作部に送り、操作部は送られてきた情報に基づき、ロボットの位置姿勢をモータにより制御する。その制御は、操作者の環境の認識を容易にするためにモニター上で操作者が注視している点が画面中心方向に移動するように行われる⁽²⁾。授業認識部では Kinect センサーにより授業の撮影および教師の動作の認識が行われ、必要に応じてこれらの情報が操作者側に送られる。

すなわち、通常は操作者の視線入力に基づくアバターロボットの操作により授業に参加するが、必要に応じて授業認識部からの情報提供画面へと自動的に切り替わり、操作者の集中力を高め、制限された重要な情報を提示す

Fig. 3. Kinect Sensor.

Fig. 4. Name and number of each point of skeleton.

ることが行われる。

2.2 アバターロボットの詳細

アバターロボットの外観と寸法を Fig.2 に示す。下部に取り付けられたオムニホイールにより 2 自由度の平面運動，ヨー角方向の回転運動が行える全方向移動型である。また，ロボット上部にはアタッチメントと 2 つのモータを介して web カメラが取り付けられており，ピッチ角およびヨー角方向に自由度を有する。ユーザは遠隔地から視線入力でロボットとカメラの姿勢制御を行い，環境情報を取得する。

3. 教師の黒板への指さし動作の認識

本研究では，教師が授業中に行う，学生の視線を注目させたい箇所へと誘導する黒板への指さし動作を認識する必要があるが，それは Kinect センサーを用いて行う。

3.1 Kinect センサーによる上半身の計測

Kinect センサーの外観を Fig.3 に示す。Kinect センサーは，RGB(カラー)カメラ，IR(赤外線)カメラおよびエミッター(放出器)を使った Depth センサー，4 つのマイクロフォンアレイで構成されている。また，Kinect センサーでは Body データを検出し，人の関節のデータを取得することができる⁽¹⁰⁾。人の関節を認識する際，深度画像(Depth Image)を用いるが，深度画像は照明条件・服の色の影響を受けず人間の形がくっきりと得られる⁽¹¹⁾。

ここでは操作者の上半身に注目し，取得した Depth データ，Body データを用い指さし動作の認識を行う。また，カラー画像はユーザへの授業風景のフィードバックと後述する指さし動作と他の動作の識別の確認のために用いる。カラー画像は教師の指さし動作認識には用いないため，授業で用いるボードの色や材質が変わっても指さし動作の認識に影響はない。取得することが可能な上半身の関節データを Fig.4 に示す。Fig.4 に示している関節名

(a) Color image.

(b) Body image.

(c) Depth image.

Fig. 5. An example of acquired pointing pose.

(a) Front view.

(b) Side view.

Fig. 6. Experimental condition of characteristic extraction of pointing action.

Fig. 7. Pointing recognition experiment.

と関節番号は Kinect.h で定義されているものである。そして，本研究で用いるカラー画像，Depth データ，Body データの画像例を Fig.5 に示す。

3.2 人の指さし動作認識

(a) 指さし動作の特徴の抽出

指さし動作の特徴を決定するために，被験者 16 名に対して，黒板上の注目点を指示する指さし動作の実験を行った。ただし，被験者 16 名の服装は自由とした。この際，Kinect センサーの配置や注目点位置の条件を Fig.6 に示す。Fig.6 の黒板上の赤点が指さし動作を行う対象であり，

Fig. 8. Angle of elbow at pointing action.

Fig. 9. Distance between right hand and blackboard.

被験者全員に右手を使って指さし動作を行うように指示した。また、Kinect センサーは黒板を全範囲取得可能であり、被験者の Body データを取得できる範囲に設置する必要があるため、黒板と Kinect センサーの距離を 4000mm とした。地面からの Kinect センサーの距離は Kinect センサーを一般的な机の高さに設置することを想定したため、700mm とした。

(b) 指さし動作の特徴の決定

右手での指さし動作の特徴を抽出するにあたり、Body データで取得できる関節のうち、左肩、右肩、右肘、右手の 4 つの関節 (Fig.4 の 4: ShoulderLeft, 8: ShoulderRight, 9: ElbowRight, 11: HandRight に該当) に注目した。指さし動作の例と、各関節位置を Fig.7 に示す。指さし動作は Fig.7 に示した 4 点の位置関係に依存していると考えられる。3.2 節(a)項で行った実験で取得した右手、右肘、右肩からなる角度を Fig.8 に示す。Fig.8 において、縦軸は Fig.6(a)中の黒板上の注目点位置であり、横軸は肘関節の角度である。また、黒丸は黒板上の各点における、被験者 16 名の肘関節角度の平均角度であり、横棒は標準偏差を示している。Fig.8 より、右手での指さし動作時における右肘の角度は被験者全員が 90 度以上であることが分かる。このことから、この肘関節の角度が 90 度以上であることを指さし動作時の特徴の一つとする。

また、Fig.9 に被験者の指さし動作時の、右手関節と黒板との Z 軸方向の距離を示す。ここでの Z 軸方向とは、Fig.6 中で示した Kinect センサーで取得した際の座標である。Fig.9 において、縦軸は Fig.6(a)中の黒板上の注目点位置であり、横軸は黒板と右手関節の Z 軸方向の距離である。また、丸印は被験者 16 名の、黒板上の各点における右手関節との Z 軸方向の平均距離であり、横棒は標準偏差を示している。Fig.9 より、黒板と右手関節の距離

(a) Color image of speaking action.

(b) Body data of speaking action.

(c) Color image of nominating action.

(d) Body data of nominating action.

(e) Color image of the motion pointing to the blackboard.

(f) Body data of the motion pointing to the blackboard.

Fig. 10. Experiment of distinguishing pointing action from other actions.

は 100mm から 300mm の間に納まっている。このことから、指さし動作の特徴の一つとして、黒板と右手関節の距離が近いことが挙げられる。

これらに加えて、指さし動作時の特徴として、黒板の範囲内に右手関節が納まっていることと、右手関節が胴体より外側にあることが挙げられる。ここでの黒板の範囲内とは、Kinect センサーで取得した、XY 平面上の黒板座標であり、胴体とは、Fig.7 における Right shoulder と Left shoulder 間のことを意味する。

以上のことから、次に示す 4 つの条件を同時に満たす動作が指さし動作であると考えられる。

- ・黒板の範囲内に手がある。
- ・手が胴体の外側にある。
- ・肘の角度が一定値以上である。
- ・手が黒板に近づいている。

(c) 指さし状態の認識アルゴリズム

上述の指さし動作の特徴を利用し、指さしの動作の認識を試みる。

まず、「黒板の範囲内に手がある」を判断するために、画像内における黒板の範囲を獲得する。Body データで取得した教師の手の座標がその範囲内にあるかどうかを確

かめる。

次に、Body データから「手が胴体の外側にあるか」と「肘の角度が一定値以上か」の 2 つを判断する。まず、「手が胴体の外側にあるか」は手の座標と両肩の座標を比較し判断する。右手で指さしを行う場合は、両肩の座標を取得し、右手と右肩の座標を比較することで右手が右肩の外側にあるかどうか判断する。「左手が胴体の外側にあるか」の場合も同様にして判断する。

「肘の角度が一定値以上か」を判断するために、右手、右肘、右肩の座標を使い肘の角度を求める必要がある。右手、右肘、右肩の x, y, z データをそれぞれ、 (x_1, y_1, z_1) , (x_2, y_2, z_2) , (x_3, y_3, z_3) とすると、右手と右肘の距離 l_1 、右肘と右肩の距離 l_2 、右肩と右手の距離 l_3 は、それぞれ

$$l_1 = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2 + (z_2 - z_1)^2} \quad (1)$$

$$l_2 = \sqrt{(x_3 - x_2)^2 + (y_3 - y_2)^2 + (z_3 - z_2)^2} \quad (2)$$

$$l_3 = \sqrt{(x_1 - x_3)^2 + (y_1 - y_3)^2 + (z_1 - z_3)^2} \quad (3)$$

となる。さらに、右肘の角度 θ は余弦定理より、

$$\cos \theta = \frac{l_1^2 + l_2^2 - l_3^2}{2l_1l_2} \quad (4)$$

$$\theta = \cos^{-1} \left(\frac{l_1^2 + l_2^2 - l_3^2}{2l_1l_2} \right) \quad (5)$$

となる。今回は予備的に行った被験者 16 名の黒板に対する指さし動作実験のデータをもとに、一定値として $\pi/2$ を採用した。

右手が黒板に近づいているか判断するために黒板の Depth データと右手の Depth データを比較する。Fig.9 より、黒板と右手関節の距離は 100mm から 300mm の間に納まっていることから、その差が 300mm 以下なら黒板に近づいていると判断した。

次に、これら 4 つの条件により指さし動作とそのほかの動作を区別できるか試みる。指さし動作以外で授業中に教師が行う動作として、「話す」、「指名する」という動作を取り上げた。動作確認が正常に行われているのかを確認するために、被験者 16 名に予備的実験を行った。ただし、被験者 16 名の服装は自由とした。ある代表的な被験者の指さし動作とそのほかの動作の認識の様子を Fig.10 に示す。ただし、図では、3.2 節(b)項に示している 4 つの条件を上から 1 つ満たすごとに青色から緑、紫、黄色の順番に関節点の色が変化するように表示している。図より、「話す」では、手の Body データの色が緑色になっており 2 つ目の条件までしか満たされていないことが分かる。「指名する」では手の Body データの色が紫色になっているため 3 つ目の条件までしか満たされていないことが分かる。黒板を指さす動作は手の Body データの色が黄色になっており、すべての条件を満たして

Fig. 11. Outline of pointing target estimation.

いる。また、他の被験者 15 名に動作認識を行った結果、全員に同様の結果が得られた。ただし、被験者の服の色は、白(長袖, 半袖), ストライプ柄(7 分袖), ネイビー(半袖), ブラック(5 分袖), ブルー(半袖), グレー(長袖, 半袖)など様々な色であったが、動作認識に影響はなかった。これらのことから、4 つの条件をすべて満たす動作が指さし動作であると決定される。なお、白板を用いて教室よりも小さい部屋での検証を行った場合も、教室での黒板と同様に動作認識が正常に行われることを確認した。

4. 黒板への指さし位置の推定と拡大提示

ここでは、3 章で認識された教師の指さし動作をもとに、黒板上での指さし位置を推定し、その部分を拡大して提示する方法について説明する。さらに、指さし位置が移動した場合の提示方法についても示す。

4.1 指さし位置の推定

教師が黒板への指さし動作を行った際に、その部分を拡大し学生へ提示するために、指さし動作の対象を拡大画像の中心とし拡大処理を行う。そのためには、指された点を決定する必要があるが、それには Kinect センサーで取得した指さし動作中の肘関節の座標と手関節の座標、黒板の座標を用いる。指さし対象推定の概要図を Fig.11 に示す。Fig.11 の(a)は、x-z 平面において肘の座標と手の座標から求めた直線が、黒板と交わる図であり、(b)は y-z 平面上での黒板との交点を表している。

まず、手と肘の X, Y, Z 座標と黒板の Z 座標を取得する。取得した手、肘の座標をそれぞれ、 (x_1, y_1, z_1) , (x_2, y_2, z_2) とし、直線が黒板と交わる点の座標を (x_4, y_4, z_4) とすると、

$$x_4 = \frac{x_1 - x_2}{z_1 - z_2} (z_4 - z_1) + x_1 \quad (6)$$

$$y_4 = \frac{y_1 - y_2}{z_1 - z_2} (z_4 - z_1) + y_1 \quad (7)$$

となる。ただし、 z_4 は既知である。ここで求められた (x_4, y_4) は、教師が指した黒板上の点の x, y 座標値である。この座標がユーザ画面の (i, j) 座標値に変換され、その点を中心に画像が拡大され、提示される。

4.2 指し位置の拡大と表示

黒板上の指し位置の画像内での位置を中心として拡大し、ユーザに表示するには OpenCV の `resize` 関数、表示部分の切り取りには ROI 処理を用いる。

画像の拡大と表示の手順は、まず、机上に設置された Kinect センサーで取得した、指し位置を中心とした画像を Kinect PC に取り込み、画像を拡大し、拡大した画像から表示に必要な領域を切り取る。次に、UDP/IP 通信を用いて画像処理用 PC に送信する。そして、画像処理用 PC で受け取った映像をモニターに映し出すことで、操作者は拡大された部分の映像を見ることができる。

4.3 拡大表示の設定

(a) 拡大率について

指し位置を中心とした部分を拡大してユーザに表示するわけであるが、拡大率が小さいと教師が意図した重要な部分がユーザに伝わりにくく、情報が過多となる懸念があり、逆に大きすぎても情報が少なすぎて学習という面では望ましくない。どれぐらい拡大すればユーザにとって望ましいのかを明らかにすることは重要である。そこで後述の実験により、望ましい拡大率について心理的観点から評価する。

(b) 画像の移動について

教師の指し位置である拡大中心を、指し位置の移動に応じて常に変更していると画像が揺れて見えてしまい、映像を確認する際にストレスの原因になる。そのため、指し位置の座標が、ある大きさ変化した場合に拡大中心を変更させる。その閾値として 200pixel を検討している。この際、200pixel は振戦の影響を受けない十分な距離として採用した。指し位置の移動が 200pixel に達しない場合は、拡大中心を変更しないで拡大表示し続ける。これにより、教師の振戦による画像の揺れを排除することが可能となる。

しかしながらこの方法のみでは、拡大中心が変化するとき、200pixel 急激に変化することになる。これだと、拡大中心の急な変化により、ユーザに驚きやストレスといったネガティブな印象を与えてしまうことになる。このようなことを避けるために、指し位置が 200 pixel 移動した際、即座に画像の拡大中心を指し位置へと移動させるのではなく、徐々に指し位置へと近づける方法を提案する。これにより、ユーザのストレスが少なくなる

と考えられる。

拡大中心の座標を徐々に移動させる方法として、拡大中心の移動に 1 次遅れの特性を実現させる。1 次遅れ要素のサンプリングタイムごとの差分方程式は以下のようになる。

$$y_{(k)} = e^{-KT} \{y_{(k-1)} - u_{(k-1)}\} + u_{(k-1)} \quad (8)$$

ここで y は出力座標、 u は目標座標(指し位置)である。また、 K は折れ点周波数、 T はサンプリングタイム、 $y_{(k-1)}$ は 1 ループ前の画像の拡大中心座標である。本研究では T は 0.05sec としている。指し位置が大きく変化すると、変化した座標が目標座標となり、1 次遅れの応答を用いて拡大画像の中心座標を更新する。拡大中心の移動の速さに関係する因子として、上式で用いられている折れ点周波数がある。この値をユーザにとって望ましいものにするには重要である。そこで後述の実験により、望ましい折れ点周波数の値についても心理的評価により明らかにする。

4.4 無駄時間の追加

教師が指し動作を終えた際にすぐに拡大が終了すると、ユーザが十分に拡大部分を確認する時間がない。そこで教師が指しを終えた後もユーザが拡大部分を認識できるように一定時間、画像を拡大し続けるように無駄時間を追加する。これによりユーザが拡大部分を見る時間を十分に確保することができる。そこで後述の実験により、望ましい無駄時間の値についても心理的評価により明らかにする。

5. 実験

ここでは、画像の拡大率、指し動作を終えた時のむだ時間、指し点が移動した時の画像の滑らかな移動を支配する折れ点周波数の 3 つのパラメータに関する望ましい組み合わせについて、実験的に明らかにする。実験では、3 つのパラメータについて、異なる組み合わせの 8 つの動画を人が心理学的に評価することにより行われる。

5.1 被験者

被験者は A 大学に在籍している学部生と大学院生 22 名(男性 11 名、女性 11 名)を対象とした。

本研究では、A 大学教育学部研究倫理審査委員会による研究倫理審査を受けた。研究者は被験者に、研究内容や倫理的配慮等が書いてある説明書を提示して、事前に研究の趣旨や実験方法、実験内容等について説明した。また、実験協力に関して、被験者が実験に協力できない場合、あるいは実験を途中でやめたいと思った場合には研究協力を中止できること、被験者が途中で実験をやめることにより不利益を受けることは一切ないこと等を説明した。

被験者に研究内容や倫理的配慮を理解してもらった上で、内容に不備がなければ研究協力に関わる同意書に署

Table 1. 15 adjectives pairs.

目に優しい	目に厳しい
実用的な	非現実的な
安定した	不安定な
読みやすい	読みにくい
自然な	不自然な
親しみやすい	親しみにくい
分かりやすい	分かりにくい
楽な	疲れる
快適な	不快な
興味をそそる	興味を惹かない
鮮やかな	くすんだ
受け入れやすい	受け入れにくい
落ち着いた	せわしない
感じの良い	感じの悪い
鮮明な	曖昧な

Table 2. Parameters of Video.

Video name	Expansion rate	Dead time (sec)	Break point frequency (rad/sec)
1	2	2	3.0
2	2	1	3.0
3	3	2	3.0
4	3	2	2.0
5	2	2	2.0
6	2	1	2.0
7	3	1	3.0
8	3	1	2.0

名してもらった。

5.2 手続き

被験者は、研究者と実験室に入室し着席後、研究内容(実験目的・実験方法など)と倫理的配慮の説明を受ける。研究内容と倫理的配慮を理解してもらった上で、内容に不備がなければ、被験者に研究協力に関わる同意書に署名してもらう。その後、研究協力について同意が得られた被験者に動画の視聴と質問紙による動画の評価を行う。

被験者は動画1本視聴するごとに動画に対しての評価を行う。動画は全部で8本であり、それぞれ15秒程度である。8本すべての動画の視聴とSD(Semantic Differential)法によるアンケートの作成、そして被験者の動画視聴の実態等を調べることを目的とするアンケート1枚の作成を終えたら退室する。

5.3 質問紙による心理的評価の内容

SD法で使用した形容詞対をTable 1に示す。評価方法は5段階のSD尺度を構成し、30の評価語に対して回答を得た。評価語は、画像処理の専門家数名が低ビットレート符号化画像から受ける印象として適している40語対⁽¹²⁾から、「目に優しい」、「見やすい」、「臨場感がある」という内容に関連したものを選択した。

5.4 実験装置及び実験時の刺激の設定

動画を視聴する際に用いるモニターはLCD-MF244EDSB(アイ・オー・データ機器)である。また、動画はMicrosoft社のWindows Media Playerにより1本ずつランダムにスクリーンに提示する。なお、座位でのオフィス作業における最適視距離(ディスプレイとユーザの目との最適距離)が画面60cmであると言われている⁽¹³⁾ことから、被験者とモニター画面との距離は、約60cmを保つようにする。動画の音量に関しては、被験者個人の聴力等を考慮して、被験者が直接音量を調整するように指示する。

5.5 評価する3つのパラメータの組み合わせ

評価する3つのパラメータの値は、拡大率を2倍と3倍、無駄時間を1秒と2秒、拡大中心の移動に用いる1次遅れ要素の折れ点周波数を2.0と3.0とし、それらすべての組み合わせの8つとする。このすべての組み合わせについてTable 2のように動画を作成し、被験者に評価してもらう。

6. 実験結果

6.1 統計処理

すべての統計処理においては、5%水準を有意差の検定の基準とした。統計学的分析には、統計ソフトJMP(SASインスティテュート、日本語版 ver.14)を用いた。

6.2 因子分析の結果

15対の形容詞対で構成されたSD法による8本の動画の評価表のデータを全て込みにして因子分析を行った。データは主因子法で因子を抽出し、Varimax回転により因子負荷量を求めた。因子分析の結果、Bartlett検定の p 値が有意な差($p<.05$, $p=.011$)がみられた。これにより因子分析の妥当性が示された。因子分析の結果及び3因子までの累積寄与率は、Table 3に示している通り88.58%であることから3因子構造が適切であると判断した。

3因子構造が適切であると判断されたため、因子数を3つとし、再度因子分析を行った。抽出された15個の因子について、因子1は「見やすさ」、因子2は「情緒性」、因子3は「安定性」と命名した。

6.3 動画のイメージ

3因子の中から、「鮮やかなーくすんだ」、「楽なー疲れる」、「安定したー不安定な」を各因子の特性を示す尺度として選択し、SD法尺度の5段階評定の平均値を比較

Fig. 12. Image of 8 videos regarding representative three measures.

Table 3. Significance of rating items and factors.

Factor name	Evaluation item	Factor 1	Factor 2	Factor 3
見やすさ	〈鮮やかな - くすんだ〉	0.951		
	〈実用的な - 非実用的な〉	0.945		
	〈鮮明な - 曖昧な〉	0.888		
	〈自然な - 不自然な〉	0.821		
	〈目に優しい - 目に厳しい〉	0.803		
	〈分かりやすい - わかりにくい〉	0.722		
	〈親しみやすい - 親しみにくい〉	0.681		
情緒性	〈快適な - 不快な〉	0.650		
	〈落ち着いた - せわしない〉		0.870	
	〈受け入れやすい - 受け入れにくい〉		0.761	
	〈楽な - 疲れる〉		0.715	
安定性	〈感じの良い - 感じの悪い〉		0.651	
	〈読みやすい - 読みにくい〉			0.915
	〈興味をそそる - 興味が惹かない〉			0.787
	〈安定した - 不安定な〉			0.705
Eigenvalue		9.361	2.722	1.202
Contribution rate		62.413	18.152	8.018
Cumulative contribution rate		62.41	80.57	88.58

した。その結果を Fig. 12 に示す。ただし図は、8本の動画のイメージを配置したものである。円の中に書いてある数字 (1~8) は、動画名である。Fig.12の横軸は見やすさ因子のうち「鮮やかな-くすんだ」を表し、左側に行くほど「鮮やかな」、右側に行くほど「くすんだ」というイメージになる。縦軸は、情緒性因子「楽な-疲れる」を表し、上に行くほど「疲れる」、下に行くほど「楽な」というイメージになる。また、Fig.12の円の大きさは安定性因子「安定した-不安定な」を表し、円が大きいほど「不安定な」、円が小さいほど「安定な」というイメージになる。円の大きさは、動画6が一番小さく、動画4=

動画5<動画7<動画2=動画8<動画3<動画1順に大きいことが分かる。

Fig.12に示す結果から、動画3, 4, 7, 8は動画がくすんで、疲れるというイメージ、動画1, 2, 5は動画が鮮やかではあるが疲れるというイメージ、動画6は動画が鮮やかで楽なイメージになることが分かる。動画3, 4, 7, 8に共通することは拡大率が3と大きいことであり、これは動画がくすんで疲れるというイメージにつながっていると思われる。動画1, 2, 5は、拡大率は望ましいが、むだ時間と折れ点周波数の組み合わせが望ましくなく、疲れるというイメージにつながっていると思われる。動画6はすべての組み合わせが望ましく、被験者に心理的に望ましいものになっていると考えられる。

このように、ユーザへ動画を提供する場合は、動画6のパラメータの組み合わせ、すなわち、拡大率が2、むだ時間が1秒、折れ点周波数が2 rad/secの組み合わせとすることが望ましいと言える。

なお、授業を行う時間帯(部屋の明るさ)の影響を確認するために教室の明るさ(照明)を変えて指さし動作の認識を行った。まず、文部科学省の「学校環境衛生基準第1 教室等の環境に係る学校環境衛生基準」に「教室及び黒板の照度は500lx以上であることが望ましい」と標記されていることから、照度646lxの環境で白板に指さし動作の認識を行った。その結果、指さし動作の認識に影響はないことを確認した。また、教室の電気をすべて消した状態(0.12lx)において指さし動作の認識が正常であるか検証を行った。その結果、このように非常に暗い環

境下でも、動作の認識に影響がないことを確認している。

7. 結言

本研究では、重度の病気や怪我等の理由で病室のベッドの上で生活をしている長期欠席児、および新型コロナウイルスの流行により遠隔授業を受講する学生がアバターロボットを遠隔操作し授業に参加するシステムに対し、情報量過多による集中力、理解力の低下を防ぐため、教師の黒板への指さし動作は重要な部分に入る際の合図と考え、指さし動作を認識して指された部分を拡大しユーザに提示する機能を付加した新しいシステムを構成した。さらに、指さし点が移動した場合に、ユーザにとって違和感なく黒板上の指された部分を提示することを試みた。指さし動作の認識は Kinect センサーを用いて行い、教師が授業中に行う動作の中で指さし動作以外の動作との識別を正確に行うアルゴリズムを提案した。黒板上の指さし位置は識別された指さし動作の認識結果により推定した。そして、指さし動作が行われた際に、指された位置の拡大表示をユーザに提供する方法を構築した。また、教師による指さし位置が移動した場合に、それに応じて画像が滑らかに移動するよう 1 次遅れ特性を導入し、拡大表示の終了時にむだ時間を追加することでユーザが情報を確認する時間を確保した。

そして、心理学的手法である SD 法を用いた実験を新しいシステムのもと実施し、見やすさ、情緒性、安定性の観点からユーザはシステムを評価することを明らかにした。さらに、望ましいパラメータの組み合わせが拡大率 2、折れ点周波数 2 rad/sec、むだ時間 1 秒であることを明らかにした。ただし、環境が変わった場合の全てにこのパラメータが有効であるとは言い切れず、有効でない場合はユーザ側で簡単にそれらの調節を行うインターフェースが必要である。今後の課題として、ユーザ側でも簡単に設定ができるようにシステムを改良していきたい。

文 献

- (1) Nagako Kashiki, Tomonori Karita, and Kosuke Nakano : “Educational Supports for Sick Children 1 ~ The Development of Teacher College Curriculum That Can Correspond to the Health Problems in School ~”, International Conference on Education and Psychology(Nagoya, Japan), 2015
- (2) Yeonkyung Eom, Satoru Shibata, Tomonori Karita and Shenglin Mu : “Remote Learning Support System Using a Mobile Robot Operate by Eye-gaze Input for Long Time School Non-attendance Students”, Journal of Technology and Social Science, Vol.2, pp. 29-35, 2018
- (3) 佐々木正美 : 「自閉症児のための TEACCH ハンドブック」, 学研プラス, 2008
- (4) 坂爪一幸, 湯汲英史 : 「知的障害・発達障害のある人への合理的配

慮」, かもがわ出版, 2015

- (5) 羽生和紀 : 「環境心理学—人間と環境の調和のために」, サイエンス社, 2008
- (6) 斎藤孝 : 「指導力」としての教師の身体性(特集/教師の指導力とは何か) , 教育, Vol.51, No.11, pp.65-73, 2001
- (7) 上野楓, 吉田直人, 米澤朋子 : 「講義における指さしの視線誘導効果を強化する AR プロジェクション手法の提案」, 電子情報通信学会論文誌 D, Vol. J101-D, No. 6, pp. 932-943, 2018
- (8) 本山健斗, 加納政芳, 矢野良和 : 「指さし時の目標指示位置と主観的指示位置の差異」, HAI シンポジウム 2016, pp. 32-34, 2016
- (9) 鈴木浩平, 森谷友昭, 高橋時市朗 : 「遠隔講義のための 2 台のカメラを用いた指さし位置計測」, 情報処理学会研究報告, 2006-CG-122, pp.19-24, 2006
- (10) 中村薫, 杉浦司, 高田智広, 上田智章 : 「KINECT for Windows SDK プログラミング Kinect for Windows v2 センサー対応版」, 秀和システム, pp. 9, 2015
- (11) 西村孝 : 「KINECT の仕組みとナチュラルユーザインタフェース」, 映像情報メディア学会誌, Vol. 66, No. 8, pp. 755-759, 2012
- (12) 境田真一, 水野修, 成田長人, 今泉浩幸, 和泉吉則 : 「主観価値実験による MPEG-4 低ビットレート小画面符号化画像のパラメータ検討」, The Institute of Electronics, Information and Communication Engineers, ITS, 625, pp.25-30, 2015
- (13) JIS Z 8515:2002(ISO 9241-5:1998), : “Ergonomic requirements for office work with visual display terminals(VDTs)-Workstation layout and postural requirements” , Ergonomics Society, Japanese Standards Association, JIS Handbook Vol. 37, No. 3, pp. 392-418, 2007

嚴 筵景

2018 年 3 月愛媛大学大学院教育学研究科博士前期課程修了。現在、同大学大学院理工学研究科生産環境工学専攻博士後期課程在学中。視線入力を用いた教育支援システムに関する研究に従事。

柴田 論

1994 年 3 月東北大学大学院工学研究科博士後期課程機械工学専攻修了。2007 年 4 月愛媛大学大学院理工学研究科准教授, 2013 年 7 月同大学大学院理工学研究科教授, 現在に至る。人間工学, 福祉工学, 制御工学の研究に従事。

穆 盛林

2013 年 3 月山口大学大学院理工学研究科博士後期課程情報・デザイン工学系専攻修了。2013 年 4 月広島商船高等専門学校電子制御工学科助教, 2017 年 4 月愛媛大学大学院理工学研究科助教, 2020 年 4 月同大学大学院理工学研究科講師, 現在に至る。制御工学, 福祉工学に関する研究に従事。

菊田 知則

2000 年九州大学大学院博士課程単位取得退学。香川医科大学助手，東京大学先端科学技術研究センター特任教員(助手)等を経て，2005 年愛媛大学教育学部講師，2008 年同大学教育学部准教授，2020 年同大学教育学部教授，現在に至る。ヒューマンインタフェース学会，日本特殊教育学会，日本 LD 学会。博士(心理学)，特別支援教育士(S.E.N.S.)スーパーバイザー。

大森 孝哉

2019 年 3 月愛媛大学工学部機械工学科卒業。現在，同大学大学院理工学研究科生産環境工学専攻博士前期課程在学中。視線入力を用いた教育支援システムに関する研究に従事。