

オンライン会議におけるビデオウィンドウの大きさの変更による直視および視線回避の強調表示手法の実装

芦沢 優介¹ 市川 あゆみ¹ 佐方 葵¹ 川口 一画²

概要: 本研究では、コンピュータおよび Web カメラのみを用いるオンライン会議における参加者側のビデオウィンドウの大きさの変更により、会話相手の自分自身に対する直視および視線回避を強調表示する手法を実装した。本手法を用いることにより、ユーザが画面を直視している時には、会話相手側のビデオウィンドウが大きく表示される。また、ユーザが画面から目をそらしている時には、会話相手側のビデオウィンドウが小さく表示される。これにより、コンピュータおよび Web カメラのみを用いるオンライン会議を2人で行う状況において、会話相手が自分自身を直視しているか否かを容易に理解できる。そのため、参加者間の円滑な話者交替および参加者間の社会的な繋がり構築を容易に行うことができる。今後、我々は、会話相手から見た時に会話相手側のビデオウィンドウの中心のある方向および会話相手の頭部方向間の角度または会話相手から見た時に会話相手側の Web カメラのある方向および会話相手の視線方向間の角度に合わせた参加者側のビデオウィンドウの大きさの変更、参加者側のビデオウィンドウの配置を Web カメラ付近に変更すること、および3人以上のオンライン会議への本手法の適用を検討している。

Implementation of a Method for Highlighting Direct Gaze and Gaze Aversion by Changing Video Window Size in Online Conferences

1. はじめに

新型コロナウイルスの感染拡大により、従来行われていた対面会議ではなく、Zoom [1] および Microsoft Teams [2] などのツールを用いたオンライン会議が普及した。Zoom 社が公開しているレポートによると、Zoom は世界の約 200 の国および地域において用いられている [3]。また、経済産業省が公開している通商白書 2021 によると、2020 年 10 月時点において、Microsoft Teams の日次ユーザ数は 1 億人を超えている [4]。

このようなオンライン会議において、コミュニケーションを円滑に進めるためには、参加者の顔映像の表示が重要である。Garau ら [5] は、オンライン会議において、参加者の視覚情報がある場合には、参加者の音声のみがある場合と比べて、コミュニケーションの質が向上する可能性が

あることを示した。また、Jabra (GN オーディオジャパン (株)) 調べによると、オンライン会議を週 1 回以上行うビジネスマンの 71.7% が「相手の顔が見えての方が話しやすい」と回答した [6]。

また、参加者の顔から得ることのできる非言語情報のうち、視線はコミュニケーションにおいて重要な役割を果たす非言語情報である [7]。このような視線から得ることのできる非言語情報として、会話において、お互いの視線を合わせることで相互注視 (mutual gaze) および視線を会話相手からそらすことで視線回避 (gaze aversion) がある。相互注視は自分自身の発言の終了を会話相手に伝達するために行われる [8]。また、視線回避は発言内容を考えるため [8], [9], [10], [11]、会話全体の親密さを調整するため [8], [12]、および会話の場を保持するため [8] に行われる。

しかし、オンライン会議において、会話相手の顔映像を参加者側に表示するビデオウィンドウ（以降、参加者側のビデオウィンドウ）のみから、会話相手が自分自身を直視しているか否かを理解することは難しい。対面形式の会話では、各参加者は会話相手が自分自身を直視しているか否

¹ 筑波大学 情報理工学位プログラム

Graduate School of Science and Technology, Degree Programs in Systems and Information Engineering, Master's Program in Computer Science, University of Tsukuba

² 筑波大学 システム情報系

Faculty of Engineering, Information and Systems, University of Tsukuba

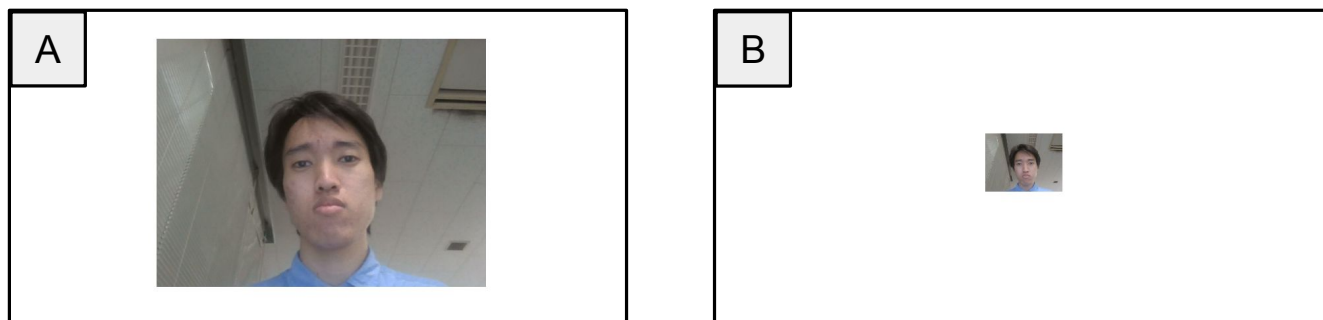


図 1 本手法を用いた時の参加者側の画面。(A) 会話相手が画面を直視している時には、参加者側のビデオウィンドウが大きく表示される。(B) 会話相手が画面から目をそらしている時には、参加者側のビデオウィンドウが小さく表示される。

Fig. 1 Screen on the participant's side when he/she uses our method. (A) When the interlocutor is gazing directly at the screen, the video window on the participant's side is displayed in a large size. (B) When the interlocutor is averting his/her gaze from the screen, the video window on the participant's side is displayed in a small size.

かを容易に理解できるため、参加者間の相互注視の成立が容易である [13], [14]. そのため、対面形式の会話の参加者は会話中の話者の決定 [14], [15], [16], [17], 各参加者の会話に対する興味度および関心度の理解 [18], ならびに参加者間の社会的な繋がり構築 [19], [20] を容易に行うことができる. 一方、オンライン会議において、会話相手が自分自身を直視しているか否かを理解することは難しいため、参加者のオンライン会議に対する集中度およびモチベーションが低下する [13], [14].

この課題に対して、会話相手の自分自身に対する直視の伝達に特化した研究および会話相手の視線回避の伝達に特化した研究が行われている [21], [22], [23], [24], [25]. しかし、これらの研究には、特定のハードウェアが必要であるという課題または会話相手の視線回避も自分自身に対する直視に変換されることにより会話相手が自分自身を直視しているか否かを誤って理解する可能性があるという課題がある.

これらの課題を解決するために、我々は、コンピュータおよび Web カメラのみを用いたオンライン会議（以降、日常的なオンライン会議）におけるビデオウィンドウの大きさの変更により、会話相手の自分自身に対する直視および視線回避を強調表示する手法（以降、本手法）を実装した. 本手法は、日常的なオンライン会議を 2 人で行う状況において、会話相手から見た時に会話相手側の Web カメラのある方向および会話相手の頭部方向間の角度が小さい時ほど、参加者側のビデオウィンドウを大きくする. これにより、会話相手が画面を直視している時には、参加者側のビデオウィンドウが図 1 の (A) のように大きく表示されるため、会話相手の自分自身に対する直視が強調される. また、会話相手が画面から目をそらしている時には、参加者側のビデオウィンドウが図 1 の (B) のように小さ

く表示されるため、会話相手の視線回避が強調される. そのため、日常的なオンライン会議において、参加者は会話相手の自分自身に対する直視および視線回避を容易に理解できる. これにより、参加者は会話相手が自分自身を直視しているか否かを参加者側のビデオウィンドウから意識的に読み解く必要がなくなる. そのため、本手法は参加者の発話数の増加、緊張度の緩和、および満足度の増加を促すことができる. なお、小さいビデオウィンドウに映る参加者の顔の表情およびジェスチャなどを理解することは難しい [26], [27]. そのため、参加者は、画面から目をそらすことにより、自分自身の顔が会話相手に見られていることに伴う心理的負担を小さくすることもできる.

2. 関連研究

本章では、まず、本研究において着目する非言語情報である相互注視および視線回避が会話に与える影響を示す. また、相互注視および視線回避に着目した関連研究に対する本研究の位置づけを示すために、会話の参加者の視線方向を伝達する研究ならびに会話相手の自分自身に対する直視の伝達に特化した研究および会話相手の視線回避の伝達に特化した研究を示す. これにより、本研究および関連研究の差分を示す.

2.1 相互注視および視線回避が会話に与える影響

相互注視および視線回避は会話において重要な役割を果たす. 相互注視とは、会話において、お互いの視線を合わせることである. 相互注視は、会話相手との物理的な距離、話題の親密さ、および微笑みの量と同じく、会話相手との距離感に影響を与える [28]. また、話者は、自分自身の発言を終了する時に、相互注視を会話相手と行う [8]. より良い相互注視を可能にすることにより、オンライン会議

におけるコミュニケーションの質を向上させることができる [13]. 一方、視線回避とは、会話において、視線を会話相手からそらすことである。視線回避は会話における3つの主要な機能である認知的機能、親密さの調整機能、および場の管理機能を果たすために用いられる [25]. 会話において、視線回避を行うことにより、話者は発言内容の熟考および伝達に集中することならびにその時間を増やすことができる [8], [9], [10], [11]. さらに、視線回避を定期的に行うことにより、会話の参加者は会話全体の親密さを調整できる [8], [12]. また、会話が一時停止している時に視線回避を行うことにより、会話の参加者は会話の場を保持することおよび会話再開後に話を続ける意思を示すことができる [8].

本研究では、オンライン会議において、会話相手が自分自身を直視しているのか否かを参加者側のビデオウィンドウの大きさに反映する。これにより、オンライン会議における理解が困難である、会話相手の自分自身に対する直視および視線回避を強調表示する。

2.2 会話の参加者の視線方向の伝達

会話の参加者の視線方向を伝達するための研究が複数ある。Kumar ら [29] は、オンライン会議において、各参加者の顔映像が表示されているビデオウィンドウ（以降、参加者のビデオウィンドウ）の右上に、その参加者を直視している参加者を表す円形の泡を表示することにより、各参加者の視線方向を伝達する手法を示した。Sakashita ら [30] は、会話相手の顔映像表示用のディスプレイおよび会話相手の頭の動きの連動により、会話相手の視線方向を伝達する手法を示した。Iitsuka ら [31] は、オンライン会議において、各参加者のビデオウィンドウからその参加者が直視している参加者のビデオウィンドウへの矢印の表示または注目している人数の多い参加者のビデオウィンドウの拡大により、各参加者の視線方向を伝達する手法を示した。Verteggal ら [32] は、オンライン会議において、視線計測装置から取得した各参加者の視線方向に合わせて、ディスプレイ内にある3次元のCG空間内に立体的に表示された各参加者のビデオウィンドウを回転させることにより、各参加者の視線方向を伝達する手法を示した。

しかし、Sakashita ら [30] の研究および Verteggal ら [32] の研究は、会話の参加者の視線方向を表現するために、参加者の顔映像表示用の追加のディスプレイおよび視線計測装置などの特定のハードウェアを要する。そのため、これらの研究の知見を活用するためには、これら特定のハードウェアが必要である。また、Kumar ら [29] の研究および Iitsuka ら [31] の研究において提案されている手法は、会話の参加者の視線方向、すなわちどこを見ているかの伝達を支援することにより、結果として、会話相手の自分自身に対する直視および視線回避を伝達する。一方、本手法は、

どこを見ているかを伝達するのではなく、会話相手が自分自身を見ているか否かのみを伝達するミニマルな手法と位置付けられる。

本研究では、会話相手が自分自身を見ているか否かのための伝達がオンライン会議の参加者の発話数の増加、緊張度の緩和、および満足度の増加に影響を与えるかを調査する。

2.3 会話相手の自分自身に対する直視の伝達に特化した研究および会話相手の視線回避の伝達に特化した研究

会話相手の自分自身に対する直視の伝達に特化した研究が複数ある。Mukawa ら [21] は、オンライン会議において、透過率30%のハーフミラーを用いて、Webカメラの中心軸および会話相手の視線方向を一致させることにより、参加者間の相互注視を支援する手法を示した。Xu ら [22] は、オンライン会議において、遠隔地にいる等身大の複数人の参加者を大型ディスプレイに表示することにより、参加者間の相互注視を支援する手法を示した。Qin ら [23] は、オンライン会議において、会話相手側のWebカメラから取得した会話相手の顔映像における目を自分自身を直視している時の目に置換することにより、参加者間の相互注視を支援する手法を示した。

また、会話相手の視線回避の伝達に特化した研究も複数ある。Overdevest ら [24] は、対面形式の会話において、会話相手の装着している視線計測装置から取得した会話相手が視線回避を行った方向に、会話相手の付近に配置されているスマートフォンを動かすことにより、会話相手の視線回避を伝達する手法を示した。Andrist ら [25] は、対面形式の会話において、会話相手と相互注視を行うための顔追跡動作および会話相手との会話機能を実現するための意図的な視線回避を行う人間のようなロボットを示した。

しかし、これらの研究の大半は、会話相手の自分自身に対する直視および視線回避を表現するために、会話相手の自分自身に対する直視を表現するための鏡および視線計測装置などの特定のハードウェアを要する。そのため、2.2節において示したように、これらの研究の知見を活用するためには、これら特定のハードウェアが必要である。また、Qin ら [23] の研究は、オンライン会議の参加者間の相互注視を支援するために、会話相手側のWebカメラから取得した会話相手の顔映像における目を自分自身を直視している時の目に単純に置換している。これにより、会話相手の実際の視線方向が無視されるため、会話相手の視線回避も自分自身に対する直視に変換してしまう。会話相手の自分自身に対する直視がこのような重視された結果、参加者は会話相手が自分自身を直視しているか否かを誤って理解してしまう可能性がある。

本研究では、日常的なオンライン会議において、参加者の実際の顔映像が表示されているビデオウィンドウの大きさを変更する。これにより、会話相手の自分自身に対する

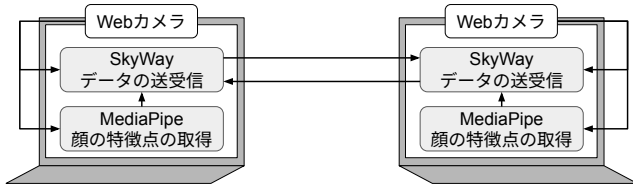


図 2 本システムの構成. 本研究では, 本システムを Web アプリケーションとして実装した.

Fig. 2 Our System configuration. In this study, we implemented our system as a Web application.

直視および視線回避を強調表示する.

3. 実装

本研究では, 日常的なオンライン会議におけるビデオウィンドウの大きさの変更により, 会話相手の自分自身に対する直視および視線回避を強調表示する手法を実装した. 本章では, 本手法を導入したオンライン会議システムの構成 (以降, 本システム) および参加者側のビデオウィンドウの大きさの変更方法を示す.

3.1 システム構成

本システムの構成を図 2 に示す. 本研究では, 本手法を実装するために, ThinkPad T14 Gen 1 (Intel (R) Core (TM) i7-10510U CPU, Intel (R) UHD Graphics, 32.0 GB) を用いた. また, 本システムを React, TypeScript, HTML, および CSS から構成される Web アプリケーションとして実装した. このアプリケーションは映像, 音声, ならびに会話相手側のコンピュータにおいて推定した参加者側のビデオウィンドウの位置および大きさを表すデータ (以降, ウィンドウサイズに変換されたデータ) を送受信する機能を持つ. これにより, 本手法の導入コストの低いオンライン会議システムを提供できる. 本システムでは, 映像および音声の取得, 映像, 音声, およびウィンドウサイズに変換されたデータの送受信, ならびに映像および音声の表示を行うために, 我々はリアルタイムコミュニケーションを実現するマルチプラットフォーム SDK である SkyWay [33] の JavaScript SDK を用いた. SkyWay を用いることにより, 映像, 音声, およびウィンドウサイズに変換されたデータをリアルタイムに送受信できる. また, 頭部方向を推定するために, 我々はオープンソースのフレームワークである MediaPipe [34] を用いた. MediaPipe を用いることにより, Web カメラから取得した会話相手の顔映像から, 顔の特徴点の座標を顔映像上の座標として取得できる. 本システムでは, このように取得した顔の特徴点を用いることにより, 会話相手から見た時に会話相手側の Web カメラのある方向および会話相手の頭部方向間の角度を推定する.

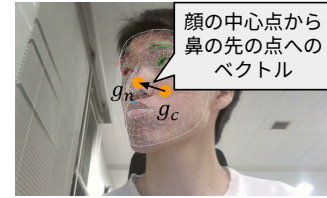


図 3 参加者側のビデオウィンドウにおける会話相手の顔の中心点 g_c , 鼻の先の点 g_n , および顔の中心点から鼻の先の点へのベクトル.

Fig. 3 The center point of the interlocutor's face in the video window on the participant's side, g_c , the tip point of their nose, g_n , and the vector from the center point to the tip point.

3.2 参加者側のビデオウィンドウの大きさの変更方法

本研究では, 参加者側のビデオウィンドウの大きさを変更するために, 飯塚 [35] の実装を参考にする. 具体的には, まず, MediaPipe の Face Mesh [36] からリアルタイムに取得した顔上の 478 点 $f_g(n)$ ($1 \leq n \leq 478$) の座標を用いて, 顔の中心点 g_c の座標を計算する. g_c の座標の計算式は以下の通りである.

$$g_c = \left(\sum_{1 \leq k \leq 478} f_g(k) \right) / 478$$

その後, 顔の中心点 g_c から, 取得した 478 点のうち, 正面を向いた時の顔の中心点である鼻の先の点 g_n へのベクトル (以降, 顔の中心点から鼻の先の点へのベクトル) の長さを計算する. このベクトルの長さが会話相手から見た時に会話相手側の Web カメラのある方向および会話相手の頭部方向間の角度に対応する. また, 顔の中心点から鼻の先の点へのベクトルの計算後, 参加者側のビデオウィンドウの大きさをこのベクトルの長さに反比例するように変更する. これにより, 1 章に示したように, 会話相手から見た時に会話相手側の Web カメラのある方向および会話相手の頭部方向間の角度が小さい時ほど, 参加者側のビデオウィンドウが大きくなる. 参加者側のビデオウィンドウにおける会話相手の顔の中心点 g_c , 鼻の先の点 g_n , および顔の中心点から鼻の先の点へのベクトルを図 3 に示す. この時, 参加者側のビデオウィンドウの大きさを変更するために, 会話相手の視線方向ではなく, 会話相手の頭部方向に着目している. この理由は頭部位置の変化により視線方向の推定精度が低下する [37] ためならびに視線方向および頭部の移動領域の大きさには関係性がある [38] ためである. また, 本手法では, 参加者側のビデオウィンドウの大きさが会話相手の頭部方向の微小な変化に対しても反応してしまう. そのため, 参加者側のビデオウィンドウの大きさの急激な変化を防ぐために, 参加者側のビデオウィンドウの大きさの変更に対して, 我々は 20 点移動平均を用いている. 1 点あたりの処理時間は平均 0.1 ミリ秒である. なお, 各参加者が会話相手の顔映像を常に認識できるようにする

ために、参加者側のビデオウィンドウの大きさの最小値を幅 100 px, 高さ 75 px としている。また、参加者側のビデオウィンドウ全体が画面に収まるようにするために、参加者側のビデオウィンドウの大きさの最大値を幅 500 px, 高さ 375 px としている。想定するディスプレイの解像度は 1920 × 1080 である。

4. 今後の課題

本章では、本研究の議論および今後の課題を示す。

4.1 参加者側のビデオウィンドウの大きさの変更方法

参加者側のビデオウィンドウの大きさを変更するために、会話相手側の Web カメラではなく、参加者側のビデオウィンドウの中心の利用を検討している。本手法では、参加者側のビデオウィンドウの大きさを変更するために、会話相手から見た時に会話相手側の Web カメラのある方向および会話相手の頭部方向間の角度を用いた。そのため、オンライン会議の参加者は、会話相手への直視を会話相手に伝達するために、Web カメラを直視する必要がある。しかし、会話相手の顔映像は参加者側のビデオウィンドウに表示されるため、Web カメラの直視中における会話相手の顔映像の確認は難しい可能性がある。そのため、会話相手から見た時に会話相手側のビデオウィンドウの中心のある方向および会話相手の頭部方向間の角度が小さい時ほど、参加者側のビデオウィンドウを大きくすることを検討している。

また、参加者側のビデオウィンドウの大きさを変更するために、会話相手の頭部方向ではなく、会話相手の視線方向の利用を検討している。本手法では、頭部方向の変化による視線方向の推定精度の低下 [37] が参加者側のビデオウィンドウの大きさの変更に影響を与えることを防ぐために、会話相手から見た時に会話相手側の Web カメラのある方向および会話相手の頭部方向間の角度が小さいときほど、参加者側のビデオウィンドウを大きくした。しかし、この場合、Web カメラを直視している会話相手がオンライン会議中に頭部を動かすことなく目を閉じた時には、会話相手がこの時点で目をそらしたにも関わらず、参加者側のビデオウィンドウの大きさは維持される。これにより、会話相手が目を閉じた後においても、参加者は会話相手が自分自身を直視していると誤って理解してしまう可能性がある。一方、会話相手の頭部方向ではなく、会話相手の視線方向を用いると、会話相手が目を閉じた時には会話相手の視線方向を検出できないことにより、上記の場合において大きく表示されていた参加者側のビデオウィンドウが小さくなるため、上記の課題を解決できる。そのため、会話相手から見た時に会話相手側の Web カメラのある方向および会話相手の視線方向間の角度が小さい時ほど、参加者側のビデオウィンドウを大きくすることを検討している。

4.2 参加者側のビデオウィンドウの配置の変更

参加者側のビデオウィンドウの配置を Web カメラ付近に変更することを検討している。本手法では、画面上の参加者側のビデオウィンドウ全体を画面に収めるために、参加者側のビデオウィンドウを画面の中央に配置した。この時、3 章に示したような、Web カメラが上部に付いているコンピュータにおいて本手法を用いる場合には、参加者側のビデオウィンドウを画面の上部に配置した場合と比較して、参加者側のビデオウィンドウおよび Web カメラ間の距離が大きくなる。これにより、各参加者が参加者側のビデオウィンドウの確認および会話相手の直視を並行して進めることが難しくなる可能性がある。そのため、参加者側のビデオウィンドウの大きさを変更するために、Web カメラを今後用いる場合には、参加者側のビデオウィンドウを Web カメラ付近に配置することを検討している。

4.3 3 人以上のオンライン会議への本手法の適用

3 人以上のオンライン会議への本手法の適用を検討している。本手法を 3 人以上のオンライン会議に適用するためには、2 人以上の各会話相手を 1 つの画面に映すために、2 つ以上のビデオウィンドウを 1 つの画面に表示する必要がある。そのため、会話相手全員を 1 つの画面において確認できるようにするために、各会話相手の映るビデオウィンドウの配置ならびにこれらの大きさの最小値および最大値を検討する必要がある。また、画面上の複数のビデオウィンドウが重なる場合には、これらの重なり順序の決定方法を検討する必要がある。この場合の対処方法として、各参加者が画面上のすべてのビデオウィンドウを確認できるようにするために、重なる部分のあるビデオウィンドウのうち、小さいビデオウィンドウが前面に表示されるように配置することを現時点では検討している。

5. まとめ

我々は、日常的なオンライン会議における参加者側のビデオウィンドウの大きさの変更により、会話相手の自分自身に対する直視および視線回避を強調表示する手法を実装した。本手法は、日常的なオンライン会議を 2 人で行う状況において、会話相手から見た時に会話相手側の Web カメラのある方向および会話相手の頭部方向間の角度が小さい時ほど、参加者側のビデオウィンドウを大きくする。これにより、日常的なオンライン会議において、参加者は会話相手が自分自身を直視しているか否かを容易に理解できる。今後、我々は日常的なオンライン会議におけるビデオウィンドウの大きさの変更が参加者の緊張度の緩和、発話数の増加、および満足度の増加につながるか否かを明らかにするための実験を行う。

参考文献

- [1] Zoom: Meet face-to-face from any device | Zoom, Zoom Video Communications (オンライン), 入手先 <https://explore.zoom.us/en/products/meetings/> (参照 2024-10-14).
- [2] Microsoft: Video Conferencing, Meetings, Calling | Microsoft Teams, Microsoft (オンライン), 入手先 <https://www.microsoft.com/en-us/microsoft-teams/group-chat-software> (参照 2024-10-14).
- [3] 土橋 克寿: 会議がいちばん多いのは水曜日 Zoom のレポートから見える「働き方」, LY Corporation (オンライン), 入手先 <https://news.yahoo.co.jp/expert/articles/82c7ef07a26ed6e300e573689ee5471051f5d54e> (参照 2024-10-14).
- [4] 経済産業省: 通商白書 2021 (PDF 版) 第1部 我が国を巡る経済情勢と今後の通商を巡るトレンド 第1章 コロナショック後の世界経済 第2節 通商を巡る国際潮流, 経済産業省 (オンライン), 入手先 <https://www.meti.go.jp/report/tshuhaku2021/pdf/01-01-02.pdf> (参照 2024-10-14).
- [5] Garau, M., Slater, M., Bee, S. and Sasse, M. A.: The Impact of Eye Gaze on Communication using Humanoid Avatars, *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '01, Association for Computing Machinery, pp. 309–316 (2001).
- [6] GN オーディオジャパン株式会社: WEB 会議で「毎回自分の顔を映す人」はわずか 3 割!! 会議中自分の顔を映さない人の約半数が「音声だけで問題ないと思う」と回答 「オンライン会議と周辺デバイスに関する調査」, PR TIMES Corporation (オンライン), 入手先 <https://prtimes.jp/main/html/rd/p/000000011.000072842.html> (参照 2024-10-14).
- [7] Emery, N. J.: The Eyes Have It: The Neuroethology, Function and Evolution of Social Gaze, *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, *International Behavioral Neuroscience Society*, Vol. 24, No. 6, pp. 581–604 (2000).
- [8] Kendon, A.: Some Functions of Gaze-Direction in Social Interaction, *Acta Psychologica*, Elsevier B.V., Vol. 26, pp. 22–63 (1967).
- [9] Argyle, M. and Cook, M.: *Gaze and Mutual Gaze*, Cambridge University Press (1976).
- [10] Abeles, D. and Yuval-Greenberg, S.: Just look away: Gaze aversions as an overt attentional disengagement mechanism, *Cognition*, Vol. 168, pp. 99–109 (2017).
- [11] Glenberg, A. M., Schroeder, J. L. and Robertson, D. A.: Averting the gaze disengages the environment and facilitates remembering, *Memory & Cognition*, *The Psychonomic Society*, Vol. 26, No. 4, pp. 651–658 (1998).
- [12] Kendon, A.: Functions of Gaze in Social Interaction: Communication and Monitoring, *Journal of Nonverbal Behavior*, *Springer Nature*, Vol. 10, No. 2, pp. 83–101 (1986).
- [13] Regenbrecht, H. and Langlotz, T.: Mutual Gaze Support in Videoconferencing Reviewed, *Communications of the Association for Information Systems*, *AIS Electronic Library*, Vol. 37, No. 1, pp. 965–989 (2015).
- [14] Isaacs, E. A. and Tang, J. C.: What Video Can and Cannot Do for Collaboration: A Case Study, *Multimedia Systems*, *Springer Nature*, Vol. 2, No. 2, pp. 63–73 (1994).
- [15] Vertegaal, R.: The GAZE groupware system: mediating joint attention in multiparty communication and collaboration, *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '99, New York, NY, USA, Association for Computing Machinery, pp. 294–301 (1999).
- [16] Vertegaal, R., Slagter, R., van der Veer, G. and Nijholt, A.: Eye Gaze Patterns in Conversations: There is More to Conversational Agents Than Meets the Eyes, *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '01, New York, NY, USA, Association for Computing Machinery, pp. 301–308 (2001).
- [17] Bavelas, J., Coates, L. and Johnson, T.: Listener Responses as a Collaborative Process: The Role of Gaze, *Journal of Communication*, *Wiley Online Library*, Vol. 52, No. 3, pp. 566–580 (2002).
- [18] Oertel, C. and Salvi, G.: A Gaze-based Method for Relating Group Involvement to Individual Engagement in Multimodal Multiparty Dialogue, *Proceedings of the 15th ACM on International Conference on Multimodal Interaction*, ICMi '13, New York, NY, USA, Association for Computing Machinery, pp. 99–106 (2013).
- [19] Teoh, C., Regenbrecht, H. and O'Hare, D.: Investigating Factors Influencing Trust in Video-Mediated Communication, *Proceedings of the 22nd Conference of the Computer-Human Interaction Special Interest Group of Australia on Computer-Human Interaction*, OzCHI '10, New York, NY, USA, Association for Computing Machinery, pp. 312–319 (2010).
- [20] Müller, P., Huang, M. X., Zhang, X. and Bulling, A.: Robust Eye Contact Detection in Natural Multi-Person Interactions Using Gaze and Speaking Behaviour, *Proceedings of the 2018 ACM Symposium on Eye Tracking Research & Applications*, ETRA '18, New York, NY, USA, Association for Computing Machinery, pp. 31:1–31:10 (2018).
- [21] Mukawa, N., Oka, T., Arai, K. and Yuasa, M.: What is Connected by Mutual Gaze? User's Behavior in Video-mediated Communication, *CHI '05 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*, CHI EA '05, Association for Computing Machinery, pp. 1677–1680 (2005).
- [22] Xu, L.-Q., Löffler, A., Sheppard, P. J. and Machin, D.: True-view Videoconferencing System Through 3-D Impression of Telepresence, *BT Technology Journal*, Vol. 17, No. 1, pp. 59–68 (1999).
- [23] Qin, Y., Lien, K.-C., Turk, M. and Höllerer, T.: Eye Gaze Correction with a Single Webcam Based on Eye-Replacement, *International Symposium on Visual Computing*, Springer, pp. 599–609 (2015).
- [24] Overvest, N., Patibanda, R., Saini, A., Van Den Hoven, E., Florian 'Floyd' Mueller: GazeAway: Designing for Gaze Aversion Experiences, *Extended Abstracts of the 2024 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI EA '24, Association for Computing Machinery, pp. 177:1–177:6 (2024).
- [25] Andrist, S., Tan, X. Z., Gleicher, M. and Mutlu, B.: Conversational Gaze Aversion for Humanlike Robots, *Proceedings of the 2014 ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction*, HRI '14, Association for Computing Machinery, pp. 25–32 (2014).
- [26] Okada, K.-I., Maeda, F., Ichikawaa, Y. and Matsushita, Y.: Multiparty Videoconferencing at Virtual Social Distance: MAJIC Design, *Proceedings of the 1994 ACM Conference on Computer Supported Cooperative Work*, CSCW '94, Association for Computing Machinery, pp. 385–393 (1994).
- [27] Grayson, D. M. and Monk, A. F.: Are you looking at me? Eye contact and desktop video conferencing,

- ACM Transactions on Computer-Human Interaction*, Vol. 10, No. 3, pp. 221–243 (2003).
- [28] Argyle, M. and Dean, J.: Eye-Contact, Distance and Affiliation, *Sociometry*, *American Sociological Association*, *Sage Publications, Inc.*, Vol. 28, No. 3, pp. 289–304 (1965).
 - [29] Kumar, C., Saini, B. K. and Staab, S.: Enhancing Online Meeting Experience through Shared Gaze-Attention, *Extended Abstracts of the 2024 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI EA '24, New York, NY, USA, Association for Computing Machinery, pp. 128:1–128:6 (2024).
 - [30] Sakashita, M., Ricci, E. A., Arora, J. and Guimbreti re, F.: RemoteCoDe: Robotic Embodiment for Enhancing Peripheral Awareness in Remote Collaboration Tasks, *Proceedings of ACM on Human-Computer Interaction*, Vol. 6, No. CSCW1, pp. 63:1–63:22 (2022).
 - [31] Iitsuka, R., Kawaguchi, I., Shizuki, B. and Takahashi, S.: Multi-party Video Conferencing System with Gaze Cues Representation for Turn-Taking, *Collaboration Technologies and Social Computing: 27th International Conference, CollabTech 2021, Virtual Event, August 31 - September 3, 2021, Proceedings*, Springer-Verlag, pp. 101–108 (2021).
 - [32] Vertegaal, R., Weevers, I., Sohn, C. and Cheung, C.: GAZE-2: Conveying Eye Contact in Group Video Conferencing Using Eye-Controlled Camera Direction, *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '03, Association for Computing Machinery, pp. 521–528 (2003).
 - [33] Corporation, N. C.: NTT Communications が提供する WebRTC アプリ開発者向けマルチプラットフォーム SDK&API, NTT Communications Corporation (オンライン), 入手先 (<https://skyway.ntt.com/>) (参照 2024-10-14).
 - [34] Google: MediaPipe Solutions guide | Google AI Edge | Google AI for Developer, Google (オンライン), 入手先 (<https://ai.google.dev/edge/mediapipe/>) (参照 2024-10-14).
 - [35] 飯塚陸斗: 多人数ビデオ会議における話者交替のための参与役割提示手法 (2022).
 - [36] Google: Face landmark detection guide | Google AI Edge | Google AI for Developer, Google (オンライン), 入手先 (https://ai.google.dev/edge/mediapipe/solutions/vision/face_landmarker) (参照 2024-10-14).
 - [37] Nguyen, B. L., Chahir, Y., Molina, M., Tijus, C. and Jouen, F.: Eye Gaze Tracking with Free Head Movements using a single camera, *Proceedings of the 1st Symposium on Information and Communication Technology*, SoICT '10, New York, NY, USA, Association for Computing Machinery, pp. 108–113 (2010).
 - [38] Stahl, J. S.: Amplitude of Human Head Movements Associated with Horizontal Saccades, *Experimental Brain Research*, *Spring Nature*, Vol. 126, pp. 41–54 (1999).