



楕円球面スクリーンに投影された顔画像による 視線方向の伝達

Gaze-direction transmission with the face image projected on ellipsoid screen

一居 太朗¹⁾, 三武 裕玄¹⁾, 長谷川 晶一¹⁾

Taro ICHII, Hironori MITAKE, and Shoichi HASEGAWA

1) 東京工業大学 工学院 情報通信系 長谷川晶一研究室

(〒226-8503 神奈川県横浜市緑区長津田町 4259 R2-624, ichtaro@haselab.net)

概要: 近年普及しているビデオ会議システムでは、非言語情報が伝達しづらくコミュニケーションが円滑に行なわれない問題がある。これは平面ディスプレイに顔画像を投影するとモノリザ効果が発生し、視線方向が適切に伝達されないためである。そこで我々は、楕円球型のスクリーンに顔画像を投影することで、高い利便性と実際の外見との同一性を確保しながら適切な視線方向の伝達を行なうシステムを提案した。特定方向への視線伝達能を主観心理評価した結果、モノリザ効果はある程度解消されていたが、ある視線に対して見られたと感じる範囲が広い場合があり、会議において同時に複数人が視線一致を知覚するおそれがあった。

キーワード: 視線, モノリザ効果, テレプレゼンス, 立体ディスプレイ

1. 背景

電話をはじめ、電子メールやビデオ会議、SNS など、今日では様々な情報通信技術が発達・普及しているが、未だに対面会話が最も基本的なコミュニケーション手段である。特に重要な意思決定などは、多くの人件費・交通費をかけてでも対面会話で行われることが多く、空間的に離れた人々が対面しているかのように会話できる技術の実現は、コストの削減など大きなメリットをもたらす。

しかしながら、現状のビデオ会議システムで多く用いられている平面ディスプレイでは、視線や頭の動きなど非言語情報の適切な伝達が難しいため、コミュニケーションが円滑に行なわれない問題がある。非言語情報はコミュニケーションにおいて大きな役割を果たしており、特に 3 人以上の多人数会話においては、視線や身振りによって話者の交替が調整されることが示されている[1][2]。

特に視線については、モノリザ効果[3]が発生してしまうために、適切な視線の提示が困難となっている。モノリザ効果とは、平面ディスプレイ内の顔画像が正面を見ているときは見る方向に関わらず自分と目が合っているように感じ、正面でないときは見る方向に関わらず目が合っていないように感じる現象である。

このモノリザ効果を解消し適切な視線を提示するには、顔を立体的に表示する必要がある。ロボットや Depth-fused

Display (DFD)、ホログラムなどを用いる手法はあるが、駆動機構や特殊な表示装置などにコストがかかる。これをよりリーズナブルに実現する方法として、曲面ディスプレイがある。顔画像を曲面スクリーンに投影することでモノリザ効果が解消されることが Pan[4] によって報告されている。

遠隔会議システムを実用する場合には、利便性の高さも重要である。不特定多数の利用者が使用することになるため、利用者固有の設備が不要な汎用性の高いシステムが必要となる。また、信頼性の高さや安価さも重要となる。具体的には、故障のリスクや製造コストを下げるため、機構は少ない方がよい。ディスプレイを鉛直軸対称な回転体にすれば、左右方向の回転運動を機構を用いず映像のみで表現できるメリットがある。

また今の社会では、対面会話なしでコミュニケーションが完結することはない。つまり、実際に遠隔会議システムで対話をする相手は、以前に対面会話した顔見知りである、もしくは面接のように以後対面会話することが想定されている場合が殆どである。その際、遠隔会議システムで表示される顔画像が実際の外見と大きく異なると、対話者のアイデンティティとの非同一性が生じ、受話者が違和感を覚える可能性がある[5]。よって遠隔会議システムで表示される顔画像は、対話者の外見と近く同一人物であると判別

できる必要がある。対話者が誰であるかを同定する顔認識の過程において、我々は主に顔パーツおよび輪郭の全体的な配置情報で判別しているといわれている[6]。そのため遠隔会議システムでも、顔パーツおよび輪郭を実際の外見と同様に自然に表示する必要があると考える。ただし、表示される顔画像と実際の外見との相違がわずかであると、不気味の谷[7]に陥り親近感が急減する可能性があるため、注意が必要である。

このように、実用出来る遠隔会議システムには、適切な視線の提示に加えて信頼性や安価さなどの利便性、表示される顔画像と実際の外見との同一性が必要であるが、これらを全て十分に満たす手法は存在しない。（詳細は 6. 関連研究 を参照）

そこで我々は、上下方向に線対称な曲面をもち、人間の顔形状に近い楕円球型のスクリーンに顔画像を投影することで、上述の利便性・同一性を確保しながら適切な視線方向の伝達を行なうシステムを提案する。

本稿では、まず提案するシステムの概要を述べ、次に特定方向への視線伝達能の評価を行なう。

2. 提案手法

図 1 に提案するシステム (TEllipsoid) の概要図を示す。本システムは楕円球型のスクリーンおよび小型プロジェクターによって構成され、底部に設置されたプロジェクターから凸面鏡を用いて顔画像をスクリーンに投影する。本システムの特徴として、利用者固有の設備が不要で汎用性が高いこと、横方向の回転運動を機構を用いずに映像のみで表現できること、人間の顔形状に近いため顔パーツや輪郭を自然に表示できることなどがある。

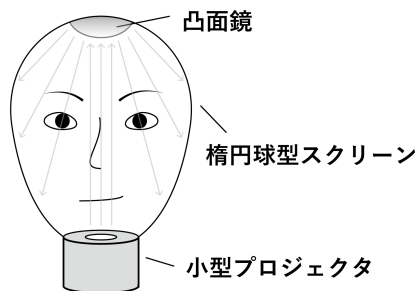


図 1: TELLipsoid の概略図

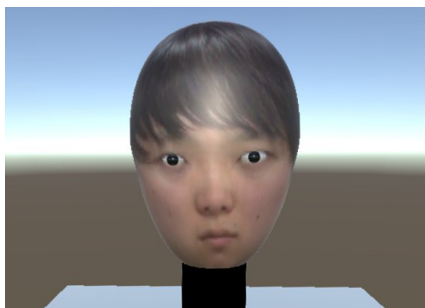


図 2: 製作したプロトタイプ

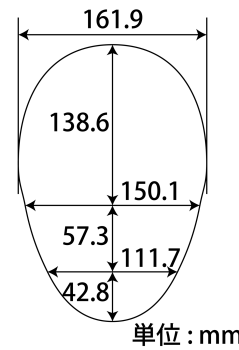


図 3: 楕円球型スクリーンの形状



図 4: 投影するテクスチャ画像

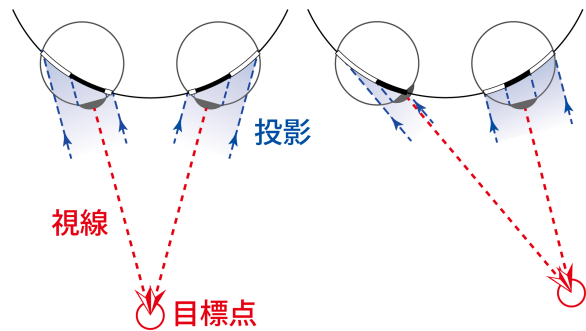


図 5: 視線の提示および投影手法

まず、VR 空間内におけるプロトタイプ製作を行なった。プロトタイプ概要図を図 2 に示す。楕円球型スクリーンは、日本人青年男子の頭部寸法の平均値[8]から図 3 に示す形状に決定し、Blender (2.79b) でモデリングを行なった。

顔画像は、筆者が 360° 回転する動画から各フレームの画像を合成することで作成し、テクスチャとして円筒状投影した。図 4 に、投影するテクスチャ画像を示す。この際、自然な表示をするため、正面から見て左右端に表示される部位（もみあげ等）が正面顔画像と同じ位置になるよう、後頭部側のテクスチャを適宜トリミングした。また後述する視線提示機能のため、眼球部分を透過した。

実際の会議では、頭部を動かさずに視線のみを発話者に向ける場合もあるため、特定方向へ視線を提示する機能が必要となる。この機能は Unity (2019.1.2f1) を使い、目標点に視線を向けた眼球オブジェクトを、視線方向から楕円球面上に投影することで実装した。視線の提示および投影方法を図 5 に示す。眼球オブジェクトは、白目と瞳孔を模した 2 つの球を組み合わせで作成した。瞳孔は正面から見て眼球部の中心にくるよう左右位置を調整し、正面顔画像を参考に上下位置および大きさを調整した。またハイライ

トが入るよう質感も調整し、回転半径は目頭から目尻までの距離の半分とした。

スクリーンおよびプロジェクタを用いる実際のシステムについては、今後製作を行ない大会当日にデモンストレーションを行なう予定である。

3. 実験

製作したプロトタイプについて、特定の方向からのみ視線が合ったと知覚できるか、また視線角度と視線一致を知覚する観察角度の関係を調べるために、主観心理評価を行った。

図 6 に、視線角度 θ および観察角度 φ の定義を示す。視線方向は、プロトタイプから 1 m 離れた位置にある目標点をプロトタイプを軸に回転させて変化させるため、目標点の正面からの回転角を視線角度として定義した。今回、瞳孔が自然に表示できる視線角度の範囲は $-40^{\circ} \sim 40^{\circ}$ であった。また実際の会議はテーブルを囲む形式が多く、頭部は左右 90° の範囲から見られる可能性があるため、観察角度の範囲は $-90^{\circ} \sim 90^{\circ}$ とした。

実験参加者は研究室の 22 歳~68 歳の成人男女 11 名であった。ヘッドマウントディスプレイ (Oculus Quest) を用いて VR 映像を提示し、実験参加者は顔の高さを概ね合わせたプロトタイプを 1 m 離れた位置から座位で観察した。

上述の条件から、観察角度を $\{-90^{\circ}, -60^{\circ}, -30^{\circ}, 0^{\circ}, 30^{\circ}, 60^{\circ}, 90^{\circ}\}$ の 7 通り、視線角度を $\{-40^{\circ}, -32^{\circ}, -24^{\circ}, -16^{\circ}, -8^{\circ}, 0^{\circ}, 8^{\circ}, 16^{\circ}, 24^{\circ}, 32^{\circ}, 40^{\circ}\}$ の 11 通りに変化させた、合計 77 通りの刺激を用意した。

実験では 77 通りの刺激がランダムに提示され、実験参加者は自分がプロトタイプに見られたと感じるかを判断し、見られたと感じる場合にはコントローラのボタンを押すことで回答した。より直感的な判断結果を得るため、各刺激の提示時間は 5 秒とした。

4. 結果

表 1 に、各刺激に対する視線知覚尺度を示す。視線知覚尺度は、視線が合ったと感じた場合を“1”，合わないと感じた場合を“0”とした際の、全被験者の平均値とした。

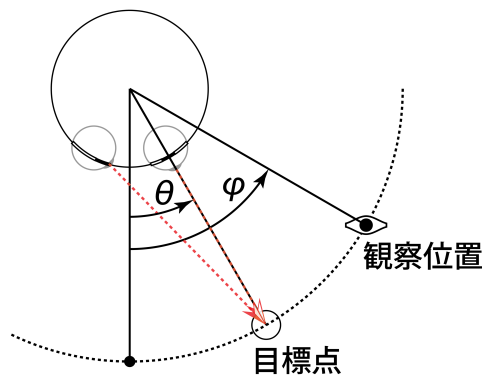


図 6: 視線角度 θ および観察角度 φ の定義

表 1: 各刺激に対する視線知覚尺度

		観察角度						
視線角度		-90°	-60°	-30°	0°	30°	60°	90°
	-40°	0.18	0.36	0.00	0.00	0.09	0.00	0.00
	-32°	0.00	0.45	0.09	0.00	0.00	0.00	0.00
	-24°	0.00	0.91	0.64	0.00	0.00	0.00	0.00
	-16°	0.00	0.73	0.82	0.00	0.00	0.18	0.00
	-8°	0.00	0.27	0.64	0.18	0.00	0.00	0.00
	0°	0.00	0.09	0.09	1.00	0.09	0.09	0.09
	8°	0.00	0.00	0.00	0.09	0.64	0.45	0.00
	16°	0.00	0.00	0.00	0.00	0.82	0.82	0.00
	24°	0.09	0.00	0.00	0.00	0.27	0.91	0.00
	32°	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.55	0.00
	40°	0.00	0.00	0.00	0.00	0.09	0.18	0.18

例えば視線角度が 24° 、観察角度が 60° のときの視線知覚尺度は 0.91 であるが、これは全被験者のうち 91% の人がプロトタイプに見られたと感じたことを意味する。

左右どちらの方向についても、視線角度が大きくなるほど視線一致を知覚する観察角度が大きくなる傾向が見られたが、視線角度と観察角度は必ずしも一致しなかった。また視線角度が $\pm 8^{\circ}, \pm 16^{\circ}, \pm 24^{\circ}$ のとき、視線知覚尺度の大きい観察角度は複数存在していた。

実験参加者からは、「シャイな印象を受けた」や「怪訝そうな印象を感じる場合がある」などコメントがあった。

5. 考察

主観心理評価の結果から、顔画像が正面を見ているときに正面以外で視線一致を知覚することはほとんどなく、顔画像が正面を見ていないときも、ある角度範囲から見た場合のみ視線一致を知覚しやすいといえる。よって今回のプロトタイプにおいては、モナリザ効果はある程度解消されていると考えられる。

しかしながら視線角度が $\pm 8^{\circ}, \pm 16^{\circ}, \pm 24^{\circ}$ のとき、視線知覚尺度の大きい観察角度は複数存在しており、会議においてはある視線に対し同時に複数人の受話者が視線一致を知覚するおそれがある。

シャイな印象については、スクリーンの眼球部にあたる面が下を向いており俯いているように感じられたためであると考えられ、また怪訝そうな印象については、視線角度と観察角度が大きい際の、顔パーツ配置の歪みおよび瞳孔の顔画像による遮蔽によるものであると考えられる。

6. 関連研究

LiveMask[9]は、立体顔形状スクリーンに顔画像を投影し表示するテレプレゼンスシステムである。立体顔形状によりモナリザ効果は解消され、適切な視線方向の伝達を実現した。しかしながら、利用者ごとにスクリーンが必要なため汎用性が低く、また頭部運動の表現に 3 軸の

駆動機構を用いているため、機構の慣性力により動作が遅延する問題があった。

Delaunay ら[10]は、半球型のスクリーンにアニメ風の顔画像を投影したが、立体顔形状や平面形状に比べ視線方向の伝達は困難であったと評価している。

謝辞 本研究は、JSPS 科研費 19K12284 の助成を一部受けたものです。

参考文献

- [1] Duncan, Jr., S., “Some signals and rules for taking speaking turns in conversation,” *Journal of Personality and Social Psychology*, Vol.23, pp.283- 292, 1972.
- [2] Kendon, A., “Some functions of gaze direction in social interaction,” *Acta Psychologica*, Vol.26, pp.22-63, 1967.
- [3] Sheena Rogers, Melanie Lunsford, Lars Strother, Michael Kubovy, “The Mona Lisa effect: Perception of gaze direction in real and pictured faces,” 2003.
- [4] Pan, Y., “Situated Displays in Telecommunication,” Doctoral thesis, UCL (University College London), 2015.
- [5] 平家 雅之, 川崎 裕達, 田中 貴紘, 藤田 欣也, 類似度と好感度を両立する個人化アバタのデフォルメ法の検討, ヒューマンインタフェース学会論文誌, Vol.13, No.3, pp.243-254, 2011.
- [6] 九島 紀子, 齊藤 勇, 顔パーツ配置の差異による顔印象の検討, 立正大学心理学研究年報, No.6, pp.35-52, 2015.
- [7] Mori, Masahiro & MacDorman, Karl & Kageki, Norri. “The Uncanny Valley [From the Field],” *IEEE Robotics & Automation Magazine*. Vol. 19, No. 2, pp. 98-100, 2012.
- [8] 河内まき子・持丸正明, 2005 AIST 人体寸法データベース, 産業技術総合研究所 H16PRO 287
- [9] 三澤 加奈, 石黒 祥生, 暦本 純一, LiveMask : 立体顔形状ディスプレイを用いたテレプレゼンスシステムにおけるコミュニケーションの評価, インタラク ション 2012, pp.41-48, 2012.
- [10] F. Delaunay, J. de Greeff and T. Belpaeme, “A study of a retro-projected robotic face and its effectiveness for gaze reading by humans,” 2010 5th ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction (HRI), Osaka, pp. 39-44, 2010.