

擬人化エージェントによる協調視覚探索の効率化

Agents as a Gaze Visualization during
Collaborative Visual Search王一道^{1*} 山田誠二^{2,3,1}
Yidao Wang¹ Seiji Yamada^{2,3,1}¹ 東京工業大学 情報理工学院 情報工学系 知能情報コース¹ Tokyo Institute of Technology² 国立情報学研究所² National Institute of Informatics³ 総合研究大学院大学³ the Graduate University for Advanced Studies(SOKENDAI)

Abstract: 本研究ではリモート環境で協調タスクを行うペアがお互いの非言語情報を伝え合うユーザーインタフェース UI として擬人化エージェントを提案する。実験参加者のペアは、視覚探索タスクをリモート環境で同時に協調して行う。これを 4 つの UI 条件からなる独立変数で参加者実験を行い、有効性を比較した。UI 条件は、擬人化エージェント（相手の顔から生成した線画）、顔映像（相手の顔映像）、共有視線（相手の注視点）、UI なし、である。実験結果から、擬人化エージェントが対象のタスクにおいて有効であると結論づける。

1 はじめに

ネットワーク技術の発展により、遠隔地のコンピュータ同士を接続し、共同作業（コラボレーション）を行うことはますます一般的になっており、人々の働き方や学びを変えている。例えば職場ではグローバル化の影響もあり、分散作業チームが多く見られるようになっている。これに伴い、遠隔地の同僚と効率的に対話するための新しいビデオ会議ツールやテレビプレゼンシステムが開発されてきた。しかしながら、これらの多くのシステムには、効率的なインタラクションとコラボレーションに重要な非言語的手がかり（non-verbal cue）を表示する機能が欠けている [1, 2]。これらの課題に対処するために、研究者は非言語的手がかりを分散型に統合する技術を開発してきた。その中でも、視線情報の可視化は、非常に有望な手法であると考えられている。

その理由として、まず、コラボレーションにおいて視覚情報を共有することは、状況認識（タスクの現在の状態の評価と将来のアクションの計画）と会話基盤（共同動作に関する会話のサポートと相互理解の根拠の提供）の確立に役立つとされている [3]。すなわち、ペ

アはタスクの状態を監視することで、タイムリーな状況を伝え合ったり、タスクオブジェクトを明確に参照できるようになるため、より良い調整（coordination）ができるようになるということである。

さらに、ペアがどこを見ているかという情報は、注意の根拠となり、共通のオブジェクトを興味対象とするコミュニケーションにおいて、非常に重要な手がかりとなることが分かっている [4]。

ペアの両方の視線をトラッキングして表示するデュアルアイトラッキング技術 [5, 6] が開発されると、お互いの視線情報を可視化して共有する、共有視線（Shared Gaze）という手法が可能になった。この手法を用いることで、ペアによるターゲットの探索の効率化 [7] や、複雑な図を議論する学生の学習効率の向上 [8]、そして、効果的な参照ポインターとしての機能 [9] など、様々な利点が報告された。

本研究では、コラボレーターの視線情報を、顔全体として可視化することでリモートコラボレーションをより効率化できるのではないかと仮説を立てた。具体的には、視線情報を顔映像や擬人化エージェントとして可視化する手法である。この方針にしたがった UI を設計、提案する。

*連絡先：東京工業大学 情報理工学院 情報工学系 知能情報コース

〒 152-8550 東京都目黒区大岡山 2-12-1
E-mail: wang.y.bh@m.titech.ac.jp

1.1 研究目的

本研究の目的は、リモートコラボレーションを効率化するためのUIを設計、提案することである。協調視覚探索に焦点を当て、これを効率化するためのUIを提案する。効率性の指標は、タスクのパフォーマンスとユーザーの認知的負荷である。また、参加者実験によって提案したUIを既存手法と比較、評価し、結果や改善点を考察する。

1.2 関連研究

協調視覚探索タスクにおける共有視線の有効性に関する研究がされている。Brennanら[10]は、コラボレーション中におけるインタラクションの調整のプロセスを解明するために、ペアによる視覚探索を、5つのコミュニケーション条件の下で行わせ、比較する実験を行った。コミュニケーション条件はそれぞれ、SV+V（会話と共有視線によるコミュニケーション）、SV（会話のみ）、SG（共有視線のみ）、NC（コミュニケーションなし）、1P（1人）である。実験の結果、SG条件が最も効率的であり、共有視線が協調視覚探索を効率よく調整できることが分かった。また、実験結果により、会話を許すことによるコストの存在が明らかになった。

D'Angeloらは、共有視線がリモートコラボレーションにおいてどのように共有リソースとして利用されるかを調べるために、実験参加者のペアに4×4のパズルを共同で組み立てさせる実験を行った[11]。比較条件として、ローカル環境でディスプレイを共有、リモート環境で共有視線あり、リモート環境で共有視線なしの3条件で比較実験を行った。その結果、共有視線は効率的な直視的参照として機能し、言語的に説明が複雑なオブジェクトのポインティングを正確に行うことができることが分かった。また、共有視線の正確性の不足や絶え間ない動きによる混乱に言及し、視線情報の可視化の設計には、表示される頻度とタイミングを考慮する必要があると考察している。

D'Angeloらは更に、視線情報の可視化特性とタスク特性との関係を調べるために、3つの視線情報の可視化手法を設計した[12]。それぞれ、Heat Map（注視点が重なるたびに色が暗くなるような注視の分布の可視化）、Shared area（ペアが同じ領域を注視している時だけ、注視領域に円が表示される）、Path（注視点を結んだもの）である。これらとNo Visualization（可視化なし）の4条件を可視化条件とした。また、タスク条件としてCollaborative（協調探索）とIndependent（個別探索）を用意し、2×4（タスク条件×可視化条件）の参加者内配置実験を行った。結果から、視線の可視化手法がパフォーマンス、調整、探索行動、および利用可能性の知覚に影響することが示された。さらに、タ

スク条件によって、視線情報の可視化手法がパフォーマンスと調整に与える影響が変わることも分かった。

擬人化エージェントの視線がユーザーに与える影響も研究されている。深山らは3つの視線パラメータに基づいて生成された視線パターンを行う擬人化エージェントの映像を実験参加者に見せ、そこから受ける印象を、7段階のSD法によって回答させる実験を行った[13]。その結果、擬人化エージェントの視線の制御によって、ユーザの印象を操作できることが分かった。また、擬人化エージェントがユーザの注視行動を同期同調して模倣することで、興味対象への注視の持続時間が長くなるという研究結果も報告されている[14]。

2 対象タスクと提案手法

本研究で着目するリモートコラボレーションタスクである協調視覚探索を解説し、そのタスクを効率化するためのUIを提案する。

2.1 協調視覚探索

協調視覚探索（collaborative visual search）は、リモート環境に位置するペアが、ネットワークで接続されたコンピュータ上で、協力して視覚探索（visual search）を行うタスクである。視覚探索は、心理学の分野で盛んに用いられる知的課題のひとつであり、特定のオブジェクトや特徴（目標刺激、ターゲット）を、それ以外のオブジェクトや特徴（妨害刺激、ディストラクター）の中から見つけ出すタスクである。比較的よく理解されており、スピードが重視されるタスクため、本研究のような、効率的な協調を要するインタラクションの研究に理想的である。

本研究では、O-in-Qs探索タスクという視覚探索を採用した。これは画面にランダムに配置されたQから、ターゲットであるOを見つけるタスクである。探索者のペアは提示された画面にターゲットOが存在するかしないかをボタンによって回答する。探索時間（画面が提示されてから回答するまでの時間）と誤答率によってタスクのパフォーマンスを測定する（図4）。

2.2 提案手法

顔表情認知は対人コミュニケーションにおいて重要な役割を果たす。Mehrabianは、表情や声のトーンやメッセージの内容を変えて、聞き手が受ける好意度を調べた結果、メッセージの内容と声のトーンが与えた影響はそれぞれ7%と38%であったのに比べ、表情が与えた影響は55%と大きいものであったことを報告し

ている [15]。また、顔表情認知は、すばやく、意識下の段階で遂行されることが示されている [16]。

本研究では、人の顔認知能力を利用することで、視線情報を含めた非言語的手がかりを、より早く、低い認知的負荷で伝えられるのではないかと考え、顔全体を可視化するという方針をもとに、以下の2つの手法を提案する。

2.2.1 顔映像の表示

顔全体を可視化するという方針を素朴に実現する手法として、コラボレーターの顔映像をタスク画面に被せて表示することを提案する。この手法では、探索者はコラボレーターの注視位置を正確に知ることはできないが、右左上下という大雑把な方向を知ることができ、探索作業の分担を期待できる。また、表情認知に起因する情動反応が協調を促し、作業効率や認知的負荷に良い影響を及ぼすことが期待される。ただし、この手法はタスク画面が煩雑になるため、探索者の集中力欠如を誘発し、作業効率を下げる可能性がある。

2.2.2 擬人化エージェントの表示

コラボレーターの顔を擬人化エージェントに変換して表示することで、顔映像を直接表示した際の懸念点を解消できる。擬人化エージェントの目は、コラボレーターの画面上の注視点位置に同期して動くようにする。顔映像と比べ、眼球運動を誇張表現できるので、コラボレーターの視線情報の把握がより容易となることが期待される。また、シンプルな擬人化エージェントを採用することで、煩雑なタスク画面を回避できる。

3 実験

3.1 実験の目的

実験では、提案手法が協調視覚探索に与える影響を既存手法と比較する。4つのUI条件を用意し、それらがパフォーマンス、認知的負荷、そして戦略にどのような影響を及ぼすかを参加者間実験で評価する。

3.2 実験システム

実験システムは2台のデスクトップPCに、Unityで開発したアプリケーションとして実装した。ディスプレイは23インチのものを使用し、画面解像度は1600×900ptで行った。それぞれのPCには顔映像を取得するためのWebカメラと視線情報を取得するためのアイトラッカー、Tobii Pro X3-120と、Tobii X2-60 (図

2)を接続した。また、無線LANによってローカルエリアネットワークに接続され、相互通信を行った (図1)。

3.3 実験方法・環境

参加者のペアは同じ部屋の席に着いた後、実験同意書にサインを求められた。その後、実験に関するインストラクションを受けた。インストラクションでは実験の流れと、探索タスクを協力して早く、正確に行うことを要求した。また、タスク中は会話してはいけないことを伝えた。その後、参加者はそれぞれのデスクトップPCのある席へ移動してもらい、アイトラッカーのキャリブレーションを行った。キャリブレーションはTobii社の提供するソフトウェア、Tobii Pro Eye Tracker Managerで行った。キャリブレーション終了後、実験システムを起動すると、参加者のペアは画面の中心を注視しながら画面上のボタンを押すことで同時に探索タスクが開始した (図3)。

探索タスクは練習16タスク、本番80タスクの計96タスクを通して行われた。探索者のペアは、800×600ptの画面範囲にランダムに配置されたQからターゲットであるOを見つける (図4)。ペアは同時に同じタスクを提示される。「Oが1つ存在し、オブジェクト数(QとOの数の合計)が21個のタスク」、「Oが1つ存在し、オブジェクト数が36個のタスク」、「Oが存在しなく、オブジェクト数が21個のタスク」、「Oが存在しなく、オブジェクト数が36個のタスク」の4通りがあり、それぞれ均等に20タスクずつ出現する。ただし、出現する順番はランダムである。

片方の探索者が回答すると、それが正解であるか不正解であるかに関わらず、2.5秒のインターバルを挟み、2人とも次のタスク画面への遷移した。全ての探索タスク終了後、探索者はペアの探索時間平均と正答率を知らされた。

探索タスクが終了した後は、初めの席に戻ってもらい、紙によるアンケートを実施した。その後、全ての過程を終了した参加者に、報酬が支払われた。実験は始まりから終わりまで、全体で40分程度だった。

3.4 UI条件

UI条件は本実験の独立変数となる条件である。本実験は参加者間実験であるため、参加者のペアは、終始ひとつのUI条件で探索タスクを行う。提案手法であるAgent UI及びFace UI、既存手法のShared Gaze UI、そしてUIなしNo UIの4水準である (図6)。なお、本実験で用いられるUIはどれも音声による通話をサポートしていない。



図 1: システム概観

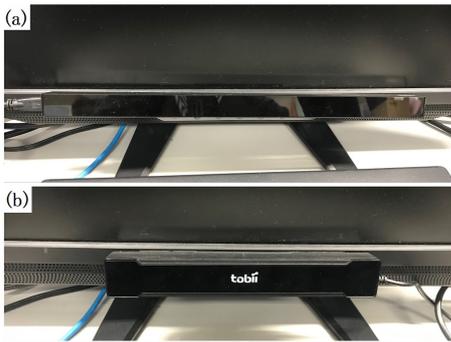


図 2: 使用したアイトラッカー Tobii Pro X3-120 (a) と, Tobii X2-60 (b)

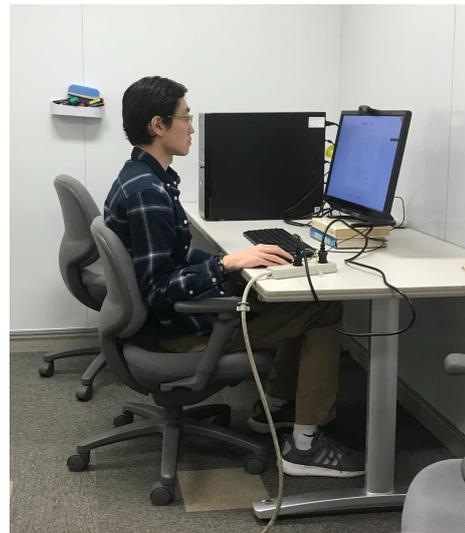


図 3: 実験の様子

3.4.1 Agent UI

Agent UI は擬人化エージェントを表示する UI である。擬人化エージェントは目、鼻、口、顔輪郭によって構成されている。目は眼球と瞳孔で構成されており、眼球はコラボレーターの目の位置、瞳孔はコラボレーターのタスク画面上の注視点位置に同期して動く。また、他の部品は顔映像からリアルタイムで抽出された顔ランドマークを結んだ線で描画される (図 5)。擬人化エージェントの色は、ターゲットと同じ色を避けて、青色を採用した。

3.4.2 Face UI

Face UI はコラボレーターの顔映像を表示する UI である。コラボレーターの PC に接続された Web カメラの映像を透過し、タスク画面に被せて表示する。また、コラボレーターの視線方向がタスク画面上と一致するように映像は左右反転している。

3.4.3 Shared Gaze UI

Shared Gaze UI は、パートナーの視線情報だけを可視化する既存の手法である。パートナーの視線は注視

点カーソル (注視点を中心とした直径 85 pt の円) として可視化され、リアルタイムでタスク画面に表示される。これは先行研究 ([10]) で用いられたものをベースにしており、非常に効率的であることが示されている。

3.4.4 No UI

No UI では、コラボレーターの非言語的手がかりは表示されない。しかし、コラボレーターが回答すると、自分も画面遷移するため、コラボレーターの回答の速さは分かる。

3.5 評価方法

3.5.1 独立変数と従属変数

本実験の独立変数は、UI 条件であり、A (Agent UI), F (Face UI), SG (Shared Gaze UI), N (No UI) の 4 水準である。従属変数は、探索タスクの探索時間、誤答率、そしてアンケート結果である。

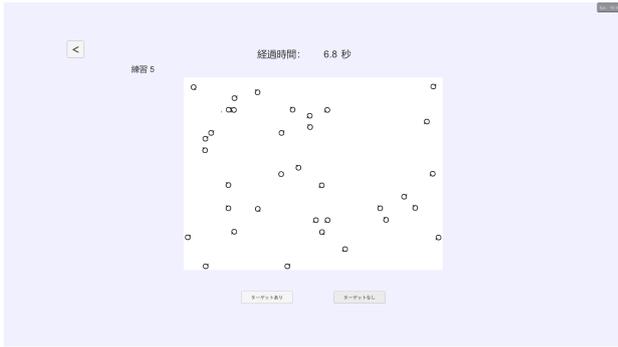


図 4: 探索タスク画面 (No UI)

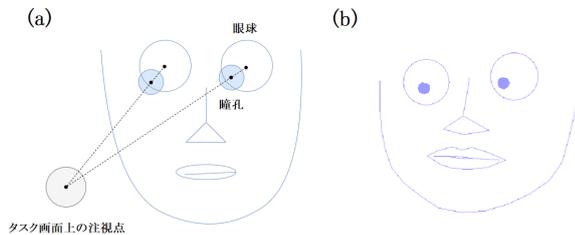


図 5: 擬人化エージェント概形 (a) と、実際に表示される擬人化エージェント (b)

3.5.2 アンケート

アンケートでは、参加者の主観的な認知的負荷、UI に対する認知、そして戦略を聞いた。主観的な認知的負荷と、UI に対する認知は、SD 法によって回答させた。SD 法とは、個人が抱く印象を反対語の形容詞からなる評価尺度を用いて 5 段階や 7 段階の評価尺度で評価させる手法で、本実験では 7 段階の評価尺度を用いた。また、戦略は自由記述で回答させた。

主観的な認知的負荷に関する質問は、Haga らが考案した日本語版 NASA-TLX の質問文を引用した [17]。NASA-TLX は、最も広く使われている主観的認知負荷の測定手法のひとつで、すでに実用化を達成した数少ない手法である。NASA-TLX は、知的・知覚的要求 (mental demand: MD), 身体的要求 (physical demand: PD), タイムプレッシャー (temporal demand: TD), 作業成績 [(own)performance: OP], 努力 (effort: EF), フラストレーション (frustration: FR) の 6 つの尺度から構成されている。今回のタスクでは、身体的要求とタイムプレッシャーは UI 条件に依存しないと考えたため、知的・知覚的要求、作業成績、努力、フラストレーションの 4 尺度を採用した (表 1)。

UI に対する認知に関する質問文は、先行研究 [12] で用いられたものを参考にし、SD 法の形式に合うように作成した (表 2)。この 4 問の質問は、UI を対象とするため、N 条件では行われていない。また、探索タスク

中に意識していたことや、パフォーマンスを上げるための戦略、そしてその他に気づいたを聞くために、自由記述を設けた (表 3)。

3.6 参加者

21 歳～26 歳までの 24 名の参加者 (男性 23 名, 女性 1 名) で参加者間配置実験を行った。平均年齢 (\pm 標準偏差) は、24.2 (\pm 1.2) 歳。ひとつの UI 条件につき 3 ペアの、全 12 ペアであった。参加者には実験の報酬として、1,500 円分の金券が支払われた。

3.7 実験結果

3.7.1 探索時間と誤答率

全 960 タスク (4 水準 \times 3 ペア \times 80 タスク)のうち、ネットワーク通信の遅延によって不適切な結果が反映されてしまったタスクが 3 タスクあったため、これらを除外して分析した。

水準ごとの探索時間と誤答率の結果を図 7 に示す。探索時間を評価軸とした one-way ANOVA を行ったところ、主効果に有意性がみられた ($(F(3, 953) = 14.34, p < .01)$)。Tukey の HSD で多重比較を行ったところ、探索時間において、水準 A が他のすべての水準に対して有意に早かった。誤答率に対しても同じ検定を行ったが、有意差は見られなかった。

本実験の探索タスクでは、ターゲットが存在する場合と、ターゲットが存在しない場合で探索者の振舞いが大きく変わることが分かっている。より詳しく分析するために、それぞれの場合に分けて、同様の分析を行った。

図 8 はターゲットが存在した、477 タスクを分析したものである。one-way ANOVA を行ったところ、探索時間にて主効果に有意性がみられた ($(F(3, 473) = 7.21, p < .01)$)。誤答率では、有意差は見られなかったものの、有意傾向がみられた ($(F(3, 473) = 2.46, p < .10)$)。HSD では、探索時間において、水準 A が水準 F と水準 N に対して有意に早く、水準 SG が水準 F に対して有意に早いという結果となった。一方、誤答率では有意差は見られなかった。

図 9 はターゲットが存在しなかった、480 タスクを分析したものである。one-way ANOVA を行ったところ、探索時間にて主効果に有意性がみられた ($(F(3, 476) = 28.01, p < .01)$)。HSD では、探索時間において、水準 A が他の水準全てに対して有意に早く、水準 N が他の水準全てに対して有意に遅いという結果となった。こちらも、誤答率では有意差は見られなかった。

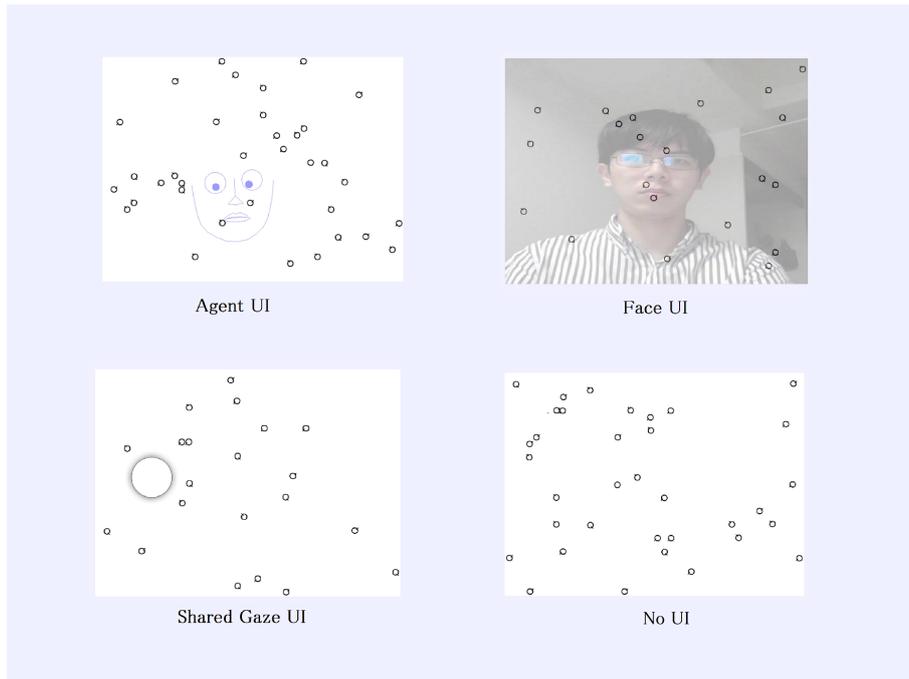


図 6: 各 UI の探索タスク画面

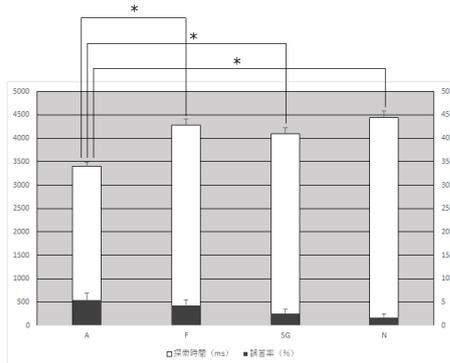


図 7: 探索タスクのパフォーマンス

3.7.2 アンケート

実験参加者 24 人のアンケート結果を集計した。SD 法による 7 段階評価は、0 から 6 の整数に変換して集計した。例えば、「知的・知覚的要求（少ない／多い）」を、最も少ないと答えた場合は 0、最も多いと答えた場合は 6 となる。

図 10 は主観的認知的負荷に関するアンケートの結果である。このアンケートでは、値が大きいくほど、主観的認知的負荷は高くなる。「知的・知覚的要求」において、水準 A、水準 F は水準 SG と水準 N の間という結果となった。「作業成績」では、水準 A、水準 F は水準 SG、水準 N と比べると高い値となった。「努力」では、水準 A、水準 F は水準 SG、水準 N と比べると低めの

値となった。「フラストレーション」では、水準 F と水準 SG が低めの値となった。

図 11 は UI に対する認識に関するアンケートの結果である。このアンケートでは、値が大きいくほど、UI に対して好ましい認知となっている。水準 F は、全ての項目において値が低くなっている。特に、「コミュニケーションへの貢献度」、「集中力欠如」、「パフォーマンスへの貢献度」での差が大きくなっている。

表 4 は、自由記述から判明した、12 ペアの戦略をまとめたものである。大きく協調戦略と個別戦略に分け、協調戦略は、12 ペアを記述内容から 5 つの独立した戦略に振り分けた。個別戦略は、記述のあった個人の人数を集計したものである。

戦略 1. は、ペアが 2 人とも自分の探索領域、もしくは探索開始方向に言及し、それが正しく分担できていたペアである。水準 F 以外の水準でそれぞれ 1 ペアだけこの戦略に当てはまった。驚くことに、水準 N でも分担ができていたペアがあり、1 人は「視線が被らないように下から探索を始めた」と記述したのに対し、もう 1 人は「相手が下半分から探しているから見受けられたので上半分から探した」とし、分担が成立していた。戦略 2. は、相手の探索領域を避けることについて、片方だけが言及していたペアである。なお、言及していない方の 3 人の内、戦略 6. を答えている人が 2 人で、「相手の視線を意識する」と答えた人が 1 人であった。戦略 3. は、探す人とならなかった場合のチェックをする人という役割分担をしたペアである。戦略 4. は、ターゲット

表 1: アンケート：主観的認知的負荷（日本語版 NASA-TLX[17] より抜粋）

尺度名	説明
知的・知覚的要求 (小さい／大きい)	どの程度の知的・知覚的活動（考える, 決める, 計算する, 記憶する, 見るなど）を必要としましたか. 課題は優しかったですか難しかったですか, 単純でしたか複雑でしたか, 正確さがもとめられましたか大ざっぱでよかったですか
作業成績 (良い／悪い)	作業支持者（またはあなた自身）によって設定された課題の目標をどの程度達成できたと思いますか. 目標の目標の達成に関して自分の作業成績にどの程度満足していますか
努力 (少ない／多い)	作業成績のレベルを達成・維持するために, 精神的・身体的にどの程度一生懸命に作業しなければなりませんでしたか
フラストレーション (低い／高い)	作業中に, 不安感, 落胆, いらいら, ストレス, 悩みをどの程度感じましたか. あるいは逆に, 安心感, 満足感, 充実感, 楽しさ, リラックスをどの程度感じましたか

表 2: アンケート：UI に対する認識

尺度名	質問文
コミュニケーションへの貢献度 (低い／高い)	擬人化エージェント／顔映像／視線カーソルのコミュニケーションへの貢献度
集中力欠如 (多い／少ない)	擬人化エージェント／顔映像／視線カーソルによるタスクへの集中力欠如
パフォーマンスへの貢献度 (低い／高い)	擬人化エージェント／顔映像／視線カーソルのタスクパフォーマンスへの貢献度
興味 (少ない／多い)	擬人化エージェント／顔映像／視線カーソルによって生じたタスクへの興味

トが見つからない場合に、相手の視線が泳いでいたらターゲットなしを押しと答えた人がいたペアである。戦略 5. は、個人の探索戦略について言及しているか、水準 F において、相手との分担が上手くいかなかったと答えたペアである。

個別戦略に関して、戦略 6. は、自分の探索を、「俯瞰する」、「大きく見る」、「ざっと見る」といったように形容をしていた人である。これは、ポップアウト (pop-out) と呼ばれる、注意を要しない並列探索を行っていたのではないかと推測される。戦略 7. は、擬人化エージェントや、相手の顔映像に影響されてタスクに支障を来さないように意識していた人である。戦略 8. は、一度見たところを見ないようにして、効率的に探索しようとした人である。戦略 9. は、集中力の持続を意識的に行っていた人である。

その他、水準 F において、「競争心が掻き立てられた」といった意見、水準 A において、「相手が早くてフラス

トレーションが溜まった」といった意見、水準 N において「もう一方の参加者が早くクリックするとこちらも早くクリックできるようにしないといけないなど、少し気が入った」といった意見があった。

4 考察

4.1 実験結果の考察

誤答率に主効果の有意差が出なかったため、以下では主に探索時間について議論する。まず、アンケートの自由記述から、探索時間が早くなる原因となりえるものを 4 つ挙げる。その後、実際の探索時間と照らし合わせて考察していく。

原因 1 は、表 4 の戦略 1. や戦略 2. のように、探索領域を空間的に分担するという戦略である。このような

表 3: アンケート：自由記述

	質問文
自由記述 1	探索タスク中に意識していたことや、タスクのパフォーマンスを上げるために実践していたことがあれば教えてください。
自由記述 2	その他、気づいたことがあれば教えてください。

表 4: 戦略

協調戦略（ペア数）	A	F	SG	N
1. 探索領域（探索開始方向）を分担	1		1	1
2. 1人の探索領域をもう1人が避ける	2	1	1	
3. 探す人とチェックする人で分担		1		
4. 視線をターゲットなしを押し判定に活かす			1	
5. それぞれで探索		1		2
個別戦略（人数）				
6. 俯瞰する（大きくみる・ざっと見る）	1		1	1
7. 相手に惑わされない（笑わない）	1	1		
8. 一度探索した領域を探索しない工夫をする				2
9. 集中を切らさない		1		

戦略をとることで、理想的には探索時間を個別で行う場合の半分まで減らすことができる。しかし、ターゲットが見つからなかったときに、探索者のペアが、お互いの領域まで全て探索した場合は、時間短縮には繋がらないと考えられる。

原因 2 は、戦略 3. のように、探す人とチェックする人に分かれるという戦略である。これによって、探す人は、俯瞰することによってポップアウトによる探索を意識的に行うことができる。ポップアウトを期待して俯瞰した際に、ターゲットが見つからなく、逐次探索に移行すると、トータルで時間がかかってしまうことが考えられるため、もう一人が初めから逐次探索を行うことで、ターゲットがない場合の探索時間を抑えることが期待される。しかし、戦略 3. を答えたペアは、探す方の回答に「俯瞰した」といった記述はみられなかったため、これが実際に行われたかは定かではない。

原因 3 は、戦略 4. のように、相手の視線の様子を見てターゲットなしの判断をするという戦略である。単独で探索した場合、一通り探索した後、ターゲットが見つからなかったとき、自分の探索結果が信頼できずにもう一度探索をするということがあがる。このとき、あいての視線が泳いでいた場合、相手も一通り探索して見つからなかったことが考えられるため、もう一度探索せずにターゲットなしと決断できる。

原因 4 は、相手との競争意識である。先行研究において、相手を強く意識することで、探索時間が下がり、誤答率が上がるという結果が出ている [10]。

ターゲットが存在するとき、図 8 から、水準 A と水準 SG の効率がいいことが分かる。この原因として考えられるのは原因 1 であり、水準 A、水準 SG はどちらも、探索者に探索領域を効率的に分担させることが可能であることが分かる。一方水準 F は、分担ができなかったと答えたペアもいたことから、このような戦略は取り辛いことが分かる。水準 N でも探索領域の分担を行ったペアがいたが、これは恐らく探索速度から相手の探索開始方向を予想したものであり、効率的な分担は出来ていないと考えられる。実際、このペアの探索時間平均を見ても、2910ms と、水準 A や水準 SG の平均と比べると遅くなっている。水準 F の結果が悪くなっている原因としては他に、画面の煩雑さから注意力欠如がもたらされた可能性がある（図 11）。

ターゲットが存在しないとき、図 9 から、水準 A が最も効率がよく、水準 N が最も悪いことが分かる。ターゲットが存在しないときに、効率が良くなりえる原因は、原因 3 と原因 4 である。原因 3 は水準 SG で報告されたため、これが水準 SG が水準 N より効率がいい理由と考えられる。これは水準 A や水準 F でも意識せずに行われていた可能性がある。また、原因 4 が、水準 A と水準 F に大きく働いていたことが考えられる。視線カーソルよりも、擬人化エージェントや顔映像の方が、より相手を強く意識しやすいと考えられる。しかし、水準 F によってもたらされた集中力欠如によって効率が下がり、水準 SG との有差は出していないと考えられる。

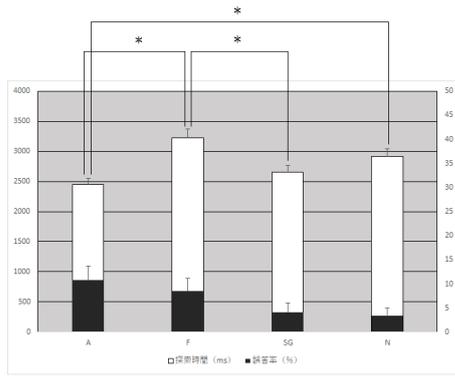


図 8: 探索タスクのパフォーマンス (ターゲットあり)

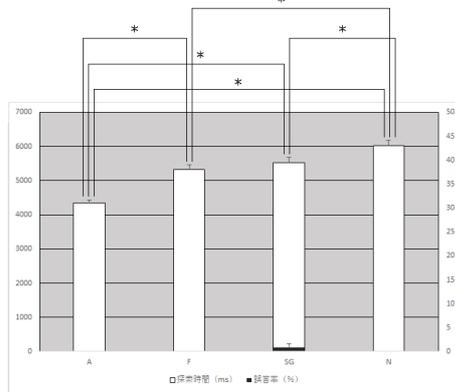


図 9: 探索タスクのパフォーマンス (ターゲットなし)

4.2 アンケート結果の考察

まずは、主観的認知的負荷について考察する。まず、水準 SG において「知的・知覚的要求」と「努力」が高くなっている (図 10)。これは、視線情報を利用した協調戦略が、個別探索よりも複雑なタスクであることが理由として考えられる。同じく協調戦略を多くとっていた水準 A でこれが抑えられていることは、擬人化エージェントが、視線情報をより低い認知的負荷で伝えられることを示唆している。次に、「作業成績」において、水準 A、水準 F が水準 SG、水準 N よりも悪いと評価された。これには 2 つの理由が考えられる。1 つは、正答率が 100% であったペアが水準 SG、水準 N にいたからである。これらのペアは「作業成績」を良く評価した。もう 1 つは、擬人化エージェントや顔映像が、パフォーマンス向上に活かされる実感が少ないからである。注視点カーソルが示すものは明確で、それがどれだけパフォーマンスに活かされたかは分かりやすいが、擬人化エージェントや顔映像がパフォーマンス向上にどれだけ活かされたかの認識は難しいため、このような結果になったと考えられる。特に水準 A では、「確かに擬人化エージェントはパフォーマンス向上に活かせるが、自分がそれを使いこなせたか分からない」と考

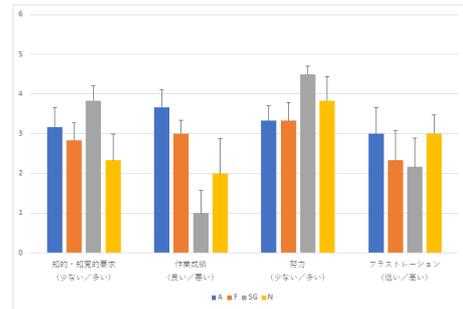


図 10: アンケート：主観的認知的負荷

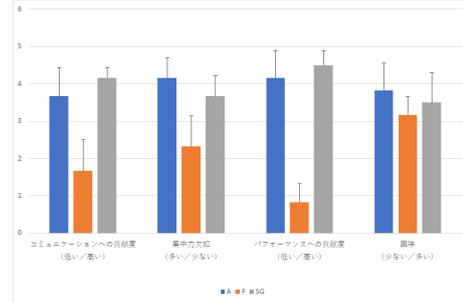


図 11: アンケート：UI に対する認識

え、評価が低くなったと考えられる。「フラストレーション」においては、水準 F の画面が煩雑のため、高くなるだろうという予想に反し、低い値となった。画面が煩雑でも、それが顔映像ならばフラストレーションは溜まらないことが分かった。

UI に対する認識では、水準 F がすべての項目で低い値となった。今回の実験では、音声による会話もできず、タスクにどのように活かせるかも教えていない中で、顔映像を利用して探索領域を分担できたペアは 1 ペアだけだったので、「コミュニケーションへの貢献度」と「パフォーマンスへの貢献度」の、両方において低く評価されたと考えられる。さらに、水準 F は「注意力欠如」をもたらしている。これは、画面が煩雑なのと、「相手に気を取られる」というのが理由として考えられる。「興味」においては、顔全体を可視化する提案手法が高くなることを予想していたが、大きな差は無かった。

4.3 提案 UI の評価

F 条件は、想定よりもデメリットが大きい UI であった。顔映像を表示するだけでは、ユーザーは視線情報を利用し辛く、効率的なコラボレーションに活かせなかった。その上、画面が煩雑になり、タスクへの集中欠如をもたらしてしまうことが分かった。一方で、コラボレーターを強く意識させることによって、競争心を煽る効果は期待できた。

A 条件は、非常に効率的な UI であった。全ての UI の中で、最も多くのペアに探索領域の分担をもたらした。また、擬人化エージェントが視線情報をより低い認知的負荷で伝えられることを示唆するアンケート結果もあった。ただし、自分の「作業成績」を低く認識してしまうという懸念点があった。

5 まとめ

本研究では、顔全体を可視化するという方針で、協調視覚探索を効率化する UI を提案した。そして、その効果を実験的に調べるために、提案手法と従来手法を含めた、4水準の実験を行った。結論としては、そのまま顔映像として可視化するだけでは効率的な UI にはならず、擬人化エージェントとして可視化した UI が、既存手法と比べても、探索時間の短縮という観点で、非常に効率的であることが分かった。一方で、今回の研究で行った考察は、検証が必要なものも多い。例えば、ターゲットが存在しないときの探索時間の結果が、相手への意識による競争心によるものなのかどうかを調べるには、更なる実験が必要である。

本研究では、協調視覚探索という抽象化されたタスクに着目した。実世界で行われるリモートコラボレーションは、より複雑で、効率性の指標も高次元なものである。しかし、抽象化された状況における研究が、実際の問題を解決する糸口になるのは間違いないく、本研究の結果が、リモートコラボレーションの理解とその効率化の実現に繋がっていると考えられる。

参考文献

- [1] Susan R. Fussell, Leslie D. Setlock, Jie Yang, Jiazhi Ou, Elizabeth Mauer, and Adam D. Kramer. 2004. Gestures over video streams to support remote collaboration on physical tasks. *Human-Computer Interaction* 19, 3 (2004), 273-309.
- [2] Steven Johnson, Irene Rae, Bilge Mutlu, and Leila Takayama. 2015. Can you see me now?: How field of view affects collaboration in robotic telepresence. In *Proceedings of the 33rd Annual ACM Conference on Human Factors in Computing Systems*. ACM, 2397-2406.
- [3] Darren Gergle, Robert E. Kraut, and Susan R. Fussell. 2013. Using visual information for grounding and awareness in collaborative tasks. *Human-Computer Interaction* 28, 1: 1-39.
- [4] Andrew F. Monk and Caroline Gale. 2002. A look is worth a thousand words: Full gaze awareness in videomediated conversation. *Discourse Processes* 33, 3: 257-278.
- [5] Jean Carletta, Robin L. Hill, Craig Nicol, Tim Taylor, Jan Peter De Ruiter, and Ellen Gurman Bard. 2010. Eyetracking for two-person tasks with manipulation of a virtual world. *Behavior Research Methods* 42, 1: 254-265.
- [6] Alan T. Clark and Darren Gergle. 2011. Mobile dual eye-tracking methods: challenges and opportunities. *Proc. of International Workshop on Dual Eye Tracking*.
- [7] Mark B. Neider, Xin Chen, Christopher A. Dickinson, Susan E. Brennan, and Gregory J. Zelinsky. 2010. Coordinating spatial referencing using shared gaze. *Psychonomic bulletin & review* 17, 5: 718-724.
- [8] Bertrand Schneider and Roy Pea. 2013. Real-time mutual gaze perception enhances collaborative learning and collaboration quality. *International Journal of Computer-Supported Collaborative Learning* 8, 4: 375-397.
- [9] Ellen Gurman Bard, Robin L. Hill, Mary Ellen Foster, and Manabu Arai. 2014. Tuning accessibility of referring expressions in situated dialogue. *Language, Cognition and Neuroscience* 29, 8: 928-949.
- [10] Brennan, Susan E., et al. "Coordinating cognition: The costs and benefits of shared gaze during collaborative search." *Cognition* 106.3 (2008): 1465-1477.
- [11] D'Angelo, Sarah, and Darren Gergle. "Gazed and confused: Understanding and designing shared gaze for remote collaboration." *Proceedings of the 2016 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*. 2016.
- [12] D'Angelo, Sarah, and Darren Gergle. "An Eye For Design: Gaze Visualizations for Remote Collaborative Work." *Proceedings of the 2018 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*. ACM, 2018.
- [13] 深山篤, 大野健彦, 武川直樹, 澤木美奈子, & 萩田紀博. (2002). 擬人化エージェントの印象操作のた

めの視線制御方法. 情報処理学会論文誌, 43(12), 3596-3606.

- [14] 石川恵理奈, 米谷竜, 平山高嗣, & 松山隆司. (2011). Gaze Mirroring による注視模倣効果の分析. 情報処理学会論文誌, 52(12), 3637-3646.
- [15] Albert Mehrabian "Nonverbal communication." Nebraska symposium on motivation, 1971: Vol. 19. (pp. 107-161). In J.K. Cole (Ed.), Lincoln, NE: University of Nebraska Press
- [16] Murphy, S.T., & Zajonc, R.B. (1993). Affect, cognition, and awareness: affective priming with optimal and suboptimal stimulus exposures. *Journal of personality and social psychology*, 64(5), 723-39.
- [17] Haga, Shigeru, and Naoki Mizukami. "Japanese version of NASA Task Load Index." *The Japanese journal of ergonomics* 32.2 (1996): 71-79.