

プロジェクタを用いた図形トレース支援における ハンドオクルージョンの対処法

A comparative study on hand occlusion management methods for tracing work support system using a projector

柴山 咲希[†]
Saki Shibayama

藤波 香織[‡]
Kaori Fujinami

1. 背景

近年、作業者の負担軽減や作業効率の向上が可能であることから作業支援システムが多く開発されている。産業の分野ではピッキングや組み立て作業に使用されている [1] [2]。また、日常作業では料理、書道において使用されている [3] [4]。多くの作業支援システムはプロジェクタを採用している。この理由として、プロジェクタは実物体にデジタル情報を直接重ね合わせることで、特定の物体や場所をユーザに通知できることが挙げられる。また、プロジェクタベースの作業支援システムはヘッドマウントディスプレイベースの作業支援システムに比べて作業効率が良いことが判明している [5]。しかしプロジェクタベースの情報表示は、物体とデジタル情報の間に発生するオクルージョンと、作業者の手とデジタル情報の間に発生するハンドオクルージョンという問題が存在する。物体とデジタル情報の間に発生するオクルージョンは、物体を避けながら情報を投影する手法が以前に提案されている。一方、ハンドオクルージョンは投影内容の認識、作業効率、ユーザの使いやすさに影響を与えることが判明しているのにも関わらず具体的なハンドオクルージョンの対処法（以下、管理方法）は提案されていない。

これを踏まえて、先行研究 [6] では視覚的および聴覚的な補助情報を使用したハンドオクルージョン管理を提案し、書道やケーキのデコレーションを想定した簡単な線のトレース作業に適用した。しかし、トレース時に使用するペン先座標の認識精度が悪いこと、提案した管理方法が作業支援として不十分であること、トレース課題の難易度に偏りがあったことが確認された。また作業者によって支援内容を参考にする頻度が異なることがアンケートから判明した。

したがって本論文ではペン座標の認識精度の改善や新たなハンドオクルージョン管理を行う。またハンドオクルージョンが発生した場合に、作業者が支援内容を参考にしているか否かを調査するために注視点位置を取得するシステムを作成する。そして、先行研究 [6] と同様にトレース作業に管理方法を適用する。

2. 関連研究

手とデジタル情報によって発生するオクルージョンを管理する研究について説明する。隠された情報を複

製し、ユーザに知らせる方法として、Vogel らによる研究 [7] がある。この研究では手のひらの下に隠された重要な領域を選別し、吹き出しのように複製し提示する手法を提案した。また、隠された情報自体を移動させて、ユーザに提示する手法を Brandl らは提案した [8]。これは、遮蔽によるメニューとユーザのインタラクションの低下に着目し、メニューの表示をユーザの利き手や遮蔽を考慮して配置する手法を提案した。どちらの研究も作業効率の向上が期待できることが確認された。

物体とデジタル情報によって発生するオクルージョンを管理する研究について説明する。卓上ディスプレイとディスプレイ上に置かれる物体によって生まれる遮蔽の管理方法を提案している Javed らによる研究 [9] では、デジタル情報が隠れていることを知らせる手法、隠れた情報を物体の淵に表示する手法などの6つ方法を提案した。デジタル情報が隠れていることを知らせる手法は実装が手軽であり、様々な状況において有効性があることが示された。しかし、オクルージョン管理として別のスペースを占有されることが確認された。他の場所が占有されないオクルージョン管理方法を Cotting らが提案している [10]。この研究では、Gabor フィルタを用いて卓上のスペースを検出し、情報の投影を行うシステムを提案した。Riemann らの研究 [11] では、赤外線カメラを使用して卓上の物体を把握し、物体の色や明度や高さなどの重みづけによって情報の提示可能領域を決定する。そして提示可能領域に情報の投影を行うシステムの提案をした。また、デジタル情報と物体の衝突を回避するこの手法はユーザに好まれることが確認された。

プロジェクタ使用時に発生する影の除去を行う研究について説明する。Kim らによる研究 [12] では、スクリーンとプロジェクタ間に人が入ることで発生する影を除去する方法を提案している。リアルタイムで人間の骨格を深度カメラで取得し、影が生まれる領域を特定して複数のプロジェクタによって投影することで効果的に影を除去できることが判明した。影の影響がないプロジェクションマッピングシステムを Hiratani らが提案をしている [13]。1台のプロジェクタを使用し、情報の投影を行う物体と同じ形状の面対象の物体を別に用意してプロジェクタの光源を分散させることで影の発生を抑えられることが確認された。

以上をまとめると、手とデジタル情報によって発生する遮蔽を管理する研究では、タブレット端末を対象としており、プロジェクタを使用して生まれるハンドオクルージョンを考慮した管理方法は提案されていない。さらに、物体とデジタル情報間で発生する遮蔽に

[†]東京農工大学 大学院 工学府 情報工学専攻,
Department of Computer and Information Sciences
Tokyo University of Agriculture and Technology

[‡]東京農工大学 大学院 工学府 先端情報科学部門,
Department of Computer and Information Sciences
Tokyo University of Agriculture and Technology

対する研究では、オクルージョン回避の方法が提案されているが、回避してデジタル情報を提示すると、プロジェクション型 AR の特性である重畳の効果が弱まる可能性がある。一方でオクルージョンを回避せず、他の場所への情報提示を行うシステムも存在するが、視覚支援だけや聴覚支援だけに留まり、研究の余地がある。プロジェクタ使用時に発生する影の除去を行う研究では、複数台のプロジェクタを使用するためコストがかかることや位置合わせが複雑である。また道具を保持している場合は影の正確な推定が困難である。したがって、本研究ではプロジェクタを使った卓上支援システムにおける管理方法として、遮蔽を無くすのではなく視覚および聴覚的な補助情報を提示する手法を提案する。

3. ハンドオクルージョン管理方法

ハンドオクルージョン管理として視覚と聴覚に注目して、図 1 に示すように視覚支援、聴覚支援、視聴覚支援の 3 つの方法を提案する。これらの方法は道具を使用する作業全般に適用できると考えるが、今回はトレース作業に適用して説明する。



図 1: 提案する管理方法

方法 1 は、保持する道具の先端の現在地を表示することでユーザの作業を視覚的な補助情報で支援する。補助情報として、ユーザがトレースする線とは別の場所に同じ図形（見本）を提示して、ハンドオクルージョンによって隠れた情報の補完を目指した。さらに見本図形はユーザのペン先の位置が重なって表示されることでトレース位置の把握を支援した。この方法 1 は先行研究 [6] においてユーザに好まれたことから同様の手法を採用している。方法 2 は、現在地を音で通知することでユーザの作業を聴覚的な補助情報で支援する。音は変点（終点および変曲点）とトレース線からペン先がずれた時に通知される。これは、トレースの際に方向が変化する点の場所の認識が重要であることが事前アンケートの調査で判明していることが理由として挙げられる。また、先行研究 [6] において変点通知のみでは現在地の把握が難しいという意見が得られたことから、トレース線からのずれを通知することでユーザがトレース線上にペン先があるか否かを判断できるようにした。方法 3 は現在地の表示と音通知の両方を行うことでユーザの作業を視聴覚的な補助情報で支援する。方法 1 と方法 2 の手法を組み合わせることで、ユーザが視覚と聴覚の情報から容易にトレース位置を把握できるようにした。

4. 実験システム

3 章で説明した方法をトレース作業に適用したハンドオクルージョン管理システムと作業者の注視点を算出する視点推定システムについて説明する。

4.1. ハンドオクルージョン管理システム

トレース作業を適用したハンドオクルージョン管理システムは以下の機能が必要である。

- 作業者が保持する道具の位置の検出
- プロジェクタを使用したデジタル情報の表示
- 音通知

図 2 は、3 条件に基づいて設計したシステムの概要図である。先行研究 [6] では、位置検出装置として深度カメラである Leap Motion を使用していたが、認識精度が悪かったことから本研究ではワコム社製ペンタブレットである intuos4 を用いて検出を行う。ペンタブレットで取得された位置座標を基に、PC では画像の作成と音声の生成を行う。作成された画像は卓上に設置されたプロジェクタによって下向きに投影される、また、音はプロジェクタ内蔵のスピーカーから出力される。

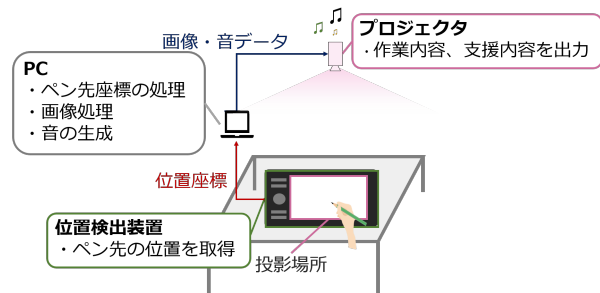


図 2: 実験システムの概要図

以下の項目では、PC で行われるペン先座標の処理、画像処理や音の生成について記述する。

4.1.1. ペン先座標の処理

ペンタブレットから取得したペン先座標をプロジェクタで投影するために、値を変更する必要がある。したがって、事前に作成したペンタブレットとプロジェクタ間の位置合わせを行うための透視変換行列を適用して座標を変換する。

4.1.2. 画像処理

音通知を行う方法 2 と方法 3 の場合は、トレース線からずれた時に音を通知するため、トレース線の座標を予め取得する必要がある。そこで、トレース対象の図形を読み込んだ際に、画像を二値化して黒い色で描かれたトレース線のピクセルを取得し、トレース線以外のピクセルと分ける作業を行う。

見本の表示を行う方法 1 と方法 3 の場合は、現在のペン先座標を見本画像に赤点で表示する。そこでペン先座標を取得したときに、前フレームのペン先位置から新たに取得したペン先位置に書き換える処理を繰り返す行い、見本画像に表示される。これは先行研究 [6] と同じ手法を適用している。

4.1.3. 音の生成

音通知を行う方法 2 と方法 3 の場合は、3 章で示した通りペン先座標によって音の通知が行われる。したがって、取得されたペン先座標がトレース線から外れた時に、MIDI 形式の音として周波数 349.2Hz の F 音と周波数 370.0Hz の F # 音が同時に通知される。これは半音ずれた音を同時に鳴らすことで不快な音になるため、トレース線に戻ることを促進できると考え採用した。また、事前に登録されている変点座標を通過した際は、持続時間 150 ms, 周波数 800 Hz のピープ音が出力される。

4.2. 視点推定システム

先行研究 [6] の評価実験のインタビューの際に、数人の被験者はハンドオクルージョンが発生した際に見本を参考にせずにそのままトレースをしていたことが判明した。そこで、遮蔽が発生した際に作業者はどのような場所を見て作業を行うか調査する必要があると考えた。作業者の視線の取得装置として、頭部に装着するアイトラッカーや作業者の前に設置する視線推定カメラの 2 種類が考えられる。アイトラッカーは頭部に装着する必要があることから作業者への負担が大きいと考え、装着が不要である視線推定カメラを用いて行うことにした。

視線の角度取得はオムロン社製 HVC-P2 カメラ [14] を使用し、目の実世界座標位置の取得は深度カメラである intel 社製 RealSense D454i [15] を用いた。2 つの機器を組み合わせて作業者の目の前に設置することで、実座標の作業者の注視点位置を算出できると考えた。その様子を図 3 に示す。

そして式 (1) から式 (3) を用いて注視点位置の算出をした。 A_C は視線取得カメラと目の角度、 E は目の位置、 H は視線推定カメラの設置場所、 P は卓上注視点位置、 A_G は視線の角度を表している。

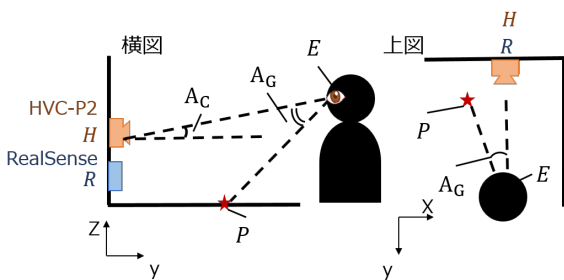


図 3: 視点推定システムの様子

$$A_C = \tan^{-1} \frac{E_z - H_z}{E_y} \quad (1)$$

$$P_x = (E_y - P_y) \tan A_G + E_x \quad (2)$$

$$P_y = E_y - \frac{E_z}{\tan(A_C + A_G)} \quad (3)$$

5. 評価

ハンドオクルージョン管理として有効な手法を調査するために 2 種類の実験を行った。1 つ目は単純な図形

をトレース対象とした実験である。この実験では、先行研究 [6] でトレース対象として用いた図形の一部を採用した。本稿ではペン先の位置検出機能と聴覚的な補助情報を用いた管理方法を新たに提案していることから、先行研究 [6] で得られた提案したハンドオクルージョン管理は作業精度の向上に貢献しないという結果が変わる可能性があると考えたことが理由として挙げられる。2 つ目は複雑な図形をトレース対象とした実験である。この実験は、トレース対象によって管理方法の有効性が異なる恐れがあることから実施した。

両実験は、プロジェクトで投影された図形を、提案した 3 種類の管理方法の下でトレース作業する場合と管理方法がない状態でトレース作業する場合の計 4 方法を実施した。また、両実験の評価項目はトレース作業の精度、トレース完了時間、作業による 5 段階のトレース作業の容易さ (5: 書きやすい ~ 1: 書きにくい)、作業者の視点とした。トレース作業の精度は、先行研究 [6] で採用したトレース図形からずれた距離で評価するのではなく、投影されたトレース線と作業者がトレースした線の適合率、再現率から算出した F 値を用いて評価した。この方法を採用した理由として、トレース図形からずれた距離では、図形の終点までトレースしていなかった場合、正確にトレース作業を行っていないにも関わらず評価に加味されないこと問題である点が挙げられる。適合率 (P) と再現率 (R) と F 値の算出方法は式 (4)、式 (5)、式 (6) に示す。また得られたデータの管理方法がない状態でトレースした作業を「支援なし」と表記し対照群とする。対照群と各管理方法にライアン法を有意水準 5% で行い、有意差が認められたものに*を付けて表記する。

$$\text{適合率 (P)} = \frac{\text{一致画素数}}{\text{描画画素数}} \quad (4)$$

$$\text{再現率 (R)} = \frac{\text{一致画素数}}{\text{正解画素数}} \quad (5)$$

$$F \text{ 値} = \frac{2PR}{P+R} \quad (6)$$

以下の節ではそれぞれの実験概要と結果を記述する。

5.1. 単純な図形をトレースした実験

5.1.1. 概要

20 代の右利きである 11 名 (男性: 7 名, 女性: 4 名) を対象に、4 通りの方法 (支援なし, 方法 1, 方法 2, 方法 3) でトレース作業を実施した。実験で使用した図形は曲率 14.610 の曲線を 0 度から 180 度に回転させた 5 つの図形を用いた。図 4 は実験で使用した単純な図形である。実験中はトレース精度を算出するために用いるペン先の位置座標とトレース時間を取得した。1 つの図形に対して、4 通りの方法でのトレース終了時に、トレース作業の容易さのアンケートを行った。また、実験終了後はインタビュー形式のユーザアンケートを実施した。

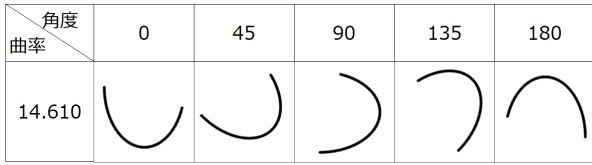


図 4: 実験で使用した単純な図形

5.1.2. 結果

表 1 は実験中に取得したペン先の位置座標を基に算出した各図形の F 値の平均値である。図形配置角度 0 度の方法 3 においては作業精度の向上が認められたが、ほとんどの図形において管理方法が作業精度の向上に貢献するとは言えない結果が得られた。

表 1: 単純な図形を用いた時のトレース精度 (F 値)

	0 度	45 度	90 度	135 度	180 度
支援なし	0.85	0.85	0.83	0.81	0.86
方法 1	0.83	0.82	0.81	0.87	0.87
方法 2	0.85	0.86	0.81	0.84	0.83
方法 3	0.88*	0.86	0.85	0.87	0.86

表 2 は各図形のトレース時間の平均値である。図形配置角度 90 度と 180 度では方法 3 の下でトレース作業を行うと作業時間が延びることが確認された。それ以外の配置角度では時間の延長は認められなかった。

表 2: 単純な図形を用いた時のトレース時間 [s]

	0 度	45 度	90 度	135 度	180 度
支援なし	3.44	3.64	3.52	4.03	3.76
方法 1	3.63	4.11	3.81	3.80	3.91
方法 2	3.58	3.70	3.52	3.68	3.61
方法 3	3.95	4.00	4.13*	3.83	4.12*

表 3 はユーザによる各管理方法の書きやすさの平均値である。全ての図形において方法 2 と方法 3 が支援なしよりも書きやすいと感ずることが判明した。また図形配置角度 135 度と 180 度に関しては方法 1 も書きやすいと感ずることが確認された。

表 3: 単純な図形を用いた時の書きやすさの評価

	0 度	45 度	90 度	135 度	180 度
支援なし	2	2	2	2	2
方法 1	3	3	3	3*	3*
方法 2	4*	4*	3*	3*	3*
方法 3	4*	4*	4*	4*	4*

実験中に取得したユーザの視点の分析した結果、方法 1 や方法 3 の視覚支援を利用しながらトレース作業を行うユーザと利用せずにトレース作業を行うユーザがいることが判明した。図 5 に示した (a) は視覚支援を利用したと思われる被験者 A, (b) は利用しなかったと思われる被験者 B の配置角度 180 度の図形をトレースした際に得られた注視点位置である。(a) は視覚支援の時は左の位置に、支援なしの時は右の位置に注視点が集まっているため視覚支援を利用したと考えられる。一方で (b) は視覚支援と支援なしの場合に差がなく同じ位置に分布していることから視覚支援を利用し

ていない可能性が高い。実験後のアンケートでは 6 人が視覚支援をあまり参考にしていないと答えた一方で、5 人は視覚支援を参考にしたと回答した。

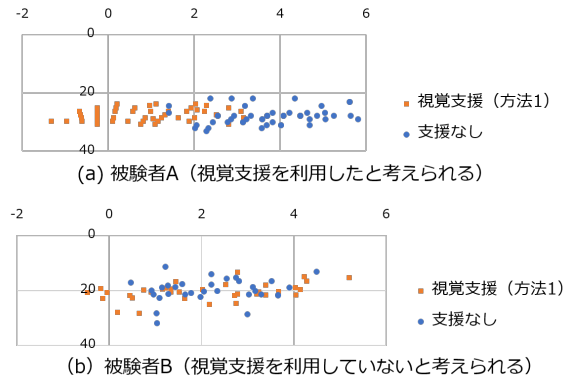


図 5: 配置角度 180 度の図形で収集された視点データ

実験後のインタビュー形式のアンケートでは、8 人が方法 3 (視覚と聴覚の組み合わせ) を好むことが判明した。一方で 3 人は視覚と聴覚を組み合わせない方法 1 や方法 2 のどちらかの一方の支援であれば、どちらでも良いと回答した。また、ハンドオクルージョンが発生していない時に支援があることで邪魔に感ずると回答した被験者が 3 人いた。

5.2. 複雑な図形をトレースした実験

5.2.1. 概要

20 代の右利きである 14 名 (男性: 8 名, 女性: 6 名) を対象に、4 通りの方法 (支援なし, 方法 1, 方法 2, 方法 3) でトレース作業を実施した。なお、14 名のうち 11 名は 5.1 節の単純な図形を用いた実験に参加し、残りの 3 名は新たに加わった。実験で使用した図形は事前アンケートで得られた記憶することが困難な図形 (曲線), 正確に書くことが困難な図形 (円), バランスを考慮して書く必要がある図形 (文字) の 3 つの図形を用意し、それぞれ大小のサイズを用意した。図 6 は実験で使用した複雑な図形である。実験中はトレース精度を算出するために用いるペン先の位置座標とトレース時間を取得した。1 つの図形に対して、4 通りの方法でのトレース終了時に、トレース作業の容易さのアンケートを行った。また、実験終了後はインタビュー形式のユーザアンケートを実施した。

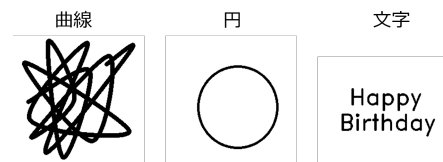


図 6: 実験で使用した複雑な図形

5.2.2. 結果

表 4 は実験中に取得したペン先の位置座標を基に算出した各図形の F 値の平均値である。文字以外の図形

では方法 3 がトレース精度向上に貢献することが判明した。また大小の円では方法 3 が最も精度向上に貢献することが判明した。一方、小さい文字は方法 1 と方法 2 で精度向上が認められ、大きい文字では、管理方法は精度向上に貢献しないことが判明した。

表 4: 複雑な図形を用いた時のトレース精度 (F 値)

	曲線		円		文字	
	小	大	小	大	小	大
支援なし	0.83	0.79	0.62	0.62	0.64	0.68
方法 1	0.84	0.79	0.69*	0.61	0.65*	0.67
方法 2	0.84	0.82*	0.66*	0.66*	0.65*	0.66
方法 3	0.85*	0.82*	0.71*	0.70*	0.65	0.67

表 5 は各図形に対するトレース時間の平均値である。すべての図形において聴覚支援を行っている方法 2 と方法 3 でトレース時間が伸びることが判明した。また、大きい曲線と小さい円においては方法 1 もトレース時間が延びることが確認された。

表 5: 複雑な図形を用いた時のトレース時間 [s]

	曲線		円		文字	
	小	大	小	大	小	大
支援なし	39.5	62.2	10.8	23.7	33.5	52.1
方法 1	41.0	66.0*	11.8*	25.2	35.5	55.3
方法 2	44.3*	69.7*	13.5*	30.6*	45.4*	60.5*
方法 3	46.7*	78.0*	13.8*	31.8*	46.5*	63.9*

表 6 はユーザによる各管理方法の書きやすさの平均値である。小さい文字以外の図形では方法 1, 方法 2, 方法 3 が管理方法がない状態でトレースするよりも書きやすいと感じることが判明した。また、大小の曲線と大小の円に関しては方法 1 と方法 3, 方法 2 と方法 3 の比較により方法 3 が最も評価が高いことが確認された。小さい文字に関しては、方法 1 のみ管理方法がない状態に比べて書きやすいと感じることが確認された。

表 6: 複雑な図形を用いた時の書きやすさの評価

	曲線		円		文字	
	小	大	小	大	小	大
支援なし	2	2	3	2	3	3
方法 1	4*	4*	4*	3*	3*	4*
方法 2	3*	3*	3*	3*	3	4*
方法 3	5*	4*	4*	4*	3	4*

実験中に取得したユーザの視点を分析した結果、曲線の場合は視覚支援を利用していることが判明し、文字の場合は利用していないことが確認された。図 7 は実験中に得られたある被験者の曲線をトレースしたときの視線データである。図 7 の (a) は大きな曲線、(b) は小さな曲線である。また、図 8 は図 7 と同じ被験者の文字をトレースしたときの視線データである。図 8 の (a) は大きい文字、(b) は小さな文字である。アンケートでは 14 人全員が視覚支援を参考にしたと回答した。しかし図形が文字の場合は全員があまり視覚支援を利用しなかったと回答した。特に小さい図形の場合は視覚支援を利用する前に書き終わるので視覚支援の利用頻度が下がったと 4 人が回答した。

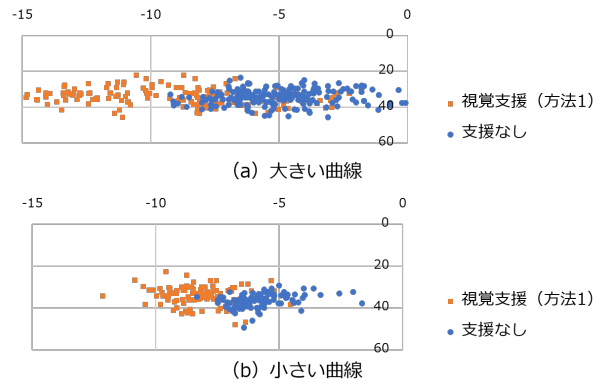


図 7: 曲線で収集された視点データ

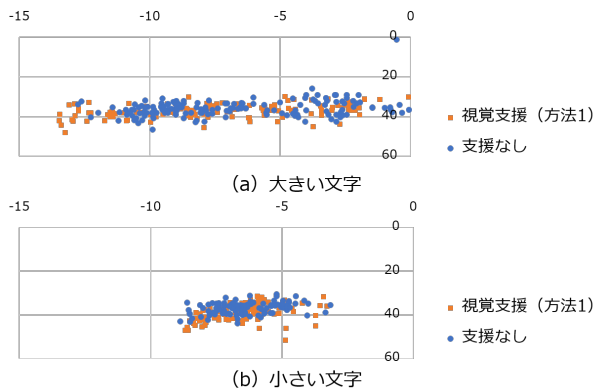


図 8: 文字で収集された視点データ

実験後のインタビュー形式のアンケートで 9 人が方法 3 (視覚と聴覚の組み合わせ) を好むことが判明した。一方で 4 人は方法 1 のみ、1 人は方法 2 が良いと回答した。方法 3 を好んだ被験者は視覚と聴覚どちらからも情報が得られたことが有益だったと述べ、方法 1 のみを好んだ被験者は聴覚支援のエラー通知音が不快であったため視覚支援のみが良かったと回答した。また方法 2 のみを好んだ被験者は聴覚支援は細かいずれに気づくことができるが、視覚支援は気づくことができないことから聴覚支援のみが良いと回答した。

6. 議論

トレース作業精度は、単純な図形を用いた実験でハンドオクルージョン管理方法の下で作業を行った場合と支援がない状態で作業を行った場合で大きな変化がなかった。これは単純な図形であったことからハンドオクルージョンによってトレース線が見えなかった場合でも記憶で補完して作業を行うことができたためだと考えられる。一方で複雑な図形を用いた実験では、大きい文字の図形以外では管理方法の下で作業を行った方がトレース作業の精度が向上することが確認された。大きい文字は記憶で補完できる図形であるため精度向上につながらなかったと考えられるが、小さい文字の場合はハンドオクルージョンによりトレース線がほと

んど見えなかったことから、精度が向上したと考えられる。また円はなじみのある図形であるが、正確に書くことが難しいことから少しのずれも通知してくれる聴覚支援が精度の向上に貢献したと考えられる。

トレース作業時間は、単純な図形を用いた実験でハンドオクルージョン管理方法の下で作業を行った場合と支援がない状態で作業を行った場合で大きな変化がなかった。これはすぐに書き終わる図形であったことから時間の差があまり出なかったのではないかと考えられる。複雑な図形の場合は、多くの図形で作業時間が延びることが確認された。一部の図形では視覚支援のみを行う方法1で時間の延びが確認されているが、聴覚支援を用いた方法2と方法3で多く時間の伸びが確認されている。このことからエラー通知や変点通知によってトレース線からのずれを認識して軌道修正したことにより時間を要したのではないかと考えられる。

ユーザによる書きやすさの評価やユーザアンケートから、図形の形に関係なく視覚と聴覚支援を組み合わせた手法が最も好まれた。これは視覚と聴覚の両方から情報が得られることから安心感が得られたのではないかと考えられる。また、一部のユーザは聴覚支援のエラー音に対して不快に感じたことにより視覚支援のみの手法を好んだことから、エラー音を変更することで組み合わせた手法を好む可能性が考えられる。

ユーザの視点から、記憶で補完できない図形では視覚支援が利用されることが判明した。しかし複雑な図形を用いた実験では表4に示した通り、視覚支援を利用していない文字の場合にトレース精度が低いことが分かる。つまり実際にはハンドオクルージョンの影響によって見えていないにも関わらず、自分の記憶に自信があり記憶を頼りに補完して作業をしていると考えられる。

7. 結論

本論文では、プロジェクタを用いた卓上作業支援システムにおけるハンドオクルージョン管理方法として、現在地を表示する方法1、音で現在地を通知する方法2、方法1と方法2を組み合わせた方法3を提案した。そして図形トレース支援システムに適用して各管理方法の有効性を調査した。実験の結果、複雑な図形では提案した管理方法を用いたいずれの場合においても作業時間が延びることが判明した。単純な図形は一部の図形において方法3のみ作業時間が延びることが確認された。また記憶で補完できない図形は提案した管理方法を用いたいずれの場合においてもトレース精度が向上することが判明した。両実験ともに視覚と聴覚を組み合わせた方法3がユーザに多く好まれることが確認された。単純な図形やなじみのある図形ではユーザは視覚支援をあまり利用せずに作業し、なじみない図形の場合は視覚支援を利用することが判明した。

今後は、聴覚支援の音が適切でなかったことがアンケートで確認されたのでハンドオクルージョン管理の改善を行う。また、遮蔽がないときに支援があることが邪魔であるという意見が得られたのでハンドオクルージョンの発生領域を推定し、状況にあったハンドオク

ルージョン管理を適用するための機構を検討する。

参考文献

- [1] Markus Funk, et al. Mobile in-situ pick-by-vision: Order picking support using a projector helmet. In *Proc. PETRA'16*, pp. 1-4, 2016.
- [2] Rafael Radkowski, et al. Augmented reality-based manual assembly support with visual features for different degrees of difficulty. *INT J HUM-COMPUT INT*, Vol. 31, No. 5, pp. 337-349, 2015.
- [3] Ayaka Sato, et al. Mimicook: a cooking assistant system with situated guidance. In *Proc. TEI'14*, pp. 121-124, 2014.
- [4] Takahiro Shichinohe, et al. Augmented calligraphy: experimental feedback design for writing skill development. In *Proc. TEI'11*, pp. 301-302, 2010.
- [5] Markus Funk, et al. Pick from here!: an interactive mobile cart using in-situ projection for order picking. In *Proc. UbiComp'15*, pp. 601-609, 2015.
- [6] 柴山咲希, 他. 投影型卓上作業支援システムにおけるハンドオクルージョン管理方法の提案. 情報処理学会第81回全国大会, pp. 361-362, 2019.
- [7] Daniel Vogel, et al. Occlusion-aware interfaces. In *Proc. CHI'10*, pp. 263-272, 2010.
- [8] Peter Brandl, et al. Occlusion-aware menu design for digital tabletops. In *CHI EA'09*, pp. 3223-3228, 2009.
- [9] Waqas Javed, et al. Evaluating physical/virtual occlusion management techniques for horizontal displays. In *Proc. of INTERACT 2011*, pp. 391-408, 2011.
- [10] Daniel Cotting, et al. Interactive environment-aware display bubbles. In *Proc. UIST'06*, pp. 245-254, 2006.
- [11] Jan Riemann, et al. Flowput: Environment-aware interactivity for tangible 3d objects. *PACM-IMWUT*, Vol. 2, No. 1, pp. 1-23, 2018.
- [12] Jaedong Kim, et al. Real-time human shadow removal in a front projection system. In *Computer Graphics Forum*, Vol. 38, pp. 443-454, 2019.
- [13] Kosuke Hiratani, et al. Shadowless projector: Suppressing shadows in projection mapping with micro mirror array plate. In *Proc. VR'19*, pp. 1309-1310, 2019.
- [14] 形 B5T ヒューマンビジョンコンポ (HVC-P2) . <https://www.omron.co.jp/ecb/product-info/image-sensing-/b5t-007001>,(2020/06/15 閲覧).
- [15] Intel RealSense Depth Camera D435i. <https://www.intelrealsense.com/depth-camera-d435i/>,(2020/06/15 閲覧).