

プロジェクタを用いた卓上作業支援における投影遮蔽を考慮した情報提示手法

柴山 咲希†

† 東京農工大学 大学院 工学府 情報工学専攻

藤波 香織††

†† 東京農工大学 大学院 工学研究院 先端情報科学部門

1 背景

プロジェクタは物体に直接デジタル情報を重畳できることから、部品の組立作業の指示や書道の書き方を教えるなどの作業支援システムに使用されている。しかし、システム利用者の手とプロジェクタの光の間で発生する影（ハンドオクルージョン）により、作業情報を正確に認識できない問題がある。ハンドオクルージョンは投影内容の認識に影響を与えることが判明している [1] にも関わらず具体的な対処法（管理方法）は提案されていない。

そこで、先行研究 [2] では視覚と聴覚に注目した管理方法を提案し、線をトレースするタスクで提案手法が作業精度の向上に貢献することが判明した。しかし、投影内容が遮られていないにも関わらず、常に支援することで煩わしく感じる作業者がいることが確認された。本稿では、投影遮蔽を考慮した情報提示手法を提案し、常に支援する手法と比較し評価する。

2 提案手法

先行研究で提案した管理方法は視覚と聴覚を組み合わせた図 1 に示す手法である。視覚的な補助情報として、トレース対象の図形の左側に見本図形として同じ図形を提示して、遮蔽によって隠れた情報を補完する。見本図形にはペン先の位置が重ねて表示される。また、聴覚的な補助情報として、図形の変点（変曲点や終点）やトレース線からズレた時に通知して、遮蔽で隠れた情報を音を用いてユーザに知らせる。この手法は遮蔽に関係なく、視聴覚支援が行われる。

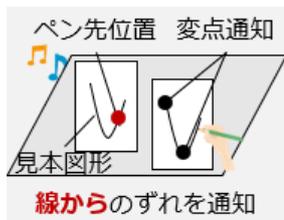


図 1: 視覚と聴覚を組み合わせた管理方法

一方、本稿で提案する管理方法は、投影遮蔽を考慮した情報提示手法であり、常に聴覚支援が行われ、遮蔽時のみ視覚支援をする。常に聴覚支援をする理由として、遮蔽に関係なくエラーが発生した場合にユーザに通知したいということが挙げられる。

3 実験システムの概要と実装

3.1 システム概要

ユーザが保持するペン先の位置を認識し、ペン先の位置に応じて机上への情報提示や音通知を実現する。また作業中に発生する遮蔽領域を特定し、支援の切り替

えを行う。遮蔽管理を除いた機能は先行研究 [2] と同様であり、ペン先の位置はペンタブレット intuos4 を使用して取得し、座標に応じて画像の描画や音の生成を行う。画像は卓上に設置されたプロジェクタで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。

遮蔽管理機能は卓上の全体が写るように設置された web カメラを使って作業中の画像を取得し、画像処理によって遮蔽領域の特定を行う。なお、各機器の座標系の位置合わせは、予め変換行列を算出している。図 2 の左図は実験システムの外観を簡単に表し、右図は支援の様子である。

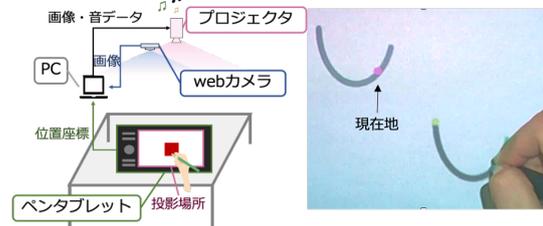


図 2: 左: システムの外観 右: 実際の支援の様子

3.2 投影画像作成の画像処理と音の生成

トレース線からズレた時に音を通知するため、トレース対象の図形を読み込んだ際に、二値化してトレース線のピクセルを保持する。また現在地を見本図形に表示することからペンタブレットから座標を取得した際に、図 2 の右図のように見本図形に赤点を描画する。

音は、トレース線からズレた時に、先行研究で使用した音を変更し、MIDI 形式の音として周波数 1760 Hz の A 音が通知される。変更した理由は、前回使用した音がユーザに不快な音にさせたことから、調査を踏まえて今回の音を採用した。また変点座標を通過した際は、先行研究と同様に持続時間 150 ms、周波数 800 Hz のビーブ音が出力される。

3.3 遮蔽領域特定の実装

作業中に取得したカメラ画像と作業前に取得したカメラ画像を入力として、差分画像を作成したのち二値化する (図 3 の左図)。さらに、手と手の影を綺麗に検出するために、輪郭検出処理を行った。そして、ペンタブレットから取得したペン先座標が輪郭内に位置する場合はトレース線が遮蔽されていると判断した。図 3 の右図に、輪郭検出を行い、遮蔽されていると判断した時の様子を示す。

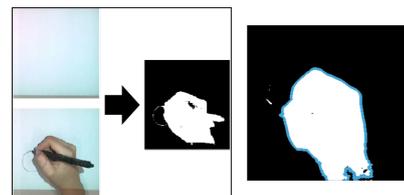


図 3: 左図: 差分画像の作成 右図: 遮蔽発生時の様子

Information presentation method that considers projection occlusion in desktop work support system using in-situ projection

† Saki SHIBAYAMA †† Kaori FUJINAMI

†, †† Department of Computer and Information Sciences, Tokyo University of Agriculture and Technology

4 評価実験と考察

4.1 実験概要

常に視聴覚支援を行う場合と常に聴覚支援をして遮蔽が発生した時のみ視覚支援を行う場合を比較し、どちらが有効であるか明らかにすることを目的として右利きで20代の11名を対象に評価実験を行った。

トレース対象の線は、先行研究の評価に用いた図形の一部である、円と曲線と、曲率14.61の下に凸の図形を基準とし、90、180度に回転させて配置した3つの図形を採用した(図4)。実験内容は、机上に投影された図形を、2つの管理方法でトレースを行い、ペン先座標の変化とトレース時間を記録した。さらに1通りの線に対して、2つの方法でのトレース終了時に、CSTLX [3]を使用した作業負荷の評価と各管理方法の書きやすさの評価を「書きやすい」を5、「書きにくい」を1の5段階でユーザにアンケートを行った。

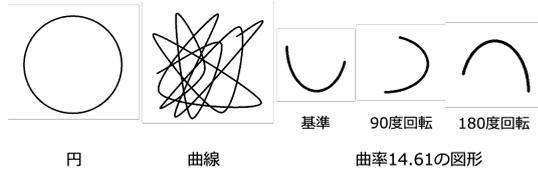


図4: トレース対象の図形

4.2 実験結果

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値をトレース精度として評価した。常に聴覚支援と視覚支援をする手法を「常時支援」、常に聴覚支援をして遮蔽が発生した時のみ視覚支援をする手法を「遮蔽時支援」と表記する。2つの手法にWilcoxon符号順位検定を有意水準5%で行い、有意差が認められたものに*を付けて表記する。

表1にトレース精度の平均値を示す。円のみ常時支援の方がトレース精度が高いことが確認された。しかし他の図形では、2つの手法間でトレース精度に有意な差がないことが判明した。

表1: トレース精度 (F値)

	円	曲線	基準	90度	180度
常時支援	0.79*	0.79	0.77	0.81	0.73
遮蔽時支援	0.75	0.78	0.75	0.83	0.70

表2にトレース時間の平均値を示す。下に凸の基準図形を180度に回転させた図形は常時支援の方がトレース時間が短くなることが確認された。しかし、他の図形では、2つの手法間でトレース時間に有意な差がないことが判明した。

表2: トレース時間 (s)

	円	曲線	基準	90度	180度
常時支援	32.8	123.6	9.9	10.2	10.3
遮蔽時支援	35.0	131.9	9.8	10.7	12.0*

表3にユーザによる各管理方法の書きやすさの平均値を示す。下に凸の基準図形は、2つの手法間でユーザが感じる書きやすさに有意な差がないことが確認された。他の図形は、常時支援をしたほうが書きやすいと感じることが判明した。

表4にユーザによる各管理方法の作業負荷の平均値を示す。下に凸の基準図形は、2つの手法間でユーザが感じる作業負荷に有意な差がないことが確認された。他の図形は、常時支援をしたほうが作業負荷が低いと感じることが判明した。

表3: 書きやすさの評価 (1: 書きにくい~5: 書きやすい)

	円	曲線	基準	90度	180度
常時支援	4.5*	4.0*	4.5	4.5*	4.4*
遮蔽時支援	3.4	2.5	3.7	3.6	3.0

表4: 作業負荷の評価 (0: 負荷が低い~100: 負荷が高い)

	円	曲線	基準	90度	180度
常時支援	30.2	41.0	26.1	25.0	29.0
遮蔽時支援	41.7*	57.7*	32.8	35.3*	42.3*

4.3 考察

トレース精度の結果から、円のみ常時支援を行う方が、精度が高くなることが確認された。これは円が正確にトレースするのが大変である図形のため、見本図形の有無が関係したと考えられる。トレース時間の結果から、配置角度180度の図形以外は常時支援を行う場合と遮蔽のみ支援を行う場合で差がないことが判明した。これはトレース時間の延長に大きく関係すると考えられる聴覚支援がどちらの方法も常に行われていたことから、見本図形の切り替えが影響を及ぼさなかったのではないかと考えられる。一方で配置角度180度の図形は常時支援を行う場合のほうが作業時間が短くなることが確認された。これは、図形の形状が死角になる部分が多いにもかかわらず、今回の遮蔽推定では死角を考慮していなかったことから、見本図形がなくなり、ユーザは作業しづらく時間が延びた可能性があると考えられる。作業しやすさの結果と作業負荷の結果から、下に凸の基準図形以外は常時支援を行う場合のほうが好まれ、認知負荷が低いことが確認された。これはいずれの図形も遮蔽が発生する場合と遮蔽が発生しない場合が含まれており、頻繁に視覚支援の切り替えがあったためだと考えられる。また遮蔽時のみの支援の場合に3人のユーザから、遮蔽が発生しているにもかかわらず、見本が出てないときがあったという意見が得られたことから適切に支援されず認知負荷が高くなった可能性も考えられる。一方で下に凸の基準図形は、遮蔽が発生しない場合が多く、多くのユーザが作業中支援の切り替えがなかったため、常時支援の場合と遮蔽時のみ支援の場合で差が生まれなかったと考えられる。

以上を踏まえ、遮蔽が発生する場合はハンドオクルージョン管理手法は常時支援が適すると考えられる。

5 おわりに

本論文では、視覚と聴覚による支援を常時行う場合と、聴覚の常時支援に加えて視覚支援を遮蔽発生時に限定して行う方法を、トレース精度と作業時間、主観的な書きやすさと作業負荷の点から比較した。遮蔽が発生したりしなかったりするような図形の場合は、常時支援が適する結果になった。死角を考慮した遮蔽領域特定機能を組み込むことで遮蔽時支援が有効となる可能性がある。

参考文献

- [1] Mai Tokiwa and Kaori Fujinami. Understanding where to project information on the desk for supporting work with paper and pen. In *Proc. VAMR '17*, pp. 72–81, 2017.
- [2] 柴山咲希, 藤波香織. 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. FIT2020(第19回 情報科学技術フォーラム), pp. 81–86, 2020.
- [3] 芳賀繁, 水上直樹. 日本語版 NASA-TLX によるメンタルワークロード測定. *人間工学*, 32(2), pp. 71–79, 1996.