

視認性低下要因調査に基づく卓上投影型ARの情報視認性維持の研究

市橋 啓太†

† 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 はじめに

卓上投影型ARでは、情報が死角(図1-A)や凹凸(図1-B)面に投影され、視認性が低下する場合がある。そのため、ビューマネジメント手法による視認性低下を抑える情報提示位置の指定が必要となる[1]。死角や凹凸面への投影を禁止する手法では確実に情報の視認性を維持できる[2]が、卓上物体や提示情報の数が多い場合はそれが難しく解が定まらない場合がある。そのため、卓上物体への情報投影を許容する柔軟性が、ビューマネジメントに必要となる。例えば、段差が低く平坦な物体への投影(図1-C)ならば、視認性の低下を抑えることができる。しかし、卓上投影型ARはスースルー型ARと比較し、投影面の特徴により情報が著しく欠損する可能性がある。そのため、投影面の視認性を、実際のユーザー知覚を反映し正確に考慮する必要がある。そこで本研究では、ユーザー知覚に基づく視認性評価器による、視認性維持性能と柔軟性を兼ねたビューマネジメント手法の実現を目指す。本稿では、視認性評価器の実現に向け実施した実験と視認性低下要因の調査、視認性特徴量の算出、ならびに視認性評価器の性能評価について述べる。

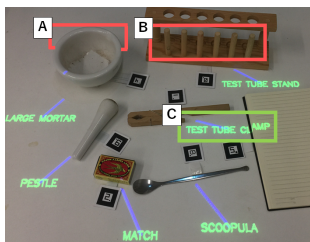


図1: 情報の視認性低下を抑える投影例

2 ユーザー知覚に基づく視認性評価

視認性評価器は、教師あり学習により構築する。情報の視認性は、投影面の状態に起因する様々な要因(表1)により低下する。よって、これらの投影面特徴から視認性に関する視認性特徴量を算出し、学習と評価フェーズに利用する。また、学習の正解データとしてユーザーの視認性評価値を用いることで、ユーザー知覚に基づく視認性評価が可能となる。

表1: 視認性低下要因となる投影面特徴

投影面特徴	視認性低下要因
低コントラスト	情報の背景への同化
凹凸	情報の形状崩れ
模様	視覚的な煩わしさ
死角	情報のオクルージョン
投影光の吸収	情報の明るさの低下
投影光の正反射	情報の明るさの低下
投影光の透過・屈折	情報の歪み
不明確な注釈候補	注釈対象が不明確

3 視認性に関する仮説

提示情報の種類はラベルとリンク線に大別できる。ラベルとは、図1中の投影テキストのように、情報自体が意味を持つ提示情報である。一方で、図1中のラベ

ルと物体を結ぶ線分がリンク線であり、ラベルと注釈対象の対応付け手法として一般的に用いられる提示情報[1]である。リンク線の意味は対応付けに限定されるため、ラベルと比較し情報自体の意味欠損は起こりづらいと考えられる。また、不明確な注釈候補(表1)は、リンク線固有の視認性低下要因である。そのため、本研究では提示情報の種類によって視認性を低下させる要因や程度が異なるという仮説を立て、ラベルとリンク線ごとに視認性低下要因の調査を行うこととした。

4 視認性評価実験

4.1 概要

視認性評価器の学習に使用する視認性評価と投影面情報の収集および視認性低下要因の調査を目的とした。実験では、20代の被験者15名が卓上に投影された情報の視認性評価タスクを行った。投影情報は、5文字のラベル(大文字英数字)と、ラベルと物体を結ぶリンク線である。また、卓上に配置する物体には、卓上投影型ARにて支援例がある3シーンから実用的なものと、利用シーンを設定せず多様な投影面環境を充足するためのものを選択した(図2)。1回の評価タスクごとに、ラベルの内容、ラベル位置、リンク線の対応、情報の色(赤、緑、青、黄、白から選択)をランダム変更した。被験者ごとに、100回を8セット、計800回の評価タスクを行い、1セットごとに卓上物体の配置を無作為に変更した。



図2: 実験に使用した物体(4シーン69種類)

4.2 視認性評価

客観的および主観的な視認性評価データを収集する。客観的評価は、被験者によるラベルの内容理解、リンク線の対応把握の正確さから得る。また、主観的評価は、被験者が情報の視認負荷を3段階評価(1:高負荷 2:中負荷 3:低負荷)することで得る。

4.3 投影面情報

卓上に設置したカラーカメラから投影面のカラー画像(解像度:960×702 pix, 分解能:1.35 pix/mm)、デブスカメラから投影面の高さ画像(解像度:286×216 pix, 分解能:0.403 pix/mm)を収集する。なお、高さ画像は、投影面の高さを輝度値に対応づけた輝度画像である。また、視点位置による死角領域を推定するために、被験者ごとに視点の位置を事前計測する。

4.4 視認性低下要因の調査

全評価タスクの終了後、被験者は表1の特徴による情報の視認性低下度を、4段階の評定尺度法と5段階の一対比較法で評価した。図3の投影面特徴ごとの主観的な視認性低下度の分布からは、ほぼすべての特徴でラベルがリンク線よりも視認性の低下が起こりやすく、特に模様や死角ではその差が大きい傾向が示唆された。また、図4の主観的な視認性低下度の投影面の特徴による違いからは、不明確な注釈候補はリンク線の視認性を大きく低下させる特徴であることや、リンク線は投影面模様の影響をラベルと比較しあまり受けないことを確認した。よって、ラベルとリンク線の視認性を低下させる要因や程度には差異があるという、前章で立てた仮説の妥当性が示唆された。

View Management for Visibility-aware Tabletop Projection-based Augmented Reality

†Keita ICHIHASHI ‡Kaori FUJINAMI

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

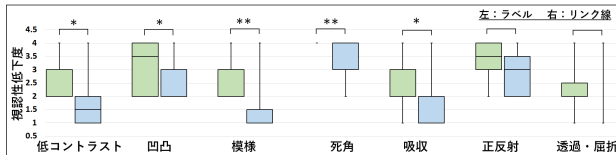


図 3: 投影面特徴ごとの主観的な視認性低下度の分布 (*: 有意水準 5 %, **: 有意水準 1 %)

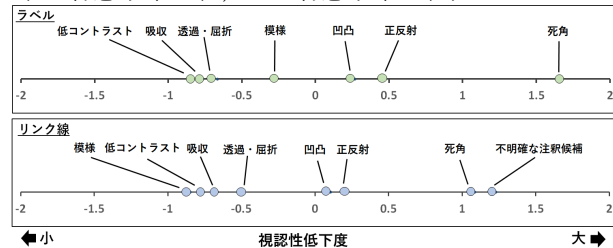


図 4: 主観的な視認性低下度の投影面の特徴による違い

5 視認性特徴量の算出

評価モデルの学習に用いる投影面の視認性特徴量は、図 5 の流れにより算出する。まず、入力情報 (a) から 6 種類の投影面特徴画像 (b) を生成する。エッジ画像は Canny エッジ検出器を適用し、死角領域画像は高さ画像と視点位置から死角点をマッピングすることで生成する。そして、情報投影領域 (c) を指定し、画像解析により 5 種類の視認性特徴量 (d) を算出する。

情報投影領域は図 6 に示す方法で指定する。ラベルは、ピクセル粒度の凹凸や模様の特徴が視認性に影響すると思われ、ラベルを包含する ROI で領域を指定する。一方、リンク線では重畳するセグメント集合を領域として指定する。なお、セグメントは投影面画像をメッシュ状に区切り分割した 48×32 個の正方形領域である。ROI でリンク線領域を指定する場合、リンク線を伸ばしつつ情報提示位置を探索するビューマネジメント手法 [2] では、探索が進むにつれて特徴量の計算コストが増大する。一方、セグメント集合による指定では、各セグメントで特徴値 (高さや死角割合など) を計算し、それらを統合 (平均や分散など) し特徴量を得る。そのため、一度算出したセグメント値を再利用できるため、計算コストの増大を抑えることができる。また、4.4 節の調査結果から、リンク線ではピクセル粒度の模様や投影面形状が視認性に与える影響が小さいと考えた。以上の理由から、セグメント集合によりリンク線の領域を指定することとした。

視認性特徴量において、コントラスト特徴は、情報と投影面の色差と明度差を表し、各々の色情報を用い算出する。また、輝度特徴は投影面の模様や反射特性を表し、フラクタル次元や濃度共起行列、ランレングス行列などの輝度分布から算出する。不明確な注釈特徴は、リンク線線端のセグメント集合における、死角割合と高さから得る。凹凸特徴は投影面形状を表し、高さの分布を輝度分布と同様の方法で算出する。そして、死角特徴は情報が視界から隠れる割合を表し、情報投影領域における死角割合から得る。

6 視認性評価器の構築と評価

算出した視認性特徴量を用いた学習によりラベルとリンク線の視認性評価器を構築した。視認性クラスは、4.2 節で述べた 3 段階の客観的評価と主観的評価から、図 7 のようにラベルを 4 段階、リンク線を 3 段階で定義した。学習アルゴリズムに Random Forest を用い 10 分割交差検証を行った結果、ラベルの視認性評価器は木の数 30 本にて F 値 0.91、リンク線の視認性評価器は木の数 20 本にて F 値 0.74 付近に評価性能が収束した。クラスごとの評価性能をみると、ラベルでは B と C、リンク線では B の評価性能が低かった。これらのク

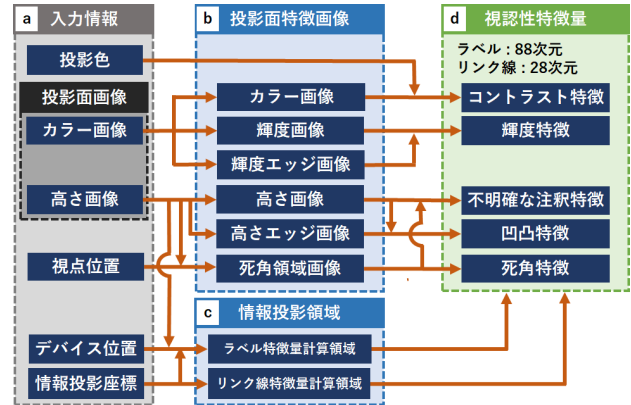


図 5: 視認性特徴量算出の流れ

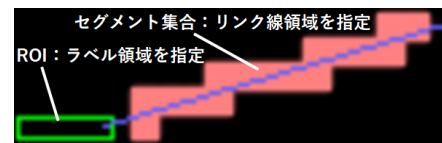


図 6: 投影画像上での情報投影領域指定

ラスは、いずれも主観評価点 2 から構成される点で共通する。主観評価点 2 には、「正確に視認可能であるが負荷がかかる」という評価基準を設けた。よって、正確に情報が視認できる状態で感じる視認負荷には個人差が大きいのと考えられ、この要因に対する頑健な特徴量検討の必要性が示唆された。また、リンク線の視認性評価器では不明確な注釈特徴と死角特徴の特徴量としての貢献度が高かった。これにより、4.4 節の調査結果と比較し算出特徴量の有用性が示唆されたものの、ラベルの視認性評価器よりも評価性能は低かった。この理由として、主観的な視認性知覚の個人差がラベルよりも大きい可能性が考えられる。しかしながら、特徴量が十分でない可能性もあるため、ラベルと同様の算出方法導入も含め新特徴量の検討が必要であると考えられる。

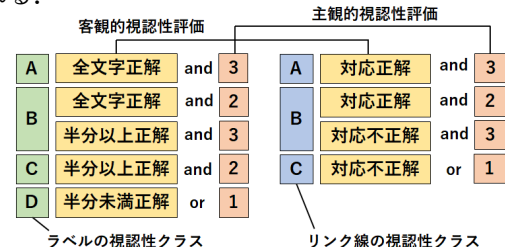


図 7: 視認性クラスの定義

7 おわりに

本稿では、視認性評価器構築のために実施した実験と視認性低下要因の調査、視認性特徴量の算出、ならびに視認性評価器の性能評価を述べた。ユーザーの知覚を反映した視認性評価の実現可能性が示唆された一方で、評価特徴量改善の必要性が明らかになった。今後は、オンライン環境に視認性評価器を適用して提案手法の実用性評価を行う。

謝辞

本研究の一部は、日本学術振興会 学術研究助成基金助成金ならびに文部科学省特別経費「持続可能社会にむけた知的情報空間技術の創出」によるものである。

参考文献

- [1] B. Bell et al. View management for virtual and augmented reality. In *Proc. of UIST'01*, pp. 101–110, 2001.
- [2] M. Sato, K. Fujinami. Nonoverlapped view management for augmented reality by tabletop projection. *Journal of Visual Languages & Computing*, 35(6), pp. 891–902, 2014.