



# 視覚的違和感を用いた行動誘発型展示システム

Museum Exhibition System Inducing User Behavior with Visual Incompatibility

大橋 敢<sup>1)</sup>, 沼田 俊之<sup>1)</sup>, 矢田 浩章<sup>2)</sup>, 吉田 成朗<sup>2,3)</sup>, 鳴海 拓志<sup>2,3)</sup>, 谷川 智洋<sup>2)</sup>, 葛岡 英明<sup>2)</sup>, 廣瀬 通孝<sup>2)</sup>,  
Isamu OHASHI, Numata TOSHIYUKI, Hiroaki YATA, Shigeo YOSHIDA, Takuji NARUMI, Tomohiro  
TANIKAWA, Hideaki KUZUOKA, and Michitaka HIROSE

- 1) 東京大学大学院 学際情報学府 (〒 113-8656 東京都文京区本郷 7-3-1, {isamu,numata}@cyber.t.u-tokyo.ac.jp)  
2) 東京大学大学院 情報理工学系研究科 (〒 113-8656 東京都文京区本郷 7-3-1,  
{yata,shigeodayo,narumi,tani,kuzuoka,hirose}@cyber.t.u-tokyo.ac.jp)  
3) JST さきがけ

**概要:** AR を用いた展示は学習効果が高いため博物館展示などで活用されているが、パノラマ画像のように画面外まで広がってしまうコンテンツでは隅々まで鑑賞しないことで学習効果が薄れてしまう問題がある。そこで、本研究では AR 体験中の iPad のカメラから取得した画像からエッジを抽出し、そのエッジを強調して画面外の誘導したい方向へとユーザを誘導する手法を提案した。また、美術館にその提案手法を適用した展示を配置することでその効果を検証した。

**キーワード:** デジタルミュージアム, 行動誘発, AR, VR

## 1. はじめに

カメラの付いた個人用のモバイル端末が広く普及し、Augmented Reality (AR) は一般的になった。博物館では AR を用いることで展示物のみならず関連した背景情報まで伝えることができるため、その学習効果に着目して展示への AR の活用を早くから始めている [1]。屋外での AR 展示の一例としては”Crowd-Cloud Window to the past”が挙げられる [2]。このシステムでは、ユーザは AR アプリで数十年前に撮影された古写真を AR 画像として撮影された現地で鑑賞することができる。ユーザはシステムを通して現在の風景と過去の風景をその場で見比べることができるため、その風景に関する理解が深まる。また美術教育においても、教科書に AR を導入することで高精細な作品の鑑賞や絵画の展示されている展覧会の展示空間内での作品の鑑賞が可能になっている [3]。高精細な作品を鑑賞することで作品細部への興味関心が促進され、学芸員によってキュレーションされた展覧会の展示空間内で作品を鑑賞することで、その展覧会のストーリーの理解が促進されることが期待されている。

しかし、高精細画像やパノラマ画像などを詳細に鑑賞する際にはコンテンツがタブレットやヘッドマウントディスプレイの画面に収まりきらず画面外にもコンテンツが広がってしまう。そのため、隅々まで鑑賞しなかったユーザはコンテンツ内の重要な要素を見落としてしまい、学習効果が薄れてしまうことがある。したがって、本研究では画面外への鑑賞行動を誘発する展示システムを提案し、実証実験を通してその効果を検証する。

## 2. 関連研究

### 2.1 位置誘導による行動誘発手法

Galyean らは River Analogy と呼ばれる手法を提案している [4]。バーチャル空間 (VE) の既定の経路上を自動的に動くアンカを用意し、ユーザの動きをそのアンカ周りに制限するものである。より自由な探索を可能にしながらも目的地へとユーザを誘導するために、Tanaka らは誘導場と呼ばれる誘導手法を提案している [5]。こちらはユーザの位置に応じて並進運動移動量や回転運動移動量に操作を加えるものである。この誘導手法によりユーザを目標へと導くことに成功し、ユーザに VE 内の目標を認識させられることが示されたが、この手法ではユーザの体験時間は長くならなかった。すなわち、誘導場を用いた手法により設定した目標へとユーザの注意を引くことは可能だが、VE を探索すること自体への興味を高めるわけではないことが示された。

### 2.2 視線誘導による行動誘発手法

視線誘導を用いた手法では明示的な矢印で目標を指し示すものがある [6]。しかし、この手法では明示的な矢印がユーザに誘導されているという強制感を与えてしまい、ユーザの自主的な鑑賞を阻害するため、目標を発見した際に達成感を得ることが難しくなり、鑑賞の質が下がってしまう。また、Tanaka らは全天周画像中の目標が視野内に入りやすくするように操作することで目標へとユーザの注意を引くシステムを提案した [7]。これは視線の水平方向の回転に対して回転ゲインをかけることで、目標への注視時間を長くする手法である。また、Narumi らは他者との行動共有による誘導に着目した [8]。この手法では、VE において現在また

は過去の他のユーザの位置や視線の様子を表示することで、ユーザの注意を促すことに成功した。一方で、他のユーザの行動を視覚化すると、現在のユーザの展示への集中が阻害される可能性がある。映像を用いた AR 展示でのユーザの行動誘発を含むものとして、Arakawa らによって提案されたものがある [9]。このシステムでは、ユーザの向きに応じて過去の電車が走っていた映像から切り出された画像が AR 画像として表示されるため、撮影者の回転動作を模倣しながらユーザは過去の風景を映像を見ることで体験することができる。ただし、この手法は AR コンテンツに映像資料が含まれている場合のみ使用できる。

### 2.3 視線誘導可能な視覚効果

視線誘導に有効な視覚効果として視覚顕著性を用いた画像加工 [10] などがあるが、今回は変幻灯で使われている動き成分を投影する手法に着目した [11]。この研究では、静的オブジェクトに対して、動き成分を持たせた輝度を投影することでそのオブジェクトを動的だと錯覚させることに成功している。しかし、その動き成分は静的オブジェクトに強く結びついており、多様なオブジェクトが存在する場合にその全てに適した動き成分を作成することは困難である。そこで本研究では、あらゆるコンテンツに適用可能な汎用的な視覚効果を用いた行動誘発手法を検討する。

## 3. 視覚的違和感を用いた行動誘発手法

関連研究にて述べたように静的オブジェクトに対して動き成分を与える手法に着目して、提案手法では動き成分を単純化し、目的オブジェクトから生成したエッジを強調して目標方向へと動かすことにした (図 1)。このようにモバイルデバイスの画面全体にエッジ強調フィルタを追加すると、単なる視覚的違和感として認識され、ユーザの鑑賞体験の質を低下させる可能性がある。この問題を避けるため、画面上の特定の領域にのみこのフィルタを適用した。具体的には、iPad の画面領域のうち AR 画像がうつっていないカメラ画像領域にのみフィルタを適用した (図 2)。ユーザは AR 展示を見るときに AR 画像が表示されている領域以外には注目していないと考えたためである。エッジ強調フィルタはここではユーザに回転して欲しい方向に一定ピクセル分移動したのちに強調エッジが消えるようにし、消えたのちに再びエッジが元の位置から生成するようにした。AR 画像に集中しているユーザはそのエッジの移動を意識的に知覚せずにはくしょんと同じように、エッジの移動する方向へと誘導されて画面外への鑑賞行動へと繋がると予想した。

## 4. 実証実験概要

本節では、視覚的違和感に基づいた行動誘発手法の有効性について検討する。さらに、ユーザが使用した iPad の終了ボタンを押したときに表示される実証実験に関するアンケートについても分析する。



図 1: 左: 通常の画像. 右: 強調したエッジが移動した画像.



図 2: 赤: AR 画像領域. 青: エッジを強調したカメラ画像領域.

### 4.1 展示概要

実証実験は東京都現代美術館 (MOT) <sup>1</sup>の協力の元で行われ、2018 年 10 月 20 日から 11 月 18 日の間の金曜日土曜日、および日曜日に開催された「MOT サテライト 2018 秋 うごきだす物語」に合計 14 日間展示した。展示エリア (図 3 に配置した iPad から収集したログファイルによると、合計 683 人が体験した。展示会では、AR 展示システムとは独立してパネル展示として成り立つように 6 つの古写真を配置した。展示されている古写真を AR マーカとして使い、展示エリアの近くに配置した iPad でユーザは AR 画像を鑑賞することができる (図 3)。AR 画像には 1 つの全天周画像、2 つの通常画像、1 つのビデオ映像と古写真から生成した 2 つのパノラマ画像を用いた。

### 4.2 実験概要

提案した誘導システムを AR 展示システムに導入し、9 日間誘導システムを有効にし、残りの 5 日間は無効にした。誘導システムは、展示パネルの強調したエッジを右方向に移動させて参加者が右に回るように誘導するもので、ユーザが図 4 に示すパノラマ画像を AR で鑑賞している場合にのみ有効にした。ユーザの鑑賞行動の分析のために、使用した iPad のジャイロセンサから取得できる体験時間と角距離に注目した。また、AR マーカが検出されたときの経過時間を測定し、AR マーカが検出されている間の 0.5 秒あたりの角度変化の絶対値の合計として角距離を計算した。

## 5. 結果

### 5.1 開始直後の動き

AR 体験を開始して直後の動きを評価するために、開始直後に回転させた角度に基づいてユーザを分類した。実験で使用した iPad のカメラの水平面角が 63 度だったので、iPad を動かしたと判断する場合と動かさなかったと判断する場

<sup>1</sup><https://www.mot-art-museum.jp>



図 3: 左: 展示風景. 右: 展示システムを使用する様子.



図 4: AR 画像として表示したパノラマ画像

合の閾値は $\pm 31.5$ 度とした(表 1). カイ二乗検定によると, 誘導システムの使用の有無に有意差があることが示された( $DF = 1, \chi^2 = 6.75, p = 0.00935$ ). この結果は, 提案手法により iPad を  $31.5$  度以上動かしたユーザが増加したことを示しており, 提案手法がユーザに周りを見回すための動機を与えたことが示唆された. 次に, iPad を動かしたと判断したユーザの iPad を動かした方向を分析した(表 2). カイ二乗検定によると, iPad を動かした方向には有意差がないことが示された( $DF = 1, \chi^2 = 2.14, p = 0.143$ ). これらの結果から, 提案手法はユーザの画面外を見るように動き始める動機にはつながったが, ユーザを特定の方向に誘導することができなかったことが示唆された. ユーザは強調されたエッジが動いていることを知覚することができたため, その知覚した違和感の原因を探るべく周りを見回し始めたが, その動いている方向までは認識することができなかったためだと考えられる.

## 5.2 体験時間

誘導システムの使用の有無について, 体験時間を比較した. 図 5 は参加者 1 人当たりの平均体験時間の長さを示し, エラーバーは標準誤差を示す. マンホイットニーの U 検定を行ったところ, 有意な傾向が示された( $p = 0.0596$ ). この結果は, ユーザが提案システムを使用したときに, 体験時間が長くなったことを示している. これは, iPad を動かさなかったユーザが減少したためと考えられ, 開始直後の動きに関する分析結果を裏付けるものである.

## 5.3 回転角度と角速度

ユーザがどのように見回したかを評価するために, 鑑賞体験中の iPad の回転角度と角速度を測定した. 図 6 は体験中の最大回転角と最大角速度を示し, エラーバーは標準偏差を示す. 最大回転角に関しては, t 検定で有意差がないこ

表 1: ユーザがタブレットを動かしたかどうか

提案手法	動かした	動かさなかった	合計
あり	239 (90.9 %)	24 (9.13 %)	263
なし	108 (81.2 %)	25 (18.8 %)	133

表 2: 開始直後にユーザが左右のどちらに動いたか

提案手法	左	右	合計
あり	175 (73.2 %)	64 (26.8 %)	239
なし	70 (64.8 %)	38 (35.2 %)	108

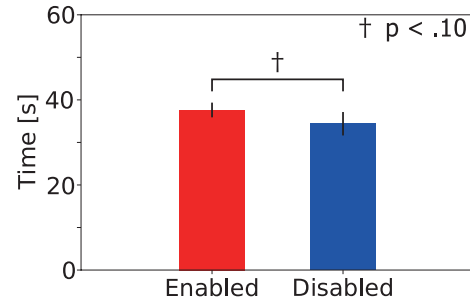


図 5: 体験時間

とが示された( $p = 0.4314$ ). 最大角速度については, t 検定で有意差がないことが示された( $p = 0.7473$ ). この結果は, 提案手法がユーザが周りを見回している間は影響を及ぼさなかったことを示している. iPad を動かす始める前は強調したエッジの動いているカメラ画像領域の動きに気がつきやすいが, iPad を動かしている間はカメラ画像領域がそもそも動いているためエッジを知覚しにくくなってしまったことが原因だと考えられる.

## 5.4 アンケート

実証実験に関するアンケートは, ユーザが iPad の終了ボタンを押したときに表示し, 質問は 7 段階のリッカート尺度で評価した. 質問には提案手法がユーザに違和感を感じさせたかどうかについての質問も含まれていたが, アンケートへの回答は必須ではなく, 回答したのはわずか 20 人だった. 誘導システムを有効にしたときに 15 つの回答があり, 誘導システムを無効にしたときに 5 つの回答があった. マンホイットニーの U 検定で答えを分析したところ, 視覚的に違和感を感じたかどうかに関する質問について, 有意差は見られなかった( $p = 0.3113$ ). さらに, 視覚的違和感が鑑賞を妨げたかに関する質問についても有意差は見られなかった( $p = 0.4816$ ). 図 7 (左) は, 提案システムが鑑賞中に違和感を与えないことを示唆し, さらに図 7 (右) は, 参加者が提案システムに邪魔されていると感じないことを示唆している. したがって, 提案システムは AR 展示システムに導入しても問題がないと考えられる.

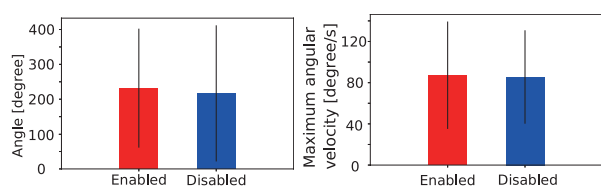


図 6: 左: 体験中の最大回転角. 右: 体験中の最大角速度.



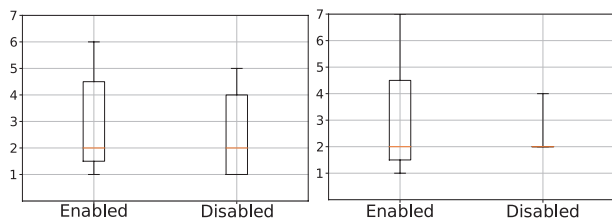


図 7: アンケート結果. 左: どの程度視覚的に違和感を感じたか. 右: 視覚的違和感が鑑賞をどの程度阻害したか.

## 6. まとめと今後の展望

本稿では、視覚的違和感を利用してユーザに最初に画面に現れていた範囲外を探索するような鑑賞行動を誘発するシステムを提案し、その提案手法を AR 展示システムに適用し、美術館での利用を検証した。提案手法は iPad 画面上の画像のエッジを強調して目標の方向へと動かすもので、ユーザは無意識のうちに目標の方向に回転し画面外の鑑賞を始めると予測した。美術館での実証実験を通して、提案手法に関してユーザの体験開始直後の回転動作が活性化されているが、ユーザを目的の方向へと誘導することはできなかった。また、ユーザの最大回転角や最大角速度についても大きな違いはなかった。これは提案手法によって、通常は見回すことがなかったユーザに見回す動機すなわち画面外への注意喚起ができたことを示しており、アンケートへの回答の結果から提案手法が AR 展示に受け入れられることが示唆された。今後は提案手法を全天周画像や高精細な画像などのコンテンツのみが画面内に映っている場合にも画面外への鑑賞行動の誘発を可能とする手法に発展させることを考えている。また、提案手法のパラメータを調整することで特定方向への誘導の実現を目指す。

謝辞 展覧会の内容についてアドバイスをいただいた東京都現代美術館の森山朋絵氏、そして展示内容として古写真を提供していただいた鈴木義智氏に感謝する。また、本研究は、大日本印刷株式会社および文部科学省科学研究費補助金基盤研究 (A) (16H01762) の一部支援を受けたものである。

## 参考文献

- [1] H. Nakasugi and Y. Yamauchi, "Past viewer: Development of wearable learning system for history education," in *Computers in Education, 2002. Proceedings. International Conference on*. IEEE, 2002, pp. 1311–1312.
- [2] S. Osawa, R. Tanaka, T. Narumi, T. Tanikawa, and M. Hirose, "Crowd-cloud window to the past: Constructing a photo database for on-site ar exhibitions by crowdsourcing," in *International Conference on Human Interface and the Management of Information*. Springer, 2016, pp. 313–324.
- [3] 光村出版, "「ar でアートを体験する」平成 29 年度版高等学校「美術 1」, 光村図書出版 (最終閲覧日 2019 年 7 月 19 日)."
- [4] T. A. Galyean, "Guided navigation of virtual environments," in *Proceedings of the 1995 Symposium on Interactive 3D Graphics*, ser. I3D '95. New York, NY, USA: ACM, 1995, pp. 103–ff. [Online]. Available: <http://doi.acm.org/10.1145/199404.199421>
- [5] R. Tanaka, T. Narumi, T. Tanikawa, and M. Hirose, "Guidance field: Vector field for implicit guidance in virtual environments," in *ACM SIGGRAPH 2016 Emerging Technologies*, ser. SIGGRAPH '16. New York, NY, USA: ACM, 2016, pp. 9:1–9:2. [Online]. Available: <http://doi.acm.org/10.1145/2929464.2929468>
- [6] L. Chittaro and S. Burigat, "3d location-pointing as a navigation aid in virtual environments," in *Proceedings of the Working Conference on Advanced Visual Interfaces*, ser. AVI '04. New York, NY, USA: ACM, 2004, pp. 267–274. [Online]. Available: <http://doi.acm.org/10.1145/989863.989910>
- [7] R. Tanaka, T. Narumi, T. Tanikawa, and M. Hirose, "Attracting user's attention in spherical image by angular shift of virtual camera direction," in *Proceedings of the 3rd ACM Symposium on Spatial User Interaction*, ser. SUI '15. New York, NY, USA: ACM, 2015, pp. 61–64. [Online]. Available: <http://doi.acm.org/10.1145/2788940.2788951>
- [8] T. Narumi, Y. Sakakibara, T. Tanikawa, and M. Hirose, "Attention sharing in a virtual environment attracts others," in *Human Interface and the Management of Information: Supporting Learning, Decision-Making and Collaboration*, S. Yamamoto, Ed. Cham: Springer International Publishing, 2017, pp. 154–165.
- [9] T. Arakawa, K. Kasada, T. Narumi, T. Tanikawa, and M. Hirose, "Reliving video experiences with mobile devices," in *Virtual Systems and Multimedia (VSMM), 2012 18th International Conference on*. IEEE, 2012, pp. 581–584.
- [10] 萩原愛子, 杉本晃宏, and 川本一彦, "注視誘導のための視覚的顕著性に基づく画像加工," 研究報告コンピュータビジョンとイメージメディア (CVIM), vol. 2011, no. 5, pp. 1–8, 2011.
- [11] T. Kawabe, T. Fukiage, M. Sawayama, and S. Nishida, "Deformation lamps: A projection technique to make static objects perceptually dynamic," *ACM Transactions on Applied Perception (TAP)*, vol. 13, no. 2, p. 10, 2016.