

<b>氏 名</b>	えるでねばーたる つえつえぐじゃるがる ERDENEBAATAR TSETSEJARGAL
本籍（国籍）	モンゴル国
学位の種類	博士(芸術工学)
学位記番号	工 第54号
学位授与年月日	令和5年3月23日
学位授与の要件	学位規則第5条第2項該当 論文博士
<b>学位論文 題目</b>	<b>A Study on Interactive LOD Control of Image Triangulation and Its Effect for Entertainment Game</b> <b>(画像の3角形分割のインタラクティブな詳細度制御 とそのエンターテインメントゲームに対する効果に 関する研究)</b>
学位審査委員	主査 教授 藤本 忠博 副査 教授 今野 晃市 副査 教授 田中 隆充

## 論 文 内 容 の 要 旨

This research explores the effect of combining “generative art” and “interactive installation.” Generative art is an art style in which an artwork is generated automatically by a rule, such as an algorithm of a computer program and an autonomous mathematical process. This art style attracts artists and researchers due to its power to generate unique and sophisticated artworks effectively. The interactive installation is an art style in which an artwork, such as an image projected by a projector, an object, and a material, is shown to a participant and changes attractively to react to the participant’s interaction. It can be said that generative art is related to how to “generate” an artwork, while interactive installation is related to how to “show” an artwork. This research takes up image generation caused by “triangulation” as a subject of generative art and studies its effect in an interactive installation. Precisely, the LOD, namely, the level of detail of the triangulation, is controlled by the participant’s interaction. In order to investigate the effect of this LOD control, interactive artworks were developed and evaluated. Through this research, it is expected that the use of the generative algorithm in various types of applications, one of them is a game.

This thesis first presents the background of generative art and interactive installation, which includes their definitions and the comparison between typical examples of artworks in which artists combine them. It also reports how generative art is useful in various kinds of fields, such as architecture, graphic design, and advertisement. Especially lots of artworks show that generative art is greatly usable to give fascinating visual effects on images. Besides, it is clarified that interactive installation can help artists to show their artworks and participants involved in the artworks and to understand their concepts.

This research proposes the relative of generative art and interactive installation. In both artworks, the core idea is “interactive image triangulation,” in which a given image is triangulated interactively by the hand movement of a participant. Triangulation is a well-known method in itself. This research uses triangulation as a generative art method and investigates how it works in an interactive installation. The interactively triangulating process is realized by Delaunay triangulation algorithms, which play the most crucial role in this research.

The first artwork proposed in this research is “triangulation-based image emergence.” It has three types of applications, that is, one basic application and two extended applications. In the basic application, an arbitrary image is used as an original image that is unknown to a participant. The original image is triangulated and shown to the participant by projecting it onto a large screen or a wall with a projector. The triangulated image works as an approximation of the original image and makes the participant enjoy imagining the content of the original image. Initially, the triangulation is too rough to imagine the content. The LOD of the triangulation becomes finer and rougher by the hand movement of the participant in front of the projected image. This LOD control changes the difficulty of the participant’s imagination. The LOD becomes finer on the image area near the hand movement.

Consequently, the participant intends to move their hands near the area where they want to see the detail as if to wipe a misted glass window to see an outside scene. In order to realize the finer and rougher LOD change, Delaunay triangulation algorithms are used. One is an incremental algorithm to add new points to triangulate, and another is a decremental algorithm to delete existing points. The two extended applications are based on the basic application; each application is given a kind of dynamics by giving a random movement to a triangulation. In the first extended application,

each point of a triangulation, that is, each vertex of triangles, moves slightly around its initial position in the 2D image space. In the second extended application, each triangle moves slightly in the 3D space. The three applications were actually played by participants and evaluated by a questionnaire.

The second artwork is “wiping operation using a triangulation in Hidden Object Game.” This artwork enhances the first artwork by giving “game” enjoyment. We implemented two types of games: hand-game and mouse games. In order to realize the efficiency of the wiping operation, those game has two features which are having a wiping operation and without wiping operation. In this game, a participant is given a task to find queried target objects from a triangulated image, whose LOD is changed by the participant’s hand movement in the same way as the first artwork in the hand game and mouse movement in the mouse game. In order to realize this game, participants click the mouse to grip their hand on the object after seeing it as refining. While they are playing, they wear a brain activity measuring sensor. This game was also played by participants and evaluated by a questionnaire. This questionnaire was made carefully based on the “game experience questionnaire (GEQ)” proposed by K. Poels et al. The result of the questionnaire and brain activity data indicates that the game was enjoyable while they were playing the mouse game, even though the questionnaire data did not show enough results on the hand game.

This thesis concludes that the interactive LOD control of image triangulation proposed in this research works effectively as a tool in generative art for an interactive installation. The visual effect of the interactive triangulation has the power to attract lots of participants. From this result, generative artworks realized by using interactive triangulation could also be effective in various entertainment fields other than games. Finally, there are some problems to work on in the future. In order to realize smooth interaction even for triangulation with a huge number of points, the two Delaunay triangulation algorithms should be improved so as to work robustly. Also, we assumed that the proposed effect should be studied on various devices such as tablets, smartphones, and other display systems. A limited number of participants did the current evaluations for the proposed artworks. Therefore, obtaining various evaluations from more participants is also essential to improve the artwork.

## 論文審査結果の要旨

本論文は、画像の3角形分割の詳細度をインタラクティブに制御する Wiping operation と呼ぶ操作を提案し、それをエンターテインメントゲームに適用することによる効果を検証している。画像の3角形分割は、画像を多数の細かな3角形の集合（3角形網）として表現する手法であり、元の画像を3角形網により近似表現するものとみなすことができる。また、この手法は、3角形の粗密を画像上の位置に応じて変化させて元の画像の詳細度を局所的に制御できる。Wiping operation は、曇った窓を拭う (Wipe) ことで屋外の景色がはっきりと見やすくなることから発想された操作である。この操作では、3角形分割された画像上を拭うような動作により、拭われた部分の3角形網が局所的に細かくなり、画像の詳細度が増加し、その内容がより正確に把握できるようになる。そして、拭う動作を止めると、3角形網が元に戻り、画像の詳細度が減少し、その内容が把握しにくくなる。本論文では、Wiping operation を用いた2つのエンターテインメントゲームを提案し、プレイヤーに対するアンケート調査と脳活動センサによる計測の結果により、その効果を検証している。画像の3角形分割は様々な分野で用いられているが、3角形の粗密を局所的にインタラクティブに制御する Wiping operation のような操作を提案した研究事例は見当たらず、提案手法には新規性がある。

本論文の構成は以下となる。

第1章は序論であり、本研究の発想の経緯と概要、本論文の全体構成について述べている。

第2章では、関連研究として Generative art と Interactive installation の研究事例について述べ、また、プレイヤーがいかに関心を持んだかを評価する方法として、アンケートを用いた方法と脳活動センサを用いた方法について述べている。

第3章では、提案手法で用いた Delaunay 3角形分割について述べ、点群を付加して3角形網を細かくする Incremental アルゴリズムと点群を削除して3角形網を粗くする Decremental アルゴリズムを説明している。

第4章では、本研究で提案する1つ目のゲームについて述べている。このゲームでは、プロジェクタで壁面に投影された3角形分割画像に向かってプレイヤーが拭うように素早く手を振る Wiping 動作を行うことで3角形分割画像が変化する。このゲームでは3つのモードを用意している。第1モードでは、Wiping 動作により3角形分割画像の詳細度を局所的に変化させ、Wiping operation の基本的な効果をプレイヤーに体感させる。第2モードでは、Wiping 動作により付加された点群を微細に振動させ、画像に躍動感を与える。第3モードでは、プレイヤーの手の動きに合わせて3角形を3次元回転させ、さらなる躍動感を与える。被験者14名に対するアンケート調査では、第3モードが最も良好であったことが示

されている。

第5章では、本研究で提案する2つ目のゲームについて述べている。このゲームでは、部屋、庭、街中など、様々なシーンの画像中に存在する多くの物体から次々に指示された目的物体を探す Hidden object game と呼ばれるゲームに Wiping operation を導入している。ゲーム開始時にはシーン画像全体が粗く3角形分割されており、存在する物体が不明瞭である。そして、探したい場所を Wiping 動作により局所的に明瞭にしながら目的物体を探す。開発したゲームは、様々な魚が泳ぐ海中のシーン画像から指示された魚を探すものである。また、2種類のゲームを用意している。一方は、前章のゲームと同様、プロジェクタで壁面に投影された画像に向かって手を振る Wiping 動作によるハンドゲームである。もう一方は、パソコンの画面上でマウスを動かして Wiping 動作を行うマウスゲームである。また、比較実験のため、Wiping operation を用いずに、プレイヤーがボタンを押すことで3角形分割画像の詳細度が大域的に増加するゲームを用意している。ハンドゲームでは10名、マウスゲームでは16名の被験者が脳活動センサを頭部に装着してゲームを行い、終了後にアンケート調査を実施した。アンケート調査と脳活動センサによる計測の結果から、Wiping operation を用いたゲームの有効性が示されている。

第6章は結論であり、本論文のまとめと今後の課題について述べている。

以上、本論文は、画像の3角形分割の詳細度をインタラクティブに制御する手法を提案し、そのエンターテインメントゲームに対する効果を検証しており、エンターテインメントコンピューティングの分野の発展に寄与するところが大きい。

よって、本論文は博士（芸術工学）の学位論文として合格と認める。

**原著論文名（3編を記載。ただし、単位取得満期退学後1年以内の申請の場合は、1編を記載）**

Study on Wiping Operation to Accelerate Human Activities on Hidden Object Game, Tsetsegjargal Erdenebaatar, Tadahiro Fujimoto, Kouichi Konno, The Journal of the Society for Art and Science, vol.21, no.4, pp.233-240, 2022年11月