

漸次的に変化する実世界透明ピクセル化フィルタ

姫野仁^{†1} 横田智大^{†1} 橋田朋子^{†1}

概要: 情報世界では、映像等の視覚的対象物の見えの程度(=視覚的顕著性)を変化させるピクセル化という処理が盛んに行われている。しかし、実世界でピクセル化を実現するのは必ずしも容易ではない。本研究では、実世界で対象の視覚的顕著性を変化させ、かつその変化を可逆的に行うことが可能な透明ピクセル化フィルタを提案する。提案手法として、3Dプリンタで制作した透明樹脂のレンズアレイを対象と観察者の間に配置する。これによって、レンズの拡大効果により対象の視覚的顕著性を低下させることができる。レンズアレイの持つレンズの個数やレンズ間のピッチ、または各レンズの曲率半径を任意に設計することで、対象の特徴に合わせて効果的に視覚的顕著性を低下させることを可能とした。また、一部の面にレンズアレイを持った透明樹脂製の筐体を作製し、その中に透明樹脂と同じ屈折率を持つ透明な液体の充填する。この液体の充填率を制御することで、レンズアレイによる視覚的顕著性の変化を可逆的かつ漸次的に行うことを可能とした。

A Real World Transparent Pixelization Filter that Changes Gradually

JIN HIMENO^{†1} TOMOHIRO YOKOTA^{†2} TOMOKO HASHIDA^{†3}

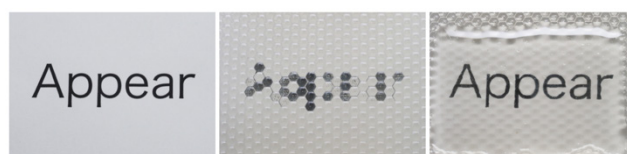
Abstract: Pixelization that changes visual saliency is frequently performed in the digital world, but it is not always easily achieved in the real world. In this paper, we propose a real world transparent pixelization filter that can change visual saliency reversibly. In the implementation, a lens array of a clear resin designed by a 3D printer is arranged between the observation target and the observer, and the visual saliency of a target is changed by magnification. Effective pixelization becomes possible in accordance with the features of the target through optionally designing the curvature radius, the paces between the lenses, and the number of lenses in a lens array. In addition, we make an enclosure made of clear resin with a lens array, and we enable the change of visual saliency reversibly and gradually by filling and emptying clear liquid that has the same refractive index as clear resin.

1. はじめに

視覚的顕著性を変化させるピクセル化は情報世界においては盛んに扱われている。ピクセル化による効果として、対象の詳細情報を遮蔽する効果の他に、対象へ視覚を誘導する効果や、ミクロ視点とマクロ視点において異なる情報を持つ対象[1]の視点の切り替えを補助する効果が挙げられる。しかし実世界において、情報世界で行われているように視覚的顕著性を可逆的に変化させることは容易ではない。本稿では、視覚的顕著性としての見え方の状態を見える/ぼやけて見える/見えないという3つに分類する。実世界において見え方を変化させるものとして磨りガラスや調光ガラスなどがある。磨りガラスなどの不透明ガラスを用いればぼかすことは可能ではあるが、可逆的に見え方を変化させることはできない。調光ガラスを用いれば見える/見えないを可逆的に切り替えることはできるが、見える/ぼやけて見えるという視覚的顕著性の操作とは異なる。本研究では実世界で視覚的顕著性を変化させ、かつその変化を可逆的に行うことを可能とする透明ピクセル化フィルタを提案する。

まず筆者らはピクセル化の手法として、レンズによる拡

大効果に着目した。複数の小さなレンズを並べ、それら一つ一つの拡大効果が集まることで、もともと図 1(a)のように見えていたコンテンツが図 1(b)のように全体としてぼやけて見えるようになる。またピクセル化を可逆的にする手法として、同屈折率の物質同士の境界では光が屈折しないという光学現象に着目した。透明樹脂と同じ屈折率の液体をレンズの凹凸に充填することによってレンズの境界での屈折が起きなくなり、図 1(c)のように拡大効果が無効化される。この充填制御によりピクセル化の可逆的な変化を可能にした。さらに、液体の充填を行う際に漸次的にピクセル化が起こることによる新たな表現効果を発見した。本稿では提案システムの詳細および実装と視覚対象物の大きさとレンズのサイズの評価を評価する実験の結果を報告する。



(a)提案システム無し (b)ピクセル化 (c)ピクセル化の無効化

図 1 レンズアレイを用いたピクセル化

Figure 1 Pixelization using a lens array.

^{†1} 早稲田大学
Waseda University.

2. 関連研究

情報世界において視覚的顕著性を変化させる方法であるピクセル化は、主に情報の詳細を遮蔽することに用いられている。別の用途として、畑らは画像の中での視覚的顕著性の違いを用いて気づかれることなく視線を誘導する試みを行っている[2]。また、Oliva らの Hybrid Image は、空間周波数帯の異なる 2 つの画像情報を重ねることで遠くから見る場合と近くで見る場合に異なる情報を提示可能としている[1]。本研究では実世界において視覚的顕著性を変化させ、遮蔽効果以外にもミクロ視点とマクロ視点において異なる情報を持つ対象の視点の切り替えの効果を実現することを目指す。

実世界で視覚的顕著性を変化させる研究としては、暦本らの Squama が挙げられる[3]。調光液晶シートを用いて視覚的透過/遮蔽をモジュラーに制御可能としているが、この視覚的变化は見える/見えないという変化であり、本研究では見える/ぼやけて見えるという変化である点で異なる。実世界の視覚的顕著性を変化させる他の試みとして、アート作品にもいくつかの事例が存在する。吉添らの pixel は、格子状に分割した枠を作り、そこに入る光を一度白板に当てて拡散させることで、反対側の面でピクセル化された像を見せるものである[4]。この作品の効果は磨りガラスによる見え方の変化に近く、本研究は変化が可逆であるという点で異なる。また Random International による Blur Mirror は、格子状に分割した鏡を微振動させることによって、映る像をぼかしている[5]。Blur Mirror では鏡を使っているため、ぼける対象が手前のものであり、ぼかし方に振動を用いているというのに対して、本研究でぼかす対象はフィルタの向こう側のものであり、ぼかし方にレンズの拡大を用いている点で異なる。

3. 透明ピクセル化フィルタの設計

3.1 要件

本稿では、実世界で任意の対象の視覚的顕著性のあるものをぼやけて見えるを可逆的に変えるピクセル化フィルタに求められる要件として、下記の 4 つを定義した。

1. 透明であり、実世界の対象に重畳して使用できる
2. ある領域の代表値によって領域全体を塗りつぶす効果を有する
3. 簡易に形状を変更できる（対象に応じて柔軟に作り変えられる）
4. ピクセル化の効果を任意のタイミングで on/off を切り替えることができる

まず、要件 1.2 を満たすものとして、透明なレンズアレイを考える。レンズによって中心部が拡大されることで、ある一定領域の代表値で全体を塗りつぶす効果が実現できる。そのレンズをアレイ状に並べることでアナログのモザイク

表現が可能になる。次に要件 3 を実現するため、レンズアレイの作成には透明樹脂の 3D プリンティングを用いる。対象とレンズの距離をレンズの焦点距離と一致させることで対象の中心部の点が無限の大きさに拡大されるため、任意のサイズのレンズで要件 2 を満たすことができる。また設計において、レンズの間隔によりモザイクの粗さを、レンズの曲率半径と樹脂の種類によりレンズの焦点距離を柔軟に変えられる。最後に要件 4 を実現するため、一部の面にレンズアレイを持った透明樹脂製の筐体を制作する。その中に透明樹脂と同じ屈折率を持つ透明な液体の充填することでレンズによる光の屈折を無効化し(ピクセル化 off)、充填した液体を放出することでレンズの効果を有効にする(ピクセル化 on)。この充填と放出を繰り返すことで効果を可逆的に実現できる。

3.2 同屈折率の物体間の境界における光の透過の原理

3D プリンタで出力したレンズアレイの凹凸に透明樹脂と同じ屈折率の液体を充填すると、レンズの凹凸が消えたように見える。これは光の屈折現象によるものである。レンズと空気は屈折率が異なるため境界面で光が屈折していたが、空気の代わりに同屈折率の液体で満たすことにより、レンズと液体の境界面にて屈折が起こらず、光が直進するためにそこにある境界を認識できなくなる。レンズでの屈折により生じていた拡大が起こらなくなるため、視覚対象物は普通の透過した見え方になる。

4. 実装

4.1 システム構成・使用する素材

本システムの全体像とシステムの構成を図 2 に示す。ピクセル化フィルタの下部にチューブを接続し、液体の充填制御に用いる電磁弁(SMC / VDW22QZ1D)と小型水中ポンプ(Tenky / DC40-2470)に繋げる。電磁弁とポンプは Arduino で制御を行う。また観賞者とのインタラクション手法として、ピクセル化された対象物に興味をもって覗き込むと、詳細部が見えるようになるという設計とした。観賞者がフィルタに近づき覗き込もうとすると、センサー(フォトリフレクタ)から入力を受け取り、液体の充填が始まる。

フィルタに使う樹脂の素材はアクリルライク、液体は流動パラフィンを用いた。それぞれのおよその屈折率は、アクリルライクは 1.49、流動パラフィンは 1.48 である。

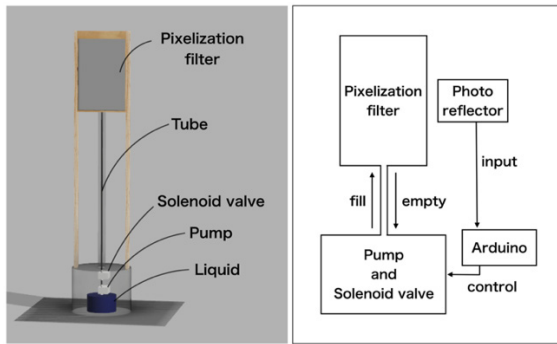


図 2 システム全体図と構成
Figure 2 System configuration.

4.2 フィルタの形状

設計した透明ピクセル化フィルタの構成を図 3 に示す. 3D プリンタでレンズアレイ層と枠を造形し、上からアクリル板を接着している. フィルタのサイズは 480mm×320mm, 枠の高さは 15mm で、内部の体積はおよそ 2300mL である. 下部にチューブが接続され、上部には気圧を調整するために小さな穴をあけている.

また、設計したフィルタにおけるレンズアレイ部分の形状を図 4 に示す. 一つ一つのレンズは球面的一部分であり、曲率半径は 12.5mm, レンズ間のピッチは 9mm である. これらのパラメータは、4.4 の応用例で用いる絵画をピクセル化する際に、細部の動物は認識できなくなるが男の横顔は認識できるというぼかし加減になるように設計している. また、並べるレンズの配置方法として、球面と球面が重なるように近づけて配置してある. これは、平面の部分(レンズではない部分)があるとその部分が透過して見えるため、平面の部分が現れないようにするためである. さらに、正方形の格子状ではなく正三角形の格子状に配置することでそれぞれのレンズ部分が正方形ではなく正六角形となり円形状に近づくため、3.1 の要件 2 を満たしやすくなる.

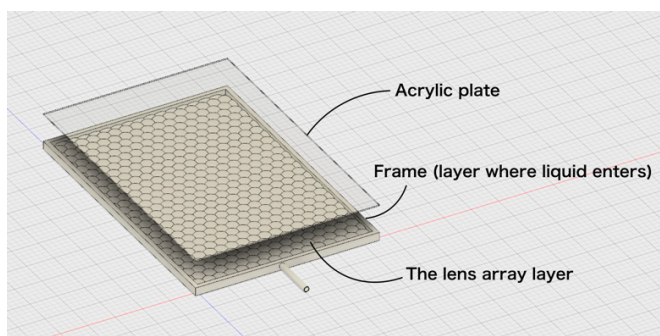


図 3 フィルタの構成
Figure 3 The shape of the filter.

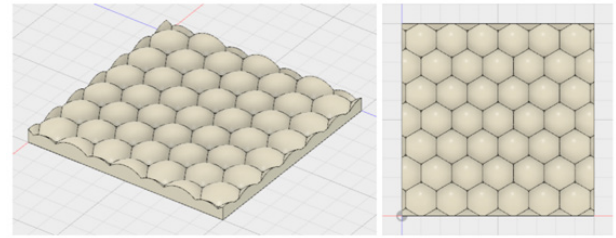


図 4 レンズアレイの形状
Figure 4 The shape of the lens array.

4.3 動作確認

提案システムを動作させ、液体の充填によるピクセル化の無効化と充填した液体を放出することによるピクセル化が実現されることを確認した(図 5). なお、充填開始から充填が完了するまでは 60 秒を要し、放出開始から放出が完了するまでに 90 秒を要した.



図 5 (左)充填後 (右)放出後
Figure 5 (Left) After filling (Right) After emptying

4.4 応用例

視覚的顕著性を可逆的に変化させられる提案システムの応用例として、ミクロ視点とマクロ視点において異なる情報を持つ対象の視点の切り替え効果が考えられる. 今回具体的には対象物として、Arcimboldo によって 16 世紀に描かれた「Earth」というだまし絵を用いてこの効果を実現した. Earth は複数の動物で一人の男の横顔を表しており、マクロの視点では男の横顔が、ミクロの視点では複数の動物の姿が観察できる. 通常は観察者が絵との距離を変えることでこのような視点を切り替えると、見える絵が変わる. 一方で提案システムを用いると、ピクセル化により細部の情報をカットすると、男の横顔として見え、フィルタに液体を充填することで徐々に細部が見えるようになると、男の横顔を構成する複数の動物が見えるようになることが確認できた(図 6). CG 等による瞬間的な変化に比べ、液体を充填していくことにより徐々に変化していくことで、変化の違いがより強調され、変化していく部分へと視線が誘導されるという効果も示唆された.



図 6 (左上)充填前 (右上)充填開始 9 秒後
(左下)充填開始 30 秒後 (右下)充填後
Figure 6 (Upper left) Before filling
(Upper right) 9 seconds after filling
(Lower left) 30 seconds after filling
(Lower right) Filling completed

5. 実験

レンズのピッチ幅と対象物の大きさの比率の違いによりピクセル化した際の対象物の見え方にどのような変化が生じるかを明らかにする実験を、縞模様とフォントを用いて行う。レンズのピッチ幅と対象物の大きさの比率という相対的な関係で見え方が変化するため、今回は簡易実験としていずれの実験においてもレンズのピッチ幅を 2mm で固定し、対象物の大きさを変化させる。

5.1 縞模様を用いた実験

ここでは対象物の白線と黒線の線幅の比が同じ場合と異なる場合にわけて縞模様の見え方を検証する。

白線と黒線の線幅の比が同じ場合

対象物の白と黒の線幅の比が 1:1 でそれぞれ 10 本の縞模様を用い、縞模様の幅を変化させた時に黒の線と白の線が交互に確認でき、かつ 10 本の黒線を認識できるか否かを目視で検証した(図 6)。縞模様の幅は 1mm~6mm の間で 0.5mm 刻みの 11 段階で検証を行った。結果は、縞模様が縦向きの場合、縞模様の幅が 2mm より広ければ黒と白の線

を交互に確認でき、10 本の黒線を認識できた (2mm 以下の場合線と線の間が潰れた)。また横線の場合も、縞模様の幅が 2mm 以上広ければ黒と白の線を交互に確認でき、10 本の黒線を認識できる。

白線と黒線の線幅の比が異なる場合

縞模様の白線と黒線の幅の比をレンズのピッチ幅(2mm)に対して白線が(細い/太い)、黒線が(細い/太い)を変化させた 4 つの条件において白線と黒線がそれぞれわかるかを目視で確認した。レンズのピッチ幅(2mm)に比べて白線と黒線のどちらも太い場合は黒線と白線は交互に確認でき、どちらの線も潰れなかった。白線が黒線の一方が太く他方が細い場合、レンズの置き方によって細い方が潰れることがあった。また、白線と黒線の両方がレンズのピッチ幅より細い場合、レンズの置き方によって白線が潰れる場合と黒線が潰れる場合があった。

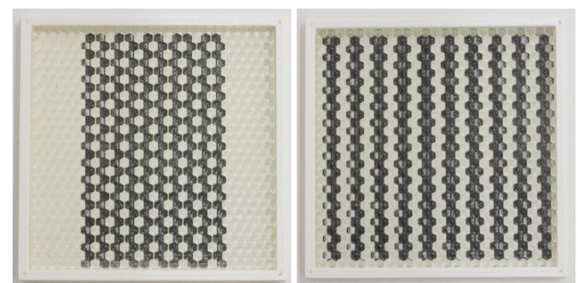


図 6 (左)線が潰れている (右)線が潰れていない
Figure 6 (Left) Lines cannot be identified.
(Right) Lines can be identified.

5.2 フォントを用いた場合の例

対象物をフォントにした場合、字に含まれる線の太さや線と線の間隔、字の複雑さなどによりピクセル化した際の認識度が変化する。本実験ではフォントのサイズを 6pt ずつ変化させ、字を認識できるかを目視で確認した。以下にレンズのピッチとフォントサイズの大きさの比率により見え方がどのように異なるかの例を挙げる。漢字の「姫」という字の場合、レンズのピッチに対するフォントサイズの大きさの比率が 7.76(フォント 44pt = 15.5mm)のときは完全に認識でき、3.53(フォント 20pt = 7.06mm)のときは認識できない。図 7 はフォントサイズ 20pt, 26pt, 32pt, 38pt, 44pt の場合の見え方で、20pt では認識でき、44pt では認識できず、26pt~38pt では文字であることは認識できるが何という文字なのか認識できる人とできない人に別れることが示唆される。

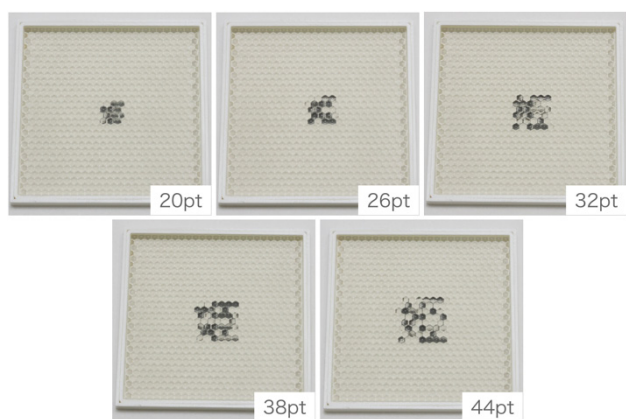


図 7 フォントを用いた例(レンズ間ピッチ: 2mm,
フォントサイズ: 20pt, 26pt, 32pt, 38pt, 44pt)

Figure 7 An example using a font.

6. まとめと今後の展望

本研究では透明樹脂によるレンズアレイと、同屈折率の液体の充填操作によって実世界において可逆的かつ漸次的に視覚的顕著性を変化させるピクセル化フィルタを提案した。

今後は透明樹脂と液体の組み合わせを変えることでより屈折率を近づけて光の屈折をさらになくし、充填時の透過率を高めることや、フィルタを小さくして複数並べることによって局所的なピクセル化を可能にすることがある。また、今回はレンズ部分を球面の一部としているが、非球面レンズなどのよりピクセル化に適した形状を検討したい。

参考文献

- [1] A. Oliva, A. Torralba, and P. Schyns. Hybrid Images. ACM Transactions on Graphics (TOG), 25(3):527-532, 2006. 4
- [2] 畑元, 小池英樹, 佐藤洋: 解像度制御を用いた視線誘導, 情報処理学会シンポジウム インタラクション 2014, February 2014
- [3] Junichi Rekimoto: Squama: modular visibility control of walls and windows for programmable physical architectures. In Proc. of AVI '12, pp.168-171, 2012
- [4] Random International: Blur Mirror, <http://random-international.com/work/blur-mirror/>. Accessed on December 17, 2017.
- [5] LEXUS design award 2017: pixel by hiroto yoshizoe winner of grand prix, <https://www.designboom.com/design/lexus-design-award-2017-pixel-hiroto-yoshizoe-grand-prix-04-25-2017/>. Accessed on December 17, 2017.