

不透明平面素材の部分除去による透明度表現のためのイメージの 2 値化手法の検討と検証

藤木 淳^{†1,2}

平面素材の適当な部分を除去することで、単一の不透明平面素材で異なる透明度を表現するための手法の開発を目指している。本研究では、ソースとなるイメージ画像を、誤差拡散法を拡張した手法で2値化し、2値化された点を母点としたボロノイ図を生成することで、期待する切断パスが得られることを確認した。本稿では、ここで用いた誤差拡散法について述べる。

Examination and verification of the image binarization technique for the transparency expression by cutting an opaque plane

JUN FUJIKI^{†1,2}

Our goal is to development of the technique for the transparency expression by cutting an opaque plane. In this study, I confirmed that we can get a expected cutting path by binarizing image by my dithering technique, and generating voronoi diagram from binarized points. In this paper, I described about my dithering technique.

1. はじめに

単一素材による、現象や状態といった、眼には見えない属性の表現、及び、その表現を生成するための表現手法の開発を行っている。近年はレーザーカッターやパーソナル3Dプリンタの普及により平面や立体による造形物の生成が注目されている。このような現状を踏まえ、例えば、入力したモデルに「ぼかし」属性を付加してレーザーカッターやパーソナル3Dプリンタで造形すると、閲覧者に「ぼけている」ように感じさせるモデルが出力される、というストーリーを想定している。本表現により、特殊な素材を組み合わせることなく、エンドユーザでも様々な属性を手軽に提示可能となることを期待する。

今フェーズでは、その基礎研究として、属性として「透明度」に焦点をあて、平面構成において部分毎に異なる透明度を閲覧者に感じさせる表現と表現手法のプロタイプを開発した。本稿では、開発したプロタイプ表現と表現手法を述べ、レーザーカッターで加工した出力結果を報告する。

2. 表現における条件

本表現の考案に際し、満たすべき数点の条件があった。以下にその条件について述べる。

(1) 接続性

透明度の認識において背景の透過は必要となる。透明とする箇所は除去する。この時、部分がバラバラにならないよ



図 1 ステンドグラスの例

Figure 1 A sample of stained glass.

う、全体の接続性を保つように除去する。すなわち、最終的にすべてが繋がった形状とする。

(2) 耐久性

不安定な構造は破損しやすい。近年はステンレスやアルミといった金属までも切断できるレーザーカッター[1]が登場しているが、様々な材質で造形したい場合もあるだろう。加えて、ステンレスやアルミといった材質は木材やアクリルに比べて高価で手軽に造形しがたく、また、ステンレスやアルミであっても安定した構造である方が望ましいと考える。

^{†1} 科学技術振興機構
Japan Science and Technology Agency

^{†2} 東京芸術大学
Tokyo University of the Arts

以上を考慮して、「全体として繋がっていること」「構造的に安定であること」を表現上の条件とした。

3. 表現の構想

ステンドグラスはガラスの小片を結合することで絵や模様を表現する(図1)。ステンドグラスの制作には、鉛のリムを用いてガラスの小片を結合するが、ガラスがなくても鉛のリムのみで全体としての接続性を保ち、また、画としてのコンテキストも維持できると考えた。

画像処理において、ステンドグラス風な画像を生成する技法が提案されている[2]。ここでは、色情報に基づき母点を発生させ、ボロノイ分割することでステンドグラスのような画像を生成する。この母点を透明度情報に基づき適当に発生させてものを同様にボロノイ分割することで、接続性を保って透明度を表現できると考えた。

一方、輝度情報に基づき画像を白と黒の2値で表現する様々な2値化の技法が考案されている。これらの手法は、人間の知覚を利用して、一定面積中のドットの密度により濃淡を表現する技法といえる。ここで、透明度を輝度情報とした場合、すなわち、輝度が増えるほど透明度が増すとした場合、透明なところほどドットの間隔が空くことになる。このドットを母点としてボロノイ分割することにより、上記で述べたような透明度を反映したステンドグラスのような構造を持つイメージが生成できると考えた。

4. 2値化の構想

前章で述べたように、画像処理において画像を白と黒の2値で表現する様々な2値化の技法が考案されている。閾値法[3]は、元画像のすべての画素において任意の閾値よりも明るい場合は白、暗い場合は黒とする。閾値法は、処理が容易で高速な反面、階調が表現できず細部の情報が失われる。組織的ディザ法[4]では、 $N \times N$ の閾値からなるディザマトリックスと呼ばれるサブマトリックスを入力画像に重ね合わせて2値化する。組織的ディザ法は閾値法に比べて階調の表現が優れているが、グラデーション部分に幾何学パターン模様が目立つ。

誤差拡散法[5]は、前の画素で発生した誤差を近隣の画素に加え、誤差が任意の閾値を超えた画素を黒色とする。誤差拡散法では幾何学パターン模様は発生しないが、代わりに閲覧者に点による波模様を知覚させるモアレが発生することがある。このモアレを軽減させるため、画素を走査するルートを奇数ラインと偶数ラインとで走査方向を入れ替えたり、ジグザグのルートやヒルベルト曲線やペアノ曲線に沿って画素を走査したりする方法がある。また、誤差を隣接する1画素のみならず周囲画素にも拡散させる誤差拡散法が考案されている。Floyd-Steinberg法、JaJuNi法、StuckiBurkes法、Burkes法[6]は、いずれも周囲画素に誤差

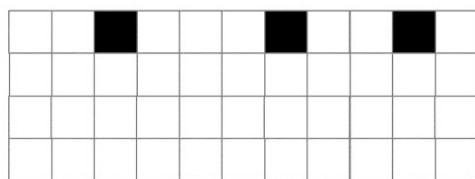
を拡散する手法であり、これらは周囲画素に誤差を拡散する拡散率が異なっている。野口らは、これらの手法により生じる「方向性をもったドット間のつながり」を確認している。野口らは「方向性をもったドット間のつながり」をなくすために、注目画素の輝度に応じた範囲矩形内のドットの有無により新規ドットを配置するか判断する。範囲外ならばドットを配置、範囲内ならばドットは配置せず誤差を持越しすることで、連なっていたドットを分散する手法を考案した[7]。

方向性を持つ構造は、その方向において耐久性が低くなるため、「方向性をもったドット間のつながり」を持つ母点群を基に斬り出した造形物は耐久性が低くなると考えられる。本研究で求める条件は「構造的に安定であること」であるため、本研究においても「方向性をもったドット間のつながり」は好ましくない。方向性を持たない構造として、任意の最近傍の3点を結んだときに正三角形となる構造が、各点に掛かる力が均等に分散され、最も安定した母点の配置となると考えた。次章では、野口らの手法を改良し、最近傍3点による構成が限りなく正三角形に近くなる考案アルゴリズムについて述べる。

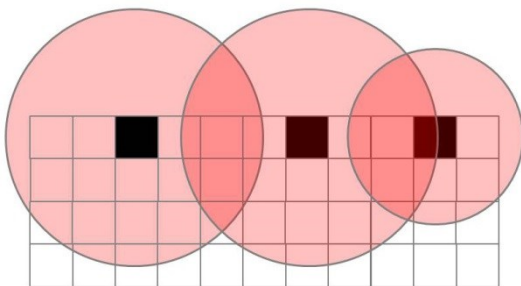
なお、画素を走査することなく入力画像の輝度をもとに点を散らす手法として Adrian による手法がある[8]。Adrianの手法では、初期状態として輝度を確率値とする rejection sampling 法により適当に配置された点をもとにボロノイ分割し、分割された領域が正方形に近づくよう、変形した領域の中心に点を移動する。以降、これを繰り返すことで限りなくもとの領域面積を保ちつつ周囲の点との距離が均等になるよう収束していく。Adrianの手法は、ほとんどの場合において望ましい分布の母点群が得られる。一方で、結果が確率的に散布された初期状態での点の配置に左右される。本提案手法により算出した点を初期位置とすることで、再現性のある点の分布となる可能性がある。

5. 考案2値化アルゴリズム

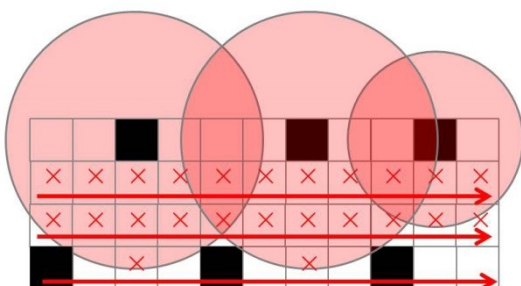
野口らの手法は、注目画素を基点として、輝度情報に応じた探索矩形範囲内にすでに配置されたドットがあるかどうかを調べる。一方、本手法では1列分の画素を走査した後、同列のドットの位置に、輝度に応じた半径を持つ、マスクとする円を生成する。ドットは、蓄積された誤差が任意の閾値を超えた時、かつ、円マスクの範囲にない時に生成される。円マスク内にあるときは誤差を持ち越す。左上の画素から1列ずつ、分散させずに通常誤差拡散法を適用していくと共に、すでに生成してある円マスク群との判定を行う。マスクを円形状にすることで、2つの円の間にドットが配置される確率が高くなり、最近傍3点による構成が正三角形に近づく狙いである。また、最終的に、生成したドットを母点としてボロノイ分割による分割線を切断パス



(a)



(b)



(c)

図 4 処理
Figure 4 Process

として用いるため、見た目の輝度が低下する。そのことを考慮して、本手法を適用する前にあらかじめ元画像の輝度を上げておく。以下に具体的な手順を述べる。

- ① 元画像の輝度を上げる。
- ② 最左画素から最右画素に向かって誤差拡散法により、誤差を蓄積していく (図 3(a))。
- ③ 1 列分の誤差拡散法による処理後、輝度に応じた円マスクを生成する (図 3(b))。
- ④ 以降の誤差拡散法による処理では、誤差が任意の値を超えた場合、円マスク群の内外判定をする。円マスク内にあるときは、誤差を保持したまま次の画素に移る (図 3(c))。
- ⑤ 以降、③と④の処理を繰り返す。

6. 検証



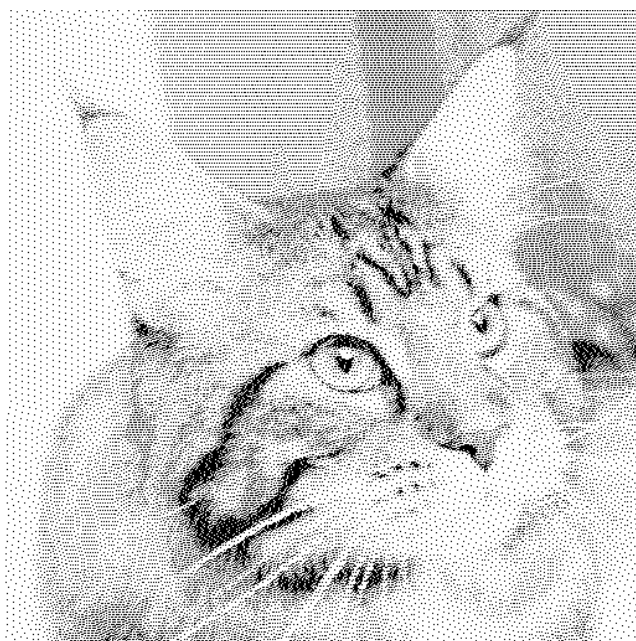
図 3 入力画像
Figure 3 Source image

検証として、図 3 の画像を本手法による 2 値化された変換画像と、Floyd-Steinberg 法により 2 値化した変換画像の比較を行った。なお、Floyd-Steinberg 法においては、本手法適用時と同じ輝度となるように、元画像の輝度を上げて処理している。元画像の画素数は 512×512 である。

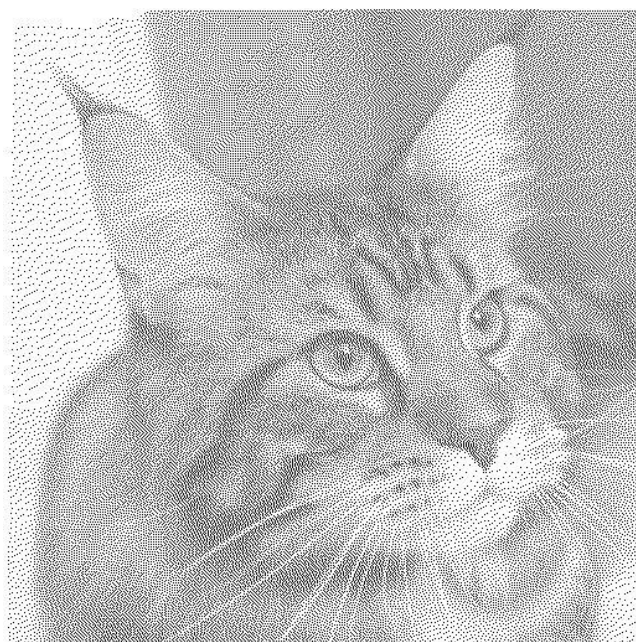
図 4(a)が本手法による 2 値化された変換画像であり、図 4(b)が Floyd-Steinberg 法により 2 値化した変換画像である。また、図 5(a)と図 6(b)はそれぞれの変換画像の 1 部分を拡大したものである。この段階で、本手法の輝度が高いのは、後の voronoi 分割処理を考慮しているからである。Floyd-Steinberg 法では不規則にドットが配置しているのに対し、本手法では最近傍の 3 点が正三角形に近い配置となっていることが確認できる。

次に、レーザーカッターを用いた加工により造形物が生成可能かどうかの検証を行った。レーザーカッターはユニバーサルレーザーシステムズ社 PLS6.75[9]を用い、素材は厚さ 2.5mm のベニヤ板を用いた。具体的な造形手順は以下の通りである。

- ① 本手法により 2 値化した画像内のドットを母点としてボロノイ分割し、分割線をベクター情報に変換する。
- ② ベクターライン情報を Adobe Illustrator[10]に読み込ませ、全体の大きさを $17\text{cm} \times 17\text{cm}$ のサイズに設定する。
- ③ 太さを 1pt に設定した線群のアウトラインを抽出する。
- ④ アウトライン情報をもとに、2.5mm のベニヤ板をレーザーカッターで加工する。



(a)



(b)

図 4 変換された画像
Figure 4 Converted Image

図 6 が最終的に得られた造形物である。出力造形物において元画像の輝度が再現されており、本手法で物質による透明度表現が可能となったことを確認した。なお、レーザーカッターによる加工時間は 2 時間 15 分であった。

7. まとめ

本稿では、物質による透明度表現の提案と、その表現を持



(a)



(b)

図 5 比較検証
Figure 5 Comparison

つ造形物を加工する際に処理する 2 値化手法について述べた。本手法により著者の期待する透明度表現となったことを確認した。本手法は、Adrian の手法と組み合わせることにより、より高品質な 2 値化となる可能性がある。また、本手法を 3 次元に拡張して、立体造形物における透明度表現を試みたいと考えている

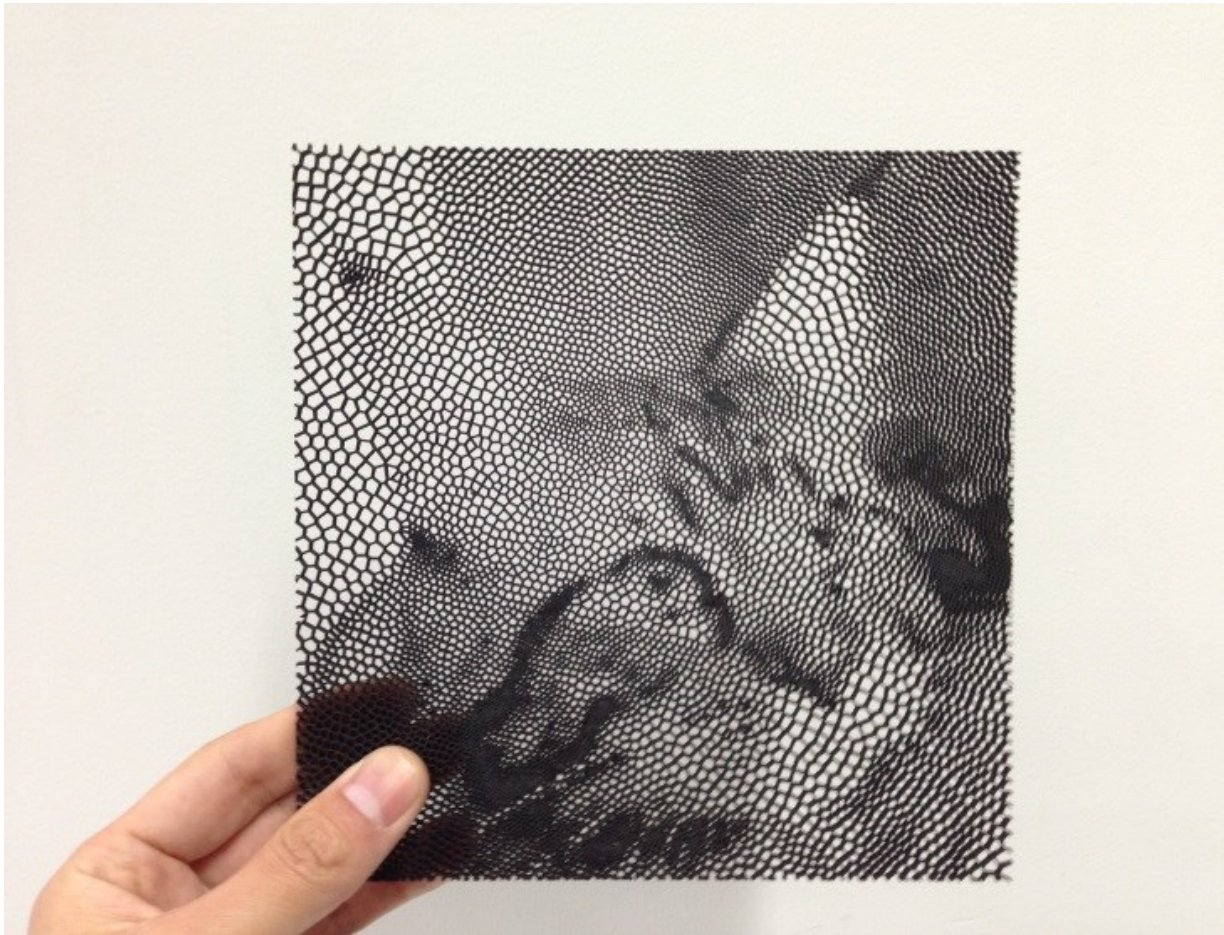


図 6 出力結果
Figure 6 Result image.

8. 謝辞

本研究は、科学技術振興機構さがけ「情報環境と人」の支援によるものである。

9. 参考文献

- 1) ユニバーサルレーザーシステムズ社「PLS6MW」
http://www.uesltd.co.jp/product_introduction/pls6mw.html
- 2) G. Faustino and L. Figueiredo: Simple adaptive mosaic effects, Proc. SIBGRAPI, pp.315-322(2005)
- 3) 閾値法
<http://www40.atwiki.jp/spellbound/pages/167.html>
- 4) 組織的ディザ
<http://www40.atwiki.jp/spellbound/pages/270.html>
- 5) 誤差拡
<http://www40.atwiki.jp/spellbound/pages/1773.html>
- 6) Floyd-Steinberg 法, JaJuNi 法, StuckiBurkes 法, Burkes 法
<http://koujinz.cocolog-nifty.com/blog/2009/04/post-a316.html>
- 7) 野口和宣: 高画質二値誤差拡散アルゴリズムの開発, Konica Minolta Technol Rep, 2 巻, pp. 73-76 (2005).
- 8) Adrian Secord: Weighted Voronoi stippling, Proceedings of the second international symposium NPAR pp.2495-2503(2002)
- 9) ユニバーサルレーザーシステムズ社「PLS6MW」
http://www.uesltd.co.jp/product_introduction/proffessional.html
- 10) Adobe Illustrator
<http://www.adobe.com/jp/products/illustrator.html>