

視点依存で色を変える 3D プリント表面構造の提案

櫻井快勢¹

概要: 本報告では、見る方向で色が変わるような表面の構造を設計する手法を提案する。本手法が生成する構造は、インクにて色付けが可能な 3D プリンターのみで造形されるものを想定する。すなわち、プロジェクタやデジタルディスプレイを用いず、視点依存で構造によって表面の色を変化させる。構造は、複数の面から構成され、それらは、指定の色を着色される。面の配置と着色は、視点とその視点から見せたい色から、自動的に決定する。この構造を任意の形状に施し、レンダリングと印刷物で提案の構造が有効であることを示す。

キーワード: 3D プリント, 異方性反射

Generating Structures for Changing Appearance in 3D prints

KAISEI SAKURAI¹

Abstract: We propose a method for generating 3D structures that show specified appearances in different viewing directions. Our method only uses color 3D printers but not projectors or digital displays. Our structure consists of several barriers. The barriers get placed and colored so that they show a specified color in the corresponding direction as possible as exclusive. We show the result of our structure with rendering images and a printed object.

Keywords: 3D prints, anisotropic reflection

1. はじめに

デジタルディスプレイや印刷技術の発展の中で、視線方向に依存して異なる画像を表示する技術[1][2][3][4]が開発されてきた。しかし、立体造形物の表面上で、このような効果を示した例はない。本研究では、3D プリンターにて出力された立体物に対して、方向依存で模様を変化させるような表面の構造を提案する。プロジェクタやデジタルディスプレイを用いず、色付きの静的な形状だけでこの効果を実現する。

本研究では、3D プリンターは、カラー印刷に対応した拡散反射面を構成するものを用いる。透過性がなく、鏡面反射もしない素材を扱うものとする。光源依存で見え方が変わらないように、全周に光源があるとし、可視領域は、印刷された通りに発色されるとする。

本手法では、入力された 3D 形状に対して、提案する構造を付与し、指定の色になるように、その構造と入力の 3D 形状に色を付ける。本報告では、構造を色付きの遮蔽面の集合で定義する。構造の詳細は 3 節で後述する。また、この構造を入力した 3D 形状に付与し、印刷できるデータに変換する処理を 4 節に記す。さらに、実験により、提案した構造を持つ印刷物が、指定の画像に近い模様を表示することを 5 節で示す。

2. 関連研究

方向依存の表示に関して、いくつかのアプローチが開発されている。パターンが印刷された透明シートを層状に構成する手法[1]や、レンチキュラーレンズを適切に設計する手法[2]、鏡面上に特定の十字パターンを印刷した透明フィルター 1 枚を接着する手法[3]や、遮蔽を用いる手法[4]などがある。これらはいずれも異方性を示すが、平面部材での設計を前提としており、立体に適用するには、これらの印刷を施した平面部材を組み合わせ、造形する必要がある。しかし、立体を組むには、任意の 3D 形状表面の展開図を作成すると同時に、曲面上の任意の位置で、指定の方向に指定の色を与えるようなソフトウェアを開発する必要がある。この開発は、不可能ではないが、非常に煩雑であり、現実的ではない。それに対して、本手法では、3D プリンターで指定の形状を造形するだけで、異方性を実現する。

また、3D プリンターでの出力の品質を向上させる研究もある。任意の色の再現[5][6]や、半濁の実現[7]、形状依存の透過を考慮した色の設計[8]などである。これらは、表現の範囲を拡張するものであり、本手法も同様に新しい表現を可能にする技術である。

¹ 株式会社ドワンゴ
Dwango Co. Ltd.

3. 提案構造

本手法では、遮蔽によって異方性を作る。印刷される面は、透過性を持たない拡散反射面であるため、その面が遮蔽の機能を有する。

まず、単純な構造を考える。図 1 のように二つの視点があり、色のついた突起があるとすると、A と B のそれぞれの視点から突起の根元にある注目点を見ることを想定する。突起には、A と B の方向それぞれに異なる色がついており、A からは突起に着色された赤色が見える。しかし、B 側に着色されている青色は見えない。また、B からは青色が見えるが、A 側にある赤色は見えない。つまり、注目点は視点に対して排他的に色を表示する。この例から、色付きの遮蔽面が視点間に配置されれば、排他的に色が表示されることがわかる。

次に、複数の視点がある様な一般的な状況を考える。複数の視点があるときでも、単純な例と同様に、視点の間に遮蔽面が配置されれば、排他的に色を表示できると考える。点間に面が配置されるのは、ポロノイ図と同じであるため、本手法では、ポロノイ図から遮蔽面の位置を定義する。図 2 に示すように、まず、注目点から、視線方向に一定の距離の位置に母点を置き、ポロノイ図を構成する。次に、ポロノイ面は、端点の片方が無限遠であるため、有限の面とするために、指定の距離で切り取る。ここで、球で切り取られたような複数の面 S が形成される。この面 S は厚みがなく、印刷できない。また、形成して両側に着色することができない。厚みを持たせるために、面 S を骨組みとして、それに肉付けする様に新しい面 M を作る。ここでは、式(1)の関数をポリゴン化することで、面を定義する。

$$M = \{x \mid d(x, S) = l/2\} \dots (1)$$

ただし、関数 d は、点と面との距離を返す関数とし、 l は印刷物の面 M の厚みとする。これをひとつの構造とする。

次に、構造の着色を考える。この構造は、ひとつの視線方向に独占的に露出する部分の広いが、複数の視線方向に共有して露出する部分も存在する。その条件は、視線方向の角度が 90 度以下の時、構造の中で、視線方向を共有する部分が現れる。共有する部分を考慮して、複数の視線方向の RGB の最小二乗誤差となるような色を全ての面に与える。最小二乗誤差となる色は、露出するひとつの方向もしくは複数の方向で、指定した色の RGB の平均値となる。

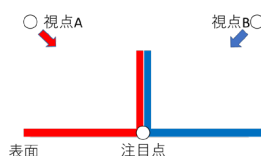


図 1 異方性を有する構造の例。

Fig. 1 Example of a structure that shows different colors.

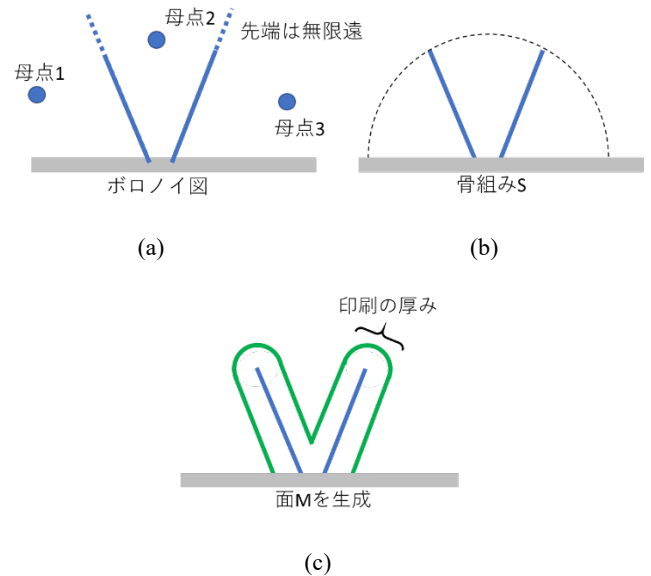


図 2 構造の面の生成法. (a) 視線から設定した母点を与えたポロノイ図の構成. (b) 指定の距離で切り抜いた骨組み. 破線は指定距離の円, 青線分は骨組み S. (c) 骨組み S から印刷のための面 M の生成. 緑線は、面 M.

Fig. 2 Procedure for generating a structure.

4. 印刷データの生成

先述の構造を、入力した 3D 形状の表面全体に敷き詰めることで、視線に応じて目的の色を表示する 3D モデルを生成する。効率的な配置のために、まず、3D 形状の表面に、構造の概略形状を敷き詰め、次に、その中心に構造を配置する。構造は球形に切り取ったため、概略形状は球とみなす。曲面上での球の最密な配置は難しいため、局所的な最密を目指す。具体的には、配置された球に接触する位置に別の球を配置していき、すべての球において接触する位置に球が置けなくなるまで、配置を続ける。これで決定した位置に構造を生成する。

3D プリンターに入力できるデータは水密メッシュであるため、メッシュの自己交差や穴が現れないように工夫する必要がある。ここでは、敷き詰めた構造と入力した形状とを和集合演算して、ひとつの水密メッシュを生成する。

5. 実験

スタンフォードバニーを指定の 3D 形状とし、図 3 に示す画像を指定の模様として入力する。方向は、方位角を 45 度ずつ変えた 8 方向と上方 1 方向の合計 9 方向とする。

出力した画像にテクスチャを貼り付けて、対応する角度でレンダリングした結果を図 4 に示す。また、印刷し、同様の角度で撮影した結果を図 5 に示す。撮影では、正面と上方から光を照射し、正面から撮影した。結果から、入力画像に近い印象の模様が現れていることがわかる。一例だが、提案した構造が異方性を持つことが示された。

6. 考察

本報告の時点では、性能の定量評価は実施しておらず、限界は不明である。また同時に、色の再現性もわかっていない。そのため、指定する視点によって、色域が変化する可能性がある。

また、見た目の印象として、付与した構造の粒が大きいいため、求めている質感を与えている。構造の加え方を改善する必要がある。

レンダリングでは全周に光源を配置したが、実際の撮影では環境が異なるため、陰影が異なる。今後は、光源に依存しないような構造の設計を目指す。

7. まとめ

本研究では、入力 of 3D 形状に構造を付与し、指定の方向から色を付けることで、視点依存で異なる模様が現れることを明らかにした。しかし、不明なところも多いため、今後も継続して調査する。



図 3 入力画像.
Fig. 3 Target images.

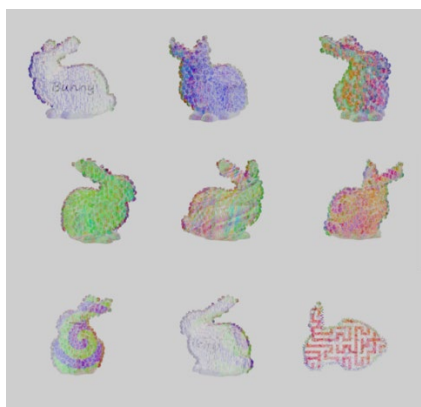


図 4 レンダリング結果.
Fig. 4 Rendered images.

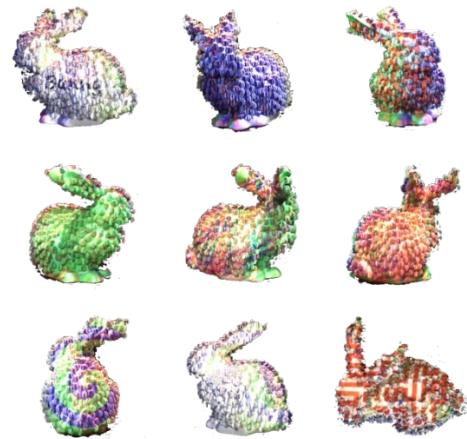


図 5 印刷物の撮影.

Fig. 5 Photographs of our print.

謝辞 本研究は JSPS 科研費 JP19K20431 の助成を受けたものです。

参考文献

- [1] Gordon Wetzstein, Douglas Lanman, Wolfgang Heidrich, and Ramesh Raskar, Layered 3D: tomographic image synthesis for attenuation-based light field and high dynamic range displays, ACM Transactions on Graphics, July 2011, 30, 4, Article 95,
- [2] Tompkin, J., Heinzle, S., Kautz, J., Matusik, W. Content-adaptive Lenticular Prints, ACM Transactions on Graphics, July 2013, 32, 4, Article 133
- [3] Petar Pjanic and Roger D. Hersch, Color changing effects with anisotropic halftone prints on metal, ACM Transactions on Graphics, October 2015, 34, 6, Article 167
- [4] Kaisei Sakurai, Yoshinori Dobashi, Kei Iwasaki, and Tomoyuki Nishita, Fabricating reflectors for displaying multiple images, ACM Transactions on Graphics, July 2018, 37, 4, Article 158
- [5] Vahid Babaei, Kiril Vidimče, Michael Foshey, Alexandre Kaspar, Piotr Didyk, and Wojciech Matusik, Color Contoning for 3D Printing, ACM Transactions on Graphics, July 2017, 36, 4, Article 124
- [6] Oskar Elek, Denis Sumin, Ran Zhang, Tim Weyrich, Karol Myszkowski, Bernd Bickel, Alexander Wilkie, and Jaroslav Krivánek, Scattering-aware texture reproduction for 3D printing, ACM Transactions on Graphics, November 2017, 36, 6, Article 241
- [7] Alan Brunton, Can Ates Arikan, Tejas Madan Tanksale, and Philipp Urban, 3D Printing Spatially Varying Color and Translucency, ACM Transactions on Graphics, July 2018, 37, 4, Article 157
- [8] Denis Sumin, Tobias Rittig, Vahid Babaei, Thomas Nindel, Alexander Wilkie, Piotr Didyk, Bernd Bickel, Jaroslav Krivánek, Karol Myszkowski, and Tim Weyrich, Geometry-Aware Scattering Compensation for 3D Printing, ACM Transactions on Graphics, July 2019, 38, 4, Article 111