

5Y-06

仮想応力分布下の光弾性体によるジェネレーティブアート

宮崎 一輝 藤代 一成
慶應義塾大学 理工学部情報工学科

1 背景と目的

偏光を考慮したレンダリングの研究は、今日までに多く存在する。そのなかで、偏光に関わる分光現象として光弾性が知られている。光弾性とは、透明で均一な組織をもつ物体に応力を与えると複屈折性を表す性質である。直線偏光を照射し、偏光子で観測することにより干渉縞が発生する。干渉縞の波長ごとの輝度を計測することで応力の情報を抽出できるという点から、応力解析手法の一つとして広く用いられてきた。CGの分野においては、応力分布のデータセットから光弾性を再現する研究 [1] が存在するが、光弾性は応力分布の可視化手段としての利用に限定されている。

本研究では、光弾性の新しい表現手法としてジェネレーティブアートを提案する。ジェネレーティブアートとは、コンピュータの自律的な計算によって生み出される芸術作品をさし、フラクタル画像や物理的な挙動などの複雑な計算を行った多くの作品が創出されている。実際、ジェネレーティブアートの研究として、色情報をもった輪郭のみを用いて画像を着色する手法 [2] など、輪郭情報を用いた画像出力の手法が存在する。本手法では、入力画像の輪郭情報から仮想的に応力を設定し、2次元光弾性理論を用いて自動的に干渉縞の画像を生成する。

2 概要

本手法の概要とそれによる画像生成例を図1に示す。本手法の処理は、入力画像の輪郭抽出と出力画素ごとの処理に大別される。出力画素の処理では、縦横の画素数が入力画像と同一の出力用画像領域を用意し、仮想応力分布の設定、主応力・主軸の計算、輝度の推定などを画素レベルで計算することにより、入力画像に沿った干渉縞を生成する。

3 方法

本手法における、それぞれの処理の内容と光弾性に関する理論を以下に述べる。

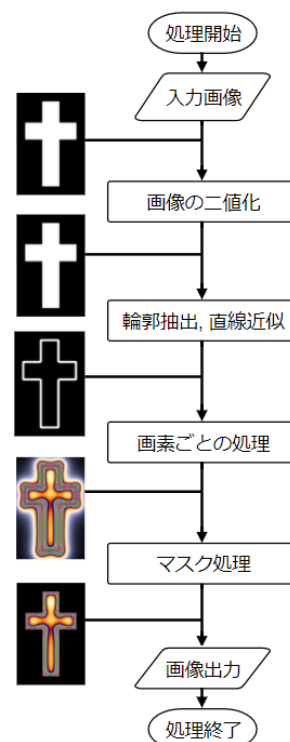


図 1: 本研究の概要とそれによる画像生成例。入力画像の輪郭情報を取得し、画素ごとの輝度を計算する。

3.1 輪郭抽出

入力画像を二値化し、輪郭を抽出したうえで、それを直線に近似する。直線の情報を定められた領域に記憶し、応力分布の設定に利用する。

3.2 仮想応力分布の設定

応力は行列として記述される物理量 (応力テンソル) を用いて微小体ごとに定義され、作用する方向によって垂直応力とせん断応力に区別される。本手法では、画素ごとに各近似直線からの距離を計算し、その情報から仮想的に応力を設定する。各応力の大きさについては、近似直線の長さを重みとした加重平均を計算し、短い近似直線の影響を抑えることで、隣接画素における応力の顕著な変化を抑制する。

3.3 主応力・主軸の計算

主応力・主軸は光弾性現象の計算に用いられる応力の情報である。主応力とは、せん断応力成分をもたないよう設定した方向における垂直応力のことであり、応力テンソ

ルの固有値として算出される。主軸は主応力の方向であり、同様に応力テンソルの固有ベクトルとして算出される。

3.4 光弾性

光弾性には、上述した応力のほかに、偏光や複屈折といった光の性質や現象が関係する。直線偏光とは、振動方向が一定平面内に限られた光のことをさす。通常の白色光では各方向に振動するさまざまな波長の光が混在しており、このような普通の光を直線偏光にする物質を偏光子と称する。複屈折とは、光がある物体に入射するとき、物体内で2つの屈折光線が現れる現象であり、透明な結晶体においてしばしばみられる。複屈折性を有する結晶体を通る光線も、ある一定の方向に対しては複屈折を起こさないで通過する。この方向をその結晶体の光軸という。結晶体には、光軸が1つのものと2つのものがあり、前者を単光軸体といい、後者を双光軸体という。ガラスなどの透明な平板に、外力を加えてこの平板内に内力を起こさせると、これらの平板は双光軸結晶と同様な性質を表す。これを光弾性とよぶ。

3.5 輝度の推定

本手法では、透明な平板 T の前後に偏光子 P_1, P_2 を配置し、それらの背後からさまざまな波長情報をもつ白色光を照射する図2のようなモデルを考える。このとき、 P_1, P_2 の振動面は互いに直交している。 T が応力を受けていないときは通常の透明体であり、 P_1, P_2 によって光は遮断され視野は暗黒である。しかし、 T が応力を受けると T は複屈折性を表し、種々の色が出現する。光波が板内に入ってから主応力 σ_1, σ_2 の2つの方向に分かれた偏光として通過が可能となる。両偏光が板を通過する際の位相差を δ とすると、以下のような関係になることが実験的に確かめられている：

$$\delta = \frac{2\pi t C}{\lambda} (\sigma_1 - \sigma_2), \quad (1)$$

ここで λ は入射光の波長、 t は平板の厚み、 C は光弾性係数を表す。実装時は t や C はそれぞれ 0.5 mm 、 $72 \times 10^{-13} \text{ cm}^2/\text{dyn}$ の一定値と仮定し、主応力のみを変化させる。また、このモデルによる輝度 I は以下の式により算出される：

$$I = A^2 \sin^2 2\phi \sin^2 \frac{\delta}{2}, \quad (2)$$

ここで A は入射光の振幅、 ϕ は入射光の向きと主軸のなす角である。

式 (1) と式 (2) からわかるように、入射光の波長によって輝度は変化する。本手法ではそれぞれの波長で輝度を推定し、波長に対応する RGB 値と算出した輝度を掛け合わせ、画素値に付加することで色の変化を実現する。波長サンプル数を 40 とし実装した。また、本手法は2次元光弾性理論を使用するため、レイトレーシングを考慮しない。

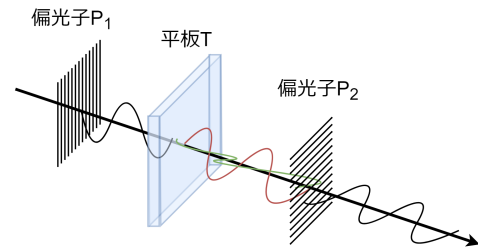
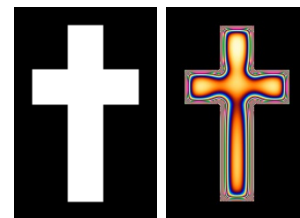


図 2: 本手法で想定するモデル。矢印の方向は入射光の進行方向を表す。

4 結果

本手法を Visual Studio 2017 上で実装した。実行環境として、CPU : intel Corei7-4770@3.40GHz, RAM : 8GB を使用した。

入力画像と本手法を用いて処理した画像を図3に示す。画像サイズは 161×241 であり、実行に 16 秒を要した。入力画像の輪郭に沿った干渉縞のデザインが生成されていることがわかる。



(a) 入力画像 (b) 出力結果

図 3: 本手法による画像生成例。

5 結論と今後の課題

本稿では光弾性現象をジェネレーティブアートに活用することにより、新しい表現手法を提案した。

今後の課題としては、応力や偏光の状態の設定などをユーザが制御できるシステムや、仮想応力分布のパターンを増やし、より多様なデザインを設計できるシステムを目指すことなどが挙げられる。また、入力として画像を用いるだけでなく、ユーザが輪郭を自由に設定し、デザインできるというインターフェースを構築することも課題として挙げられる。

参考文献

- [1] M. Bußler, T. Ertl, and F. Sadlo: "Photoelasticity Raycasting," *Computer Graphics Forum*, Vol. 34, No. 3, pp. 141–150, 2015.
- [2] A. Orzan, A. Bousseau, H. Winnemoller, P. Barla, J. Thollot, and D. Salesin: "Diffusion Curves: A Vector Representation for Smooth-shaded Images," *ACM Transactions on Graphics*, Vol. 27, No. 3, Article No. 92, 2008.
- [3] 辻 次郎, 西田 正孝, 河田 幸三: 光弾性実験法, 日刊工業新聞社, 東京都, 1955年1月。