

# 2次元平面上の光源指定によるイラスト風輪郭線表現に関する研究 Shading Approach for Artistic Stroke Thickness using 2D Light Position

江尻 傑<sup>†</sup> 森本 有紀<sup>†</sup> 高橋 時市郎<sup>‡</sup>

Takashi EJIRI<sup>†</sup> Yuki MORIMOTO<sup>†</sup> and Takahashi TOKIICHIRO<sup>‡</sup>

<sup>†</sup> 東京電機大学未来科学部 <sup>†</sup> Science and Technology for future life, Tokyo Denki University

<sup>‡</sup> UEI リサーチ <sup>‡</sup> UEI Research

E-mail: <sup>†</sup> {t-ejiri, yuki, toki}@vcl.im.dendai.ac.jp

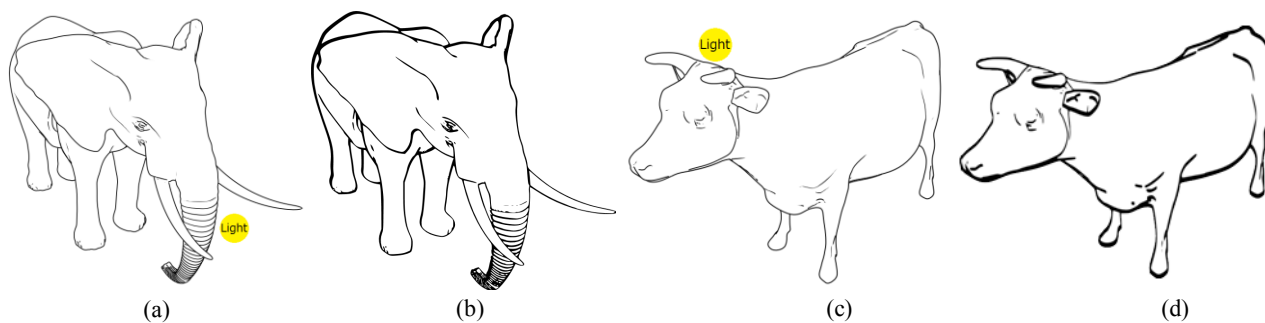


図 1: (a) 象の入力画像と光源の位置; (b) 象の出力画像; (c) 牛の入力画像と光源の位置; (d) 牛の出力画像.

## 1. まえがき

ノンフォトリアリスティックレンダリング(NPR)は油絵や水彩画など、手描きの質感を持った画像などをコンピュータグラフィックスで再現する研究分野である。NPRにおけるイラストや漫画の質感再現においては、特に輪郭線の表現が重要となる。実際の漫画やイラストでも輪郭線の太さに強弱を付けることで、輪郭や形状をより効果的に表現する。

Goodwinら[1]は、3次元モデルを用い、太さに変化のあるイラスト風の輪郭線を表現した。しかし、2次元画像のみを用いてそのような表現をする試みは行われていない。

本研究では、輪郭線画像を用いて画像平面上へ擬似的に光源を設置し、光源との距離に応じて輪郭線の太さを変化させるイラスト風輪郭線表現の手法を提案する。

## 2. 先行研究

Goodwinらは、3次元モデルの各ポリゴン頂点における法線ベクトルと視点方向へのベクトルから、太さ変化のある輪郭線描画手法を提案した[1]。輪郭頂点における深度値や曲率半径、焦点距離を結果に反映させることで、光が当たりにくい奥まった輪郭ほど輪郭線が太くなる表現を行った。

## 3. 本手法

### 3.1 インタフェース

本手法は輪郭線画像に対し、ユーザがマウスで2次

元の光源位置を指定することで、リアルタイムにイラスト風の陰付けを行う(図 1a,1c)。

### 3.2 概要

陰付けは、Goodwinらの「イラストにおける輪郭線の太さは陰となる領域の近似表現である」という前提[1]に基づき、光が当たる領域ほど輪郭線は細く、光が当たりにくい領域ほど輪郭線は太いものとする。

処理工程は、まず、太さが一定の輪郭線ビットマップ画像を入力する(図2a)。次に、入力画像を領域毎に分割する(図2b)。領域分割することで、関連性の強い輪郭線を滑らかに処理することができる。その後、分割した輪郭線毎に太さが部分的に変化する陰付けを行う(図2c)。ここでは、2次元の光源位置を考慮した太線化処理を行う。最後に太線化処理が施された輪郭線を統合することにより(図2d)、輪郭線のイラスト風表現を行う。出力画像のベクター化にはpotrace[2]を用いる。

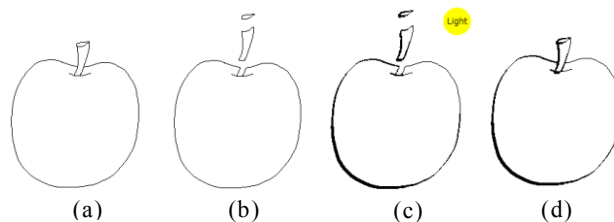


図 2: (a)入力画像; (b) 領域別の輪郭線分割; (c)光源位置を考慮した陰付け; (d) 輪郭線の統合.

### 3.3 領域別の輪郭線分割

ラベリング処理によって分けられた連続する白の

画素の集合を一つの領域とし、入力画像を領域毎に分割する(図2b).

まず、入力画像を二値化し白と黒の画素に変換する。次に、ラベリング処理によって4近傍で連続する白の画素の集合を輪郭線が囲う各領域とする。最後に、領域毎に4近傍で連続する黒の画素を、注目した領域の輪郭線として格納する。以下、格納された黒の画素を輪郭線画素と呼ぶ。

### 3.4 2次元の光源による輪郭線の陰付け

分割された輪郭線毎に光源位置を考慮した太線化処理を施す(図2c)。この処理では、光源から離れるほど光源と逆の陰方向に線が太くなる効果を実現する。

**(輪郭線と光源の距離の計算)** 全ての輪郭線画素と光源との距離を計算する。これはユーザが光源位置を変更する度に計算する。黒の画素のXY座標を $X_i Y_i$ 、光源のXY座標を $L_x L_y$ とする。このとき $i = 0, 1 \dots n$ 、 $n$ は輪郭線画素数である。光源と輪郭線画素の距離 $D_i$ は以下の式で表される。

$$D_i = \sqrt{(L_x - X_i)^2 + (L_y - Y_i)^2}$$

**(陰方向の計算)** 各輪郭線画素の陰方向を計算する。まず、着目した輪郭線画素からの光源の方向を正弦関数の逆関数によって求める。輪郭線の画素と光源の角度 $\theta$ は以下の式によって求める。

$$\theta = \tan^{-1} \left( \frac{L_y - Y_i}{L_x - X_i} \right)$$

次に、この方向を画素の周囲8方向で近似する(図3)。最後に、着目画素から見て、計算した角度と逆方向を陰方向とする。陰方向が太線化を行う方向となる。

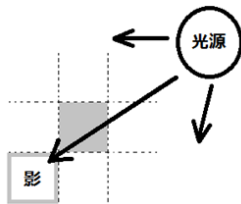


図3: 光源と逆方向の画素

**(太線幅の計算)** 各輪郭線画素において、太線化する幅 $W_i$ (単位:ピクセル)を光源との距離 $D_i$ を考慮して求める。予めユーザは線幅の最大値 $W_{max}$ を指定する。また、各領域において、輪郭線画素の中で光源との距離 $D_i$ が最大値を $D_{max}$ とし、 $W_i$ は次式で計算する。

$$W_i = \frac{D_i W_{max}}{D_{max}}$$

各輪郭線画素において、計算した線幅 $W_i$ ずつ太線化方向に線幅を拡張する。これによって、線の太さが滑らかに変化する輪郭線を出力することができる。図4に $W_{max} = 2$ 、 $D_{max} = 40$ としたときの線幅の拡張の例を示す。

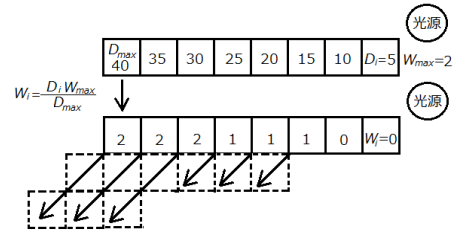


図4: 線幅の拡張の例

## 4 結果と主観評価実験

本手法およびGoodwinらの手法の比較を図4に示す。象の画像は光源を右下に設置し、線幅の最大値は4を指定した。牛の画像は光源を左上に設置し、線幅の最大値 $W_{max}$ は3とした。

本手法とGoodwinらの手法の結果画像の比較のため、アンケートによる主観評価実験を行った。被験者は情報分野の大学生12名である。アンケート内容は、象と牛のイラストそれぞれにおいて、Goodwinら[1]の手法による結果画像と本手法による結果画像を左右に並べて示し、どちらの結果画像により魅力を感じるか選んでもらった。その際、どちらが本手法による適用結果なのかは被験者には伏せた。アンケートに用いた画像を図5に、アンケート結果を表1にそれぞれ示す。

象の画像は、Goodwinらと我々の手法の適用結果は同数の評価を受けた。また、牛の画像は12名中10名の被験者がGoodwinらの結果を評価した。被験者のコメントから、輪郭線の強弱にメリハリがついているか、細かい線が潰れていないか、といった点が、被験者共通の判断基準であることが分かった。本手法はGoodwinらの手法と比べて、光源に奥行き情報が無いため太線化の結果に差が出てしまったことが将来課題として挙げられる。

しかしながら2Dの輪郭線画像に対し、本手法は先行研究と同等の評価を得ることができていることがわかった。

## 5 むすび

2次元の輪郭線画像に対しイラスト風輪郭線表現を実現した。本手法では平面上に光源を指定し、光源との距離を元に線幅変化のある輪郭線を表現することができる。主観評価実験では、本手法は3次元シーンに対するイラスト風表現研究と同等の評価を得られることがわかった。

今後の発展として、より魅力的な結果画像のために細かな線の特徴を太線化処理で潰れないようにすることや、Z軸座標の指定により光源に奥行き情報を与えることが考えられる。

## 文 献

- [1] T. Goodwin, I. Vollick, and A. Hertwmann, Isophote Distance: A Shading Approach to Artistic Stroke Thickness. In Proc. Of NPAR, pp.53-62, 2007.
- [2] Potrace, <http://potrace.sourceforge.net>.

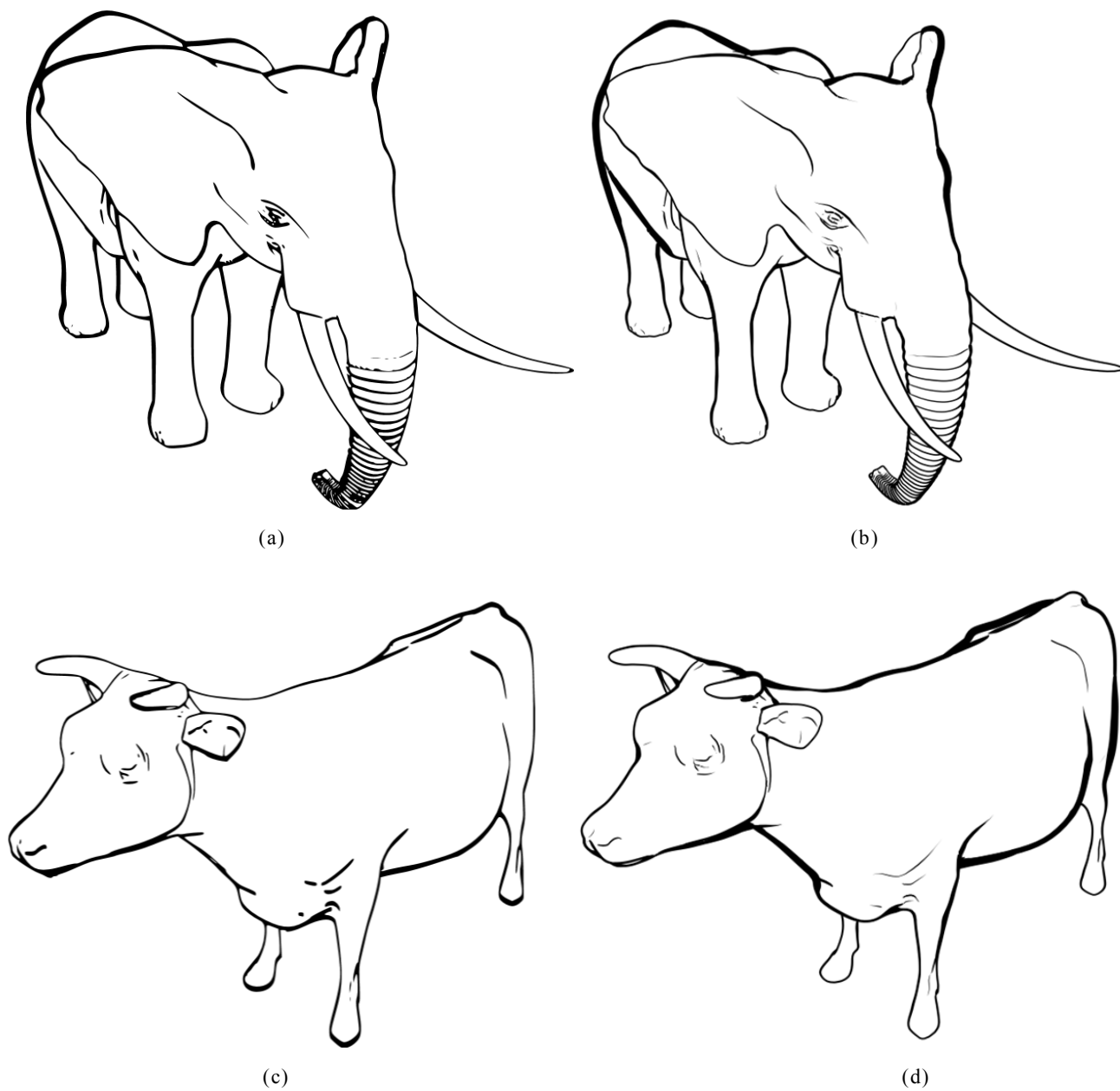


図 5: (a)本手法の処理結果(象);(b)Goodwin らの処理結果(象);(c)本手法の処理結果(牛);(d)Goodwin らの処理結果(牛).

表 1: アンケート結果

	象の画像	牛の画像
本手法の結果に魅力を感じた	6人	2人
Goodwinらの結果に魅力を感じた	6人	10人
魅力に差は感じなかった	0人	0人