

匠深 -TAKUMI- : 深度情報に基づく実時間 NPR システム

若 間 弘 典[†] 片 寄 晴 弘[†]

本稿はカメラから得られた実画像に対して遠近感や立体感を残したノンフォトリアリスティックレンダリング (NPR) をリアルタイムで実施するシステム「匠深-TAKUMI-」を提案する。これまで静止画に対して多くの NPR システムが提案されてきたが、画面全体に対し一様な輪郭線抽出やトーンの単純化を実施するため、遠近感や立体感が損なわれるという課題があった。そこで、本研究では実画像と対応した現実環境の深度情報を用いることでこの問題の解決を図る。アニメ画における輪郭線の遠近の描き分けに深度情報に基づく平滑化フィルタを用い、トーンの単純化行程における適切な平滑化に被写体の法線情報に基づいた平滑化フィルタを利用する。実画像と深度情報の取得には Kinect を利用し、GPU を利用することでフレームレート 30fps でのシステムの動作を確認している。本システムの利用により、実動画像からのアニメ生成等やエンタテインメントへの応用が期待される。

TAKUMI : Renderer for Animated Cartoon with Depth Map

HIRONORI WAKAMA[†] and HARUHIRO KATAYOSE[†]

This paper proposes a new non-photorealistic rendering method using a depth map, and introduces a real-time cartoon-like video converter called TAKUMI, based on the proposed method. here have been proposed many systems that convert an given image into non-photorealistic one. Images that these conventional methods renders lack in perspective, due to processing equally applied to the whole image. We propose a method that solve using a depth map. The proposed method generates cartoon-like jump edges based on depth information, and adjusts the tone color of region of the same plane considering the values of normal lines. TAKUMI, implemented the proposed method using Kinect, works at the frame rates or 30fps. We expect TAKUMI to be used in the fields of entertainment and content production.

1. はじめに

カメラから得られた実画像や CG を用いて作成された写実的な画像を非写実的な画像に変換する技術はノンフォトリアリスティックレンダリング (以下 NPR と記述) と呼ばれている。NPR は従来人の手で行われてきた絵画的表現を半自動化することが出来るため、様々な分野でその技術応用が期待されている。

これまでに水彩画や鉛筆画、イラスト画等といった描画スタイルをモデル化する多くの手法が提案されてきた。例えば、茅ら¹⁾ は実画像のベクトル場とホワイトノイズを組み合わせることで鉛筆画を作成する手法を提案している。また、浦浜ら²⁾ は実画像の自己商画像を用いることでイラスト画に適した輪郭線の抽出を行う手法を提案している。

また NPR を効果的に用いている研究として Fischer ら³⁾ の研究がある。彼らは拡張現実と呼ばれる

現実環境に仮想環境を重ねる技術に関する研究の中で、二つの環境の違和感を減らすために NPR を用いて実画像をアニメ画にするシステムを考案している。ここでいうアニメ画とは輪郭や境界線をはっきりとした線で描き、色や影のグラデーションを単純化させ段階的に表現している画を指す。しかし、茅ら、浦浜らの先行研究で生成された画像は、それぞれの描画スタイルを上手く表現できていたが遠近感に乏しいものであった。また、Fischer らのシステムでは、実画像をアニメ画にする際に同色の異なる被写体が近接している時に色が混ざり合ってしまう問題を抱えていた。筆者らは、これら二つの問題は実画像と対応した深度情報を用いることで解決し、さらに、Kinect を利用することで実時間で映像から NPR 表現を生成する「匠深-TAKUMI-」を提案する。以下、アニメ表現に必要な要素とそれらを再現するアルゴリズムを簡単に紹介し、提案手法ならびに実験結果を述べ、続いて課題について議論する。

[†] 関西学院大学 理工学研究科

School of Science and Technology, Kwansei Gakuin University

2. 提案手法の概略

2.1 アニメ表現に必要な要素

アニメ表現における特徴的な要素として輪郭や境界線をはっきりとした線で描き、色や影のグラデーションを単純化させて段階的に表現している点が挙げられる。アニメ画には視覚的な綺麗さと製作現場での作業効率を両立する必要があるためこのような表現技法となっていると考えられる。実画像からアニメ画を作成するにはこれらの要素の再現が不可欠である。

2.2 NPR におけるアニメ画の生成手法と課題

はっきりとした輪郭線を生成するための研究として、先述の浦浜らの自己商画像を用いた輪郭線抽出法がある。自己商画像とは入力となる実画像の画素値を、それを平滑化した画像の画素値で割ることで得られる画像のことである。自己商画像に対して閾値処理を用いて2値化を行うことでアニメ画に適した輪郭線を得ることができる。しかし、彼らの提案手法では被写体までの距離に関わらず画面全体に一律な処理を行うため、出力結果の遠近感が過度に失われてしまうという問題がある。アニメ画の輪郭線に用いられる遠近の描き分け表現として、距離に応じた輪郭線の詳細さの変化と濃淡の変化がある。一般に遠くの被写体ほど輪郭線が省略され、薄く描かれるようになる。これは大気遠近法と呼ばれる絵画技法を簡略化したものであり、輪郭線に遠近感を持たせるためにはこの二つの再現が重要であると考えられる。

アニメ画の段階的なトーン変化を実現するために従来様々な手法が提案されてきたが、多くの場合バイラテラルフィルタ (以下 BF と記述) が用いられてきた。BF は平滑化フィルタの一種であり、平滑化の際に輝度の変化量を考慮に入れた重み付けを行うことが出来るため、エッジを保持したままトーンを単純化する必要があるアニメ表現に適したフィルタである。しかし、BF は色変化の少ない被写体に対して、一つの面で被写体が構成されているかのような立体感の希薄な塗り分けになってしまう問題を抱えている。

2.3 本研究のアプローチ

本研究では、現実環境の深度情報を用いることで、カメラから得られた実画像に対して従来手法では失われがちな遠近感や立体感を残したアニメ表現を行うレンダリングシステムを開発する。本システムの処理概要を図1に示す。アニメ画におけるエッジの遠近の描き分けを深度情報に基づく適応的平滑化フィルタを用いて再現する。また、トーンの単純化に関しては従来研究における BF の過度な平滑化を抑制するため、深

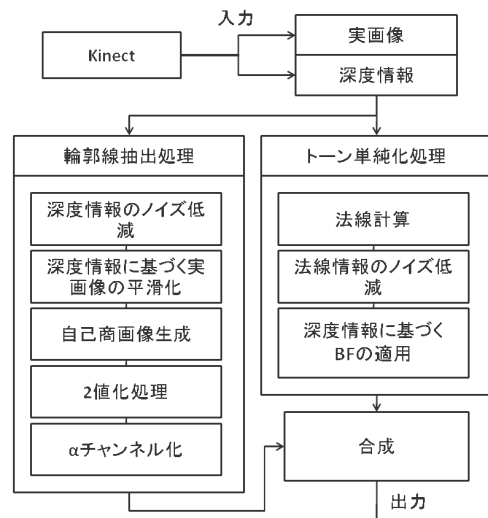


図1 本システムの処理概要



図2 Kinect から得られた深度情報

度情報から被写体表面の法線を計算し、その法線情報に基づいた重みを加えることで問題の解決を図る。深度情報を得るデバイスとして Kinect を用い、処理の大半を GPU 内で実装を行うことで、NPR 画像を実時間で生成することができる。本システムを用いることで従来手法より優れた NPR 表現を実時間で行うことが出来る。

3. 遠近感を残したアニメ画の輪郭線表現

本章では遠近感を残した輪郭線表現を行うための輪郭線抽出法とその実装について述べる。まずはじめに深度情報に含まれる計測誤差の低減処理を行い、次にその深度情報に基づいた平滑化フィルタを用いて輪郭線を抽出する。なお、本研究における目標の一つであるリアルタイムでの動作を実現するため、本手法は全て GPU 内で実装を行っている。以下に具体的な処理手順を示す。

3.1 深度情報のノイズ除去

Kinect から得られた深度情報を伸長表示したものを図 2 に示す．この図から分かるように深度情報には計測誤差が多く含まれている．このまま輪郭線の生成に用いると同一被写体内で輪郭線表現が異なる箇所が出てくる可能性がある．そこで，まず深度情報の平滑化を行う．本研究では被写体のエッジを残したままノイズを除去するという目的に対し，BF を用いた平滑化を実施する．

3.2 深度情報に基づく輪郭線生成

アニメ画の輪郭線に遠近感を伴わせるためには，距離に応じて詳細さと濃淡を変化させる必要がある．そこで，遠くの被写体であるほど輪郭線を少なく薄く描画する．最初に細部の描き込みを変化させる手法について述べる．浦浜らの提案手法である自己商画像を用いた輪郭抽出法は，実画像の画素の値を平滑化を行った画像の画素の値で割り，画素値の変化の激しいエッジ部の値を大きくすることで輪郭線の抽出を行っている．そこで，実画像に対して先に深度値を重み係数として掛け合わせた平滑化処理を行い，遠くの被写体であるほど詳細な輪郭線が抽出されないようにする．その後，浦浜らの提案手法を用いて輪郭抽出を行う．次に距離に応じた輪郭線の濃淡の違いを再現する手法について述べる．これは深度情報を透過度を示す α チャンネルとして用いることで，遠くに存在する被写体の輪郭線は薄く，近くに存在する被写体の輪郭線は濃く描くことができる．

4. 立体感を残したアニメ画の色表現

本章では立体感を残した色表現を行うための平滑化フィルタとその実装方法について述べる．まずはじめに現実環境の深度情報から被写体の法線を求め，次に画像に対してその法線情報に基づいた平滑化を施す．リアルタイム性を維持するため，本処理についても前章と同様，GPU で動作する処理として実装されている．以下に具体的な処理手順を示す．

4.1 被写体表面の法線計算

深度カメラから得られた深度情報を基に法線の計算を行う．射影変換のモデルとして正射影を用いた場合，現実環境の視体積の X, Y, Z 軸はそれぞれ実画像の X, Y 軸と深度値に対応付けることができる．この時，ある注目画素の法線方向は注目画素と近傍 2 画素の 3 次元座標から外積を用いることで求められる．本研究では，ノイズの影響を小さくするため近傍 8 画素を用いて法線の計算を行っている．

以上により計算された法線には計測誤差が含まれ

る．これを解消するため，以下の式による平滑化を実施する．

$$\vec{h}(x, y) = \frac{\sum \sum \vec{v}_2 w_1(x, y) w_2(\vec{v}_1, \vec{v}_2)}{\sum \sum w_1(x, y) w_2(\vec{v}_1, \vec{v}_2)} \quad (1)$$

$$w_1(x, y) = \exp\left(-\frac{(x^2 + y^2)}{2\sigma_1^2}\right) \quad (2)$$

$$w_2(\vec{v}_1, \vec{v}_2) = \exp\left(-\frac{(\vec{v}_1 \cdot \vec{v}_2)}{2\sigma_2^2}\right) \quad (3)$$

ここで， v_1 は注目画素の法線ベクトル， v_2 は参照画素の法線ベクトルである．この式により，法線の向きが近い画素間では大きい重みが与えられ，その逆では，小さな重みが与えられる．この式を用いて法線の平滑化を行なった様子を図 3 に示す．法線の向きが揃えられているにもかかわらず，その向きが大きく変化する被写体のエッジ部において変化が抑えられていることがわかる

4.2 法線情報を用いた平滑化フィルタ

BF に対して，注目画素と参照画素間での法線の向きが大きく異なれば平滑化時の重みが小さくなるよう項を追加する．以下に用いた式を示す．

$$h(x, y) = \frac{\sum \sum d_2 w(x, y, d_1, d_2, \vec{v}_1, \vec{v}_2)}{\sum \sum w(x, y, d_1, d_2, \vec{v}_1, \vec{v}_2)} \quad (4)$$

$$w = w_1(x, y) w_2(d_1, d_2) w_3(\vec{v}_1, \vec{v}_2) \quad (5)$$

$$w_1(x, y) = \exp\left(-\frac{(x^2 + y^2)}{2\sigma_1^2}\right) \quad (6)$$

$$w_2(x, y) = \exp\left(-\frac{(d_1 - d_2)^2}{2\sigma_2^2}\right) \quad (7)$$

$$w_3(\vec{v}_1, \vec{v}_2) = \exp\left(-\frac{(\vec{v}_1 \cdot \vec{v}_2)}{2\sigma_3^2}\right) \quad (8)$$

v_1 は注目画素の法線ベクトル， v_2 は参照画素の法線ベクトル， σ_3 はそれら二つの法線の成す角度の分散であり，その他の値は BF と同様である．BF では注目画素と参照画素の輝度値の差のみを考慮に入れていたため，異なる被写体であっても輝度値が近ければ同一領域として扱われてしまう問題点があった．しかし，法線の向きを重みとして組み込んだこの式を用いた場合，輝度値が近い場合においても法線の向きが異なれば平滑化を抑え，エッジとして保持することができる．

5. 実 施 例

本研究で提案したシステムがリアルタイムで動作していることを述べ，その効果をスナップショットを用いて検証する．

本検証で用いたハードウェア構成は Intel CPU Corei7 2.93Ghz，メモリ 3GB，GPU は Nvidia QuadroCX である．上記の構成で本手法を用いたシ



図 3 入力画像

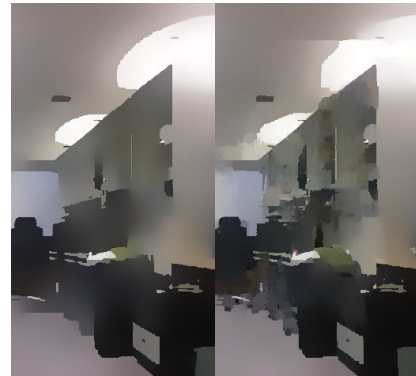


図 5 色表現手法の比較

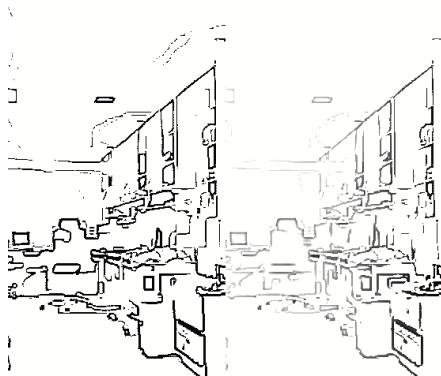


図 4 輪郭線抽出手法の比較

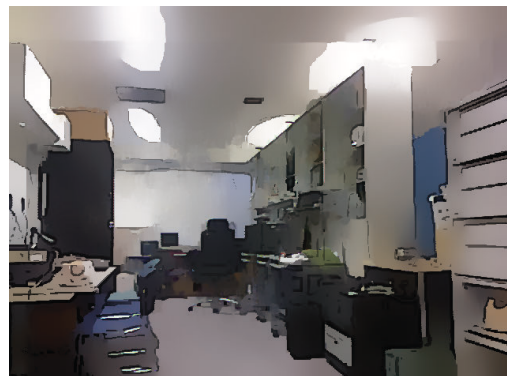


図 6 出力結果

システムはフレームレート 30fps で動作することを確認した。以下に図 3 を入力画像として用いた結果を示す。

図 4 はアニメ画の輪郭線抽出手法の比較である。図 4 左の従来手法を用いた画像では被写体までの距離によらず画像全体に一樣な輪郭線が現れており、変化に乏しく遠近感をあまり感じさせない結果となっている。図 4 右の提案手法を用いた画像では、被写体までの距離に応じて輪郭線の密度と濃淡に変化があり、従来手法に比べ遠近感を感じさせる結果が得られている。濃淡の変化が遠近感の獲得に特に大きな影響を与えていると思われる。図 5 はアニメ画におけるトーンの単純化手法の比較である。図 5 左の従来手法を用いた画像では、本棚の異なる面が平滑化によって繋がってしまっており、立体感に欠ける結果となっている。図 5 右の法線情報を重みに加えた提案手法では、エッジ部分が消失せず立体感のある結果が得られている。このことは面における法線の向きの異なりによって平滑化が抑制されることを示しており、本研究の提案手法が正しく機能していることがわかる。なお、これらの出力を合成した最終結果を図 6 に示す。

6. ま と め

本研究では NPR 表現における従来のアニメ画生成手法に対して、深度情報を用いることで遠近感や立体感を付加することが可能であることを示した。深度情報を用いた輪郭線の抽出手法と深度情報から得られた法線情報に基づくトーンの単純化手法が有用であることを確認した。本手法は極めて汎用性が高く他の絵画モデルを用いた手法に対しても応用可能である。今後は鉛筆画や水彩画、油彩画等の表現技法において遠近感や立体感を獲得する手法を模索していきたい。

参 考 文 献

- 1) 茅 暁陽, 長坂 好恭, 山本 茂文, 今宮 淳美: LIC 法を利用した鉛筆画の自動生成, 芸術科学会論文誌, Vol. 1, No. 3, pp.147-159, 2002.
- 2) 景, 井上, 浦浜: 自己商画像の非等方平滑化に基づくイラスト風画像の生成, 電子情報通信学会論文誌, J89-A, 5, pp.385-386, 2006.
- 3) Jan Fischer, Dirk Bartz: Real-time cartoon-like stylization of AR video stream on the GPU. Technical Report WSI-2005-18, Wilhelm Schickard Institute, 2005