

ペイント画からの強調効果の抽出法

佐藤 倫也[†] 土橋 宜典[†] 山本 強[†]
高尾 克己^{††} 安生 健一^{†††}

Non-photorealistic Rendering(NPR)のセルアニメーションへの応用が盛ん行われている。その際、画家により描かれた2次元画像から3次元データを構築し、3DCG技術とNPR技術を適用する。このとき、画家の絵には、観察者に対して特定の領域に注意を集めるための強調表現がしばしば用いられる。すなわち、強調したい領域を周囲よりも明るく描画する。本論文では、画家により描かれた2次元画像から、前記の強調効果を3次元情報として抽出する手法を提案する。これにより、画家が描いた視点位置とは異なる位置から見た場合でも同様の強調効果を得ることが可能となり、アニメーションの作成において非常に有用である。

A Extraction Method of Accentuation Effects from a Painted Image

TOMOYA SATO,[†] YOSHINORI DOBASHI,[†] TSUYOSHI YAMAMOTO,[†]
KATSUMI TAKAO^{††} and KEN ANJYO^{†††}

In the cel animation workplace, non-photorealistic rendering (NPR) techniques are often applied to a 3D scene model, which is constructed by referring to the 2D hand-drawn images of the scene. There exist a lot of scene features that must be modeled from the 2D information. The accentuation effects are amongst the most important features in a hand-drawn scene. In this context, accentuation refers to adding hand-drawn shading of the scene. The specific region that an artist wishes the viewer to observe is drawn brighter than the other regions. In this paper, a method is proposed for the extraction of the accentuation effects from a single 2D painted image of an animated scene. This method enables the automatic addition of the accentuation effects to each frame of the animation, observed from other viewpoints.

1. はじめに

コンピュータグラフィックス(CG)において、Non-Photorealistic Rendering(NPR)と呼ばれる画家が描くような絵画を計算機によって自動生成するための研究に注目が集まっており、多くの手法が開発されている。NPR技術と3DCG技術を組み合わせることにより、3次的に視点位置などが変化するアニメーションを作成することが可能のため、アニメーション作成への応用が盛んに行われている。一般に、3DCGをセルアニメーションなどの製作において利用する場合、まず、画家により数枚の美術画(2次元画像)を作成し、これを元に3次元形状を作成する。そして、3DCGおよびNPR技術を利用して視点などが変化するアニメーションを作成する。このとき、画家の描く絵画には、観察者の意識を特定の対象や領域に集めるための表現、すなわち、“強調効果”が用いられる。これは、強調したい領域を周囲よりも明るく描画することで、観察者の注意を引きつける表現手法である。

図1は強調効果の例である。図1(a)は強調効果を施



(a) 強調前の画像 (b) 強調効果を施した画像
図1 強調効果の例

していない画像であり、図1(b)は画家により図1(a)に対して強調効果を施した画像である。強調効果により、特定の領域に観察者の意識を引きつけるような効果を実現されている。強調効果により観察者の意識を製作者の伝えたい情報に集中させることができ、重要な役割を果たす。しかし、アニメーションの製作現場においては、画家により与えられる美術画を元に、各カットやシーンでの強調処理を人手によって付け加えず、煩雑な作業が必要となっている。また、従来、このような強調効果のための手法は開発されておらず、新たな手法の開発が望まれている。

そこで、本論文では、画家により描かれた2次元画像を元に、上述の強調効果を3次元情報として抽出する手法を提案する。提案手法では、2次元画像に対応する3次元形状データは得られていると仮定する。そ

[†] 北海道大学, Hokkaido University

^{††} スタジオジャック, Studio Jack Inc.

^{†††} オー・エル・エム・デジタル, OLM Digital Inc.

して、これらの情報を入力データとして、入力データから計算可能な要素について、データベースを作成する。次に、作成されたデータベースからデータマイニングの考え方を利用して、画家が強調処理を施す際の法則を抽出する。データマイニングとは、種々の統計解析手法を用いて大量のデータを分析し、隠れた関係性や意味を見つけ出す知識発見の手法である。本論文では、与えられた入力データに隠された、画家の意図した強調処理の法則を発見することに利用する。画家の意図する強調処理の法則が発見できれば、画家が描いた視点位置とは異なる位置から見た場合でも同様の強調効果を得ることが可能となる。これにより、アニメーション制作において、各フレームでの強調処理を自動的に行うことが可能となり、大幅な作業量の削減が実現できる。また、提案手法ではグラフィックスハードウェアの機能を利用することで、インタラクティブなシステムを構築する。

2. 関連研究

3DCG や NPR 技術をアニメーションに応用する研究は多く行われている。Meier は、3次元物体から、ペイント画風アニメーションを作成する手法を提案した¹⁾。Corrêa らは、2D キャラクタへのテクスチャマッピング法を開発した²⁾。また、Petrovic らはセルアニメーションのための影の表示手法を開発した³⁾。Johnston は 3次元物体が手で描いたように見えるようなライティング手法を開発した⁴⁾。Kalnins らは 3次元物体から NPR 画像を生成する WYSIWYG なシステムを提案した⁵⁾。しかし、これらの手法では強調処理は考慮されていない。DeCarlo らは、注目させたい領域を詳細に描画し、それ以外の領域は抽象化した描画を行うことで、強調処理を行っている⁶⁾。しかし、この方法は写真が対象であり、アニメーションへの応用は難しい。Barzel は光源の配光特性や光源による陰影の有無などをコントロールすることで陰影付けによる強調処理を可能にしている⁷⁾。しかし、配光特性の種類は限定されているため、必ずしも画家の意図する陰影付けを行えるとは限らない。加えて、多くの試行錯誤が必要である。提案手法では、ユーザが制御すべきパラメータは非常に少なく、処理もインタラクティブに行うことが可能であるため、試行錯誤にかかる時間は極めて短い。

一方、写実的画像生成のための手法では、本研究と関連する手法は開発されている。Schoneman らや Kawai らは室内照明設計を目的とした強調処理を提案している⁸⁾⁹⁾。これらの手法では、強調処理を、与えられた輝度分布を満たす光源パラメータ(位置、配光特性など)を算出する逆問題として考え、この逆問題の解法を提案している。Yu らや Ramamoorthi らは写真から光源情報を抽出するイメージベースの手法を提案した¹²⁾¹³⁾¹⁴⁾。これらの手法は物理ベースの光源モデルを利用している。しかし、画家の描く絵は物理的に正しい必要はなく、むしろ物理ベースの光源モデルでは、画家の意図を反映した強調処理を行うには、

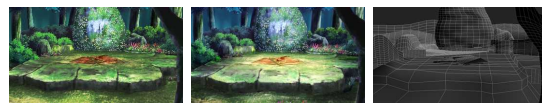
制限が非常に多い。提案手法では制約は少なく、また、できる限り画家の意図を反映することができる。

3. 提案手法の基本的な考え方

提案手法の基本的な考え方を以下に示す。提案手法では、強調処理前後それぞれの 2次元画像およびその 2次元画像に対応する 3次元データが与えられていると仮定する。すなわち、提案手法では、各画素 p_i に関する以下のデータを入力情報とする(図 2)。

- 強調処理前の輝度値: $I_{ori}(p_i)$
- 強調処理後の輝度値: $I_{acc}(p_i)$
- 画素 p_i に対応する 3次元座標: P_i

これらのデータをもとに強調効果を 3次元情報として抽出する。以下、抽出法について具体的に述べる。



(a) 強調前の画像 (b) 強調後の画像 (c) 3次元データ
図 2 入力データ

まず、前処理として、入力データをもとにして、強調効果を再現するための情報を抽出する。以下、詳しく説明する。陰影による強調では、一般に、特定の領域を中心にスポットライトで照射したような描画がなされることが多い。そこで、ユーザは強調処理の中心となっていると思われる画素 q を指定し、対応する 3次元座標 Q を取得する。そして、点 Q から入力画像の各画素 p_i に対応する点 P_i との距離、内積、可視性といった、入力データから計算可能な要素についてのデータベースを作成する。このとき、グラフィックスハードウェアの機能を利用することで高速に処理を行う。また、強調処理前の画像と強調処理後の画像の輝度値の差分についても計算し、データベースに追加する。そして、データマイニングの考え方を利用して、このデータベースから画家が施した強調処理の法則を求める。すなわち、データマイニングの手法の 1つであるクラスタリングを利用する。クラスタリングによりデータベースを分析することで、強調処理前後の輝度差と点 P_i からの距離、内積、可視性との関係を引き出す。

以上の前処理で得られた法則が、抽出された強調効果の 3次元情報を表している。すなわち、一度前処理でこの情報が得られれば、視点位置を変更した場合でも同様の強調処理を自動的に付加することができる。提案手法では、視点を変更した画像の生成はインタラクティブに行うことができ、アニメーションの作成に有用である。以下、データベースの作成、データベースから強調処理の法則を求める方法について詳細を述べた後、インタラクティブなシステムの概要を述べる。

4. データベースの作成

4.1 データベースの要素の計算

本節では、データベースの作成について述べる。まず、入力データとして、強調処理前後の画像の各画素 p_i における輝度値 $I_{ori}(p_i)$, $I_{acc}(p_i)$ と、それに対応する 3次元座標 P_i が与えられている (図 2)。一般に、強調処理では、特定の領域を中心としていることが多い。そこで、ユーザは強調効果の中心となっていると思われる画素 q を指定する。ここで、逆透視変換により q に対応する 3次元座標 Q が得られる。提案手法では、これらのデータを用いて、計算可能な要素についてのデータベースを作成する。本論文では距離、内積、可視性、輝度値の差分を計算する。これは、例えば図 2(b) でもわかるように、一般に、画家は中心からの距離に応じて明暗を付けている、同じ距離でも面の向きによって明暗が異なる、不可視な領域は暗く描画されている、と思われるためである。まず、距離、内積および輝度値の差分は、画像の各画素 p_i について次式により計算する。

$$r_{p_i} = |P_i - Q| \quad (1)$$

$$\cos \theta_{p_i} = \frac{(P_i - Q) \cdot n_{p_i}}{|P_i - Q| \cdot |n_{p_i}|} \quad (2)$$

$$dI(p_i) = I_{acc}(p_i) - I_{ori}(p_i) \quad (3)$$

ここで、 r_{p_i} は点 Q から点 P_i までの距離、 $\cos \theta_{p_i}$ は点 P_i から点 Q へ向かうベクトルと点 P_i における法線ベクトルとの内積を表す (図 3)。また、 dI の計算

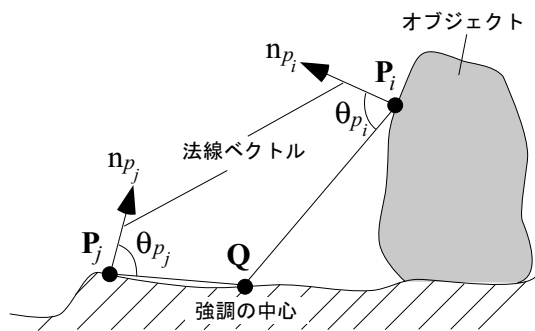


図 3 距離および内積の計算

は RGB 成分で独立に行われる。すなわち、式 (3) は、 $dI_R(p_i)$, $dI_G(p_i)$, $dI_B(p_i)$ の 3つの式に分かれる。各パラメータの数は入力画像の総画素数 N である。

次に、点 Q から点 P_i が見えるかどうかの可視性 v_{p_i} について述べる。可視性 v_{p_i} は、一般には、見えるなら 1、見えなければ 0 と 2 値で表される。しかし、提案手法では 2 値ではなく、0 ~ 1 の連続値として扱う。以下に詳細を述べる。

4.2 可視性の連続値への拡張

本論文では、画家の意図する強調効果の抽出が目的である。一般に、画家は強調したい領域を明るく描画し、そこから見えない領域は暗く描画する。このとき、

画家は、見えない領域を急激に暗くするのではなく、徐々に暗くなるように描画することが多い。そのため、提案手法では、可視性を 0 か 1 の 2 値ではなく、0 ~ 1 の連続値へ拡張する。

前述したように、ユーザにより強調効果の中心と思われる点 Q が指定される。可視性が 2 値の場合、この点 Q から入力画像の各画素 p_i に対応する点 P_i が見えるかどうか判定すればよい。これに対して、提案手法では、ユーザの指定した点 Q を中心とし、指定した半径 rad の球を配置する。そして、球の可視な領域を計算することで可視性を 0 ~ 1 に拡張する。この球の内部に n_s 個の点を発生させ、各点から画像の各画素 p_i に対応する点 P_i が可視かどうかを計算する。すなわち、 n_s 個の点のうち n_v 個の点から点 P_i が可視であれば、可視性 v_p は以下の式で計算される。

$$v_{p_i} = n_v / n_s \quad (4)$$

これにより、可視性 v_{p_i} は連続値として扱うことができ、画家の意図する強調効果を実現するのに有用となる。しかし、インタラクティブなシステムを構築するには、可視性の計算速度が問題となる。一般に、可視性の計算は、点と点を結んだ線分と交差する物体があるかどうかを調べることで行う。しかし、この計算には膨大な時間を必要とする。そこで、提案手法では、シャドウマッピング法¹⁰⁾を用いることで、可視性を高速に計算する。シャドウマッピング法は、グラフィックスハードウェアを利用できるため、高速に影を計算することができる¹¹⁾。提案手法では、ユーザが指定した強調効果の中心点 Q を、影を落とす元となる光源と仮定して、シャドウマッピング法を適用する。シーン中の物体を白で描画し、シャドウマッピング法を適用すると、影となる画素は黒で描画される。すなわち、画素が白であれば可視、黒であれば不可視と判定する。

5. 強調効果の抽出

本節では、前節で作成したデータベースから、強調処理を抽出する手法について述べる。提案手法では、データマイニングの考え方を利用する。例えば、「ある点から一定の距離 r 付近の点は、常に明るさが $I(r)$ となるように強調されている」、などといった法則が発見できれば、ユーザにより指定される強調効果の中心点 Q からの距離を計算することで、強調効果を実現できる。

提案手法では、データマイニングの手法の 1 つである、K-means 法によるクラスタリングを用いて、画家の意図した強調効果を抽出する。すなわち、前節で作成した画像の各画素 p_i に関するデータを、総画素数 N 個の 6 次元のデータベース (r_{p_i} , $\cos \theta_{p_i}$, v_{p_i} , $dI_R(p_i)$, $dI_G(p_i)$, $dI_B(p_i)$) として用いる。そして、クラスタリングによりデータベースを分析することで、データベースに隠された、画家の意図した強調効果の法則を抽出する。以下、K-means 法について簡単に説明する。

5.1 K-means 法によるクラスタリング

K-means 法は最も一般的なクラスタリング手法であ

り、アルゴリズムが簡易であるため、実装も容易である。K-means 法の処理の流れは以下のとおりである。

1. 全てのデータからランダムに k 個のデータを選び、クラスタの中心 (初期シード) とする。
2. 全てのデータを、クラスタの中心との距離を計算し、いずれかのクラスタに割り当てる。
3. 各クラスタにおいて、データの平均を求め、これを新たなクラスタの中心とする。
4. クラスタ中心の位置がほぼ定まり、収束条件を満たすまで 2., 3. の処理を繰り返す。

提案手法では、総画素数 N 個の 6 次元データに対して上記の処理を行い、 k 個のクラスタを求める。なお、データ i とデータ j の距離の計算は次式のとおりである。

$$d(i, j) = (r_{p_i} - r_{p_j})^2 + (\cos \theta_{p_i} - \cos \theta_{p_j})^2 + (v_{p_i} - v_{p_j})^2 + \sum_{c=R, G, B} (dI_c(p_i) - dI_c(p_j))^2$$

以上により生成された各クラスタが、強調処理の情報を示す。すなわち、任意の画素 p_i における強調効果は、まず、ユーザが指定する強調効果の中心画素 q との距離、内積、可視性を計算する。次に、次式で表される各クラスタとの距離を計算し、距離が最小となるクラスタの $dI_R(p_i)$, $dI_G(p_i)$, $dI_B(p_i)$ を強調したい画像の輝度値に足し込むことで、画家の意図した強調効果を付加することができる。

$$\hat{d}(p_i, c_i) = (r_{p_i} - r_{c_i})^2 + (\cos \theta_{p_i} - \cos \theta_{c_i})^2 + (v_{p_i} - v_{c_i})^2 \quad (5)$$

5.2 Normalization of Items

以上が提案手法における強調効果の抽出手法であるが、議論すべき問題が残されている。すなわち、式 (5) において、 $\cos \theta_i$ は $-1 \sim 1$, v_i は $0 \sim 1$ の範囲であるのに対して、 r_i ははるかに大きい値を取るため、クラスタリングによる強調効果の抽出が、ほとんど距離データに依存してしまう。この問題を解決するために、各パラメータを $0 \sim 1$ の範囲に正規化する。すなわち、式 (1) および式 (2) は次式で置き換えられる。

$$r_{p_i} = \frac{|P_i - Q|}{r_{max}} \quad (6)$$

$$\cos \theta_{p_i} = \frac{1}{2} \left(\frac{(P_i - Q)}{|P_i - Q|} \cdot n_{p_i} + 1 \right) \quad (7)$$

ここで、 r_{max} は距離の最大値を表す。これにより、各パラメータの重みが均等になるため、強調効果がほとんど距離データに依存してしまう問題を解決できる。

6. インタラクティブシステム

提案手法による強調効果を抽出するシステムの概要について述べる。システムを起動すると、図 4 に示すように、2 つの画像が提示される。右側の画像は画家により描かれた強調処理を施した 2 次元画像である。また、左側の画像は、右側の 2 次元画像に対応する 3 次元形状データから生成した、強調処理が施されてい

ない画像である。ユーザはこれらの画像に対して操作を行って強調効果を抽出する。以下、前処理と、インタラクティブに視点位置を変えて、アニメーションを作成する方法について詳細を述べる。

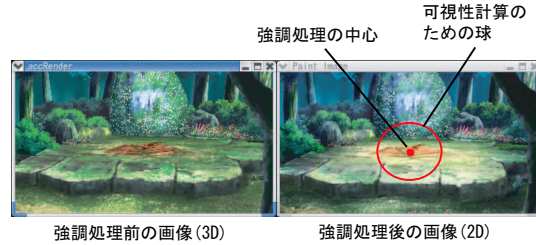


図 4 提案手法によるインタラクティブシステム

6.1 前処理

まず、前処理について説明する。3 節で述べたように、ユーザは 2 つの画像を見て、強調効果の中心となっていると思われる点 Q をクリックして指定する。その後、可視性を計算するための球の半径を、マウスをドラッグすることで指定する。すると、システムは 4 節で述べたとおり、画像の全画素について、距離、内積、可視性、強調処理前後の輝度値の差分に関してデータベースを作成する。そして、5 節で述べたように、作成されたデータベースに対して K-means 法によるクラスタリングを行い k 個のクラスタを生成する。ここで、ユーザがすべき操作は、中心点の指定と、生成するクラスタ数 k のみである。

6.2 アニメーションの生成

次に、アニメーションの作成方法について説明する。前処理で生成された k 個のクラスタは、画家の意図する強調処理の情報を意味する。そこで、画像の各画素について、ユーザが指定した点 Q との距離、内積、可視性を計算し、式 (5) を用いて各クラスタとの距離を計算する。この各クラスタとの距離が最も近いクラスタの輝度値の差分データを元の画像に足し込むことで、画家の意図した強調効果を実現できる。ただし、隣接する画素において最も近いクラスタが異なる場合、輝度値の急激な変化が現れるため、クラスタとの距離に応じて重みをつけて輝度値を補間する。このときの重みの設定はユーザに委ねる。画像の各画素 p_i についての処理の流れを以下に示す。

1. p_i に対応する 3 次元座標 P_i を求める。
2. ユーザが指定した点 Q と点 P_i について、式 (6), (7), (4) を用いて、距離、内積、可視性を計算する。
3. k 個の各クラスタとの距離 $\hat{d}(p_i, c_i)$ を式 (5) より計算する。また、このとき、 $dist_{p_i}$ に対応するクラスタ番号 c_i を記憶しておく。
4. $\hat{d}(p_i, c_i)$ を距離に関して昇順にソートする。
5. 各クラスタとの距離に応じた重み関数を設定する。

$$w_{c_i} = \exp(-\alpha \hat{d}(p_i, c_i))$$

ここで、 α は任意の定数である。そして、ユーザは任意の閾値 ϵ を設定し、 $w_{c_i} > \epsilon$ を満たす N_k 個のクラスタを用いて、画素 p_i の輝度値 $I(p_i)$ を

次式により求める．

$$I(p_i) = I_{ori}(p_i) + \frac{1}{N_k} \sum_{n=0}^{N_k} w_n dI(n)$$

ここで、 $I(p_i)$ および $dI(p_i)$ はそれぞれ RGB 成分独立に計算する．ユーザ指定の閾値 ϵ は、適用された強調効果の信頼度を表す．ユーザは基本的に ϵ を低めに設定しておけば、十分な強調効果を得ることができる．しかし、視点を変更する前には見えなかった物体が現れた場合などで、納得できる結果が得られなかったときは、ユーザは任意にパラメータを調整して、試行錯誤することができる．パラメータはインタラティブに変更できるので、試行錯誤も容易であり、大幅な作業量の削減が可能となる．

7. 適用例

提案手法を用いた適用例を示す．計算機は CPU に Pentium4 3.06GHz、グラフィックスカードに NVIDIA 社の GeForce4 Ti 4800 を搭載した PC を用いた．まず、簡単な例を用いて提案手法の妥当性について検討する．その後、より実践的な例に対して提案手法を適用し、その有用性を示す．

提案手法の妥当性を検討するため、簡単な実験を行った．図 5 にその結果を示す．図 5(a) は凹凸のある面にスポットライトを当て、レンダリングした画像である．なお、左上にスポットライトを照射せずにレンダリングした画像が示されている．ここでは、スポットライトの照射を強調効果とみなし、図 5(a) およびそれに対応する 3 次元データを入力データとして、提案手法により強調効果を抽出する．図 5(b) は同じシーンを異なる視点から描画した例である．強調効果は自動的に付加され、図 5(a) と同様の強調効果が得られていることが分かる．次に、図 5(c) に図 5(b) に対応する真の画像を示す．図 5(d) は図 5(b) と図 5(c) の差分画像である．ただし、輝度値は 10% の値が 255 になるよう正規化されている．これらの図から分かるように、提案手法により異なる視点でも同様の強調効果を実現できる．このときのクラスタ数は 100 であり、画像サイズは 400×400 である．前処理にかかる時間は 415 秒であり、強調効果を適用するのにかかる時間は 21 秒である．

図 6 はより実践的なシーンに対して提案手法を適用した例である．図 6(a) は強調効果を適用する前の画像であり、図 6(b) は画家による強調効果が施された画像である．これらの画像とその 3 次元データより、提案手法を用いて図 6(a) に強調効果を適用した画像を図 6(c) に示す．図 6(b) および図 6(c) より、提案手法により同様の強調効果が実現されている．また、図 6(d) および図 6(e) に異なる視点から作成した画像を示す．図 6(d) は強調効果を適用する前の画像で、図 6(e) は図 6(d) に対して提案手法を適用し、強調効果を適用した画像である．これらの図から分かるように、図 6(b) における画家による強調効果を視点位置を変えても実現できる．提案手法では、前処理で一度画家の強調効果の法則を抽出すれば、インタラティブに視点など

のパラメータを変更して、同様の強調効果が実現可能である．これにより、画家はアニメーションの作成において、アニメーションの各フレーム毎について、手作業により強調効果を施す必要がなくなり、大幅な作業量の削減が可能となる．なお、図 6 では、クラスタ数は 100、画像サイズは 720×394 である．計算時間は前処理が 340 秒、画像生成が 35 秒である．操作をインタラティブに行う際は画像サイズを 390×197 とする．このときの画像生成時間は 3.5 秒である．

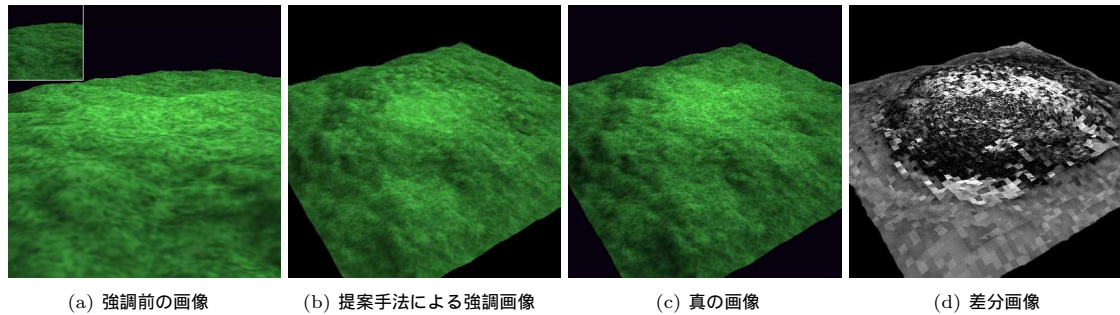
8. まとめ

本論文では、画家により描かれた 2 次元の画像から強調効果を 3 次元情報として抽出する手法を提案した．強調効果の抽出手法はデータマイニングの考え方を利用した．すなわち、入力画像から計算可能な要素をデータベースとして作成し、このデータベースを分析することにより強調効果を抽出した．提案手法では、前処理として一度クラスタを生成すれば、同様の強調効果を適用したアニメーションをインタラティブに作成することができるため、アニメーションの作成において極めて有用である．

今後の課題として、多くの解決すべき問題が残されている．まず、提案手法では、強調効果の中心点として一点を指定する．これは強調効果が中心点に対して対称な場合に非常に有効であるが、非対称な場合には必ずしも同様の効果を得られるとは限らない．非対称な場合はユーザにより複数の中心点を指定することで、強調効果の抽出が可能であると考えられる．また、提案手法では強調効果を静的なものと仮定した．しかし実際には、強調される領域は、アニメーション中の視点やキャラクタの動きなどに応じて移動する機会が多い．このような動的な強調効果を実現するには、視点からの距離やキャラクタの位置などといったデータをデータベースに追加する必要がある．

参考文献

- 1) B. J. Meier, "Painterly Rendering for Animation", *Proc. of SIGGRAPH 96*, pp. 477-484(1996).
- 2) W. T. Corrêa, R. J. Jensen, C. E. Thayer, and A. Finkelstein, "Texture Mapping for Cel Animation", *Proc. of SIGGRAPH 98*, pp. 435-446(1998).
- 3) L. Petrovic, B. Fujito, L. Williams, and A. Finkelstein, "Shadows for Cel Animation", *Proc. of SIGGRAPH 2000*, pp. 511-516(2000).
- 4) S. T. Johnston, "Lumo: Illumination for Cel Animation", *Proc. of Non-Photorealistic Animation and Rendering 2002*, pp. 45-53(2002).
- 5) R. D. Kalnins, L. Markosian, B. J. Meier, M. A. Kowalski, J. C. Lee, P. L. Davidson, M. Webb, J. F. Hughes, and A. Finkelstein, "WYSISYG NPR: Drawing Strokes Directly on 3D Models", *Proc. of SIGGRAPH 2002*, pp.



(a) 強調前の画像

(b) 提案手法による強調画像

(c) 真の画像

(d) 差分画像

図5 提案手法を簡単な例に適用した結果



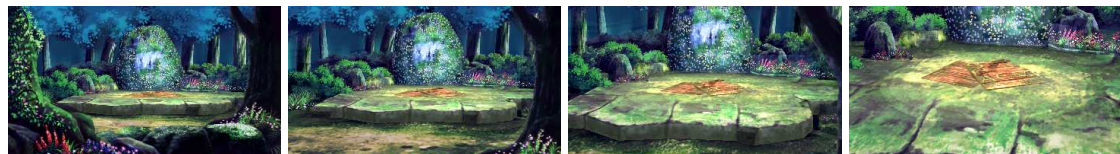
(a) 強調処理前の画像

(b) 画家による強調処理画像

(c) 提案手法による強調処理画像



(d) 強調処理前のアニメーション



(e) 提案手法による強調処理後のアニメーション

図6 提案手法を実践的なアニメーションに適用した例

- 755-762(2002).
- 6) D. DeCarlo, A. Santella, "Stylization and Abstraction of Photographs", *Proc. of SIGGRAPH 2002*, pp. 755-762.
 - 7) R. Barzel, "Lighting Controls for Computer Cinematography", *Journal of Graphics Tools*, 2, 1, pp. 1-20(1997).
 - 8) C. Schoeneman, J. Dorsey, B. Smits, J. Arvo, and D. Greenberg, "Painting with Light", *Proc of SIGGRAPH 93*, pp. 143-146(1983).
 - 9) J. K. Kawai, J. S. Painter, and M. F. Choen, "Radioptimization - Goal Based Rendering", *Proc. of SIGGRAPH 93*, pp. 147-154(1993).
 - 10) M. Segal, C. Korobkin, R. V. Widenfelt, J. Foran, and P. Haeberli, "Fast shadow and lighting effects using texture mapping", *Proc. of SIGGRAPH 92*, pp. 249-252(1992).
 - 11) M. J. Kilgard, "Shadow Mapping with Today's OpenGL Hardware", *CEDEC 2001*, http://developer.nvidia.com/object/cedec_shadowmap.html, 2001.
 - 12) Y. Yu, J. Malik, "Recovering Photometric Properties of Architectural Scenes from Photographs", *Proc. of SIGGRAPH 98*, pp. 207-217(1998).
 - 13) Y. Yu, P. Debevec, J. Malik, T. Hawkins, "Inverse Global Illumination : Recovering Reflectance Models of Real Scenes from Photographs", *Proc. of SIGGRAPH 99*, pp. 215-224(1999).
 - 14) R. Ramamoorthi, P. Hanrahan, "A Signal-Processing Framework for Inverse Rendering", *Proc. of SIGGRAPH 2001*, pp. 117-128(2001).