

平成 21 年 4 月 1 日現在

研究種目：基盤研究（C）  
 研究期間：2006 ～ 2008  
 課題番号：18500086  
 研究課題名（和文） 非写実的な画像と映像のリアルタイム生成と検索  
 研究課題名（英文） Real-Time Generation and Retrieval of Non-Photorealistic Images and Videos  
 研究代表者  
 浦濱 喜一 （ URAHAMA KIICHI ）  
 九州大学・大学院芸術工学研究院・教授  
 研究者番号： 10150492

## 研究成果の概要：

本研究はノンフォトリアリスティックレンダリング、すなわち写真を非写実的な画像に変換する技法の開発を目的とし、多彩な絵画の技法を模擬するアルゴリズムを構成し、それらのアルゴリズムをリアルタイムに実行するための高速化技法を開発した。基本アルゴリズムとして、巡回セールスマン問題やボロノイ図、ドロネー網などの幾何学的技法の応用と、バイラテラルフィルタやショックフィルタを非等方化した画像フィルタを応用し、それらを高速に計算するアルゴリズムを開発した。

## 交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2006年度	1,100,000	0	1,100,000
2007年度	700,000	210,000	910,000
2008年度	700,000	210,000	910,000
年度			
年度			
総計	2,500,000	420,000	2,920,000

研究分野： 総合領域

科研費の分科・細目： 情報学・知覚情報処理・知能ロボティクス

キーワード： 画像情報処理

## 1. 研究開始当初の背景

ノンフォトリアリスティックレンダリング技術は、コンピュータグラフィックスの一分野として、1990年ごろに提案され始め、それよりも歴史が古く完成度も高いリアリティなコンピュータグラフィックスとは目的が異なる技法として注目度を高め、2005年頃には水彩画や油彩画など基本的な絵画技法を模擬するノンフォトリアリスティックレンダリング技法が数多く提案されて多様性と充実度が増してきていた。しかし、それらの研究は各種の絵画技法について個

別的に開発提案され、統一的なまとまりを欠いていた。

このような状況から、このノンフォトリアリスティックレンダリング技術がコンピュータグラフィックスのなかの一分野として確立されるためには、基本的なアルゴリズムを柱として技術全体を統一して技術基盤を充実させることが必要とされていた。

また、ノンフォトリアリスティックレンダリングプログラムは、ユーザによりインタラクティブに使用されることが多く、静止画像だけでなくビデオなど大規模映像データに

も適用されるため、リアルタイムに結果を出力できるような高速アルゴリズムが必要とされていた。現在では GPU の発達により、画像処理アルゴリズムの処理スピードは以前よりも格段に速くなったが、それでも基本的なアルゴリズムの高速化は有用である。

## 2. 研究の目的

このようなコンピュータグラフィックス分野の研究の背景のもと、本研究は多彩な非写実的画像を生成することができるノンフォトリアリスティックレンダリングの基本的なアルゴリズムを開発し、それらのアルゴリズムをリアルタイムに実行するための高速化技法を開発することを目的とした。

## 3. 研究の方法

本研究の目的とする基本アルゴリズムを開発するに先立ち、種々の絵画技法を調べて共通的特徴を数学的にまとめた。

その結果、水彩画、油彩画、鉛筆画、ペン画、木炭画、パステル画、イラスト画などキャンバスにストロークで絵を描くタイプの画法の基本としては、画像フィルタ、特に画像の平滑化に空間的方向性がある非等方フィルタがこれらの絵画技法に共通して利用できることが分かり、非等方バイラテラルフィルタや非等方ショックフィルタなどの非線形フィルタを開発して、これらの絵画技法を模擬するノンフォトリアリスティックレンダリング技法を開発した。

また、点描画、線描画、貼り絵、タイル画、モザイク画、ビーズ画、ステンドグラスなど単色のプリミティブ作画要素を画像内に配置して絵画を作成する技法の基本的なアルゴリズムとしては、ボロノイ図やドロネー網、巡回セールスマン問題や最小スパニング木などの幾何学的手法が有用であることが分かり、重み付きボロノイ分割や重み付きドロネー網などを開発した。またこれらの幾何学的手法は迷路画やスクラッチ画など長い曲線で絵を描くノンフォトリアリスティックレンダリングやハーフトーン技法にも有用である。

これらの基本アルゴリズムの高速化法として、画像フィルタについては空間的な変数分離に基づく高速化法や、固定係数反復バイラテラルフィルタなどの高速アルゴリズムを開発し、幾何学的手法については2スキャン距離変換アルゴリズムを開発し、ボロノイ図やドロネー網の生成に応用し、動的計画法による最小スパニング木の高速な計算法を開発し、2-opt 法による高速な巡回セールスマン問題の解法を開発した。

## 4. 研究成果

以上のような研究を行い、以下のような成

果を得た。

### (1) 3D 物体の鉛筆画

3DCG のシェーディング画像と深度画像とから自己陰画像を計算して、シェーディング画像を点描画に変換し、更に鉛筆画風の線描画に変換する手法を開発した。

### (2) 高速ボロノイアルゴリズム

ノンフォト CG では画像のボロノイ分割を多用する。そこで、画像を2回スキャンするだけで画像のボロノイ分割を求める高速なアルゴリズムを開発した。

### (3) ビーズ画

画像からエッジを検出し、エッジからの距離変換を計算して均一色の円板を配置して画像を近似する手法を開発し、円板を球体に変換することによってビーズ画を生成する手法を開発した。

### (4) アポロニウス分割

画像をアポロニウス分割する手法を開発し、モザイク画像、ステンドグラス画像、タイル画像、ひび割れ画像、コラージュ画像などの生成に応用した。

### (5) 貼り絵風画像

ポアソンディスクサンプリングで円板を画像内に配置し、円板を紙片に置き換え、紙片に紙の重なりによる凹凸や紙の表面のテクスチャを貼り付けて、実際の貼り絵を模擬した貼り絵風画像を生成する技法を開発した。

### (6) グラフスペクトル法による輪郭線

データをクラスタリングする手法であるグラフスペクトル法を画像に応用し、物体の輪郭線を抽出し、非等方平滑化フィルタをかけて抽出輪郭線を平滑化して、手描きの輪郭線を模擬したスケッチ風画像を生成する手法を開発した。

### (7) 均一色セル分割 NPR 動画の生成

静止画を均一色セルに分割する NPR 画像処理を動画に拡張して、入力画像の時空間画像処理によって、ちらつきの少ないモザイクタイル動画やバブル動画、ステンドグラス動画等を自動的に生成する手法を提案した。

### (8) ステンドグラス風画像の生成

画像を構成する画素の空間座標と画素値に基づいて画面をボロノイ分割するバイラテラルボロノイ分割法を提案し、入力画像のエッジを保存したステンドグラス風画像を生成した。

### (9) 迷路風画像の生成

入力画像から主要エッジを抽出し、それらのエッジからの距離値の等高線を等間隔で求め、それらの等高線上に等間隔に配置した点を結ぶ巡回セールスマン問題の閉曲線に囲まれる閉領域を求めて、迷路画像を生成する手法を提案した。

### (10) 点描画の生成

重心ボロノイ分割に基づく点描画の生成において、母点の乗法的重みを考慮することによって、入力画像の再現性を高める方法を提案した。

(11) イラスト風画像の生成

類似度データからクラスタを抽出するグラフスペクトル法を用いて、類似色領域の境界としての輪郭線を抽出し、非等方平滑化フィルタで滑らかにしてイラスト風の線画を生成する手法を提案した。

(12) TSP アートの明度補正

重心ボロノイ図の母点を結ぶ最短巡回路によって一筆描き線画を構成する TSP アートの明度補正法を提案し、入力画像の再現性が高まることを実験で示した。

(13) ボロノイ図とドロネー三角形分割によるノンフォトリアリスティックハーフトーニング

新たなノンフォトリアリスティックハーフトーニングの手法として、ボロノイ境界線によるものと、ドロネー三角形分割によるものを提案し、入力画像の再現性の向上法を示した。

(14) メジアンボロノイ分割による点描画

ボロノイ分領域のメジアンが母点に一致するボロノイ図の生成法を提案し、点描画の生成に応用した。

(15) 竹編み風画像の生成

入力カラー画像を竹ヒゴで編み込んだような画像を生成するノンフォトリアリスティックレンダリング法を提案した。

(16) ボロノイ分割画像間のモーフィング

確率分布点配置法で配置した母点を k 平均法で重心ボロノイ配置に調整する手法を利用して、2つのボロノイ分割画像間のモーフィングを行うノンフォトリアリスティックレンダリング法を提案した。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 30 件)

- ① 松島祐輔, 井上光平, 浦浜喜一, 直交線ディザによる竹編み風画像の生成, 画像電子学会誌, 38, 1, pp.24-30, 2009, 査読有
- ② 松島祐輔, 井上光平, 浦浜喜一, ボロノイ分割画像間のモーフィング, 画像電子学会誌, 38, 1, pp.50-54, 2009, 査読有
- ③ 常セン, 杜増コウ, 浦浜喜一, 固定係数反復バイラテラルフィルタによる画像平滑化, 電子情報通信学会論文誌, J91-A, 12, pp.1219-1222, 2008, 査読有
- ④ 松島祐輔, 井上光平, 浦浜喜一, エントロピー均等化によるパノラマ画像の横幅縮小, 映像情報メディア学会誌, 62, 11, pp.1833-1835, 2008, 査読有
- ⑤ 常セン, 肖云, 浦浜喜一, バイラテラルフィルタによるコントラスト強調クロスディゾルブ, 電子情報通信学会論文誌, J91-A, 11, pp.1081-1084, 2008, 査読有
- ⑥ 吉武謙, 浦浜喜一, バイラテラルフィル

タによるコントラスト強調画像融合, 映像情報メディア学会誌, 62, 7, pp.1116-1121, 2008, 査読有

- ⑦ K. Inoue, K. Urahama, Fast bilateral filtering of vector-valued multiple images with decomposition of weights, Trans. ITE, 62, 2, pp.271-274, 2008, 査読有
- ⑧ 松島祐輔, 井上光平, 浦浜喜一, モザイクキングとディザを併用するハイブリッド画像の生成, 画像電子学会誌, 37, 2, pp.143-146, 2008, 査読有
- ⑨ 井上光平, 浦浜喜一, メジアンボロノイ分割による点描画, 電子情報通信学会論文誌, J91-D, 3, pp.835-838, 2008, 査読有
- ⑩ 井上光平, 浦浜喜一, 重心ボロノイ分割と最小木に基づくランダム迷路パターンによる階調表現, 映像情報メディア学会誌, 62, 9, pp.1435-1438, 2008, 査読有
- ⑪ 井上光平, 浦浜喜一, 重心ボロノイ図とそのドロネー三角形分割によるノンフォトリアリスティックハーフトーニング, 映像情報メディア学会誌, 62, 8, pp.1326-1329, 2008, 査読有
- ⑫ 井上光平, 浦浜喜一, TSP アートの明度補正, 電子情報通信学会論文誌, J91-D, 6, pp.1676-1678, 2008, 査読有
- ⑬ 井上光平, 浦浜喜一, 乗法的重み付きボロノイ分割による点描画, 映像情報メディア学会誌, 62, 1, pp.102-109, 2008, 査読有
- ⑭ 杜偉薇, 浦浜喜一, グラフスペクトル法による手描き風輪郭線の生成, 電子情報通信学会論文誌, J90-A, 1, pp.66-69, 2007, 査読有
- ⑮ 井上光平, 浦浜喜一, 分配型動的平均移動アルゴリズムによる画像のセグメンテーション, 映像情報メディア学会誌, 61, 11, pp.1614-1620, 2007, 査読有
- ⑯ 常セン, 井上光平, 浦浜喜一, 非等方ショックフィルタによる迷路風スクラッチ画の生成, 映像情報メディア学会誌, 61, 10, pp.1463-1466, 2007, 査読有
- ⑰ 景琳琳, 常セン, 井上光平, 浦浜喜一, TSP 閉曲線からの迷路画像の生成, 電子情報通信学会論文誌, J90-A, 11, pp.891-894, 2007, 査読有
- ⑱ 井上光平, 浦浜喜一, バイラテラルボロノイ分割によるスタンドグラス風画像の生成, 映像情報メディア学会誌, 61, 10, pp.1467-1471, 2007, 査読有
- ⑲ 常セン, 井上光平, 浦浜喜一, 時空間画像処理による均一色セル分割 NPR 動画の生成, 情報科学技術フォーラム, pp.289-290, 2007, 査読有
- ⑳ 景琳琳, 浦浜喜一, 加重係数のテイラー展開に基づく空間分解バイラテラルフィ

ルタの高精度化, 電子情報通信学会論文誌, J89-A, 7, pp.643-645, 2006, 査読有

- ②① 景琳琳, 浦浜喜一, アポロニウス分割による線画誘導びび割れ画像, 電子情報通信学会論文誌, J89-A, 10, pp.849-851, 2006, 査読有
- ②② 景琳琳, 井上光平, 浦浜喜一, 自己商画像の非等方平滑化に基づくイラスト風画像, 電子情報通信学会論文誌, J89-A, 5, pp.385-386, 2006, 査読有
- ②③ 牧野大輔, 井上光平, 原健二, 浦浜喜一, 紙の厚みとテクスチャを考慮した貼り絵風画像の生成, 映像情報メディア学会誌, 60, 12, pp.2038-2041, 2006, 査読有
- ②④ 井上光平, 原健二, 浦浜喜一, 重み付きボロノイ分割の2スキャンアルゴリズム, 映像情報メディア学会誌, 60, 7, pp.1072-1076, 2006, 査読有
- ②⑤ 井上光平, 浦浜喜一, エッジ保存球体配置によるピース画風画像の生成, 映像情報メディア学会誌, 60, 10, pp.1752-1654, 2006, 査読有
- ②⑥ 井上光平, 浦浜喜一, 3D物体の鉛筆画風画像の生成, 映像情報メディア学会誌, 60, 10, pp.1648-1651, 2006, 査読有
- ②⑦ 井上光平, 浦浜喜一, 色の違いに対応したカラー画像のモノクロ化, 電子情報通信学会論文誌, J89-A, 1, pp.80-83, 2006, 査読有
- ②⑧ 辻本陽子, 杜偉薇, 井上光平, 浦浜喜一, 重み付きボロノイ分割による写真カラーージュ, 電子情報通信学会論文誌, J89-A, 2, pp.168-170, 2006, 査読有
- ②⑨ 景琳琳, 井上光平, 浦浜喜一, 2段階主成分分析による多重画像のモノクロ化, 情報科学技術フォーラム, pp.259-260, 2006, 査読有
- ②⑩ 景琳琳, 浦浜喜一, 重みの空間方向分解による非線形フィルタの高速化, 電子情報通信学会論文誌, J89-A, 2, pp.175-178, 2006, 査読有

[学会発表] (計 10 件)

- ① C. Jian, K. Inoue, K. Hara, K. Urahama, Fixed-coefficient iterative bilateral filters for graph-based image processing, Int. Conf. PSIVT, Tokyo, 2009, 査読有
- ② K. Inoue, K. Urahama, Halftoning with minimum spanning trees, Int. Conf. Pacific Graphics, Tokyo, 2008, 査読有
- ③ W. Du, K. Urahama, Color transfer between images and videos with semi-supervised Laplacian eigenmaps, Int. Conf. SCIS/ISIS, Tokyo, 2008, 査読有

- ④ Y. Matsushima, K. Inoue, K. Urahama, An NPR technique for generating bamboo weave images, Int. Conf. FCV, Beppu, 2008, 査読有
- ⑤ W. Du, K. Urahama, Image and video matting with membership propagation, Int. Conf. ACCV, Tokyo, 2007, 査読有
- ⑥ K. Inoue, K. Urahama, Hierarchically distributed dynamic mean shift, Int. Conf. ICIP, San Antonio, 2007, 査読有
- ⑦ W. Du, K. Urahama, Image and Video matting with membership propagation, Int. Workshop MPR, Beijing, 2007, 査読有
- ⑧ W. Du, K. Hara, K. Urahama, Graph-based objects extraction for natural image and video matting, Int. Workshop MPR, Tokyo, 2006, 査読有
- ⑨ L. Jin and K. Urahama, Image recoloring by eigencolor mapping, Int. Conf. IWAIT, Naha, 2006, 査読有
- ⑩ L. Jin, K. Inoue, K. Urahama, Generating illustration images with isoluminant colors, Int. Conf. IWAIT, Naha, 2006, 査読有

[その他]

ホームページ

<http://hyoka.ofc.kyushu-u.ac.jp/search/details/K002293/research.html>

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

浦濱 喜一 (URAHAMA KIICHI)  
九州大学・芸術工学研究院・教授  
研究者番号: 10150492

### (2) 研究分担者

原 健二 (HARA KENJI)  
九州大学・大学院芸術工学研究院・准教授  
研究者番号: 50380712

井上 光平 (INOUE KOUHEI)  
九州大学・大学院芸術工学研究院・助教  
研究者番号: 70325570