

バイラテラル距離に基づくノンフォトリアリスティックレンダリング

王, 濤

<https://doi.org/10.15017/1398383>

出版情報：九州大学, 2013, 博士（工学）, 課程博士
バージョン：
権利関係：全文ファイル公表済

氏名・(本籍・国籍)	オウ 王	トウ 濤 (中 国)
学位の種類	博士(工学)	
学位記番号	芸博甲第160号	
学位授与の日付	平成25年9月24日	
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当 芸術工学府 芸術工学専攻	
学位論文題目	バイラテラル距離に基づくノンフォトリアリスティックレンダリング	
論文調査委員	(主査) 教授 浦濱喜一 (副査) 教授 坂本博康 准教授 原 健二	

論文内容の要旨

ノンフォトリアリスティックレンダリング(以下 NPR と略記)は、写真のような現実感を求める写実的な画像ではなく、油絵や貼り絵等アート風の画像のように、作者の意図を反映するような画像を生成する CG 技法である。NPR 技術を利用して、フォトリアリスティックレンダリングでは表現することが困難な、手描きの温かな質感や味わいといったものを表現することができる。NPR 技術を大きく分類すると二次元的手法と三次元的手法とがある。二次元 NPR においては、点描画やステンドグラス風画像のような非写実的な画像に関する生成手法が数多く発表されている。

点描画とは、絵画などにおいて線ではなく点の集合や非常に短いタッチで表現する技法である。写実的な画像をもとに NPR 技術で点描画を生成する場合、点を配置するとともに、点の色や形などの性質を設定して点描画の特性を表す。従来の点描画手法では、エッジや輪郭などに近い部位の点を鮮明に描画することが困難であるという問題がある。

また、点描画とは別の二次元 NPR 技術として、ステンドグラス風画像を生成する手法もよく提案されている。実際のステンドグラスは、ガラス片を繋ぐ鉛線によって、領域の輪郭を現す。各ガラス片は多くの場合、凸多角形や滑らかな曲線で構成される。従来のステンドグラスの NPR 技法では、入力写真の再現性が低く、セルの大きさが均一で表現能力が乏しいという問題がある。

本論文では、画像の輪郭の保存性が従来法よりも高い点描画やステンドグラス画像を生成するために、点間のバイラテラル距離を用いる NPR 技法を提案する。まず点描画について、エッジの乱れが少ないポアソンディスクサンプリング(PDS)法として、暗い画素から順番にサンプリングしていく画素値順PDSを提案する。これによって、入力画像のエッジに適応して点が配置される。配置された点からのバイラテラル距離に基づいて、エッジに沿って歪んだ楕円(非等方円)を描いて非等方点描画を生成する。

また、ステンドグラス風画像の生成では、入力画像の各場所での色の変化に応じて、セルの面積が色が平坦な所では大きく、色変化が激しい所では小さくなるように 4 分木分割で母点を求めて、それらの母点からのバイラテラル距離による非等方ポロノイ分割でセルを生成する。次に、孤立セルをなくすために、最小全域木を利用してセル境界を連結する。また、一般的な非等方ポロノイ分割法が応用できない線画に対し、線画の距離変換値に基づく非等方分割ポロノイ法を用いて、ポロノイセルの境界が入力線画の線に一致するようにバイラテラル距離を重み付きに拡張し、セルサイズを距離値に応じて適応的に変える線埋め込みステンドグラス画像の生成手法を提案する。

本論文では、第 1 章の導入に続いて第 2 章では、モノクロ濃淡画像から点描画を生成するノンフォトリアリスティックレンダリング(NPR)のために、画素値順によるポアソンディスクサンプリング(PDS)法を提案し、ランダム順サンプリングよりもエッジの保存性

が高いことを示す。また、点描画を元の濃淡画像に戻す逆点描処理として、各点を母点として画像をポロノイ分割し、ポロノイセルの面積に比例した色を塗る方法を述べる。このポロノイ分割について、各点から最近点までの距離を重みとする重み付きポロノイ分割のほうが、重みなしのポロノイ分割よりも元画像の再現性が高いことを示す。

第3章では、第2章に述べた画素値順PDSに基づき、エッジに沿う各点間のバイラテラル距離を考え、適応的に非等方円を描く手法を提案する。本提案法では、一般の点描画と違って、元画像のエッジに近い点の形状は丸ではなく、エッジに従って適応的に変形される。提案法の非等方円は等方円よりも元画像の保存性が高いことを示す。

第4章では、スタンドグラス風画像に関して、物体の輪郭の保存性などの入力画像の再現性およびガラス片の総数と形状について考え、入力画像を4分木分割して母点を求めることによって、セルサイズと形状を入力画像の色変化に適応させて、バイラテラル距離による非等方ポロノイ分割でスタンドグラス画像を生成する手法を提案する。また実際のスタンドグラスのように孤立セルをなくすために、最小全域木を利用してセル境界を連結する処理も付け加える。

第5章では、2値の線画に対し、線からの距離変換を求めて、距離値に基づくバイラテラル距離による非等方PDSで点を配置し、それらを母点として画像を非等方ポロノイ分割するNPR法を提案する。このとき、ポロノイセル境界が入力線画の線に一致するように、バイラテラル距離を重み付きに拡張する。また、無駄なセルを省くためにPDSの半径を距離値に比例して大きくする。この適応的セルサイズ重み付き非等方ポロノイ分割を濃淡画像やカラー画像にも応用する。

第6章は結論であり、本研究の総括および今後の課題について述べる。

論文審査の結果の要旨

非写実的な画像や映像を生成するコンピュータグラフィックスの一分野であるノンフォトリアリスティックレンダリング(non-photorealistic rendering: NPR)は、解析的NPRと幾何学的NPRとに大別される。解析的NPRは、微分や積分など空間的に連続的な画像処理によって非写実的效果を生成する技法である。油彩や水彩などの絵画風の画像を生成する技法が代表例である。一方、幾何学的NPRは、量子化や領域分割など、離散的な処理によって非写実的效果を生成する技法であり、点描画や貼り絵などが代表例である。

王濤氏は、後者の幾何学的NPRを研究し、画素間距離としてバイラテラル距離を導入し、点描画やスタンドグラスなどの新しいNPR技法を開発してきた。本論文は、同氏のこれまでに提案した独自の幾何学的NPR技法の研究成果をまとめたものである。

本論文の第1章では、NPR研究の背景を述べ、なかでも点描画とスタンドグラスの従来法を詳しくサーベイして、申請者がバイラテラル距離に至った経緯を述べている。

第2章では点描画の基本的な作成法を述べている。点描画の生成法であるポアソンディスクサンプリング(PDS)について、画素値順PDSという新手法を提案し、従来のランダム順PDSよりもエッジの保存性が高いことを示している。また、点描画の拡大・縮小法として、点描画を一旦、通常の濃淡画像に戻して拡大・縮小してから再び点描画に変換する手法を述べ、そのなかの逆点描処理として、重み付きポロノイ分割のほうが従来の重み無しポロノイ分割よりも元画像の再現性が高いことを示している。

続く第3章では、第2章で開発した画素値順PDSを用いて得られた点を中心にして適応的に非等方ディスクを塗って超楕円点描画を生成するNPR法を提案している。このバイラテラル距離による非等方円の描画は、等方的なディスクよりも元画像の輪郭保存性が高いことを示している。

第4章からはステンドグラスの NPR 技法を述べている。まず第4章では、入力画像を4分木分割して点を配置し、それらの点を母点として非等方ボロノイ分割してステンドグラス風画像を得る手法を提案している。バイラテラル距離による非等方ボロノイ分割が、入力画像中の物体の輪郭の保存性に有用であることを実験で示している。また実際のステンドグラスのように、最小全域木を利用してセル境界を連結して孤立セルをなくす手法も示しており、実際のステンドグラスに近づける工夫もされている。

続く第5章では、入力線画の線がセル境界になるようなステンドグラスを生成する手法が示されている。入力線画の距離変換によるバイラテラル距離に基づく非等方 PDS で点を配置し、それらを母点として画像を非等方ボロノイ分割してステンドグラス画像を生成している。このとき、バイラテラル距離を重み付きに拡張して入力線画の保存性を高めている。また、この適応的セルサイズ重み付き非等方ボロノイ分割を濃淡画像やカラー画像にも応用している。

以上のように、本論文はバイラテラル距離に基づくノンフォトリアリスティックレンダリング技法を提案したものであり、新しい幾何学的 NPR 手法を考案し、点描画とステンドグラス画像生成の実験を通して提案手法の有効性を実証しており、コンピュータグラフィックスや画像処理などの画像工学分野での研究開発に寄与すると期待され、博士(工学)の学位論文に値するものと審査委員全員一致で認めるものである。

氏名・(本籍・国籍)	うえだ　　すぐる 上　田　　俊(福岡県)
学位の種類	博士(情報科学)
学位記番号	シ情博甲第505号
学位授与の日付	平成25年7月31日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当 システム情報科学府 情報学専攻
学位論文題目	Computational Coalition Formation: Compact Representation and Constrained Matching (提携形成における問題記述法と制約付きマッチングに関する研究)
論文調査委員	(主査) 教授 横尾　　真 (副査) 教授 長谷川 隆三　　教授 山下 雅史

論 文 内 容 の 要 旨

協力ゲーム理論は、複数のプレイヤーがどのように協力関係(提携)を形成し、提携内で得られた利得をどのように配分するかに関する理論である。協力ゲーム理論はフォン・ノイマン以来の伝統ある研究分野であり、近年のインターネットの発展により、その適用分野が拡大している。従来、協力ゲーム理論はミクロ経済学の一分野として研究が行われてきたが、既存の理論は問題の記述量、問題を解くための計算量に関する検討が不十分であった。例えば、既存の協力ゲーム理論では、問題を記述する際に、提携の利得を与える特性関数と呼ばれる抽象化された関数が存在することを前提としていた。ユーザーが大規模な問題を記述する際には特性関数を簡潔に記述する方法を与えることが必須となる。また、問題が抽象化された特性関数で与えられている場合には、望ましい提携の構成方法を求める問題(提携構造形成問題)や、望ましい利得の配分方法(協力ゲームの解概念)を求める問題を効率的に解く方法は存在しない。

本論文では、協力ゲームにおける問題の簡潔な記述方法を提案し、与えられた記述の元で最適な提