2458

外 96-34

早稲田大学大学院理工学研究科

博 士 論 文 概 要

論 文 題 目

コンピュータ・グラフィックスのための
ポリゴン生成技術に関する研究

申 請 者
伊 藤 貴 之
Takayuki ITOH

1996年 11月

理 2092 (2458)

近年の計算機能力の発達にともない，コンピュータ・グラフィックスを用いた画像生成技術の研究開発が，ハードウェア・ソフトウェアの両面において活発に行なわれており，その用途は現在も拡大し続けている．初期のコンピュータ・グラフィックスの研究は，一枚の静止画をバッチ処理で生成することを目的としたものが多かったが，近年では対話的な操作にしたがって連続的に画像を生成することを目的とするものも多くなっている．

近年では，ポリゴンとよばれる，三角形・四角形などの凸多角形の集合を入力形状として，高速にレンダリングを実行するハードウェアおよびソフトウェア技術が，非常に活発に発表されている．対話的な操作と連続的な画像生成を目的とするコンピュータ・グラフィックスの研究において，これらのレンダリング技術を有効に利用することは不可欠である．そのためには，高速レンダリングに必要なポリゴンの集合を効率的に生成する手法の研究が重要な課題であり，現在も非常に活発な議論が進んでいる．

コンピュータ・グラフィックスの手法で，写実的に陰影やハイライト等の輝度変化を表現する手法に，ラジオシティ法がある．ラジオシティ法では，メッシュ生成という技術を応用して，情景中の物体をポリゴンの小片 (要素) に分割し，光エネルギーの平衡状態を解き，各要素における輝度分布を算出することで，離散的に輝度分布を算出する．ラジオシティ法では，要素数を増加せずに写実的な画像を生成するために，さまざまなメッシュ生成手法が議論されている．

コンピュータ・グラフィックスの有用な利用例のひとつに，有限要素法などの 3 次元数値解析結果や，CT スキャンなどの医療技術を代表とする 3 次元測定結果など，3 次元空間中の離散点の集合で表現されるボリューム・データを表示する，ボリューム・ビジュアリゼーションがあげられる．ボリューム・ビジュアリゼーションの代表的なモデリング技術に，等値面がある．等値面は，3 次元空間中の要素頂点に与えられた数値から，任意の数値を持つ点を補間により求め，その点の集合である曲面をポリゴンの集合で近似して表示する手法である．近年では，等値面のポリゴンを高速に生成する手法が，活発に議論されている．

本論文は，ラジオシティ法や等値面生成のための，適応的なポリゴン生成に関する研究の成果をまとめた論文である．本論文の第 1 章では，上記の背景について論じ，本論文の構成等を示す．

本論文の第 2 章では，ラジオシティ法の概要を紹介し，ラジオシティ法に適用されているメッシュ生成手法について紹介する．続いて，ラジオシティ法の算出結果における，輝度値の分布

を考慮した，適応的メッシュ生成手法について紹介する．本章では，ラジオシティ法の実行後に，輝度差の大きい部位のポリゴンだけを再分割してラジオシティ法を再実行する，適応的再分割法を紹介する．適応的再分割法は，実装が単純である反面，鮮明な陰影の表現が難しいことと，ポリゴンの分割数が増加しやすい点において，問題が残っている．また，本章では，ラジオシティ法の実行前に，陰影の境界など，輝度値が不連続になる線分 (輝度不連続線) で物体を分割する，輝度不連続線法を紹介する．輝度不連続線法は，鮮明な陰影を写実的に表現する反面，輝度不連続線の生成処理時間が大きくなる点と，非常に小さい，または細長いポリゴンが生成される点において，問題が残っている．

本論文の第 3 章では，輝度不連続線法の問題点を解決する手法を提案する．本手法では，半影領域と本影領域の境界線，半影領域と照射領域の境界線のみを輝度不連続線として生成する．そのため本手法では，輝度不連続線の生成数を減らすことが出来るので，輝度不連続線の生成処理時間の増加を抑えるとともに，非常に小さい要素や細長い要素の生成を低減することが出来る．また，本手法では，輝度不連続線によって分割される各領域に対して，照射領域・半影領域・本影領域のいずれに属するかを決定する．本手法では，輝度変化の大きい半影領域のみを細かくメッシュ生成するので，ポリゴン数の増加を抑えながら写実的に陰影を表現することが出来る．

本論文の第 4 章では，適応的再分割法の問題点を解決する手法を提案する．本手法では，1 回目のラジオシティ法の算出結果から，各物体上におけるポリゴンの大きさのサンプリング値を算出する．このサンプリング値は，輝度変化の大きい部位では小さく，輝度変化の小さい部位では大きく設定される．このサンプリング値を用いて，バブル・メッシュ法でメッシュを再生成することにより，1 回目のラジオシティ法よりも少ないポリゴン数で，写実的に陰影を表現することが出来る．

本論文の第 5 章では，ボリューム・ビジュアリゼーションの概念と，基本的なデータ構造を紹介する．続いて，ボリューム・データの代表的なグラフィックス表示手法である，等値面生成手法について紹介する．さらに，等値面と交差する 3 次元要素はボリューム・データ中の一部であることが多く，他の多くの非交差要素との交差判定に不必要な多くの処理時間を要するという問題点について述べる．続いて，従来報告されている等値面生成の高速化手法を列挙し，その問題点について述べる．また，本論文の第 6 章，および第 7 章で提案する手法の前提とな

る，自己増殖的な等値面生成手法について紹介する．自己増殖的な等値面生成手法では，等値面と交差する 1 要素を出発点として，隣接する交差要素を再帰的に処理することで，等値面と交差する要素のみを処理して等値面を生成することが出来る．しかし，処理の出発点となる要素を自動的かつ効率的にに抽出する手法は確立されていない．

本論文の第 6 章では，自己増殖的な等値面生成手法を応用した，等値面生成の高速化手法として，極点グラフ法を提案する．本章ではまず，等値面を閉曲面と境界つき曲面に分類し，境界つき曲面はボリュームの境界面に接することを示す．続いて，中間値の定理により，閉曲面となる等値面に囲まれた領域の内部および外部には，それぞれ少なくとも 1 点以上の極大点または極小点が存在すること，およびこれらの極大点や極小点を連結するグラフの 1 本以上の辺は，閉曲面となる等値面と交差することを示す．これらの定理によって，ボリュームの境界面に接する 3 次元要素，および極点を連結するグラフの辺が通過する 3 次元要素のうち，最低 1 個の 3 次元要素は等値面と交差する．本手法では，ボリュームの境界面に接する要素，および極点を連結するグラフが通過する要素をリストに登録し，登録された要素と等値面との交差判定によって交差要素を抽出する．この交差要素を出発点とすることで，自己増殖的に等値面を生成することが出来る．

本論文の第 7 章では，極点グラフ法よりもさらに高速な等値面生成手法として，画像認識の分野で用いられている細線化処理を応用した手法を提案する．まず，極点グラフ法において，ボリュームの境界面に接する 3 次元要素との交差判定の必要性について述べる．非構造ボリュームが貫通穴をもつ場合には，境界つき曲面となる等値面の非連結なすべての部分と，極点グラフの交差を保証しない場合がある．これは，極点グラフがボリュームの貫通穴のトポロジーを必ずしも保持しないために起こることである．続いて，画像認識の分野で用いられている細線化処理について紹介する．細線化処理は，画像の特定領域を画素単位で削り，領域の穴などのトポロジーを保持しながら領域の骨格を生成する手法である．この手法をボリューム・データに適用することで，ボリュームのトポロジーを保持しながら極点を連結する，ボリュームの骨格を生成することが出来る．この骨格を構成する要素と等値面との交差判定を実行することで，等値面との交差要素が抽出され，自己増殖的に等値面を生成することが出来る．

本論文の第 8 章では，本論文の結論を述べる．