

審査の結果の要旨

氏名 長井 超慧

長井超慧（ながいゆきえ）提出の本論文は「**Processing of Scanned Geometry Using Spherically Supported Functions**（球被覆関数によるスキャン形状処理）」と題し、全7章よりなり、実物体をスキャンすることによって取得した形状を球被覆関数を用いて処理するための問題を扱っている。

第1章では、まず研究の背景を説明し、次に研究の目的および達成した目標について述べ、最後に論文の構成を述べている。球被覆関数はコンピュータ上で形状データを統一的に表現可能で形状処理に適した形状表現である。実物体はスキャンによってその形状を取得することができるが、取得した形状データにはノイズや異常値が含まれ、正しい球被覆関数を生成することができない。そこで本論文では、スキャンデータを対象に、ノイズ・異常値耐性のある球被覆関数生成と、球被覆関数を用いた形状処理について研究を行っている。スキャンデータは表面データとボリュームデータの2種類があり、形状処理として、表面データから表面メッシュを生成する「表面再構成」およびボリュームデータから物体の面状骨格構造を得る「スケルトン構造抽出」の2種類の問題を扱った。

第2章では、まず本論文において扱う球被覆関数以外の形状表現である、測定点群とメッシュを紹介している。次いでデータ構造固有の微分演算子導出に関する既存の研究について紹介している。その後、表面再構成、スムージング、スケルトン構造抽出に関して、既存の手法を特徴と問題点を挙げながら概説している。なお、スムージングはノイズ対策として最も一般的な手法である。

第3章では、球被覆関数のデータ構造とその生成手法、そこから得られる副次的構造であるメッシュの生成手法について述べている。まず、球被覆関数が、形状データを被覆する関数付き球（サポート球）集合で実現されることを説明する。次に表面データとボリュームデータそれぞれについて、球被覆の最小単

位であるサポート球の生成について述べ、それをふまえて球被覆の生成法を述べている。生成された球被覆の球同士に隣接関係を定めることで、球被覆と同じ次元の単体メッシュを生成することができ、その具体的な手法を本章の最後で紹介している。

第 4 章では球被覆関数固有の微分演算子の必要性について述べ、導出を行い、実際にコンピュータ上で用いるための式を示している。形状処理を行う際に用いるデータ構造に特化した微分演算子を用いることが望ましいが、球被覆関数には固有の微分演算子が今までなかったという背景についてまず述べている。次いで発散定理を用いてサポート球単位で離散化した **gradient** , **divergence** , **Laplacian** を導出し、実際に計算で用いる式を示している。

第 5 章では、異常値やノイズを含む表面データに対しても球被覆関数を用いて頑健に表面再構成を行う手法を提案し、様々なスキャンデータに適用することでその有効性を示している。球被覆関数を用いた表面再構成では、被覆領域を物体の内部と外部に分割し、その境界で物体表面を表現する。提案手法もその流れに則っている。本章ではまず、球被覆関数による既存の手法ではスキャンデータを処理する際に内外分割に失敗することを紹介する。異常値とノイズは異なる特徴をもつ外乱因子であり、異なる対策が必要であることを指摘している。それをふまえ、異常値は局所的な外乱であることに着目し、大域的な手法である **Graph-cut** を用いて異常値の影響を受けたサポート球を選別することを提案している。また、データ点に対する異常値らしさの指標を球被覆関数と **Graph-cut** を用いて考案し、指標の有効性も示している。次いでノイズの影響を緩和するために、サポート球の関数に対するスムージングを提案している。このスムージングでは、第 4 章で導出した離散 **Laplacian** を用いて勾配ベクトル場のラプラシアンスムージングを行い、その結果をスカラー場に反映するために、離散 **divergence** を用いたポアソン方程式を解いている。

第 6 章では、薄い板状の物体をスキャンして得たボリュウムデータから、その物体の面状のスケルトン構造を得るための手法を提案し、実験によって手法の有効性を示している。提案手法は厚みが薄い物体の場合はスケルトン構造とボリュウムデータの輝度値の極大点集合がほぼ一致するという観察に基づいている。スキャンデータに含まれるノイズの影響を緩和するために、輝度値を球被覆関数で近似した値を用いることを提案している。

第 7 章では結論と今後期待される展開について述べている。本論文で提案す

る手法により，球被覆関数を用いてスキャンデータを処理することが可能になったこと，球被覆関数を用いたよりよい形状表現および形状処理のために今後行うべき研究の方向性を述べている．

以上を要約するに，本研究により，球被覆関数によってスキャン形状を表現および処理するための複数の手法が提案され，その有効性が確認された．また，残された課題についても問題点が明らかにされ，球被覆関数を用いた形状表現および処理手法に関して大きな貢献をしたといえる．このことにより，コンピュータグラフィックスやエンジニアリングの発展に寄与するところが大きい．

よって本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる．