

## 学位論文題名

## B-spline 曲面を用いた画像の高能率符号化技術に関する研究

## 学位論文内容の要旨

今後の画像データを取り巻く使用環境は、今までのような単なる情報量の削減から、ユーザがその画像を操作する方向に向かっていると考えられる。そのためには、従来個別に検討されてきた「画像圧縮技術」と「画像処理技術」の融合が重要な研究課題であり、その実現例として圧縮データに対する画像処理の適用があげられるが、従来の圧縮技術である DCT 等ではその実現が困難であった。

一方、定義ポリゴン頂点に荷重関数を作用させて曲面を生成する B-spline 曲面は、各ポリゴン頂点とそこから発生する曲面との関係が、アフィン変換等の画像処理によって影響を受けない。従って B-spline 曲面上の点の値を画像データに対応させ、この曲面を発生させるポリゴン頂点を符号化対象とするような圧縮方式が確立できれば、圧縮されたポリゴン頂点値に画像処理を与えるだけで、もとのデータに処理を施したのと同様な結果を得ることが可能となる。本論文では、圧縮データに対する画像処理の適用が実現可能なツールとしてこの B-spline 曲面に注目し、圧縮レベルでの画像処理が可能な符号化アルゴリズムの開発を行うと同時に、その圧縮性能の検討を詳細に行ったものであり、以下の 8 章から構成される。

第 1 章は序論であり、本研究の目的と概要、および構成について述べた。

第 2 章では、この B-spline 曲面を用いて画像の画素値変化を近似的に表現する手法を構築した (B-spline 符号化)。そしてこの近似手法の性能向上が圧縮符号化の観点から見た場合の最終的な課題であり、そのためには画像の統計的性質に基づいて曲面形状を適応的に変更することが必要であることを述べた。

第 3 章では、ポリゴン頂点の位置の変更を用いた符号化効率向上手法について述べた。B-spline 曲面上の各点に対応するパラメータの値はその曲面に沿って定義され、曲面上での 2 点間の距離を表現している。従ってエッジの前後にある 2 点間のパラメータ間隔は、平坦部のそれより長く設定されるべきである。ここではまず、エッジの位置や急峻度に応じてパラメータ間隔を適応的に変更することにより、ポリゴン頂点位置を変化させた。そしてエッジの有無によらずパラメータ間隔を一定にする場合に比べて圧縮効率が向上すること、さらにその効果はエッジが急峻になるほど顕著になるという基本性能を示した。その後実際の自然画像を用いたシミュレーションを行い、既存の符号化手法である DCT と同等以上の圧縮効率が B-spline 符号化でも達成できることを明らかにした。

第 4 章では、ポリゴン頂点の多重度の変更を利用した符号化効率向上手法について述べた。同一の頂点位置に仮想的に複数の頂点が存在するポリゴン頂点の多重化は、式の上では頂点数が増加して曲面形状表現の自由度が増しているにもかかわらず、実際に符号化すべきポリゴン頂点数は増加しないため、圧縮ツールとして望ましい性質を有している。ここではまず、頂点の多重度が増加するにつれて、その近傍の曲面形状のみが多重頂点に引

き寄せられていく現象を示した。次にこの性質を利用して、エッジ部分の曲面発生に関わるポリゴン頂点を多重化し、実際に符号化すべきポリゴン頂点数を増加させずに、エッジの急峻度をより正確に表現できる手法を提案した。さらに自然画像を用いたシミュレーションにより、圧縮効率の改善効果が得られることを実証した。

第5章では、ポリゴン頂点数の変更を利用した符号化効率向上手法について述べた。まず、あらかじめ設定された符号化レートと各ブロックごとの絵柄の細かさに応じて、その部分に割り当てるべきポリゴン頂点数を一意に決定する手法を構築した。この手法を用いて、ブロックごとに適応的にポリゴン頂点数を設定することにより、DCT以上の圧縮性能が実現できる符号化レートの範囲を拡大することが可能となった。さらに各ブロックごとに、水平・垂直のいずれの方向にどの程度の細かいエッジが存在するかを測定し、この偏りに応じて各方向に異なるポリゴン頂点数を設定する手法、および割り当てるべき頂点数そのものの種類を増加させる手法の導入により、DCT以上の圧縮性能が得られる符号化レートの範囲がさらに拡大するとともに、圧縮性能それ自体もさらに向上することを示した。

第6章では、圧縮データであるポリゴン頂点数が、発生符号量を制御するためのツールとして利用できることを指摘し、B-spline符号化が柔軟なレート制御特性を有していることを明らかにした。ここでは、あらかじめ設定された全符号化ビット数をブロックごとの絵柄の細かさに応じて分配した後、まずポリゴン頂点数の変更によってレートを制御し、さらに細かなレート調整が必要な場合には、ポリゴン頂点値の量子化ステップサイズの変更を利用している。そして、設定レートからのずれが1%程度におさまる正確な符号量制御の実現が可能であることをシミュレーション実験により確認した。

第7章では、低レートのB-spline符号化で発生するブロック歪の削減手法を論じた。ここでは曲面と画素値変化との二乗誤差最小を拘束条件にして画素値変化の近似を行っているが、その際にブロック境界部分に重み付けを施し、この部分の近似誤差を他の部分よりも重く誤差計算に反映させることによって、ブロック間の画素値変化の不連続性を低減させている。本手法の導入により、従来のポストフィルタ等によるブロック歪削減手法に比べて解像度の劣化が少なく、しかもブロック歪が減少して、画面全体の主観評価が向上することを確認した。

第8章は結論であり、本論文の総括を行った。ここで提案したB-spline符号化は、圧縮データに対して画像処理が適用できるという新たな機能を有しており、しかも従来のDCTと同等以上の圧縮性能が達成可能である。従って本研究は、今後のマルチメディアシステムにおいて重要視される画像圧縮技術と画像処理技術との融合を実現するための、一つの有力な方向を示したといえる。

# 学位論文審査の要旨

主 査 教 授 永 井 信 夫  
副 査 教 授 北 島 秀 夫  
副 査 教 授 栃 内 香 次  
副 査 教 授 山 本 強  
副 査 助 教 授 鈴 木 正 清

## 学 位 論 文 題 名

### B-spline 曲面を用いた画像の高エネルギー符号化技術に関する研究

近年、画像データを効率的に蓄積あるいは伝送するための各種圧縮符号化技術の研究が各方面で盛んに行われている。特にこれからの画像を取り巻く使用環境は、単なる画像情報量の削減から、ユーザがその画像をインタラクティブに操作する方向に向かっていると考えられる。そのためには、従来個別に検討されてきた「画像圧縮技術」と「画像処理技術」との融合が重要な課題であり、その具体的な実現例として、圧縮データに対する画像処理の適用が注目を集めている。しかし、従来の圧縮技術である離散コサイン変換 (DCT) 等では、圧縮データに対する画像処理の適用は困難であった。

一方、定義ポリゴン頂点に荷重関数を作用させて曲面を生成する B-spline 曲面は、各ポリゴン頂点とそこから発生する曲面との関係が、アフィン変換等の画像処理によって影響を受けないことが知られている。従って、B-spline 曲面上の点の値を画像データに対応させ、この曲面を発生させるポリゴン頂点を符号化対象とするような圧縮方式が確立できれば、圧縮されたポリゴン頂点値に画像処理を与えるだけで、もとのデータに処理を施したのと同様な結果を得ることが可能となる。しかし従来より B-spline 曲面は、データ補間手法やそのためのフィルタ設計手法には応用されてきたものの、純粋に自然画像に対する圧縮符号化の立場から検討されたことはなかった。

本論文では、圧縮データに対する画像処理の適用が実現可能なツールとして、この B-spline 曲面に注目し、圧縮レベルでの画像処理が可能な高エネルギー符号化技術の開発を行うと同時に、本手法の圧縮性能の検討を詳細に行うことを目的としており、その主要な成果は以下の点に要約される。

- (1) B-spline 曲面上の点の値を画像の画素値変化に対応させた場合のポリゴン頂点値を符号化対象とする圧縮符号化アルゴリズム (B-spline 符号化) を開発している。さらに本手法を用いれば、圧縮データに対する画像処理の適用が可能になることを数学的に実証している。
- (2) B-spline 符号化の圧縮性能を、曲面形状の制御による画素値変化の近似精度という観点から、以下の3項目に分けて検証している。

B-spline 曲面上の各点に対応するパラメータの値はその曲面に沿って定義され、曲面上での 2点間の距離を表現している。従ってここでは、エッジの位置や急峻度に応

じてパラメータ間隔を適応的に変更することにより、ポリゴン頂点位置を変化させる手法を導入し、DCT 手法と同等以上の圧縮性能が達成できることを示している。

次に、ポリゴン頂点の多重度が増加するにつれて、その近傍の曲面形状のみが多重頂点に引き寄せられていく現象を示している。さらにその性質を利用して、エッジ部分の曲面発生に関わるポリゴン頂点を多重化することによって、エッジの急峻度をより正確に表現できる手法を提案し、エッジ部分の再生精度をさらに向上させている。

最後に、予め設定された符号化レートと絵柄の細かさに応じて、割り当てるべきポリゴン頂点数を適応的に変化させる手法を構築し、DCT 以上の圧縮性能が得られる符号化レートの範囲をより拡大させることが可能であることを示している。

(3) ポリゴン頂点数とポリゴン頂点値に対する量子化ステップサイズとを符号量制御パラメータとすることにより、B-spline符号化の発生符号量を正確に制御する手法を確立し、さらにその制御性能が常に安定して実現可能であることを、実際の自然画像を用いて検証している。

(4) B-spline曲面の生成過程において、画素値変化に対する近似誤差に重み付けを施す手法を提案し、再生画質の操作と主観評価の向上が実現可能であることを示している。

これを要するに、著者は、圧縮データに対する画像処理の適用という新たな機能を有する B-spline符号化手法を提案し、圧縮効率、符号量制御性能、および主観評価のいずれの面からも、実用上十分な性能が達成可能であることを実証している。これは、今後のマルチメディアシステムにおいて重要視される画像圧縮技術と画像処理技術との融合という点で有益な新知見を得ており、画像工学および電子情報工学の進歩に貢献するところ大なるものがある。

よって著者は、北海道大学博士（工学）の学位を授与される資格あるものと認める。