

審査の結果の要旨

氏名 平野 正浩

本論文は、「平面曲線の曲率フローを用いた高速形状補間」と題し、7章より構成されている。本論文は、曲率フローを軸にした形状補間手法を提案し、その手法が審美性と高速性の両立に有効であることを示している。具体的には、トポロジーの異なる閉曲線のブレンディングや意味的關係を維持する中割りを高速に実行可能であることを示すとともに、被験者実験によって審美性も確認している。

第1章は「序論」であり、形状補間の性質と高速化に向けた設計指針を述べている。まず、形状補間を形状の時空間表現に基づくものであると位置づけ、幾何学的な視点、とりわけ解析的位相的な視点が重要な役割を果たすことを述べている。また、補間手法の設計において、高速な計算時間を追求することが重要であることを指摘している。これらの視点から、曲率フローを用いた平面曲線の補間が有効であることを述べている。加えて、形状の意味的關係の強弱に応じて補間手法がとるべき指針を提示している。

第2章は「研究背景」であり、形状補間と関連が高い手法を論じている。まず、平面曲線に関する解析的・位相的性質を述べ、特に曲率フローがジオメトリ処理においてどのような役割を果たしてきたかを論じている。さらに、これまでに提案されている形状補間技術の中で特に本論文と関連する、別の空間に射影してから補間を行う手法について概観している。また、形状間の意味的關係を抽出するための対応探索手法について、コンピュータビジョンやコンピュータグラフィックスの分野において培われてきた手法を、高精度化・高速化という観点から俯瞰している。最後に、審美性を評価するために用いる主観品質評価法について述べている。

第3章は「曲率勾配フローを用いた閉曲線ブレンディング」と題し、ブレンディング曲線のデザイン指針と閉曲線制約条件の両者を満たすような曲率フローに基づく定式化を提案し、評価を行っている。提案手法は、閉曲線に関する連続性条件が、曲率の時間微分に関して線形に記述できることを利用し、同じく線形に記述される曲率フローの更新差分に制約条件を適用することで、関連手法が依拠していた非線形最適化を用いることのない高速な閉曲線ブレンディングを実現している。また、本手法が生成するブレンディング曲線が、よじれと呼ばれるアーティファクトを含まないなど、審美性の上で好ましい幾何学的な性質を満たすことも示した。

第4章は「曲率拡散フローを用いた閉曲線ブレンディング」と題し、回転数の異なる閉曲線対を主な対象として、特に特異点である尖点の取り扱いに注意した審美性の高いブレンディングを実現する手法を提案し、評価を行っている。提案手法は、尖点を持つ曲線を事前に計算し、その曲線を始曲線とする、曲率勾配フローと曲率拡散フローを組み合わせた双方向性の曲率フローを構成することで、審美性の高いブレンディングを実現している。また、本手法が審

美性の向上に寄与することを、主観品質評価実験によって確認している。さらに、各時刻において適応的に曲率フローを構成することで、さらなる高速化を達成した。

第5章は「曲率勾配フローを用いた開曲線ブレンディング」と題し、第3章の手法を開曲線に適用するための拡張方法を提案し、評価を行っている。まず、閉曲線と異なり、開曲線では曲線全体が平面にどのようにはめ込まれているかが重要であることを指摘し、回転・並進・スケールの変化を同時に考慮した制約条件を導出している。また、新しく導出された制約条件は線形直交制約式とならないため、制約条件を満たす空間であるアフィン部分空間に対する射影を計算することで制約を適用する手法を導出している。これにより、長さや端点における接ベクトルが線形に変化するという性質を有するブレンディングを実現した。さらに、曲率の線形補間をスケーリングした補間曲線よりも高い審美性を持つことを主観品質評価実験によって確認した。

第6章は「一筆書きアニメーションの対話的中割り」と題し、意味的關係の混在する1本の複雑な曲線で描かれた一筆書きアニメーションの中割り手法を提案し、評価を行っている。提案手法では、曲線の各点における局所特徴量を用いた動的計画法による高精度な対応点探索を解き、求めた隣接するフレーム間の対応關係の外挿によりスプライン補間を行うことで初期中割りを行っている。また初期中割りにおける主な失敗要因が、対応点探索が失敗した場合と意味的關係が乏しい場合の2つに類別できるとし、前者については対応点の正しい指定を行うためにユーザによる対応点の直接指定による修正手法を提案し、後者については意味的關係よりも形状遷移の滑らかさを重視する曲率フローを用いた修正手法を提案している。これにより、関連研究よりも審美性が高く、アニメータによる作品と比肩する品質の中割りを高速に実現した。

第7章は「結論」であり、本研究の成果がまとめられている。

以上要するに、本論文は、不良設定問題である形状補間問題に対して、形状を幾何的な視点から捉えたときに明らかになる解析的・位相的性質を、曲率フローを用いることで手法の中に陽に取り込み、高速性と審美性を両立できることを理論的かつ実験的に示したものである。具体的には、曲率フローを導入することで線形記述可能な閉曲線の高速ブレンディングを示すとともに、回転数の異なる閉曲線対にも適用可能な手法に拡張できることを実証している。また、制約条件の理論的導出を行うことで、開曲線を対象とするブレンディングにも適用可能であることを示している。さらに、一筆書きアニメーションを対象として、意味的關係の混在する曲線対のための体系的な対応点探索と形状補間が可能な手法を提案している。加えて、これらの手法に要する計算時間を評価するとともに、被験者実験によって結果の品質を評価し、高速性と審美性の両立に貢献していることを実証している。本論文の成果は、平面曲線に対する高速な形状補間技術を飛躍的に向上させ、様々な応用を可能とするものであり、関連する分野の発展に貢献するとともに、システム情報学の進歩に対して寄与することが大であると認められる。

よって本論文は博士(情報理工学)の学位請求論文として合格と認められる。