

論文の内容の要旨

論文題目：立体映像における奥行感を保持・誇張する非線形変換処理の研究

氏名： 宇都木 契 49-097301

研究の動機と意義

立体映像には「映像」としての特性と「立体」としての特性という矛盾した特性がある。たとえば、既存の映画に対して、視差の表現を加えて生まれた立体映画の分野では、従来から映像で用いられてきた絵画的奥行き手がかりの条件の上に、視差奥行き手がかりが追加される。だが、従来の映像文化では、撮影系と表示系の間で距離と画角などが異なる条件で映像が提示されることも多い。このため三次元空間と透視投影による写像モデルに基づく解釈だけでは、奥行感を解析することが難しくなることがあり、奥行き手がかりの情報が齟齬や不便を生むことがしばしばある。

たとえば、絵画や映画の文化では、被写体や視点ではなく、画像自体を直接加工するイメージベースの調整手法が行われてきた。このような直接的な調整手法は、人間の視聴嗜好に合わせた映像を簡便かつ的確に制作する手段を提供してきた。だが、これらの加工手段では三次元的なステレオ視差を取り扱うことは難しい。このため、従来の映像制作では簡便に用いることができた調整方法が、複雑で扱いにくくなる場合もある。

一方、三次元モデルから透視投影で映像を生成する手法は急速に普及し、実写の光景に三次元的な整合したモデルをリアルタイムで合成する拡張現実感(AR)アプリケーションなどの表現も可能になった。このような三次元幾何と透視投影を用いた表現では、ステレオ視差を持つ映像も扱いやすい。また、その一方で、従来の映像制作で用いてきた誇張表現などの演出の中には、直観的なイメージベースに基づいているものも多い。このような直観的な演出が透視投影の方法論に導入できないことで映像制作者が苦しむ場合もある。

このように映像文化では二次元的な映像調整の方法が発達している。そこで本論文では、三次元奥行きが重要になる環境下においても、従来の映像表現で行われていたような柔軟な加工手段を実現する方法論の研究を行った。

本論文のコンセプト

特に本研究では、奥行き手がかりのある画像に対して、人間の認知的なバイアスに合わせて非線形変換処理を実行するアプローチを検討した。二次元映像情報や三次元幾何情報のうち、重要な要素がある空間を保持または誇張し、不要な空間の部分を縮小する。これらの処理を用いて、奥行き手がかりのある映像表現を調整する二種類の対照的なアプローチを検討した。

1. 第一のアプローチでは、非線形変換処理による二次元画像の加工に対して三次元的な奥行き条件を保持する制約条件を追加する。この処理は **Content-Preserving** 画像処理を基にして、三次元的な構造の保持をエネルギー制約条件として導入することで実現したものである。
2. 第二のアプローチでは、三次元モデルからのレンダリングに対して、手書き画像に見られるような二次元的誇張表現を再現する。この処理は **Multi-Perspective Rendering** による映像生成方式を基にして、二次元的な誇張の条件を三次元カメラの配置問題として導入することで実現したものである。

本論文の第 1 章では、以上に挙げた論文のコンセプトと構成の概要を説明した。

本論文の第 2 章では、この提案手法の意義と利点を検討するために、従来の映像文化における奥行き表現と、先行研究における論点の概要を整理した。また本提案手法に用いられた画像の非線形変換処理と空間の非線形遠近法についての先行研究と概要を記述した。

提案手法 1 : 奥行き手がかりを保持する Content-Preserving 画像処理

第一の提案として、二次元的な画像加工の方法論に対して、三次元的な奥行き手がかりの情報を導入し、ステレオ画像の視差の情報を保持する非線形変換処理の検討を行った。

注目した課題

ステレオ画像は、通常の画像にくらべて加工や修正の処理が難しい。これは複数の画像に対して、視差の整合性を保持したまま処理を実施する制約があるためである。また、ウィンドウ違反や奥行き感の保持などの制約条件があるため、単純な拡大縮小処理や切り出し処理も通常の画像のようにできない場合がある。

先行研究での従来手法

Content-Preserving (CP) 画像処理に、奥行き手がかりの情報を導入し、画像幅の縮小を行う非線形変換処理 (Image Retargeting : IR) がある。従来の IR 処理では、一枚

の画像の色情報を二次元的に処理し、各ピクセルの顕著性の高さを示す顕著性マップを導出する。そして、この顕著性の低い領域を一部伸縮し、映像の中で顕著性の高い特徴的な部分についての縦横比率や見た目を保持したまま、画像内の構図を変更する。しかし、既存処理は二次元画像の顕著性だけを考慮して加工にする方法であるため、ステレオ画像の視差などの奥行き手がかり情報が壊れてしまう。

提案手法

提案した手法は、S. Avidan の提唱した適応的な画像処理 Seam Carving (SC) に、追加エネルギー項を入れることによって成立する。この SC の処理に対して、ステレオ視差と画像内の直線という二種類の奥行き手がかりを保持する制約条件を考案した。

- 直線の保持：

画像の背景領域にある直線要素は、人間が立体構造を理解するために重要な絵画的奥行き手がかりを提供する。この直線性を保護するために、直線が縮小される頻度が均一になるようにフィードバックのエネルギーを与える手法を提案した。

- 視差の保持：

複数視点の画像の間に現れる視差は、奥行き手がかりの最たる要素である。この視差を保持するために、三種類の追加エネルギー項を導入した。

1. 画像間のサンプリングの差を表すエネルギー項
2. 画像間の奥行き方向の対応関係を表すエネルギー項
3. 画像間の横方向の対応関係を表すエネルギー項

これらの追加項で空間構造の制約を表現することで、画像感の視差を保持する。

これらの追加エネルギーにより、ステレオ画像の視差を保持したまま IR 処理を実現する方法を検討した。

提案手法の効果

提案手法の新規エネルギーの導入により、二つの効果が生まれた。

一つは、絵画的奥行き手がかりに相当する三次元的な構造が、最適化計算に反映されたことで、特に背景部分を中心に違和感が減少した点である。この点は通常の二次元画像でも認識できる。

もう一つは、お互いの視差を保持したまま複数画像の処理が行えるようになったことで、ステレオ表示系の映像を処理できるようになった点である。ステレオ画像を三次元再構築のプロセス抜きで取り扱う体系的な方法論は少ないため、本手法は CP 画像処理の付加価値を向上させる提案として特に有用であると考えられる。

提案手法 2：奥行き手がかりを誇張する Multi-Perspective Rendering 映像

第二の提案として、三次元幾何モデルを用いた映像の生成において、二次元的な手書き描画に見られる奥行き手がかりの誇張表現を実現する方法の検討を行った。

注目した課題

昔から、アニメやマンガなどにおける手書きのイラストには、遠近感が過剰に誇張された表現が多用されている。だが、三次元モデルを使った映像表現では、手書き絵画のような自由な表現ができない。この二次元画像の表現と三次元幾何の整合性の問題は、映像制作における問題点であった。

先行研究での従来手法

従来の映像制作分野では、三次元幾何モデルを直接変形することによって映像の誇張を行ってきた。このような手法は、運動や表情の変形などの物理的な現象に関連した処理において成功を収めてきた。だがパースの誇張は観察者の位置に密接にかかわるものであるため、ある視点位置に特化してモデルの誇張を行っても、別の視点位置から観察した時には破綻した映像となってしまう。

提案手法

この問題に対し、本論文で提案した手法は、複数の視点位置からの映像を合成して一枚の絵を作成する **Multi-Perspective Rendering** の方法論を用いる。

三次元モデルの関節部位ごとに異なる透視投影の効果を割り当てることで、パース効果の誇張を絵画で見られるように部分的に強調する。この映像の誇張の効果を、各部位に対する視点距離として制御するために、階層的に結びつけられた視点位置の制御手法 (**E-IMPACT**) を考案し、距離や姿勢の変化に対して自然な補間が行えるようにした。

- 関節ごとに異なる観察距離を割り当てることで、奥行き距離に対する見かけ上の大きさの変化率を制御する。
- 各関節の視点位置を階層的に保持し、親ノードの視点位置と、モデルに埋め込まれた制御点（ターゲット点）から、子ノードの視点位置を決定する。

提案手法の効果

提案手法によって、印象的な誇張画像を高速に作成できることを、インタラクティブな表示系の制作によって実証した。この表示系は、あらかじめ定められた背景画像に合わせて映像を作らなければならないアプリケーションにおいても、広角レンズで接写したような臨場感ある表現を映像に組み合わせられることを実証した。また、ユーザテストと、様々な展示会での映像制作者からの意見に基づいて、提案手法での誇張表現が支持される傾向が強いことを検証した。

結論

本論文の第 5 章においては、この論文の主たる成果である二種類の方法論をまとめ、今後の課題と展望について記述している。

本論文で扱った二つの提案手法は、観察距離が制約されたカメラによる入力や、ステレオ映像を表示するディスプレイでの出力において、奥行き手がかりを保持あるいは誇張する、柔軟な映像制作の技法を目指して開発されたものである。三次元的な整合性と制約条件を、あえてエネルギー関数の形で再表現することで、CP 画像処理という画像ベースの非線形変換の手法に融合させた。また、二次元的な誇張の表現を、あえてカメラパラメータの制約として再表現することで、Multi-Perspective Rendering での映像生成技法に融合させた。これらの手法は、人間が映像制作において行ってきた伝統的な技法を踏まえ、非線形変換の方法論に合わせて再解釈することによって、より自然な形で次世代映像メディアに適用するための方法を提案するものである。

Content-Preserving 画像処理

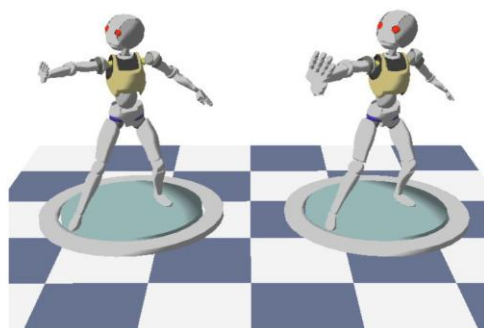
画像の縦横比を加工するSeam Carving技法に奥行き感の制約条件を追加



視差維持制約

Multi-Perspective Rendering 誇張表現

奥行き感が過剰に誇張された擬似3Dの画像を作成



遠近感覚の誇張加工