

論文の内容の要旨

論文題目 赤外線ドットパターンと赤外線カラーステレオカメラを用いた奥行き推定手法とその映像制作への応用

氏 名 久富 健介

本研究では、映像制作に応用が可能なデプスマップ推定手法を提案する。映像制作への応用にあたっては、デプスマップが奥行き方向も含めて高解像度であること、推定精度が高いこと、3次元形状とともにテクスチャーを同時に取得できること、複数のデプスマップが同時に取得できること、動画に対応できること、被写体のテクスチャーの依存が少ないこと、被写体の形状に制約が少ないこと、被写体の素材に制約が少ないことなど、多くの要求条件を満たす必要がある。そこで、本研究では、赤外線プロジェクターでドットパターンを被写体に照射し、2台の赤外線カラーカメラで撮影した赤外線ステレオ画像とカラーステレオ画像から、ステレオマッチングのアプローチによりデプスマップを推定する手法を提案する。これにより、鏡面反射や半透明・透明といった素材の依存性を除くすべての要求条件を満たす奥行き推定手法を考案した。

本論文では、はじめに赤外線ステレオ画像とカラーステレオ画像からCost volumeを生成し、CLMFによるCost volume filterを用いてデプスマップを推定する手法を提案する。これにより、SN比の低い赤外線画像からも、高い精度でデプスマップを推定でき、被写体の境界付近で膨張現象を抑制したデプスマップを推定することができる。しかし、この手法は、フレーム毎で独立に処理するため、時系列のデプスマップを生成すると、フレーム間の連続性が考慮していないため、デプスマップ上でフリッカーが生じる課題があった。

本研究の最終目標は、映像制作への応用が可能な時系列3次元モデルを生成することであるため、時系列デプスマップ上のフリッカーは大きな課題となる。そこで、フレーム間の連続性を考慮した時系列デプスマップ推定するため、Cost volume filterを時間方向に拡張した。はじめに、Cost volumeとCLMFを時間方向に拡張し、st-Cost volumeとst-CLMFを提案する。その上、これらを用いてCost volume filterを時間方向に拡張して、st-Cost volume filterを提案する。その結果、フリッカーを大きく抑制した時系列デプスマップを推定することができる。しかし、Cost volume filterは、同一視差

上の近傍画素のCostを共有することにより、推定精度を改善する手法であることから、潜在的に被写体の表面は、カメラに正対しているという仮定をおいている。そのため、被写体表面がカメラに正対していない領域の推定精度が低くなってしまふ。

そこで、Cost volume filterのうち、各画素においてCostが最小となる視差を選択するWinner-takes-all戦略ではなく、最適化アルゴリズムを用いて視差の異なる近傍画素のCostを考慮に入れる手法を提案する。最適化アルゴリズムには、グラフカットを用いる。従来手法のグラフカットは、各画素とそれに対応する視差にノードを配置し、ノード間をエッジで結んだ上で、エッジにCostをエネルギーとして付与した3次元グラフカットを用いるが、この手法では多くの計算時間とメモリ使用量を必要とする。映像制作への応用を考慮に入れると、画素数が多く、高い奥行き解像度を有したデプスマップを、多数のフレーム分推定して時系列デプスマップを取得する必要がある。そのため、計算時間とメモリ使用量が極力少なくすみ、現実的な計算時間とメモリ使用量で実行できる必要がある。そこで、Cost volume filterにおいて垂直性の連続性はすでに考慮に入っており、左右の撮影点の違いによる画像の変形は水平方向にのみ生じることに注目し、スキャンライン毎にグラフカットを行う2次元グラフカットを用いる。その結果、半分の計算時間、8分の1のメモリ使用量で、3次元グラフカットで推定したデプスマップとほぼ同精度のデプスマップを推定することができた。

しかし、グラフカットアルゴリズム自体が多くの計算時間とメモリを必要とすることから、2次元グラフカットよりも効率的に最適化問題を解くことができる動的計画法を用いた奥行き推定手法を提案する。動的計画法は、2次元の最適化問題にしか対応できないことから、水平方向と垂直方向の2段階の動的計画法を用いることで、3次元の最適化を行った。また、動的計画法は、始点と終点が事前にわかっていないこと、左右の画素の順序が入れ替わることができないこと、始点から終点まで連続していないといけなないことなどの制約がある。そこで、はじめに入力画像のセグメンテーションを行い、各セグメント内は連続した平面もしくは曲面であるという仮定をおいて、これらの制約に対応した。その結果、2次元グラフカットを用いて推定したデプスマップとほぼ同精度の推定を維持したまま、大幅な計算時間の削減を実現できた。特に、画素数や視差数が増えると、処理時間の改善が大きくなることがわかり、映像制作への応用に向いていることが確認できた。この手法は一般的なカラーステレオ画像からデプスマップを推定することにも応用が可能である。その場合には、カラーカメラのSN比が高いことから、Cost volume filterを併用する必要がないため、計算時間の大幅な短縮化ができることが確認できた。

本研究の最終目的である3次元モデルの映像制作への応用を実現するため、本論文では、提案した奥行き推定手法を用いて取得した複数のデプスマップを統合して、3次元モデルを生成する手法も提案する。この処理では、はじめに取得した複数のデプスマップを3次元空間上に重ね合わせて初期3次元モデルを生成する。次に、初期3次元モデル

を各カメラに投影して、各頂点のカラー値と、カラー画像上の投影点のカラー値との類似度が最も高い頂点が被写体表面であると仮定して、それより手前の頂点を削除することで推定エラーを除去して修正3次元モデルを生成する。この修正3次元モデルは、オクルージョンや左右視差チェック、推定エラー頂点の除去処理により、3次元情報のない欠落領域を含む。そこで、修正3次元モデルを各カメラに投影して、各撮影点からのデプスマップを生成し、類似色の奥行きは類似した奥行き値であると仮定して、カラー画像をガイドとした、CLMFによる平滑化処理をデプスマップに行って補完処理を行う。このようにして補完した複数のデプスマップを3次元空間上に重ね合わせることで、最終3次元モデルを生成した。実験では、最終3次元モデルを用いて、撮影していない位置からの映像を生成し、本研究で提案したデプスマップ推定手法が2D映像制作に応用が可能であることを示した。また、この最終3次元モデルから要素画像群を生成してディスプレイに表示し、焦点距離離れた位置にレンズアレーを設置して、立体像を再生する実験を行い、本手法が3D映像制作にも応用が可能であることを示した。このように、本研究では赤外線プロジェクターと複数の赤外線カラーカメラを用いて、映像制作への応用に当たっての要求条件のうち、被写体の素材の依存度が低くする点を除いたすべての条件を満たしたデプスマップを生成する手法を確立することができた。また、実際に本研究を用いて生成したデプスマップを用いて、2D映像および3D映像制作への応用の可能性を示した。