

氏 名	山 口 生
学 位 の 種 類	博 士 (工学)
学 位 記 番 号	工博甲第248号
学位授与の日付	平成19年3月23日
学位授与の条件	学位規則第4条第1項該当
学 位 論 文 題 目	可動ステレオビジョンを用いた3次元復元に関する研究
論 文 審 査 委 員	主 査 教 授 石 川 聖 二
	” 芹 川 聖 一
	” 小 林 敏 弘
	” 田 川 善 彦

## 学 位 論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、可動ステレオカメラを用いて、静止物体や移動変形物体の3次元形状を復元する方法について述べている。

我々が生活する3次元空間内で起きる事象や、空間内に存在する物体の計測を行う場合、それらの3次元情報を取得すれば、2次元情報のみに基づくよりも正確な対象の理解が可能になる。また、近年では、ネットワークによって相互接続された携帯電話やPDA、ウェアラブルコンピュータなどが至るところで利用されるようになり、それらを用いたデジタル機器による計測は、従来のローカルな計測からユビキタス時代を反映するグローバルな計測へと進化している。このような状況にあって物体の3次元復元技術も、いつでも、どこでも、どんな対象であっても適用できる手法の開発が切望されている。

このようなニーズに対応できる3次元復元法は、事前の調整無しに直ちに撮影が可能であること、対象の動作に合わせたカメラワークが可能などの特徴を有している必要がある。物体や事象の高精度の3次元計測を効率よく行うための技術は、これまでに様々な手法が提案されているが、上述の特徴を有する手法はまだ提案されていない。

本論文では、それらの特徴を有する手法として、可動ステレオビジョンによる3次元復元法を提案している。

以下に各章の概要を述べる。

第1章では、3次元計測分野の研究背景や、これまでに提案された3次元計測に関する研究について概観し、それらの特徴と問題点を踏まえた上で、本研究の目的とその応用分野について述べている。

第2章では、可動ステレオカメラを用いた3次元復元法を提案している。提案法は、従来法のようにカメラを固定設置する必要がなく、対象の周りを自由に移動しながら撮影できるため、広範囲を移動する動物体を対象とする場合などへの適用が容易である。また、事前のカメラキャリブレーションが不要であるため、即座に撮影を開始することができる。

提案法では、撮影された画像上の静止物体の特徴点座標を用いて、静止物体の3次元形状とカメラ姿勢が求められる。静止物体形状とカメラ姿勢の分離には因子分解法を用いるため、線形計算のみで安定した復元結果を得ることができる。このとき得られた各時刻における可動カメラ姿勢と移動変形物体の特徴点座標を用いれば、移動変形物体の3次元復元を行うことができる。本章では、このような可動ステレオビジョン法を提案している。

第3章では、実数値遺伝的アルゴリズム(以下RCGAと略す)を用いた非線形最適化を用いて、復元精度の向上を図る手法を提案している。

映像情報のみから3次元復元を行う提案法では、ノイズを一切含まずに特徴点の座標値が得られる場合に、最も精度の高い復元結果を得る。換言すれば、復元精度は座標値の外れ値やレンズ歪みなどの影響を受けやすい。したがって、理想画像が得られたと仮定した場合の精度が保証される代数的な最適化ではなく、実際の復元対象が持つ最低限の既知情報に基づく拘束条件を評価値として、復元解

の連続性を保持したまま、大局的な解探索が可能な手法として RCGA を適用している。この非線形最適化により、線形なカメラモデルであるアフィンカメラ近似のもとで、解算出の安定性は維持したまま復元精度の向上を図ることができる。

第4章では、これまでに提案した手法を用いた実験とその結果について述べている。

まず、遠隔地を想定して、画像伝送システムを用いた実験を行い、屋外で運動する人物の3次元形状を復元することができた。また、透視投影を仮定して立方体を2次元画像に投影したシミュレーション実験、および、卓球をしている人物の3次元復元実験を行った。シミュレーション実験では、立方体の有する各辺の対称性と直交性を、卓球の実験では、人物の左右対称性と卓球台の辺の長さとの直交性をそれぞれ既知情報として定義し、RCGAを用いた非線形最適化を行った。最適化処理によって、いずれの実験においてもその復元精度を向上させることができた。

第5章では、4章で得られた実験結果について詳細な考察を行い、従来法と比較して、対象の周りを自由に移動しながら撮影でき、事前のカメラキャリブレーションも行わずに3次元復元を実現する提案法の有効性を示している。

最後に、第6章で本論文の結論と、提案法の適用によって発展の期待される応用分野について述べている。

## 学 位 論 文 審 査 の 結 果 の 要 旨

画像計測技術は、コンピュータの発達とともに、近年ますますその応用分野を拡大しつつある。特に、人の動作や運動の3次元復元技術は、映画やテレビ番組・ビデオゲーム等における仮想人物モデル製作、スポーツやリハビリにおける動作解析のための手段として、さまざまな手法が開発され製品化されている。しかしながら従来の3次元復元技術は、カメラの設置されたスタジオ等で撮影された、反復可能な動作や運動しか復元の対象とならず、屋外での使用は簡単ではなく、ニュース性のある突発的事象あるいは一過性の事象を復元することはできなかった。その主たる原因は、カメラを固定して事前の調整(カメラキャリブレーション)を行わねばならないことにある。

一方、近年では、ネットワークによって相互接続された携帯電話やPDA、ウェアラブルコンピュータなどが至るところで利用されるようになり、それらを用いたデジタル機器による計測は、従来のローカルな計測からユビキタス時代を反映するグローバルな計測へと進化している。このような状況にあって3次元復元技術も、いつでも、どこでも、どんな対象であっても適用できる手法の開発が切望されている。

このようなニーズに対応できる3次元復元技術として、本論文は、可動ステレオビジョンによる3次元復元法を提案している。事前のカメラキャリブレーション無しに直ちに撮影が可能であること、対象の動作に合わせカメラ移動が可能なのが本法の特徴である。

本論文では、著者はまず、可動ステレオカメラを用いた3次元復元法の理論を述べている。本法は、まず対象となる人物とその背景を2台のビデオカメラを移動させながら撮影し、得られた2本のビデオ映像から地面や建物等の静止物体上の特徴点の画像座標を抽出し、特異値分解等を用いてそれらの特徴点の3次元位置とカメラ姿勢を求める。次に、得られたカメラ姿勢と人物上の特徴点の画像座標を用いて、人物上の特徴点の3次元位置を計算する。この手続きにより、動作を行う人とその背景の3次元復元が行われる。

次に著者は、上記の復元法に加えて、実数値遺伝的アルゴリズムを用いた非線形最適化法を用いて、復元精度の向上を図る手法を提案している。映像情報のみから3次元復元を行う提案法では、ノイズを一切含まずに特徴点の座標値が得られる場合に、最も精度の高い復元結果が得られる。これは逆に表現すれば、復元精度は座標値の外れ値やレンズ歪みなどの影響を受けやすいということである。したがって、理想画像が得られたと仮定した場合の代数的な最適化ではなく、実際の復元対象が持つ最低限の既知情報に基づく拘束条件を評価値として、復元精度を向上する必要がある。そこで、復元解の連続性を保持したまま大局的な解探索が可能な手法として、実数値遺伝的アルゴリズムを用いる。この非線形最適化により、線形なカメラモデルであるアフィンカメラ近似のもとで、解算出の安定性を維持したまま復元精度の向上を図ることができる。

最後に著者は、提案法を用いた実験とその結果について述べている。まず、遠隔地を想定し、屋外で運動する人物を2台の可動ステレオカメラで撮影し、画像伝送システム（アンテナ）を用いてその映像を研究室に伝送し、その人物の3次元復元を行った。これにより提案法の使用環境の柔軟さを示した。次に、可動ステレオカメラを用いて卓球をする人物を撮影し、その動作の3次元復元を行った。この実験では、人物の左右対称性と卓球台の辺の長さや直交性をそれぞれ既知情報として定義し、実数値遺伝的アルゴリズムを用いた非線形最適化を行い、復元精度を向上させた。

以上のように本論文は、事前のカメラキャリブレーションが不要で、カメラ移動が可能な3次元復元技術である可動ステレオビジョン法を提案している。本法は、スタジオの中の反復可能な動作・運動だけでなく、突発性・一過性の動作・運動も3次元復元の対象とするため、3次元復元技術の適用分野が大きく広がった。したがって本論文の成果は、計測工学、特に3次元画像計測分野への貢献が大きいものと考えられる。よって本論文は、博士（工学）の学位論文に値するものと認められる。

なお、本研究に関して、審査委員および公聴会における出席者から、ビデオ映像の同期の取り方、実数値遺伝的アルゴリズムで用いられた交叉法の性質、2台のカメラの動かし方、移動を続ける人物の復元法等に関して質問がなされたが、いずれも著者からの適切な説明によって質問者の理解が得られた。

以上の結果から、本審査委員会は、著者が最終試験に合格したものと認める。