

| | |
|---------|--|
| 氏名 | 守 啓 祐 |
| 学位の種類 | 博士(工学) |
| 学位記番号 | 工博甲第274号 |
| 学位授与の日付 | 平成21年3月25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 | 仮想3次元空間のためのモデル生成と手の動き検出を利用したその操作に関する研究 |
| 論文審査委員 | 主査 教授 石川 聖 二 " 小林 敏 弘 " 田川 善 彦 " 重松 保 弘 |

学位論文内容の要旨

コンピュータをはじめとする電子機器は広く利用されるようになってきている。これらの電子機器はわれわれに、便利かつ快適な生活環境を与えている。それらの機器を操作する場合、機器に付いているボタンを押したり、つまみを回したりして操作を行う。機能が複雑になると、そのボタンやつまみ等の数は増えていく。そのような機器の代表としてコンピュータがある。コンピュータの操作は、文字入力をキーボードで行い、また2次元的位置の指定をマウス等のポインティングデバイスを用いて行う。本研究では、このコンピュータ操作の中で、ディスプレイに現れる仮想的な3次元物体の操作について取り扱っている。通常用意されている従来の各種のポインティングデバイスは、機構的に2次元操作しかできない。そのため本研究では、3次元物体を直感的かつ簡単に操作するための方法の開発を目的とする。提案する方法は、使用機器を設置する際に必要な調整作業の少ない手法である。加えて本研究では、CGのようにコンピュータ上で作成した物体を操作するだけでなく、実際の物体を簡易に3次元モデル化してコンピュータ上で再生できる手法を提案している。本法も同様に、設置に先立つ調整作業が簡易な手法である。

本論文の第1章では、従来の研究と本研究の目的について述べている。

第2章では、コンピュータ・ディスプレイ上の3次元物体を操作する自然なデバイスとして、ディスプレイの前に座った操作者の、センサ等を装着しない手を簡易なカメラ1台で撮影し、その動きを検出して画面内の物体を操作するという方法を提案している。画像を検出するための、手領域以外の周辺情報である明るさや色の基本情報を画像から動的に検出することにより、事前の調整作業が不要な手法を用いている。手領域の検出には、入力画像の背景領域を固定的な領域と動きのある領域に分け、重みつき同期加算により背景を動的に検出する。加えて照明等の変化に対する安定性を確保するために、肌色情報を加えて手領域を判断する。画像中には手領域以外にも肌色領域が存在することがあるが、それらの領域から検出対象の手領域を分離するために、オプティカルフローを用いて動きの方向を検出し手領域のみの抽出を行う。検出した片手の領域に対し、その面積変化や形状変化等の幾何学的情報を利用して、物体の拡大縮小および回転等の操作を定義する。加えて、物体を両手でつかんで操作するように、両手を用いた直感的な3次元物体操作法を定義する。

本法を実行するシステムを開発し、地理情報システム、立体モデラーによって作成した立体、また第3章で述べる全周一括復元法を用いて作成した物体等を仮想物体として本法を適用し、手を用いたそれらに対する操作が、直感的・効果的に実現できることを確認した。

提案法は、検出に必要な各種パラメータの事前情報を必要とせず、連続して入力されるカメラの映像のみを利用して、それらの値の検出を行うという特徴を持つ。すなわち、設置の容易性を備える方法である。また操作は、片手あるいは両手の自然な動きを利用するので、操作の容易性も兼ね備えた手法である。

第3章では、物体の全周一括復元法を提案している。第2章で提案した方法を用いれば、ディスプ

レイ上に映し出された物体（仮想物体）を手の操作で回転させながら、その全周形状を認識することが容易になる。そこで本章では、そのような仮想物体を全周3次元モデルの形で容易に作成するための、新たな多視点カメラ計測法を提案する。従来法はステレオ法を基本とし、立体器具を用いた精密なカメラキャリブレーションを事前に行わねばならない。ステレオ法の他には、因子分解による立体モデル化法が提案されている。立体モデル化には復元された部分形状のつなぎ合わせが必要であるため、像形成モデルに正射影や疑似透視投影等の線形モデル近似を行う因子分解法では復元誤差が混入し、つなぎ合わせアルゴリズムを適用するのは難しい。提案法は因子分解法を応用した復元法であるが、物体を囲むすべてのカメラが、物体上のすべての特徴点を観察するという状況を作り出し、全特徴点情報を用いて物体の全周形状を一括して復元する。本法の第一の特徴は、立体器具を使うステレオ法と異なり、画像ベースのカメラキャリブレーションを行う点、第二の特徴は、物体形状の一括復元を行うためつなぎあわせの必要がない点、また第三の特徴は、全周囲に渡る幾何学的拘束を考慮することにより、復元精度の向上を図っている点にある。本法の適用条件は、物体上の少なくとも3点が全カメラで共通に観察される必要があるという点であるが、この条件は、対象物体を見下ろすようにカメラ群を配置すれば実現しやすい。本章では、上記の一括復元法を2通り提案し、実験的にその復元精度を比較している。第1法は、全カメラで直接観察される点を復元した後は、前面（後面）カメラのみで観察される点の後面（前面）カメラ群への投影情報のみを利用した復元計算を行うのに対し、第2法は、全面（全方向）の幾何学的拘束を一括して考慮しているため、すなわち全周囲に渡る投影形状を同時に考慮しているために、第1法よりも復元精度が向上する。このことを多面体の復元によって実験的に示している。

第4章は本論文全体に考察を与え、第5章で結論を述べている。

学位論文審査の結果の要旨

コンピュータをはじめとする電子機器は、人の諸活動に欠かせない道具となっており、便利で快適な生活環境を我々に提供している。このような電子機器に必要な機能は使いやすさであり、特にコンピュータの操作を容易にするために、キーボード、マウス、タブレット等、様々な入力機器が開発されている。しかしながら、例えばディスプレイ上の3次元物体を奥行き方向に動かして拡大縮小したり、回転して任意の方向から観察したいとき、これらの機器の不便さは否めない。そこで本論文では、コンピュータ・ディスプレイに描かれる仮想的な3次元空間の中の物体を、容易に操作するための新しい方法を提案している。また本論文は、操作の対象となる3次元物体を簡便なカメラキャリブレーションで精度よく作成するための新たな方法を提案している。

著者はまず、コンピュータ・ディスプレイ上の仮想3次元空間の中の物体を容易に操作する自然なデバイスとして、ディスプレイの前に座ったユーザが、その手を使って画面内の物体を操作するという、コンピュータとの新しいインタラクション法を提案している。提案法では、ユーザの前に置かれた1台のカメラがユーザを撮影し、その手領域を検出する。それには背景画像の逐次検出、肌色情報、またオプティカルフロー等が利用される。検出された手領域に対し面積変化や形状変化等の幾何学的情報を利用して、物体の拡大縮小および回転等の操作が定義されている。また、物体を両手でつかんで操作するように、両手を用いた自然な3次元物体操作法が定義されている。具体的なシステムとして、地理情報システム、立体モデラーによって作成された立体、また次に述べる全周一括復元法を用いて作成される物体等を仮想物体として本法を適用し、手による操作が、自然かつ効果的に実現できることを示している。提案法は、各種センサをユーザの手に装着する従来法と異なり、連続して入力されるカメラの映像のみを利用して操作を行う。すなわち、検出に必要な各種パラメータの事前情報を必要としない。また操作は、片手あるいは両手の自然な動きを利用する。従って、本法は設置及び操作の容易性を兼ね備えた手法と言える。

次に著者は、3次元物体の全周一括復元法を提案している。上記で提案された方法を用いれば、ディスプレイ上に映し出された物体を手の操作で回転させながら、任意の方向から形状を観察できる。そこで著者は、そのような物体を全周囲モデルの形で容易に作成するための、新たな多視点カメラ計測法を提案している。従来法はステレオ法を基本とし、撮影の前に、立体器具を用いた精密なカ

メラキャリブレーションを行わねばならないという、煩雑で時間のかかる手続きが含まれる。因子分解による立体モデル化法も提案されているが、復元された部分形状のつなぎ合わせが必要なため、像形成モデルに線形モデル近似を行う因子分解法では復元誤差が混入し、つなぎ合わせアルゴリズムを適用するのは難しい。提案法は、物体を囲むすべてのカメラが、物体上の手前および裏側のすべての特徴点を観察するという方法によって、全特徴点情報を含む行列から物体の全周囲形状を一度に復元するという方法である。本法は、立体器具でなく撮影された画像でカメラキャリブレーションを行うため、キャリブレーションが簡便である点、物体形状の一括復元を行うためつなぎ合わせ処理が不要である点、また、全周囲に渡る幾何学的拘束を考慮するため、復元精度がよい等の大きな利点がある。本論文では、多面体の全周囲の一括復元によって、提案法の有効性を実験的に示している。

以上のように本論文は、ディスプレイ上の仮想3次元空間内の物体の、ユーザの手を用いた操作法、および全周囲一括復元という多視点画像計測による立体の新しいモデル化法を提案するものであり、その成果は、計測工学、特に3次元画像計測分野、またマン・マシン・インターフェース分野への貢献が大きいものと考えられる。

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、動物体や変形物体のモデル化と表示・操作の可能性、一括復元の精度、他の立体モデル化法との違い、具体的な応用例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。

以上により、論文審査及び最終試験の結果に基づき、審査委員会において慎重に審査した結果、本論文が、博士（工学）の学位に十分値するものであると判断した。