

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 6 日現在

機関番号：11201

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2012～2014

課題番号：24560504

研究課題名(和文) 高度操作アクション情報のネゴシエーションによる柔軟物微細加工システム

研究課題名(英文) Machining system for soft material with motion of drivers and its negotiation

研究代表者

萩原 義裕 (Hagihara, Yoshihiro)

岩手大学・工学部・准教授

研究者番号：80293009

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,100,000円

研究成果の概要(和文)：高精度な加工を行う工作機械では、金属であっても容易に歪む柔軟物として扱う必要がある。食品加工分野でも加工対象の柔軟性が問題になることは多い。本研究は高精度な加工を行うシステムの自動化を目的とし、センサから取得された特徴量を仮想空間内でネゴシエートすることにより統合し、仮想空間内で確認しながら制御情報を生成する。単純なモデルや従来のセンサでは再構成しきれない状況を補い、職人の勘や経験をリアルに模倣した動作を再構成する。モーションキャプチャ装置、3次元測定装置、ビデオカメラの情報を取り込み、データベースと照合し、マッチングするものを取り出し、コンピュータ内で再構成する手法についてそれぞれ検討した。

研究成果の概要(英文)：Machine tools used for high-precision processing must be able to handle materials, even metals, as if they are flexible and easily deformed. Even in the food processing field there are many problems regarding the flexibility of processed items. With the aim of automating high-precision processing, this research integrates feature values obtained from sensors by negotiating these values within a virtual space, and generates control information while making confirmations within the virtual space. This approach compensates for conditions that cannot be reconstructed using simple models and conventional sensors, and reconstructs operations that realistically imitate the intuition and experience of craftsmen. We investigated various methods for taking information obtained through motion capturing devices, three-dimensional shape measuring devices, and video cameras, comparing it against a database, obtaining matches, and reconstructing with a computer.

研究分野：計測システム

キーワード：画像処理 情報ネゴシエーション 仮想空間生成

1. 研究開始当初の背景

高精度な微細加工を行う工作機械では、金属であっても容易に歪む柔軟物として扱う必要がある。食品加工分野でも加工対象の柔軟性が問題になることは多い。加工条件の違いにより加工対象の物体は例えば凹むケースと反り返るケースなど、まったく逆の性質を示す場合もあるため、適時観察しながら操作方法を加減しなければ理想の形状である平面を作ることはできない。このように、歪みは対象によってさまざまなので、自動機械の制御プログラムは実行結果に基づく試行錯誤と勘や経験に基づいて対象ごとに作られるのが現状である。

制御プログラムは手動操作における操作ハンドルの動かし方に他ならない。しかし、実際の手動操作では操作ハンドルから得られる情報以上に、操作者の操作姿勢や微小な視線の移動（特に眼球運動より頭部の動きによる視線移動）が加工精度に影響する。自動制御においても、これらの情報を加味することができれば、より高精度な加工を行うことができる。そのためにはモーションキャプチャ装置やビデオカメラから操作者の情報を取り込み、必要な情報を選択し、コンピュータ内で再構成する必要がある。

2. 研究の目的

本研究は高精度な加工を行うシステムの自動化を目的とし、センサから取得された多くの特徴量を仮想空間内でネゴシエートすることにより統合し、仮想空間内で操作や形状を確認しながら制御情報を生成する。単純なモデルや従来のセンサでは再構成しきれない状況を補い、職人の勘や経験をリアルに模倣した動作を再構成する。近年、モーションキャプチャ装置、3次元測定装置、ビデオカメラは極めて安価に入手できる。これらの情報を取り込み、既存のデータベースと照合し、マッチングするものを取り出して、コンピュータ内で再構成する手法について検討した。

3. 研究の方法

(1) コンピュータ内での再構成に関する検討

モーションキャプチャ装置、3次元測定装置、ビデオカメラから取り込まれた情報をコンピュータ内で再構成するためには、厳密なモデル化とシミュレーションが本来望ましいが、現実的な処理時間内でそれを実現することは困難である。そこで現実的な手段としてCGの手法をベースに高速な処理を行う方法をとることにした。

CGの手法を用いてもモーションキャプチャ装置、3次元測定装置、ビデオカメラから取り込まれた情報をコンピュータ内で再構成するには様々な課題がある。本研究では主に柔軟物をうまく表現するための手法を3つ選び、これに対して改善手法を検討した。

(2) データベースとの照合に関する検討

カメラから取り込んだ情報をデータベースと照合するためには、高精度なマッチング手法が必要になる。対象に応じて適応的に形状が変化するテンプレートを用いて高精度なマッチングを行う手法について検討した。

(3) モーション装置からの取り込みに関する検討

モーション装置から取り込める情報は人物の関節の位置情報と3次元深さ情報である。関節位置そのものを直接照合するのは困難であるため、関節の角度情報に変換し、これらを入力情報とする。これらの情報は時系列データであり、非常にデータ量が多い。したがって複数の関節の角度情報から特に有用なもののセットを動作ごとに事前を選択しておくことにより認識精度の向上を図る手法について検討した。本研究では、動作判別の指標としてマハラノビス距離を、判別性能の評価値としてROC曲線下の面積を用いた。

4. 研究成果

(1) コンピュータ内での再構成に関する検討

① ボーン位置合わせとスケルトンを利用したシュリンクラップ

人間のモデルなど複雑な形状の物体に衣類などのシュリンクラップを用いる際に問題となるモデル同士的位置ずれの影響を軽減するために、3次元モデルの動作を規定するためのボーンを用いて位置合わせした後にマセマティカルモフォロジーのスケルトンを用いてシュリンクラップを行う方法と、その手法を実際に用いる際にモデルの不適切な変形を軽減する具体的な手段を提案した。シュリンクラップは人物モデルに着用させる衣類の設計などによく用いられる有用な方法であるが、多くの従来の方法にはそれぞれ一長一短な面があり、目的によって使い分ける必要があった。これを解決する手段として、我々はモフォロジカルスケルトンを利用する方法を検討してきた。この手法は従来手法では不適切な収縮が起きる複雑な形状の物体でシュリンクラップが実現できるが、モデル同志の位置合わせを手動で精密に行わなければならないという問題があった。本研究では位置合わせを自動で行う手段を提案した。単純な位置合わせでは、かえって不適切な収縮が発生するため、ボーンが密な部分から疎な部分に向かって順次位置合わせを行ってゆく。疎な部分では「しわ寄せ」が発生しても目立たないため、モデルの不適切な変形を軽減することができる。これらの有効性を検証するため、実験を通して本手法と従来手法とを比較した結果、本手法は不適切な収縮が少なく有効であることが示された。

②SBS+法の定式化と改良

SBS+法は、幾つかの主要な3次元スキニングアニメーションソフトウェアにおいて選択肢のひとつとして加えられ、これを部分的に利用した3次元モデルは主流の一角を担うに至っている。しかし、その概念と効果は示されているものの、具体的な実装手段は公知であるとはいえず、その挙動も多くは不明で、3次元スキニングアニメーションソフトウェアの発展の障害のひとつとなっていた。

我々は、SBS+を定式化し、幾つかの主要な3次元スキニングアニメーションソフトウェアと同様な挙動を持つ実装を示すとともに、その挙動を解析して問題点を論じ、実験を通して明らかにした。さらに、SBS+を改良した新しい実装例を提案し、いくつかのモデルに対して従来のソフトウェアより自然な変形を実現できることを示した。SBS+または提案手法が、あらゆる場面において他の全ての手法より優れているということはできないが、3次元モデル作成の上で有用な選択肢のひとつを提示することができたといえる。

現在、SBS+関節用にカスタマイズされたモデルは数多く流通し、今後ますます増えると考えられるが、それに対応している3次元スキニングアニメーションソフトウェアは限られている。SBS+を定式化することによりアニメーションソフトウェアのより一層の発展が期待できる。

また、提案手法はSBS+関節用にカスタマイズされたモデルとパラメータの互換性を保ちつつ、より適切な変形を実現できる。いかに素晴らしいアルゴリズムであっても、対応するモデルが存在しなければ実質的な有用性はほとんど期待できないことを鑑みると、本研究で明らかにしたものは相対的に大きな有用性を持つといえる。

③ 3次元ポリゴンモデルの関節変形に適したThin-plate spline

Thin-plate splineは3次元モデルの変形に適したモーフィング手法であるが処理速度が遅いという欠点がある。本研究において我々は、3次元ポリゴンモデルの関節変形にThin-plate Splineを適用する際のスキームについて検討し、距離に基づく局所処理を行うことによって高速かつ適切な変形が可能であることを示した。3次元ポリゴンモデルの関節変形では、極めて多くの点が既知の制御点となり、算出対象となる頂点の数は相対的に少ない。また、変形のための係数に参与する制御点は局所的である。従って距離に基づく局所的な制御点を算出対象となる頂点ごとに選び、これに基づき係数を算出することが可能である。この方法では算出対象となる頂点それぞれについて変形のための係数を求める必要があるが、3次元ポリゴンモデルの関節変形のようなスキームでは対象となる頂点数が少ないため、一般的な方法より処理速度が速いことを実験に基づいて示した。

表1 姿勢と誤差の関係

Table 1 Relationship between the Attitudes and errors

Method	Pose A	Pose B	Pose C
TPS	0.38	0.47	0.56
RBF	0.22	0.45	0.64
Proposed	0.12	0.24	0.34

(2) データベースとの照合に関する検討

テンプレートマッチングは、二つの画像間の対応点探索やパターン認識等に有効な手段であるが、オクルージョン等の影響によりマッチングミスを生じやすいという問題がある。これは対応点探索を行う際、テンプレートの形状が固定されているため、探索対象画像によって異なる最適なテンプレートサイズや形状に対応することができないからである。探索対象画像の性質に応じてテンプレート形状を変更できれば、よりよい結果が得られる。本研究で我々は、テンプレートとは無関係な誤対応の分布がカイ二乗分布になる性質を利用して、遺伝的アルゴリズムによりテンプレートを最適な形状に変化させ、マッチングの精度を向上させる方法を提案した。また、テンプレートに遺伝的アルゴリズムを適応する際に、各個体の多様性を保つ方法を提案し評価試験を行った。実験に用いた5種類の画像において、本手法の精度は、他の3種類の手法と比較して最も良好な結果を示し、有用性が高いことが確認された。Table 3に従来手法と提案手法の正解率を示す。下線は最も正解率が高かった手法の正解率である。5種類の画像のうち3種類では本手法の精度は最も高く、そうでない2種類の画像については2位であり、順位が大きく下がることもある他の手法と比べて精度が安定していることが確認された。また、すべての精度の平均値は他の手法と比べ最も高いものであった。これにより、提案手法の有効性が示された。

表3 マッチング実験の結果

Table 3 Experimental results of Image Matching

	Image A	Image B	Image C	Image D	Image E	Ave.
NCC	84.6	60.7	48.0	84.3	36.1	62.7
VBM	88.0	64.6	84.2	68.8	53.7	71.9
AST	67.7	62.9	60.2	37.5	28.0	51.3
Proposed	89.8	79.6	68.9	81.3	57.7	75.5

(3) モーション装置からの取り込みに関する検討

本研究で使用した動作判別システムは、モーションキャプチャデバイスを用いて一定間隔で被験者の姿勢を取得し、学習データおよび標本データの素となる動作データを作成し、その後動作判別とその結果を用いて前向き逐次選択法による特徴量の選択を打モノである。学習データ、標本データはそれぞれ特徴量として各コマ、各関節毎に取得したクオータニオンをすべて列挙したものを使用し、動作の判別には、学習データと標本データ間のマハラノビス距離を用い、判別精度の評価にはROC曲線下の面積を用いた。

実験の結果、112点の特徴量の中から32点の特徴量を選択し多場合、ROC曲線化面積は0.9916となった。図1に2点から32点まで選択する間のROC曲線の推移を示す。6点以上では特徴量の数が増えても精度は頭打ちになり高々3割程度の特徴量を用いれば十分であることが確認できる。これにより特徴量を削減し計算時間を短くする見通しを得た。

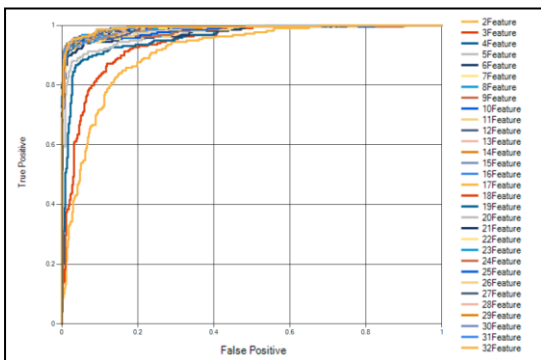


図1 ROC曲線

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 6件)

- ① 萩原 義裕, 萩原 由香里, アデルジャン イミティ, 三好 扶, 高木 基樹, 西川 尚宏: 3次元ポリゴンモデルの関節変形に適したThin-plate spline, 図学研究(日本図学会学会誌) Vol. 49, No. 1, pp. 3-12, 2015. 3, 査読有.
- ② 二瓶 俊彦, アデルジャン イミティ, 萩原 由香里, 三好 扶, 萩原 義裕: テンプレートマッチングにおける最適なテンプレート形状の生成方法—多様性を考慮した遺伝的アルゴリズムによる検討, 画像電子学会誌 Vol. 44, No. 1, pp. 28-38, 2015. 1, 査読有.
- ③ 萩原 義裕, 萩原 由香里, アデルジャン イミティ, 三好 扶, 高木 基樹, 西川 尚宏: SBS+法の定式化と改良, 電子情報通信学会論文誌 D, Vol. J97-D No. 8,

pp. 1318-1335, 2014. 8, 査読有.

- ④ 萩原 義裕, 萩原 由香里, アデルジャン イミティ, 三好 扶, 高木 基樹, 西川 尚宏: ボーン位置合わせとスケルトンを利用したシュリンクラップ, 電子情報通信学会論文誌 D, Volume J96-D No. 9, pp. 2059-2069, 2013. 9, 査読有.
- ⑤ Adiljan Yimit, Yoshihiro Hagihara, Tasuku Miyoshi, Yukari Hagihara: 2-D Direction Histogram based Entropic Thresholding, Neuro Computing, ISSN 0925-2312, Vol. 120, pp. 287-297, 2013, 査読有.
- ⑥ 萩原 義裕, 萩原 由香里, アデルジャン イミティ, 三好 扶, 西川 尚宏: スケルトンを利用したシュリンクラップとそれに適したモフォロジカルスケルトン, 電子情報通信学会論文誌 D, Vol. J96-D, No. 1, pp. 46-60, Jan. 2013. 1, 査読有.

〔学会発表〕(計 3件)

- ① 藤崎貴義, 萩原義裕, 萩原由香里, アデルジャン・イミティ, 二瓶俊彦, ステレオカメラによるテンプレートマッチングの客観的評価方法の検討, 機械学会東北学生会 第44回学生員卒業研究発表講演会 D-06, 2014.3.
- ② 一戸 浩志, 萩原 義裕, 萩原 由香里, アデルジャン イミティ, 幸山 侑磨, 滑らかな3次元スキンアニメーションを実現する次元スキンアニメーションを実現するアプリケーションの開発機械学会東北学生会 第44回学生員卒業研究発表講演会 D-01, 2014.3.
- ③ 幸山侑磨, アデルジャンイミティ, 萩原由香里, 萩原義裕, 三好扶, 高木基樹, モーションキャプチャを用いた動作判別手法の高精度化, 計測自動制御学会東北支部第280回 研究集会, 280-7, 2013.5.

〔図書〕(計 0件)

〔産業財産権〕

- 出願状況(計 0件)
- 取得状況(計 0件)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

萩原 義裕 (HAGIHARA, Yoshihiro)
岩手大学・工学部・准教授
研究者番号: 80293009

(2) 連携研究者

三好 扶 (MIYOSHI, Tasuku)
岩手大学・工学部・准教授
研究者番号: 10392193