

科学研究費助成事業（学術研究助成基金助成金）研究成果報告書

平成 25 年 5 月 30 日現在

機関番号：12608

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2011～2012

課題番号：23760109

研究課題名（和文） CG 画像処理技術と CAM 融合による新しい加工支援システムの開発

研究課題名（英文） Development of New Machining Assisting System Based on the Integration of CG Technology and CAM Technology

研究代表者

朱 疆 (Zhu Jiang)

東京工業大学・大学院理工学研究科・助教

研究者番号：70509330

研究成果の概要（和文）：本研究では、三次元形状を表現したモデルに対して、CG 画像処理技術と CAM システムを有効に融合することにより、新たな加工支援システムを開発した。本研究で提案した手法を利用することにより、三次元モデルに対して、効率のよい加工を行うことが出来、加工工程を自動で決定することが出来る。加工の知識が浅い CAM ユーザーでも高効率な加工パスを作成する事が可能になる。

研究成果の概要（英文）：In this research, based on the integration of CG technology and CAM technology, a new machining assisting system for 3D model machining is developed. This developed system could effectively improve the machining efficiency for freeform surface machining. And it could also choose the proper machining process automatically. Using this developed system, even the unskilled CAM user could generate effective tool path.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
交付決定額	3,400,000	1,020,000	4,420,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：機械工学・生産工学・加工学

キーワード：工程設計

1. 研究開始当初の背景

コンピュータテクノロジーの発展により、製品の設計、製造を効率化するために CAD/CAM システムが広く使われるようになってきている。CAD/CAM システムを用いることによって設計製造サイクルが大幅に短くなり、加工の効率化を図ることが出来る。しかしながら、現在の CAM システムは扱うのに豊富な経験と知識を必要とし、効率な加工パスを作成することは困難である。加工を高効率に行うために、CAD モデルの形状を分析し、最適な加工方法を選定し、最適な加工条件を選択する必要がある。一方、コンピュータグラフィックス (CG) の分野では、三次

元モデルの画像処理に関する研究が盛んであり、三次元モデルの特徴分析、簡略、分割、比較などの技術が進んでいる。もしこの CG 画像処理技術と CAM システムを有効に融合すれば、より高効率な加工パスを生成することができる。

2. 研究の目的

この様な背景から本研究では、三次元形状を表現したモデルに対して、CG 画像処理技術を応用し、CG 画像処理技術と CAM システムを融合することにより、新しい加工支援システムの開発を目的としている。

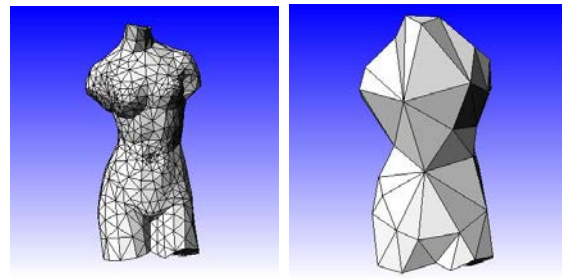
3. 研究の方法

科研費で購入した 4 軸加工機 (Modela MDX-40A) と三次元形状測定器 (NextEngine HD Pro) を用いて、これまでに行ってきた基礎的な実験を継続して行うとともに、新しく加工支援システムの構築として 2 年間の研究を行った。開発した加工支援システムは、以下に説明するように三つの部分が構成されている。

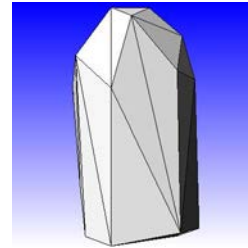
(1) CG 画像簡略化技術を用いた粗加工支援システムの開発

現在工業製品の形状は多様化し、自由曲面の利用が増大している。しかしながら、自由曲面に関する情報はデータ量が膨大で、それに基づく実際の加工には長い時間がかかる。このような複雑な形状を切削加工する際には、全体の加工時間を短くするために、素材から粗加工、仕上げ加工という工程を考慮して、加工パスを簡略化する必要がある。三次元形状の簡略化については、CG の分野で複雑な形状を素早く表示するため多分解能メッシュという方法が開発されている。これは表示する三次元形状の外観を保ったまま、より数の少ない、大きなサイズのポリゴンによって表現する方法である。この簡略化されたポリゴン形状を粗削りモデルとして加工パスを生成することにより、短時間で目標に近い形状を加工することができる。そこで、本研究は、ポリゴンメッシュで三次元形状を表現した製品モデルを効率よく加工するために、CG 画像簡略化技術を利用し、加工工程を考慮した粗加工支援システムの開発を行った。

本研究で提案した粗加工モデルの生成方法については、オフセットと多分解能メッシュに基づいて粗加工モデルを計算する。まず、入力した三次元モデルに対して一定の距離を外側にオフセットし、元のモデルより大きいモデルを生成する。次に、オフセットしたメッシュの相互干渉部分を取り除き、正しいモデル状態に修復する。その後、修復されたモデルを、多分解能メッシュを用いて簡略化する。これにより簡略化された結果とオリジナルモデルが干渉しないこと、および仕上げ代が残ることを保証できる。上記のプロセスを繰り返すことで、一連の簡略された近似形状を生成し、オリジナルモデルから段階的に粗加工に適した単純なモデルに変換することが可能となる。また、オフセットの割合を適切に選定することで、仕上げ代も任意に設定することができる。



(a) オリジナルモデル (1418 面) (b) 粗加工モデル (116 面)



(b) 粗加工モデル (52 面)

Fig.1.粗加工モデル生成例 (ビーナス)

本研究で開発された方法を利用して、自由曲面モデルから各レベルの粗加工モデルを生成した例を示す。Fig.1 のビーナスのモデルで示すように、任意の簡略化段階の粗加工モデルを簡単に生成できる。

生成した工具経路の確認、及び開発した方法の評価を行うため、シミュレーションと実際の加工実験を行った。シミュレーションの結果より、複雑な自由曲面を持つモデルに対して、本研究で提案した粗加工法は従来の加工法より、約 30% の加工時間を削減することが可能と確認した。

(2) CG 画像分割技術を用いた仕上げ加工支援システムの開発

自由曲面を仕上げ加工するため、様々な加工法を選択することが出来る。主に走査線加工、等高線加工、スキャロップ高さ一定加工などの加工法が挙げられる。ただし、各加工法に長所と短所があり、自由曲面全体に対して一つの加工法だけで、最適な加工パスを生成するのが困難である。本研究では、CG 画像分割技術を用いて、自由曲面をいくつかの領域に分割し、各領域に最適な加工法を適用することにより、最適な加工パスを生成できる仕上げ加工支援システムを開発した。

本研究では自由曲面の表現方法である NURBS を用いて、自由曲面を 3 軸マシニングセンタで仕上げ加工する際の加工時間の短縮を目的としている。具体的には自由曲面を分割し、分割した各面に 3 種類の加工 (等高線加工、Y 軸平行走査線加工、X 軸平行走

査線加工)を適用することによる加工距離の変化について調べ、加工効率を考慮した曲面分割方法について検討を行った。

自由曲面を対象に加工距離の変化を調べた結果、以下の4つの結論を得た。

①走査線方向は法線ベクトルに交差する方向に設定することにより、加工長を短縮出来る。

②等高線加工領域と走査線加工領域の分割に用いる接平面の傾斜角度の閾値を50度に設定することにより、加工長を短縮出来る。

③等高線加工を用いることにより、加工長が長くなる。

④Y軸走査線加工領域内、X軸平行走査線加工領域内を、更にそれぞれの領域におけるステップオーバー量の平均を閾値として領域を分割することにより、加工長を短縮出来る。

上記で得られた結論を基に、自由曲面を走査線方向が法線ベクトルに交差する方向となるように分割し、さらに各領域をステップオーバー量の平均を閾値として領域を分割することにより、自由曲面を分割せずに全領域に対してY軸平行走査線パスを適用した時の加工距離に比べて、約5%~24%加工距離を短縮することに成功した。

以上より、本研究では自由曲面の各部での特徴を抽出して分割することにより、効率のよい加工が行えることを明らかにした。これにより、自由曲面の加工に適した曲面分割手法を発展させることにより、CAMの使用経験の少ないユーザーでも簡単に効率のよい加工パスの生成が可能となる。

(3) CG 画像特徴抽出技術を利用した加工工程決定システムの開発

近年、設計製造サイクルを短縮するためCAD/CAMシステムが広く普及した。しかしながら現在のCAMシステムは扱うのに豊富な経験と知識を必要とし、誰しものが効率的な加工パスを作成する事は困難である。CAMユーザーは三次元モデルの形状を分析し、最適な加工方法を選定する必要がある。そこで、本研究はCG画像特徴抽出技術を用いて、ユーザーの代わりに三次元モデル形状を分析し、自動で加工方法を決定するシステムを開発した。

このシステムは三角形メッシュで表される三次元モデルを読み込み、ガウス曲率、平均曲率、法線ベクトル、二面角等の幾何学情報を考慮し、特徴領域を認識する。特徴領域とは幾何学的な面の事であり、本研究では平面領域、球面領域、円筒領域、円弧面領域、円形穴領域、円錐領域、自由曲面領域を認識する。次に特徴領域の組合せ情報から、加工フィーチャを抽出する。加工フィーチャとは

特徴領域の組合せ形状であり、本研究ではポケットフィーチャ、止まり穴フィーチャ、ドリル穴フィーチャ、ドリルエンドミル穴フィーチャ、自由形状穴フィーチャ、輪郭フィーチャ、水平面フィーチャ、フェースミルフィーチャ、面取りフィーチャ、フレットフィーチャ、等高線加工フィーチャを抽出する。これらの加工フィーチャには、1対1に対応する加工方法が設定されているため、加工フィーチャを抽出する事により加工方法を自動決定する。このシステムは抽出した加工フィーチャ毎に色分けしたCADデータを出力する。CAMユーザーはこの結果を参照し各加工フィーチャに対応する加工方法を適用する。

本研究により、加工の知識が浅いCAMユーザーでもより効率的な加工パスを作成する事が可能になる。さらに、開発したシステムと既存のCAMシステムのマクロ機能を用いることで、抽出した加工フィーチャに対応する加工方法を自動で適用する事が出来る。これにより、CAMの動作を完全に自動化することが出来る。

4. 研究成果

本研究では、三次元形状を表現したモデルに対して、CG画像処理技術とCAMシステムを有効に融合することにより、新たな加工支援システムを開発した。主な研究成果は以下の三つに挙げられます。

- (1) 三次元モデルの粗加工工程に対して、CG画像簡略化技術を用いて、新しい粗加工支援システムを開発した。実験結果より、本研究で提案した粗加工法は従来の加工法より、約30%の加工時間を削減することが可能となる。
- (2) 三次元モデルの仕上げ加工工程に対して、CG画像分割技術を用いて、仕上げ加工支援システムを開発した。本研究で提案した手法より、自由曲面を適切分割することで、仕上げ加工のツールパスの長さを約5%~24%短縮することが出来る。
- (3) CG画像特徴抽出技術を用いて、加工工程自動決定システムを開発した。本研究で開発したシステムは、ユーザーの代わりに、三次元モデル形状を分析し、最適な加工工程を提案することができる。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計5件)

- ① Yuanrui Zhang, Jiang Zhu, Tomohisa Tanaka,

- Yoshio Saito, Measurement of Movement Error and Its Compensation for 6-DOF Parallel Mechanism Worktable, Key Engineering Materials, 査読有り, Vol. 523-524, 2012, 463-468.
- ② Xiaoyi Wang, Jing Chen, Jiang Zhu, Yoshio Saito, Tomohisa Tanaka, Registration of 3-D Shape with Free-form Surface Using Imageware and Genetic Algorithm, Advanced Material Research, 査読有り, Vol. 472-475, 2012, pp. 317-322.
- ③ Jiang Zhu, Tomohisa Tanaka, Yoshio Saito, Lining Sun, Study on Virtual Environment-based Simulation, Control and Teleoperation in the Application of Robotic Machining and Manipulation, International Journal of Design Engineering, 査読有り, Vol.3, 2011, pp. 218-231.
- ④ Jiang Zhu, Yuichi Takekuma, Tomohisa Tanaka, Yoshio Saito, 3D Model Registration Based on Feature Extraction, Advanced Material Research, 査読有り, Vol. 299-300, 2011, pp. 1091-1094.
- ⑤ Jiang Zhu, Tomohisa Tanaka, Yoshio Saito, Ryuta Tanabe, Masaaki Takenaka, Toru Fukami, On-machine Measuring and Machining of Freeform Surface Using a Polar-coordinate Desktop Machine Tool, Journal of Advanced Mechanical Design, Systems, and Manufacturing, 査読有り, Vol. 5, No. 4, 2011 pp. 240-251.
- [学会発表] (計 12 件)
- ① 長谷川将臣, 朱疆, 田中智久, 齋藤義夫, 多分解能メッシュによる多軸加工機の粗加工の効率化, 2013年度精密工学会春季大会学術講演会, 2013年3月15日, 東京.
- ② 武藤沙織, 朱疆, 田中智久, 齋藤義夫, 三次元形状モデルからの加工工程自動決定システムの開発, 2013年度精密工学会春季大会学術講演会, 2013年3月14日, 東京.
- ③ 穂積昭充, 朱疆, 田中智久, 齋藤義夫, NURBS曲面の分割による高効率加工パスの生成, 2013年度精密工学会春季大会学術講演会, 2013年3月14日, 東京.
- ④ 朱疆, 後藤純平, 田中智久, 齋藤義夫, 放電加工を利用した積層造型法のツールパス生成, 第9回生産加工・工作機械部門講演会, 2012年10月27日, 秋田.
- ⑤ Yuanrui Zhang, Jiang Zhu, Tomohisa Tanaka, Yoshio Saito, Research on the Error Compensation and Machining Accuracy about the 6-DOF Parallel Mechanism, the 15th International Machine Tool Engineers' Conference, Nov. 9th, 2012, Tokyo, Japan.
- ⑥ Jiang Zhu, Tomohisa Tanaka, Yoshio Saito, Tool Path Generation for 3D Freeform Surface Machining Based on the Feature of CAD Model, The 2nd IFToMM Asian Conference on Mechanism and Machine Science, Nov. 8th, 2012, Tokyo, Japan.
- ⑦ 関口翔太, 朱疆, 田中智久, 齋藤義夫, 8軸冗長ロボットシステムを用いた加工システムの構築, 2012年度精密工学会春季大会学術講演会, 2012年3月16日, 東京.
- ⑧ 長谷川将臣, 朱疆, 田中智久, 齋藤義夫, 多分解能メッシュによるターニングセンタの粗加工工程の検証, 日本機械学会生産システム部門研究発表講演会 2012, 2012年3月13日, 東京.
- ⑨ Jiang Zhu, Yusuke Narabu, Tomohisa Tanaka, Yoshio Saito, Manufacturing Feature Extraction System of 3D-Model for Process Planning, The 6th International Conference on Leading Edge Manufacturing in 21st Century (LEM21), Nov. 8th, 2011, Saitama, Japan.
- ⑩ 関口翔太, 朱疆, 田中智久, 齋藤義夫, 8軸冗長ロボットシステムによる三次元加工, 日本機械学会 2011年度年次大会, 2011年9月14日, 東京.
- ⑪ 穂積昭充, 朱疆, 田中智久, 齋藤義夫, 6軸ワイヤ放電加工機用加工支援システムの作成, 日本機械学会 2011年度年次大会, 2011年9月12日, 東京.
- ⑫ Asim Al-Sofi, Yoshio Saito, Tomohisa Tanaka, Jiang Zhu, Generating the Measurement Points Based on Finishing NC Data, 2011 IEEE International Conference on Mechatronics, April, 13th, 2011, Istanbul, Turkey.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

朱疆 (Zhu Jiang)

東京工業大学・大学院理工学研究科・助教

研究者番号：7050933