Collision detection for multi-axis control machining using machined surface simplification

メタデータ	言語: jpn 出版者: 公開日: 2019-05-29 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: メールアドレス: 所属:
URL	https://doi.org/10.24517/00050337

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 3.0 International License.

Copyright © 2016 JSPE

簡略化加工面を用いた多軸制御加工における干渉検出

金沢大学　○清水琢海，　高杉敬吾，　浅川直紀

Collision detection for multi-axis control machining using machined surface simplification

Kanazawa University　Takumi Shimizu,　Keigo Takasugi,　Naoki Asakawa

This study deals with a method to reduce the calculation costs of a tool path. The reduction of calculation time of tool path generation is an important problem in a development of CAM applications. Therefore, we proposed simplification method of a 3D model called "Projection method", which manipulates the control points and the order while keeping the characteristics of the model by multhi-axis control machining. By using this method, calculation time of collision detection was able to be reduced about 50%. However, the error caused by simplification haven't be evaluated enough. In this paper, we report variation of the error in number of control points.

1. 緒言

インペラのような 3 軸制御では加工できない複雑な形状の加工には 5 軸の工作機械が使用される．5 軸制御の工作機械を運用する上で，複雑形状の工具経路生成には工作物と工具の干渉検出は必要不可欠であり，CAM ソフトウェアは必須である．そこで問題となるのが干渉検出時間である．干渉検出にかかる計算時間の短縮は CAM 開発において重要であり，様々な研究が行われている．例えば，鬼頭ら [1] は視点依存プログレッシブメッシュを応用し，加工点付近で 3D モデルのメッシュを密にそれ以外の箇所では粗く表現することで干渉検出時間の短縮をしている．

本研究では CAM 上の 3D モデル表現方法の 1 つである NURBS に注目した．3D モデルの自由曲面が複雑なほど，自由曲面を構成する NURBS の階数やコントロールポイント数は大きくなり，幾何計算を多く要するため，干渉検出に要する時間は長くなる．そこで本研究では投影法と呼ぶ, コントロールポイントを操作し，3D モデルの定義形状の特徴を維持しつつ，階数を低減する 3D モデル簡略化方法を提案，実装してきた [2]．本手法を用いることによって工具との干渉検出時間を約 50%短縮することを確認した．しかし，定義形状の特徴は維持できているが簡略化後の誤差を十分に評価できていない．そのため干渉検出をする際に工具径を大きめに見積もることで，オリジナルの 3D モデルを使用した場合と近い干渉検出精度を確保していたが，同等の精度を確保をすることはできなかった．そこで本研究ではコントロールポイントを簡略化前の 3D モデルに挿入，置換する新たな簡略化手法を提案する．本報ではコントロールポイント数とその配置により，簡略化後の誤差の変化を調査したので報告する．

2. コントロールポイント数と計算コストの関係

NURBS の幾何計算の計算時間には主に NURBS の階数とコントロールポイントが影響する．図 1 は階数とコントロールポイント数を変化させた NURBS 曲面と平面との交点群を求める際の計算時間を交点数で割り，交点 1 点あたりの幾何計算時間を示している（AT clone : CPU Intel Core i7-4790，メモリ : 16Gbyte，OS : Windows 7 Enterprise 64bit，CPU のコアを 1 つ使用し，NURBS の幾何計算には CAM kernel Kodatuno[3] を使用した）．図 2 はその際のコントロールポイント数が 72 点の NURBS 曲面での演算結果と各階数の曲面形状を示している．図 1 から階数とコントロールポイント数が増加すると幾何計算時間が増加していることがわかる．しかし，階数を小さくすることで幾何計算時間を短縮することはできるが，図 2 のように単純に階数のみを変化させると，定義形状と大きく異なる形状となってしまい，そのままでは演算に用いることができない．

そこで本研究では定義形状の特徴を維持したまま階数 2 の NURBS 曲面を生成する簡略化手法として投影法を提案，実装してきた．投影法の手順を図 3 と以下に示す．図 3(a) と (b) は階数と NURBS 曲面形状の関係を表している．

(i) コントロールポイントから曲面上への最近傍点を算出する（図 3 (c)）.
(ii) コントロールポイントを最近傍点上に移動させる（図 3 (d)）.
(iii) 投影したコントロールポイントを新たなコントロールポイントとし，階数 2 の NURBS 曲面を生成する（図 3 (e)）.

このように投影法はコントロールポイントに依存するため，コントロールポイント数は簡略化後の誤差に大きな影響がある．投影法を適用することで，定義形状の特徴を維持した階数 2 の簡略化モデルを生成することができたが，誤差は十分に評価出来ていなかった．図 4 に誤差を可視化したものを示す．ここでの誤差とは，簡略化前の曲面上のある点における法線と簡略化後の曲面と

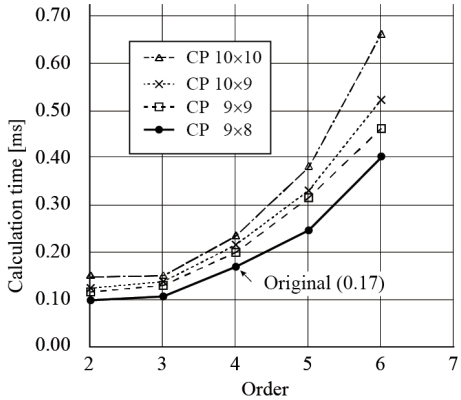
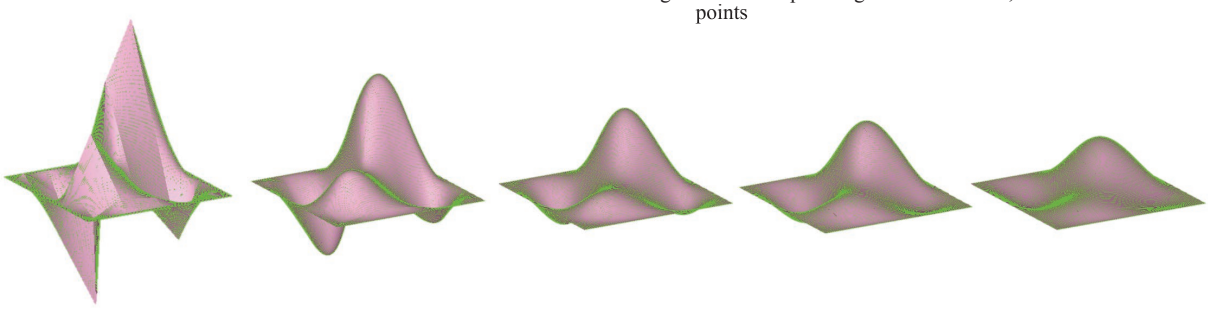


Fig.1 Relationship among calculation time, order and number of control points



(a) Order 2　(b) Order 3　(c) Order 4 (Original model)　(d) Order 5　(e) Order 6

Fig.2 NURBS surface shape with the order change

Copyright © 2016 JSPE

の交点までの距離である．図 4 から曲面の凹凸部に誤差が集中していることが確認できる．この誤差を小さくする方法としてコントロールポイント数を増やす方法と適切な位置に置換する方法の 2 つが考えられる．図 1 のコントロールポイント数 9 × 8 の階数 4 を定義形状とすると，階数 2 にするとコントロールポイント数を 20 個ほど増やしても定義形状時の幾何計算コストを越えない．また，コントロールポイントを適切な位置に置換する方法は位置の決定が難しい．したがって，本報ではコントロールポイント数を増やす方法を採用し，誤差の低減を目指す．

3. コントロールポイントの挿入

図 4 の誤差の大きい範囲にコントロールポイントを適宜挿入することが理想であるが，NURBS 曲面にコントロールポイントを挿入するには各コントロールポイント列に対してコントロールポイントを挿入する必要がある．例えば，u 方向ノットベクトル $\boldsymbol{U}$ にノット $\hat{u}$ を挿入する場合，新しいノットベクトル及びコントロールポイントはそれぞれ式（1），（2）により計算される [4]．このように，ノットベクトルを挿入することでコントロールポイントを挿入することができる．v 方向もほぼ同様の式を用いるが

$$\left.\begin{aligned}\hat{\boldsymbol{U}} &= [\hat{u}_0 \ \cdots \ \hat{u}_{mu+nu}] = [u_0 \ \cdots \ u_k \ \hat{u} \ u_{k+1} \ \cdots \ u_{mu+nu-1}] \\ \hat{u} &= \begin{cases} u_i & (0 \le i \le k) \\ \hat{u} & (i = k+1) \\ u_{i-1} & (k+2 \le i \le mu+nu) \end{cases}\end{aligned}\right\} \quad (1)$$

$$\left.\begin{aligned}\hat{\boldsymbol{Q}}_{ij} &= (1-a_i)\boldsymbol{Q}_{i-1j} + a_i \boldsymbol{Q}_{ij} \qquad 0 \le i \le nu \quad 0 \le j \le nv-1 \\ a_i &= \begin{cases} 1 & (i \le k-mu+1) \\ \dfrac{\hat{u}-u_i}{u_{i+mu-1}-u_i} = \dfrac{\hat{u}-\hat{u}_i}{\hat{u}_{i+mu}-\hat{u}_i} & (k-mu+2 \le i \le k) \\ 0 & (k+1 \le i) \end{cases}\end{aligned}\right\} \quad (2)$$

mu, mv：(u,v) 各方向の階数

nu, nv：(u,v) 各方向のコントロールポイント数

$\boldsymbol{Q}_{ij}$：コントロールポイント（$i = 0,\cdots, nu\text{-}1$ $j = 0,\cdots nv\text{-}1$）

ここでの説明は省略する．今回の実験ではコントロールポイントを挿入する箇所が図 4 の誤差の大きい範囲である曲面の凹凸部になるようにノットの挿入位置を調整する．コントロールポイント挿入後に投影法を適用し，モデルを簡略化する．

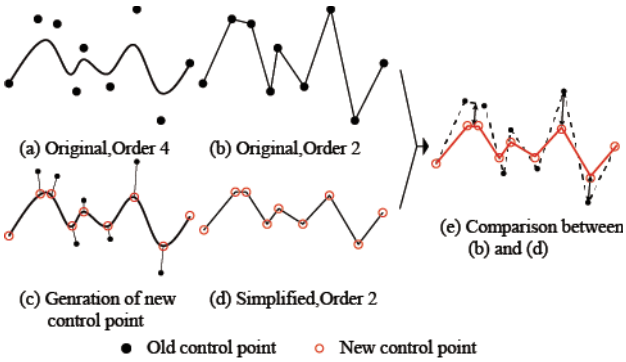


Fig.3 The principle of projection method

4. 検証

コントロールポイント挿入後の簡略化による誤差の分布と簡略化モデルを図 5 に示す．表 1 に各コントロールポイント数における投影法の誤差と幾何計算時間を示す. 図4と図5からコントロールポイント数が増加するにつれて，赤色部の誤差が低減していくのがわかる．しかし，図 4 と図 5 の黄色部分はコントロールポイント数が増加しても，ほとんど変化がないようにみれる．式（2）からわかるように，挿入したコントロールポイントが影響を及ぼすのは挿入前後のコントロールポイントだけである．今回の実験では凹凸部付近にコントロールポイントを挿入するようにしたため，それ以外の箇所ではコントロールポイント挿入前後でコントロールポイントの位置がほとんど変わらなかったと考えられる．したがって，曲面全体の誤差を低減するためには格子状にコントロールポイントを配置する必要があり，コントロールポイントを多く挿入する必要がある．しかし，図 1 と表 1 からわかるようにコントロールポイントを 20 点ほど挿入すると，演算コストは定義形状である階数 4 のモデルを使用した幾何計算時間とほぼ一致してしまう．以上のことから，コントロールポイントの挿入は局所的な誤差を低減することには有効であるが，全体の誤差を低減することには不向きであると考えられる．

5. 結言

本研究により以下の知見を得た．

（1）コントロールポイントを挿入することで簡略後の最大誤差を低減することができた．

（2）コントロールポイントの挿入は局所的な誤差低減に有効であるが，全体の誤差を低減するにはコントロールポイントを多く必要とするので幾何計算コストがかかる．

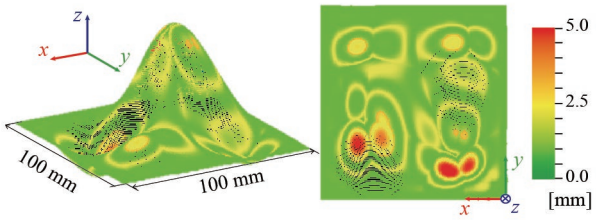
参 考 文 献

1) 鬼頭亮太，高杉敬吾，浅川直紀，岡田将人 : 工具経路生成時間短縮法の開発：加工点依存プログレッシブメッシュ表現の適用，精密工学会誌，81，4（2015）376.

2) 清水琢海，浅川直紀，高杉敬吾：工具経路生成時間短縮法の開発：3D モデルの簡略化，精密工学会春季大会学術講演会講演論文集，（2016）115.

3) K.Takasugi et al，Development of Platform-Independent Open CAM Kerne，Proc. of the 6th Int. Conf. on Leading Edge Manufacturing in 21th Century，Vol.1，（2011）.

4) 三浦曜，望月一正 :CAD・CAM 技術者のための実践 NURBS，工業調査会，（2001）96.

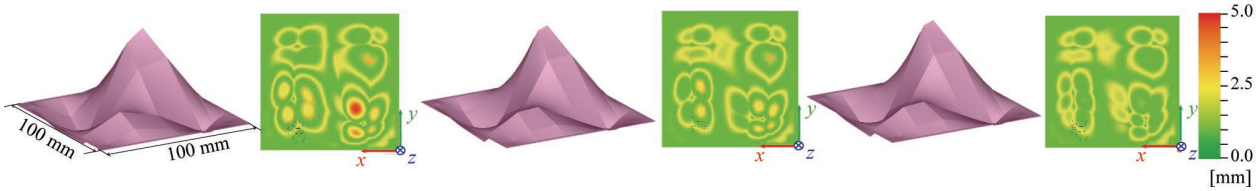


(a) Overview (b) View from the z-axis direction

Fig.4 Error distribution in original model

Table1 Experimental results in number of control points

Number of control points		9×8	9×9	10×9	10×10
Maximun error	[mm]	5.14	4.65	3.75	3.18
Average error	[mm]	1.19	1.19	1.00	0.84
Calculation time	[ms]	0.087	0.14	0.12	0.15



(a) CP=9×9 (b) CP=10×9 (c) CP=10×10

Fig.5 Error distribution and simplified model in number of control points