

Wavelet 変換に基づく多重解像度表現の中間加工形状モデル生成への応用

北海道大学大学院工学研究科 ○伊達宏昭 金井理 岸浪建史

要 旨

本研究では、自由曲面加工用 CAM システムにおける中間加工形状モデルを、製品形状モデルの wavelet 変換に基づく多重解像度表現で記述する手法、及び中間加工形状モデルに対する要求事項を多重解像度表現に導入する為の手法を提案する。これにより、CAM システムにおける形状モデルのデータ量削減及び工具経路生成等の幾何演算の効率化を図る。

1 はじめに

現在、自由曲面加工用 CAM システムにおいて、製品形状モデルに基づいた、荒、中、仕上げ加工に対する中間加工用形状モデルの自動生成の困難さ、また荒加工等に対する必要以上の解像度のモデル使用に伴う工具経路生成の非効率さの問題が指摘されている。

本研究では、z-map により近似表現された自由曲面形状モデルを対象として、荒加工から仕上げ加工まで解像度の異なる複数の中間加工形状モデルを、単一モデルの wavelet 変換(WT)による多重解像度表現(MRR)で記述する為の手法を提案し、実装によりその有効性を示す。

2 中間加工形状モデルに対する要求条件

1) 中間加工形状モデルの解像度に対する要求条件

図1に各加工工程と中間加工形状の関係を示す。一般的に、荒加工においては径工具、仕上げに近づくに連れ小径工具で加工を行う。この為、荒加工においては低解像度、工程が進むに連れ徐々に解像度の高いモデルを使用すれば工具経路生成等の幾何演算の効率化が可能となる。

2) 中間加工形状モデル間の幾何学的関係に対する要求条件

中間加工形状モデル間の関係の必要条件として、過切削を防ぐ為に前工程のモデルは後工程のモデルを内包していなければならない。また、工具径、切れ刃長を有効に利用し、切削負荷が一樣となるような削り残し量を前後工程の形状モデル間の差分として保持すれば、効率良く安定した加工が可能となる。

本研究では条件1)に対し WT による MRR, 条件2)に対し lifting scheme 及び wavelet 係数の編集を用いる。

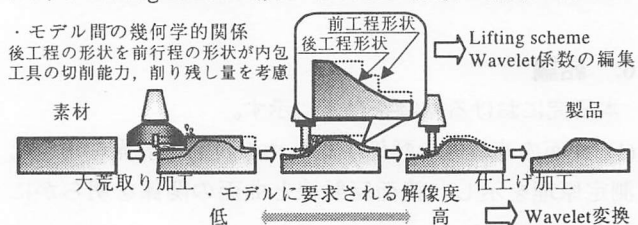


Fig.1 加工工程と中間加工形状

3 中間加工形状モデル生成に対する wavelet 変換の特徴

WT を中間加工形状モデル生成に用いる特徴は、次のとおりである：1)中間加工形状モデル系列を単一モデルの MRR として与える事により、データ量の削減、及び低解像度化に伴う幾何演算の効率化が可能になる。

2)MRR を得る手法として WT と lifting scheme を用いる事により、各解像度モデル間の幾何学的関係を、加工条件を考慮した一定のルールにより与えられる。よって、設計対象、加工条件の仕様変更に対し柔軟な中間加工形

状モデル系列を自動生成できる。3)WT による形状の近似の際失われた詳細部を加工時の除去体積として表現する事が可能である為、加工に必要な特性(例えば切削負荷の均一化)の導入が可能となる。

4 Wavelet 変換による多重解像度表現

z-map モデル等の規則格子離散データの MRR を得る為の手法として WT がある[1]。図2に示す1次元離散データに対する WT(解析), 逆 WT(合成)は、式(1a)(1b)及び式(2)の行列の積で行われる。

$$\text{解析: } Z^{j-1} = A^j Z^j \quad (1a), \quad W^{j-1} = B^j Z^j \quad (1b)$$

$$\text{合成: } Z^j = P^j Z^{j-1} + Q^j W^{j-1} \quad (2)$$

ここで、 $Z^j = [z_1^j, \dots, z_m^j]^T$ は解像度レベル j におけるデータの値を持つ列ベクトル、 A^j は低解像度への近似 Z^{j-1} 、 B^j は wavelet 係数 $W^{j-1} = [w_1^{j-1}, \dots, w_{m-j+1}^{j-1}]^T$ を取り出す解析フィルタである。また、 P^j, Q^j は合成フィルタと呼ばれ、各々のフィルタの成分は使用する wavelet ψ^j の種類によって決定される。式(2)を再帰的に用いることにより MRR を得る。

z-map モデルに対する2次元 WT, 逆 WT は、式(1a)(1b)及び式(2)を x, y の双方向に適用する事で実現され、モデルは図3に示す wavelet 空間へ変換される。

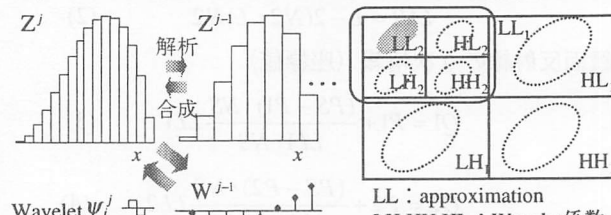


Fig.2 解析・合成の例

Fig.3 Wavelet 空間

5 多重解像度表現における近似特性の制御手法

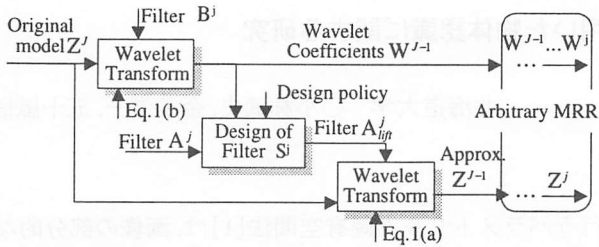
本節では、中間加工形状モデルに対する要求条件を MRR モデルに与える為に、WT により得られる MRR モデルに任意の近似特性を与えることのできる2つの手法を提案する。各手法の概要を図4(a)(b)に示す。

5.1 Lifting scheme に基づく手法

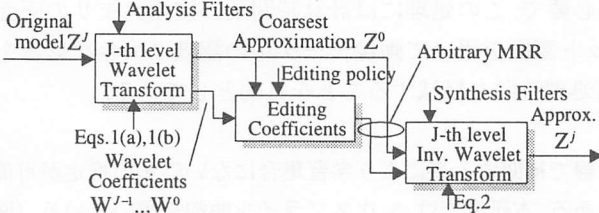
Wavelet に対し任意の特性を与える手法として、lifting scheme が提案されている[2]。Lifting scheme を用いた場合の解析フィルタ A_{lin}^j は、 $A_{lin}^j = A^j + S^j B^j$ と定義され、式(1a)は式(3)の形に書き直される。

$$Z^{j-1} = A^j Z^j + S^j W^{j-1} \quad (3)$$

低解像度データ z_i^{j-1} を任意量 δ_i^{j-1} だけ修正する場合には、 $\Delta^{j-1} = S^j W^{j-1}$ ($\Delta^{j-1} = \{\delta_i^{j-1}\}$) を満足する S^j を決定すれば良い。これは、non zero な wavelet 係数 w_k^{j-1} に対応する S^j の各行の1成分のみを $\delta_i^{j-1} = s_{i,k}^j w_k^{j-1}$ を満足するように決定する。

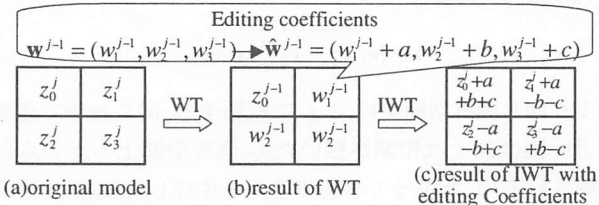


(a) Lifting scheme による手法



(b) Wavelet 係数の編集による手法

Fig.4 WT による MRR における近似特性の制御手法



(c) result of IWT with editing Coefficients

Fig.5 Haar wavelet における係数編集の影響

5.2 Wavelet 係数の編集に基づく手法

Wavelet 空間において, LH,HH,HL の係数を任意に編集する事により, 係数を編集したレベル及びその高解像度レベルに任意の近似特性を与えることができる(図5). 各係数を編集した影響は使用する wavelet の種類によって異なり, 例えば Haar wavelet[1]では図5(c)のようになる. 図5(c)の編集後の形状に対しある条件を定める事によって, 同図(b)の係数の編集量を求める事ができる.

6 中間加工形状モデルに対する要求条件の導入

本節では, 走査線加工, 等高線加工に対し上記手法を適用する. 走査線加工に対して Single-knot wavelet[1], 等高線加工に対しては Haar wavelet を用いており, 工具 $T(r,l)$ はそれぞれボール及びフラットエンドミルに限定する. 走査線加工に対しては 5.1 節の lifting scheme に基づく手法, 等高線加工では lifting scheme に基づく手法と 5.2 節の wavelet 係数の編集手法を併用する.

6.1 過切削の回避

MRR モデルを中間加工形状へ応用する場合, 過切削を防ぐため, 低解像度のモデルが高解像度のモデルを内包する事が必要条件となる. これは, 5.1 節の手法により解決する. 即ち, wavelet 係数が隣接するデータ間の差分を表す事から, フィルタ S^j の成分を係数の符号に合わせて "1" 又は "-1" と定め, wavelet 係数の絶対値を近似後に残るデータに加え戻す. この時, 近似形状に加え戻す詳細部 $w_i^{j-1} \times \psi_i^j$ が除去体積を表す.

6.2 走査線加工用中間加工形状モデル生成

まず, 表面の解析により表面の勾配から加工公差を満足する工具を工具データベースから選択する. 次に, 図6に示すように過切削回避の為の修正量 $\delta_i^{j-1} = |w_i^{j-1}|$ に加え工具の切れ刃長 l まで低解像度面を持ち上げる為の修正

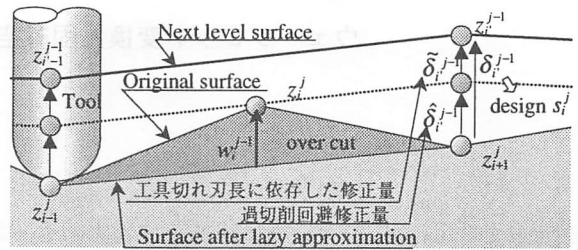


Fig.6 走査線加工の中間加工形状生成

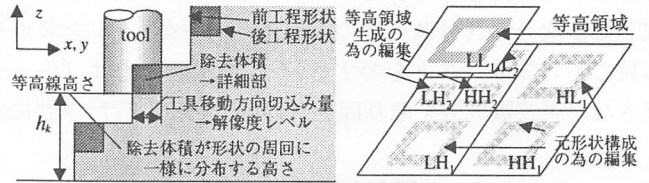


Fig.7 モデル断面と等高線高さ Fig.8 Wavelet 係数の編集

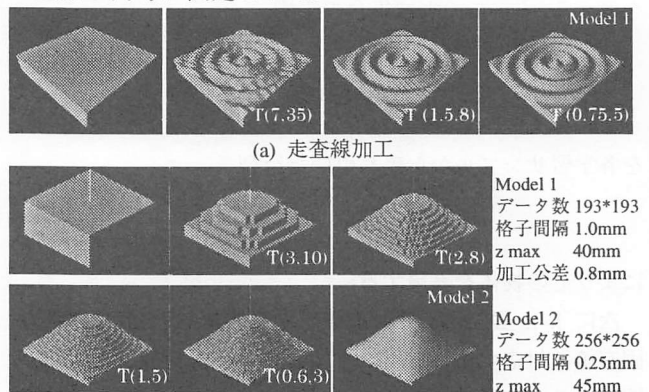
量 δ_i^{j-1} を定める [3]. これらの量を近似モデルに与えるフィルタ S^j を 5.1 節の手法により与える.

6.3 等高線加工用中間加工形状モデル生成

まず, 6.1 節の過切削回避 WT を最低解像度レベルまで行う. 次に, 選択した工具の径 r に依存して解像度レベルを決定し, 大荒取り加工では工具の切れ刃長, それ以降の輪郭加工では切削量を表す詳細部を合成により加え戻し等高断面内に工具移動方向切削量が一様に分布する等高線高さを決定する(図7). 最後に, 5.2 の手法を用いて各等高領域に対応する wavelet 係数の編集(図8)により一定の等高高さを持つ MRR モデルを得る.

7 適用例

本手法を適用した結果を図9に示す. 走査線加工では使用工具系列, 等高線加工では等高線間隔の系列がモデル生成と同時に決定された.



(a) 走査線加工 (b) 等高線加工 Fig.9 本手法の適用例

8 おわりに

本報では, wavelet 変換に基づく多重解像度表現の中間加工形状モデル生成への応用手法, 及び2種類の加工法への具体的用法を提案し, 実装によりその効果を確認した.

[参考文献]

[1] Stollnitz E.J, DeRose T, Salesin D.H: Wavelets for Computer Graphics:Theory and Applications ,Morgan Kaufmann,1996.
 [2] Wim Sweldens, The lifting scheme: A custom-design construction of biorthogonal wavelets, Appl. Comput. Harmon. Anal,3, 2, pp.186-200, 1996.
 [3]伊達 他:ウェーブレット変換を用いた多重解像度表現に基づくCAM用形状モデリング, 1999 年度精密工学会春季大会学術講演会講演論文集, pp 69.