金型実時間加工用数値制御システムの開発 (第3報)*

——逆オフセット法に基づく CAM の実時間処理化——

鈴木 裕** 黒田 豊*** 坂本正史† 元村直行††

Real Time Numerical Control System for Metal Molds and Dies Machining (3rd Report)
—Real Time CAM Processing Based on the Inverse Offset Method—

Hiroshi SUZUKI, Yutaka KURODA, Masafumi SAKAMOTO and Naoyuki MOTOMURA

The purpose of this work is to improve both reliability and execution speed of the CAD/CAM system. The underlying technique for this enhancement of performance is parallel processing, applied to the offset surface and tool path generation. The developed system is constructed with a personal computer and 15 Transputer boards. The tasks of the Transputers structured in hierarchy are as follows: (1) The first level has a master Transputer that performs the management of the data. (2) The main task of the second level is the calculation of the cross section curve of the required surface. (3) The offset surface generation is carried out by the third level. Another task to be executed by these Transputers is the tool path generation. The software algorithm called "the Inverse Offset Method" has been coded in Occam. Simulated results show that parallel processing offers a reliable solution to the shortcomings of the Inverse Offset Method, and the development of new CNC controller is feasible, which can accept geometrical data and generate tool path in real time.

Key words: CAD/CAM, CNC, Transputer, parallel processing, Inverse Offset Method

1. 緒 言

金型の製造コスト削減、高精度化の実現を目的とした加工システムの高機能化には著しいものがある。32ビットCPUを利用した数値制御装置もその一例であり、高品質で高速な三次元加工が可能になっている。工作機械においても上述の数値制御装置に対応し、高速主軸、高速送り機構の開発があり、金型加工法が一変する可能性もある。従って、今後、さらに膨大なNC情報を高速にかつ高信頼性をもって生成することが必要となる。また高機能な数値制御装置が開発されているにもかかわらず、情報の伝達手段あるいは情報そのもののフォーマットに変わりがなく、情報の流れを非効率的なものにする一因ともなっている。

そこで、本研究では、情報の流れの最も効率的な形

態として実時間処理可能な工具経路生成機能を有する数値制御装置を開発することで、上述の問題点を解決し、金型加工の効率化を図ることを目的としている。本報では、こうした数値制御装置を開発するため、工具経路生成において完全な信頼性を有し、実時間処理可能なCAM機能の開発を試みるものである。

2. 工具経路生成機能を有する数値制御装置

情報の流れを考慮し曲面加工システムを分類すると図1ようになる。従来のシステムでは、図1(a)に示すように情報の変換が数多く行われている。すなわち、CAM機能によりNC情報の生成が行われた後、コード変換を含めた文字形式への変換が行われ、記憶媒体に蓄えられる。蓄えられたNC情報は一般的には通信媒体を介して数値制御装置へ送られる。数値制御装置では、文字情報から数値情報へ変換され、最終的にサーボデータへ変換され、工作機械の制御が可能になる。こうした情報の変換は、情報量が膨大となる曲面加工において、処理効率の低下をもたらす。

一方、曲面加工の高速化、高精度化の要求にこたえ

* 原稿受付 平成2年9月8日。1990年度精密工学会春季大会学術講演会(平成2年3月30日)にて発表

** 正会員 九州工業大学情報工学部(飯塚市川津680-4)

*** 学生会員 九州工業大学(北九州市戸畑区仙水町1-1)

† 正会員 九州工業大学

†† (株)安川電機製作所(北九州市八幡西区藤田2346)

Fig. 1 Data processing sequence of typical CAD/CAM system and proposed system

るため開発が進められている高速 NC の場合、情報の流れの効率化が図られている。すなわち、数値制御装置がバイナリー形式のサーボデータを受け取る機能、あるいは前処理として NC 情報からサーボデータの発生を行う機能を備えている。こうした数値制御装置を用いる場合、数値情報と文字情報間の変換は省略できるものの、生成する NC 情報はさらに膨大なものとなる欠点をもつ。

本研究では、上記の欠点を補い、情報の流れが最も効率的になるものとして図 1 (b) に示す形態を提案するものである。すなわち工具経路生成機能と数値制御装置を結合した形態である。工具経路生成部では、工具経路を実時間で生成し、その毎サーボデータの形式に変換し、サーボ処理系へ転送する。この場合、十数 m/min を超す工具送り速度よりも早く NC 情報を生成する必要がある、こうした実時間処理が可能となれば、記憶媒体の容量に制限を受けない長時間の加工が可能となる。また、数値制御装置への入力データも幾

Fig. 2 The relationship between tool shape and interference area

何データとなり情報量の大幅な削減が可能になる。こうした制御装置が開発できれば CAD 機能と CAM 機能の同時処理も可能になり、処理効率の向上が期待できる。

3. CAM 機能の実時間処理化

CAM 機能を有する数値制御装置を実現するには、下記の機能に対し、完全な信頼性と高速処理性を付加する必要がある。

- (1) オフセット処理
- (2) 工具干渉チェック
- (3) 工具経路生成

(1), (2) の機能に関しては、曲面間交差線追跡アルゴリズム¹⁾により工具干渉チェック機能を実現している。しかしながら、収束演算を用いていることから完全な信頼性を得るにはいたらず、システムに改良の余地を残している。

(3) の機能に関しては、工具経路追跡アルゴリズム²⁾を考案し、荒取り用工具経路、等高線工具経路、走査線工具経路を実時間で生成可能なことを確認している。

そこで本研究では、(1), (2) の機能の信頼性向上のため、北海道大学で開発された逆オフセット法を利用することとした。

3.1 逆オフセット法³⁾とその並列処理化

図 2 に逆オフセット法の概念を示す。この場合、以下に示す仮定が必要になる。

- (1) 工作機械は 3 軸直交形である。
- (2) 被削材形状は、直径がゼロ近似可能なピン形状の集合体であり、主軸と平行である。

1 本のピン形状に対する干渉領域は工具中心をピン形状の端点に合わせ Z 方向に工具形状を反転させた領域であるという幾何学的な関係を逆オフセット法は利用している。

反転させた領域の表面がピン形状のオフセット面に相当し、またピン形状の端点は加工すべき形状の表面上の点に対応している。この点を移動させつつ、各点で干渉領域を求め、これらの干渉領域を合成することで、形状全体に対する工具干渉領域を求めることができる。

逆オフセット法の長所をまとめると以下のようになる。

- (1) あらゆる工具形状に対し、オフセット面を生成できる。
- (2) 完全な工具干渉チェックが可能である。

こうした特徴は、CAM機能を有する数値制御装置を開発する上での条件と一致するものである。しかしながら、実時間処理用として用いるには、解決しなければならない問題を逆オフセット法は残している。

逆オフセット法の欠点をまとめると以下のようになる。

- (1) オフセット面を表現する時、離散的な点群データを用いるため、所望の精度を得るには膨大なメモリー容量を必要とする。
- (2) 単純な演算の繰返しではあるが、演算時間が長時間となる。

こうした逆オフセット法の欠点の解消には、並列処理の適用が最も効果的と考え、システム開発を行った。すなわち、(1)の欠点に対しては、メモリー容量を分散させれば良い。この場合、逆オフセット処理を行う領域を分割し、各分割領域で逆オフセット処理を同時実行する。

また、(2)の欠点に対しては、逆オフセット法のパイプライン処理化が有効と考える。逆オフセット法の処理は以下に示すように大別できる。すなわち、

- (1) 逆転工具の工具中心位置の計算
- (2) 逆転工具形状内にある離散データの判別
- (3) 逆転工具の形状表面上のZ座標値計算及び離散データの更新

これらのサブプロセスを負荷分散を考慮しつつ、パイプライン処理化した。

3.2 システムのハードウェア構成

並列処理システムを構築する場合、ソフトウェア開発の容易さ、システムの処理効率が問題となる。

そこで、本研究では並列処理用として開発された英国インモス社製32ビットマイクロプロセッサであるトランスピュータ⁴⁾を用いることとした。トランスピュータは64ビット浮動小数点演算ユニットを内蔵する32ビットCPUである。また、20 Mbpsの伝送速度を持つ4チャンネルの双方向性シリアル通信

```

PAR
SEQ
  --PROCESS1
  input1 ? x
  output1 ! 2*x

SEQ
  --PROCESS2
  input2 ? y
  output2 ! y+1

```

Fig. 3 Example of Occam programming

Fig. 4 Hardware configuration of the proposed system

インタフェースを介してあらゆる形態の並列処理システムの構築が可能であり、外付け回路をいっさい必要としない。また、プロセス間の同期に関してもトランスピュータ側で処理できることから、ソフトウェアの負担を少なくできる特徴を持つ。

並列処理を記述する手法を図3に示す。この例ではプロセス1、プロセス2が同時実行されることになる。

本システムでは、開発したトランスピュータボードをスレーブ側として14枚、図4に示すように階層構造化して用いている。第一階層のトランスピュータは、マスターボードとして用い、曲面データの生成、下層のトランスピュータにより生成されるNC情報の統合及びグラフィックス処理など全体を統括する役割を持つ。第二階層のトランスピュータは、曲面データを受け取り、曲面の接続関係に対応した形状の断面線算出を行う。この断面線上を逆転工具が移動すること

Fig. 5 System whole view

になる。第三階層のトランスピュータは、第二階層で算出された断面線データを元に逆オフセット処理を行い、オフセット面生成を行う。

領域の分割数は4とし、4領域同時に逆オフセット処理を行えるようにした。分割した各々の領域では、 700×700 の離散データにより曲面の表現が可能となっている。離散データの X 及び Y 方向の分解能は可変であるが、 0.5 mm とした場合、4つの分解領域を合わせて $700 \text{ mm} \times 700 \text{ mm}$ の領域を表現できることになり、実用上問題はないと考える。

図5には、システム全景を示す。

3.3 本システムにおけるデータ処理手順

本システムでは、Coons パッチを基本とする複数の曲面により表現された形状データを入力可能とした。

また、逆オフセット法により生成されるオフセット面を统一的に表現するため、離散的な点の集合により曲面を表現する方式を用いた（以下では Z -map データ形式と呼ぶ）。こうした Z -map データ形式は、空洞のある形状やオーバハングした形状の表現は困難である。しかしながら、3軸直交系の工作機械で加工可能な形状は、すべて表現できる特徴を持つ。

図6には、本システムにおけるデータ処理手順を示す。第一階層のトランスピュータより転送された形状データは、一括して第二階層中の2番目のトランスピュータへ送られる。ここでは、 50×50 の格子点で表現された曲面を20面まで格納可能である。データの格納後、逆転工具の中心が通る形状断面線の開始点及び終了点を、4本の曲面境界線上を探索して求める。形状断面線はすべて Y 軸に平行とした。

探索された開始点及び終了点は、3番目のトランスピュータへ送られ、各曲面ごとに断面線を算出する。断面線算出には、工具経路追跡アルゴリズムを用いた。

算出された断面線は第二階層の1番目のトランスピュータに転送され、断面線の交点探索を行った後、曲面の接続関係に従い断面線の接続を行う。

なお、曲面の接続関係には、 Z 座標値の大きい断

Fig. 6 Data processing sequence of second level

面線への接続を行う OR 接続、 Z 座標値の小さい断面線への接続を行う AND 接続を定義した。

点列で表現された断面線データは、分割された領域ごとに2分され、各々第三階層のトランスピュータへ送られ逆オフセット処理が行われる。第二階層のトランスピュータは2組用意されており、第一分割領域から第二分割領域に至る断面線と、第三分割領域から第四分割領域に至る断面線を同時に算出できるものとした。

第三階層におけるデータ処理手順を図7に示す。第三階層の1番目のトランスピュータでは、逆オフセット処理すべき Z -map データの判別を行う。本システムでは、 XY 平面に投影した逆転工具形状内に存在する Z -map データを判別することで、上記の判断を行っている。

工具形状内に存在すると判断された Z -map データのみ2番目のトランスピュータへ送られ、逆転工具表面上の Z -map データの算出を行う。 Z -map データの X, Y 座標値は固定されており、工具がボールエンドミルの場合、工具の球体部を表す方程式を利用し Z 座標値の算出を行う。工具がフラットエンドミルの場合、 Z -map データの Z 座標値は逆転工具の中心座標の Z 座標値に一致する。

算出された Z -map データの Z 座標値は、前の演算による Z 座標値と比較され、前の値が大きいときに更新される。こうした逆オフセット処理を行うトランスピュータは分割領域数に対応し4組用意されている。これらのシステム開発にはトランスピュータ専用

Fig. 7 Data processing sequence of third level

Fig. 8 Tool path generation method

に開発された Occam を用いた。

3.4 工具経路生成

逆オフセット法により生成されるオフセット面は離散的な点の集合として表現される。したがって、工具経路生成において、従来より開発してきた工具経路追跡アルゴリズムを適用することは容易である。すなわち、図8(a)に示すように、等高線工具経路生成では4つのZ-mapデータのZ座標値と等高線工具経路のZ座標値を比較し、新たな工具位置をZ-mapデータを結んだ境界線上に求めて行けばよい。この場合、等高線の終了を明確にするため、通過した境界線を記憶しておく必要がある。

また、一方向あるいは往復モードの工具経路生成に関しては、図8(b)に示すように、単にZ-mapデータを同一方向に結んで行けばよい。

Fig. 9 Offset surface generation

Fig. 10 Generated offset surface

4. システムによるシミュレーション結果

4.1 オフセット面生成に関するシミュレーション結果

図9には、本システムによる処理例を示す。対象形状は14面の自由曲面で構成され、この形状を4領域に分割し、同時に逆オフセット処理を行った。オフセット面を表現するため、X及びY軸方向に0.1 mmの分解能を持つZ-mapデータを用いた。図には形状の断面線を表現してあり、表示してある部分まで逆オフセット処理が終了したことになる。4領域同時に逆オフセット処理が進行していることが分かる。

図10(a),(b)には生成したオフセット面を示す。(a)は直径10 mmのボールエンドミル用オフセット面であり、生成に14分22秒要している。(b)は直径10 mmのフラットエンドミル用オフセット面であり、生成に14分21秒要している。

表1には、同一形状に対しZ-mapデータの分解能

Table 1 CPU time for offset surface generation and resolution of Z-map data

Resolution of Z-map data mm	0.1	0.3	0.5
CPU time for offset surface generation (Ball nosed end mill)	308 s	94 s	45 s
CPU time for offset surface generation (Square end mill)	307 s	92 s	45 s

Fig. 11 Tool path simulation

を変えて逆オフセット処理を行った結果を示す。処理速度において十分な高速性が得られているのが分かる。

4.2 工具経路生成

図 11 には、工具経路のシミュレーション結果を示す。(a) は等高線工具経路、(b) は走査線工具経路である。いずれの場合も、分割領域の境界において工具経路の乗り移りがスムーズに行われているのを確認し

Table 2 Possible feed rate and resolution of Z-map data

Resolution of Z-map data mm	0.1	0.3	0.5
Feed rate of contour line tool path mode	19.3 m/min	60.9 m/min	107.5 m/min
Feed rate of unidirectional tool path mode	555.0 m/min	555.0 m/min	555.0 m/min

ている。工具経路の総移動量を演算に要する CPU タイムで割ると、実現可能な工具送り速度が得られる。表 2 に示すように、いずれの工具経路生成においても十分な送り速度が得られているのが分かる。

5. 結 論

CAM 機能を有する数値制御装置の開発を目的とし、完全な信頼性と高速処理性を兼ね備えた CAM システムの開発を行った。本システムでは逆オフセット法によるオフセット面生成機能及び干渉チェック機能に並列処理手法を適用している。さらに工具経路追跡法による工具経路生成機能を実現し、シミュレーションを行った結果、以下の結論を得た。

- (1) 逆オフセット法の高速度と高精度化には、並列処理の適用が有効であることを確認した。
- (2) 工具経路生成機能は、いずれの工具経路においても高速処理が可能であり、CAM 機能を有する数値制御装置開発の可能性を確認した。

最後に本研究に対し、ご指導を賜った北海道大学工学部精密工学科斎藤勝政教授、岸浪建史教授に深く感謝いたします。

参 考 文 献

- 1) 鈴木 裕, 山崎和雄, 星 鐵太郎, 二川正康: 実時間金型加工用数値制御システムの開発 (第 1 報)——曲面交差線高速算出アルゴリズムとその応用について, 精密工学会誌, 53, 8 (1987) 1189.
- 2) 鈴木 裕, 山崎和雄, 星 鐵太郎, 黒宮義久: 実時間金型加工用数値制御システムの開発 (第 2 報)——実時間工具経路生成について, 精密工学会誌, 53, 12 (1987) 1952.
- 3) 近藤 司, 岸浪建史, 斎藤勝政: 逆オフセット法を基にした形状加工処理, 精密工学会誌, 54, 5 (1988) 971.
- 4) インモス社, トランスビュータリファレンスマニュアル.