パターン認識の手法を利用した NC パンチプレス加工 プログラム自動生成システム

正員 若林 伸和 (電通大)

非会員 北橋 忠宏 (阪大)

Automatic Generation System for Making NC Punch Press Programs using Pattern Recognition Technique

Nobukazu Wakabayashi, Member (University of Electro-Communications), Tadahiro
Kitahashi, Non-member (Osaka University)

An automatic program generation system for NC punch press machine is proposed. NC programs to control machine tools can be generated automatically by the system according to the data described in the design drawing of final products.

In this system, silhouette decomposition procedure which is one of pattern recognition techniques is employed to recognize the drawing. The procedure is applied to decompose a complex shaped hole in the design drawing into punch primitives, where the shaped hole and the punch primitives correspond to the overlapped silhouette and the discrete components of it, respectively.

The outline of the developed silhouette decomposition procedure and automatic program generation system is given.

キーワード：NC 工作機械，CAD/CAM システム，シルエット分離，プログラム自動生成

1. ま え が き

高精度の金属加工を行うものとして NC (Numerical Control) 工作機械を利用した板金加工がある。NC 工作機械は、従来の機械のように熟練者による操作は必要とせず、プログラムを与えることにより機械を制御する方式をとっているので、いったんプログラムを作成すれば、一定品質の反復加工が可能である。NC 機械を用いた生産では、設計図面の作成、NC プログラムの作成、工作機械による加工という手順をふんで製品ができあがる。近年 CAD の普及により図面の作成段階では自動化が進んでいる。しかし、その図面に従って実際に加工を行うための NC プログラムは、製品仕様としての製図図面を見ながら手作業で行っており、仕様が異なるとそのつどプログラミング作業が必要である。このことが、NC 加工のボトルネックとなりつつあり、近年の多品種少量生産やモデルチェンジの期間短縮などに対応したオートメーションを

可能にするためには、プログラム作成過程の自動化が切望される。仕様として CAD 図面データを利用し、自動的に加工プログラムを生成するシステムが実現できればソフトウェア生産性の向上が期待できる。

NC 加工プログラムの作成は、(1)設計図面の認識、(2)コードの作成、という二つの作業に大別される。本論文で述べる NC 加工プログラム自動生成システムでは、(1)の部分に、構成的手法を用いた重複二次元図形の分離手法を用いている。ここでいう構成的手法とは、図形の構成要素である輪郭線および重複により隠ぺいされた内部輪郭線をいったん可能な限り細分し、これを合理的な制約を課して再構成することを通じて分離可能な図形の候補を生成し、そのなかから与えられた条件を満足するものを選択するという方法を意味している。本システムにおける図面認識という課題では、後続のコード生成における加工手順などの決定のための前処理として図面の認識・理解を位置づけることができ、後続処理に適した認識結果が要求

される。更に入力として CAD システムの出力データの利用を仮定できる。このように限定された領域を対象とすることにより、一般的なシルエットを対象とした場合よりも認識手続きを簡素化できると期待される。提案する手法は工学的な応用に限定し、結果の利用に重点を置くものである。

一方、(1)の部分における適切な図面認識は、(2)のコード作成の部分における比較的単純な規則の組合せによるプログラムコード生成を可能にする。本システムでは、そのような幾つかの加工に関する規則を手続的に記述し、これを利用して加工方法の選択を行い、プログラムを生成する。また、加工の順序も手続的な規則の利用により決定する。これは最終的な製品の加工精度や加工に要する時間などを左右する重要な要素である。

次章以降では、システム全体の概要、重複分離手続きの概要、上記(1)、(2)にそれぞれ対応するシルエット分離モジュールおよびプログラム生成モジュール、および併せて作成した NC 加工シミュレーションツールについて説明し、実行結果とともに示す。シミュレーションツールは単体でもプログラムのデバッグ作業などに利用できるよう配慮して作成した。

2. システムの概要

〈2・1〉 NC 加工と G コードプログラミング

本研究で対象として取り上げたのは NC タレットパンチプレス工作機械(NCT)と呼ばれるものである。これは、二次元の穴開け加工を行うもので、板状の金属材料を各種形状の工具で打ち抜くことにより、様々な形状の穴を開けることができる。打抜きに使用する

図 1 標準工具の形状
Fig. 1. Shapes of standard tools.

```
G92X1000.0Y100.0
G90X100.0Y200.0T102
G90X200.0Y200.0
G91X50.0Y-50.0T203
G50
```

図 2 G コードプログラムの例
Fig. 2. An example of G-code program.

工具には種々の形状および寸法が用意され、タレットと呼ばれるテーブルに一度に複数個の工具を取り付けることができる。タレットを回転させることで打抜きに用いる工具が選択可能なため、工具交換なしに種々の形状および大きさの穴を連続的に加工することができる。NCT での加工に用いられる標準的な工具の形状は図 1 に示すものに限定されている。

NCT を制御するためのコードとしては、G コードと呼ばれるプログラミング言語仕様が使われている。図 2 に G コードプログラムの例を示す。G コードプログラムの 1 行は通常 1 回の打抜き動作に対応しており、“G”に続く 2 桁の数字で表されたパンチ命令、打ち抜く位置の X および Y 座標値、そして“T”に続く 3 桁の数字で表された、打抜きに用いる工具がタレット上に取り付けられている位置の情報が記述される。

〈2・2〉 NC プログラム自動生成の手順 従来の NCT 用 G コードプログラミングにおいては、熟練したプログラマはまず製品の仕様である設計図面を読み取り、複雑な形状の穴の場合には、標準工具をどのように組み合わせればその形状が加工できるかを考えて、複数回の打抜きに対応させるように与えられた形状を分解する。その後、加工方法を考えて工具を選択し、加工精度を良く、かつ加工時間を短くするように考慮して加工順序を決定し最終的に G コードを作成する。このようにプログラマは図面の認識・分解、G コードの生成、順序の決定という段階をふんでプログラミングを行っている。本システムにおいても、おおむねこの手続きに従って NC プログラム自動生成を行うことを考え、その手順は図 3 に示すとおりとする。

〈2・3〉 シルエット分離手法の応用 NCT による加工では、例えば図 4 (a) のような形状の穴開けを行う場合の加工方法としては、(b) 図のように複数の

図 3 NC プログラムの生成手順
Fig. 3. Sequence of automatic G-code generation.

(a) 加工すべき穴の形状 (b) (a)図の形状に対するパンチ

図 4 パンチプレス加工の例

Fig. 4. An example shape of hole in punch press machining.

加工要素（打抜き）を組合せることによって所望の形状を得る。このような人間のプログラマが行っていた図面の認識・理解を自動的に行うためには、CADによって作成された設計図面から形状を認識し、加工要素に分解する処理が必要である。この処理にシルエット分離手続きを利用する。一つの工具を成分図形とみなせば、複数の加工要素で実現されるようなできあがり製品中の複雑な穴の形状は、成分図形が重複してできた輪郭線図形（シルエット）とみなすことができる。従って、穴の形状を表したCADデータを入力し重複分離を行えば、加工要素に分解された図形データを得ることができる。

3. シルエット分離手続き

重複した物体像から各物体を分離・認識する問題は視覚心理モデルの作成から産業応用を想定したものまで、様々な視点から取り上げられてきた⁽²⁾⁽³⁾⁽⁵⁾⁽⁶⁾。本論文で提案する手法は、産業応用に限定し結果の利用に重点を置くものである。

本手法では、NC加工のための図面認識への応用を考慮し、対象を直線および円弧のみの組合せからなる図形に限定する。また、入力にはCADシステムなどによって作成された線図形データを想定し、各頂点の座標値が与えられているものとする。入力は、複数の凸図形が重複して構成された輪郭線（シルエット）図形とする。従って、成分図形は凸図形であると仮定して分離を行う。図5に重複分離手法の処理の流れを示す。

この手法は二次元の形状を復元する問題にもかかわらず、一次元に関する制約のみを用いることにより処理を行うことができるという特徴がある。換言すれば、成分図形の二次元形状についての性質に関する規則の記述は必要なく、成分図形を構成する辺に関する性質、すなわち一次元での幾つかの規則を記述すればよい。本手続きの主要な処理はそのような規則を利用して成分図形の辺となり得る要素（辺候補）を生成し、その後辺候補のみの組合せで構成される閉図形を単純に抽出する。以下、各段階における処理を説明する。

図 5 シルエット分離処理の流れ

Fig. 5. Overall flow of the decomposition process.

図 6 分離候補線の生成と分割

Fig. 6. Extrapolation and segmentation of "separation lines".

〈3・1〉 分離候補線の生成および分割 重複によって隠ぺいされた内部輪郭線を“分離候補線”と呼ぶ。外部輪郭線図形の凹頂点から、外部輪郭線の性質を有しかつ図形の内側を外部輪郭線に交わるまで延長した線を分離候補線として生成する。すなわち、図6に示すように直線は直線で、円弧は円弧で延長する。同図に×印で示した点が分離候補線の始点である。

次に、分離候補線同士が交差する場合はその交点で各分離候補線を分割し、独立した線分とする。また外部輪郭線が分離候補線によって分割される場合は元の輪郭線を分割した輪郭線に置換する。図6中に○印で示した点が分割された点である。

〈3・2〉 辺候補の生成 重複図形の分離結果として得られる成分図形は、上記のように細分された線分

の組み合わせによって構成される。このような成分図形の辺になる可能性のある線を“辺候補”と呼ぶ。また、一直線上にある外部輪郭線および分離候補線を連結することによってできる最も長い線分を“複合線分”(図7中、線分 AF , PW) と呼び、複合線分を構成する線分のうち、複合線分の端点を含む線分を“終端線分”(図7中、線分 AB , EF , PQ , UW) と呼ぶ。

複合線分から辺候補を生成するためのモデルを図7に提案する。このモデルを利用すれば、前節で細分された外部輪郭線と分離候補線の端点に関する条件のみで辺候補生成の規則を表すことができる。図7に示すようにモデルは二つの場合に大別される。

図7(a)のように、終端線分のいずれか一方が分離候補線である、すなわちモデル1の場合には、複合線分 AF 上の外部輪郭線(図中実線)および分離候補線(図中破線)の各端点 $A \sim F$ を次の五つのタイプに分類する。

- タイプI：終端線分が分離候補線側である複合線分の端点(F)
- タイプII：終端線分が外部輪郭線側である複合線分の端点(A)
- タイプIII：外部輪郭線と分離候補線が接する点(D)
- タイプIV：分離候補線間の点(E)
- タイプV：外部輪郭線間の点(B, C)

図7(b)のように、両終端線分がともに外部輪郭線

図7 辺候補生成のモデル

Fig. 7. Permissible line patterns for occluded edge recovery.

である、すなわちモデル2の場合には、複合線分 PW 上の点の多くはモデル1の場合と同様にタイプIII~Vに分類されるが、複合線分の両端点は新たなタイプVIとする。

タイプVI：始点および終点(P, W)

辺候補は、成分図形は凸図形であり成分図形の輪郭線は頂点以外の部分では滑らかであるという仮定に基づき、二つのモデルに対し図7中に示した組合せのみが許容され、生成規則は以下になる。

モデル1[(a)図]の場合、頂点タイプ

I-II, II-IV, IV-V, V-V

の対よりなるすべての線分を辺候補として生成する。

(a)図の例では図示した5個の辺候補が生成される。

モデル2[(b)図]の場合、頂点タイプ

VI-VI, IV-V, V-V

を結ぶ線分を辺候補として生成する。(b)図の例では4個の辺候補が生成される。なお、簡単のため図7では直線の例で説明したが、円弧の場合も同様の規則で辺候補を生成する。

〈3・3〉 閉ループの抽出 上述の処理によって得

られた辺候補の組から、閉ループをなす図形をすべて抽出する。閉ループとは、辺候補の端点のうちある一点から開始し、辺候補のみを追跡することによって元の点に戻ってくることができる閉じた図形で、一つのループを構成する辺候補は互いに交差してはならない。図6の入力を処理した結果を図8に示す。この例では4個の閉図形が抽出された。

抽出された結果の閉図形には、冗長な図形が含まれている場合がある。ここでいう冗長とは、他の閉図形のいずれかの辺にその図形の辺がすべて含まれているもの、換言すれば、その図形を分離結果から削除しても残りの図形の重複によって入力外部輪郭線図形を構成し得る成分図形を指す。入力図形は凸図形が重複してできた図形であると規定しているため、冗長な凹図形は無条件に結果から削除できる。従って結果を凸図形と凹図形に分類し、凹図形のうち冗長なものを結果から削除する。図8では(d)図がこれに相当する。冗長な凸図形が抽出された場合は、Gコード生成への応用を想定すると加工結果に影響はないため、ここではす

図8 閉ループの抽出

Fig. 8. Extracted closed-loops.

図 9 設計図面の加工要素への分解

Fig. 9. A decomposition of a design drawing into punch primitives.

べて分離結果として残し、加工方法を決定する際に他の制約(使用可能な工具の寸法や形状など)を用いて処理することとする。例では、入力から最終的に(a)~(c)図の3個の閉図形が分離結果として出力される。

以上の手続きで、NCTによる加工のための設計図面に現れるようなほとんどの形状を処理できる。

4. 図面認識モジュール

製品の仕様として与えられる設計図面を入力し、その形状を認識するモジュールである。1回の打抜きで加工できる単純な穴については、それが標準工具のうちのどの形状に相当するかを識別する。複数回の打抜きで加工する必要がある複雑な穴については、前章で述べた重複分離手続きを利用し、与えられた穴の形状を輪郭線図形とみなし、これを加工要素に対応する成分図形に分離する。通常NCTで加工するための設計図面では、標準工具の組合せで加工できる形状のみが含まれる。最終的に、分離された成分図形は標準工具の形状に対応するので、各成分図形ごとにどの形状に相当するかを識別する。

重複分離手続きにより設計図面中の穴の形状を加工要素に分解した例を図9に示す。この例では、(a)図の入力は、(b)図に示した一つの正方形と二つの長丸に分解された。

このモジュールにおける処理では、図形を形状としてのみとらえるので、分解された加工要素は実際には1回の打抜きに相当するとは限らない。どのように加工するかは次のGコード生成モジュールで決定される。その際に重複分離手続きにおける輪郭線であったか分離候補線であったか、すなわち図面中の外形線であったかつけ加えた補助線であったかという情報が重要となるので、分解された加工要素はこの情報を含んだ形で次のGコード生成モジュールに受け渡される。

5. プログラム生成モジュール

このモジュールではまず、図面認識モジュールで分

図 10 加工に使用する工具の選択

Fig. 10. Tool selection for punch.

解された各加工要素のデータから、それを加工するためのGコード1行を生成するという操作を行いプログラムの原型を作成する。ここでは、使用可能な工具をモデルとして、加工要素とモデルとの比較・照合により加工に使用する工具を選択し、加工方法を決定するために手続き的規則を利用する。次に生成されたGコードの順序、すなわち加工の順序を決定する。

〈5・1〉 Gコードの生成 同じ形状を加工する場合でも使用可能な工具によって加工戦略が異なる。そのプログラムを用いて工作するとき使用できる工具に関する情報がないと、Gコードを生成することはできない。そこで、使用可能な工具の種類および寸法を工具データベースとしてあらかじめ準備する。この工具データベース中から加工要素を加工するための工具を選択し、打ち抜く点の座標値と使用工具のデータの組に変換する。工具データベース中には使用可能な各工具について、工具の形状・寸法などの情報がそれぞれ記述されている。

次に、加工方法を決定する規則の一例を述べる。図面認識モジュールで分解した結果、図10(a)に示した形状のような加工要素が得られた場合、工具データベース中に寸法が一致する工具が存在すれば、その工具を使うように1行のGコード(1回の打抜きに相当する)を生成する。しかし、そのような工具が存在しなかった場合には、外形線(図中実線)と内部輪郭線(図中破線)に注目して、少なくとも外形線の部分は加工することができる工具を選択し、それを使ったGコードの組合せに変換する。例えば、(b)図のような寸法の工具がデータベース中にあれば、(c)図のように2回の打抜きによって(a)図中の外形線(実線部分)の形状をすべて加工できるので、この2回のパンチに対応する2行のGコードを生成する。この例では、同じ工具を2回使ったが、加工要素の形状によっては一つの要素に対し異なる工具を使ったGコード行を生成する場合もある。

このような、加工方法決定のための規則には、図

図 11 ニブリング加工の例
Fig. 11. Machining method with nibbling.

11 に示すような、寸法の大きい角および丸に対するニブリング加工（寸法の小さな工具を移動させながら多数のパンチで一つの穴を加工する方法）で処理するような規則も用意している。他の規則を適用することができなかった場合には、可能な限りニブリング加工の G コードを生成する。

〈5・2〉 加工順序の決定 加工順序は、加工精度および加工時間に影響を与える重要な要素である。一連の G コードが生成された後、プログラム中の G コードの順序を適切に並べ換えて、最終的に NC 加工プログラムとして出力する。加工順序に関して、幾つかの経験的な規則がある。例えば、加工精度に関しては、

- (i) 小さい穴から順次大きな穴を開けていく。
 - (ii) 同じ大きさの場合、角より丸を先に開ける。
- などである。また、加工時間を短縮するために、
- (i) 図面の右上から加工を開始し、なるべく短い経路で再び右上に戻るようにする。
 - (ii) 工具の変更回数をできるだけ少なくする。
- などの規則がある。このような規則を用いた手続的な処理によって加工順序を決定する。

6. 実行結果

図面認識モジュールおよびプログラム生成モジュールはいずれも Lisp 言語を用いてエンジニアリングワークステーション上に実装した。また、シミュレーションツールは X ウィンドウシステムを利用して C 言語により作成した。

〈6・1〉 システムの実行結果 図 12 に示す CAD 図面データを入力してシステムで処理し生成された G コードプログラムを用い、シミュレーションツールによって加工の様子を表した結果が図 13 である。

図 13 中で、左上および右上の丸と長丸二つ、中央の角と長丸四つ、下左と下中央および下右の丸と角、のそれぞれの組合せで加工される穴が、重複分離を利用した図面認識により処理された部分である。

処理に要する時間は、速度約 3 MIPS のエンジニアリングワークステーションで処理した場合、図 12 の

図 12 入力図面データ
Fig. 12. An input drawing data.

図 13 シミュレーション結果
Fig. 13. The output of the simulated result.

例では図面認識モジュールが約 5 分、プログラム生成モジュールが約 2 分である。熟練したプログラマーが手作業で行った場合、このような簡単な例でもコーディングからプログラムの入力を終えるまで、少なくとも約 1 時間は要する。そのうえ手作業では単純な間違いが発生する可能性もあり、デバッグまで考慮すると更に時間が必要である。人間が行う場合と比較すれば、本システムを用いることにより特に複雑な加工になるほど、顕著に時間短縮が可能となろう。

〈6・2〉 シミュレーションツール 前節では結果の表示にシミュレーションツールを用いたが、これ以外にもこのツールには G コードプログラムのデバッグのために有用な機能をもたせている。具体的には次の機能を備えている。

- (i) 加工結果の表示
- (ii) 加工の 1 ステップ実行

- (8) 若林伸和・御牧 義：「NC 工作機械プログラム作成支援システム」，平元人工知能学会全大(第3回)II，p. 657
- (9) N. Wakabayashi, N. Honda, T. Mimaki & S. Matsumoto : "A SUPPORTING SYSTEM FOR MAKING NC PROGRAMS BY WAY OF KNOWLEDGE ENGINEERING APPROACH", Proc. IFAC Skill Based Automated Production Symposium, Int. Federation of Automatic Control, p. 213 (1989)
- (10) 若林伸和・安部憲広・北橋忠宏：「NC 加工プログラム自動生成システム」，情報処理学会第41回(平2後期)全大(6)，p. 301

若 林 伸 和 (正員)

昭和40年3月30日生。平成元年3月電気通信大学大学院修士課程修了。4年3月大阪大学大学院工学研究科博士課程単位取得退学。同年4月電気通信大学大

北 橋 忠 宏 (非会員)

学院情報システム学研究科助手，現在に至る。主として，人工知能システムの作成に関する研究に従事。情報処理学会，人工知能学会，日本航海学会，電子情報通信学会会員。

昭和14年1月23日生。43年大阪大学大学院博士課程修了。同年同大学基礎工学部助手。53年豊橋技術科学大学助教授，同教授を経て，61年大阪大学産業科学研究所教授，現在に至る。人工知能，特に物体認識に関する研究に従事。工学博士。電子情報通信学会，情報処理学会，人工知能学会，IEEE，計量国語学会会員。