

機械学習を援用した金型加工の工程設計支援システムの開発に関する研究

東京農工大学 ○小村 尚史, 東京農工大学大学院 ◎中本 圭一

要 旨

加工精度やコストに大きく影響を与える工程設計は未だに技能者に依存しており, 一般化も困難である. このため, 複雑な曲面から成る金型意匠面の切削加工における工具経路パターンを, 機械学習を援用して推定する工程設計支援システムを開発している. しかし, ネットワーク構造が工程設計に関わる暗黙知を反映できているか十分に検証されていなかった. そこで, 予め生成した人為的なルールに基づいたサンプルデータを用いて技能者の思考を再現できるか検証した.

1. 結 論

金型は様々な工業製品の生産に使用されており, 近年はより複雑な曲面から成る意匠面の高精度な切削加工が要求されている. しかし, 加工精度やコストに大きく影響を与える工程設計は未だに技能者に依存しており, 属人的でかつ自動化の妨げとなっている⁽¹⁾. したがって, 加工準備時間の短縮, 技能者の卓越した技能の伝承, 工程設計の標準化を目指し, 金型意匠面のような複雑な曲面をも対象とした工程設計支援 (CAPP: Computer Aided Process Planning) システムの開発が望まれている.

2. 研究目的

CAD ソフトウェアや CAM ソフトウェアなどのコンピュータ支援技術は, 高効率な切削加工を実現するために不可欠である. しかし, 現在市販されている CAM ソフトウェアは加工面や加工方法などを技能者が決定する必要があり, 加工結果にばらつきが生じている. このため, 加工準備時間の短縮や技能の伝承に向けた工程設計の標準化が期待されている. そこで, 従来から円柱や直方体といった比較的単純な形状で構成された目標形状を対象にフィーチャ認識技術などを援用したルールベース型の CAPP システムが提案されてきた⁽²⁾. しかし, 複雑な曲面から成る金型意匠面の切削加工の工程設計を一般化することは困難であった.

一方, ルールが明らかでない複雑な問題を解決する際に用いる手法として機械学習が知られている. このため先行研究では, 技能者が過去に施した加工事例を教師モデルとして機械学習し, 金型意匠面に対して工具経路パターンを割り当てる工程設計支援システムが開発されている⁽³⁾. しかし, 教師モデルの一貫性が保証されておらず, データ量も不足していたため, ネットワーク構造が工程設計に関わる暗黙知を反映できているか十分に検証されていなかった. そこで本研究では, 予め生成した人為的なルールに基づいたサンプルデータを用いて工程設計支援システムが技能者の思考を再現できるか検証することを目的とする.

3. 機械学習を援用した工程設計支援システム

先行研究で開発された機械学習を援用した工程設計支援システムでは, 工具経路パターンを推定するために機械学習の一種であるニューラルネットワークを使用している. また, その構造として畳み込みニューラルネットワークをベースとした 3D U-net を用いて, 工具経路パターンを推定している. このとき, 図 1 に示すように, CAD モデルから金型意匠面のみを抽出し, ボクセルモデルで表現する. この形状情報を 3D U-net に入力して, 各ボクセルに対する工具経路パターンを推定する. その後, CAD モデルの各加工面の工具経路パターンとして, 内包される工具経路パターンごとのボクセルが最も多いものが決定される. なお本研究

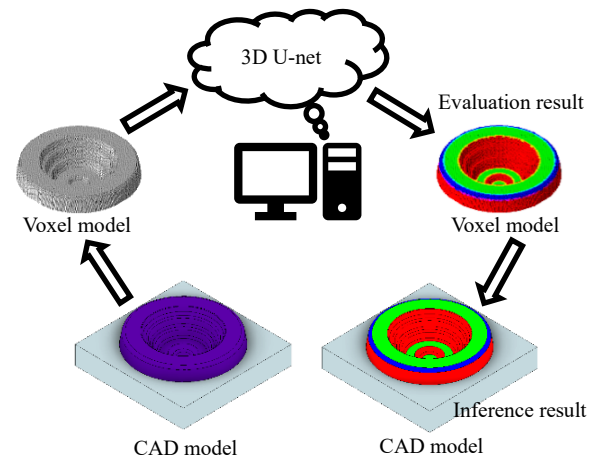


Fig. 1 Overview of developed CAPP system for deciding tool path pattern based on machine learning⁽²⁾

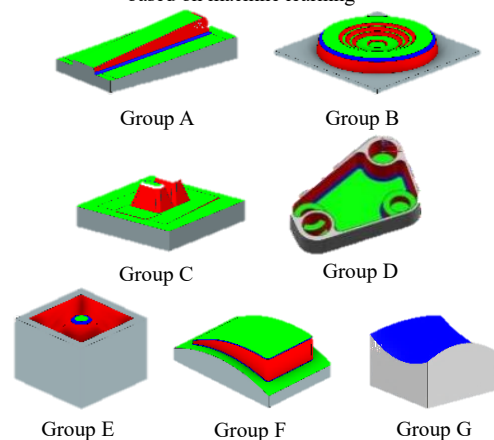


Fig. 2 CAD model group for generating sample data

では, 3 種類の工具経路パターンを対象とし, 等高線加工を赤色, 走査線加工を緑色, 面沿い加工を青色で示す. また, CAD ソフトウェアとして Siemens の NX を使用し, 機械学習のライブラリとして Google の TensorFlow および Keras を使用している.

4. 人為的なルールに基づいたサンプルデータ

先行研究で開発された工程設計支援システムのネットワーク構造の有効性を検証するために, NX とその API を用いて, 人為的なルールに基づくサンプルデータを生成した. ここでは, 図 2 に示した CAD モデルに代表される 7 種類のモデル群を用意した.

図 3 にモデル群 F のサンプルデータを生成する流れを示す. モデル群 F は曲面上に垂直な側面を有する突起部があり, 突起部の上面は異なる曲面となっている. また, 突起部の段差の高さによって加工方法が変わることを想定しており, 段差の高さが 10 mm

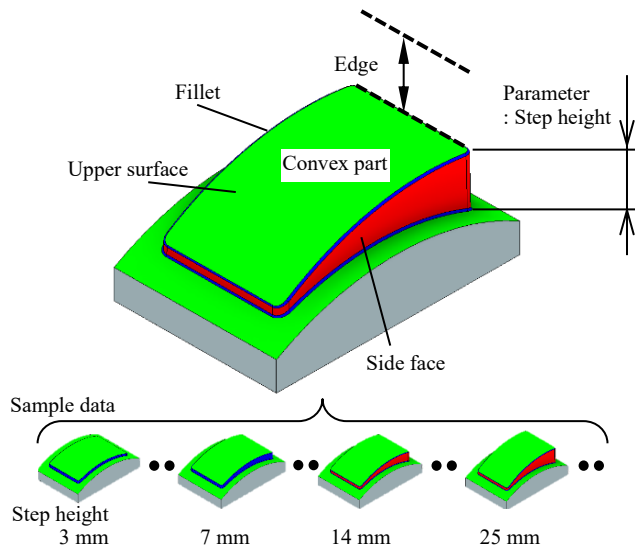


Fig. 3 Generation of sample data of model group F based on artificial rule

Table 1 Model group and generated sample data

Model group	Modified Parameter	Number of Sample data	Number of validation model
A	Surface angle	112	2
B	Pocket depth	81	2
C	Surface angle	85	2
D	Object place	115	2
E	Surface angle	103	2
F	Step height	110	2
G	Surface shape	102	2

以上の場合には突起部の側面を等高線加工，それ以下の場合は面沿い加工という人為的なルールで工具経路パターンを決定している。なお，突起部の上面は走査線加工，フィレット部分は面沿い加工で変化しない。このモデル群では，突起部の上面の1つのエッジの位置を上下に移動させて CAD モデルを変形し，112 個のサンプルデータを生成している。また，表 1 にまとめたように，他のモデル群についても同様に，それぞれで定めたパラメータを変更し，その形状に従って人為的なルールに基づいた工具経路パターンを割り当ててサンプルデータを生成した。

5. ケーススタディ

人為的なルールに基づいたサンプルデータを利用して，機械学習を援用した工程設計支援システムの推定結果を評価するケーススタディを実施した。このケーススタディの条件 a ではサンプルデータとして Group A のみ，条件 b では Group B のみのように，条件 g まで 1 種類のモデル群を，条件 h では全てのモデル群を学習に使用した。また，3D U-net の学習回数は 400 回，バッチ数を 4 とし，評価用モデルは使用するモデル群の中から選択したが学習時に使用していない。

ボクセルモデルおよび CAD モデルで推定された工具経路パターンと，評価用モデルの工具経路パターンとの一致率を評価した。ここでそれぞれの一致率は，全ボクセル数に対する工具経路パターンが一致しているボクセル数の割合，全加工面数に対する工具経路パターンが一致している加工面数の割合である。

学習および評価の結果，ボクセルモデルでは条件 a から h の評価用モデルごとの一致率が平均で 99% 程度となった。図 4 に条件

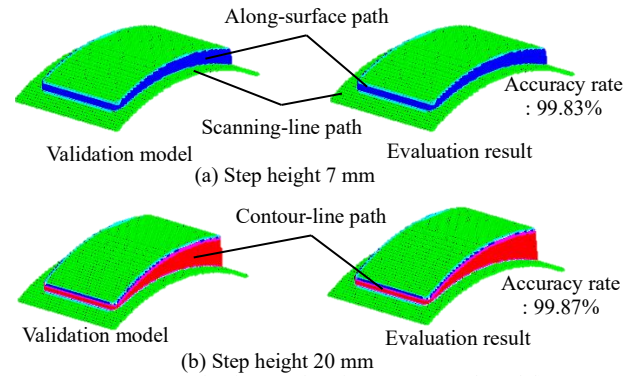


Fig. 4 Evaluation results of group F (Voxel model)

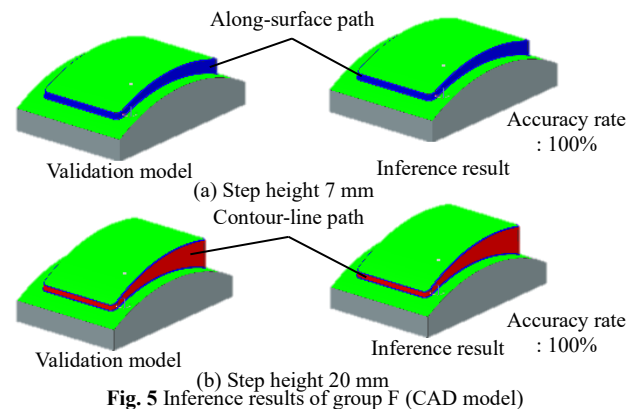


Fig. 5 Inference results of group F (CAD model)

h でのボクセルモデルの推定結果を，図 5 に同条件の CAD モデルでの推定結果をそれぞれ評価用モデルと比較して示す。これらより，推定結果と評価用モデルが類似していることが分かる。また，条件 h では複数のルールに基づくサンプルデータを同時に学習しても一致率が低下しなかったことから，評価用モデルに応じて適切に推定できていることも分かった。一方，CAD モデルでは一致率が大きく低下することもあったが，これはボクセル化で生じる量子化誤差によって CAD モデルの細部が表現できていないためである。以上より，開発している機械学習を援用した工程設計支援システムでは，人為的なルールに基づいたサンプルデータを学習し，そのルールに従って推定できることが分かった。

6. 結論

技能者の思考の再現に向けて，機械学習のネットワーク構造の有効性を示すことを目的とし，人為的なルールに基づいて生成したサンプルデータを学習した場合の推定結果を評価した。ケーススタディの結果から，先行研究で開発された機械学習を援用した工程設計支援システムにおいて，サンプルデータに含まれるルールに基づいて工具経路パターンを推定できることを確認した。

文献

- (1) 青山英樹，“金型製作を支えるCAD/CAM/CAE連係（携）技術”，精密工学会誌，Vol. 77, No. 7, (2011), pp.636-639.
- (2) 井上友貴，中本圭一，“複雑部品の切削加工に向けた工程設計支援システムのための加工フィーチャ認識手法の提案”，日本機械学会論文集，Vol. 83, No. 850, (2017), 16-00574.
- (3) M. Hashimoto, K. Nakamoto, A Neural Network Based Process Planning System to Infer Tool Path Pattern for Complicated Surface Machining, International Journal of Automation Technology, Vol.13, No.1 (2019), pp.67-73.