

## G000114

## 多関節ロボットののための CAD/CAM インタフェイス

## CAD/CAM Interface for Articulated-type Robots

○学 鈴木 真太郎<sup>\*1</sup>, 正 永田 寅臣<sup>\*1</sup>, 正 渡辺 桂吾<sup>\*2</sup>  
Shintaro SUZUKI, Fusaomi NAGATA, Keigo WATANABE

<sup>\*1</sup>山口東京理科大学 Sanyo-Onoda City University

<sup>\*2</sup>岡山大学 Okayama University

In this study, CAD/CAM interfaces are proposed for articulated-type robots. They are an educational robot called DOBOT and an industrial robot called VS068. Two types of robot operating environments that can be used without conventional teaching process are presented. In the case of the DOBOT, paths called CLS (cutter location source) data are interpretively converted into robot language codes line by line and are given to the robot controller through its API functions. Also, in the case of the VS068, position and orientation vectors calculated from the CLS data are given to the robot controller every sampling time through API functions provided by ORiN middleware. Due to the proposed systems, attractive outline fonts can be easily drawn and engraved without teaching tasks. The usefulness and validity of the proposed systems are evaluated through design, drawing and engraving experiments.

**Key Words** : CAD/CAM interface, Interpreter-like controller, ORiN, CLS data, Outline font, DOBOT, VS068

## 1. 緒 言

図 1 には本研究で提案する CLS データのスプライン補間機能と、アウトラインフォントを扱うための CAD/CAM インタフェイスの役割を示す。既に開発しているポストプロセッサは、事前に CAM から出力された工具経路である CLS データから FANUC 製の産業用ロボットののためのロボット言語を出力できる<sup>(1,2)</sup>。今回提案するインタプリタライクコントローラでは、多関節ロボットとその API を使用して CLS データを 1 行ずつロボット言語に変換しながらインタプリタ的に実行させる機能について検討する<sup>(3)</sup>。従来、産業用ロボットを動作させるには、目標の位置と姿勢情報を多数入力して記憶させる教示と、記憶した情報によって指示された連続動作を実行する再生の 2 つのステップからなる教示再生方式が一般的である。本研究では、オフラインで CLS データからロボット言語を出力するポストプロセッサの作業を省略し、CLS データを翻訳しながら API を経由して直接ロボットを動作させる CAD/CAM インタフェイスを提案する。また、ダイレクトサーボの提案により、CLS データからサンプリング時間毎の位置と姿勢の目標値を算出し、ORiN ミドルウェアが提供する API を経由して産業用ロボット VS068 に送信することで教示レスを実現する<sup>(4)</sup>。

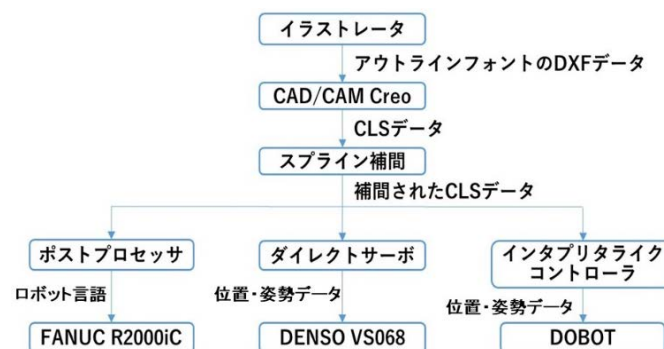


Fig.1 Roles of the proposed post processor, direct servo, interpreter-like controller and spline interpolation to handle outline fonts.

## 2. スプライン曲線に沿った CLS データ補間法

ベクタイメージ編集ソフトであるイラストレータでは様々なフォントが利用でき、それらは DXF 形式に変換することができる。Creo のようなハイエンドな CAD/CAM は DXF データをインポートし、CLS データを生成できる。オリジナルのアウトラインフォントに曲線が含まれるとき、一般的に CAD/CAM のメインプロセッサは直線近似による多数の微小な直線で CLS データを構成する。このため、CLS データの補間は直線近似された軌跡を滑らかにするのに有効である。これまでも産業用ロボットや数値制御工作機械のための滑らかな工具経路の生成に関する多くの取り組みがなされているが<sup>(5~10)</sup>、本研究では実装のしやすさから CLS データに対して 3 次曲線あるいは 5 次曲線に基づくスプライン補間を適用する<sup>(2,3)</sup>。図 2 には正規化変数  $t$  を用いた  $x$  方向の 3 次スプライン曲線を示している。 $\mathbf{p}_{i-1}(t)$ ,  $\mathbf{p}_i(t)$ ,  $\mathbf{p}_{i+1}(t)$ ,  $\mathbf{p}_{i+2}(t)$  は CLS データ内の 4 つのポイントであり、 $i$  はファイル内のステップ番号である。また、 $\mathbf{x}_{i-1}(t)$ ,  $\mathbf{x}_i(t)$ ,  $\mathbf{x}_{i+1}(t)$  はそれぞれ、これから生成する 3 次スプライン曲線の各セグメントを表す。3 次スプライン曲線  $\mathbf{x}_i(t)$  は次式で与えられる。

$$\mathbf{x}_i(t) = \mathbf{a}_i t^3 + \mathbf{b}_i t^2 + \mathbf{c}_i t + \mathbf{d}_i \quad (1)$$

ここで、 $\mathbf{a}_i = [a_{xi} \ a_{yi} \ a_{zi}]^T$ ,  $\mathbf{b}_i = [b_{xi} \ b_{yi} \ b_{zi}]^T$ ,  $\mathbf{c}_i = [c_{xi} \ c_{yi} \ c_{zi}]^T$  はこれから決定する係数ベクトルであり、 $\mathbf{x}$  方向の成分を考慮すると図 1 から以下の関係式が得られる。

$$x_i(-1) = p_{x(i-1)} = -a_{xi} + b_{xi} - c_{xi} + d_{xi} \quad (2)$$

$$x_i(0) = p_{xi} = d_{xi} \quad (3)$$

$$x_i(1) = p_{x(i+1)} = a_{xi} + b_{xi} + c_{xi} + d_{xi} \quad (4)$$

$$x_i(2) = p_{x(i+2)} = 8a_{xi} + 4b_{xi} + 2c_{xi} + d_{xi} \quad (5)$$

これらを整理すると次式が得られる。

$$\begin{pmatrix} a_{xi} \\ b_{yi} \\ c_{zi} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -\frac{1}{6} & -\frac{1}{2} & \frac{1}{6} \\ \frac{1}{2} & \frac{1}{2} & 0 \\ -\frac{1}{3} & 1 & -\frac{1}{6} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} p_{x(i-1)} - p_{xi} \\ p_{x(i+1)} - p_{xi} \\ p_{x(i+2)} - p_{xi} \end{pmatrix} \quad (6)$$

$y$  方向と  $z$  方向の係数ベクトルについても同様に求めることができるので、 $\mathbf{p}_i$  と  $\mathbf{p}_{i+1}$  の間のセグメントは  $\mathbf{x}_i(t)$  ( $0 \leq t \leq 1$ ) により任意の点数で補間できる。この工程を CLS データ内のすべてのポイントに適用することによって CLS データを補間するためのスプライン曲線群を生成できる。さらに、今回はスプライン補間を実行するための条件を設定することで、丸めたくないエッジ部分などはピンポイントで補間をかけないようにした。条件は以下の 2 式で与えられる。

$$\theta_k > \theta_{\min} (k = i, i+1) \quad (7)$$

$$\|\mathbf{P}_{k-1} \mathbf{P}_k\| < d_{\max} (k = i, i+1, i+2) \quad (8)$$

式(7)は進行方向の 2 つのセグメントがなす角度  $\theta_k$  が設定した最小角  $\theta_{\min}$  よりも大きいという条件である。また、式(8)は CLS データ内の隣接するオリジナルポイント間の距離  $\mathbf{P}_{k-1} \mathbf{P}_k$  が設定した最大距離  $d_{\max}$  よりも小さいという条件である。この 2 つの条件が同時に満たされたときに補間点を生成するようにした。動作確認のために、まず、デザインツールを用いてアウトラインフォントである Elephant 「Yamaguchi」を作成し、その後 CAD/CAM を用いて CLS データを作成した。この CLS データに対して前述の補間アルゴリズムを適用した。設定した補間点の生成条件は、スプライン曲線による補間点数を 3 とし、スプライン曲線によるなす角  $\theta_k$  が 120 度以上、CLS データの GOTO 文の間隔の最大値  $d_{\max} = 40 \text{ mm}$  とした。また、隣接する GOTO 文間の距離が非常に近い箇所を含むスプライン補間での形状の崩れを防ぐため、GOTO 文の削除条件を 0.8 mm 以下とした。これは、対象とな

る GOTO 文間の距離が指定した値よりも小さい場合, その GOTO 文を削除する機能である. これらの生成条件を適用し, 目標軌道となる CLS データを作成した. 図 3 は評価用に作成したアウトラインフォントである Elephant 「i」の補間前と補間後の CLS データを比較したものである.

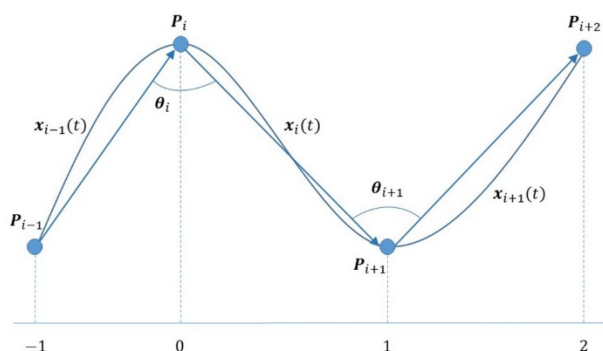


Fig. 2 3rd-order spline curves for CLS data interpolation.

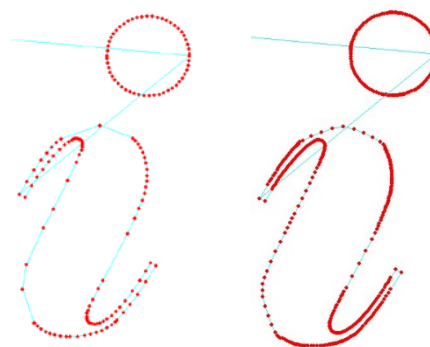


Fig. 3 Original CLS data of outline font **i** and Interpolated CLS data.

### 3. 教育用ロボット DOBOT のための CAD/CAM インタフェイス

4 自由度を持つこのロボットは最近, メカトロニクスの教育分野で非常に注目されており低コストにもかかわらず, 3D プリンタのような積層加工, エンドミルを使った切削加工, ペンツールを使った印字, レーザー加工などに利用できる. ロボットの質量と可搬質量はそれぞれ, 3 kg, 500 g であり, PC やスマートフォンによる制御が可能である. また, 位置繰り返し精度は, 教育用ロボットとしては 0.2 mm と優れている. しかしながら, CAD/CAM とのインタフェイスは提供されていなかったためインタプリタ的に実行できる機能を検討することとした<sup>(3)</sup>.

Dobot 社が提供する API である Dobot API for MFC (Microsoft Foundation Class) を統合開発環境である Visual Studio 2017 上に実装し, DOBOT 本体を動作させるためのプログラム開発を行った. API とはソフトウェアコンポーネント相互の入出力に使用するインタフェイスのことで, 他のソフトウェアと機能を共有できるようにしたデバイスドライバであるが, 今回は DOBOT 本体にアクセスするために入力用の `GetPose()` と出力用の `GotoPoint()` という 2 つの関数を主に用いてダイアログベースの CAD/CAM インタフェイスを開発した. `GetPose()` により, 現在のアーム先端の位置座標と姿勢角度を取得できる. 一方, `GotoPoint()` により, 指定した位置座標まで PTP モードあるいは CP モードにてアーム先端を移動させることができる. 図 4 にはインタプリタ的に実行できる CAD/CAM インタフェイスを搭載した DOBOT を示す.



Fig. 4 Educational robot DOBOT with the proposed CAD/CAM interface.

動作確認のためにイラストレータを用いてアウトラインフォントの Calibri 「S」を DXF データに変換した後, CAD/CAM ソフトウェアである Creo Parametric 上に展開した. 次に CAM のメインプロセッサを使用してフォントのアウトラインに沿った CLS データを作成し, 前章で提案したスプライン補間機能を用いて図 5 のように CLS データ内の隣り合うポイント間を 3 点で補間した.

開発したダイアログベースの CAD/CAM インタフェイスでは, `GetPose()` に基づきワーク座標系を設定でき, その原点を基準に CLS データを 1 行ずつ解析しながら `GotoPoint()` 関数を使って DOBOT 本体に出力できるように

した. デザインツールと CAD/CAM を用いて作成した Calibri の「S」を構成する CLS データ内の記述通りに DOBOT 先端のペンを動作させてフォントを描くことで, 設計した CAD/CAM インタフェイスの有効性を確認した. 図 6 には Calibri フォント「S」の描画風景を示す.

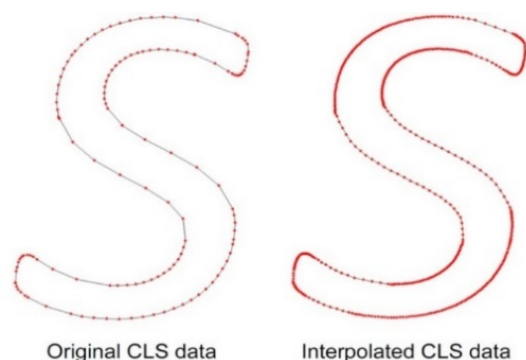


Fig. 5 Original CLS data of outline font S and Interpolated CLS data.



Fig. 6 Drawing scene of Calibri font S.

#### 4. 産業用ロボット DENSO VS068 のための CAD/CAM インタフェイス

加工ロボットとしての評価を行うため, スピンドルモータなどの工具が搭載できるように最大可搬質量 7kg の VS068 を使用した. DENSO から提供されるこのロボットは ORiN を使ったアプリケーションの開発が可能である. ORiN (Open Resource interface for the Network)とは, 各種装置に対して, 統一的なアクセス手段と表現方法を提供する標準化のための通信インタフェイスである. 同一のアプリケーションソフトウェアから, メーカー, 新旧バージョン, ロボットや NC 工作機械など異なる制御装置の情報を共通的な方法でアクセスするための標準仕様であり, ORiN2 SDK として実用化されている. また, アプリケーションを開発する際, CAO(Controller Access Object)と呼ばれる標準インタフェイスの利用が重要であることが分かった. CAO は, 上位アプリケーションとメーカーが提供する下位のコントローラ間の共通のインタフェイスとして機能し, 共通機能を与えるエンジン部と各メーカーの違いを吸収するプロバイダ部から構成される. ORiN が搭載された小型多関節型ロボット VE026 のために Windows 上で開発した CAD/CAM インタフェイス<sup>(11)</sup>を VS068 に移植開発するにあたり, CAO の中で必要となる関数について調査した結果, アーム先端の位置・姿勢情報をモニタするための CaoGetPose()と, サーボ系に目標の位置・姿勢情報を与える CaoMove()が重要であることが確認できた.

VS068 のために実装した CAD/CAM インタフェイスの有用性を検証するために, デザインツールで作成したアウトラインフォントである Elephant「*Yamaguchi*」を CAD/CAM ソフトウェア Creo Parametric のメインプロセッサで生成した工具経路 (CLS データ) を目標軌道にして, VS068 のアーム先端の位置と姿勢の起動追従制御実験を行った. CLS データをもとにしたサンプリング時間毎の目標位置と, 目標姿勢を算出し, CaoMove()関数を介してサーボ系に与えた. その結果, CAD/CAM 上で生成させた工具の動きをロボットアーム先端に再現させることができた. 図 7, 8 には Elephant フォント「*Yamaguchi*」の加工風景及び加工結果を示す.



Fig. 7 Industrial robot DENSO VS068.



Fig. 8 Engraving result of Elephant font *Yamaguchi*.

## 5. 結 言

デザインツールで入力したアウトラインフォントから工具経路である CLS データを算出し、教示を行うことなくロボットを実行させることでアウトラインフォントの描画及び加工を行うことができた。また、条件付きのスプライン補間機能を適用することで、ゴシック系フォントの特徴であるエッジ部分を保持したまま必要な曲線部分のみを滑らかにできるようになった。以上の結果から、開発した CAD/CAM インタフェイスの有用性を確認することができた。

今後は、曲面ワーク上への装飾加工や、Intel RealSense などのデプスセンサを使ったリバースエンジニアリングの実現方法について検討するなど、有用性を実証しながらベストプラクティスとして多関節ロボットのための教示レスを追求していきたい。

## 文 献

- (1) F. Nagata, Y. Seda, K. Hamada, S. Suzuki, A. Otsuka, T. Ikeda, H. Ochi, K. Watanabe, Maki K. Habib, T. Kusano, "Outline Font Handler for Industrial Robots," *Proceeding of 2018 IEEE International Conference on Mechatronics and Automation*, pp. 1828-1835, Changchun, China, Aug. 2018.
- (2) F. Nagata, Y. Okada, T. Kusano, K. Watanabe, "CLS Data Interpolation along Spline Curves and Post Processing for FANUC Industrial Robots," *Journal of Institute of Industrial Applications Engineers*, Vol. 5, No. 3, pp. 129-135, 2017.
- (3) 鈴木真太郎, 永田寅臣, 渡辺桂吾, "教育用ロボット「DOBOT」のための CAD/CAM インタフェイス", ロボティクス・メカトロニクス講演会 2018 講演論文集, 2P1L07(1-2), 北九州国際会議場, Jun. 2018.
- (4) 永田寅臣, 濱田昂佑, 渡辺桂吾, "ORiN2 SDK を用いた産業用ロボット VS068 の CAD/CAM インタフェイス", 第 18 回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会論文集, pp. 1938-1941, 仙台国際センター, Dec. 2017.
- (5) 鈴木 裕, 山崎和雄, 星 鐵太郎, 黒宮義久, "金型実時間加工用数値制御システムの開発", 精密工学会誌論文集, Vol. 53, No. 12, pp. 1952-1958, 1987.
- (6) 佐賀聡人, 牧野宏美, 佐々木淳一, "手書き曲線モデルの一構成法 -ファジースプライン補間法-", 電子情報通信学会論文誌, D-II, 情報・システム, II-情報処理, pp. 1610-1619, Aug. 1994
- (7) 明 暉, 水垣善夫, 吉川浩一, "遺伝的アルゴリズムを用いた工具経路生成法の一手法", 日本機械学会論文集 C 編 Vol. 63, No. 608, pp. 1385-1390, 1997.
- (8) 植木祐輔, 森重功一, 石田 徹, 竹内芳美, "産業用ロボットによる研磨作業の自動化 -曲面の曲率を考慮した経路生成-", 精密工学会誌論文集, Vol. 70, No. 12, pp. 1522-1526, 2004.
- (9) 窪田耕児, 中本圭一, 石田 徹, 竹内芳美, "5 軸加工を考慮した複合加工機用 CAM システムの開発(機械要素, 潤滑, 設計, 生産加工, 生産システムなど)", 日本機械学会論文集 C 編, Vol. 76, No. 770, pp. 2729-2735, 2010.
- (10) 高杉敬吾, 浅川直紀, 森本喜隆, 浜松央弥, "曲面パラメータに基づいた高精度高効率工具経路生成", 精密工学会誌論文集, Vol.81, No.10, pp. 974-978, 2015.
- (11) 永田寅臣, 永富智也, 林 将平, 大塚章正, 渡辺桂吾, "ORiN2 SDK を用いた小型多関節型ロボット VE026A の軌道追従制御", 第 15 回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会論文集, pp. 1205-1207, 東京ビッグサイト, Dec. 2014.