

# ORiN ミドルウェアが搭載された産業用ロボットを用いた スマート加工システム

永田寅臣，鈴木真太郎 (山口東京理科大学大学院)，渡辺桂吾 (岡山大学)

## 1. はじめに

筆者らは 1999 年以降国内のロボットメーカーが提供するオープンアーキテクチャ型の産業用ロボットをベースに木質材料研磨，金属材料研磨，樹脂材料の除去加工などのアプリケーション開発を行ってきた．しかしながら，あるロボットメーカーのロボットを用いて開発したアプリケーションを他のメーカーのロボットに移植することは容易ではなかった．これは，キネマティクスやサーボコントロールに関する API の仕様が標準化されておらず，ソフトウェアの設計変更や新たな動作確認のための作業が発生したことに起因している．ORiN(Open Robot/Resource interface for the Network) は工場内の各種装置に対してメーカ・機種の違いを超え統一的なアクセス手段と表現方法を提供する通信インターフェースとして注目されている [1]．

本研究では，ORiN ミドルウェアが搭載された産業用ロボットに対して既に開発しているロボット CAM システムと新たに提案するアウトラインフロントハンドラを実装し，発砲スチロールや木質材料の付加価値加工のためのスマート加工システムの実現を目指す．

## 2. これまでに開発してきた産業用ロボットをベースとするスマート加工システム

図 1 には，これまでに構築してきたロボット加工システムの概要を示す．提案システム 1 では市販の CAD/CAM が生成する CLS データや NC データをロボットの目標軌道に直接用いることで，従来のオンラインあるいはオフラインによる教示工程を全く必要としない機能を実現している．提案システム 2 では，3D プリンタで一般的な積層造形用の STL データから切削加工用の CLS データを算出できるプロセッサを開発することで 3D プリンタライクなデータインタフェースを実現している．提案システム 3 では FANUC 産業用ロボットのための CAD/CAM インタフェースを実現するためにポストプロセッサを開発した．このポストプロセッサは，CLS データから LS フォーマットと呼ばれる FANUC のロボットプログラムを精巧に生成することができる．このほか，最近話題となっている教育用の多関節ロボット「DOBOT」では積層加工やレーザ加工のエンドエフェクタが提供されていたため，CLS データをインタプリタ的に実行できる CAD/CAM インタフェースを提案している [2]．

## 3. ORiN ミドルウェアが搭載された産業用ロボットを用いた開発

例えば研磨ロボットに適用したロボット CAM システムでは 4 ms の実時間処理で微い制御系（力制御系 +

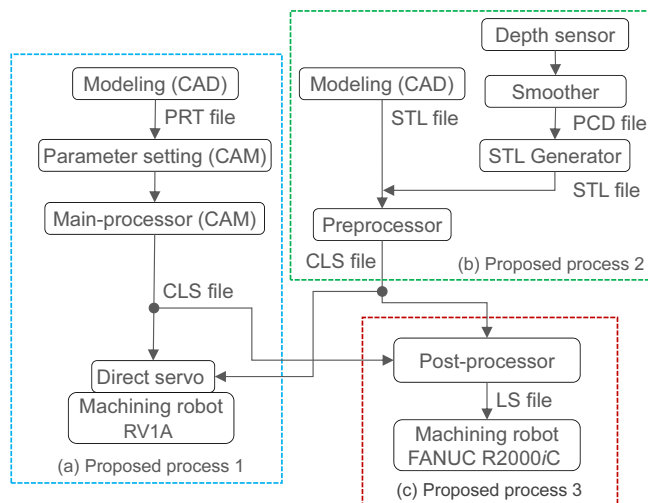


図 1 産業用ロボットを使ったスマート加工システム

位置・姿勢制御系)を構成していたため，CLS データ内  $l$  行目の GOTO 文に含まれる位置と法線ベクトル  $[x^l, y^l, z^l, n_x^l, n_y^l, n_z^l]^T$  を線形補間することで，サンプリング時間毎（離散時刻  $k$ ）の目標速度を同次変換行列  $\Delta T(k)$  で生成させていた．また，除去加工ロボットは力制御を必要とせず，エンドミルを含むアーム先端の剛性のもと，位置・姿勢制御系のみで構成できていた．

今回用いた産業用ロボットはデンソー製 VS068 という機種であり，ORiN に準拠した CaoRobot クラス内の Move メソッドを用いることでインタプリタ的に動作できるロボット CAM を設計した [3]．Move メソッドではロボットの絶対座標系における位置指令とロール，ピッチ，ヨー角による姿勢指令によりツール先端を制御できる．具体的には，CLS データ内で  $\text{GOTO}/x^l, y^l, z^l, n_x^l, n_y^l, n_z^l$  が読みだされた場合，法線ベクトルをロール，ピッチ，ヨー角に変換しながら  $\text{MOVE}/x^l, y^l, z^l, \phi^l, \theta^l, \psi^l$  のようなフォーマットの指令を出力することで，CAD/CAM の工具軌跡シミュレータで確認したエンドミルの動きをそのまま，ロボットアーム先端のエンドミルに再現することができる．

## 4. アウトラインフロントハンドラ

アプリケーションとして，オリジナルのアウトラインフロントを 3 次あるいは 5 次のスプライン曲線で滑らかにしながら CLS データを生成できるアウトラインフロントハンドラを開発した．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 形式の CAD データ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

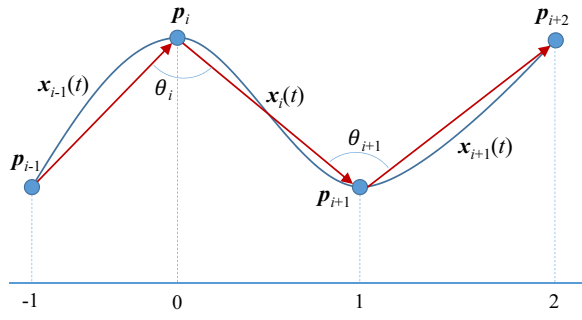


図2 3次スプライン曲線によるCLSデータの補間

DXFデータをインポートし、輪郭に沿った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。

ここでは、3次曲線に基づくスプライン補間を適用する。図2には正規化変数 $t$ を用いた $x$ 方向のスプライン曲線を示している。 $p_{i-1}(t)$ ,  $p_i(t)$ ,  $p_{i+1}(t)$ ,  $p_{i+2}(t)$ はCLSデータ内の4つのオリジナルポイントであり、 $i$ はデータ内のステップ番号である。また、 $x_{i-1}(t)$ ,  $x_i(t)$ ,  $x_{i+1}(t)$ はそれぞれ、これから生成する3次のスプライン曲線を表す。3次のスプライン曲線 $x_i(t)$ は次式で与えられる。

$$x_i(t) = a_i t^3 + b_i t^2 + c_i t + d_i \quad (1)$$

ここで、 $a_i = [a_{xi} \ a_{yi} \ a_{zi}]^T$ ,  $b_i = [b_{xi} \ b_{yi} \ b_{zi}]^T$ ,  $c_i = [c_{xi} \ c_{yi} \ c_{zi}]^T$ ,  $d_i = [d_{xi} \ d_{yi} \ d_{zi}]^T$ はこれから決定する係数ベクトルであり、例えば $x$ 方向の成分のみを考慮すると図2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。

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

$y$ 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、 $p_i$ と $p_{i+1}$ の間のセグメントは $x_i(t)$  ( $0 \leq t \leq 1$ )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オリジナル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。

さて、オリジナルのアウトラインフォントから生成したCLSデータに対してスプライン補間を直接適用すると図3(b)や図4(b)のような振動が発生することがある。このような振動の問題点を解決するために最小確

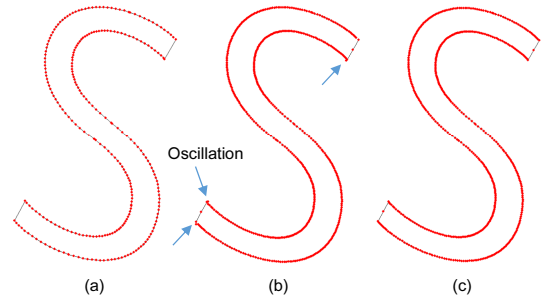


図3 (a) オリジナルCLSデータ(小塚ゴシックS); (b), (c) 補間点数1で補間された場合のCLSデータ

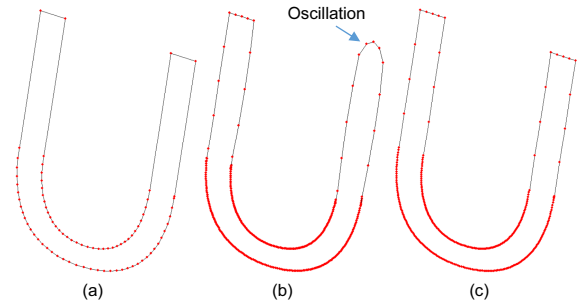


図4 (a) オリジナルCLSデータ(小塚ゴシックU); (b), (c) 補間点数1で補間された場合のCLSデータ

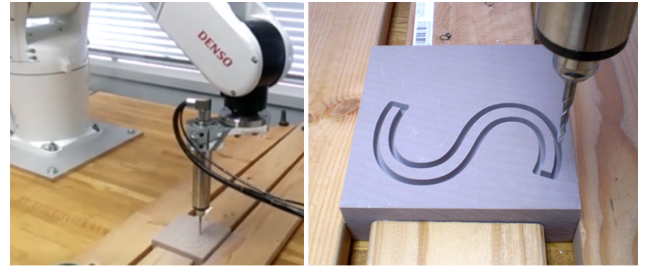


図5 VS068を使ったアウトラインフォント(小塚ゴシック)の加工風景

度 $\theta_{\min}$ と最大距離 $d_{\max}$ と呼ぶ二つのパラメータを設けた。スプライン補間時に以下の二つの条件が同時に満たされる場合にのみ補間点を生成させることで、図3(c)や図4(c)のように振動を起こすことなく、また、丸めたくないエッジ部分は補間しない、といった処理が可能になった。

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

$$\|\overrightarrow{P_{k-1}P_k}\| < d_{\max} \quad (k = i, i+1, i+2) \quad (8)$$

このような条件付きのスプライン補間機能とCAD/CAMインタフェースを組み合わせることで図5や図6のように教示を行うことなくアウトラインフォントの切削加工が可能になった。

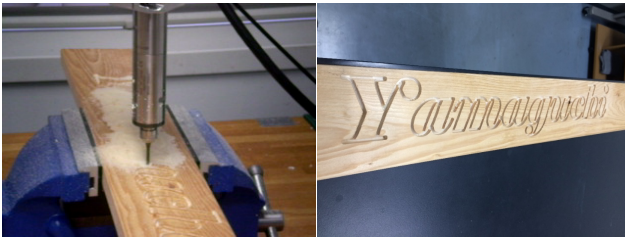


図 6 VS068 を使ったアウトラインフォント (Elephant)  
の加工風景

## 5. おわりに

本研究では，発砲スチロールや木質材料のスマート加工システムを実現するために，ORiN ミドルウェアが搭載された産業用ロボットに対して既に開発しているロボット CAM システムの移植開発を試みた．ORiN ミドルウェアが提供する API により，作業座標系における位置・姿勢制御法の高い移植性を確認することができた．また，新たに開発したアウトラインフォントハンドラにより，教示を行うことなくアウトラインフォントの加飾加工が可能になった．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りバースエンジニアリングの実現方法について検討したい．

## 謝辞

本研究は JSPS 科研費 JP16K06203 の助成を受けたものです．

## 参 考 文 献

- [1] 水川真, “産業機器・ロボット標準ネットワークインタフェース: ORiN”, 日本ロボット学会誌, vol. 21, no. 6, pp. 585–590, 2003.
- [2] 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 インタフェース”, ロボティクス・メカトロニクス講演会 2018 講演論文集, 2P1-L07(1-2), 北九州国際会議場, 2018.
- [3] 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 インタフェース”, 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, 2017.