

ORiN2 SDK を用いた産業用ロボット VS068 の CAD/CAM インタフェイス

永田 寅臣, 濱田 昂佑 (山口東京理科大学 工学部 機械工学科)

渡辺 桂吾 (岡山大学大学院 自然科学研究科)

CAD/CAM Interface for an Industrial Robot VS068 Incorporated with ORiN2 SDK

Fusaomi NAGATA, Kosuke HAMADA, Tokyo University of Science, Yamaguchi

Keigo WATANABE, Okayama University

Abstract : Industrial robots with an open architecture have been applied to several tasks such as machining, sanding, polishing and so on. The open architecture allows system engineers to realize desirable teachingless operation. However, transplantation, i.e., porting of an application software to other makers' industrial robots is not easy even though having an open architecture, because the specifications of interface between PC and robots differ respectively. That is the reason why the standardization of industrial robots' interfaces is now expected and desired from industrial robots' users. Recently, ORiN (Open Robot/Resource interface for the Network) is gathering attention as a promising middleware for the standardization of robotic interface. In this paper, a trajectory following controller dealing with cutter location source data (CLS data) is implemented on two types of robots with ORiN middleware, i.e., an educational small robot VE026A and an industrial robot VS068. The trajectory following control of an end effector attached to the flange of a robot is a basic but important strategy for robotic applications without using any robot languages. The design with an ORiN interface and its experiments are shown, and its portability is discussed.

1. はじめに

ロボットアプリケーションの再利用性や互換性を高めるために産業オートメーションにおける標準化のための取り組みがなされている [1, 2, 3]。例えば、オープンアーキテクチャ型の産業用ロボットが登場して以来、これまでに加工や研磨などの自動化工程に積極的に応用されてきた。サーボ系やキネマティクスなどの仕様のオープン化と API の提供により、ユーザ側でのアプリケーション開発が可能となったことが大きな理由といえる。しかしながら、オープンアーキテクチャ型のコントローラが搭載されていても、あるロボットシステムで開発されたアプリケーションを他メーカのロボットシステムに移植することは容易ではない。これは、制御用 PC とロボットとのインタフェイス仕様がメーカごとに異なるためである。このような背景から産業用ロボットのインタフェイスの標準化が期待されているところであるが、最近、ロボットインタフェイスの標準化のための有望なミドルウェアとして ORiN (Open Robot/Resource interface for the Network) が注目されている [4, 5, 6, 7]。

筆者らは、オープンアーキテクチャ型の産業用ロボットに適用できる CAD/CAM ベースの軌道追従制御法 [8] を提案しているが、これによりロボットメーカが提供するロボット言語を用いることなく研磨や加工などのロボットアプリケーションの開発が可能となった。前稿では、ORiN ミドルウェアが搭載された 6 自由度小型多関節型ロボット

VE026A に対して、CAD/CAM ベースの軌道追従制御法の適用を試み、シミュレーション環境 WINCAP III を用いて移植性の評価実験を行った [9]。本稿では、ORiN ミドルウェアが搭載された実機産業用ロボット VS068 に対して同様の適用実験を行ったので報告する。

2. ORiN インタフェイスを持つ教育 用ロボットへの適用実験

前報では、筆者らがこれまでに開発してきた金型磨きロボット、曲面ロボットサンダー及び加工ロボットに実装していた CAD/CAM ベースの軌道追従制御法を、ORiN インタフェイスを利用できる小型多関節型ロボットに移植し、その再利用性、移植性を評価していた。図 1 には、CAD/CAM ベースの軌道追従制御法のブロック線図を示す [10]。 v_t, v_n, v_p はそれぞれ、位置・姿勢制御、磨き力制御およびピックフィード制御のための操作量である。 $x_d = [x_d \ y_d \ z_d]^T, o_d(k) = [n_x \ n_y \ n_z]^T (n_x^2 + n_y^2 + n_z^2 = 1), f_d$ はそれぞれ、目標の位置ベクトル、姿勢ベクトルおよび磨き力である。また、 x と f はそれぞれ、センサで計測された位置・姿勢ベクトルと力ベクトルである。 $S_p = \text{diag}(S_1, S_2, \dots, S_6)$ はスイッチ行列であり、位置のフィードバック制御を行う方向を指定できる。なお、加工ロボットに必要とされる軌道追従制御系では、ボールエンドミル先端の位置と姿勢が制御されるが、力制御は用いて

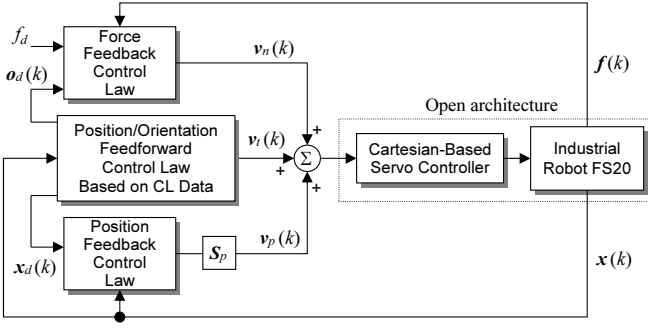


Fig. 1: Block diagram of the already proposed CAD/CAM-based trajectory following and force controller.

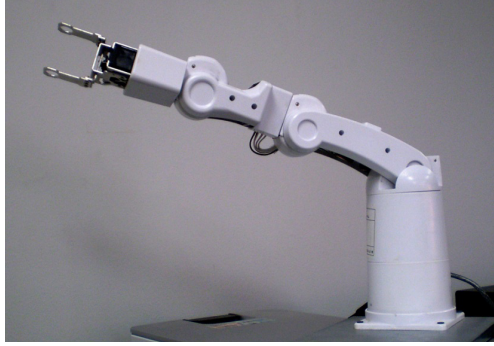


Fig. 2: Six-DOFs articulated robot arm VE026A incorporated with ORiN interface provided by DENSO WAVE Corp.

いない。

図 2 には実験で用いた小型多関節ロボット VE026A を示す。デンソーウェーブから提供されていたこのロボットは教育分野で利用されており、ORiN2 SDK を使ったアプリケーション開発が可能となっている [11, 12]。CAO (Controller Access Object) と呼ばれる標準プログラミングインタフェースは、上位のロボットアプリケーションとメーカーが提供する下位のロボットコントローラの間の共通インタフェースとして機能し、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ている。

さて、今回の軌道追従制御法を適用するにあたり、CAO インタフェースの中で必要となる関数について調査した結果、主に二つの関数が必要となることがわかった。一つは、アーム先端の位置・姿勢情報 $[x^T(k) \ o^T(k)]^T$ をモニタするための `CaoGetPose()` であり、もう一つは、VE026A のサーボ系に目標の位置・姿勢情報 $[x_d^T(k) \ o_d^T(k)]^T$ を与える `CaoMove()` である。姿勢情報 $o(k) = [\phi(k) \ \theta(k) \ \psi(k)]^T$ と目標姿勢 $o_d(k) = [\phi_d(k) \ \theta_d(k) \ \psi_d(k)]^T$ についてはロール角、ピッチ角およびヨー角で処理する必要がある。結果

的に、Visual C++や C# などの上位開発環境のタイマー割り込みの中で `CaoGetPose()` と `CaoMove()` をコールするだけで位置と姿勢のフィードバック制御系を構成できることが確認された。

有効性及び妥当性を検証するために、デンソーウェーブが提供するシミュレーション環境「WINCAP III」と VE026A のモデルを用いて動作実験を行った。その結果、目標軌道である多軸制御用の CLS データ内の各 GOTO 文に記述されている正規化法線ベクトルから VE026A に与えることができるロール角、ピッチ角、ヨー角 $o_d(k) = [\phi_d(k) \ \theta_d(k) \ \psi_d(k)]^T$ [deg] への姿勢表現の変換を確実に行えば、従来の開発工程に比べて比較的容易に CAD/CAM で生成した CLS データに含まれる位置と姿勢の情報にアーム先端を軌道追従させることができた。

3. ORiN インタフェースを持つ産業用ロボットへの適用実験

本章では、図 3 に示すデンソーウェーブ製の産業用ロボット VS068 へ軌道追従制御法の適用を行い、評価する。今後は加工ロボット及び研磨ロボットとしての評価も行うため、スピンドルモータなどの工具を搭載できるように最大可搬質量 7 kg の VS068 を選定した。前章でも紹介した CAO (Controller Access Object) は、ユーザ側が PC 上で開発するアプリケーションがロボットのコントローラにアクセスするためのインタフェースを提供する機能であり、今回はデンソーウェーブの RC8 コントローラ用の CAO を用いて、図 4 のような CAD/CAM インタフェースを開発した。接続形態はイーサネット (TCP/IP) であり、ORiN2 SDK により RC8 が提供する全ての API を利用すること



Fig. 3: Industrial robot VS068 with ORiN middleware interface.



Fig. 4: Developed Windows dialogue application to control the industrial robot VS068 with ORiN interface.

ができる．前章でも紹介したように多数の API の中でアーム先端の位置と姿勢をハンドリングするために必要なものは `CaoGetPose()` と `CaoMove()` であったが，例えば，産業用ロボットを材料の除去加工に適用する場合は長さの異なるエンドミルを使い分けることになるため，フランジ面からエンドミル先端までの長さを工具長として正確に与えなければ，エンドミルの姿勢を変化させた場合に目標軌道からのズレを生じてしまうために注意を要する．

実装した CAD/CAM インタフェイスの有効性を検証するために CAD/CAM 「Creo」のメインプロセサで生成した図 5 のような工具経路 (CLS データ) を目標軌道にして，アーム先端の位置と姿勢の軌道追従制御実験を行った．この場合，デンソーウェブの PAC 言語と呼ばれるロボット言語は一切用いることなく，CLS データをもとにサンプリング時間毎の目標位置と姿勢を算出し，`CaoMove()` を介してサーボ系に与えた．図 6 には WINCAP III 上でのシミュレーション風景を示しているが，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良好に再現

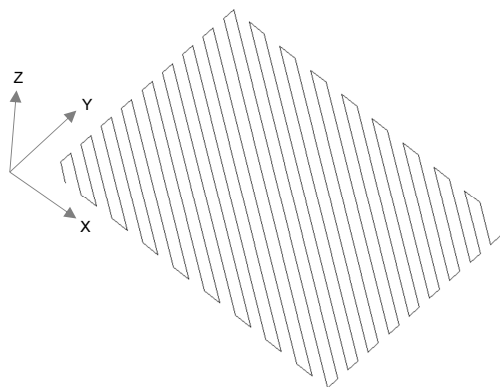


Fig. 5: Desired tool path with position and orientation components for an operation test.

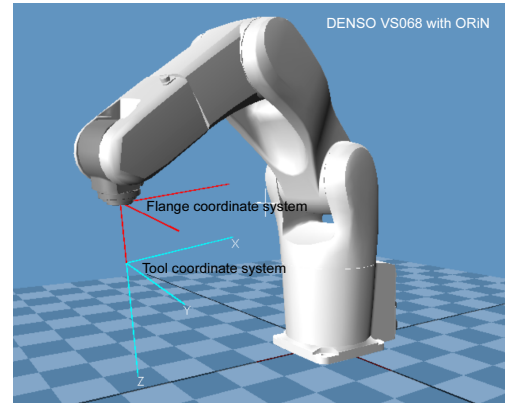


Fig. 6: Simulation experiment on WINCAP III using the tool path shown in Fig. 5.

させることができた．

4. おわりに

筆者らはこれまでに，オープンアーキテクチャ型産業用ロボットに適用できる CAD/CAM ベースの軌道追従制御法を提案し，ロボットメーカーが提供するロボット言語を用いることなく，研磨や切削加工などのロボットアプリケーションの開発を可能にしてきた．最近，ロボットインタフェイスの標準化のための有望なミドルウェアとして ORiN (Open Robot/Resource interface for the Network) が注目されている．前報では，ORiN ミドルウェアが搭載された 6 自由度小型多関節型ロボット VE026A に対して，既に提案している軌道追従制御法の適用を試み，WINCAP III を用いて検証実験を行った．その結果，ロボットアプリケーションの高い移植性が確認された．本稿では，ORiN インタフェイスを有し，研磨ツールや切削ツールを搭載できる程度の可搬質量を仕様を持つ実機産業用ロボット VS068 を対象に軌道追従制御法の実装と評価を行った．その結果，VE026A のために開発していた軌道追従制御法をストレスなく VS068 に実装することができた．

今回の取り組みにより，数値制御の工作機械では一般的となっているような CAD/CAM インタフェイスを ORiN ミドルウェアが搭載された産業用ロボット上でも実現できるようになったため，今後は樹脂型を 3 次元加工できる加工ロボットへの応用を計画している．

謝 辞

本研究は JSPS 科学研究費助成事業 (基盤研究 (C)) 課題番号 16K06203 の助成により実施している．

参考文献

- [1] S. Shin, “What are the standards in industrial automation sector?,” *Procs. of ICCAS-SICE 2009*, pp. 945–946, 2009.
- [2] T. Borangiu, F.D. Anton and S. Anton, “Open architecture for robot controllers,” *Procs. of 2010 IEEE 19th International Workshop on Robotics in Alpe-Adria-Danube Region (RAAD)*, pp. 181–186, 2010.
- [3] Z. Ying, W. Tianmiao, W. Hongxing, L. Miao, “Robot software architecture based on IPv6,” *Procs. of 6th IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications*, pp. 1666–1671, 2011.
- [4] 水川 真, 尾崎安男, “産業用ロボットにおけるネットワークインタフェースの標準化活動”, *東芝レビュー*, Vol. 56, No. 9, pp. 7–11, 2001.
- [5] M. Mizukawa, T. Koyama, T. Inukai, A. Noda, N. Kanamaru, Y. Noguchi, and N. Otera, “Proposal of open-network-interface for industrial robots (ORiN) and its experimental evaluation,” *Procs. of 2001 IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics*, pp. 689–694, 2001.
- [6] M. Mizukawa, H. Matsuka, T. Koyama, T. Inukai, A. Noda, H. Tezuka, Y. Noguchi, and N. Otera, “ORiN: open robot interface for the network– the standard and unified network interface for industrial robot applications,” *Procs. of the 41st SICE Annual Conference*, pp. 925–928, 2002.
- [7] M. Mizukawa, S. Sakakibara, and N. Otera, “Implementation and applications of open data network interface ORiN,” *Procs. of the 43rd SICE Annual Conference*, pp. 1340–1343, 2004.
- [8] 永田寅臣, 渡辺桂吾, 泉 清高, “多軸制御用C Lデータに基づく位置補償器を用いた産業用ロボットの倣い制御”, *精密工学会誌*, Vol. 66, No. 3, pp. 473–477, 2000.
- [9] 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, 2014.
- [10] F. Nagata, Y. Kusumoto, Y. Fujimoto, and K. Watanabe, “Robotic sanding system for new designed furniture with free-formed surface,” *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, Vol. 23, No. 4, pp. 371–379, 2007.
- [11] VE026A ORiN Option Users’ Guide, Version 1.0.0, DENSO WAVE Inc., December 14th, 2012.
- [12] ORiN2 Programming Guide, Version 1.0.12.0, DENSO WAVE Inc., September 7th, 2012.
- [13] F. Nagata and K. Watanabe, *Controller Design for Industrial Robots and Machine Tools: Applications to Manufacturing Processes*, Woodhead Publishing, UK, 2013.
- [14] F. Nagata, A. Otsuka, K. Watanabe and Maki K. Habib, “Fuzzy feed rate controller for a machining robot,” *Procs. of the 2014 IEEE International Conference on Mechatronics and Automation (IEEE ICMA 2014)*, pp. 198–203, 2014.