

戦略的逆運動学による産業用ロボットのオフラインプログラミング -リンクパラメータ表現のモジュール化-

金沢大学 中村 一悦, 浅川直紀, 平尾政利

Off-Line Programming System with Strategic Inverse Kinematics for Industrial Robots
- Modularization of Link Parameter Expression -

Kanazawa university Kazunobu NAKAMURA, Naoki ASAKAWA and Masatosi HIRAO

The study deals with modularization of link parameter expression of an industrial robot. In general, off-line programming system for articulated robot consists of two parts; main-processor, which generates pose of a robot hand and post-processor, which converts the pose to a configuration of a robot. Since many of solutions are possible, we have studied "strategic inverse kinematics" with "evaluation module" to obtain appropriate configurations in post-processor. In the article, the concept is expanded to a field of mathematical expression of a robot with "link parameter module" to ease replacement of robot type by a user. From experimental results, the system is found to be effective to improve user interface to cope with variety of types of robot.

1. 緒言

産業用ロボットを用いた様々な作業の自動化が進められているが、複数の産業用ロボットを併用することも少なくなく、従来のオンラインティーチングでは迅速に対応することが困難であり、近年CADデータに基づいたオフラインプログラミングの研究開発が盛んである。

一般にオフラインプログラミングは大きく分けて2つの部分から構成される。すなわち、ある作業を行う際の工具のポーズ(位置と姿勢)を生成するメインプロセッサと、それを逆運動学を用いてCF(Configuration: ロボットの各関節の回転変位)へと変換するポストプロセッサである。本研究ではポストプロセッサにおいて、CADデータに基づいて生成された工具の集合体としての工具経路を、CFの順序集合としてのCS(Configuration Sequence)に変換する際に、ロボットの形態などをいかに決定するかなどの判断基準を"戦略"として捉え、その戦略を"評価モジュール"としてプラグイン化し、容易に選択追加可能なシステムの開発を行ってきた。

本報では、そのモジュール化の範囲をロボットの数学的表現であるリンクパラメータにまで広げ、ロボットの機種や寸法変更などの環境変化に容易に対処可能なオフラインプログラミングシステムを構築することを目的としている。

2. システム構成

システム構成を図1に示す。まずCADシステム(リコー(株)DESIGNBASE)において工作物の形状定義を行う。その後メインプロセッサにてCADデータに基づき工具経路の生成を行い、それをXMLで記述された工具情報をもとにMI経路(メカニカルインタフェース中心点の経路)に変換する。次にポストプロセッサにおいてMI経路を逆運動学を用いてCSの生成を行う。そして動作プログラムへ変換しロボットに転送する。

3. リンクパラメータのモジュール化

リンクパラメータとはロボットの関節及びリンクの幾何学的関係を定義するものである。それゆえリンクパラメータより算出されるヤコビ行列及び同時変換行列はロボット固有の値になる。そのため異なるロボットを動作させるには開発者レベルでポストプロセッサを書き換えしなればならず、ユーザが変更するのは非常に困難であった。そこでリンクパラメータをXMLで表現した設定ファイルによるモジュールを用いることにより、ユーザが容易に記述/変更をすることができるようにした。また各データに意味付けを行い、構造化を図ることができ、リンクパラメータだけでなく各軸の動作範囲といったロボット固有の情報を同XMLファイルに記述し、ロボットの設定ファイル

を1つにすることにより、情報管理の向上を図ることもできる。そして、XMLで記述されたリンクパラメータを読み込むことにより各行列の自動生成を行うことを可能にした。図2(a)にロボットの軸配置、(b)にリンクパラメータ、(c)にXMLにより表現されたモジュールを示す。

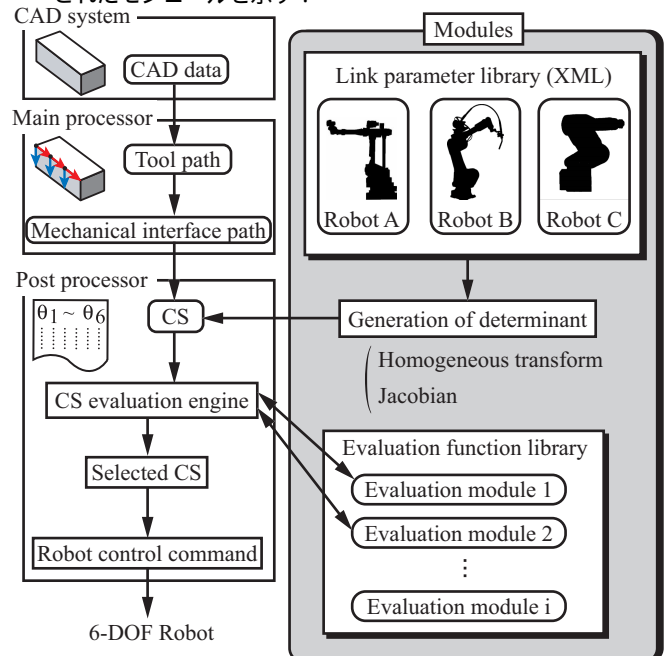


Fig.1 System configuration

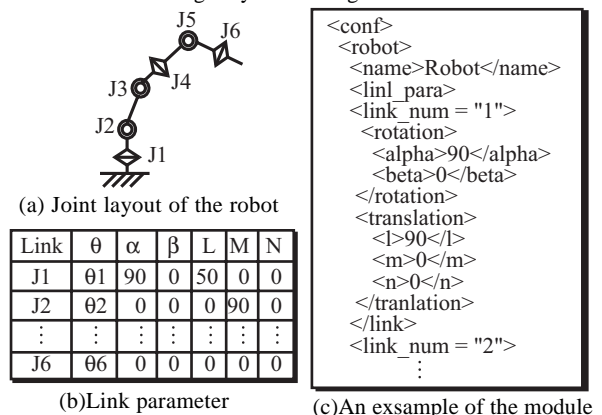


Fig.2 Link parameter and its XML data of the robot

4. モジュール選択

図1に示すようにユーザはリンクパラメータライブラリより使用するロボットを、また評価関数ライブラリより評価モジュール

ルを選択しCS評価エンジンに適用することにより、様々なロボットでユーザの戦略に適したCSの生成を行うことができる。この際、リンクパラメータだけでなく、評価関数モジュールの変更もユーザインターフェイス上で容易に行うことができる。更に、一つのロボットに対して複数のモジュールを適用することにより、CSの複合評価も可能とした。これにより熟練度を必要とせず、ユーザの戦略に適したオフラインプログラミングが可能になる。表1に考えられるモジュール構成を示す。表1においてEM1は加工中における各軸の角度変化量の総和を評価するモジュール、EM2はロボットと工作物及び工作物周辺部との干渉を検出するモジュールである。ユーザはこのモジュール構成より任意の組み合わせを選択し、CSを生成することができる。

Table.1 Map of module combination possible

Robot	Evaluation		
	Strategy 1 EM1	Strategy 2 EM2	Strategy 3 EM1 & EM2
A	A-1	A-2	A-3
B	B-1	B-2	B-3
C	C-1	C-2	C-3

EM1: Amount of CS
EM2: Collision detection

5. 検証実験

以上のシステムを用いて異なるロボットにおいて同様の結果が得られることを確認するためにCSの生成実験を行った。対象とした作業は図3に示す長さ200mm、幅200mm、高さ200mmである立方体の上部稜線の面取り加工とした。教示点は84点とした。また、長さ500mm、幅200mm、高さ1450mmの壁を障害物として使い、EM2においてこの壁との干渉を検証する。評価として戦略1(EM1)は角度変化量の総和の小さい方がよいとした場合の順序を、戦略2(EM2)は干渉の有無(有:False,無:True)を、そして戦略3(EM1&EM2)は戦略1と戦略2の複合戦略として干渉がなく、かつ角度変化量の最も小さいものを対象とする。以下の3種類の実験についてはリンクパラメータモジュールのファイルを差し換えた以外には、プログラムの変更は加えていない。ただし、ロボットの大きさの制約のため、ロボットの設置位置は変更した。

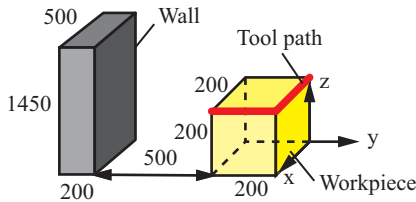


Fig.3 Environmental setup

5.1. 検証実験1

本実験で使用したロボットは先端3軸が直交していない垂直多関節型6軸ロボット(松下溶接システム(株)AW-8060)、全高2115mmを用いた。リンクパラメータを表2に、処理結果を表3に示す。ここでIC(Initial Configuration)は初期姿勢を表す。計4個のCSが得られ、A-2(表1における記号。以下同)の場合A-bが選択された。また、A-3の場合A-bが選択された。シミュレータにて生成されたCSの動作確認を行ったところ、各戦略に即していることが確認された。図4にCS A-bのロボットの動作の様子を示す。

Table.2 Link parameter of AW-8060

Link				L	M	N
J1	1	90	0	250	0	0
J2	2	0	0	0	850	0
J3	3	0	90	1000	150	0
J4	4	-90	0	0	225	0
J5	5	90	0	0	-165	0
J6	6	0	0	0	0	0

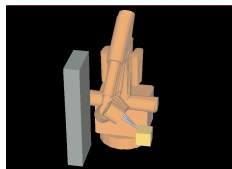


Fig.4 Result of experiment 1

Table.3 Several generated CS for AW-8060

CS	Initial Configuration (J1~J6) [deg]						Strategy1	Strategy2	Strategy3
	J1	J2	J3	J4	J5	J6	A-1	A-2	A-3
A-a	0	0	0	0	0	0	1	FALSE	FALSE
A-b	-3	-35	10	-60	118	-112	2	TRUE	TRUE
A-c	28	-6	-9	-225	-60	-144	4	FALSE	FALSE
A-d	28	-6	-9	135	-60	145	3	FALSE	FALSE

5.2. 検証実験2

使用したロボットは先端3軸が直交していない垂直多関節6軸ロボット(松下溶接システム(株)VR-008A)、全高1240mmを用いた。リンクパラメータを表4に、処理結果を表5に示す。計4個のCSが得られ、B-2の場合B-bが選択された。また複合戦略であるB-3にはB-bが選択された。図5にCS B-bの動作の様子を示す。

Table.4 Link parameter of VR-008A

Link				L	M	N
J1	1	90	0	155	0	420
J2	2	0	0	0	620	0
J3	3	0	90	208	100	0
J4	4	0	-90	0	0	492
J5	5	0	90	155	65	0
J6	6	0	0	0	0	0

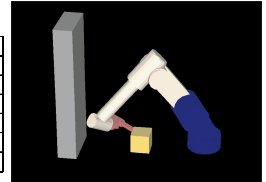


Fig.5 Result of experiment 2

Table.5 Several generated CS for VR-008A

CS	Initial Configuration (J1~J6) [deg]						Strategy1	Strategy2	Strategy3
	J1	J2	J3	J4	J5	J6	B-1	B-2	B-3
B-a	-36	-4	32	19	-120	-105	4	FALSE	FALSE
B-b	36	-8	19	23	-135	-99	1	TRUE	TRUE
B-c	39	11	18	24	-116	-99	2	FALSE	FALSE
B-d	30	8	3	30	-132	-91	2	FALSE	FALSE

5.3. 検証実験3

使用したロボットは先端3軸が直交している垂直多関節型6軸ロボット(川崎重工(株)Js-2)、全高950mmを用いた。リンクパラメータを表6に、処理結果を表7に示す。計8個のCSが得られ、C-2の場合にはC-b,C-d,C-gが選択された。複合戦略であるC-3の場合にはC-gが選択された。CS C-gの動作確認の様子を図6に示す。

以上の実験より異なるロボットを用いても戦略に基づき、適切な結果が得られることが分かった。

Table.6 Link parameter of Js-2

Link				L	M	N
J1	1	-90	0	120	0	0
J2	2	180	0	250	0	0
J3	3	0	90	250	0	0
J4	4	0	-90	0	0	0
J5	5	0	90	80	0	0
J6	6	0	0	0	0	0

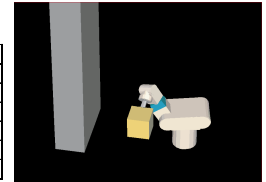


Fig.6 Result of experiment 3

Table.7 Several generated CS for Js-2

CS	Initial Configuration (J1~J6) [deg]						Strategy1	Strategy2	Strategy3
	J1	J2	J3	J4	J5	J6	C-1	C-2	C-3
C-a	-34	92	-38	71	-112	17	1	FALSE	FALSE
C-b	-15	91	-25	-127	114	-184	7	TRUE	FALSE
C-c	-15	91	-25	-127	113	176	4	FALSE	FALSE
C-d	-15	91	25	232	114	184	6	TRUE	FALSE
C-e	-15	91	-25	233	114	176	5	FALSE	FALSE
C-f	-34	93	-38	-289	-112	-343	8	FALSE	FALSE
C-g	-34	93	-38	-289	-112	27	2	TRUE	TRUE
C-h	-34	93	-38	71	-112	-342	3	FALSE	FALSE

6. 結言

CADデータから生成した工具経路を基に、リンクパラメータをモジュール化することにより、ユーザが容易に異なるロボットを記述/選択することができ、戦略的にCSを生成することができる汎用的なオフラインプログラミングシステムを構築できた。

参考文献

- 鈴木, 日本機械学会, 2001年度大会講演論文集, vol. 01-1,313
- 西川, 2002年度精密工学会秋季大会講演論文集, F33,230
- 飯塚, 2003年度精密工学会春季大会講演論文集, M36