

関節独立型運動学計算ツールの開発

○ 坂口 晃啓 (旭川高専) 佐竹 利文 (旭川高専)

要 旨

本研究グループでは、関節毎の運動学計算をロボットの構造に合わせて組立てる関節独立型運動学計算法について研究を進めてきた。本報告では、関節独立型運動学計算ツールの機能の詳細について説明し、その機能により可能となる計算例として、ヒト型ロボットの動作生成やヘビ型ロボットの移動動作の計算結果を示すことで、本ツールの利便性を確かめ、その可能性について報告する。

1. はじめに

複数の関節を有したロボットの制御には運動学計算が必要である。しかし、関節数が多い複雑な構造のロボットの場合、一般的な運動学計算では計算式が非常に複雑になってしまう。本研究ではこのような複雑な構造のロボット、すなわち超冗長ロボットを制御するための運動学計算方法について研究を進め、これまでの研究では関節数の多い複雑な構造を持つロボットの運動学計算を容易に構成することができる関節独立型運動学計算を開発してきた。本報告では、関節独立型運動学計算ツールの機能の詳細について説明し、その機能により可能となる計算例として、ヒト型ロボットの動作や歩行や、100関節からなるヘビ型ロボットの動作のための各関節角の計算結果を示すことで、本ツールの利便性を確かめ、その可能性について報告する。

2. 関節独立型運動学計算

2.1 関節独立型運動学計算の概要

関節独立型計算では、各関節について「位置ベクトル」、「回転軸ベクトル」、「稼動範囲」、「上位関節のリスト」、「下位関節のリスト」と「関節のタイプ」からなる双方向リストで構造を表し、このデータを用いて、関節毎に順運動学計算と逆運動学計算を構成する。図1に示すように、逆運動学計算では、位置決めすべき部位(タスク点)を到達させるための変位を下位関節が各々計算し係数を乗じたものをその関節の変位とする。順運動学計算では、関節毎にロドリゲスの回転公式を用いて上位下位の関節から独立した形で構成した変換行列をベースから上位に向けて乗じていくことで全ての関節の位置と方向を求めていく。逆運動学計算は、各関節が個別に計算しているためタスク点とその目標の間には誤差が残る。そのため、1回の逆運動学計算後、順運動学計算によって全ての関節の状態を求め、再度同様の計算を繰り返して行くことで誤差を小さくする繰り返し計算で逆運動学の解を求め、これが関節独立型運動学計算の手順である。

2.2 ソフトウェアのシステム構成

RoboShell は、関節独立型運動学計算法に基づき開発された順逆運動学計算のプログラムであり、Unix系のOSの下に実装されている。RoboShellは共有メモリ機能を使用し、ここにロボットの構造と関節変位および位置などの状態を示すデータを保持している。各種計算は、共有メモリ内のデータに対して準備されたコマンドを実行し、メモリ内のロボットを動作させるイメージで実行する。

RoboShellを利用するためには、各関節の構造データが事前に必要となる。関節の構造データはテキストファイルとして作成し、読み込むことで、その構造を扱えるようになる。また、関節の運動学計算を行うには、目標座標を示す入力データが必要となる。実行時に座標を与えれば、目標通りに計

算を行うが、あらかじめ目標座標が書かれたテキストファイルを用意しておくことで、複数の関節の計算が容易となる。他にも、構造データの平行移動や計算結果の出力などの様々な機能が用意されている。

2.3 形状制御のための多点同時位置決め

形状制御は、与えられる任意の形状(全体姿勢)となるようにロボットの姿勢を計算することである。本研究では、形状は曲線として指定されるものとし、曲線状に複数の目標点を設定してその目標に対してロボットにタスク点(任意の関節)を設定しそれらを同時に位置決めする計算と考える。1つのタスク点に対する逆運動学計算は下位の全ての関節を使用することを考えるが、複数のタスク点があるので、1つの関節が複数のタスク点の位置決め計算担当することになる。

逆運動学計算の適用方法には「混合モード (Mode A)」と「完全分担モード (Mode B)」の2種類がある。「混合モード」は複数あるタスク点に対する計算を下位の全ての関節が担当する。そのため1つの関節が複数のタスク点の位置決めに対して計算を行いその関節の変位は求めた値の平均値とするものである。「完全分担モード」はタスク点の位置決めを用いる関節は次の下位のタスク点までとするもので、1つの関節は1つのタスク点の位置決めのみ関与する。これはロボット全体を複数の小さなロボットに分割し、それぞれに対して運動学計算を行うとするものである。

構造データファイル	関節の数
4	関節の定義
#0	->関節の番号を記号'#'に続けて書く
0.0 0.0 0.0	->関節の位置(回転軸の中心/並進軸の原点)
0.0 0.0 1.0	->回転軸の方向ベクトル/並進軸の方向
-1.57 1.57	->変位の最大値/最小値
1 -1	->上位軸の番号リスト(最大10個)
-1	->下位軸の番号リスト。リストの終わりに'-1'
0.01 0.01	->協調パラメータの初期値
0x00	->回転軸: 0x00, 並進軸: 0x01, 停止: 0x02
#1	他の関節の定義を続けて書く
0.0 10.0 0.0	
0.0 0.0 1.0	
...	

図1 構造データの書き方

3. ロボットの構造データ

3.1 構造データの作成

関節の構造データのファイルの書き方を図1に示す。ファイルの先頭で関節の数を定義したのち、各関節の定義を書き連ねていくことで、構造データが出来上がる。関節の数に制限はないが、関節が増えると記入量が多くなってしまふ。そのため、定義の記入ミスが起る可能性が高くなってしまふ。

構造を書き間違えてしまうと、正しい運動学計算が行えないので、作成した構造を確認する必要がある。

3.2 隣接行列による構造データ作成支援

RoboShell の機能により、作成した構造データから隣接行列を出力することができる。図 2 (a)は 1~9 の関節 1 がベースで関節 3 から関節 4, 7 に分岐しているモデルである。このモデルの構造データは図 2(b)のような隣接行列で表すことができる。隣接行列では行が入力関節、列が出力関節を表している。隣接行列の 3 行目を見ると 4 列目と 7 列目が 1 なので関節 3 から関節 4, 7 に出力することができるということがわかる。つまり行がその関節の下位軸の関係を示し、列が上位軸の関係を示す。また列がすべて 0 になる関節はベースである。

隣接行列から可達行列を求めることで、関節のベースの推定や構造のループを発見することができ、その構造を運動学計算で扱うに適しているかを確認できる。この作業はプログラム上で行うことができ、図 3 のような出力結果が得られる。また、構造を変更したい場合は、隣接行列を直接書き換えて読み込むことで、データ構造を変更することも可能である。

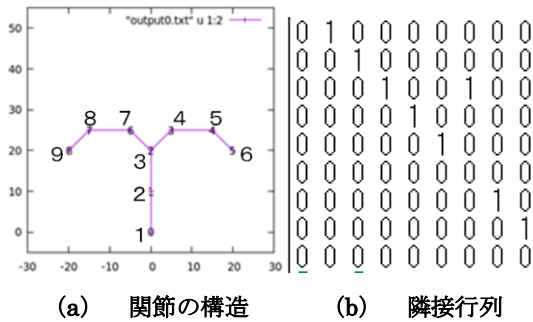
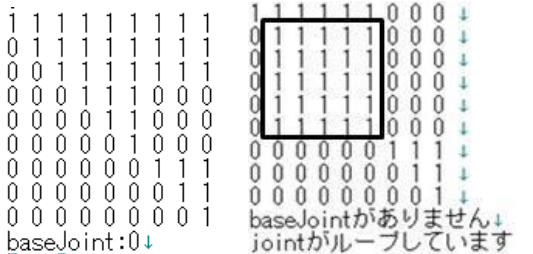


図 2 ロボット構造の隣接行列表現



(a) 適切な構造の可達行列 (b)不適切な構造の可達行列

図 3 求められた可達行列

4. ツールの計算例

図 4 は複数ロボットの協調動作の生成例を示す。手前のロボットは、4 軸の直列アームの先端に六角柱の構造が乗ったものである。二本のハンドアーム持つ人型ロボットは 50 の関節で構成される。二つのロボットの構造は共有メモリに保存されているため、各種コマンドを利用して連携動作の生成を行った。

図 5 はヘビ型ロボットの移動動作の計算例である。一般的に固定端であるベースを基準にロボットの運動学計算は作られるが、ヒト型や生物型などの場合、必ずしも 1 つの部位をベースにして動くわけではない。位置決めする部位が変わった場合や、ベースが変わる場合には、各々個別の計算を作る必要がある。(a)はモデルの初期状態でベース関節は 1 であ

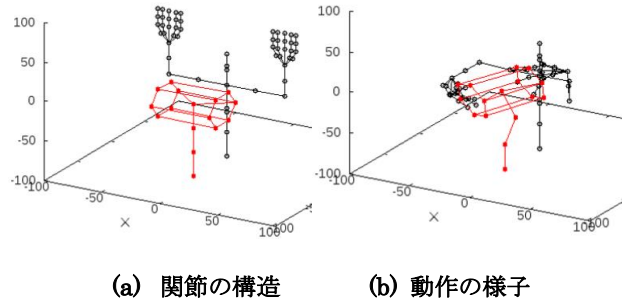
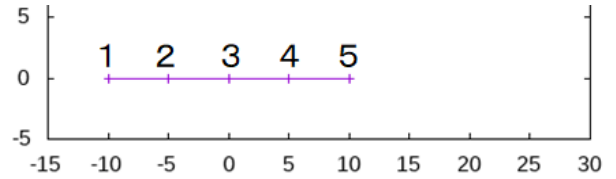
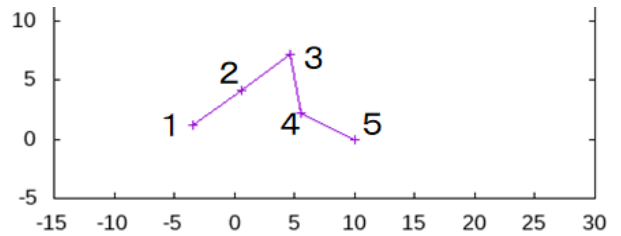


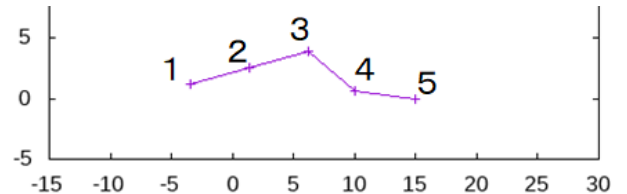
図 4 協調動作



(a) モデルの初期状態



(b) ベースを 1 から 5 に変えてモデルを動かす



(c) ベースを 5 から 1 に戻しモデルを動かす

図 5 移動動作のためのベース (ルート) の変更

る。(b)はベース関節を 5 に変更し、1 を位置決めする指令を生成した。(c)は、ベースを 1 に変更し、5 を位置決めした。この動作は隣接行列から任意の部位をベースに変更することで動作生成を行った。

5. おわりに

本報告では、関節独立型運動学計算ツールの機能の詳細について説明し、その機能により可能となる計算例として、ヒト型ロボットの動作生成やヘビ型ロボットの移動動作の計算結果を示すことで、本ツールの利便性を確かめ、その可能性について報告した。関節独立型運動学計算ツールを利用すれば、多様な構造の計算が行えることが考えられ、ロボット製作に役立つと考えている。今後は、本ツール公開のため、さらなる改良を行っていく予定である。

参考文献

[1] 福丸, 林, 佐竹他, 超冗長直列ロボットのための関節独立型順逆運動学計算の構成, 精密工学会誌, 2019 年 85 巻 6 号 p. 585-590