

# 関節独立型運動学計算法を用いた超冗長ロボットの形状制御

○旭川高専 上野 翔太郎, 石井 寛人, 小田原 晃, 佐竹 利文, 以後 直樹, 九工大 林 朗弘

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、ロボットの複数個所の同時位置決めを必要とする形状制御への応用について述べ、方法の有効性を確認するための数値シミュレーションを示すとともに、提案手法を用いることを前提としたモジュール型ロボットの開発について述べる。

## 1. はじめに

これまで産業用途中心であったロボットの用途は、情報技術や素材技術等の様々な技術の進歩もあり、アミューズメント分野、家電、福祉、災害時活動等多用途な分野に広がっている。一般に、ロボットは、回転関節、並進関節等をアクチュエータにより駆動し、所望の運動を行う機械である。回転関節、並進関節と関節間をつなぐリンクの組み合わせによって、様々な機構的、構造的な特徴をもたせることができる。用途に応じて或いは設計者の自由な発想で、これらを自由に組み合わせれば多様な構造のロボットが実現でき、その利用可能性は益々広がることが期待される。

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、ロボットの複数個所の同時位置決めを必要とする形状制御への応用について述べ、方法の有効性を確認するための数値シミュレーションを示すとともに、提案手法を用いることを前提としたモジュール型ロボットの開発について述べる。

## 2. 関節独立型計算

図1に関節独立型逆運動学計算で用いる関節毎に設定するデータを示す。1つの関節のデータは「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表される。ロボットを構成する全ての関節についてこのデータを準備し、上位、下位の関係を記述することでロボットの構造が表現されることになる。

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ことになる<sup>[1][2]</sup>。図2に示すように、逆運動学計算では、エフェクタ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のでエフェクタ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ると、これが関節独立型運動学計算の手順である。

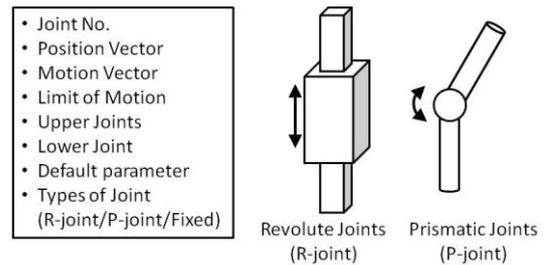


Fig. 1. Data Structure for Robot Modeling

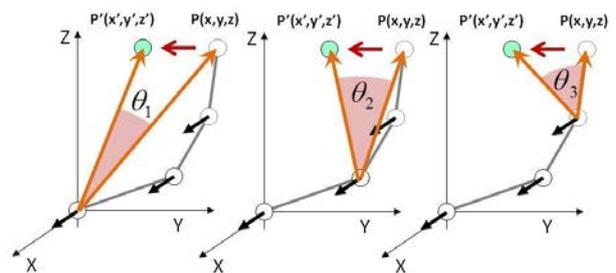


Fig. 2. Joint independent inverse kinematics

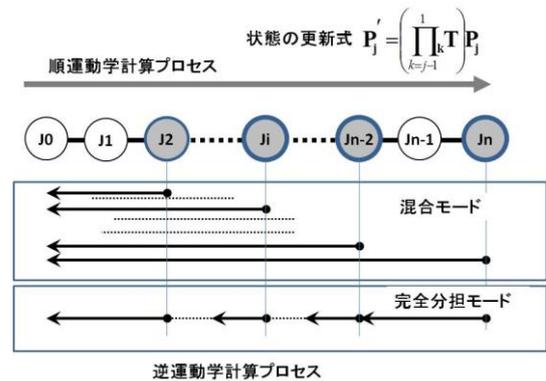


Fig. 3. Inverse/Forward Kinematics Calculation.

## 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エフェクタ（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つのエフェクタ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、複数のエフェクタがあるので、1つの関節が複数のエフェクタの位置決め計

算担当することになる。図3は形状制御のための計算の適用方法を示している。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」は複数あるエフェクタ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つの関節が複数のエフェクタ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」はエフェクタの位置決めに用いる関節は次の下位のエフェクタまでとするもので、1つの関節は1つのエフェクタ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。

#### 4. 形状制御計算実験

提案する方法の有効性を示すため、図4に示すように30個の関節からなる平面アームを図中右下に示す形に添わせる実験を行った。ロボットの複数の関節をエフェクタとして、形状は正弦波上に複数設定したそれぞれの目標点に位置決めするものである。エフェクタと目標点を完全に一致させるように目標点を配置することは本末転倒になるので、目標点は適当に配置している。そのため到達しないエフェクタも存在する。実験は、各関節の変位を $-90^\circ$  から  $90^\circ$  の範囲でランダムに変位させて求めた100個の初期姿勢から求めた100の姿勢と各エフェクタと目標との誤差を箱ひげ図で示す。

図5は、混合モード (Mode A) で1000回の繰り返し計算を行った際の目標点とエフェクタとの誤差を示す。左上の図は求めた100の姿勢である。最大誤差59.5, 最小0.055, 平均17.2であった。図6は完全分担モード (Mode B) の繰り返し回数100回(a)と1000回(b)の結果である。(a)は最大誤差202.0, 最小0.623, 平均31.6, (b)は最大誤差24.9, 最小4.18, 平均13.9である。グラフと結果姿勢を見ても(a)では誤差のばらつきも多いのに対して(b)では誤差、姿勢とも収束している様子が分かる。ロボットの構造上到達できない目標点も存在する場合にも、計算に破綻することなく構造の可能な範囲の中で姿勢が求められていることが確認できる。

#### 5. おわりに

本研究は、自由に作られた分岐構造を含むシリアル構造のロボットの多様な作業を実現するための方法を確立することを目指している。本報告では、関節独立型の運動学計算法を形状制御に適用しその実現可能性を計算機実験により示した。また、図6に示すように、本方法を前提としたモジュール型のロボットの開発も進めており超冗長ロボットや複雑な分岐構造を持つロボットの実機での実証も進める予定である。

#### 参考文献

- [1] 千田, 佐竹他, “多様な形態に変形可能な超冗長ロボットシステムに関する研究”, 情報処理北海道シンポジウム 2015
- [2] 佐竹, 林他, “運動学計算の分散化と超冗長ロボット

の運動学計算”, SI2012, 2012

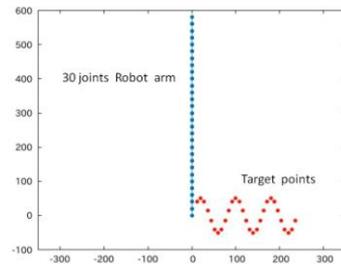


Fig.4. Initial Pose of the Robot and targets.

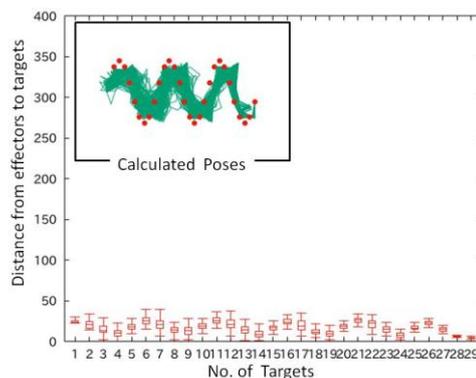
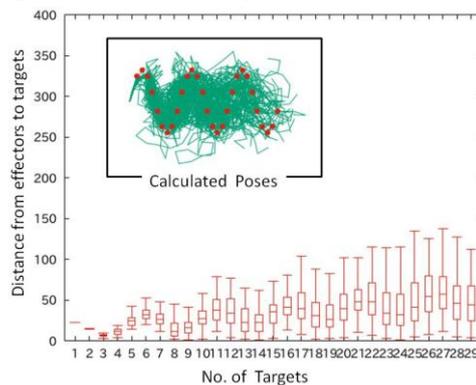
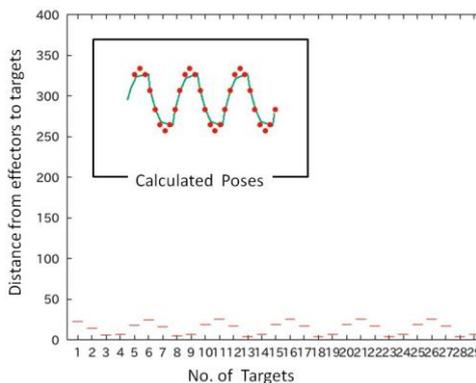


Fig.5. Error distribution by 1000 iteration (Mode A)



(a) 100 iterations



(b) 1000 iterations

Fig.6. Error distribution by iteration (Mode B)



Fig.7. Prototype Module Robot System.