

超冗長ロボットの運動学計算システムの開発

Development of Inverse Kinematics of Hyper Redundant Robot arms

○学 内野 敬介 (旭川高専) 正 佐竹 利文 (旭川高専) 正 林 朗弘 (九工大)

Keisuke UCHINO, Asahikawa National College of Technology
Toshifumi SATAKE, Asahikawa National College of Technology
Akihiro HAYASHI, Kyusyu Institute of Technology

This paper describes a method of the decentralized inverse kinematics calculation for ultra redundant robots. We attempt to decompose the inverse kinematics calculations into calculation elements corresponding to joints, and then we develop the decentralized inverse kinematics calculation system which can configure various types of robot models. Finally, some case studies of ultra redundant robots are reported to indicate feasibilities of proposed method.

Key Words: Inverse Kinematics, Multi Agent system, Snake robot

1. 緒言

これまで産業用途中心であったロボットの開発は、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、災害時活動等多様な分野に広がっている。ロボットを動かすには、作業を行わせたい部位の位置と姿勢の変化に対して、各関節の角度を求める逆運動学計算が必要である。この運動学計算は、一般に、一方を固定端とし、シリアルに回転軸および並進軸が繋がったロボットアームのような構造に対する計算が基本となる。冗長な軸を持つロボットアーム、複数の指を持つハンドなどの複雑な構造を持つ場合、1つのロボットとしてモデル化することは事実上無理なので、状況に応じて幾つかの部分に分割し、それぞれの結果を統合することで求める方法が取られる。しかし、多様な状況に対して適切な分割法はなく、それぞれ個別に問題を考える必要があり、多様な動作が可能なものとして作られるロボットの動作に制限を与えてしまうことになる。

本研究では、運動学計算を複雑にしている要因を、全体構造に対してトップダウン的に運動学計算を構成することと考え、運動学計算の分散化を試みる。計算をモジュール化し、それらをロボットの構造に合わせて組立てることで運動学計算を構成する方法を提案する。本報告では、運動学計算の分散化の詳細と、モジュール化された運動学計算の要素を組立てる方法について述べ、超冗長なロボットの運動学計算を行った結果について述べる。

2. 運動学計算分散化の必要性

2.1 従来の逆運動学計算

ロボットの作業を行う部分（エフェクタ）を目的の状態にするための各ジョイントの変位を求める逆運動学計算は、ロボットの構造に従い組み立てられる順運動学計算により求められる各ジョイントの変位に対するエフェクタの変位の関係式を基に行われる。一般的には、その関係式の時間微分であるヤコビ行列を用いて、ジョイントの速度（単位時間当たりの変位）とエフェクタの速度の関係式を構成し、ジョイントの速度を変数とした方程式を解く方法が用いられる。しかしながら、方程式の個数に比べて、変数となるジョイントの個数が多くなることが一般的であり、この場合には解を一意に定めることができない。そのため、解を

定める目的関数を設定し、最適化手法を用いて解を得る方法が取られる。しかし、この方法でも特異点等の理由で解が求められないことや、求められた解の精度などの問題がある。

2.2 分散化の必要性

可動範囲や干渉回避の問題は、運動学計算全体の目的に対して、ジョイント個別或いは、ロボットの部分的な状態の要請である。冗長度が増すと多様な姿勢が可能になり、可動範囲や干渉回避の問題解決の可能性が増すのにも関わらず、そのような個々の要請をロボットの構造全体からトップダウン的に構成された運動学計算の中に取り入れることは、ジョイントの数が増え冗長度が増すに従い難しくなっていく。また、100を超えるようなロボットの逆運動学計算をどのように組み立てるのかということは、実用化の際には大きな問題になる。さらに、逆運動学計算は、正確なロボットの状態を求める順運動学計算を基に構成される計算であり、非常に多くのジョイントからなるロボットの正確な状態を求める順運動学計算を容易に構成する方法合わせて考えなければならない。

本研究では、数種類のジョイントを組み合わせてロボットが構成されるように、一体の計算として構成されていた運動学計算を分散化し、それらをロボットの構造に合わせて組み立てるという方法を提案するものである。分散化により、可動範囲や干渉回避等のジョイント個別の問題を個別の問題として処理することが可能になる。ジョイントの数の増加は、単に分散された計算の要素を増やすことで対応が可能である。

3. 運動学計算システム

3.1 システムの構成

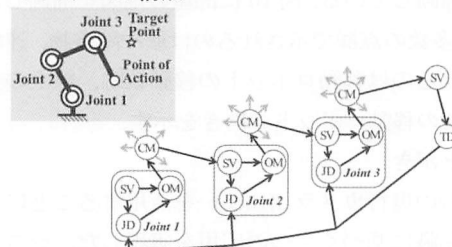


Fig. 1 Kinematics process model of typical manipulator.

図1に、3自由度ロボットアーム用に構成した運動学計算システムの構成を示す。本システムは、ジョイント軸の位置と方向ベクトル持ち下位軸の変位に伴いそのベクトルを変化させる処理を行う State Vector(SV), エフェクタとなる部位の目標までの変化量を求める Target Deviation (TD), エンドエフェクタの変化を実現する軸毎の変位量を求める Joint Deviation (JD), JD の計算結果に従って軸を変位させると共に、下位軸の状態を含めて上位軸へ運動を渡す Operate Motion (OM), ロボットのリンクに対応し下位軸の運動を上位軸に伝達する Composite Motion(CM)の5つの要素から構成される。この要素をロボットの構造に合わせて組み立てることで、特定構造のロボットの運動学計算システムを構成する。TDにより求められる現在のエフェクタの状態と目標状態の差を、エフェクタを変化させる軸の JD に渡し、JD で求められた各軸の変位が計算される。上位軸に向かう OM, SV, CM の処理の連鎖は、順運動学計算であり、正確な各軸の状態を求める処理となる。この処理を繰り返し逆運動学の解を求める。

3.2 構成の変更と多様な姿勢の生成

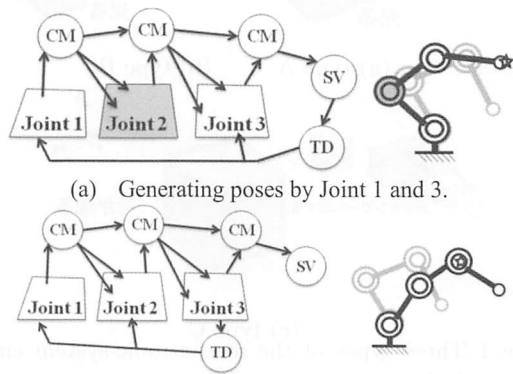


Fig.2 Various poses generation by reconfiguring Agents.

構成された運動学計算は、そのロボットの多様な動作生成のために変更することができる。図2(a)は、使用する軸を軸1と3に限定した場合の例である。この場合、運動学計算の起点となるTDが目標の偏差情報を送信する軸を1と3のみに送るようにすることで実現できる。図1の例では、TDをアームの先端に設定した場合であるが、TDは任意のジョイントに幾つでも設定することが可能である。例えば、先端ではなくジョイント3を位置決めしたい場合には、図2(b)のようにTDをジョイント3のSVに接続すれば良い。

JDの処理は、エフェクタを目標に位置付けるために自身ができる変化を求め、その値に予め設定された重みとの積で1回の変化量を求める。この重みを変更することで、姿勢生成に対する軸の関与の度合いを変更することができる。

4. ケーススタディ

4.1 100関節超冗長アーム

図3は、100関節を持つ超冗長アームの構造を示す。図に示すように、初期状態において、Z軸、X軸、Y軸を回転軸とした組からなり、100関節を持つアームである。

図4は、このアームをらせん状の狭い空間に進入させるための姿勢列を計算した結果を示している。図中の○は、

進入する経路を示しており、ロボットはこの経路に従って進入する。最初ロボットの先端にTDを設定し、ジョイント全てを使って最初の点に位置付けする。到達後、先端は次の点为目标になり、下位の4つのジョイントを使って次の点に対して計算が行われる。一方、先頭から4つ下位のジョイントには新たにTDを設定し最初の点为目标とした位置決め姿勢の計算が下位の全てのジョイントを使って行われる。4つを1つの単位として、次々に指定の点を辿るように逆運動学計算が行われる。最後の点まで辿りつくと、今度は、1つ前の目標に対しての逆運動学計算が連続的に行われ、先端が入口に達するまで続けられる。

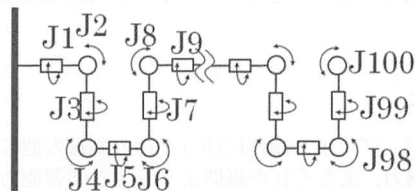


Fig.3 Structure of a hyper redundant robot arm.

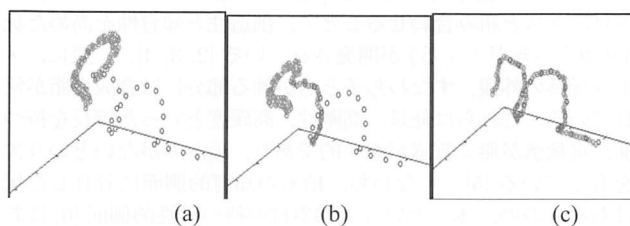


Fig.4 Snake Robot approaching the narrow way.

5. 結言

本報告では、運動学計算の分散化の詳細と、モジュール化された運動学計算の要素を組立てる方法について述べ、超冗長なロボットの運動学計算を行った結果について述べた。本研究で得られた成果をまとめると以下ようになる。

- (1) ロボットの構造からトップダウン的に構成される逆運動学計算および順運動学計算をジョイント個々の局所的な計算に分割した。
- (2) それら計算の要素をモジュールとして定義し、ロボットの構造に合わせて組み立てる方法を示した。逆運動学は、局所的な逆運動学計算の結果を、順運動学計算を通した正確な状態計算を経た繰り返し計算により求めるものである。
- (3) ヘビ型の超冗長ロボットを対象として運動学計算モデルを構成し、多様な姿勢を容易に計算できることを示した。

文献

- [1] S. Haramaki, A. Hayashi, T. Satake, S. Aomura, Distributed Cooperative Control System for Multi-jointed Redundant Manipulator, Proceedings of the 4th ICAM-2004, No. 04-204
- [2] 佐竹他, マルチエージェントシステム構築用ツールキットを用いた分散制御手法シミュレータの開発, ROBOMECH2008
- [3] 別役他, 局所運動学によるロボットアームの運動学計算システムの開発, 2010年度精密工学会春季講演会