

旭川高専 ○別役厚徳, 旭川高専 佐竹利文, 九州工大 林朗弘, 有明高専 原真也

要 旨

アミューズメント分野, 医療福祉分野など, ロボットの適用分野が広がり, それぞれの用途に応じて多様な構造を持つロボットを開発する際に, 構造の複雑になるに伴い運動学計算が複雑になり解析的に解くことが困難になるという問題を解決する必要がある. 本研究はマルチエージェントシステムの方法論に基づいて, ロボットアームの運動学計算を構成する方法を開発している. 本報告では, 提案する方法の詳細と, 方法の有効性の確認のために幾つかの計算例を示す.

1. 結 言

これまで, 産業応用が中心であったロボットの活用分野は, アミューズメント, 医療福祉, 生活支援など多くの分野に広まりつつある. ロボットは, 回転軸, 並進軸を駆動し, 所望の運動を行う機械である. 特に, ロボットアームは, 回転軸と並進軸, リンクの組み合わせによって, 様々な機構的な特徴をもたせることができる. 用途に応じてこれらを自由に組み合わせれば, その利用可能性は益々広がることが期待される.

ロボットアームを動かすには, アーム部分 (主に手先) の位置と姿勢の変化に対して, 各関節の偏角を求める逆運動学計算が必要である. 本研究は, マルチエージェントシステム(MAS)の手法を応用して運動学の計算を行うシステムを提案する. 本論文では, マルチエージェントシステム手法を応用した運動学計算を解く方法と, その方法を実装する MAS を構成するエージェントについて述べる. 最後に, 7軸ロボットアームを取り上げシステムの効果シミュレーションにより確認する.

2. 冗長アーム運動学計算

図1にシリアルリンクロボットアームの運動学計算のためのMASの概念を示す. マルチエージェントシステムのイメージは, 例えば, 図左に示すように, 移動ロボットであるエージェントがEFという荷物を目的の位置まで共同で搬送するようなものである. 各エージェントは, 他のエージェントの状態とEFの状態により自身が押す方向を決め行動する. 全てのエージェントの押す協調行動の結果としてEFは目的の位置に移動する. 求めるものは, システム全体の目的であるEFの目標までの移動を達成するために, 各エージェントがどのような方向にどれくらい移動するかである. 図1右に示すように, これをロボットアームの問題に適用すると, 軸を回転するエージェント (軸エージェント) が他の軸エージェントの行動の結果やEFの位置に基づいて行動し結果としてEFが指定の位置に移動する問題と捉えることが出来る. ただし, それぞれの軸エージェントは回転軸の回転方向にしかEFを動かすことが出来ない. また, ロボットアームの構造から規定される関係に従い, 軸エージェントの位置と方向は, 他の軸エージェントの行動により変わるという特徴を持つ. 求めるものは, システム全体の目的であるEFの目標までの移動を達成するために, ロボットアームの構造によるエージェントの行動の制約に従いながら, EFを目標に移動する各エージェントの行動 (軸の変位) である. この制約の計算が順運動学計算に, エージェントの行動が逆運動学計算に対応する. 本研究では, それぞれ, 局所順運動学計算, 局所逆運動学計算と呼ぶ.

3. 運動学計算

局所順運動学計算は, その軸エージェントより根元側の軸エージェントの状態が変化した際の軸エージェントの状態である位置と姿勢を変更する計算である. 軸エージェントjより根元側の軸エージェントiが回転すると, 軸エージェントi及びjの位置と回転軸の方向ベクトルをそれぞれ, P_i, A_i, P_j, A_j として, その差 n_j をロドリゲスの式を用いて求める.

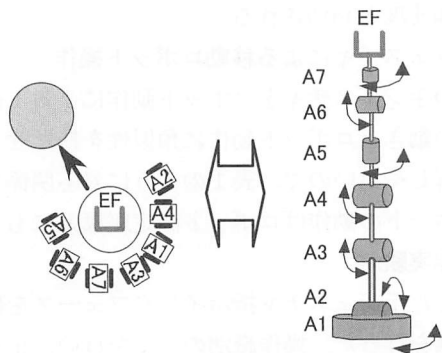
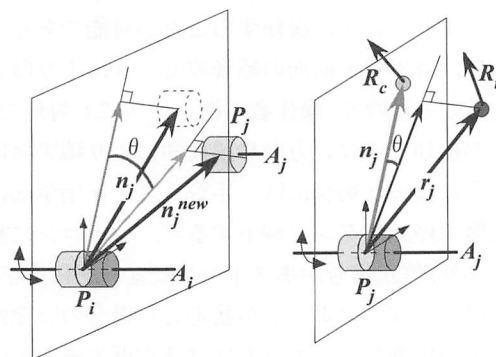


Fig.1 MAS and kinematics calculation of multi-joint arms.



(a) Local forward kinematics. (b) Local inverse kinematics. Fig.2 Local kinematics calculations.

$$n_j^{new} = (n_j \cdot A_i)A_i + [n_j - (n_j \cdot A_i)A_i] \cos \theta + (A_i \times n_j) \sin \theta \quad (1)$$

$$A_j^{new} = (A_j \cdot A_i)A_i + [A_j - (A_j \cdot A_i)A_i] \cos \theta + (A_i \times A_j) \sin \theta \quad (2)$$

逆運動学計算では, エージェントjから手先の現在位置までのベクトルを n_j , 手先の目標位置までのベクトルを r_j として, この2つのベクトルのなす角度を, 軸エージェントjに繋がるリンクの動作平面へ投影した時の角度を以下の式で求める.

$$\Delta \theta_j^P = \left\{ \frac{(n_j \times r_j)}{|n_j \times r_j|} \sin^{-1} \left(\frac{|n_j \times r_j|}{|n_j| |r_j|} \right) \right\} \cdot A_j \quad (3)$$

同様に手先の現在姿勢と目標姿勢をそれぞれ, R_c, R_t として, 作業部位の姿勢を得るための, 軸エージェントjの変位を以下の式で求める.

$$\Delta \theta_j^R = \left\{ A_j \sin^{-1} \left(\frac{R_c \times R_t}{|R_c \times R_t|} \right) \right\} \cdot (R_c \times R_t) \quad (4)$$

作業部位の位置と姿勢を得るための変位は, 相反することもあるが, 軸エージェントは, この2つの目的を達成するために1つの変位として求め行動しなければならない. そこで, 本研究では以下の式に示すように, 求めた2つの変位の重み付線形和を取る.

$$\Delta \theta_j = K_c \{ K_p \Delta \theta_j^P + (1.0 - K_p) \Delta \theta_j^R \} \quad (5)$$

ここで, K_p は1.0以下の値であり, 位置と姿勢という2つの

目標を達成に関する割合を示している。この値が大きければ、作業部位の位置に対する行動に重きが置かれることになる。 K_c は、目標達成に対する1つの軸エージェントの貢献の度合いに相当し、 1.0 以下の値を設定する。この値が他のエージェントの値に比べて相対的に大きく設定すれば、他の軸に比べて大きな変位となる傾向になる。

各エージェントは、互いに、位置と回転軸の方向ベクトルおよび変位量を交換し、順変換を行い、手先の位置と姿勢のための自身の変位を交換し繰り返し計算を行うことにより求める。

4. シミュレーション

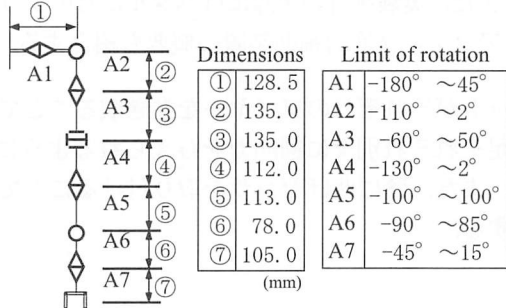


Fig.3 An example robot arm specifications.

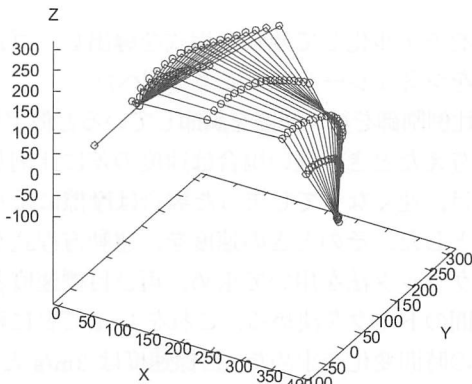
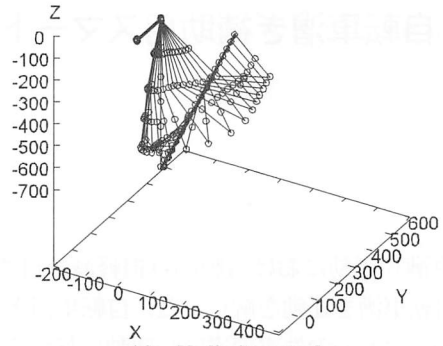


Fig.4 Calculation results of desired EF poses and positions

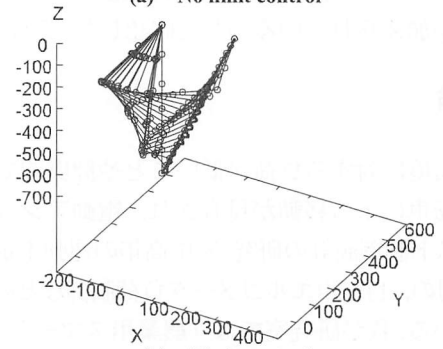
提案した、運動学計算法の効果を確認するために、人間の腕形7軸アームの計算シミュレーションを行った。7軸アームの構造と可動範囲を図3に示す。以下のシミュレーションでは、Pentium4 3.2GHzの計算機を用いて、本研究室で開発したMASツールキットにより計算を行った。

図4は、7軸ロボットアームの手先の位置と姿勢に対する逆運動学を解いた結果である。全ての軸エージェントの局所学運動学計算のパラメータを $K_c = 0.8$, $K_p = 0.2$ とし、手先の目標位置(400.0,0.0,0.0)に対して手先の姿勢を変えた20の姿勢を求めている。要した計算時間は766msであった。姿勢を決める軸、位置を決める軸という区別はなく、設定したパラメータの割合で計算が行われている。

可動範囲の制限には、全ての軸エージェントが変位の計算において、変位の合計が可動範囲を超える場合には、可動範囲内に変位を小さくする規則を設定することで対応する。図5は、7軸アームが伸び切った状態を初期姿勢のEFが点(0.0, 128.5, -678.0)から、EFが点(200.0, 200.0, 0.0)までの20点に対して可動範囲制限の規則無しで生成した結果である。図4は、可動範囲制限の規則を用いた場合の結果である。指定したEFの点列に対して生成される姿勢列が異なっていることが分かる。表1は、2つの計算結果において、求められた各軸の最大と最小の値である。規則を無しの結果では、A2とA6が範囲を超えているのが分かる。規則有りの結果では、全てが範囲内にあることが分かる。制限の最大値となっている



(a) No limit control



(b) Limit control

Fig.5 Effectiveness estimation of axis limit control rules.

Table.1 Max. displacements

	No Limit	Limited
A1	-34.64~0.00°	-1.89~28.52°
A2	-18.97~8.04°	-31.89~0.00°
A3	0.00~11.43°	-5.85~0.68°
A4	-87.74~0.00°	-113.92~0.00°
A5	0.00~60.58°	0.00~65.58°
A6	0.00~156.13°	0.00~85.00°
A7	0.00~0.00°	0.00~0.00°

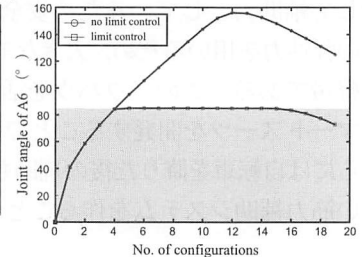


Fig.6 Angle changes of A6.

A6に注目し、規則有り/無しにおけるA6の変化を比較したグラフが図5である。A6の可動範囲は、図6に示したように、範囲内に収まっていることが分かる。両者とも可動範囲の制限内にあるときには、全く同じように軸が変位しているが、可動範囲を超えるとき、規則有りがその値にとどまっていることが分かる。規則無しはさらに大きく変位している。規則を設定するとその軸は動かない状況になるが、アームの別の軸がそれを補い姿勢が生成されたことが分かる。この2つの結果の計算に要した時間は、20のEF点に対して可動範囲制限なしが50ms、可動範囲制限有りが99msであった。

5. 結 言

本研究は、マルチエージェントシステムの考え方を適用して、冗長軸を持つロボットアームの運動学の計算を行うシステムの開発を行い、腕形の7軸ロボットアームの計算システムを本手法により構成した。手先の位置と姿勢の計算、軸の変位量の制限のシミュレーションを行い、本手法の効果を確認した。

参考文献

- [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, ROBOMEC2008