

多段テンセグリックアームのための最適軌道探索アルゴリズム An Algorithm to Obtain the Optimal Trajectory for a Multistage Tensegric

○宇部陽一朗¹, 山中佑介², 佐々木駿太郎¹, 渡辺亨³* Yuusuke Yamanaka², Youitiro Ube¹, Shuntaro Sasaki¹, Toru Watanabe³

Building a gigantic robot with ordinary structure is difficult because of the Square-cube law. Tensegric structure could be a suitable solution of building such gigantic robot. This paper deals with a novel robot arm based on the idea of Multi-Stage Tensegric structure. A trajectory generation algorithm for kinematic motion control is presented according to simple model. In the previous study, the presented algorithm was verified only in the first quadrant. This algorithm allowed for a wider range of trajectory generation and verification of the resulting moment. As a result, we confirmed the usefulness of the proposed algorithm.

1. 緒言

本研究の目的は大型ロボットの実現である。先行研究では、上記のような自重による問題点と、その解決法を提案した^[1]。具体的には、テンセグリック・トラス構造^[2]を用いたモジュール化ユニットを組み合わせることで、軽量で剛性の高い大型ロボットアームを実現するアプローチである。

先行研究で提案された最適軌道探索アルゴリズムは直立姿勢からエンドポイントまでの解析であり、エンドポイントはすべてロボットアームの最下段を原点においたときに、第一象限に相当する範囲のみであった。本研究では、ロボットアームの運動領域を二次元平面の4つの象限すべてに拡張し、始点と終点が水平、垂直、それ以外の3つの関係にあるとき、モーメントをそれぞれ算定した。また、同一の始点-終点間で、アームを異なる移動ルートで動かしたときの最大モーメントを算定し、アルゴリズムの妥当性を検証した。また、これまで提案されたモデルは細い剛体棒として製作されていたが、テンセグリック構造を取り入れた二次元モデルとして定義し、アーム同士の干渉とワイヤ長さを考慮した。

2. 解析理論

2.1 最適軌道導出アルゴリズムの姿勢決定方法

先行研究に準じ、4段アームを対象とする。まず、アームの関節部は円弧に内接すると仮定する。これは先行研究^[2]で得たアーム軌道において、その最終姿勢がほぼ円弧状であったことを確認したためである。

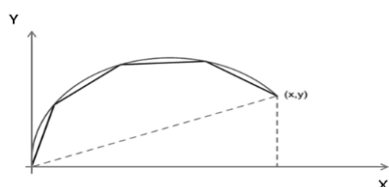


Figure.1. Schematic view to derive configuration to reach target endpoint

アルゴリズムでは、まずアーム先端を任意の目標位置に合わせる。次にアームの関節部が円弧に内接する (Figure.1) ものとし、関節間角度の幾何学的拘束条件によ

って4段アームの姿勢を決定する。最後に、初期姿勢と導出した目標姿勢間での各関節間角度を等分割し、軌道を生成する。

2.2 アームに生じるモーメント

各関節に生じるモーメントを以下の式により算出する。関節座標をアーム根元側から $X_0(x_0, y_0) = (0, 0)$, $X_1(x_1, y_1)$, $X_2(x_2, y_2)$, $X_3(x_3, y_3)$, $X_4(x_4, y_4)$ とする。また各関節間に生じるモーメントをアーム根元側から M_0, M_1, M_2, M_3 [N・m] とする。各リンクの質量はそれぞれ m_1, m_2, m_3, m_4 [kg] とする。各パラメータの位置関係を figure.2 に示す。

4 段目関節 :

$$M_3 = m_4 g \left(\frac{x_4 - x_3}{2} \right) \quad (1)$$

3 段目関節 :

$$M_2 = m_3 g \left(\frac{x_3 - x_2}{2} \right) + m_4 g \left\{ \frac{x_4 - x_3}{2} + (x_3 - x_2) \right\} \quad (2)$$

2 段目関節 :

$$M_1 = m_2 g \left(\frac{x_2 - x_1}{2} \right) + m_3 g \left\{ \frac{x_3 - x_2}{2} + (x_2 - x_1) \right\} + m_4 g \left\{ \frac{x_4 - x_3}{2} + (x_3 - x_1) \right\} \quad (3)$$

1 段目関節 :

$$M_0 = m_1 g \left(\frac{x_1}{2} \right) + m_2 g \left\{ \frac{x_2 - x_1}{2} + x_1 \right\} + m_3 g \left\{ \frac{x_3 - x_2}{2} + x_2 \right\} + m_4 g \left\{ \frac{x_4 - x_3}{2} + x_3 \right\} \quad (4)$$

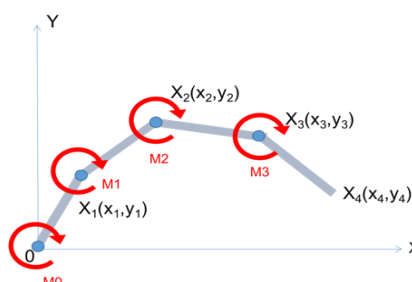


Figure.2. Moments and coordinates of arm joint

3. 解析

前章で示したアルゴリズムを使って、ロボットアームの運動領域を拡張し、その移動を三種類に分けて、始点・終点が水平、垂直、斜め、それぞれのパターンに軌道生成して、モーメントを算出した。

3.1 検証範囲の設定

先行研究では、アームの運動領域は第一象限内に限定されていたが、本研究では、第四象限を加えて拡張する。

なお、第二・第三象限への移動は、一旦直立姿勢をとることを前提とすれば、原理的に可能である。これは直立姿勢から垂直軸を対象軸として第一、第四象限内での移動と線対称な経路をとらせることができるためである。

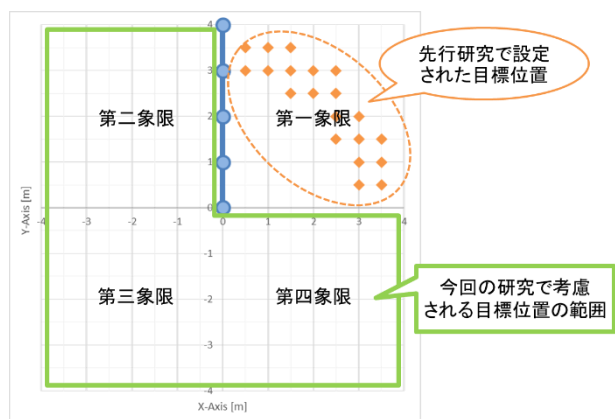


Figure 3. Quadrants used for the verification

3.2 運動経路の設定

任意の二点間の移動では様々なルートがとりうるが、今回は始点から直接終点まで移動した場合(直接ルート)と、始点から中間ポイント(0.0,4.0)を経由し、終点まで移動した場合(間接ルート)の比較を行った。Figure 3 にルートの一例を示す。なお、四角マークは初期姿勢、細線と点は移動過程、三角マークは直立姿勢、円マークは目標姿勢である。

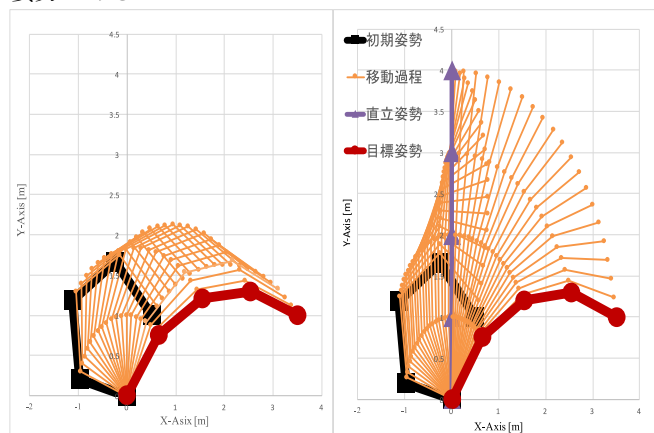


Figure 4. Examples of two trajectories

3.3 二次元モデル化

Figure 3 で提案されたモデルは各段を細い剛体棒とみなしている。テンセグリック構造を取り入れた新たなモデル

を Figure 4 に示す。また、新たなモデルではワイヤの張力や材質の選定が可能である。本モデルを用いて、所与の姿勢をとるために必要な各段におけるワイヤ長を算出することが可能である。

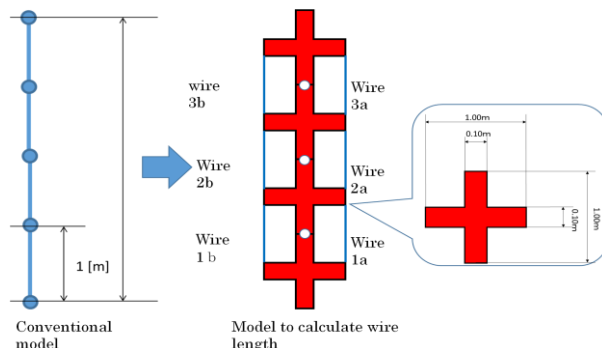


Figure 5. presented Model (cascade crosses with wires)

4. 今後の展望

先行研究では、ロボットアームを剛体として考えて運動学的な計算を行ってきた。しかし、実際にはどれくらいの大きさ、材質で設計すればアームの破断や変形、座屈が発生しないのか、すなわち力学的な問題は検討していない。そこで、実際に多段テンセグリックアームを設計及び製作することを大型ロボットの実現のための中間目標として設定する。その中間目標達成のために2つの視点から研究を進めていくこととする。1つ目は、先行研究で作ってきた最適起動探索アルゴリズムをより実物に近いモデルで検討するために、各段のアームやワイヤの強度計算やロボットアーム全体の力学強度の考慮を行う。2つ目は、現在想定しているロボットアームをどのような工作法で作成するのか議論を重ねていく予定である。

5. 参考文献

- [1]白濱 聡, 大型ロボット実現のためのテンセグリック・トラス構造モジュールユニットの研究, 日本大学理工学研究科機械工学専攻修士論文(2012).
- [2]R.B.Fuller : “TENSILE-INTEGRITY STRUCTURES”, United States Patent No.3063521 , 1962
- [3]宮下 和裕, 多段テンセグリックロボットアームの提案とその運動制御, Proc. of MoViC Conf. (13th(CD-ROM)), Paper No.D39, JSME, 2013.
- [4]小林 樹, 多段テンセグリック構造アームの応力分散効果の検討, 日本大学理工学部機械工学科学士論文 (2013).
- [5] 大場裕真, 多段テンセグリックアームのための最適軌道探索アルゴリズムの提案, 日本大学理工学部機械工学科学士論文 (2013).