K6-84

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

○山中佑介[1]，大場裕真[2]，賴奕鵬[2]，渡辺亨[3]
* Yuusuke Yamanaka [1], Yuuma Ooba [2], Ekihou Rai [2], Toru Watanabe [3]

Various robots have been researching for many years. Because of the Square-cube law, we are not able to build gigantic robot with ordinary robot structure. We found that Tensegric structure is suitable for building a robot over 10m height. In the previous research, multistage Tensegric robot arm is presented and its control algorithm is shown. However, trajectory shaping for multistage Tensegric robot arm are not obvious. Assume the starting state of the Tensegric structure arm is standing straight. The arm moves from the starting state, and expected to reach the ending point smoothly. This paper discusses an idea of trajectory shaping for the multistage Tensegric structure arm. Trajectory shaping of multistage Tensegric robot arm taking account of stress dispersion is carried out using computer simulation.

1. 緒言

本研究の目的は大型ロボットの実現である．先行研究としては上記のような自重による大型ロボットにおける問題点を定義し，その問題を解決するコンセプトを提案した[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多段に組み合わせることで大型ロボットを実現しようとするアプローチである．多段ロボットアームにエンドポイントを与えた時，指定した 2 次関数に沿ってアームの姿勢を制御するアルゴリズムの提案[3]を行い姿勢制御が可能であると判断したことから，テンセグリック構造アーム多段数化の有効性及び最適姿勢の検討を行なった. 2 段と 4 段のアームにエンドポイントを与えたとき，各アームの関節にかかる最大モーメント負荷を算出し，その値が最小となるような関節角の組み合わせを求め，各アームの最大モーメントを比較することで，応力分散効果について検証した．その結果，テンセグリック構造アームの多段数化の有効性を証明した[4].

実際に使われるロボットアームは直立した姿勢状態から指定したエンドポイントまで連続的に移動していくため，上記の応力分散効果の検証に使った考え方をベースに移動方法のアルゴリズムを提案[5]し，どのような姿勢変化で軌道生成をすべきであるかの検討を行う.

2. 解析理論

2.1 多段構造による応力集中の緩和

多段構造による応力，モーメント集中の緩和についてロボットアームを考慮する際，エンドポイントを与えると今回考える 4 段アームは自由度が高く，姿勢が一様に決める事ができなく，関節の角度のパターンは無限に限りなく近くなってしまう．そのため, 4 段アームに一定の制限を与え，姿勢を有限通りにする必要がある．本検討においては, 4 段アームの関節の取る事ができる角度に制限を与える事で，姿勢を有限通りにしている.

2.2 モーメント負荷を軽減する軌道生成

本研究では昨年までの研究結果との比較のため, 4 段のロボットアームにおける手先位置の軌道生成について考える.

まず、目標となるエンドポイントを指定する. 次に、Fig. 1 の現手先位置とエンドポイントを通るような直線の方程式を求め、この直線に対してさらに Fig. 1 の現手先位置を通るような法線の方程式を求める．ここで、現手先位置を中心に Fig. 1 のような半径 r の円を考え、この円と求めた法線の交点を求める．そして Fig. 1 に示すように，エンドポイント側の半円周上において求めた交点から θ[deg]進んだ点を起点とし(180-θ)の間で 1[deg]の間隔で点をとり、各点における姿勢変化時の各関節にかかるモーメントを算出し、各点の中より算出した各姿勢における最大モーメント負荷が最小になるような点を次の移動先の点とする．移動先の点を現手先位置としてこれまでに行ってきた流れをエンドポイントまで繰り返すことで軌道生成を行う.

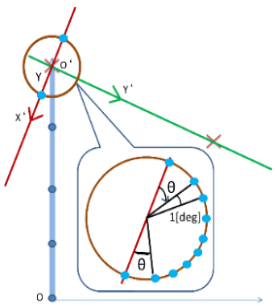

Fig.1 Schematic diagram of multistage arms

まず，移動先の候補の点を表すベクトル R_{OC} を求める.

$$\mathbf{R}_{OC} = \mathbf{R}_{OO'} + \mathbf{C}_{OO'}(\theta_{OO'})\mathbf{C}(\theta)\mathbf{C}_{O'O''}(\phi)\mathbf{R}_{O''C}$$

続けて, これらの点における各姿勢を求め, 各アームのリンクの長さ，質量から各関節にかかるモーメント負荷を計算する．その中での最大モーメント負荷を最も軽減

1:日大理工・学部・機械　2:日大理工・院(前)・機械　3:日大理工・教員・機械

する関節角の組み合わせから，どのような姿勢が最適であるか検討する．

Fig.2-2 より各関節にかかるモーメント負荷を計算する．各リンクの質量はそれぞれ m_{1f}，m_2，m_3，m_4 とする．リンクは一様な材質と仮定しているため，各質量はリンクの重心にかかっていると考える．

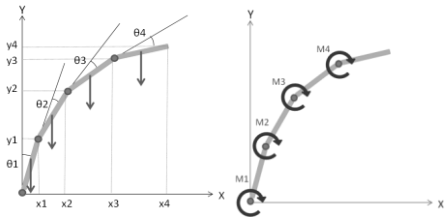

Fig.2-2 Relationship between angle and arms and Arm's moment

4 段目関節:

$$M_4 = m_4 g\left\{\frac{X_4 - X_3}{2}\right\} \tag{2.1}$$

3 段目関節:

$$M_3 = m_4 g\left\{\left(\frac{X_4 - X_3}{2}\right) + (X_3 - X_2)\right\} + m_3 g\left\{\frac{X_3 - X_2}{2}\right\} \tag{2.2}$$

2 段目関節:

$$M_2 = m_4 g\left\{\left(\frac{X_4 - X_3}{2}\right) + (X_3 - X_1)\right\} + m_3 g\left\{\left(\frac{X_3 - X_2}{2}\right) + (X_2 - X_1)\right\} + m_2 g\left\{\frac{X_2 - X_1}{2}\right\} \tag{2.3}$$

1 段目関節:

$$M_1 = m_4 g\left\{\left(\frac{X_4 - X_3}{2}\right) + X_3\right\} + m_3 g\left\{\left(\frac{X_3 - X_2}{2}\right) + X_2\right\} + m_2 g\left\{\left(\frac{X_2 - X_1}{2}\right) + X_1\right\} + m_1 g\left\{\frac{X1}{2}\right\} \tag{2.4}$$

3. 解析結果

上記の解析理論に基づいてエンドポイントを設定したとき，移動先の候補となる点を求め，手先位置（(X4，Y4)の座標が移動先の候補となる点の指定した範囲内に入ればモーメントの計算を行ない，各候補点における各関節のモーメント負荷及びその姿勢での最大モーメント負荷を算出し，その中で最大モーメント負荷が最小になるような候補点を次の手先位置とし，エンドポイントまで到達するようなプログラムを作成した．

3.1 モーメント負荷を軽減する軌道生成

上記解析手法において，θ＝75[deg]つまり現手先位置からエンドポイントに向かう方向の半径 r=0.08[m]の半円周上に 30[deg]の指向範囲を持たせたプログラムにおいて解析した結果の一例を以下に示す．

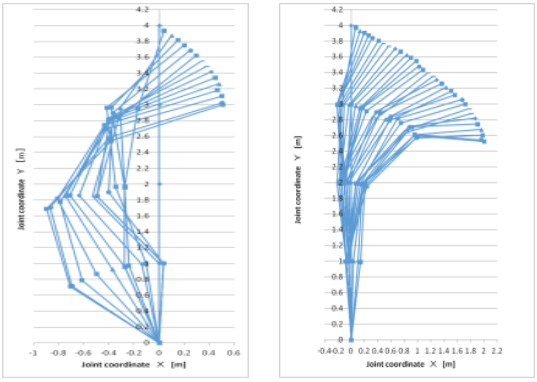

Fig.3.1 Sample of arm's trajectory

4. 考察

エンドポイントを指定した際の軌道上での関節位置，モーメント，最大モーメントを求めた．移動経路全ての点の中での最大モーメントを比較すると，ほとんどの場合においてエンドポイントの直前で最大モーメントをとっていることが分かった．このことから，エンドポイントに向かうために移動経路の後半で負荷のかかる移動が行われているのではないかと考えられる．

Fig.3.1 においてアームの軌道生成中に中間アームが振れる現象が現れる．指定したエンドポイントがアームに近い場合に振れる挙動が現れ易いものと考えられる．中間アームの軌道を考慮に入れたアルゴリズムの考案が必要である．

5. 今後の展望

先行研究で考案されたアームの姿勢制御アルゴリズムでは，得られた最適軌道において中間アームが不必要に振れる挙動が見られた．これによりアルゴリズムの改良の必要が示された．よりスムーズな軌道を生成するアルゴリズムの提案と検証を行う予定である．

6. 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).