

K4-65

## 多段テンセグリックロボットアームのワイヤ長さ算出のための方法提案

### Proposal of a determination method to obtain wire length of a multistage Tensegric robot arm

○小林 樹<sup>1</sup>, 宮下 和裕<sup>2</sup>, 渡辺 亨<sup>3</sup>\*Itsuki Kobayashi<sup>1</sup> Kazuhiro Miyashita<sup>2</sup>, Toru Watanabe<sup>3</sup>

In the previous research, the design of Tensegric-Truss module has been proposed. Multistage is one of the most important robot concepts, but the relation between configuration and wire-lengths, which settle the robot figuration, is still uncertain. This paper proposes the determination way of the robot-arm configuration and the wire lengths in endpoints given by operators. In the way, configuration of the arm settled on coordinate is determined along with a quadratic function. A validation of the means has resulted in effectiveness in certain endpoints.

#### 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<sup>[1]</sup>。具体的には、テンセグリック・トラス構造<sup>[2]</sup>を用いたモジュール化ユニットを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。テンセグリック・トラス構造ではワイヤの長さを変化させることで構造物の姿勢を変化している。しかし、姿勢に対するワイヤの長さの関係は明らかではない。

本研究では、多段に重ね組み立てられたテンセグリック・トラス構造ユニットを多段テンセグリックロボットアームと考え、このアームにエンドポイントを与えることで自動的に一定の姿勢を決め、その姿勢をとるために必要な各ワイヤの長さを算出することを目標としている。

#### 2. ワイヤ長さ算出方法の提案

アームのエンドポイントとワイヤの長さの関係を明らかにするのにあたり、本研究では、ある目標軌道を想定しそれに沿うようにアームの形状を変化させることを狙いとし、目標に沿ったアームの形状とワイヤの長さの関係を明らかにするというような方法をとる。

##### 2. 1 アームの各関節の座標の算出方法

まず、N段のアームのエンドポイントの座標を

$$[x_N \ y_N \ z_N]^T = [\alpha \ \beta \ \gamma]^T \quad (2.1)$$

と与え、目標軌道を表す関数を決定するのだが、ここでは  $m = \sqrt{x^2 + z^2}$  なる  $m$  を考えエンドポイントを含むような M-Y 平面を切り出し 2 次元平面内の曲線で考える。ユニットの長さを  $L$ 、 $i$  番目のユニットの関節（先端）位置を  $m_i$ 、 $y_i$  とすると次のような関係になる。

$$L^2 = (m_{i+1} - m_i)^2 + (y_{i+1} - y_i)^2 \quad (2.2)$$

ただし  $i$  は 0 以上の整数で  $[m_0 \ y_0]^T = [0 \ 0]^T$  である。また、M-Y 平面で切り出す前の XYZ 空間内の点と M-Y 平面内の点との関係は次の通りである。

$$\begin{bmatrix} x_{i+1} \\ z_{i+1} \end{bmatrix} = \frac{m_{i+1}}{\sqrt{x_N^2 + z_N^2}} \begin{bmatrix} x_N \\ z_N \end{bmatrix} \quad (2.3)$$

$$y_{i+1} = y_{i+1}$$

次に、本研究では次の 2 通りの曲線を、目標軌道を表す関数として採用する。

$$m_{i+1} = ay_{i+1}^2 + by_{i+1} \quad (2.4)$$

$$y_{i+1} = -am_{i+1}^2 + bm_{i+1} \quad (2.5)$$

ここで、 $a$  は 0 より大きい任意の実数、 $b$  はエンドポイントの座標を  $y_N \neq 0$ 、 $m_N \neq 0$  とし(2.4)、(2.5)の  $y_{i+1}$ 、 $m_{i+1}$  に代入することで求める。

以上より(2.4)、(2.5)の曲線に対しそれぞれ(2.2)、(2.4)および(2.2)、(2.5)をそれぞれ連立することで、それぞれ  $y_{i+1}$ 、 $m_{i+1}$  の 4 次方程式となり  $m_i$ 、 $y_i$ 、 $b$  は既知より  $a$  の値を操作し決定し、これを解いて解の中から適切なものを選択すれば関節の座標が次々と求まる。

実際の計算は、MATLAB にてまず曲線の長さから  $a$  の値を絞り込み、絞り込んだ範囲から  $a$  を変数として動かし、計算で求めたアームのエンドポイントと、(2.1)で与えたアームのエンドポイントとの値が有効数字 3 桁で一致するように計算させることで各関節の座標を決定していく。

##### 2. 2 アームのワイヤ長さの算出方法

各関節の座標とアームのワイヤ長さとの関係はマルチボディダイナミクスの考え方<sup>[3]</sup>をもとに進める。

2 段のアームを Fig.1 に示す。これからアームの 2 段目のユニットに固定された座標系  $A_2$  から見た 2 段目のユニット上のベクトル  $\mathbf{R}'_{PQ}$  と、アームの 1 段目のユニ

ットに固定された座標系  $A_1$  から見た 2 段目のユニット上のベクトル  $R_{PQ}$  との関係が次のようになる.

$$R_{PQ} = C_{A_1 A_2} R'_{PQ} \quad (2.7)$$

ここで  $R_{PQ}$ ,  $R'_{PQ}$  はそれぞれ次のようになる.

$$R_{PQ} = R_{PO} + C_{A_1 O} R_{OQ} = C_{O A_1}^{-1} (R'_{PO} + R_{OQ}) \quad (2.8)$$

$$= C_{O A_1}^{-1} [x_2 - x_1 \quad y_2 - y_1 \quad z_2 - z_1]^T$$

$$R'_{PQ} = [0 \quad L \quad 0] \quad (2.9)$$

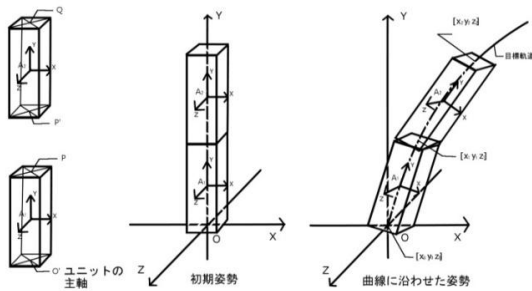


Fig.1 Two units model

また  $C_{A_1 A_2}$  は回転行列であり, 本研究で考えているアームの関節は  $x$  軸と  $z$  軸のみ回転できるようになっているので, 以下のように定義する.

$$C_{A_1 A_2} = C_x(\phi_{A_1 A_2}) C_z(\theta_{A_1 A_2}) \quad (2.10)$$

したがって(2.7), (2.8), (2.9), (2.10)より  $\phi_{A_1 A_2}$ ,  $\theta_{A_1 A_2}$  が求まる. これにより 1 段目のユニットに対して 2 段目のユニットをどう回転させればよいのかが分かる. 同様の手順で徐々にユニット間の関係を明らかにできるので, あとはユニット形状をベクトルで表し回転行列をかけることでユニット上の任意の点の座標がわかるためワイヤ長さを算出することができる.

### 3. 計算結果

上記の考えをもとに昨年の研究から 1 ユニットが 1m の 15 段テンセグリックロボットアームでのエンドポイントとワイヤの長さの関係を MATLAB を使用して算出した.

#### 3. 1 アームの各関節の座標の算出

2.1 の方法より各関節の位置と可動範囲は Fig.2 のように計算できる. ここで Fig.2 において赤線で囲まれた範囲が, 曲線(2.4)にアームを沿わせた時のアーム先端の稼働範囲で, 緑線で囲まれた範囲が曲線(2.5)に沿わせた時で, 紫線で囲まれた範囲は曲線(2.4), (2.5)の共通の可動範囲である.

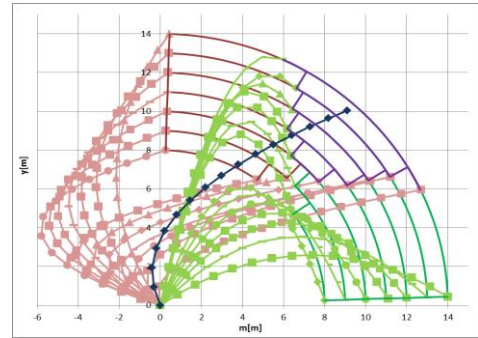


Fig.2 result of the calculation regarding configurations and end points

#### 3. 2 アームのワイヤ長さの算出

2.2 の方法より代表としてアームのエンドポイントが  $[X \ Y \ Z]^T = [7.56 \ 10.0 \ 4.88]^T$  で Fig.2 の中央の曲線のような時のワイヤ長さは Tab.1 のように算出できる.

Tab.1 outcome of the wire lengths

ワイヤ長さ	1段目	2段目	3段目	4段目	5段目	6段目	7段目
NORMRsb[m]	0.888	0.882	0.900	0.925	0.946	0.961	0.970
NORMRcc[m]	1.096	1.100	1.087	1.067	1.050	1.037	1.028
NORMRbd[m]	0.920	0.913	0.924	0.942	0.958	0.969	0.977
NORMRee[m]	1.064	1.069	1.063	1.050	1.038	1.028	1.022
ワイヤ長さ	8段目	9段目	10段目	11段目	12段目	13段目	14段目
NORMRsb[m]	0.977	0.982	0.985	0.987	0.989	0.991	0.992
NORMRcc[m]	1.022	1.018	1.015	1.012	1.010	1.009	1.008
NORMRbd[m]	0.982	0.986	0.988	0.990	0.992	0.993	0.994
NORMRee[m]	1.017	1.014	1.011	1.010	1.008	1.007	1.006

### 4. 結言

本研究では, 多段に重ね組み立てられたテンセグリック・トラス構造ユニットを多段テンセグリックロボットアームと考えた場合において, このアームにエンドポイントを与えることで自動的に一定の姿勢を決め, その姿勢をとるために必要な各ワイヤの長さを算出するための方法の提案を行った. 計算結果より与えた 2 曲線において提案した算出方法の有効性を確認した.

今後の展望として, 各関節にかかるモーメントを軽減するような最適姿勢の検討を行なう.

### 5. 参考文献

- [1] 白浜聡:「大型ロボットを目指すテンセグリック構造を用いたアームの提案」, Proc. of D&D Conf. (CD-ROM), Paper No.302, JSME, 2012
- [2] Masao SAITOH:「BEYOND THE TENSEGRITY –A NEW CHALLENGE TOWARD THE TENSEGRIC WORLD-」, IASS Symposium 2001 Nagoya, Paper No. TP141, 2001.
- [3] 田島洋:「マルチボディダイナミクスの基礎-3 次元運動方程式の立て方」, 東京電機大学出版局, 2006.