

可変構造型パラレルメカニズムの動力学を利用したリンク長制御

90163146 新井研究室 三木 まどか

1. はじめに

パラレルメカニズムは高速度、高精度、高出力などの特徴があり、様々な分野への応用が期待されているが、動作領域が狭いという欠点がある。そこで、機構パラメータを可変にすることで動作領域を変更し、複数の小動作領域の結合で大動作領域を実現する可変構造型パラレルメカニズムを提案してきた [1]。可変機構は、低コストかつ軽量で消費エネルギーが少なくすむように、アクチュエータを付けずに受動的に変更する構造を有している。そこで本研究では、可変構造型パラレルメカニズムとして中間リンクのリンク長を可変にした機構を取り上げ、アクチュエータを付けることなく、ベースの駆動関節トルクを制御入力とする動力学を用いたリンク長制御法について検討を行った。また、最適な初期条件の探索を行った。

2. 動力学を用いたリンク長制御法

2.1 可変リンクパラレルメカニズム

本研究では、Fig.1 に示す可変リンク平面 2 自由度回転入力型パラレルメカニズムを対象に、動力学を用いたリンク長制御法について検討を行う。本機構は、中間リンクに非駆動直動関節が取り付けられており、そこにブレーキがついている。そのブレーキの ON/OFF によって、直動関節の固定/開放が可能となっている。関節 r_{11} 、関節 r_{21} が駆動回転関節、関節 r_{12} 、関節 r_{22} が非駆動回転関節、関節 l_{11} 、関節 l_{21} が非駆動直動関節である。回転関節の変位、速度、加速度、トルクは θ_{11} 、 $\dot{\theta}_{11}$ 、 $\ddot{\theta}_{11}$ 、 τ_{r11} 、直動関節に関しては、 L_{12} 、 \dot{L}_{12} 、 \ddot{L}_{12} 、 f_{L12} のように表す。添え字が各関節を表している。また、 x 、 \dot{x} 、 \ddot{x} はエンドエフェクタの位置、速度、加速度を表す。

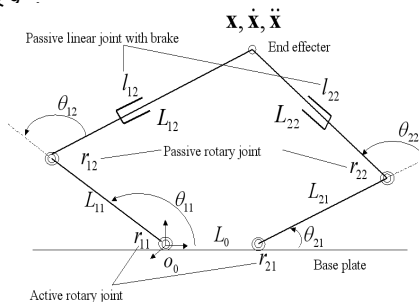


Fig.1 Planer rotary actuated parallel mechanism with passive linear joint on each link

2.2 リンク長制御アルゴリズム

可変構造型パラレルメカニズムの運動方程式は以下のように表すことができる。M は慣性行列、B は、コリオリ力、遠心力、重力、摩擦力などを含んだ項を表す。

$$\begin{bmatrix} \tau_{r11} & \tau_{r21} & f_{L12} & f_{L22} \end{bmatrix}^T = M \begin{bmatrix} \ddot{\theta}_{11} & \ddot{\theta}_{21} & \ddot{L}_{12} & \ddot{L}_{22} \end{bmatrix}^T + B \quad (1)$$

リンク長を制御する場合、非駆動直動関節のブレーキを開放する。そのとき力は 0 となる。つまり、 f_{L12} 、 $f_{L22} = 0$ である。

$$\begin{bmatrix} \tau_{r11} & \tau_{r21} & 0 & 0 \end{bmatrix}^T = M \begin{bmatrix} \ddot{\theta}_{11} & \ddot{\theta}_{21} & \ddot{L}_{12} & \ddot{L}_{22} \end{bmatrix}^T + B \quad (2)$$

非駆動直動関節で発生させたい加速度を $\ddot{L}_{12,d}$ 、 $\ddot{L}_{22,d}$ とすると、上式を解くことにより以下のような式を導くことができる。

$$\begin{bmatrix} \tau_{r11} & \tau_{r21} \end{bmatrix}^T = f_{control\ equation}(\ddot{L}_{12,d}, \ddot{L}_{22,d}) \quad (3)$$

上式は、非駆動直動関節の加速度を入力するとその加速度を発生させるために必要な駆動関節トルクを算出する式となっている。以上より、非駆動関節の実現した変位から発生させたい加速度を見積もっておけば、その加速度を発生させるために必要な駆動関節トルクが上式により求まる。

3. 最適な初期条件の探索

3.1 評価指標の定義

リンク長を制御する場合、本アルゴリズムでは、ブレーキを開放する瞬間のエンドエフェクタの運動を自由に選択できる。これは、リンク長制御としては初期条件を選択できることを意味する。そこで、最適な初期値の探索を行う必要がある。シミュレーションにより最適なリンク長変形の初期条件について解析を行った。ここでは、式 (4) に示すような、変形に必要な駆動関節トルクの時間変化の 2 乗を、初期のリンク長から実現したいリンク長に変形させるまでの間で積分したものを評価指標とし、この値が小さいものを最適であると定義した。 $\dot{\tau}_{active\ joint}$ は現在の駆動関節トルクの直前のトルクからの変化量を表している。本指標は、リンク長制御中の駆動関節トルクの消費エネルギーを意味している。

$$C_T = \frac{1}{2} \int_0^{t_{final}} \{ \dot{\tau}_{active\ joint}(t) \}^2 dt \quad (4)$$

3.2 シミュレーションによる最適初期条件の探索

初期条件として、ブレーキを開放する瞬間のエンドエフェクタの位置、速度、加速度をパラメータとした。3 種類のパラメータをさまざまに変化させたときの C_T を求め、最適な初期値の探索を行った。

$L_0 = L_{11} = L_{21} = 15.0[cm]$ 、可変リンクの初期値は L_{12} 、 $L_{22} = 24.0[cm]$ 、実現したいリンク長は $L_{12,d}$ 、 $L_{22,d} = 29.0[cm]$ と設定する。すべてのリンクの質量は $0.50[kg]$ とする。

本稿では、エンドエフェクタが y 軸方向に運動しているとし、エンドエフェクタの加速度、速度を $2.0[cm/s^2]$ 、 $1.0[cm/s]$ に固定し、ブレーキを開放する瞬間のエンドエフェクタの最適な位置を探索した。

ブレーキを開放するときのエンドエフェクタの位置を変化させた時、式 (4) で定義した評価指標の値は、Fig.2 に示すグラフのように変化し、値が最小となる位置、すなわち最適な初期条件を見つけることができた。なお、グラフ中の横軸はエンドエフェクタの位置、縦軸が指標の値を表している。このシミュレーションでは、 $(x, y) = (7.5, 34.0)$ でブレーキを開放するのが最適であるといえる。

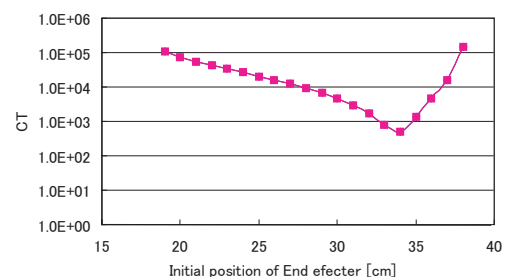


Fig.2 Index value v.s. end-effector postision

4. おわりに

本稿では、動力学を用いた可変リンクパラレルメカニズムのリンク長制御において、シミュレーションにより制御時の最適な初期条件の探索を行った。今後は、実機による検証を行っていきたい。

参考文献

- [1] 新井健生, 他: “可変構造型パラレルメカニズム”, 日本ロボット学会誌, Vol.22, No.1, pp.140-147, 2004.