

チェビシェフ・平行リンク機構を用いた歩行シミュレータの構築

Construction of the ambulatory simulator by Chebyshev Links and parallel linkage

○学 藤田 和友 (弓削商船), 学 小林 貴史 (弓削商船), ◎正 前田 弘文 (弓削商船)

Kazutomo FUJITA, Yuge National College of Maritime Technology, 1000 Yuge Shimoyuge, Kamijima-cho Ochi-gun, Ehime, 794-2506, Japan

Takashi KOBAYASHI, Yuge National College of Maritime Technology, 1000 Yuge Shimoyuge, Kamijima-cho Ochi-gun, Ehime, 794-2506, Japan

Hirofumi MAEDA, Yuge National College of Maritime Technology, 1000 Yuge Shimoyuge, Kamijima-cho Ochi-gun, Ehime, 794-2506, Japan

Key Words: Chebyshev Links, Parallel Linkage, Simulator, Walking Robot, Robot Contest

1. 緒言

1988年からNHK, NHK エンタープライズ, 高等専門学校連合会主催(高等専門学校連合会については2000年より主催)によるアイデア対決・全国高等専門学校ロボットコンテスト(以下, 高専ロボコン)が毎年開催されている⁽¹⁾. 高専ロボコンの大会ルールについては毎年変更されるものの, 近年の傾向として2足歩行機構を搭載したロボットを出場させることが多くなっている. また, 多くの高専では2歩行にチェビシェフリンク機構を採用している⁽²⁾. これは, 高専ロボコンにおいてロボット製作費と重量に制限が設けられていることが理由で, 1つのモータで歩行可能なチェビシェフリンク機構がコスト面, 重量面において優れているためである. しかし, 欠点として歩幅と足の高さが比例していることから, 高い段差(足裏回転機構を含む)を乗り越えるためにはチェビシェフリンク機構を大きくする必要がある.

そこで本研究ではこの問題を解決するために, 歩行軌跡を描くことが可能なチェビシェフリンク機構と軌跡を拡大するための平行リンク機構を組み合わせた機構を採用した. しかし, この機構を採用することで構造が複雑化し, 互いのリンク機構の接触や干渉といった問題が発生した. 本研究では, このチェビシェフ・平行リンク機構の順運動学を導出するとともに, シミュレータを構築することで, これらの問題を解決した. 以下に, チェビシェフ・平行リンク機構の概要と順運動学, シミュレータについて述べる.

2. チェビシェフ・平行リンク機構

2.1 チェビシェフリンク機構

チェビシェフリンク機構は, リンク機構について30年以上の研究を重ねたパフヌティ・チェビシェフ(Pafnuty Chebyshev)によって発明されたものである. 図1にチェビシェフリンク機構を示す.

チェビシェフリンク機構は, 回転運動を直線運動に変換するもので, 式(1)の条件を満たすとき, 図1で示すようなD字の軌跡を描くことができる.

$$\|J_{m_0}J_{m_1}\| : \|J_{m_0}J_{s_0}\| : \|J_{s_0}J_{s_1}\| : \|J_{m_1}J_{s_1}\| : \|J_{s_1}P\| = 1 : 2 : 2.5 : 2.5 : 2.5 \quad \text{式(1)}$$

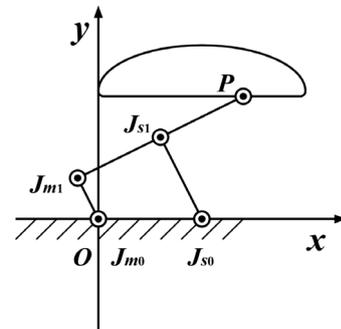


Fig. 1 Chebyshev Links

2.2 平行リンク機構

平行リンク機構は, 図2に示すように4本のリンクから構成され, 常に平行四辺形($J_{s_1}J_{m_1}J_{m_2}J_{s_2}$)を維持することから向かい合ったリンクが平行を保つ特徴がある. 次に, 式(2), 式(3)の条件を満たすとき, $\Delta J_{s_0}J_{s_1}J_{m_1}$ と $\Delta J_{m_1}J_{m_2}P$ が二等辺三角形または正三角形になることから, 式(4)が成り立つ. よって, 線分 $J_{s_0}J_{m_1}$ 上に $\|J_{m_1}J_{s_1}\| : \|J_{m_1}J_{m_2}\|$ の比率で, 点 P を射影することができる. このことは, 平行リンク機構を使うことで点 J_{m_1} の軌跡を点 P に拡大して射影できることを意味する.

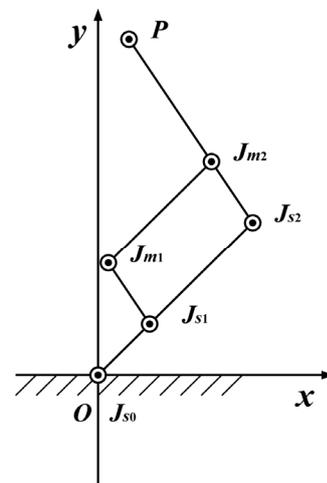


Fig. 2 Parallel Linkage

$$\|J_{s_0}J_{s_1}\| = \|J_{m_1}J_{s_1}\| \quad \text{式(2)}$$

$$\|J_{m_1}J_{m_2}\| = \|PJ_{m_2}\| \quad \text{式(3)}$$

$$\Delta J_{s_0}J_{s_1}J_{m_1} \sim \Delta J_{m_1}J_{m_2}P \quad \text{式(4)}$$

2.3 チェビシェフ・平行リンク機構

チェビシェフ・平行リンク機構は、2.1 と 2.2 で述べたチェビシェフリンク機構と平行リンク機構を組み合わせたものである(図3)。

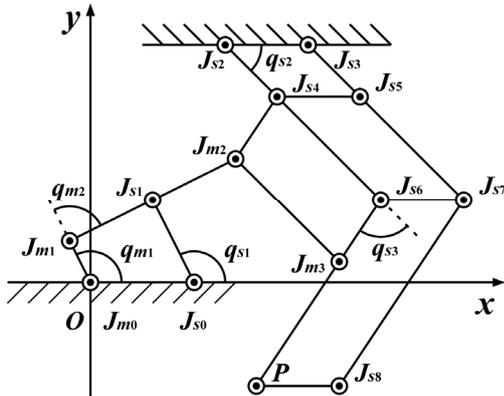


Fig. 3 Chebyshev Links and parallel linkage

D 字の軌跡を描く点 J_{m_2} を中心として、線分 $J_{s_2}J_{m_2}$ 上に点 P を $\|J_{m_2}J_{s_4}\|:\|J_{m_2}J_{m_3}\|$ の比率で射影する。また、平行リンク機構の外側に対して、さらに平行リンクが接続されている。これは、地面に対して足裏を水平を保つためである。

3. 順運動学のシミュレータ

3.1 順運動学の導出

シミュレータを作成するために必要となる各特徴点を順運動学を用いて算出する。特徴点の一部を式(5)~(10)に示す。

$$J_{m_1}(x_{m_1}, y_{m_1}) = (l_{m_1} \cos q_{m_1}, l_{m_1} \sin q_{m_1}) \quad \text{式(5)}$$

$$J_{m_2}(x_{m_2}, y_{m_2}) = (l_{m_1} \cos q_{m_1} + l_{m_2} \cos(q_{m_1} - q_{m_2}), \\ l_{m_1} \sin q_{m_1} + l_{m_2} \sin(q_{m_1} - q_{m_2})) \quad \text{式(6)}$$

$$J_{m_3}(x_{m_3}, y_{m_3}) = ((l_{m_3} + l_{s_4}) \cos q_{s_2} + l_{s_4} \cos(q_{s_2} + q_{s_3}) + x_{s_2}, \\ (l_{m_3} + l_{s_4}) \sin q_{s_2} + l_{s_4} \sin(q_{s_2} + q_{s_3}) + y_{s_2}) \quad \text{式(7)}$$

$$J_{s_4}(x_{s_4}, y_{s_4}) = (l_{s_4} \cos q_{s_2} + x_{s_2}, l_{s_4} \sin q_{s_2} + y_{s_2}) \quad \text{式(8)}$$

$$J_{s_6}(x_{s_6}, y_{s_6}) = ((l_{m_3} + l_{s_4}) \cos q_{s_2} + x_{s_2}, (l_{m_3} + l_{s_4}) \sin q_{s_2} + y_{s_2}) \quad \text{式(9)}$$

$$P(x_p, y_p) = ((l_{m_3} + l_{s_4}) \cos q_{s_2} + (l_{m_3} + l_{s_4}) \cos(q_{s_2} + q_{s_3}) + x_{s_2}, \\ (l_{m_3} + l_{s_4}) \sin q_{s_2} + (l_{m_3} + l_{s_4}) \sin(q_{s_2} + q_{s_3}) + y_{s_2}) \quad \text{式(10)}$$

3.2 シミュレーション

実際に作成したシミュレータの動作画面を図4に示す。シミュレータを用いることで、実際のモータ速度で動的なシミュレーションが可能となり、チェビシェフリンク機構と平行リンク機構の衝突が発生しない位置関係を見つけ出すことが可能となった。

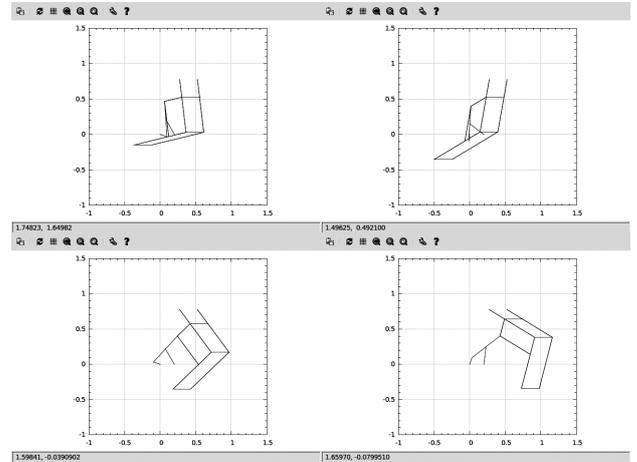


Fig. 4 Simulation

4. 結言

本研究では、チェビシェフ・平行リンク機構の順運動学を導出し、シミュレータを構築することで、2つのリンク機構が干渉しない位置関係を導き出した。本研究で導き出したチェビシェフ・平行リンク機構の特性を以下に示す。

- チェビシェフリンク機構を歩行に利用するためには、回転運動の一部が直線運動に変換される必要があり、その場合の比率が一意に決まる。
- 平行リンク機構は、リンクで構成される平行四辺形の隣り合う2辺の比率が拡大射影される比率となる。
- チェビシェフ・平行リンク機構の平行リンク部分はリンク固定部とチェビシェフリンクと平行リンクの結合点でできる線分上に足先が拡大射影される。

今後は、足先の軌跡を制御するために、チェビシェフ・平行リンク機構の逆運動学を求め、シミュレータを構築する予定である。また、最適なモータを選定するために、モータへの最低必要トルクも算出する予定である。

文献

- (1) NHK ENTERPRISES. INC., “高専ロボコン公式サイト”, <http://www.official-robocon.com/jp/kosen/kosen2011/index.html>.
- (2) 西野 智路, 小林 義和, 田中 将樹, “秋田高専におけるロボットコンテストの取り組みと課題”, 秋田工業高等専門学校研究紀要第46号(2011), pp.90~94.