

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 9 日現在

機関番号：15301

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2014～2016

課題番号：26820088

研究課題名(和文) パラレルリンク機構の力学特性解析とマニピュレータ用新型エンドエフェクタへの応用

研究課題名(英文) Mechanical properties analysis of parallel link mechanism and its application to new end-effector of robotic manipulator

研究代表者

松野 隆幸 (Matsuno, Takayuki)

岡山大学・自然科学研究科・准教授

研究者番号：50377842

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 1,600,000円

研究成果の概要(和文)：小型部品同士の接触を伴う組立作業をロボットで実現する、新しい機構のエンドエフェクタを開発することが本研究の目的である。小型部品の組立作業は現在向上において自動化は重要である。そこで、デルタ型パラレルリンク機構を利用したエンドエフェクタを開発することを目的として、機能を実現するエンドエフェクタの形状と運動学、ヤコビアンの情報に基づきパラレルリンク機構のリンク長に関する考察をおこなった。

研究成果の概要(英文)：The purpose of this research is to develop an end-effector of a new mechanism that realizes the assembling work involving the contact between small parts with a robot. Automation is important in the improvement work of assembling small part. In order to develop an end-effector using the delta-type parallel link mechanism, we considered the link length of the parallel link mechanism based on both kinematics of the end-effector and Jacobian of it.

研究分野：メカトロニクス

キーワード：パラレルリンク

1. 研究開始当初の背景

小型部品同士の接触を伴う組立作業をロボットで実現する、新しい機構のエンドエフェクタを開発することが本研究の目的である。人間は手先でコンプライアンス制御を実現し、精度の求められる難しい組立作業を巧みな動作でこなしている。製品の組立工場で行われている $10\mu\text{m}$ のクリアランスの部品の組み立ては、通常の人間の手先精度では不可能であるが、鋭い手先感覚を利用することにより実現している。これに対してロボットハンドはこれまでも提案されているが、重要なのは形状の類似性ではなく、機能として、高い自由度、構造的頑健性、そしてバックドライブ性を有することであると考えられる。

2. 研究の目的

これまでのマニピュレータロボットによる接触を伴う作業は、力センサを用いて行われてきた。接触を伴う作業は、一般的な動作よりも難しい。それは、接触している対象が固いものであることが多く、接触と非接触では制御方法を切り替える必要があるためである。特に慣性力が大きく影響を及ぼすほど素早い動作では、接触による機械的なダメージを与える可能性がある。そこで従来環境では、ロボットはこのような作業を実行するときには、比較的遅い動作することが必要であった。しかし、この方法ではロボットの動作の改善を繰り返しても人間の作業精度、作業時間には到底及ばない。特に小型部品の組み付け作業では、部品に比べて力センサ、ロボットマニピュレータとも大きくて頑健であるため、機械的コンプライアンスが期待できない。それに加えて組立部品に比べてロボットが大きく、重いので即応性が期待できないため、力センサのフィードバック制御も部品を衝撃から保護する機能を果たせない。産業用マニピュレータでは各関節の静止摩擦を抜け出し、動作を開始したときのトルクが大きいため、素早く微小な移動を実現するのが困難であり、目標位置に到達するのに時間がかかり、制御性能の低下を招いている。また、変形ひずみを利用する力センサは頑健に作ると感度が低下し、感度を重視すると衝突などの大きな外力による塑性変形の危険性がある。さらに小型の部品の組み立て作業においては、力センサの変形よりも部品の変形ほうが大きくなってしまい、部品の破損や

組立不可能な状態を引き起こしてしまう。

その問題を解決する一つとして図1に示すエンドエフェクタを提案する。本研究では把持機能と XYZ 方向への位置制御機構を有する、デルタ型パラレルリンク機構を基にした6自由度エンドエフェクタを提案する。デルタ機構で六角形の手先フレームを XYZ 方向への平行移動させる。そのフレームに穴を貫通し、その中をフィンガー機構をスライダ拘束するように組み付ける。

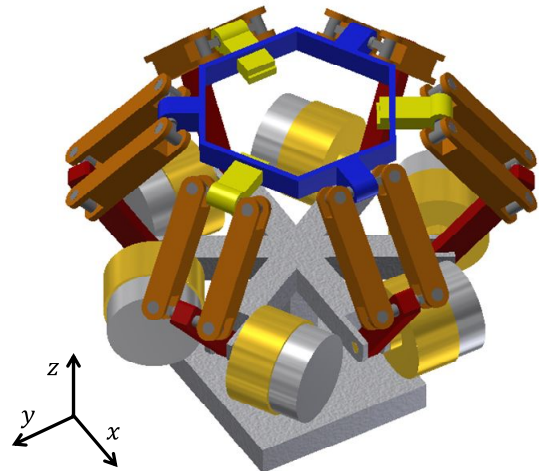


図1 パラレルリンク機構を有する
エンドエフェクタ

3. 研究の方法

提案するエンドエフェクタの逆運動学を求める。図2にエンドエフェクタベース部分の座標系を示す。各リンクに1から3の番号を与え、その第一関節にある能動関節の角度を $\theta_1, \theta_2, \theta_3$ とする。また、リンクパラメータを Fig.8 に示す。ここでは、エンドエフェクタのベースフレーム $\{B\}$ から見た、手先フレーム $\{E\}$ の位置を求める逆運動学を考える。手先の位置に関する拘束条件から式(1)が得られる。

$$l_3^2 = \xi_{xi}^2 + \xi_{yi}^2 + \xi_{zi}^2 \quad (i = 1, 2, 3) \quad (1)$$

ここで添え字 i は関節を示す。式(1)のパラメータは以下のようなになる。

$$\xi_{x1} = x_e + l_4 - l_2 \cos \theta_1 - l_1$$

$$\xi_{y1} = y_e$$

$$\xi_{z1} = z_e - l_2 \sin \theta_1$$

$$\xi_{x2} = \left(-\frac{1}{2}x_e - \frac{\sqrt{3}}{2}y_e \right) + l_4 - l_2 \cos \theta_1 - l_1$$

$$\begin{aligned}\xi_{y2} &= \frac{\sqrt{3}}{2}x_e - \frac{1}{2}y_e \\ \xi_{z2} &= z_e - l_2 \sin\theta_2 \\ \xi_{x3} &= \left(-\frac{1}{2}x_e + \frac{\sqrt{3}}{2}y_e\right) + l_4 - l_2 \cos\theta_1 - l_1 \\ \xi_{y3} &= \frac{\sqrt{3}}{2}x_e + \frac{1}{2}y_e \\ \xi_{z3} &= z_e - l_2 \sin\theta_3\end{aligned}$$

これらを展開して,まとめると式(2)のようになる.

$$\alpha_i \sin\theta_1 + \beta_i \cos\theta_1 = \gamma_i \quad (i = 1,2,3)$$

(2)

ただし,

$$\begin{aligned}\alpha_1 &= \alpha_2 = \alpha_3 = 2z_e l_2 \\ \beta_1 &= 2l_2(x_e + l_4 - l_1) \\ \gamma_1 &= l_2^2 + (x_e + l_4 - l_1)^2 + y_e^2 + z_e^2 - l_3^2 \\ \beta_2 &= 2l_2 \left\{ \left(-\frac{1}{2}x_e - \frac{\sqrt{3}}{2}y_e\right) + l_4 - l_1 \right\} \\ \gamma_2 &= l_2^2 + \left\{ \left(-\frac{1}{2}x_e - \frac{\sqrt{3}}{2}y_e\right) + l_4 - l_1 \right\}^2 \\ &\quad + \left(\frac{\sqrt{3}}{2}x_e - \frac{1}{2}y_e\right)^2 + z_e^2 - l_3^2 \\ \beta_3 &= 2l_2 \left\{ \left(-\frac{1}{2}x_e + \frac{\sqrt{3}}{2}y_e\right) + l_4 - l_1 \right\} \\ \gamma_3 &= l_2^2 + \left\{ \left(-\frac{1}{2}x_e + \frac{\sqrt{3}}{2}y_e\right) + l_4 - l_1 \right\}^2 \\ &\quad + \left(\frac{\sqrt{3}}{2}x_e + \frac{1}{2}y_e\right)^2 + z_e^2 - l_3^2\end{aligned}$$

である.これらの条件から各能動関節の角度 θ_i を式(3)のように得る.

$$\theta_i = \sin^{-1}\left(\frac{\gamma_i}{\zeta_i}\right) - \tan^{-1}\left(\frac{\beta_i}{\alpha_i}\right), \quad (i = 1,2,3) \quad (3)$$

ただし,

$$\zeta_i = \sqrt{\alpha_i^2 + \beta_i^2}, \quad (i = 1,2,3)$$

である.

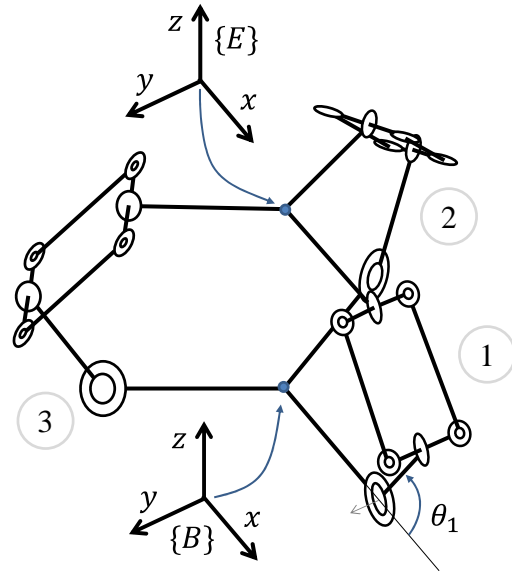


図2 エンドエフェクタベース部分の座標系

前述の逆運動学を用いて,姿勢によるヤコビアンの変化を考える.逆運動学によって得られた $\mathbf{x} = [x_e, y_e, z_e]^T$ と能動関節の角度 $\boldsymbol{\theta} = [\theta_1, \theta_2, \theta_3]^T$ がある.その近傍で能動関節1を微小移動した状態におけるが得られるとき,近似的にヤコビアン要素

$$j_{11} = \frac{\Delta x_e}{\Delta \theta_1}, j_{21} = \frac{\Delta y_e}{\Delta \theta_1}, j_{31} = \frac{\Delta z_e}{\Delta \theta_1}$$

を計算することができる.

ここでこれらの要素は,式(4)で現されるヤコビアン J の要素である.

$$\frac{d\mathbf{x}}{dt} = J \frac{d\boldsymbol{\theta}}{dt} \quad (4)$$

4. 研究成果

z_e 方向の変位に対する θ_1 に関わるヤコビアン要素の変化を図3に示す.ここで $x_e = y_e = 0.01[\text{m}]$ として固定している.また, $l_1 = l_4 = 0.025[\text{m}], l_2 = l_3 = 0.08[\text{m}]$ として計算をおこなった.Fig.8より $z_e = 0.0132[\text{m}]$ までは,手先の位置がベースより離れていくほど,ヤコビアン要素の絶対値は大きくなり,衝突などの外力によって手先位置が移動した場合でも,関節角に対する影響が軽減できることがわかる.このようにパラレルリンク機構においてリンク長が性能に影響を与え,特に根元リンクの長さが重要であること

が分かった．これを応用し手先機構の開発を
継続していく．図 4 が製作したエンドエフェ
クタである．

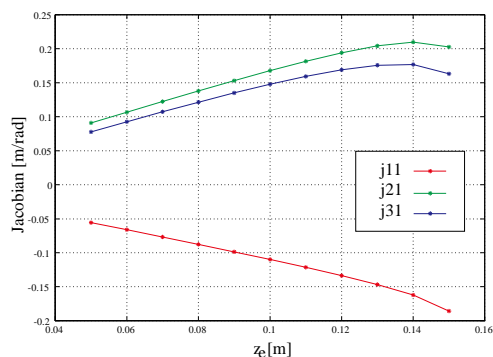


図 3 手先位置とヤコビアンの関係



図 4 本研究で用いたエンドエフェクタ

5 . 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者に
は下線)

〔雑誌論文〕(計 0 件)

〔学会発表〕(計 3 件)

(1) 渡部知俊、ロボットによる柔軟物操作
における複数視点撮影のためのハンドアイ
システム、第 10 回コンピュータショナル・
インテリジェンス研究会、2016 年 12 月 17
日、「富山県民会館 (富山県富山市)」

(2) 松野隆幸、組立作業のためのパラレル
リンク機構を有するエンドエフェクタの提
案 第 2 報リンク長に対するヤコビアン
の影響検証、第 16 回計測自動制御学会シ
ステムインテグレーション部門講演会、2015
年 12 月 14 日、「名古屋国際会議場 (愛知
県名古屋市)」

(3) 松野隆幸、組立作業のためのパラレル
リンク機構を有するエンドエフェクタの提
案、第 15 回計測自動制御学会システムイ
ンテグレーション部門講演会、2014 年 12
月 16 日、「東京ビッグサイト (東京都江東
区)」

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

〔その他〕

6 . 研究組織

(1) 研究代表者

松野 隆幸 (MATSUNO, Takayuki)

岡山大学・大学院自然科学研究科・准教授

研究者番号 : 50377842

(2) 研究協力者

渡部 知俊 (WATANABE, Tomotoshi)