1013 斜板カム機構を用いたロボットハンド用指モジュールの開発

Development of a Robotics Finger Module with a Slant Cam Mechanism

○学 北村 亮二* 正 大西 謙吾** 正 今戸 啓二*** 正 宮川 浩臣**

* 大分大学大学院 工学研究科 福祉環境工学専攻,

** 大分大学 工学部 福祉環境工学科, *** 大分大学 機器分析センター

*Ryoji Kitamura, Dept. of Human Welfare Engineering, Graduate School of Engineering, Oita University, 700, Dannoharu Oita, Oita

**Kengo Ohnishi, Hiroomi Miyagawa, Dept. of Human Welfare Engineering, Faculty of Engineering, Oita University

***Keiji Imado, Center for Instrumental Analysis, Oita University

1. はじめに

本研究では、人間の手に類似し、複数指での作業を可能にする新しい指モジュールの開発と指の動作制御手法についての研究を進める。①ロボットハンドの指先は、対象物と接触し運動を伝える機構と運動を感知する感覚機能を備え合わせた設計が必要となる。②その際、センサと関節駆動メカニズムをシステムとして捉えた設計が必要であり、その為に把持の機能表現を基にした流れが必要である^[1]。本研究では、人間の手作業において指先の器用さが求められ複数指でなければ困難な作業である「結び」の動作を取り上げ、その手指の動作解析から指モジュールの機能要件を調査し、モジュールの基本仕様の設定と実機の設計を行った。そして結び動作における指の機能要件を達成するため、指関節駆動部に斜板カムを用いた伝達機構を考案した。本文では、特にその構造と設計手法、伝達特性の評価について報告する。

2. 手指の動作検証とモジュール機能要件

指モジュールの開発にあたり、モジュール機能要件の調査と基本設計仕様の設定を行うために、結び動作における手指の動作検証を以下の項目に絞って行った。

- 1) 必要な指の種類とその関節自由度数
- 2) 指先に必要な最大保持力
- 3) 指同士の接触範囲、接触パターン

動作検証の結果より、Fig.1に機能要件と基本設計仕様を整理した。動作検証は、直径 $\phi 6\text{mm}$ 、長さ500mmの綿紐を使用し本結び操作を行った場合のものである。

指モジュールの機能要件	基本設計仕様
紐を保持したまま結びの操作が行える	指構成 = 拇指, 示指, 中指
DIP/PIP関節とMP関節が独立して屈伸可能	DIP/PIP関節作動範囲 = 90° MP関節作動範囲 = 90°
紐締め上げ時に指先端の反力を保持	紐操作時 = 1.0N以下 紐締め上げ時 = 最大30N
指の腹部同士の接触(つかみ)	MP内外転関節
指側面の接触(はさみ)が必要	作動範囲 = $\pm 20^\circ$

Fig.1. Necessary Function and Specification of The Finger Module

指先端にかかる負荷は、紐の保持や操作時ではなく、結び目の絞め上げ時にかかる反力が最大になることが確認された。機能要件上の課題の一つとして、紐締め上げ時に指先端にかかるこの反力を考慮しなければならない。今回直径 $\phi 6\text{mm}$ の綿紐を使って結び目を作った場合、最大3kgfの力がかかった。この力をアクチュエータの出力で指先端に発生させて押さえる場合、アクチュエータ部の小型化が難しくなる。本研究では、大きな出力は腕のアクチュエータに依存するものとし、指の関節機構は固定することで指先に力を伝える機構とした。つまり、指モジュールの仕様として物体を操作する力と保持する力を分けて考えることとし、この課題を解決して行くための具体的な手段の検討を行った。

3. 斜板カム伝達機構の構造

本指モジュールの関節機構に採用した斜板カム伝達機構をFig.2に示す。DCモータに直結されたカムシャフトの回転により、相手側指関節支点に取り付けられた半円柱型カムドッグを揺動回転させ、これを指関節の動作とするものである。特徴として指関節回転方向に対して、斜板カムとカムドッグが指の回転を拘束するように接触しながら回転する。この特性により、物体保持時に指先端からかかる反力を、モータのトルクによって保持させず斜板カムによって保持(トグル)させることができる。本モジュールの機能要件の一つである紐締め上げ時の指先端反力の保持は、この斜板カムの特性を利用する。

Fig.2. Principle of The Slant Cam Transmission Mechanism

4. 指モジュールのモデリング

求められる機能要件から、指モジュール全体での設計、解析を行うために、三次元 CAD ソフト Solid Works を使用してメカ機構の最適化を図った。モジュールの基本レイアウトを構築するために同ソフトの機能を使い、作動範囲の検証や干渉確認、カムドッグの形状検討を行った。その過程で部品レベルでの重量値の算出、各関節支点に対する指の重心位置の設定及びトルク、慣性モーメントを計算し、指モジュールとしての動作特性が向上する方向に最適化を図った。Fig.3 に設計したモデル形状を示す。

Fig. 3. Construction of The Finger Module on The 3D CAD

5. 斜板カム機構の伝達特性

モータ回転角度 θ_{motor} と指関節角度 θ_{cam} の関係を調べるために、作成した指モジュールのモデルを使い、Solid Works 上で指関節の運動学モデルを作成した。この運動学モデルを用いて、 θ_{motor} を与え、指関節角度の計算を行うシミュレーションを進めた。

モータ回転角度 θ_{motor} と指関節角度 θ_{cam} のシミュレーション結果を Fig. 4 に表した。グラフは 360° を 1 周期とする波形となり、モータを一定速度で回転させた時の指関節が加減速しながら動作していることがわかる。結果、プーリや歯車などの伝達機構と異なりモータと指関節の回転比が一定でないため、この動作を表す関係式を求めてモータの制御に用いる必要がある。グラフが周期関数であることから、有限フーリエ変換を用いた補間三角多項式^[2]を使い、Solid Works の数値データを用いて近似式を求めた。以下に本近似計算に使用した式を示す。

$$f_n(\theta) = \frac{1}{2}a_0 + \sum_{k=1}^n (a_k \cos k\theta + b_k \sin k\theta) \quad (1)$$

ここで、 $f_n(\theta)$ は指関節角度 θ_{cam} を、 θ はモータ角度 θ_{motor} 、 n はデータ数を表す。また a_k, b_k は以下の式から算出した。

$$a_k = \frac{1}{n} \sum_{j=0}^{2n} f\left(\frac{j\pi}{n}\right) \cos \frac{jk\pi}{n} \quad (2)$$

$$b_k = \frac{1}{n} \sum_{j=0}^{2n} f\left(\frac{j\pi}{n}\right) \sin \frac{jk\pi}{n} \quad (k=0,1,2,\dots,n) \quad (3)$$

上式は補間近似のため、計算結果を理論値である Solid

Works から算出した値と比較し、誤差の度合いを調べた。近似計算では $n=18$ ($0 \sim 360^\circ$) として、実際に計算した値と Solid Works 値を Fig. 5 にて比較した。近似式の誤差は最大で $5/100$ ($\theta_{\text{motor}}=180^\circ$) であり、平均誤差は約 $2/100$ になった。このことから、この近似式を用いたモータの回転角制御に十分適用可能であることを確認できた。

Fig. 4. Finger Joint Angle to The Motor Angle

Fig. 5. Comparison of Solid Works and Approximation Formula

6. おわりに

本研究では、紐結び操作における手指の動作解析から、指モジュールに求められる機能要件を定量化し、その要件を満たすための方法として斜板カム機構を提案した。また三次元 CAD 上での指のモデリングとカム伝達機構の動作解析から、モータ回転角度に対する指関節角度の関係を導いた。今後は指モジュール実機の製作を進めるとともに、カムの駆動波形の近似式を使った指モジュールの動作制御の実験を進め、機能要件と設計仕様に対する実機の評価を行っていく。

謝辞

本研究は、大分県工業団体連合会の共同研究助成金賛助の基に行われたものである。

参考文献

- [1] 大西 謙吾, 宮川 浩臣, 斉藤 之男, 人間型ロボットハンドの機能設計と自由度に関する研究, 第 18 回ライフサポート学会講演予稿集 P90
- [2] 森 正武著, 数値解析, 共立出版, 1990