

板バネ関節および劣駆動機構を有するロボットフィンガ

Underactuated Robot Finger mechanism with leaf spring

○神川康久 (慶応大) Martijn Wisse(デルフト工科大) 正 前野隆司 (慶応大)

Yasuhisa KAMIKAWA, Keio University
Martijn WISSE, TU Delft
Takashi MAENO, Keio University

This paper presents the development of simple structure and light weight robot finger which can grasp various shapes of objects by self adapting to their shapes. This finger was designed for grasping object which is used in daily life, in order to use for prosthesis. This finger consists of three phalanges, interconnected by the joints of leaf spring. The three phalanges are driven by a single tendon. First, mathematical model of the finger was constructed in order to optimize dimensional design for distributed forces to each phalanx. Second, finger was made and grasping experiment was made. Finally, the results of maximum ejection force for the finger are presented.

Key Words : Grasping, robot hand, underactuation prosthesis

1. 結 論

近年、人が装着して用いる義手や、果物をつぶさずに把持し、もぎ取るためのロボットハンドなど、高度な操り動作は必ずしも必要でないが、単純な機構で様々な物体を適切に把持することのできるハンドの需要が高まっている。このような義手やロボットハンドでは、多数のアクチュエータを配して複雑な操り動作を実現することよりも、いかにして少ない数のアクチュエータで安定な把持を実現するかが重要である。このため、簡単な構造および制御機構を持つ劣駆動ロボットハンドの開発が望まれている。劣駆動機構とは、アクチュエータの数が自由度の数よりも少ない機構のことである。Schuermansらは、1つのアクチュエータを用いて3自由度運動を行うことのできるロボットハンドの開発を行った¹⁾。しかし、1関節につき3つのプーリーを用いることおよびフィンガを開くためのバネが必要であることから、構造が複雑かつ質量が大きくなるため、実用化には至っていない。フィンガの関節部分にプーリーではなく板バネを用いれば、関節自身にバネによる復元力を持たせることができるため、実用化を目指した簡単かつ軽量の構造のロボットハンドを開発できると考えられる。このため、本研究では、関節に板バネを用いて1つのアクチュエータで3自由度運動を実現する劣駆動ロボットフィンガの開発を行うことを目的とする。

2. 概念設計

図1に示すように、フィンガの関節に板バネを用いることにより、バネの復元力と関節の機能を併せ持った軽量かつ簡単な構造の関節を実現する。すなわち、図1に示す回転可能なレバーを用いることにより、Schuermansらがプーリーを用いることにより実現した劣駆動の機能をフィンガに持たせる。まず、図1に示す張

力 T を腱に加えると、MP関節が駆動し、指骨部1が対象物と接触する。次に、対象物が拘束条件となり、レバー1が回転を開始し、PIP関節が駆動を開始する。そして、指骨部2が対象物と接触し、レバー2が回転を開始し、DIP関節が駆動することにより対象物を包み込むように把持可能である。また、対象物を把持する際、あらゆる関節角度において、レバーに加える張力が3つの指骨の対象物に加える力 F_1 、 F_2 、 F_3 を適切に配分することが重要である。これより、本フィンガにおいては、レバーの回転中心とレバーに働く張力の距離が変化すると指腹部に加わる力が変化することを利用し、3つの指腹部に適切に力を配分することが可能であると考えられる。以上のように、図1に示す機構の概念設計を行った。

3. 詳細設計

本フィンガは把持を目的とするため、MP関節およびDIP関節の可動域が 45° 、PIP関節の可動域が 90° となるようなフィンガ

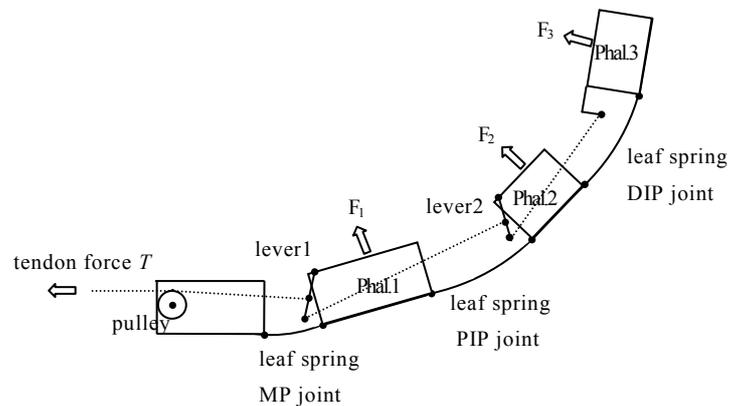


Fig.1 Overall finger model

の設計を行う。また、対象物を把持可能な力のつりあいを実現するため、図 1 に示す指骨部に加わる力 F_1 , F_2 , F_3 が適切な比の範囲に入るように設計を行う。なお、本研究では、適切な比の範囲を 1:5 程度とした。まず、関節を曲げた際に板バネが塑性変形しない長さを考慮して、板バネの長さを設定した。また、ヒト指の長さおよび厚みを模倣して、指骨部の長さおよび厚みを設定した。さらに、前述したフィンガの可動域を満たすことが可能なレバーの位置を設定した。最後に、力解析を行う数学モデルを構築することにより、力 F_1 , F_2 , F_3 が適切な比の範囲に入るようレバー上の腱の位置を探索した。

数学モデルの構築には Matlab を用いた。また、モデル構築の際、板バネが円弧に変形すること、板バネの復元力が 0 および接触点がモーメントのつりあう点に生じることを仮定した。腱 (ワイヤ) の位置の探索には、Matlab の非線形計画法を用い、探索する変数には腱の位置パラメータを用いた。さらに、力 F_1 , F_2 , F_3 が均等で大きく、正の値をとる際に評価関数 c が小さくなるように評価関数の

設定を行い、評価関数が最小となる腱の位置の探索を行った。評価関数 c は、

$$c = A \cdot \left(\sum_{j=1}^N \sum_{i=1}^3 (F_{i,j} - \bar{F})^2 \right) - B \cdot \bar{F}^2 + \sum_{j=1}^N \sum_{i=1}^3 p$$

とした。 $F_{i,j}$ は各関節角度における指骨部 i に加わる力、 A および B は重み関数である。また、 p が負の際には $p = C(1 + F_{i,j}^2)$ となり、 p が正の際には $p = 0$ となる。 C は重み関数である。

以上より決定した形状パラメータのフィンガにおける力解析結果の 1 例を図 2 に示す。 F が指骨部に加わる力、 T が張力を示し、各関節角度における力 F_1 , F_2 , F_3 の変化を示している。ほぼ全ての関節角度において力が正の値をとり、3 つの指骨部に力が配分されていることがわかる。これより、3 つの指骨部が対象物と安定に接触を保つような把持が可能であると考えられる。

4. フィンガの製作および評価

まず、3 章で決定されたパラメータをもとにフィンガの製作を行った。フィンガ 1 本の質量は 28g であり、フィンガ 2 本を有する Schuurmans らのロボットハンドが 267g であることと比較しても、非常に軽量であるといえる。次に、製作したフィンガの評価実験を行った。実験には直径 45mm および直径 64mm の 2 種類の大きさの円柱を把持対象として用いた。図 3 に示す方向に荷重 W を加え、フィンガが指先を開かずに対象物を把持することのできる最大の荷重を測定した。フィンガに加える張力と把持可能な最大荷重の関係を図 4 に示す。 T はフィンガに加える張力、 W_{max} はフィンガが対象物を把持できる最大荷重を示す。

図 4 より、張力 T が 5N から 20N へと増加するに従い最大荷重 W_{max} も増加し、両円柱とも 3N の荷重に耐えられることがわかった。これより、本フィンガの握力把持の有効性を確認した。

以上のように、研究により、様々な形状の対象物の把持を目的とした、従来よりも軽量かつ簡単な構造のロボットハンドを製作できることを示した。

5. 結論

様々な形状の対象物を把持可能な劣駆動ロボットフィンガの開発を行った。関節に板バネを用いることにより、フィンガの単純化および軽量化を実現した。また、回転可能なレバーを用いることにより、フィンガに 3 自由度を持たせることおよび各指腹部に加わる力の配分を変化することが可能となった。各指腹部に加わる力の配分を計算するための数学モデルを構築することにより、フィンガの形状パラメータの探索を行った。そして、フィンガを製作し、フィンガが把持可能な最大荷重を測定した。これより、様々な形状の対象物を把持することが可能なロボットハンドを製作できることを示した。

参考文献

- (1) Jasper Schuurmans, Optimization and design in underactuated robotic grasping, Technical University of Delft M.Sc.Thesis, (2006)

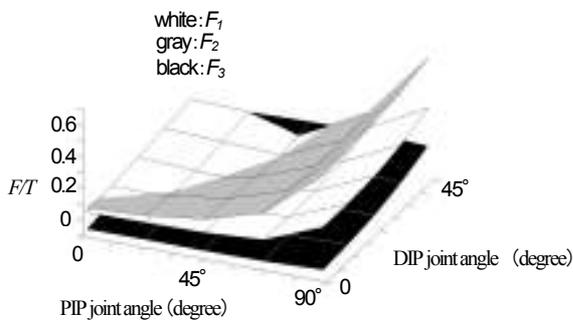


Fig. 2 Force analysis of finger model

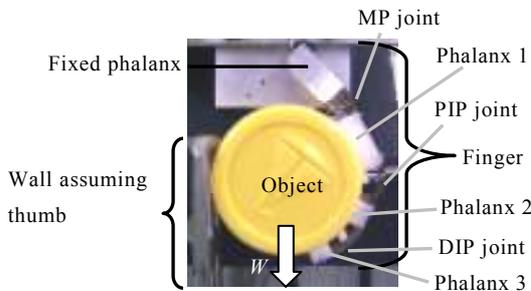


Fig. 3 Grasping experiment of large circle

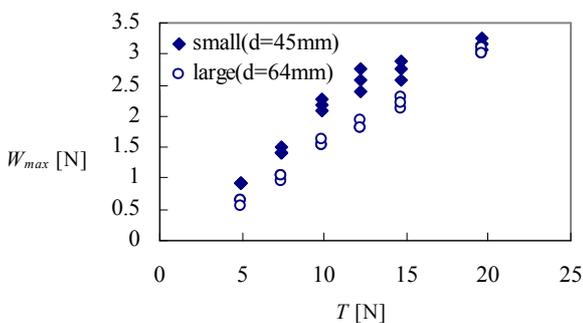


Fig. 4 Result of grasping experiment