

ロボットハンドのための手指動作の解析および系統的分類

Analysis and Systematic Classification of Human Hand Movement for Robot Hand

○学 二宮 健 (慶大) 正 前野 隆司 (慶大)

Takeshi NINOMIYA, Keio University, fr031665@hc.cc.keio.ac.jp
Takashi MAENO, Keio University

The systematic classification method of hand motions, which indicates the minimum mechanism of robot hands, is suggested. The performance of existent robot hands is not as high as that of human hands because the performance of existent actuators does not come up to that of human muscle in the same volume. It is important for robot hands to accomplish aimed tasks with their minimum mechanism. Human hand motions are analyzed quantitatively in consideration of robot hand mechanisms such as engagement mechanism of DIP joint and PIP joint. According to the results of analyses, three items, that is, needed fingers, joints which need to be set up actuators and fundamental movements which we define in this study are got. Moreover, the figure of systematic classification of human hand movement for robot hand by three items is created.

Key Words: Robot Hand, Hand Motion, Mechanism

1. 背景と目的

近年、ロボットの応用分野の拡大に伴い、高い作業能力、汎用性および社会親和性がロボットに求められている。このため、人間の手指を模倣したユニバーサルハンドの研究が盛んに行われている。しかし、ユニバーサルハンドの実用例は極めて少ない。これは、人間の手指と同等な指の本数・自由度およびサイズを有するハンドが実現されていないためである。アクチュエータの単位体積当たりの性能は筋肉に及ばない。このため、指の本数・自由度を重視したハンドは、アクチュエータの占める体積が大きくなり、大型化する。一方、サイズを重視したハンドは、多数のアクチュエータを配置することができないため、指の本数・自由度が不足する。この問題を解決するため、必要最小限の機構により、目的の作業を行うことが重要となっている。これを実現するには、手指動作を行う際にどの指のどの自由度を用いるかを把握する必要がある。つまり、人間の手指動作に関する知見が不可欠である。手指動作を分類した研究は数多く存在する⁽¹⁾⁻⁽³⁾。しかし、いずれの分類法も定性的であるため、必要最小限の機構を具体化させる指標にはなっていない。手指の自由度に着目した分類法も存在するが、ハンドの設計に適用するには不十分である⁽⁴⁾。このため、本研究では、手指動作の計測および解析結果に基づいて手指動作を定量的に分類することにより、ユニバーサルハンドの必要最小限の機構を示すことを目的とする。

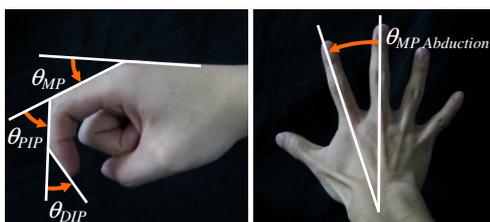
2. 系統的分類法の提案

ユニバーサルハンドには、アクチュエータの体積による制約を回避するための様々な機構が存在する。例えば、指を1、2本省略したもの、複数の指を屈伸方向および内転・外転方向に並列運動させたもの、DIP関節をPIP関節に対して従属運動させたものが挙げられる。一方、体積および重量に制約を設

けず、指および関節を全て再現したハンドもある。このため、同じ指の本数もしくは自由度を有する2つのハンドでも、可能な手指動作の種類が同じとは限らない。本研究では、Fig. 1に示す2つの基本動作およびFig. 2に示す3つの準基本動作を「基本動作群」と定義する。「曲げ」および「内転・外転」は、関節の従属運動により1つのアクチュエータで可能となるハンドの最も基本的な動作である。このため、この2つを基本動作と定義する。また、「押し付け」「吊り上げ」「擦り上げ」は、「曲げ」の自由度および関節可動域の拡張により可能となるため、準基本動作と定義する。指、自由度および基本動作を拡張することにより、ハンドが実現可能な手指動作は、少ない指の本数・自由度で行いうる低次のものから、多くの指の本数・自由度を要する高次のものへと発展する。このように、手指動作は系統的に派生していき、全ての手指動作は1つの体系を成すと考えられる。このため、手指動作を行う際「用いる必要のある指」、「アクチュエータを配置する必要のある関節位置」および「基本動作群」の3項目を求めることにより、高次および低次の手指動作間の関係を見出し、全ての手指動作を系統的に分類することが可能である。手指動作の計測および解析に基づいてこれら3項目を決定することにより、定量的な系統的分類を行うことができる。

3. 手指動作の解析および系統的分類

手指動作として計測するタスクとしては、従来研究から39の日常動作を選定した⁽¹⁾⁽²⁾。提案した分類法には関節角度を用いるため、Immersion社製のCyberTouchおよび画像による計測を行った。CyberTouchは、手指の関節角度を計測するデータグローブである。本研究ではFig. 1に示す関節角度の計測を行った。本計測環境におけるCyberTouchの計測誤差は最大4.89°であり、関節の動きの計測に十分であることを確認した。



Bend Adduct-Abduct
Fig. 1 Fundamental movements



Push Roll Up Rub Up
Fig. 2 Quasi-fundamental movements

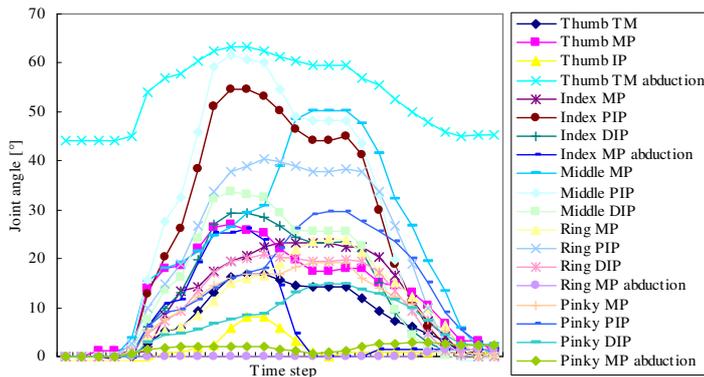


Fig. 3 An example of measuring result “Small Cylinder Rotation”

手指の動かし方が複数考えられるタスクの場合は、以下に行う解析の結果、最も低次となる動作を採用した。ただし、人間は手掌に関節を持つが、これを再現したハンドは稀なため、手掌は金属板により固定した。計測結果の例として、ドライバを回すような動作である「Small Cylinder Rotation (小円筒回し)」の履歴を Fig. 3 に示す。

計測結果に対して以下の解析を行い、系統的分類に要する「用いる必要のある指」「アクチュエータを配置する必要のある関節位置」「基本動作群」を求めた。まず、どの関節を使用したのかを判定した。関節の運動範囲が CyberTouch の誤差の最大値 4.89° 以下の場合、その関節は不使用とみなし、1 つでも使用した関節がある指は「用いる必要のある指」とみなした。ただし、観察によりタスク遂行のために不必要と判断した指は除外した。次に、指の並列運動とみなせるか否かを判定した。すなわち、関節角度変化の類似度が 0.95 以上となった複数の指による屈伸運動および内転・外転運動は、1 つのアクチュエータで駆動できる並列運動とみなした。さらに、関節の連動運動とみなせるか否かを判定した。PIP 関節に対する DIP 関節、MP 関節に対する PIP 関節等に関して、一定の線形性が認められた場合、これらの関節は 1 つのアクチュエータによって駆動できるとみなした。ここまでの解析により「アクチュエータを配置する必要のある関節位置」が判明した。最後に、手指動作に「基本動作群」内のどの動作が用いられているかを判定した。判定は、基本動作のサンプルデータおよびタスクの計測データの DP (Dynamic Programming) マッチングにより行った。ただし、DP マッチングとは、動的計画法を用いて 2 つの同系列データの要素間の最適対応付けを行い、データ間距離を求める手法である。上記の解析結果を用いて、系統的分類を行った。結果の一部を Fig. 4 に示す。各枠が各手指動作を表し、枠の上半分にある 20 の区分は関節位置に対応する。縦に並ぶ区分は、4 区分で 1 指を表し、枠の左側が母指である。区分の色は、アクチュエータを必要とする関節位置、および基本動作群のどの動作が行われたかを表す。破線は連動運動、連結は並列運動を表し、破線および連結で結ばれた区分は、全て 1 つのアクチュエータで駆動できることを示す。Fig. 4 では、例えば、「Fist (握り拳)」は「Scratch (ひっかけ)」で必要となる関節位置を包含しているため、前者が高次、後者が低次となり系統化される。つまり、「Fist」を行いうるハンドは、「Scratch」も可能である。さらに、そのハンドが母指 MP 関節にアクチュエータを有する場合、小さい対象物を摘む「Small Pinch (小摘み)」も行いうることがわかる。「Fist」は母指を除く 4 指も用いているが、これらは 1 つのアクチュエータにより駆動されるため、「Small Pinch」との包含関係は成立する。このようにして、目的とする手指動作まで系統を辿ることにより、必要最小限の機構がわかる。

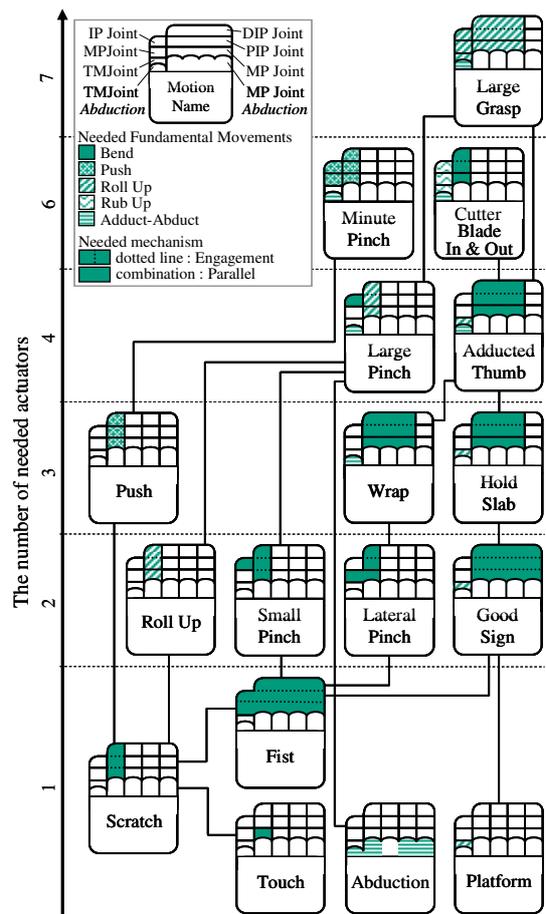


Fig. 4 A part of systematic classification

また、母指を内転させて筒状の物体を握る「Adducted Thumb (内転握り)」を行いうるハンドは、系統下に存在する「Hold Slab (板抱え)」、「Good Sign (グッドサイン)」、手掌面で平板を支える「Platform (手掌支え)」、手指を横に開く「Abduction (横開き)」、「Fist」および「Scratch」が可能であることがわかる。このようにして、ハンドがある手指動作を行いうる場合、系統下の手指動作も可能であることを確かめることができる。さらに、系統的分類図全体を見ることにより、多くの手指動作において母指および示指が必要となること、中指、環指および小指を屈伸方向に並列運動させることが有効であること、および、小指の重要度はあまり高くないこと等を確認することができる。

4. 結論

手指動作の計測および解析に基づく、手指動作の系統的分類法を提案した。提案した分類を行うことにより、ユニバーサルハンドに求められる必要最小限の機構、および、ユニバーサルハンドが行いうる手指動作を評価する指標を示した。

文献

- (1) Cutkosky, M. R., "On Grasp Choice, Grasp Models, and the Design of Hands for Manufacturing," *IEEE Transactions of Robotics and Automation*, Vol.5, No.3, pp.269-279, 1989.
- (2) 鎌倉矩子, "手のかたち 手のうごき", 医歯薬出版, 1989.
- (3) Kang, S. B., Ikeuchi, K., "Toward Automatic Robot Instruction from Perception-Recognizing a Grasp from Observation," *IEEE Transactions of Robotics and Automation*, Vol.9, No.4, 1993.
- (4) Yamashita, T., Mori, M., "Engineering Approaches to Function of Fingers," 東京大学生産技術研究所報告, Vol.13, No.3, pp.1-51, 1963.