

平成22年5月10日現在

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2007～2009

課題番号：19300069

研究課題名（和文）

柔軟なバイオニックハンドによる適応的マニピュレーションの獲得

研究課題名（英文）

Adaptive Manipulation by Compliant Bionic-Hand

研究代表者

細田 耕（HOSODA KOH）

大阪大学・工学研究科・准教授

研究者番号：10252610

研究成果の概要（和文）：

本研究課題では、筋肉によって駆動される骨とそれを覆う柔らかい皮膚、そして皮膚に埋め込まれた多種の受容器を持つヒトの手に酷似した構造を持つバイオニックハンドを開発した。このハンドを使った実験によって、ハンドの優れたセンサ特性や柔軟性を利用した観測の安定性が示され、また人工筋によって実現されるやわらかい動作によって経験を通した適応的なマニピュレーションが学習できることが示された。

研究成果の概要（英文）：

This project realizes Bionic hand, a human-like hand that has soft skin with distributed receptors of several kinds and is driven by artificial pneumatic muscles. Experiments are conducted to demonstrate the sensing capability and stability of the hand by utilizing its structure and motion generated by flexible artificial muscles as well, and learning adaptive manipulation through experiences.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	5,600,000	1,680,000	7,280,000
2008年度	4,000,000	0	4,000,000
2009年度	3,500,000	0	3,500,000
年度			
年度			
総計	13,100,000	1,680,000	14,780,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学 知覚情報処理・知能ロボティクス

キーワード：バイオニックハンド、人間型ハンド、柔軟ハンド、適応的把持、干渉駆動、物体識別、空気圧拮抗駆動

1. 研究開始当初の背景

これまで、人間の形態を模したさまざまなロボットハンドが開発されてきたが、これらのハンドの物体操り能力は、人間のそれに比べるとはるかに低いといわざるを得ない。そ

の原因はさまざまであるが、最も重要なのは、

- ロボット指のセンシング能力が人間のそれに比べて圧倒的に低いこと、
- ロボット指がモータで連結された金属部品で構成されており、硬いこと、

であると考えられる。第一の点(a)について、既存の研究では実装や解析の都合上、硬い指先の表面上に受容器を整列させており、高々接触位置が検出できるのみで、力については指の取り付け部の根元に改めて力センサを配置するケースがほとんどであった。近年、シリコンなどのやわらかい素材にセンサ素子を埋め込んで触覚センサを作り、センシング能力を高める研究が進んでいるが、人間のそれに比べるとまだ低いといわざるを得ない。また第二点(b)に関しては、関節部に直接ギア減速されたモータを配置し、駆動するハンドの場合、ギアを用いることによって精度が確保される半面、柔軟性が存在しないため、例えば対象になじむような把握を実現することは困難である。なじみ把握を実現するために、関節部に拮抗に配置されたワイヤを用い、干渉を巧妙に利用することにより対象物の形状に適応するさまざまなハンドの機構が提案されているが、アクチュエータまで柔軟なものを用いる研究はまだほとんど行われていない。

2. 研究の目的

本研究の目的は、拮抗駆動を用いたハンドの適応能力とセンシング能力の高い皮膚を組み合わせることで、対象物を把持することにより認識し、認識することによって適応把持を可能にするバイオニックハンドを構成することである。そして、構成されたハンドを用いて、その物体識別能力や操作能力が、既存のハンドを凌駕することを示す。

3. 研究の方法

以下の4つの段階にそって研究を進める。

(1) 適応的なロボットハンドの設計と試作

拮抗に配置されたワイヤを用い、対象物に「なじむ」掴み動作が可能なハンド機構を設計する。設計においては、ハンドの頑健性を確保するために、できるだけ少ないアクチュエータ数で、指の幾何学的配置を考慮することにより、人間と比較してある程度の自由度を確保する。また、関節部の弾性を実現するために、空気圧シリンダとワイヤを用いた拮抗駆動機構を採用する。このロボットハンドに搭載可能なシリコンの多層構造を持つセンシング能力の高い皮膚を設計、試作する。

(2) センサ信号とモータ信号の統合

センサ素子はランダムに埋め込まれている上に、これらの素子から得られる信号と、ハンドの「なじみ動作」によって得られる対象物の形状にかかわる情報との間に存在する関係は、あらかじめ設計者が同定するには複雑であるので、学習を通してこれらを統合し、さまざまな対象

物の表現を獲得する手法を開発する。[4]でつまみ動作を実現したヘップ学習をもとに、これを掴み動作へと拡張する予定である。また、そのために、あらかじめ柔軟なハンドによるなじみ動作の制御メカニズムを開発する。

(3) 適応的な操りの実現

学習によって得られた対象物の表現をもとに、その対象物を適応的に操る制御法を考案し、適応的な操りを実現する。具体的には、例えば変化する環境へのはめあい作業や、対象の質量などが変化する場合にこれに対処するような把持などを実現する。

(4) ヒトの把持の認知発達に対する構成的理解

本研究で開発されるハンドはヒトのそれにセンサの構造、アクチュエータの構造を似せて作ったバイオニックハンドであり、この構造に必要な情報処理、制御則などをヒトのそれと比較することによって、ヒトの把持の認知発達に対する構成的な仮説設定・理解が可能であると考えられる。特に、筋感覚を含む運動性触覚、ダイナミックタッチと呼ばれる感覚について、近年注目が集まっているが、実際に乳幼児の行動を計測し、ロボットハンドの動きと比較、例えば対象物を振ることによって対象に関するどのようなデータを収集可能であるかなどの、認知発達に関する実験を行う。

4. 研究成果

(1) 適応的なロボットハンドの試作

適応的な把持、操りが可能な人間型柔軟ロボットハンドを試作した。試作したハンドは、

- ワイヤによる干渉駆動を利用し、対象物になじむような動作を実現できる、
- 受容器(ひずみゲージ、PVDF フィルム)が内蔵された人工皮膚に覆われている、
- ワイヤによる拮抗駆動を利用し、また空気圧シリンダによって駆動されるので関節に自然な柔軟性が存在するなどの特徴を持つ。また人間の手に非常に類似した外見を持つ。

また、初年度には空気圧シリンダを用いたワイヤ駆動によって駆動系を実現していたが、駆動系をより柔軟なものとするため、2008年度には空気圧人工筋を実装し、ヒトの構造にきわめて類似したバイオニックハンドを開発した。さらに、2009年度には、手のひらの部分に自由度を追加し、ヒトに近い把持行動がとれるように改良した。

(2) 温度感センサの実装とその応用

ハンドの認識能力を高めるために、指先に温度センサを装備し、また指の内部に熱源を持つような指先を試作した。これを利用して、対象物との伝熱を計ることによって物体の識別能力を向上させた。指先には、温度センサのほかにひずみゲージ、ひずみ速度センサが内蔵されており、これらを協調して利用することにより、物体との接触状態に依存しない物体の識別を可能とした。試作した指先センサによって、木材、アクリル、アルミニウム、マグネシウムなどの材質を識別できることを確認した。

- (3) センサ・モータ統合による物体の識別
開発されたバイオニックハンドによって、対象物を握ったまま、握力を大小させることによって、ハンドの持つ力学的特性と対象物の幾何学の形状・力学的特性などの相互作用から生まれるある種の安定姿勢に収束させ、結果的にセンサ像を物体によって安定に得ることが可能となることを実験的に示した。このような技術を使って、どの程度の物体が識別可能であるか、またセンサの数は極めて多いので、これをどのように圧縮して物体のカテゴリ化を行うかなどの基礎的な実験を行った。

本研究で試作したように、多数の受容器を持つロボットハンドの場合、物体の把持状態の少しの変化が、認識に大きく影響し、安定な観測ができないという問題が生じるが、ここで提案しているような繰り返し把持の戦略を用いることにより、安定な観測が可能であることが実験的に示された。

- (4) 物体の動的認識
繰り返し把持を利用した認識の場合、把持対象物体を認識するまでには、その安定姿勢にたどりつく必要があるため時間がかかってしまう。そこで、リカレントニューラルネットワークを利用することにより、そのセンサ履歴を観測することによって、動的に対象物が認識できることを示した。これによって、より短い時間時間で安定に対象物体を認識することができるようになった。

- (5) ダイナミックタッチに関するロボット実験

乳幼児が把持対象物を認識するためによく用いていると考えられている、筋感覚を含む運動性触覚であるダイナミックタッチについて、バイオニックハンドを含むロボットアームシステムを開発し、対象物を振ったときに得られる感覚につい

て、システム全体として得られる情報を実験により確認し、それを利用した「手ごたえ」感ある物体操作や、手ごたえを基にした物体の識別などの実験を行った。

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 1 件)

[1] Shinya Takamuku, Koh Hosoda and Minoru Asada, "Object Category Acquisition by Dynamic Touch", *Advanced Robotics*, Vol. 22, No. 10, pp. 1143-1154, 2008 (査読有) .

[学会発表] (計 12 件)

[1] 細田, 三浦, 人型筋骨格系を有するロボットアームの二関節筋を利用したリーチング動作, ロボティクス・メカトロニクス講演会, 2009年5月25日, 福岡市.

[2] 高椋, 関本, 山野, 細田, 筋骨格系ロボットアームによる皮膚感覚と筋感覚を利用した運動発見, ロボティクス・メカトロニクス講演会, 2009年5月25日, 福岡市.

[3] 安間, 細田, 柔軟なロボットハンドを用いた揉み動作による物体識別, ロボティクス・メカトロニクス講演会, 2009年5月25日, 福岡市.

[4] 池内, 細田, 人型筋骨格系を有するロボットアームの階層的制御, ロボティクス・メカトロニクス講演会, 2009年5月25日, 福岡市.

[5] 関本, 高椋, 細田, 筋骨格系ロボットアームにおける手応えによる運動学習, 第26回日本ロボット学会学術講演会, 2008年9月9日, 神戸市.

[6] 山野, 高椋, 細田, 馴染み把持を実現する劣駆動人間型ロボットハンドの開発, ロボティクス・メカトロニクス講演会, 2008年6月6日, 岐阜市.

[7] 福田, 細田, 安間, 触覚受容器を内蔵した柔軟な皮膚を持つバイオニックハンドの開発と物体認識, ロボティクス・メカトロニクス講演会, 2008年6月7日, 岐阜市.

[8] 岩瀬, 高椋, 細田, 触覚と温度感覚を持つ人間型柔軟指による材質識別, ロボティクス・メカトロニクス講演会, 2008年6月6日, 岐阜市.

[9] Takamuku, Iwase, and Hosoda, Robust Material Discrimination by a Soft Anthropomorphic Finger with Tactile and Thermal Sense, *IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*, 2008年9月25日, Nice, France.

[10] Takamuku, Fukuda, and Hosoda, Repetitive Grasping with Anthropomorphic Skin-Covered Hand Enables Robust Haptic

Recognition, IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, 2008年9月25日, Nice, France.

[11] Takamuku, Gomez, Hosoda, and Pfeifer, Haptic discrimination of material properties by a robotic hand, 6th International Conference on Development and Learning, 2007年7月11日, London, England.

[12] Takamuku, Hosoda, and Asada, Shaking Eases Object Category Acquisition: Experiments with a Robot Arm, 7th International Conference on Epigenetic Robotics, 2007年11月5日, Piscataway, NJ.

〔図書〕(計 1 件)

[1] 細田, 石黒, 知能の原理—身体性に基づく構成論的アプローチ, 共立出版, 2010, 432 ページ.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

細田 耕 (HOSODA KOH)
大阪大学・工学研究科・准教授
研究者番号: 10252610

(2) 研究分担者

浅田 稔 (ASADA MINORU)
大阪大学・工学研究科・教授
研究者番号: 60151031