

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年 4月30日現在

機関番号：37102 研究種目：若手研究（B）
 研究期間：2010～2011
 課題番号：22760190
 研究課題名（和文） 柔軟ロボット指先による物体幾何形状と物体リンク構造の触覚センシング
 研究課題名（英文） A Tactile Sensing for Estimating the Geometrical Shape and the Configuration of a Linked Object
 研究代表者
 村上 剛司（MURAKAMI KOUJI）
 九州産業大学・工学部・准教授
 研究者番号：80380682

研究成果の概要（和文）：物体の幾何属性を計測可能な、柔軟被覆と6軸力覚センサを持つロボット触覚センサを開発した。その上で、接触点位置と物体エッジ方向の計測に基づき、物体リンクの関節回転軸位置を推定する手法を提案した。提案手法により、物体の幾何形状（物体エッジ方向）とリンク構造（物体の関節回転軸位置）の計測が行えることを実験で確認し、提案手法がロボットハンドへ実装可能な触覚センシング手法であることを示した。

研究成果の概要（英文）：We have proposed a tactile sensing for estimating the location and orientation of a joint-axis of a linked object. This estimation requires sensing of the location of a contact point and the direction of an edge of a linked object as contact information measured by a robotic fingertip. We have developed a robotic fingertip with a force sensor and a soft skin, and it can measure not only the location of a contact point but also the direction of an edge of an object. The estimation of a joint-axis of a linked object is demonstrated by using the soft fingertip.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	2,100,000	630,000	2,730,000
2011年度	1,100,000	330,000	1,430,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,200,000	960,000	4,160,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：機械工学・知能機械学・機械システム

キーワード：知能ロボティクス、触覚センシング

1. 研究開始当初の背景

ロボットで高い作業能力を実現することを目指し、多関節多指ロボットハンドの研究が行われている。人間は手で道具を使用する

ことで、様々な作業を行える。多指ハンドで人間と同じように道具を使用できれば、その作業能力は大きく向上する。しかし、道具の利用には、操作対象、道具、ロボットハン

ドの三者の相対位置姿勢を常時計測する必要もあることもあり、その実現例はほとんどない。特にハサミなど関節を持つ道具は、その使用に関節軸の方向と作業対象との関係を考慮する必要もあるうえ、関節の動きに伴って全体形状が変化することもあり、その使用はより困難となる。例えば、ハサミで紙を切る際には、刃を紙に対して垂直にあてる、すなわち紙面に対してハサミの回転軸を常に平行にしなければならない（図1）。

道具を使用する際には、操作対象、道具、ロボットハンドが近接し互いに隠れを頻繁に生じさせることから、ビジョンシステムのみで前述の情報を常に得ることは難しい。そこで本研究では、柔軟ロボット指先の触覚センシングにより、回転関節を持つ道具の回転軸の位置と姿勢を推定する手法を提案する。

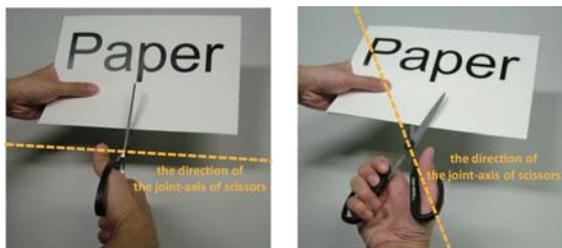


図1. 紙の裁断作業

2. 研究の目的

本研究では、物体の幾何属性を計測可能なロボット触覚センサを開発し、多指ロボットハンドによる把握物体の幾何形状とリンク構造の計測を実現する（図2）。物体の幾何形状情報は力学的な安定把握やエッジを持つ物体の姿勢推定、物体エッジを軸とした回転操作など、多指ロボットハンドの操作能力向上に有用である。また、物体のリンク構造情報は、物体を道具として利用する際に有用となる。ロボットハンドの指先に装着して物体の幾何属性を計測可能な触覚センサは現

状で存在しないが、申請者が提案する触覚センシング手法を適用することで実現する。

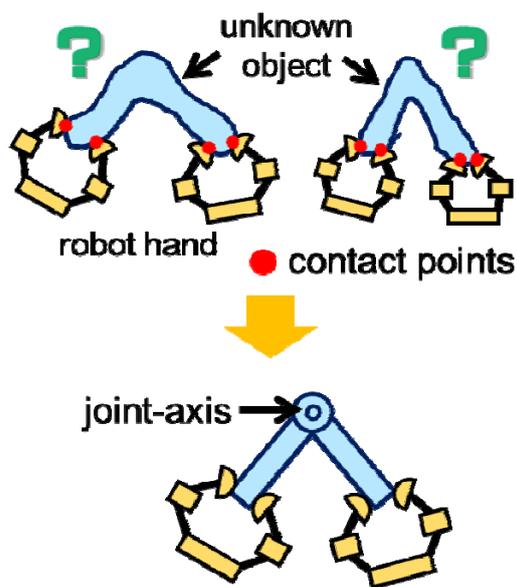


図2. 関節リンク構造の計測

3. 研究の方法

多指ハンドの従来研究では、理論的な解析を容易にするため指先と操作対象の間では点接触を仮定して硬い指先を用いてきた。しかし硬い指先では、対象の幾何属性が面、エッジ、頂点の何れであっても点でしか接触できないため、物体幾何属性の計測は本質的に不可能である。これに対し報告者は、柔軟被覆を持つ指先であれば接触の際に物体が指先にめり込むことにより、指先の柔軟被覆を介した接触では物体の面とエッジ、頂点で接触部位における力学的拘束が異なることに着目した。それにより、この力学的拘束の違いを6軸力覚センサの出力から求めることで、物体の幾何属性を計測する独自の触覚センシングへの着想に至った。これは、(a)指先と接触する対象物体の部位の三次元位置とその部位が面であるか、エッジであるかなどの幾何属性を判定し、(b)面である場合にはその法線ベクトル、(c)エッジである場

合にはエッジ方向を計測するものである。

物体表面上の接触点位置に加えて、エッジ方向を計測できれば、複数の接触点位置とエッジ方向の相対位置姿勢に関する幾何学的な拘束条件を利用して、物体の関節軸位置の推定が行える。本研究では、提案する物体幾何属性の触覚センシングの有効性を確認した上で、手探りによる物体リンク構造の計測を実現する。

4. 研究成果

(1) 定式化

6軸力覚センサと柔軟被覆を持つロボット指先を物体に接触させ、接触点位置と接触部位での物体のエッジ方向を計測して、物体の関節回転軸位置を推定する手法を提案した。定式化では、関節をもつ道具の典型例である、2リンクが1自由度の回転関節で連結された構造の物体(図3)を対象としている。物体の関節を動かす前後で、エッジの延長線と関節回転軸との距離 d は常に一定となる。この拘束条件を用いて、計測した接触点位置とエッジ方向の複数の組から、回転軸の位置と距離 d を最小二乗法により推定できる。

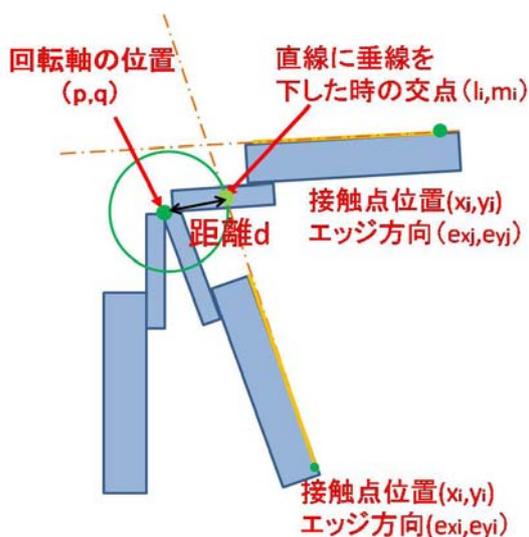


図3. 関節リンク構造の推定

(2) 触覚センサの開発

物体の幾何属性を計測可能な触覚センサを開発した。柔軟被覆を持つ触覚センサでは、接触到伴う物体の柔軟被覆へのめり込みを利用して物体の幾何属性を計測できる。これは、従来の硬い指先では実現できなかった触覚機能である。開発した柔軟被覆を持つロボット指先型触覚センサの内部構造と外観を(図4)に示す。

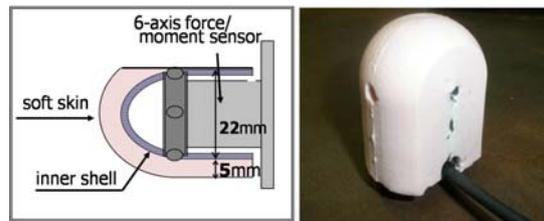


図4. ロボット指先型触覚センサ

(3) 物体幾何形状の計測

物体幾何形状情報の1つである物体エッジ方向を、開発した触覚センサを用いて計測できることを確認した(図5)。本研究では、被覆への物体のめり込みに伴う、接触部位における力学的拘束の変化を利用してエッジ方向の計測を実現した。

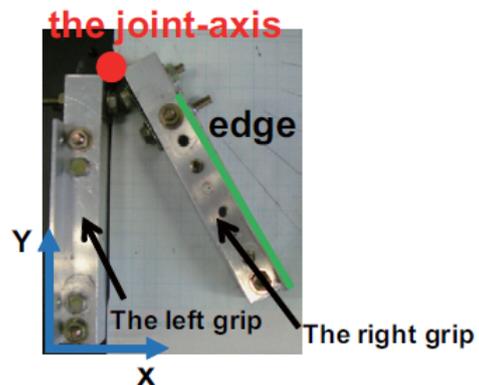


図5. 物体エッジ方向の計測

(4) 物体リンク構造の計測

提案手法に基づき、開発した触覚センサによる接触点位置と幾何形状(物体エッジ方

向)の計測結果から、回転関節を持つ道具のリンク構造(回転軸位置)の推定を行った。実験装置を図6に、対象物体を図5に示す。2つのリンクが1つの関節で連結された物体が台上にあり、物体の左柄は台に固定されている。実験では、物体の右柄に対して柔軟ロボット指先で複数回の触覚センシングを行って、回転軸位置を推定した。

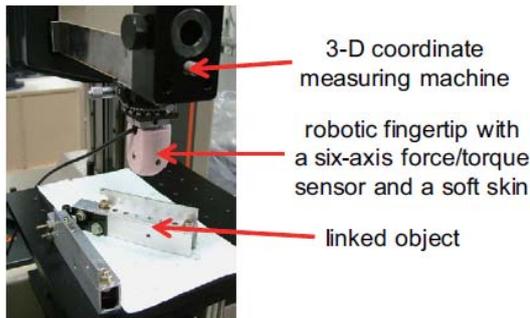


図6. 実験環境

道具の回転軸の位置推定に関して、従来の接触点位置のみを用いる手法と、提案手法による計測をそれぞれ行い、その推定精度を比較した。複数の計測条件の下で実験を行ったところ以下の結果が得られた。

①物体エッジ上の接触点の移動

道具エッジ上を指先接触点が移動した場合は、移動を考慮していない従来手法では物体の回転軸位置の推定精度が大きく低下した(図7)。一方、エッジ上の接触点位置の移動を考慮している提案手法では推定精度の低下は小さかった。

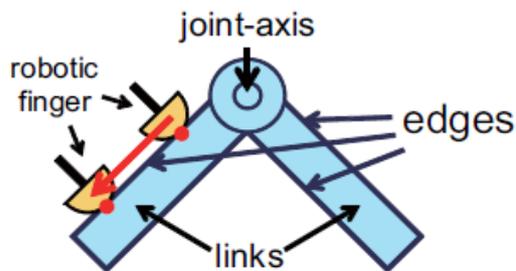


図7. 物体エッジ上の接触点の移動

②物体エッジ上の接触点と回転軸との距離

両手法共に、回転軸に近い部位に指先接触点がある場合が、推定精度が高かった(図8)。従来手法も提案手法も複数の直線から最小二乗解として回転軸位置を推定している。そのため、物体エッジ上の接触点位置と回転軸との距離が遠くなると、それらの直線の方に含まれる誤差が、回転軸の位置推定に及ぼす影響が大きくなるためと考えられる。

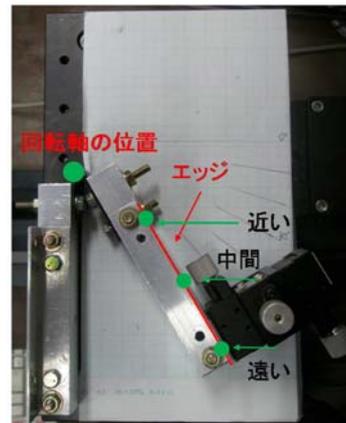


図8. 接触点と回転軸の距離

③道具関節リンクの回転角度

両手法共に、計測過程での道具の回転角度が大きい方が、推定精度が高かった(図9)。この理由は、右柄を回転させる角度が小さいと回転軸位置の推定に用いる直線群が平行に近くなり、②と同様にわずかなエッジ方向の計測誤差が回転軸位置の推定結果に大きく影響を与えるためと考えられる。

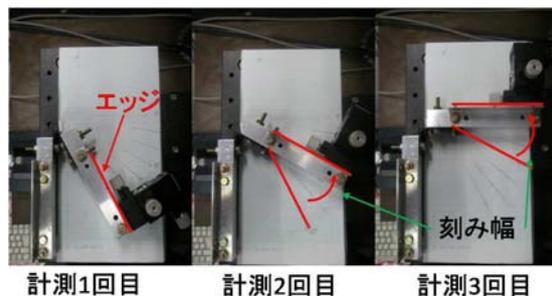
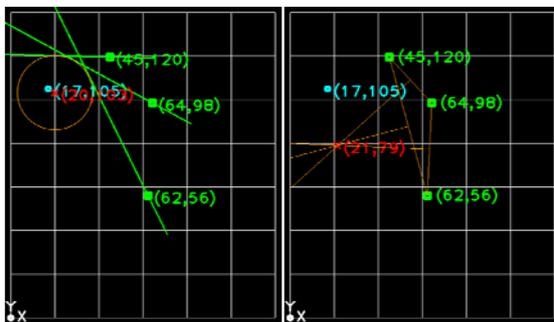


図9. 回転関節の開き角度

計測過程で、接触点位置がエッジ表面上を

動き、かつ回転関節が 60 度開くという条件下で、提案手法と従来手法により、関節回転軸位置を推定した結果を図 10 に示す。左図は提案手法の結果を表し、右図は従来手法の結果を表す。回転軸位置座標 (x, y) の真値は、(17[mm], 105[mm]) である。図中の青丸は関節回転軸位置の真値を、赤いバツは推定値を表している。また、緑の四角は計測した接触点位置を、緑の直線は計測したエッジ方向を表している。推定された回転軸位置は、提案手法が (20[mm], 103[mm])、従来手法が (21[mm], 79[mm]) で、その推定誤差は、提案手法が 3.6[mm]、従来手法が 26.3[mm] となった。



(a) 提案手法 (b) 従来手法

図 10. 実験結果

(5) まとめ

柔軟被覆と 6 軸力覚センサを持つロボット触覚センサを開発した。その上で、接触点位置と物体エッジ方向の計測に基づき、物体の関節回転軸位置を推定する手法を提案した。実験では、提案手法による物体の幾何形状（物体エッジ方向）とリンク構造（物体の関節回転軸位置）の計測を実現し、提案手法が多関節多指ロボットハンドへ実装可能な触覚センシング手法であることを示した。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 (計 1 件)

- ① Kazuya Matsuo, Kouji Murakami,

Katsuya Niwaki, Tsutomu Hasegawa, Kenji Tahara, and Ryo Kurazume, A Tactile Sensing for Estimating the Position and Orientation of a Joint-Axis of a Linked Object, Proc. IEEE/RSJ International Conference Intelligent Robots and Systems, 査読有, pp.1884-1889, 2010.10.19

〔学会発表〕 (計 3 件)

- ① Ryo Kurazume, Yumi Iwashita, Kouji Murakami, Tsutomu Hasegawa, Introduction to the Robot Town Project and 3-D Co-operative Geometrical Modeling Using Multiple Robots, 15th International Symposium on Robotics Research, 2011.8.30
- ② Kazuya Matsuo, Katsuya Niwaki, Kouji Murakami, Tsutomu Hasegawa, Kenji Tahara and Ryo Kurazume, A Tactile Sensing for Estimating the Posture of the Joint-Axis of a Linked Object, Proc. of The 6th Joint Workshop on Machine Perception and Robotics, CD-ROM, 2010.10.9
- ③ 松尾一矢, 庭木勝也, 村上剛司, 長谷川 勉, “接触情報を用いた物体の関節回転軸位置の推定”, ロボティクス・メカトロニクス講演会 2010 講演論文集, 1A1-C17, 2010.6.15

6. 研究組織

(1) 研究代表者

村上 剛司 (MURAKAMI KOUJI)
九州産業大学・工学部・准教授
研究者番号：80380682