

研究種目：若手研究(B)
 研究期間：2008 ～ 2009
 課題番号：20700183
 研究課題名（和文） 三次元多指ケーシングによるロボットマニピュレーション
 研究課題名（英文） Robotic Manipulation by 3D Multifingered Caging
 研究代表者
 前田 雄介（ MAEDA YUSUKE ）
 国立大学法人横浜国立大学・大学院工学研究院・准教授
 研究者番号：50313036

研究成果の概要（和文）：ロボットにより物体を幾何学的に拘束する「ケーシング」は位置制御のみで物体を操ることができる手法だが、従来は二次元平面内でのケーシングを扱ったものがほとんどだった。本研究では、多指ハンドによる三次元的なケーシングを対象に、その形態を分類し、またケーシング成立の十分条件を導出した。さらに、その条件を用いて三次元ケーシングのためのロボットの動作計画アルゴリズムを開発し、実機ロボットに適用した。

研究成果の概要（英文）：Caging is a method to make an object inescapable from a closed region by robot bodies. Most of previous studies considered only planar caging, while this study dealt with 3D caging by multifingered hands. We classified 3D multifingered caging into three typical categories and derived sufficient conditions for caging. Using the sufficient conditions, we developed a motion planning algorithm for robots to achieve caging. The planning algorithm was successfully applied to caging by an actual robot.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
平成20年度	2,700,000	810,000	3,510,000
平成21年度	700,000	210,000	910,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,400,000	1,020,000	4,420,000

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：ロボット，マニピュレーション，ケーシング，動作計画

1. 研究開始当初の背景

近年のロボット技術の進歩に伴い、人間のような複雑で高度なマニピュレーションをロボットに行わせることへの期待が高まっている。現状実用的に用いられるのは、依然として平行グリッパや吸着ハンドなどの単純なものにとどまっているが、今後は多指ハ

ンドのようなより高度なエンドエフェクタを持ったロボットが活躍することが望まれる。現時点で多指ハンドが広く用いられない理由としては、コスト、パワー、重量、触覚・力覚センシング能力の不足、教示・制御の複雑さ、などの問題が挙げられる。人間の器用な手を代替するためにはこれらの全ての面

でブレークスルーが必要であるが、それは一朝一夕には難しい。したがって、現状の多指ハンドの能力に適した物体マニピュレーション方法を開発し、その適用範囲を広げることが有用であると考えられる。

そこで本研究では、多指ハンドを用いた「ケーシング(caging)」(図1)による物体マニピュレーション方法を研究対象とする。ケーシングとは、ロボットのボディで物体をある限定された閉領域(cage)内に幾何学的に拘束することである。ケーシングされた物体は、幾何学的に完全に把持されたform closureの場合とは異なり、完全には拘束されていない。しかし、一定の範囲より外には動けない。そこで、物体をいったんケーシングしてしまえば、アームを自由に動かして物体を操ることができる。ケーシングは幾何学的な拘束であり、また完全には物体を把持しないため、その実現には力制御は必要ない。このことは、力制御より位置制御のほうが容易な現状の「かたい」ロボットハンドにとっては好都合である。

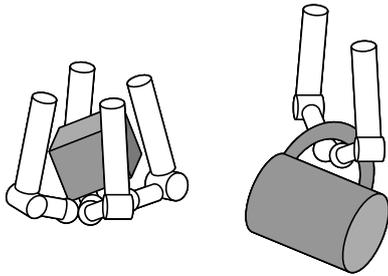


図1 三次元多指ケーシング

従来研究では、ケーシングの成立条件やマニピュレーション計画などが調べられているが、多指ハンドの指先や移動ロボットによる二次元平面内でのケーシングを扱ったものがほとんどで、三次元空間内でのケーシングを対象とするものはほとんどない。数少ない例外がタイ・チュラロンコン大のSudsangらによる研究であるが、これも二本指の指先だけが考慮されている。それに対して本研究では、指先だけでなく、多指ハンドの掌や指リンクも含めた、三次元空間内のケーシングに関する研究を行う。これによって、マニピュレーション手法としての有用性が大いに高まるものと考えられる。

研究代表者はこれまでに、物体を完全には把持せずに、押す・転がすなどして物体をあやつる「グラスプレス・マニピュレーション」

(図2)の研究を行ってきた。本申請で扱うケーシングは、把持に基づかないもう一つのマニピュレーション手法であり、これらの非把持マニピュレーション手法の確立によって、多指ロボットハンドによる物体ハンドリングのレパートリーを大きく増やすことができる。このことは、サービスロボットや産

業用ロボットの活躍範囲の拡大につながると考えられる。

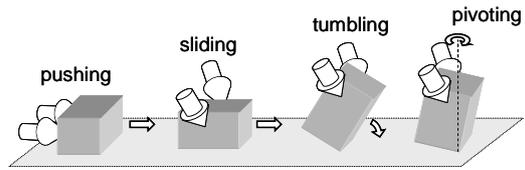


図2 グラスプレス・マニピュレーション

2. 研究の目的

三次元多指ケーシングに関する基礎理論を確立することを目指す。具体的には、以下の課題を実現することを目的とする。

(1) ケーシング成立条件の導出：多指ハンドによる三次元ケーシングが成立するための条件を求める。必要十分条件を導出するのは困難であると考えられるので、近似によって対象物やハンド形状を簡略化し、ケーシング成立の十分条件を得る。

(2) ケーシング計画アルゴリズムの開発：上述のケーシング成立条件が満たされるように、ロボットを障害物にぶつかることなく動作させるための経路を自動計画するアルゴリズムを開発する。

(3) ケーシングマニピュレーション実験：実機多指ハンドを用いて、上述のケーシング計画アルゴリズムの検証、およびケーシングマニピュレーションの有効性の評価を行う。

3. 研究の方法

(1) ケーシング成立条件の導出については、まず基本形状に対するケーシング成立条件の導出を行うこととした。具体的には、球・トーラスなど基本的な形状の物体に対して、ケーシングが成立するための条件を導出する。必要十分条件が求まることが望ましいが、三次元問題ではその導出は困難であり、またたとえ求められたとしても計算量が大きくなって実用的でない恐れがある。このため、ケーシング成立の十分条件を導出することに主眼を置く。ハンドのリンクは線分、掌は平面であるとし、また軸対称な構成を持つものとして解く。

続いて、複雑形状に対するケーシング成立条件を導出する。ロボットによる物体ハンドリングに適用できるように、現実世界に存在するような複雑形状物体に対するケーシングの成立条件を求める。さきに導出する、基本形状に対するケーシング成立の十分条件を利用して、複雑な形状を持った物体に対するケーシング成立条件を求める。

(2) ケーシング計画アルゴリズムについては、

上述のケーシング成立条件を利用して開発する。まず、ハンド単体によるケーシング成立のための動作計画アルゴリズムを考える。すなわち、ケーシングを行うための多指ハンドのコンフィギュレーション（掌の位置・姿勢、指の各関節角）を自動的に生成できるようにする。

続いて、アーム・ハンド系としてのケーシング計画を行う。すなわち、アーム先端に取り付けられたハンドによりケーシングを実現するための、アームおよびハンドの動作を自動生成するアルゴリズムを開発する。

(3) ケーシングマニピュレーション実験については、まず実験環境の構築を行う。マニピュレータ先端にハンドを取り付け、リアルタイム OS を用いて制御できるようにする。

実験では、まず人間による手動制御により基本的な動作を確認する。その上で、上述のケーシング計画アルゴリズムによって自動生成された動作を実行し、計画アルゴリズムの検証を行う。

4. 研究成果

(1) ケーシング成立条件については、基本的な形状として、球（図 3）・円板（図 4）・トーラス（図 5）・垂鈴状物体（図 6）に対する導出を行った。それぞれについて、ケーシングが成立するための十分条件を求めた。

なお、図 3・4 のようなケーシングを「包み込みケーシング」、図 5 のようなケーシングを「リング型ケーシング」、図 6 のようなケーシングを「くびれ型ケーシング」と分類した。

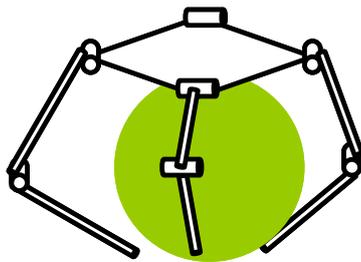


図 3 球のケーシング

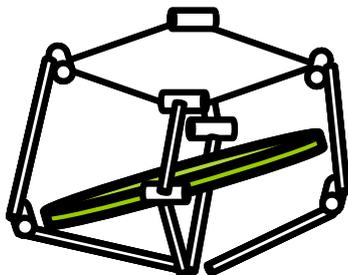


図 4 円板のケーシング

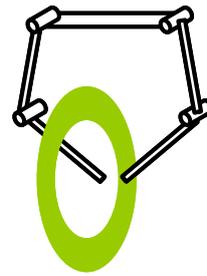


図 5 トーラスのケーシング

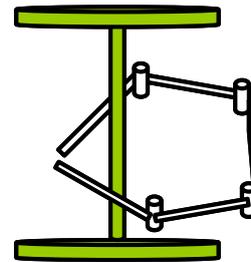


図 6 垂鈴状物体のケーシング

また、複雑な形状の物体に対しては、これらの基本的な形状の組み合わせや、物体に内接する基本形状を考えることで（図 7）ケーシング成立の十分条件を得ることができる。

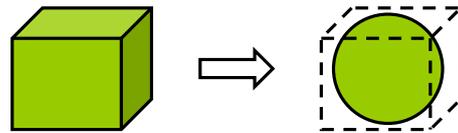


図 7 内接球によるケーシング条件の適用

(2) ケーシング計画アルゴリズムについては、RRT (Rapidly-exploring Random Trees) に基づく計画アルゴリズムを開発した。まずハンド単体によるケーシング計画として、ハンドの位置・姿勢および指の関節角度を変数とし、対象物とロボットが衝突することなくケーシングを成立させるためのハンドの動作を自動計画するアルゴリズムを構築した。計画結果の一例を図 8 に示す。

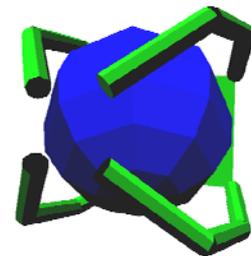


図 8 球のケーシング計画結果

続いて、同じく対象物とロボットが衝突することなくケーシングを成立させるためのアーム・ハンド系の動作を自動計画するアルゴリズムを構築した。計算量を削減するため

に、逆運動学を利用して RRT のサンプリングにバイアスをかける手法を用いた。計画結果の一例を図 9 に示す。



図 9 リングのケーシング計画結果

(3) ケーシングマニピュレーション実験のために、マニピュレータの手先に二自由度の指を 2 本ないし 3 本取り付け付けたアーム・ハンド系を構築した (図 10)。アーム・ハンドともに、PC からの ART-Linux によるリアルタイム制御が可能となっている。また、人間のキーボード操作による手動制御により、ケーシングの基本的動作が可能であることを確認した。



図 10 実験環境

この実験環境を用いて、前述のアーム・ハンド系の動作計画アルゴリズムにより生成されたロボットの動作を実行した。その結果、実際にケーシングを実現できることを確認し、その有効性を確認した (図 11)。



図 11 ケーシング実験

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 榎田諭, 渡邊匠, 前田雄介: 三次元多指

ケーシングの十分条件の導出—対称ハンドによる四種類の単純形状物体の拘束—, 日本ロボット学会誌, Vol. 28, 査読有, 2010. (掲載決定)

[学会発表] (計 6 件)

- ① 榎田 諭: 三次元多指ケーシングの条件精緻化とアーム・ハンドによるケーシング動作計画, 第 27 回日本ロボット学会学術講演会, 2009 年 9 月 17 日, 横浜国立大学 (神奈川県)
- ② 渡邊 匠: 多指ハンドによる三次元ケーシングの実現, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 2009 (Robomec 2009), 2009 年 5 月 26 日, 福岡国際会議場 (福岡県)
- ③ 榎田 諭: 多指ハンドによる三次元ケーシングの定式化と計画, 第 14 回ロボティクスシンポジウム, 2009 年 3 月 17 日, 登別温泉石水亭 (北海道)
- ④ Satoshi MAKITA: 3D Multifingered Caging: Basic Formulation and Planning, 2008 IEEE/RSJ Int. Conf. on Intelligent Robots and Systems (IROS 2008), 2008 年 9 月 24 日, アクロポリスコンベンションセンター (フランス・ニース)
- ⑤ 榎田 諭: 多指ハンドによる三次元ケーシングの動作計画手法, 第 26 回日本ロボット学会学術講演会, 2008 年 9 月 9 日, 神戸大学 (兵庫県)
- ⑥ 榎田 諭: 多指ハンドによる 3 次元ケーシングの指配置計画問題, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 2008 (Robomec 2008), 2008 年 6 月 6 日, ビッグハット (長野県)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

前田 雄介 (MAEDA YUSUKE)
 国立大学法人横浜国立大学・大学院工学研究院・准教授
 研究者番号: 50313036

(2) 研究分担者

()

研究者番号:

(3) 連携研究者

()

研究者番号: