

二次元空間における In-hand ケージングマニピュレーション

2D In-hand Caging Manipulation

○ 浅村 知洋 (横国大) 正前田 雄介 (横国大)

Tomohiro Asamura (Yokohama Nat. Univ.), Yusuke Maeda (Yokohama Nat. Univ.)



Abstract

In this paper, we proposed a new method called "In-hand Caging Manipulation" to manipulate objects in position-controlled robot hands. In this method, the objects are caged by the hands throughout manipulation and localized around the goal as a result of the deformation of the cage. Manipulation of a circular object was successfully performed by a two-fingered robot hand in experiments.

研究背景

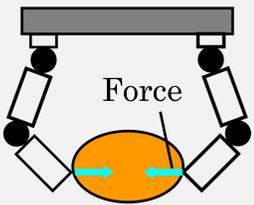
様々な場所でロボット
ハンドの適用が期待



人間の手のような汎用性のある
ロボットハンドが必要

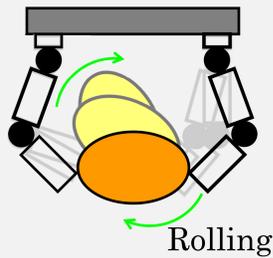
把握動作

物体を安定に支持し続ける
動作



In-hand マニピュレーション

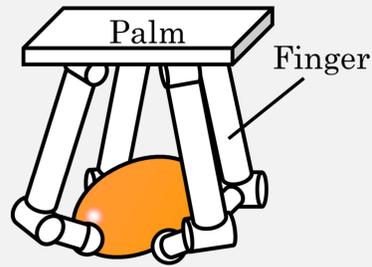
物体の位置や姿勢を変化させたり
物体を持ち替えるといった動作



従来研究

◆ In-hand マニピュレーション

- [Rus 1999]
多指ハンドによるなめらかな
三次元物体の操り
- [八島 2003]
指が物体を操るときの接触モードを
利用して、物体操りを行う手法の提案

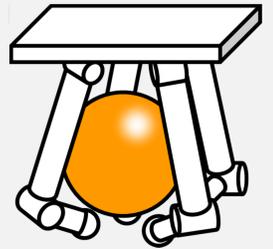


[Rus 1999]

カセンシングや力制御
力学的解析を行って操りを実現

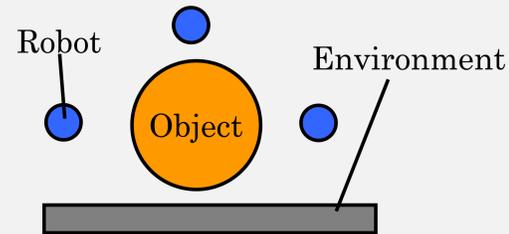
◆ ケージング [Rimon 1999]

ロボットによって対象物が逃げられない
ように囲い込む幾何学的な拘束手法



カセンシング, 力制御が不要で
位置制御のみで対象物の拘束が可能

- [横井 2010]
壁面などの環境を利用した
二次元平面内でのケージング
マニピュレーションの提案



[横井 2010]

研究目的

環境を利用したケージングマニピュレーションの
考えを In-hand マニピュレーションに適用



カセンシングや力制御の不要な
"In-hand ケージングマニピュレーション" という
新しい手法を確立することを目的とする

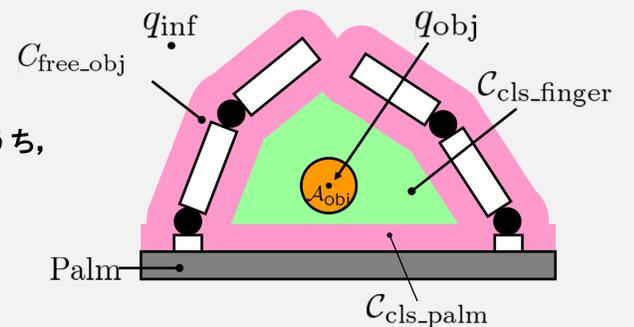
In-hand ケージングマニピュレーションの条件

- [横井 2010]で壁面などの環境を利用したケージングマニピュレーションの定式化を行った
- In-hand ケージングマニピュレーションでは、ハンドのパームなどの非可動部を環境と見なすことで、この定式化を適用することができる

ケージング成立条件

$$\begin{cases} C_{\text{free_obj}} \neq \emptyset \\ C_{\text{free_obj}} \cap C_{\text{free_inf}} = \emptyset \end{cases}$$

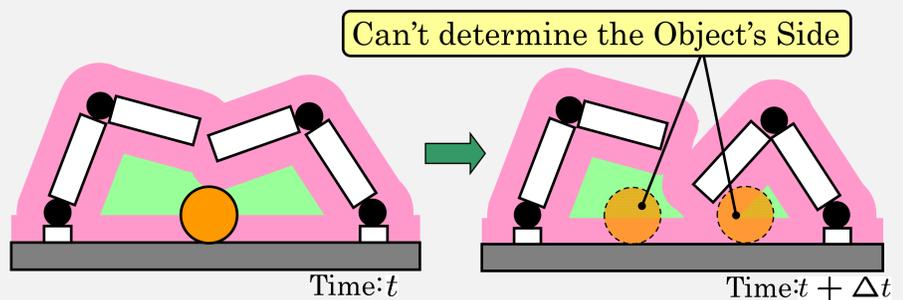
$C_{\text{free_obj}}$: 対象物のコンフィギュレーション自由空間のうち、
現在のコンフィギュレーションを含む連結領域
 $C_{\text{free_inf}}$: 対象物のコンフィギュレーション自由空間
のうち、無限点を含む連結領域



ケージングマニピュレーション可能条件

ケージング内部領域の減少が連続的であり、分断されない場合
マニピュレーション可能

$$\lim_{\Delta t \rightarrow +0} (C_{\text{free_obj}}(t) \cap C_{\text{free_obj}}(t + \Delta t)) = C_{\text{free_obj}}(t)$$



Can't manipulate because of Discontinuous Shrinkage

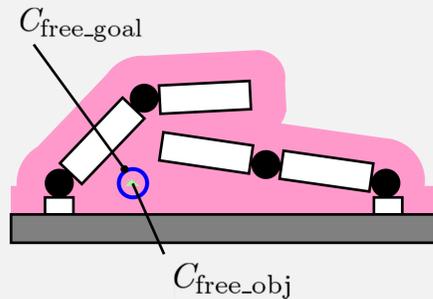
In-hand ケージングマニピュレーションによる物体搬送

マニピュレーション終了条件

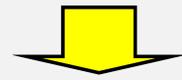
マニピュレーションのゴールをごく狭い領域に設定

$$C_{\text{free_obj}}(t) \subseteq C_{\text{free_goal}}$$

$C_{\text{free_goal}}$: 目標コンフィグレーション領域



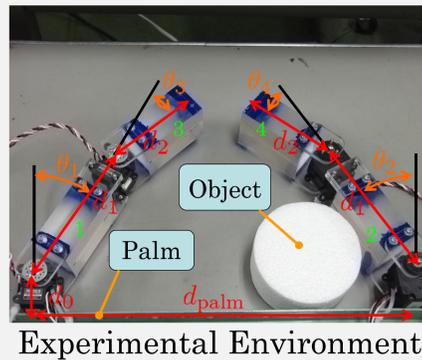
マニピュレーション中、ケージング内部領域内のどこに対象物があるかは特定できない(しない)



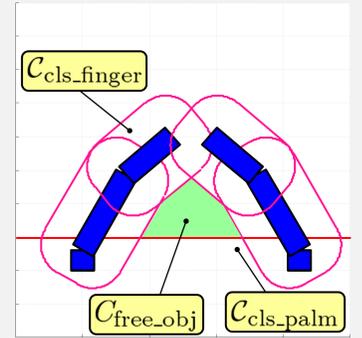
ハンドの経路が同じでも
対象物の初期位置によらず
マニピュレーションが可能

実験条件

- 対象物は発泡スチロール製の円形物体
- ハンドは2指×2関節を使用
- 操りやすさを考慮し、ハンド指先側の節を根元側より短くした
- 初期状態においてケージングが成立している
- ハンドは1関節ずつ動かす



Experimental Environment



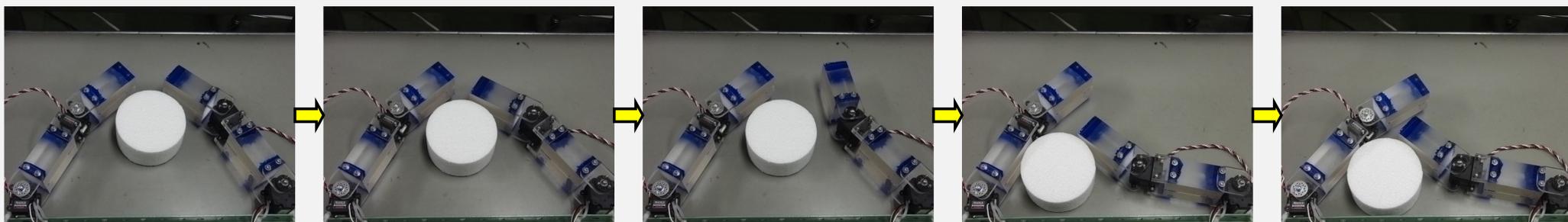
Change of $C_{\text{free_obj}}$

実機による検証

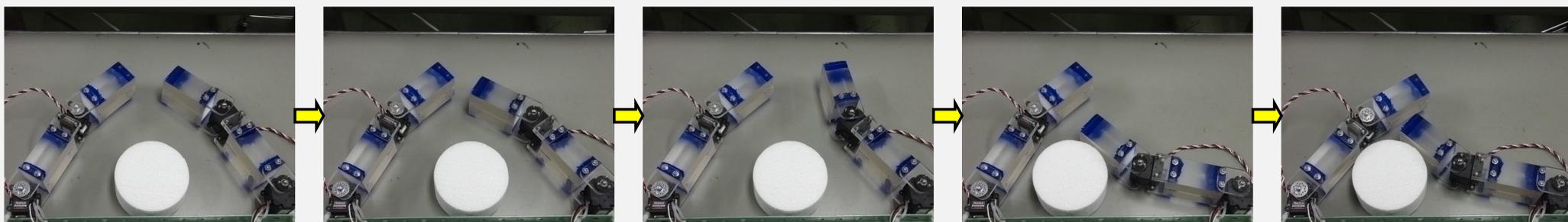
(a) In-hand Caging Manipulation (right-to-left)



(b) In-hand Caging Manipulation (top-to-left)



(c) In-hand Caging Manipulation (center-to-left)



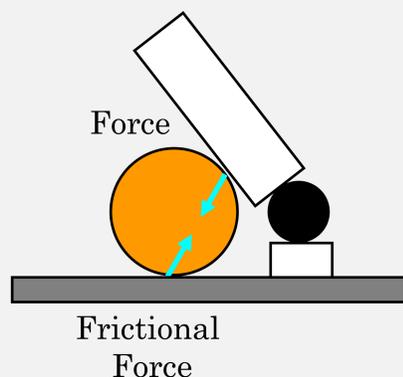
実機での問題点および解決策

問題点

ハンドが対象物を押す力と
パームからの摩擦がつり合う



詰まり(jamming)が発生して
マニピュレーション失敗



解決策

対象物の側面を摩擦抵抗の小さなフッ素樹脂で覆うことで
jamming の発生をある程度抑えられる

結論

- In-hand ケージングマニピュレーションという新たな手法を提案し、二次元空間において円形対象物でのマニピュレーションが行えることを確認した
- jamming の発生によりマニピュレーションが失敗してしまう場合がある

今後の予定

- jamming を回避しやすい動作計画の実施
およびその自動化
- 様々な形状の対象物への適用