

## 2台のマニピュレータによる非接触状態を利用した 高速ダイナミックマニピュレーション

High-speed Dynamic Manipulation Using Non-Contact State With Two Manipulators

正 妹尾 拓 (東大) 正 並木 明夫 (千葉大) 正 石川 正俊 (東大)

Taku SENOO, University of Tokyo, Taku.Seno@ipc.i.u-tokyo.ac.jp

Akio NAMIKI, Chiba University Masatoshi ISHIKAWA, University of Tokyo

In this paper high-speed manipulation system is developed, which consists of two manipulators and active visions. The design concept and the features of the system are described. In addition a task using non-contact state is taken up in order to achieve high-speed dynamic manipulation. Experimental results are also shown in which a manipulator throws a ball and the other manipulator hits the ball.

**Key Words:** high-speed manipulation, throwing motion, batting motion

### 1. はじめに

近年、センサやアクチュエータなどロボット要素の性能は向上してきているが、開発されているマニピュレーションシステムを速度という観点から眺めれば十分とは言いがたい。一方、並木らは感覚系と運動系のダイナミクスを整合させるという概念に基づき、応答性に優れた高速マニピュレーションシステムを開発している [1]。そして実現されてきた高速マニピュレーションは、既存の操り動作を単に高速化していくだけに止まらず、従来とは異なるアプローチでロボット技能を開発していく手段となることを示唆している。

たとえば、回転運動は高速化するほど安定していくことを利用したペン回しタスクが実現されている [2]。またハンドと操作物体の接触を維持しながら準静的におこなう従来のリグラスピングに対して、物体を空中に投げ上げて姿勢を変化させて把持し直すダイナミックなリグラスピングが実現されている [3]。このように高速運動に特有なダイナミクスの特性を応用したり、従来と同一の機能を新たな操り方法で実現するなど、高速マニピュレーションは速度という量的な変化だけではなく操り能力の質的な変化をもたらすことが特徴である。

本稿では、単体のマニピュレータを中心とした従来の高速マニピュレーションを複数台の協調動作へ拡張することを目指とする。そこで、2台のマニピュレータとアクティブビジョンから構成されるロボットシステムを構築し、その設計コンセプトを説明する。そして片方のマニピュレータがボールを投げ、他方のマニピュレータがボールを打ち返す Fig.1 のような高速タスクについて実験結果を述べる。

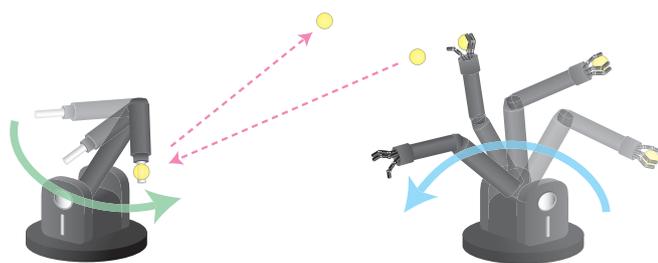


Fig. 1 Throwing and hitting motion using hand-arm systems

### 2. 分散型マニピュレーションシステム

#### 2.1 設計コンセプト

操り動作を高速化するほど対象物体との相互作用は動的な状態になり、非接触状態になる傾向がある。そのため高速マニピュレーションでは、物体を強固に把持して制御するのではなく、そのダイナミクスを利用した Fig.2 のような接触・非接触間の状態遷移を積極的に利用する戦略が重要である。

本稿では、作業領域が重ならないように複数台のマニピュレータを空間的に分散して配置し、リリースやキャッチなど状態遷移を利用して対象物体の移動が可能なロボットシステムを構築する。複数台の固定マニピュレータを用いて対象物体を高速かつ動的に操ることで、移動機構を別途必要とせず、物体搬送が可能な自然な拡張となっていることが特徴である。

#### 2.2 スローイング・バッティングタスク

ここでは2台のマニピュレータを分散配置して、ボールを投げて打ち返すタスクを取り上げる。

2.2-1 スローイング動作 [4] 高速な投球をおこなうために、慣性の大きいアームを効率的に加速するスウィングを実現している。このスウィング動作は人間の動作を参考にして、ゴルフスウィングのような2次元的な位相遷移とジャイロのような3次元的な多重回転運動から構成されている。投球方向の制御に関しては、多指ハンドを用いて手首のスナップ動作と指先上のボールの転がりを利用してリリース方向を制御している。

スローイングの動画はウェブサイト [5] で見る事ができる。

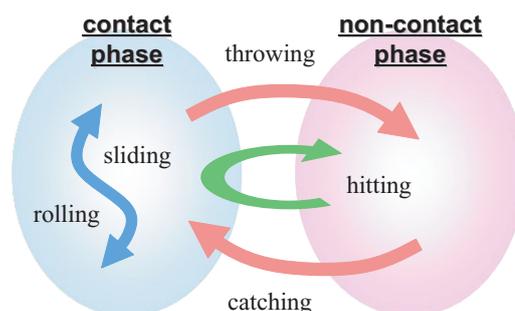


Fig. 2 Elements of dynamic manipulation

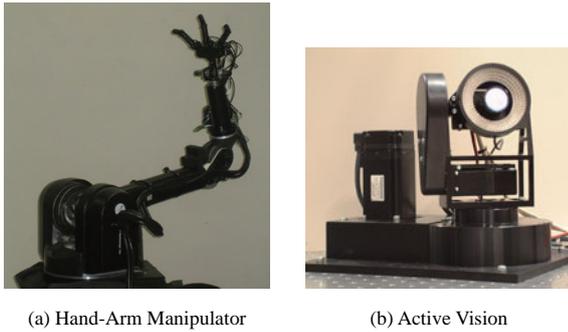


Fig. 3 System configuration

2.2-2 バッティング動作 [6] ボールの状態にかかわらずとにかく素早く運動する動作とボールの軌道変化に追従する動作を統合したハイブリッド軌道生成で打撃動作を実現している。予測に基づく打撃方法とは違って、ボールの運動状態に合わせて1msごとにマニピュレータの運動軌道を修正しているので、変化球でもストライクゾーンを通過するならば打撃が可能である。

バッティングの動画はウェブサイト [7] で見る事ができる。

### 3. 実験

#### 3.1 システム構成

アームはワイヤ駆動の4軸マニピュレータであり、肩と肘関節にそれぞれ旋回と屈曲の自由度を持っている。高出力かつ低減速なアクチュエータを用いるとともに、全アクチュエータを台座付近に配置して手先慣性を小さくすることで、最高速度6m/s、最高加速度58m/s<sup>2</sup>の高速な動作が可能である。

多指ハンドは3本指と手首から構成されており、計10自由度を持っている。アームに搭載することを想定した軽量な設計となっており、リストまで含めて約2.4kgである。各指関節は0.1秒で180度の高速な動作が可能である。

アクティブビジョンはパン・チルトの2自由度の駆動機構上に列並列ビジョン(CPV)が搭載されている。領域分割やモーメント検出などの視覚処理を1kHz以上で実現する能力を持っている。2台用いて立体視を行い、3次元視覚情報を計算する。

Fig.3 にシステムの写真を示す。

#### 3.2 実験設定

スローイング用のマニピュレータを  $[x, y] = [2.9, -0.68]$ 、バッティング用のマニピュレータを  $[x, y] = [0, 0.68]$  へ配置した。半径5[cm]のウレタンボールを投球し、バッティングに必要な動作時間である0.23秒に合わせて投球速度を調整した。アクティブビジョンの位置は、投球方向であるx軸方向に関して2台のマニピュレータの間である  $[x, y] = [1.45, \pm 0.45]$  とした。このように配置することで、ボールが通過している際にアクティブビジョンからボールまでの距離変化が少ない画像を取得でき、精度のばらつきの少ない位置情報を取得可能である。

#### 3.3 実験結果

Fig.4 は、スローイングとバッティングのアーム形状と手先軌道およびボールの軌道を表している。リリースされたボールがバッティングをおこなうアームの方向に向かって投球され、

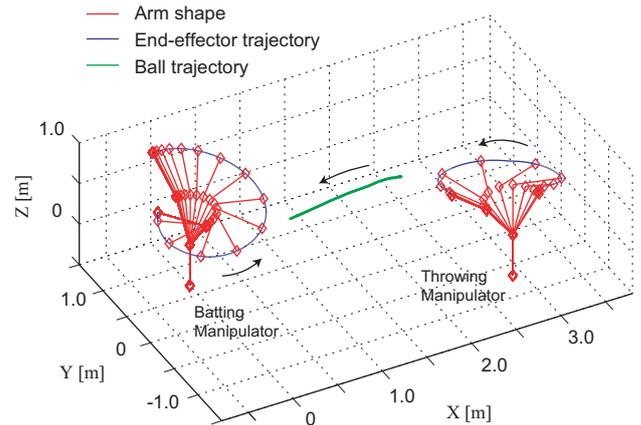


Fig. 4 Three dimensional trajectory of manipulators and the ball

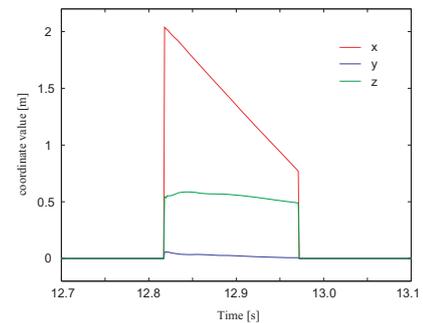


Fig. 5 Time response of the ball trajectory

そのボール軌道に合わせてヒットされている様子が確認できる。Fig.5 に、アクティブビジョンで観測されたボール軌道の時間変化を示す。ボールの運動は等速直線運動でよく近似できることがわかる。また、ボールをリリースした瞬間からバッティングするまでの時間を計算すると0.27秒となり、高速なマニピュレーションが実現できていることがわかる。この実験結果は、本講演論文集DVDに収録されている動画で見ることができる。

### 4. まとめ

2台で構成された分散型マニピュレーションシステムを構築し、非接触状態を利用した高速ダイナミックマニピュレーションとして投打の協調動作を実現した。今後の課題は、キャッチング動作を加えてマニピュレータ間で対象物体の高速移動を制御することである。

### 文献

- [1] A. Namiki, and M. Ishikawa. Sensory-Motor Fusion Architecture Based on High-Speed Sensory Feedback and Its Application to Grasping and Manipulation. Proc. 32nd Int. Symp. on Robotics, 2001.
- [2] T. Ishihara, A. Namiki, M. Ishikawa, M. Shimojo. Dynamic Pen Spinning Using a High-speed Multifingered Hand with High-speed Tactile Sensor. Proc. of Int. Conf. on Humanoid Robots, pp.258-263, 2006.
- [3] N. Furukawa, A. Namiki, T. Senoo and M. Ishikawa. Dynamic Regrasping Using a High-speed Multifingered Hand and a High-speed Vision System. Proc. of IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation, pp.181-187, 2006.
- [4] 妹尾, 並木, 石川. 多指ハンドアームシステムによる高速投球動作. 第14回ロボティクスシンポジウム講演論文集, pp.205-210, 2009.
- [5] <http://www.k2.t.u-tokyo.ac.jp/fusion/HighspeedThrowing/>
- [6] 妹尾, 並木, 石川. 高速打撃動作における多関節マニピュレータのハイブリッド軌道生成. 日本ロボット学会誌, Vol.24, No.4, pp.515-522, 2006.
- [7] <http://www.k2.t.u-tokyo.ac.jp/fusion/HighspeedBatting/>