

予備動作を利用した落下物体受け取り時の衝撃吸収

Shock absorption in catching the falling object using preliminary action

内山 直樹・豊橋技科大

Naoki Uchiyama, Toyohashi University of Technology

龍満 和明・キャスコ(株)

Kazuaki Ryuman, Kasco

佐野 滋則・豊橋技科大

Shigenori Sano, Toyohashi University of Technology

高木 章二・豊橋技科大

Shoji Takagi, Toyohashi University of Technology

Key Words: *preliminary action, bio-mimetic, impedance control*

1. はじめに

近年、生物がもつ様々な優れた能力を模倣・応用する研究が多く分野で行われている。そこで、本報告では、落下物体の受け取り動作に着目し、人が腕で落下物体を受け取る動作を解析する。その解析結果をもとに、人間の手腕系を模したマニピュレータでその動作を実現し、受け取り時の衝撃吸収に役立てる。マニピュレータは接触前には落下物体の位置から算出される手先の目標軌道に追従するように制御され、接触後は手先にかかる力を検出して、インピーダンス制御に従うものとする。

2. 垂直多関節型マニピュレータのモデル化と位置測定器

Fig.1 のような 2 次元平面内を運動する垂直多関節型ロボットの運動方程式は、Lagrange 法により、以下のように導出される。

$$\tau = M(\theta)\ddot{\theta} + V(\theta, \dot{\theta}) + G(\theta) + F(\theta, \dot{\theta}) \quad (1)$$

ここで、 $\theta = [\theta_1 \ \theta_2 \ \theta_3]^T$ であり、 $M(\theta)$ は質量行列、 $V(\theta, \dot{\theta})$ は遠心・コリオリ力の項、 $G(\theta)$ は重力項、 $F(\theta, \dot{\theta})$ は摩擦項を表す。 τ は各関節に与えられるトルクである。

落下距離の測定は、まずカメラを用いて行なうことが考えられる。しかし、本報告ではサンプリング周期を短くするためにカメラを用いなくて、落下物体を滑車に巻きつけられた釣り糸の先に取付け、その滑車の回転角度を落下距離に変換することで行なうことにする。

3. 制御系設計

マニピュレータは非線形であり、非線形補償等を行なうことが考えられるが、本報告では非線形補償を行わず、マニピュレータの各関節の制御には、サンプリング周期 T ごとの各関節の目標角度 $\theta_r(kT)$ と実際の関節角度 $\theta(kT)$ との間の漸近特性が $k \rightarrow \infty$ のとき、

$$C(q^{-1})(\theta(kT) - \theta_r(kT)) \rightarrow 0 \quad (2)$$

となるような適応制御系を構築する。ここで、

$$C(q^{-1}) = c_0 + c_1 q^{-1} + c_2 q^{-2} \quad (3)$$

であり、 q は遅延演算子で、信号 $x(t)$ に対して、

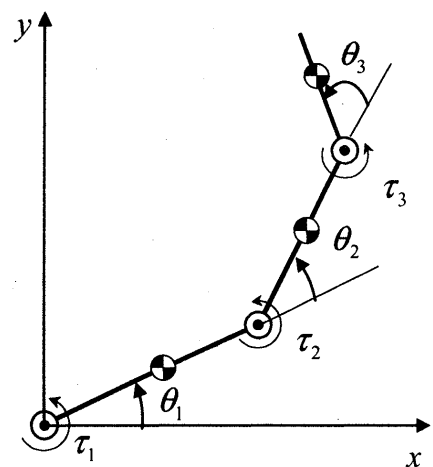


Fig.1 Manipulator Model

$$q^{-1}x(kT) = x((k-1)T) \quad (4)$$

を満足する演算子である。適応制御系におけるパラメータ調整は各関節を実験の初期状態にマニピュレータを移動させるときに行い、受け取り動作時にはパラメータ調整は行なわず、最終値で固定されたコントローラを用いる。

4. 目標軌道の生成

人間が受け取り動作をする際には、以下の手順を踏んでいると考えられる。

1. 接触する瞬間の激突を避けるための予備動作として、視覚情報をもとに、落下物の接触時に落下物の速度と手先の速度を合わせる。
2. 力覚情報をもとにして、手先や落下物体に過度の力がかからないように手先を停止する。

そこで本報告では、落下物体と接触するまでは、落下物体の位置情報をもとに、マニピュレータの目標軌道を生成し、その軌道に追従するように制御し、接触後は手先の力センサからの情報をもとに、インピーダンス制御を行なうことにする。実際にはコントローラの切替を避けるために、インピーダンス制御時には、力センサの値と設計されたインピーダンス特性から位置指令値に変換し、コントローラを変更せずに位置制御をすることにする。

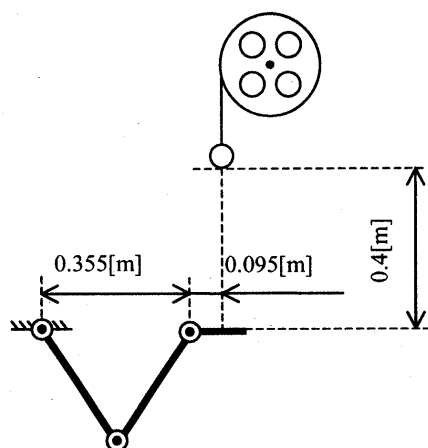


Fig.2 Initial state

4-1 予備動作時の手先の目標軌道生成

落下物体は自由落下するものとする。本報告では、落下物体は滑車に取付けられており自由落下するものとしているので、落下距離の測定値から、落下加速度を最小二乗法により推定する。推定された加速度を用いて、落下物との目標接触位置 y_c に到達する時刻 t_c を計算することができる。現時刻の手先の位置、速度、時刻 t_c において、落下物体と手先の位置、速度が等しいという4条件から手先の目標軌道を時刻の3次関数で求める。この関数から、次時刻の手先位置の目標値を求める。

4-2 接触後の手先の目標軌道生成

接触後はあるインピーダンス特性を実現するように手先位置の目標値を求める。実現したいインピーダンス特性を以下のように表す。

$$M\ddot{y} + C\dot{y} + Ky = F \quad (5)$$

ここで、 F は手先と落下物との間の接触力であり、 M, C, K はそれぞれ、手先に実現させたいインピーダンス特性における質量、粘性係数、バネ定数を表す。サンプリングの間は接触力が一定であるものとして、(5)式の関係から、次時刻の手先位置の目標値を算出する。算出の際には4次のルンゲ・クッタ法を用いる。

4-3 各関節角度の目標値

手先の目標軌道から、各関節角度の目標値への変換は、手先の目標位置 (x, y) と手先を水平に保つという条件を用いて変換する。

5. 実機試験

Fig.2 のような位置を手先の初期位置と定め、0.4m 上方に落下物体を配置する。以下の2つの目標軌道について実験を行った。

- ① Fig.2 の状態で固定した軌道
 - ② 本報告で述べたような予備動作を行なうように設計された目標軌道
- ②において両者の落下物体との接触位置が同じになるように設計した。実験結果を Fig.3~Fig.5 に示す。Fig.3 は手先を固定した場合の手先にかかる接触力を測定したものである。Fig.4 は本報告で提案した手法に基づいて計算された手先の

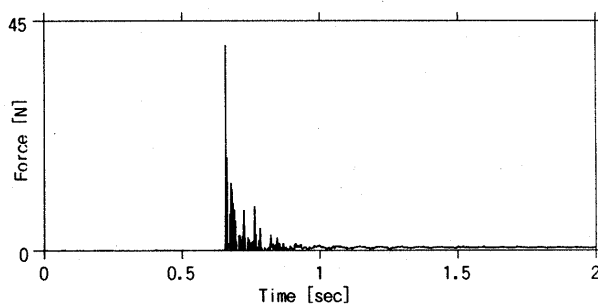


Fig.3 Contact force (fixed)

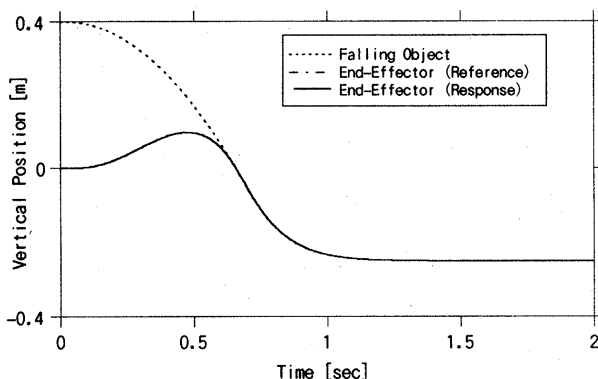


Fig.4 End-Effector's Trajectory

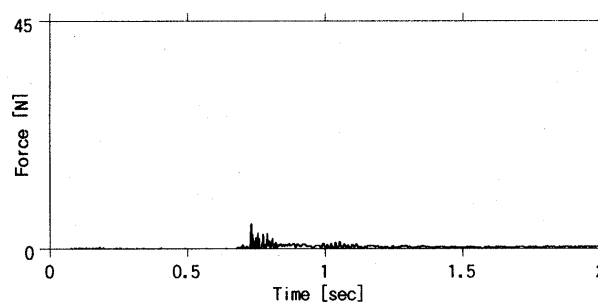


Fig.5 Contact force (proposed)

目標軌道(一点鎖線)と実際の軌道(実線)と落下物体の軌道(破線)をプロットしたものである。Fig.5 はそのときの手先の接触力を測定したものである。その結果、手先が固定されているときと比較して接触力の大きさを 15%程に抑えることができた。

6. おわりに

本報告では、予備動作を利用することにより、落下物体の受け取り動作時における衝撃吸収することを提案し、実験によりその有効性を確かめた。

参考文献

- 1) 山本, 柴田ら4名, 日本機械学会論文集C編, 66-641, 188/194(2000)
- 2) 池浦, 藤井, 猪岡, 日本機械学会論文集 C 編, 60-580, 4123/4129(1994)
- 3) 永田, 渡辺ら 5 名, 精密工学会誌, 64-4, 552/556(1998)