〔解 説〕

けん玉ロボット

三 浦 宏 文**

1. けん玉ロボットの意義

筆者の研究室では、ロボットにいろいろの玩具を扱わせることを試みている。その内のひとつが「けん玉ロボット」である。研究室で作成したロボットの腕には AMY (エイミー) というニックネームをつけているが、その三番目と四番目すなわち AMY-III, IV がけん玉を行うのである。

この研究の主目的は、マニピュレータを高速かつ正確に運動させるための技術の確立であり、その具体例のひとつとして、けん玉をとりあげたのである。けん玉をやらせればマニピュレータが正確に動いたかどうかは一目瞭然であり、学生達も興味深く挑戦してくれた。さらに、視覚情報を制御にとり入れることによって成功率を高めることを試みた。玉の空間内での位置をひとつの TV カメラによって立体的に計測することを試みたりしたので、視覚に関する技術的ノウハウを研究室の中で得ることができた。

2. 二次元けん玉ロボット

AMY-III は、図 1 においてモータ # 0 を取り除いたものである。運動は垂直平面内に拘束されたものとなる。図 1 のマニピュレータの右端に皿がとりつけられ、玉が糸でつり下げられる。この玉を、加速しつつ垂直上に引き上げてゆかねばならない。そのためには θ_1 , θ_2 , θ_3 がどのように変化すればよいかを定めることができる。玉に十分な速度がつけば、手先に当たらないように少し手前に打込めつつ下へ動かし、落下してくる玉を受ければよいのである。

図 2 (a) に各関節に要求される動きを示す。さて、この各関節の動きを位置制御によって実現しようとしても十分な

精度は得られず、玉を受けることはできない。そこで動的制御¹⁾を行う。すなわち、図 2 (b) のように必要なトルクを運動方程式に基づいて求めておき、これに必要な電圧を各関節のモータに供給する。一方各関節が (a) のように動いているかどうかモニタリングしてフィードバックして修正トルクを加える。けん玉成功率はほぼ 90% である。つぎに TV カメラを写真 1 が見

図 1 3次元けん玉を行う AMY-IV の機構図
(AMY-III は motor #0 を取り除いたものである。
動きは2次元である)

図 2 2次元けん玉を行うための関節の動き（左側）とそれを実現するためのトルク（右側）

原稿受付 1986年9月17日

* A Cup and Ball Robot

** 東京大学工学部機械工学科

写真1
AMY-III

えるような位置におき、玉を視覚によって追いかけて視覚情報フィードバックを行った²⁾。この場合は、振り子のように玉が動いている状態からスタートしても、けん玉成功率は95%以上であった。この場合は、最初に、振り子運動をしている玉の振幅を視覚により観察し、引き上げるタイミングを決める。この引き上げ開始時刻は、皿で玉を受けるときに、玉の水平方向速度成分が0となるように定められる。振幅と引き上げ位置（振り子運動中のある位置で引き上げを開始する）との関係は、あらかじめシミュレーションで求めている。引き上げ後は、約30msごとに玉の位置を視覚でとらえ、予定していた位置よりずれていると、図2(a)に修正をほどこすという方法で目標値を変更しつつけん玉を行う。

皿で玉を受ける外に、玉の穴に剣先を突っ込む剣突きも行った。皿と剣を交換し、視覚なしの動的制御で約50%の成功率であった。

3. 三次元けん玉

AMY-IVでは、三次元空間内でのけん玉を試みた。玉の空間的な位置を観測するために、図3のように4枚の鏡をセットして、ひとつのカメラで(X, Y, Z)が分るようにした。画面の左半分でYを、右半分でXを、高さでZを知ることができる(若干の角度による誤差修正が必要)。

リアルタイム・マルチタスキングOS(RMS-68K)を用いて制御を行ったが、画像処理、玉の位置計算(上記の誤差修正)などに時間が必要で、けん玉を行うのは少し無理があった。そこで、風船をお手玉のように(撞)く運動を行わせたが、これは可能であった。空間内の風船の位置を正しく求めてマニピュレータはそれを追いかけることができた。

図3 1台のTVカメラで物体の3次元位置を計測するための鏡の配置

かけることができた。

参考文献

- 1) R. P. Paul (吉川恒夫訳)「ロボットマニピュレータ」コロナ社, p. 152~188
- 2) 竹中一起「視覚をもつマニピュレータの動的制御」東京大学修士論文, 昭和59年。
- 3) 松本淳「立体視によるマニピュレータの制御」東京大学修士論文, 昭和60年。

三浦宏文 (Hirofumi MIURA)

昭和13年3月17日生れ、昭和35年東京大学工学部機械工学科卒業、40年同大学院工学系研究科修了、工学博士。40年東京大学工学部講師、41年同大学助教授、53年同大学教授、現在に至る。この間、ジャイロ機器、システム工学、ロボットなどの研究に従事。日本機械学会、オペレーションズリサーチ学会、日本システム学会の会員。(日本ロボット学会正会員)