

接触点検出手法を用いた多制御型コントローラ

藤原 基芳*, 増田 峰知**, 北垣 高成***, 中北 賢司*

The Multiple Controller with Contact Point Detection

by Motoyoshi FUJIWARA, Takanori MASUDA, Kosei KITAGAKI
and Kenji NAKAKITA

〔要旨〕

接触点検出手法を用いた多制御型コントローラを開発した。多自由度ロボット，クレーンやパワーショベル，電動車椅子の操作や，N/C装置のティーチング等，多数の応用例が考えられる。この多制御型コントローラは人間の指がコントローラのどの位置に接触しているかを検出する。また，人間の指がコントローラに加えた力の大きさ，あるいはコントローラのスティックに加えた位置の変化を検出する。そして，接触点の位置により，操作対象となる機器のどの軸を動かすかを決定し，加えられた力，あるいは位置変化により，どれだけの量を動かすかを決定する。他の多制御型コントローラと比較して構造が簡単である。

1. はじめに

著者らは，互いに独立して制御可能な作動系の制御に用いられるコントローラを開発している。この装置の用途は，コンピュータシステムの入力デバイスや，産業用などのロボットの制御装置あるいは各種福祉機器における操作装置などが考えられる。

従来から，産業用ロボットの操作装置やコンピュータシステムの入力装置等において，複数の独立した作動系をコントロールするための多制御型コントローラとして，様々なジョイスティック型コントローラ¹⁾が知られている。このような従来のコントローラは，制御対象作動系を切り替えるスイッチを備えていた。このスイッチにより制御対象となる作動系を選択した上で，ジョイスティックを傾動操作することにより，選択した一つの作動系に対して，傾動方向に対応した方向の作動信号を出力するようになっている。

このようなコントローラは，制御対象となる

作動系の数に応じた数だけのスイッチを設ける必要があることから，制御対象となる作動系の数を考慮して装置ごとに設計する必要があり，複数の異なる装置への汎用性が乏しいという問題がある。このような問題に対処するために，ジョイスティック型コントローラを複数本用いたり，あるいは制御対象を選択する切り替えスイッチをジョイスティックとは別途に設けることも考えられる。しかし，このような構成を採用すると構造が複雑になるとともに操作性の低下が避けられない。

また，多軸の装置を操作するために，6軸のコントローラが開発されている²⁾。このようなコントローラを用いると，切り替えスイッチを用いることなく，6軸の装置を制御することができる。ところが，このようなコントローラには，多数のセンサが必要で，構造も複雑なため，製造が難しい。

本報告で提案する装置は，多数の独立した作動軸を持つ装置において，複数の軸の操作を容易に行うための多制御型コントローラである。

本報告では，この多制御型コントローラの原理を説明し，当所が保有する材料を用いて「力覚センサによる接触点検出手法を用いたジョイ

* 機械電子グループ

** 金属センター研究グループ

*** 電子技術総合研究所

スティック³⁾を製作した事例を示す。コントローラの応用例として6自由度ロボットの操作を示す。

2. 接触点検出手法を用いた多制御型コントローラについて

2.1 原理

提案する多制御型コントローラは、操作部分を複数の操作領域に分割して、どの操作領域に操作力が及ぼされたかを検出する操作位置検出手段を設けるとともに、その操作領域に及ぼされた物理量を検出する手段を設けて、操作位置及び操作物理量に応じて、操作対象の各軸への制御信号を出力するようにしたものである。

したがって、この多制御型コントローラにおいては特別な機械式スイッチを用いることなく、簡単な構造によって複数の作動系をコントロールすることができる。

2.2 実施形態の例

多制御型コントローラの実施形態例を示す。なお、本節の多制御型コントローラはアイデアのみで、実機は製作していない。

2.2.1 接触部位検出フィルムを用いた多軸ジョイスティック

図1に、接触部位検出フィルムを用いた多軸ジョイスティックを示す。このジョイスティックは、スティックの外周面に対して、その全表面を覆うようにして、接触部位検出用のフィルムが張り付けられている。また、スティックの下部には、揺動角度及び揺動方向検出用のセンサが設けられている。

このジョイスティックは、A, B, Cのどの領域に手が触れたかを検出したかによって、操作する作動系を決定し、スティックの傾いた方向によって操作する軸を決定し、スティックの傾いた角度によって操作量を決定する。

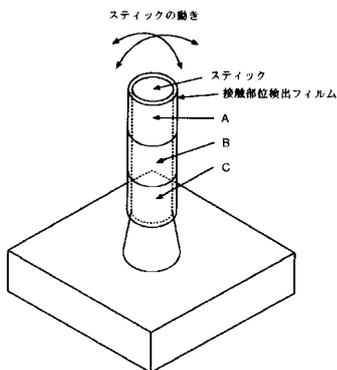


図1 接触部位検出フィルムを用いたジョイスティック

2.2.2 圧力分布測定センサを用いた多制御型コントローラ

図2に、圧力分布測定センサを用いた多制御型コントローラを示す。圧力分布測定センサとは、センサ上のどの位置に、どれだけの大きさの圧力がかかったかを計測するセンサである。主に、人間が椅子に座ったとき椅子にかかる圧力分布や、ベッドに寝ているときベッドにかかる圧力分布を計測するのに用いられている。

この圧力分布センサを図3のように領域分けすることにより、ロボットの操作に応用することができる。

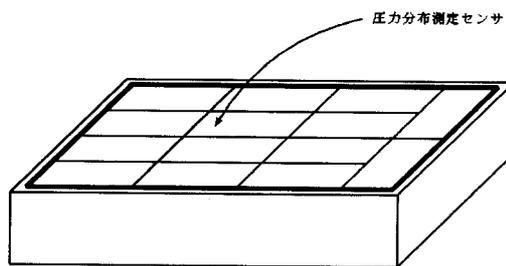


図2 圧力分布測定センサを用いた多制御型コントローラ

(J)x軸周り左回転	(K)z軸周り右回転	(C)y軸正方向	(M)アップパドル
(B)x軸負方向	(E)z軸正方向	(A)x軸正方向	
(H)y軸周り左回転	(F)z軸負方向	(G)y軸周り右回転	(N)ダウンパドル
(I)x軸周り右回転	(L)z軸周り左回転	(D)y軸負方向	

図3 圧力分布センサの領域分け

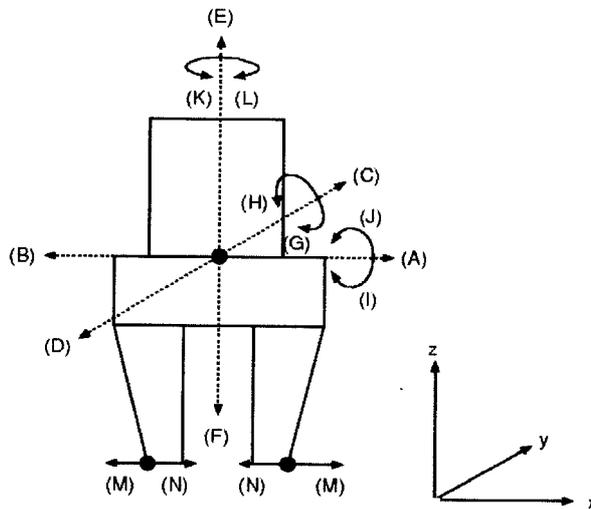


図4 ロボットの手先の動き

図3において(A)~(N)の箇所を押すと、押した領域によってロボットは図4の(A)~(N)の動きをする。また、押す力の強弱によって作動速度が変わる。

3. 力覚センサによる接触点検出手法を用いた多軸ジョイスティック³⁾

市販の力覚センサを用いて、「接触点検出手法を用いた多制御型コントローラ」の一例である「力覚センサによる接触点検出手法を用いた多軸ジョイスティック」(図5,6)を試作した。本章では、これを入力装置として6自由度平行メカニズムの操作に適用した例について報告する。

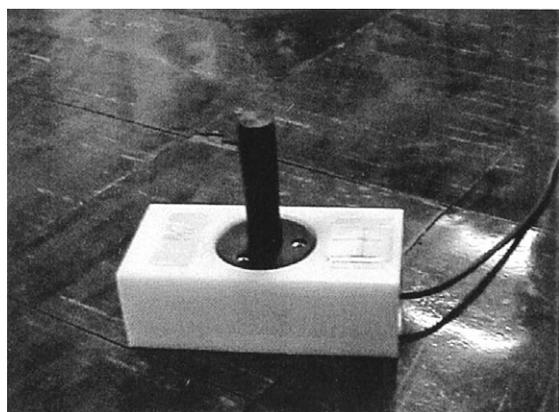


図5 力覚センサによる接触点検手法を用いた多軸ジョイスティック

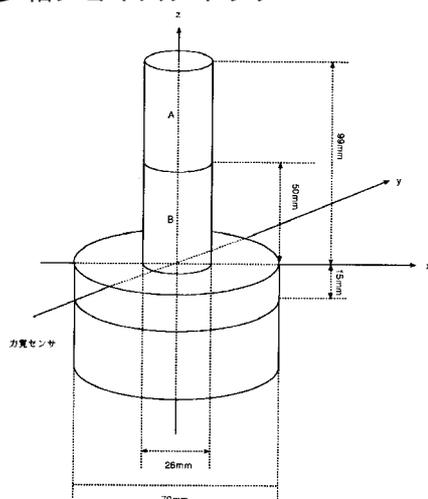


図6 力覚センサによる接触点検手法を用いた多軸ジョイスティックの寸法

3. 1 操作対象判別の仕組み

一般に6自由度以上の操作を図5に示すような1本のジョイスティックで行う場合、作業者は、水平方向の並進運動と、水平軸に対する回転運

動を分離することが困難である場合が多い。

そこで、我々は、手で持ったときの高さ位置の違いを入力成分とすることで操作性の向上を試みた。ジョイスティックの上半分の領域を持ってx軸,y軸方向に力をかけたときにはマニピュレータの手先はそれぞれx軸,y軸方向に並進し、ジョイスティックの下半分の領域を持ってx軸,y軸方向に力をかけたときにはマニピュレータの手先はそれぞれy軸周りに回転するようにする。また、ジョイスティックを持つ位置に関係なく、ジョイスティックにz軸方向の力、z軸周りのモーメントを加えたときには、マニピュレータの手先はそれぞれz軸方向に並進、z軸周りに回転するようにした。

以上の原理により、同時に4軸ずつ(x,y,z軸方向とz軸周りに、またはz軸方向とx,y,z軸周りに)の操作ができ、前述した並進と回転作業の分離が容易である。また、把持位置の判定を細かくすることにより、7軸以上の操作を割り当てることが可能であり、より多くの自由度に対応できる。

3. 2 接触点のz座標の求め方⁴⁾

ジョイスティックを握っている位置を検出するために、以下の手法を用いた。

力覚センサ座標系において、力覚センサに固定した物体の形状及び位置と姿勢が既知で、その表面が、

$$g(x, y, z) = 0 \quad (1)$$

で与えられるとする。力覚センサに固定した物体に他の物体が(x,y,z)において点接触し、そのときのx,y,z方向の力及びx,y,z軸周りのモーメントがそれぞれ $f_x, f_y, f_z, m_x, m_y, m_z$ で与えられたとする。 $l = f_x / |f|, m = f_y / |f|, n = f_z / |f|, p = m_x / |f|, q = m_y / |f|, r = m_z / |f|$, $x_0 = mr - nq, y_0 = np - lr, z_0 = lq - pm$ とすると、

$$\begin{aligned} x &= x_0 + l, \\ y &= y_0 + m, \\ z &= z_0 + n, \end{aligned} \quad (2)$$

により、力覚センサに固定した物体に働く力の作用線を求めることができる。式(2)を式(1)に代入して x を求め、求められた x を式(2)に代入すると、接触点(x,y,z)を求めることができる。

本稿の場合、ジョイスティック円筒面は

$$g(x, y, z) = (x - x_1)^2 + (y - y_1)^2 - R^2 \quad (3)$$
 (x_1, y_1) :力覚センサ座標系におけるジョイスティック中心位置(1[mm],0[mm]), R :ジョイスティックの半径(13[mm]), で与えられる. 式(3)に式(2)を代入すると, 接触点の z 座標(手で持っている位置の z 座標)を求めることができる.

3. 3 実験

力覚センサを用いた多軸ジョイスティックを試作した. 力覚センサの定格荷重は $F_x, F_y = 98 \text{ N}$, $F_z = 196 \text{ N}$, $M_x - M_z = 9800 \text{ N}\cdot\text{mm}$, 非直線性とヒステリシスは定格の1.0%以下, 温度ドリフトは定格の0.5%/°C以下である. ノイズの標準偏差は $F_x, F_y = 0.03 \text{ N}$, $F_z = 0.09 \text{ N}$, $M_x = 1 \text{ N}\cdot\text{mm}$, $M_y = 2 \text{ N}\cdot\text{mm}$, $M_z = 1 \text{ N}\cdot\text{mm}$ である.

この多軸ジョイスティックを用い, 当所等で開発した6自由度パラレルメカニズム⁵⁾の操作実験を行った. 対象とした作業はベアリング組立工程中のコロの押し込み作業である. この作業の様子を図7に示す.

検出された把持位置の誤差は数十mm程度であった. しかし, ジョイスティックの最上部を握れば $z < 50$ [mm], ジョイスティックの最下部を

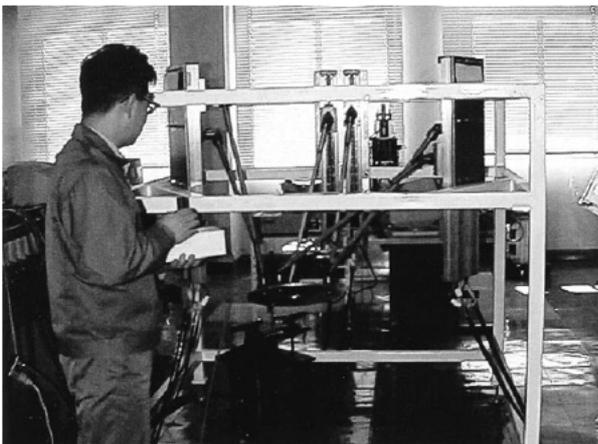


図7 ジョイスティックを用いたパラレルメカニズムの操作

握れば $z < 50$ [mm]と判別され, 操作対象となる軸の誤判別はなかった.

このジョイスティックを用いて, 数人の被験者により実験を行ったところ, 「3軸ジョイスティックを2本使うものより直感的で操作しやすい」という評価を得て, 良好な結果を示した.

4. 結言

接触点検出手法を用いた多制御型コントローラの原理について説明し, その事例について紹介した. また, その一形態である力覚センサによる接触点検出手法を用いた多軸ジョイスティックを開発した. これは, 従来分離が困難であった水平方向の並進運動と軸周りの回転運動の操作を改善したものである. この装置を用いて6自由度ロボットの操作を行った結果, 「3軸ジョイスティックを2本使うものより直感的で操作しやすい」という評価を得て, 良好な結果を示した.

参考文献

- 1) 例えば特開平7-281779号
- 2) 例えば特開平8-66882号
- 3) 藤原基芳, 増田峰知, 北垣高成: “接触点検出手法を用いた多軸ジョイスティック”. ロボティクス・メカトロニクス講演会'00講演論文集CD-ROM. 1P1-69-109 (2000)
- 4) J. K. Salisbury, Jr.: “Interpretation of Contact Geometries from Force Measurement”. Proc. 1st. Int. Symp. on Robotics Research (MIT Press), p. 565-577 (1984)
- 5) 増田峰知, 藤原基芳, 新井健生: “垂直直動型パラレルメカニズムの運動学解析と試作”. 日本機械学会論文集(C編), Vol. 65, No. 638, p. 4076-4083 (1999)