The Japan Society of Mechanical Engineers

日本機械学会[No. 077-1]北陸信越支部 第44期総会・講演会
講演論文集[2007. 3. 8, 金沢市]

センサフィードバック機能を備えた操縦型ロボットシステムの開発

Development of an Operating Robot System with Sensor Feedback

○学生員 井比亨 （新潟工科大学大学院） 正会員 中嶋新一 （新潟工科大学）

Tooru IBI, Niigata Institute of Technology, Kashiwazaki, Niigata.
Shin-ichi NAKAJIMA, Niigata Institute of Technology, Kashiwazaki, Niigata.

Key Words: Operating robot, Master slave system, Sensor feedback

1. はじめに

現在生産現場ではロボットによる自動化が進んでいる．しかし少ロットあるいは単品生産の現場ではロボットが融通性に欠けることなどの問題があり，ロボットによる自動化が進んでいない．そのため単品生産は人間が作業を行わざるを得ない．この問題を解決する方法として単品生産にも適用できる倣い作業システムの構築を目指している．具体的にはロボットの自動倣い作業に人間が介入し，人間の柔軟性・判断能力とロボットの作業精度・自動機能の特性を兼ね備えた半自動システムの開発を進めている[1]．従来の研究では位置制御の自動化を行っていた。本研究ではさらに姿勢の制御の自動化を行う。

2. 操縦型ロボットシステム

操縦型ロボットシステムは作業を行う市販の産業用ロボット（PA-10 三菱重工製），ロボットを操縦するアクティブジョイスティック，制御用計算機，手先と対象物の距離を測定するセンサと姿勢を測定するセンサにより構成される．

Fig.1 にシステムを示す．このシステムは大きく分け人がロボットを操作する手動モードと，センサフィードバック制御により対象物との距離・姿勢を自動的に保つ自動モードを持つ．手動操作と自動機能を使い分けることで，人間の柔軟性・判断能力とロボットの作業精度・自動機能を生かした作業ができる．例えば高い精度が要求される作業は自動モードで作業し，確実なセンサ情報が得られない状況や精度が要求されない作業では手動で作業を行うなど様々な状況に対応できる．

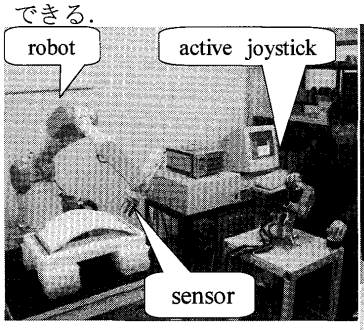


Fig.1 Operating robot system.

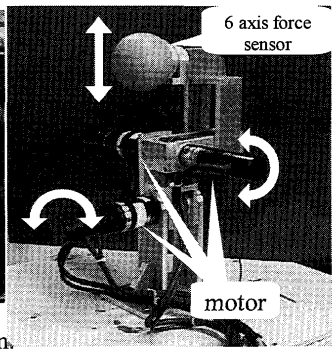


Fig.2 Active joystick.

ロボットをインタラクティブに操縦するために Fig.2 に示すモータ駆動のアクティブジョイスティックを開発し使用している[2]．ジョイスティックのグリップには，小型の６軸力覚センサが取り付けられている．６軸力覚情報のうち３軸並進力をロボットの並進運動の操作に用い，３軸モーメントをロボット手先姿勢の操作に用いる．またモータを３つ用いることで２軸のピボットと１軸の擬似並進運動を実現している．これによりジョイスティックはロボットの手先姿勢に同調した姿勢をとることができる．

Fig.3 に距離と姿勢を測定するセンサを示す．距離のセンサには高精度レーザーセンサを使用している．一方姿勢の測定には小型の光学距離センサを３つ組み合わせ，X軸とY軸回りの２軸姿勢角を測定する．$D_1D_2D_3$の３つの距離測定値からX軸とY軸回りの法線方向角 α，β を測定する

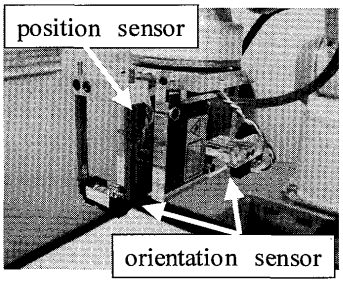


Fig.3 Proximity sensor

Fig.4 より $D_1D_2D_3$ と α，β の関係は(1)の式で表せる．

$$D_2 - D_1 = \tan\beta(\ell_1 + \ell_2) + \frac{\tan\alpha}{\cos\beta}\ell_3$$

$$D_3 - D_2 = \frac{\tan\alpha}{\cos\beta}(2\ell_3) \quad \cdots(1)$$

α，β が十分小さい場合(2)式で近似できる。

$$\Delta D_{21} \cong \Delta\beta(\ell_1 + \ell_2) + \Delta\alpha\ell_3$$

$$\Delta D_{32} \cong -\Delta\alpha 2\ell_3 \quad \cdots(2)$$

よって α，β は(3)式で求められる．

$$\Delta\alpha \cong \frac{\Delta D_{21}}{2\ell_3} \quad \cdots(3)$$

$$\Delta\beta \cong \frac{\Delta D_{32} - \Delta\alpha\,\ell_3}{\ell_1 - \ell_2}$$

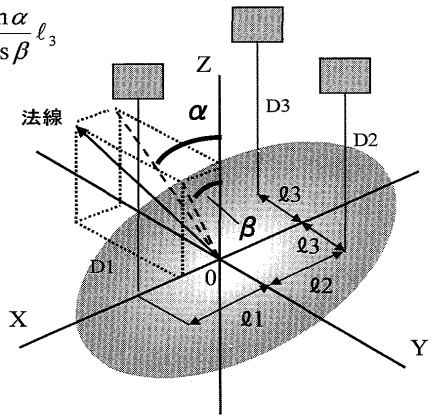


Fig.4 Principle of the orientation sensor

3. システムの制御系

Fig.5 に操縦型ロボットシステムの制御系を示す．このシステムでは選択行列 $K_J = diag(k_J), K_R = diag(k_R)$ を設定しておき手動操作と自動機能を切り替える．k_J，k_R は0と1の要素を持つ選択ベクトルである．各要素はXYZの

NII-Electronic Library Service

位置と XYZ 軸まわりの姿勢に対応する．代表的な動作と選択ベクトルの設定値を table.1 に示す．

手動モードでは作業者のジョイスティック操作によってロボットを操縦する．このモードは k_J の要素をすべて 1 にし k_R の要素をすべて 0 にすることで，センサ情報の有無に関わらず位置と姿勢を自由に動かすことができる．

距離のセンサフィードバック制御を行う場合は k_J の Z 軸方向の要素を 0 にし，k_R の Z 軸方向の要素を 1 にする。これによりロボット手先と対象の距離を自動で保つ動作となる．また距離をフィードバックしていない X・Y 方向はジョイスティックで動かすことができる．

一方姿勢のフィードバック制御を行う場合は行列 k_J の X・Y 軸まわりの要素を 0 にし，k_R の X・Y 軸まわりの要素を 1 にする．これにより 2 軸回りの角度を目標値に保つセンサフィードバック制御を行う．このように選択ベクトルにより各モードを切り替える．

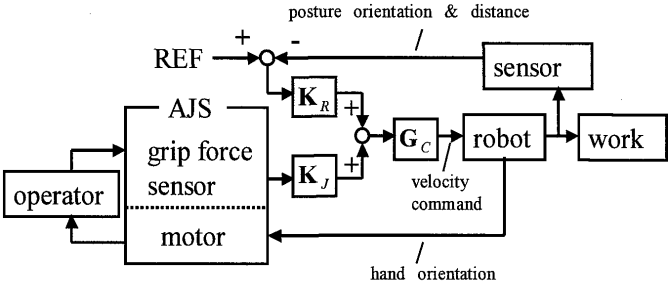


Fig.5 Control system.

	k_J^T	k_R^T
manual mode	(1 1 1 1 1 1)	(0 0 0 0 0 0)
feedback(distance)	(1 1 0 1 1 1)	(0 0 1 0 0 0)
feedback(orientation)	(1 1 1 0 0 1)	(0 0 0 1 1 0)

Table.1 Selection vectors

手動モードと自動モードの切り替えは操縦者が任意のタイミングで行うことができるほか，センサ情報が決められた範囲から出た場合，一時的に手動モードに切り替える．これは自動モード動作中に段差などによってセンサ情報の急激な変動や断絶がおきた場合，フィードバックを続けると危険なためである．センサ情報が範囲内に戻れば自動モードに復帰する．このときスムーズに切り替えるため 0 と 1 の間は連続的に変化する。

4. 実験

システムの性能を確認するため以下の 2 つの実験を行った．

4. 1. 曲面倣い作業実験

Fig.6 のような曲率半径約 300mm の曲面の対象物を倣う実験を示す． $\mathbf{k}_J$=(1 1 0 0 0 0) $\mathbf{k}_R$=(0 0 1 1 1 0)に設定し距離と姿勢のフィードバックを行い，ロボット手先の移動速度はジョイスティックで行っている．手先姿勢，手先位置，姿勢センサの結果を Fig.8 に示す． 2~3[deg]程度の誤差があるものの面に対しほぼ垂直に角度を保てていることがわかる．

4. 2. 自動モードと手動モードの切り替え実験

自動モードで倣い作業中にセンサ情報が途切れたとき手動モードに切り替える実験を行った．Fig.7 に示すような浅い穴と深い穴のある対象物を想定している．Fig.9 に手先位置と距離センサの結果を示す．センサ情報の途切れない浅い穴(A-B)では自動モードのままで作業を行うことができる．また C 点で自動モードから手動モードに一時的に切り替わっている．C-D 区間では対象物との距離が 65mm と表示されているが，これはセンサが距離を検出できていないことを示している．この区間では作業者が目視しながらジョイスティックによる手動操作で動かしている．D 点でセンサ情報が得られると自動モードに復帰する．C 点，D 点で滑らかにモードの切り替えが行われている．

5. おわりに

倣い作業をロボット化する方法として，市販のロボットを用い手動操作と自動機能を組み合わせて作業を行う方法を提案した．試作システムを用い曲面倣い作業実験を行った結果，精度のよい倣い作業を遂行できることが確認された．また自動機能と手動操作を状況に応じて切り替えることで効率よく，また安全に作業を行える見通しを得た．

参考文献

1) 井比亨，中嶋新一，センサフィードバック機能を備えた操縦型ロボットシステムの開発，日本機械学会北陸信越支部第 43 期総会講演論文集 P193-194

2) 山口景一，中嶋新一，磨き作業を支援する操縦型ロボットシステムの開発，第 22 回ロボット学会学術講演会 2D16

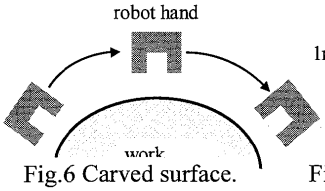


Fig.6 Carved surface.

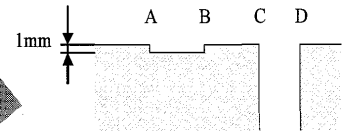


Fig.7 Surface with a hole and a cavity.

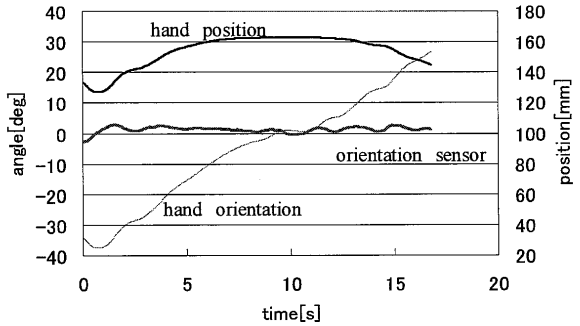


Fig.8 Trace of carved surface.

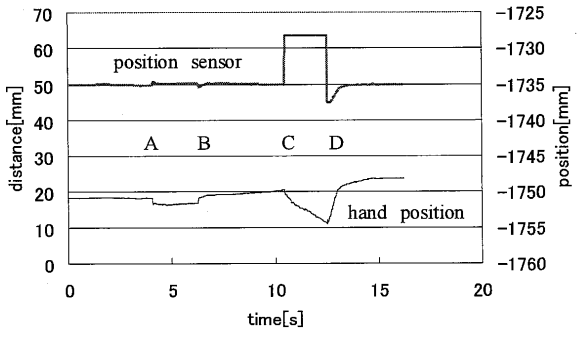


Fig.9 Trace of the discontinuous surface.

NII-Electronic Library Service