

氏名	池 浦 良 淳
授与学位	工 学 博 士
学位授与年月日	平成 3 年 3 月 28 日
学位授与の根拠法規	学位規則第 5 条第 1 項
研究科, 専攻の名称	東北大学大学院工学研究科 (博士課程) 機械工学専攻
学位論文題目	手動制御によるロボット作業の実時間教示に 関する研究
指導教官	東北大学教授 猪岡 光
論文審査委員	東北大学教授 猪岡 光 東北大学教授 中野 栄二 東北大学教授 林 叡 東北大学助教授 石原 正

論 文 内 容 要 旨

第 1 章 序 論

近年、産業用ロボットが工業界に導入され、生産ラインの効率化、無人化が図られるようになってきた。しかしながら、ロボットは単純な作業を中心に利用されており、クレーン作業のような複雑な動特性を有する作業においては人間作業者に頼っているのが現状である。人間は練習や経験により複雑な動特性を含む作業を実行することが可能なため、このような人間の作業能力をロボットの教示に利用できれば、より広範囲な作業にロボットが適用できると考えられる。

本論文では、人間の作業能力をロボットの教示に利用するための手法として、ジョイスティックコントローラを用いたマスタ・スレーブマニピュレータによる実時間教示法を提案する。さらに、教示データを繰り返し修正し完成度を高める方法として、位置及び速度の修正法を提案し、その有効性を示す。また、本手法で作成されたデータの汎用性を高めるため、ロボット言語へ利用可能なデータの生成法について検討する。

第 2 章 実時間教示法と人間オペレータの制御能力

本研究で提案する実時間教示法は、以下に示す手順で行うものである。また、図 1 に実時間教示を可能としたマスタ・スレーブマニピュレータのブロック図を示す。

- (1) マスタ・スレーブマニピュレータを人間オペレータが手動制御により操作し、動特性を含む作業を繰り返し練習する。

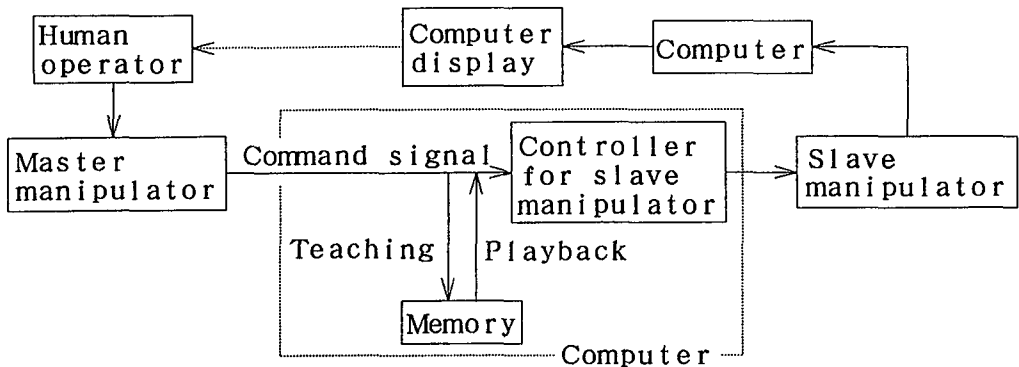


図1 教示を可能としたマスタ・スレーブマニピュレータの構成

(2) 練習により満足できるロボットの操作が実現できたなら、対応する目標値を一定のサンプリング時間でCP制御（Continuous Path Control）のデータとしてコンピュータに記憶する。

(3) 記憶したときとおなじサンプリング時間で教示データを再生（Playback）することにより、動特性を持つ作業をスレーブマニピュレータに自動的に実行させる。

この手法の特徴は、上記(2)及び(3)でCP制御のデータを記憶するサンプリング時間と再生するサンプリング時間を同じにすることである。

これにより人間オペレータの操作を、その動特性を失わずして教示データにすることが可能となる。また、スレーブ側の動きをわかりやすくするために、それをモニタするディスプレイを用意した。マスタマニピュレータとして、3次元のジョイスティックコントローラ、スレーブマニピュレータとして平行リンク機構を持つ3自由度の垂直多関節型マニピュレータを用いた。

マスタ・スレーブマニピュレータに対する人間オペレータの作業実行能力を評価することは、作業を教示する効率の上からも大変重要であると考えられる。そこで、2次元の軌道追跡作業に対し、その習熟特性から人間オペレータの制御能力を評価してみた。図2は繰り返し回数に対する軌道誤差と誤差の代表周波数を示したものである。代表周波数はパワースペクトルにおいてパワーが全体の半分になるものである。これから、人間オペレータは練習するに従いマニピュレータをすばやく操作し、追従誤差を減少させることが可能となることがわかる。

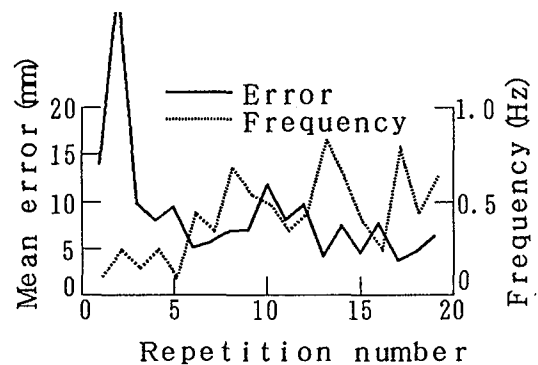


図2 マスタ・スレーブマニピュレータの操作における追従誤差及び代表周波数

第3章 教示位置データの繰り返し修正法

ここでは、完成度の高い教示データを作成するための方法として、教示位置データの繰り返し修

正法を提案した。この方法は図3に示すように、教示データを再生するとき人間オペレータからの操作量を加えることにより、ロボットの動作を修正するものである。本手法を重り投げ作業の教示に適用した。重りはロボット手先に取り付けられたハンドにより把持されており、アームを動かし適当な速度になったらハンドを開き、重りを投げる。重りの落下すべき目標位置を設定すると、投げ出す速度及び方向は重りの自由落下運動から求めることができる。これにより、アームの動きの軌道計画をオフラインで行うことができる。しかし重りやアームの慣性の影響により、重りを投げ出す方向や速度に誤差が生じてしまう。図4はその影響を考慮して修正を加えた結果である。数回の修正を行うことにより、重りの落下点を目標に近づけることができた。

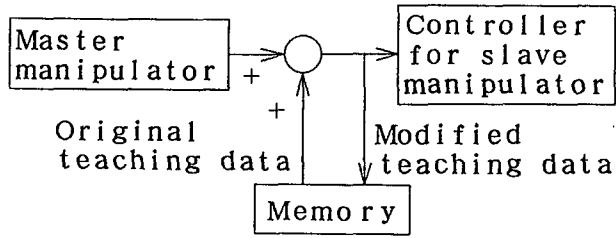


図3 教示位置データ修正法のブロック図

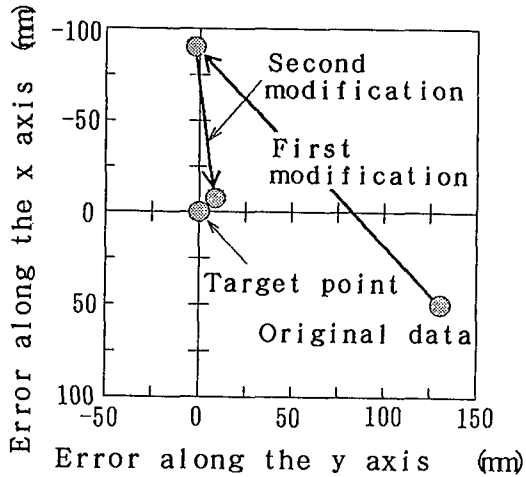


図4 修正法の重り投げ作業への適用

第4章 教示速度データの繰り返し修正法

作業が速くなるとアームや重りの慣性の影響を補償する必要があるが、このような場合には、前章のような軌道に沿った位置だけでなく、速度も修正できるようにする必要がある。ここでは、教示速度データの繰り返し修正法を提案し、2次元図形的高速描画作業の教示に本手法を適用しその有効性を示した。図5(a)は1辺200mmの四角図形を約1秒で描いた場合の、ロボット手先軌道を示したものである。ここで黒丸はロボットのサーボ系に送られる教示軌道で、白抜き丸は手先が描いた実軌道である。また、ロボット手

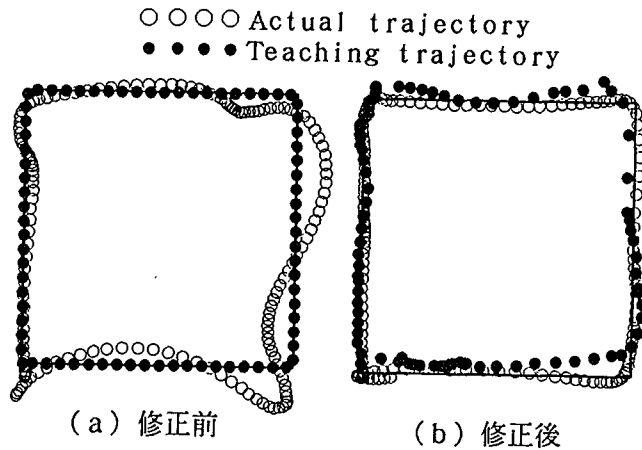


図5 高速描画作業

先には重りが取り付けられている。教示軌道を目標軌道に一致させたときには、図のように実軌道は重りなどの慣性の影響により目標軌道から大きくずれてしまう。図5(b)は本修正法及び第三章の修正法を適用し教示軌道を修正した結果である。図に示すように教示軌道は目標軌道より大きくずらされており、慣性の影響がでやすい角の部分では速度が低くなっている。

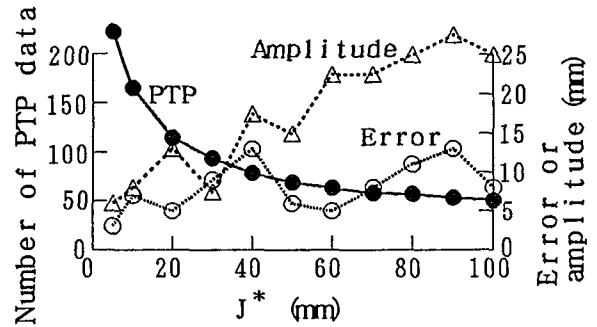


図6 評価許容値に対する節点の生成数、目標点での誤差、重りの揺れ

第5章 ロボット言語に利用可能なデータの生成

ここでは、実時間教示法で得られた教示データの汎用性を高めるために、CP(Continuous Path)データをPTP(Point To Point)データに変換することにより、ロボット言語に利用可能なデータに変換する手法を提案した。図6はクレーン作業における実時間作業教示により得られたデータをPTPデータに変換したときの生成節点数と、それにより再生したときの重りの揺れ及び目標点での誤差である。図の J^* はデータを変換するときの評価値であり、これが大きいとPTPデータ数は小さくなるが、人間オペレータの微妙な操作情報が失われるため重りの揺れと目標点での誤差が大きくなることがわかる。CPデータ数4273にたいしてPTPデータ数が約200(約1/20の圧縮)では、目標点の誤差及び重りの揺れは小さく、作業を教示通りに実行する情報は保存されている。

第6章 結 論

本章では本論文の総括として各章の結論をまとめている。

審 査 結 果 の 要 旨

近年、産業ロボットが工業界に導入され、生産ラインの効率化、無人化が図られるようになってきた。しかしながら、ロボットは単純な作業を中心に利用されており、複雑な動特性を有する作業においては人間作業者に頼っているのが現状である。人間は練習や経験により複雑な動特性を含む作業を実行することが可能なので、このような人間の作業能力をロボットの教示に利用できれば、より広範囲な作業にロボットが適用できるであろう。

本論文は、以上のような見地から、人間の作業能力をロボットの教示に利用するための手法として、ジョイスティックコントローラを用いたマスタ・スレーブマニピュレータによる実時間教示法を提案し、その有効性を示したもので、全編6章よりなる。

第1章は序論である。

第2章では、ジョイスティックを用いて実時間教示を行うための方法を示している。さらに、人間のジョイスティックによる作業実行能力を、2次元の軌道追跡作業に対する習熟特性を解析することで評価しており、人間は習熟が進むにつれて高い周波数成分まで操作するなど、重要な知見を得ている。

第3章では、ジョイスティックを用いた教示位置データの修正法を提案しており、これにより高精度な教示が可能であることを示している。さらに本修正法を用いれば、ロボットの軌道計画に基づきオフラインプログラミングにより求めた教示データを、実時間で修正することも可能であり、従来の教示方式の改善にも利用できる。これは、本教示法の応用上重要な知見である。

第4章では、ジョイスティックにより教示速度データの修正法を提案している。本手法は、人間の追従が困難な高速作業に利用可能であり、高速描画作業の教示実験により、その有効性を示している。

第5章では、実時間教示法で生成したデータを、ロボット言語で利用可能でデータに変換するための方法について述べている。クレーン作業を想定した教示実験に本手法を適用し、その有効性を検討している。

第6章は結論である。

以上要するに本論文は、ロボットの作業教示に対して、人間の高度な作業実行能力を利用する方法を提案し、その有効性を明らかにしたものであり、ロボット工学の発展に寄与するところが少ない。

よって、本論文は工学博士の学位論文として合格と認める。