

報告番号 ^{*}乙第 4488号

主論文の要旨

題名

柔軟材ハンドリング制御に関する研究

氏名 新井史人

主論文の要旨

報告番号	※乙第	号	氏名	新井史人
<p>産業用ロボットアームは基本的にエンドエフェクタ部で十分な位置決め精度ができるように設計されている。このため、ペイロードが剛体である場合には所望の精度での高速制御が容易に行える。ところが、金属板金に代表されるフレキシブルな薄板（柔軟材）をペイロードとする場合、ペイロード自身の弾性変形によるたわみや振動が無視できない。このため、所望の位置決め精度や高速制御は望めず、作業効率は大幅に低下し、時にはペイロードを傷つけてしまう危険性すらある。近年、板金加工等における加工材は薄型化、大型化してきており、このような柔軟材の運搬、金属加工機への挿入等のハンドリング作業をロボット・マニピュレータを用いて自動化し、作業・生産効率を大幅に向上することへの期待が大きくなってきている。しかし、この実現性に関する具体的な研究成果は数少ない。</p> <p>最近では、大型宇宙構造物やフレキシブルロボット・マニピュレータ等に代表されるような柔軟構造物の制御に関する研究が盛んである。従来の研究ではモデルのパラメータが既知である場合を取り扱う場合がほとんどである。しかし柔軟材のハンドリング制御を考えると、一般にパラメータは未知である事が多い。このため、従来まで論じられてきた柔軟構造物の振動制御問題に比べ、ロボットによる柔軟材のハンドリング問題は非常に困難である。主な理由を以下にあげる。</p> <p><u>(A) 未知パラメータの存在</u></p> <p>一般にペイロードの種類は複数存在し、柔軟材の剛性（曲げ、ねじり等）、密度、形状（長さ、幅、厚さなど）などといった物理的なパラメータは未知であることが多い。</p> <p><u>(B) 柔軟材の種類多様性</u></p> <p>ハンドリング対象である柔軟材には多種多様な形状、材質のものが存在する。特に金属板金の加工行程においては、行程中に柔軟材の内部に空孔を開けたり、端部を折曲げたりすることが多く、ハンドリング制御を行うための数学モデルとして正確なモデルを得ることが一般に困難である。</p>				

主論文の要旨

報告番号	※乙第	号	氏名	新井史人
<p>(C) センサ・アクチュエータ選定上の制約</p> <p>振動制御においては差動型太陽電池センサやひずみゲージに代表される対象物設置型センサの有効性が示されている。柔軟材を制御対象とする場合、加工対象物にセンサを直接設置することができないため、間接的な振動センシング手法をとらざるをえない。また作業工程上、センサ・アクチュエータを複数使用することが困難であり、理論及び実用上の制約が厳しくなる。</p> <p>(A)、(B)により、柔軟材の補償及び振動制御を行うには、柔軟材のパラメータ計測あるいは物理モデル同定を(C)の制約の元で実現する必要がある。また、モデルパラメータが不確実であることや同定誤差も考慮し、制御系に学習機能を付加する必要がある。さらに、ハンドリング対象が複雑化したり、大変形を生ずる場合を考慮し、非線形システムに対応可能な制御方法を検討する必要がある。</p> <p>本論文では以上のような背景を踏まえ、物理パラメータが未知である柔軟材の位置/姿勢及び振動をロボットマニピュレータによりアクティブに補償・制御することを念頭に置き以下の手順で研究を行った。</p> <ol style="list-style-type: none">(1) 振動のモデル化と制御(2) 曲げ・ねじり連成振動のモデル化(3) 曲げ・ねじり連成系制御における残留モードの影響解析(4) 曲げ・ねじり連成系制御方策(5) 柔軟材ハンドリングのための物理モデル同定と残留モードの影響解析(6) 同定モデルに基づいた補償・振動制御(7) ロボット・マニピュレータによる柔軟材の位置姿勢制御系のモデル化(8) ニューラルネットワークを用いた柔軟材のハンドリング制御 <p>以下に各項目の研究内容の概略を述べる。</p> <p>(1) 振動のモデル化と制御</p> <p>分布定数系のモデル化について一般的に述べたあと、代表的なモデル化手法である非拘束モード法によりねじり振動のモデル化を行った。また、モデ</p>				

主論文の要旨

報告番号	※乙第	号	氏名	新井史人
ルベースの制御方法について述べ、実験結果を示した。				
<u>(2) 曲げ・ねじり連成振動のモデル化</u>				
柔軟材の断面形状によっては曲げ振動とねじり振動が連成する。そこで、曲げ・ねじり連成振動が発生するメカニズムを物理的に考察し、そのモデル化を行った。				
<u>(3) 曲げ・ねじり連成系制御における残留モードの影響解析</u>				
曲げ・ねじり連成系の振動を制御する場合、連成モード（残留モード）が制御系に及ぼす影響を明らかにした。すなわち、連成スピルオーバーの存在を定義し、制御系に及ぼす影響を解析した。また、連成系の制御シミュレーションを行い、基本的現象を示した。				
<u>(4) 曲げ・ねじり連成系制御方策</u>				
曲げ・ねじり連成系での振動制御における注意点を明確にし、その制御方策を解析結果に基づいて提案した。				
<u>(5) 物理モデル同定と残留モードの影響解析</u>				
ロボット・マニピュレータによる柔軟材のハンドリングのためのセンシング手法として、ロボットのエンドエフェクタの先端に振動計測センサをつけることを提案した。また、既知入力単点励振による直接／反復的手法による柔軟材の物理モデルの同定方法を提案した。最小2乗法をベースにした方法では残留モードを無視したときの同定精度への影響を明かにし、残留モード無視によって生じるバイアスを除去するための方策を提案した。最小2乗法をベースにしたアルゴリズムは同定可能範囲を比較的広くとれるが、加速度情報を必要とするという欠点がある。そこで、加速度情報を必要としない拡張カルマンフィルタを用いた方法を提案しその有効性をシミュレーションにより示した。				
<u>(6) 同定モデルに基づいた補償・振動制御</u>				
柔軟材の物理パラメータが全て未知である場合に、簡単な計測システムにより物理パラメータを同定し、その同定結果から柔軟材のたわみをアクティ				

主論文の要旨

報告番号	※乙第	号	氏名	新井史人
<p>ブに補償するための補償角を推定するシステムを提案した。また、シミュレーション及び実験を通して提案する補償制御システムの有効性とその限界を示した。同定に用いるモデルとしては簡略化したモデルで十分実用可能であり、物理パラメータが未知であっても微小たわみの範囲内で補償制御が可能となる事を示した。簡略化モデルの使用により演算時間の短縮化が期待できる。ただし、補償角の推定は基本的に静たわみの理論式を基にしているため、大たわみが生じる様な極めて柔軟な構造物や可変断面ばり等を補償制御する様な場合は本方法は適用できない。仮定の範囲内では十分実用可能であることを示した。</p>				
<p><u>(7) ロボット・マニピュレータによる柔軟材の位置姿勢制御系のモデル化</u></p> <p>柔軟材を加工対象物とする時、柔軟材を加工機の近くまで持って行くだけでは不十分で、柔軟材先端の位置、姿勢(先端の角度)を加工機に挿入可能な状態になるように制御しなければならない。この場合、柔軟材の振動制御は柔軟材先端の位置、姿勢制御を考慮しつつ行なう必要がある。このため、位置姿勢制御系のモデル化と制御方法について述べた。</p>				
<p><u>(8) ニューラルネットワークを用いた柔軟材のハンドリング制御</u></p> <p>ニューラルネットワーク制御は未知の線形システムはもとより、未知の非線形システムにもよく適応し、適応制御と比較した時の優位性が示されている。ここでは柔軟材を把持対象とする三つの剛体リンクを有するロボットシステムの位置と姿勢の制御を目標とした。柔軟材の位置、姿勢制御に対し、静的な釣合の軌道をあらかじめ用意し、それを目標軌道とすることで、フィードバック誤差学習を適用して、制御入力を得る方法を提案した。学習方法として、関節運動と振動モードに対して、別々にニューラルネットワークを使用し、それぞれ学習する方法を提案した。本手法によれば、順ダイナミクスを作る手間が省け、関節の運動と弾性モードを別々に学習できる利点がある。ここで提案した手法の有効性を示すために、シミュレーションおよび実験を行い良好な結果を得た。</p>				