

平成 10 年度入学 大学院博士後期課程 システム情報工学専攻 知能機械システム講座

氏 名 **Mohammad Jashim Uddin**

論文題目 Control of Low Powered Robot-Arm using Suspension Systems and its Applications

和訳題目 サスペンションシステムを利用した低出力ロボットアームの制御と応用

- **Abstract**

To manipulate a heavy tool in the horizontal plane robot-arm should have sufficient power to overcome the big gravity force effect of the tool. For this reason, low powered robot-arm is unable to manipulate heavy tools in the horizontal plane. To manipulate the robot-arm in the vertical plane big actuator power is required to overcome the enormous gravity force effect of the robot-arm. For this reason a low powered robot-arm can not move itself in the vertical plane due to the enormous gravity effect, especially when the actuator torque limit is beyond the range of gravity effect. Our objective is to overcome the above problems by a simple and available system.

In the industrial production and automation processes, some times, it is necessary to manipulate a robot-arm horizontally or vertically with a low powered robot-arm. Due to the tool weight in the horizontal plane and due to the enormous gravity force effects of the robot-arm in the vertical plane, a large actuator torque is required. But the actuators of the robot system always exhibit a limited torque capacity. The force-sensing limit of a force sensor is also limited. This research proposes a simple and available manipulation method of low powered direct-drive robot-arm for heavy tasks using a suspension device. Manipulation of suspended tool in the horizontal plane and suspended robot-arm in the vertical plane are considered. In order to ensure heavy object manipulation and precise motion in the horizontal plane, the Suspended Tool System (STS) has been proposed. Suspended Robot-Arm System (SRAS) has been proposed to manipulate the robot-arm in the vertical plane. In the horizontal motion, STS is propitious with the small capacity force sensors and creates small joint friction. Consequently, it has a small effect on the driving torque compared to the traditional tooling system. In the vertical plane, the lifting force of spring balancer compensates the gravity forces of the robot-arm.

The experimental system consists of a robot and a suspension system. The robot system has two degrees of freedom (DOF) and consists of a five-bar link configuration and two low powered direct-drive motors. The suspension system consists of a spring balancer and an overhead rail. The spring balancer can move on the overhead rail freely.

In the vertical plane, the robot-arm can not manipulate itself, especially when the actuator torque limit is beyond the range of the gravity force effect. For this reason, deburring operation by low powered robot system in the vertical plane is very difficult. A new grinding strategy has been developed for low powered robot system in the vertical plane. In order to ensure heavy grinding tasks and precise surface quality by low powered robot-arm system, the Suspended Robot Grinding System (SRGS) has been proposed.

Robot systems usually operate in a constrained environment. So, it is necessary to control the position of the end-effector in the free direction and the contact force in the constrained direction. In order to achieve the position and force tracking simultaneously, this research describes the algorithm of the hybrid position/force tracking scheme with respect to the dynamic behavior of suspension systems. Usually, the gain values of the robot controllers are selected by trial and error method, which is manual and time consuming. A simple and effective feed-forward neural network controller is proposed to determine the gain values of the robot controllers spontaneously. The inputs of the neural network are the commanded velocity and desired force where the desired outputs are the gain values of the robot controllers.

In order to investigate the performance of the robot-arm, simulations have been carried out both in the horizontal and vertical plane using the dynamic models of the robot systems. To move the manipulator in the vertical plane within the torque limit at a desired velocity, the characteristic graph is developed to know the required lifting force. In order to show the possible industrial applications of the proposed suspension systems, we have carried out some experiments both in the horizontal and vertical planes. The experimental results in the horizontal plane show that when the robot-arm grasps the suspended tool, the effective static forces are near the optimal forces, but when the robot-arm grasps the tool without any suspension, the effective forces are extremely high due to the gravity force effect of the tool. The tool weight deflects the arm tip, which causes the position error. The experimental results of hybrid position/force control in the horizontal and vertical planes show that suspension systems ensure heavy tools manipulation by low powered robot-arm with small position and force error. The chamfering operation, the deburring operation of a step burr, and the grinding operation of weld bead have been carried out by suspended robot-arm system in the vertical plane. Material Removal Rate (MRR) is developed for the material SS400 and SUS304. The experimental results show that the proposed system guarantees a high quality grinding surface. Due to many advantages compared to the conventional systems the applications of suspension systems for the robots is becoming a topic of growing interest for its wide possible industrial applications.

(和訳要旨)

ロボットによる生産の自動化においては、ロボットアームを水平、垂直に操作する必要があるが、過重量な工具を操作するためには高出力なモータートルクを持つロボットアームが要求される。水平面口

ロボットアームで過重量な工具を操作するためには、工具の重量を支持するための十分な出力を持つ必要があり、垂直面ロボットアームにおいては、工具の重量に加えロボットアームの重量も操作しなければならないため、さらに大きな出力を持つ必要である。しかしながらロボットシステムのトルクの出力はモータの大きさによって制限され、ロボットアームで過重量工具を操作することは困難である。しかし時として、ロボットラインを組み替えずに過重量工具を操作しなければならない作業が発生することも考えられる。

このような問題を解決するために、本研究では単純で既存のシステムを用い、低出力ダイレクトドライブ・ロボットアームで過重量工具を操作するサスペンションシステムを提案する。サスペンションシステムは水平面におけるサスペンドツールの操作及び垂直面におけるサスペンドロボットアームの操作について考察し、水平面における過重量オブジェクト操作についてはサスペンドツールシステム(STS)、垂直面におけるロボットアームの操作についてはサスペンドロボットアームシステム(SRAS)を提案する。STS及びSRASはセンサへの干渉が少なく関節摩擦が小さいという特徴を持つため、従来のシステムに比べて動作トルク出力に対する影響が小さく、垂直面に対してはロボットアームの重力補正器の役割を持つ。さらに垂直面において研削作業をする場合、モータトルクの出力が重力よりも小さいとロボットアーム自身を操作できないため、垂直面における低出力ロボットシステムでの力作業は困難である。低出力ロボットアームを用いて正確な研削を行うために、サスペンドロボット・グラインディングシステム(SRGS)を提案する。

一般的に機械制御システムは拘束環境下で操作されるが、手先効果器の位置と接触力を制御する必要がある。位置と力を同時に制御するために、本研究ではスプリング・バランサーによる重力補正を考慮したサスペンションシステムの位置と力のハイブリッド動的制御モデルを開発した。通常、ロボット・コントローラのゲイン値は、手動的で時間のかかる試行錯誤によって選定されるが、本研究では自動的にロボット・コントローラのゲイン値を得るために、簡単かつ有効なニューラル・ネットワークを用いた。ニューラル・ネットワークの入力は速度と力で、出力はゲイン値である。

ロボットアームの性能評価として、水平面、垂直の両平面におけるロボットシステムの動的モデルのシミュレーションを行った。また、提案したサスペンションシステムの工業分野における応用の可能性を示すために、水平、垂直の両平面における実証実験を行った。実験結果より、水平面ではロボットアームがサスペンドツールを把持する際、力は目標値に近くなるが、工具がサスペンドされていない場合、工具の重力による影響が極めて大きいことが分かった。垂直平面においてはSRGSを用いて面取り作業やステップパリのバリ取り、溶接部ビードの除去研削をSS400、SUS304材に対して行い、サスペンションシステムは従来のシステムよりも質の高い表面に仕上げることができた。これらの結果よりサスペンションシステムの工業での応用が期待できる。