

学位論文の要旨

氏名

瀬戸山 康之

学位論文題目

環境との摩擦を考慮した回転リンク系の姿勢制御に関する研究

本研究では、環境からの摩擦影響を受ける回転リンク系を対象に、その姿勢制御法について検討している。回転リンク系の姿勢制御を行うためのアクチュエータとして、トルクユニットや慣性ロータなどのリンクに直接トルクを発生させる装置がある。しかし、これらの装置を利用して回転リンク系の姿勢制御を行う場合、従来提案されている制御手法では、トルクユニット内のリアクションホイールや慣性ロータに角運動量が残留するという問題が起こる。そのため、この残留する角運動量を減少させる方法を考えることが課題となっている。そこで本論文では、トルクユニットで駆動する回転リンク系を対象に、環境から受ける粘性摩擦の影響について着目し、粘性摩擦を積極的に利用して問題を解決する。本論文で得られた成果は、リアクションホイールに蓄えられた運動エネルギーを有効に利用するものであり、蓄えられた運動エネルギーを消散させて制御に利用するので、安定性が高い。また、本論文で提案している制御手法は、リンクの慣性モーメントの大きさが変化しても、リンクの位置決め精度が劣化しないという特徴を有している。これらのことから、トルクユニットで駆動する回転リンク系は、宇宙空間での作業や、荷物の運搬などを行う際に有効的な利用が期待できる。

第1章では、研究背景とこれまでに行われてきた回転リンク系の姿勢制御に関する研究についてまとめている。回転リンク系の姿勢制御において、環境と第1リンクが駆動関節で繋がっている場合、系は可制御となることが分かっている。しかし、環境と第1リンクの間が非駆動となっている場合、リンクの姿勢を制御することが困難となる。このような系を制御するために、トルクユニットや慣性ロータなどのリンクに直接トルクを与える装置を用いる方法が考えられているが、これまでの研究では、環境から受ける摩擦の影響を考慮していなかった。そこで、この考慮していない摩擦、特に粘性摩擦の影響が回転リンク系の姿勢制御に与える影響について確認し、さらに、環境からの粘性摩擦を積極的に利用した制御手法を提案することを本研究の目的として記述した。

第2章では、水上に浮かぶ浮遊機械の姿勢制御問題について検討した。水からの粘性摩擦の影響を受ける浮遊機械の場合、トルクユニットを用いて姿勢制御を行うと、定常状態になった時にトルクユニットのリアクションホイールに一定の角運動量が残留する問題が起こる。またさらに、その定常状態でトルクユニットの駆動力を零にすると、リアクションホイールの回転は止まる一方で、浮遊機械は姿勢制御を行う直前の初期姿勢に戻る現象が生じる。そこで、まずこの現象について数値シミュレーションで確認し、その原理を明らかにした。次に、この問題を解決するための一つの手段として、リアクションホイールが一定の角速度で回転して定常状態になっているときに、浮遊機械が水から受ける粘性摩擦の大きさを変更できる機構を利用することで、リアクションホイールに蓄えられている運動エネルギーを浮遊機械の姿勢制御に利用する手法を提案した。そして、検証実験により、提案手法の実施可能性を確認した。

第3章では、非駆動関節を有する平面1リンクマニピュレータにトルクユニットを1機取り付けた系を対象に、その姿勢制御問題について検討した。このような系は、関節にモータが取り付けてある一般的な回転リンクマニピュレータのように状態フィードバック制御によってリンクを任意の目標姿勢に制御しようとする、リンクは目標姿勢に対して定常誤差を生じ、リアクションホイールに一定の角運動量が残留する。そこで、この角運動量の残留を解消するための方法として、第2章で提案した制御手法を応用し、検証実験により提案手法の実施可能性を示した。

第4章では、全ての関節が非駆動な平面2リンクマニピュレータの各リンクにトルクユニットが1機ずつ取り付けてある系を対象に、その姿勢制御問題について検討した。まず、それぞれのリンクを任意の目標姿勢に制御するために、簡単な非線形状態フィードバック制御を適用した場合のリンクの回転角度とリアクションホイールの角速度を数値シミュレーションにより確認した。そして、定常状態におけるリンクの回転角度とリアクションホイールの角速度の関係を考察した。次に、制御手法を考える上での第一段階として、第2リンクの姿勢を無視して、第1リンクの姿勢のみ目標姿勢に制御することを試みた。第1リンクの姿勢は、第1リンクの回転軸に働く粘性摩擦を変化させることで目標姿勢に制御することが可能であることを示した。さらに、第2リンクを第2リンクの上にあるトルクユニットのリアクションホイールの角運動量を利用して目標姿勢に制御することを試みた。そして、これらの考えを発展させて、第1リンクと第2リンクの両方を任意の初期姿勢から目標姿勢に制御する手法を提案し、数値シミュレーションにより提案手法の有用性を確認した。

第5章では、第2章、第3章及び第4章で示した研究の成果を総括し、本論文をまとめた。

Summary of Doctoral Dissertation

Title of Doctoral Dissertation:

Study on Posture Control of Rotating Link Systems under Friction Condition

Name: Setoyama Yasuyuki

In this research, we study on posture control of rotating link systems under friction condition. There exists a torque unit as an actuator to control a rotating link system. The torque unit is a module which consists of an electric motor and a reaction wheel. And it can be set at arbitrary position as an actuator to control a rotating link system with free joint. Here, when we control the rotating link system by using torque unit, there arise a problem such that angular momentum remains in the reaction wheel of the torque unit. Therefore it is important to consider a method of unloading residual angular momentum. In this thesis, we consider posture control problems of rotating link systems with torque units. Then, we propose control methods using a viscous friction to solve this problem.

In Chapter 1, we report several studies concerning posture control of planar rotating link systems. If the first joint on the environment is actuated, a posture control of the planar rotating link system is possible. When the first joint is free, it becomes difficult to control the system. We can consider using the torque unit or the inertia rotor to control such systems. In these studies, the influence of friction is not considered. When energy dissipation is caused by the influence of the viscous friction between the first joint and environment, there arises a problem such that angular momentum remains in the reaction wheel of the torque unit or the inertia rotor. Here as, we describe that we can solve the problem by changing the viscous friction between the first joint and environment, and we showed the purpose of this research.

In Chapter 2, we consider the posture control problem of a water floating robot. When we control the posture of a water floating robot using a torque unit, angular momentum remains in the reaction wheel of the torque unit at a steady state. When the driving torque of the reaction wheel becomes zero at the steady state, the reaction wheel stops rotating. However, there arises a phenomenon such that the rotation angle of the water floating robot returns to the initial value of the control. Then, we confirm this phenomenon through several simulations, and we clarify the principle. Based on this phenomenon, we propose a control method using kinetic energy of the reaction wheel by mechanical devices. Finally, we have shown the feasibility of the proposed method by making verification experiments.

In Chapter 3, we consider the posture control of a planar one-link manipulator with a free joint which is equipped with one torque unit. In this system, if we control the angle of the link to the target value using the feedback control, the rotation of the link stops with a steady state error between the reference position and the static position. Moreover, the reaction wheel continues rotating at a constant speed. Then, as one approach for solving the problem, we apply the proposed method in the Chapter 2. We show the feasibility of the proposed method by making verification experiments. It is important to consider the proposed method such that the kinetic energy of the reaction wheel is utilized effectively for the control in the situation where the energy consumption has to be suppressed as much as possible.

In Chapter 4, we consider the posture control of a planar two-link manipulator which is equipped with two torque unit. Each links has one torque unit. All joints of this manipulator are free. First, we carry out several simulations by use of a simple nonlinear feedback control. In simulations, we have confirmed the relation between the rotation angle of the links and the angular velocity of the reaction wheels in the steady state. Second, we carry out the simulation where the rotation angle of the second link is ignored, and we try to control only the rotation angle of the first link from the arbitrary initial value to the arbitrary reference value. We show that the rotation angle of the first link can be controlled to the arbitrary reference value by changing the viscous friction on the first joint. Third, we try to control the rotation angle of the second link by using the residual angular momentum of the reaction wheel in the torque unit on the second link. Forth, we propose a control method which can control the rotation angle of the first link and the second link from arbitrary initial value to the arbitrary reference value. Finally, we confirm the feasibility of the proposed method by carrying out several simulations.

In Chapter 5, the results of this study summarize.