

氏名	于 福佳
授与した学位	博士
専攻分野の名称	工学
学位授与番号	博甲第4632号
学位授与の日付	平成24年 9月27日
学位授与の要件	自然科学研究科 産業創成工学専攻 (学位規則第5条第1項該当)
学位論文の題目	Control Methods of Robots for Eye-Vergence Visual Servoing and Sensorless Grinding —Proposals of Control law and Stability Analyses by Lyapunov Method— (両眼転導ビジュアルサーボとセンサーレス研削の制御方法 —制御則の提案と リヤプノフ法による安定性解析—)
論文審査委員	教授 見浪 護 教授 渡邊 桂吾 教授 鈴森 康一

学位論文内容の要旨

This research is about the control method of manipulator in eye-vergence visual servoing system and sensorless grinding robot system.

In 3-D position/orientation measurement of an object and 6-DoF visual servoing, the proposed object tracking method utilizes an evolutionary search technique of a genetic algorithm (GA) and a fitness evaluation based on stereo model matching whose pose is represented by unit quaternion that has a merit of no representation singularities, unlikely other representations. The convergence of the recognizing method is guaranteed by Lyapunov method. With a common sense of feedback control, we stress that improvements of the dynamics of the sensing unit are important for a stable visual servoing. We propose a method to improve dynamics in visual recognition, with compensating the fictional motion of the target in the camera images based on kinematics of the manipulator, by extracting the real motion of the target. We named it as hand-eye motion feedforward (MFF) method. The enhanced dynamics of recognition gave further stability and precision to the total visual servoing system, evaluated by full 6-DoF servoing experiment using 7-link manipulator. The convergence time in step response was about 10[s] and precise visual servoing to a moving target object has been achieved. Moreover, we propose a new two-way visual servoing method, named as hand & eye-vergence visual servoing. This method includes two loops: an outer loop for conventional visual servoing that directs a manipulator toward a target object and an inner loop for active motion of binocular camera for accurate and broad observation of the target object. The effectiveness of the hand & eye-vergence visual servoing is evaluated through simulations and experiments incorporated with actual dynamics of 7-DoF robot on the view points of how the eye-vergence system improves the stability in visual servoing dynamics and the accuracy of hand pose.

The second part of the paper is concerned with a sensorless grinding robot system which is based on an analysis of the interaction between a manipulator for grinding process and a working object in the task space. Motions of the constrained dynamics of the robot are modeled first. In the model, the constrained forces are expressed in surface constraint dynamics and hidden constraint dynamics that are dual system of each other. Using this result, a new sensorless force control law is proposed by taking advantages of the redundancy of input generalized forces to the constrained forces. A controller for a grinding robot is then constructed according to this control law and without involving any force sensors, which includes geometric constraint condition, and the convergence of the controller is proved in mathematics and confirmed by simulations.

論文審査結果の要旨

ハンドアイ構成でのビジュアルサーボ（以下VS）は、ハンドと対象物との相対的位置姿勢誤差を用いて制御するとき、サーボ特性はロボットの運動学モデルの誤差に依存しないという長所があるが、対象物体の一部がカメラ画像視野から外れる可能性があり、正常なビジュアルフィードバックを阻害する。この問題はField of View(FoV)問題と呼ばれ、VSの重要な課題である。

VSの手法は位置ベース(PBVS)制御とイメージベース(IBVS)制御に大別される。PBVSは作業座標系で表された対象物の位置・姿勢に対してハンドアイを制御するため、対象物の全体をカメラ視野内に保持することを意図した制御方法ではない。つまりPBVSはFoV問題を解決しない。またIBVSでもVSが局所最適解に陥る可能性があり、同様にFoV問題を解決しない。

以下に人間の視覚認識について考えてみる。人間は顔を対象物に向けて対象物を認識することと両眼が寄り目になって認識する(Eye-Vergence, 以下EV)機能を持っている。本研究では、ハンドの位置・姿勢の6変数を制御するハンド制御系とハンドに搭載されたアイカメラの視線方向を制御する両眼転導制御系で構成される2重ビジュアルサーボ系を提案し、実験によりその有効性を確認した。また、VSのFoV問題についてEV機能を用いた改善方法について検討した。さらに提案する制御系は漸近安定であること、また同時にカメラから見た対象物は画像中央に収束し漸近安定であることをリアプノフ法により示した。

また、申請者はロボットのハンドの幾何学的拘束を受ける拘束運動についても研究を進め、位置と力の同時制御方法を提案し、その漸近安定性をリアプノフ法により証明した。

以上を総合して、本論文は新しい制御方法を提案し実用上の有効性も示しており、学術的意義は高く、本研究は博士論文として価値あるものと認められる。