

## 審査の結果の要旨

氏 名 金 賢 梧

本論文は、「High Speed Robotic Manipulation for Rotation Control using Visual Encoder (ビジュアルエンコーダを用いた回転制御のための高速ロボットマニピュレーション)」と題し、7章より構成されている。

本論文は、ロータの高速な回転がロバストに計測できる方法を開発し、回転体の制御方法を示すとともに、ボタンスピナーやヨーヨーの制御を実現し、その有効性を実証したものである。

第1章は「Introduction」であり、研究の背景や目的を論じた上で、ロータの回転制御の必要性が述べられ、ロボットではまだ実現されていない人間のスキルの実現という観点から、糸の操作による高速回転の制御の概要が示されている。また、糸の変形による非線形性を補償する高速ビジュアルフィードバックシステムについて述べ、論文の構成が示されている。

第2章は、「A New Rotation Measurement Method: Visual Encoder」と題し、ロータの回転計測のための新しい手法として、ビジュアルエンコーダを提案している。ビジュアルエンコーダの原理は、ロータにカラーマーカを貼り高速撮像・高速画像処理を用いて回転計測を実現するものであり、その理論的なモデルを提案している。ビジュアルエンコーダの計測可能な速度及び分解能に対する限界に関して、理論と実験の両側面から示している。ビジュアルエンコーダは、たとえロータの回転軸が揺れ動く場合でも、ロータの高速回転を安定的に計測できていることを示している。計測可能な最大速度は約8,000 rpmであり、従来の類似手法に比べて6,7倍高速であることが示されている。提案手法の検証のため、多様な環境において定量的な実験が行われている。一方、測定分解能を向上させるための補間法も提案しており、補間前後の分解能を比べて数十倍の性能向上を確認している。

第3章は、「Rotation Control through Thread-Twisting: Robotic Button Spinner」と題し、ビジュアルエンコーダを取り入れたビジュアルフィードバックシステムを用いて、ボタンスピナーを実現している。柔軟物を含む非線形システムにおけるモデル化と線形化を行い、糸のねじりによるロータの高速回転を容易にできることを示している。さらに、その糸のねじりを説明するための幾何学モデルも提案し、シミュレーションによって視覚情報によるフィードバック制御の有効性を示している。人間が行う動作を参考にロボットハンドを用いて実現したボタンスピナーは、ロータの高速回転運動の振幅制御はも

もちろん、回転軸の位置制御も実現している。

第4章は、「Rotation Control through Thread-Bending: Robotic Yo-yo」と題し、ロボットによるヨーヨーの制御が、従来の位置フィードバック制御の代わりに、回転フィードバック制御を導入することで実現している。ヨーヨーの回転軸周りの糸の巻きを従来よりも正確に表現できるモデルを導入し、その強い非線形性に起因して回転角のフィードバック制御の必要性を指摘している。その後、人間の動作を参考にして、糸の巻き方のモデルに依存しない制御手法を提案し、二つの代表的なタスクである「リリースとキャッチ」を実現し、「連続プレイ」を実現している。高速ビジュアルフィードバックシステムと回転角のフィードバックにより、システム同定なしでもロボットによるヨーヨーの制御が可能なることを示し、その有効性を実証している。

第5章は、「High-speed Distributed Camera Networks for Visual Encoder」と題し、ビジュアルエンコーダにおけるオクルージョン問題の対策として、MPI(Message Passing Interface)とRTC(Real Time Clock)を利用した分散型高速カメラシステムを提案している。この方法とカメラの高速性を利用したネットワーク構造を提案することにより、分散型高速カメラシステムにおいて、全てのカメラノードにおける同期性とリアルタイム性を保証することが可能となる。そこで、システム全体のリアルタイム特性を調べるために、ネットワーク上のデータの送受、撮影、後処理、物体トラッキングなどに係る処理時間を計測・評価し、提案したネットワーク構造が分散型高速カメラシステムの同期制御に有効であることが示され、約400Hz以上のカメラ速度上限まで、所定の同期特性が得られることを実験的に示している。

第6章は、「Further Applications and Future Works」と題し、ビジュアルエンコーダと糸による高速回転運動生成構造の応用について考察し、多くの可能性を提案している。

第7章は「Conclusions」であり、本研究の成果がまとめられている。

以上要するに、本論文は、ビジュアルエンコーダと名付けられた高速画像処理を用いて回転計測を行う方法を提案し、その性能を実験的に評価するとともに、ボタンスピナーとヨーヨーのタスクを実現した。ボタンスピナーでは糸のねじりを、ヨーヨーでは糸の巻きといった柔軟物の変形を考慮したロータの高速回転の制御を実現している。さらに、オクルージョンの回避を目的として、分散型高速カメラシステムの新たな構造を提案し、実験的にその有効性を示している。本論文の成果は、高速ビジュアルフィードバックシステムにビジュアルエンコーダを適用することで、非線形な高速回転系の制御が容易に実現できることを理論的並びに実験的に示したものであり、高速回転する対象物に対する制御技術を飛躍的に向上させ、様々な応用展開を可能とするものであり、関連する分野の発展に貢献するとともに、システム情報学の進歩に対して寄与することが大であると認められる。

よって本論文は博士（情報理工学）の学位請求論文として合格と認められる。