

把持失敗前後のデータの分析による兆候の検出 Detection of causal symptoms through analysis of data around grip failure

伊藤 義人[†]
Yoshito Ito

服部 雄斗[‡]
Yuto Hattori

島川 博光[†]
Hiromitsu Shimakawa

1. はじめに

近年、日本では少子高齢化による生産労働人口の減少が問題となっている。さらに、外食産業では、顧客ニーズの変化により店舗数の増加に伴う労働力不足が問題となっている。そのため、労働者の身体的負荷が高くなるといった問題がある。このような問題に対して、機械が導入され自動化が進んでいる。

しかし、労働者にとって負荷の高い業務である食器洗浄工程のロボットによる自動化はなされていない。この理由の一つとして、飲食店には多様な種類の食器があり、破損しやすいためロボットが把持を適切に行えないことがあげられる。食器を破損させずにロボットが把持し、洗浄された食器を並べ、積み上げる工程が必要である。各々の食器に対して、ロボットアームの適切な把持の方法を調査する必要がある。そのため、ロボットの調査段階で異常の検知とフィードバックを行う。

本研究では、食器把持ロボットと食器に対してセンサを取り付けることで、そのロボットと食器の揺らぎを取得する。取得したデータから把持異常の兆候を検知する。

2. ロボットの現状

2.1 産業ロボットの現状

産業用ロボットの生産、出荷台数は年々増加傾向であり、今後も多くの業務に対応可能なロボットの開発が期待されている [5]。例えば、コンテナのピッキング作業において把持するロボットが開発されている。また、電子部品などの、小型物体に対応できるロボットが開発されている。これらは、把持する対象物が限定されている。しかし、食器洗浄工程では把持対象の種類が多く、食器の落下による破損といったリスクが発生する可能性が高い。そのため、このリスク発生確率を抑える分析が必要である。

2.2 把持異常検知の既存手法

産業用ロボットの異常検知手法として、力覚センサ、視覚センサなどを利用した研究が存在する。雨宮ら [4] は、視覚センサと力覚センサの取得データから、SVM を利用した異常判断システムを開発している。この研究では、異常判断データ取得のためにカメラを利用しているためデータ量が多くなる。また、カメラなどを用いた場合、画像認識など処理の高い解析をしなければならない。

本研究では、加速度センサから得られるデータのみを用いることにより、データ量を抑え異常を検知する。さらに、既存研究の多くは、特定の物体を対象としており、多様な形をした物体を把持するロボットを対象とした研究は少ない。また、把持するロボットから得られたデータのみを用いて異常を検知している。しかし、多様な形をした物体を把持する際の異常は被把持物体に動きがあらわれると考えられる。

本研究では、把持するロボットだけでなく把持される食器類の動きの特徴に着目する。運搬、把持対象となる食器の動きとロボットアームの動きを加速度センサで取得し、異常検知することにより、把持失敗データの取得数の削減を行う。

3. 異常発生前後データを用いた兆候の検出

3.1 持物体と被把持物体からの兆候検知

本手法では、把持アームと被把持物体に加速度センサを取り付け、把持異常発生の前後データと正常データから異常発生の兆候となる変数を抽出し、異常発生の先行検知を実現する。本手法の概要を図 1 に示す。

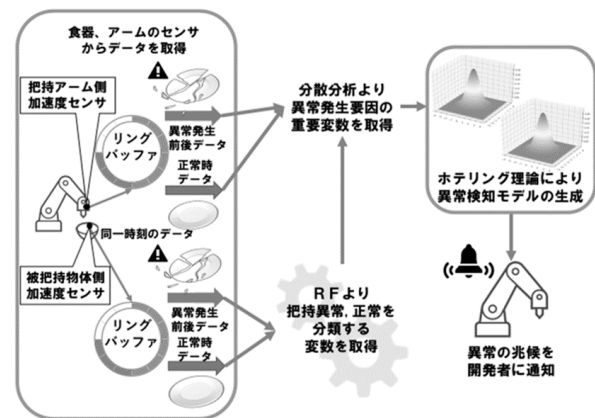


図 1: 手法概要図

食器洗浄工程の運搬工程における異常は、食器を把持して運ばなければならない段階で食器を落下させてしまう場合を想定する。異常の兆候として、食器を斜めから掴むといった定常の把持とは異なる動作をしている場合を想定する。把持アームは自動食器運搬ロボットのアーム、被把持物体は食器類とする。把持に失敗した際には、把持を開始した段階から把持アームと被把持物体に揺らぎが生じる。この把持異常発生の兆候を観測するため加速度センサを用いる。角度センサからは、3 軸の加速度と角速度が得られ、さらにこれらをフーリエ変換やピークバレー法により分析すると、1000 種類程度のデータが得られる。把持異常の特徴を示す変数を選別する必要がある。

上記の特徴の検出のため、ロボットアームの掴み手部にセンサを取り付ける。しかし、適正な把持と非適正な把持では、把持アームの動きの違いは少ない。一方で、不適正な把持においては被把持物体に揺れが生じやすいと考えられる。加えて、被把持物体は回転する、角度が変わるといった変化が生じる。そのため、把持アームの動きよりも被把持物体の動きに、非適正な把持状態の兆候が顕著に現れると考えられる。よって、被把持物体である食器内部にも加速度センサを取り付ける。

[†]立命館大学情報理工学部

[‡]立命館大学大学院理工学研究科

それぞれのセンサから取得されるデータは、異常発生の前後データを効率的に保存するリングバッファを用いて一時保存する。異常が発生した時点でリングバッファにキャッシュされている異常の発生前データを保存する。被把持物体から得られたデータの動きからヒトが把持異常を示す変数を選別する。これら変数にランダムフォレスト [1](以下 RF) を適用し、被把持物体の不安定さを示す前兆を検知する。判別された被把持物体の状態と把持アームから取得された加速度データを分散分析により、異常兆候検知にとって重要な変数を選定する。選定された重要変数にホテリング理論 [3] を適用し、異常発生の前兆を検出する。結果ロボット開発者へのフィードバックと把持異常の前兆検知を行うことができる。それにより、食器の破損を防ぐことができる。

3.2 被把持物体データからの被把持物体状態判別

被把持物体から取得した加速度データを用いて把持異常を判別する。把持異常時でも食器が落下しないことはある。このようなときでも、非把持物体の不安定さを検知して、落下の前兆として把持異常状態を検知することが重要である。しかし、非把持物体の不安定さをヒトが常時モニタすることは困難である。本研究では前兆の検知に被把持物体から取得した加速度データを用いる。

加速度センサから取得されるデータには多くのノイズが含まれている。そのため、カルマンフィルタ [2] を用いてノイズを除去し、データの正確性を向上させる。ノイズが除去された加速度センサの観測値を説明変数、把持の正常、異常を目的変数とし、ランダムフォレストで判別する。

3.3 重要変数の抽出とホテリング理論による兆候検知 兆候検知の手順を以下に示す。

- アームから取得した加速度データに対してカルマンフィルタを用いてノイズを除去する。
- 波形データの特徴を算出するため、フーリエ変換により周波数成分を取得する。
- 同様に波形データの特徴を抽出するため、ピークバレー法により、被把持物体の振動の強弱を表す変数を抽出する。
- ピークバレー法は、一定時間内、特定の閾値内の加速度データの波形の山と谷の回数から被把持物体の揺れの大きさを示す変数の取得が可能である。

分散分析により、3. 2 項で得られた判別結果で分類された正常と異常の 2 群に対して、平均値が異なる特徴量を重要変数として抽出する。

自動食器運搬ロボットは通常状態において一定の動きをしている。そのため、取得されるデータは正規分布であると仮定できるためホテリング理論を利用する。抽出された重要変数のそれぞれにホテリング理論を適用する。ホテリング理論を適用した重要変数の組み合わせから、複数存在すると考えられる把持異常のパターンを特定することができる。例えば、把持アームの Z 軸加速度の短期間でのピークの回数と X 軸加速度の傾きの変化の二つが異常値となる把持異常のパターンといった異常の要

因の組み合わせを特定することができる。ホテリング理論によって取得されるデータに対して異常度が算出できる。異常度を自由度 1 のカイ二乗分布と照らし合わせることで異常検知する。また、ホテリング理論により異常検知モデルを生成することで、グラフィカルな異常検知の監視をすることができる。

4. おわりに

本研究では、把持物体と、被把持物体に加速度センサを取り付け異常発生の前後データを利用することで、異常兆候検知を行う手法を提案した。把持物体と被把持物体から加速度データを取得することで、異常検知モデルの効率よい生成を実現する。今後は、実験により提案手法の有用性を検証する。

参考文献

- [1] Andy Liaw, Matthew Wiener, et al. Classification and regression by randomforest. *R news*, Vol. 2, No. 3, pp. 18–22, 2002.
- [2] Greg Welch, Gary Bishop, et al. An introduction to the kalman filter. 1995.
- [3] 剛井手. 入門機械学習による異常検知: R による実践ガイド. コロナ社, 2015.
- [4] 雨宮智, 布施貴史, 岡本浩明, 富田順二, 尾崎行雄. 組立工程の自動化における異常判断技術. 精密工学会学術講演会講演論文集, Vol. 2015S, pp. 953–954, 2015.
- [5] 一般社団法人日本機械工業連合会. 平成 29 年度ロボット産業・技術振興に関する調査研究報告書, 2018.