

FA 機器の相互作用を考慮した保守管理と同期制御手法の検討

[研究代表者] 梶 克彦 (情報科学部情報科学科)
 [共同研究者] 筒井和彦 (三菱電機株式会社名古屋製作所)
 濱口 学 (三菱電機株式会社名古屋製作所)
 佐野修也 (三菱電機株式会社名古屋製作所)
 内藤克浩 (情報科学部情報科学科)
 中條直也 (情報科学部情報科学科)

研究成果の概要

FA 機器の予知保全では、状態をセンサで計測し、過去のデータと比較することで将来起こる故障の時期を予測する。この故障予測に基づいて計画的に保全を行うことで、予防保全で生まれる余計な保全コストを削減できると言われている。FA 機器は一般的に信頼性が高く故障に強い。実際の環境では、故障データの蓄積が少なく教師データを使った機械学習手法を適用することが難しい。そのため本研究では教師データを必要としない手法として主成分分析を利用する。本研究では、典型的な FA 機器の構造として、2 個のサーボモータを使用したパラレルリンク機構の装置を対象とする。パラレルリンク機構ではリンク間が物理的に接続されているため、一方のリンクに生じた異変が他方のリンクに影響をおよぼすといった相互作用が起こると考えられる。このような相互作用の考慮によって、故障予測に必要なセンシングデータ数を削減できると期待する。故障予測実験では、装置上にある 1 箇所の関節に段階的に負荷をかけて、擬似的に関節の動作不良という故障を発生させる。サーボモータからはトルク、回転速度、角位置、それぞれの指令値とフィードバック値間誤差の 6 次元データを分析した。故障を擬似的に発生させた場合、故障関節に近い側のサーボモータから得られる値だけでなく、故障関節から遠い側のサーボモータから得られる値からも、負荷の大きさが増すにつれて値の変化がみられ、相互作用が確認された。得られた値に対して主成分分析を行い、それに楕円近似を行ったところ、近似楕円の短軸長の変化から故障を予測可能であることがわかった。今後の課題は、長時間の計測データに対する手法の適用、故障予測中で使用する手法の評価を行い、予測精度の向上を目指すことなどがある。

研究分野：モバイルセンシング、モバイルネットワーク、組込みシステム

キーワード：時系列センシング、FA 仮想ネットワーク、主成分分析、予知保全

1. 研究開始当初の背景

FA 機器のプロセスの一部に異常がある場合には大きく生産性が低下してしまうため、長時間の安定動作を保証できる高信頼性が求められる。長時間動作のためには異常を事前に知ることのできるシステムが必要である。そのための保守管理方法として、打音・動作音・目視等の人手によるチェックや、FA 機器の様々な場所にセンサを取り付けて、センサ値を読み取るという作業も行われているが、人のヒューリスティクスに依存している部

分が大きく、異常の予兆を発見する手法が確立されていないわけではない。

消費の多様化が進む現在、FA 機器には同一製品を大量生産するだけでなく、需要に応じて製造する製品を変更できる高い柔軟性が求められる。高機能で様々なシーンに適用可能な産業ロボットが発達し、様々な IoT 機器間との接続が求められる。工場内の情報は秘密情報も多く存在しており、セキュアかつ柔軟な接続性を実現する必要がある。かつ、高い信頼性を備えるためには、生産ラ

インが停止しないよう自己診断や故障予測が必要である。

高信頼化に向け、近年では STAMP (Systems Theoretic Accident Model and Processes/システム理論に基づく事故モデル) が注目されている。STAMP とは、システム理論を利用した事故モデルの構築手法であり、従来の事故モデルでは対応できない複雑化したシステムに対応できる考え方である。しかしこの手法はシステム構成時に不具合の発生しうる原因を洗い出すための手段であり、運用時の不具合の発見や保守管理には適用できない。

分散システムにおける相互作用の因果関係の導出はこれまでも試みられており、時間順序や空間的距離の合理性から因果関係を見出すことが可能であることがわかっている。しかし、これらの因果関係をモデル化するために既存の分散システムの各部分をどのように計測し、それらのデータを収集し、モデル化まで実現するか、また、そのモデルをどのようにそのシステムの保守管理に適用するか、といった点に関して、知見の蓄積は不十分であると考えられる。

分散システムにおける共有メモリの概念をとりこむことで、複数のデバイスからのリアルタイムなデータのやり取りを実現している例が存在する。この仕組みは実際に三菱電機における FA システムに導入されており、FA システムの各機器間の連携協調動作を実現している。ただし、限られた範囲の機器間同士の連携協調にとどまっておき、FA システムにおける異なるレイヤ間（例えば異なる製品の生産ラインに配置された FA 機器同士）のリアルタイム連携は実現されていない。

2. 研究の目的

本研究では、FA (Factory Automation) システムの高信頼な保守管理を目指し、FA システムを構成する様々な機器・システム同士の相互作用をモデル化するための方法論を検討し、実際に保守管理や高度な連携協調に適用する。

FA システムは、ある製品を効率的に生産するためのシステム群を指し、ロボットアーム・サーボモータ・ベルトコンベア・シーケンサ (FA 機器の制御装置) といった FA システムを構成するための小さな単位の組み合わせによって生産ラインを構成する。生産ラインは製品

種類や生産量に応じて複数配置され、工場内では多くの生産ラインが同時並行的に稼働している。よって、FA システムでは、システムが列挙され、並列に構成され、入れ子になり上位レイヤのシステムに包含され、さらにそれに対しても列挙・並列・入れ子が存在するという構造になっている。よって本研究は、FA システムという枠組みの中で、レイヤの異なるシステム同士が複合的に連携する際の保守管理方法の追求を行い、知見を得ようとする試みである。

3. 研究の方法

以下 3 つの課題に分けて研究を進める。

(1) 課題 I: FA システムのあらゆる機器同士が柔軟に接続できるオーバレイネットワークの構築

オーバレイネットワークの構築では、FA 機器の信頼性・柔軟性向上のために、工場内の複数 FA 機器の様々なレイヤの機器をエッジとみなし、仮想的なネットワークを構築し、あらゆるエッジ間を接続可能にする仕組みの実現を目指す。また、そのネットワーク上の任意のエッジ間でセンサ信号を送受信したりクラウド上にセンサ情報を蓄積したりするためのセンサ信号プラットフォームを実現する。

(2) 因果関係モデルを構築するためのセンサ設置手法とデータ観測手法

センサ信号処理では、上記の仮想ネットワーク上で得られるセンサデータや中間処理済みのデータを前提として、高信頼性を担保する FA 機器の保守管理手法の確立を目指す。生産ラインの各機器に対してセンサを配置し、そこから得られるセンシングデータを基に各センサの適切なサンプリングレートとセンサ間の因果関係をモデル化する研究に取り組む。

(3) センサ・アクチュエータ連携による高信頼性 FA システムの実現

因果関係モデルの構築の次の段階として、アクチュエータが近く他のアクチュエータに影響を及ぼす状況を事前に予測して打ち消し合う動きを発生させることでより高精度な制御を可能にする。

4. 研究成果

今年度は昨年度に引き続き、特に課題 II における FA 機

器を対象とした予知保全を目的として研究を推進した。

本研究では、典型的な FA 機器の構造として、2 個のサーボモータを使用したパラレルリンク機構の装置を対象とする。パラレルリンク機構ではリンク間が物理的に接続されているため、一方のリンクに生じた異変が他方のリンクに影響をおよぼすといった相互作用が起こると考えられる。

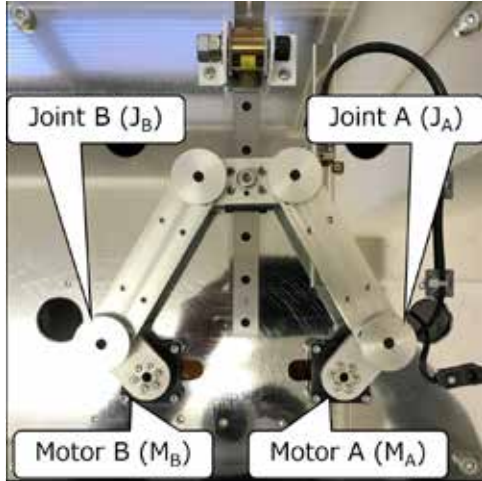


図 1: シンプルなパラレルリンク機構の実験装置

本研究では、リンク間の相互作用を用いて、単一リンクのセンサデータから FA 機器の異常兆候を検出する故障予測手法を検討した。検討手法はパラレルリンク機構の FA 機器の時系列データを使用する。このデータに主成分分析を適用する。主成分分析の結果の変化から故障の兆候を捉え、故障を予測する。分析にはトルク、回転速度、角位置、それぞれの指令値とフィードバック値間誤差の 6 次元データを使用する。

本研究では軸受の焼き付きを想定し、重りを載せて負荷をかける実験を行った。図 1 の JA に重りを載せる。実験では重りを載せていない正常時から 1100g まで 100g 間隔でデータを収集した。本研究では相互作用を用いた故障予測を目指しているため、JA から近い MA だけでなく、離れた MB のデータも分析する。

図 2 に MA の主成分分析と楕円近似の結果を示す。図 2 から重量を大きくすると楕円の短軸が徐々に長くなっていくことが分かる。重量による短軸の変化は MB にも見られ、相互作用が確認された。

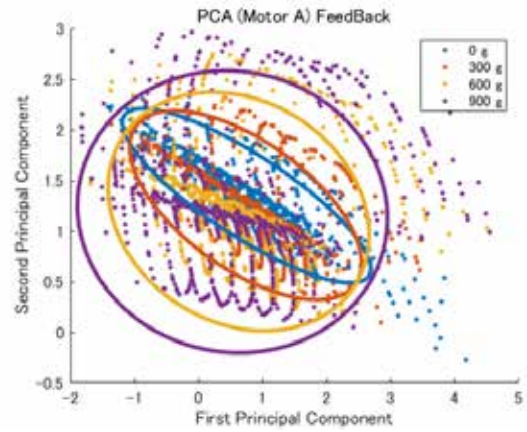


図 2: 主成分分析分布の近似楕円が故障の度合いによって変化する様子

主成分分析の結果に対する楕円近似の短軸長の変化から故障を予測する。6 秒時点で 0 g の計測を行い、そこから 6 秒ごとに重量が上がり、1100 g にした 72 秒時点で装置が停止するという状況を設定し、故障タイミングを予測する。MA, MB の短軸の $\pm 1.96\sigma$ を管理限界とした。各時点までのデータを使って、線形近似し、管理限界との交点から故障時期を予測した。その結果、MA のデータからは 75.62 秒後、MB からは 77.67 秒後に故障するという予測結果が得られ、正解値である 72 秒後の故障タイミングをおおよそ推定できた。

5. 本研究に関する発表

- (1) Haga, M., Tsutsui, K., Kaji, K., Naito, K., Mizuno, T., Chujo, N.: Failure Prediction of Factory Automation Equipment using the Interaction between Parallel Links, International Journal of Informatics Society (IJIS), Vol.12, No.2, pp.131-140, 2020.
- (2) Ando, H., Iwatsuki, Y., Hibi, D., Tsutsui, K., Aoki, S., Naito, K., Chujo, N., Mizuno, T., Kaji, K.: Anomaly detection in FA equipment using an interaction model, International Workshop on Informatics (IWIN2020), pp.49-54, 2020.(Excellent Paper Award)
- (3) 芳賀正憲, FA 機器のリンク間相互作用を用いた故障予測に関する研究, 愛知工業大学修士論文, 2020.
- (4) 岩田大成, 小林十矢, FA 機器の相互作用を考慮した故障予知の検討, 愛知工業大学卒業論文, 2020.