

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)名古屋製作所)
 濱口 学 (三菱電機(株)名古屋製作所)
 佐野修也 (三菱電機(株)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(Factory Automation)とは工場の生産過程の自動化で、長時間稼働させる必要がある。しかし、不具合が稀に発生するため異常検知をする手法が必要である。異常検知をする方法にモデルを生成したり、機械学習を用いる研究がある。これらの研究は、大量のセンサで取得したデータから機器の異常につながるデータを探し出し、異常検知につなげる手法を提案している。しかし、これらの手法では機器単体しか想定していない。他にも、大量のセンサを必要とするためコストや設置する労力がかかる。本研究では他の機器を考慮した大量のセンサを用いない手法を検討する。FA の現場では一つの機器が動作すると、他の機器に音、振動、熱などの影響を与える。これを機器間の相互作用とする。他の機器による動作の影響を受けて振動する際、その振動は微小なほど良いと考えるのが一般的である。しかし本研究では、他の機器による動作の影響で想定される振動よりも小さくなる機器の状態を積極的に捉えて異常を発見する。提案手法の手順は以下の通りである。まず一方の機器の動作によって他方が振動する相互作用を、本モデルは、振動が増加していく増幅区間と、振動がおちついていく減衰区間に分離し、それぞれの区間を正弦波と対数を用いた数式で表す。モデルのパラメータは、正常時に観測されたデータを用いてグリッドサーチによって探索する。モデルは重さ・速さの2方向において汎用化する。観測データとモデルの比較には決定係数を用いる。決定係数の値が1に近いほど、観測データとモデルが合致しているといえ、逆に決定係数の値が1よりも小さくなるほど合致していないといえる。正常データとモデルを比較した際の決定係数の分布からしきい値を決定する。その閾値を下回る場合は機器の異常とみなす。このモデルを応用すれば異常検知、共振や振動などの精度が低下する動作の回避や振動抑制といった高度な運用計画が期待できる。

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るわけではない。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り、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) 課題 II: 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) 課題 III: 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の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

最終年度となる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。本研究のアプローチを図 1 に示す。まず正常なデータの収集をする。次にその正常なデータをもとにモデルを生成する。次にリニアモータ (以下、モータ) のレベル上に重りを置いて、意図的にモータの相互作用である振動が抑制されるようにした。これは機器劣化や埃等の外

的要因によってリニアモータが動きにくくなる異常を想定している。最後にモデルとデータを比較して正常か異常かを判定する。

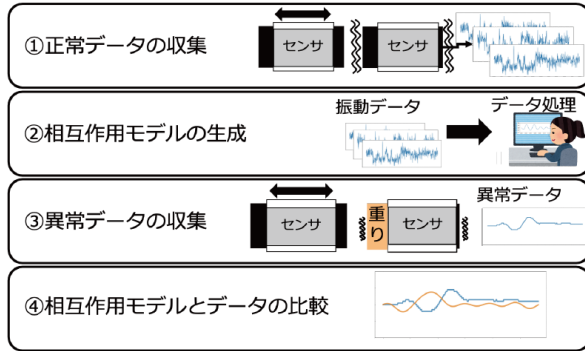


図 1：本研究のアプローチ

機器構成を図 2 に示す。モータ 1 を図 2(a) のように速度 v m/s で左から右に一度だけ動かし、動かしたモータ 1 がモータ 2 にもたらす相互作用である振動を計測する。停止しているモータ 2 の上には重りを載せる。図 2(b) に示す通り、停止しているモータ 2 の現在位置にわずかな動きが見られる。このデータをモデル化する。

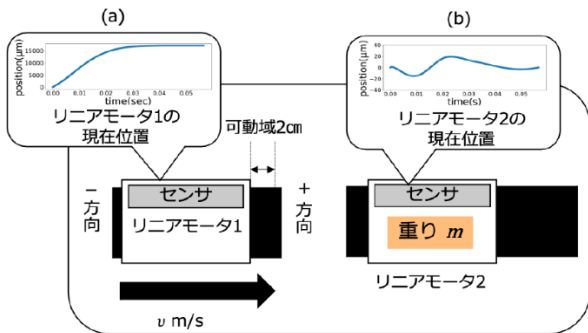


図 2：相互作用の計測実験

正弦波と対数関数を用いて振動による機器間の相互作用をモデル化する。モータ 2 の振動は増幅区間では増幅し、減衰区間では減衰しているためそれぞれの区間に分けてモデルを生成する。正弦波は振動による波の形を表現するのに適しており、対数関数の掛け合わせで増幅と減衰の表現ができると考えた。正弦波の周波数や振幅の大きさといったモデルのパラメータは、正常データにフィットするようにグリッドサーチによって探索した。モデルの汎用化を目指し、リニアサーボに乗せる物体の重さや動作速度を変更した際に、その設定での正常データがなくてもモデルを生成できるよう、各パラメータを単回帰分析に基づいて推定した。

観測データとモデルの比較には決定係数を用いる。決定係数の値が 1 に近いほど、観測データとモデルが合致して

いるといえ（図 3 上）、逆に決定係数の値が 1 よりも小さくなるほど合致していないといえる（図 3 下）。正常データとモデルを比較した際の決定係数の分布からしきい値を決定する。その閾値を下回る場合は機器の異常とみなす。様々な速度でのリニアモータの動作について評価実験を行い、正常なデータは正常な状態、異常なデータは異常な状態であると分類できた。モデルと異常なデータが近似していないため異常検出が可能であるといえる。

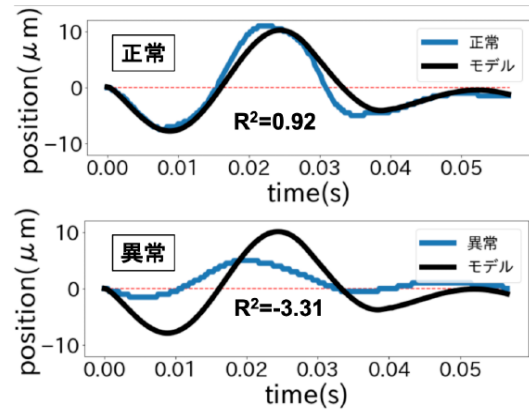


図 3：相互作用モデルと正常/異常動作データ間の比較

申請時に予定していた課題 III については共同研究期間内に十分な実施ができなかった。ただし、今回の研究成果を用いれば、異常検知だけでなく、共振や発振といった危険な動作の回避や振動抑制といった高度な運用計画への発展が期待できると考えている。

5. 本研究に関する発表

- (1) 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)
- (2) 安藤弘晃, FA 機器間の相互作用モデルを用いた異常検知に関する研究, 愛知工業大学修士論文, 2021.