

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 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。機器故障に際してデータ推移を分析することで予知保全ができると言われている。FA 機器内には複数のサーボモータが使用されている。サーボモータ間に共振のような何らかの相互作用があり、機器の寿命に影響する恐れがある。本研究ではこの相互作用の確認とそれを考慮した故障予測手法の検討を行った。

物理的に連結していない2台のリニアサーボ同士の相互作用を確認するため、実験装置を製作した。一方のリニアサーボを動作させたときの、他方の振動を計測し、データ収集を行った。そのデータに基づいて、Sin 関数と Log 関数の掛け合わせによるモデル化の方法を提案した。モデル導出の際には9つのパラメタの設定が必要になるため、適切なパラメタの値を探索する手法として2段階のグリッドサーチ手法を提案した。評価実験の結果、1回目の荒いグリッドサーチの段階よりも2回目の詳細なグリッドサーチを行った場合のほうが観測データによりフィットする振動予測モデルを導出できた。

リニアサーボの異常な動作として、リニアサーボのレーン上に障害物を設置して動きにくくし、模擬的な異常動作データを収集した。正常な動作時の観測データと、振動予測モデルを比較した場合には、一致度が高いのに対して、異常な動作をしている場合は一致度が低くなることを確認した。この一致度の情報を用いれば、リニアサーボの異常検知を実現できると考える。

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ーレイネットワークの構築

オーバー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

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。ある機器の動作が他の機器に振動や摩擦などの物理特性として現れる相互作用のモデル化のためのデータ収集をする。相互作用をもたらす要因として、振動、音、熱などが考えられるが、今回は物理的な干渉がしやすく検証しやすい振動に注目してモデル化を行った。

図1に本研究で着目した相互作用を示す。一方のリアモータのみ動作させると、動かした際に発生する振動が伝わり、もう一方の停止状態のリアモータに微小な揺れが生じる。この現象を振動による相互作用とする。

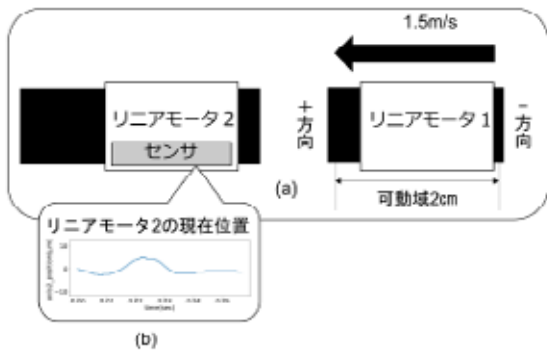


図1：リアモータ動作による振動発生の様子

振動の観測情報に基づいてモデル化を行った。モータ2の振動は動作区間では増幅傾向にあり停止区間では減衰傾向にあるため動作区間と停止区間で分けてモデルを作成する必要がある。sin関数は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動作区間の増幅と停止区間の減衰の表現が可能と考え以下の式を振動モデルとした。振動 v を sin 関数と log の掛け合わせで表現している。

$$s(t) = \begin{cases} \sin(2\pi f_1 t + \phi_1) & (0 \leq t \leq t_1) \\ \sin(2\pi f_2 t + \phi_2) & (t_1 < t \leq t_2) \end{cases} \quad (1)$$

$$u(t) = \begin{cases} a_1 \log_e t & (0 \leq t \leq t_1) \\ a_2 \log_e t & (t_1 < t \leq t_2) \end{cases} \quad (2)$$

$$v(t) = \begin{cases} s(t)u(t) + o & (t < t_1 - \Delta t, t_1 + \Delta t < t) \\ M(s(t)u(t) + o) & (t_1 - \Delta t \leq t \leq t_1 + \Delta t) \end{cases} \quad (3)$$

本モデルの導出には9個のパラメタを適切に設定する必要があるため、グリッドサーチによって自動的にパラメタ推定を行った。9次元のパラメタについて、まず荒く探索を行い、モデルが実測データと最も類似しているパラメタの周辺を更に細かく探索するという2段階

のグリッドサーチを実施した。結果を図2に示す。図2(上)は荒くグリッドサーチをしたときの最適解、図2(下)はその周辺をさらに細かく探索して発見した最適解である。ここで R^2 は決定係数であり、モデルと計測データの一致度合いを表している。完全一致しているときには1を、異なるほど小さな値をとる。 R^2 は図2(下)のほうが1に近い値となっており、図2(上)よりもフィットしたモデルをどうしゅつできていることがわかる。

リアモータの動作モデルと正常な計測データの比較を図2(上)に示す。また、リアモータの上に障害物を設置して動作しにくくした状態での動作モデルと計測データの比較を図2(下)に示す。正常な動作をしている場合には概ね一致していることがわかる。一方、障害物を設置した場合のデータとの比較では決定係数の値が小さくなっているため、予想される振動が起きていないことがわかる。この係数を用いてしきい値処理などをおこなえば、リアモータの動作についての異常検知が可能であると考えられる。

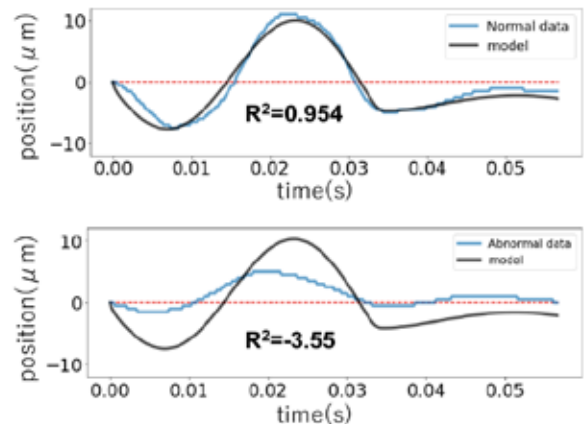


図2：実測データと振動予測モデルの比較。(上：正常データとの比較、下：異常データとの比較)

5. 本研究に関する発表

(1) 安藤弘晃, 岩月佑介, 日比大貴, 青木敏, 筒井和彦, 内藤克浩, 中條直也, 水野忠則, 梶克彦, FA 機器間の相互作用モデルを用いた異常検知の基礎検討, 情報処理学会第82回全国大会, 4W-02, 2020.