

FA 機器の保守管理に関する基礎検討

[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)
 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

ある機器の動作が他のところ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を検討した。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。片方のリニ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、もう片方の停止状態のリニアモータが少し動く。このような現象を振動による相互作用とする。振動による相互作用を計測するために、2つのリニアモータを含む実験機器を用意した。リニアモータ1を停止状態に、リニアモータ2を速さ1.5m/sで動かし、動かしたリニアモータがもたらす振動による相互作用を計測した。このとき加速度センサは停止しているリニアモータ1の方に設置する。今回は、停止状態での振動がわかりやすいように、リニアモータ2の動きは右から左と左から右の1回のみ動かす。

リニアモータ2を右から左に動かす時、加速度の値が動き始めと停止直前に大きく増幅し、停止している時には減衰していく様子が確認できた。

この振動を、対数関数と正弦波を組み合わせるモデル化した。振動は周期的な変化であるため、その基本的な振動を表すために正弦波を用いた。また、振動が増える区間を増幅区間、減っていく区間を減衰区間と定義し、それぞれの区間の増幅・減衰の度合いを対数関数によってモデル化した(図3)。現状では、正弦波の周波数や対数関数のパラメータを手作業によってフィッティングさせ、モデルを得ている。再現率の決定には決定係数を用い、元の加速度データの波形と推測したモデルの波形の適合率を求めたところ、モデルの再現率は89%となった。

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、サーボモータ、振動

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

B研究終了後のA研究では、以下3つの課題に分けて研究を進める予定である。

(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。

本B研究では、上記の3つの課題を円滑に実施する準備段階として、以下の検討をすすめる。まず、課題Iを推進するために、FA機器が目指す汎用性向上の事例を具体的に複数挙げ、制御機器-コントローラ間やコントローラ-サーバ間でやり取りする必要のある情報を検討する。また、それらの情報を通信するためのセキュア

なネットワーク構成やプロトコルについて整理する。また、課題 II, 課題 III を推進するために、サーボモータやスライダといった典型的な FA 機器の構成の小型版を実装し、センサによる信号取得を可能にする。

4. 研究成果

ある機器の動作が他のところ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を検討した。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。

片方のリニ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、もう片方の停止状態のリニアモータが少し動く。このような現象を振動による相互作用とする。振動による相互作用を計測するために、2つのリニアモータを含む実験機器を用意した(図 1)。リニアモータ 1 を停止状態に、リニアモータ 2 を速さ 1.5m/s で動かし、動かしたリニアモータがもたらす振動による相互作用を計測した。このとき加速度センサは停止しているリニアモータ 1 の方に設置する。今回は、停止状態での振動がわかりやすいように、リニアモータ 2 の動きは右から左と左から右の 1 回のみ動かす。

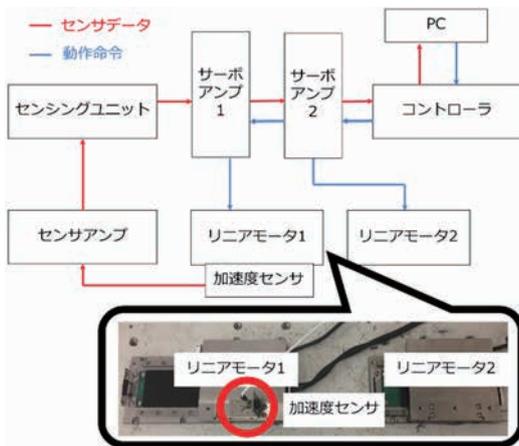


図 1 : 相互作用観測のための実験装置

図 2 (b) のようにリニアモータ 2 を右から左に動かす。この時、図 2 (c) に示すように加速度の値が動き始めと停止直前に大きく増幅し、停止している時には減衰していく様子が確認できる。

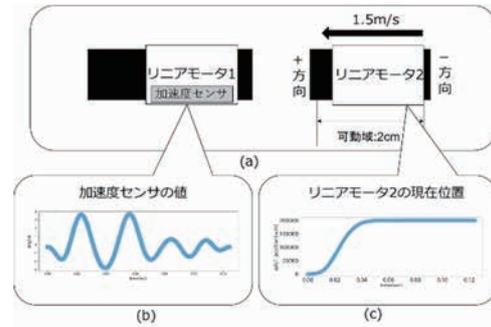


図 2: 相互作用の計測実験

対数関数と正弦波を組み合わせるモデル化を行った。振動は周期的な変化であるため、その基本的な振動を表すために正弦波を用いた。また、振動が増える区間を増幅区間、減っていく区間を減衰区間と定義し、それぞれの区間の増幅・減衰の度合いを対数関数によってモデル化した(図 3)。現状では、正弦波の周波数や対数関数のパラメータを手作業によってフィッティングさせ、モデルを得ている。

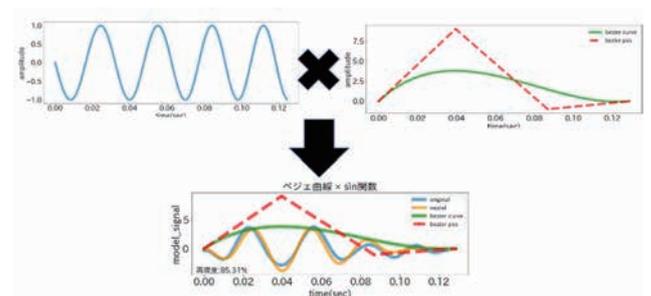


図 3 : 正弦波と対数関数の組み合わせによるモデル化。再現率の決定には決定係数を用い、元の加速度データの波形と推測したモデルの波形の適合率を求めたところ、モデルの再現率は 89 % となった。モデルの一例を図 4 に示す。

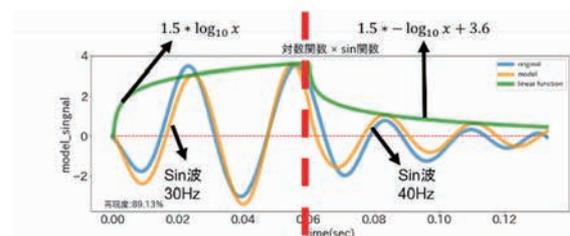


図 4 : 正弦波と対数関数の組み合わせによるモデル化の例

5. 本研究に関する発表

(1) 白井聖士, 阿部統吾, FA 機器保守管理のための機器間相互作用モデル化に関する研究, 愛知工業大学卒業論文, 2019.