

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。

物理的に繋がったサーボモータの相互作用を確認するため、2つのサーボモータで動作するリンク機構の装置を製作した。この装置はロボットアームの一部を模したものであり、サーボモータを連動させることで駆動部が前後に動作する。

リンク部と基盤間の摩擦の増加を想定した実験を行なった。これにより直接負荷をかけないサーボモータ(サーボモータ B と呼ぶ)の計測データや主成分分析の結果にどのような変化が表れるか確認する。予め指定したサーボモータ(サーボモータ A と呼ぶ)側のリンク部に重りを固定する。20分の計測と30秒のインターバルを交互に行った。計測するデータは通常時(重りなし)、重りの固定具と2個の重り取り付け時(70g)、重りの固定具と5個の重り取り付け時(130g)である。実験に使用した重りの固定具には上の面には円柱状の穴が空いており、重りを入れることで負荷を変更することができる。下には5角形の穴が空いており、リンク部のボルトに取り付けられる。

両モータからの12次元のデータを用い、主成分分析を行った。その結果、複数のクラスタにおいて負荷が増えるとともにクラスタ自体が移動する結果を得ることができた。通常時からのクラスタの移動を検出できれば、FA 機器の予知保全に適用できる可能性を示すことができた。

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、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。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。

物理的に繋がったサーボモータの相互作用を確認するため、2つのサーボモータで動作するリンク機構の装置を製作した。製作した実験装置を図1に示す。サーボモータを連動させることで駆動部が前後に動作する。

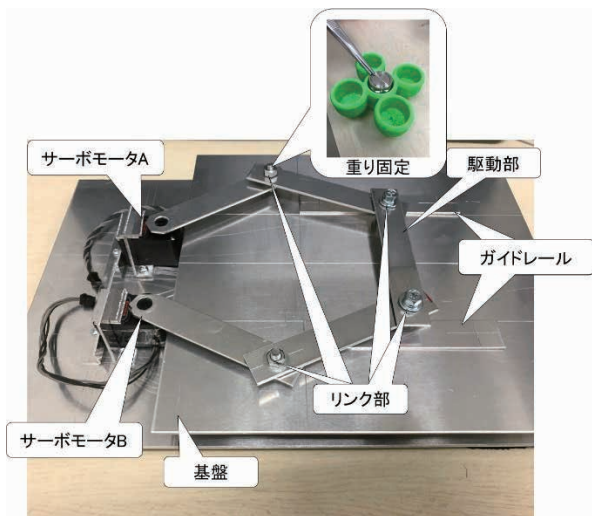


図1：ロボットアームを模した実験装置

リンク部と基盤間の摩擦の増加を想定した実験を行った。これにより直接負荷をかけないサーボモータ(サーボモータBと呼ぶ)の計測データや主成分分析の結果にどのような変化が表れるか確認する。予め指定したサーボモータ(サーボモータAと呼ぶ)側のリンク部に重りを固定する。20分の計測と30秒のインターバルを交互に行った。計測するデータは通常時(重りなし)、重りの固定具と2個の重り取り付け時(70g)、重りの固定具と5個の重り取り付け時(130g)である。実験に使用した重りの固定具には上の面には円柱状の穴が空いており、重りを入れることで負荷を変更することができる。下には5角形の穴が空いており、リンク部のボルトに取り付けられる。

両モータからの12次元のデータを用い、主成分分析を行った。図2は重りを乗せない状態、図3はおもりを乗せた状態の第一・第二主成分を散布図で表したものである。複数のクラスタにおいて負荷が増えるとともにク

ラスタ自体が移動する結果を得ることができた。クラスタは実験装置の動作ごとの点が集合して形成されており、実験装置の1回の動きで複数のクラスタを移動し、始めのクラスタに戻ってくる。図の番号は①最も縮んだ状態から移動開始した時点、②最も伸びた状態に達した時点、③最も伸びた状態から移動開始した時点、④最も縮んだ状態に達した時点を表している。他のクラスタについては振った番号間の移動中である。図2と図3を見比べると、変化が顕著だったのは③のクラスタであるのがわかる。故障予測においてはこのようなクラスタの移動を検出することが必要とわかった。

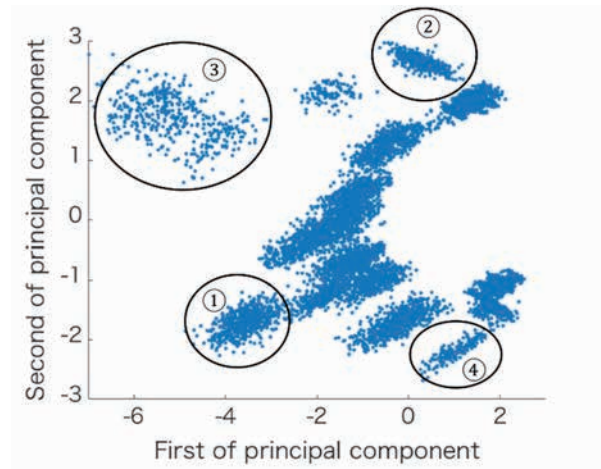


図2：主成分分析（通常時）

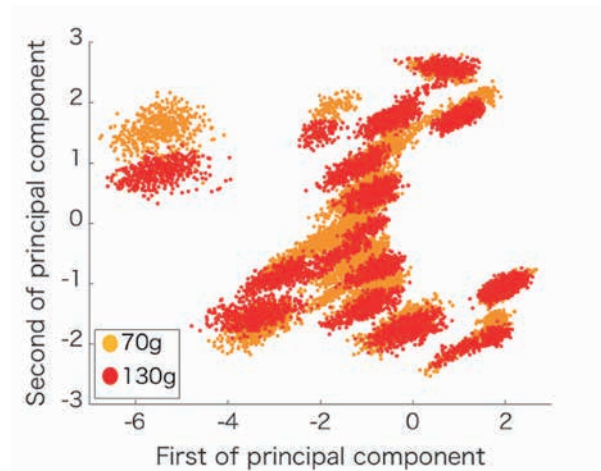


図3：主成分分析（通常時）

5. 本研究に関する発表

(1) 芳賀正憲, 筒井和彦, 梶克彦, 内藤克浩, 水野忠則, 中條直也, FA 機器のサーボモータ間の相互作用を考慮した故障予測の検討, 情報処理学会全国大会, 7W-03, 2019.