

ベイズ時系列モデリングと粒子フィルタを用いた プラント状態監視のリスク解析

社会科学部 経営専門職専攻

○教授 かいせ 貝瀬 とおる 徹

キーワード

状態空間モデル、情報量規準、フィルタリング、ベイズ推論

研究概要

多くのプラントでは、稼働しているプラントから特性値の観測サンプルを抽出することで状態監視を行っています。例えば、化学プラントの製造プロセスでは、温度等の特性値を検出して安定性を把握しています。この場合、許容範囲以内の観測値であれば製造プロセスは安定とみなし、観測値が許容範囲よりも外れていれば異常が発生していると推察します。特に、連続プロセスの製造ラインではフィードバックによる微調整が施されており、製造プロセスからの観測値はこの制御の影響を含んだ変動値となります。したがって、データには自己相関があると想定して、自己回帰モデルに基づく時系列解析を異常値の検出に適用することが必要となります。さらに、異常値の特徴から不具合原因を診断することが求められています。

本研究では、状態監視データに対して状態空間モデリングを想定し、フィルタを用いた状態推定によるパラメータ推定と予測に基づく異常検出および不具合診断の方法論を構成します。具体的には、階層ベイズモデルと粒子フィルタによる方法論を提案します。

アピール ポイント

プラントの稼働状態をモニタリングすることで、異常検出や不具合診断あるいはこれらの予測を行うことが求められています。最近では、機械学習や AI といった方法論がこのような分野でも注目されています。対象とするプラントによっては、複雑な負荷を伴う環境変化の下で使用されており、不具合現象にはこのような負荷の経緯による影響が考えられます。また、保全での経験および専門知識の共有情報により不具合特性の予測も可能であると想定できます。本報告では、異常値発生で起こる分散の不均一化をモデル化し、稼働状況や保全経験といった情報を考慮した事前分布の構成を提案しています。特に、ここではガンマ分布を用いた非線形の複雑なモデル構成を事前分布として組込む方法を用いています。また、粒子フィルタを用いたパラメータ推定と不具合発生リスク解析についても扱っています。これらの方法は、状態空間モデルと最尤法およびフィルタを用いた時系列解析を基盤とした統一的手法の枠組みと解釈でき、さらに情報量規準を用いたモデル選択の方法を利用することで、故障診断のためのモデル構成と故障予測が可能になることも示します。なお、本研究で提案する方法は機械学習でもあり、さらに深層学習を取り込んだ拡張も可能となります。具体的には、異常値発生分散のモデル化として導入したガンマ分布のスケールパラメータに着目し、ボルツマンマシン型のエネルギー関数に基づいた深層学習を試みております。この場合には、粒子フィルタを用いずにマルコフ連鎖モンテカルロ (MCMC) 法を用いて解析を行うことが可能となり、パラメータ推定および事前情報の扱いにおいて、より複雑なモデル構成での解析が可能となります。さらに情報量規準の適用でも工夫が必要となり、ブートストラップ法を用いたカルバック・ライブラー情報量の計算を近似式の適用で求める方法を試みています。

ビジネス分野におけるデジタル・トランスフォーメーション (DX) の応用として捉えた場合、プラント状態監視のリスク解析は、品質・信頼性・安全性に関する経営意思決定を含む問題解決の方法論として解釈できます。機械学習および AI の応用は、経営技法の構成を飛躍的に発展させています。