

令和 3 年 6 月 14 日現在

機関番号：37111

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2020

課題番号：17K06909

研究課題名(和文) 有害アラームによるプラント事故防止のための論理アラーム処理技術の開発

研究課題名(英文) Logical Alarm Processing with Sequential Alarms Identification for Safe Plant Operation

研究代表者

野田 賢 (NODA, MASARU)

福岡大学・工学部・教授

研究者番号：60293891

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、異常診断ミスなどが起こりにくいヒューマンエラー抑制効果の高い論理アラーム処理のためのプラントオペレーションデータから高速に連鎖アラームを抽出するためのデータ解析手法を開発した。具体的には、プラント運転データからの連鎖アラームの抽出問題を、プラント運転データ中のアラームの種類とそれらの発報順が完全に一致する部分を抽出する問題に帰着した。連鎖アラーム抽出法には Smith-Waterman アルゴリズムを採用した。開発した連鎖アラーム抽出法を論理アラーム処理法に組み込むことは、ヒューマンエラーを招きにくいアラームシステムの実現に役立つ。

研究成果の学術的意義や社会的意義

従来の論理アラーム処理は、アラームの発報数などのマクロな指標のみを利用するため、処理の方法やタイミングによってはオペレータの正しい異常診断を支援するというアラームシステム本来の機能がかえって低下する恐れがある。このような問題に対し、オペレータの監視制御システムのアラームデータから連鎖アラーム発生を検出し、オペレータの異常診断プロセスに適した論理アラーム処理法に活用することが、本研究の学術的な特色である。連鎖アラーム抽出法を組み込んだ論理アラーム処理法は、ますます高度化するプラントオペレーションの安全対策立案の有力な手段となることが期待される。

研究成果の概要(英文)：Sequential alarms reduce the ability of operators to cope with plant abnormalities because critical alarms are buried under many unnecessary ones. It is very important to identify sequential alarms in a plant operation data for safe plant operations. In this research, we propose a new identification method of repeating sequential alarms in historical operation data of a chemical plants. In the method, time stamped alarm data is converted into a set of windows containing adjacent alarms. All combinations of windows are compared, and repeating similar windows are identified by similarities between them. The alarms in each repeating window comprise a sequential alarm. By classifying such alarms into small numbers of sequential alarms, an engineer can effectively reduce the number of unnecessary alarms.

研究分野：プロセスシステム工学

キーワード：プラントアラームシステム オペレーションデータ 連鎖アラーム 論理アラーム処理

様式 C-19、F-19-1、Z-19（共通）

1．研究開始当初の背景

経験や知識などに基づく人間の高度な認識や判断に委ねられるプラントオペレータの業務の一つに、アラームシステムを使ったプラントの異常検知や異常診断がある。アラームシステムは、プラント状態が正常範囲から逸脱したとき、プラント監視制御室内のアラームランプや警報音などによりオペレータにプラント異常の発生を早期に通知し、正常状態に戻すための適切な対応操作を要求する。

近年のプラント監視制御システムの急速な高性能化は、低コストで大量の監視変数にアラームを設定できる環境を運転現場にもたらした。しかし、個々のアラームの必要性や管理範囲の妥当性が十分精査されないままアラームシステムが設計されている運転現場も多く、単一のプラント異常から複数のアラームが短時間に連鎖的に発生する連鎖アラームやアラームが周期的に発報と復帰を繰り返す繰返しアラームなどの有害アラームが運転現場で増加している。有害アラームはオペレータの重要アラームの見落としや異常診断ミスなどを招き、ヒューマンエラーによるプラント事故の主要な原因となる。

有害アラームによるプラント事故を防止する方法として、論理アラーム処理が注目されている。論理アラーム処理とは、短時間に多数のアラームが発報するアラームの洪水が発生した時に同じ種類のアラームを一つに集約したり、発報したアラームの中で重要度の低いものを一時的にオペレータから隠したりすることで、重要アラームの見落としなどのヒューマンエラーの発生を抑制する機能である。しかし、アラームの発報数のようなマクロな指標に基づくため、処理の方法や適用のタイミングによって、オペレータの正しい異常診断を支援するというアラームシステム本来の機能がかえって低下する恐れがある。

2．研究の目的

有害アラームを原因とするプラント事故防止のために、有害アラームによるオペレータの重要アラームの見落としや異常診断ミスなどが起こりにくい新しい論理アラーム処理の開発を目指す。具体的にはプラントオペレーションデータから代表的な有害アラームである連鎖アラームを自動的に抽出するデータ解析法を開発する。開発した解析法を論理アラーム処理に組み込むことで、有害アラームによるオペレータの重要アラームの見落としを防ぐ。

3．研究の方法

論理アラーム処理には、サプレッション（洪水発生時に新規アラーム発報を抑制）、たたみ込み（同じ種類のアラームを一つに集約）、シェルピング（重要度の低いアラームを一時的にオフ）、ソーティング（アラームを重要度順にソート）などがある。いずれもアラームの発報数などのマクロな指標をベースとしているため、処理の方法やタイミングによってはオペレータの正しい異常診断を支援するというアラームシステム本来の機能がかえって低下する恐れがある。本研究では、プラントオペレーションデータから連鎖アラームを高速に抽出するためのデータ解析手法を開発した。具体的には、プラント運転データからの連鎖アラームの抽出問題を、プラント運転データ中のアラームの種類とそれらの発報順（発報パターン）が完全に一致する部分を抽出する問題に帰着した。完全に一致する部分配列が、プラント運転データ中に複数回現れるとき、それらの部分配列を連鎖アラームと判定する。

連鎖アラームの抽出アルゴリズムには、Smith-Waterman アルゴリズム（Smith & Waterman, 1981）を採用した。Smith-Waterman アルゴリズムは、バイオインフォマティクス分野において DNA やタンパク質の局所的アラインメント手法として広く知られる。Smith-Waterman アルゴリズムは、最もスコアの高い局所的配列アラインメントを見つけるためのダイナミックプログラミングアルゴリズムである。

連鎖アラームの類似度評価には、Cheng らの手法（Cheng *et al.*, 2013）を一部採用した。Cheng らは二つのアラーム列間の類似度を、対応するアラーム同士が一致した場合の一致スコア、一致しなかった場合の不一致スコア、空白がある場合にギャップのインサートスコアの合計 3 種類のスコアの合計値として定義した。提案手法では、アラーム間の発報時間差を考慮するため、ガウス関数を用いて発報時間差に重みをつけて一致スコアを決定する。

プラント運転データを網羅的に探索するために、アラーム部分列の抽出にスライディングウィンドウ（Mount, 2004）を用いた。スライディングウィンドウのウィンドウサイズを任意の時間幅で設定することで、アラーム間の発報時間差が大きい部分列が抽出されるのを防ぐ。また、重複を許してアラーム部分列を抽出することで、複数の種類の連鎖アラームが同時に発生しているケースにも対応できる。

Smith-Waterman アルゴリズムは制約上、一度に 3 配列以上の類似度を算出することができない。そこで提案手法では類似度スコアに基づくカラーマップにより連鎖アラームパターンを集約し、それらを連鎖アラームとして同定する。

プラント運転データからの連鎖アラーム抽出法の計算ステップを以下にまとめる。

- (1) プラント運転データからスライディングウィンドウによりアラーム部分列を生成
- (2) Smith-Waterman アルゴリズムにより類似度スコアを算出
- (3) 閾値以上のアラーム部分列を連鎖アラームパターンとして抽出

(4)連鎖アラームパターンの類似度スコアによるカラーマップで連鎖アラームを集約し、連鎖アラームを同定

4. 研究成果

連続共沸蒸留プロセス（倉田ら，2011）のシミュレーションデータに対し、提案手法を適用した。共沸蒸留プロセスには9個の監視変数があり、それぞれの監視変数の管理範囲の上下限に18個のアラームA1 - A18が設定されている。15日間のシミュレーションでは、冷却水量の低下、リボイラスチーム圧の低下、還流量バルブの固着の3種類のマルファンクションをランダムに発生させ、それぞれに対応操作A19 - A21を行った。

プラント運転データを提案手法によって解析した結果、17対の連鎖アラームパターンがプラント運転データから抽出された。類似度スコアに基づくカラーマップを作製した結果、それらは3種類の連鎖アラームに集約された。連鎖アラームの抽出結果を図1に示す。10×10⁵秒付近で2種類の連鎖アラームが同時発生しているが、提案手法によって2種類の連鎖アラームに識別できた。これらの結果から、提案手法は同時期に発生した複数種類の連鎖アラームをアラームの発報時間差を考慮して抽出することができていることがわかる。

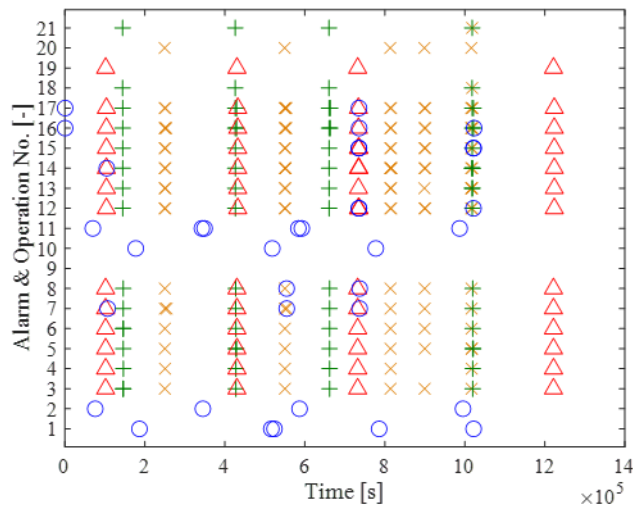


図1 連鎖アラームの抽出結果

提案手法は、同時期に発生した複数の連鎖アラームを、アラームの発報時間差を考慮して抽出できる。開発した連鎖アラーム抽出法を論理アラーム処理法に組み込めば、ヒューマンエラーを招きにくいアラームシステムの実現に役立つ。論理アラーム処理を活用したヒューマンエラー防止策の検討は、ますます高度化するプラントオペレーションにとって、安全対策立案の有力な手段となることが期待される。

【参考文献】

- (1) Smith *et al.*, J. Mol. Biol., 147,195-197(1981)
- (2) Cheng *et al.*, Chem. Eng. Res. Des., 91, 1085-1094(2013)
- (3) Mount, Bioinformatics Sequence and Genome Analysis Second Edition (2004)
- (4) 倉田ら, 化学工学論文集, 37, 338-343(2011)

以上

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Zhexing Wang and Masaru Noda	4. 巻 -
2. 論文標題 Alarm Data Analysis for Safe Plant Operations: Case Study of Ethylene Plant	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Proceedings of 13th International Symposium on Process Systems Engineering	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/B978-0-444-64241-7.50380-3	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計7件（うち招待講演 1件/うち国際学会 3件）

1. 発表者名 Ai YANAGA and Masaru NODA
2. 発表標題 Identification of Repeating Sequential Alarms in Historical Operation Data of Chemical Plants
3. 学会等名 2019 AIChE Annual Meeting（国際学会）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Masaru NODA
2. 発表標題 Advanced Alarm Management and Design for Complex Industrial Facilities
3. 学会等名 SICE Annual Conference 2019（招待講演）（国際学会）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 野田賢
2. 発表標題 アラームシステム適正化のためのプラントオペレーションデータ解析
3. 学会等名 第61回計測自動制御連合講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 矢永安依, 野田 賢
2. 発表標題 アラームの発報時間差を考慮した連鎖アラーム抽出法の提案
3. 学会等名 化学工学会第84年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 王者興, 野田賢
2. 発表標題 プラント運転データからの連鎖アラーム抽出法
3. 学会等名 第60回自動制御連合講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Ai YANAGA and Masaru NODA
2. 発表標題 Big Data Analysis of Plant Operation Data for Identification of Repeating Sequential Alarms
3. 学会等名 The 9th Asian Symposium on Process Systems Engineering (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 矢永安依, 野田 賢
2. 発表標題 同時期に発報した複数の連鎖アラーム抽出法
3. 学会等名 化学工学第86年会
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------