

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 1 日現在

機関番号：13302

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25330011

研究課題名(和文) 離散事象システムのモデルレス故障診断法に関する研究

研究課題名(英文) Research on Model-less Diagnosis of Discrete Event Systems

研究代表者

平石 邦彦 (Hiraishi, Kunihiko)

北陸先端科学技術大学院大学・情報科学研究科・教授

研究者番号：40251970

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)：離散事象システムの故障診断ではシステムモデルに基づいた「モデルベース故障診断法」が一般的であるが、状態空間爆発のため大規模な並行システムには適用が困難である。本研究では、モデルを用いない新しい故障診断法であるモデルレス故障診断法を開発した。提案法は、システムから出力される正常時および様々な状況下のイベントログからシステムのふるまいを近似的に表現した確率的挙動モデルを求める学習フェーズと、イベント列の特徴量を正常時の確率的挙動モデルと比較して計算し、それを用いて故障発生を推定する診断フェーズから構成される。シミュレーションモデルおよび実データを用いて提案手法の有効性を検証した。

研究成果の概要(英文)：Model-base diagnosis is an existing technique for diagnosis of discrete event systems, but it is hard to be applied to large concurrent systems due to state space explosion. In this research, we have developed a new diagnosis method for discrete event systems, called model-less diagnosis, that does not use any system models. The proposed method consists of two phases: (i) learning probabilistic models that approximate system behavior from given system logs under various situations (learning phase), and (ii) computing characteristic values of event sequences based on the probabilistic model in the normal situation and identifying system failures using the characteristic values. Effectiveness of the method is validated using computer simulation and real data.

研究分野：システム科学

キーワード：離散事象システム 故障診断 異常検知 イベントログ

1. 研究開始当初の背景

離散事象システムとは、状態が離散値で表現され、イベントの発生によって状態遷移が起るようなシステムの総称であり、計算機ソフトウェア/ハードウェア、生産システム、ロボティクスなどに多くの応用事例がある。離散事象システムに対する故障診断 (diagnosis) に関しては、従来から数多くの理論および応用研究が行われてきた。その中で、観測したイベント列から故障の発生を推定する「診断器」を、あらかじめ与えたシステムモデルから構成するモデルベース故障診断 (MBD: Model-Based Diagnosis) が研究の主流である。近年、様々な情報システムを構築するための基盤技術として利用されているクラウドシステムであるが、将来的にますます大規模化するシステムに対応できるような運用管理技術が求められている。しかし、クラウドシステム等の故障診断に関しては、以下の理由により MBD の適用が困難である。(i) 高い並行性・分散性に起因する状態数爆発により、状態数の 2 重指数関数の計算量を必要とする診断器の構成が困難である。(ii) システム構成 (コンフィグレーション) の変更が頻繁に行われるため、その度にモデルの変更と診断器の再構成を行う必要がある。

2. 研究の目的

離散事象システムに対する代表的な故障診断法である「モデルベース故障診断法」の適用が困難であるようなシステムのクラスに対する、システムモデルを用いない新しい故障診断法 (モデルレス故障診断法) を開発する。モデルベース故障診断法の適用が困難なシステムとして、多数のアプリケーションやデータベースが仮想環境上で連携して動作するクラウドシステムを想定する。このようなシステムから出力されるイベントログを入力とし、障害の有無の判定と障害の種類の特定を行う手法を開発し、故障診断ツールとして実装する。ツールとしては、蓄積されたログを用いたオフライン診断法と、継続的にシステムから出力されるログを用いたオンライン診断法の 2 種類の方法の実装について検討する。

3. 研究の方法

本研究では、システム挙動モデルの統計的学習に基づいた方法を採用する。対象とするのは、イベントが確率的に発生する確率離散事象システムである。提案方法はあらかじめ構築したシステムモデルを用いないことから、モデルレス故障診断 (MLD: Model-Less Diagnosis) と呼んでいる。方法の概要は以下の通りである (図 1)。

- ・入力データ：発生したイベントのログ (イベント名 + タイムスタンプ) が与えられる。ただし、システムで発生したすべてのイ

ントが観測できるわけではなく (部分観測)、また発生イベントの詳細情報ではなく、イベントの属するグループ名などイベントに関する抽象情報のみが与えられることもある。

- ・学習フェーズ：正常時および様々な状況下のイベントログを蓄積し、それらからシステムのふるまいを近似的に表現した確率的挙動モデルを求める。
- ・診断フェーズ：イベント列の特徴量を正常時の確率的挙動モデルと比較して計算し、それをを用いて故障発生の有無、および、故障の種類を定量的尺度により判定する。

研究課題は、枠組みとしてはシステムから観測される時系列データから障害の発生を予測するデータサイエンスにおける「異常検知 (anomaly detection)」に分類される。

確率的挙動モデルは N グラムモデル (長さ N の文字列の後に出現する文字に関する条件付き確率) の形で学習する。これは、エルゴード的な離散時間マルコフ連鎖のふるまいは N グラムモデルで近似可能であるという理論的根拠に基づいている。

イベント列を固定長 (長さ 3 ~ 6 程度) の文字列の集まりとして扱い、それらの文字列の発生頻度の「実測値」と「確率的挙動モデルから計算される期待値」の対数比からなるベクトルを、イベント列の特徴量として用いる (図 2)。対数比からなる高次元のベクトルを、正常時および特定の障害発生時の対数比ベクトルと比較することで、障害の種類を同定する。短い文字列の発生頻度に着目したのは、並行・分散システムにおいては、障害の影響はイベント列全体ではなく、局所的なふるまいに現れるという仮定に基づいている。

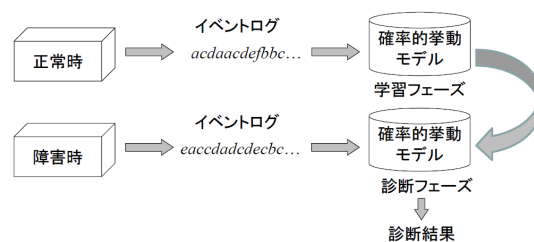


図1. モデルレス故障診断

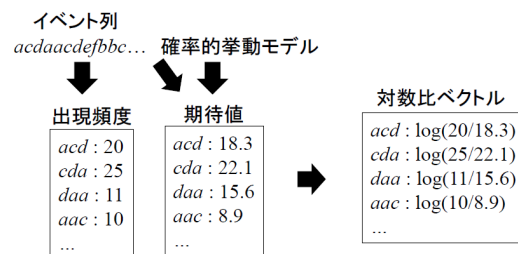


図2. イベント列の特徴量

4. 研究成果

(1) Nグラムモデルに基づいたモデルレス故障診断法: イベント列をNグラム(長さNの文字列)に分解し、N-1グラムの後に発生するイベントを条件付き確率の形で推定するNグラムモデルに基づいたモデルレス故障診断法について検討した。提案法では、文字列の発生頻度の「実測値」と「確率的挙動モデルから計算される期待値」の対数比からなるベクトルを、イベント列の特徴量として用いる。クラスタリングの手法により、特徴量が観測値と最も近い状況を求めることにより、発生した障害を推定する手法を提案した。提案手法を確率ペトリネットのシミュレーションモデルから出力されたイベントログに適用し、正しく故障診断が行えるための条件について検討した。なお、提案法は文字列処理に適したプログラミング言語である perlにより実装した。[雑誌論文(4)]

(2) ワイルドカード文字を含むNグラムモデルへの拡張: (1)の手法を拡張し、任意の文字列に置き換えることができるワイルドカード文字を条件付確率で用いるN-1グラムを導入し、コンカレントシステムにおいて発生するインターリーブしたイベント列に対して有効に働くことを計算機実験で確認した。[雑誌論文(2),(8)]

(3) 異常発生時点の同定: イベント列全体から故障を診断するだけでなく、時系列上で障害が発生した時点を推測する方法について検討した。イベント列上に出現するNグラムの出現数について、期待値と実測値の対数比をそのNグラムの特異度と定義し、特異度が高いNグラムは何らかの障害に対応しているものであると推測する。特異度を時系列上にプロットし、スパイクが現れる時点を異常発生時点であると推定する方法を提案した(図3)。この方法はオンラインでの異常検知に用いることができる。[雑誌論文(5)]

(4) 時間情報を含むイベントログからの故障診断: タイムスタンプ付のイベントログを用いて故障診断を行う方法について検討した。具体的には、イベント発生間隔に応じて異なる記号をイベントに割り当てることにより、時間情報を反映した確率モデルを構成した。[雑誌論文(5)]

(5) 実データへの適用: 並行システムの一例として介護現場における複数ケアスタッフの行動(図4)に着目した。屋内位置計測技術を用いて得られた移動ログデータを用い、まず(i)スタッフの要注意行動の発見、および、(ii)他と異なる行動をする傾向のあるスタッフの特定、を行った。これらの結果はあくまで個人の行動ログからの異常検知だったのに対し、さらに対象を8人程度のケアスタッフのグループに拡張し、(iii)グループ

全体としての異常行動を検知する方法について検討した。具体的には、スタッフ配置の時系列における変化パターンを学習し、いくつかのパターンに分類する手法を提案した。この手法により、通常はあまり見られない異常なパターンの出現を時系列上で発見することができる。この成果は様々なデータから状況を認識する状況アウェアネスの研究として、今後発展させる予定である。[雑誌論文(1),(3),(6),(7)]

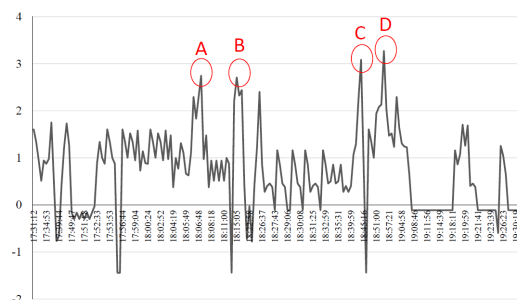


図3. 特異度のプロットによる異常発生時点の同定
(スパイクが観測された時点で異常発生と推定)

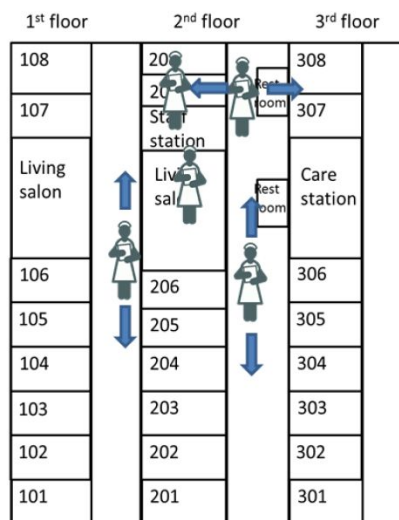


図4. 並行システムとしての介護現場における
ケアスタッフの行動
(複数のケアスタッフが同一空間内をインタラクションを繰り返しながら移動する.)

5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計8件)

(1) Kaoru Sato, Kunihiko Hiraishi, Koichi Kobayashi: Spatio-Temporal Situation Recognition for Groups in Caregiving Services, Proc. IEEE CogSIMA2016, pp. 78-82, 2016 [査読有]

(2) Kunihiko Hiraishi, Koichi Kobayashi: Diagnosis of Stochastic Discrete Event Systems Based on N-Gram Models with Wildcard Characters, IEICE Trans. Fundamentals,

Vol.E99-A, No.2, pp. 462-467, 2016 [査読有]

(3) Kaoru Sato, Koichi Kobayashi, Kunihiko Hiraishi: Situation Recognition from Behavior Logs in Caregiving Services, Proc. ITC-CSCC 2015, pp. 721-724, 2015 [査読有]

(4) Miwa Yoshimoto, Koichi Kobayashi, Kunihiko Hiraishi: Diagnosis of Stochastic Discrete Event Systems Based on N-gram Models, IEICE Trans. Fundamentals, Vol. E98-A, No.2, pp. 618-625, 2015 [査読有]

(5) Kunihiko Hiraishi, Koichi Kobayashi: Detection of Unusual Human Activities Based on Behavior Modeling, Proc. 12th IFAC International Workshop on Discrete Event Systems, pp. 182-187, 2014 [査読有]

(6) Kunihiko Hiraishi, Koichi Kobayashi, Sunseong Choe, Naoshi Uchihira: Behavior Modeling in Physical and Adaptive Intelligent Services, Proc. 2014 IEEE CogSIMA, pp. 221-226, 2014 [査読有]

(7) 甚田貴徳・青戸渉・宮崎晃和・崔舜星・小林孝一・平石邦彦・内平直志: イベントログに基づいた行動型サービスの分析, 信学技報, vol. 113, no. 121, pp. 1-8, 2013 [査読有]

(8) Kunihiko Hiraishi, M. Yoshimoto, K. Kobayashi: Diagnosis of Stochastic Discrete Event Systems Based on N-gram Models with Wildcard Characters, Proc. IFIP/IEEE DANMS2013, pp.1383-1388, 2013 [査読有]

[学会発表](計6件)

(1) Kaoru Sato, Kunihiko Hiraishi, Koichi Kobayashi: Spatio-Temporal Situation Recognition for Groups in Caregiving Services, IEEE CogSIMA2016 (2016/3/21-25, San Diego (USA))

(2) Kaoru Sato, Koichi Kobayashi, Kunihiko Hiraishi: Situation Recognition from Behavior Logs in Caregiving Services, ITC-CSCC 2015 (2015/6/29-7/2, Seoul (Korea))

(3) Kunihiko Hiraishi, Koichi Kobayashi: Detection of Unusual Human Activities Based on Behavior Modeling, 12th IFAC International Workshop on Discrete Event Systems, (2014/5/14-16, Cachan (France))

(4) Kunihiko Hiraishi, Koichi Kobayashi, Sunseong Choe, Naoshi Uchihira: Behavior Modeling in Physical and Adaptive Intelligent Services, 2014 IEEE CogSIMA (2014/3/3-6, San Antonio (USA))

(5) 甚田貴徳・青戸渉・宮崎晃和・崔舜星・小林孝一・平石邦彦・内平直志: イベントロ

グに基づいた行動型サービスの分析, 電子情報通信学会 システム数理と応用研究会, (2013/7/11-12, 熊本大学 (熊本県熊本市))

(6) Kunihiko Hiraishi, M. Yoshimoto, K. Kobayashi: Diagnosis of Stochastic Discrete Event Systems Based on N-gram Models with Wildcard Characters, Proc. IFIP/IEEE DANMS2013, (2013/5/31, Ghent (Belgium))

[図書](計0件)

[産業財産権]
出願状況(計0件)

取得状況(計0件)

[その他]
ホームページ等 なし

6. 研究組織

(1) 研究代表者
平石 邦彦 (Hiraishi Kunihiko)
北陸先端科学技術大学院大学・情報科学研究科・教授
研究者番号: 40251970

(2) 研究分担者 なし

(3) 連携研究者 なし