

令和 2 年 6 月 12 日現在

機関番号：32644  
 研究種目：基盤研究(C) (一般)  
 研究期間：2017～2019  
 課題番号：17K00161  
 研究課題名(和文) 統計モデルと物理モデルを統合した因果関係表現に基づく時系列データマイニング方式

研究課題名(英文) Time series datamining based on causal relationship combining statistics model and physical model

研究代表者  
 今村 誠 (Imamura, Makoto)  
 東海大学・情報通信学部・教授

研究者番号：30780291  
 交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：IoTとビッグデータの普及に伴って、工場や設備の故障予知に、データマイニング技術が適用されるようになった。しかし、ソーシャルデータ分析やパターン認識に対して大成功を収めた機械学習も、機器データに対してはそれほど成功していない。その要因の一つは、既存の機械学習技術は、機器の内部状態が徐々に変化する劣化傾向を検出する教師なし学習が十分でないことによる。そこで、本研究では、「時間的に変化するパターンTime Series Chainの発見技術」と「パラメータフリーの高速な時系列上下変動の特徴量抽出技術」を開発した。開発技術は、素材やデバイスの製造工場に適用により、実用的であることを検証した。

研究成果の学術的意義や社会的意義  
 四次産業革命やSociety 5.0を実現するために、IoT(Internet of Things)普及に伴って飛躍的に増加するセンサーデータを分析する機番技術を確立する

研究成果の概要(英文)：As IoT (Internet of Things) and BigData have been emerging, a variety of datamining technologies have been applied to predictive maintenance of equipment and facility. While these technologies are greatly successful in pattern recognition and social data analysis, they are less successful in predictive maintenance. One of the reasons is that existing machine learning methods cannot handle well unsupervised learning for detecting gradually changing states of industry systems. Therefore I proposed "time series chain extraction for detecting the gradually changing patterns" and "fast parameter-free feature extraction of magnitudes of spikes in time series" I also verified the effectiveness of our proposed methods on real industry data.

研究分野：情報学

キーワード：マルチメディア・データベース ビッグデータ分析・活用 時系列データマイニング Prognostics Time series motif Predictative maintenance

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。

## 1. 研究開始当初の背景

様々なモノをインターネットに接続しデータを収集・活用する IoT(Internet of Things)とビッグデータの普及に伴って、工場や発電プラント等設備の故障予知に、データマイニング技術が適用されるようになった。しかし、ソーシャルデータ分析やパターン認識に対して大成功を収めたデータマイニング技術も、機器データに対しては、「異常検知は可能だが、故障診断や故障予知は難しい、また、結果の説明能力も弱い」など、期待ほどの成果がでていない。研究代表者は、「この理由は、機器の部品間に存在する自然法則に基づく因果関係の連鎖(物理モデル)を反映しない点にある」と考え、予知精度と説明能力の向上を目的として、「統計モデルと物理モデルを統合した因果関係表現に基づく時系列データマイニング方式とその故障予知への適用」の研究を実施することにした。

## 2. 研究の目的

### (1) ブレークスルーとなる要素技術：劣化現象をとらえる時系列データマイニング技術

背景では既存研究の機能面からの課題を述べたが、要素技術という観点からは、「画像に代表されるようなベクトルデータに対する教師あり学習ではなく、時系列に対する教師なし学習」が十分でない。特に、時間と共に少しずつ機械の状態が悪化していくような劣化現象をとらえる要素技術が十分開発されていない。たとえば、画像認識であれば、ネコやイヌなどのはっきりと異なる離散的な分類問題に帰着されるが、機器の状態は少しずつ悪化していくので異常と正常がはっきり区別できるものでもないし、教師データも作りにくいので単純な教師あり問題に帰着することが困難であることが多い。そこで、徐々に変化するような劣化現象をとらえるため時系列データマイニング技術を開発する。

### (2) 技術の実用化に向けた段階的な研究開発プロセスの確立

予知保全では、機械学習の要素技術を現実に適用するためには、要素技術として優れているというだけでなく、現場となる工場の設備や人の制約条件を考慮しながら、小さな実験から本格的な実用化にいたるまで段階的なステップを踏みながら研究開発を進めていくことが重要になる。日本発の独創的な技術開発を目指すためには、日本が強みをもつ製造技術との連携が重要と考え、現実の工場における課題を対象として、「代表者がもつ要素技術」を「企業がもつ製造技術」にぶつけながら、お互いの技術を高めあうような研究開発のプロセス自身も検討していくことにした。

## 3. 研究の方法

### (1) 企業との共同研究を通じた要素技術の評価改良に基づく差別化技術の開発

データマイニングの研究では、研究に適したデータを得ることが非常に重要である。例えば、Google が機械学習をリードしている理由の一つは彼らが良いデータを持っていることにあることからわかる。本研究では、世界でもトップクラスの日本の製造業がもつデータとドメイン知識を用いて、「従来技術の課題は何か」と「本質的な課題は何か」を早期に把握して、効率的に研究を進めていく。

## (2) 海外の有力な研究機関との連携による世界的な技術の発表

世界的な技術を開発する困難さの中には、純粋に技術的な問題だけでなく、「膨大な既存研究をサーベイすることが難しい」、「何を研究すれば世界的に評価されるのかわからない」、「論文発表に適したオープンな評価データは何かよいか」という研究の前提となる知識に関する問題もある。これらの問題を効率的に解決するための一つの方法は、海外のトップレベルの研究者と交流することにより、「自己のアイデアが新しいといえるのか」、また、「比較すべき従来技術は何か」を早期に知ることにより、研究速度を加速すると共にプレゼンテーションスキルを向上させる。

## 4. 研究成果

### 4.1 要素技術開発

#### (1) 時間的に変化するパターン Time Series Chain の発見技術

定型パターンが少しずつ変化して最終的に大きな変化にいたる劣化傾向を発見する時系列チェーン抽出の技術を開発した。時系列データマイニングの重要概念の一つであるモチーフ(正常パターン)が時間と共に少しずつ変化し最終的には異なったパターン(異常パターン)となる現象を発見できる。本開発成果は、データマイニングのトップカンファレンスである IEEE の ICDM(International Conference on Data Mining) 2017 や人工知能のトップカンファレンスである IJCAI 2018 の Sister Conference Best Paper Track に採録された。また、それらをさらに発展された研究は、ACM の KDD(Knowledge Discovery and Data Mining) 2020 に採録された。

#### (2) パラメータフリーの高速時系列上下変動の特徴量抽出技術 (スパイク特徴量抽出)

工場の製造装置では、製品の歩留まりに影響を与える装置としては、ベアリング、ローラ、モータのように回転機器が多い。従来のフーリエ変換をベースとする振動解析技術には、「サンプリング周期が十分細かくないときに適用できない」、「定常ではなく過渡データには使いにくい」、「ノイズ処理が難しい場合がある」などの課題があった。また、時系列解析と組み合わせにより上記の課題を解決しようとする従来技術もあるが、「ウィンドウ長を事前に決定する必要がある」、「計算速度が遅い(計算オーダが時系列長の二乗)」、「最適パラメータを求めるための試行錯誤の手間が大きい」という課題があった。本研究では、ウィンドウ長が不要で、かつ圧倒的高速(計算オーダが時系列長さ)なパラメータフリーの高速時系列上下変動の特徴量抽出技術(スパイク特徴量抽出)の基盤技術を確立した。今後は研究高度化により、より上位の国際学会への投稿していく。

### 4.2 産業システムでの適用評価と実用化検討

#### (1) ケミカルプラントへの適用評価

ケミカルプラントの制御システムデータの数百変数の分単位のサンプリング周期データに対する既存のスパースモデリング技術を適用したが、類似した変数が多い場合には収束性が悪いなどから精度がでないことを確認した。ドメイン知識を用いた変数のグループ分けを併用することにより、故障予知の精度と結果の説明性を改善できることを確認できた。

また、1000Hz レベルの振動データに本研究で開発したスパイク特徴量抽出を適用した結果、従来のフーリエ変換ベースの振動解析技術では得られない新たな監視量が得られる見込みが得られた。今後、実用化に向けた実験・開発を継続予定である。

### (2) 交通用機器の電子基板への適用評価

電子機器の故障モデルとして、ある一定以上温度にさらされた時間の蓄積値が指標になることが知られている。既存の機械学習技術による故障予知を適用したが、時間の増加に伴い故障確立が上昇するような結果が得られず、現場での解釈が難しいという課題を確認した。従来の1変数のカプランマイヤー法を複数変数に拡張した新たなノンパラメトリックな故障確率の計算法を提案し、現場の保守部門に対して説明能力が高いことを確認した。

### (3) 電子デバイスの製造における回転機器

電子デバイスの製造における回転機器では、製造する製品の仕様に応じて波形パターンが変化するため、正常時と故障時とを比較すべき対応部分(セグメンテーション処理)を抽出することが難しいという課題があった。この課題は、データが切れ目なく連続している時系列の本質的な課題の一つである。スパイク特徴抽出がセグメンテーションに使える事例をいくつか見出すことができ、基礎的なアイデアの検証が完了した。今後は、要素技術として完成度を高めると共に、現場での評価改良を通じて、より上位の国際学会への投稿していく。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計5件（うち査読付論文 5件/うち国際共著 4件/うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 M. Imamura, M. Inoue, M. Terada and D. Nikovski	4. 巻 VOL.11, NO.2
2. 論文標題 Motif Density for Selecting Optimal Window Length in Motif Discovery	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 International Journal of Informatics Society (IJIS)	6. 最初と最後の頁 1883-4566
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する
1. 著者名 津田純慈・飯村遊大・鳥井郁洋・伊藤薫・山口雄平・岡野菜々・寺田昌弘・今村誠	4. 巻 Vol.140, No.3
2. 論文標題 運動練習支援システムのための関節ベクトルモデルを用いたガイダンス生成方式	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 電気学会論文誌C	6. 最初と最後の頁 364-374
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) <a href="https://doi.org/10.1541/ieejeiss.140.364">https://doi.org/10.1541/ieejeiss.140.364</a>	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 -
1. 著者名 Shein, T.T., Puntheeranurak, S. & Imamura, M	4. 巻 5
2. 論文標題 Discovery of evolving companion from trajectory data streams, Knowledge and Information Systems	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Knowledge and Information Systems	6. 最初と最後の頁 p.1-25
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) <a href="https://doi.org/10.1007/s10115-020-01471-2">https://doi.org/10.1007/s10115-020-01471-2</a>	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 該当する
1. 著者名 Zhu Yan, Imamura Makoto, Nikovski Daniel, Keogh Eamonn	4. 巻 -
2. 論文標題 Introducing time series chains: a new primitive for time series data mining	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Knowledge and Information Systems	6. 最初と最後の頁 1-27
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10115-018-1224-8	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 該当する

1. 著者名 Makoto Imamura, Junji Tsuda, Daniel Nikovski, Masato Tsuru	4. 巻 10
2. 論文標題 A Fast Online Algorithm for Analyzing Magnitude Fluctuation of Time Series	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 International Journal of Informatics Society (IJIS)	6. 最初と最後の頁 85-96
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

[学会発表] 計26件 (うち招待講演 3件 / うち国際学会 18件)

1. 発表者名 Makoto Imamura, Takaaki Nakamura and Eamonn Keogh
2. 発表標題 Matrix Profile XXI: A Geometric Approach to Time Series Chains Improves Robustness
3. 学会等名 ACM SIGKDD (Knowledge Discovery and Datamining) 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Masaki Endo, Masaharu Hirota, Makoto Imamura, Hiroshi Ihikawa
2. 発表標題 Examination of analysis method based on location information and time series change using geotagged tweet for regional analysis
3. 学会等名 International Workshop on Informatics 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Makoto Imamura, Mao Inoue, Masahiro Terada, Daniel Nikovski
2. 発表標題 Time series segmentation with leg analysis for human motion analysis
3. 学会等名 International Workshop on Informatics 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1 . 発表者名 Masaki Endo, Masaharu Hirota, Makoto Imamura, Hiroshi Ishikawa
2 . 発表標題 Examination of Skills and Technique Visualization System Using Big Data Analysis for Vocational Skills Development
3 . 学会等名 Hawaii International Conference on Education (18th annual conference ) ( 国際学会 )
4 . 発表年 2020年

1 . 発表者名 Yudai Imamura, Masahiro Terada, Thi Thi Shein, Makoto Imamura
2 . 発表標題 Evaluation of an Exercise Training Support System Based on Guidance Generation Method Using Joint Vector Model
3 . 学会等名 Asia Pacific Conference on Robot IoT System Development and Platform ( 国際学会 )
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 Azusa Yamauchi, Syouta Tatemichi, Thi Thi Shein, Makoto Imamura
2 . 発表標題 Interactive Tourism Information Recommendation System Using Multi-layered Concept Network
3 . 学会等名 Asia Pacific Conference on Robot IoT System Development and Platform ( 国際学会 )
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 Thi Thi Shein, Makoto Imamura
2 . 発表標題 Sutheera Puntheeranurak: Significant Place Discovery from Taxi Trajectory Data
3 . 学会等名 Asia Pacific Conference on Robot IoT System Development and Platform ( 国際学会 )
4 . 発表年 2019年

1. 発表者名 Thi,Thi Shein and Azusa,Yamauchi and Makoto,Imamura and Sutheera,Puntheeranurak
2. 発表標題 Discovering Group Movement Pattern by Measuring Individual Similarity from GPS Trajectories
3. 学会等名 Information Processing Society of Japan, IS-150, 1 - 2
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Thi Thi Shein, Makoto Imamura
2. 発表標題 Traffic Congestion Detection from Taxi Trajectory Data
3. 学会等名 日本ソフトウェア科学会 ソフトウェア工学の基礎研究会, Embedded Systems Symposium
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 山内 あずさ, 立道 聖太, 今村 誠, Shein Thi Thi
2. 発表標題 ストラン推薦システムにおける知識作成方式
3. 学会等名 情報処理学会 第150回 情報システムと社会環境研究会, IS-150-6
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 井上真生, 寺田昌弘, 皆川拓海, 島田建, 矢合忠生, 今村誠
2. 発表標題 ウェアラブルセンサを用いたレグ解析に基づく反復作業切り出し
3. 学会等名 電気学会 情報システム研究会, IS-19-057
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 立道聖大, 山内あずさ, 今村誠
2. 発表標題 概念階層ネットワークを用いた対話的観光情報推薦システム
3. 学会等名 電気学会, C部門大会, GS4-4
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 寺田昌弘, 矢合忠生, 井上真生, 太田翔, 安齋博人, 今村誠
2. 発表標題 腰痛予防のための荷物持ち上げ動作の解析方式
3. 学会等名 電気学会 C部門大会, TC12-1
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 川島 寛隆, 今村誠
2. 発表標題 スマートフォンの内蔵センサーを用いた人間活動の分類実験
3. 学会等名 情報処理学会 第51回組込みシステム研究発表会, EMB-51-10
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yan Zhu, Makoto Imamura, Daniel Nikovski, Eamonn Keogh
2. 発表標題 Time Series Chains: A Novel Tool for Time Series Data Mining(10.24963/ijcai.2018/764)
3. 学会等名 the Twenty-Seventh International Joint Conference on Artificial Intelligence (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1 . 発表者名 Sutheera Puntheeranurak, Thi Thi Shein, Makoto Imamura
2 . 発表標題 Efficient Discovery of Traveling Companion from Evolving Trajectory Data Stream (10.1109/ICEAST.2018.8434397)
3 . 学会等名 2018 IEEE 42nd Annual Computer Software and Applications Conference (COMPSAC) (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 Thi Thi Shein, Sutheera Puntheeranurak, Makoto Imamura
2 . 発表標題 Incremental Discovery of Crowd from Evolving Trajectory Data(10.1109/ICEAST.2018.8434397)
3 . 学会等名 2018 International Conference on Engineering, Applied Sciences, and Technology (ICEAST) (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 Junji Tsuda, Yudai Imura, Makoto Imamura
2 . 発表標題 Exercise Guidance Generation Based on Joint Vector Model Using Kinect Sensor (Doi: 10.23919/ICMU.2018.8653259)
3 . 学会等名 2018 Eleventh International Conference on Mobile Computing and Ubiquitous Network (ICMU) (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 Makoto Imamura, Mao Inoue, Tadao Yagou, Daniel Nikovski
2 . 発表標題 Occuring Frequency for Selecting Optimal Window Length in Motif discovery
3 . 学会等名 International Workshop on Informatics 2018 (IWIN2018) (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1. 発表者名 Tadao Yago, Mao Inoue, Junji Tsuda, Makoto Imamura
2. 発表標題 Factory Work Process Segmentation Using Acceleration Sensor
3. 学会等名 Asia Pacific Conference on Robot IoT System Development and Platform 2018 (APRIS2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Masaki Endo, Takuo Kikuchi, Shigeyoshi Ohno, Makoto Imamura, Hiroshi Ishikawa
2. 発表標題 Visualization of skills and techniques using big data analysis in vocational skill development
3. 学会等名 International Workshop on Informatics 2018 (IWIN2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Makoto Imamura, Harumi Watanabe, Daniel Nikovski, Amir-massoud Farahmand
2. 発表標題 Online magnitude fluctuation analysis for anomaly detection,
3. 学会等名 10th International Workshop on Informatic (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Yan Zhu, Makoto Imamura, Daniel Nikovski, and Eamonn Keogh
2. 発表標題 Time Series Chains: A New Primitive for Time Series Data Mining
3. 学会等名 IEEE International Conference on Data Mining (ICDM 2017) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Masakazu HORI, Takuya OYAMA, Makoto IMAMURA
2. 発表標題 Requirements for Prognostics System to Improve Business Process of Machinery Maintenance Service,
3. 学会等名 the Asia Pacific Conference of the Prognostics and health Management Society 2017 (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Makoto Imamura
2. 発表標題 Data driven approach for Prognostics and Health Management
3. 学会等名 AEC/APC symposium Asia 2017 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 今村誠
2. 発表標題 機器・設備予知保全におけるデータ分析
3. 学会等名 第158回制御技術部会大会 (招待講演)
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計2件

1. 著者名 人工知能学会	4. 発行年 2017年
2. 出版社 共立出版	5. 総ページ数 1579ページ中の1ページ
3. 書名 人工知能学大辞典の1項目「機器予防保全」	

1. 著者名 渡辺晴美, 今村誠, 久住憲嗣	4. 発行年 2019年
2. 出版社 コロナ社	5. 総ページ数 165
3. 書名 つながる! 基礎技術 IoT入門 - コンピュータ・ネットワーク・データの基礎から開発まで -	

〔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
--	---------------------------	-----------------------	----