

令和 元年 6 月 20 日現在

機関番号：12301

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2018

課題番号：15K00297

研究課題名(和文) 事象の頻度の変化が表現可能な形式言語に基づく医療データ検索技術

研究課題名(英文) Retrieval technology of data on healthcare based on a formal language to represent a change in the frequency of an event

研究代表者

高木 理 (Takaki, Osamu)

群馬大学・社会情報学部・准教授

研究者番号：30388011

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)：本研究では、手術や薬剤投与のようなイベントあるいは事象の発生頻度の変化を表現可能な形式言語と、事象に関する時系列データに対して、そのデータが上記の形式言語によって表現される事象発生頻度の変化パターンを満たしているかどうかを判断可能な意味論によって構成される時相論理体系(以下、頻度論理)を構築した。さらに、頻度論理をベースとして、特定の事象に関する時系列データに対して、定められた事象発生頻度パターンを満たす箇所を網羅的に検索するシステムを構築した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

頻度論理は、従来の時相論理では表現することが困難な、事象発生頻度の変化に関する命題を自然かつ比較的簡潔に表現することを可能にしている。また、特定の業務に関する履歴データ等の時系列データから、問題となりそうな事象の発生頻度パターンを満たす箇所を網羅的に洗い出すことによって、業務上の潜在的なリスクを洗い出し、業務上の安全性や効率性の改善を促進する働きを持っている。

研究成果の概要(英文)：This research project established a temporal logic that consists of a formal language and semantics to represent a change in the frequency of an event such as “surgery” or “administration of a medicine.” This logic is called the “frequency logic.” This temporal logic enables to determine if a given time series data satisfies the pattern of a frequency change of the event represented in this formal language. Moreover, a system based on the frequency logic has been developed to retrieve all parts of a given time series data that satisfy the pattern of a frequency change of the given event.

研究分野：医療情報学

キーワード：頻度 時相論理 医療データ 時系列データ ケース・ファインディング

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

プログラムの開発において、プログラムが正しく機能することや想定外の事象を引き起こさないことを保証することは重要である。そのようなプログラムが常に正しく機能することを数理的に保証する枠組みとして、モデル検査を始めとする形式手法を挙げることができる。プログラムは些細な不具合によって全体的な問題が引き起こされる可能性があるため、モデル検査のようなプログラムの検証を網羅的に行うアプローチは特に有効である。一方、人による一連の作業プロセス（業務プロセスと呼ぶ）を広い意味でのプログラムと見なしたとき、人は局所的な不具合であればその場で解決できるような柔軟性を持っているため、また同時に、人による作業はブレが大きく仕様化が難しいため、従来のプログラムの場合と比べて、その機能を保証することが難しい。人による業務プロセスを改善するためには、そのプロセスが間違っているかどうかを検証するのではなく、プロセスにおける問題そのものを明確化しつつ、そのような問題がどのくらい起きているのか、あるいは、起こり得るのかを検証することが望ましい。そのため、問題となりそうな事象の発生傾向が何らかの形で表現され、業務プロセスに関連する何らかの情報から、そのような問題の事象発生傾向が分析可能な新たな論理体系が必要である。

2. 研究の目的

本研究の主な目的は以下の2つである。

- (1) 手術や薬剤投与のような事象あるいはイベントの発生頻度の変化を表現可能な形式言語と、事象に関する時系列データに対して、そのデータが上記の形式言語によって表現される事象発生頻度の変化パターンを満たしているかどうかを判断可能な論理体系を構築する。
- (2) 上記の論理体系をベースとして、特定の事象およびその事象に関する時系列データに対して、定められた事象発生頻度パターンを満たす箇所を網羅的に検索するための問い合わせ言語を開発・実装する。

3. 研究の方法

本研究は以下の計画に沿って目的を遂行する。

- (1) 従来の時相論理である線形時相論理 (LTL) をベースにして、事象の発生頻度の変化を表現可能な形式言語およびその意味論によって構成される時相論理 (以下、“頻度論理”と呼ぶ) を構築する。事象の発生頻度を表現するために、従来の時相論理 (LTL) における分岐の無い状態遷移モデルを、各時点および期間全体の時間の流れ、という時間の変化に関する二階層モデルと見なし、“各時点”から“期間全体”という2つの層の間に、様々な長さの期間的区間からなる中間層を加えて出来る、時間の流れに関する多階層モデルを構築する。さらに、事象発生頻度が増加あるいは減少しているかどうかを判定するために、統計学における検定理論を適用する。
- (2) 一連の時系列データから成るデータセットに対して、頻度論理によって表現される論理式を満たす時系列データを検索するための問い合わせ言語およびその実装システム (以下、“頻度傾向検索システム”と呼ぶ) を開発する。この時系列データの問い合わせ言語および実装システムによって、特定の事象に関する発生頻度の変化に関する命題を満たす時系列データを網羅的に検索することが可能になる。
- (3) 頻度論理および頻度傾向検索システムの有用性を評価するために、実際の診療業務に関する時系列データを用いて、特定の診療イベントに関する発生頻度の変化に関する分析を行う。

4. 研究成果

上記の「研究の方法」で述べた(1)～(3)の研究計画を遂行したところ、以下の成果が得られた。

- (1) 事象の発生頻度の変化が表現可能な形式的論理体系である“頻度論理”を構築した。頻度論理は、分岐の無い線形時相論理をベースとする形式言語および、serial property を保証しない分岐の無い準クリプキ構造をベースとする意味論によって構成される。事象発生頻度の変化を表現するために新たな論理演算子である“頻度演算子”を導入する。さらに、長さが一定の時間区間の列を考え、列を構成する時間区間の長さによってレベル分けされた、時間区間列による階層構造と、事象の主体によって構成される集合族によって構成される階層構造によって構成される状態遷移系の階層構造 (以下、“時空間階層モデル”と呼ぶ) を構築した。さらに、頻度の変化が判定可能な論理式の解釈を定義するために、統計学における t 検定理論をベースとした頻度演算子を prefix に持つ論理式の解釈を与えた。また、serial property を保証しない準クリプキ構造をベースとした時空間階層モデル上で論理式の解釈を整合的に行うために、“真”、“偽”、“不明”、“解釈不可能”という4値論理に基づく解釈を行った。頻度論理によって、例えば、“朝になるとナースコールの発生頻度が1時間毎に上昇していく、という日が1年前から減少した”というような、従来の時相論理では表現することが困難な命題を、自然かつ比較的簡潔に表現することが可能になった。
- (2) 入院患者の診療データのような時系列データによって構成されるデータセットから、頻度論理によって表現される、「ある患者に手術を行った」というような事象あるいはイベントの発生頻度の変化に関する命題を満たす時系列データを検索するシステムである“頻度傾向分析

システム”のプロトタイプを構築した。このプロトタイプは、プログラム言語 Java を用いて開発された。

(3) 上記の頻度論理および頻度傾向分析システムのプロトタイプの有用性を評価するために、ある国立大学病院における入院間によるナースコールの履歴データの分析を、上記のプロトタイプシステムを用いて行った。例として、(f-1) “朝になると NC 数が増加した”，(f-2) “1 週間において、毎朝 NC 数が増加した”，および、(f-3) “全期間内の中に、毎朝 NC 数が増加した月が存在した” という 3 つの論理式（命題）を考え、609 日分のナースコール履歴データを用いて検証した。その結果、当該の国立大学病院内の 16 の対象エリアの中で、f-1 を満たす日の数は平均して 255.75 であった。さらに、87 週間（609 日間）の中で、f-2 を満たす週が存在しなかったエリアが 6 つあったのに対して、f-2 を満たす週が 30 あったエリアが存在した。また、このエリアのみ、f-3 を満たす月が存在することが確かめられた。また、別の例として、当該の病院全体において、ナースコールが 2 時間あるいは 3 時間連続して上昇し続けた期間に関する分析も行った（詳細については、以下の引用文献を参照されたい）。

< 引用文献 >

高木 理 頻度の変化を表現するための論理、回路とシステムワークショップ論文集、Vol.31, pp.19-24, 2018.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 3 件)

高木 理 頻度の変化を表現するための論理、回路とシステムワークショップ論文集、Vol.31, pp.19-24, 2018, 査読有り。

Osamu Takaki, Tsuyoshi Kato, Atsuko Sugimoto, Kota Torikai, Hiroki Endo, Yuichiro Saito, Analysis of Nurse Call Data Based on the Medical Care Process, INFORMATION-An International Interdisciplinary Journal, Vol.20, No.1B, pp.643-658, 2017, 査読有り。

高木 理, 浜元 信州, 青木 高, 鳥飼 幸太, 辻村 真一, 鈴木 亮二, 齋藤 勇一郎, 学術・医療ネットワークの統合による大規模無線 LAN 環境の構築、学術情報処理研究、Vol.20 pp.56-64, 2016, 査読有り。

〔学会発表〕(計 10 件)

Osamu Takaki, Data analysis based on temporal associations between databases in a hospital, International Conference on Technology and Social Science 2019 (ICTSS 2019), Kiryu, 8 May 2019.

Osamu Takaki, Tsuyoshi Kato, Kota Torikai, and Yuichiro Saito, Towards prediction of a wireless LAN device's location in a large scale network system, Gunma University Medical Innovation 2018 (GUMI 2018), Kiryu, 6 December 2018.

高木 理, 多様なデータの連携分析のための頻度論理の拡張, 電子情報通信学会システム数理と応用研究会 (MSS), 熱海市, 2018 年 11 月 13 日

Osamu Takaki, Towards Privacy Preservation in Data Utilization Based on Patient Information Severity, International Conference on Technology and Social Science 2018 (ICTSS 2018), Kiryu, 18 April 2018.

Osamu Takaki, A Perspective on Database-Based Data Analysis, International Conference on Technological Challenges for Better World 2018 (ICTCBW 2018), Cebu, 26 March 2018.

Osamu Takaki, Takayuki Asao, Yoichi Seki, Extensions of l-diversity to reduce the risk of revealing patient severe health conditions, International Conference on Mechanical, Electrical and Medical Intelligent System 2017 (ICMEMIS 2017), Kiryu, 20 November 2017.

高木 理, 事象発生頻度の変化を表現するための論理, 電子情報通信学会システム数理と応用研究会 (MSS), 国分寺市, 2017 年 11 月 16 日。

Osamu Takaki, Tsuyoshi Kato, Kota Torikai, and Yuichiro Saito, Data analysis for medical services based on diverse information systems, Gunma University Medical Innovation 2017 (GUMI 2017), Maebashi, 6 November 2017.

Tsuyoshi Kato, Rachele Rivero, Osamu Takaki, Kota Torikai, and Yuichiro Saito, Development of User Locating System in Hospital, Gunma University Medical Innovation 2016 (GUMI 2016) 9 December 2016.

Osamu Takaki, Tsuyoshi Kato, Kota Torikai and Yuichiro Saito, Data Analysis for Clinical Assessment Based on Multiple Medical Information Systems, Gunma University Medical Innovation 2015 (GUMI 2015), Kiryu, 8 December 2015.

〔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

6. 研究組織

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。