

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 9 日現在

機関番号：13901

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2014～2016

課題番号：26540043

研究課題名(和文) オントロジおよび複合イベント処理技術に基づく拡張可能LBSNフレームワークの開発

研究課題名(英文) Development of an Extensible LBSN Framework Based on Ontologies and Complex Event Processing

研究代表者

石川 佳治 (Ishikawa, Yoshiharu)

名古屋大学・情報科学研究科・教授

研究者番号：80263440

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,700,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、近年着目されている複合イベント処理(Complex Event Processing, CEP)を高度化するために、イベントに関する知識をオントロジを用いて表現し、それを処理するための高レベルのLBSN(Location-Based Social Network, 位置に基づくソーシャルネットワーク)フレームワークを開発することを目指した。対象とする応用領域として、LBSNに加え、行動イベントをモニタリングライフログを想定した。オントロジの開発に加え、データストリーム環境における柔軟なイベント処理技術や、位置情報サービスを支援するための移動軌跡データの意味的分析なども研究した。

研究成果の概要(英文)：In this research, for realizing high-level complex event processing (CEP) facilities, we developed an extensible LBSN (Location-Based Social Network) framework where event knowledge is represented by ontologies and its corresponding event processing technologies. As target application domains, we considered lifelogs for monitoring human activity events in addition to LBSNs. In addition to development of ontologies, we studied on flexible event processing techniques in data stream environments and semantic analysis of trajectory data for supporting location-based services.

研究分野：データベース・データ工学

キーワード：複合イベント処理 オントロジ 位置に基づく情報サービス 位置に基づくソーシャルネットワーク
データストリーム 移動軌跡データ

1. 研究開始当初の背景

(1) GPS や携帯機器の普及により、位置に基づく情報サービス(Location-Based Services, LBS) は広く社会に普及している。また、LBS にソーシャルネットワークに関する機能を付与した位置に基づくソーシャルネットワーク(Location-Based Social Network, LBSN) についてもサービスが出現し、その活用が大いに期待されていた。

(2) 時々刻々と訪れるデータはデータストリームと呼ばれ、データベース分野では重要な研究課題となっていた。特に近年ではデータストリームの利活用が望まれていた。そのような状況のもとで、複合イベント処理(complex event processing, CEP) の概念が出現した。データストリーム上の「イベント」を組み合わせる様々な要求を記述・処理することを目指すものである。

(3) LBSN (LBSN) においてはユーザ等の動的な行動に伴う処理が発生することから、CEP との親和性が高いという性質がある。しかし、LBSN において発生する様々なイベントを記述するには既存の CEP のフレームワークには表現力として十分なものがなかった。

2. 研究の目的

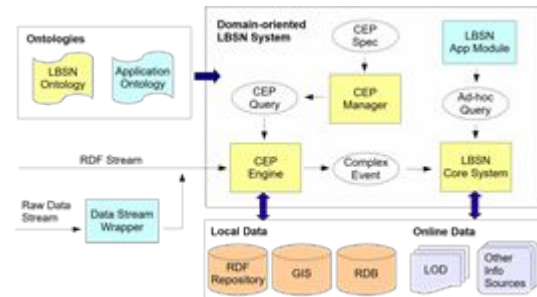
(1) オントロジ(ontology) 様々な概念を体系づけ整理するための組織化された語彙であり、セマンティック Web の登場に伴い、技術やツールの開発がなされてきた。成熟してきたオントロジおよびセマンティック Web の技術をもとに、LBSN におけるさまざまなサービスの支援をする仕組みを作ることが目的の一つである。

(2) CEP の高度化が第二の目的となる。CEP では、一般にはイベントのパターンなどに基づく複合的なイベント記述がなされている。しかし、LBSN に出現する多様なイベントは、対象の応用やドメインに依存してイベント間の意味の関係が発生する。そのような関係を踏まえてイベント記述を行うことは、従来の CEP では可能ではなかった。本研究では、オントロジで記述されたイベントを組み合わせるイベントを記述する仕組みを構築する。

(3) 上記の二つが主たる目的であるが、移動軌跡データからの意味的な移動軌跡(semantic trajectory) の抽出とその活用も、本研究を遂行する上での課題の一つとなる。意味的な移動軌跡とは、GPS 等で取得された生の移動軌跡に、PoI (Point of Interest) などの情報を付与したものを指す。意味的な移動軌跡の情報を適切に活用することで、LBSN における高度なイベント処理を可能とする。

3. 研究の方法

(1) 本研究で想定する複合イベント処理システムについて、システムアーキテクチャの参照モデルを開発する。それを踏まえて、各構成要素に関する研究開発を進める。具体的には、下図のようなアーキテクチャを想定して開発を進めた。



(2) オントロジに関しては、応用分野及び対象となるドメインを定めて、試行的にオントロジの開発を行う。具体的には LBSN におけるサービス実現のため、LBSN に現れる概念のモデリングを行った。また、他のドメインに対するオントロジも構築してみることがフレームワークの一般化のために有効であると考えられるため、人の行動のモニタリングや記録のためのライフログを別の対象として選んだ。

(3) 複合イベント処理のコア技術となるデータストリームにおけるイベント処理については、複数のプロジェクトを並行して進める。第一に、オントロジを考慮したイベント処理のため、RDF データストリームにおけるイベント検出に関する研究を行う。第二に、柔軟なイベント処理のためのアプローチとして、確率的なイベントを考慮したイベントのパターン照合技術等についても研究を進める。

(4) 意味的な移動軌跡データに関しては、与えられた移動軌跡データ群を分析し、主要な意味的な移動軌跡を抽出するアプローチを開発する。加えて、生の移動軌跡データに存在するノイズの除去などを行い、より正確な軌跡を抽出する技術などの開発を行う。

4. 研究成果

(1) LBSN オントロジおよびライフログのための行動オントロジの開発を行った。各ドメインにおける要求を分析し、それらを反映したオントロジの構造を構築した。RDF および OWL などの関連するセマンティック Web 技術を踏まえて、試行的なオントロジを構築し、またオントロジ上の推論機構の実装を行った [学会発表 8, 13, 15, 23, 28, 31, 34, 35]。

以下の例は、行動イベントログに対してオントロジに基づく行動イベントのラベリングを行った後、その行動イベントシーケンス上での推論を行うためのルールである [学

会発表 8] . 具体的には, 食事をしているというイベントを検出している . このようなルールを用いることで, 状況に応じた高レベルのイベントの抽出が可能となる .

```

Id: TakingMeal
a <rdf:type> <act:Eat>
a <act:hasTemporalEntity> t
b <rdf:type> <act:Stay>
b <act:hasTemporalEntity> t
b <act:hasPOI> c
c <rdf:type> <act:Home>

-----

d <rdf:type> <act:TakingMeal>
d <rdf:type> <act:Activity>
d <rdfs:label> <act:TakingMeal>
d <act:hasTemporalEntity> t
d <act:hasPOI> c
  
```

act:Eatが時刻tに発生
act:Stayが時刻tに発生し, 滞在場所は Homeである

act:TakingMeal型のデータdを新たに生成
dに時刻tと場所を付与

実際に複合イベントの検出を行った例を以下に示す . ユーザの行動ログから上位レベルのイベントが抽出されている .

```

Current file: ../config/rules/activity_mod.pae
Compiled: 'C:\Users\Ryo Nakamura\Documents\GraphDB\Win_compile_try\graphdb-free-7.1.0
--- Activity ---
2016-11-21T07:30:00 TakingMeal @ HOME } 自宅で食事
2016-11-21T08:00:00 TakingShower @ HOME
2016-11-21T08:30:00 MovingByWalk @ OUTDOOR } 屋外を移動
2016-11-21T09:45:00 MovingByWalk @ OUTDOOR
2016-11-21T09:00:00 Working @ DBLab } 研究室で研究
2016-11-21T09:15:00 Working @ DBLab
2016-11-21T09:30:00 Working @ DBLab
2016-11-21T09:45:00 MovingByWalk @ OUTDOOR } 生協で買い物
2016-11-21T10:00:00 Shopping @ NorthShopp
2016-11-21T10:15:00 MovingByWalk @ OUTDOOR } 屋外を移動
2016-11-21T10:30:00 Working @ DBLab
2016-11-21T10:45:00 Working @ DBLab
2016-11-21T11:00:00 Working @ DBLab } 研究室で研究
2016-11-21T11:15:00 Working @ DBLab
2016-11-21T11:30:00 Working @ DBLab
2016-11-21T11:45:00 Working @ DBLab
2016-11-21T12:00:00 Working @ DBLab
2016-11-21T12:15:00 MovingByWalk @ OUTDOOR } 屋外を移動
2016-11-21T12:30:00 TakingMeal @ SouthCafeteria } 食堂で食事
2016-11-21T12:45:00 TakingMeal @ SouthCafeteria
2016-11-21T13:00:00 TakingMeal @ SouthCafeteria
  
```

(2) オントロジを考慮した複合イベント処理に関する研究を行った . RDF に対する問合せ言語 SPARQL に対し, 空間データの処理機能を追加した GeoSPARQL をベースにイベント処理機構の実装を行った . LBSN およびライフログを想定したデモ的なアプリケーションを開発した [学会発表 3, 14, 15, 23, 28, 32, 33, 35] .

具体例として, 以下では行動イベントデータベースに対する GeoSPARQL 問合せの例を示す . 「食事をしたことがあるレストランで, 名古屋駅からの距離が近いものを3つ検索せよ」という問合せである [学会発表 3] . ここで, 「食事」は(1)で説明した, オントロジにより獲得された高次のイベントを指している . このような形で, イベントデータの利活用も可能となった .

```

SELECT ?p
WHERE {
  ?x a event:Meal.
  ?x event:hasLocation ?p.
  ?p rdf:type edata:atarian_restaurant.
  ?x event:annotate ?y.
  ?y trajectory:hasPoint ?z.
  ?z geo:asWKT ?g.
  edata:Nagoya_Station geo:asWKT ?n.
  BIND(geo:distance(?n, ?g, uom:metre) AS ?dis)
}
ORDER BY ASC (?dis)
limit 3
  
```

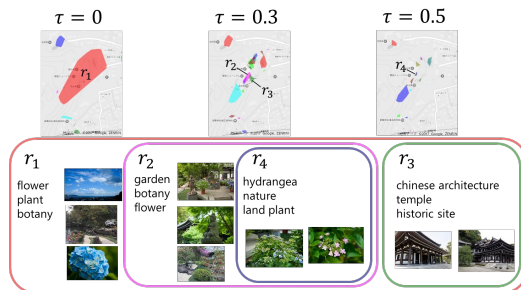
(3) データストリーム処理技術に関しては, 確率的データストリームに対する確率を考慮したパターン照合手法に関する開発を行った [雑誌論文 1, 学会発表 2, 9, 10, 16, 20, 25, 26] . また, 人工知能の分野で開発されてきたイベント記述のための高レベルの枠組みである Event Calculus をベースとしたイベント処理技術を提案した [学会発表 4] .

確率的データストリームに対するパターン照合に関する研究のアイデアの一例を以下に示す [論文発表 2, 9, 16] . ここでは, センシングによりある人の行動をモニタリングしているとする . 時刻ごとに行動の分析結果 (walk, jog, run など) が得られるが, 検出の曖昧性が存在するため, それぞれのイベントに確率が付与されている .

イベント	タイムステップ							
	1	2	3	4	5	6	7	8
walk	0.6	0.3	0.2	0.1	0.1	0.2	0.3	0.6
jog	0.3	0.6	0.5	0.4	0.5	0.6	0.5	0.3
run	0.1	0.1	0.3	0.5	0.4	0.2	0.2	0.1

このようなデータが存在しているとき, たとえば $p = \langle \text{walk}, \text{jog}, \text{walk} \rangle$ というパターンにマッチする時区間を検出したいとする . マッチにはさまざまなものが考えられるが, 従来提案されていたものは掛け合せた確率値が高いもので赤い矢印に相当する . しかし, 青字の矢印の方が確率は小さくなるもののもっともらしいシーケンスであるため, 本研究ではこのようなシーケンスにうまくマッチさせるための情報理論的な評価尺度を導入した . また, それに基づくアルゴリズムの開発を行った .

(4) 移動軌跡データをマイニングすることにより意味的な移動軌跡の抽出するアプローチについては, 密度ベースのクラスタリングを基礎とした手法を開発した [学会発表 1, 6, 11, 21] . また, 移動軌跡データを分析し, 移動予測に役立てるアプローチを示した [雑誌論文 3, 学会発表 19] . 他に, GPS で取得した移動軌跡データを道路ネットワークのデータと照合し, エラーやデータにない道路を検出するためのマップマッチング技術を開発した [学会発表 7, 12] . また, 道路ネットワーク上の新しい基準を入れたルート探索技術の開発も実施した [学会発表 18, 30] .



上の図は, Flickr におけるジオタグ付きの

写真を解析して、観光地(具体的は鎌倉周辺)におけるユーザの行動を分析した例である[学会発表 1,6]。類似した行動をしたユーザをグループ化し、関連するユーザがともに訪れた領域を可視化している。図に出てくるはクラスタリングのパラメータであり、クラスタリングの粒度を調整している。が小さくなるほど細分化された情報提示になり、逆に小さいと全体が統合される。

(5) 上記以外の派生的な研究としては、移動ユーザに対する周辺情報を適切に提供するための Surround Query と呼ばれる新たな空間データベース問合せについて提案を行い、問合せ処理技術を開発した[雑誌論文 1, 学会発表 22]。また、モバイルユーザに対して、さまざまなタスクを依頼して実施してもらうためのモバイルクラウドソーシングに関する研究を進めた[学会発表 24,29]。移動ユーザに対するサービス技術の一つとして、携帯機器を用いたサーチの際の入力補完 (autocompletion) 技術についても開発を行った[学会発表 5,17]。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 3件)

- 1) X. Guo, Y. Ishikawa, Y. Xie, A. Wulamu, Reverse Direction-based Surround Queries for Mobile Recommendations, World Wide Web Journal, Vol. 20, No. 2, pp. 885-913, September 2017. (査読有) DOI: 10.1007/s11280-016-0422-0
- 2) K. Sugiura, Y. Ishikawa, Y. Sasaki, Grouping Methods for Pattern Matching over Probabilistic Data Streams. IEICE Transactions on Information and Systems, Vol. E100-D, No. 4, pp. 718-729, April 2017. (査読有) DOI: 10.1587/transinf.2016DAP0014
- 3) 瀧本祥章, 西田京介, 遠藤結城, 戸田浩之, 澤田宏, 石川佳治, 時間帯を考慮したパーソナライズ目的地予測. 電子情報通信学会論文誌, Vol. J100-D, No. 4, pp. 472-484, 2017年4月. (査読有)

[学会発表](計 36件)

- 1) Y. Takimoto, K. Sugiura, Y. Ishikawa, Extraction of Frequent Patterns Based on Users' Interests from Semantic Trajectories with Photographs, The 21st International Database Engineering & Applications Symposium (IDEAS 2017), Bristol, England, July 2017. (採録決定)(査読有)
- 2) K. Sugiura, Y. Ishikawa, Top-k Pattern Matching Using an Information-theoretic Criterion over

Probabilistic Data Streams.

APWeb-WAIM Joint Conference on Web and Big Data, July, 2017, Beijing, China. (採録決定)(査読有)

- 3) 勝田健斗, 中村亮, 瀧本祥章, 石川佳治, オントロジに基づく移動軌跡の意味的な拡張と検索. 情報処理学会第79回全国大会, 2017年3月16日, 名古屋大学.
- 4) 金山貴紀, 杉浦健人, 石川佳治, Event Calculusに基づく複合イベント処理について. 情報処理学会第79回全国大会, 2017年3月16日, 名古屋大学.
- 5) 胡晟, 肖川, 石川佳治. 略記問合せに対する効率的な問合せ自動補完. 第9回データ工学と情報マネジメントに関するフォーラム (DEIM 2017), 2017年3月7日, 高山市.
- 6) 瀧本祥章, 杉浦健人, 石川佳治, ジオタグ付き写真の被写体を考慮した意味的な移動軌跡の分析. 第9回データ工学と情報マネジメントに関するフォーラム (DEIM 2017), 2017年3月7日, 岐阜県高山市.
- 7) 余家豪, 佐々木勇和, 石川佳治, 不完全な道路ネットワークにおけるマップマッチングとクラスタリング手法を用いた道路セグメントの補完手法の提案. 第9回データ工学と情報マネジメントに関するフォーラム (DEIM 2017), 2017年3月7日, 岐阜県高山市.
- 8) 中村亮, 石川佳治, 杉浦健人, 脇田佑希子, ライフログサービスのためのオントロジに基づく行動イベント処理. 第9回データ工学と情報マネジメントに関するフォーラム (DEIM 2017), 2017年3月7日, 岐阜県高山市.
- 9) 杉浦健人, 石川佳治, 確率的データストリームにおける情報利得を用いた Top-k パターン照合手法. 第9回データ工学と情報マネジメントに関するフォーラム (DEIM 2017), 2017年3月7日, 岐阜県高山市.
- 10) 杉浦健人, 石川佳治, 確率的データストリームにおける情報利得を用いたパターン照合手法. 情報処理学会データベースシステム・情報基礎とアクセス技術合同研究会, 2016年9月13日, 慶應大学.
- 11) 瀧本祥章, 石川佳治, 杉浦健人, 脇田佑希子, ジオタグ付き写真を用いた意味的な移動軌跡の分析. 第15回情報科学技術フォーラム (FIT 2016), 2016年9月9日, 富山大学.
- 12) 余家豪, 佐々木勇和, 石川佳治, 不完全な道路ネットワークを用いたマップマッチングおよび道路ネットワークの補間手法の提案. 第15回情報科学技術フォーラム (FIT 2016), 2016年9月9日, 富山大学.
- 13) 中村亮, 石川佳治, 杉浦健人, 脇田佑希子, 佐々木勇和, オントロジを用いた行

- 動イベント分析 .第 15 回情報科学技術フォーラム (FIT 2016), 2016 年 9 月 9 日, 富山大学 .
- 14) 金山貴紀, 石川佳治, 杉浦健人, 佐々木勇和, RDB を用いた複合イベント処理システムの開発 .情報処理学会第 78 回全国大会, 2016 年 3 月 11 日, 慶應大学 .
 - 15) 橋本聡和, 佐々木勇和, 石川佳治, 中村亮, 次世代ライフログのための行動オントロジを用いた意味的な複合イベント処理について .情報処理学会第 78 回全国大会, 2016 年 3 月 11 日, 慶應大学 .
 - 16) 杉浦健人, 石川佳治, 佐々木勇和, 確率的データストリームにおける情報利得に基づいたパターン照合手法 .第 8 回データ工学と情報マネジメントに関するフォーラム (DEIM 2016), 2016 年 3 月 2 日, 福岡市 .
 - 17) S. Hu, C. Xiao, Y. Ishikawa, Efficient Autocompletion with Error Tolerance. 第 8 回データ工学と情報マネジメントに関するフォーラム (DEIM 2016), 2016 年 3 月 1 日, 福岡市 .
 - 18) 佐々木勇和, 石川佳治, 多階層のカテゴリ分類を用いた SkySR 検索の効率化について .第 8 回データ工学と情報マネジメントに関するフォーラム (DEIM 2016), 2016 年 2 月 29 日, 福岡市 .
 - 19) 瀧本祥章, 西田京介, 遠藤結城, 戸田浩之, 澤田宏, 石川佳治, 時間帯を考慮したパーソナライズ目的地予測 .第 8 回データ工学と情報マネジメントに関するフォーラム (DEIM 2016), 2016 年 2 月 29 日, 福岡市 .
 - 20) Y. Ishikawa, Grouping Methods for Pattern Matching in Probabilistic Data Streams. Korea-Japan Database Workshop (KJDB 2015), 2015 年 12 月 5 日, 沖縄市 .(招待講演)
 - 21) R. Jiang, J. Zhao, T. Dong, Y. Ishikawa, C. Xiao, Y. Sasaki, A Density-based Approach for Mining Movement Patterns from Semantic Trajectories. IEEE TENCON 2015 - IEEE Region 10 Conference, November 2015, Macau. (査読有)
 - 22) X. Guo, Y. Ishikawa, A. Wulamu, Y. Xie, Reverse Direction-Based Surrounding Queries. The 17th Asia-Pacific Web Conference (APWeb 2015), pp. 280-291, September 2015, Guangzhou, China. (査読有)
 - 23) 佐々木勇和, 石川佳治, 杉浦健人, 複数ドメインのデータストリームにおける意味的なイベント検出について .第 14 回情報科学技術フォーラム (FIT 2015), 2015 年 9 月 15 日, 愛媛大学 .
 - 24) 趙セイ, 石川佳治, 肖川, 董ティティ, 佐々木勇和, 空間クラウドソーシングのための多様性を考慮したタスク割り当て手法 .情報処理学会データベースシステム研究会, 2015 年 8 月 6 日, 奈良市 .
 - 25) 杉浦健人, 石川佳治, 佐々木勇和, 確率的データストリームにおけるパターン照合結果の時間的重複に基づくグループ化 .情報処理学会データベースシステム研究会, 2015 年 8 月 6 日, 奈良市 .
 - 26) K. Sugiura, Y. Ishikawa, Y. Sasaki, Grouping Methods for Pattern Matching in Probabilistic Data Streams. The 20th International Conference on Database Systems for Advanced Applications (DASFAA 2015), April 21, 2015, Hanoi, Vietnam. (査読有)
 - 27) 瀧本祥章, 杉浦健人, 佐々木勇和, 石川佳治, 時空間データ分析のための SpatialHadoop の拡張, 情報処理学会第 77 回全国大会, 2015 年 3 月 18 日, 京都大学 .
 - 28) 高橋正和, 築井美咲, 佐々木勇和, 石川佳治, オントロジとデータベース技術を活用した複合イベント処理システム .第 7 回データ工学と情報マネジメントに関するフォーラム (DEIM 2015), 2015 年 3 月 4 日, 福島県郡山市 .
 - 29) 趙菁, 姜仁河, 董ティティ, 佐々木勇和, 石川佳治, 参加型センシングのためのタスク割当て手法 .第 7 回データ工学と情報マネジメントに関するフォーラム (DEIM 2015), 2015 年 3 月 3 日, 福島県郡山市 .
 - 30) 佐々木勇和, 石川佳治, 多階層のカテゴリ分類を用いたスカイライン経路検索について .第 7 回データ工学と情報マネジメントに関するフォーラム (DEIM 2015), 2015 年 3 月 3 日, 福島県郡山市 .
 - 31) 築井美咲, 高橋正和, 佐々木勇和, 石川佳治, LBSN のための汎用的なオントロジフレームワーク構築 .第 7 回データ工学と情報マネジメントに関するフォーラム (DEIM 2015), 2015 年 3 月 3 日, 福島県郡山市 .
 - 32) 石川佳治, 佐々木勇和, 築井美咲, 高橋正和, 杉浦健人, 意味的な複合イベント処理を可能とするイベントベースについて .情報処理学会データベースシステム研究会, 2014 年 11 月 18 日, 芝浦工業大学 .
 - 33) 高橋正和, 築井美咲, 佐々木勇和, 石川佳治, RDF ストリーム上での複合イベント検出 .第 13 回情報科学技術フォーラム (FIT 2014), 2014 年 9 月 5 日, 筑波大学 .
 - 34) 築井美咲, 高橋正和, 佐々木勇和, 石川佳治, LBSN オントロジの構築 .第 13 回情報科学技術フォーラム (FIT 2014), 2014 年 9 月 5 日, 筑波大学 .
 - 35) 佐々木勇和, 築井美咲, 高橋正和, 杉浦健人, 石川佳治, 行動オントロジによるセンサデータからの複合イベント検出について .第 13 回情報科学技術フォーラム

(FIT 2014), 2014 年 9 月 4 日, 筑波大学.

- 36) K. Sugiura, A. Hayashi, T. Dong, Y. Ishikawa, Monitoring Query Processing in Robot Databases. The Third International Workshop on Spatial Information Modeling, Management, and Mining (SIM³), March 21, 2014, Bali, Indonesia. (查読有)

6 . 研究組織

(1)研究代表者

石川 佳治 (ISHIKAWA YOSHIHARU)
名古屋大学・大学院情報科学研究科・教授
研究者番号 : 80263440

(2)研究分担者

肖 川 (XIAO CHUAN)
名古屋大学・高等研究院・特任助教
研究者番号 : 10643900