

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 5 月 25 日現在

機関番号：13901

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2011～2013

課題番号：23650047

研究課題名(和文) 移動ロボットの行動支援のためのデータベース技術の開発

研究課題名(英文) Development of Database Technologies for Supporting Mobile Robot Activities

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) 2,800,000円、(間接経費) 840,000円

研究成果の概要(和文)：移動ロボットに関する技術開発は近年きわめて急速に進んでおり、さまざまな分野での応用が広がっている。一方、データベースの分野では、時間・空間に関する情報を表現・操作するための時空間データベースに関する研究開発が進んでいる。本研究では、移動ロボット技術と時空間データベース技術の融合を目指す。これまでの研究に見られない挑戦的な研究内容となっている。移動ロボットでは、位置情報やセンシング情報の処理において確率的モデリングが用いられることから、特に本研究では、確率的な位置情報や確率的データストリームの処理技術に焦点を当てた技術開発を行った。

研究成果の概要(英文)：Recent years, technology development for mobile robots is progressing very rapidly, and various application areas are emerging. In the field of database technologies, research and development of spatio-temporal databases, which represent and manipulate time- and space-oriented information, is progressing. This research aims at fusion of mobile robot technologies and spatio-temporal database technologies. This is a challenging research theme which is not tackled in the former research. Since probabilistic modeling is often used in mobile robots especially for representing location information and sensor information, we focused on development of the technologies for management of probabilistic location information and processing of probabilistic data streams.

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学/メディア情報学・データベース

キーワード：空間データベース 移動ロボット モバイルデータベース センサデータベース 問合せ処理 位置情報 ストリームデータ処理 確率的情報

1. 研究開始当初の背景

移動ロボットは、近年急速に技術が発展しており、さまざまな分野において応用が進んでいる。自律的に移動する掃除機はその一例であるし、自動車の自動運転なども一種のロボットであると言える。一方、データベースの研究分野では、地図情報や移動データに関する情報などを表現・管理する移動オブジェクトデータベースや時空間データベースに関する研究がこれまで行われてきた。しかし、移動ロボットに関連した時空間データベース技術の開発は皆無であり、これらの分野を連携した技術開発が求められる。そのような点で、本研究は挑戦的萌芽研究として相応しいものとなっている。

2. 研究の目的

本研究の目的は大きくは次の2点にまとめることができる。

- (1) 移動ロボットにおける行動を支援するための時空間データベース技術の開発：移動ロボットの外部に位置するデータベースにより行動を支援するために何ができるかという考えに基づく。
- (2) 移動ロボットへのデータベースシステムの組込みに関する研究：移動ロボットの計算能力も向上を続けており、将来的には小規模なデータベースシステムも稼働できるであろう。このようなときにデータベースが何をすべきか、その問題についてどのように対応するかを検討する。

問題(2)は現状では極めて困難であり、特に萌芽性が高いが、問題意識としてこのような観点を持つことは重要であると考えられる。

具体的なプロジェクトとしては、特に以下に述べるように、移動ロボットにおける情報処理に現れる曖昧な位置情報に関するデータ処理の問題や、データベース技術を用いたロボットの行動支援などを目的とする。

3. 研究の方法

- (1) 曖昧な位置情報に基づく空間データベース問合せに関する研究：特に確率的ロボティクスでは、ロボットの位置を確率的に推定し、位置情報を確率分布で表現することがしばしば行われる。ここでは、そのような確率的な位置情報に基づく空間問合せについて研究を行う。与えられた問合せに対してその場で答えるスナップショット問合せだけでなく、曖昧な移動軌跡データに対する履歴問合せの手法についても研究開発を行う。
- (2) 確率的データストリームに対する問合せ処理技術に関する研究：移動ロボットにおけるデータ処理では、各種センサから得られるデータへの対応について考慮する必要がある。このようなデータは、データストリームとして時々刻々得られるという特徴を有するのみならず、曖

昧性やノイズを含んでいるという特徴がある。そこで本研究では、曖昧性を表現する確率的データストリームに対するパターンマッチ等の問合せ処理技術の開発を行う。

- (3) 移動ロボットにおけるモニタリング問合せ処理に関する研究：移動ロボット技術は、近年ではたとえばロボット型の掃除機などでも用いられている。自律的なロボットを用いて、屋内のモニタリング(例：温度のセンシング)を行うことはしばしば行われているが、本研究ではこれをデータベース問合せとして捉えることを考えた。モニタリング環境に対するセンシングをあたかもデータベースへの問合せのように指定し実行できるようなシステム技術の構築を行う。

4. 研究成果

- (1) 曖昧な位置情報に基づく空間データベース問合せに関する研究：本研究において特に焦点を当てた課題の一つは、ガウス分布に対する問合せを支援するための索引・問合せ技術の開発である。想定シナリオ例としては、多数の移動ロボットが存在する空間上で、あるロボットが自身の周辺にあるロボットを調べるため、「距離 x の中に存在する可能性があるロボットと、その存在確率を調べよ」とい問合せを出すことが考えられる。問合せを出すロボットや、周辺に存在するロボットのそれぞれの位置がガウス分布で確率的に表現されるため、問合せ結果は確率を付与した結果となる。このような問合せは、この例に限らず、統計モデルの検索などの応用も考えられる。上記のような問合せを「確率的範囲問合せ (probabilistic range query)」と呼ぶが、本研究ではこの種の問合せを効率的に支援するための索引手法の開発を行った。空間索引技術をベースに拡張を行い、効率的な手法を実現できた。また、曖昧な移動軌跡データの履歴情報に対する問合せに関する研究開発も実施した。ここでは、移動ロボットの確率的な位置情報の推定のために広く利用されている、パーティクルフィルタ (particle filter) を想定した。パーティクルフィルタは、多数のパーティクル (粒子) の集合により、離散的に確率的な位置情報を表現するものである。この種のデータに対する問合せとしては「時刻 t_1 から t_2 の間に指定された領域 R 内に $x\%$ 以上の確率でいたオブジェクトは」といったものである。このような問合せは、最終的には各時点の位置情報 (パーティクル集合) に照らして評価しなければならないが、実直に行うことはあまりにコストが高い。そのため、確率的な移動履歴を要約した索引手法を開

発した。この索引は、与えられた確率の閾値(上記の $x\%$)を考慮しながら候補を絞り込むことができるため、大幅な時間削減を行うことができる。

- (2) 確率的データストリームに対する問合せ処理技術に関する研究: 確率的データストリームに関しては、特に柔軟なパターンマッチ手法の開発を実施した。一般のデータストリームに対する問合せ処理では、正規表現(regular expression)を用いた条件の記述が行われる。この種の問合せについてはすでに多くの研究が存在するが、確率的なデータストリームを対象を拡大した場合、パターンマッチの結果が多数現れてしまうことや、それぞれのマッチに対する確率を求めなければいけないという問題がある。特に前者が問題であるため、本研究では、パターンマッチの結果で時間的にオーバーラップするものをまとめ上げ、「指定された条件に対するマッチが t_1 から t_2 の時間の間に存在し、その確率は $x\%$ である」といった答えを返す問合せを考えた。特に本研究では、問合せのセマンティクスの明確化や処理アルゴリズムの精緻化を行った。
- (3) 移動ロボットにおけるモニタリング問合せ処理に関する研究: モニタリング問合せとしては「位置の集合 $\{p_1, p_2, \dots, p_n\}$ の各位置について与えた精度を満たすように温度をモニタリングせよ」といったものを考える。ユーザがこのような問合せを発行すると、システムはプランニングを行い、移動ロボットにモニタリングする位置と経路を指示する。できるだけ移動コストが小さいようにすることがポイントである。指定された位置の間には、温度の相関があるものとし、相関情報が確率モデルとして表現されているものとする。そのモデルをうまく活用することで、たとえば「位置 p_1 の温度が 20 度であったから、 p_2 の温度は $21 \text{度} \pm 0.5 \text{度}$ である」といった推定が行える。このような情報をうまく活用すると、すべての位置をもれなく訪問せずとも指定された精度を達成できることがある。本研究では、このような性質をうまく活用した問合せ処理手法の開発を行った。

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 2 件)

Tingting Dong, Yoshiharu Ishikawa, Chuan Xiao. Probabilistic Range Querying over Gaussian Objects. *IEICE Transactions on Information and Systems*, Vol. E97-D, No. 4, pp.

694-704, Apr. 2014. (査読有)

DOI: 10.1587/transinf.E97.D.694

加藤 翔, 石川 佳治. 確率的なイベントストリームに対するイベントパターン問合せ. *日本データベース学会論文誌*, Vol. 12, No. 1, pp. 55-60, 2013 年 6 月. (査読有)

[学会発表](計 19 件)

Kento Sugiura, Arata Hayashi, Ting Ting Dong, Yoshiharu Ishikawa. Monitoring Query Processing in Mobile Databases. *The 3rd International Workshop on Spatial Information Modeling, Management and Mining (SIM³)*, Bali, Indonesia, Apr. 2014. (査読有)

杉浦 健人, 早矢仕 新, 石川 佳治. 確率的ストリームにおけるグループを用いたパターン問合せ. 情報処理学会第 76 回全国大会, 2014 年 3 月. (査読無)

早矢仕 新, 杉浦 健人, 董 ていてい, 石川 佳治. パーティクル表現を用いた曖昧位置情報に対する空間問合せ処理. 第 6 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 2014), 2014 年 3 月. (査読無)

Yoshiharu Ishikawa. Querying Gaussian-based Uncertain Data. Invited Talk at Northeastern University, China, Oct. 2013. (招待講演, 査読無)

早矢仕 新, 杉浦 健人, 董 ていてい, 石川 佳治. 曖昧な移動軌跡に対する範囲問合せ. 第 12 回情報科学技術フォーラム (FIT 2013), 2013 年 9 月. (査読無)

董 テイテイ, 肖 川, 石川 佳治. ガウス分布の類似問合せに関する考察. 情報処理学会データベースシステム研究会, 2013 年 7 月. (査読無)

杉浦 健人, 早矢仕 新, 石川 佳治. 移動ロボットデータベースにおける問合せ処理. 電子情報通信学会データ工学研究会, 2013 年 7 月. (査読無)

Tingting Dong, Chuan Xiao, Xi Guo, Yoshiharu Ishikawa. Processing Probabilistic Range Queries over Gaussian-based Uncertain Data. *The 13th International Symposium on Spatial and Temporal Databases (SSTD 2013)*, pp. 410-428, Munich, Germany, Aug. 2013. (査読有)

杉浦 健人, 早矢仕 新, 董 ていてい, 石川 佳治. 移動ロボットデータベースにおけるモニタリング問合せ処理手法. 情報処理学会第 75 回全国大会, 2013 年 3 月. (査読無)

董 テイテイ, 郭 茜, 肖 川, 石川 佳治. ガウス分布に対する確率的範囲問合せのための索引手法の評価. 第 5 回データ工学と情報マネジメントに関するフォー

ーラム (DEIM 2013), 2013 年 3 月。(査読無)

加藤 翔, 石川 佳治. 確率的なイベントストリームに対するイベントパターン問合せ. 第 5 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 2013), 2013 年 3 月。(査読無)

加藤 翔, 石川 佳治. 確率的データストリームにおける問合せ処理手法. 電子情報通信学会データ工学研究会, 2012 年 8 月。(査読無)

Tingting Dong, Xi Guo, Yoshiharu Ishikawa, Chuan Xiao. Indexing Gaussian Objects for Probabilistic Range Queries. *The 4th International Workshop with Mentors on Databases, Web and Information Management for Young Researchers (iDB 2012)*, Nagoya, Japan, Jul.-Aug. 2012. (査読無)

加藤 翔, 董 ていてい, 早矢仕 新, 石川 佳治. 確率的な位置情報に基づくイベント問合せ. 情報処理学会第 74 回全国大会, 2012 年 3 月。(査読無)

早矢仕 新, 董 ていてい, 加藤 翔, 石川 佳治. 移動ロボットのための確率的空間問合せシステムの構築. 情報処理学会第 74 回全国大会, 2012 年 3 月。(査読無)

董 ていてい, 郭 茜, 石川 佳治, 肖 川. ガウス分布に対する確率的範囲問合せのための索引手法. 第 4 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 2014), 2012 年 3 月。(査読無)

Yoshiharu Ishikawa. Adaptive Spatial Query Processing Based on Uncertain Location Information. *The 7th International Workshop on Databases in Networked Information Systems (DNIS 2011)*, Aizu-Wakamatsu, Japan, Nov. 2011. (招待講演, 査読無)

加藤 翔, 石川 佳治. RDB 技術に基づくストリームデータ問合せ処理. 第 10 回情報科学技術フォーラム (FIT 2011), 2011 年 9 月。(査読無)

Kazuki Kodama, Tingting Dong, Yoshiharu Ishikawa: An Index Structure for Spatial Range Querying on Gaussian Distributions. *The 5th International VLDB Workshop on Management of Uncertain Data (MUD 2011)*, pp. 1-7, Seattle, WA, Aug. 2011. (査読有)

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