

曖昧な移動軌跡に対する範囲問合せ

早矢仕 新[†] 杉浦 健人[†] 董 ていてい[†] 石川 佳治^{††}[†] 名古屋大学大学院情報科学研究科 ^{††} 国立情報学研究所

1 はじめに

近年, GPS や RFID などセンサにより人や車などの移動オブジェクトの位置情報の取得が可能となった。それに伴い, 位置情報をサービスやオブジェクトの管理に利用するため移動オブジェクトをデータベースで扱う研究が進められている [1]。

一方, ロボット分野では自律型移動ロボットの実用化が進められている [2]。自律型移動ロボットでは自己位置推定にパーティクルフィルタが多く用いられている [2, 3]。パーティクルフィルタとはモンテカルロ法を用いて状態推定を行う手法であり, 確率分布を大量のパーティクルによって近似的に表現する。この時, 各パーティクルはオブジェクトが存在する可能性のある位置を示す。パーティクルフィルタによって推定された移動軌跡の例を図1に示す。

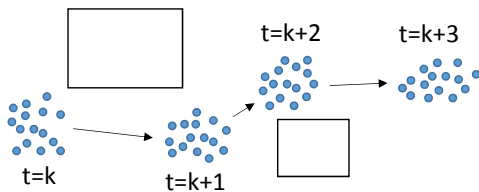


図1: 曖昧な移動軌跡の例

図2は図1をテーブル形式で表した例である。オブジェクトIDと時刻, パーティクル集合を対応付ける。

オブジェクトID	時刻	パーティクル集合
O_1	k	$S_1 = \{(10,20), \dots, (8,18)\}$
O_1	k+1	$S_1 = \{(12,24), \dots, (11,22)\}$
O_1	k+2	$S_1 = \{(14,27), \dots, (14,25)\}$
O_1	k+3	$S_1 = \{(17,25), \dots, (18,27)\}$

図2: 曖昧な移動軌跡データの例

指定した位置にいたオブジェクトとその時刻を知りたいと, 上記のデータに対して空間問合せを行う場合, 位置情報であるパーティクル集合を対象に検索を行うことになる。しかし, 従来の空間問合せではパーティクル集合で表された確率分布を扱うことを想定していないため検索に対応できないという問題がある。パーティクル集合を対象とした空間問合せを実現すること

Range Query Processing for Uncertain Moving Object Trajectories

Arata Hayashi[†], Kento Sugiura[†], Tingting Dong[†], Yoshiharu Ishikawa^{††}

[†] Graduate School of Information Science, Nagoya University

^{††} National Institute of Informatics

で, 移動ロボットの管理や自律型ロボットの行動決定などの応用が可能になると考えられる。

本稿ではパーティクル集合で表された移動軌跡情報を対象に, 空間問合せの処理手法と効率化手法について提案する。

2 データ量削減手法

本稿では, 曖昧な移動軌跡として図2で示した, 位置情報の系列データを扱う。パーティクルフィルタでは確率分布を表すため, 数千個のパーティクルを用いる。そのため, 毎時刻パーティクル集合を格納するとデータ量が大きくなる。そこで, データ量を削減するために以下のアプローチを提案する。

スナップショットの保存 全時刻のデータを保存するのではなく, 一定周期 ($t = 0, \tau, 2\tau, \dots$) ごとにスナップショットとして, パーティクル集合を保存する。これにより全時刻のパーティクル集合を保存する場合に比べ, 保持するデータ量を減らすことが出来る。ただし, 周期間の位置情報をストアしないため, このままでは周期間の位置情報の問合せには対応できない。そこで, 再計算による位置情報の復元を行う。

位置情報の動的な復元 周期間の位置情報が求められた時, パーティクルフィルタによる再計算で位置情報の復元を行う。例えば図3のデータに対して $t = k+2$ の時点の位置情報を求められた時, $\tau = 3$ の場合, $t = k+2$ の時刻の位置情報は格納されていない。そこで, $t = k$ で保存されたパーティクル集合と推定に使用したデータを用いて, $t = k+1, k+2$ の位置情報を逐次的に計算を行う。位置推定の際に使用したデータと同一のデータを用いることで, 位置推定時と同じ $t = k+2$ の位置情報を得ることができる。

オブジェクトID	時刻	パーティクル集合	センサデータ
O_1	k	$S_1 = \{(10,20), \dots, (8,18)\}$	$(v_x, v_y) = (3,2), \dots$
O_1	k+1		$(v_x, v_y) = (2,1), \dots$
O_1	k+2		$(v_x, v_y) = (3,0), \dots$
O_1	k+3	$S_1 = \{(17,25), \dots, (18,27)\}$	$(v_x, v_y) = (2,2), \dots$

図3: 位置情報の動的な復元例

上記2つの手法はデータ量と計算量がトレードオフの関係になる。ユーザは必要な処理速度とデータ量に応じて, スナップショットを保存する周期を設定できる。

3 範囲問合せ

曖昧な移動軌跡に対して、様々な空間問合せを考えることが出来る。本稿では、時空間データベースで一般的である範囲問合せに焦点を絞って、問合せ手法と効率化手法の案について述べる。

図 2 のデータに対して、「指定した範囲にある確率以上で存在したオブジェクト」を検索する問合せを扱う。この範囲問合せを以下のように定義する。

定義 1 (範囲問合せ) 問合せ領域 r と確率の閾値 θ が与えられた時、範囲問合せ $RQ(r, \theta)$ は条件を満たすオブジェクトの ID とその時刻のペアを返す。□

範囲問合せの処理は二つのステップで行う。まずは領域を条件として、指定領域に含まれるパーティクル集合の検索を行う。次に領域内に含まれるパーティクル集合の個数から確率を計算し、閾値の条件判定を行う。 naïve な手法では全てのパーティクル集合に対して、パーティクル一つが領域に含まれるか判定を行うことになる。そのため、計算コストが大きくなるという問題がある。更に本提案ではパーティクル集合の復元計算を含めるため処理コストが大きくなる。次章以降、範囲問合せの処理の効率化のためのアプローチについて述べる。

4 索引データ構造

範囲問合せでは、領域によるフィルタリング確率によるフィルタリングの二つが有効である。本稿では領域と確率によるフィルタリングを利用するデータ構造の例としてグリッドベースのデータ構造を提案する。領域をグリッドで分割し、各セルについてオブジェクトが存在した時刻と確率をまとめたデータ構造を提案する。このデータ構造の例が図 4 である。

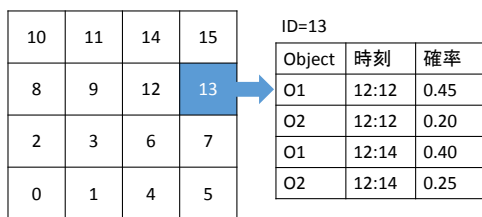


図 4: グリッド索引構造

各グリッドとオブジェクトデータが ID で結び付けられている。グリッド内に存在する確率はパーティクル集合の重み付き平均を計算することで求められる。パーティクル集合が複数のセルに含まれる場合、オブジェクトの確率情報は複数のセルに分かれて保持される。

5 問合せ処理アルゴリズム

処理はまず、領域の条件によるフィルタリングを行う。領域とオーバーラップするセルを計算し、重なら

ないセルについて、問合せ候補から除外する。

次に確率の閾値を条件とするフィルタリングを行う。ここでは二種類のフィルタリングを行う。一つは条件を満たさない問合せ候補を除外する処理。もう一つは明らかに条件を満たす候補を問合せ結果に含める処理である。まず、条件を満たす候補を見つける場合には、問合せ領域に含まれるセルについて時刻とオブジェクトをキーにテーブルの結合を行い、確率を計算する。そして、確率が閾値を超える場合、条件を満たすので問合せ結果に含める。これを示したのが図 5 である。除外する問合せ候補を見つける場合は、問合せ領域とオーバーラップするセルについてテーブルを結合し確率を求める。そして計算した確率が閾値より低い場合、そのオブジェクトは条件を満たさないため問合せ候補から除外する。

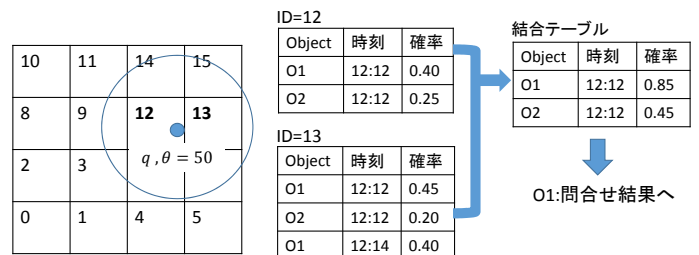


図 5: グリッドを用いた問合せ処理

最後に残った候補に対し、パーティクルの復元計算を行い、指定領域での存在確率を計算し、条件を満たすオブジェクトを結果に加える。

6 まとめと今後の課題

本稿では、パーティクルフィルタによって推定された移動軌跡に対する範囲問合せの処理と効率化手法について述べた。今後は、提案手法によるデータ量の削減と問合せ処理の効率化に関して実装と実験評価を行う予定である。

謝辞

本研究の経費の一部は科学研究費 (23650047) および内閣府最先端研究開発プロジェクト (FIRST) による。

参考文献

- [1] Ralf Hartmut Güting and Markus Schneider. *Moving Objects Databases*. Morgan Kaufmann, 2005.
- [2] Sebastian Thrun, Wolfram Burgard, and Dieter Fox. *確率ロボティクス*. 毎日コミュニケーションズ, 2007.
- [3] 友納正裕. "移動ロボットのための確率的な自己位置推定と地図構築". 日本ロボット学会誌, Vol. 29, No. 5, pp. 423-426, 2011.