

## 確率的な位置情報に基づくイベント問合せ

加藤 翔<sup>†</sup> 董 ていてい<sup>†</sup> 早矢仕 新<sup>††</sup> 石川 佳治<sup>†,§,‡</sup>  
<sup>†</sup> 名古屋大学大学院情報科学研究科 <sup>††</sup> 名古屋大学工学部電気電子・情報工学科  
<sup>§</sup> 名古屋大学情報基盤センター <sup>‡</sup> 国立情報学研究所

## 1 はじめに

センサ機器の普及に伴い、様々な環境下において位置情報を容易にかつ大量に取得できるようになった。そのため、それらのセンシングにより得られる大量の位置情報へのイベント問合せ処理技術が重要となってきた。センシングにより得られる位置情報はストリームデータであり、リアルタイムに問い合わせされる場合もあれば、蓄積されて後で問い合わせされる場合もある。

本研究では、自律移動型ロボットに搭載される各種センサにより取得・蓄積された位置情報を分析する状況を考える。センシングにおいてノイズやデータ欠損がしばしば発生するため、位置情報は必ずしも正確であるとは限らず、統計モデルを用いた生データの処理が行われる。そこで本研究では、統計処理を施し蓄積した位置情報に基づくイベント問合せに焦点を当てる。特に、*Markovian Streams* [2, 3] で提案されているような、確率モデルに基づきセンサ情報を処理した結果である確率的な位置情報を対象として考える。

## 2 確率的な位置情報

自律移動型ロボットの行動分析を例として考える。各種センサ（例：レンジセンサ、ソナー）により取得されたセンシングデータは、ノイズを含むため確率モデル [4] を用いてロボットの自己位置推定が行われたとする。ここでは、確率モデルとして粒子フィルタを用いてデータ処理を行った結果である確率的な位置情報を考える。

図1は、粒子フィルタのイメージ図である。領域はロボットに登録されている地図領域である。各粒子はロボットの離散的な確率密度を表しており、ある領域における確率密度はその領域に含まれる粒子の割合によって決まる。例えば、ある領域内に粒子全体の8割が存在している場合、その領域にロボットが存在する確率は0.8である。

図1は、特定の時刻の特定のロボットについての確率的な位置情報を示すが、実際には各時刻、各ロボットに対してそれぞれ図のようなデータが存在する。本

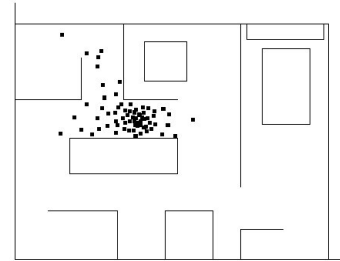


図1: 粒子フィルタによる確率的な位置情報

研究では、このようなデータが大量に蓄積された状況を想定し、それらの確率的な位置情報に対してイベント問合せを行う機能を実現することを目的とする。関連研究 [2, 3] も確率的な位置情報を対象としているが、部屋や廊下といった事前に静的に区分けされた領域間での単一ユーザの移動のみを考慮していた（例：「Aがオフィス1から2へいつ移動したかを確率を付与して提示せよ」）。一方、本研究では、動的に与えられる任意の領域間における複数のロボットが関与する移動についての問合せを行うことを目的としている。

## 3 イベント問合せ

本研究におけるイベント問合せは、イベント定義 (event definition) とイベント組合せ (event composition) で構成される。イベント定義において最小の単純なイベントを定義し、イベント組合せにおいて定義されたイベントを組み合わせて複雑なイベント問合せを表現する。

## 3.1 イベント定義

イベント定義の例を以下に示す。

$$\begin{aligned} e_1 &= \text{Loc}(A, \text{rect}(3, 3, 2, 2)) \\ e_2 &= \text{Loc}(A, \text{rect}(10, 15, 2, 2)) \\ e_3 &= \text{CoExist}(A, B, \text{circ}(0, 0, 1)) \end{aligned}$$

A, B は変数であり、それぞれイベントにマッチした位置情報のインスタンスに応じて値が設定される。イベント  $\text{Loc}(X, \text{Region})$  は、ロボット X が領域 Region に存在するというイベントである。よって、イベント  $e_1, e_2$  はそれぞれロボット A の位置についてのイベントを表す。 $\text{rect}(x, y, w, h)$  は座標  $(x, y)$  から幅  $w$ 、高さ  $h$  の矩形領域を表すため、具体的には  $e_1$

Event Queries Based on Probabilistic Location Information  
 Sho Kato<sup>†</sup>, Tingting Dong<sup>†</sup>, Arata Hayashi<sup>††</sup>, Yoshiharu Ishikawa<sup>†,§,‡</sup>

<sup>†</sup> Graduate School of Information Science, Nagoya University

<sup>††</sup> Department of Information Engineering, Nagoya University

<sup>§</sup> Information Technology Center, Nagoya University

<sup>‡</sup> National Institute of Informatics

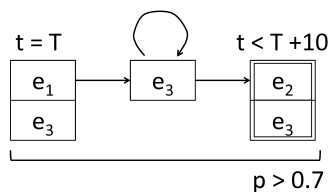


図 2: イベント問合せの例

はロボット A が矩形領域  $rect(3, 3, 2, 2)$  に存在するというイベントであり,  $e_2$  はロボット A が矩形領域  $rect(10, 15, 2, 2)$  に存在するというイベントである (以降では, 矩形領域  $rect(3, 3, 2, 2)$ ,  $rect(10, 15, 2, 2)$  をそれぞれ領域  $S, S'$  と表記する). イベント  $CoExist(X, Y, Region)$  は, ロボット  $X$  の位置を原点  $O$ , 進行方向を  $x$  軸として変換した座標系において定められる領域  $Region$  にロボット  $Y$  が存在するというイベントである. よって, イベント  $e_3$  は 2 つのロボット A, B の間の距離についてのイベントを表す.  $circ(x, y, r)$  は座標  $(x, y)$  から距離  $r$  の円領域を表すため, 具体的には  $e_3$  はロボット A から半径 1 の円領域にロボット B が存在するというイベントである. 次に, これらのイベントを組み合わせたイベント問合せを図式表現で与える.

### 3.2 イベント組合せ

イベント組合せの例を図 2 に示す. これは以下のようなイベント問合せにマッチする.

- あるロボット A が領域  $S$  から  $S'$  まで時刻 10 以内に移動し, かつ, 移動の間は A から半径 1 の円領域にロボット B が常に存在する. ただし, イベントシーケンス全体の確率  $p$  は  $p > 0.7$  でなければならない.

図 2 において, 各ノードは一つ以上のイベントを表現し, 各ノードには時刻による制約条件を付与することができる. 1 番目と 3 番目のノードについては, それぞれ変数  $T$  を含む時刻の制約があるが, 変数  $T$  は問合せにマッチした位置情報のインスタンスに応じて値が設定される.  $p > 0.7$  という表記は確率による制約条件であり, 部分的なシーケンスに対して付与したり, 個々のイベントに対して付与したりする. 図ではシーケンス全体に対して確率の制約条件が付与されている.

このようなイベント問合せが与えられたとき, 制約条件を満たす一連の位置情報のインスタンスを見つけることが問合せの目的となる.

## 4 問合せ処理

問合せの処理の流れについて述べる. まず, 位置情報の各時刻のインスタンスに対して, 問合せの先頭

ノードにマッチするか調べる. これにより, 問合せ結果となる可能性がある一連のインスタンスの先頭インスタンスが得られる. 次に, マッチしたインスタンスそれぞれに対して, その次の時刻のインスタンスが問合せシーケンスにマッチするか再帰的に繰り返し調べる. 一連のインスタンスが問合せの受理ノードを満たす場合, 問合せ全体に対して付与されている制約条件を満たしているかどうかを調べる. 制約条件をすべて満たす場合, その一連のインスタンスを問合せ結果に追加する. 最後に, 問合せ対象は確率的なデータであるため, 確率が高い順に結果を返す.

以上が素朴な問合せ処理手法であるが, 移動履歴に対する問合せの場合は, 必ずしも問合せの先頭ノードから問合せを開始する必要はなく, 条件に基づく絞り込みがきく部分から先に処理を進めることが考えられる. そのためには, 通常データベースにおける問合せ最適化のようなプロセスが必要となる. この技術については今後開発を進めたい.

## 5 おわりに

本稿では, 蓄積された確率的な位置情報へのイベント問合せ手法を提案した. 本手法は, 最小の単純なイベントを定義し, それらを図式表現で組み合わせ制約条件を付与して複雑なイベント問合せを表現する.

今後の課題としては, 位置情報と位置情報以外の情報とを統合するイベント問合せ手法が考えられる. 例えば, ロボットに搭載される加速度センサから, 各時刻におけるロボットの行動 (例: 加速, 停止など) が確率的に推測できたとし, 推定結果とその確率が蓄積されるとする. このような行動に関する情報を問合せの制約条件として含めたい状況を考えると, 位置情報と行動情報を統合するイベント問合せ手法が必要であるが, 我々は [1] において関連する発表を行っており, 統合したフレームワークを開発したいと考えている. 謝辞

本研究は, 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] 早矢仕, 董, 加藤, 石川. 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, 1T-8, 2012.
- [2] J. Letchner, C. Ré, M. Balazinska, and M. Philipose. Access methods for Markovian streams. In *Proc. ICDE 2009*, pp. 246–257, 2009.
- [3] C. Ré, J. Letchner, M. Balazinska, and D. Suciu. Event queries on correlated probabilistic streams. In *Proc. ACM SIGMOD*, pp. 715–728, 2008.
- [4] S. Thrun, W. Burgard, and D. Fox. 確率ロボティクス. 毎日コミュニケーションズ, 2007.