

曖昧な位置情報に基づく空間問合せが可能な 電子タグ付き空間の構築手法

山下 啓太[†] 金子 祥貴^{††} 富井 尚志^{†††}

[†] 横浜国立大学大学院環境情報学府情報メディア環境学専攻

^{††} 横浜国立大学工学部電子情報工学科

^{†††} 横浜国立大学大学院環境情報研究院

〒 240-8501 横浜市保土ヶ谷区常盤台 79-7

E-mail: [†]{d08hc041,b0644040,tommy}@ynu.ac.jp

あらまし 計算機技術やセンサ技術の発達やネットワーク環境の普及から、ユビキタス環境の実現が現実的になってきている。電子タグを用いてユビキタス環境の実現しようとしたとき、空間へのタグ設置や設置したタグの正確な位置情報の登録は大きな手間となる。また、あらゆるモノにタグを貼付した場合、空間利用時に取得されるデータは膨大なものとなる。そこで、本研究では電子タグを用いて空間情報を管理するユビキタス環境に対して、無作為に大量の RFID タグを実空間に設置し、空間利用時に取得される既知情報をデータベースに蓄積することで、蓄積した情報を基に位置情報を推測してデータベースに登録することを提案・評価する。この結果、得られた位置情報は確定的ではないが、曖昧な位置情報に基づく空間問合せ処理手法が本手法で構築した環境下で有効であることを示す。

キーワード ユビキタスコンピューティング, 時空間 DB, RFID

Construction of Tag-Flooded Space Availing Spatial Range Queries for Imprecise Query Objects

Keita YAMASHITA[†], Yoshiki KANEKO^{††}, and Takashi TOMII^{†††}

[†] Department of Information Media and Environment Sciences, Graduate School of Environment and Information Sciences, Yokohama National University

^{††} Division of Electrical and Computer Engineering, Yokohama National University

^{†††} Graduate School of Environment and Information Sciences, Yokohama National University

79-7 Tokiwadai, Hodogaya-ku, Yokohama 240-8501 Japan

E-mail: [†]{d08hc041,b0644040,tommy}@ynu.ac.jp

Abstract Embedding various sensors in the real space has become realistic because of rapid development of sensor technologies such as RFID. There are several costs for construction of space using RFID tags. In this paper, we propose to register the location information was inferred from the information known to the database in a space where a large number of RFID tags are placed randomly. We also implemented and evaluated that spatial range queries processing is enabled based on a vague location in Tag-flooded space.

Key words Ubiquitous Computing, Spatial-temporal DB, RFID

1. はじめに

近年、計算機技術やセンサ技術の発達 [1] や高速なネットワーク環境の普及による技術的背景からユビキタス環境の実現が現実味を帯びてきている。RFID タグが普及し安価になったことから、今後はすべての物体に ID タグが貼付されている電子タグ付き空間の実現も予想される [2] [3] [4] [5]。

本研究では、現実世界から得られるセンサの値や物体に貼付された RFID タグに結び付けられている情報から、実空間検索が可能な電子タグ付き空間の実現を目指す。しかし、実空間検索が可能な電子タグ付き空間を構築する過程では様々なコストが存在する。例えば、実空間に RFID タグを設置する構築コストや、設置したタグの位置情報を取得するコスト、また実空間の検索における計算コストなどがそれに当たる。そこで、本研

究では実空間検索が可能な電子タグ付き空間における構築コストを考察し、その削減を目的とする。

まず、実空間に RFID タグを設置し、位置情報を取得する構築コストを削減するために、無作為にタグを設置し、既存の情報を基にそれらのタグの位置推測を行う。これにより、空間管理者が RFID タグに位置情報の登録を行う際に推測結果を利用することで、空間の構築コストの削減が行える。次に、実空間検索において、石川らの曖昧な位置情報に基づく空間問い合わせ手法 [6] [7] を用いることで、検索にかかる計算コストの削減を行う。これにより、推測された位置情報を基に、実空間の検索を行うことが可能な電子タグ付き空間を実現できる。

これらの提案手法に対し、空間構築コストに対しては位置情報の推測精度の評価を行った。その結果、電子タグ付き空間における位置情報の推測手法の有用性を示した。また、空間検索コストに対しては空間検索の精度と計算コストの評価を行った。結果、空間検索手法の有効性を示した。これらの結果、曖昧な位置情報に基づいた空間検索が可能な電子タグ付き空間の構築手法の有効性を示せたと考える。

2. 関連研究

2.1 電子タグ付き空間とその構築手法及び問題点

近年、計算機技術の発達や高速なネットワーク環境の普及による技術的背景からユビキタス環境の実現が現実味を帯びてきている。RFID タグが普及し安価になったことから、今後はすべての物体に ID タグが貼付されている電子タグ付き空間 [8] の実現も予想される。

身の回りのあらゆるモノにタグが貼られている電子タグ付き空間では、利用者に対して様々な支援が可能となる。たとえば、床にタグを敷き詰めることにより人の移動や床面の物体の移動を検知することができるようになる。電子タグ付き空間では、実空間の物体の位置や、物体に付与された行動をリーダによって読み取りデータベース (DB) に蓄積することで、より高度な支援を行うことが可能となる。

しかし、正確な位置情報をすべてのタグに登録するには膨大なコストがかかる。この登録コストに対して、我々は先行研究として、タグの位置推測手法を導入した [9]。図 1 は先行研究において構築した研究環境の例である。この画像は実際の空間に多数の電子タグを埋め込んだものを CG 化したものであり、白いタイルがそれぞれ一枚のタグを表わす。

先行研究 [9] の位置推測手法は、RFID リーダ付きエージェントによって蓄積されたタグの反応履歴を基に位置情報が登録されていないタグの位置を推測する。必ずしも、エージェントはタグの反応履歴の取得を目的として行動を行っているわけではないので、位置推測を行う際には、エージェントの如何なる目的の行動によるタグの反応履歴においてもロバストに対応できる推測手法を設計する必要がある。そこで、リーダを装備した空間利用者やエージェントが取得したタグの反応履歴から反応の順番のみに注目し、座標の平均を計算していくことにより位置推測を行う。図 2 に推測手法のイメージを示す。このとき、リーダが読み取ったタグが均等かつ直線的に並んでいると仮定

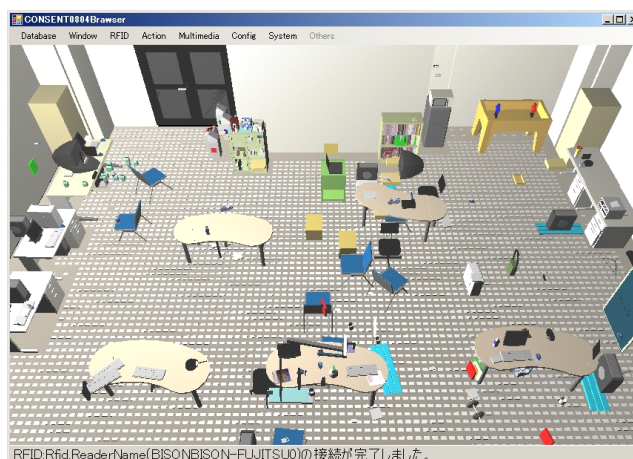


図 1 研究環境

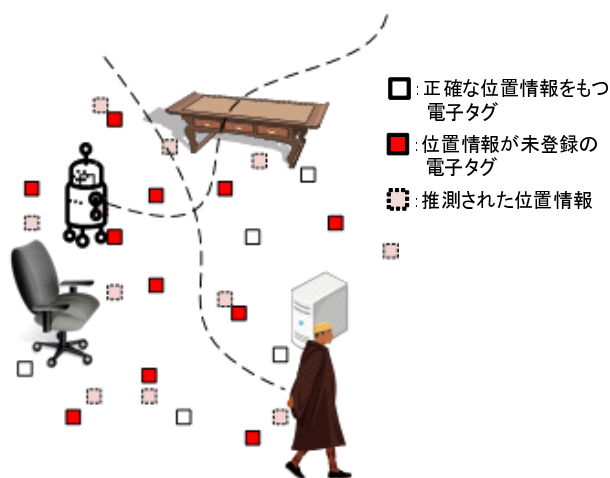


図 2 位置情報推測手法による位置情報推定

した。

しかし、推測手法により得られたタグの位置情報には誤差が含まれる。また、RFID リーダは検知範囲のタグをすべて検知するため、たとえタグ自体の位置情報が正確であったとしても、リーダの位置を正確に求めることはできない。

したがって、このような電子タグ付き空間において、リーダを装備した移動体が、位置情報タグを検知して自己位置を推定しようとした場合は、次の二つの理由により、自己位置は曖昧なものとなる。

- 位置情報タグが持つ位置座標の誤差
- リーダ検知範囲による誤差

このことから、電子タグ付き空間において、自己位置を中心とした空間範囲問合せを実施するためには、自己位置が曖昧であることを前提とした範囲問合せ手法を組み合わせる必要がある。

2.2 曖昧な位置情報に基づく空間問合せ処理手法

現在、空間問合せ処理手法の研究 [10] が盛んに行われている。中でも、曖昧な位置情報に基づくデータベース問い合わせ処理技術は、近年その必要性を増してきて、多くの研究が行われている。しかし、曖昧な位置情報を利用した空間問合せ処理手法は、処理コストが膨大であり、効率的な処理が必要となる。

曖昧な位置情報に基づく空間問合せ手法 [6] [7] は、自己位置

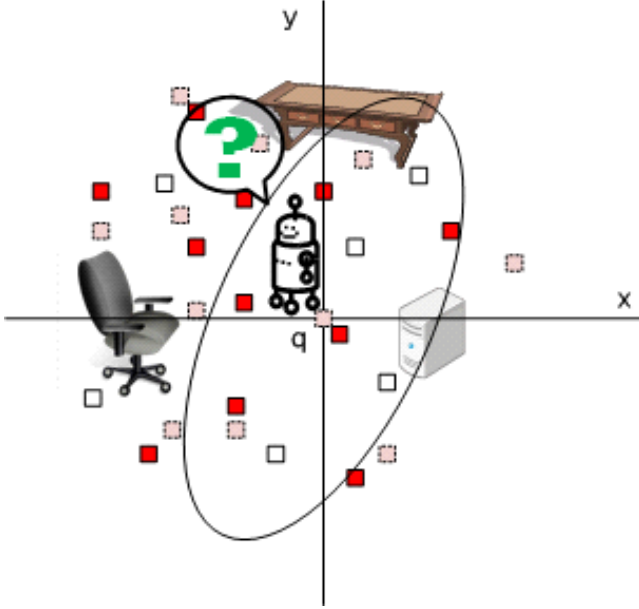


図3 曖昧な位置情報に基づく空間問合せ

が正規分布確率で表されるようなオブジェクトが、その周辺に位置するオブジェクトを検索するための空間問合せ手法である。ただし、周辺のオブジェクトの位置は確定的な座標で表される点データであるとする。対象となる問合せは、距離に基づく範囲問合せである。図3に、本環境下における曖昧な位置情報に基づく空間問合せのイメージを示す。

二次元において、問合せオブジェクト q の位置が正規分布によって表わされるとすると、問合せオブジェクト q の確率密度関数は式 (1) のようになる。

$$P_q(x) = \frac{1}{2\pi |\Sigma|^{1/2}} \exp \left[-\frac{1}{2} (x - \mu)^t \Sigma^{-1} (x - \mu) \right] \quad (1)$$

このとき、 Σ は 2×2 の共分散行列であり、 μ は二次元の平均ベクトルとなる。このようなオブジェクト q が与えられたとき、 q との距離が δ 以下である確率が θ 以上であるようなオブジェクト集合を問合せによって取得する。

一般の場合、共分散行列は単位行列とはならない。このとき、等確率面は楕円になる。さらに、以下の性質を用いる。行列 Σ^{-1} のスペクトル分解を式 (2) とする。

$$\Sigma^{-1} = \sum_{i=1}^2 \lambda_i \nu_i \nu_i^T \quad (2)$$

λ と ν はそれぞれ固有値と固有ベクトルとなる。この二つの λ により、問合せオブジェクト q の等確率面に対し、外接、内接する二つの円が描ける。この二つの円を利用して、検索対象のフィルタリングを行う。オブジェクト q の中心から外接円の外側にあるものは、計算するまでもなく存在確率が θ 以下になることが分かり、検索対象から外すことができる。また、内接円の内側にあるものは計算せずとも存在確率が θ 以上になることが分かるため、条件を満たすオブジェクトとみなすことができる。そして、外接円の内側にあり、内接円の外側にあるオブジェクトのみ計算をして θ を求めることにより、計算コストの

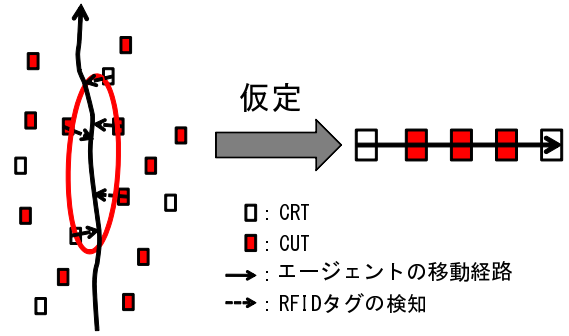


図4 エージェントがタグを取得する流れ

削減を行うことが可能となる。

3. 位置情報推測手法

本章では、大量に設置された電子タグの位置情報を確率分布で示す位置推測手法について述べる。

空間に大量のタグを無作為に設置し、既存の情報を基にそれらのタグの位置情報を推測することで空間構築の際に発生する膨大な構築コストを削減しようと考えた。

3.1 位置情報推測手法の設計

位置情報推測手法の設計を行う。推測手法の設計を行うにあたり、以下の RFID タグの状態を定義する。

- Coordinate Registered Tag (CRT)
正確な位置座標が DB に登録されているタグ
- Coordinate Unregistered Tag (CUT)
位置座標が DB に登録されていないタグ

RFID タグの二つの状態とエージェントの移動により取得された情報を利用して、CUT の位置情報の推測を行う。図4において、白い点が CRT、赤い点が CUT を表し、黒矢印はエージェントの移動経路、破線矢印がタグの反応を示す。このとき、推測される位置情報とは CUT の存在確率を表す正規分布の平均と共分散行列となる。これは、式 (1) における μ と Σ にあたる。

推測手法により得られた位置情報をデータベースに蓄積することにより、空間問合せが可能となる。また、エージェントにより新しく取得された情報を基に位置情報を更新することで、より正確なデータベースの構築も可能となる。このとき、RFID のタグの検知は時系列データとなる。この時系列データの内、CRT (始点) $\rightarrow$ (1 個以上の) CUT $\rightarrow$ CRT (終点) と並ぶ部分列を対象とし、これらが直線的に並んでいると仮定し、CUT の位置推定を行う。さらに、違うルートを移動した際に取得したデータも利用して位置推測を行う。以上のことにより、データを増やすことで CUT の座標を確率的に示すとともに、推測精度を高めることができると考えた。

以下の二つの推測手法を設計した。

- 個数による重み付けをした位置情報の推測手法
- 時間による重み付けをした位置情報の推測手法

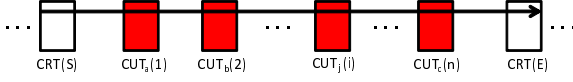


図 5 CRT の反応間に n 個の CUT が均等に並んでいると仮定

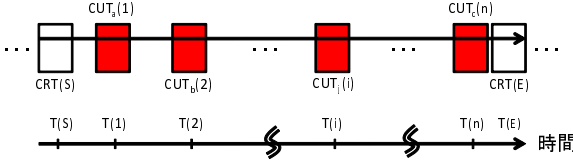


図 6 個々の CUT の読み取り時点を考慮

3.1.1 個数による重み付けをした位置情報の推測手法

エージェントによって蓄積された位置情報タグの反応履歴を基に CUT の位置情報を推測する。必ずしも、エージェントはタグの反応履歴の取得を目的として行動を行っているわけではないので、位置情報の推測を行う際には、エージェントの如何なる目的の行動によるタグの反応履歴においてもロバストに対応できる推測手法を設計する必要がある。そこで、エージェントが蓄積したタグの反応履歴から反応の順番のみに注目し、位置情報の推測を行う。このとき、リーダが読み取ったタグが均等かつ直線的に並んでいると仮定する。図 5 に仮定のイメージを示す。

図 5 のように CRT の反応間に n 枚の CUT が均等に並んでいると仮定したとき、 $CUT_j(i)$ の位置情報を推測する式は、式 3, 4, 5 のようになる。このとき、 i は CRT の反応間の i 番目に $CUT_j(i)$ の反応があったことを表し、 j は $CUT_j(i)$ の全反応回数 m 回のうちの j 回目にあたることを表す。また、式 3 における L_{CUT_j} は $L_{CUT_j} = (x_j, y_j)$ という座標を表す。

$$L_{CUT_j} \equiv L_{CRT(S)} + \frac{i}{n+1} (L_{CRT(E)} - L_{CRT(S)}) \quad (3)$$

$$\mu \equiv \sum_{j=1}^m \frac{1}{m} L_{CUT_j} \quad (4)$$

$$\Sigma = \begin{bmatrix} \sum_{j=1}^m \frac{1}{m} (x_j - x_\mu)^2 & \sum_{j=1}^m \frac{1}{m} (x_j - x_\mu)(y_j - y_\mu) \\ \sum_{j=1}^m \frac{1}{m} (x_j - x_\mu)(y_j - y_\mu) & \sum_{j=1}^m \frac{1}{m} (y_j - y_\mu)^2 \end{bmatrix} \quad (5)$$

式 3 によって導出した推測結果を一時テーブルに保持し、式 4 において一時テーブルに保持していた $CUT_j(i)$ の座標の平均を導出する。また、式 5 において一時テーブルに保持していた $CUT_j(i)$ の座標を基に共分散行列を求める。これらの処理を、反応履歴内のすべての CUT に対して行い、位置情報の推測とする。

3.1.2 時間による重み付けをした位置情報の推測手法

タグの反応履歴の反応の順番と反応の起こった時間に注目して、位置情報の推測を行う。図 5 に仮定のイメージを示す。

図 6 のように、個々の CUT の読み取り時点を考慮したときの、時間による重み付けをする推測の式は式 (6) のようになる。このとき、 i は CRT の反応間の i 番目に $CUT_j(i)$ の反応

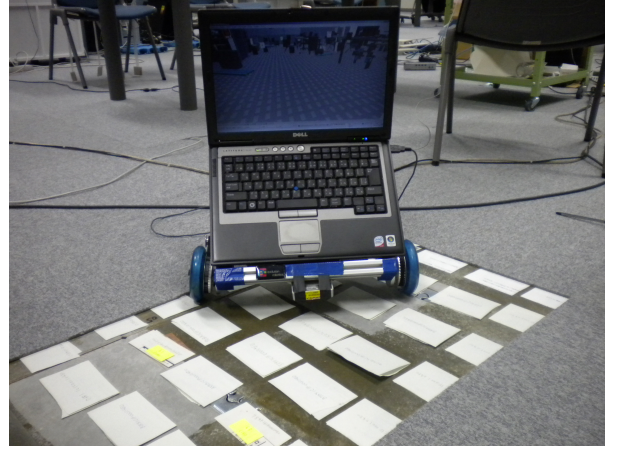


図 7 移動エージェント

があったことを表し、 j は $CUT_j(i)$ の全反応回数 m 回のうちの j 回目にあたることを表す。また、 T は各 CUT の反応時間を表す。そして、式 (6) における L_{CUT_j} は $L_{CUT_j} = (x_j, y_j)$ という座標を表す。

$$L_{CUT_j} \equiv L_{CRT(S)} + \frac{T(i) - T(S)}{T(E) - T(S)} (L_{CRT(E)} - L_{CRT(S)}) \quad (6)$$

3.2 位置情報推測手法の実験・評価

設計した位置情報推測手法の推測精度を検証するために実験を行った。実験環境は以下の通りである。

- 機種名：実験用 PC
 - CPU：Intel Core i7 860 2.8GHz
 - Memory：4GByte
 - OS：Microsoft Windows 7 Professional
 - 開発環境：Microsoft Visual Studio 2008
- 移動エージェント
 - 移動ロボット：EvolutionRobotics 社製 ER1
 - RFID リーダ：FUJITSU 社製 F3972T130
 - 制御プログラム実行環境：ロボット制御用 PC (後述)
- 移動エージェント制御用 PC
 - 機種名：DELL Latitude D620
 - CPU：Intel Core 2 Duo T2600 2.16GHz
 - Memory：4GByte
 - OS：Microsoft Windows 7 Professional

図 7 に移動エージェントの画像を示す。床下に敷き詰めたタグを確認できるように、床のマットを外している。

また、今回の実験により取得された実験データは、次に示す通りであった。

- 床に設置した全 RFID タグ数：7,606
- エージェントが取得した検知回数：7,159
- 推測を行ったタグ数：1,995

以上の実験データを利用して、100cm 間隔に CRT を設置した環境で位置情報の推測を行い、推測結果の平均と実際の位置座標との誤差をプロットしたものを図 8 に示す。図 8 において、プロットされた点是一片のタグを表し、横軸はタグが読み取られた回数、縦軸は正解座標と推測結果の平均の差分を表してい

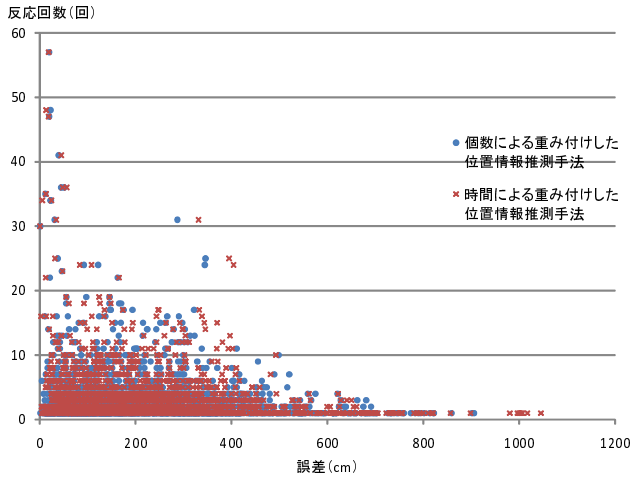


図 8 位置情報推測結果

る。また、青い点は個数による重み付けをした推測手法の結果であり、赤い点は時間による重み付けをした推測手法の結果である。

結果より、タグの読み取り回数が増すにつれて位置推測精度が高まり、1m 程度の誤差に収束していることがわかる。このことより、データ数を増やすことにより全体のタグの精度を高めることができた。また、二つの位置情報推測手法には、精度の違いがほとんどないことがわかる。

4. 空間問合せ手法

位置推測手法により得られた、確定的ではない曖昧な位置情報を利用して空間問合せを行おうと考えた。

空間問合せ手法として、曖昧な位置情報に基づく空間問合せ手法を利用した。

4.1 空間問合せ手法の設計

利用する曖昧な位置情報に基づく空間問合せ手法は、問合せを行うオブジェクトの位置情報が曖昧であり、検索対象となるオブジェクトは確定的な位置情報がある場合を対象としている。本研究における電子タグ付き空間において、空間問合せを行う際の手順の流れを示す。

(1) 空間問合せを行う RFID リーダ付きエージェントが CUT を読み取る。

(2) DB に問合せして読み取った CUT の位置情報 (式 (1) における μ と Σ) を取得する。

(3) 取得した位置情報を基に、曖昧な位置情報に基づく空間問合せ処理を実施する。

以上の流れで、本環境下における空間問合せを行う。また、図 9 に石川らの曖昧な位置情報に基づく空間問い合わせ手法 [6] [7] における存在確率の計算のイメージを示す。検索対象 a が問合せオブジェクト q との距離が δ 以下である確率 θ は、 a の座標を中心に半径 δ で描かれた赤い円領域において問合せオブジェクト q の確率密度関数を積分したものとなる。式で表すと式 7 のようになり、 R_a は a を中心とした半径 δ の円を表し、 $P_q(x, y)$ は問合せオブジェクト q の確率密度関数を表す。

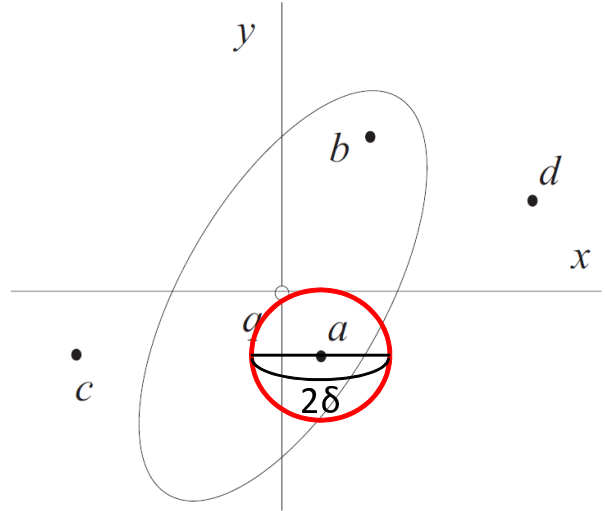


図 9 存在確率の計算方法

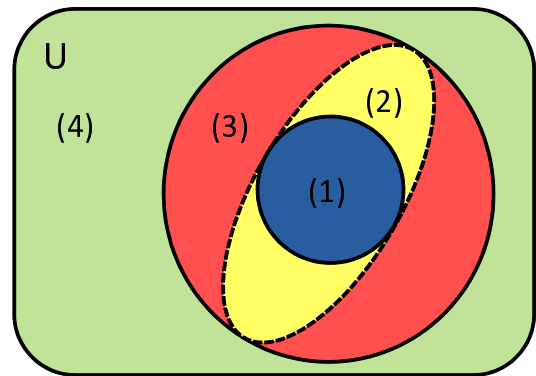


図 10 フィルタリングのイメージ

$$\int_{(x,y) \in R_a} P_q(x, y) dx dy = \theta_a \quad (7)$$

次に、2.2 節で述べたフィルタリングのイメージを図 10 に示す。このとき、破線が問合せオブジェクト q の等確率面を表す。また、フィルタリングについて述べるにあたり、以下の定義を行う。

- フィルタリングによる確率計算の有無
 - Filter…確率計算が不必要
 - Refinement…確率計算が必要
- 手法の判断
 - Positive…検索条件を満たすと判断
 - Negative…検索条件を満たさないと判断

図 10 において、(1) の領域は内接円の内側であるため、明らかに検索条件の θ 以上となることがわかるため、FilterPositive となる。(4) の領域は、外接円の外側であるため、明らかに検索条件の θ 以下となることがわかるため、FilterNegative となる。また、(2)(3) の領域は、内接円の外側かつ外接円の内側であるため、確率を計算して導出する必要がある。導出した結果、(2) の領域は検索条件の θ 以上となることがわかるため、RefinementPositive となり、(3) の領域は検索条件の θ 以下となることがわかるため、RefinementNegative となる。

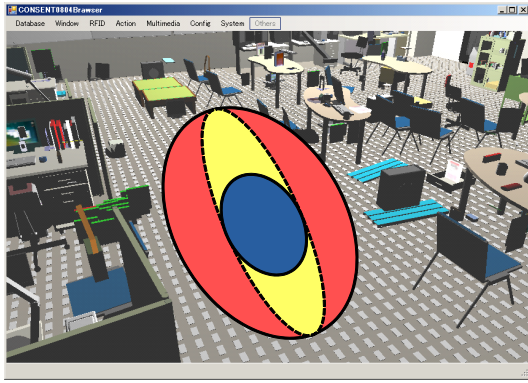


図 11 本環境下における問合せイメージ

図 11 に、本環境下における空間問合せイメージを示す。床にある白いタイルが一枚のタグを表し、円の中心にあるタグが問合せオブジェクトの位置情報となる。

4.2 空間問合せ手法の実験・評価

本環境下における空間問合せ手法の検証を行うために、実験を行った。実験環境および実験データは 3.2 節と同様である。

まず、本環境下における空間問合せ手法の精度を検証する。位置推測手法により、位置情報を取得したある一枚のタグ q を問合せオブジェクトが検知したとして、全てのタグを対象として問合せを行った。このとき、検索条件のパラメータ値として、 $\delta = 25$, $\theta = 15$ とした。これは、「自己位置が曖昧な q の位置を中心として、床上全ての位置（タグ）のうち、 q との距離が 25cm 以内にある確率が 15% 以上であるタグを検索せよ」という問合せを表わす。なお、問題を簡単化するために、この検索ではタグを解としているが、タグの位置に存在するオブジェクトの検索と置き換えれば、オブジェクトの空間範囲問合せに用いることができる。また、条件を満たすものを True、満たさないものを False とし、4.1 節と同様に手法が条件を満たすと判断したものを Positive、満たさないと判断したものを Negative とした。表 1 に問合せ結果を示す。また、4.1 節と同様にフィルタリングにより計算が不要なものを Filter、計算が必要なものを Refinement としてフィルタリング効果の結果を表 2 に示す。

以上の結果から、フィルタリングにより検索対象の大半が確率計算を省略できているとともに、表 1 における FalsePositive と TrueNegative がともに 0 なので、手法の判断に誤りが無かったことが分かる。したがって、曖昧な位置情報に基づく空間問合せ手法が本研究で構築した電子タグ付き空間で有効であることが示せた。

次に、本環境下における空間問合せ手法の計算コストを検証する。上記の実験データを利用して、全てのタグの存在確率の計算を行った。 $\delta = 25, 50, 75, 100$ として計算を行い、計算にかかった時間を表 3 に示す。また、手法を利用した際の計算時間との比較を行った。

表 3 の結果から、タグ一枚の計算時間はたいしたものではないが、検索対象が増えるにつれて計算時間は膨大になってしまい、実用的ではないことが分かる。しかし、空間問合せ手法を利

表 1 空間問合せ結果

	Positive	Negative
True	20	0
False	0	7,586

表 2 フィルタリング効果

	Positive	Negative
Filter	14	7,578
Refinement	6	8

表 3 空間問合せ処理の時間の比較

δ (cm)	タグ一枚当たりの 計算時間 (sec)	全計算をした 計算時間 (h:m:s)	手法利用時の 計算時間 (h:m:s)
25	0.07	00:09:01	00:00:02
50	0.28	00:35:47	00:00:10
75	0.63	01:20:35	00:00:23
100	1.12	02:22:56	00:01:22

表 4 フィルタリングにより計算が不要なタグ枚数

δ (cm)	枚数	全タグ数に占める割合 (%)
25	7,592	99.8
50	7,576	99.6
75	7,563	99.4
100	7,521	98.8

用したときの計算時間と比較すると大幅な計算時間の削減がされている。また表 4 は、 $\theta = 15$ とした際に、 $\delta = 25, 50, 75, 100$ として空間問合せ処理を行ったときの計算を必要としなかったタグの枚数と全タグ数に占める割合を示す。この結果により、空間問合せ手法を利用すれば、検索対象の大半が計算を省略できていることが分かる。

4.3 実環境下における空間問合せ手法の検証

次に、実用的なアプリケーションの例として、複数のエージェントに対して物体探索を命令した際の検証を行った。2 台のエージェントが存在すると想定して、実環境上のホッチキス 2 個を探索させた。このとき、検索条件の $\delta = 200$ (2m) とした。これは、「2 台のエージェントロボットに共通する探索対象があり、一方だけが到達すればよい」という問題である。この問題で、ロボットの移動計画を最適化しようと考えた場合には、それぞれのロボットの移動コストと対象物の存在確率を求める必要がある。実験のイメージ図を図 12 に示す。赤い矢印は各エージェントの位置を表しており、赤い丸は 2 つのホッチキスの位置を表している。各エージェントから計算した各物体の存在確率を表 5 に示す。また、各エージェントの正確な位置座標と各物体の位置座標の距離を表 6 に示す。各エージェントの利用した位置情報を表 7 に示す。表 7 における $|\Sigma|$ は式 (1) の Σ の絶対値である。

表 5、表 6 の結果から、90% 以上という高い確率を示す組み合わせはともに 2m 以内にあり、条件を満たしていることがわかる。また、エージェント 2 を中心としてホッチキス 2 を計算した結果はほぼ 0% という確率になっており、距離も 2m 以上

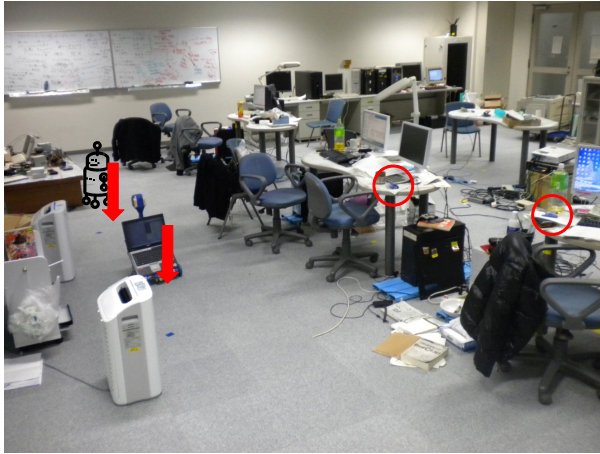


図 12 実験イメージ

表 5 各エージェントから計算した存在確率 (%)

	エージェント 1	エージェント 2
ホッチキス 1	46.7	99.9
ホッチキス 2	95.8	ほぼ 0

表 6 各エージェントから各物体の距離 (cm)

	エージェント 1	エージェント 2
ホッチキス 1	215	145
ホッチキス 2	158	335

表 7 各エージェントの推測結果の誤差と分散

	誤差 (cm)	分散 $ \Sigma $
エージェント 1	14	61,931
エージェント 2	0.6	2,031

離れているため、条件を満たしていないことがわかる。これらの組み合わせの確率は、空間検索に利用する際に参考にできることがわかる。しかし、エージェント 1 を中心としてホッチキス 1 を計算した結果は、50% 程度の確率であり、距離は 2m 以上となっている。この結果は、他の組み合わせと違い、曖昧な結果であるため、参考にする際に考慮が必要である。これは、表 7 に示すとおり、エージェント 1 の位置情報はエージェント 2 の位置情報に比べ、分散の値が大きく、曖昧性が高いことが原因だと考えられる。実運用では、この曖昧性を考慮する必要があると思われる。

これらの結果より、本環境下において空間問合せ手法が実用的であることが示せた。

5. まとめと今後の課題

本論文では、電子タグ付き空間における既知情報を基にした位置情報の推測手法を提案し、実用性を示した。また、本環境下において曖昧な位置情報に基づく空間問合せ処理手法が有効であることを示した。

今後の課題として、長期的な運用を行い、より多くのデータを蓄積し、本手法の検証を行う必要がある。また、実用的なアプリケーションの提案・評価を行いたいと考えている。

6. 謝 辞

本研究の一部は科学研究費補助金 (若手研究 (B)):課題番号 21700102, および特定領域研究 (情報爆発 IT 基盤):課題番号 21013023) の助成を受けて行った。また、本研究を遂行するにあたり、横浜国立大学大学院環境情報研究院の長尾智晴教授の協力を得た。ここに記して、謝意を表す。

文 献

- [1] Michael Buettner, Richa Prasad, Matthai Philipose, David Wetherall, "Recognizing daily activities with rfid-based sensors", In UbiComp 2009, 2009.
- [2] Beth Logan, Jennifer Healey, Matthai Philipose, Emmanuel Munguia Tapia, Stephen Intille, "A long-term evaluation of sensing modalities for activity recognition", UbiComp 2007, 2007.
- [3] 遠田敦, 林田和人, 渡辺仁史, "スリッパ型 RFID リーダによる歩行行動追跡", 日本建築学会計画系論文集第 73 巻第 630 号, 2008.
- [4] 椎尾一郎, "日常生活のユビキタスコンピューティング", 人工知能学会誌 Vol.23, 2008.
- [5] 椎尾一郎, "RFID を利用したユーザ位置検出システム", 情報処理学会研究会報告, 2000.
- [6] Yoshiharu Ishikawa, Yuichi Iijima, Jeffrey Xu Yu, "Spatial Range Querying for Gaussian-Based Imprecise Query Objects", Proceedings of the International Conference on Data Engineering 2009.
- [7] 石川 佳治, "曖昧な位置情報に基づく空間問合せの処理手法", 日本データベース学会 Letters, Vol. 6, No.2, pp.49-52, 2007.9
- [8] 渡邊優作, 佐々木貴司, 富井尚志 "クエリフィードバックによる意味情報推奨機構を有する成長型ユビキタス環境データベースの実装と評価" 情報処理学会論文誌: データベース, Vol.48, No.SIG20 (TOD36), Dec, pp.1-13, 2007
- [9] 山下啓太, 富井尚志, "DB によって管理された電子タグ付き空間での位置情報タグの登録・維持支援手法", 情報科学技術フォーラム (FIT2008) 講演論文集, D-018, pp.83-86, 2008.9
- [10] Jinchuan Chen, Reynold Cheng, "Efficient Evaluation of Imprecise Location-Dependent Queries", icde, pp.586-595, 2007 IEEE 23rd International Conference on Data Engineering, 2007