

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

Support Registration and Maintenance of Located Tags in RFID-tagged Space Managed by DB

山下 啓太†
Keita Yamashita

富井 尚志‡
Takashi Tomii

1. はじめに

近年、情報技術の発達により、計算機やネットワークの高速化、低価格化が進み、無線 IC タグ (RFID) 技術や加速度センサなどの、実空間の状態を検知できる様々なセンサ技術が普及してきている。また、社会的にも u-Japan 政策[1]のような方針が掲げられ、“いつでも・どこでも” 計算機の恩恵を受けられる「ユビキタス環境」の発展が現実味を帯びてきた。ユビキタス環境では、人や物体の移動などをユーザの手間をかけずに探知することにより、現実空間の情報を管理することが可能となる。

ユビキタス環境を実現する手法の一つに、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が考えられている。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。電子タグ付き空間の研究例として Tagged World Project[2], ユビキタスホーム[3], ナビ下駄[4], 本研究の先行研究である「概念共有環境 CONSENT (Concept Sharing Environment)」[5]などがある。RFID リーダは、耐障害物性、非接触かつ複数同時読み取り可能という特徴を持つ。また、RFID タグは小型で安価であり、物体への貼り付けが容易である上に、特にパッシブタグは電池がいらない為、半永久的に使用できる。

電子タグ付き空間のように、タグが敷き詰められた環境を構築する際、RFID タグの位置情報を正確に獲得するためには何らかの登録手段が必要である。すなわち、電子タグ付き空間の実現には、タグの配置計画や設置、タグの位置情報の登録といった初期構築コストを要する。加えて、タグの故障検知やメンテナンスといった運用時における空間維持のコストを要する。これらのコストの問題は避けては通れないと考えられる。

そこで本研究では、床に敷き詰められたタグのうち、位置情報が既知のタグ情報を基に、位置情報が未知のタグの位置推測や故障の可能性のあるタグの検知を行なうことにより、初期構築や運用のコストを低減する手法を提案し、評価を行なう。利用者がタグを無作為に設置し、リーダ付きエージェントが移動する際に情報を取得して、DB に蓄積する。その後、空間管理者が蓄積された情報をもとに位置を推測し、タグの位置情報を登録することによって初期構築コストが低減される。さらに、エージェントによりデータを登録するため、専門的な知識を持たない一般ユーザでも容易に利用することが可能となり、ユビキタス環境の構築、運用に貢献することができる。またエージェントにより常に新しい実空間情報を取得し、DB に蓄積されてい

る情報を更新していくため、タグの故障や移動といった不測の事態にも対応することができ、運用中により正確な DB の構築・維持が可能になると考える。

以上について設計と実装および実験による評価を行った。

2 電子タグ付き空間

2.1 電子タグ付き空間の構築・運用

ユビキタス環境を実現する手法の一つに、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が考えられている。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ったデータを基にユーザに対して支援を行うことが可能となる。

しかし、電子タグ付き空間の構築と維持には以下の手間を要する。

- ・空間構築時のタグの設置、登録
- ・空間運用時のタグの故障検知
- ・空間運用時に取得される膨大なデータの管理

タグの設置、登録はタグ一枚は大したコストにはならないが、実空間のあらゆるオブジェクトにタグが貼られている電子タグ付き空間では多大なコストがかかると思われる。また、タグ枚数が多いとタグの故障といった空間維持にかかるコストも増大すると考えられる。そして、リーダでタグを読み取るだけでデータが取得されるため、電子タグ付き空間でのユーザへの支援を考えた場合、膨大なデータの管理を行う必要がある。

2.2 位置情報タグの登録・維持支援手法

本研究では、電子タグ付き空間で取得されるデータを DB に蓄積することにより、膨大なデータの管理を容易に行えるように、DB に蓄積されたデータを基に位置情報タグの登録・維持支援手法を提案する。位置情報タグの状態図を表 1 に示す。ここで、実検知とは実空間上でのリーダによるタグの反応の有無を指し、座標登録とは DB に対応するタグの座標が登録されているかどうかを指している。また、「要登録」とは DB に座標の登録が必要であることを指し、「メンテナンス」とはタグが故障している可能性があるため、メンテナンスが必要であることを指している。

位置情報タグはどれもこの表 1 のどれかの状態になっている。実検知、座標登録ともに有りの場合は、DB に座標の登録済みかつ、正常に機能しているので問題はない。実検知、座標登録ともに無い場合は、タグの設置や登録が行わ

表 1 位置情報タグの状態図

	座標登録	有	無
実検知			
有		正常	要登録
無		メンテナンス	非設置

† 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

‡ 横浜国立大学大学院環境情報学研究院

れていない非設置の状態であるため問題は無い。しかし、実検知は有るが、座標登録が無い場合は、タグが設置済だが座標が登録されていないため、正しい座標を登録する必要がある。また、座標が登録済であるにもかかわらず、実検知が無い場合は、故障などにより正常に機能していない可能性があるため、メンテナンスが必要になる。本研究では、この二つの状態のタグを実検知、座標登録ともに有る状態にすることを目的とする。

3. 位置情報タグの登録・維持支援手法の設計

位置情報タグの登録・維持支援手法の設計に当たり、以下のような方針立てを行った。

- 方針1. DB に位置情報が登録されているタグを位置情報タグとよぶ。
- 方針2. 電子タグ付き空間の床には RFID タグが敷き詰められているとする。
- 方針3. DB にデータを蓄積するエージェントは基本的な移動を行う。
- 方針4. エージェントの持つセンサは物体の検知を行う最低限のものとする。そして、そのセンサは RFID リーダとする。
- 方針5. エージェントは電子タグ付き空間の空間情報を管理するデータベースサーバと通信可能で、そこにデータを蓄積することができる。

この方針に基づいて、本研究では以下のような流れの位置情報タグの登録・維持支援手法を設計した。

- 手順 1. 多数のタグを空間内に無作為に設置する。このとき、タグは動かない様に固定する。
- 手順 2. 設置したタグの中から適当にタグを選択して、そのタグの正確な位置情報を測定するうえ、DB に登録する。
- 手順 3. RFID リーダを装備して移動するエージェントにより取得されたデータを基に、座標が定まっていないタグの位置推測、座標が登録されているタグの故障検知を行う。

また、支援手法を設計するにあたり、位置情報タグを二種類に分類した。以下に二種類のタグを定義する。

- ・グリッドタグ…床に設置されていて、DB にタグ ID と座標が登録されているタグ。
- ・Coordinate Unregistered Tag (以下, CUT) …床に設置されていて、DB にタグ ID の登録はされているが、座標が登録されていないタグ。

以下、位置推測とは CUT の座標値を既知のデータを基にして計算をすることを表す。

3.1 位置情報タグの位置推測手法の設計

本節では位置情報タグの位置推測手法の設計を行う。タグの位置推測手法はエージェントにより蓄積された既存の情報を基に行い、タグに位置情報を登録する際の支援を行う。この方法としてエージェントが移動した際に取得したタグの反応履歴の中から、2つのグリッドタグ間に検知された複数の CUT が直線的に並んだと仮定して算出する。図1にエージェントが移動し、タグを取得する流れを示す。図1において、白い点がグリッドタグ、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、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、グリッドタグ (始点) → (1個以上の) CUT → グリッドタグ (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位置推測の精度を高めることができると考えた。

具体的な手段として、以下の二つの推測手法を設計した。

手法1: 個数重み位置推測手法

手法2: 時間重み位置推測手法

3.1.1 個数重み位置推測手法

個数重み位置推測手法では、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、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、座標の平均を計算していくことにより位置推測を行う。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。手順は以下ようになる。

- 手順 1. タグの反応履歴から CUT の反応を見つける。
 - 手順 2. CUT の反応の前後のグリッドタグの座標にグリッドタグ間にある CUT の個数による重みを付けた推測座標を導出する。
 - 手順 3. CUT が一意に決まる ID と導出した推測座標を保持する。
 - 手順 4. 反応履歴内に同じ CUT の反応があり次第、同様にそのタグの前後に反応のあるグリッドタグから推測座標を取得し、取得したすべての推測座標を保持する。
 - 手順 5. タグの反応履歴をすべて検索した後、一つの CUT において保持していたすべての推測座標の平均をとる。
 - 手順 6. 他の ID の CUT も同様に座標を導出する。
 - 手順 7. 導出した座標を推測結果として出力する。
- 手順 2 において CUT の個数による重み付けをした推測座標を式(1)により導出する。このとき、 $P_{CUT(i)}$ は CUT(i) の座標を表し、 P_{GS} 、 P_{GE} はそれぞれスタートしたグリッドタグ、ゴールしたグリッドタグの座標を表す。また、添字 j は手順 4 に示した CUT(i) の位置推測全 m 回のうち、 j 回目

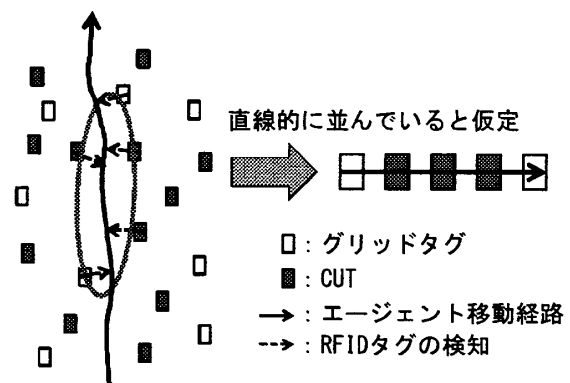


図1 エージェントがタグを取得する流れ

の試行であることを表す。そして、手順5において保持していた推測座標の平均を式(2)により導出する。

$$P_{CUT(i)-j} \equiv P_{G_{S_j}} + \frac{i_j}{n_j+1} (P_{G_{E_j}} - P_{G_{S_j}}) \quad \dots (1)$$

$$P_{CUT(i)} \equiv \sum_{j=1}^m \frac{1}{m} P_{CUT(i)-j} \quad \dots (2)$$

3.1.2 時間重み位置推測手法

時間重み位置推測手法では、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、位置情報タグの位置推測を行う。手順は3.1.1節と同様である。しかし、手順2で推測座標を導出する際に CUT の個数ではなく、CUT が反応した時間により重み付けをした推測座標を導出する。その際、式(3)を用いる。このとき、 T_{i-j} は CUT(i)が、 T_{S_j} はスタートしたグリッドタグが、 T_{E_j} はゴールしたグリッドタグが、それぞれ反応した時間を指す。

$$P_{CUT(i)-j} \equiv P_{G_{S_j}} + \frac{T_{i-j} - T_{S_j}}{T_{E_j} - T_{S_j}} (P_{G_{E_j}} - P_{G_{S_j}}) \quad \dots (3)$$

3.2 位置情報タグのメンテナンス機能の設計

本節では位置情報タグのメンテナンス機能の設計を行う。エージェントによって DB に蓄積されたデータを基に、故障の可能性のあるタグを検知し、空間管理者に通知することをメンテナンス機能とし、電子タグ付き空間維持の支援をする。また、故障検知をする際はタグの座標が必要なので、対象はグリッドタグのみとする。図2に故障検知のデータフロー図を示す。手順としてはタグの反応履歴から、グリッドタグ間において他のタグの有無を検索して、検知があった場合そのタグの ID と検知回数を保持する。

4. 位置情報タグの登録・維持支援手法の実装と評価

4.1 実装環境

提案手法を評価するために、下記に示す環境を用いて支援手法の運用実験を行った。本実験では、タグの反応を DB に蓄積するエージェントは RFID リーダを装備したロボットと、行き先をランダムに指定する制御プログラムで実装し、稼働させた。

[実験用 PC]

CPU : AMD Athlon(tm) 64 X2 Dual Core Processor 5200+ 2.61GHz

Memory : 4GByte

OS : Microsoft Windows Vista Business

開発環境 : Microsoft Visual Studio 2005

[移動エージェント]

探索ロボット : SONY 社製 AIBO

RFID リーダ : 富士通社製 RFID タグリーダ, ライタ

制御プログラム実行環境 : ロボット制御用 PC (後述) による

[移動エージェント制御用 PC]

機種名 : DELL INSPIRON 4150

CPU : Intel(R) Pentium(R) 4 Mobile CPU 1.90GHz

Memory : 1GByte

OS : Microsoft Windows XP Professional

開発環境 : Microsoft Visual Studio 2005

今回の実験では、RFID タグを 1,954 枚使用した。評価のためにこれらのタグを床面上に 25cm 間隔で敷き詰めた。また、この床面上で移動エージェントをランダムに移動させ、RFID タグの検知履歴データを取得した。取得した全データ数 (RFID タグの検知) は 19,815 件であった。

4.2 位置情報タグの位置推測手法の評価

位置情報タグの位置推測手法の評価を行うために、エージェントにデータを蓄積させ、そのタグの反応履歴を用いて位置推測を行い、実際の座標との誤差を評価した。その際、グリッドタグをランダムに配置して評価を行った。実験的に設定したグリッドタグの配置図を図3に示す。図3では、グリッドタグは白く表示し、CUT は赤く表示した。たとえば、図3内の矢印で示された白い点は、ID と正確な座標が登録されたタグ、すなわちグリッドタグである。今回の実験から得られたエージェントの移動履歴データを用いて、3.1 節で示した二種類の位置推測を行なった。個数重み位置推測結果と実際の正解座標との誤差をプロットしたものを図4、時間重み位置推測結果と実際の正解座標との誤差をプロットしたものを図5にそれぞれ示す。図4、図5において、プロットされた点は一枚のタグを表し、横軸はタグが読み取られた回数、縦軸は正解座標からの距離を表している。

結果より、DB 上のタグの読み取り回数が増すにつれて位置推測の精度が高まり、1~2m 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、座標のみではなく時間を考慮した推測手法の方がより高い精度を示した。以上のことより、位置情報タグの位置推測手法の実現性が示された。

4.3 位置情報タグのメンテナンス機能の評価

メンテナンス機能として、位置情報タグの故障検知手法の評価にあたり、蓄積されたデータを基に故障検知を行う際に、タグの故障を想定して意識的にデータを排除することによって故障検知の評価を行った。また、今回の評価においては空間内の位置情報タグはすべてグリッドタグとする。評価にあたり、故障とみなす検知回数の閾値を 1 [回]、10 [回] に設定し、それぞれ評価した。閾値が 1

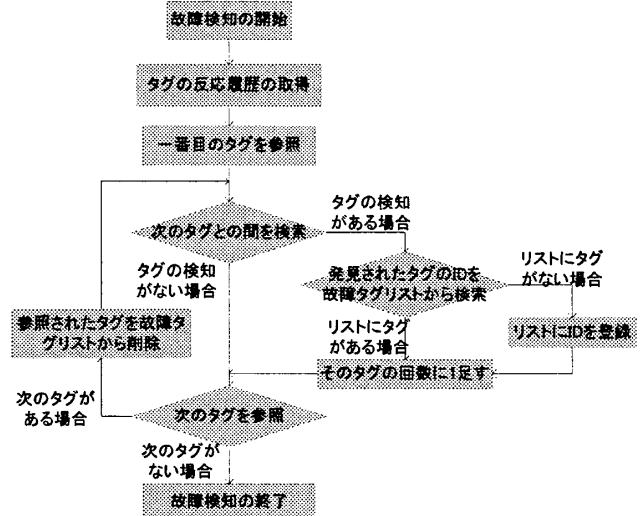


図2 故障検知のデータフロー図

表2 閾値=1の故障検知結果

	故障判定 [枚]	正常判定 [枚]
故障	9	1
正常	49	1889

表3 閾値=10の故障検知結果

	故障判定 [枚]	正常判定 [枚]
故障	7	3
正常	4	1935

の結果を表2に、閾値が10の結果を表3に示す。表2、表3において故障判定、正常判定は本手法が判定した結果を指す。また、故障、正常は実際のタグの状態を指す。

以上の結果から分かるように、閾値を10に設定した際は高適合率、閾値を1に設定した際は高再現率の結果を得ることができた。すなわち、メンテナンスの必要性に応じて判定基準を変化させることにより適合率、再現率のどちらか一方を重視した判定が可能であることが示された。

5. まとめ

本研究では、ユビキタス環境である電子タグ付き空間の実現における位置情報タグの登録・維持支援手法の設計、実装、評価を行い、その実現性を示した。

位置推測手法では、エージェントによりDBに蓄積されたデータを基に位置情報タグの位置推測を行った。DBに蓄積されたデータの順番に注目し推測を行い、電子タグ付き空間の構築のコストの削減をした。

メンテナンス機能では、位置推測手法と同じくエージェントによりDBに蓄積されたデータを基に位置情報タグの故障検知を行った。故障の可能性があるタグを検知できるため、電子タグ付き空間の運用時における空間維持のコストを削減できることを示した。

今後の課題として、データ数を増やしての評価、位置推測の際に確率を導入して、推測結果の一部を正しいとみなし、さらにその結果を用いて推測を行った場合などの評価が必要である。また、故障検知ではタグが最後に読まれてからの時間などを考慮しての評価が必要である。そして、床のみだけではなく壁や机上面などの三次元空間への機能拡張を行う予定である。

謝辞

本研究の一部は横浜国立大学教育研究高度化経費の助成を受けて行った。

参考文献

- [1] 総務省, u-Japan 政策 HP, http://www.soumu.go.jp/menu_02/ict/u-japan/index2.html
- [2] 楓 仁志, 山原裕之, 藤原聡子, 野口豊司, 東 辰輔, 島川博光 “タグ付けられた世界における個人行動特性を用いた意図推測” 組込みソフトウェアシンポジウム 2005, Oct, pp.126-133, 2005
- [3] 美濃 導彦 “ユビキタスホームにおける生活支援” 人工知能学会誌, Jul, pp.579-586, 2005
- [4] 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, May, pp. 45-50, 2000
- [5] 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

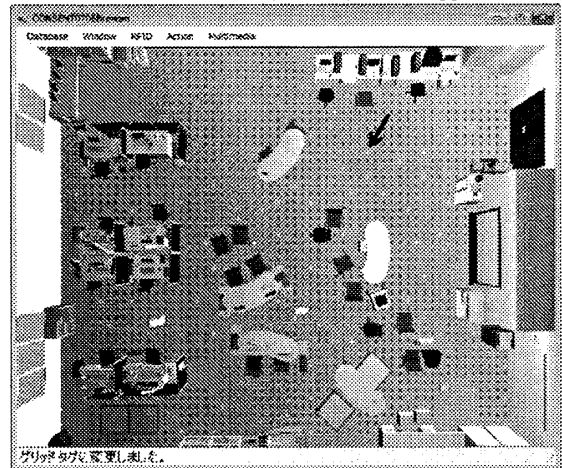


図3 グリッドタグの配置図

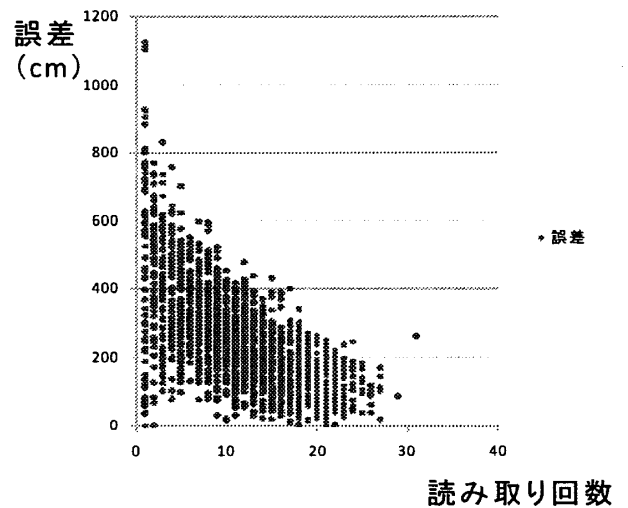


図4 個数重み位置推測結果

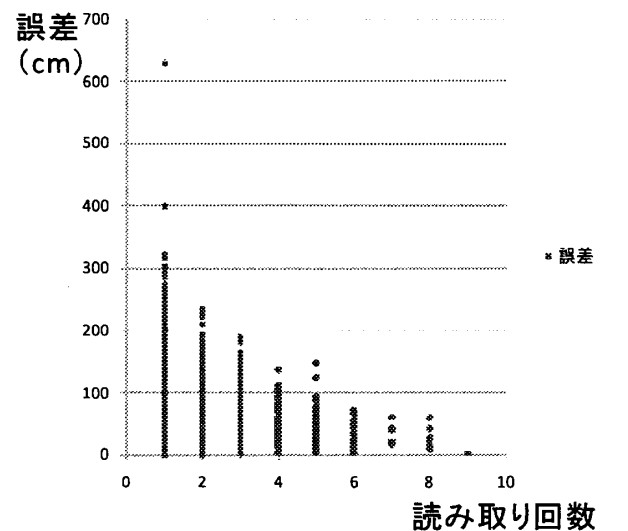


図5 時間重み位置推測結果