

# データベースによって制御される協調エージェントを用いた 実空間状況獲得手法

## A Method for Acquiring of Environmental Condition with Cooperative Agents Controlled by the Database

金子 祥貴†  
Yoshiki Kaneko

富井 尚志‡  
Takashi Tomii

### 1. はじめに

近年、オフィスや病院、道路などの公共空間、あるいは住宅などの日常生活環境で人のために様々な軽作業を行うサービスロボットの研究が盛んに行われている。今後、センサを搭載したロボットから実空間のデータを取得し、利用することで様々なサービスが可能になると考えられる。また、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、実空間の情報を取得できる様々なセンサ技術が普及してきている。これらの技術が統合されることで“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」の実用が、今後さらに発展するであろうと考えられる。ユビキタス環境では、人や物体の移動などの情報をセンサで取得することによりユーザの手間をかけずに、実空間の情報を管理、利用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物体が RFID によって管理され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、多数のセンサと物体との間で検知が断続的に発生し、実空間内の物体の状況がリアルタイムに取得される。このようにセンサから得られた大量の情報をデータベースに蓄積し、利用することで、高度な支援を行うことが可能となる。例えば、ユーザは物体の現在位置や過去の物体の状況などを把握したいというのは、しばしば発生する要求である。

実空間の状況を RFID を利用して、できるだけ詳細に取得することを考えたとき、数メートルまでリーダと通信が可能な通信距離の長い RFID を利用すれば広範囲において物体の検知が可能となる。しかし、通信距離の長い RFID では得られる情報の空間的粒度が荒くなってしまいうため、望ましくないと考えられる。つまり、数十センチメートル程度の通信距離の短い RFID を利用することによって、物体の状況変化を取得することが望ましい。

しかしながら、このような RFID によって管理される物体が大量に存在する電子タグ付き空間において、実空間の状況の変化をくまなく検知することは困難であることは容易に想像できる。例えば、「本 A が机 B から本棚 C に移動した」といった状況変化を取りこぼしなく取得するためには、机 B や本棚 C などの領域をそれぞれカバーする固定 RFID リーダが必要とされ、リーダの導入コストが問題となる。また、必要なセンサを設置することができなかった場合には、物体の状況をデータベースに反映することができない。この問題はセンサを移動させることによって、ある程度は解決できるが、データベースの更新が滞ると実空間の状況とデータベース上での状況に不整合が発生してしまう。例えば、実空間においては「本 A は本棚 C にしまわれている」のに対し、データベース上では「本 A は机 B に置

かれている」といった状態が発生してしまう。このような状態が発生してしまうとデータベースを利用した適切な支援ができなくなってしまう。

そこで、本研究ではデータベースに蓄積された検知履歴を用いることにより、検知が必要とされる場所へセンサを能動的に移動させることを考えた。過去の検知履歴を利用することで、すべての物体の状況を取得できないまでも、検知が必要とされる物体の状況を優先的に取得することが期待できる。具体的には、物体の状況変化が激しい場所、一定期間以上検知が行われていない場所などを検索して特定する。その場所に対して能動的にセンサを移動させ検知を行うことで最新の物体の状況変化をデータベースに蓄積することができる。

本手法では検索結果に基づいてセンサを能動的に移動させることにより実空間検知が行われ、得られたセンサデータはデータベースに蓄積される。蓄積されたセンサデータによってデータベースが更新され、能動的センサ移動における新たな手掛かりとなる。データベースによる探索エージェントの制御と、その結果によるデータベースの更新を繰り返し行う本手法を CBDB(Control By Database)と定義した。CBDB による移動するセンサの制御により、実空間の状況を効率よく検知しデータベースと実空間の状況を一致させることを提案する。

また、探索エージェントが複数存在する空間においては、探索エージェント個々に CBDB を適用したとしても、探索対象の重複などのさまざまな弊害が発生してしまい非効率的な空間探索となってしまう恐れがある。そこで CBDB を適応したときに探索エージェント同士で協調した空間探索を実現するための手法も合わせて提案する。

## 2 関連研究

### 2.1 ユビキタス環境

実空間内に様々なセンサを張り巡らせたユビキタス環境の研究が数多く行われている。Kim らは、多数のセンサ類によって構築される環境において同時に実行される複数の行動に対して、行動パターンとユーザの意図を抽出する手法を提案した[1]。Riecki らは物体そのものを表す General Tag に加え、印刷、表示といった物体に関連付けられたサービス等を表す Special Tag を空間内に配置し、空間内に存在するサービスの発見や管理を行うミドルウェアである CAPNET を実装した[2]。RFID によって空間情報の管理を行う研究は他にもみられる。Tagged World [3] では、部屋内の様々な場所に配置された RFID タグと人が携帯するリーダによって人の行動を認識し、その意図を推定することが行われている。

† 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

これらに対し、我々は先行研究として RFID 等によって取得したセンサデータから実空間の物体の状態を取得し、それらを蓄積するユビキタス環境データベースを持つ「概念共有環境 CONSENT(Concept Sharing Environment)」を提案してきた[4,5]. 概念共有環境 CONSENT では効果的なモデル化とインデックスを付与したデータベース化によって、「ノート A は机 B の上に置かれている」といった物品の状況の蓄積、管理を実現している。

## 2.2 RFID を利用した位置情報獲得

床に敷き詰められた RFID から位置情報を取得し、ロボットの位置推測などに利用する研究が多く行われている。千田らは床に RFID を敷き詰める際、データベースに位置情報を登録する手間を省くために、あらかじめ位置情報が登録された少数の RFID から位置情報が未登録の RFID の位置情報を推測する手法を提案した[6]. Choi らは RFID による位置情報を利用したロボットの移動制御の際に、リーダで RFID を読みこんでから次の RFID を読みこむまで自己の位置情報を取得することができないため位置情報がいまになってしまう短所を、車輪の回転数などから位置情報を求める方法と組み合わせることで解消した[7]. 本研究でも探索エージェントをロボットとしたとき、位置情報の取得や移動経路の決定などに RFID を利用するアプローチをとっている。

## 3 能動的センサ移動の設計

### 3.1 CBDB(Control By Database)

センサを装備した探索エージェントによってセンサを能動的に移動させることにより、実空間の状況の変化を効果的に検知することが実現する。このとき、検知すべき場所をデータベースに蓄積された検知履歴を用いて決定することにより、データベースの更新に必要な実空間検知を効率よく行うことが可能となる。データベースの更新は得られたセンサデータによって行い、次に探索エージェントが検知すべき場所は、更新されたデータベースに基づいて決定される。このようなデータベースによる制御とデータベースの更新のサイクルにより、データベースと実空間の状況を一致した状態に保つことが可能となる。我々はこれを Control By Database(CBDB)と定義した[8] (図1)。

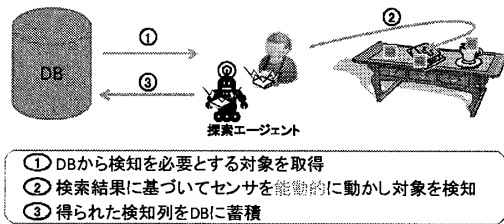


図1 Control By Database

### 3.2 検知対象の取得

検知を必要とする対象はデータベースに蓄積された検知履歴から得られる。問い合わせの例として以下のものが挙げられる。

- (1) 一定期間以上検知されていない物体
- (2) 複数の物体が頻繁に出入りする場所

- (3) その物体が最も頻繁に検知される場所

使用頻度が高いにも関わらず長期間検知されていない物体があると仮定する。この物体は状況が変化しているにも関わらず、センサの検知範囲外となっているためにデータベースの更新が行われていない可能性が高い。(1)はそのような物体を効率的に探索することを可能にする。(2)は状況変化の激しい場所を入念に検知することでより実空間状況をデータベースに反映することが可能となる。(3)はその物体に関連する大量の検知履歴から、物体の移動履歴の偏りを発見し、より効率的な探索を可能にする。

### 3.3 探索エージェントへの移動方針の示唆

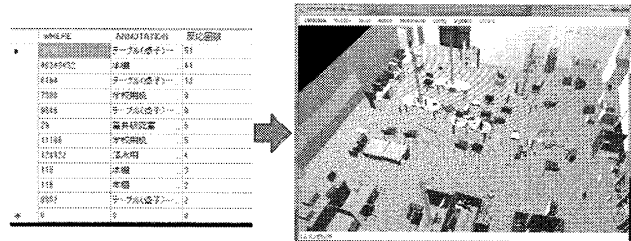
探索エージェントを人にした場合とロボットにした場合では移動方針の示唆の方法は異なる。以下にそれぞれの移動方針の示唆方法を示す。

- (1) 人を探索エージェントとする場合の CBDB

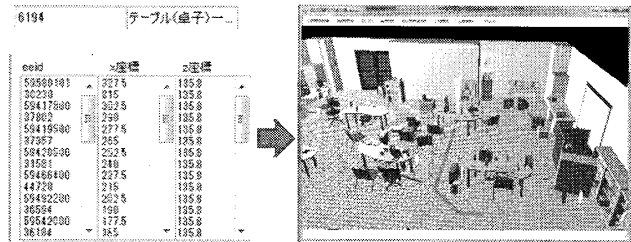
人を探索エージェントにした場合、直観的に理解可能な GUI を提示することで移動方針を示唆することができる。図2 (a)は仮想空間上に矢印で検知すべき対象を示した例である。探索エージェントは矢印の場所を探索すればよいことになる。先行研究[8]では探索エージェントを人とした場合の CBDB の実現性と有用性を検証した。

- (2) ロボットを探索エージェントとする場合の CBDB

ロボットを探索エージェントにした場合、探索エージェントに検知すべき対象までの経路を設定する必要がある。探索エージェントはデータベースと通信可能であり、位置情報獲得用のリーダを使用し、床に敷き詰められた RFID から位置情報を得る。図2 (b)に示すようにデータベースへの問い合わせによって検知すべき対象までの経路の座標値群を得る。



(a) 人を探索エージェントとする場合



(b) ロボットを探索エージェントとする場合

図2 探索エージェントへの移動方針の示唆

### 3.4 複数の探索エージェントによる計画探索

探索エージェントが複数存在する場合、探索エージェント個々に CBDB を適用しても、検知すべき対象の重複や、無駄な移動経路の設定などが生じ、効率的な空間探索を実現することはできない。移動コストの削減や探索時間の削減といった系全体でのコストを削減するためには、探索エ

エージェント同士が協調しあい、計画的に探索を実行する必要がある。そこで探索エージェント同士が検索結果をもとに効率的に探索を行うための手法を図3に示す。

複数の探索エージェントが存在する場合は、探索用の共有テーブルを一つ用意し以下の手順によって効率的な探索を実現する。

- ① データベースから検知を必要とする対象を取得し、探索用テーブルに格納する。
- ② 探索エージェントは未探索の検知対象を探索用テーブルから取得する。
- ③ 探索エージェントは検知対象まで能動的にセンサを移動させ、対象の検知を行う。
- ④ 検知結果から探索用テーブルの更新と DB の更新を行う。

探索用テーブルから未探索の検知対象がなくなるまで②~④を繰り返し行い、すべて探索済みとなったときに探索を終了する。

探索エージェントは探索用の共有テーブルを互いに参照することによって、現在の探索状況を確認することができ、探索エージェント同士で協調した探索を実現する。

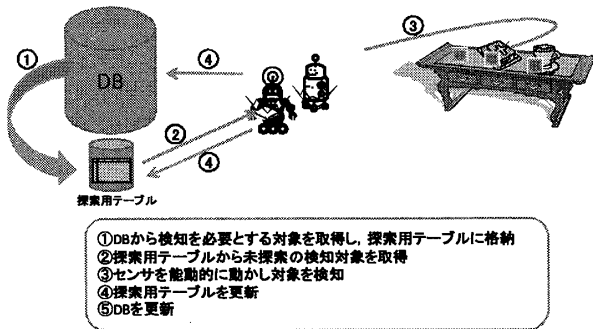


図3 複数探索エージェントにおけるCBDBの適応

#### 4. 実験による検証

我々は2008年4月から、概念共有環境 CONSENT の日常実験を行ってきた。本実験ではその概念共有環境データベースを用いた。実験環境は以下の通りである。

[実験用 PC] CPU: Intel Core i7 860(2.8GHz), Memory: 4GByte, OS: Microsoft Windows7 Professional, 開発環境: Microsoft Visual Studio 2008

[探索エージェント] 自律移動型ロボット(移動ロボット: EvolutionRobotics 社製 ER1, RFID リーダ: 富士通社製 F3972T130×2(実空間状況獲得用と位置情報獲得用)), 制御プログラム実行環境: 探索エージェント制御用 PC

[探索エージェント制御用 PC] 機種名: DELL Latitude D620, CPU: Intel Core2 Duo T2600(2.16GHz), Memory: 4GByte, OS: Microsoft Windows 7 Professional

[データベースサーバ] 機種名: DELL PowerEdge T410, CPU: Intel Xeon E5530(2.4GHz) × 2, Memory: 16GByte, OS: Microsoft Windows Server 2008 R2, DBMS: Microsoft SQL Server 2008

[実験室環境] タグ付き物体数: 2,168 個, 移動制御用 RFID タグ: 7,606 枚(床に 12.5cm 間隔で格子状に設置)



図4 実験風景

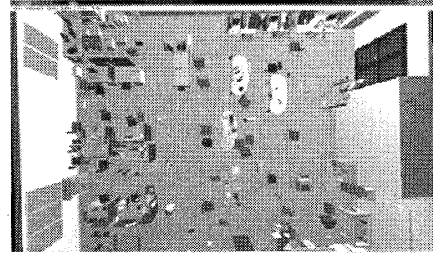


図5 実験環境

#### 4.1 ロボットによるCBDBの適用の評価

CBDB による能動的センサ移動の有用性を検証するため 2010/2/3 から 2010/2/18 までの間で検証実験を行った。探索エージェントは自律移動ロボットとし、2/3, 2/5, 2/7, 2/9, 2/10, 2/12, 2/15, 2/17 に能動的センサ移動による実空間探索を行った。能動的センサ移動を行うとき研究室において、複数の物品が頻繁に使用される作業卓5つを検知対象場所とし、作業卓上を出入りする物品の状況変化を確認した。図4は実験風景を示したものであり、ロボットの下部に取り付けられたリーダが床に敷き詰められた RFID を読み取ることでデータベースから位置情報を獲得し、移動制御を行った。また上部に取り付けられたリーダによって実空間状況の獲得を行った。図5は実験環境を仮想空間で示したものである。

実験結果を図6に示す。図6の面グラフは作業卓上にある物品に対する最終検知日からの経過日数の推移を示したものであり、折れ線グラフは実空間とデータベースの間に不整合が発生してしまっている物品数の推移を表している。実験開始前は、探索エージェントによる能動的センサ移動は全く行われていない状態であり、センサを装備した空間利用者が日常的に生活を行った結果、偶然あるいは意図的に対象物が検知されたログのみでデータベースが更新された状態である。実験開始前では、検知対象の検知がほとんど行われていないため、不整合が発生している物品が半分以上を占めてしまっていることが分かる。一方、実験開始後は CBDB に従い能動的にセンサを移動させ、実空間検知を行った。能動的にセンサを移動させ検知を行うことで、長期間検知が行われず、データベースの更新が滞っていた物品の多くの検知が行われ、実空間の最新の状況をデータベースに反映できていることが分かる。また、定期的に能動的センサ移動による検知を行うことで、実空間とデータベースとの間に不整合が発生してしまうことを防いでいることが分かる。以上より、過去のデータベースの履歴を利用することで、より効率的に実空間の物品状況を獲得する CBDB の有用性が確認された。

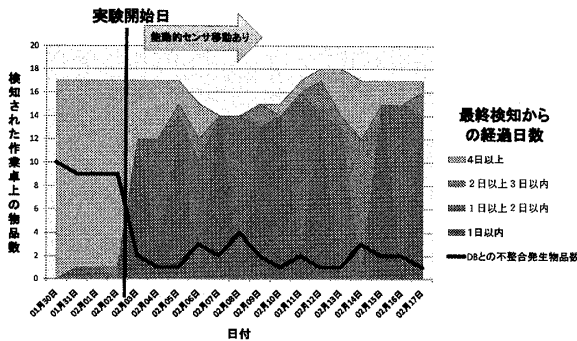


図6 ロボットによるCBDBの適用の評価

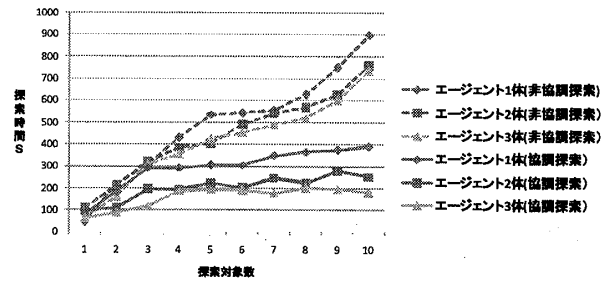


図7 シミュレーション結果

## 4.2 シミュレーションによる協調探索の検証

探索エージェントが複数存在する場合、探索エージェントが個々に探索を行うと、効率的な探索が行われず、探索コストが増大してしまう。そこで探索エージェント同士が現在の探索状況を協調し合うことで探索コストの削減が行われるかシミュレーションによって検証を行った。

協調探索では探索エージェントは自身の位置から一番近い探索対象から探索を行い、探索エージェントが複数存在する場合においては、探索対象が重複しないよう、データベースにアクセスしながら探索を行うこととした。

非協調探索では探索エージェントは複数の探索候補の中からランダムに探索対象を選ぶこととし、他の探索エージェントの探索状況を考慮に入れないものとした。

シミュレーション環境は図5に示した「概念共有環境 CONSENT」のデータを用いることとした。「概念共有環境 CONSENT」における物品情報は実空間と一対一の対応を持つため、より実環境に近い形でシミュレーションを行うことが可能である。

シミュレーションにおける探索エージェントの移動速度は100mm/sとし、旋回にかかる時間は考慮に入れないものとした。移動経路の決定にはダイクストラアルゴリズムを適用することとした。また探索対象は一月以上検知が行われていない物品の中で状況が頻繁に変化する物品上位10件とし、探索エージェントの位置はランダムに配置されるものとした。1件~10件までの各検索対象に対し、5回の探索シミュレーションをそれぞれ行った平均探索時間の結果を図7に示す。協調探索では探索エージェントの数が增多することで探索時間の削減が行われていることがわかる。また探索対象の数が多くなるほど、効率的な探索が行われていることがわかる。非協調探索では探索エージェント個々が他の探索エージェントに影響を及ぼさないため、ほとんど探索時間の削減がなされていないことがわかる。

以上のことより複数の探索エージェントが存在する場合において、CBDBを探索エージェントに適応したときの協調探索の有用性が確認された。

## 5 まとめ

本研究では、実空間の状況をより反映したデータベースを構築するため、過去の検知履歴をもとにセンサ移動の制御を行う手法CBDBを提案し、探索エージェントをロボットにした場合におけるCBDBの有用性を示した。また探索エージェントが複数存在する場合を考えたときに探索エージェント同士で協調した探索を実現するための手法を提案

し、シミュレーションによって有用性を示した。

今後の課題として、実空間において複数の探索エージェントへのCBDBの適用を考えている。

## 謝辞

本研究の一部は科学研究費補助金(課題番号21700102, および課題番号21013023)の助成を受けて行った。また自律移動ロボット導入には、横浜国立大学長尾智晴教授の協力を得た。

## 参考文献

- [1] Bora Kim, Euri Choi, Yunyoung Nam, and We-Duke Cho, "Incremental statistical methods for activity daily pattern extraction and user intention inference", *Journal of Ubiquitous Convergence Technology*, Vol.3, No. 1, pp. 27-34, 2009.3
- [2] J. Riekkki, T. Salminen, I. Alakärppä, "Requesting Pervasive Services by Touching RFID Tags", *Pervasive Computing, IEEE*, Volume 5, Issue 1, pp. 40-46, 2006.1-3
- [3] 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, pp.126-133, 2005. 10
- [4] 麦嶋慎也, 清水隆司, 富井尚志, "ユビキタス環境DBにおける利用者の概念を利用した行動支援手法", *日本データベース学会論文誌*, Vol.7, No.1, pp.221-226, 2008. 6
- [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), pp.1-13, 2007. 12
- [6] 千田陽介, 財部修平, 木室義彦, 長谷川勉 "自己位置推定のための散策型ロボットによる電子タグ埋没位置推定", *日本機械学会論文集 (C編)* 74巻746号, pp.178-186, 2008. 10
- [7] Byoung-Suk Choi, Joon-Woo Lee, and Ju-Jang Lee. "Localization and map-building of mobile robot based on rfid sensor fusion system. *Proc. 6th IEEE Intl. Conf. on Industrial Informatics(INDIN2008)*, pp. 412-415, 2008. 7
- [8] 草野弘行, 山下啓太, 富井尚志, "ユビキタス環境DBのための能動的センサ移動による実空間状況獲得" *DEIM Forum 2009 B4-4*, 2009