

ユビキタス環境データベースによる エージェントの物体状況探索制御手法

那須 洋之[†] 草野 弘行^{*} 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 〒240-8501 横浜市保土ヶ谷区常盤台 79-7

^{*} 横浜国立大学工学部電子情報工学科 〒240-8501 横浜市保土ヶ谷区常盤台 79-5

[‡] 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: [†] d05hc035@ynu.ac.jp, ^{*} b0344061@ynu.ac.jp, [‡] tommy@ynu.ac.jp

あらまし RFID を用いて実空間における物体の位置や ID をすべてデータベースに蓄積して、空間情報をデータベース化することが現実味を帯びてきた。しかし、このような環境下では、RFID リーダが置かれてない場所や何らかの原因で少しでも通信範囲から外れた物体の ID は取得できない。そこで、RFID を用いた空間情報データベースを構築する際に、RFID リーダが検知できない場所にある物体の探索を行い、その状況を更新するエージェントとしてロボットを用いる。そして、この空間情報データベースをまた、ロボットの制御の方針立てに用いることを考える。その一手法として、床に設置した RFID タグから位置情報を取得し、物体の状況探索を行うエージェントの実装を行う。まず、RFID リーダの通信範囲から外れて状況がわからなくなった物体をデータベースから検索する。その物体について空間利用者の行動履歴をデータベースから、物体が存在していると考えられる場所を推定する。その場所をエージェントに探索させ、発見した物体の状況について空間情報データベースの登録・更新を行う。この手法を CBDB(Control by Database)と定義し、本論文では本手法の優位性をプロトタイプを用いて評価する。

キーワード ユビキタス, ロボット, RFID, 空間共有

Control by Database for Object Context Retrieval Using Agent in Ubiquitous Environment

Hiroyuki NASU[†] Hiroyuki KUSANO^{*} and Takashi TOMII[‡]

[†] Department of Information Media and Environment Sciences, Graduate School of Environment and Information Sciences, Yokohama National University 79-7 Tokiwadai, Hodogaya-ku, Yokohama 240-8501 Japan

^{*} Division of Electrical and Computer Engineering, School of Engineering, Yokohama National University 79-5 Tokiwadai, Hodogaya-ku, Yokohama 240-8501 Japan

[‡] Faculty of Environment and Information Sciences, Yokohama National University 79-7 Tokiwadai, Hodogaya-ku, Yokohama 240-8501 Japan

E-mail: [†] d05hc035@ynu.ac.jp, ^{*} b0344061@ynu.ac.jp, [‡] tommy@ynu.ac.jp

Abstract In the real world, by using various sensors, such as RFID, location coordinate and ID of an object can be stored and managed on a database. However, under such an environment, if the object comes off from a detective range of a RFID reader, acquiring the position and the ID of that is impossible. Therefore we propose new method that an agent retrieves the object which comes off from a detective range of a RFID reader, and updates the database which storing the position of the object. And we also use the database for controlling the agent again. As for one method, we acquire the position of an object from RFID tags which we installed in a floor and implemented an agent retrieving the context of the object. At first the agent retrieves objects which comes off a detective range of RFID reader and estimated places where the object exists by inquiring histories of users' actions which they occurred. The agent retrieves for the places and updates the database based on the context of the objects which he discovered. We define the method as "Control by Database (CBDB)". In this paper, we evaluate effectiveness of our method by implemented prototype.

Keyword Ubiquitous, Robot, RFID, Space Sharing

1. はじめに

近年、無線 IC タグ(RFID)技術などの空間センサの登場により、時間や場所にとらわれることなくコンピュータの恩恵が受けられる「ユビキタス環境」が構築されるようになった[1][2]. ユビキタス環境では、人や物体の移動をセンサ等で検知することにより、様々な空間情報を取得することが可能となる[3]. また、ユビキタスホーム[4]のように、家庭での日常生活をセンサやロボットによってアシストするような応用事例も提案されている。我々は、取得した空間情報を DBMS で管理して、物体の位置や利用者の行動履歴などの検索、さらにパーソナルリアリティによる仮想環境を用いての空間の再現等を行ってきた[5][6].

このようなユビキタス環境を用いたアプリケーションでは、人や物体の位置や行動・状態を検索することを目的としたものが多い。それらは人や物体を常にセンサで検知し続ける必要があり、頻繁に移動する人や物体の位置情報を検知するためにはセンサの網羅性が重要である。しかし、センサにはそれぞれ固有の検知範囲が存在しており、その検知範囲がいつでも目的に適しているとは限らない。例えば、机の上に設置した RFID リーダの通信範囲に RFID タグの付いた物体が入ることで、その物体が机の上にあるという情報が得られるとする。この時、RFID リーダの通信範囲は机の上の全て領域をカバーしていなければ、物体が机の上にあるにもかかわらず検知できないということが生じる。また、逆に通信範囲が広すぎると物体は机の上になくにもかかわらず検知してしまうということが生じる。この問題を解決するための手段としてセンサの数を増やすことや異なる種類のセンサを組み合わせることが考えられるが、様々な場所で多数の人や物体をセンサするためには数多くのセンサが必要となり、そこにかかるコストは膨大なものとなる。また、それでもなおすべての場所で適したセンサの検知範囲を得るのは難しい。

そこで我々は、ユビキタス環境においてセンサの検知範囲外に出た物体を自律的に移動しながら探索し、その物体の状況を収集してデータベース(DB)に再登録するエージェントが有効であると考えた。物体の状況を探索するエージェントを設計するにあたり、前提とする環境について述べる。多くのユビキタス環境が RFID 技術を用いて構築されており、また、安価な電子タグインレットの生産の見通しが述べられている[7]. そこで、すべての物体に RFID タグが付いており、RFID リーダを用いて物体の状況を取得している環境を前提とする。また、物体状況探索を行うエージェントの制御の方針として、ユビキタス環境の空間情報を管理している DB に蓄積されている情報に従って制御し、物体を発見するとその状況を DB に更新することとした。この結果、DB のインスタンスには現実世界の正しい状態が蓄積されるので、次の制御の際にはより正しい情報を基に物体状況探索が可能となる。したがって、エージェントの目的は RFID リーダから外れた物体をより多く発見し DB に再登録することとなる。また、DB を用いた物体に関する情報の探索を実現するためのエージェントに必要な要件としては、(1)DB サーバと通信可能、(2)目的地に向かって自律的に空間内を移動可能、(3)物体の状況を検知可能(RFID リーダを持つ)、の3つが挙げられる。このような要件を満たすエージェントとしては人が考えられるが、人はいつでもそのような手間をかけることができ

るとは限らない。

一方で、iRobot 社製のおそうじロボット「Roomba」[8]のように自律的に空間内を移動し、利用者環境の支援を行うロボットが安価に利用できるようになってきている[9]. また、ユビキタスホームの様に、情報機器とのインタフェース等として人間の日常生活をサポートするロボットが用いられている[4]. そこで、物体状況に関する情報を収集するエージェントとしてロボットを利用しようと考えた。ロボットは無線 LAN や制御 PC を通じて DB サーバと通信可能であり、自律的に空間内を移動可能である。また、RFID リーダを設置することで物体の状況の検知も可能であり、位置を認識は物体の状況検知に用いている RFID リーダを用いて、ランドマークとして設置した RFID タグを検知することにより位置情報の取得が可能である[10][11].

以上のような背景から本稿ではユビキタス環境の情報収集を、DB を用いて制御されたエージェントで行う手法、CBDB(Control by Database)を提案する。また、CBDB 手法に基づいたプロトタイプをロボットを用いて構築し、本手法の優位性について評価を行い、本手法が有効であることを示す。

以下、第2章ではユビキタス環境について説明し、第3章では空間情報 DB を用いたエージェントの物体状況探索制御手法の設計を行い、第4章では設計に基づいたプロトタイプの構築、第5章で実験による評価を行い、第6章でまとめと今後の課題を述べる。

2. ユビキタス環境

近年、様々なセンサを用いて物体の位置や人の行動等を取得するユビキタス環境の研究が盛んに行われている[4]. 我々も概念共有環境 CONSENT(CONcept Sharing ENvironment)というユビキタス環境を提案してきた[5][12]. 本章では、ユビキタス環境の一例として概念共有環境について説明する。概念共有環境では、RFID リーダを机や本棚といった、よく物体が操作される場所に配置し、人や物体に RFID タグを取り付ける。そして、人が持っている RFID タグと物体に取り付けられた RFID タグが同時に RFID リーダに検知されることにより、物体状況を取得する。ここで物体状況について定義する。

定義. 物体状況

物体状況とは、物体の位置情報と誰が(who)物体を(what)どこで(where)どうした(how)という4つの属性で示された物体の状態とする。

物体の位置情報はその物体に取り付けられた RFID タグを検知した RFID リーダの位置から取得する。状態は人が持つ RFID タグの ID、物体に取り付けられた RFID タグの ID、それらを検知した RFID リーダの位置、そして物体の RFID タグの ID と RFID リーダの位置、RFID リーダへの入出の組、の4つのデータを DB に登録することによって DB 上で表現される。図1にその例を示す。図1は、利用者によって丸く囲まれた本が、テーブルに置かれた RFID リーダの通信範囲に持ち込まれた場面を表しており、そこから得られるデータとそれを DB に登録したときに DB 上で表現される物体の状態を示している。

また、DB にはそれぞれの物体の形状データも蓄積しており、物体の位置・状態・形状等の空間情報は DB のビューともいえるシーングラフとして抽出することで、PC 上に仮想空間として再現することも

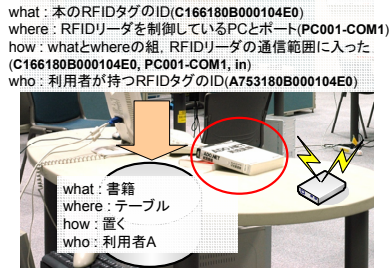


図 1. 物体の状態取得

可能である[6].

しかし、このようなユビキタス環境の問題点として、固定されているセンサの検知範囲から外れてしまう物体がでてきてしまう。

そこで、我々はユビキタス環境で使われるセンサの死角に入った物体状況を探査する「動くセンサ」をエージェントを用いて実現しようと考えた。次章で、エージェントの物体状況探査の設計を行う。

3. エージェントの物体状況探査の設計

エージェントの物体状況探査を設計するにあたり、まず前提とする環境から述べる。多くのユビキタス環境が RFID 技術を用いており、また1枚5円の安価な電子タグインレットの生産が可能である見通しが述べられている[7]。そこで本研究が前提とする環境としては、すべての物体に RFID タグが付いており、RFID リーダを用いて物体の状況を取得している環境とした。

そして、物体状況探査を行うエージェントの制御の方針として、ユビキタス環境の空間情報を管理している DB に蓄積されている情報に従って制御し、物体を発見するとその状況を DB に更新することとした。この結果、DB のインスタンスには現実世界の正しい状態が蓄積されるので、次の制御の際にはより正しい情報を基に物体状況探査が可能となる。したがって、エージェントの目的はまず RFID リーダから外れた物体をより多く発見し DB に再登録することとなる。

また、DB を用いた物体状況探査を実現するためにエージェントに必要な要件としては、以下の3つが挙げられる。

- (1)DB サーバと通信可能
- (2)目的地に向かって自律的に空間内を移動可能
- (3)物体の状況を検知可能(RFID リーダを持つ)

このような要件を満たすエージェントとしては人が考えられるが、人はいつでもそのような手間をかけることができるとは限らない。そこで、物体状況に関する情報を収集するエージェントとしてロボットを利用しようと考えた。ロボットは無線 LAN や制御 PC を通じて DB サーバと通信可能であり、自律的に空間内を移動可能である。また、RFID リーダを設置することで物体の状況の検知も可能である。位置を認識には物体状況の検知に用いている RFID 技術を用いて、ランドマークとして設置した RFID タグを検知することにより位置情報の取得が可能である[10][11]。そこで、物体状況の探査エージェントをロボットでも実現できるように設計を行う。

まず、安価なロボットでも実装可能にするために、以下の2つをエージェントの制御の基本方針とした。

- 移動は基本的かつ簡単な動きのみで行う
- 用いるセンサは RFID のみで行う

この方針に基づき設計を行った物体状況探査の流れは、以下の通りである。

- i)DB より RFID リーダから外れている物体を検索し、その物体が存在すると考えられる地点も DB より検索する
- ii)その地点に向かって自律的に移動を行う
- iii)到着後近傍を探査する
- iv)発見した物体の状況を DB に再登録する

この物体状況探査手法はユビキタス環境の空間情報 DB に蓄積された情報を基にエージェントを制御する手法である。そこで、本手法を CBDB(Control By Database)と定義する。以下 i)~iv)についてさらに詳しく設計する。

3.1. 探査物体と探査地点の決定

エージェントはまず RFID リーダから外れている探査すべき物体を空間情報 DB から検索する。また、実空間の全探査をせず効率良く探すために、探査する物体が存在しそうな地点を設定できると良いので、それも空間情報 DB を検索することにより得る。探査する物体、探査する地点を以下のように定義する。

定義. 探査物体

探査物体とは、エージェントが探査するための目標物である。

RFID リーダの通信範囲からはずれている物体を空間情報 DB から検索して得る。

定義. 探査地点

探査地点とは、エージェントが探査物体を探査するための目標点である。

探査物体の情報を空間情報 DB から検索して得る。

例：最後に検知した RFID リーダがある地点、最も検知した数が多い RFID リーダがある地点、またはその近傍。

3.2. エージェントの移動制御

次に探査地点までの移動の方法を設計する。設計方針として、移動はどのような種類のロボットでも実現可能にするため、基本的かつ簡単な動きとして前進・後退・方法転換のみで設計する。

エージェントが目的の地点に向かうのに必要なことがらとして以下の3つが考えられる。

- (1)探査地点までの経路決定と障害物の回避
- (2)自己の位置情報の取得
- (3)移動方向の決定
- (4)移動

まず(1)の探査地点までの経路決定と障害物回避について設計する。探査地点までの最短経路を移動するためや障害物を避けるため、障害物を考慮した最短経路の導出を設計する。最短経路の導出方法は、以下の流れでグリッドタグをノードとしたダイクストラ法で設計を行うこととした。詳細は以下のステップで構成する。

1. DB よりグリッドタグの情報を取得
2. DB より空間内の物体の座標や形状データが記述されたシーングラフを取得
3. 空間内の障害物を考慮してグリッドタグ間の距離テーブルを作成
4. ダイクストラ法によりエージェントの位置からそれぞれの探

探索地点までの最短経路を導出

1, 2 は DB にクエリを発行することにより取得できる. 3 の距離テーブルは, シーングラフとして得た空間を描画して, グリッドタグ間の障害物の有無を判定する. そして, もし障害物があればそのタグ間の距離は無限大とし, 障害物が無ければそのグリッドタグ間の距離を求めて作成する. また, できるだけ検知するグリッドタグを多くして経路から大きく外れないようにするため, エージェントは一定の距離にあるタグにのみ進めることとし, 縦, 横, 斜めの 8 方向の 8 つのグリッドタグ以外のタグへの距離を無限大とする. 4 ではエージェントの現在位置から探索地点までの最短経路をダイクストラ法で導出する. ここで得られる最短経路は探索地点までのグリッドタグの ID のリストである.

次に(2)のエージェントの位置情報の取得について述べる. 位置情報の取得はエージェントが目的地へ向かう方向を決定するのに不可欠である. そこで, 物体の状況検知に用いる RFID リーダを用いて, ランドマークとして設置した RFID タグにより位置情報の取得を行う. ランドマークとしての RFID タグの設置は, 床に一定間隔でグリッド状に設置し, この座標をすべて DB に登録した (これをグリッドタグと定義する). 壁や物体に貼った RFID タグでも位置取得が行えるが, 壁に貼ったタグで位置取得を行うとすると, エージェントが壁際を動くことになり, 様々な場所で物体状況探索を行うエージェントとしては望ましくない. また, 物体に貼ったタグから位置取得を行うとすると, 物体が少ない場所において位置取得が困難となる. そこで, 自由に探索を行いながら安定して位置情報の取得が行えるグリッドタグから位置取得を行うこととした.

次に(3)(4)の移動方向の決定方法と移動について述べる. 移動方向の変更はグリッドタグを検知するたびに行われる. これは, エージェントが一定間隔で設置されたグリッドタグのみから位置取得を行っており, グリッドタグを検知していないときは, 障害物等により定めた方向に正確に進んでいないことがある. そして, グリッドタグを検知した時のみ正確な座標を保持していると考えられるためである. そして, 検知したグリッドタグとその前に検知したグリッドタグから進行方向を算出し, (1)で導出した経路に従っていよいよ経路の次の目標方向へ方向転換する. 従っていない場合は(1)の 4 を再度行い, 新しい経路を導出し, その経路に従うように方向転換する. そして, 次のグリッドタグを検知するまで前進するが, 一定時間グリッドタグを検知できない場合は障害物等に阻まれている可能性があるため, 後退や方向転換を行いグリッドタグを探ることとした.

また, 探索物体が複数ある時初めに探索する物体として, 導出したそれぞれの探索地点までの最短経路の距離を比較し, 最も経路が短い探索地点の探索物体を次の探索物体とすることとする.

3.3. 探索地点の近傍探索

探索物体は探索地点に設置されている RFID リーダの通信範囲から外れているので, 探索地点から少し離れた地点にあることも考えられる. 例えば, 机の上に置いてあった物体が机の下に落ちているといった場合である. そこで, 探索地点に到着したエージェントは, 探索地点だけではなく探索地点の周辺を探索する必要がある.

その方法として, 我々は以下の 4 つ方法を設計した.

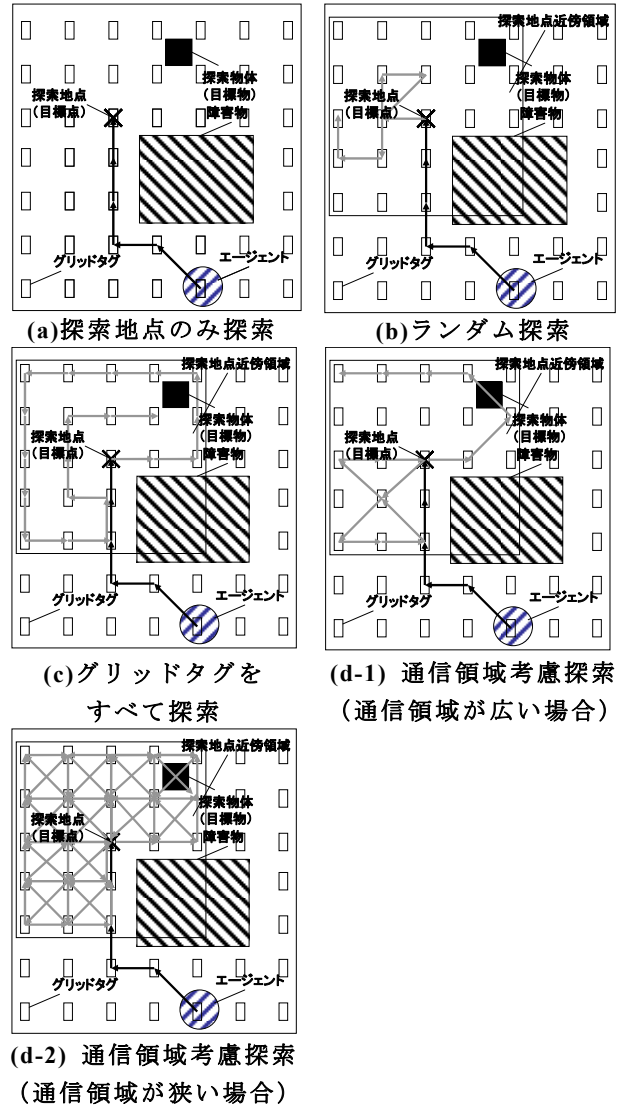


図 2. 探索地点の近傍探索

- (a) 探索地点のみを探索
- (b) 探索地点近傍の一定領域をランダムに探索
- (c) 探索地点近傍の一定領域のグリッドタグをすべて検知して探索
- (d) 探索地点近傍の一定領域を RFID リーダの通信範囲を考えて網羅的に探索

上述(a)~(d)の制御方針によって得られる経路を図 2(a)~(d)にそれぞれ示す. 図 2 において, 白い四角はグリッドタグ, バツ印は探索地点, 黒い四角は探索物体 (ただし, 探索地点近傍に目標物が存在している場合), 斜線の入った丸はエージェント, 斜線の入った四角は障害物を表す.

(a)は, 現在地点からグリッドタグを検知しながら目標地点に達するいわゆる移動制御である. 特徴として移動時間は短い, 通信範囲の狭い RFID リーダであると, 物体の発見は難しい. (b)は, 目標地点に達すると, 目標地点の周辺をランダムに探索する. 特徴として探索時間はランダムに探索する時間分(a)より長くなるが, 探索地点近傍を網羅的に探索できるので, 物体を発見できる確率が高まる, また一定時間で探索を終えて次の目標に移動することができる. (c)は目標地点に

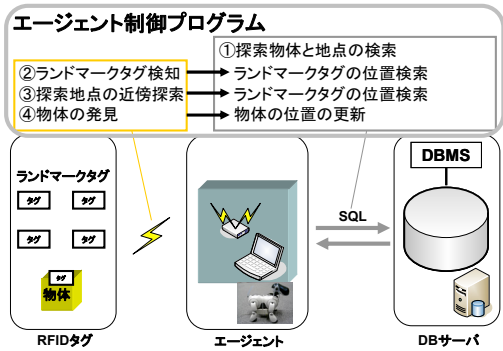


図 3. エージェントによる物体状況探索

達すると、目標地点の周辺にあるグリッドタグをすべて検索し、それらをすべて検知する。特徴として(a), (b)に比べて時間がかかるが、より網羅的に探索するので高確率で物体を発見できる。(d)は目標地点に達すると、決められた目標地点の周辺すべてが1度はRFIDリーダの通信範囲に入るように探索する。特徴として探索時間はリーダの通信範囲により変わってくる。例えば、RFIDリーダの通信範囲が広いと、図2の(d-1)のようにエージェントが探索する距離は短くなるが、通信範囲が狭いと図2の(d-2)のように探索する距離が長くなる。物体の発見に関しては、網羅的に探索するので、その領域にある物体をほぼすべて発見できる。

3.4. 物体発見時の更新

エージェントは探索目標物体を発見すると、その物体の状況をDBに再登録するために更新を行う。

これまで述べてきた全体の流れをまとめた図を図3に示す。

4. 実装

これまでに述べてきた設計に従って、我々の研究室で実際に運用しているユビキタス環境のプロトタイプシステムにおいて物体状況探索エージェントの実装を行った。プロトタイプシステムの論理モデルを図4に示す。DBサーバは以下のとおりである。

- 機種名：Dell Precision 530
- CPU：Intel Xeon 2.4GHz(DUAL 構成)
- Memory：1GByte
- OS：Microsoft Windows Server 2003
- DBMS：Microsoft SQL Server 2005

3章で述べたエージェントの実体としてSONY社製のAIBO ERS-7M3(図5)と制御用のPCを用いた。制御用PCは以下のとおりである。

- 機種名：自作構成PC
- CPU：AMD Athlon 2500+
- Memory：1GByte
- OS：Microsoft Windows XP Professional
- 開発環境：Visual Studio .NET 2005

また、RFIDリーダとして、富士通社製RFIDタグリーダライタ(パッシブ形、ショートレンジタイプ)F3972T110、RFIDタグとしてオムロン社製タグインレット形V720S-D13P01を用いた(図6)。

AIBOは無線LANにより制御用PCを通じてDBサーバと通信を行う。また、RFIDリーダは制御用PCから5mの有線のUSB延長コー

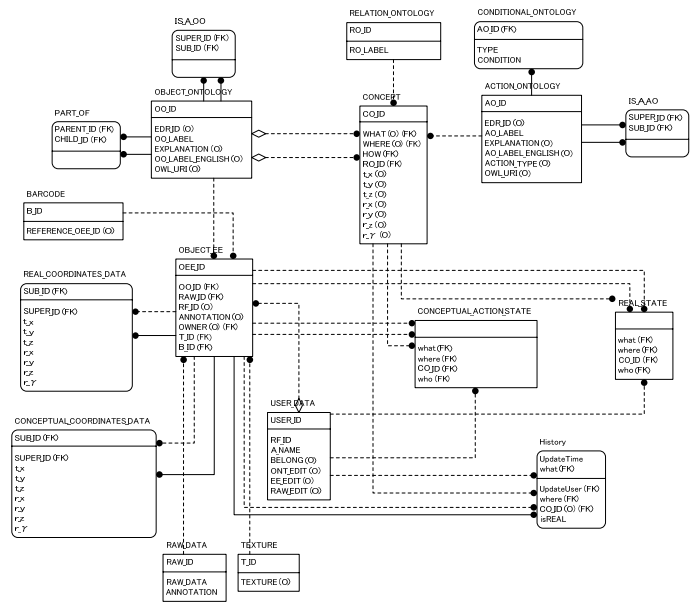


図 4. 論理モデル

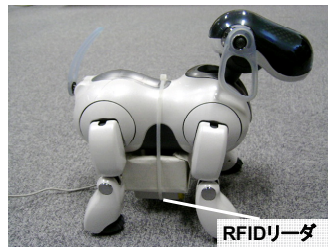


図 5. エージェント



図 6. RFIDリーダとタグ

ドを用いてAIBOに取り付けた(図5)。

4.1. 探索物体と探索地点の検索

プロトタイプシステムの論理スキーマに基づいて探索物体と探索地点の検索文を実装した。探索物体を検索するクエリは図4において現在の物体の状態を表す「REAL_STATE」テーブルにおいて2章で述べたhowを表す「CO_ID」が「RFIDリーダの通信範囲から外れる」に対応する物体のID「what」を得ることにより検索できる。

次に探索地点を決定するための検索として、以下の2つのクエリを実装した。

探索地点決定クエリ1：最後にRFIDに検知されていた地点
 探索地点決定クエリ2：その物体が一番良く使われている地点
 このクエリ1は図4において現在の物体の状態を表す「REAL_STATE」テーブルにおいて、先に得た探索物体のID「what」に対応する地点のID「where」を得ることにより検索できる。また、クエリ2は図4において物体の状態が更新されるたびにその状態を蓄積していく「History」テーブルにおいて、先に得た探索物体のID「what」に対応する地点のID「where」の数をカウントし、その中で最も数が多い地点を得ることにより検索できる。

4.2. エージェントの移動方法の実装

3.2節で設計した通り探索地点までの移動を実装した。

また、(2)~(4)のエージェントの制御はAIBOの開発環境「AIBO Remote Framework」[13]を用いて実装を行った。

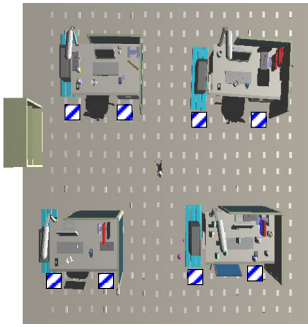


図 7. 概念共有環境ブラウザによる実現環境の再現



図 8. 物体の例

4.3. 探索地点の近傍探索の実装

3.3 節で設計した 4 つの方法をそれぞれ実装した。

まず(a)の方法は、探索地点のみを探索するので、探索地点についてら次の探索地点に向かうように制御する。

(b)の方法は、探索地点近傍についてあらかじめ設定した一定時間、探索地点近傍の探索を行い、その後次の探索地点に向かうように制御する。

(c)の方法は、探索地点近傍に着くとクエリを DB に発行し、近傍のグリッドタグの ID を得る。得たグリッドタグの中からエージェントに近い順に探索を行っていき、すべてのグリッドタグを検出した時点で次の探索地点に向かうように制御する。

(d)の方法は、RFIDリーダの通信範囲をあらかじめ設定しておき、探索地点近傍の 1cm^2 ごとに「未探索」・「探索済み」・「障害物」という 3 値を持った配列を用意し、グリッドタグの ID を検知することに前に検知したグリッドタグとの直線上をエージェントが通った経路として、その RFID リーダの通信範囲を検知済みとしていく。障害物の位置は意味情報付きシーングラフを用いて決定する。全ての領域が探索済みになったら次の探索地点に向かうように制御する。なお、この配列はエージェント制御プログラムによって保持・更新される。

4.4. 物体の位置情報の更新

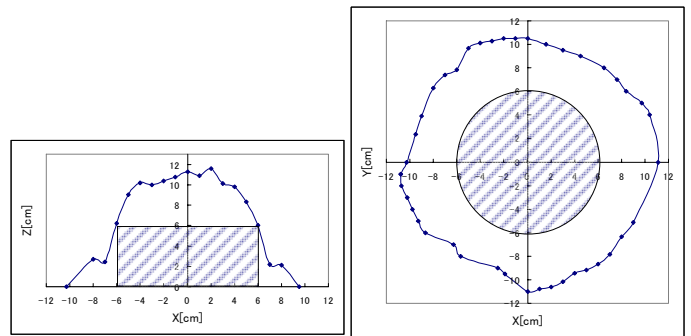
エージェントは、物体を発見すると自分の位置から物体の位置を判断して、DB に更新をかける。このとき、発見した物体の位置はエージェントが物体を発見した時の位置座標となる。これにより、実際の物体の位置とは RFID リーダの通信範囲の誤差を含むが、ほぼ実際の位置に近い物体の座標を DB に再登録することができる。

4.5. シーングラフの更新

概念共有環境では多数の利用者が操作を行うので、それぞれの利用者が持っているシーングラフは常に最新であるとは限らない。物体状況探索エージェントはシーングラフを用いて障害物の形状や座標を得ているので、常に最新である必要がある。そこで他の利用者が行う操作によって更新された DB と常に整合性が取れた状態にしなければならぬ。そこで、DB と利用者が持つシーングラフの整合を行う手法が必要となる。そこで Broadcast を用いて更新データをエージェントに送信しシーングラフの更新を行う手法[14]を用いた。

5. 実験による検証

我々のユビキタス環境のプロトタイプ DB は、研究室内利用者数



(a) x-z 平面, y=0

(b) x-y 平面, z=0

図 9. RFID リーダ通信範囲

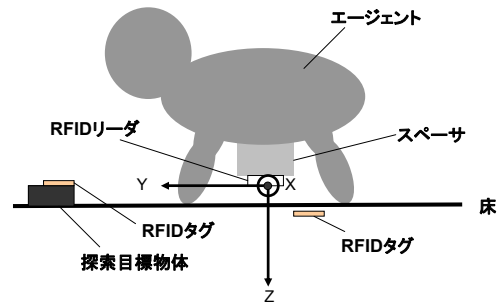


図 10. エージェントの RFID リーダの設置

表 1. 探索物体と探索地点の検索

(a) クエリ 1 の実行結果

(b) クエリ 2 の実行結果

id	SWH	ANNOTATION	id	SWH	ANNOTATION
1	158	携帯	1	158	携帯
2	328	メガネを入れるケース	2	328	メガネを入れるケース
3	330	眼鏡	3	330	眼鏡
4	332	スマホの手帳	4	332	スマホの手帳
5	347	ソフトウエア開発技術書	5	347	ソフトウエア開発技術書
6	384	携帯	6	384	携帯
7	494	PC	7	494	パソコン
8	496	大卒の入試参考書	8	496	大卒の入試参考書
9	560	論文集MPS2003	9	560	論文集MPS2003
10	561	論文集MPS2004	10	561	論文集MPS2004
11	562	論文集MPS2005	11	562	論文集MPS2005
12	590	ビルの構造(500冊)	12	590	ビルの構造(500冊)
13	620	3次元完全マスタリングソフトウエア開発技術書 2006年版	13	620	3次元完全マスタリングソフトウエア開発技術書 2006年版
14	772	ポト	14	772	ポト
15	887	ミッドジョーズ	15	887	ミッドジョーズ
16	894	キートンモ	16	894	キートンモ
17	895	キートンモ	17	895	キートンモ
18	969	Hot Pepper 12月号	18	969	Hot Pepper 12月号
19	1073	黒豆マリ	19	1073	黒豆マリ
20	1074	桜花(雑誌)にきり	20	1074	桜花(雑誌)にきり
21	1080	1号	21	1080	1号
22	1081	ホトに開いたカブ焼きそば	22	1081	ホトに開いたカブ焼きそば
23	1088	チョコボール(キャラメル)	23	1088	チョコボール(キャラメル)
24	1103	おにぎり 黒梅	24	1103	おにぎり 黒梅
25	1104	焼きだん	25	1104	焼きだん
26	1456	伊豆海門500ml	26	1456	伊豆海門500ml

14人で2006年9月18日から2007年2月12日まで約5ヶ月間、RFIDで物体の位置情報が取れたと仮定して入力した物体の情報が蓄積してある。これを用いて今回実験を行った。実現環境として、我々の研究室の一部の生活空間である約 $4\text{m} \times 4.5\text{m}$ の領域を用いた (図 7)。この領域の状況は机が 4 台、椅子が 4 脚、本棚が 1 台、PC が 4 台設置されている。そして、グリッドタグ 237 枚が 25cm 間隔で床に配置されている。また、物体には図 8 のように RFID タグを取り付けられている。

5.1. エージェントに設置した RFID リーダの通信範囲の測定

一般に、RFID リーダとタグの組み合わせによって読み取り可能範囲は変化する。そこでエージェントに RFID リーダを設置するにあたり、まず RFID リーダの読み取り可能範囲の確認を行った。測定は次のように行った。

1. 方眼紙の上に RFID リーダを固定する。
2. RFID タグを RFID リーダと水平にして X,Y,Z 方向に少しずつずらしていき通信範囲の限界を測定する。

得られた読み取り可能範囲を図9(a)と(b)に示す。

この結果、図10に示すように、床上の物体（に貼付されたタグ）とグリッドタグを検知するために、AIBOの腹部に約50mmのスペーサをはさんでRFIDリーダを設置した。なお、図9(a)と(b)の座標系は図10に示すとおりである。

これにより、AIBOの下部直径約12cmの領域内にあるRFIDタグを検知することが可能であったため、この領域をRFIDリーダの見地有効領域とした。今回の実験で検知有効と判断した領域を図9(a)と(b)の斜線領域で示す。

5.2. 探索地点決定のクエリの評価

実装した探索地点決定クエリは、4.1節に示したとおり、RFIDリーダの検知下に存在していない物体について、「それらが直前に検知されたRFIDリーダが設置されている地点」または「それらが今までに一番多く検知されたRFIDリーダが設置されている地点」を返すクエリである（探索地点決定クエリ1,2）。これらのクエリが探索に有効であるかどうかを、まず人手によって評価した。ここでは対象とする環境を我々の研究室全体とした。実験用DBに対して、クエリ1にさらに探索物体のIDとアノテーションを取得するようにして発行した結果を表1の(a)に示す。

表1の属性whatの値はタグが貼付された物体のID、whereの値はそのタグを検知したRFIDリーダが設置された物体のIDである。これらのIDはそれぞれの位置情報と関連付けられている。従って、where値であるIDに関連付けられた座標が探索地点となる。すなわち、表1が示すのは次の情報である。「クエリの評価を行っている現在では、空間内のどのRFIDリーダでも検知することができないもののIDと、それが最後に検知された地点のIDの組は、26通り存在している。」この26個の物体について、人手によって実際の地点の確認を行った。この結果、最後に検知された地点の近傍で発見できた物体は7個であった。

また、クエリ2も同様に発行した結果を表1の(b)に示す。こちらも人手によって実際の地点の確認を行った。この結果、一番多く検知された地点の近傍で発見できた物体は26個中6個であった。

しかし現在の実装上、DBで管理されている環境の外に持ち出されたかどうかは取得できていない。検索結果として得た26個の物体の内、現在管理された環境内にある物体を人手で探索したところ8個であった。したがって、検索結果として得た26個の物体のうち18個は管理されている環境の外に持ち出された物体であった。それらの物体は管理されている環境の出入りにRFIDリーダを置くことで持ち出される時に取得可能である。つまり、これ以外の物体は現状ではクエリの結果に含まれているが、出入りにRFIDリーダを設置することで除外できると考えられる。そこで全探索物体を8個として考えると、それぞれのクエリの結果はRFIDリーダから外れている物体の約8.5割（クエリ1）、7.5割（クエリ2）で実際に物体がある地点を導き出していることとなる。したがって、今回実装した探索地点決定クエリが何の情報もなく探索するより有効であると考えられる。また、今回は2つ探索地点決定クエリを発行したが、そのクエリの有効性は環境によって異なってくる。これには、探索する環境により利用者がその環境に合ったクエリに変更して検索することで対応することが可能

である。

5.3. 探索地点の周辺探索方法の評価

4.3節で実装した4つの周辺探索方法について、実際に探索をして評価を行う。

方法(a):探索地点のみ探索

方法(b):探索地点近傍をランダムで探索

方法(c):探索地点近傍のグリッドタグをすべて検知して探索

方法(d):探索地点近傍をRFIDリーダの通信範囲を考慮して網羅的に探索

図7の実現環境において、8個の物体を2つずつ4つの机の近傍に配置し（図7の四角い斜線）、探索地点としてその4つの机を指定した。そして、それぞれの方法で4回ずつ探索を行い、すべての地点の探索を終えるまでの時間と見つけた物体の数を測定した。ここで、ランダム探索時間は1箇所の探索地点において2分とした。探索地点の近傍は探索地点からX,Y座標ともに±75cmとした。4回の測定の平均を表2に示す。

表2において方法(d)の探索時間に値がないが、これは今回用いたRFIDリーダの通信範囲が狭く、近傍をすべて網羅することができなかったためである。これについては今後通信範囲のより大きなRFIDを用いて考察する必要がある。表2を見ると、方法(a)と方法(b)の結果に大きな違いがないが、これはエージェントが移動を行うとき、導出している経路から外れることあり、それにより方法(a)で探索を行っているときでもランダム探索と同じことが行われているためであると考えられる。また、方法(c)は方法(a)、(b)に比べ時間は約2倍かかっているが探索物体も約2倍発見している。3章で述べた通り、物体状況探索のアプリケーションの一番の目的は物体を発見することなので、今回構築したプロトタイプでは方法(c)の探索方法が一番有効であると言える。

5.4. 本手法の優位性の評価

DBを用いたエージェント制御(CBDB)の優位性を評価するために、5.3節の実験環境において、次の2種類の物体状況探索実験を行った。

1. DBを使用せず検索物体と探索地点のリストなしで制御を行う方法
2. 探索物体と探索地点のリストをDBの検索を用いて作成し、制御を行う方法(CBDB)

1の方法ではおそうじロボットのように実験環境全体においてランダムに網羅的に探索を行う。2の方法では、DBに検索をかけて探索地点を決定して探索を行う。近傍探索の方法は5.3節で結果が最もよかった方法(c)を用いた。CBDBに用いるDBとしては5.1節で述べた概念共有環境DBよりを用いた。1日に1回ずつ一週間（平日と見立てて人が来ている5日間）実験を行った。探索物体の数はその時RFIDリーダから外れていた物体なのでそれぞれ異なり、1日目：7個、2日目：9個、3日目：8個、4日目：9個、5日目：9個であった。結果を表3に示す。

CBDBを用いなかった場合は時間が掛かり探索中にバッテリー切れを起こして探索が中断されるまで探索を行ったので探索時間は得られていない。この結果により、提案手法の方が効率良く物体を探索し発見できていることがわかる。これにより、DB内のデータを用いて

表 2. 探索地点の周辺探索の評価

方法	時間[s]	発見した物体数[個]
方法(a)	1086	2.0
方法(b)	1404	2.25
方法(c)	2836	4.75
方法(d)		

表 3. CBDB の優位性の評価

実験日	探索物体[個]	方法	時間[s]	発見した物体数[個]
1日目	7	DB未使用		1
		CBDB	1893	5
2日目	9	DB未使用		2
		CBDB	2681	5
3日目	8	DB未使用		1
		CBDB	3169	4
4日目	9	DB未使用		3
		CBDB	2863	5
5日目	9	DB未使用		2
		CBDB	2524	5

物体状況探索を行うことによる提案手法(CBDB)に優位性があると言える。

5.5. 実験の考察

本稿で提案した物体状況探索手法が空間情報 DB に蓄積された情報を用いて、エージェントを制御することにより、DB により制御を行わない場合より効率良く探索が行えることを示した。

しかし、本稿で行った評価では実験環境の規模が小さかったため CBDB を用いた場合と DB を用いた場合に大きな差が得られていない。そこで、今後さらに探索物体が多い環境での評価を行っていく必要がある。

また、探索時間は長くかかっているが、これはエージェントを変換することにより短縮可能であると考えられる。

さらに、設計した4つの探索地点の近傍探索方法に評価においては、通信範囲が狭い1つRFIDリーダでのみでしか実験を行っていないため方法(d)の評価が十分とは言えない。したがって今後、異なる通信範囲を持つRFIDリーダを用いて評価を行うことが必要である。また、グリッドタグの設置間隔の評価等も今後行っていく必要がある。

5.6. エージェントによる物体状況探索の応用

今回エージェントの物体状況探索制御の実験として、位置情報の更新のみを行っていたが、例えば、床に置いてある物体を探索した時、発見した物体が、既に食べるや飲むという行動が行われた後の食品であれば、位置情報の更新とともに発見した時に利用者にダイアログを出す等して捨てるといったサインを送ることも考えられる。この探索アプリケーションはおそうじロボット[8]の発展的なものであると考えられることもでき、有効である。

また、この手法は3次元の形状データを記述したシーングラフを用いているので、ランドマークタグを様々なところに設置することにより3次元での探索が可能である。そして、シーングラフの更新によりエージェントが増えた場合も対応可能である。したがって、床上だけでなく棚の中をスキャンするエージェントや机の上をスキャンするエージェントを作成することも可能で、図書館の書籍整理や商店の棚卸し等、本手法が他の場面にも適用可能であると考えられる。

6. まとめ

本稿では、ユビキタス環境においてRFIDリーダの通信範囲から外れて状況がわからなくなった物体を、空間情報を管理するDBに蓄積

された情報によって制御されるエージェントを用いて探索し、DBに再登録する手法(CBDB)を設計し、提案手法CBDBとDBで制御しない方法の2つの比較実験を行い、本手法の優位性を評価した。

今後の課題として、さらに探索物体が多い環境での本手法のさらなる評価や探索物体1つに対して複数の探索地点の設定等が考えられる。

謝辞

本研究は平成17年度および18年度横浜国立大学大学院環境情報研究院共同研究プロジェクトの助成を受けて行った。また本研究の一部は、文部科学省科学研究費補助金(課題番号17700097)の支援による。

文 献

- [1] ユビキタス ID センター
<http://www.uidcenter.org/>
- [2] EPCglobal
<http://www.epcglobalinc.org/>
- [3] Taketoshi Mori, Hiroshi Noguchi, Aritoki Takada, Tomomasa Sato. Sensing Room: Distributed Sensor Environment for Measurement of Human Daily Behavior First International Workshop on Networked Sensing Systems(INSS2004), pp.40-43, 6 2004
- [4] 上田博唯, 美濃導彦, 近間正樹, 佐竹純二, 小林亮博, 宮脇健三郎, 木戸出正継, “家庭内ユビキタスネットワークと対話型ロボットの協調による人ロボットインタラクション”, 電子情報通信学会 ネットワーク・ロボット時限研究会, 2006.11
- [5] 小川悌知, 賀来健一, 渡邊文隆, 佐渡山英史, 富井尚志, “概念共有環境 CONSENT における行動パターンの取得”, Proc. of Data Engineering Workshop (DEWS2006), 4B-i9, March, 2006
- [6] 賀来健一, 那須洋之, 南博康, 富井尚志, “複数利用者間で意味を共有した検索・操作が可能な仮想空間ブラウザの提案”, 電子情報通信学会データ工学研究専門委員会主催第16回データ工学ワークショップ(DEWS2005), Proc. on Data Engineering Workshop, DEWS2005 1D-d5, 2005.3
- [7] 電子タグ 響プロジェクト
[http://www.meti.go.jp/policy/it_policy/tag/tagtyousakenkyuu\(hibiki\).htm](http://www.meti.go.jp/policy/it_policy/tag/tagtyousakenkyuu(hibiki).htm)
- [8] iRobot 社製の Roomba
<http://www.roombavac.com/>
- [9] 村井保之, 巽久行, 宮川正弘, 徳増眞司, “RFIDリーダ・ライタ搭載ロボットによる視覚障害者支援”, 情報科学技術フォーラム(FIT2005), pp.533-534, September, 2005
- [10] 田中完爾, 木室義彦, 山野健太郎, 平山満, 近藤英二, 松本三千人, “RFID システムによる自己位置推定とタグ配置作業”, 電子情報通信学会論文誌 D, Vol.J88-D2, No.9, pp.1759-1770, 2005
- [11] Dirk Haehnel, Wolfram Burgard, Dieter Fox, Ken Fishkin, Matthai Philipose. "Mapping and Localization with RFID Technology". IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA), pp. 1015-1020, 2004
- [12] 富井尚志, “マルチメディアデータベースに基づく高度コミュニティ空間の実現”, 信学誌, Vol.89, No.6, pp.511-517, 2006.6
- [13] AIBO SDE
<http://openr.aibo.com/>
- [14] 那須洋之, 賀来健一, 富井尚志, “仮想オフィス環境におけるマルチクライアント機能の実装と更新反映伝播時間の評価”, 第4回情報科学技術フォーラム(FIT2005)講演論文集, D-024, pp.53-56, 2005.9