

環境配置センサ群と作業ロボットによる日用物品の追跡

関屋翔 (九州大学) 村上剛司 (九州大学) 松尾一矢 (九州大学)
長谷川勉 (九州大学) 倉爪亮 (九州大学)

Object Tracking by Robotic Manipulation and Embedded Sensors in an Everyday Environment

Sho SEKIYA, Kouji MURAKAMI, Kazuya MATSUO,
Tsutomu HASEGAWA, Ryo KURAZUME (Kyushu University)

Abstract— This paper describes a new approach to the object tracking. We have installed sensors to an environment including cabinets and the floor. In addition, a robot measures the placement of an object whenever it handles the object, and the robot recognizes the object using RFID reader mounted on its hands. The object tracking system is implemented by integrating information measured by sensors embedded in the environment and robots.

Key Words: RobotTown, Object Tracking, RFID

1. はじめに

我々は、環境にセンサネットワークを固定配置し、そこで得られた環境情報をロボットへ渡すことでその活動を支援する仕組みの構築を環境情報構造化と呼び、その開発を進めている。環境に配置されたセンサネットワークは、これまでロボットが自身のセンサで行っていた環境計測より、広範囲かつ多様な環境計測を実行し、その計測結果を観測情報としてロボットへ提供する。従って、情報構造化環境では、ロボットは自身の活動や人間の生活行動、太陽の運行など自然現象により生じる環境変化へ対応しやすくなる。我々はこれまでにロボットタウン (Fig. 1) という情報構造化環境プラットフォームを構築し、双腕移動ロボットによる日用品の取り寄せサービスを実現している [1][2]。しかし、これまでに構築した情報構造化環境では、ロボットは環境から情報を受け取るのみであり、ロボットの作業情報を環境に配置したセンサネットワークと共有できていなかった。

本研究では、ロボットの作業情報を環境情報構造化の枠組みの中に取り込み、ロボットの作業情報と環境に配置されたセンサネットワークの計測情報を統合した環境計測を実現する。本稿では、その最初のアプリケーションである物体追跡システムについて述べる。

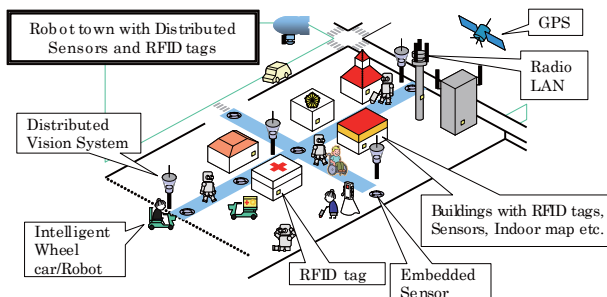


Fig.1 Concept of RobotTown.

2. システム構成

日常生活環境において、物品は

- (1) 収納庫など家具の中や上
- (2) 床の上
- (3) 人間やロボットなどの移動体が所持

のいずれかがあると仮定できる。これに対応して物品追跡を行う提案システムは以下の4つの要素で構成される。

- A) 知的収納庫
- B) Floor Sensing System
- C) RFID リーダ付双腕ロボット
- D) 環境情報管理機構 (Town Management System:TMS)

物品情報の流れを、Fig. 2 に示す。以降に、各要素の詳細を述べる。

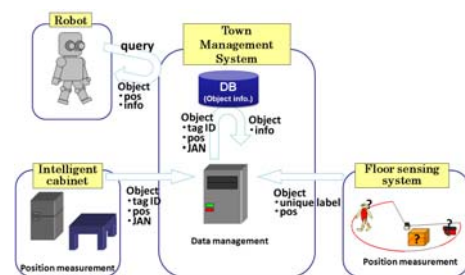


Fig.2 Data flow of object tracking system.

2.1 知的収納庫

ロードセルと RFID リーダを設置して収納庫を知能化する。ロードセルを棚板の下に複数個設置し、各ロードセルに加わる荷重の重心位置として棚板上の物品の位置を求める。RFID(Radio Frequency IDentification)は物品の識別に用いる。ユニークな ID を持つタグを物品に貼付すれば、この ID をキーとして位置情報と物品情報を統合・管理できる。物品名やサイズ、重量など

の物品情報は、タグ ID に関連付けて事前に環境情報管理機構に登録しておく。RFID リーダでタグ ID を新規に検出すると、ロードセルで新規に検出された物品の位置情報がそのタグ ID に関連付けて管理される。

2.2 Floor Sensing System

収納庫に比べて相対的に広い空間を対象とする床面上の物体位置計測には、センサを密に配置することが難しい。そこで、LRF を用いて床上物体の位置計測を行う。レーザの掃引面が床面近くかつ水平になるよう LRF を設置する。LRF を中心として放射状にレーザ距離計測が行われ、その計測点の集合として距離データが得られる。背景距離データと、入力距離データの差分データを取ることで物体の有無とその位置を推定できる。追跡ではカルマンフィルタを用いて、頑健な追跡が行えるようにしている [3]。

2.3 作業ロボット

ロボットが物品を持ち運ぶ際の作業情報を、物品のタグ ID と位置の時系列データとして管理する。ロボットはハンド部に RFID リーダを持ち、把持物品のタグ ID を計測できる。また、把持物品の位置を順運動学により導出できる。

2.4 Town Management System : TMS

情報管理機構 (Town Management System:TMS) では、知的収納庫で計測される局所的な物品位置情報と、床面上の移動体と物品の位置情報、およびロボットの作業情報を収集・統合し、部屋全体での日用品追跡を行う。また、名前や重量などの物品情報を位置情報と関連付けて管理し、ロボットからの問い合わせに応じて提供する。TMS は以下の機能を持つ。

1. ネットワークを介した位置情報の収集
2. 位置情報と物品情報を保持・管理するデータベース
3. タグ ID をキーとした物品情報の登録・更新・検索
4. ネットワークを介したロボットへの情報提供

TMS は情報の登録・更新・検索を行うための API ライブラリを提供しており、ロボットは任意のタイミングで API を実行することで簡単に環境情報を取得できる。

3. 日用品の追跡

物品追跡の定式化を行う。

3.1 計測システム

3.1.1 知的収納庫

知的収納庫に新規に入庫された物品にユニークな位置ラベルを付与し、庫内での追跡を行う。このラベルは出庫された時点で破棄され、再入庫時には新たなラベルが割り当てられる。知的収納庫では、入庫物品のタグ ID と位置ラベルが得られる。

3.1.2 Floor Sensing System

Floor Sensing System は、床上に新規に置かれた物品、および新規に入室した移動体にユニークな位置ラベルを付与し追跡を行う。物品が床上から拾い上げられたり、移動体が計測領域外へ出た時点でこのラベルは破棄される。Floor Sensing System では、床上の物体の位置ラベルとその属性 (移動体, 物品) が得られる。

3.1.3 作業ロボット

作業ロボットは、把握物品にユニークな位置ラベルを付与し、追跡を行う。ロボットの作業情報としては、知的収納庫と同様にタグ ID と位置ラベルが得られる。

3.2 物品配置の推定

環境内の全物品に知的収納庫と Floor Sensing System, 作業ロボットで計測された位置ラベルを割り当てた組み合わせを物品配置と呼び、これをセンサ観測情報をもとにして推定する。物品配置では、1 つの物品に 1 つの位置ラベルを対応させる。このとき、物品を示すラベルは複数の物品に重複して割り当てないようにする。一方、移動体は複数個の物品を所持していることがあるため、移動体を示すラベルには、複数の物品への重複割り当てをゆるす。

環境内に N 個の物品があるとき、時刻 t における物品配置 $x_t \in \mathcal{R}^N$ を、再帰的に推定する。推定手順を以下に示す。

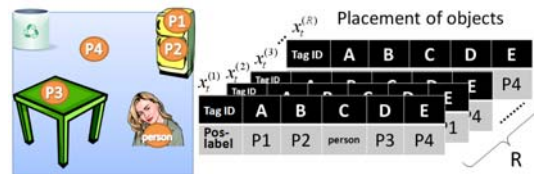


Fig.3 Placement of the objects.

1. 初期集団の発生:

R 個の個体 $r_0^{(r)} = \{x_0^{(r)}, w_0^{(r)}\}$ を発生させる。 $x_t^{(r)} \in \mathcal{R}^N$ は物品配置を表すベクトル、 $w_t^{(r)}$ は適応度を表す。各個体の物品配置は、ランダムに与える (Fig. 3)。

2. 状態遷移:

全ての個体 $r_{t-1}^{(r)}$ に対して遷移操作を行い新たな個体 $r_{t|t-1}^{(r)} = \{x_{t|t-1}^{(r)}, w_{t|t-1}^{(r)}\}$ を生成する。物品の配置変化は移動体による取り置きによってのみ起こる。従って、物品の配置が変化する動作は、

- (i) 移動体が物品を置く
- (ii) 移動体が物品を取る

の 2 つとなる。これらの動作の発生は、知的収納庫と Floor Sensing System, 作業ロボットからの観測情報に含まれる位置ラベルの増減として検知される。検知された動作に対応した遷移操作を、以下のように行う。

(I) 物品を示すラベルが増加した場合:

物品配置 $x_{t-1}^{(r)}$ について、移動体の所持物品のうち 1 つの配置を新規に発生したラベルに変更した物品配置 $x_{t|t-1}^{(r)}$ を生成する (Fig. 4)

(II) 物品を示すラベルが減少した場合:

物品配置 $x_{t-1}^{(r)}$ について、消失したラベルに対応する物品の配置を、移動体を示すラベルに変更した物品配置 $x_{t|t-1}^{(r)}$ を生成する (Fig. 5)

(I) と (II) の遷移操作で移動体が複数存在する場合は、増減したラベルが示す位置と各移動体の位置

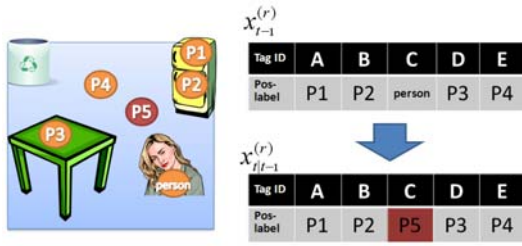


Fig.4 State transition when a person places an object on.

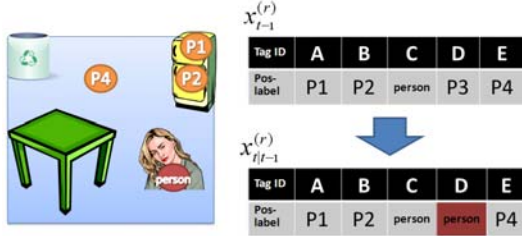


Fig.5 State transition when a person picks an object.

との距離に応じた確率で、取り置きを行った移動体を選択する。また、(I)の遷移操作で移動体が複数の物品を所持している場合は、所持物品のうち1つを等確率で選択する。時刻 t で物品を示すラベルの増減がない場合は、遷移操作は行わない。

3. 適応度の計算：

R 個の個体それぞれに対して、評価関数 f を用いて適応度を求める。

$$f = C \sum_{s=1}^S g_s(x_t^{(r)}) \quad (1)$$

$$g_s(x_t^{(r)}) = \begin{cases} 1 & \text{物品配置 } x_t^{(r)} \text{ 中の物品 } s \text{ の位置ラベルが} \\ & \text{知的収納庫の観測情報中の物品 } s \text{ の} \\ & \text{位置ラベルと等しいとき} \\ 0 & \text{else} \end{cases}$$

かつ、 $C = \alpha/S$ ($0 < \alpha < 1$ は知的収納庫の信頼性により定まる定数、 S は知的収納庫内の物品数) である。評価関数 f は、知的収納庫の観測情報と個体が持つ物品配置との一致度を表している。

各個体の適応度 $w_t^{(r)} = f(r)$ を計算するとともに、全ての個体の適応度の和 $w_t^{(all)} = \sum_{r=1}^R w_t^{(r)}$ を求める。

4. リサンプリング：

$R * J$ ($0 < J < 1$) 個の個体 $r_{t/t-1}^{(r)} = \{x_{t/t-1}^{(r)}, w_t^{(r)}\}$ に対して、 $w_t^{(r)}/w_t^{(all)}$ の確率で復元抽出する。また、 $R * (1 - J)$ 個の個体をランダムに発生させる。

5. 2. ~ 5. を繰り返す。

6. 物品配置推定：

R 個の個体 $r_t^{(r)}$ により近似的に得られる確率分布から、物品配置の推定を行う。時刻 t において、物品 i が位置ラベル j にあることを示す存在確率 p_{ij} は、 $p_{ij} = \frac{1}{R} \sum_{r=1}^R b_{ij}(r_t^{(r)})$ で表される。

$$b_{ij}(r_t^{(r)}) = \begin{cases} 1 & x_t^{(r)} \text{ で物品 } i \text{ の位置ラベルが } j \text{ である} \\ 0 & \text{else} \end{cases}$$

4. 物品追跡実験

介護施設を想定した部屋に、知的収納庫と Floor Sensing System, TMS, ロボットからなる物品追跡システムを設置して、物品の追跡実験を行った。実験環境を Fig. 6 に示す。室内の家具のうち、3つのBOXにセンサを設置して知能化してある。以降、この3つを知的収納庫と呼ぶ。Floor Sensing System のため、床面から約 16mm の高さを水平にレーザが掃引するよう LRF が配置してある。ベッドの上に人間が、室内にはサービスロボットが1台あり、実験中には他の人間やロボットの入室はない。

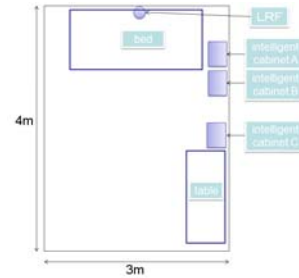


Fig.6 Experimental setup.



Fig.7 The ten objects and a service robot.

物品追跡の前提として、物品には RFID タグが貼られ、タグ ID と商品情報が関連付けられて、TMS に登録されているとする。介護施設で物品は入居者の要望を受けて職員が部屋に持ち込むとし、この前準備は職員により行われることを想定している。この準備作業の簡便化のため、知的収納庫は JAN コードを読んで商品情報を自動登録できる機能を持っている。

実験では 10 個の物品の追跡を行った。使用した物品とロボットの外観を、Fig. 7 に示す。ロボットはハンド部に RFID リーダを持っており、物品には 0 番から 9 番までのタグ ID 番号がついている。介護施設では物品は収納庫内に整理され、収納庫外で追跡すべき物品は少数となることを想定し、今回の実験では 10 個中 3 個の物品のみを移動させた。実験の手順を以下に示す。

- (i) 知的収納庫 A と B から番号 2,3,4 の計 3 つの物品を人間が取り出す (Fig. 8(1)(2))
- (ii) 3 番の物品をベッドの横に落とす (Fig. 8(3))
- (iii) 2 番の物品をロボットへ手渡す (Fig. 8(4))

- (iv) ロボットは 2 番の物品を、テーブルへ運ぶ
- (v) 4 番の物品を知的収納庫 B に入れる (Fig. 8(5))

追跡結果を、Fig. 8 に示す．図中の丸印は知的収納庫で計測された物品の位置ラベルを、四角印は Floor Sensing System で計測された物品の位置ラベルを表している．図の右側では、各物品の存在確率を円グラフで表している．円グラフ中の色が、位置ラベルの色に対応している．人間の位置ラベルの色は白である．人間を示すアイコン画像の上の文字列の数字は、人間が所持している物品の数を表している．物品追跡システムでは、ロボットに所持されている物品を小さい丸で、ロボットが置いた物品を中抜き丸でそれぞれ表している．

知的収納庫 A,B から 3 つの物品が取り出された Fig. 8(2) の時点では、円グラフのうち 2 番から 4 番の 3 つが白一色であり、これらの物品が人間に所持されていることがわかる．床上に落ちた物品の位置は Floor Sensing System で計測されるが、この時点では、3 つの物品のうちどれかが置かれたとしか分からない．従って、Fig. 8(3) の時点では、円グラフ中で床面上にある確率は 3 つの物品ともほぼ 1/3 となっている．ロボットは所持物品のタグ ID を認識できる．従って、2 番の物品がロボットに手渡された Fig. 8(4) の時点で、2 番の物品の位置は特定され、床面上にある物品は 0 番か 1 番のどちらかとなる．0 番と 1 番の物品は、円グラフで人間所持と床面上の確率がほぼ 1/2 となっている．ロボットは 2 番の物品をテーブルに置き、TMS へ通知する．机の上に置かれた物品は、Fig. 8(4) で、中抜き丸で表されている．最後に、0 番の物品が知的収納庫に入れられた Fig. 8(5) の時点で、床上の物品が 1 番の物品であると推定できている．

実験を通して以下に示すシステムの利点を確認した．

1. 環境設置センサ群の計測情報とロボット作業情報を統合して、物品の追跡が行える
2. ロボットの作業情報を用いることで智能化されていない家具に置かれた物品も位置管理できる

5. まとめ

知的収納庫と Floor Sensing System、ロボットの作業情報を組み合わせた日用品追跡システムを開発した．ロボットの作業情報と環境に配置されたセンサネットワークの計測情報を統合した物品追跡システムを開発した．実験を通して、複数物品の追跡が行えることを確認した．

本研究は NEDO プロジェクト「次世代ロボット知能化技術開発プロジェクト」の研究開発項目「作業知能（社会・生活分野）の開発」の一環として行われた．

参考文献

- [1] 村上，長谷川，木室，千田，家永，有田，倉爪：“情報構造化環境における情報管理の一手法”，日本ロボット学会誌，vol.26, no.2, pp.192-199, 2008.
- [2] 長谷川勉，“環境プラットフォーム「ロボットタウン」”，日本ロボット学会誌，Vol. 26, No. 5, pp. 411-414, 2008
- [3] T. Hasegawa, et al., “Human Tracking by Cooperative Sensing of Distributed Environment Sensors and Mobile Robots”, Proc. of Int. Conf. on Ubiquitous Robots and Ambient Intelligence, pp.466-471, 2008

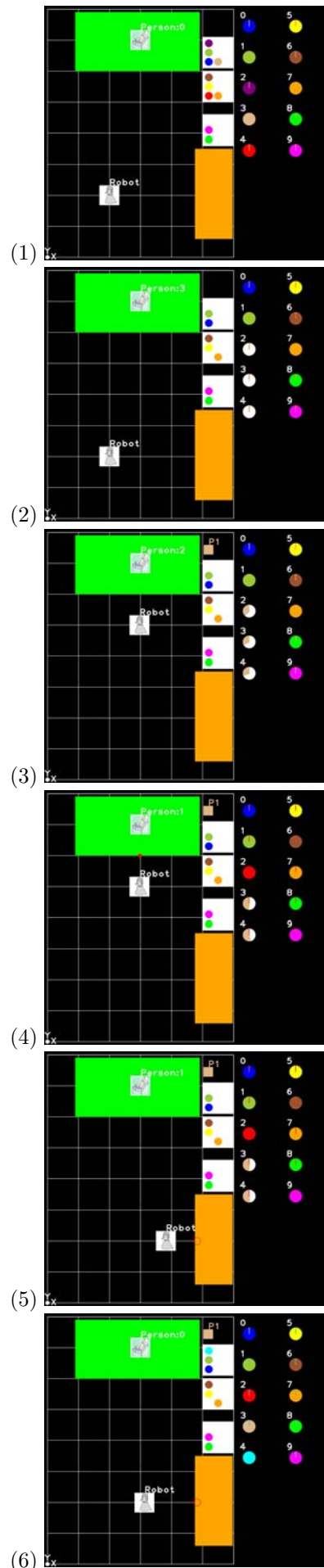


Fig.8 Result of object tracking.