

知的収納庫と Floor Sensing System を用いた物品追跡システム

村上剛司 (九州大学) 松尾一矢 (九州大学) 野原康伸 (九州大学)
長谷川勉 (九州大学) 倉爪亮 (九州大学)

Object Tracking System using an Intelligent Cabinet and a Floor Sensing System

*Kouji MURAKAMI, Kazuya MATSUO, Yasunobu NOHARA,
Tutomu HASEGAWA, Ryo KURAZUME (Kyushu University)

Abstract— We propose an object tracking system for a service robot working in an everyday environment. The system is composed of an intelligent cabinet, a floor sensing system and a data management system. Being equipped with a RFID reader and loadcells, the intelligent cabinet measures the position of an object in/on itself. The floor sensing system which uses a laser range finder, measures the position of an object on the floor and the position of a human walking in a room. The data management system integrates the position data, and it performs position measurement of an object carried by a human.

Key Words: RobotTown, Object Tracking, Floor Sensing System

1. はじめに

介護施設などの日常生活環境で人間の支援を行うロボットの実現が期待されている。例えば、日用品の手渡しや取り寄せ作業をロボットが実行できれば、介護士の負担が軽減される。物品の取り寄せ作業では、その対象物品がどこにあるのかを知る必要があるが、ロボットが本体に搭載したセンサのみを用いて、施設内にある物品の位置情報を常に把握することは困難である。そこで我々の研究グループでは、ロボットの作業を支援するために、環境側に物品の位置や名前などの情報を取得する機能を持たせた環境情報構造化のプラットフォームであるロボットタウンの研究開発を進めている [1]。ロボットタウンの概要を Fig. 1 に示す。ロボットタウンでは、環境に分散配置したセンサ群により環境内の移動体や物品の情報を取得し、情報管理機構であるタウンマネジメントシステム (TMS) で管理する [2]。ロボットは TMS に問い合わせることで、作業に必要な情報を取得できる。本稿では、ロボットタウンの構成要素の 1 つである、日用品追跡システムについて述べる。

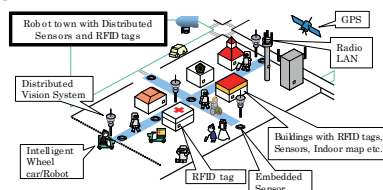


Fig.1 Concept of RobotTown.

2. 日用品の追跡

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

のいずれかであると仮定する。(1) について、家具に RFID リーダとロードセルを配置して智能化し、庫内物品の位置計測を行う知的収納庫を開発している。(2) に

ついて、レーザが床面近くを掃引するよう設置した LRF を用いて床面上の物体の位置計測を行う Floor Sensing System を開発している。(3) について、人間やロボットに所持されている物品を、超音波タグなどのマーカ無しで直接的に計測することは難しい。しかし、物品の移動は人間やロボットの持ち運びにより起こると仮定すれば、物品の位置計測を移動体の位置計測に置き換えて計測できる。この置き換えを行うためには、移動体が物品を所持しているか否かを判定する必要があるが、収納庫の入在庫情報と移動体の位置情報を統合することで行える。例えば、収納庫から物品が出庫された場合には、収納庫に近い移動体はその物品を所持したと判定できる。物品と関連付けられた人間/ロボットの位置を、その物品の位置として追跡を行う。

本研究では、局所領域における物品の種類・位置を計測する知的収納庫と、床上の物体の位置を計測する Floor Sensing System を組み合わせた日用品追跡システムを開発する。

3. システム構成

提案システムは以下の 3 つの要素で構成される。

- A) 知的収納庫
- B) Floor Sensing System
- C) 環境情報管理機構 (TMS)

環境情報管理機構はデータベースとネットワークインタフェースを持ち、位置情報の収集と統合、提供を行う。知的収納庫と Floor Sensing System で得られた情報が環境情報管理機構で統合され、部屋全体での日用品の追跡が行われる。また、環境情報管理機構はロボットからの問い合わせに応じて位置情報を提供する。情報の流れを Fig. 2 に示す。

3.1 知的収納庫

ロードセルと RFID リーダを設置して収納庫を智能化する。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

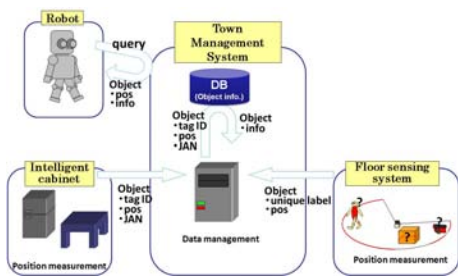


Fig.2 Data flow.

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．

開発した知的収納庫への物品の入出庫実験を行った．物品にはRFIDタグを貼付してある．この知的収納庫では、アクリル製の棚板が、その下部の四隅に配置されたロードセル(Measurement Specialties社製FC22)に支えられている．この棚板の下に平板状のRFIDアンテナ(TAKAYA社製TR3-SA101M)が置かれている．RFIDリーダは複数タグを同時読み取り可能なTAKAYA社製TR3-LD003D-4を、RFIDタグは安価な13.56MHz帯のパッシブタグを使用した．実験結果をFig. 3に示す．図の右画像では棚板を上から見た時の各物品の計測位置を四角で表示している．また、タグIDを用いて環境情報管理機構から物品の名前を取得し、四角の上に表示している．実験結果より、物品が近接して並べられた場合にも、複数物品の位置管理が行えている．

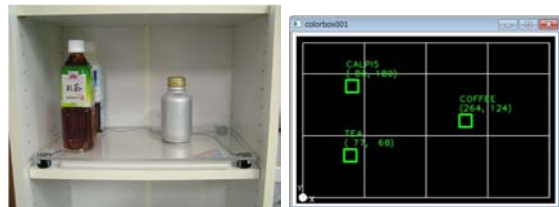


Fig.3 Position measurement of objects.

3.2 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．このため、広い計測領域を持つカメラやLRFの利用が考えられる．日常生活環境では天気や時間帯、人間による照明機器の操作により照明条件が頻繁に変化する．Floor Sensing Systemでは、照明条件変化に頑健な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．1つの物体に複数のレーザ計測点に対応するため、一定距離以下で隣り合っている点を同じ物体に属するレーザ計測点とみなしてグルーピングし、物体の中心位置を推

定する．物体追跡をより頑健に行うため、現在の物体の位置を入力とし、次フレームの物体の予測位置を出力とするカルマンフィルタを適用している．また、人間は2つの脚が個別に計測されるため、脚間の関連付けを行う必要がある．同一人物の脚の組は、(a)一定の距離以上離れることはない、(b)進行方向がほぼ等しいと仮定する．この2つの仮定を一定時間満たした物体の組を同一人物の脚の組と判定し、両脚の位置の midpoint を人物位置としている．なお、同一人物のものとした脚の組には、歩行加速度を外部入力として持つカルマンフィルタを適用し、より頑健な追跡を行っている [3]．

開発した Floor Sensing System を用いて 2 人の歩行者の追跡実験を行った．床面から約 60mm の高さをレーザが水平に掃引するように LRF(北陽電機(株)製 UTM-30LX) を配置している．追跡結果を Fig. 4 に示す．図中実線が歩行経路を表しており、歩行者を継続的に追跡できていることが確認できる．

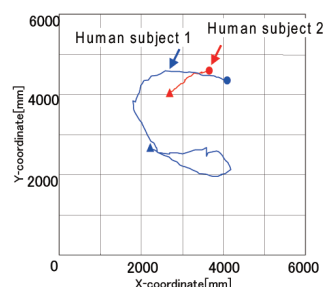


Fig.4 Tracking result of two pedestrians.

3.3 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のネットワークインタフェースは、SOAPをベースとしたWEBサービスとして提供されている．DB機能は、MySQLを用いて実装しており、ユニークなタグIDをキーとして、位置情報と物品情報をネットワーク経由で更新できる．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．

4. 日用品の追跡

知的収納庫が庫内の物品のタグIDと位置を計測できるのに対し、Floor Sensing Systemは床に置かれた物品のタグIDは得られず物品の有無とその位置のみを計測できる．そこで日用品追跡では、Floor Sensing Systemで計測された物品のタグIDがなんであるかを推定し確率的に表現することも同時に行う．次節より物品追跡の定式化を行う．

4.1 計測システム

4.1.1 知的収納庫

知的収納庫に新規に入庫された物品にはユニークなラベル $pos - label$ が付与され、庫内での追跡が行われる。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。ラベルとタグIDを関連付けたデータ $obj = \{pos - label, tagID\}$ の集合として物品情報を管理する。物品の3次元位置座標は $WHR(pos - label)$ で取り出せるとする。知的収納庫 i に入庫されている物品の情報として、 $Z^i = \{obj_1, obj_2, \dots, obj_S\}$ が得られる。時刻 t に全ての知的収納庫で得られる情報は、 $Z_t = \{Z_t^i\}$ で表される。

4.1.2 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ラベル $pos - label$ 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。ラベルとその追跡対象が物品と移動体のどちらであるかを示す属性を合わせたデータ $y = \{pos - label, attribute\}$ の集合として物品・移動体情報を管理する。床上の物品と移動体の情報として、 $Y = \{y_1, y_2, \dots, y_M\}$ が得られる。時刻 t に Floor Sensing System で得られる情報は、 $Y_t = \{Y_t\}$ で表される。

4.2 物品配置の推定

環境内の全物品に知的収納庫と Floor Sensing System 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 における観測値 Z_t, Y_t を得たときの物品配置 $x_t \in \mathbb{R}^N$ を、再帰的に推定する。推定手順を以下に示す。

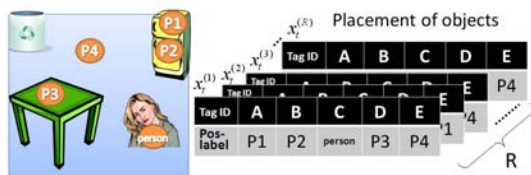


Fig.5 Placement of the objects.

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。 $x_t^{(r)} \in \mathbb{R}^N$ 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. 5)。

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 $r_{t|t-1}^{(r)} = \{x_{t|t-1}^{(r)}, w_t^{(r)}\}$ 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 からの観測情報に含まれる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

(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

(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。知的収納庫で、 $Z_t = \{obj_1, obj_2, \dots, obj_S\}$ が観測されているとき、

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

$$g_s(x_t^{(r)}) = \begin{cases} 1 & \text{物品配置 } x_t^{(r)} \text{ 中の物品 } s \text{ の位置ラベルが、} \\ & Z_t \text{ 中の物品 } s \text{ の位置ラベルと等しいとき} \\ 0 & \text{else} \end{cases}$$

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。

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

5. 実験

5.1 実験環境

介護施設の一室を想定した部屋に、知的収納庫と Floor Sensing System 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、2 個のカラー BOX とごみ箱は、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。

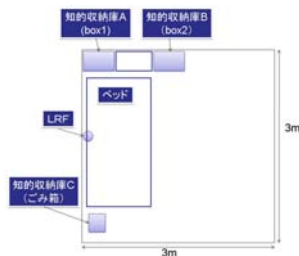


Fig.6 Experimental setup.

提案システムを使用する前提として、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。介護施設において、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。

5.2 追跡結果

提案システムを用いて 10 個の物品の追跡を行った。実験開始時に全ての物品は知的収納庫 A と B の中に収納してある。実験を通して環境内にいる人間はベッド上の 1 人のみであり、その位置はシステムに既知であるとする。また、追跡で設定した個体数 R は 100 である。

物品には 0 番から 9 番までのタグ ID 番号がついており、そのうち 3 つの物品を人間が移動させた。実験の手順を以下に示す。

- (i) 知的収納庫 A と B から番号 0,1,2 の計 3 つの物品を取り出す (Fig. 7(1)(2))
- (ii) 1 番の物品をベッドの下に落とす (Fig. 7(3))
- (iii) 2 番の物品を知的収納庫 C (ごみ箱) に入れる (Fig. 7(4))
- (iv) 0 番の物品を知的収納庫 B に入れる (Fig. 7(5))
- (v) 1 番の物品を床上から取り上げ、知的収納庫 A へ入れる (Fig. 7(6))

追跡結果を、Fig. 7 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、各物品がどの位置ラベルに対応しているかの割合を円グラフに占めるラベルの色で表している。人間を表す位置ラベルの色は白色である。また、人間を示すアイコン画像の上の文字列の右端の数字は、人間が所持している物品の数を表している。

知的収納庫 A,B から 3 つの物品が取り出された Fig. 7(2) の時点では、物品の所在を表す円グラフのうち 0 番から 2 番の 3 つが白一色であり、これらが人間に対応付けら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. 7(3) の時点では、床面上にある確率は 3 つの物品ともほぼ 1/3 となっていることが円グラフからわかる。2 番の物品が知的収納庫に入れられた Fig. 7(4) の時点で、床面上にある物品は 0 番か 1 番のどちらかとなり、人間に所持されているか床面上にあるかの確率がほぼ 1/2 となっている。0 番の物品が知的収納庫に入れられた Fig. 7(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。

なお、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。

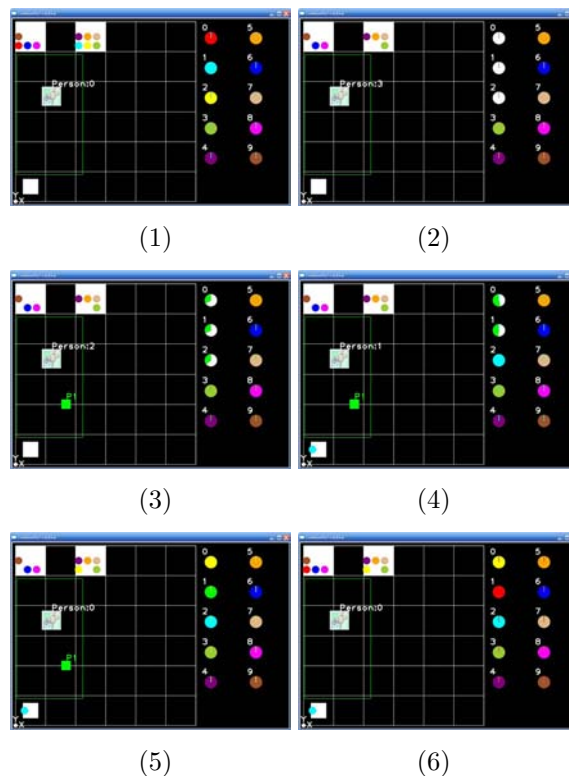


Fig.7 Result of commodity tracking.

6. まとめ

知的収納庫と Floor Sensing System を組み合わせた日用品追跡システムを開発した。従来の位置計測システムが計測対象としていた人間などよりサイズが小さい物品を対象とすると共に、人間やロボットによる物品の持ち運びを考慮した点に特徴がある。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] 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
- [2] 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.
- [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