

人間・ロボット共生環境における日用品追跡システム

Position Tracking System for Commodities in a Daily Human Life Environment

村上 剛司 重松 康祐 野原 康伸 長谷川 勉 倉爪 亮 Ahn Byong-won (九大)

Kouji MURAKAMI, Kosuke SHIGEMATSU, Yasunobu NOHARA,
Tsutomu HASEGAWA, Ryo KURAZUME, Ahn Byong-won (Kyushu University)

We propose a commodity tracking system which is composed of an intelligent cabinet, a human/commodity tracking system, and Town Management System. Being equipped with a tag reader of RFID and a planar pressure sensor, the intelligent cabinet measures the positions of commodities. The human/commodity tracking system using a LRF measures the position of a human/commodity on a floor. Town Management System integrates the position information and provides robots with real-time information on commodities. The commodity tracking is successfully demonstrated in daily life environment.

Key Words: RobotTown, intelligent environment, commodity tracking

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等の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等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、部屋内の日用品追跡システムについて述べる。

部屋内の物品の位置管理に関する報告は少ない。書籍に RFID タグを貼付し、書棚側のタグリーダでその有無を認識する試みをはじめとして、タグリーダ付きの収納庫とタグ付き対象物との組み合わせでその位置管理をする研究はあるが³⁾、対象物が収納庫を出た時点で管理できなくなる。超音波タグを貼付した物品の位置を、天井に複数配置した超音波センサで計測しその動きを追跡する方法⁴⁾は商用化されている。しかし、コストと大きさの問題から、多数の物品管理に用いるのは難しい。室内の小物の検出や位置計測にビジョンを設置することも技術的には可能であるが、常時観測されることによる人のプライバシー確保の問題やオクルージョンの問題が残る。

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、移動体/床上物品の追跡システムを組み合わせた日用品追跡システムを開発する。開発するシステムの特徴を以下に示す。

1. 従来の位置計測システムが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した位置追跡
2. 収納庫内や床上まで含む部屋全体を対象とした物品追跡
3. 人間やロボットによる物品の持ち運びに対応した物品追跡
4. ネットワークを介したロボットへの物品情報の提供

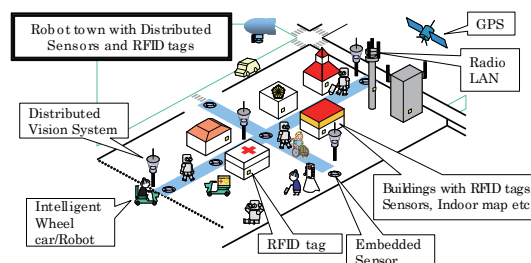


Fig.1: Concept of Robot Town.

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) 人間やロボットが所持

の何れかにあると仮定できる。(1)について、収納庫にはタグリーダや重量・位置センサなどを配置することで物品の入出庫の検出や位置計測が行える。(2)について、床面は相対的に広いことから、LRF やカメラなどの広い計測領域を持つセンサを用いた位置計測システムが考えられる。床面上には物品に加えて人間やロボットも存在することから、物品と移動体を識別できる必要がある。(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。この判定は、収納庫の入出庫情報と移動体の位置情報を統合することで行う。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・ロボットの位置を、その物品の位置として追跡を行う。

日用品追跡システムには、位置情報をネットワークを通してロボットへ提供する仕組みも必要となる。利便性を考えると、(4) ロボットが名前などの物品情報を検索キーにして位置情報の取得が行えることが望ましい。以上の検討を踏まえ、上記 (1),(2),(3),(4) の何れの場合でも対応できる日用品追跡システムを開発する。

これまでに、収納庫内など局所的な物品位置管理を行う位置計測システムや、超音波タグなどのマーカを用いた位置計測システムなど、上記の項目を部分的に満たした位置計測システムはあったが、全ての項目を満たす位置計測システムは実現できていなかった。

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) 移動体/床上物品追跡システム
- C) 環境情報管理機構 (TMS)

知的収納庫は局所的な位置計測を行い、移動体/床上物品追跡システムでは床面上の移動体と物品の位置計測を行う。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。知的収納庫と移動体/床上物品追跡システム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。

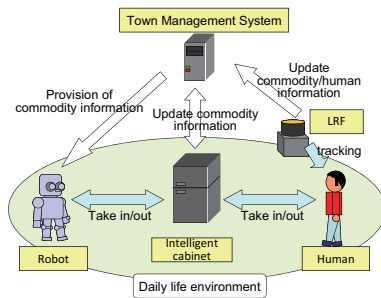


Fig.2: Data flow.

3.1 知的収納庫

知的収納庫では、カラー BOX の中やテーブルの上など、家具の中や上に置かれた物品の位置管理を行う。この局所的な位置管理には、物品の位置計測に加えて、複数の物体を同時に追跡するために各物体をユニークに識別できる必要もある。これらの要件を満たす知的収納庫を開発する。

収納庫で物品は前後に並べられたり、上下に重ねられるなど互いに近接して置かれることが多い。人間やロボットの位置計測によく用いられるカメラや LRF を収納庫に固定して位置計測を行うには、センサと対象との間に物品が置かれることで生じる計測上の死角の発生が問題となる。一方、対象と直接接触して計測を行う圧力センサや、電波により計測を行う RFID リーダは、この計測上の死角の影響を受けない。そこで本研究では、圧力センサと RFID リーダを用いて知的収納庫を開発する。

3.1.1 知的収納庫の設計

収納庫の棚板や天板の下に圧力センサを設置すれば、人間やロボットによる収納庫への物品の入出を荷重変化として検出できる。このとき、圧力センサを複数個設置すれば、各圧力センサに加わる荷重の重心位置として棚板上の物品の位置が求まる。

物品の識別には、RFID(Radio Frequency IDentification)を用いる。RFID は、複数対象に対する情報の read/write が非接触で行える。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 が新規に検出された際には、圧力センサで新規に検出された物品の位置情報をそのタグ ID に関連付ける。この関連付けには、タグ ID に関連付けられている重量などの物品情報も、環境情報管理機構から取得して利用できる。

3.1.2 知的収納庫の実装

前節で述べた設計指針に沿って、知的収納庫を開発した。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圧力センサ (Measurement Specialties 社製 FC22) に支えられている。この棚板に、平板状の RFID アンテナ (TAKAYA 社製 TR3-SA101M) が重ねて置かれている。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。両センサの計測情報は PC で統合され、物品位置情報がタグ ID に関連付けて管理される。

開発した知的収納庫への複数物品の入出庫実験を行った。使用した物品には RFID タグが貼付してある。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、物品が前後に近接して並べられた場合や、上下に重ねられた場合にも、複数物品の位置管理が行えている。

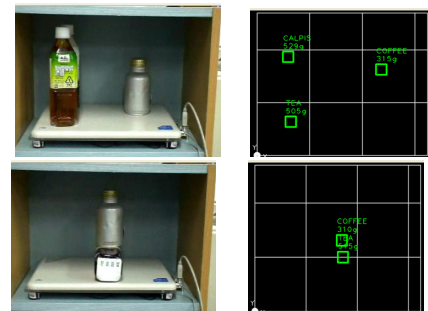


Fig.3: Position measurement of commodities in an intelligent cabinet.

3.2 移動体/床上物品の追跡システム

移動体/床上物品の追跡システムでは、床面上にある物体の位置計測を行う。床面上には物品に加えて、人間やロボットなどの移動体も存在するので、この両者が計測対象となる。この移動体追跡システムにはまず、(1) 床面上の物体の位置を計測できる必要がある。また、移動体による物品の持ち運びに対応した位置計測を行うためには、(2) 移動体と物品とを識別できる必要もある。この2つの要件を満たす移動体追跡システムを、LRF と焦電センサを用いて開発する。

3.2.1 LRF を用いた物体の位置計測

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。このため、照明条件変化に頑健な LRF を用いて移動体/床上物品の追跡システムを開発する。

レーザ掃引面が床面と水平になるように 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、両脚の位置の中点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⁵⁾．

開発した移動体/床上物品の追跡システムを用いて2人の歩行者の追跡実験を行った．床面から約6cm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．

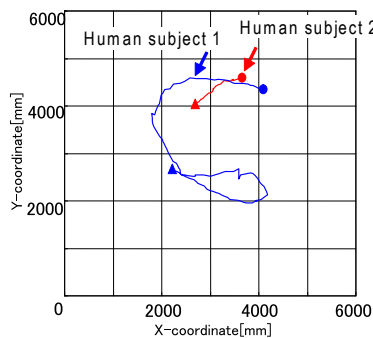
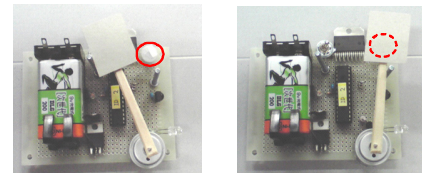


Fig.4: Tracking result of two pedestrians.

3.2.2 人間と物品との判別

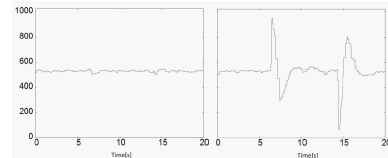
LRF による計測では、人間が動かない場合は物品と誤判定してしまう．そこで、歩行者と物品との判別を焦電センサを用いて行う．焦電センサ(Panasonic NaPiOn)は温度変化を電圧変化として出力できるセンサであり、人感センサとしてよく用いられる．この電圧変化量が、温度変化量に大きく依存することを予備実験で確認している．室温との温度差を考えると、物品の温度はほぼ室温となるため温度差はゼロに近い．従って、物品に対する焦電センサの出力は人間に対する出力より小さくなるため、焦電センサの出力値に閾値処理を行えば人間と物品を識別できる．但し、計測領域内で人間やロボットが停止していると、温度変化がなくなり電圧変化が生じなくなる．この問題は、機械式のチョップを用いて一定時間毎に焦電センサをマスクし、室温で定常状態となるようリセットすることで解決できる．チョップを装着した焦電センサユニットを、Fig. 5 に示す．

焦電センサの計測領域内で、人間または物品がそれぞれ停止している際の焦電センサの出力を、Fig. 6 に示す．図の縦軸が焦電センサの出力を、横軸が時間を表している．チョップは一定間隔で開閉させている．人間は、物品として用いた常温のペットボトルよりも大きな電圧変化があることがわかる．



(a) masked (b) unmasked

Fig.5: a pyroelectric sensor unit with a chopper.



(a) comodity (b) human

Fig.6: Output of a pyroelectric sensor unit with a chopper.

3.3 Town Management System : TMS

情報管理機構では、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．この情報管理機構に必要な機能を、

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. 知的収納庫へ入庫される物品と、移動体との関連付け
4. ネットワークを介したロボットへの情報提供

と設定した．その上で、これらの機能を満足する情報管理機構として、Town Management System を開発した．

(1)と(4)について、TMSはSOAPをベースとしたWEBサービスとしてネットワークインタフェースを提供している．知的収納庫で計測された位置情報と、移動体/床上物品追跡システムで計測された位置情報は、ネットワークを介してTMSへ送信される．このインタフェースにより、知的収納庫の増減にも容易に対応できる．(2)について、TMSはMySQLを用いてDB機能を実装しており、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．(3)について、知的収納庫で物品の出庫が検出されると、収納庫に一番近い移動体はその物品を所持したと判定する．移動体に所持されている物品の位置は、移動体の位置と同じとして更新・管理される．なお、物品が収納庫に入庫されたり、移動体が所持している物品を床に置くと、関連付けが外される．このとき、床上に置かれた物品は、RFIDを用いて直接的に認識することができないため、関連付けの情報をを用いて識別される．(4)について、TMSは物品情報をキーとして位置情報を検索できる機能を提供している．これにより、ロボットは作業対象の物品情報をもとにして、ネットワーク経由でその位置情報を取得できる．

なお、TMSは情報の更新・検索を行うためのAPIライブラリを提供している．APIにはネットワークのアクセス処理も含まれているため、ロボットはAPIライブラリを実行することで簡単に位置情報の検索が行える．

4 実験

4.1 実験環境

家具付きの部屋内に、知的収納庫と移動体/床上物品追跡システムを設置して、物品の追跡実験を行った．設置状況を Fig. 7 に示

す。室内の家具のうち、カラー BOX、テーブル、ゴミ箱はそれぞれセンサを設置して構造化した知的収納庫である。移動体/床上物品追跡システムのため、床面から約 6cm 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。天井には焦電センサが設置されており、LRF で位置計測された床面上の物体が人間と物品のどちらであるかを判定する。各収納庫と LRF、焦電センサの配置は world 座標系で計測済みであり、TMS に送信される位置情報は world 座標系で表現される。

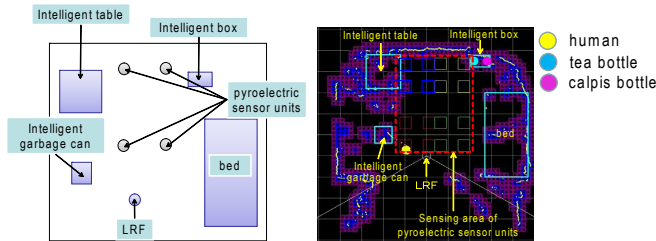


Fig.7: Experimental setup.

4.2 追跡結果

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。

実験では、人間がカラー BOX 内にある 2 個の物品を、1 個ずつ床上とテーブル上に持ち運んだ。実験結果を Fig. 8 に示す。計測された物体の位置は丸で表されている。図中の黄丸が人間を、赤丸と青丸がカルピスとお茶のペットボトルをそれぞれ表している。また、人間に所持されている物体は、小さい丸で表される。まず、カラー BOX からカルピスのボトルが取り出され、人間に関連付けられる。人間が持ち運んだのち、床上に置かれている。その後、カラー BOX からお茶のボトルが取り出され、テーブルの上へ運ばれている。

床上に置かれた物体が、カルピスのボトルであるとの認識は以下のように行われる。まず、人間が床上に物品を置いたとき、位置計測システムが新規物体としてその位置を計測する。続いて、その物体が物品であるとの判定が焦電センサで行われる。次にその物体が何であるかを認識する必要があるが、床面上では RFID リーダによる物品の認識が行えない。この場合は、人間に関連付けられている物品はカルピスのボトルのみであることから、床上に置かれた物体がカルピスのボトルであると判定している。

5 まとめ

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、床面上の移動体と物品の位置追跡システム、および環境情報管理機構である TMS の設計と開発を行った。その上で、知的収納庫と移動体/床上物品追跡システムで得られた情報を TMS で統合し、部屋全体での日用品の追跡を行うシステムを開発した。実験を通して、開発したシステムで

1. 複数物品の同時追跡
2. 収納庫や床面上に置かれた物品の位置計測と識別
3. 人間が物品を所持して移動する際の物品の位置推定が行えることを確認した。

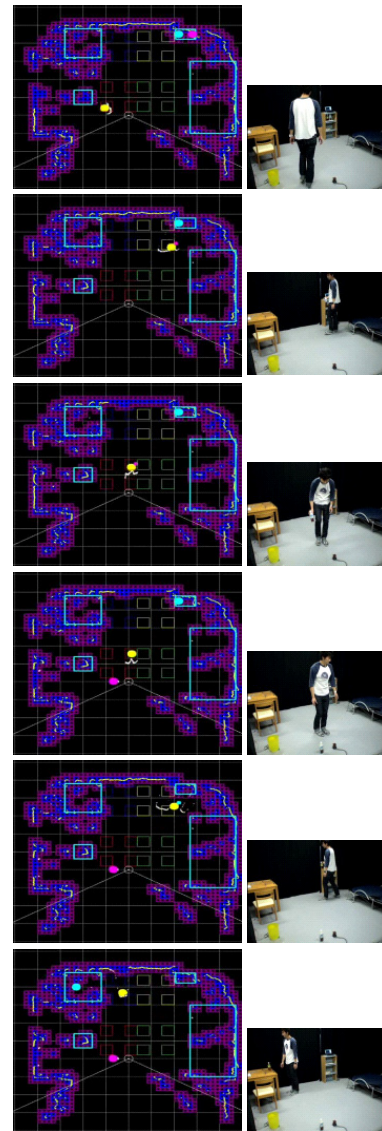


Fig.8: Result of commodity tracking.

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。

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] 森武俊, “部屋型センシングシステム: 実世界支援の環境型アプローチ”, 電気学会誌, Vol. 129, No. 3, pp.148-151, 2009.
- [4] Y. Nishida, et al., “3D Ultrasonic Tagging System for Observing Human Activity”, Proc. of IROS, pp.785-791, 2003.
- [5] 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