

情報構造化環境における日用品の追跡

－ 視覚付き移動ロボットと固定分散センサ群の連携 －

長谷川勉 ○蔡現旭* Oscar Martinez Mozos 辻徳生 諸岡健一 倉爪亮

九州大学大学院システム情報科学研究所

九州大学大学院システム情報科学府*

1. はじめに

家庭内での日用品の取り寄せや片づけは、高齢者や身体障害者のための基本的な生活支援作業であり、これをロボットが実行できるようになれば社会的経済的効果は極めて大きい。

ロボットによる作業の実行には、作業対象となる日常生活小物物品について、それがどのようなものか？ 環境内のどこにあるのか？ といった情報が必要になる。しかし、ロボットに搭載されたセンサのみで、これらの情報を得るのは困難である。人間やロボットが操作し運搬する日常生活用品は、数が多く、多種多様であるうえ、環境固定型のビジョンで追跡管理するには小さすぎる。また、RFIDタグを貼付してもその可読範囲と位置検出分解能が相反するために環境固定型タグリーダーでは十分な精度で追跡管理できていなかった。そのうえ、人間の生活活動により、それらの使用・消費・移動・放置が頻繁に行われる。

生活支援ロボットを実現するうえで、環境情報構造化が有力なアプローチと考えられている。これは、分散配置されたセンサにより環境の情報を獲得し、それをロボットが電子的にアクセスできるようにするものである。これまでに、建物構造や家具配置などの変化のない環境情報を地図として構造化する手法や、人やロボットなど移動体を追跡して情報構造化する手法について多くの研究がなされた。しかし、直接の作業対象である日用小物の情報構造化の研究は十分とはいえない。UHF-RFIDタグと特徴的な色を持つタグとを物体に添付しておき、RFIDから得られる電界強度を指向性アンテナで検出して、その存在方向を求め、さらにビジョンによるカラー情報処理により物体を発見するもの[1]や、天井付近から屋内を俯瞰するカメラで差分画像処理による物体移動を検知するもの[2]などが提案されている。前者では指向性アンテナを走査する必要があり、ロボットが重装備となり、時間もかかる。その上、分解能も十分でないため画像処理も併用している。後者では、居住室を常時カメラ撮像する必要があり、プライバシー保護や隠蔽の問題が避けられないし、広域視野の確保と分解能の両立も難しい。

本研究では、環境内の固定分散配置センサとセンサ搭載ロボットとを連携して動作させることにより、

上記の問題を解決しうる日用小物の情報構造化法を提案する。

2. 日用品管理の基本方針

本論文では、以下に述べる対象と制限を前提として、環境情報構造化を試みる。

- 1) 高齢者施設の居住室：
ベッド、椅子、テーブル等の配置された洋風生活の場で、日用品もそれほど多くなくて整理されており、床面は清掃されている。
- 2) プライバシーの確保：
プライバシー保護の観点から四六時中動作する分散ビジョンは導入しない。
- 3) 疎なセンサ配置：
初期導入および長期的運用コストの観点から、環境分散センサは少ないほうが望ましい。

これらを前提として、日用品の情報構造化を実現しようとする、次のような問題に直面する。

- 4) センサ死角域の存在：
全ての計測対象を、環境に固定された分散センサにより直接計測するのは無理である。
- 5) 構造化情報に対する外乱：
日用品は人間の活動により移動され、あるいは消費される。

しかし、逆に言えば、直接計測できないものでも人間の行動追跡結果からその所在を推定したり、探索場所を限定することが可能になると考えられる。我々がこれまでに開発してきた情報構造化環境では、人の行動追跡はできるようになっている。そこで、生活支援を行う移動作業ロボットに視覚センサを搭載し、物体探索を行う機能の実現をはかる。ロボット視野内の画像撮像することになるが、居住者はロボットが近づいてくれば分かるので、不都合があれば制止できる。このためプライバシー侵害等の問題は解決できる。また視覚センサとしてKinect センサを用いるが、これは安価であるため、生活支援ロボットに追加装備する費用はほとんど無視できる。

3. 環境情報構造化システム

3.1 実現機能の設計とシステム構成

環境分散センサにより、生活環境を以下のように領域分けして、そこにある日用品を管理する。

- I) 高精度なセンシング領域：
何がどこにあるかの情報が得られる領域
(インテリジェント収納庫など)
- II) 中精度なセンシング領域：
物体の存在・位置が計測できる領域
(フロアセンシングシステムのある床など)
- III) 低精度なセンシング領域：
物体の有無が検出できる領域
(UHF帯RFIDタグリーダの可読領域など)
- IV) センシング機能のない領域：
テーブルや椅子、ベッドのうえなど環境センサがない死角領域

人の活動に伴って I) の領域から物体が持ち出されたときは、何が持ち出されたかは検知できる。その後、物体は、

- a) 人が保持しているか、
b) 人の手を離れて、II,III,IVのいずれかの領域に置かれる

ことになる。II の場合は、その位置が検出できる。III または IV の場合は、ロボットによる探索を行う。このとき、環境配置センサにより人の行動追跡がなされていれば、その軌跡に沿った場所をさがせばよいので、探索範囲を限定できる。対象物品も分かっているため、視覚検出も容易になると期待できる。

3.2 環境分散センサ

3.2.1 知的収納庫

棚板にRFIDタグリーダと重量センサ（ロードセル）を装備したもので[3,4]、タグを添付した日用品の納入および取り出しを検知するとともに、その位置を計測する。金属缶ジュースや液体入りペットボトルでも添付されたタグの認識ができる。

3.2.2 フロアセンシングシステム

居室には、LRFと壁面に貼られたミラーを組み合わせた床上センサを装備している[5]。これにより、家具の配置計測、人の歩行追跡、床に落とした日用品の検出と位置計測がなされる。物体の認識はできないが、床面分布型圧力センサによる検出が困難な軽量物体、暗黒色あるいは金属光沢を有する物体、小型物体など、多種多様な日用品を検出できる。また、壁面ミラーによりオクルージョンも少ないセンシングシステムとなっている。

3.2.3 非検知領域

センサの配置されていないテーブル、机、椅子、ベッドなどの上は、日用品が置かれても検知できない領域である。

3.3 ビジョンを搭載した移動ロボット

3.3.1 視覚センサシステムの構成

日用品の取り寄せなどの直接的な生活支援作業に加え、環境変化を認識して構造化情報を更新することを役割に加えたロボットである。移動作業ロボットにKinectセンサを搭載し、カラー画像情報と奥行き情

報に基づいて、テーブル上などの非検知領域に置かれた日用品の探索・認識のほか、床面センサが検知した場所へ赴いて、そこにある物体を認識する。

3.3.2 認識方法

Kinectカメラからのカラー映像情報と距離情報を用いて認識処理を行う。視覚センサの全体的な処理過程は図1に示す。

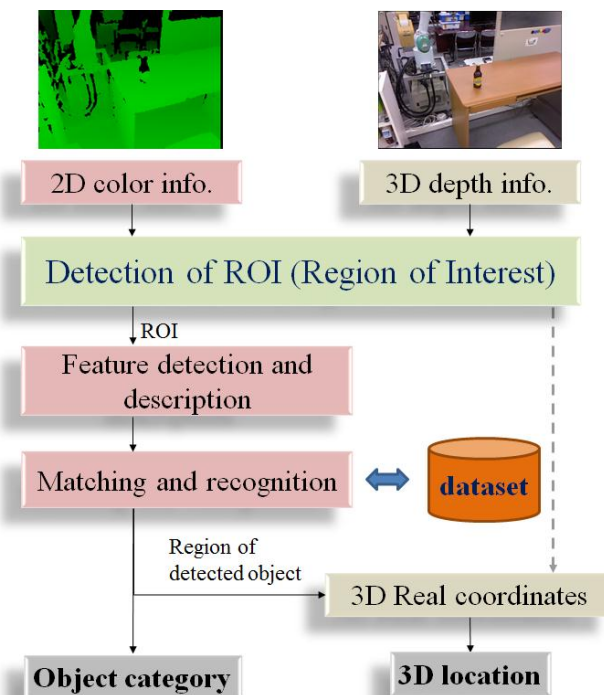


図1 視覚センサの処理過程

A) 前処理と変化箇所の検出

テーブルや机の上など、センシング機能がない領域は平面状でテクスチャはあってもおおむね一様な色をもっている。該当平面より高さの高い領域は物体があると考えられる。そこで距離情報を用いて物体の有無を調べることができる。さらに対象の色によってはカラー情報も補完的に用いることにより、物体の存在する可能性が高い場所(ROI)を知ることができると考えている。

B) 物体識別

A) で得られた領域に対して物体の検出と認識を行う。物体識別の過程ではカラー映像だけを処理し、認識のための特徴としては局所特徴量 SURF(Speed-Up Robust Features)[6,7]から作られたヒストグラムを用いた。ヒストグラム生成にはBoF(Bag of Features)のようにK-meansとkd-treeを用いている[8]。

TMSのデータセットにある全ての物体は事前にヒストグラムを作成する。1つの物体について4方向に対する学習する。このデータセットと入力データのヒストグラム間のEuclidean distanceを計算して、合計

が最少である物体を該当物体と判断する。

データセットにない場合には新しい物体であると判断して、この物体の映像特徴量と位置情報をTMSに登録する。

物体が認識された後、その位置を決定する。床の上にある物体の位置はフロアセンシングシステムから提供されている。テーブル上にある物体についてはカラー映像で認識された物体の画像中心を求め、奥行画像の対応点の3次元位置をその位置とする。

4. 日用品追跡シナリオと実験

4.1 実験のための環境構成とシナリオ



図2 実験環境のセッティング

環境内に分散配置されたセンサと視覚センサ搭載移動ロボットとの連携による日用小物品の追跡について、以下のシナリオで有効性の検証を試みる。高齢者居住室を模擬した実験環境の家具配置を図2に示す。居住者の行動シナリオは次のとおり。

- ① 居住者が、飲料や食品の入ったバッグを持って入室し、知的収納庫に向かう。(図3-a)
- ② バッグを床において知的収納庫に居住者が、飲料や食品を入庫する。(図3-b)
- ③ 飲料を1つ取り出し、机の横の椅子に向かい、座る。(図3-c)
- ④ 飲料を飲んだあと、空き缶を机において、ベッドに向かう。
- ⑤ ベッドに座り、リモコンを操作してテレビをつける。
- ⑥ ベッドに横になるとともにリモコンを床に落とす。(図3-d)

飲料や食品にはRFID タグが添付されている。

フロアセンシングシステムは、人が入室した①の時点からベッドに横になる⑥の時点まで、人の足跡を計測し、その結果をTMSにデータとして送る。ベッドに横になった時点で足跡は消失するが、ベッド上の天井に配置された焦電センサにより人の存在は

検知される。また②の時点以降、バッグの置かれた位置に、未知物体の存在を検知する。さらに⑥の時点以降、リモコンの落ちた地点に未知物体を検出する。

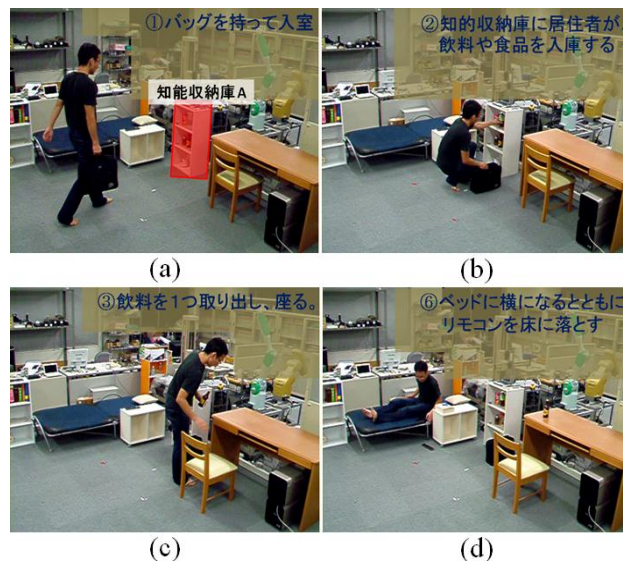


図3 居住者の行動シナリオ

知的収納庫は②の時点で入れられた物品を認識しその位置を計測する。計測された結果はTMSに送られる。さらに③の時点で飲料が取り出されたことが認識され、TMSの情報が更新される。

4.2 変化場所の情報認識

TMSに格納された環境構造化情報からは、以下のことが分かる。

- (1) 飲料が③の時点で収納庫から取り出された後、存在場所不明、
- (2) 未知物体(実際はバッグ)が②の時点以降、知的収納庫前の床に放置、
- (3) 未知物体(実際はリモコン)が⑥の時点以降、ベッド付近の床面の放置

これらの不確定な日用品状況を視覚で確認するのが移動ロボットの役割である。未知物体であるバッグとリモコンについては、フロアセンシングシステムにより、その所在場所と、検知されたサイズは分かっているので、それらが可視となる場所に移動し、視覚認識を試みる。

存在場所が分からない飲料については、③の時点以降の人の歩行軌跡に沿って存在する非検知領域(テーブル、机、椅子、ベッドなど)を環境地図に基づいて特定し、順次視覚検索することになる。例えば、机の上が観測できる場所に移動し、Kinectから得られる奥行き情報を用いて、物体の有無を調べて当該物体の認識を試みる。

4.2.1 未知物体の認識

未知物体の認識に対する実験には4つの物体を用いて提案された方法を確認した。物体セットは“pet

bottle”、“book”、“snack(円筒型)”、“remote”であり、各物体は3種類で構成した。(リモコンは1種類)
 “book”、“pet bottle”、“snack”の場合には大部分正確に認識が確認できた。“remote”の場合には床の複雑なパターンへのテクスチャや照明の変化によるノイズが発生し、正確に認識ができない場合もあった。



図4 データセット

人が持ってきたバッグのようにデータセットにはないと判断された場合には、該当物体の位置と特徴量を取得して新しい物体として登録する。

4.2.2 存在場所が不明な物体の認識

実験環境のセンシング機能のない領域は机、テーブル、ベッドの3つである。その中で机に関してだけ確認した。まず変化のあった箇所を検出して変化領域にある物体について認識を行った。

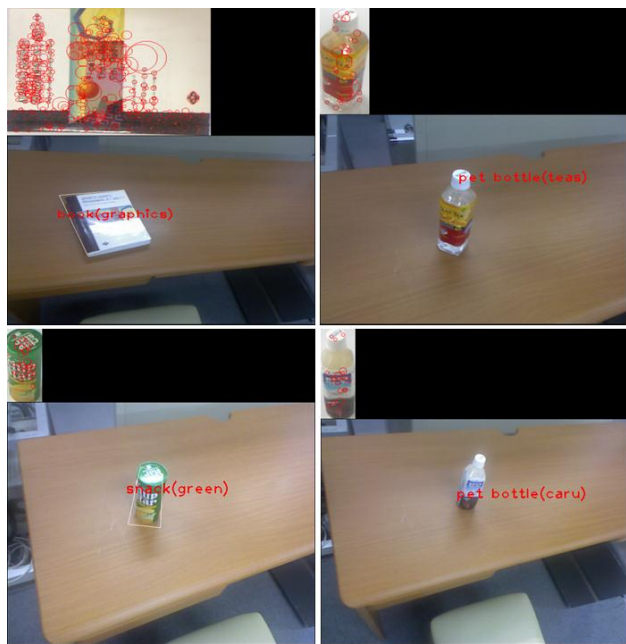


図5 テーブルの認識結果：各画像の上部にある赤い円はSURF特徴量を示す。

テーブルの場合にも大部分正確な認識ができた。認識された物体は検出した部分の中心位置の距離情報により、座標変換を用いて3次元位置を推定した。

照明や床のテクスチャによって認識結果に影響を受けることを確認することができた。SURFはグレイ画像基盤の処理であるので、カラー情報と距離情報を利用して特徴量の改善を要する。

今回の実験ではデータセットに物体の種類があま

り多くなかったため、SVM (Support Vector Machine) やclusteringなどの分類方法は用いていない。物体の量が多くなる場合には計算量と識別率の向上のために他の方法が要求される。

5. むすび

日常生活環境において、環境内の分散位置センサと視覚を搭載した移動ロボットとの連携により、日用品の情報構造化を行う手法について述べた。日用品の利用を含む居住者行動シナリオに沿って、分散配置センサから得られる情報の推移と、視覚センサ搭載ロボットの動作原理を提案し、視覚センサの動作実験結果を示した。全ての構成要素の動作実験を行った訳ではないが、既発表の動作確認済み要素機能も含んでおり、全体として提案手法の有効性を示すことができたものと考えている。

参考文献

- [1] T.Deyle, H.Nguyen, M.S.Reinolds, and C.C.Kemp, “RFID-Guided Robots for Pervasive Automation”, *Pervasive Computing*, pp.37-45, 2010
- [2] 小田嶋成幸, 佐藤知正, 森武俊, “画像の安定変化に基づく家庭内物体移動検知手法”, 第28回日本ロボット学会学術講演会予稿集, 3I1-4, 2010
- [3] 村上剛司, 重松康祐, 野原康伸, 長谷川勉, 倉爪亮, Byong-Won Ahn, “人間・ロボット共生環境における日用品追跡システム”, *ロボティクス・メカトロニクス講演会'10 講演論文集*, 2A1-C09, 2010
- [4] 村上剛司, 松尾一矢, 野原康伸, 長谷川勉, 倉爪亮, “知的収納庫とFloor Sensing Systemを用いた物品追跡システム”, 第28回日本ロボット学会学術講演会予稿集, 3P1-7, 2010
- [5] 長谷川勉, 野原康伸, 村上剛司, “生活環境における日用品情報構造化のための床面センシングシステム”, *日本ロボット学会誌*, Vol.28, No.9, pp.1144-1147, 2010
- [6] H. Bay, A. Ess, T. Tuytelaars, and L. V. Gool, “Speed-Up Robust Features (SURF)”, *Computer Vision and Image Understanding*, 110(3), pp.346-359, 2008
- [7] G. Csurka, C. R. Dance, L. Fan, J. Willamowski, and C. Bray, “Visual Categorization with Bags of Keypoints”, In *ECCV International Workshop on Statical Learning in Computer Vision*, 2004