

情報構造化環境における家具上物品検出のための 移動ロボットによる視覚記憶照合と変化検出

○桑畑舜也 (九州大学) 長谷川勉 (熊本高等専門学校) 諸岡健一 (九州大学)
倉爪亮 (九州大学) 辻徳生 (九州大学)

1. はじめに

家庭内での日用品の取り寄せや片付けは、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れば社会的経済効果は大きい。作業を実現するためには、作業対象となる日常生活物品についての位置情報が必要になる。

生活環境内の物品検出に関する研究として、UHF-RFID タグ、視覚センサを用いたもの [1] と、天井固定カメラを用いたもの [2] が提案されている。前者では、UHF-RFID タグと特徴的な色を持つタグとを物体に貼付し、タグからの信号の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る。その後、視覚センサから得た画像処理により物体を発見する。ただし、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、天井固定カメラで差分画像処理による物体移動を検知する。しかし、居住室を常時カメラ撮影する必要があり、プライバシー保護の問題が避けられない上、広域視野の確保と分解能の両立も難しい。我々は、図1のように、環境内の分散配置センサとビジョンセンサ搭載ロボットとの連携により、上記の問題を解決しうる日用小物の配置情報獲得法の研究を進めてきている [3]。この研究の一環として、日用小物の配置変化を検出する手法 [4] を提案したが、検出の対象とする家具はテーブルのみに限定されていた。本論文では、対象家具をテーブル、棚、椅子に拡張した、物品配置変化を検出する新たな手法について報告する。

2. 生活環境での日用品管理

生活環境に存在する日常生活用品は、数が多く、多種多様であるため、全ての配置を認識管理することは不可能に近い。そこで、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。

- ・高齢者介護施設の居住室：ベッド、椅子、テーブル等の配置された洋風生活の場で、日用品も多くなって整理されており、床面は清掃されている。
- ・プライバシーの確保：プライバシー保護の観点から、常に居住者を撮像する固定視覚センサは導入しない。

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。

1. センサ死角域の存在：全ての対象を計測するようセンサを環境に分散配置するのは無理である。
2. 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。

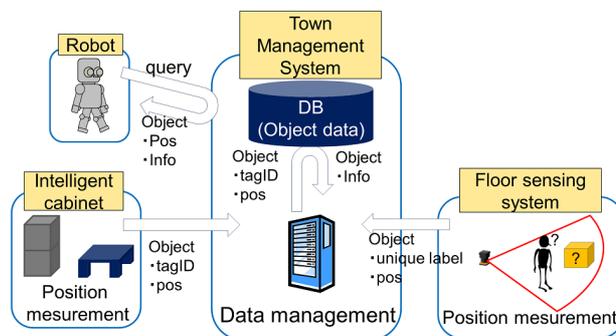


図1 物品追跡システム

しかし、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することが可能になると考えられる。次章で述べる環境配置センサにより、人の行動追跡はできるようになっている。そこで、生活支援ロボットに視覚センサを搭載し、所望の場所に移動し高い分解能で物体探索を行う機能の実現を図る。ロボット視野内を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、これは安価であり、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。

テーブル、棚、椅子などの家具上には、日用品が頻りに置かれる。したがって、行方不明の日用品があれば、まずこれら家具上を探索するのがよい。各家具の形状情報は既知であるので、日用小物が置かれているかは、何も置かれていない状態との差分をとれば容易に検知できる。提案手法は、Kinect センサから取得した家具上の情景の低レベル 3D 情報を、記憶保持された低レベル 3D 情報との照合を行い、その変化の有無を検出するものである。記憶保持される低レベル 3D 情報は、当該地点で取得された直近のもので、4章で述べる変化検出中にて検出される、家具上の全ての物品を記述したものである。照合の結果、変化があった場合には、その変化に応じた認識処理を行うことになる。高次の認識処理を行うことになるが、対象の存在する空間領域が特定できているので、認識処理の効率化が期待できる。

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。

1. 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（知的収納庫など）

2. 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計測域）
3. 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）
4. 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 1 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、2～4 のいずれかの領域に置かれることになる。

2 の場合は、その位置が検出できる。3 または 4 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探せばよいので、探索範囲を限定できる。対象物品も分かっているので、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 [5]

棚板に RFID タグリーダと重量センサを装備したもので、タグを添付した日用品の出し入れ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 [6]

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。床面に平行で直上（約 25mm）をスキャンするレーザにより、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。家具やロボットなど少数の重要物体にはレーザ反射強度を強化したタグテープを貼付することにより、その反射強度値から直接認識できる [7]。それ以外の多数の一般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知が困難な軽量物体や金属光沢を有する物体など、多種多様な日用品についてその存在を検出し、位置計測ができる。この検出・計測では、壁面ミラーによりオクルージョンが少ない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、棚、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。

4. ビジョン搭載ロボットによる変化の検出

4.1 ビジョンを搭載した移動ロボット

日用品の取り寄せなどの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。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、棚内、椅子周り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に赴いて、そこにある物体を認識する。

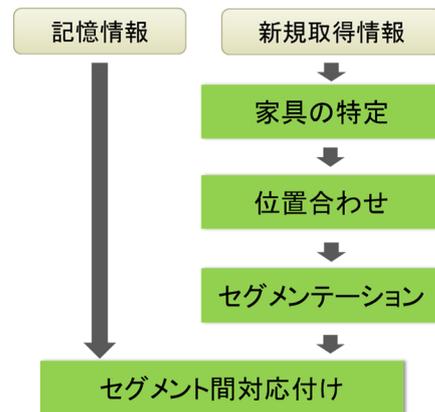


図2 変化検出アルゴリズム

4.2 日用品移動の検出

Kinect を用いて、家具付近の情景を奥行き計測を行い、後述するアルゴリズムの途中で検出される、家具上の全ての物品を低レベル 3D 記憶（点群情報）として保存する。日用品を探索する際、当該家具に接近してシーンの奥行き計測を行い、記憶された低レベル 3D 情報と比較を行い、変化を検出する。

従来研究として、未知環境内でロボット搭載カメラを用いて、情景の変化から物品を検出する手法が提案されている [8]。この研究では、差分をとる 2 つの点群情報の位置合わせを行った後、空間をボクセル化し、各ボクセル内に存在する点群を確認する。1 つの点群情報のみが占有するボクセルを差分として検出する。しかし、2 つの点群情報間で異なる物品が同じ箇所に置かれた場合、2 つの物品の重なりが差分として現れず、検出すべき物品を検出できない問題がある。提案手法では、比較する 2 つの点群情報の差分を直接とるのではなく、家具点群モデルを用いて、点群情報から家具上にある物品を検出した後、2 つの点群情報間で物品の対応付けを行うことにより、変化箇所を検出する。

提案手法のアルゴリズムの大筋は、家具の種類に依らずに共通であるが、アルゴリズムの細部は家具の種類によって異なる。これは、環境固定センサから得られるロボットと家具の位置から、ロボットが見ている家具は推定可能であり、各家具に適した処理を適用できるためである。対象家具はテーブル、棚、椅子の 3 種類である。まずアルゴリズムの大筋について述べた後、家具固有のアルゴリズムについて詳しく説明する。

4.2.1 変化検出共通アルゴリズム

以降、記憶保持された低レベル 3D 情報を記憶情報、新たに取得された情報を新規取得情報とする。各家具で共通の変化検出アルゴリズム手順を図 2 に示す。

まず、カメラで取得した点群情報のうち、家具および家具上の物品に対応する点群を特定する。特定方法は家具の種類により、固有の方法で行う。特定後、以降の処理で必要のない家具および家具上の物品以外の点群は除去する。

記憶情報と新規取得情報は異なる視点から取得されているため、差分をとるためにはこれらの対応付けを行う必要がある。カメラから取得された点群情報と家具の点群モデルとに ICP アルゴリズムを適用すること

により、記憶情報と新規取得情報とを対応付ける。2つの情報の位置合わせを直接行わない理由は、カメラから取得した点群情報には誤差が含まれており、位置合わせの結果にずれが生じるためである。ICP アルゴリズムで重要となる初期位置については、家具の種類によって固有の処理を行う。

家具モデルとの位置合わせ後、家具を構成する点群を除去する。ボクセル空間による差分法を用いて除去する。残った点群に対してセグメンテーションを行い、変化箇所候補となる家具上の物品を検出する。セグメンテーションの結果は記憶情報として保存される。つまり、記憶情報は家具上の物品の点群情報を表す。

最後に、検出されたセグメントと記憶情報のセグメントとの対応付けを行う。対応付けの条件には、セグメントの大きな形状を利用する。最終的に、対応付けられなかったセグメントを変化箇所として出力する。そのセグメントが記憶情報に含まれるものであれば、消失した物品を、新規取得情報に含まれるものであれば、出現した物品を表す。

4.2.2 テーブル上の変化検出

テーブルを構成する点群を、RANSAC を用いて検出したテーブル上面付近にあるものとみなす。位置合わせを行う際の初期位置は、環境分散センサから得られるロボットと家具の位置情報をもとに、回転処理によりテーブルの姿勢を大まかに合わせたものとする。ICP アルゴリズムによる位置合わせ時には、テーブルの上面と足を構築する点群のみを用いる。テーブルを構成する点群を除去し、セグメンテーションを行った後、セグメントごとにテーブル上面からの高さを記述したエレベーションマップを作成する。テーブル上面をグリッド化し、グリッドごとに点群の高さを記述する。作成したマップの情報を用いて、記憶情報と新規取得情報間でのセグメント対応付けを行う。

4.2.3 棚内の変化検出

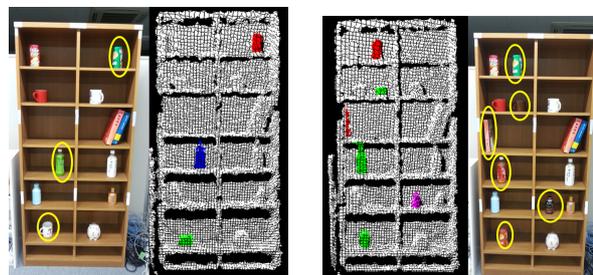
図3のように、事前に棚枠に反射材をマーカとして貼付する。カメラから得られる反射強度値の差からマーカを検知することにより、棚を構成する点群を特定する。マーカの位置から、家具モデルとの位置合わせの初期位置を決定する。セグメンテーション後、セグメントごとに棚前面からの奥行き距離を記述したマップを作成する。作成方法は、テーブルに関するエレベーションマップと同様である。このマップの情報を用いて、記憶情報とのセグメント間対応付けを行う。

4.2.4 椅子周りの変化検出

椅子周りに物品が置かれる状況として、座面に置かれる場合と衣服等が背もたれにかけられる場合を想定する。椅子および椅子上に置かれた物品を構成する点群の特定は、RANSAC によって床面を検出し、除去した後、セグメンテーションによって得られたセグメントの中から、その大きさが椅子の点群モデルと最も近いものを抽出することにより行われる。椅子はテーブルの上面のような広く平らな面を持たず、またどの方向からもカメラによる撮影が可能であり、マーカを添付しても必ず見るとは限らないので、上記の方法で行う。家具モデルとの位置合わせの際には、椅子の背



図3 棚枠の反射材



(a) 記憶情報

(b) 新規取得情報

図4 変化検出例 (棚)

もたれに関して注意する必要がある。初期位置が適切でないと、椅子の座面はほぼ正方形であるため、椅子の姿勢が異なる状態で、ICP アルゴリズムの結果が収束してしまう可能性がある。そこで、椅子上部に存在する点群に関して、重心位置を求め、モデルの背もたれに合うよう事前に回転処理を施す。椅子を構成する点群を除去し、記憶情報とのセグメント対応付けを行う。椅子は、テーブルの上面のような基準となる平らな面を持たないため、対応付けの条件としては、セグメントを内包する四角柱を考え、その形状を利用する。

これまで説明したアルゴリズムによって棚内での変化検出を行った例を図4に示す。各情報の左側が棚内の様子を表しており、黄丸で囲まれた箇所が実際の変化箇所である。また、右側が変化検出結果を表しており、白色以外の色を持つ点群が変化箇所である。

5. 変化検出実験

5.1 実験内容

テーブル2種類、棚2種類、椅子1種類(図5)に対して、記憶情報と新規取得情報を10セット用意し、2つの情報間における変化箇所を検出する実験を行った。実験の対象物品を図6で示す。

5.2 実験結果

各家具における実験結果を表1に示す。テーブルと棚の結果は検出率が93%以上であるのに対し、椅子は72%という結果が得られた。

5.3 考察

変化検出失敗の原因は、主に2つある。1つは、よく似た形状をもつ異なる2つの物品が同じ箇所に置かれた場合に、それらを構成する点群の形状に違いが見えず、同一物品とみなしてしまうことである(図7(a))。この問題を解決するために、カメラから得られる色情報や反射強度情報を用いることを考えている。

もう1つは、特に対象家具が椅子の場合に、ICP アルゴリズムによる位置合わせの結果に大きなずれが生



(a) テーブル A(上),B (下) (b) 棚 A (左) ,B (右) (c) 椅子 A (下)

図 5 実験対象家具



図 6 実験対象物品

表 1 実験結果

(a) テーブル

テーブル	変化数	検出数	検出率	過検出数
A	67	63	94.0	2
B	53	49	92.5	3
合計	120	112	93.3	5

(b) 棚

棚	変化数	検出数	検出率	過検出数
A	54	50	92.6	3
B	82	77	93.9	7
合計	136	127	93.4	10

(c) 椅子

椅子	変化数	検出数	検出率	過検出数
A	26	18	72.0	5

じてしまい、変化箇所を検出できないことである(図7(b)). 椅子特定時に検出する床面の情報をもとに、ICPアルゴリズム適用時に鉛直方向の拘束を加えることにより、ずれを低減することを検討している。

過検出の原因は、2つの情報間で変化していない物品であるにもかかわらず、カメラから得られる点群情報の誤差により、物品の形状に違いが生じて、変化箇所として検出してしまうことである(図8)。ただし、過検出は物品検出の次のステップである物品認識において、同一物品であることが判断できるので、物品追跡システム全体から見た場合は変化検出失敗と比較して大きな影響を及ぼすことはない。

6. むすび

生活環境内の家具上における物品配置変化をロボット搭載カメラから得られる点群情報を用いて検知する



(a)



(b)

図 7 検出失敗例

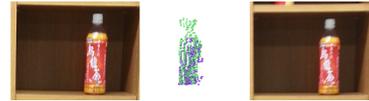


図 8 過検出例

新たな手法を提案した。事前に家具上の情景を記憶として保存しておき、物品配置変化を記憶との差分として検出する。比較する2つの点群情報が異なる視点から取得されることに対して、対象家具の種類に適した処理を施すことにより、ICPによる精度のよい対応付け、および差分処理を行った。提案した手法により、変化箇所のみに対する物品認識処理を行えば、誤認識数や処理時間の削減が期待できる。また、対象とする家具をテーブル、棚、椅子の3種類に拡張したことにより、フロアセンシングシステム等の既存システムの検知領域にある物品情報と統合することにより、環境内の大部分の領域の日用品を追跡できる。

本研究は JSPS 科研費 24700194 の助成を受けたものです。

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, April-June, 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, Ahn Byong-won: "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, (2010.6).
- [4] 桑畑舜也, 長谷川勉, 蔡現旭, 諸岡健一, 倉爪亮, "情報構造化環境における日用品の追跡 - 移動ロボットによる低レベル視覚記憶の照合と変化検出-", 第30回日本ロボット学会学術講演会予稿集, 2J2-7, (2012.9)
- [5] 村上剛, 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, (2010.9).
- [6] 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
- [7] 表允哲, 長谷川勉, 曾昀, 辻徳生, 諸岡健一, 倉爪亮, "レーザレンジファインダによる反射強度と位置計測を用いた床上センシングシステム", 第30回日本ロボット学会学術講演会予稿集, 2H2-2, (2012.9)
- [8] Parnian Alimi, David Meger, and James J.Littel, "Object Persistence in 3D for Home Robots", Semantic Perception, Mapping and Exploration, 2012 07