

パーソナル清掃ロボットによる室内落下日用品の収集

Development of a personal cleaning robot to collect everyday objects on the floor

○ 橋口 優香 (九大) 正 長谷川 勉 (九大) 表 允哲 (九大)
正 辻 徳生 (九大) 諸岡 健一 (九大) 正 倉爪 亮 (九大)

Yuuka HASHIGUCHI, Kyushu University, hashiguchi@irvs.ait.kyushu-u.ac.jp
Tsutomu HASEGAWA, Kyushu University, Yoonseok PYO, Kyushu University
Tokuo TSUJI, Kyushu University, Ken'ichi MOROOKA, Kyushu University
Ryo KURAZUME, Kyushu University

We developed a service robot that picks up everyday objects. The robot is equipped with a small manipulator and a Kinect sensor. A role of the robot is to collect objects which lie scattered on the floor of a room before a cleaning robot (Roomba) works. The robot uses not only a sensor mounted on it but also one laser range finder (LRF) installed in the room. By this, the robot can find objects and move to the grasping point efficiently.

Key Words: Service robot, Picking up, Everyday object

1 はじめに

超高齢社会における介護現場での人手不足が社会問題となっており、要介護者の生活支援を行うサービスロボットの開発、普及が期待されている。本研究では生活支援作業として、介護施設の個室で床清掃作業を行うロボットシステムの開発を行う。

ロボットによる室内清掃についてはルンバ等の清掃ロボットが商用化されているが、処理できない大きなゴミ、誤って吸い込んではいけない日用品、あるいは車輪に巻き込む恐れのある布製品などを前もって拾い集めなくてはならない。これに対して、ルンバ等を移動ベースにしてアームを搭載し、日用品を拾い上げる先行研究が存在する。例えば Zhe Xu らは、高確率で床上の日用品を把持できるエンドエフェクタを開発した [1]。また、久禮らはルンバ内蔵センサのみを用いて“押し、把持、後退”いずれかの片づけ行動を行わせるアルゴリズムを提案した [2]。これらはロボット近傍にある、小さくまとまり形状変化のない日用品をうまく拾い上げるハンドリング機能を実現したものといえる。一方、生活環境にはタオル、衣類などを把持することで形状が変化し、広がってしまうものも多いが、それらを拾い上げることは想定していない。また、限られた視野しか持たないロボットにとって、床上のどこに拾い上げ対象があるのかを知ることが難しく、課題として残されている。

センシング機能やハンドリング機能に制限のあるロボットの動作を助けるため、環境情報構造化が提案されている [3], [4]。これは、環境側にカメラやレーザレンジファインダ (LRF)、RFID タグなどを分散配置し、取得した情報をネットワーク上で管理するものである。本研究では、情報構造化環境でルンバと協調し床清掃作業を行うロボットシステムを開発することを目的とする。このロボットの役割は掃除の妨げとなる床上放置物品を、自身に取り付けられたカゴの中へ回収することである。ごみとして紙くず、そして従来研究では実現されていなかったタオル、ハンカチなど布製品の片付けを達成する。

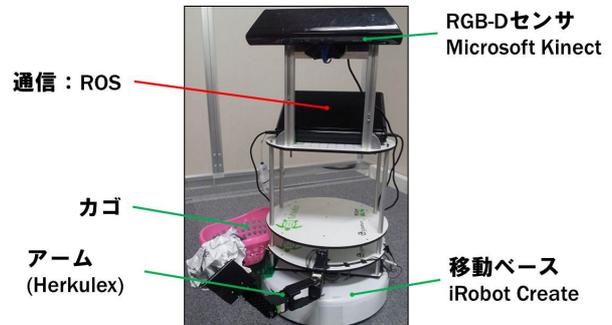


Fig.1 Robot model

2 ロボット設計

人間の生活空間で動くロボットは小型軽量でなければならず、さらに安全性や小回りの利くことが求められる。そのため、搭載できるセンサやマニピュレータの大きさと機能は制約を受ける。床上放置物品の収集に必要な動作を行うためのハードウェアとして、

- 検出した物品まで移動するための移動ベース
- 物品を認識・識別するための視覚センサ
- 識別した物品を把持するためのマニピュレータ

を備えたロボットを製作した (図 1)。マニピュレータは、グリップ付 3 自由度である。自由度配置図を図 2(a) に示す。グリップ部分には、把持した物品が滑らないように柔軟な緩衝材と、布を把持するとき床との間に滑り込ませるための爪を取り付けた (図 2(b))。

3 物品検出と移動

ロボットは、環境固定センサ LRF を利用して構築された床センシングシステム [5] から物品の二次元座標データ、ロボット追跡システム [6] からロボットの位置と姿勢を取得できる。自己位置を一定周期で取得して自己位置推定を行いながら、物品の座標まで移動する。複数回の試行により、物品検出および移動が正しく行えることを確認した (図 3)。

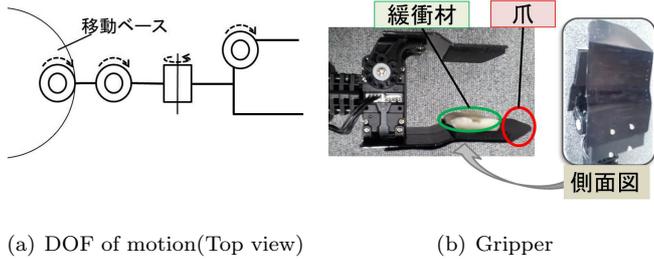


Fig.2 Design of the manipulator

画像処理 物品	元画像	平滑化	グレースケール化	2値化	輪郭描写
紙くず(白)					
タオル小(白)					
タオル小(白)					

Fig.4 Process step of contour extraction

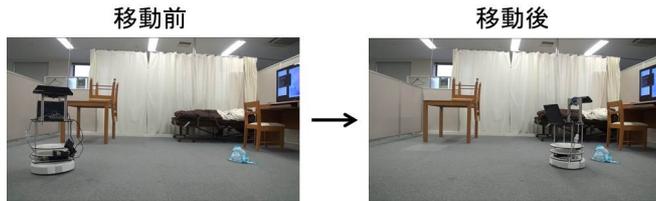


Fig.3 Object detection and Movement of the robot

3.1 床センシングシステム

環境固定センサは、レーザ光を水平に掃引し、照射したレーザが物体から反射されて返ってくる時間を元に、センサから物体までの距離を算出する。さらに、レーザの投射角度から物体の方向を算出することで、環境内にある物体の位置を計測できる。レーザ走査面は、可能な限り小さなものまで検出できるように、地面と平行かつ床上 2.5cm の高さに設置し、25msec 毎にスキャンデータを取得している。

ロボットは、このシステムから物品の座標データを瞬時に取得できる。これは、ロボット搭載センサを使用して環境内を移動しながら物品を検出するよりも遥かに高速で、正確な物品検出方法である。

3.2 ロボット追跡システム

ロボットの側面に所定の長さ、間隔で再帰反射材を付け、LRF で得られる距離と反射強度とからロボットの位置と姿勢を計測するシステムである。円筒形など幾何特徴のないロボットの姿勢を計測できる。

4 物品の識別と把持

4.1 物品識別

把持対象の代表例として、A4 用紙を丸めて作った紙くずと 30cm 四方に収まるタオルを想定する。前者は床面からの高さがあるので、グリップが上方から接近して把持できる。後者は床面に薄く広がっているときは、布端からグリップ先端の爪を床との間に差し込まないと把持できないし、折り畳んで小さくまとめたうえで折り目を再把持しないとカゴへの投入がうまくいかない。そこで、以下の判断基準を用いて物品を識別し、適切なハンドリング戦略を選択する。

- 大きさが閾値以上であれば折り畳みが必要な布
- 大きさが閾値以下かつ高さが閾値以下であれば、把持可能な布

- 大きさが閾値以下かつ高さが閾値以上であれば、紙くず。但し 1 回以上折り畳み動作を行った物品は布
- 折り畳み操作を行った後も大きさが閾値以上であれば、折り畳みがうまくいかない形状の布 (表面に凹凸があるため床面との摩擦が小さいランダムな形状)

物品の大きさおよび高さは、ロボット搭載センサ Kinect から得られる RGB 情報と Depth 情報を用いてそれぞれ取得する。

4.1.1 RGB 画像を用いた物品の輪郭抽出

物品の大きさを得るために RGB 画像を用いて輪郭抽出を行う。手順は以下のとおりである。

1. ガウシアンフィルタによる平滑化
2. グレースケール画像への変換
3. 2 値画像への変換
4. 輪郭の抽出
5. 輪郭の描写

この手順で複数の把持対象物に対し輪郭抽出を行った結果を図 4 に示す。RGB 情報は、物品の色や照明条件に影響を受ける。乱雑に置かれたタオルや丸めた紙くずは、自身の重なりによって物品内に陰影ができ、輪郭の一部が内側にへこんだ形で抽出されることがある。しかし、表面に凹凸がなく、床との色の違いが明確な白いタオルに関しては正確な輪郭抽出が行われることが確認できた。

4.1.2 Depth 画像を用いた物品の 3 次元点群データ取得

物品の高さを得るために Depth 画像を用いて物品の 3 次元点群データを取得する。手順は以下のとおりである。

1. ボクセルグリッドフィルタによるダウンサンプリング
2. RANSAC アルゴリズムによる床面検出
3. 検出した床面の除去

この手順で複数の把持対象物に対して点群の取得を行った結果を図 5 に示す。床面検出の閾値をそれぞれ 1mm, 5mm, 10mm と変化させ、検出した床面を赤で表している。閾値が 1mm の場合、全ての物品で床面検出に失敗している。これは、床面検出アルゴリズムの精度に対し閾値が小さすぎるためである。閾値が 5mm, 10mm の場合の結果から、Depth 画像を用いた平面検出は、物品に一定以上の高さが必要であることが分かる。紙くずは十分な高さがあるため、10mm 程度の閾値で平面と物品との境界線をはっきり検出できる。一方タオルは、床に接している部分も床面として検出されてしまうため、正確な検出を行えない。

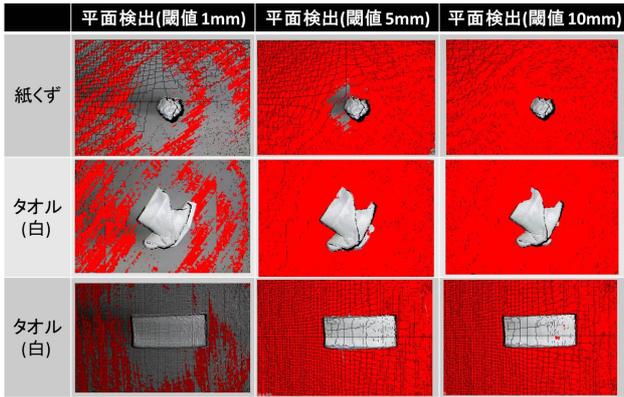


Fig.5 Detection of floor as planner surface

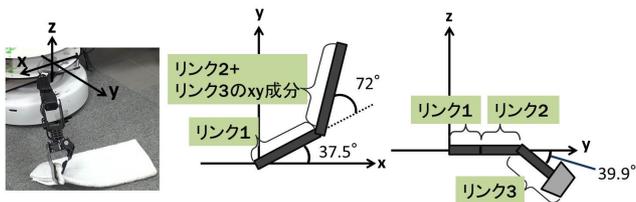


Fig.6 Initial position for folding towel

4.2 物品把持

物品識別の結果に応じて以下の操作を行う。

4.2.1 布の折り畳み

折り畳みが必要な布と判断されると、布の一端を掴んで反対側へ持っていき操作によって折り畳みを行う。手順は以下の通りである。

1. 輪郭情報から布の右端、左端となる点の座標をマニピュレータ座標系で取得する。
2. 両端の x 座標の差を物品の横幅として保持する。
3. 布の右端を掴むため、把持の目標座標を 1 で求めた布の右端に定める。
4. 床と布の間にグリッパの爪を滑り込ませ、把持する。
5. グリッパを少し持ち上げ、布の折り畳みの初期姿勢 (Fig.6) へ持って行く。これは、布を引っ張って伸ばすと共に、折り畳み動作の際利用するマニピュレータの第 1 関節の可動範囲を広げるという意味がある。
6. 折り畳む距離を計算して (図 7) 第 1 関節を θ だけ動かし、約半分に折り畳む。このとき、床に敷かれたカーペットとの摩擦によって布がずれたり回転したりしない。
7. 折り目が開かないよう、グリッパで布を押さえる。

4.2.2 紙くずの把持

紙くずと接触して位置がずれないように、グリッパは上方からアプローチする。以下の手順で目標座標を定める。

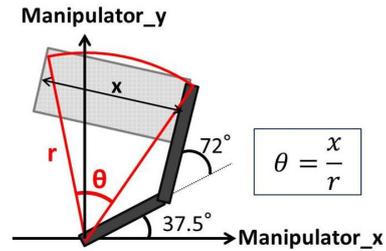


Fig.7 Joint angle calculation for folding towel

1. 物品の点群データを、マニピュレータ座標系の高さ 1cm 毎に切り出す。
2. 各高さにおける物品の幅を算出する。
3. 上から 1cm 毎に物品の幅とグリッパ幅を比較し、グリッパ幅以上の幅をもつ高さがあればその 1cm 上を目標の高さとする。
4. どの高さもグリッパ幅以下であれば物品の高さからグリッパの長さを引いた値を目標の高さとする。
5. 決定した高さにある点群の中心座標を求め、把持の目標座標とする。

4.2.3 布の把持

把持を試みる布の形状には 2 種類考えられる。1 つ目は折り畳み操作が困難と判断されたランダム形状のもの、2 つ目は折り畳まれた矩形のものである。前者は物品の中央を把持する。布表面の凹凸によって中央付近でも掴みやすいと考えられることと、布の中央付近に折り目が作られることが期待できるからである。後者は布の右端を掴み、カゴへ回収する。右端を把持する理由は 2 つある。1 つ目はグリッパの爪が右側に取り付けられているため、2 つ目は、上で述べた方法で布を折り畳んだ場合、折り目が右側にくるためである。折り目を掴むことで、布を持ち上げたときに垂れ下がる長さが布の初期状態の横幅の約半分に減り、布をひきずらずにカゴへ回収できる可能性が高くなる。

5 実験

5.1 実験内容

紙くずと、白色無地のタオル (38cm × 29cm) の回収実験を行った。実験開始時、物品はグリッパの到達可能領域内にあることを前提とする。紙くずは、ロボットから見て右側、正面、左側の 3 箇所において実験を行った。タオルは、形状を縦を 1/2 に畳んだもの、縦を 1/3 に畳んだもの、床上約 30cm から自然落下させたランダムなもの 3 種類とし、全体を Kinect の視野範囲内に入れるため、ロボット正面に配置した状態から実験を行った。物品識別からカゴへの回収までの実験を各 5 回、計 30 回行った。

5.2 結果

紙くずの回収実験結果を表 1、タオルの回収実験結果を表 2 に示す。また、縦を 1/2 に畳んだ形状のタオルの回収実験に成功した様子を図 8 に示す。

配置	把持	回収
左	3/5	3/5
中央	4/5	4/5
右	4/5	4/5
成功率	11/15	11/15

Table 1 Success rate of collecting a wastepaper

形状	把持 1*1	把持 2*2	回収
縦 1/2	5/5	4/5	4/5
縦 1/3	5/5	4/5	3/5
ランダム	5/5	5/5	4/5
成功率	15/15	13/15	11/15

Table 2 Success rate of collecting a towel



Fig.9 Failure of folding a towel



Fig.10 Failure of putting a towel into the basket

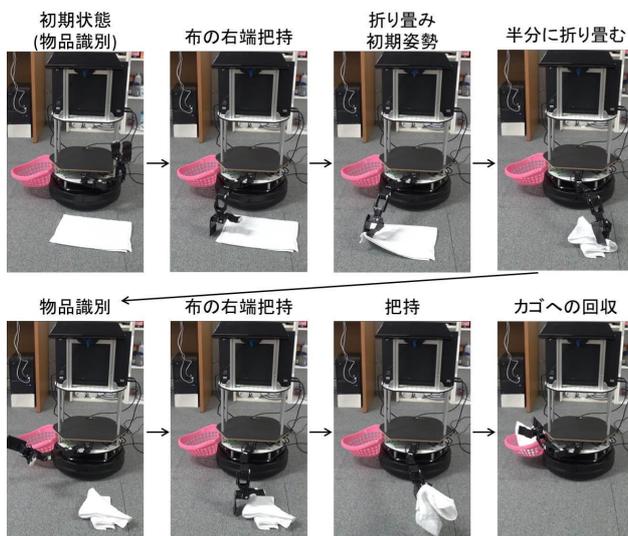


Fig.8 Snapshots of towel folding

6 まとめ

RGB-D センサ Kinect を持つ小型ロボットに簡易なマニピュレータとカゴを取り付け、情報構造化環境下で床上放置物品を回収するロボットシステムの開発を行った。これまでの研究では対象とされていなかったタオルについて、その広がり様子を計測し、折り畳んだうえで把持・回収する戦略を実装し、実験によりその性能を確認した。

文献

- [1] Z. Xu, T. Deyle, and Charles C. Kemp. 1000 trials: An empirically validated end effector that robustly grasps objects from the floor. 2009 IEEE Int. Conf. Roboticas and Automation, pp. 2161–2167, 2009.
- [2] 久禮星弘, 水内郁夫, 田端悠人. 自動掃除機の内部センサを用いた片付け行動のための物体の方向と可搬性の推定. 第11回 SICE システムインテグレーション部門講演会論文集, pp. 1196–1198, 2010.
- [3] 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.
- [4] 村上剛司, 長谷川勉, 木室義彦, 千田陽介, 家永貴史, 有田大作, 倉爪亮. 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.
- [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. 29, pp. 1144–1147, 2010.
- [6] 表允哲, 田中真英, 長谷川勉, 辻徳生, 諸岡健一, 倉爪亮. レーザレンジファインダの反射強度を利用した物体及びロボットの位置計測. 第13回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会論文集, pp. 587–591, 2012.

5.3 考察

5.3.1 紙くずの回収

約 73 % の成功率で把持・回収することができた。失敗理由は、誤差により把持位置が目標からずれてしまったことによる。

5.3.2 タオルの回収

約 73 % の成功率で回収に成功した。失敗理由は誤差による目標座標のずれと、折り畳み後または回収時に布がグリッパに引っかかってしまったことによる。図 9, 図 10 に、このときの様子を示す。

*1 折り畳みのための右端把持

*2 回収のための右端把持または中央把持