事例紹介

QRコードを用いたロボットの物体操作作業

Object Manipulation of a Robot by Utilizing QR Code

太田 順* 香月 理絵* 新井 民夫* *東京大学大学院工学系研究科

Jun Ota*, Rie Katsuki* and Tamio Arai* *Dept. of Precision Engineering, School of Engineering, the University of Tokyo

1. はじめに—ロボットのための環境整備—

ロボットの適用範囲を、従来の工場環境から、オフィス・家庭環境へ展開することを考えた場合、考慮すべき主要な特徴として以下の二つが挙げられる [1].

(特徴1) ロボットの作業する環境が変動し得る.

(特徴2) ロボットが実現すべき作業が多様である.

前者は、オフィス・家庭環境地図の構成は可能であるものの、作業環境を構成している物体群、例えば椅子や机の位置は変動し得るという意味である. 後者は、工場環境では決められた少数種類の作業を高頻度で行う作業が多いのに対して、オフィス・家庭環境では多種種類の作業を低頻度で行うことが多いという意味である. 例えば、テーブル上の食器を片付ける作業は日に3回程度であるし、郵便ポストから新聞を持ってくる作業は2回程度である. しかしながら1日にこなさなければならない作業の種類は非常に多い.

筆者らは、上述の作業環境において確実に動作するロボットシステムの構築を目指して、ロボットの作業環境を整備するアプローチを採用した. 具体的には記憶機能付き人工マークをあらゆる作業対象物体に貼付する方法論を述べる. ここで、作業対象物体の位置・姿勢が変化してもマークまでの相対位置・姿勢計測を実時間で行うことにより特徴1の問題へ対処できる. また、人工マーク内の記憶媒体に作業内容を記録し、それをロボットが読み取りながら作業することで特徴2の作業多様性にも対応できる.

本解説記事は以下の構成をとる. まず第2章でロボットの認識機能を補助する人工マークについて述べる. 第3章ではそのような人工マークが作業環境内に多数存在する場合への対処法を、複数物体のピッキング作業を例題として述べる. 第4章で、作業が与えられたときの物体への人工マーク配置箇所の決定法とロボットの動作手順決定法を、蛇口閉め作業を例として述べる. 第5章で本解説記事を結論付ける.

原稿受付 2005年5月31日

キーワード: Environmental Support, Object Recognition, Marker, Object Picking, QR Code

*〒113-8656 文京区本郷 7-3-1

*Bunkyo-ku, Tokyo

2. 人工マークの設計

1章で述べた人工マークの設計は、「あらゆる作業対象物体に貼付するためのサイズの小型化」と「位置・姿勢計測精度の確保」の両立を目指す必要があるため容易ではない. 実際に設計した記憶機能付き人工マークを図1に示す [2]. これは、ロボット人工マーク間の三次元的な位置姿勢計測を支援する「マーカ部」と、作業情報を格納する「記憶部」から構成される. 周縁部にある四つの円がマーカ部を構成し、中心部にあるQRコード(二次元バーコードの規格の一種)が記憶部を構成する. マーカ部の位置・姿勢計測精度としては計測距離に対して約2.5%という結果が得られている. QRコードに埋め込む情報としては、人工マークが貼られている物体の属性情報(形状、質量等)、作業情報(物体の操作方法、同一物体に貼付している他の人工マークの位置姿勢)等を考える. ここでは、物体の操作方法を、並進運動、回転運動等の「物体の動作レベル」の系列で表現する. 記憶部に格納した情報例を図2に示す.

図1 設計した人工マーク

```
shape:30,-30;30,-30;210,0
name:***** (500ml) _1
handle_pose:-1,0,0;0,0,1;0,1,0;0,0,130
handle_pose:-1,0,0;0,1,0;0,0,-1;0,0,130
handle_pose:0,-1,0;-1,0,0;0,0,-1;0,0,130
handle_pose:1,0,0;0,0,1;0,-1,0;0,0,80
handle_pose:0,-1,0;0,0,-1;-1,0,0;0,0,80
handle_pose:0,1,0;0,0,1;1,0,0;0,0,80
origin:1,0,0;0,0,-1;0,1,0;0,-120,-30
```

図2 記憶部に格納されている情報の例

図3 作業環境整備と作業実現

ここでは貼付されている物体形状を直方体近似した場合の寸法、物体名、6種類の物体把持姿勢、人工マークの貼付位置が記載されている。この後に作業に対する物体の動作情報が格納される。

想定する作業イメージを図3に示す。まずロボットとして、手先のグリッパ部に単眼 CCD カメラ、力覚センサ、近接覚センサを搭載し、QRコード情報を読み取る機能を有する多関節型マニピュレータを想定する。さらに物体の動作レベルに対応するロボットの動作要素を設定する(図3(a))。次に人工マークに格納すべき情報を生成し作業環境中に貼付する(図3(b))。ここまでの作業前のセットアップ段階である。その後、人間からの要請に伴い作業を開始する(図3(c))。人工マークを観測しながら作業を実行する(図3(d))。

3. 多数人工マーク環境への対処—複数物体のピッキング作業—

複数物体のピッキング作業を行うためには、各物体の認識が不可欠である。単眼 CCD カメラによる人工マークの観測でそれを実現する[3]。人工マークには貼付物体固有の情報も QR コードにより記載されており、ロボットはその情報を基に搬送順序・把持姿勢を計画する。物体同士の重なりによる人工マークのオクルージョンが問題となるため、その解決を目指す。前章でも述べたようにここでは物体ごとに把持姿勢の候補点をあらかじめ数種類設定している。これは、ロボットハンドによってある物体を把持する際に、近接する他の物体が干渉してその物体を把持できなくなる事態を

図4 実験装置

(a) 人工マークの探索

(b) カメラ画像

(c) ペットボトルの把持

(d) 近接覚センサによる干渉チェック

(e) パックジュースの操作

(f) 懐中電灯の操作

図5 多数物体のピッキング作業の実現

避けるためのものである。実験では、図4に示すデンソー(株)製6軸多関節型マニピュレータ AM-60A0Dの手先に自作ハンド機構ならびに CCD カメラ SONY FCB-1X10, バーコードリーダー KEYENCE TL-600 を搭載したシステムを用いた。ペットボトル、紙パックジュースの奥に懐中電灯が隠れている環境におけるピッキング作業の様子を図5に示す。(1) テーブル上を探索して人工マークを発見・計測し、物体数とそれらの姿勢を算出する(図5(a), (b))。

ここで複数の観測姿勢から同じ人工マークを計測し、各観測で5回人工マークを計測して単純平均することで、誤差の偏りを少なくした。ちなみに懐中電灯は、貼付されている人工マークが紙パックジュースの陰に隠れているため発見されていない。(2) テーブルの側面に近いものから、ペットボトル、ジュースの順に搬送順序を決定する。(3) ペットボトルの把持姿勢を決定する。いくつかの把持位置候補の中から干渉していない候補を選択し、ペットボトルをハンドリングする(図5(c))。(4) ジュースの把持姿勢を決定する。干渉しないと判断した把持位置へ移動するが、懐中電灯に対して干渉をチェックしておらず衝突が予想される。これを把持動作時に手先の近接覚センサで感知し(図5(d))、別の把持位置候補からジュースを把持・搬送する(図5(e))。(6) テーブル上を再度探索し、発見した懐中電灯を把持・搬送する(図5(f))。

このようにオクルージョンが存在する複雑な環境下でも、近接覚センサの利用やピッキング代替案の実時間利用により対処可能であることが示されている。また、ここでの結果は、作業環境側に作業情報があったとしても依然としてロボットにある種の知能が不可欠であることを意味している。すなわち、複数個の物体が実際に作業環境に置かれた場合、それらの相互関係は人工マークに記述するわけにはいかず、あくまでロボットの認識行為により獲得されなければならない。またそのような状況下でのロボットの行動(ここでは動作手順生成)もまたロボット知能として埋め込まれるべきものである。

4. ロボット動作手順と人工マーク配置箇所 決定—蛇口閉め作業—

ロボットが所与の作業を行う場合、ロボットが用いるセンサ情報、作業対象物体への人工マーク貼付位置の違いにより作業完了時間に差が生じる。すなわち、その時間を最適化する上記の要因の設計が重要である[4]。

一般的に、作業対象には固定部と可動部があるため、情報の格納方法として、(a) 固定部のみ、(b) 可動部のみ、(c) 固定部と可動部両方の3通りが考えられる。ロボットの動作生成には、人工マーク情報を取得するための視覚センサが不可欠である。ここでは、それに加えて、ロボットの動作生成時に力覚情報を用いない場合と用いる場合の2通りに分類する。ここでは前者を視覚センサベースと呼び、後者を視覚+力覚センサベースと呼ぶ。このように作業環境整備法3通りとロボット動作生成法2通りの積として計6通りの作業方法が考えられる。しかし、固定部または可動部のみに単独に人工マークを配置している場合、視覚センサベースの動作生成では、固定部と可動部の相対位置関係が取得できない。したがって、作業方法は表1のように方法A～Dの4種類存在することとなる。

表1 作業実現方法の分類

マーク貼付位置 ロボット動作	固定部1箇所	可動部1箇所	両方1箇所ずつ
視覚センサベース	困難	困難	方法 A
視覚センサ+力覚センサベース	方法 B	方法 C	方法 D

(a) 方法 A

(b) 方法 C

(c) 方法 D

図6 動作シーケンスの例

上記で定義した作業方法を評価するために、作業目標を達成する動作要素系列を表1の作業方法ごとに生成する。この際作業失敗時のフィードバックループも組み入れる。これらの系列は使用者自身がブロック図を用いて作成する。引き戸開け作業を対象とした方法A、C、Dに対する動作系列のブロック図の例を図6に示す。ここで各ブロックは動作要素に対応している。それぞれの方法について、システムの信頼性を評価する方法の一つである心理的予測法を用いて予想作業時間を見積もり、一番最短である方法を採用する。その際、各動作要素ごとに事前に測定した作業達成時間、作業成功率を利用している。

提案手法を蛇口閉め作業に適用した結果を図7に示す。この場合は上述の解析の結果、方法Aが適切であるという結果が得られているため、その方法に基づいてロボットの動作を実装した。ロボットはまず蛇口前面の壁に固定されている人工マーク(Mark 1)を探索、QRコード情報を取得する(図7(a), (b))。次にそこから蛇口取っ手部(可動部)に設置されている人工マーク(Mark 2)を探索、情報を取得する(図7(c), (d))。蛇口を把持し、何度か持ちか

(a) マーク 1 の探索 (b) マーク 1 情報取得

(c) マーク 2 の探索 (d) マーク 2 情報取得

(e) 蛇口の把持 (f) 蛇口の回転

(g) 蛇口の持ち替え (h) 蛇口の再回転

(i) 作業完了

図 7 蛇口閉め作業の実現

えをしながら蛇口閉め作業を実現している (図 7(e)~(i)). 他の方法を用いて実装した場合と作業完了時間を比較した結果, 当初の見積もり通り, 方法 A が他の方法よりも適しているという結果を得た. これより事前の評価が適切であったことが分かる. ある作業を実現する環境整備法ならびにロボット動作生成法は多様に存在するが, 本章の手法は信頼性理論を用いることでそれらを作業前に評価し, どのよ

うな作業実現形態が適切かを判断できるものである.

5. お わ り に

本解説記事ではロボットの知的動作を支援する環境整備法について述べた. 今後の展望としては, オフィス・家庭環境における利用者はいわゆる素人であり, 工場環境と異なるため, それを前提としたシステム構成が必要である点が挙げられる. 筆者らは文献[5]において自然言語での作業記述とロボットの動作要素との関係をシソーラスにより解析する研究も行っているが, この方向の研究をより発展させるべきであると考えている. 例えば 4 章において動作系列は使用者が生成するという想定をしているが, オフィス・家庭環境へのより一層の展開のためには動作プログラミング負荷の飛躍的低減が不可欠である. そのような意味から, より容易な教示技術ならびにキャリブレーション技術の確立, さらに言えば筆者らが文献[6]において主張した『環境内包過程の明示化』技術の構築が重要であると考えている. 作業環境ならびに達成すべき複数個の作業が与えられたときに, ロボットにはどのような知能を事前に持たせるべきか, 作業環境地図情報をどのように獲得するか, どのような個別作業をロボットに教えるか, という手順を明示化すべきであるし, その方法論を研究対象/評価対象とすべきであるという意味である.

謝 辞 本解説記事を書く基となった研究を遂行するうえで, デンソーウエーブ (株) の諸氏にはハードウェア装置開発や研究遂行時のディスカッション等で大変お世話になった. ここに謝意を表す.

参 考 文 献

- [1] 太田順, 山本正和, 池田和生, 相山康道, 新井民夫: “記憶機能付き画像マークによる作業移動ロボットののための環境整備”, 日本ロボット学会誌, vol.17, no.5, pp.670-676, 1999.
- [2] 香月理絵, 太田順, 新井民夫, 植山剛: “単眼画像から三次元位置姿勢計測を行う人工マークの提案”, 日本機械学会論文集 C 編, vol.71, no.706, pp.1927-1936, 2005.
- [3] 香月理絵, 太田順, 田村雄介, 水田貴久, 鬼頭朋見, 新井民夫, 植山剛, 西山強志: “マークを用いたロボットの多種類物体ハンドリング”, 日本機械学会論文集 C 編, vol.691, no.70, pp.766-773, 2004.
- [4] 香月理絵, 水田貴久, 太田順, 鬼頭朋見, 新井民夫, 植山剛, 西山強志: “信頼性理論を用いたロボットの作業環境整備法と動作生成法”, 精密工学会誌, vol.70, no.2, pp.224-229, 2004.
- [5] R. Katsuki, R. Siegwart, J. Ota and T. Arai: “Reasoning of Abstract Motion of Target Object through Order with Natural Language As Preknowledge of Object-Handling-Task Programming for Service Robot,” Advanced Robotics, to appear, 2005.
- [6] 太田順, 新井民夫: “単機能モジュール群ロボットシステム”, 日本ロボット学会誌, vol.21, no.8, pp.877-881, 2003.

太田 順 (Jun Ota)

1989年東京大学工学系修士修了。同年新日本製鐵(株)入社。1991年東京大学助手。1994年同講師。1996年より東京大学工学系研究科精密機械工学専攻助教授。この間、1996～1997年スタンフォード大学客員研究員。群ロボットの計画と制御、搬送システム制御、ロボットの環境整備の研究に従事。博士(工学)。

(日本ロボット学会正会員)

香月理絵 (Rie Katsuki)

2002年東京大学工学系修士修了。2005年同博士課程修了。博士(工学)。同年東芝(株)に入社。現在に至る。在学中はロボットのための環境整備法に興味を持つ。

(日本ロボット学会正会員)

新井民夫 (Tamio Arai)

1947年8月4日生。1970年東京大学工学部精密機械工学科卒業。1977年同博士課程修了。工学博士。1987年東京大学工学部精密機械工学科教授。1979年英国エディンバラ大学人工知能学科研究員。2000～2005年東京大学人工物工学研究センターセンター長。自動組立、移動ロボットの協調、自律分散システムなどの研究に従事。精密工学会論文賞、IMS賞など。2004年日本ロボット学会フェロー。IEEE、CIRPなどの正会員。

(日本ロボット学会正会員)