

2 産業用ロボットによる円盤形状部品のランダムピッキングシステム

岡野 仁, 安部重毅, 是永晋治, 大賀 誠, 賀谷幸弘*

Development of bin-picking system by industrial robot

OKANO Hitoshi, ABE Shigeki, KORENAGA Shinji, OGA Makoto and KAYA Yukihiko

Bin-picking (picking a parts material from bulk in a container) is one of the processes which have the request of automation from the production site aiming at improvement in productivity, and at labor-saving effect. Applying an industrial robot to this process has been requested from the applicability perspective to various parts materials. In order to realize bin-picking by an industrial robot, it is necessary to recognize three-dimensional position and posture about the parts material which is going to be picked, and this is generally difficult for image processing technology.

We developed an experimental bin-picking system which combined an industrial robot and a simple image processing with a depth-map camera. In this system, the error or misconception of the position and posture which is arisen from adoption simple image processing is compensated by the contrivance of a robot hand or a robot job.

キーワード：産業用ロボット, ロボットハンド, 画像処理, 距離画像, ランダムピッキング

1 緒 言

機械部品の生産において、素材部品を加工機へ供給するために、通い箱と呼ばれる輸送ケースからバラ積みされた部品を1つずつ取り出す工程はランダムピッキングと呼ばれる。この工程を人間が行う場合は、重い部品を1日あたり数百個も取り出す重労働であり、単純な繰り返し作業であるため、自動化による軽労化が望まれている。

本工程の自動化装置として、振動などを利用して部品を整列させて取り出すパーツフィーダがあるが、扱う部品ごとに設計・製作する必要があることや、大きく重い部品への対応が困難という課題がある。そこで、部品の種類の変化への対応が比較的容易な、産業用ロボットを用いたランダムピッキング技術の開発が行われている¹⁾。

産業用ロボットは、あらかじめ教示した動作を正確に繰り返す動作（ティーチングプレイバック方式）を得意とするが、ランダムピッキングでは、取り出すべき部品の位置・姿勢が都度変わるため、単純なティーチングでは対応できない。このため、センサ等を利用して部品の配置状態を把握し、これに応じてロボットを制御する必要がある。

本報告では、比較的low価格な距離画像カメラを用いた画像処理技術による部品の位置・姿勢の把握と、把持機構やロボット制御への工夫を組み合わせることで、産業用ロボットによる円盤形状部品のランダムピッキングシステムを構築した事例を示す。

2 ロボットによるランダムピッキング

2.1 対象工程

本報告において、産業用ロボットによる自動化に取り組んだランダムピッキング工程を表1に示す。

表1 対象工程

対象部品	直径 150mm, 厚さ 25mm の円盤形状 円盤面に段差あり 直径 35mm の中心穴 質量 3kg 弱 表面仕上げなし (鏡面ではない)
通い箱	約 900mm×500mm×450mm 対象部品 200 個バラ積み
タクトタイム	数十秒 (対象部品 1 個の取り出し時間)

この工程は、実際に県内企業において手作業で行われているものである。一般には、取り出した部品は加工機へ正確に配置する必要があるが、この企業では生産ラインの工夫によって、ワーク配置テーブル（コンベア）に載せるだけでよい。

2.2 システム構成

この工程に対して開発したシステム構成を図1に示す。ロボットと周辺装置一式のほか、距離画像カメラとパソコン（以下PC）でハードウェアを構成する。ロボットアームの先端には、対象部品の取り出しに適したハンドを取り付ける。

システムは、PC上のプログラムと、ティーチングプレイバック方式によるロボット制御盤上のプログラム（ロボットジョブ）をいくつか連携させて構築する。処理フ

* 株式会社海南鉄工所

ローは、画像処理部とロボット制御部に分けられる（図2）。

画像処理部では、カメラからの距離画像を PC で画像処理し、ロボットで取り出す対象部品の位置・姿勢を求める。複数の候補が得られている場合には、把持動作が容易となる基準でそのうちの1つを選定し、ロボット制御部へ提示する。この時、位置・姿勢は距離画像カメラの座標系から、ロボット内部の座標系に変換を行う。

ロボット制御部では、あらかじめ教示しておいたロボットジョブを起動する。まず“取出ジョブ”が、提示された位置・姿勢に基づいて取り出し動作を行う。このジョブは、ハンドが把持動作を完了した後に、その状態を確認し条件分岐を行う。把持が成功している場合には、取り出した対象部品を所定の位置に置くための“配置ジョブ”を、失敗の場合には、待機位置に戻る“復帰ジョブ”を起動する。

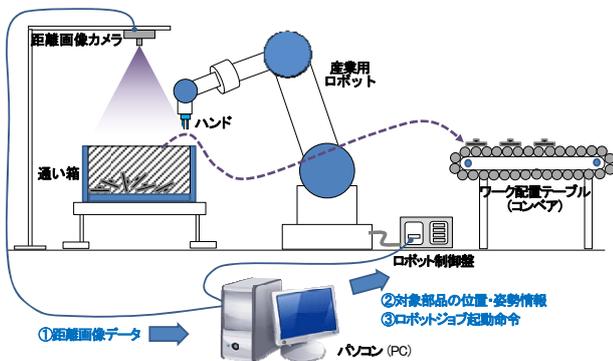


図1 システム構成

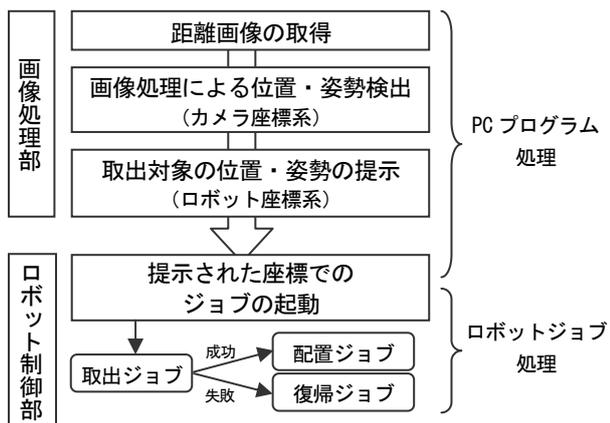


図2 処理フロー

3 構成技術

3.1 ハンド

部品を取り出すためにロボットアームの先端に取り付

けるハンドの把持手法には、掃除機のように吸引する（負圧吸引）、電磁石で吸着する（磁力）、物理的に複数の爪で挟む（物理的挟持）などの選択肢がある。

本報の対象部品は重量物であり、かつ表面に凹凸があるため、負圧吸引での把持は困難である。また、磁力には脱磁工程が増えるという欠点がある。よって、物理的挟持による把持を採用した。

物理的挟持では、部品のどこをどのように掴むかという把持戦略が、把持成功率を大きく左右する。本報告の対象工程では、対象部品の中心穴を天井側に向けた姿勢でバラ積みされる割合が高いと考え、掴み部位を中心穴とし、爪を開くことでその内径を掴む把持戦略とした。把持の手順を次に示す。

【把持の手順】

- ①対象部品の中心直上にハンドを移動する。
- ②爪を閉じて中心穴に対象部品の深さまで押し込む。
- ③爪を開いて対象部品を把持する。

他の把持手法が対象部品に近接するだけで把持できるのに比べ、物理的挟持では把持部位に爪を適正に押し込む必要がある。画像処理部が提示する位置・姿勢に、より高い精度が求められることになるが、爪形状の適正化によって、この誤差をある程度吸収できる。誤差が多くても把持できる爪形状になるように、試作した爪を次の方法で評価して、設計へフィードバックした。

【爪の評価方法】

- ・単体で配置した対象部品について評価する。
- ・部品を理想の把持位置から、少しずつ平行（前後・左右・上下）にずらして把持を試し、把持に成功した最も大きいズレ量を求める。（平行ズレ評価）
- ・部品を理想の平置き姿勢から、少しずつ傾斜（前後・左右）させて把持を試し、把持に成功した最も大きいズレ角度を求める。（角度ズレ評価）

図3に試作したハンドの一例を示す。圧縮空気で作動するシリンダに1対の爪を装着する構造であり、爪形状は、3次元CADで設計を行うとともに、部品の把持状態を想定した条件のもとで構造解析を行い、解析結果を形状設計に反映させた。図3のハンドの場合、平行ズレ7mm、角度ズレ30度程度までをカバーすることができる。

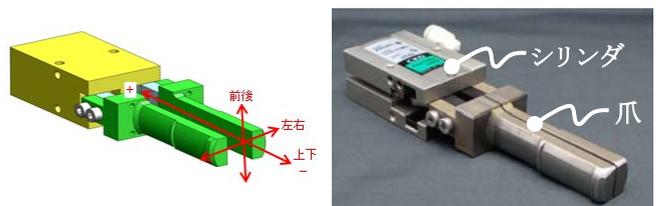


図3 試作ハンド

（左：3次元CAD設計、右：試作）

3.2 画像処理

部品の取り出し動作に必要な情報をロボットへ与えるため、画像処理技術の形状認識によって、取り出し対象部品の位置・姿勢を求める。

一般的なカメラによるカラーまたは白黒画像に対する形状認識では、画面上の二次元情報しか得られない。対象部品の実空間での位置・姿勢（三次元情報）を求めるためには、別途距離センサ等を用意するか、ステレオカメラのような手法によって距離情報を得る必要がある。

一方、近年安価な距離画像カメラが登場し、二次元画像の各画素に、カメラ位置を原点とした実距離情報が付与された、いわゆる距離画像を得ることが可能になっている。距離画像に対して形状認識を行うことで、直接三次元情報を求めることができる。

本報では、安価な距離画像カメラとして、ASUS Xtion Pro Live（図4）を採用する。このカメラでは、赤外線パターンを投影する手法によって 640×480 画素の距離画像を得ることができる。



図4 距離画像カメラ (Xtion Pro Live)

形状認識は、対象部品をモデル化し、距離画像の点群と照合することで実現する。距離画像はカメラから見える面の情報しか持たないため、距離画像から輪郭画像を抽出し、対象部品のうち特徴的な面との照合を行う。

本報の対象部品には、円盤形状という特徴があるので、輪郭画像に対して円探索手法によって形状認識を行い、その位置を求める。なお、傾いた姿勢の対象部品は、輪郭画像上では楕円に見えるが、楕円探索は著しく計算時間を要するため省略する。検出精度の悪化や誤認の原因となるが、ハンド形状やロボットジョブの工夫で吸収することで、システムとしての取り出し精度を確保する。認識結果の一例を図5に示す。

複数の取り出し候補が得られた場合には、ロボットの把持動作に有利な、表面に近い位置や、通い箱中央付近にあるものを優先して1つ選択する。そして次の方法で姿勢を求め、図6に示す座標系の形でロボットへ提示する。

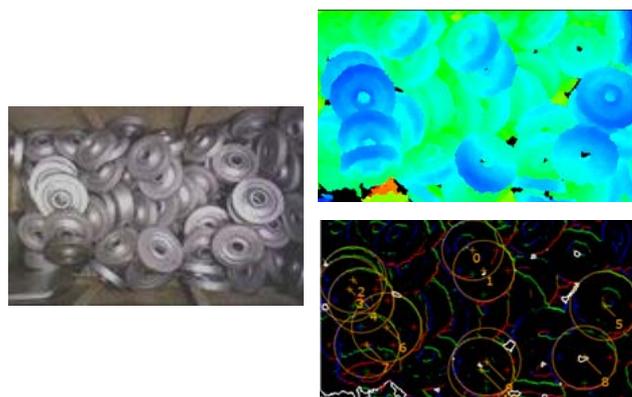


図5 対象部品を認識した様子
(左：カラー画像，右上：距離画像，右下：輪郭画像と認識結果)

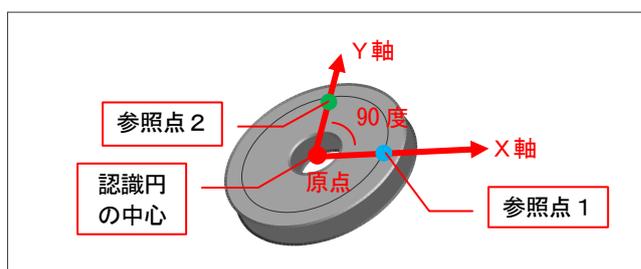


図6 対象部品の位置・姿勢を示す座標系

【位置・姿勢を表す座標系の算出手順】

- ①認識した円の中心を原点とする。
- ②対象物の円盤面を利用して、参照点を2点求める。
参照点は、原点から対象物の半径の80%位置にある計測点を採用し、その向きは距離画像のX方向とY方向とする。
- ③原点と各参照点を用いてXY平面を求める。原点から参照点1へ向かう直線をX軸とする。
画像処理が扱う座標系から、ロボット内部の座標系への変換は、あらかじめ、直線上にない任意の3点について、カメラ座標とロボット座標それぞれの座標を計測して、変換行列を求めることで実現する。

3.3 ロボット制御

ロボット動作の概要を図7に示す。ロボットジョブのうち“取出ジョブ”（③～⑤）は仮置きした対象部品を、画像処理部から得られるその位置・姿勢に対応する座標系を用いてティーチングすることで作成する。プレイバック時に用いる座標系を、取り出し対象部品ごとに得られるものに変更することで、ロボットの動作が相対的に変化し、取り出しを実現する。

“取出ジョブ”（③～⑤）が変化しても一連の動作で物理干渉が生じないように、その他の動作（①②⑥⑦）を工夫してジョブを作成する。

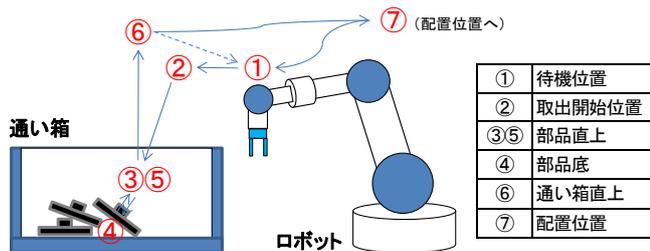


図7 ロボット動作の概要

4 試作システム

4.1 システム構成

当所が保有するロボットを用いて、試作システムを構築した。機器構成を表2に示す。

表2 機器の構成

機器	仕様
ロボット	安川電機 MOTOMAN-SIA20 コントローラ FS100 通信ソフト MotomanSync
挟持用シリンダ	CKD 製 FH125
距離画像カメラ	ASUS Xtion Pro Live 開発ソフトウェア OpenNI
パソコン	CPU: Core i5, メモリ: 4GB OS: Windows 7 Professional
開発言語	Visual C#, C++/CLI

4.2 ピッキングテスト

試作システムの評価のため、模擬通い箱を用意し、対象部品を30個ランダムにバラ積みした状態で、ピッキングテストを行った。実験の様子を図8に示す。

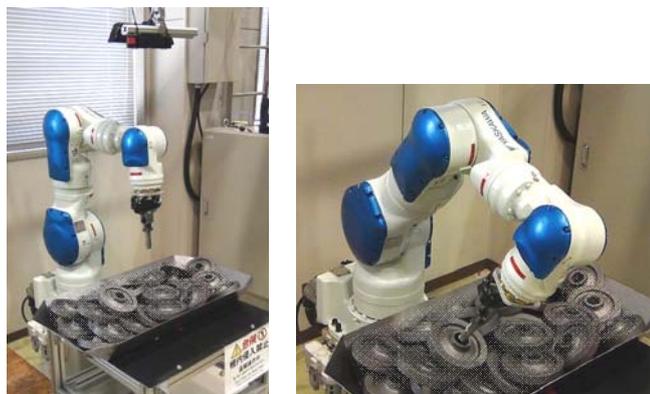


図8 試作したピッキングシステム

(左: システム全景, 右: 取り出し姿勢)

次項で述べる原因により途中停止する可能性があるものの、すべての対象物を取り出すことができた。取り出し

動作1回あたりの所要時間は10秒程度で、このうち画像処理に要する時間は1秒未満である。

画像処理部が提示する位置・姿勢の誤差について、傾いた姿勢の対象部品や距離画像カメラの精度が悪い周辺部において、2~3cm程度のずれを生じる場合がみられた。この誤差をハンド形状で補えなかった場合には、対象部品の中心穴以外の位置でハンドが“取出ジョブ”を行う。把持できなくても対象部品がずれることで動作が完了すれば“復帰ジョブ”へ移るが、ロボット先端に大きな力が加わった結果、異常停止する場合があった。

4.3 課題

試作の結果、次のような課題が洗い出された。

1) 取りにくい位置・姿勢の問題

対象部品の位置・姿勢によっては、ロボットと通い箱の物理的な干渉を避けられない。ロボットが衝突して停止することのないように、事前に干渉を判定し、取り出し対象を他のものに変更する必要がある。さらに、最終的に通い箱内の対象部品をできるだけ多く取り出せるように、干渉が生じにくい把持方法の検討が必要である。

2) 画像処理の精度の問題

画像処理の結果には、誤差(ずれ)や、誤認(全く誤った位置・姿勢)が必ず含まれる。距離画像カメラの精度による問題と、画像処理アルゴリズムの問題が考えられる。精度補正技術や高度なアルゴリズムによって改善する余地はあるが、必要になるコスト(処理時間やソフトウェア費用)を考慮する必要がある。取り出しに失敗しても、途中停止することなく工程を継続できるシステムであることが重要であり、ロボットに、コンプライアンスデバイスやサーボフロート機能のような“逃げ”機構を実装することも、選択肢の一つである。

5 結 言

ロボットハンドの構造や制御に工夫を施すことで、安価な距離画像カメラと単純な画像処理技術による、産業用ロボットを用いたランダムピッキングシステムを構築した。

今後は、生産ライン停止を招く途中停止の解消や連続稼働時の課題確認など、現場展開に向けた開発に取り組む予定である。

文 献

1) 藤井: バラ積みピッキングシステム, 日本機械学会誌 Vol. 114 No. 1111 (2011), 471