

食品バラ積みピッキングのためのロボットシステム

Robotic System for Bulk Picking Operation of Food Materials

尾山 颯汰 (立命館大) ○正 王 忠奎 (立命館大)
鐘江 峻 (立命館大) 正 平井 慎一 (立命館大)

Sota OYAMA, Ritsumeikan University

Zhongkui WANG, Ritsumeikan University, wangzk@fc.ritsumei.ac.jp

Ryo KANEGAE, Ritsumeikan University

Shinichi HIRAI, Ritsumeikan University

This paper presents a robotic system for bulk picking of food materials. The system consists of a robotic manipulator, a 3D camera, and a parallel shell gripper. A 3D template matching was used to recognize the individual food material from a bulk. The parallel shell gripper constructed by rigid shell and soft chamber is pneumatically driven. The thin structure of the shell gripper facilitates successful grasping of individual food material from a bulk. The control of the robotic system is based on robot operating system (ROS). Experiments results on several food materials validated that the proposed robotic system can successfully handle food material from a bulk.

Key Words: Bulk picking, gripper and other end-effector, grasping, 3D template matching

1 緒言

自動車産業や電子産業と異なり、食品産業では現在でも労働集約型となっている。食産業の自動化が進んでいない理由として (1) 食品の種類が多く、物理特性が多様であるため、確実にハンドリングできるロボットエンドエフェクタがまだ少ない、(2) 生産現場での段取り替えが頻繁に行うため、専用機が対応できない、(3) 限られた空間で人間作業者と近いタクトタイムで作業する必要がある、(4) コストパフォーマンスの問題が挙げられる。一方、少子高齢化が深刻している日本では労働者の確保が困難であり、ロボットによる作業自動化への需要が高まっている。

そのため、近年食品を把持対象として様々なロボットハンドやグリップが開発された。Maらは、柔らかい食品を扱って衛生面にも考慮された紙製のハンドを提案した [1]。Gaferらは、指先に薄いプレートを取り付けて対象物の下にスライドさせ、対象物を掬い上げるハンドを開発した [2]。WangとHiraiらは食品産業の自動化推進に注目し、様々なロボットグリップとシステムを提案した。例えば、3Dプリンタで製作可能な空気圧駆動ソフトグリップ [3]、刻みネギのような細断食品を定量的に把持可能な包みグリップ [4]、突き刺しと摘まみの両機能を持つニードルグリップ [5]、大きい把持力とねじり動作が実現可能なシェルグリップ [6]、薄い食品や滑りやすい水産物をハンドリング可能な掬い込みグリップ [7] などがある。また、市販されたロボットハンドもソフトロボティクス社の“mGrip”ハンド [8]、ニッタ社の“SOFTmatics”グリップ [9]、OnRobot社のソフトグリップ [10] などが挙げられる。しかし、多くのロボットハンドは平坦なコンベアに置かれて整列された食品を把持することを目的としているため、Fig. 1Aのような食品が番重にバラ積みされている現在の生産ラインには導入が難しい。バラ積み食品をうまくハンドリングするため、二つの課題を解決する必要がある。一つ目の課題は食品の認識である。バラ積み食品から一つの食品を認識し、3次元の位置と姿勢を求めるのは一般的に困難である。二つ目の課題はグリップである。一般的に、食品と食品の間の隙間が小さいため、バラ積み食品から一つの食品を把持するのは難しい。

本研究では、Fig. 1Bに示すロボットシステムを提案する。3Dカメラの情報を用いて食品を認識し、薄いフィンガーを持つ平行シェルグリップを利用して、バラ積み食品のハンドリング実験を行った。本発表では、食品認識手法、平行シェルグリップ、認識と把持実験の結果を紹介する。

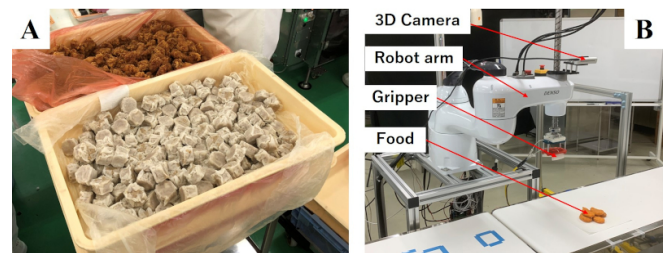


Fig.1 Actual container scenario in food factory (A) and the proposed robotic system (B).

2 認識

認識処理は3D点群に基づくテンプレートマッチング手法を用いる。2つの点群データ(テンプレート点群と計測点群)を入力し(Fig. 2A)、点群から法線ベクトルの計算を行い、特徴量を求め、大局的位置合わせを行う(Fig. 2B)。最後にICP(Iterative Closest Point)位置合わせを行い、2つの点群を重ね合わせる(Fig. 2C)。

大局的位置合わせの処理手順を以下に示す。

- (1) テンプレート点群からランダムに n 個の点を選択する。
- (2) n 個の点から最小二乗法でモデルを作成する。
- (3) モデルと計測点群が対応する点を求めた特徴量から検出する。
- (4) (2)~(3)の処理を繰り返し最も外れ値が小さかったパターンで位置合わせする。

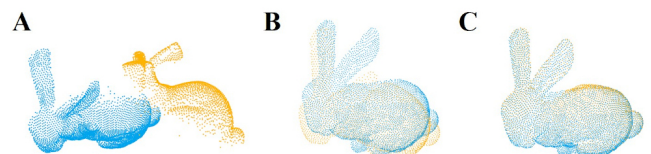


Fig.2 3D template matching: (A) point clouds input, (B) global registration, (C) ICP registration.

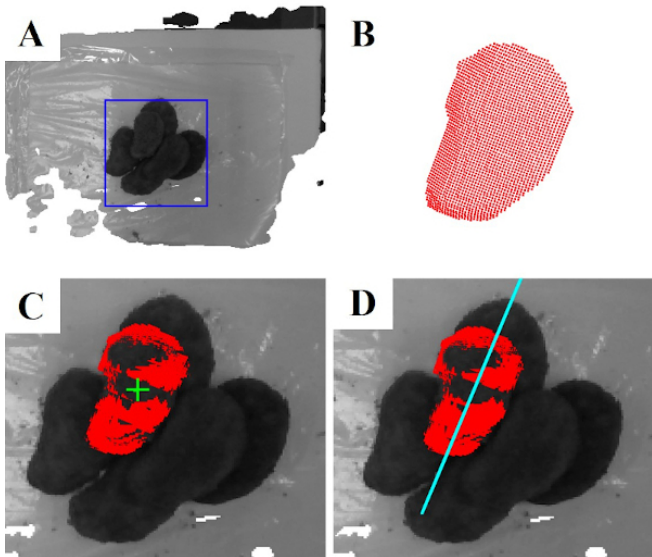


Fig.3 Results of 3D matching of deep fried shrimp: (A) measured point cloud, (B) template point cloud, (C) template matching and position extraction, (D) posture extraction.

以上の手法で, Fig. 2B で示すように, 2つの点群がほぼ一致した状態になる. 次に ICP 位置合わせの処理を以下に示す.

- (1) テンプレート点群から計測点群に対応する点を距離が最も近いの基準から求める.
- (2) 対応した点同士のリニアリゼーションを行う.
- (3) 外れ値となった点を削除する.
- (4) テンプレート点群を並進・回転を行い, 対応点の距離を最小にする.
- (5) (1)~(4) の処理を対応点の距離が閾値以下になるまで繰り返す.

バラ積みエビ寄せフライの認識結果を Fig. 3 に示す. 3D カメラから得られた点群データから, 色の閾値を決めることでエビ寄せフライの領域を矩形領域として抽出する (Fig. 3A). 次に, Fig. 3B に示すテンプレート点群を用いて, 前述のテンプレートマッチングを行い, 一つのエビ寄せフライの領域を認識する (Fig. 3C). 認識したエビ寄せフライの位置は, テンプレート点群の重心から求める (Fig. 3C の緑色の十字で表す). 一方, 認識したエビ寄せフライの姿勢はテンプレート点群のモーメントを用いて求める (Fig. 3D の水色の直線で表す). 求められた位置と姿勢を利用して対象物を把持する.

3 平行シェルグリッパ

バラ積み食品を把持するため, Fig. 4A に示す平行シェルグリッパを用いる. 平行シェルグリッパはモーター駆動平行グリッパとシェルフィンガーで構成される. 平行グリッパは1自由度の開閉動作ができ, 開閉の幅をモーターで制御する. 認識した食品のサイズに合わせて開閉幅を調整する. シェルフィンガーは Fig. 4B の構造を持ち, 硬質シェル部と柔軟膜で構成される. シェル部と膜部の間に薄い空気チャンバーを設け, 空気圧を印加することで膨らむ. 製作したシェルフィンガーは Fig. 4C に示す. シェル部と柔軟膜部はそれぞれアルミとシリコンゴム材料を利用して製作した. フィンガーの厚みは 3 mm である. 2つのシェルフィンガーを平行グリッパに取り付け, 空気圧を印加し, 物体を把持している様子を Fig. 4D に示す.

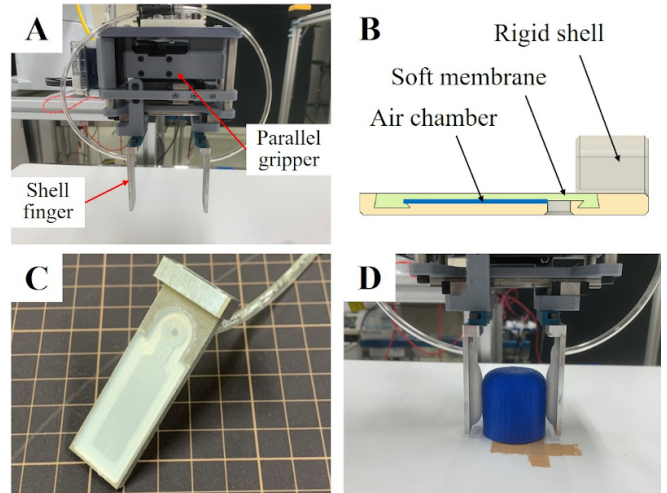


Fig.4 Parallel shell gripper: (A) the gripper prototype, (B) design of the shell finger, (C) the fabricated shell finger, (D) example of grasping an object.

4 実験

ロボットグリッパの性能を確認するため, Fig. 5 に示す 4 種類の食品を用いて把持実験を行った. 印加圧力は 15 kPa である. グリッパの開閉幅の影響を検討するため, 初期幅を食品の幅より 2.5 mm 広げ, 把持成功したら 5 mm まで, 10 mm までと広げて把持を繰り返す. 把持実験の結果を Table 1 に示す. 把持できた場合は○, 把持動作途中で落下した場合は△, 把持できなかった場合は×とする. 各グリッパ幅で 5 回試行した. 実験結果によると, 食品幅より 2.5 mm を広げることによって, 焼売以外の食品のハンドリングが成功した. 焼売は, 空気圧を変化させても把持が困難であった. 焼売は, グリッパの膜と接触する面積が多く, 焼売の上部に膜が膨張し薄型食品と同様に下向きの力が発生したと考える.

認識手法と平行シェルグリッパを合体したロボットシステムを検証するため, 食品ハンドリング実験を行った. 実験で用いたバ

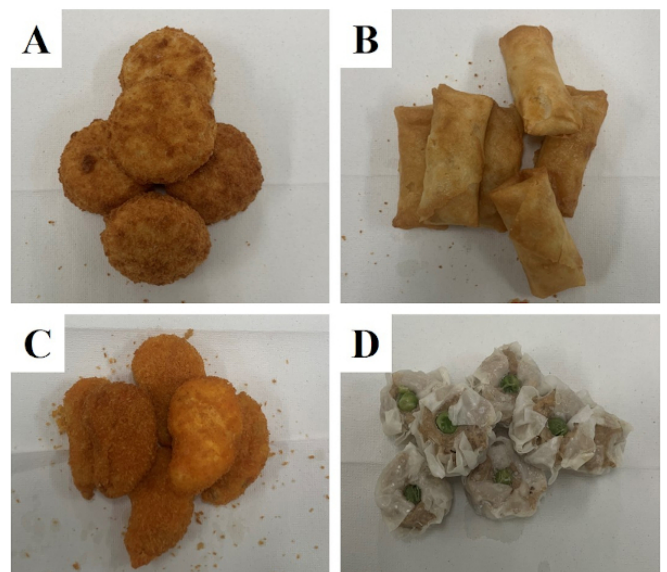


Fig.5 Experimental food materials: (A) croquette, (B) spring roll, (C) deep fried shrimp, (D) shumai.

Table 1 把持実験結果

グリッパ幅	食品幅より+2.5 mm					食品幅より+5 mm					食品幅より+10 mm				
試行回数	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
春巻き	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	×	×	×	×	×
フライ	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	×	×	×	×	×
コロッケ	○	○	○	○	○	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
焼売	○	△	×	△	△	△	△	△	△	△	×	×	×	×	×

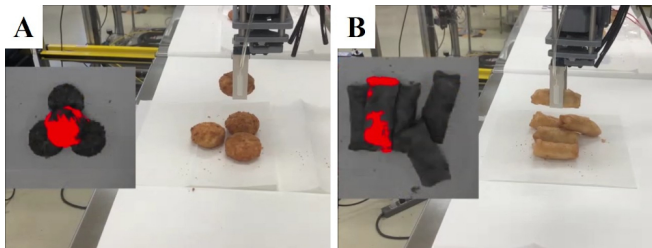


Fig.6 Handling tests on food material of (A) croquette and (B) spring roll.

バラ積み食品を Fig. 5 に示す。提案した 3D テンプレートマッチング手法を用いて、各食品を認識しながら、平行シェルグリッパで食品を一つずつ把持し、指定した場所に運搬する一連の動作を実現した。コロッケと春巻きの実験様子を Fig. 6 に示す。それぞれの食品の把持に成功している。

5 結言

本研究では、食品工場の自動化に向けて、3D テンプレートマッチングに基づくバラ積み食品の認識手法を提案した。さらに、認識した食品を把持するために、平行シェルグリッパを用いて、ロボットシステムを構築した。

3D テンプレートマッチングを用いた食品の認識は、冷凍食品のような形状に大きなばらつきが少ない食品であれば、バラ積みされた場合でも 1 つずつ認識できた。テンプレート点群を認識したい食品の点群に変えることで、様々なバラ積み食品から認識可能である。

バラ積み食品から把持する際に、開閉機構付き平行シェルグリッパを用いた。食品と食品の隙間にグリッパを挿し込んで把持できるため、食品の損傷を抑制できた。しかし、認識した食品の位置、傾きが実際とずれているとグリッパ挿入時に、食品を突き挿して損傷させる場合があった。また、開閉機構が付いているため、グリッパ幅を変えれば様々な食品を把持できる。しかし、グリッパの膜と接触面積が多い食品は空気圧を上げると食品の上部に膜が膨らみ、下向きの力が発生し把持失敗したことがあった。

今後の課題は、認識した食品のより正確な姿勢推定、食品と食品の隙間を検出してグリッパ幅を調節することである。これにより、バラ積み食品から把持する際の食品の損傷を抑制でき、把持成功率が上がると考えられる。また斜めに積まれた食品を安定して把持できるように、垂直多関節ロボットで手先の角度を制御す

ることが必要だと思われる。

謝辞

本研究の一部は、内閣府が進める「戦略的イノベーション創造プログラム (SIP) 第 2 期/フィジカル空間デジタルデータ処理基盤」(管理法人: NEDO) によって実施されました。一部は JSPS 科研費 JP20K04406 の助成を受けたものです。ここに関係者に謝意を表します。

参考文献

- [1] S. Ma, L. Du, E. Tsuchiya, M. Fuchimi, "Paper-made grippers for soft food grasping", In Proc. Int. Conf. Ubiquitous Robots (UR 2020), pp. 362-367, 2020.
- [2] A. Gafer, D. Heymans, D. Prattichizzo, G. Salvietti, "The quad-spatula gripper: a novel soft-rigid gripper", In Proc. IEEE Int. Conf. Soft Robotics (RoboSoft 2020), pp. 39-45, 2020.
- [3] Z. Wang, Y. Torigoe, S. Hirai, "A prestressed soft gripper: design, modeling, fabrication, and tests for food handling", IEEE Robotics and Automation Letters, 2(4), pp. 1909-1916, Oct. 2017.
- [4] Y. Kuriyama, Y. Okino, Z. Wang, S. Hirai, "A wrapping gripper for packaging chopped and granular food materials", in Proc. 2019 IEEE Int. Conf. Soft Robotics (RoboSoft 2019), COEX, Seoul, Korea, Apr. 14-18, 2019.
- [5] Y. Makiyama, Z. Wang, S. Hirai, "A pneumatic needle gripper for handling shredded food products", The 2020 IEEE International Conference on Real-time Computing and Robotics, Online, Sept. 28th-29th, 2020.
- [6] Z. Wang, R. Kanegae, S. Hirai, "Circular shell gripper for handling food products", Soft Robotics, 2020. Ahead of print.
- [7] Z. Wang, H. Furuta, S. Hirai, S. Kawamura, "A scooping-binding robotic gripper for handling various food products", Frontiers in Robotics and AI, 2021. Ahead of print.
- [8] Soft Robotics Inc., "The ultimate solution for your food-safe applications", <https://www.softroboticsinc.com/industries/food-and-beverage/> [accessed Feb. 18, 2021].
- [9] Nitta co. Ltd., "食品ハンドリング向けロボットハンド SOFTmatics™ (ソフマティックス™)", <https://www.nitta.co.jp/product/robothand/> [accessed Feb. 18, 2021].
- [10] OnRobot A/S, "Soft gripper—flexible food-grade robot gripper", <https://onrobot.com/en/products/soft-gripper> [accessed Feb. 18, 2021].