

レーザレンジファインダとマニピュレータを用いた すくい動作による食事支援システム

○ 大島悠太郎†, 小林祐一†, 山下淳‡, 金子透†, 浅間一‡

†: 静岡大学大学院工学研究科, { f0130018, tykobay, tmtkane } @ipc.shizuoka.ac.jp

‡: 東京大学大学院工学系研究科, { yamashita, asama } @robot.t.u-tokyo.ac.jp

本論文では、柔軟な固体の食べ物を扱うことができる、自律的な食事支援ロボットシステムを提案する。本システムは、食べ物の3次元計測に用いるレーザレンジファインダ(LRF)と、食べ物をすくうためのスプーンを備えたマニピュレータから成る。作業の流れは、まずLRFを用いて、皿の上の食べ物を計測し、食べ物の形状に沿った点群の3次元座標を取得する。次に計測した点群を基に、スプーンの軌道を計画し、マニピュレータで食べ物をすくう。従来の食事支援システムに対する、本システムの利点は、食べ物をあらかじめ一口サイズに切り分けておく必要がないことや、一口で食べたい量を指定してすくうことができる点である。本システムの有効性を確かめるため、いくつかの種類の柔軟な固体の食べ物をすくう実験を行った。実験により、食べ物をほとんど、高い確率ですくうことに成功した。

<キーワード> 食事支援ロボット, 3次元計測, マニピュレータ, レーザレンジファインダ

1. 序論

腕が動かさない障害を持つ人や、介護が必要な人は自分で食事をとることが困難な場合がある。そこで食事の間、介助者が付き添って、食事を彼らの口まで運ぶ必要がある。しかしながら今日加速する高齢社会において、病院や介護施設で介助者が不足することが考えられる。また、介助者への依存が強まることで、要介助者の自立が阻害される問題もある。これらの問題は、介護者の助けを必要としない食事支援システムを提供することによって緩和される。上記の人々が食事支援システムを使用する場合、彼らは他の人の助けを借りずに、好きな順序で、自由に食事を楽しむことができる。介助者は、食事の間付き切りで介助する必要がなくなり、より効率的に介助を行うことができる。食事支援システムのもう一つの利点は、使用者に、一人で食事が摂れるという喜びや達成感を与え、彼らの自立的な生活を促すことが期待できるという点である。従って、食事支援システムに対する期待は高まっている[1]。

今日、ロボットシステムを使うことで人間の不便を取り除くことを目的とした多くの研究が行われている。例えば、日常生活での使用を目的としたマニピュレータがある[2,3]。しかしながら、これらの汎用的なマニピュレータを用いて、食器を使った食事を行うことは困難である。従って、食事支援に特化

したロボットシステムを発展させることはより現実的である。

現在、食事支援システムについて、“マイスプーン” [1,4,5], “Bestic” [6], そして食事支援システム[7]などが開発され、実用化されている。マイスプーンはフォークとスプーンをグリッパとして手先に取り付けた5自由度のマニピュレータと、トレー、ジョイスティックから成る。使用者はジョイスティックを用いてマニピュレータを操作し、トレー上の食べ物を把持する。その後食べ物は自動で使用者の口までマニピュレータで運ばれる。マイスプーンのための、画像処理を用いた食べ物の自動認識も研究されている。Besticはスプーンを取り付けたマニピュレータと皿、そして足で押すボタンまたはジョイスティックから成る。Besticは皿の縁を利用して食べ物をすくい上げる。使用者はボタンやジョイスティックを用いてマニピュレータを操作し、皿の縁を利用して食べ物をすくう。ボタンやジョイスティックによる操作の他に、回転する皿と一定の動きをするマニピュレータを組み合わせることで、使用者はただ一つのボタンを押すだけで、Besticが自動で食べ物をすくって口まで運ぶこともできる。小林らによる食事支援システム[8]もまた、回転するテーブルと、スプーンを取り付けたマニピュレータの一定の動きを組み合わせている。田中らによる食事支援ロボット[7]は、食べ物を送り装置からスプーンへ押し出し、使

用者の口まで運ぶ。

しかしながらこれらの食事支援システムを使うためには、食べ物をあらかじめひと口の大きさに切っておく必要がある。また、Bestic や[8]の自動機能は食べ物の形状や位置を考慮しないので、ひと口で食べたい量をすくえないことや、残っている食べ物を自動で認識してすくうことができない問題がある。

箸を用いた食事支援システムも提案されている[9]。しかしながら、病院や介護施設で介助者が用いるのは箸が一般的である。従って、我々はスプーンの幅広い適用性を追及し、スプーンを用いた食事支援システムを提案する。加えて、我々のシステムは食べ物の形状や位置の情報を LRF (Laser Range Finder) を用いて取得する。我々のシステムの利点は、食べ物をあらかじめ一口大に切っておく必要が無いことと、一口で食べたい量をすくえることである。これによって、食事を準備する時間を短縮でき、また一度に食べ物をすくい過ぎたり、反対にすくう量が少ないといったストレスを感じずに食事ができる。また、食べ物が柔軟で崩れやすい場合、食べ物の形状や姿勢に応じてすくうほうが有利である。我々はいくつかの食べ物を対象として、提案手法を用いた実験を行い、提案手法の有効性を検証した。

2. 自律的なすくい動作の概要

2.1 食事支援ロボットシステム

提案手法のシステム構成を図 1 に示す。LRF は、皿の上の食べ物を見下ろすように固定される。食べ物をすくうマニピュレータの手先にはスプーンを取り付ける。LRF 座標系と、マニピュレータ座標系間の座標変換のキャリブレーションは、クォータニオンを用いた手法[11]により事前に行う。LRF による計測のノイズを低減するため、皿や皿を置くテーブルは光沢の無いものを用いる、また皿は対称なものを用い、その形状は既知であるとする。皿はテーブルに固定されておらず、動く可能性がある。LRF とマニピュレータは PC に接続される。LRF は 3 次元点群データを PC に送り、PC からマニピュレータへ、手先の軌道を送信する。

2.2 すくう方策の概観

作業の流れを図 2 に示す。まず LRF を用いて皿の上の食べ物を計測し、食べ物の形状に沿った点群の 3 次元座標を取得する。この計測点群には食べ物の点群の他に皿やテーブルの点群も含まれている。そこで、これらの点群を除去して、食べ物の点群のみを抽出する。テーブルの点群については、高さ方向の閾値を用いて除去する。次に、皿の点群について

は、皿の形状は既知であるという条件により、あらかじめ取得しておいた皿の点群を、計測点群へ位置合わせする。そして計測点群と皿の点群の差分をとることで、計測点群から食べ物のみ点群を抽出する。次に食べ物のみ点群を用いて、ボクセル化を行い、食べ物の体積を表現する。ボクセル化の手順は、計測方向にボクセルを追加していき、膨張収縮を数回繰り返す、最後に皿の高さから上のボクセルを残す。LRF を用いた計測は一方方向のみなので、計測できない方向の食べ物の形状は未知であり、正確なボクセル形状ではない。しかし、3.1 節に述べる理由により、本手法においては重大な問題とはならない。直方体の豆腐を対象として、抽出した豆腐の点群と、そのボクセルを図 3 に示す。ボクセル化した食べ物の体積が一口で食べたい量より小さい場合、残りすくい処理を行う。残りすくい処理とは、食べ物を最後まですくうためのスプーンの軌道計画とすくい動作である。そうでない場合、一口で食べたい量を切り取ってすくうための、スプーン軌道の計画を行う。次に、計画したスプーン軌道に沿ってマニピュレータを制御し、食べ物をすくう。その後、再び LRF を用いた計測を行い、食べ物がなくなるまで以上の動作を繰り返す。

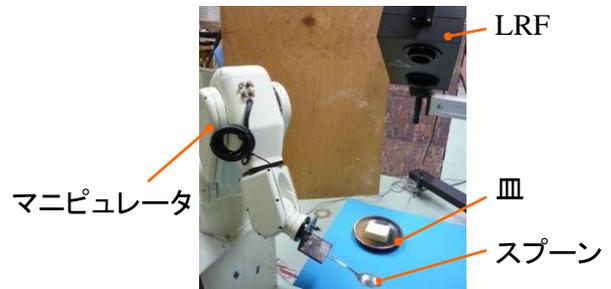


Fig. 1 システム構成。

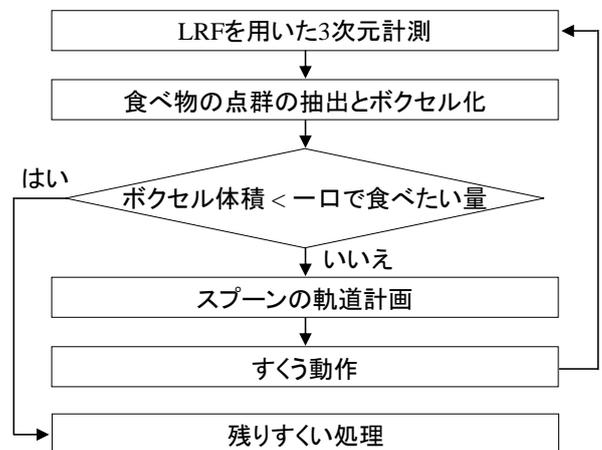


Fig. 2 作業の流れ。

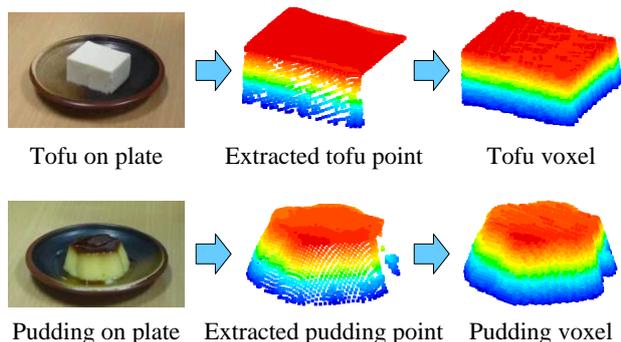


Fig. 3 ボクセル化.

3. スプーンの軌道計画とすくい動作

本節では、図2中のスプーンの軌道計画と、すくい動作、残りすくい処理について詳しく述べる。

3.1 スプーンの軌道計画

スプーンの軌道計画は図4の手順により行われる。まず、すくい部位の指標として、食べ物の角を用いる。この理由は、スプーンですくい際にすくい部位がスプーンの幅を超え難く、すくい易いことである。食べ物の角の判断には曲率を用いる。曲率を用いた食べ物の角の判断の手順を以下に述べる。まず、食べ物のボクセルから表面点群を取り出し、これを局所領域に分割する。そして局所領域ごとに曲面方程式(1)を当てはめる。

$$z = F(x, y) = ax^2 + by^2 + cxy + dx + ey + f \quad (1)$$

方程式(1)の座標系を図5に示す。z軸はLRFの計測方向である。当てはめた曲面方程式より、曲率を計算する。曲率計算には平均曲率を用いる。平均曲率Hは、曲面の主曲率を κ_1, κ_2 , ($|\kappa_1| \geq |\kappa_2|$)とすると、

$$H = (\kappa_1 + \kappa_2) / 2 \quad (2)$$

と表せる。式(2)を用いて計算する場合、第一曲率の内、負の曲率で絶対値最大の曲率の点を食べ物の角の点として選択する。しかし主曲率の絶対値の差が大きい場合、食べ物の角ではなく、例えば豆腐の辺のような、2つの面の交線が選択される場合がある。そこで、主曲率の比を重みとした曲率H'を計算する。

$$H' = H \times \frac{|\kappa_2|}{|\kappa_1|} \quad (3)$$

LRFから見た計測対象と、その曲率の計算結果を図6に示す。赤い部分は曲率が高く、青い部分は曲率

が低い。曲率が一番小さい点を選択することで、豆腐の角が選択されていることが図6から分かる。次にすくい方向を計算する。まず、食べ物のボクセルをテーブル平面(水平面)に投影する。そしてテーブル平面上において、曲率計算により選択した、食べ物の角の点を通り、慣性モーメントが最小の主軸を求める。この主軸のうち、LRFによる計測方向をすくい方向とする。この理由は、すくった後の食べ物の形が細長くなり、倒れることや、次にすくうときにすくい難い形になることを防ぐためである。すくい方向の計算結果を図7に示す。次にすくい範囲を決定する。スプーンで食べ物を切り取る形状は円柱と仮定する。円柱が角の点を通るように、円柱をすくい方向へ動かし、円柱内のボクセルの数を数える。円柱内のボクセル数がすくいたい量に達するまで、円柱をすくい方向に動かす。このとき、円柱は図8のように、すくい方向に傾いた状態で行う。この理由は、スプーンを斜めに差し込むことで、スプーンの上に、切り取った食べ物が倒れずに乗ること、そして計測されていない部分のボクセルが円柱内に入りにくいことである。最後に、決定した部位をすくうためのスプーンの軌道を計算する。すくい範囲と、スプーンを動かす方向を図9に示す。

3.2 残りすくい処理

3.1節で述べた、上からスプーンですくい手法では食べ物を最後まですくいできない。そこで、残った食べ物をすくうために、皿に沿った、長いストロークを用いた追加の手法を導入する。残りすくい処理を図10に示す。本手法では、スプーンの縁を皿の形状に沿って動かす。スプーンが皿の中心を過ぎると、スプーンの縁の接線ベクトルが皿の法線ベクトルに直交するように、スプーンの姿勢を変える。この動作によって、小さくなった食べ物や、一口大の食べ物もすくいすることができる。

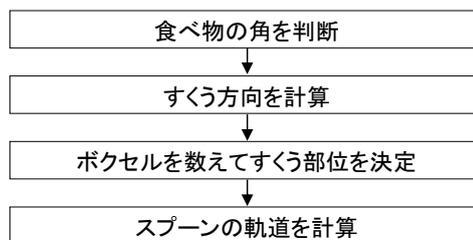


Fig. 4 スプーンの軌道計画.

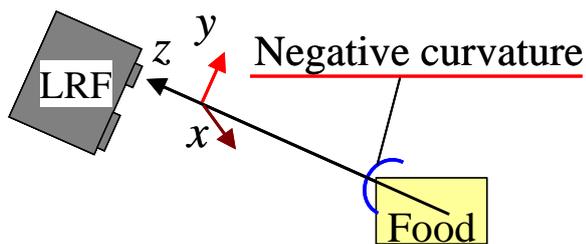


Fig. 5 曲面当てはめの座標.

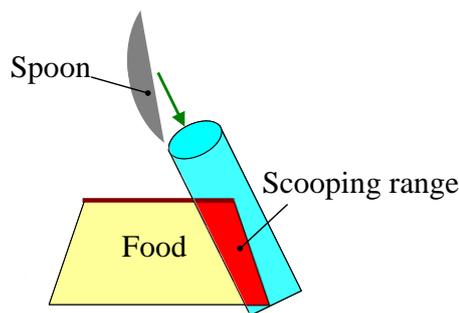


Fig. 9 すくう範囲とスプーンの軌道.

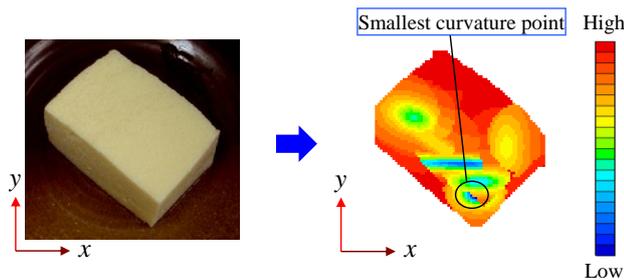


Fig. 6 曲率の計算.

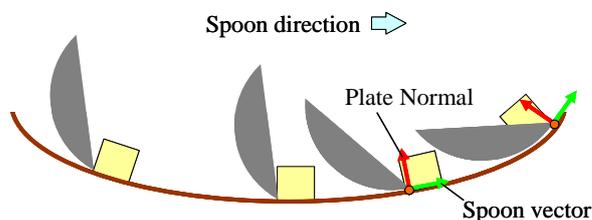


Fig. 10 のこりすくい動作.

Principal axis = Spoon direction

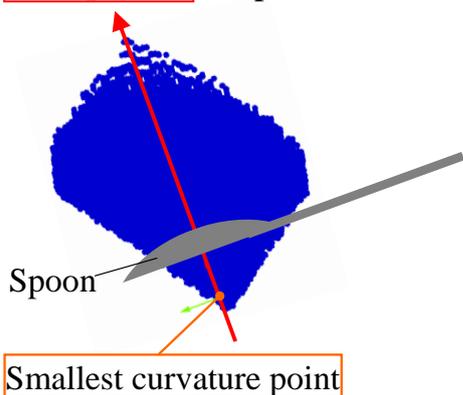


Fig. 7 すくう方向.

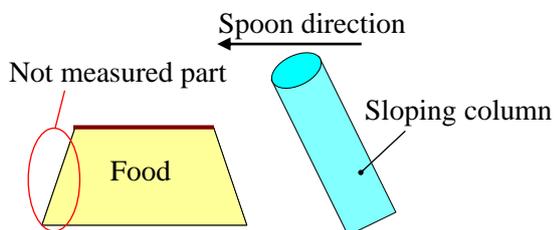


Fig. 8 円柱モデルを用いたすくう体積の計算.

4. 実験

提案手法の有効性を確かめるために、柔軟で固体の食べ物を用いて実験を行った。対象の食べ物として、豆腐とプリンを用いた。豆腐を対象にして行った実験を図 11 に、プリンを対象にして行った実験を図 12 に示す。すくった量の評価には、重さを用いる。しかし、すくう量の計算には食べ物の体積を用いる。そこで、豆腐についてはアルキメデスの原理を用いて密度を求めた。しかし対象とする食べ物ごとに密度を求めることは現実的ではない。そこで、プリンについては実験を繰り返し、経験的に重さと体積の関係性を求めた。この問題を実用的に扱うには、スプーンの高さを考慮して、あらかじめ設定しておいた、ある程度の体積をすくい、次にすくうときは更に多くすくうか、それとも少量をすくうかを、利用者が指示できるような機能が現実的である。またそのような機能の実現が今後の課題である。豆腐については密度を用いて、一回ですくう量を 8g と設定し、すくった重さは図 5 の一枚目から 8.8g, 7.0g, 7.6g, 8.2g, 7.2g, 7.4g, 10.3g, 2.6g, 残りは 0.5g である。最後の 2.6g については、残りすくい処理を用いて最後まで豆腐をすくうことを目的としたため、8g すくうという目的の対象外である。最初の重さ 60g に対して、残りの重さが 1% 程度なので、ほとんど完全にすくうことができている。しかし本手法で豆腐を

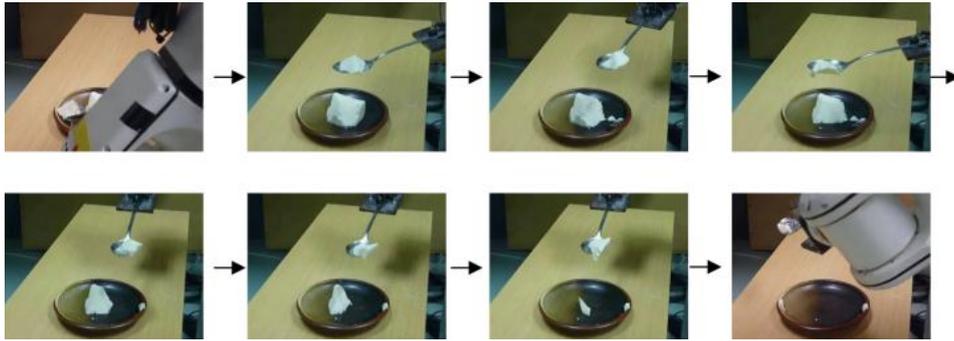


Fig. 11 豆腐を用いた実験.

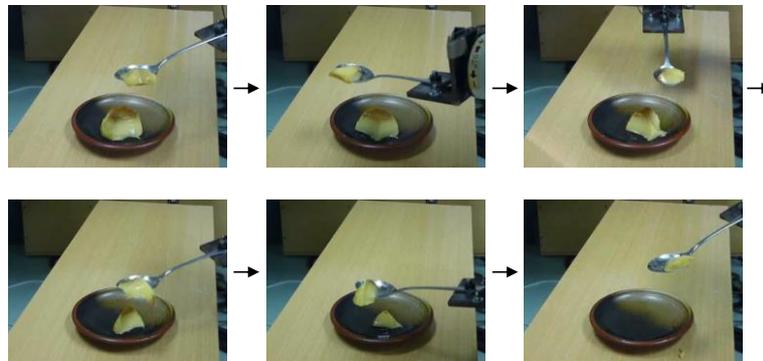


Fig. 12 プリンを用いた実験.

対象とした場合、すくえる割合は平均 90%程度である。プリンについて、一回ですくう量を 10g と設定し、すくった重さは図 12 の一枚目から 9.7g, 10.6g, 10.3g, 9.6g, 10.2g, 4.5g, 残りは 0.3g である。最後の 2.6g については、残りすくい処理を用いた。これらの結果より、豆腐とプリンを一口大にすくえていること、最後まですくえていることが分かる。また目標に近い量をすくうことができた。

5. 結論

本論文では、柔軟で固体の食べ物を扱う食事支援システムを提案した。本手法の利点は、食べ物をあらかじめ一口大の大きさに切っておく必要が無いこと、一口で食べたい量を指定することで、それに近い量を切り取ってすくえることである。今後の展望は、一枚の皿の上に複数の食べ物が存在する場合に、スプーンですくう計画を立てることである。

文献

[1] Noriyuki Tejima: "Evaluation of Rehabilitation Robots for Eating", Proc. of the 5th International Workshop on Robot and Human Communication, pp.118-120, 1996.

[2] Bart Driessen, Freek Liefhebber, Ton Ten Kate and Koos Van Woerden: "Collaborative Control of the MANUS Manipulator", Proc. of the 9th International Conference on Rehabilitation Robotics, pp.247-251, 2005.

[3] Yujin Wakita, Natsuki Yamanobe, Kazuyuki Nagata and Eiichi Ono: "Single-Switch User Interface for Robot Arm to Help Disabled People Using RT-Middleware", J. of Robotics, Vol.2011, Article ID 528425, 2011.

[4] Xiu Zhang, Xingyn Wang, Bei Wang, Takenao Sugi and Masatoshi Nakamura: "Real-time Control Strategy for EMG-drive Meal Assistance Robot - My Spoon", Proc. of the International Conference on Control, Automation and Systems 2008, pp.800-803, 2008.

[5] Ryoji Soyama, Sumio Ishii and Azuma Fukase: "The Development of Meal-Assistance Robot 'My Spoon' -Selectable Operation Interfaces-", Proc. of the 8th International Conference on Rehabilitation Robotics, pp.88-91, 2003.

[6] Erik Lundqvist: "Robotdalen Going for Growth!", Proc. of the Seminar on Directions and Funding of Robotics Research in the UK, 2008.

[7] Kanya Tanaka and Yuki Nishimura: "Development of Meal-Assistance Robot for People with Disabilities of Upper Limbs", J. of the Society of Life Support Technology, Vol.22, No.2, pp.63-68, 2010. (in Japanese)

[8] Hiroshi Kobayashi: "Development of Feeding Support System and Its Quantitative Estimation", Proc. of the 2006 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, pp.717-722, 2006.

[9] Tomoki Koshizaki and Ryosuke Masuda: "Control of a Meal Assistance Robot Capable of Using Chopsticks", Proc. of the 41st International Symposium on Robotics and 6th German Conference on Robotics, pp.1246-1251, 2010.

[10] Berthold K. P. Horn: "Closed-form Solution of Absolute Orientation using Unit Quaternions", J. of the Optical Society of America, Vol.4, pp.629-642, 1987.