

スリットレーザを用いた画像に基づく ガラス食器の認識手法の検討

Vision-based recognition of glass tablewares using a slit laser

林悠, 野村英祐, 鏡慎吾, 橋本浩一

Yu Hayashi, Eisuke Nomura, Shingo Kagami, Koichi Hashimoto

東北大学大学院情報科学研究科システム情報科学専攻

Intelligent Control Systems Laboratory, Department of System Information Sciences,
Graduate School of Information Sciences, Tohoku University

キーワード: 食器認識(dish recognition), 特徴抽出(feature extraction), 光切断法(light-section method)

連絡先: 〒980-8579 仙台市青葉区荒巻字青葉6-6-01 東北大学 工学部 機械系2号館 橋本・鏡研究室
林 悠, TEL 022-795-7021, FAX 022-795-7019, E-mail: hayashi@ic.is.tohoku.ac.jp

1. 緒言

レストランやホテルでは日々, 大量の食器洗淨作業が行われている. 食器洗淨作業にはトレーに載った食器を一つ一つ取りあげて食器洗淨機の所定の位置に置くという作業があり, 機械化の遅れたものとなっている. この作業が自動化されれば費やされる労働力, 時間を削減することができ, 高効率化が期待できる. そこで我々は, 食器洗淨作業を自動化する研究を進めている. 自動化には様々な方法があるが, 本研究ではロボットアームによる食器のハンドリングを考えている. その内, 本研究ではハンドリングに必要な食器の種類や位置姿勢を認識することを目標としている.

画像のみでは識別が困難な食器を扱う場合や, 将来的に複数の食器が画像上で重なった

場合の処理を考慮するには, 三次元形状の利用が効果的と考えられる. 本研究では計測方法に簡単さ, 確実性, 将来的なシステムの高速度化を考慮して, スリットレーザを用いた光切断法を採用する. 食器の種類・位置の認識方法には三次元画像計測¹⁾を利用し, 対象の形状情報を得てそこから必要な特徴情報を抽出し, あらかじめ構築されたデータベース内の情報と照合するという方法³⁾を考えた.

しかし, 認識対象である食器類の中にはガラス等の透明体も含まれる. これらを計測する場合, 光が透過, 屈折, 乱反射などを起こすため一般に光学的な三次元形状の計測は困難である. 透明物体の形状を正確に計測するための方法は近年いくつか提案されているが²⁾, さまざまな制約条件があり, ガラスコップ等の複雑な形状を持つ対象への適用は容易で

はないと考えられる．そこで，本研究では完全な形状を求めるのではなく複数の食器を識別できればよいことに着目し，レーザを照射した際にできる影を計測することで，対象の高さのみを求める方法を検討する．

高さを求める際に上から見た時の食器の直径の情報が必要となる．二種類の方法で直径を求め，比較を行う．

2. 計測方法

2.1 三次元形状計測方法

図1に示すようにカメラを食器の上方下向きに設置し斜めからレーザを物体に照射する．今，レーザは y 軸に水平に照射されているとする．一回の撮影で一本のレーザがスリット状に物体に照射された画像が得られる．レーザの出射方向を少しずつ変化させつつ制御対象を走査することで物体の三次元形状データが得られる¹⁾．

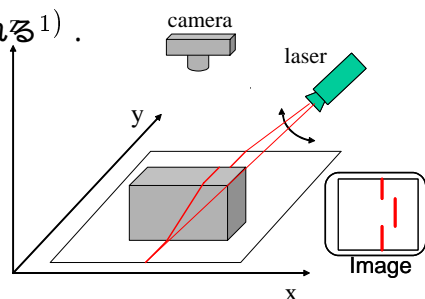


Fig. 1 レーザ光切断法

2.2 ガラス食器の認識手法

2.2.1 ガラス食器の影

今回高さを求めるガラス食器を上から見た輪郭は円とする．光切断法と同様にして複数の画像を得る．得た結果の例を図2に示す．図2で分かるように，レーザを照射した際にガラス食器にレーザが当たることで画像上でレーザの像がゆがむ部分，見えない部分ができる．



Fig. 2 レーザ画像

そこでレーザの像が直線になっている部分のみを抽出する．レーザの出射方向を変えて撮った複数の画像の直線の部分のみを重ねがきした画像を考える．重ねがきした画像を図3に示す．拡大したものを図4に示す．図4のようにレーザの像が直線でない部分はひょうたん型になる．これは右側の円に食器が置いてあり，左側にその影ができたためである．今回用いたレーザは予備実験によりゆがみなどのない点光源でと見なせることを確認している．また，点光源であるためにガラス食器の影は図5のように傾いて出る場合がある．しかし，本研究ではこの影響は少ないものとして考慮せず実験を行った．

レーザ画像からガラス食器の直径を求め，その後高さを求める．直径の求め方には二種類の手法を検討する．



Fig. 3 合成したレーザ画像

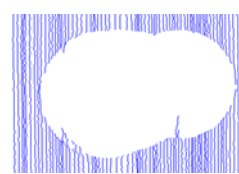


Fig. 4 合成したレーザ画像の拡大

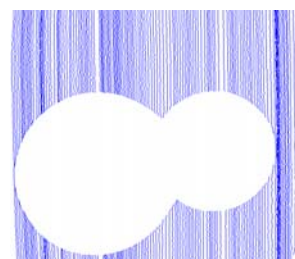


Fig. 5 傾いたレーザ画像

2.2.2 直径の導出方法1

レーザの像が直線でなかった部分の内，食器の置かれていた部分は半円以上の輪郭がでてに注目する．直径は食器の置かれていた部分でレーザのとぎれた部分の長さが最大となるところのとぎれた部分の長さとする．直径は図6の模式図を右からスキャンしていき，レーザのとぎれた部分の長さの増加が初めて終わるところのとぎれた部分の長さとして求まる．

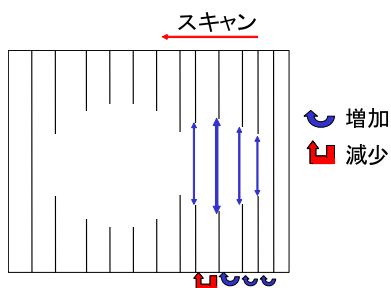


Fig. 6 レーザ画像の模式図

2.2.3 直径の導出方法2

方法1では合成したレーザ画像のレーザの間隔が密になると右からスキャンしていった時に隣り合うレーザの像の途切れた長さは変化しない時や極大値をむかえる前に減少することが考えられる．

このように方法1はノイズに弱いため，別の手法として一般化ハフ変換を用いた手法を提案する．一般化ハフ変換は画像上に存在するできるだけ多くの点を通る直線や曲線などを抽出する方法である．ここでは円の抽出方法を図7を用いて説明する．まず，画像を走査し，点(二値化画像では画素値が1の画素)を発見する．点 (a,b) を発見した後，点 (a,b) から画像上の全ての画素 (x,y) までの距離 r を求める．そして画像上の各画素の座標と距離を投票する．この作業を全ての点で繰り返す．得られた投

票結果より投票数の最大となった画素の座標が円の中心点，距離が半径として求まる．

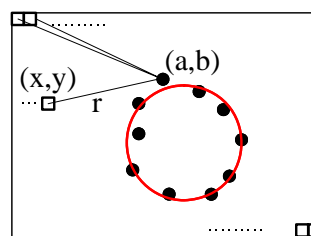


Fig. 7 一般化ハフ変換

図8の模式図のようにレーザの像が直線でなくなつた場所を全て点と考え，一般化ハフ変換を用いてガラス食器の直径を求める．

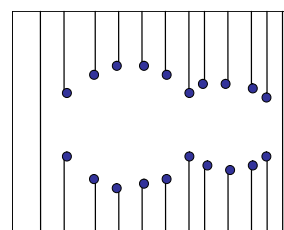


Fig. 8 レーザ画像の模式図2

図9のような対象画像を一般化ハフ変換すると図10のような三次元グラフが得られる．図10では距離 r 成分は除去した，画素の座標と投票数のグラフを示す．



Fig. 9 対象画像

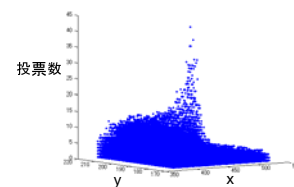


Fig. 10 投票結果(r 成分を除去)

2.2.4 ガラス食器の高さの求め方

図11に示すようにレーザの直線がとぎれた右端を x_1 ，左端を x_3 とおく．コップの直径を T とおく． x_1, x_3 は重ね合わせたレーザ画像より求められ， T は前節に述べた二種類の方法で求まる．

レーザのとぎれる右端はガラス食器の右端を表している．レーザのとぎれる左端はガラス食器の左端にレーザが照射されていることを示しているため，ガラス食器の左端の x 座標を x_2 とおくと $x_2 = x_1 - T$ で求まる．

レーザ位置を (x_L, z_L) ，コップの高さを z_h とおくとコップの高さは

$$z_h = z_L \frac{x_2 - x_3}{x_L - x_3} \quad (1)$$

と求まる．

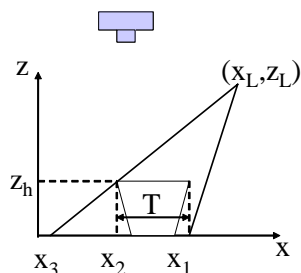


Fig. 11 コップの高さの求め方

現在，カメラのキャリブレーションを精密には行っていないため求まる食器の高さは必ずしも食器の実際の高さと等しいことで精度が良いとはいえない．そこで複数回の実験データを取り，その平均値を食器の高さの基準値とする．食器の識別のための閾値は識別したい二つの食器の基準値の中間値とする．

本研究では各食器に対して台上で場所を変えて15回高さを求め，内10回の平均を基準値として求める．残り5回を食器の識別実験のデータとする．

3. 実験環境

実験装置を図12に示す．カメラから食器を置く台までの高さは850 mm，レーザ光源の高さは378.3 mmで行った．現状ではレーザを手動で回転させ食器をスキャンして真上に設置したカメラで撮り，食器の高さを求めるシステムとなっている．カメラはPoint Grey Re-

search社のDragonFly Expressを使用した．解像度640×480ピクセルで撮像する．レーザはCOHERENT社VLM3を使用した．ライン放射角は85°，最大出力2.5 mW，発振波長670 nmである．

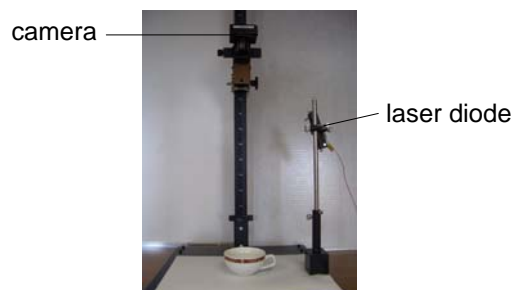


Fig. 12 実験環境

4. 実験結果

4.1 三次元形状計測

三次元形状計測の結果を図13に示す．左が復元される食器で右が復元結果である．グラタン皿のような陶器の食器は三次元形状を復元することができた．

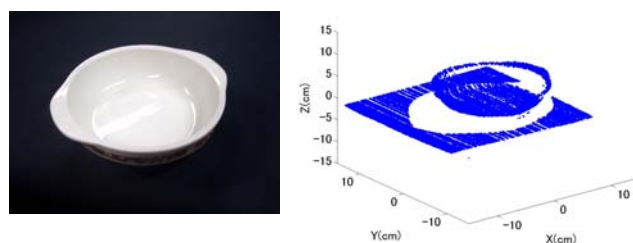


Fig. 13 グラタン皿と三次元復元

ガラスコップの三次元形状計測の結果を示す．図14が復元される食器で図15が復元結果である．このように元の形状を全く復元できていないことが分かる．これは光が透過，屈折，乱反射などを起こすことが原因で，一般に光学的な三次元形状の計測は困難である．



Fig. 14 ガラスコップ

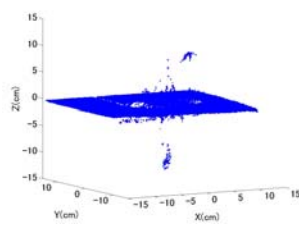


Fig. 15 三次元復元

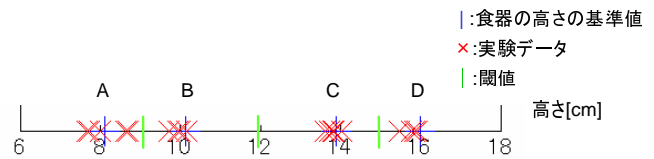


Fig. 18 ガラス食器の高さ(方法2)

4.2 ガラス食器の高さ

今回識別を行ったガラス食器を図16に示す.



Fig. 16 識別を行ったガラス食器

方法1の結果を図17に方法2の結果を図18に示す.方法1,2ともに各食器5回,計20回の実験データ全てが正しい認識を行うことができた.

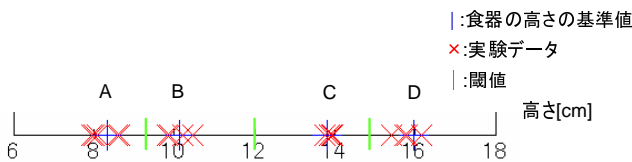


Fig. 17 ガラス食器の高さ(方法1)

より詳細な評価をするため,方法1,2ともに各食器の求めた高さ15回の標準偏差を求める.結果を表1に示す.全ての食器に対して方法1の方が2に比べて標準偏差は小さいことが分かり,一般化ハフ変換の手法には改善していく必要があると考えられる.今回の実験では4種類の食器の高さの差が大きかったため識別できたがどれくらいの差があれば識別可能か調べる.正規分布表により,閾値から基準値ま

Table 1 各食器の標準偏差

	A	B	C	D
方法1	0.250	0.298	0.228	0.167
方法2	0.378	0.312	0.249	0.221

での幅が標準偏差の2倍の長さあれば誤認識する確率は5%以内である.よって表1より各方法の最も大きい標準偏差に着目すると,識別する二つの食器の高さの差は方法1では約1.2cm,方法2では約1.6cm以上あれば誤認識する確率は5%以内といえる.

5. 結言

光切断法により対象物の三次元形状計測を行った.ガラス食器の認識方法を検討した.食器の直径を二つの方法で求め,認識の比較を行った.一般化ハフ変換に比べレーザの像が途切れた部分が極大になる場所を探索する手法の方が精度が高いことが分かった.今後の課題は食器の影が傾くの影響を考慮し,より精度の高い認識を行うことである.

参考文献

- 1) 井口, 佐藤. 三次元画像計測, 昭晃堂, 1990.
- 2) 宮崎, 池内. “偏光と放物的曲線の解析による透明物体の表面形状計測,” 情報処理学会論文誌 コンピュータビジョンとイメージメディア, Vo. 44, No. SIG9, pp. 86-93, July 2003.
- 3) 野村. “画像上の輪郭特徴量を用いた食器認識システム,” 計測自動制御学会, 236-12,(2007).