

令和 5 年 6 月 16 日現在

機関番号：23901

研究種目：若手研究

研究期間：2020～2022

課題番号：20K20267

研究課題名（和文）色付き点群処理による食事摂取量の推定

研究課題名（英文）Dietary Intake Estimation by Using Colored Point Cloud Processing

研究代表者

鈴木 拓央（Suzuki, Takuo）

愛知県立大学・情報科学部・准教授

研究者番号：80709303

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,700,000円

研究成果の概要（和文）：本研究ではRGB-Dカメラで食事の摂取量を正確に推定するための点群処理手法を提案した。球状物体などの凸物体の場合、外縁部において点群が欠損し、体積が小さく推定されてしまう問題があったため、欠損を補完する手法を提案した。提案手法では取得点群に対して面对称となる点群を生成し、取得点群と合成する。そして、合成した点群を陰関数で近似する。外縁部に欠損がある場合は穴の開いた球となるため、穴の有無に基づいて欠損の有無を判断することができる。また、欠損が小さい場合は陰関数で近似する際に穴を閉じることができ、これは小さな欠損を点群で補完できることを意味する。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では面对称な点群を用いることで外挿でなく内挿で点群を補完できることを示した。これは安定して高精度に欠損部を補完できることを意味し、食物体積推定、更にはカロリーや栄養素の摂取量推定の高精度化に貢献したと言える。提案手法では物体の外縁部に点群を発生させたが、その延長線上で物体の裏側に点群を発生させることができるかもしれない。RGB-Dカメラから見える側の形状に基づいて見えない側の形状を推定する技術の一助になればと考えている。

研究成果の概要（英文）： In this research, the principal investigator proposed a point cloud processing method for accurately estimating dietary intake with an RGB-D camera. In the case of a convex object such as a spherical object, a dropout of points occurs at the outer edge, and the estimated volume will be a bit small.

In the proposed method, a plane-symmetrical point cloud is generated for the acquired point cloud and synthesized with the acquired point cloud. Then, the synthesized point cloud is approximated by implicit functions. If there is a dropout around the outer edge, the approximated shape will be the sphere with a hole, so the presence or absence of a dropout can be determined based on the presence or absence of the hole. Also, if the range of a dropout is small, the hole can be closed when approximating with implicit functions, which means that the missing part can be complemented with points.

研究分野：知能ロボティクス

キーワード：点群処理 形状近似 欠損補完 体積推定 食事管理 生活支援

様式 C-19、F-19-1、Z-19（共通）

1. 研究開始当初の背景

厚生労働省が推進する健康長寿社会を実現するためには、食事を管理することが必要不可欠である。そのため、ロボット技術を活用し、食事の摂取量をライフログとして記録するシステムが開発されてきた。先行研究の多くは RGB カメラで色画像データを取得し、画像処理によりカロリーや料理名を推定していた。しかし、カロリーを推定するためには食器の大きさを認識する必要があり、決められた食器を使用したり自分の手を同時に撮影したりする必要があった。

近年、物体の色情報だけでなく、物体までの距離情報を取得可能な RGB-D カメラ（色-深度カメラ）の低価格化が進んでおり、スマートフォンや生活支援ロボットに搭載されてきている。RGB-D カメラで取得可能な点群データは 3 次元座標を持つ点の集合であり、画像データと比較して、物体の寸法や形状を認識しやすいという特長を有している。そのため、寸法や形状に基づいて体積を立体的に算出することで、より正確にカロリーや栄養素の摂取量を推定できると考えた。

RGB-D カメラは物体に対して赤外線を照射し、その反射光に基づいて物体までの距離を求めている。そのため、球状の物体の場合は、中心部には点群が発生するが、カメラの撮像面に対して角度が大きくなる外縁部には点群が発生しにくく、一部が欠損した点群データとなることがある。つまり、一部が欠損した点群データから如何にして食物の体積を正確に推定するかが課題となる。欠損のある点群データに基づいて体積を推定する場合は一回り小さく推定されてしまうため、物体の形状や色に基づいて欠損を補完することを考えた。

2. 研究の目的

本研究の目的は「近傍の点群に基づいて欠損している部分を補完することにより、食物の形状を正確に把握し、体積を高精度に推定すること」とした。厚生労働省は「日本人の食事摂取基準」を公開しており、エネルギーやタンパク質などの項目ごとに、食事摂取の目標量を示している。この目標量は中央値に対して一定の幅を持っており、本研究では摂取量の推定値の 3σ 区間がこの幅に収まるほどの精度で推定することを目標とした。

3. 研究の方法

物体中心部に存在する欠損に対しては、点群密度に基づいた手法、表面形状に基づいた手法、ボロノイ領域に基づいた手法、陰関数を用いた手法など、様々な補完手法（形状近似手法）が提案されてきた。ここで申請者は物体外縁部に存在する欠損を物体中心部に存在する欠損と同様に取り扱うことができれば、従来手法を用いて点群を補完できるのではないかと考えた。そして、取得点群に対して面对称な点群を生成し、合成することを提案した。なお、点群を補完するための従来手法としては体積推定と相性が良い陰関数を用いた手法を選択した。

提案手法を図 1～図 3 を用いて説明する。なお、座標系は RGB-D カメラの撮像面を XY 平面、カメラの光軸を Z 軸とし、対象物体が真球である場合を例示する。

欠損がない場合、RGB-D カメラで取得される点群は図 1 の (a) のようになる。この点群の重心が Z 軸上になるよう、かつ全ての点の z 座標が負の値となるように移動すると、図 1 の (b) のようになる。そして、形状を陰関数で表現すると、図 1 の (c) の赤色の部分のように中空のボールを半分にしたような形状が求まる。赤色の部分は XY 平面と接しているため積分することができ、半球の体積を 2 倍にすることで真球の体積を求めることができる。一方、欠損がある場合は図 2 の (c) のように陰関数が XY 平面方向に広がってしまい、積分することができなくなる。

そこで、図 2 の (b) の点群について XY 平面に対して面对称となる点群を生成し、元の点群と合成してから陰関数を求めると、穴を有する球となることが分かる（図 3）。つまり、穴の有無を判断することで、欠損を検出することができる。小さな欠損は陰関数で形状を近似する際に補完することができるため、正確には大きな欠損の有無を検出することができると言える。

提案手法は物体が凸であれば有効に機能するが、物体外縁部が全周に渡って欠損している場合は正常に補完することができない。しかし、欠損は通常、物体外縁部の一部に発生するため、そのような状況は稀である。また、立方体のように角がある物体の場合は精度が低下すると考えられる。これは陰関数で形状を近似することで角がなまるためである。この点については、立方体などの角のある物体をプリミティブ物体として予め検出し、別に体積を求めてしまうことで対処できる。

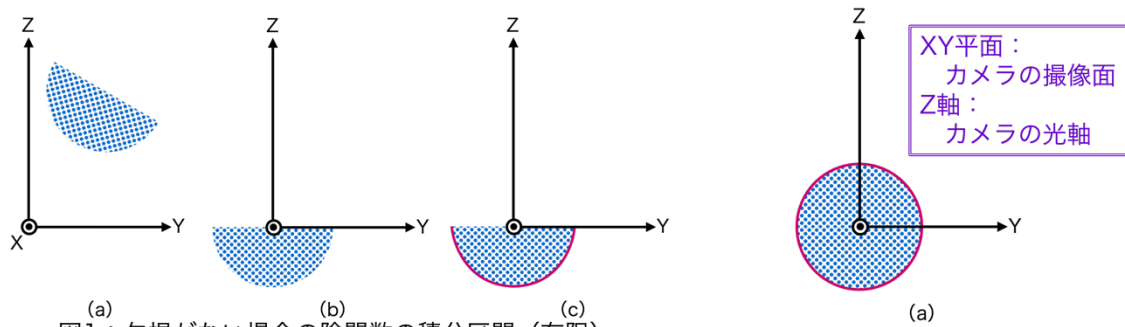


図1：欠損がない場合の陰関数の積分区間（有限）

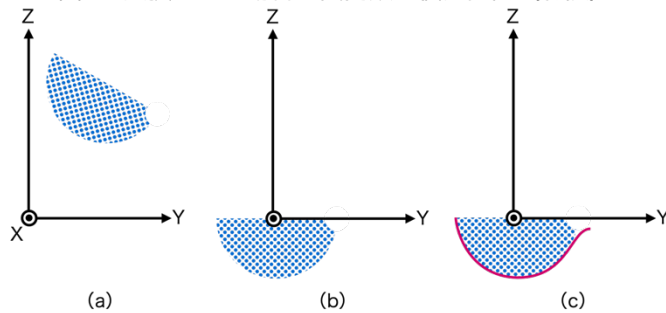


図2：欠損がある場合の陰関数の積分区間（無限）

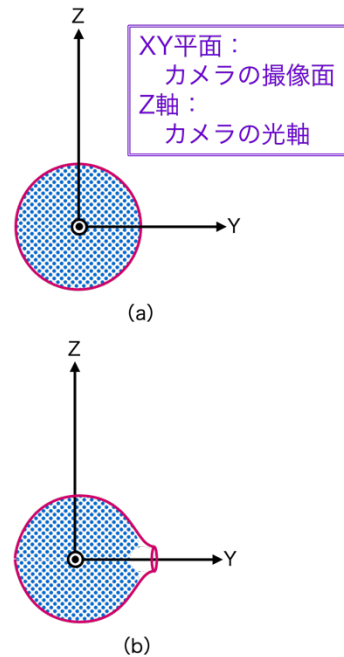


図3：穴の有無に基づく欠損の検出

4. 研究成果

Point Cloud Library (PCL) を用いて仮想的な点群を生成するためのシミュレーターを作成し、提案手法の有効性を検証した。実験に際し、欠損度を下記の通り定義した。また、物体外縁部 360 度の内、何度範囲で欠損が発生するかを欠損角度として定義した。

- 欠損度 0：全ての点が取得できる状況
- 欠損度 100：全ての点が取得できない状況

実験結果の例を図 4 に示す。欠損度が 0～10 程度の小さな欠損であれば、従来の陰関数近似手法（ポアソン法）で補完できることを確認した。また、欠損度が 15～25 程度の大きな欠損の場合は穴が発生することを確認した。これにより、穴の有無に基づいて大きな欠損が生じているのかを判断できることを示すことができた。ただし、欠損度が 25 以上の場合は陰関数近似手法の結果が安定しなかった。これは欠損が余りにも大きい場合は物体の形状を近似できないことを意味しているため、「複数の RGB-D カメラを用いて点群を合成する」や「RGB-D カメラの位置・姿勢を変化させながら点群を合成する」など、点群の欠損度を下げる工夫が必要になる。

本研究では面対称な点群を用いることで物体外縁部の欠損を物体中心部の欠損として捉えられるようにし、物体中心部の欠損を補完するための従来手法を物体外縁部の欠損に対して適用した。これは外挿でなく内挿で点群を補完できることを意味する。今後は、大きな欠損を表す穴の形状が対称性を有するという事前知識を活かし、より大きな欠損を陰関数近似手法で補完できるようにする計画である。また、Gaussian Process Implicit Surfaces (GPIS)などを参考に、点群が取得可能な表側の形状から取得不可能な裏側の形状を推定することも検討していきたいと考えている。

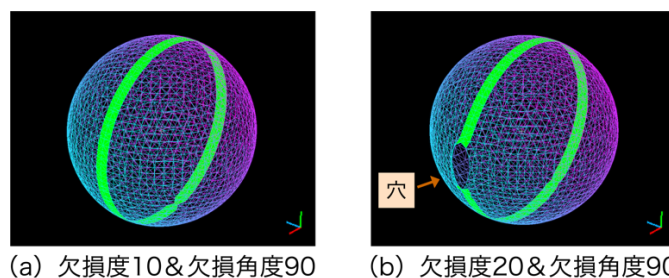


図4：食物の形状を陰関数で近似した結果の例

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計2件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 鈴木 拓央
2. 発表標題 面対称な点群と陰関数を用いた点群欠損の検出
3. 学会等名 計測自動制御学会 第23回システムインテグレーション部門講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 鈴木 拓央
2. 発表標題 面対称な点群を用いた物体周辺部の点群欠損度の判定
3. 学会等名 日本ロボット学会 第40回学術講演会
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------