

# 三次元距離画像の不観測データパターンを利用した物体の存在位置推定

## Object Detection Based on Unmeasurable Area Patterns Found in 3D Range Images

○ 松本 廣一郎 正 山崎 公俊 (信州大)

Koichiro MATSUMOTO, Kimitoshi YAMAZAKI,  
Shinshu University, kyamazaki@shinshu-u.ac.jp

This paper describes an object detection method. Depth images obtained from 3D range camera are used, object detection with classification into three types are performed. We focus on image region where measurement data does not obtained, and analyze the reason how such region is produced. It enables us to reduce uncertain region of an input depth image and to provide information for viewpoint changing to obtain more advanced object information. We implemented an application to classify above three types of objects. Non-transparent objects and partly-transparent objects were classified from a single depth image, and multi-view measurements were used to reduce uncertainty data and to narrow down the existing area of transparent objects.

**Key Words:** 3D range image sensor, unmeasurable data pattern, object type classification

### 1. はじめに

生活環境下で有益な作業を行うロボットには、様々な物体の存在を認識する能力が求められる。それゆえに、種々の物体認識に関する研究がおこなわれてきている[1][2]。

一つの有用なアプローチは、三次元情報が獲得できるセンサを利用することである。例えば、ステレオカメラ [3]、レーザー距離計 (LRF) [4]、それらの組み合わせなどがある。最近では三次元距離画像センサが一般的に用いられる。そのようなセンサは、投光器を利用してパターンを環境に投影し、その見えによって形状獲得を行うため、対象環境にテクスチャが存在しない場合であっても計測を行うことができる。

本研究の目的は、センサの計測範囲内に置かれた物体の存在位置を推定することである。このとき、物体が3種類(計測可能物体、部分計測可能物体、計測不可能物体)に分けられると考えそれらの分類も行う。そのような機能は生活環境下で動作するロボットにとって有用であると考え。例えば、物品の取り置き、ものさがし、障害物回避などにおいて、物品の位置や計測可能性などを考慮した動作計画が可能になる。

本研究で使用するセンサは三次元距離画像カメラ (Microsoft Kinect [5]) である。このようなセンサの計測原理では、透明であったりや反射の強い表面からは受光器が反射光をえることができず、計測データを得ることができない。Fig.1は、この一例を示したものである。ここでは二つの物体を計測しており、左側は計測可能な直方体、右側は透明のペットボトルである。右側は距離画像を示しており、ペットボトルの部分は距離値が取得できていない。本研究ではこのように距離値が取得できない部分を非観測領域と呼ぶ。なお、同様の問題は LRF やステレオカメラにおいても生じる。

一方で、非透明な物体の横部分にも、非観測領域が存在することが確認できる。ただし、このような非観測領域は、透明物体を観測した場合と異なり、センサと計測対象との距離、計測対象と背景との距離、光軸と計測対象との角度がわかれば、その大きさを予測することが可能である。そこで本研究では、計測データに含まれる非観測領域の大きさによって観測対象を上記の3種類に分類しつつ、その種類にしたがって計測戦略を変える等の方針を与えられるような物体の存在位置推定手法を提案する。

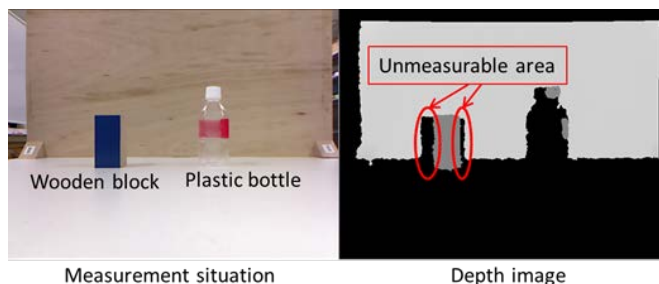


Fig.1 An example of depth image captured from Microsoft Kinect, 3D range image sensor.

### 2. 存在位置推定のアプローチ

三次元距離画像カメラを用いた計測に置いて、非観測領域が生じることは1章で述べたとおりである。本研究では、計測可能物体を計測しているのにもかかわらずその周辺に生じる非観測領域は、前景と背景の差から生じるものであり、Fig.2のように分類できるものとする。原因は大きく分けると二つの状況があり、対象表面にパターン光が当たっているものの受光器側がそれを観測できない、もしくは受光器側には見えている対象表面に、オクルージョン等の要因でパターン光が当たっていない、のどちらかであると考え。

そこで、前処理として、上述のような状況を様々に生成してその際の非観測領域の大きさを記録しておくことで、それを学習データとして利用するアプローチを採る。そこでは、センサから物体までの距離、物体から背景までの距離、カメラ中心から物体への位置ベクトルが光軸ベクトルとなす角度、の3パラメータに対応する非観測領域の大きさを記録しておく。そして、入力データから抽出した物体候補に対して、そこに隣接する非観測領域の大きさが学習データと近いものであれば、その候補は計測可能物体と判断する。

この方法によれば、距離画像上で物体候補としてみなせる部分領域が計測可能物体であるか、部分的に計測可能な物体であるかを判別できる。一方で、計測不可能物体の場合は候補領域そのものを抽出することができないため、上述の方針を用いることはできない。そこで、多視点観測と組み合わせる。まず、一枚の距離画像において、計測可能物体もしくは

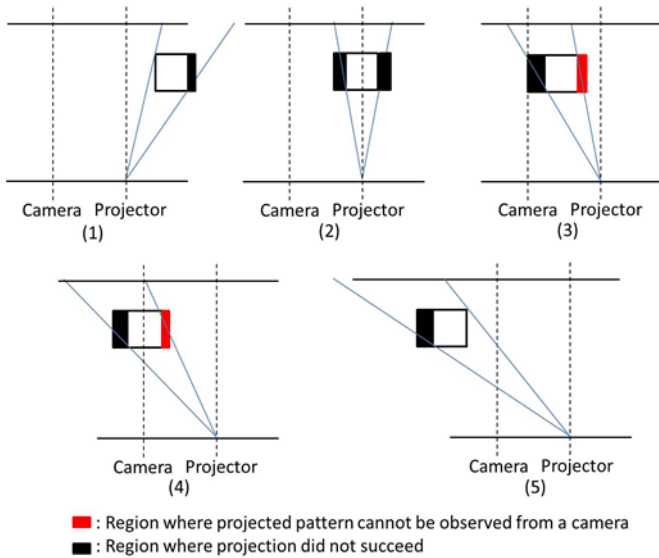


Fig. 2 Five projection patterns we assume

部分計測可能物体に関連がない非観測領域を見つける。この領域を計測不可能物体が存在する領域とみなす。この段階では、物体の存在位置の不確実性が高いため、視点移動の後に再度その領域を観測することで、物体の存在領域の絞り込みを行う。なお、部分計測可能物体とみなされた部分についても、カメラの光軸方向に対して大きな傾きの面を計測している場合があるため、視点移動はそのような場所に対しても行われるべきである。すなわち、部分計測可能物体は、視点移動後に計測可能物体と判定される可能性がある。

### 3. 手法の定式化

$\mathbf{z}$  を一回の計測結果とすると、それによって得られる物体の存在位置の事後分布は  $P(\mathbf{x}|\mathbf{z})$  として表現できる。本研究ではこの事後分布を、非観測領域の存在を考慮して次のように書き換える。

$$P(\mathbf{x}|\mathbf{z}) \equiv P(\mathbf{e}|\mathbf{z})P(\mathbf{g}|\mathbf{e}, \mathbf{z}) \quad (1)$$

ここで  $\mathbf{e} = \{x_r, x_l\}$  は、距離画像上で得られた物体候補領域からその左右の輪郭線を抽出し、三次元位置を計算した結果である。 $\mathbf{g} = \{g_r, g_l\}$  は、左右の輪郭線の横にある非観測領域の大きさを意味する。すなわち式 (1) の計算には、距離画像上から候補領域を得たのち、領域の輪郭線を抽出し、その輪郭線に隣接する非観測領域の大きさを調べる操作が必要である。もし非観測領域の大きさが学習データとして得た値に近いのであれば、その候補領域は計測可能物体、すなわち透明でなく、反射の強い面を有していない物体であると判断できる。

透明物等の物体からは計測データがほとんど得られないため、単一視点での検出は行わず、多視点観測による候補領域の絞り込みを行うこととする。このため、占有格子地図[6]と同様の方式を用いる。これは、以下の式で表現できる。

$$P(\mathbf{y}|\mathbf{z}_{1:i}, \mathbf{a}_{1:i}) \equiv \prod_k P(\mathbf{y}_k|\mathbf{z}_{1:i}, \mathbf{a}_{1:i}). \quad (2)$$

ここで、 $\mathbf{y}$  は計測不可能物体の位置を表している。 $\mathbf{z}_{1:i}$  は最初から  $i$  回分の計測結果を示しており、 $\mathbf{a}_{1:i}$  は最初から  $i$  回分のセンサ姿勢である。式(2)の左側は、計測不可能物体の位置

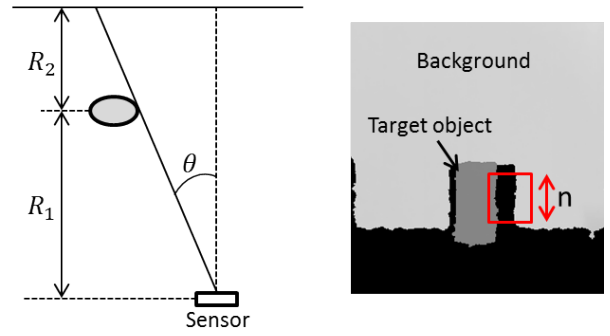


Fig. 3 Parameters for gap region estimation.

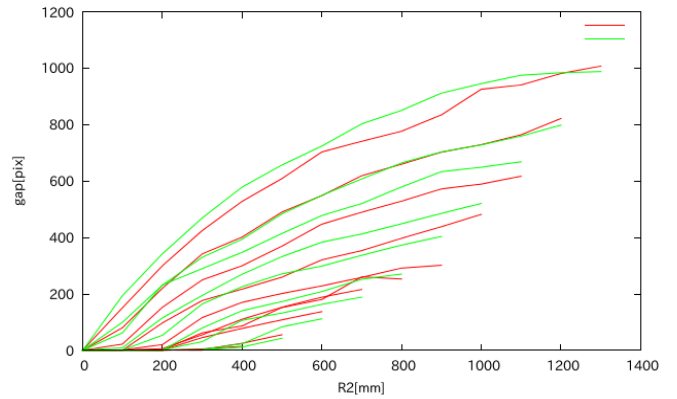


Fig. 4 Relationship between  $R_2$  and the size of unmeasurable region.

の分布をしめしている。ただし、それを直接的に求めることは困難であるため、グリッドマップを定義し、各グリッドでの存在確率を求めることで、位置の分布とする。

### 4. 実験

三次元距離画像センサ Microsoft Kinect を用いて基礎実験を行った結果について説明する。

#### 4.1 学習データの生成

2章で述べたように、計測可能物体に隣接している非観測領域の大きさは予測が可能である。このための学習データを以下の手順にて作成した。まず、幅 40mm の木製の直方体を準備した。Fig. 3 に示すように 3 つの変数を定義し、これらを等間隔で変えながら、それぞれでの非観測領域の大きさを調べ、記録した。Fig. 4 は結果の一例である。横軸は  $R_2$  の値、縦軸は非観測領域の大きさである。赤線、緑線はそれぞれ、直方体右側、左側の結果を示している。このグラフからわかるように、非観測領域の大きさは距離と線形の関係にはないため、種別処理を行う際には、直線近似はおこなわずに  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $\theta$  の最近傍探索によって、適切な非観測領域の大きさを調べることとした。

#### 4.2 領域拡張法による候補領域の抽出

距離画像を入力として、領域拡張法を適用した候補領域の抽出を行う。この手法は、開始点  $\mathbf{p}_0$  を決めたのち、同族とみなされる近傍の点を加えていくことで、一つの領域を生成するものである。本研究においては、距離データから算出した法線情報の類似性を基準として処理を行う。

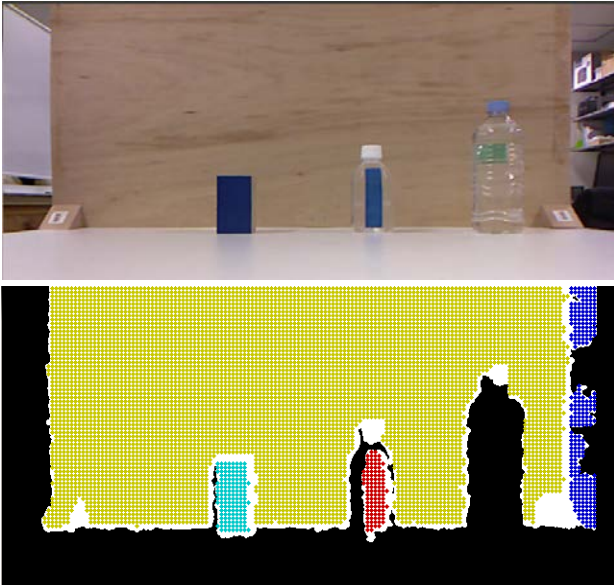


Fig. 5 A region growing result.

具体的には、以下の条件を満たす場合に、対象とする点が同族であるとみなす。

$$\cos^{-1}(\mathbf{n}(i,j) \cdot \mathbf{n}(i+n,j+m)) < \theta_{\text{threshold}}$$

$$|d(i,j) - d(i+n,j+m)| < d_{\text{threshold}}$$

ここで、 $\mathbf{n}_1$  は点  $\mathbf{p}$  の法線成分、 $\mathbf{n}_2$  は近傍の法線成分である。 $(\cdot)$  は内積計算を意味する。 $\theta_{\text{threshold}}$  はあらかじめ決められた閾値である。 $n, m$  は経験より、両方とも 4 を設定した。Fig.5 に処理例を示す。

#### 4.3 候補領域の判定

3つの物体を設置し、それを撮影した 126 フレームのセンサデータを用いて、計測可能物体と部分計測可能物体の判定実験を行った。計測可能物体については、100フレームで正確な判定がなされ、推定成功率は 79.4% であった。部分計測可能物体については、90フレームで正確な判定がなされ、推定成功率は 71.4% であった。これらは領域拡張法によってすでに三次元位置が求まっているため、上述の成功率はそのまま存在位置推定の成功率と考えることができる。

#### 4.4 多視点観測による計測不可能物体の位置推定

Fig. 6 は、多視点観測の基礎実験の様子を示す。円形レーン上にセンサを搭載し、レーンの中心部分に透明物体を設置

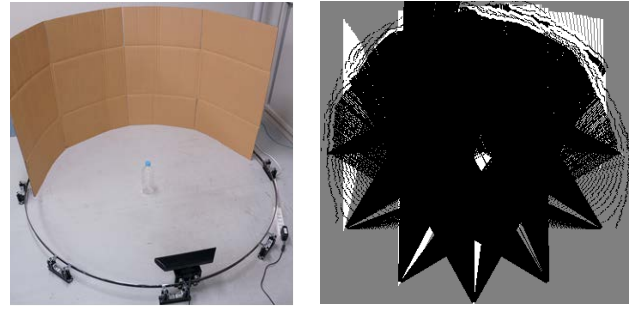


Fig.6 An experimental result by multi-view measurements

した。センサを30度刻みで動かしつつデータを取得し、透明物体の候補領域の絞り込みを行った。Fig. 6 右側はその結果を示しており、黒い領域は透明物体とは関係のない領域、白い領域は存在可能性が高い領域である。Fig. 7に、提案手法の全体構成図を示す。

### 5. おわりに

本稿では、三次元距離画像センサを用いた物体の位置推定法について述べた。物体の種類を、計測可能、部分的に計測可能、計測不可能の3つにわけ、それらの違いに応じて推定方法を変える枠組みを提案した。

今後の課題として、提案手法の定量的な評価、より複雑な状況での実験、実ロボットへ搭載して物体操作行動へ応用することなどがある。

### 謝辞

本研究の一部は総務省戦略的通信研究開発推進事業 (SCOPE) No. 132104001 の支援により行われた。

### 文献

- [1] J. Kuehnle, A. Verl, Z. Xue, S. Ruehl, J. Zoellner, R. Dillmann, "6d object localization and obstacle detection for collision-free manipulation. 2009. p. in Proc. International Conference on Advanced Robotics.
- [2] K.Kitahama, K.Tsukada, F.Galpin, T.Matsubara and Y.Hirano. Vision-based scene representation for 3D interaction of service robots. 2006. p. in Proc. of IEEE/RSJ Int. Conf. on Intelligent Robots and Systems
- [3] Bumble Bee, Point Gray Inc. [Online] <http://www.ptgrey.com/products/stereo.asp>.
- [4] URG series, HOKUYO Inc. [Online] [http://www.hokuyo-aut.jp/02sensor/07scanner/utm\\_30lx.htm](http://www.hokuyo-aut.jp/02sensor/07scanner/utm_30lx.htm)
- [5] Kinect, Microsoft Corporation. [Online] <http://www.xbox.com/ja-JP/kinect/>
- [6] Thrun, S. and Bücken, A. Integrating grid-based and topological maps for mobile robot navigation. 1996. pp. 944-950, in Proc. of the Thirteenth National Conference on Artificial Intelligence. 64, 1999.

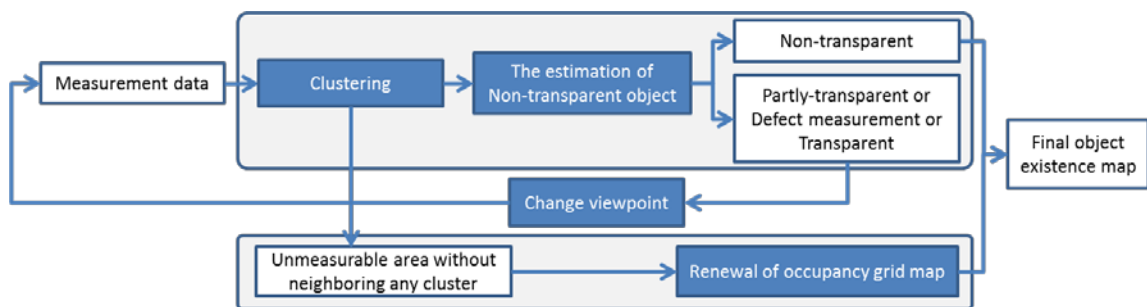


Fig.7 A whole image of object detection procedure