

# RGB-D カメラを用いた箱型物体の面抽出

○梶野 翔吾（立命館大学），長谷川 潤（エイチエスティ・ビジョン株式会社），下ノ村 和弘（立命館大学）

## Surface extraction of cuboidal package using RGB-D camera

○Syogo KAJINO (Ritsumeikan University), Jun HASEGAWA(HST Vision Corporation), and Kazuhiro SHIMONOMURA(Ritsumeikan University)

Abstract : We propose a method to extract the surface of a cuboidal package in real world using a RGB-D camera. We create triangular patches around the point of interest and get normal vector from its outer product in 3D-space. Even with some unevenness, the surface is detected by integrating all the neighboring patches with a similar direction of the normal vector.

### 1. 緒言

物流業務において、荷物の管理のために、箱型の荷物の上面や側面に記載された情報を読み取る必要がある。面に記載されたバーコードを読み取るだけでなく、箱型の荷物の各面に記載された文字や図柄を直接読み取りたい場合がある。このような場合に、情報読み取りの前段階として、それが記載された面を抽出することを考える。2次元画像上では、対象の周囲が雑然としていたり、対象と周囲のコントラストがない場合には、面の抽出は難しい。そのため、RGB-D カメラにより得られたデプス画像を用いて、箱の3次元形状情報を利用する。

箱型物体からそのデプス画像を用いて面を抽出する場合、対象の面が完全な平面であると仮定できれば、平面検出の手法を用いることができる [1]。しかしながら、実際の荷物の中には、面が膨らんだりへこんだり、あるいは面に凹凸がある場合もあり、完全な平面を仮定した場合には、面全体を抽出することができなくなる。そこで、本研究では、ある程度の範囲の曲面や凹凸を含む、箱状荷物の面を抽出する方法を提案する。

### 2. 面抽出アルゴリズム

#### 2.1 概要

本研究では、RGB-D カメラから得られる深度情報を用いることで箱型物体の面の抽出を行う。注目点とその近傍の点の3点を使うことにより三角パッチを作成し、外積を用いて法線ベクトルを取得する [2]。法線方向が同じ点の集合をひとつの面として抽出するが、近傍の点同士では法線の違いを一定範囲で許し同一の面とみなすことで、凹凸のある面であっても同一の面として抽出可能とするシステムを構築する。ひとつの面を抽出するまでの流れを Fig.1 に示す。

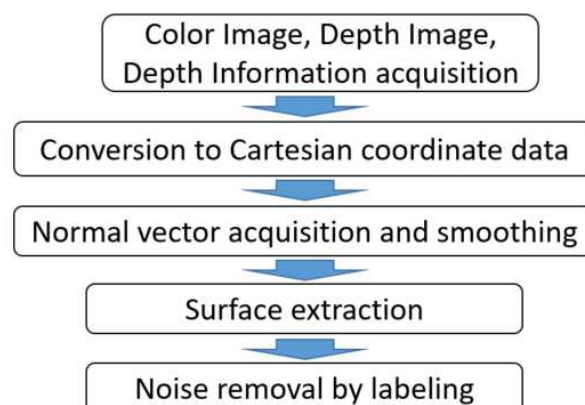


Fig. 1: flowchart

#### 2.2 直交座標データへの変換

RGB-D カメラでは深度情報を得ることができるため、得られた深度情報から直交座標データへの変換を行う必要がある。Fig.2 に透視投影系の3次元空間の物体と像面の関係を示す [3]。カメラ座標系  $(X, Y, Z)$  は投影中心を原点とし、光軸と  $Z$  軸を一致させている。画像座標系  $(u, v)$  は画像の左上を原点とし、 $X, Y$  の各軸とそれぞれ平行である。 $f$  は焦点距離、 $(C_u, C_v)$  は  $(u, v)$  でのレンズ光軸の座標である。 $(X, Y, Z)$  上に位置する点  $(x, y, z)$  の像点が  $(u, v)$  にできるとする。このようにして式 (1) を用いることで直交座標データへの変換を行う。この際の  $k_1, k_2, k_3$  は半径方向の歪み係数、 $p_1, p_2$  は円周方向の歪み係数、 $f_x, f_y$  は焦点距離である。本研究では、Intel RealSense Depth Camera D435 を使用するため、RealSense に含まれている固有カメラパラメータを使用して式 (1) に値を入れていく。

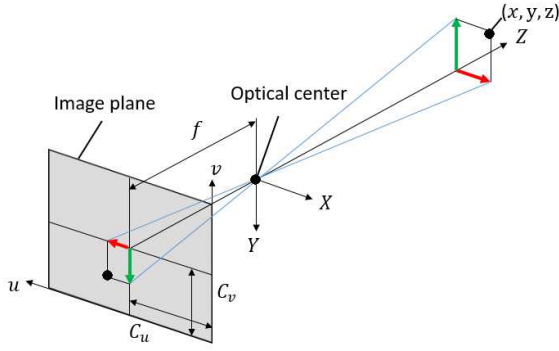


Fig. 2: Perspective projection system

$$\begin{cases} x = \frac{u - C_u}{f_x} \\ y = \frac{v - C_v}{f_y} \\ r^2 = x^2 + y^2 \\ f' = 1 + k_1 r^2 + k_2 r^4 + k_3 r^6 \\ x' = x f' + 2p_1 x y + p_2 (r^2 + 2x^2) \\ y' = y f' + p_1 (r^2 + 2y^2) + 2p_2 x y \\ x = z x' \\ y = z y' \\ z = z \end{cases} \quad (1)$$

### 2.3 法線ベクトルマップの計算

3次元空間上にある箱型物体の面を抽出するために Fig.3 のような三角パッチを作成し、外積を用いて法線ベクトルを取得する方法を用いる。まず、注目点を A とし、A に対して x 軸上で右隣の点を B, y 軸上で下隣の点を C とする。これらの点を結ぶことによって三角パッチを作成し、その三角パッチを実際の面の一部とみなすことができる。次に、三角パッチを構成する 3 点 A, B, C の座標から三角パッチの法線ベクトル a, b, c を式 (2) により求める。

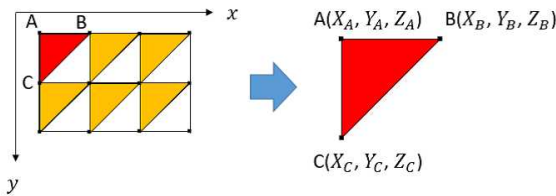


Fig. 3: triangular patch

$$\begin{cases} a = (Y_B - Y_A)(Z_C - Z_A) - (Z_B - Z_A)(Y_C - Y_A) \\ b = (Z_B - Z_A)(X_C - X_A) - (X_B - X_A)(Z_C - Z_A) \\ c = (X_B - X_A)(Y_C - Y_A) - (Y_B - Y_A)(X_C - X_A) \end{cases} \quad (2)$$

### 2.4 同一面への統合

2.3 節の式 (2) により得られた法線ベクトルの向きがある一定範囲内に入っていれば同じ面とみなし、このときの法線ベクトルを保存する。次の点も同様の計算を行い、保存した法線ベクトルと比較してある一定範囲内に入っていれば保存し、入っていなければ保存せずに次の点へ移動する。このような流れを得られた画像に対し行うことで 3 次元空間上にある面の抽出を行う。このとき、法線ベクトルはバラつきがあると考えられるため、法線ベクトルを平滑化することでより面検出を行いやすくする。面検出後はラベリング処理を行うことでノイズを消し対象面のみを抽出する。また、対象物は画像の中心付近にあると仮定し、面検出の処理の開始点を画像の中心とする。開始点から Fig.4 のように渦巻状に検出していくことで中心付近にある対象物を検出していく。

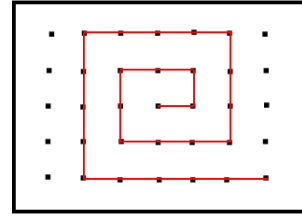


Fig. 4: detection method

## 3. 面抽出実験

### 3.1 実験環境

今回使用する RGB-D カメラは Intel RealSense Depth Camera D435 である。この RealSense は、深度情報を取得できるカメラであり、RealSense の構造は Fig.5 のようになっている。この RealSense は、IR カメラを 2 つ、RGB センサ、IR プロジェクタを搭載しており、USB 給電で動作する。Intel RealSense Depth Camera D435 ではデプス画像とカラー画像の画角が異なるため、画角を一致させたのちにそれぞれの実験を行う。今回使用する PC は、DELL Inspiron であり、CPU は Intel 社 Core i5-8250U(1.60GHz) を用いた。本研究では、開発言語に C++, 拡張ライブラリとして OpenCV を利用する。

面抽出実験は曲面と凹凸面をもつ箱型物体の 2 種類に対して旧アルゴリズムである平面検出と新アルゴリズムである提案手法の 2 つを用いて行った。また、渦巻状に検出していくため対象面が途切れ、再び対象面の検出ができるかという場合も考慮して、2 面が見える場合と 3 面が見える場合の 2 パターンの実験を行った。今回は、対象物の上面を対象面として実験を行い、検出された部分を赤色で示すことで検出結果をわかりやすくした。



Fig. 5: RealSense structure

### 3.2 実験結果

対象面が曲面のときの 2 面見える場合の旧アルゴリズムと新アルゴリズムの実験結果を Fig.6 に示し、3 面見える場合の旧アルゴリズムと新アルゴリズムの実験結果を Fig.7 に示す。2 面見える場合は Fig.6(c), (d) のように平面検出では対象面の半分しか検出することができていないが、Fig.6(g), (h) のように提案手法では面全体を検出することができていることがわかる。Fig.7(c), (d) のように 3 面の場合も 2 面のときと同様に平面検出では対象面の半分しか検出できていないが、Fig.7(g), (h) のように提案手法で

は角付近で検出できていないところがあるが平面検出と比較して広範囲の検出が可能になっていることがわかる。

対象面が凹凸をもつ面のときの 2 面見える場合の旧アルゴリズムと新アルゴリズムの実験結果を Fig.8 に示し、3 面見える場合の旧アルゴリズムと新アルゴリズムの実験結果を Fig.9 に示す。2 面見える場合は Fig.8(c), (d) のように平面検出では対象面が完全な平面ではないため対象面の中心付近が検出されていないが、Fig.8(g), (h) のように提案手法では面全体を検出することができていることがわかる。Fig.9(c), (d) のように 3 面見える結果も 2 面のときと同様に平面検出では対象面が完全な平面ではないため完全な平面に近い部分しか検出されていないことがわかるが、Fig.9(g), (h) のように提案手法では角付近で検出できていないところがあるが平面検出と比較して広範囲の検出が可能になっていることがわかる。

曲面も凹凸をもつ面も平面検出では対象面全体を検出することはできなかったが、提案手法では対象面を広範囲で検出することがわかった。これは、平面検出では平面パラメータが一つに定まるため、同じパラメータである場合しか検出できないのに対し、提案手法では法線ベクトルの向きに対し範囲を設けているため、向きの変化に対応できるためだと考えられる。しかし、面抽出法でも角付近が検出されない場合があることがわかる。これは、渦巻状に検

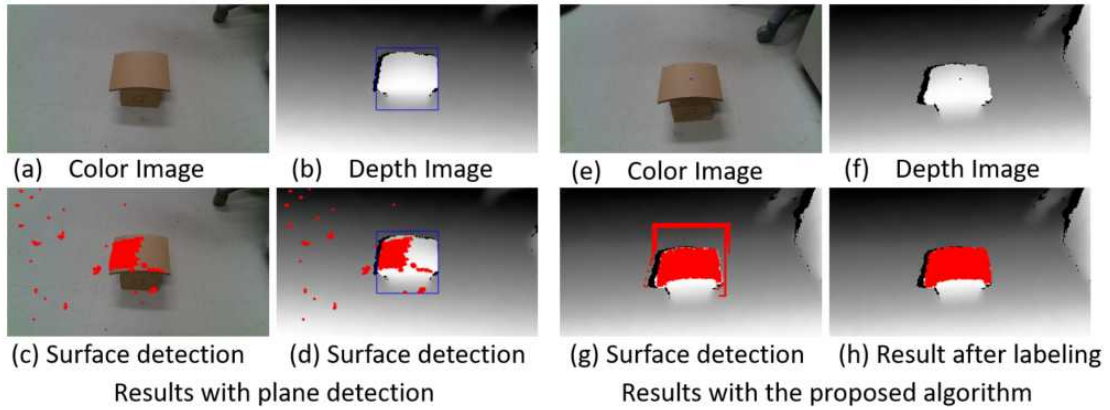


Fig. 6: Experimental results for curved surface when two surfaces are visible

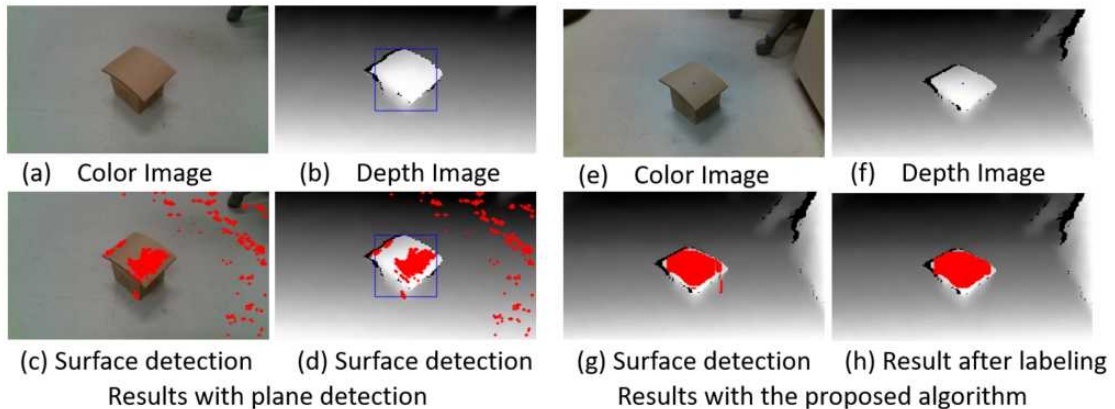


Fig. 7: Experimental results for curved surface when three surfaces are visible



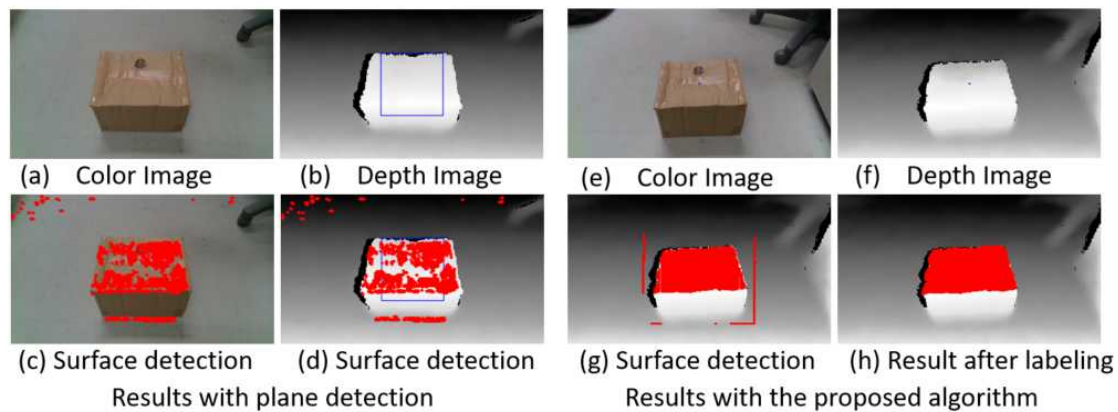


Fig. 8: Experimental results for uneven surface when two surfaces are visible

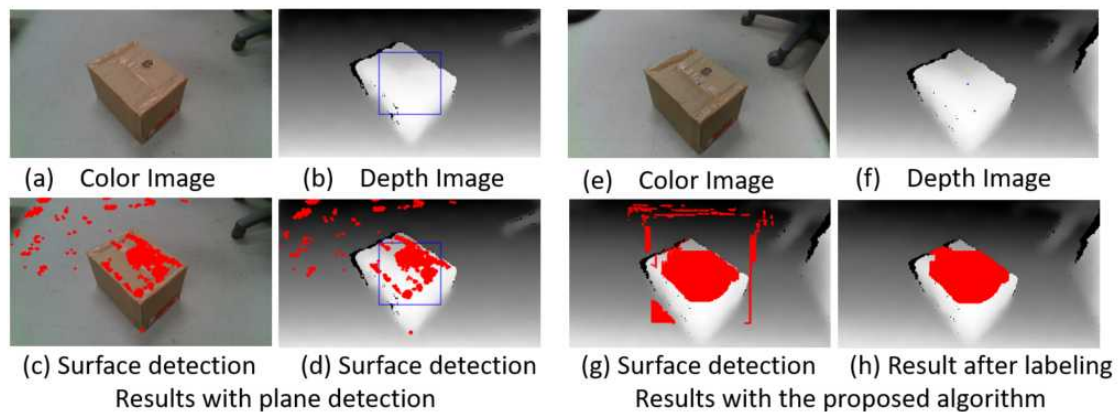


Fig. 9: Experimental results for uneven surface when three surfaces are visible

出しているために対象面から途切れて再び対象面に戻る際に、法線ベクトルの向きが設定した範囲内に入らなかったのではないかと考えられる。曲面や凹凸をもつ面で法線ベクトルの向きのバラつきが大きいと考えられる面ではこのように検出の対象外になることがあるのではないかと考えられる。

#### 4. 結言

本研究では、RGB-D カメラを用いることで得られる深度情報から直交座標データに変換し、法線ベクトルを用いることで箱型物体の面抽出を可能とするアルゴリズムを提案した。そして、対象面を曲面と凹凸をもつ面とし、平面検出と提案した面抽出法の比較実験を行った。いずれの場合も2面見える場合と3面見える場合の2パターンの実験を行った。どの結果も平面検出よりも提案手法のほうが広範囲の検出が可能になっていることがわかった。これは、平面検出では平面パラメータが一つに定まるため、同じパラメータである場合しか検出できないのに対し、提案手法では法線ベクトルの向きに対し範囲を設けているため、向きの変化に対応できるためだと考えられる。しかし、面抽出法でも曲面や凹凸をもつ面で法線ベクトルの向きのバラつきが大きいと考えられる面では角付近が検出されない場合があることがわかった。また、平面検出と面抽出法では

処理時間がそれぞれ1.5秒と2.5秒と1秒ほど面抽出法のほうが遅いという結果となった。これは、平滑化やラベリング処理を行うために平面検出よりも処理の過程が増えるためだと考えられる。

今後の課題として、角付近のような同一面内で検出されていないところが検出されるような検出方法を検討していく必要がある。また、今回は1面のみの抽出であったが、今後は対象物の見える面すべての抽出を行い、抽出したすべての面に記載されている情報の読み取りをしていく必要がある。さらに、物流業務での使用を目的としているため、リアルタイムで使えるように処理時間を短くしていく必要がある。

#### 参考文献

- [1] 出岡大和, 新田益大, 加藤清敬, “3次元ハフ変換を用いた距離画像における面検出,” 精密工学会秋季大会学術講演会講演論文集, pp.906-907, (2011).
- [2] 飯沼宏成, 石田陽佑, プレーマチャンドラ・チンタカ, 加藤清敬, “3次元ハフ変換を用いた平面検出の高速化アルゴリズム,” 精密工学会春季大会学術講演会講演論文集, pp.877-878, (2013).
- [3] 石井明, 齊藤文彦, マシンビジョン, コロナ社, (2008).