

1. はじめに

距離画像において平面と平面が交差してできるエッジの検出は、距離差が少ないため従来の空間フィルタリングでは困難であるという問題がある。この問題の一つの解決法として、Cang 等は法線強調距離画像を用いたエッジ検出手法を提案している [1]。しかし、この手法はノイズに対して敏感という問題がある。そこで、本研究では平面セグメント情報を用いた距離画像からのエッジ検出法を提案する。

2. 距離情報の平面セグメンテーション

本手法は距離画像から平面セグメント画像を生成し、セグメントの境界をエッジとして検出する。まず最初に RHT(Randomized Hough Transform) を用いて三次元距離情報から平面を検出する。検出した平面を使用して距離情報に平面ラベルを与えることでセグメンテーションを行う。各セグメントから RANSAC(RANdom SAmple Consensus) による平面の再検出を行い、類似する平面を統合する。統合後の平面を使用して再セグメンテーションを行う。

2.1 平面検出

RHT を用いて三次元空間内に存在する平面を検出する。図 1 に示すように距離情報から無作為に座標点を三点選択して平面を仮定する。仮定した平面のパラメータを極座標系でのパラメータ (θ, ϕ, ρ) に変換し、二次元の $\theta\phi$ パラメータ空間に投票を行う。投票数のピーク $(\theta_{peak}, \phi_{peak})$ がしきい値以上になるまでこの処理を繰り返す。これによりいくつかの平面が検出できる。検出した平面の ρ の値を ρ パラメータ空間に射影し投票を行う。投票数のピーク ρ_{peak} を抽出する。これにより平面のパラメータ $(\theta_{peak}, \phi_{peak}, \rho_{peak})$ を推定することが可能である。

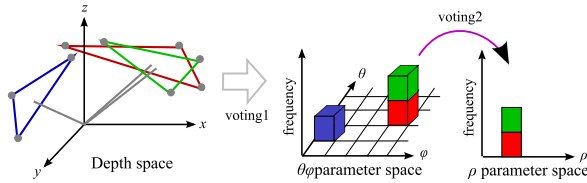


図 1：平面検出アルゴリズム

2.2 平面セグメンテーション

検出された平面 L_i と距離情報中の座標点 p 間の距離および、法線ベクトルの類似度をそれぞれ式 (1), (2) より算出する。算出された距離と類似度をしきい値処理することで座標点 p を平面セグメント S_i に属させる。

$$\text{dist}(p, L_i) = \frac{|a_i x + b_i y + c_i z + d_i|}{\sqrt{a_i^2 + b_i^2 + c_i^2}} \quad (1)$$

$$\text{sim}(\mathbf{n}_p, \mathbf{n}_L^{(i)}) = \cos \theta = \frac{\mathbf{n}_p \cdot \mathbf{n}_L^{(i)}}{|\mathbf{n}_p| |\mathbf{n}_L^{(i)}|} \quad (2)$$

ここで \mathbf{n}_p は距離情報 1 点に対する法線ベクトル、 $\mathbf{n}_L^{(i)}$ は平面の法線ベクトルである。

2.3 繰り返し処理による平面セグメントの統合

2.2 で作成される平面セグメントは多くの場合オーバーセグメンテーションされる (図 2[b])。RHT で検出される平面は誤差が含まれているため、平面セグメントから RANSAC を用いてアウトライア除去を行いながら平面の再検出を行い、類似する平面を統合する。統合後の平面を使用して再度セグメンテーションを行う。これらの一連の処理を繰り返すことで誤差を軽減しながら平面の統合を行うことが可能である (図 2[d])。

3. 平面セグメント情報を用いたエッジ検出法

三次元の平面セグメントを二次元の平面セグメント画像に変換する。セグメント画像に対してエッジ検出を行う。

3.1 平面セグメント画像の生成

2.2 で取得した平面セグメントを画像座標系に変換することで平面セグメント画像を生成する。平面セグメント画

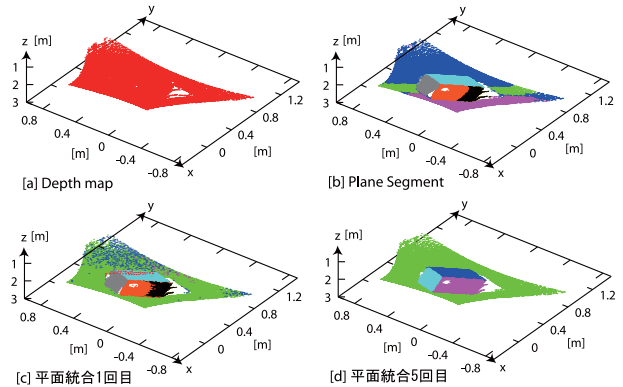


図 2：平面セグメントの統合例

像にメディアンフィルタを使用してスパイクノイズの除去を行う。平面セグメント画像を図 3 に示す。

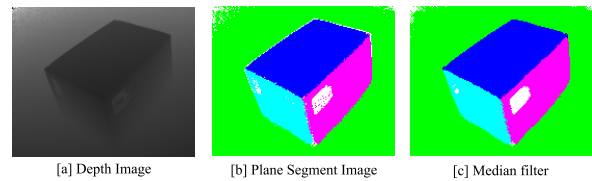


図 3：平面セグメント画像検出例

3.2 エッジ検出

平面セグメント画像に対してエッジ検出を行う。各平面セグメント画像に付与されたラベルが異なる点をエッジとして検出する。このときラベルが付与されていない点、すなわち平面でない部分の境界はエッジとして検出しない。

4. 評価実験

評価実験として、従来手法である距離画像に対して直接空間フィルタリング処理を行う手法 (Depth Edge) と法線ベクトル強調距離画像に対してエッジを検出する手法 (NERI Edge) [1]、提案手法である平面セグメント画像に対してエッジを検出する手法 (Segment Edge) の比較を行う。なお、距離画像は TOF カメラを用いて取得する。エッジ検出の精度は定量的な評価が困難なため、目視による評価を行う。図 4 に Depth Edge, NERI Edge, Segment Edge の結果を示す。平面から構成される物体においては提案手法が最も良い結果を得ていることがわかる。

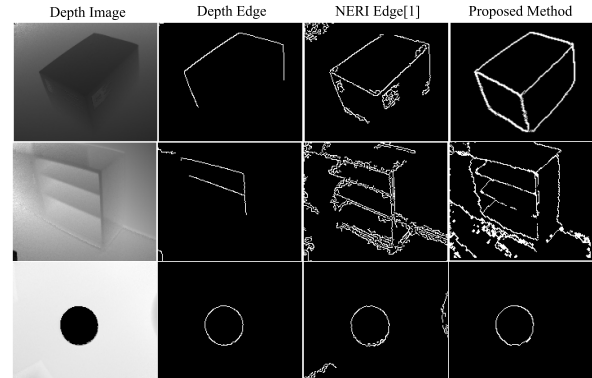


図 4：エッジ検出例

5. おわりに

本研究では、TOF カメラから得られる距離情報を用いたエッジ検出手法を提案し、評価実験により高精度かつノイズに頑健なエッジ検出が可能であることを確認した。今後は本研究を応用した幾何学的特徴の検出手法を検討する。

参考文献

[1] C. Ye and G. M. Hegde: "Robust edge extraction for Swiss-Ranger SR-3000 range images", ICRA, pp. 2437-2442 (2009).