

カメラアレイから得たエッジ強度画像群の合成による 三次元空間エッジ抽出法

Three-dimensional space edge extraction method using
synthesis of edge intensity images obtained from camera array

桑原崇†
Takashi Kuwabara

荒井秀一†
Shuichi Arai

1. まえがき

シーン理解分野においては、シーンに存在する物体群のカテゴリを正しく学習、認識するために、三次元形状情報と構造情報が重要である二次元画像情報から物体に関する知識を用いずに物体領域を分節することは非常に困難であり、近年は、三次元情報を用いる手法が多く提案されている。代表的な手法として、RGB-D に基づいた分節手法 [1] が提案されている。この手法では、カメラからは色情報を、三次元センサから奥行き情報を取得し、これらの情報を合成するが、三次元センサの解像度がカメラ解像度より低く、物体の詳細な形状情報を取得することができない。そのため、分節領域の境界情報を物体の知識に反映したり、それから得られるであろう物体の形状に基づく認識などができないため、人間が行っているような物体の解釈やシーンの解釈を行うことが困難であった。この問題を解決するには、カメラと同一な解像度を有する奥行きセンサを用いるか、カメラ自体で奥行き推定を行うことが必要になる。そのひとつとして、色情報と奥行き情報を同一のセンサで取得可能な Depth from Focus(DFE) 法 [2] が存在する。DFE 法はカメラの被写界深度を用いて奥行き推定を行うので、奥行き推定精度を高めるには F 値が小さい大口径レンズが求められるが、F 値には光学的に限界が存在する。さらに、機械的にレンズを操作する必要があるため、動的な環境に対応できない。これに対し、カメラアレイから得られるパンフォーカスな多視点画像をもとに、任意の奥行きの焦点画像が合成可能な手法である Light Field Rendering(LFR) 法 [3] が存在する。LFR 法における仮想レンズ径は撮影時のカメラアレイのサイズと同等となる。本手法では、Micro Lens Array ではなく、粗な配置の Camera Array を用いることで、仮想 F 値を小さくし奥行き推定精度を高める。ただし、粗な配置の場合、Light Field を十分にサンプリングできず、多重像により生じる擬似エッジが発生し、奥行き推定は困難になる。そこで我々は、エッジ存在確率を表現した入力画像を LFR 法に適用することで、多重像を発生させずに、三次元空間エッジ点を抽出する手法を提案する。

2. 三次元空間エッジ点抽出法

多重像により生じる擬似エッジの問題を解決するために、エッジ強度から得られたエッジ存在確率に着目する。擬似エッジは異なる奥行きの光からなる合しなエッジとして生じるので、真のエッジよりもエッジ存在確率が低くなる。その観点から、エッジ強度をエッジ存在確率に変換し、エッジ存在確率が高い画素のみを統合することで、擬似エッジに影響されない三次元空間エッジ点の抽出が可能になる。

2.1. エッジ存在確率を表現した画像の生成

エッジ存在確率を求めるために、カメラから得られた画像から、人間の視覚特性を考慮した色空間でのエッジ強度が必要になる。本稿では、エッジ強度画像を生成するにあたって、人間の視覚特性に合わせたエッジ強度を求めるため、知覚的均等性を重視し、人間の視覚に近似した色空間である CIE L*a*b*色空間に、元画像を変換する。さらに、Lab 空間の各チャンネルの値の差からエッジ強度を計算する。このエッジ強度画像からエッジ存在確率を表現した画像を生成するにあたり、色差の取り得る値域を指定する必要がある。その色差の取り得る値域の最小値を、人間が色の離間比較できる限界の色差とするために、目視判定による許容色差範囲の中央値である 2.3 に定めた。これにより、エッジ強度からエッジ存在確率に変換した画像を生成することで、エッジ強度を確率的に取り扱うことができる。

2.2. LFR 法による奥行き毎のエッジ存在確率の算出

2.1 節で生成したエッジ存在確率を表現した画像から、LFR 法により三次元空間エッジ点の抽出を行う。合成後の Rendering Camera が、ある位置の視点からのシーンであるとすると、最もエッジ存在確率が高い奥行きに物体が存在すると考えられる。それを考慮すると、ある一つの画素に対して、LFR 法による合成で算出した奥行き毎のエッジ存在確率の中で、最も数値的に高い確率を取る奥行きに物体が存在すると考えられる。また、エッジが存在しない画素に対しては擬似エッジが含まれている可能性がある。そこで本手法では相乗平均により、合成後のエッジ存在確率を算出する。これにより、本来エッジが存在しない画素のエッジ存在確率は非常に低くなるため、擬似エッジに影響されずに、三次元空間エッジ点を抽出することができる。まず、全焦点画像を得るために、LFR 法による多視点画像の合成で得られた焦点画像のエッジ存在確率を奥行き毎に算出する方法を述べる。図 1 のように、カメラアレイは $Z = 0$ 上にカメラ間隔 D で 2 次元格子状に配置

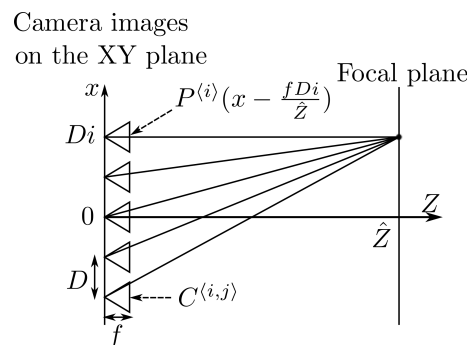


図 1: 任意焦点画像の生成方法

†東京都市大学 知識工学部 情報科学科
Department of Computer Science, Faculty of Knowledge Engineering, Tokyo City University

しており、各カメラ $C^{(i,j)}$ ($-M \leq i, j \leq M$) は焦点距離 f のピンホールカメラとする。合成後の Rendering Camera をカメラアレイの中央カメラ $C^{(0,0)}$ の位置に設定し、焦点面の位置を \hat{Z} としたときの任意焦点画像の注目画素のエッジ存在確率 $\hat{P}(x, y, \hat{Z})$ は、各カメラの参照画素のエッジ存在確率 $P^{(i,j)}$ の相乗平均により計算する。

$$\hat{P}(x, y, \hat{Z}) = \frac{1}{ij} \prod_{ij} P^{(i,j)} \left(x - \frac{fDi}{\hat{Z}}, y - \frac{fDj}{\hat{Z}} \right) \quad (1)$$

着目画素に対し設定した奥行き範囲のエッジ存在確率を算出し、最も高い確率を持った画素を検出する。この処理を全ての画素に対し行い統合することで、全焦点画像が得られる。次に、奥行き情報とエッジ強度の値を HSV 色空間の色相である H の値と明度である V の値に割り当て、S の値を 100 に設定することにより、各カメラから参照した全焦点画像がエッジ存在確率と奥行き情報を持った画像として生成できる。以上により、三次元空間でのエッジ点の抽出が可能である。

3. 実験・結果

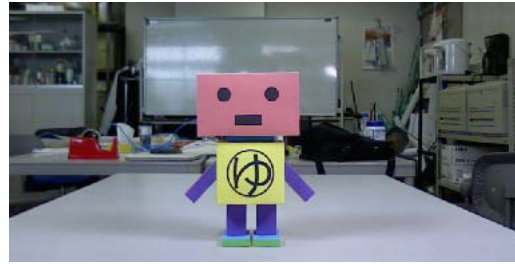
提案手法の奥行き推定精度を検証するために、我々が制作したカメラアレイ [4] を用いて実世界シーンの画像を撮影した。図 2(a) を対象シーンとして、シーン全体の奥行き推定を行った。使用したカメラアレイは、パンフォーカスのカメラを縦横 5×5 、合計 25 台のカメラを 42[mm] 間隔で格子状に配置した。まず、ある一つのカメラから撮影した画像をエッジ存在確率で表現すると、図 2(b) が得られる。これを 25 台分取得し、LFR 法により合成することで奥行き情報を算出する。その結果を HSV 色空間で表現した画像が図 2(c) である。また、図 2(d) は、図 2(c) と同じ条件で出力した画像であるが、奥行きの範囲を制限している。対象シーン中央の物体は図 2(c) では、同じ色で同じ奥行きに表示されている。しかし、奥行きの各部位の推定結果は頭部、つま先、胴体、脚、腕までの奥行きはそれぞれ 842[mm], 849[mm], 849[mm], 869[mm], 878[mm] となり、奥行きに違いがあることがわかる。それを確認するために、その物体に合わせた範囲に限定して色相を割り当てると、図 2(d) のように明確に色差が出ることが分かる。

4. 結論

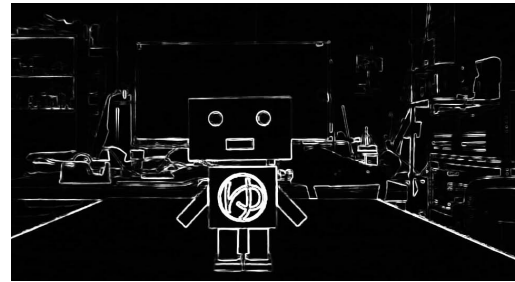
本稿では、エッジ存在確率を表現した入力画像を LFR 法に適用することで、奥行き推定を行い、三次元空間エッジ点を抽出する手法を提案した。提案手法により、擬似エッジに影響されない三次元空間エッジ点の抽出が可能となった。今後の検討として、提案手法から得られた情報を用いて、物体領域の分節を試みる。

参考文献

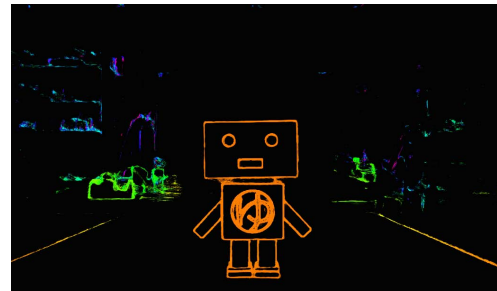
- [1] Ajay K. Mishra, Ashish Shrivastava, Yiannis Aloimonos, "Segmenting "Simple" Objects Using RGB-D", IEEE International of Robotics and Automation, pp. 4406-4413, May 2012.
- [2] J. Ens and P. Lawrence, "An investigation of methods for determining depth from focus," IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell. 15(2), pp. 977-108, 1993.



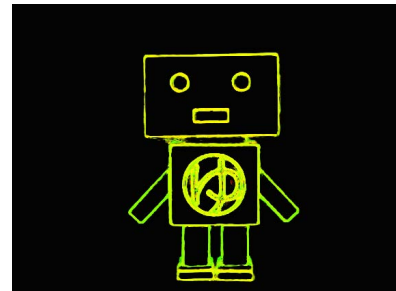
(a) 対象シーン



(b) エッジ存在確率に表現した図



(c) 奥行き、エッジ強度を HSV 色空間で表現した図



(d) 奥行きを限定し、HSV 色空間で表現した図

図 2: 提案手法による奥行き推定結果

- [3] M. Levoy and P. Hanrahan, "Light Field Rendering", Proc. ACM SIGGRAPH '96, pp.31-42, 1996.
- [4] 西部修明, 荒井秀一, "カメラアレイ合成画像の光線探索を用いた 3 次元エッジ抽出についての一検討", 電子情報通信学会総合大会 D-12 p.134, 2013.