

3. 予防安全・自動運転のための環境認識

情報・知能工学系 教授 三浦 純

3-1 深層学習とセンサ統合による道路境界検出

道路境界の検出は自動運転のための最も重要な機能の一つである。通常の整備された道路だけではなく、山道や砂利道のような道路も対象と考えると、道路境界検出を単一のセンサ特徴（例えば、高速道路における白線）に頼るのではなく、多様な特徴を利用することが必要になる。Matsushitaらは複数のセンサ特徴による境界候補の検出とパーティクルフィルタによる時系列センサ統合を組み合わせ多様な道路境界を検出する手法を提案した [Matsushita 2011]。この手法では、単眼カメラと2次元レーザ距離センサを用い、道路境界の存在を示す証拠として色変化、明度変化、高さ変化を考え、それらを検出するためのセンサ特徴をあらかじめ設計し、利用した。また、Chikuらはステレオカメラ1台で同様の検出を行う手法を提案した [Chiku 2012]。これらの手法ではセンサ特徴をあらかじめ設計しておく必要がある。

近年、深層学習を用いた画像認識手法が急速に発展し、さまざまな応用で高い性能を示している。深層学習を用いる利点の一つは事前の特徴設計が不要なことであり、さまざまな道路を対象とする道路境界検出に適している。一方、深層学習による境界検出は常に正しいとは限らず、単一フレームの結果から判断を行うことは自動運転においては安全性の面で問題がある。そこで、本研究では、深層学習による道路境界候補検出とパーティクルフィルタによる時系列センサ統合により、ロバストに道路境界を検出する手法を提案する。

提案手法は、Matsushitaらの手法に従い、道路境界検出问题を道路パラメータ推定問題として定式化する。各パーティクルは道路パラメータを状態変数とし、カメラの移動によるパラメータ変動を状態遷移として扱う。各パーティクルの尤度は道路パラメータに基づき、道路境界を画像に写像した結果と深層学習による道路境界候補検出結果の一致度から計算する。

道路境界候補検出のためのネットワークには、セマンティックセグメンテーションで広く利用されているU-Net [Ronneberger 2015]を用いた。入力画像は256×256ピクセルのRGB画像、出力は同サイズの3値セグメンテーション画像（道路、道路境界、その他）である。学習のためのデータセットとして、一つはICCV09DATA [Gould 2009]を用いた。このデータセットは道路シーンを対象とし、道路や建物など8クラスにアノテーションされているが、まず道路とそれ以外の2クラスに分類し、さらにそれらの境界領域を設定して道路境界ラベルを付した。もう一つのデータセットとして、豊橋技術科学大学およびインドネシア・ガジャマダ大学で撮影した画像に手動でアノテーションしたものを用いた。これらのデータセットに対し、切り取り、左右反転、ガンマ値変換を用いてデータ拡張を行った。

図3-1-1に道路境界検出の結果を示す。また、識別性能は再現率 (Recall) が0.552, 適合率 (Precision) が0.609, F値が0.571となった。単独では検出性能では十分ではないが、その結果を時系列統合することにより信頼性を向上させる。

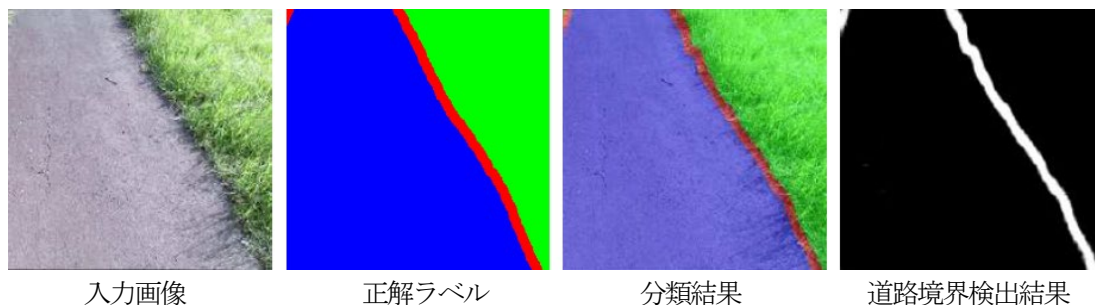
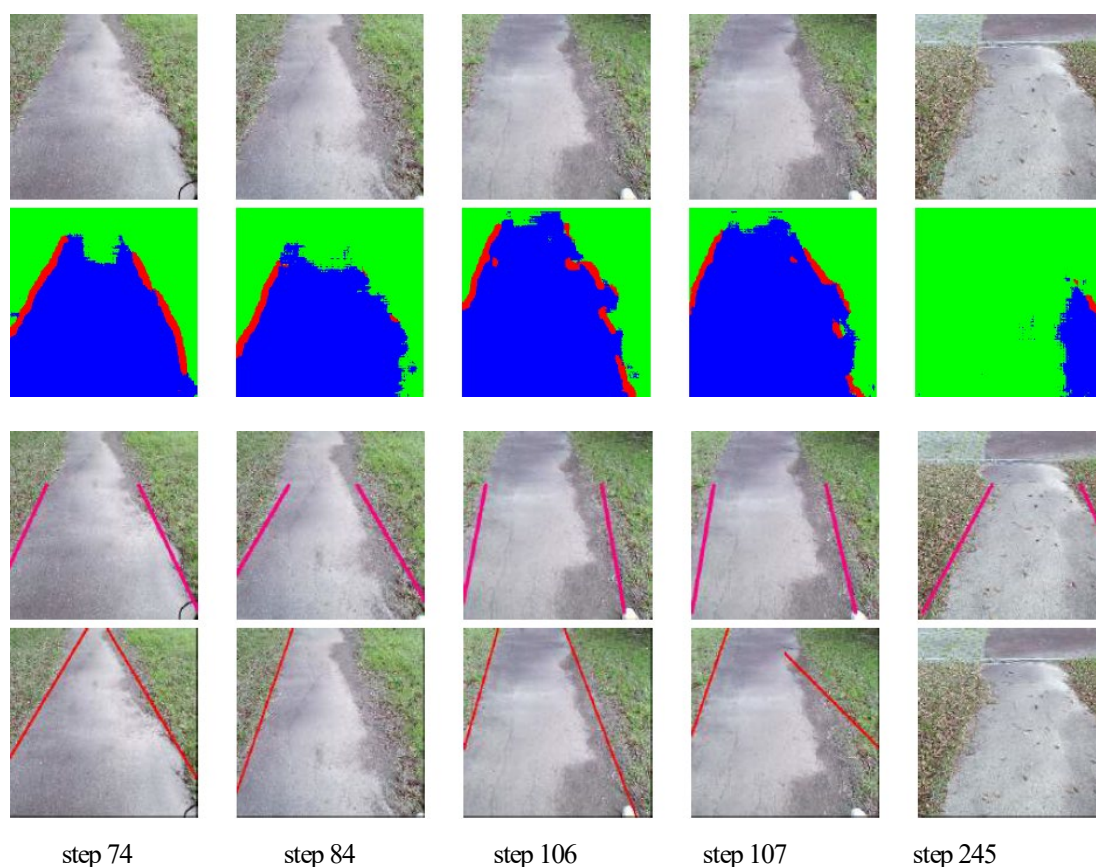


図3-1-1 深層学習による道路境界候補検出の例（青：道路，赤：境界，緑：その他）



step 74 step 84 step 106 step 107 step 245
 図3-1-2 道路検出結果. 上段より, 入力画像, 深層学習による分類結果, 提案手法による道路境界検出結果, ハフ変換による検出結果

道路モデルとして直線モデルを利用してパーティクルフィルタを構成し (パラメータ数4個), 推定を行った。図3-1-2に豊橋技術科学大学で取得したテストデータに対する結果を示す。部分的に道路境界が欠けている場合 (Step 106, 107)や片側あるいは両側がほとんど検出できない場合 (step 84, 245)でも時系列統合により境界検出できていることがわかる。比較のために直線境界検出によく用いられるハフ変換 (最下段) では境界候補が検出できない場合に, 道路境界が推定できないことがわかる。

[Mano 2018] K. Mano, H. Masuzawa, J. Miura, and I. Ardiyanto, "Road Boundary Estimation for Mobile Robot using Deep Learning and Particle Filter," Proc. 2018 IEEE Int. Conf. on Robotics and Biomimetics, pp. 1545-1550, 2018.

[Matsushita 2011] Y. Matsushita and J. Miura, "On-line Road Boundary Modeling with Multiple Sensory Data, Flexible Road Model, and Particle Filter," Robotics and Autonomous Systems, Vol. 59, No. 5, pp. 274-284, 2011.

[Chiku 2012] T. Chiku and J. Miura, "On-line Road Boundary Estimation by Switching Multiple Road Models using Visual Features from a Stereo Camera," Proc. 2012 IEEE/RSJ Int. Conf. on Intelligent Robots and Systems, pp. 4939-4944, 2012.

[Ronneberger 2015] O. Ronneberger, P. Fischer, and T. Brox, "U-Net: Convolutional Networks for Biomedical Image Segmentation," in Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention (MICCAI), LNCS-9351, pp. 234-241, 2015.

[Gould 2009] S. Gould, R. Fulton, and D. Koeller, "Decomposing a Scene into Geometric and Semantically Consistent Regions," Proc. IEEE 12th Int. Conf. on Computer Vision, pp. 1-8, 2009.