

U-net を用いた舗装ひび割れのトレース画像生成手法の開発

Development of image generation method for road crack detection by using semantic segmentation of U-net

室蘭工業大学環境創生工学専攻 ○学生員 居駒薫樹(Shigeki Ikoma)
 室蘭工業大学大学院工学研究科 正会員 浅田拓海(Takumi Asada)
 室蘭工業大学大学院工学研究科 正会員 有村幹治(Mikiharu Arimura)

1. はじめに

現在、我が国では簡易舗装を含む舗装済みの道路の延長距離は 100 万 km を超えているが、維持修繕費は頭打ちか減少傾向にある。老朽化による劣化は、急速に進行しつつあり、持続可能なメンテナンスサイクルの構築が喫緊の課題となっている。特に、舗装の点検業務は、膨大な道路延長の状況を把握するために、簡易・低コスト化が求められている。舗装の構造的な健全性を把握する上では、ひび割れの評価は重要である。しかしながら、現在、採用されているひび割れ率の算出方法では、撮影した路面画像から手作業でひび割れを描画する必要があり、多くのコストと時間を要する問題があった。

このことから、近年、画像認識において飛躍的に精度が向上した深層学習を利用して、ひび割れを自動的に検出する手法が幾つか提案されている。その中で、著者らの先行研究では、CNN (Convolutional Neural Network : 畳み込みニューラルネットワーク) によるひび割れ検出手法を開発した¹⁾²⁾。ただし、この手法では、小さなメッシュ毎の粗いひび割れ検出のため、劣化予測等に必要となるひび割れの形状や開口幅の表現が困難であった。

そこで、本研究では、上記の問題を解決するために、セマンティック・セグメンテーションモデルの一つである U-net³⁾を用いて、画素単位でひび割れをトレースできる画像生成手法を開発する。ここでの目標は、ひび割れ率計測の精度向上と処理コストの低減であることから、先行研究と同じ条件、すなわち教師データとなるひび割れ描画画像、精度検証用画像などを揃えて、CNN による結果との比較を行った。

2. 車載カメラによる路面撮影調査の概要

本研究では、市販の小型アクションカメラを車両ボンネットに設置し、走行しながら前方路面を撮影した。この車載カメラには、GoPro Hero6 を採用し、内臓の GPS で走行中の位置情報を取得した。画像サイズは 1920 ピクセル×1080 ピクセル、動画のフレームレートは 60fps、画角は「広角モード」とした。動画から静止画を抽出し、教師用画像およびひび割れ率の精度検証用画像を揃えた。

3. U-net によるひび割れトレース手法

著者らが以前、開発した CNN モデル²⁾では、判別モデルであることから、16 ピクセル四方のような粗いマス毎にひび割れが検出される。一方、本手法では、画素単位でひび割れを「描画」することを目的とし、畳み込み深層学習手法の一つである U-net を導入する。これは、

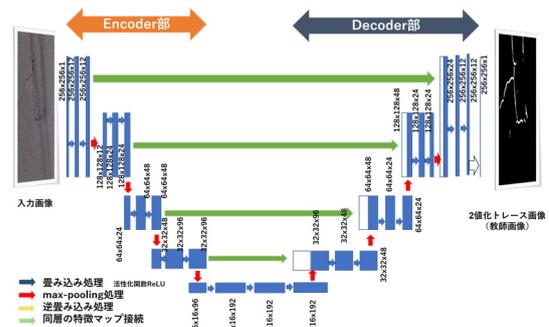


図-1 U-net モデルの構成 (解析サイズ 256 の場合)

セマンティック・セグメンテーションの一つであり、入力画像と同じサイズの画像をひび割れ部と非ひび割れ部に分類された 2 値化画像が生成される。

U-net は、図-1 に示すように、畳み込みにより画像を特徴マップ化していく Encoder 部と、逆に特徴マップを画像に還元していく Decoder 部で構成されている。さらに、Encoder 部と Decoder 部の同じ階層がスキップ接続という機構で連結されている点がユニークである。これにより、Encoder 部で得られる特徴マップを、Decoder 部の同じ階層 (サイズ) の特徴マップに連結させ処理することで、入力画像の各画素の位置関係を失わないまま、同じサイズの画像でセグメンテーション (領域区分) した結果が得られる。

本研究では、図-1 に示したように、モデルの層構成として、Encoder 部と Decoder 部にそれぞれ 4 層を設定した。また、畳み込み後には、過学習抑制のため、Batch Normalization を行い、活性化関数には ReLU を採用した。学習では、バッチ数を 18、エポック数を 30 とした。入力画像サイズは 256 ピクセル四方とし、教師画像には入力画像にマウスによるひび割れトレースを行ったものを用いる。これを 1,040 対用意して学習を行った。PC 環境については、OS が Windows10 CPU:Corei7-8700, GPU が GeForce GTX1050Ti, メモリが 16GB であり、学習時間は 30 分程度であった。モデル構築に用いた言語、機械学習ライブラリには、python3.6, keras2.24 を用いた。

4. ひび割れ率の精度検証

4.1 トレース結果の比較

U-net モデルと著者らが以前、開発した CNN モデル²⁾のひび割れトレース結果を図-2 に示す。入力画像上の赤枠で示した縦断方向 5m, 横断方向 3.5m を評価範囲とし

た。CNN モデルでは、ひび割れを精度良く検出できるものの、粗い検出のため、亀甲状ひび割れなど形状の把握が困難である。それに対して本手法では、画素単位で細かく検出するため、トレースしたような結果が得られる。1枚の路面画像に要する処理時間は約1秒であり、単純比較は難しいがCNNよりも迅速に結果が得られる可能性を示した。ただし、教師画像の作成において、トレース線の太さを統一していたため、ひび割れの開口幅までは表現できなかった。

4.2 ひび割れ評価の精度検証

ひび割れ評価として、舗装調査・試験法便覧の路面性状測定車によるアスファルト舗装を対象とした目視スケッチによる手法⁴⁾をベースとしたひび割れ率を算出した。まず、評価範囲を50cm四方のメッシュに分割し、ひび割れ数をカウントし、1本のメッシュは0.6、2本以上のメッシュは1.0をメッシュ面積に乘じ、以下の式(1)でひび割れ率を算出した。なお、メッシュ内のひび割れ本数の判定には、OpenCVのfindcontoursを用いた。

$$\text{ひび割れ率} = \frac{\text{ひび割れメッシュ面積}}{\text{全メッシュ面積}} \times 100 \quad (1)$$

本手法により算出されたひび割れ率と道路管理者が目視で評価した値を比較する。目視点検では3段階のランク付けが用いられることが多いことから、ひび割れ率0%~20%をランクA、20%~40%をランクB、40%以上をランクCとし、両者の一致度を求めた。なお、目視評価では、事前に目安となる画像とそのひび割れ率を見せ、基準を定めた上で評価してもらった。

評価者全員分の正誤表を統合した結果を表-1に示す。CNNと目視評価では、ランクが一致する割合(正答率)は72.3%となった。これに対し、本手法と目視評価では、ランクが一致する割合(正答率)は74.4%となり、若干ではあるが精度が向上した。見逃しや誤検知となる場合があるものの、2段階異なる(目視でAをU-netでCと評価、またはその逆)箇所は0.5%である。特に、即座に対応が必要となるランクCの箇所は、見逃しが少ないことが望ましい。そこで、目視評価でランクCとなる箇所の内、本手法でランクA、Bとなる箇所の割合を求めたところ、5%以下となった。

5. まとめ

本研究では、車載カメラで撮影した路面画像にU-netを適用して、画素単位でひび割れを検出する方法を開発した。また、本手法でひび割れ率を算出し、目視評価との比較を行ったところ、従来のCNNと同等な精度を得た。今後は、教師用画像におけるひび割れトレース方法を厳密化し、ひび割れの開口幅も再現できるモデルに改善する。また、目視評価だけでなく、路面性状測定車による精細な計測値を用いて精度検証を行う。その上で、ひび割れの形状変化や進行過程を本手法でモニタリングし、亀甲状ひび割れやポットホールの発生を予測する手法を構築したい。

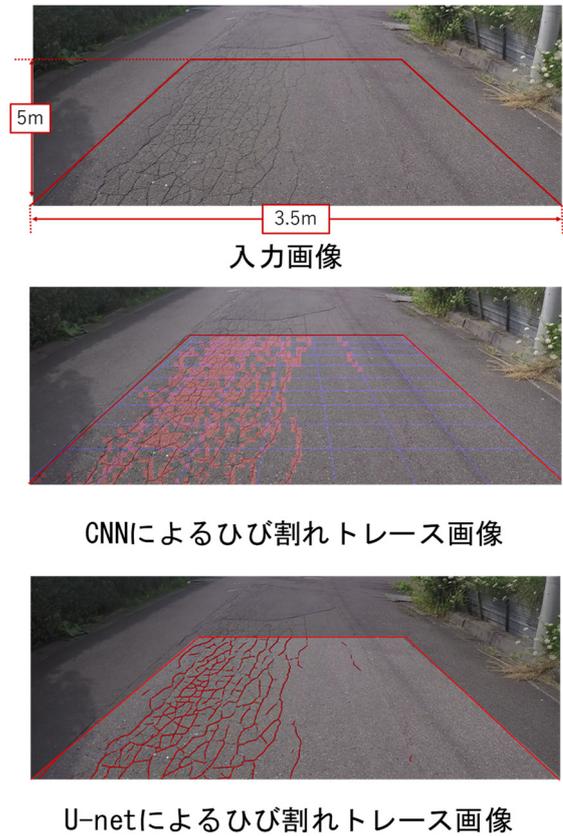


図-2 両モデルのひび割れトレースの比較

表-1 ひび割れランクの正誤表

U-net正答率:74.4% CNN正答率:72.3%		U-net			CNN		
		A	B	C	A	B	C
目視	A	45.0	5.1	0.4	36.3	14.1	0.0
	B	12.7	17.7	5.4	6.1	23.3	6.3
	C	0.5	1.4	11.9	0.0	1.2	12.7

参考文献

- 1) 浅田拓海, 川村和将, 石田篤徳, 亀山修一: Convolution Neural Network を用いたひび割れ・パッチングの高精度検出手法の開発. 土木学会論文集 E1 (舗装工学), vol74, No.3, I_131-I_139, 2018.
- 2) 居駒薫樹, 浅田拓海, 有村幹治, 亀山修一: 車載カメラとAIを用いた生活道路舗装劣化DBの構築, 第60回土木計画学研究発表会・講演集, CD-ROM, 2019.
- 3) U-net: Convolutional Networks for Biomedical Image Segmentation. Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention (MICCAI), Springer, LNCS, Vol.9351: 234-241, 2015.
- 4) 武藤聡, 久保和幸, 藪雅行: 「舗装点検要領」の策定について, 舗装, Vol.52, No.1, pp.11-15, 2017.