

スマートフォン画像の深層学習と Lidar データによる路面クラックの定量的評価

東京大学 正会員 ○山口 貴浩

1. 目的

路面クラックは、路面の状態を評価する上で重要な変状である。膨大な道路インフラの急速な老朽化を考慮すると、目視点検に代わる全自動、簡易かつ高精度な路面クラックの検知手法を確立する必要がある。また、クラックの延長だけでなく、幅が路面状態に相関することが報告されており、これらの指標を定量的に評価する必要がある。

近年、深層学習を用いた画像による土木構造物の評価手法が多く提案されている。既往手法は、ひび割れの有無の判定に留まるか、高い計算コストを必要とする複数の構造を組み合わせたセグメンテーション手法である。また、延長や幅などの評価ができないかキャリブレーションされたシステムを用いる必要がある。そこで本研究では、スマートフォン画像を用いて、1)医用画像に用いられる深層学習である U-Net による、簡潔かつ高精度な路面クラックのセグメンテーション手法を提案した¹⁾。また、2)スマートフォン Lidar データを用いて、撮影画像と Lidar データのレジストレーションにより画像の定量化を行い、クラックの延長と幅を高精度に推定した。

2. 提案手法

提案手法は、2つのステップ 1)U-Net の深層学習によるクラックのセグメンテーションと 2)Lidar データのレジストレーションによる定量的評価からなる。

学習データは公開されている路面クラックのセグメンテーション済み画像セットである Crack500 を用いる²⁾。250 枚の学習画像、50 枚の検証画像と 200 枚のテスト画像を用いて、学習及びネットワーク構造の最適化を行った。図 1 に最適化された U-Net を示す。15 層の 3×3 サイズの多数の畳込みフィルタの組み合わせで構成されている。前層の特徴マップを順に積み重ねることで、様々なスケールの特徴を把握することができる。既往研究に対して、F 値に相当する指標である OIS について 0.635 から 0.681 まで向上、画像ごとの解析時間は 0.20s から 0.11s まで低減し、高速かつ高精度なセグメンテーション手法を確立することができた²⁾。

つづいて、Lidar データのレジストレーションによるクラックの定量的評価を行う。スマートフォンは地面に平行な状態で 1m 前後の高さに保持して、対象となる 1m 四方程度の領域の画像と一般的な計測アプリ(3D Scanner App)により Lidar データを取得した。画像のピクセル数は 1500-2500 四方で分解能は約 0.5mm, Lidar 点群間隔は限界の 0.5cm とした。

図 2 にレジストレーションのイメージを示す。Lidar データのカラー情報を用いてリサンプリングを行い、RGB 値の平均によるグレースケール画像を算出する。画像処理分野で用いられるレジストレーション手法 (MATLAB の imregister) により、相似変換を仮定してマッチングするための平行移動、回転、拡大縮小のパラメータを求める。相関値を算出し、ランダムな初期値から徐々に探

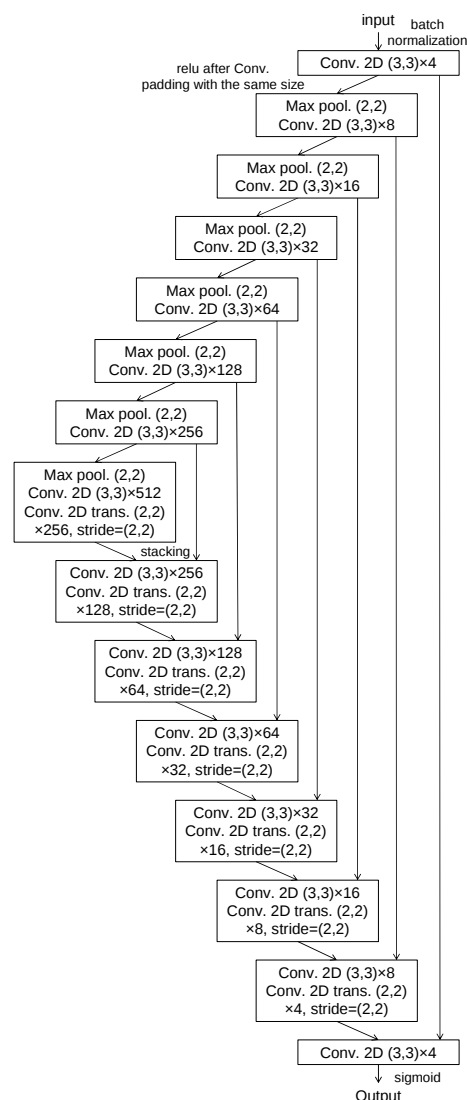


図 1 提案する U-Net による深層学習セグメンテーションモデル

キーワード 路面クラック, スマートフォン, Lidar, 深層学習, セグメンテーション

連絡先 〒153-8505 東京都目黒区駒場 4-6-1 東京大学生産技術研究所 TEL 03-5452-6008

索範囲を狭めて最適化する．図2に示す通り，クラックや路面のテクスチャが情報となって正確に推定できた．パラメータから，画像の1ピクセルごとの距離を推定して利用する．

セグメンテーション結果に対して，画像処理分野で用いられるスケルトン化を行い，クラック幅方向の中心を通る1ピクセルの線を抽出する．線のピクセル数と距離からクラック延長を推定する．線に直交する向きのピクセル数と距離から，クラック位置ごとの幅の分布を推定することができる．

3. 検証結果

東京大学キャンパス内の一般的なアスファルト舗装路面に対して調査を行った．いずれも1m四方で1)1本，2)亀甲状，3)断片状，4)T字の幅の異なる4つのクラックのモデルケースを対象に，各クラックの延長の累計と，各3点，計12点の幅を測定し，真値との比較を行った．図3に1)のケースについてセグメンテーション結果及び推定結果を示す．高精度なセグメンテーション結果及び延長・幅の推定が実現されている．いずれのケースも舗装の色・テクスチャ，障害物は異なるが，ロバストに推定できた．延長の平均誤差は4.8%と実用的な精度であった．図4にクラック幅の推定値と真値の比較を示すが，決定係数 R^2 が0.98と高い相関を得ることができた．

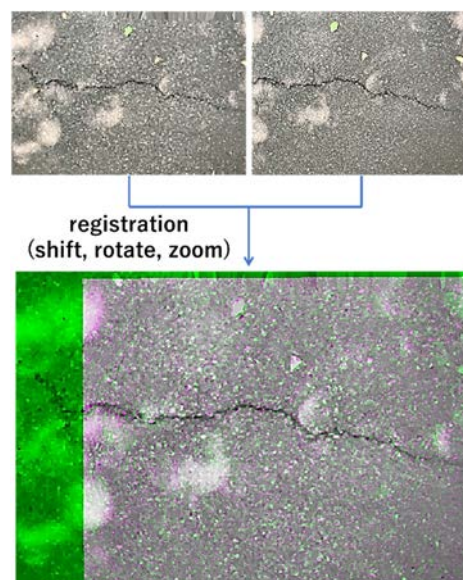


図2 スマートフォン画像と Lidar データのレジストレーション

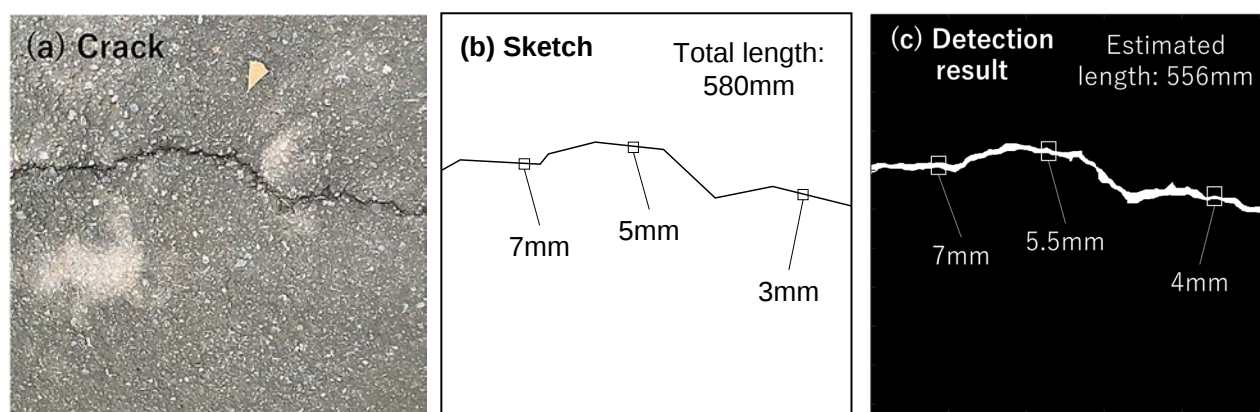


図3 セグメンテーションとレジストレーションによる路面クラックの定量評価結果

4. 結論

スマートフォンで取得した画像およびLidarデータを用いて，クラック延長，幅の全自動，高速かつ高精度な推定手法を提案した．画像から提案したU-Netによるセグメンテーションを行い，Lidarデータのレジストレーションにより，画像を定量化して延長と幅を評価した．延長の平均誤差は4.8%，幅の決定係数は0.98と実用的な精度でクラックをマッピングした．今後の課題として，影や道路付属物の除去，より微細なクラックの検出が挙げられる．

参考文献

- 1) Falk, T., Mai, D., Bensch, R., Çiçek, Ö., Abdulkadir, A., Marrakchi, Y., Böhm, A., Deubner, J., Jäckel, Z., Seiwald, K., Dovzhenko, A., Tietz, O., Bosco, C. D., Walsh, S., Saltukoglu, D., Tay, T. L., Prinz, M., Palme, K., Simons, M., Diester, I., Brox, T., & Ronneberger, O. (2019). U-Net: deep learning for cell counting, detection, and morphometry, *Nature Methods*, 16, 67-70.
- 2) Yang, F., Zhang, L., Yu, S., Prokhorov, D., Mei, X., & Ling, H. (2020). Feature Pyramid and Hierarchical Boosting Network for Pavement Crack Detection, *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 21(4), 1525-1535.

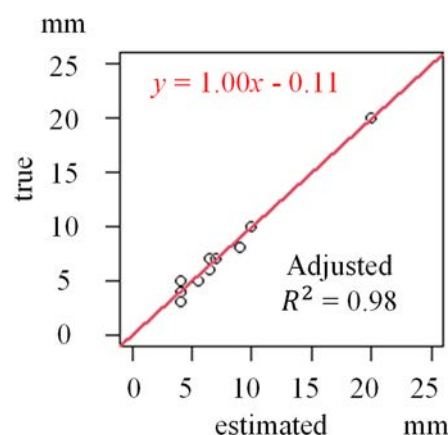


図4 クラック幅の推定値と真値の比較と相関分析