

車載カメラ撮影画像の歪み解析による路面わだち掘れ評価

東京大学	正会員	○高	文超
スマートシティ技術研究所、東京大学	正会員	薛	凱
東京大学	正会員	長山	智則
スマートシティ技術研究所	非会員	趙	博宇
東京大学	正会員	蘇	迪

1. はじめに

道路インフラの整備は、道路の安全性や快適性に関わる。路面評価は、主に IRI (International Roughness Index)、ひび割れ率、わだち掘れから行われている。スマートフォンの進化とアルゴリズムの開発により、スマートフォンに搭載された GNSS、IMU (Inertial Measurement Unit)、カメラを用いて IRI やひび割れ率を評価できるようになった¹⁾。わだち掘れの深さの評価は、手動による検査と路面性状測定車による検査がある。しかし、手作業による測定は効率が悪い一方、路面性状測定車は高価である。そのため、安価で効率的にわだち掘れを測定する方法が期待される。本研究では、車載カメラで撮影し鳥瞰変換した画像の歪みを解析し、わだち掘れの深さを推定する方法を提案する。

2. 提案手法

(1) わだち掘れによる画像の歪み

図1の(a)(b)は、わだち掘れの激しい路面を通過する際に、車載カメラで連続的に撮影した2枚の画像である。図1の(c)(d)は、鳥瞰変換を適用した結果である。直線状構造物の影が映っており、轍の影響で歪んでいることが分かる。画像二値化を適用することで、図1の(e)に示すように、2枚の画像から影の形状を抽出することができる。カメラが影に近づくにつれて、2画像における影の歪みの程度が軽微となる。この歪みの違いを利用し、逆解析すればわだち掘れを定量的に評価することができる。

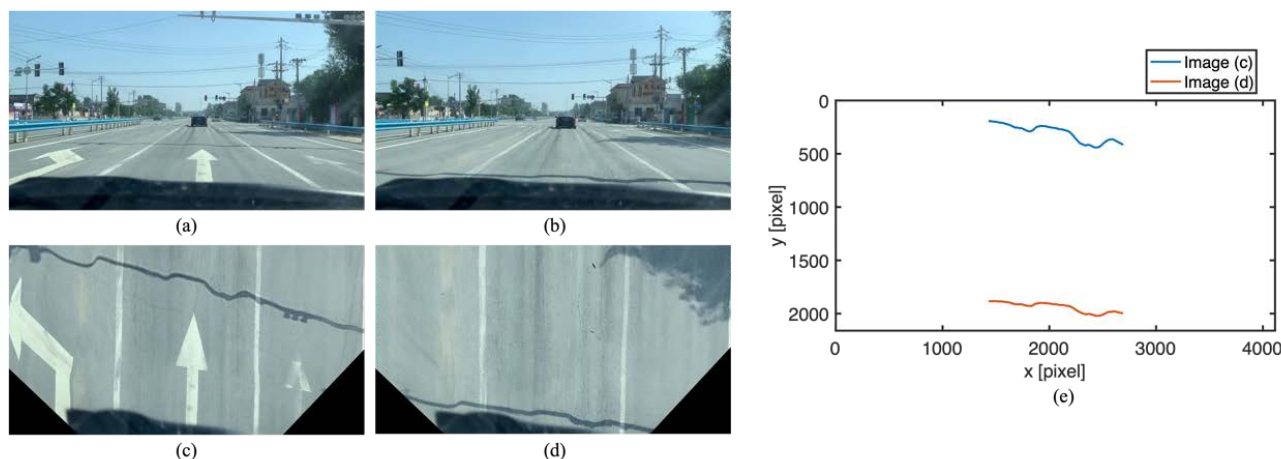


図1 路面及び鳥瞰変換したイメージ

(2) マッチング

直線状構造物の影や道路表示等がない一般的な舗装表面においても、走行中の車両から連続撮影したカメラ画像から同一部分を照合し、その歪みを評価することにより、わだち掘れを推定する。画像の特徴量マッチングを用いて、2画像の同一部分を照合するが、舗装路面は特徴が少なく、一般的なマッチング方法では照合が難しい。本研究では特徴検出を必要しない、畳み込みニューラルネットワーク (CNN) を用いたマッチング方

キーワード わだち掘れ, 鳥瞰変換, 路面評価, 路面性状測定車, マッチング

連絡先 〒113-8656 東京都文京区本郷 7-3-1

東京大学大学院 工学系研究科社会基盤学専攻 TEL03-5841-6098

法 LoFTR²⁾ を利用する。

(3) わだち掘れ形状の計算

マッチング結果からわだち掘れの形状を抽出するために、以下のようなデータ処理の手順を踏む： 1) 一致したペアごとに進行方向（y方向）の位置座標差を算出する。 2) 進行方向に 0.8m の範囲内では、路面横断形状が同じであると仮定して、同じ横断方向位置（x座標）に対応する位置座標差の平均値をとる。 3) 横断方向に移動平均を適用する。 4) 横断勾配に相当する角度を補正するため、各データ点から左端と右端のデータ点を結ぶ線までの距離を、式（1）に示すように算出する。ここで、 p_i はデータ点 i の座標、 p_l と p_r はそれぞれ左端と右端のデータ点の座標である。

$$d_i = \frac{\frac{|p_r - p_l|}{|p_i - p_l|}}{\|p_r - p_l\|} \quad (1)$$

3. 実験

(1) 実験概要

本研究で使用したスマートフォンは、iPhone 13 Pro であり、車両のフロントガラスの内側に取り付け、計測映像は 4K (3840×2160) 解像度、毎秒 30 フレームで記録した。同時に、GNSS により、車両の位置も 1 秒間に 1 回記録した。使用した車両はホンダの N-BOX である。埼玉県のある道路 100m 区間において、マニュアル測定により真値を得るとともに、スマートフォンによる横断形状測定を行った。横断形状を評価する道路断面は 10m 間隔とした。解析は、SfM (Structure from Motion) と提案手法の両方で行った。

(2) 実験結果

図 2 の (a) に 50m 位置の断面の真値及び解析結果、(b) に 100m 区間の計 11 断面におけるわだち掘れ指標 D1, D2 の誤差を示す。赤い破線は $\pm 3\text{mm}$ の許容誤差を示す。SfM の場合、横断形状推定結果は真値と大きく乖離しており、わだち掘れ指標の誤差が許容範囲内となった推定値は全体の 23%であったが、提案手法の場合は、全体の 73%のケースにおいて誤差は $\pm 3\text{mm}$ 以下であった。

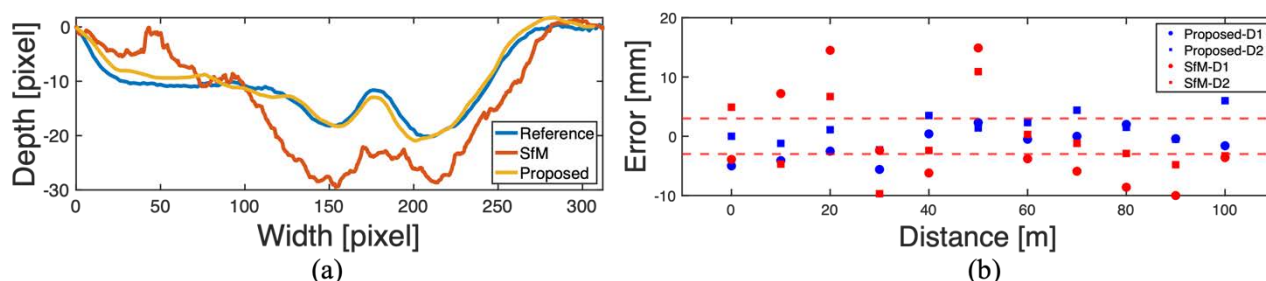


図 2 横断形状の推定結果およびわだち掘れ指標の推定誤差

4. まとめ

車内設置カメラにより撮影した画像に基づいてわだち掘れを推定する方法を提案した。提案手法は SfM の精度を上回ることが実験により示された。提案手法は SfM と比較して計算コストも小さいことから今後のポットホール評価への適用が期待される。

参考文献

- 1) Geda, J.M.G., Xue, K. & Nagayama, T. 2023, "Automatic Top-View Transformation and Image Stitching of In-Vehicle Smartphone Camera for Road Crack Evaluation" in *Experimental Vibration Analysis for Civil Engineering Structures* Springer, , pp. 567-579.
- 2) Sun, J., Shen, Z., Wang, Y., Bao, H. & Zhou, X. 2021, "LoFTR: Detector-free local feature matching with transformers", *Proceedings of the IEEE/CVF conference on computer vision and pattern recognition*, pp. 8922.