

車載カメラ画像を用いた不確定な目視評価に基づく白線劣化推定

石野 友美 指導教員：小栗 宏次

1 はじめに

区画線はドライバーや歩行者に対して道路交通における案内や規制、指示等を伝える交通安全施設である。しかしながら、区画線は交通量や天候などの影響を受けて欠けやかすれが生じるため、時間の経過に伴って状態が劣化する。区画線の形状が劣化によって不鮮明な場合、区画線の認識に悪影響を与えると考えられる。そこで、区画線の効率的な維持管理に向けて、車載カメラを用いて継続的に区画線の状態を計測し、計測データから区画線の劣化状態を推定する手法が研究されている。浅田らは車載カメラ映像から、施工当時を基準として剥離した割合を表す剥離率を指標として算出している [1]。しかしながら、実際の現場で塗りなおしの必要性を判断する際には、評価者の目視評価に基づく目視評価ランク [2] という指標が用いられている。そこで、本研究では車両前方を撮影した車載カメラ映像から目視評価ランクを推定する手法を提案する。

2 目視評価ランク

目視評価ランクとは、一般社団法人全国道路標識・標示業協会によって定められた路面標示の塗り直しを判断する基準となる評価指標である。図 1 にランク毎のサンプル画像を示す。目視評価ランクは数字が小さいほど区画線の状態が劣化していることを表す。特に、ランク 1, 2, 3 は塗り直しの必要があり、ランク 4, 5 はその必要がない。また、5 人以上の評価者が現地に直接赴き、第一印象に基づいて目視評価ランクの評価を行う [2]。

先行研究 [1] で用いられてきた剥離率は、区画線の施工当時に 0% として、劣化による欠けやかすれなどの区画線の剥離した割合を表す指標である。しかしながら、目視評価ランクと剥離率は必ずしも一致しない [2] ため、剥離率だけで塗りなおしの必要性を正確に判断することは困難である。

一方で目視評価ランクは評価にばらつき（不確定性）が存在す

る。訓練を受けた 10 名の評価者が 5 枚の画像を評価した際の目視評価ランク毎の回答人数を図 2 に示す。図 2 より、同じ区画線に対して評価者毎に異なる評価を回答していることが分かる。また、図 2 の右の画像では評価がランク 5 に集中するなど、評価のばらつきはランク毎に異なる傾向が見られる。したがって、目視評価ランクは不確定性を持つため、少人数の評価者が目視評価ランクの評価を行った場合、評価が偏るという問題点がある。そこで本研究では、不確定性のない評価手法として、目視評価ランクを評価者より安定的に推定することを目的とする。

本研究における安定的な推定とは、複数名の評価者の内、大多数の評価者と同等の評価が行えることを指す。具体的には、許容誤差範囲（複数名の評価者の平均値 ± ランク毎の平均標準偏差）を定め、推定値が許容誤差範囲内に収まることを目指す。許容誤差範囲の例を図 2 に示す。図中における赤色の範囲が許容誤差範囲を示す。

3 区画線の目視評価ランク推定手法

走行中に撮影した車両前方映像の 1 フレーム毎に目視評価ランクを推定する。本研究の提案手法の概要を図 1 に示す。まず、目視評価ランクの各ランクの特徴を表す特徴量を前方画像から抽出する。カメラの位置に寄らない推定を行うために、路面上方から区画線を俯瞰した画像に変換する。このとき、俯瞰画像を 1 pixel=10 mm になるよう校正する。

生成した俯瞰画像内に写る区画線全体から劣化具合を推定する。施工当時の区画線と比較して劣化具合を評価したいが、その比較対象の画像は記録されていない。そこで、俯瞰画像を用いて本来存在すべき区画線の位置を画像から推定する。俯瞰画像を適応的閾値処理によって二値化し、二値画像の白色画素に対して近似曲線を導出する。区画線の幅が 150 mm であることに基いて、近似曲線の周囲 15 pixel を施工当時の区画線が存在した領域（区画線領域）とする。

目視評価ランクの定義 [2] にしたがって特徴量を抽出する。目視評価ランクは塗装の連続性が評価の基準となることから、区

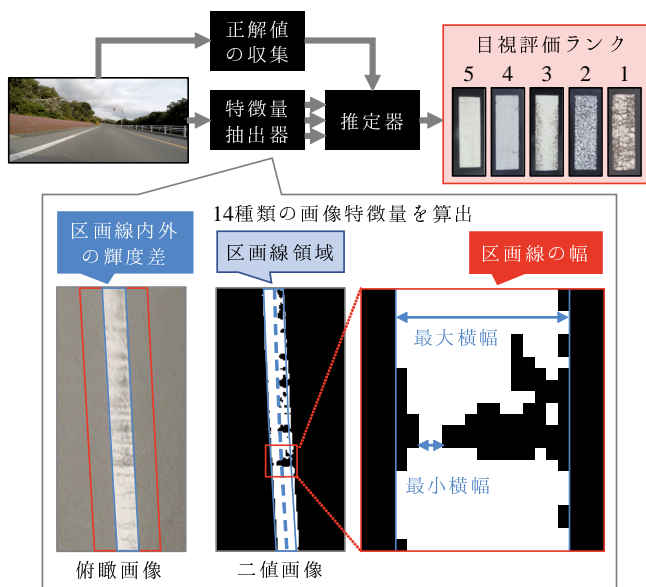


図 1 目視評価ランクおよび提案手法

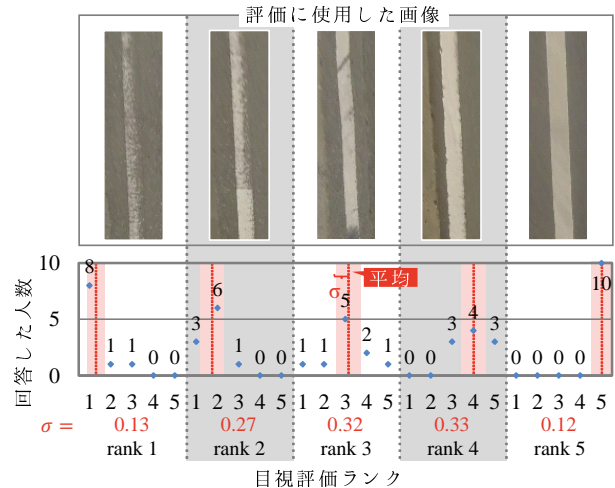


図 2 目視評価ランク毎の回答人数

画線の最小横幅と最大横幅を特徴量として用いる。二値画像における座標 (u, v) の輝度値を $B(u, v)$ とするとき、区画線領域内の最小横幅 w_{\min} と最大横幅 w_{\max} を式 (1) および式 (2) より求める。

$$w_{\min} = \min_u \sum_{v=1}^{15} B(u, v) \quad (1)$$

$$w_{\max} = \max_u \sum_{v=1}^{15} B(u, v) \quad (2)$$

また、区画線はタイヤとの摩擦や風化によって塗装全体が摩耗する。そこで、区画線全体の擦れ具合を表す指標として区画線領域内外の輝度差を特徴量として用いる。俯瞰画像における区画線領域の周囲 15 pixel の平均輝度値を I_a 、区画線領域の平均輝度値を I_b とするとき、輝度差 d_{io} を式 (3) より求める。

$$d_{io} = \bar{I}_a - \bar{I}_b \quad (3)$$

これらの特徴量を含めて 14 種類の特徴量を算出する。

異なる特徴量同士の乗算値の絶対値 (${}_{14}C_2 = 91$ 種類) も特徴量とし、合計で 105 種類の画像特徴量を用いて線形回帰式を構築する。まず、それぞれの特徴量を平均が 0、標準偏差が 1 となるように正規化する。加えて、特徴量間に強い相関関係がある場合には多重共線性が生じるため、特徴量間の相関関係を低くするために主成分分析を行う。

105 個の主成分を説明変数とし、目視評価ランクを目的変数とした重回帰式を構築した。目視評価ランクは俯瞰画像を用いて評価した。ただし、説明変数の選択にはステップワイズ法を適用し、選択の基準となる情報基準はベイズ情報量 (BIC) を用いた。目的変数を y 、ステップワイズ法によって選択された説明変数を x_j 、学習によって得られた定数を b_0 、係数を b_j とするとき、重回帰式を式 (4) に示す。

$$y = b_0 + \sum_{j=1}^N b_j x_j \quad (4)$$

4 実験

車載カメラを搭載した車両を用いて計測実験を行った。計測に用いた車載カメラの解像度は 3840×2160 pixel、フレームレートは 30 fps であった。計測は曇天時の日中に行い、2700 枚の画像を収集した。2700 枚の画像のうち 2152 枚を学習に、538 枚を評価に用いた。また、正解値として予め訓練を受けた 10 名の評価者から各画像に対する評価を収集した。

評価データにおける推定値および正解値、推定誤差を図 3 に示す。縦軸は目視評価ランク、横軸はフレーム順に割り当てた画像番号を示す。図 3 より、推定値が正解値の変化に追従していることを確認した。推定値と正解値の相関係数は 0.95、絶対誤差平均は 0.30、絶対誤差標準偏差は 0.26 となった。

評価者による評価と提案手法による評価の安定性を推定精度から比較した。推定の安定性を評価する指標として、許容誤差範囲 (評価の平均値 \pm ランク毎の平均標準偏差) を正解範囲とした正解率を定義した。10 名の評価者から比較対象となる評価者を選び、残りの 9 名の評価を学習に用いて推定器を構築した。1 名の評価者の評価と推定器による推定値を用いて平均正解率を算出した。全評価者と正解率を比較したグラフを図 4 に示す。

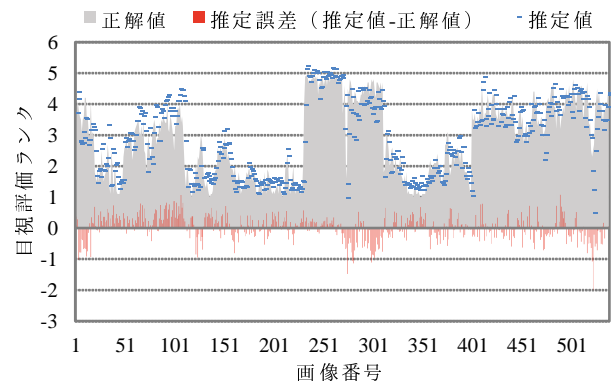


図 3 評価データにおける推定値および正解値の変動

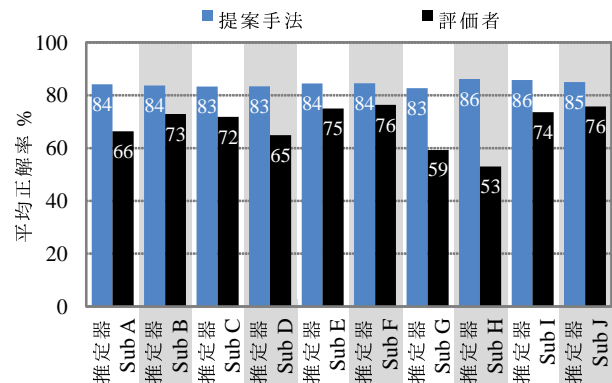


図 4 提案手法および各評価者の正解率の比較

縦軸は平均正解率の割合、横軸は比較対象とする評価者名を示す。提案手法による推定器は各評価者に比べて高精度に推定可能であることを確認した。また、評価者による評価は推定精度に個人差が見られたが、提案手法による評価ではいずれの場合においても一定の精度で推定可能であった。したがって、提案手法は評価者よりも安定的に推定可能であることを確認した。

5 おわりに

本研究では、主観評価のばらつき (不確定性) が生じない評価方法として、車載カメラ画像を用いて車線を表す区画線の劣化状態を推定する手法を提案した。区画線の劣化を表す特徴量を提案し、区画線の劣化状態を 5 段階で表す指標である目視評価ランクを重回帰分析によって推定した。精度検証実験として、実車両を用いて一般道を走行し、区画線を計測した。評価者の評価の分布から正解範囲を求め、提案手法の正解率を算出したところ、評価者の評価より安定的に推定可能であると分かった。今後の課題として、計測日や日照条件など計測条件の異なる映像での汎化性能の検証が挙げられる。

謝辞 本研究は「知の拠点あいち」重点研究プロジェクト II の支援のもと実施したものである。

参考文献

- [1] Asada, *et al.*, International Society for Asphalt Pavements, ISBN 978-4-88950-712-6, vol.III, pp.11-20, 2010.
- [2] “路面標示ハンドブック 第 4 版”, (社) 全国道路標識・標示業協会, 2012.