

画像解析および統計的手法による アスファルト舗装上のひび割れ評価手法の提案

愛媛大学大学院 学生会員○片岡望 非会員 吉井大地 正会員 全邦釘 正会員 大賀水田生

1. 序論

ひび割れはアスファルト舗装の主要な劣化要因である。ひび割れは舗装の耐久性や路面の走行性に悪影響を及ぼすため、適切に点検、維持管理する必要がある。現在、アスファルト舗装におけるひび割れの評価は、撮影された道路表面画像に対して、目視により判定しスケッチにより記録されている。しかし、この判定法には判定員の主観的判断によって決定されること、大まかな直線によりひび割れを判定するため正確性に欠けること、手書きによって舗装道路全体を判定するため膨大な時間を要すること等の問題点が存在する。そのため本研究では、統計的手法であるナイーブベイズを取り入れた機械学習法を用いて画像解析を行うことにより、アスファルト舗装の道路に対してのひび割れ判定時間の短縮と判定精度の向上を目的としたひび割れ自動判定手法を提案する。そして、提案した手法と従来のひび割れ判定法を比較することで、本研究で提案したひび割れ判定法の妥当性を検証する。

2. 画像解析手法

本研究では、統計的手法であるナイーブベイズ分類器を取り入れた機械学習法を用いて画像解析を行うことでひび割れの判定を行う。ナイーブベイズ分類器とは、ベイズの定理を適用したモデルに対して単純な独立性を仮定した確率的分類器である。以下にナイーブベイズの式を示す¹⁾。

$$C(F_1, \dots, F_n) = \arg \max_c p(C_m) \prod_{i=1}^n p(F_i | C_m) \quad (1)$$

ひび割れ判定は画素一つ一つに注目し、式(1)を適用させることで行う。上式において C_m はクラス変数であり、本研究では C_1 を「ひび割れである」、 C_2 を「ひび割れでない」としている。 F_n は C_m を特徴づける特徴変数であり、画素一つ一つを各クラスに分類する際に影響を与える変数である。本研究では特徴変数 F_n として、注目画素の画素値 F_1 、注目画素の周辺[3画素×3画素]の範囲に着目したときの画素値の平均値 F_2 などの計24種類の特徴変数を用いている。また本研究では、注目画素の周辺画素に着目するための簡便な手法として画像フィルタを適用させている。 $p(C_m)$ は事前確率、 $\prod_{i=1}^n p(F_i | C_m)$ は尤度を表しており、式(2.1)より、事前確率と尤度を掛け合わせたものが最大であるクラスを決定することでひび割れ判定を行う。以下にひび割れ判定手順を示す。

(1) 道路表面画像(図-1)に対して、人間があらかじめ正解カテゴリを与えることで、ひび割れである箇所、ひび割れでない箇所を学習させる。このような学習させるための画像を教師画像という。そしてこれらを用いて、ひび割れであるときの事前確率 $p(C_1)$ = ひび割れである画素数/全画素数、ひび割れでないときの事前確率 $p(C_2)$ = ひび割れでない画素数/全画素数としている。

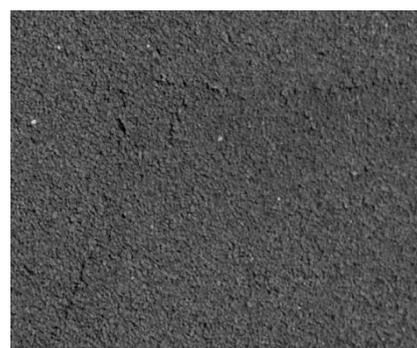


図-1 道路表面画像

(2) ひび割れである箇所の画素値、ひび割れでない箇所の画素値を取得し、ひび割れであるときの $F_1 \sim F_n$ の条件付き密度 $p(F_n | C_1)$ 、ひび割れでないときの $F_1 \sim F_n$ の条件付き密度 $p(F_n | C_2)$ をそれぞれ算出する。

(3) (2)で算出した条件付き密度 $p(F_n | C_m)$ を掛け合わせることで式(2.1)における尤度 $\prod_{i=1}^n p(F_i | C_m)$ を算出する。そして算出した尤度と事前確率を掛け合わせることで、注目画素におけるひび割れである確率とひび割れでない確率を求め、その大小を比較することによりひび割れ判定を行う。これを全画素に適用させることにより、画像全体のひび割れ判定を行う。

(4) (1)～(4)における画像解析では、ひび割れと共に大量のノイズが生じるため、正確にひび割れを判定することができない。そのためひび割れ判定精度向上のために、クラス変数 C_m を増やし、再びナイーブベイズ

分類器を用いたひび割れ判定を行う。正解カテゴリを与えた画像と(4)の解析結果を照らし合わせることで、「 C_1 ：ひび割れである」、「 C_2 ：ひび割れでない」という2つのクラスだけでなく、さらにカテゴリを増やし、その中で大小を比較することで、より高精度なひび割れ判定を行う。その後も解析結果を用いて同様の作業を行い、収束判断基準を変化率 $\delta < 1\%$ とし、解析結果が収束するまでひび割れ判定を行った。

3. 画像解析によるひび割れ判定法の提案

第2章で述べたように、画像フィルタを適用し、注目画素の周辺に着目することで、特徴変数を算出することができる。本研究では、Mean Filter におけるフィルタサイズを変更したものを7種類、Median Filter におけるフィルタサイズを変更させたものを7種類、Bilateral Filter における空間的距離と色的距離を変更させたものを9種類の合計23種類用いた。そしてこれらの特徴変数を用いて、第2章の手順に従って画像解析を行った。図-2に図-1の道路画像に対する解析結果を示す。図-2から明らかなように、ひび割れ判定における分類分けを細かく正確に行うことで、ひび割れを精度よく抽出することができている。本研究では合計11枚の道路画像に対して解析を行い、精度良いひび割れ判定を行うことができた。

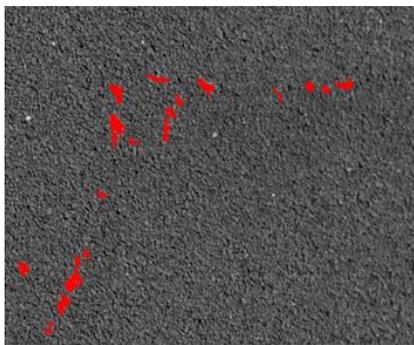


図-2 解析結果

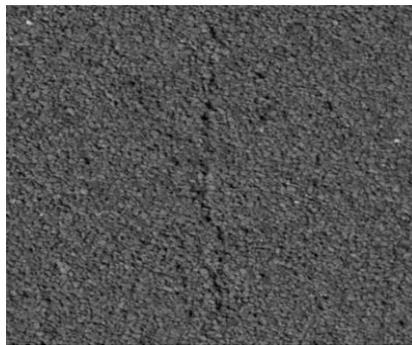


図-3 新規道路画像

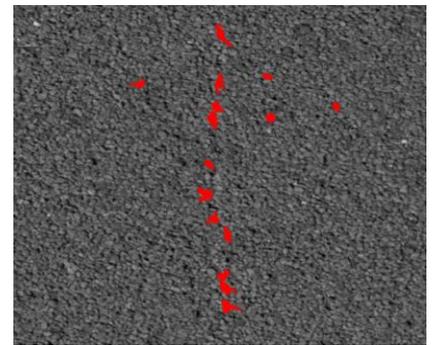


図-4 解析結果(新規)

4. 本研究で提案したひび割れ判定法の妥当性の検証

第3章で提案した手法を教師画像以外の道路画像(図-3)に適用させ、有効性の検証を行う。図-4に図-3の新規道路画像における解析結果を示す。図-4から明らかなように、ノイズの発生量やひび割れの抽出量は教師画像の解析結果と同程度であり、新規道路画像に対しても精度よくひび割れを抽出することができた。

そして、本研究で提案したひび割れ判定法による解析結果と手書きで正確にひび割れの箇所を判定した道路画像を比較することで、本手法におけるひび割れ検出率と過剰(ノイズ)検出率を求める。表-1にひび割れ検出率と過剰検出率を示す。また、比較のために従来の画像解析における手法のひび割れ検出率と過剰検出率も表-1に示す。表-1から明らかなように従来の手法は過剰検出率が68.682%と高い値を示している。これは、正確にひび割れを抽出するためには、同時に多くのノイズが生じてしまうことを示している。それに対して本手法は83.581%と高いひび割れ検出率を示しているにも関わらず過剰検出率が9.672%という低い値を示すことができている。そのため、本研究で提案した手法は、アスファルト舗装の道路におけるひび割れ判定に対して、十分妥当であると考えられる。

表-1 妥当性の検証

本手法のひび割れ検出率(%)	従来の手法のひび割れ検出率(%)	本手法の過剰検出率(%)	従来の手法の過剰検出率(%)
83.581	77.969	9.672	68.682

5. 結論

- ・本手法は新規道路画像に対しても精度良いひび割れ判定を行うことができた。
- ・本手法は従来の画像解析を用いた手法より精度良いひび割れ判定を行うことができた。
- ・本手法の解析結果における高いひび割れ検出率と低い過剰検出率から、本手法の妥当性を示すことができた。

参考文献

- 1)C.M. ビショップ：パターン認識と機械学習 下 (ベイズ理論による統計的予測)，丸善出版，2012。
- 2)増井隆行，ラキシア・ワクタング：モーメント及びエネルギー最適化を用いた路面画像からのひび割れ検出，日本機械学会[No.00-2] ロボティクス・メカトロニクス講演会講演概要集 2000，pp79，2000。