

深層学習と車載可能な情報機器を用いた路面雪氷状態定性値の推定手法の開発

国立研究開発法人 土木研究所 寒地土木研究所 正会員 ○齊田 光
 国立研究開発法人 土木研究所 寒地土木研究所 正会員 徳永 ロベルト
 国立研究開発法人 土木研究所 寒地土木研究所 非会員 佐藤 昌哉

1. 研究の背景および目的

冬期の安全・快適な道路交通を維持する上で、路面雪氷状態に関する情報は道路管理作業の適正化や道路利用者の安全運転支援への活用など多岐にわたる需要がある。例えば、道路管理者は冬期道路管理作業を限られた予算内で効率的に行うために、積雪や路面凍結が生じている区間を事前に把握し路面状態が悪化している区間で集中的に除雪や凍結防止剤散布等の作業を実施するなどの方法を必要としている。また、路面雪氷状態を事前に把握することができれば、道路利用者は滑りやすい区間で速度を落として通行する、積雪で通行が困難な区間を避けるなどにより安全な運転が可能となる。

路面雪氷状態の計測手法はこれまでに様々な方法が考案されている。既存の路面雪氷状態計測手法は目視による分類のほか、計測用の車輪に生じる摩擦力を計測する手法¹⁾や近赤外光の反射率を計測する手法²⁾などがある。目視による路面雪氷状態の判別は特別な機器を必要とせず安価に行うことが可能であるが、判別精度は計測者の主観や経験に大きく左右される。一方で、計測機器を用いた路面雪氷状態の計測では客観的かつ高精度な路面雪氷状態の計測が可能だが、機器の導入に多額の費用を要する。このため、安価かつ高精度に路面雪氷状態を計測する手法が求められている。

このような背景から、筆者らは近年発達が著しい深層学習を用いて、車載カメラ等で撮影された画像から路面雪氷状態を推定する手法の開発に取り組んでいる。本発表ではこのうち、画像から路面雪氷状態の定性値(乾燥、

湿潤、積雪等)を判別する手法について報告する。

2. 深層学習による路面雪氷状態の定性的評価手法

既往の研究では、例えば李らにより CNN (Convolutional Neural Network, 畳み込みニューラルネットワーク) の一種である VGG-16 を用いて路面雪氷状態定性値を推定する手法³⁾などが提案されている。本研究ではこれらの手法と同様に、CNN を用いて車載カメラや道路 CCTV カメラの画像から路面雪氷状態を 4 種類 (乾燥, 湿潤, シャーベット, 圧雪・氷板) に分類する。一方で、画像分類に用いる CNN としては、スマートフォン等の車載可能な情報機器を用いて路面雪氷状態の判別を行うことを想定し、VGG-16 と比較して推論処理が高速かつ予測器のサイズが 1/100 以下である MobileNetV2⁴⁾を用いた。

Fig. 1 は CNN の学習および精度検定に用いるデータの生成方法を示す。CNN の学習および精度検定に用いるデータには、計測車両に搭載した車載カメラで撮影した画像および路面雪氷状態判別データを用いた。車載カメラ画像データは、車両のフロントガラスに設置したドライブレコーダーを用いて車両前方を解像度 1920×1080 ピクセル、30 フレーム/秒で撮影し、得られた画像から路面が映っている領域 (解像度 224×224 ピクセル、幅約 3m×奥行き約 10m 相当) を切り出すことで取得した。また、路面雪氷状態判別データは、路面雪氷状態を入力するためのソフトウェアを備えた PC を計測車両に搭載し、計測者が目視で判別した路面雪氷状態をソフトウェアに入力することで走行経路上のデータを取得した。その後、車載カメラ画像データと路面雪氷状態判別データ

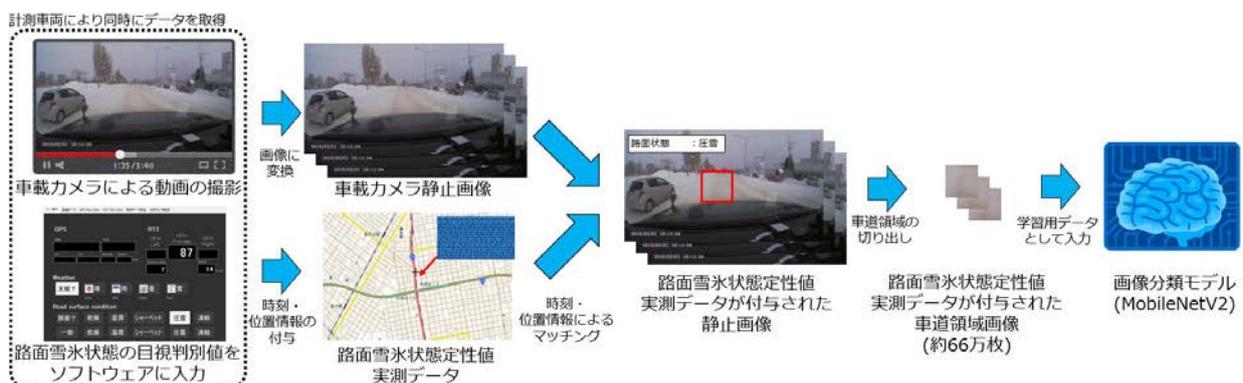


Fig. 1 路面雪氷状態定性値の取得および CNN の学習方法

キーワード：冬期道路管理, 路面雪氷状態, 深層学習, 画像分類

連絡先：〒062-8602 北海道札幌市豊平区平岸1条3丁目1番34号 TEL 011-841-1738

の取得時刻および位置情報を用いて、車載カメラ画像データに路面雪氷状態判別値を付与したデータを生成した。以上の方法で得られたデータを用いて CNN の学習を行い、解像度 224×224 ピクセルの画像を入力することで路面雪氷状態定性値を出力する予測器を作成した。

3. 路面雪氷状態の判別精度検証

本研究では、上記の手法による路面雪氷状態の判別精度検証を行った。検証では、2018 年度から 2020 年度に札幌市・苫小牧市付近の一般道路および北陸自動車道富山 IC～東海北陸自動車道福光 IC 間で取得した車載カメラ画像データおよび路面雪氷状態判別データ(データ数: 659,731 個)を用いて CNN の学習・予測器の生成を行った。その後、学習で使用したデータとは異なる日時および路面雪氷状態で取得した車載カメラ画像データおよび路面雪氷状態判別データ(データ数: 7,341 個)を用いて路面雪氷状態の判別を行った。なお、CNN の学習、予測器の生成および判別精度の検証には Python 3.7.9, Keras 2.4.3, TensorFlow 2.5.0 および OpenCV 3.4.2 を用いた。

4. 検証結果および考察

Table 1 は路面雪氷状態の実測値および推定値の混同行列、再現率(判別したい路面雪氷状態のうち実際に判別できた割合)、適合率(路面雪氷状態があるカテゴリに判別されたときそれが正解している割合)および F 値(再現率と適合率の調和平均)を示す。

各推定結果の再現率はシャーベット路面を除いて 0.8 以上となり、本研究で開発した手法を用いるとこれらの路面雪氷状態が出現した場合に高い精度で検出可能であることが明らかとなった。また、各推定結果の適合率は乾燥路面および圧雪・氷板路面で 0.95 以上となり、本手法による判別結果が乾燥路面または圧雪・氷板路面であった場合は非常に高い確率で実際の路面雪氷状態と一致することが明らかとなった。各推定結果の F 値は乾燥、湿潤および圧雪・氷板路面では概ね 0.8 以上となり、これらの路面を精度良く判別できることが示された。一方で、シャーベット路面の再現率は 0.357、適合率は 0.187 および F 値は 0.245 であり、他の路面雪氷状態と比較して推定精度が著しく低くなった。

また、本手法で生成した予測器のサイズは約 9MB であり、予測器をスマートフォン(Samsung Galaxy S9+)上で実行した場合の推論時間は概ね 0.07 秒～0.1 秒であった。

以上の結果から、本手法は車載可能な携帯機器上で高速かつ概ね良好な精度で路面雪氷状態定性値を推定できる一方で、シャーベット路面の検出を不得手とすることが明らかとなった。これは、学習用データのうちシャーベット路面と判別された画像には Fig. 2(a)および(b)に示すように湿潤や圧雪路面の画像が多数含まれている

ことによる。このことは、路面雪氷状態の判別経験を有する作業者であっても路面雪氷状態を誤って判別する場合があります。目視による路面雪氷状態判別結果を学習用データとして用いる限り深層学習による路面雪氷状態判別精度には限界があることを示している。

5. 結論

本研究で提案した手法では、画像データから乾燥、湿潤および圧雪・氷板路面を高速に精度良く判別できる一方で、目視判別による路面雪氷状態を深層学習の学習用データとして用いる方法では路面雪氷状態の判別精度に限界があることが明らかとなった。現在は路面すべり計測装置により得られた客観的なデータである路面すべり摩擦係数データと画像データから、深層学習により路面のすべり摩擦係数を推定する手法の開発を行っており、今後詳細な結果を発表する予定である。

参考文献

- 1) 徳永ロベルトほか：連続路面すべり抵抗値による冬期道路管理の高度化に関する研究，寒地土木研究所月報，No.661，pp.11-18，2008。
- 2) Taisto Haavasoja et al. : Experiences of Mobile Road Condition Monitoring, proceedings of standing international road weather commission, pp.1-7, 2012.
- 3) 李瑾ほか：AI 技術を活用した冬季道路路面判別の効率化，AI・データサイエンス論文集，Vol.1，No. J1，pp.210-216，2020。
- 4) Mark Sandler et al. : MobileNetV2: Inverted Residuals and Linear Bottlenecks, Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), pp. 4510-4520, 2018.

Table 1 路面雪氷状態実測値および推定値の混同行列、再現率、適合率および F 値

		路面雪氷状態推定値				再現率	F 値
		乾燥	湿潤	シャーベット	圧雪・氷板		
路面雪氷状態実測値	乾燥	2217	50	5	6	0.973	0.963
	湿潤	6	1201	147	91	0.831	0.797
	シャーベット	4	145	87	8	0.357	0.245
	圧雪・氷板	99	172	227	2876	0.852	0.905
適合率		0.953	0.766	0.187	0.965		



Fig. 2 シャーベット路面と判別された路面画像の例