

不確実性を考慮したベイズ深層学習によるひび割れ検出手法の構築

東京大学大学院 工学系研究科 博士前期 学生会員 ○菊田 隼矢
東京大学大学院 工学系研究科 特任准教授 正会員 全 邦釘

1. 序論

近年,コンクリート構造物の健全性維持が重要な社会的課題となっている.特にコンクリートひび割れに関しては早期に発見し,適切な対策を講じることが重要である.一方で国内では人手不足によって点検技術者の数が減少していることから,目視の点検に頼らず,コンクリート表面の撮影画像からひび割れを自動で検出する研究が広く行われている.特に深層学習を用いた手法では高精度でひび割れ位置や形状を予測できることが知られている.

一方で,こうした検出モデルの予測の不確実性については議論されることが少ない.ニューラルネットワークでは,確率的な誤差を考慮せず確定的な予測を行うため,そのモデルの出力がどの程度確からしいかを判断することはできない.しかし出力の信頼度を統計的に評価することは,ひび割れの見落としやひび割れ領域の過大評価を防ぐのに有用であり,説明可能性の面でも意義が大きい.

本研究では,モンテカルロドロップアウトを用いたベイズニューラルネットワークによって,パラメータの誤差を考慮することで確率的なひび割れ検出を実践し,通常モデルに比べて検出精度が向上すること,不確実性が評価できることを確かめる.

2. 手法

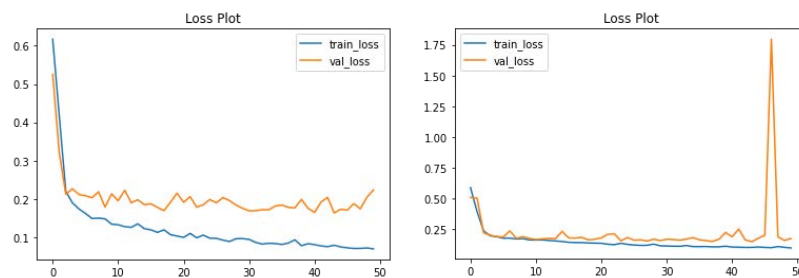
ベイズニューラルネットワークは,ニューラルネットワークの重みパラメータの確率分布を扱い,学習によって事後分布を推定する手法である.この手法では,重みパラメータの事後分布を扱うため,データの不確実性を考慮した確率的な予測が可能となる.軽量の機械学習モデルであれば確率的プログラミング言語を用いて変分推論を実行させることになるが,画像認識など大量のパラメータを扱う深層学習モデルの場合,計算量が膨大になってしまうという問題点がある.

この問題点を解決するために,モンテカルロドロップアウトによるベイズニューラルネットワークが提案されている.ドロップアウトは,学習時にランダムに一部のニューロンを無効化することで過剰適合を防ぐ手法であるが,モンテカルロドロップアウトでは,学習時だけでなく推論時にもドロップアウトを用いることで,事後分布の近似推論を行うことができる.したがって本研究では不確実性を考慮した検出手法としてモンテカルロドロップアウトを用いる.以下では,通常ニューラルネットワークモデルを通常モデル,ベイズニューラルネットワークモデルを BNN モデルとそれぞれ呼称する.

データとして用いたのは,全[1]によって公開されている,5184×3456 ピクセルのコンクリート画像 98 枚である.画像はコンクリート橋の床板や桁,日本国内の建築物の内壁や外壁などをさまざまな条件下から撮影したものである.ひび割れ検出のための前処理の方法などは全[2]の研究を参考にした.

使用した深層学習モデルはエンコーダー/デコーダーが 5 層の U-Net であり,モンテカルロドロップアウトでは確率 0.3 の

図-1 通常モデル（左）と BNN モデル（右）の学習過程



キーワード ひび割れ検出, ベイズニューラルネットワーク, モンテカルロドロップアウト, 深層学習
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 E-mail : toshi123ut@g.ecc.u-tokyo.ac.jp

ドロップアウト層を各エンコーダーの直後,各デコーダーの直前に追加した.Epoch 数は 50 で Val-Loss が最小のモデルを採用し,最適化手法は学習率 0.001 の Adam,損失関数は Dice Loss と Binary Cross Entropy の平均を用いた.通常モデル,BNN モデルの学習の様子は図-1 のようになった.

3. 結果と考察

通常モデルと BNN モデルの出力に関して,主な評価指標の値を表-1 に示す.なお,BNN モデルの出力は 50 個のサンプルの平均とした.

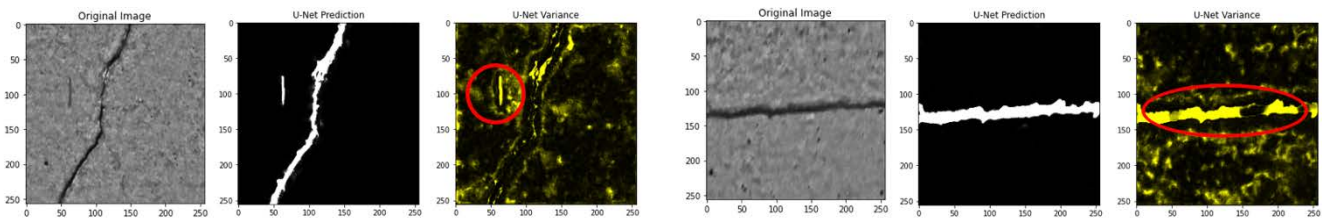
表にあるように,特異度以外の全ての評価指標において検出精度が向上したことがわかる.これは,ベイズニューラルネットワークを用いることでパラメータの不確実性が考慮され,データへの過剰適合が抑制された結果モデルの汎化性能が高くなっているためと考えられる.

次に,検出の不確実性について示す.BNN モデルでは,複数個の出力サンプルにおいてピクセルごとに分散を計算することで,不確実性を評価できる.図-2 は,分散の大きいピクセルを黄色で示したものである.図のように,明確にひび割れと判定される部分は分散が小さいが,ひび割れと誤認されるような汚れや影の部分では分散が大きくなっていることがわかる.

	通常モデル	BNNモデル
正解率	0.9970	0.9974
特異度	0.9988	0.9985
再現率	0.6531	0.7438
適合率	0.6383	0.6533
F値	0.6256	0.6570

表-1 主要な評価指標の比較

図-2 ひび割れ画像とひび割れ検出例, 不確実性の出力例



4. 結論と今後の課題

本研究では,モンテカルロドロップアウトを用いたベイズニューラルネットワークを構築し,不確実性を考慮したひび割れ検出を行った.これにより,通常モデルの出力よりも BNN モデルの出力の方が検出精度は向上し,またサンプリングした値の分散をマッピングすることにより,不確実性の大きい領域を示すことが可能になった.

今後の課題として,不確実性を考慮したひび割れ検出のユースケースを拡張することが挙げられる.例えばひび割れ検出モデルの半教師あり学習に応用することで,効率的にモデルを学習させられるようになることが期待できる.半教師あり学習とはラベル付き画像とラベルなし画像からモデルを学習させる手法で,ラベルなし画像に対しては擬似ラベルとしてラベル付き画像で学習させたモデルの出力が用いられるのだが,不確実性の情報があれば擬似ラベルや損失関数を学習に効率的な形で表現できる可能性がある.半教師あり学習で高い検出精度を記録できれば,教師データの作成にかかるコストは不要となり,AI によるひび割れ検出の社会実装がより進んでいくことが期待できる.

5. 参考文献

[1] Chun, P. J.: “Pang-jo Chun, data sharing page”, <https://sites.google.com/view/pchun/> (Accessed 2023/03/30)

[2] Chun, P. J., Izumi, S., & Yamane, T. (2021). Automatic detection method of cracks from concrete surface imagery using two - step light gradient boosting machine. Computer - Aided Civil and Infrastructure Engineering, 36(1), 61-72. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/mice.12564>