

令和 5 年 6 月 21 日現在

機関番号：13501

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2020～2022

課題番号：20K04640

研究課題名（和文）地方自治体での利用を想定した道路路面の健全度評価システムの開発

研究課題名（英文）MEASUREMENT AND EVALUATION OF CRACKS ON ROAD PAVEMENTS FOR DAILY INSPECTIONS BY LOCAL GOVERNMENTS

研究代表者

吉田 純司（YOSHIDA, Junji）

山梨大学・大学院総合研究部・准教授

研究者番号：90345695

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,800,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、特に予算が限られている地方公共団体での実用化を目指して、道路路面の画像計測ユニットを開発し、撮影した画像から路面の健全度を評価するシステムの構築を目的とする。まず、画像計測ユニットの開発では、価格と使用性を重視したユニットを開発する。次いで、撮影した路面画像中の全画素を路面、路面外、マンホール、ジョイントの4種に領域分割するニューラルネットワーク（NN）を構築し、さらに路面を格子状に分割して、ブロックごとに単一ひび割れ、面ひび割れ、ひび割れ無しに分類するNNを構築する。最後に、分類結果から路面の健全度を求め、それを地図上にカラーマップで表示するシステムを開発する。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究の意義は、地方自治体での道路の維持管理業務の実用化を念頭においた計測ユニットの開発と、その計測結果に対応した健全度評価システムにある。これらの計測ユニットおよび健全度評価システムに学術的な新規性は少ないものの、地方自治体の実務での運用を想定し、低価格で使い易く、かつ明解なアウトプットを提示可能なものを開発することができた。このことから、本研究は社会的に大きな意義を有しているものと考えている。

研究成果の概要（英文）：This study develops a system for measuring and evaluating cracks on road pavements, in order to support their daily inspections in local governments. The system consists of three units. The first one is a measurement unit for recording images of road pavements, together with information of GPS. Characteristic points of the unit are that its cost is relatively low and it can easily be installed/detached to standard cars. The second one is an analysis unit of the recorded road images and it divides a road image into blocks, and computes its crack ratio by evaluating cracks inside those blocks using two neural networks. The third one is a visualization unit of the evaluated results. The unit shows crack ratio of each road image by a color point on the map, whose location is identified from GPS data and, when clicking a color point on the map, it can also show an evaluated road image, which is an origin of the color point.

研究分野：社会基盤の維持管理，画像解析，計算力学

キーワード：道路路面 維持管理 画像計測 深層学習 健全度評価

様式 C-19、F-19-1、Z-19（共通）

1. 研究開始当初の背景

高度経済成長期を中心として整備された社会基盤施設は、近年、更新の時期を迎えつつある。特にそのなかでも道路網の整備はすでに終盤にさしかかり、現時点で総延長距離が120万km以上と膨大である。新設される道路は年々急激に減少しており、今後は既往の道路を効率的に維持管理していくことが大きな課題となっている。道路の維持管理を行っている行政のなかでも地方公共団体（県・市町村）が分担する割合が大半を占めており、具体的には、道路を構成する主要な構造要素のうち舗装路面については70%以上、橋梁については80%以上、トンネルについては50%以上にも達する。それに対し、道路の総事業費総額および維持修繕費は平成12年度以降、減少傾向にある。特に地方公共団体では維持管理予算の不足が強く意識されており、将来はさらに深刻になると懸念されている。地方公共団体のうち財源不足などの理由で橋梁・路面などの定期点検を十分行えていないところは、都道府県で20%、市町村で90%に達すると報じられている。従って地方公共団体での今後の道路の維持・管理では、大きな手間・費用をかけず道路の異常を客観的指標により確実に検知し、効率的な修繕・補修を行っていく必要がある。

このような状況に対し、道路に関連する様々な構造要素の点検を自動化するための計測システムが開発・製品化され、高速道路や一部の国道の詳細点検に応用されている。これらの既製品のうち、路面を画像計測するシステムは、非常に空間密度が高いラインカメラで路面を連続画像として計測でき、加えて、わだち掘れを対象としたレーザー計測装置やトンネル壁面の画像計測を行う装置が一台の車両に搭載されている総合計測システムであるものの、1.5億円以上の高額なシステムであることが普及の大きな弊害となっている。また、計測した画像データから路面の健全度を客観的に評価する解析技術は未だ確立されておらず、専門員が目視で判定していることも手間・コストの観点から問題となっている。

2. 研究の目的

そこで、本研究では、地方自治体での運用を前提として、道路の舗装路面を画像計測する計測ユニットを開発するとともに、取得した画像からクラックを抽出し、路面の健全度を評価する実用的な解析システムを開発することを目的とする。具体的には、

- 1) 低価格で、汎用性・使用性が優れた舗装路面の画像計測ユニットを構築する、
 - 2) 地方自治体と連携し、近隣の道路を対象とした実路面計測を実施する、
 - 3) 路面からクラックを抽出する画像処理手法を構築する、
 - 4) 抽出したクラックから路面の健全度を評価する指標を提案し、それを地図上にコンター図として表示できるシステムのプロトタイプを開発する、
- を企図するものである。

3. 研究の方法

初年度には、上記の1),2)と3)の一部を実施する。1)については、モノクロのCMOSセンサー型カメラを車両外側のリーフ部に取り付け、後方の路面画像を撮影する。カメラの車両への取り付けは、吸盤を使った三脚を用いる。特に本研究では、小型で軽量なカメラを用いる（総重量1kg以下）ため、吸盤の三脚を採用することで様々な車両において任意の位置に容易に着脱可能となる。画像は室内に設置したノート型PCに内蔵されたSSDに直接記録する。一方、小型の高精度GPS（誤差1m以内）も車両に設置し、bluetoothを介して画像と同じノート型PCに、位置情報（緯度・経度）、速度、方位、時間を記録し、タイムスタンプを用いて撮影された画像と関連付ける。なお、GPSの記録については、画像記録と開始・停止を同時に行える（同一のトリガーを使う）プログラムを構築する。2)については、山梨県の道路維持管理課と協力して、国道、県道、市道のなかから、異なるタイプの道路路面をいくつか選定し、各路面で数km程度記録する。な

お、舗装路面の画像計測は、雨天ではない日の昼間に実施する。このことから、撮影される路面画像には、太陽光下における街燈、ガードレール、歩道橋、車両などの影が路面にまたがって撮影されることになる。影があることで、画像からクラックを抽出する精度が低下すると予測されるため、3)では、まず路面画像から影の影響を除去する画像処理を構築する。この処理では、路面とクラックとのコントラストを落とさず、影のみを除去する必要がある。そこで、路面画像にクロージングや平滑化等の処理をしてクラックを見えなくした画像を対象として輝度に応じて領域分割し、オリジナルの路面画像を分割領域ごとに輝度補正する。

2年度以降は、まず3)の続きを行う。具体的には、影を除去した路面画像群を対象として、クラックを抽出する画像フィルタを構築する。このフィルタは、これまでの研究代表者らの研究で開発した並列型画像フィルタ自動生成システムを用いる。このシステムは、簡単な画像フィルタを並列に組合せて目的の画像フィルタを生成するが、その組合せを遺伝的プログラミングにより最適化する手法である。本研究では、まず、このシステムの基本となる単純なフィルタの数を増強するとともに、出力フィルタが巨大化するのを抑制する機構を取り入れた後、本研究のクラック抽出フィルタの構築に用いる。このフィルタの構築では、微細なクラックの抽出よりも、主要なクラック（2mm以上の幅）を確実に抽出することを主目的として、学習を行う。次に4)では、抽出したクラックに応じて、路面の危険度を評価する指標を提示する。具体的には、NEXCO等で用いられている手法を参考にして、路面画像を格子状にグリッドに分割し、各グリッドにおいて抽出されたクラックの量に応じて、劣化レベルを何段階かに分類する。この分類では、近年、発展の著しい深層学習を応用する。さらにグリッドの劣化分類とその数に応じて固定長さの路面の健全度を算出し、それをGPSで得た位置情報を基に地図上にコンター図として表示するシステムを提示する。最後に、山梨県内の道路路面の画像を100km程度収録し、クラックの抽出や健全度評価の妥当性を検証する。

4. 研究成果

本研究では、当初の計画通り、小型カメラとGPSを車載し、道路の位置情報と路面画像を計測するユニットを開発した。また、計測した画像から、アスファルト路面のみを抽出し、さらにそのひび割れ情報から、健全度を評価するシステムを構築した。ただし、当初は従来の画像処理を用いて解析を実施予定であったが、近年発展が著しい深層学習も適用してみたところ、よりロバストで高精度な健全度評価を行うことができた。そのため、最終的な健全度評価システムでは深層学習を用いて画像処理を行っている。最後に、得られた健全度評価を、画像処理の結果とともにWeb上にアップロードし、それをコンター図として地図上に表示するシステムも構築している。当初計画していた研究内容はここまでであり、初年度と2年度だけで終了することができた。ここまでの成果は、以下の論文に掲載されている。

「吉田純司, 竹谷晃一: 地方公共団体での利用を想定した道路路面のひび割れに関する健全度評価システム, 土木学会, 第2回 AI・データサイエンスシンポジウム論文集, Vol.2, No.J2, pp.671-680, 2021.」

最終年度(3年度目)では、上記のシステムを地方自治体において道路の維持管理の実務へ適用するにあたり、多少の弊害となりそうな点の改良を行った。具体的な問題点とその対応について以下に述べる。

1. 画像計測ユニットが比較的高額であり、かつ記録にPCが必要であるため配線が多く車載の手間がかかる。この点を改善するため、本研究では、画像計測のカメラをアクションカメラ(GPS内臓、内部のメディアに動画を記録)に変更した。これにより、価格はこれまでの画像計測ユニットの1/10程度になった。加えて記録用PCとGPSが不要になり配線がなくなったため、車載する手間が大幅に低減した。
2. 路面画像の画像処理で用いていた2つの深層学習(AI)を、より高精度なものに変更した。1つ目の路面領域抽出で用いていた深層学習は、SegNetからdeepLabV3+へ、2つ目の画像分類で用いていた深層学習は、VGG16からResNet18へ更新した。これにより、いずれも分類

精度が5~10%程度向上した。

3. これまでは、健全度の指標として NEXCO が採用しているひび割れ率を適用していた。この指標だと、路面画像をブロックに分割し、ブロックごとに「複数ひび割れ」、「単一ひび割れ」、「ひび割れなし」の3つに分類し、画像ごとに重み付き平均して算出しているが、3つしか分類がないため、誤分類した際の誤差が大きくなる。そこで、本研究では、ひび割れ種類に、「浅いひび割れ」、「深いひび割れ」を追加し、さらに「ひび割れなし」にも、新たに「補修跡」を追加して、合計9分類で重み付き平均を算出する新たな指標を提案した。

以上のような3つの改良を行った画像計測ユニットと健全度評価システムを本研究の最終成果とする。以下に本研究の成果の代表的な図を示す。



図-1 アクションカメラを用いた路面の画像計測ユニット



図-2 撮影した路面画像からアスファルト路面を抽出する AI



図-3 アスファルト路面のブロック分類から算出するひび割れ率とその地図上への表示

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 吉田純司, 竹谷晃一	4. 巻 vol.2, No.J2
2. 論文標題 地方公共団体での利用を想定した道路路面のひび割れに関する健全度評価システム	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 土木学会 第2回AI・データサイエンスシンポジウム論文集	6. 最初と最後の頁 pp.671-680
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.11532/jsceiii.2.J2_671	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計1件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 清水裕介, 吉田純司, 小野義道, 竹谷晃一
2. 発表標題 深層学習を用いた高速道路における舗装路面画像のクラック分類
3. 学会等名 土木学会第75回年次学術講演会
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------