

平成 30 年 6 月 7 日現在

機関番号：12601

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2016～2017

課題番号：16H06680

研究課題名(和文) インフラ点検のための熟練診断技能の抽出によるマルチモーダル自動診断システムの構築

研究課題名(英文) Automated Multimodal Diagnostic System of Social Infrastructures by Inspection Experts' Skill Extraction

研究代表者

藤井 浩光 (FUJII, Hiromitsu)

東京大学・大学院工学系研究科(工学部)・特任講師

研究者番号：30781215

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,300,000円

研究成果の概要(和文)：社会インフラの老朽化は深刻な課題であり、従来の点検現場では、主に熟練検査員による打音検査が行われてきた。現在、熟練点検員による打音検査を代替する信頼性の高い自動診断技術が緊急に求められている。本研究では、高い効率性と診断の精度、および検査対象や環境の違いに対する頑健性を実現するために、マルチモーダル信号を用いた自動診断システムの構築を目的とする。以下の2つのアプローチで取り組み、それぞれシステム構築および実験による検証を行った。熟練点検員の点検・診断技能を用いた検査対象や環境の違いに対する頑健性の向上。視覚センサと聴覚センサのマルチモーダル情報を用いたコンクリートひび割れ侵入方向の検出。

研究成果の概要(英文)：Aged deterioration of social infrastructure is rapidly getting serious. At conventional inspection sites, hammering tests have been carried out by skilled inspectors. At present, for safety and security, highly reliable automatic diagnostic technologies which replace hammering tests by the skilled inspectors are urgently required. In this research, in order to realize high efficiency, high accuracy of diagnosis, and robustness against difference inspection targets in different environments, we aim to construct an automatic diagnosis system using multimodal signal. We worked on the following two approaches, and achieved the system construction and verification by experiments. 1) Improvement of robustness against differences in inspection targets and environments by using knowledge and working protocol of skilled inspectors. 2) Detection of crack direction against surface of the concrete using multimodal information obtained from acoustic sensors and a visual sensor with a laser scanner.

研究分野：音響など多種センサ信号と機械学習を用いた社会インフラの自動診断、およびコンピュータビジョン

キーワード：インフラ点検 自動診断 センサ情報処理

1. 研究開始当初の背景

社会インフラの老朽化は深刻な課題である。例えば現在の日本全国で供用されている道路橋は約 70 万脚、道路トンネルは約 1 万本にも及び、道路橋の 43%、トンネルの 34% が 10 年後には耐用年数である築 50 年を迎える (2014 年度 国土交通省)。既に老朽化による深刻な事故が生じている中で、これらのインフラを適切に維持・管理していくためには、継続的な検査が必要である。しかし、膨大な件数を人手のみで検査することは困難であり、ロボットなどによるインフラ検査の自動化が求められている。特に診断においては、診断結果の信頼性の高さに加え、迅速に実施するための効率性が極めて重要となる。

インフラの診断を信頼性高く実施するための技術は、従来から数多く研究され、一部では実用化もされてきた。しかし、従来型の技術では効率性の面で不十分であることが指摘されている。例えば、超音波による探傷法やインパクトエコー法などでも、対象物にグリスの塗布や加速度センサの取り付けなどが必要であり、検査後には撤去・洗浄をする必要があるため、広範囲を点検するには効率性の面で適さず、また信頼性の面でも検査対象物への取り付け方で診断結果が大きく影響を受けるといった課題がある。

そのような技術的背景から、従来の点検現場では主に熟練検査員による目視検査や、検査用ハンマにより対象物を打叩した際の衝撃音の違いから対象中の異常 (変状) を判断する打音検査が行われてきた。これらは、極めて簡便な検査法ではあるが、他の検査法と比較しても突出した診断の精度と、実施における高い効率性を有している。さらに熟練検査員は、例えば異なるトンネルや橋梁などに対して、異なる天候や時間帯であっても正確に検査を行うことが可能である。検査の対象や環境が異なった場合においても、柔軟に対応可能であることは、他の検査技術に対して極めて優れた特長である。しかし現在、検査すべき対象が増加する一方で熟練点検員は減少しており、人手による検査のみでは対応することが困難な状況にある。熟練点検員による検査を代替する、高効率で高精度かつ頑健性の高い自動診断技術が緊急に求められている。

2. 研究の目的

熟練点検員による診断は、人の高度なセンシング能力と認識能力に加えて、現場で長年培ってきた経験や知見に基づいた、極めて高度な知覚情報処理により行われていると考えられる。申請者らは、人の聴覚によるパターン認識技術としての打音検査法に注目し、その自動化のための基礎的な研究を行ってきた。具体的には、打音の時間周波数解析を行うことで独自に構築した健全・変状の打音データベースをもとに、機械学習を用いて複数の異なる浮き変状を高精度に検出可能な



図 1. 斜めひび割れの深さ推定

変状検出器を構成した。さらに、変状の位置する深さ (図 1) を打音から推定する手法や、現場で検出器を自動校正する手法なども新規かつ独自に提案し、道路トンネルなどの実環境でその有効性を検証した。申請者らは、現在までの研究活動を経て、熟練点検者の点検・診断手続きは、視覚や聴覚以外にも、打叩時の手応えに関する触覚なども活用したマルチモーダルなセンシング・認識プロセスであるとの考察に至った。今後、これらの研究成果を熟練点検員による検査を代替する自動診断技術へと発展させていくためには、診断の精度をより向上させていくとともに、検査の対象や環境が異なった場合にも頑健な診断法を構築することが重要である。本研究では、高い効率性と高い診断の精度、および検査対象や環境の違いに対する頑健性を備えたマルチモーダル信号を用いた自動診断システムの構築を目的とする。

3. 研究の方法

本研究では、以下の 2 つのアプローチで、上記の課題を解決した。

熟練点検員の点検・診断技能を用いた検査対象や環境の違いに対する頑健性の向上

視覚センサおよび聴覚センサからのマルチモーダル情報を用いたコンクリートひび割れ侵入方向の検出

に関しては、一般にインフラ診断の自動化は機械学習の手法を用いて行われるが、教師あり学習を行う場合は、教師データの量や質による汎化性能の低下が問題となる。すなわち、検査対象の違い (構造や劣化度合による物理的な状態の違い) や、天候や車両の通行状況など教師データを取得した際との環境の違いなどに対する頑健性が得られない

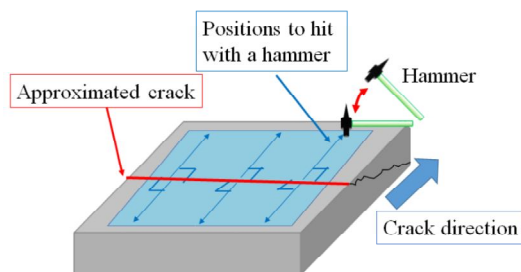
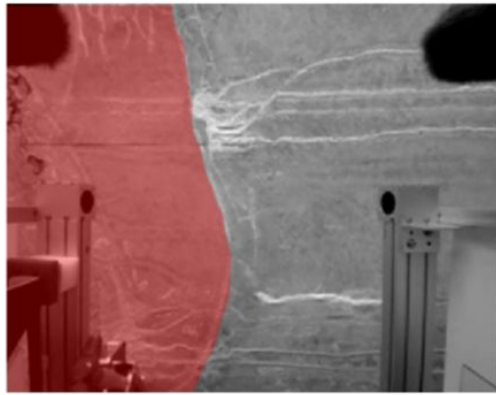
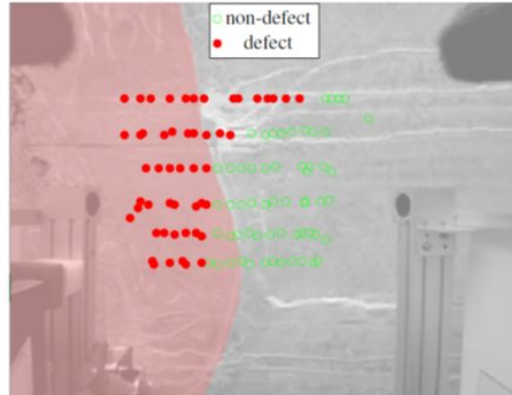


図 2. ひび割れ侵入方向の検出法



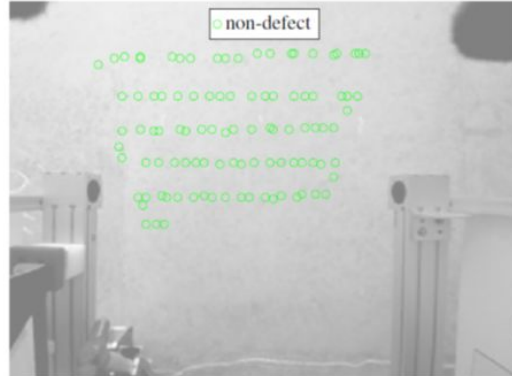
(a) Area 1: delamination. The red area shows ground truth of defects.



(b) Result of proposed method on Area 1.



(c) Area 2: no defects.



(d) Result of proposed method on Area 2.

図 3：模擬トンネルでの実験結果

(a), (c)：真値（赤い網掛け部が変状部），(c)は全て健全部

(b), (d)：提案手法による判定結果（赤が変状部，緑が健全部と判定された結果）

という課題が存在する．そこで，本研究では教師データを必要としない教師なし学習による自動診断アルゴリズムを構築した．事前知識としては，従来のトンネル点検における人手での打音検査の実績から，人の聴力による健全・変状の識別能力に注目した．人は，点検用ハンマを用いた打叩音により精度良く診断ができているという点から，スウィングタイプの自動打叩装置による打音信号群に対して，人間の聴覚特性を考慮した音響特徴量である Mel-Frequency Cepstrum Coefficients (MFCC) を用いた．打音信号群を独自のクラスタリング手法により分類し，各状態が分布する面積の大きさを比較することで健全部を判定する手法を提案した．

に関しては，スリットレーザと単眼カメラを用いた光切断法によるひび割れ検出法と，ステレオマイクروفオンを用いた教師あり変状識別法を組み合わせたマルチモーダル診断法を構築した．本研究では，図 2 に示すように光切断法で検出したひび割れに対して，ひび割れの両側部の打音信号を用いた変状識別を行うことで，ひび割れに対する変

状の分布範囲を推定し，コンクリート表層に対して斜め方向に生じるひび割れの侵入方向を推定することが可能である．

4．研究成果

3．における に関しては，研究開始時の計画通り，アルゴリズムの構築，システム実装，実験による検証までを完了し，提案した手法の有効性を確認した．まず，独自に製作したコンクリート試験体を用いた研究室内における予備実験を行い，手法の原理的な有効性を確認した．最終年度には，研究協力者である東急建設株式会社 技術研究所（神奈川県・相模原市）の構内に存在する，実寸大のコンクリートトンネルの模型（模擬トンネル）を行って実施した．図 3 に示すように，模擬トンネルでの実験において，教師なしで状態を分類できることを確認した．コンクリート試験体を用いた基本的なアルゴリズムの検証結果を，国際学会 SH2017（学会発表）で発表し，模擬トンネルで検証した成果を，Robotics and Automation Letters への投稿論文（雑誌論文）として報告した．

3. における にも関わらず、研究開始時の計画通り、アルゴリズムの構築、システム実装、実験による検証までを完了し、提案した手法の有効性を確認した。実験は研究室内でレーザポインタを用いた光切断法と組み合わせたプロトタイプシステムを作成し、基礎的な評価実験を行った上で、と同じく模擬トンネルを用いた検証実験を行った。研究室での検証報告を、国際学会 URAI2017 (学会発表) で行い、模擬トンネルの実験結果についても投稿論文として報告予定である。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(全て査読有り、計1件)

Jun Younes Louhi Kasahara, Hiroimitsu Fujii, Atsushi Yamashita and Hajime Asama: "Fuzzy Clustering of Spatially Relevant Acoustic Data for Defect Detection", IEEE Robotics and Automation Letters, Vol. 3, No. 3, pp. 2616-2623, July 2018. DOI: 10.1109/LRA.2018.2820178

〔学会発表〕(計5件)

Louhi Kasahara Jun Younes, Miyagusuku Renato, Fujii Hiroimitsu, Yamashita Atsushi and Asama Hajime: "Substituting Spatial by Temporal Information in Clustering of Audio Data for Defect Diagnosis", 2018年度精密工学会春季大会学術講演会講演論文集, pp. 259-260, 2018年3月17日, 中央大学 後楽園キャンパス(東京都・文京区)。

Jun Younes Louhi Kasahara, Hiroimitsu Fujii, Atsushi Yamashita and Hajime Asama: "Clustering of Spatially Relevant Audio Data using Mel-Frequency Cepstrum for Diagnosis of Concrete Structure by Hammering Test", Proceedings of the 2017 IEEE/SICE International Symposium on System Integration (SII2017), 2017年12月13日, pp. 787-792, Taipei (Taiwan).

Jonghoon Im, Hiroimitsu Fujii, Atsushi Yamashita and Hajime Asama: "Multi-Modal Diagnostic Method for Detection of Concrete Crack Direction Using Light-Section Method and Hammering Test", Proceedings of the 14th International Conference on Ubiquitous Robots and Ambient Intelligence (URAI2017), pp. 922-927, 2017年6月30日, Jeju (Korea).

林 鍾勳, 藤井 浩光, 山下 淳, 浅間 一: "視覚センサおよび聴覚センサを用いたコンクリートひび割れの侵入方向の検

出", 映像情報メディア学会技術報告, Vol. 41, No. 4, pp. 85-87, 2017年2月18日, 関東学院大関内メディアセンター(神奈川県・横浜市)。

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕

○出願状況(計0件)

○取得状況(計0件)

〔その他〕

ホームページ:

<http://www.robot.t.u-tokyo.ac.jp/~fujii/research>

6. 研究組織

(1)研究代表者

藤井 浩光 (FUJII, Hiroimitsu)

東京大学・大学院工学系研究科・特任講師
研究者番号: 30781215

(2)研究分担者

なし

(3)連携研究者

なし

(4)研究協力者

浅間 一 (ASAMA, Hajime)

東京大学・大学院工学系研究科・教授
研究者番号: 50184156

山下 淳 (YAMASHITA, Atsushi)

東京大学・大学院工学系研究科・准教授
研究者番号: 30334957

林 鍾勳 (Im, Jonghoon)

東京大学・大学院工学系研究科

Jun Younes Louhi Kasahara

東京大学・大学院工学系研究科

柳原 好孝 (YANAGIHARA, Yoshitaka)

東急建設株式会社

中村 聡 (NAKAMURA, Satoru)

東急建設株式会社

高橋 悠輔 (TAKAHASHI, Yusuke)

東急建設株式会社