(様式6－2号)

学 位 論 文 内 容 の 要 旨

学位論文題目	Study of Defect Inspection System for Concrete Tunnel Lining Based on Image Processing Techniques (画像処理技術に基づくトンネル覆工コンクリートの 外観検査システムの研究)
氏　　名	NGUYEN KIM CUONG

The number of deteriorated concrete components of existing road tunnels has increased dramatically in many countries due to rapid aging. Therefore, the maintenance and management of existing concrete structures of the civil infrastructure system have become a major social concern worldwide. Especially, the existing tunnels were built over 50 years. To keep concrete components in good condition under all circumstances, the inspection plays an important role in the maintenance of infrastructure. Defect detection on concrete tunnel lining surface is one of the basic tasks of the inspection. One of the most frequently adopted inspection techniques is the visual inspection, which is carried out by inspector's observation. It has a number of limitations, such as the high labour costs associated with carrying out tasks, and inaccuracy due to subjectivity, safety, slow inspection speed and disruption to traffic.

This thesis describes a system, which is based on image processing techniques, to aid the visual inspection of tunnel lining. The system uses digital video cameras mounted on a steel framework which is capable of sliding from side to top of the inspecting vehicle to shoot the full surface of the tunnel lining. The device is cheap compared to other technologies, such as MIMM-R or infrared cameras. The purpose of the system is to detect the defects on the tunnel lining surface based on three following themes.

A layout panorama generation method: This research proposes an image acquisition device with a simple and effective structure that obtains sufficient image data for objective and precise quantification. Furthermore, image stitching software was developed to create large layout panorama from the tunnel lining surface images, making it easier to visualize a large view of the tunnel lining. To achieve this, a mosaicing technique consisted of image matching and stitching methods is proposed. In that, image matching method is detail presented in similarity metric such as sum of square difference (SSD), sum of absolute difference (SAD), normalized-cross correlation (NCC), zero mean normalized-cross correlation (ZNCC), curvature metrics (CUR), and mean curvature at the nearest neighbor pixels as well as the pixel being processed (CNP) to find correct matching points. Moreover, in the curvature metric, median filter is used for refinement to smooth image motion quantity (IMQ) in the consecutive image stitching process. Accordingly, an image stitching software is developed based on the proposed algorithm to create a layout panorama of the tunnel lining surface for assisting defect inspection. Moreover, experimental results for an actual tunnel demonstrate that the curvature measurement can match consecutive images accurately.

To create a crack map for tunnel lining surface, the author propose two approaches that are semi-automatic crack detection method and fully automatic crack detection method.

A semi-automatic crack detection method: It is difficult to extract crack pixels for all of image

based inspecting regions automatically because of irregularity of cracks and various complex conditions of noise concrete images. This research provides a semi-automatic crack detection method based on a collaboration between human and computer using interactive genetic algorithm to detect the cracks of each large-size concrete surface image.

Advantage of this approach is that inspectors can use the crack detection software to extract crack pixels without knowledge of expertise level of the image processing techniques. However, the results of the crack detection are so sensitive depending on user's practical skill. Therefore, the author also propose an automatic crack detection method to verify the accuracy and image processing time of the crack detection.

An automatic crack detection method: This approach is based on a supervise learning technique using genetic algorithm and an objective function to adjust the optimum parameter of the image processing techniques. The objective function is relied on the loss and noise ratio analysis.

Advantage of this approach is to use a specific parameter for detecting the cracks of all input images at the same time. Therefore the processing time is shorten significantly.

Disadvantage of this approach is to need the large training data for learning parameter adjustment. The automatic crack detection algorithm would be failed for some difficult crack detection cases such as narrow contrast, noises, and artifacts...

For the experimental results of 50 images with various environmental conditions and thin crack width, the average accuracy of the fully automatic crack detection method for testing data is 89.7% in pixel level. Meanwhile the average accuracy of the semi-automatic crack method for testing data is 91.4% in pixel level.

Moreover, the processing time of the semi-automated method and the fully automated method for the testing images is 30.5 minutes and 1 minute, respectively.

It is concluded that the semi-automatic method yields the higher accuracy. Meanwhile the fully automatic method achieves the effectiveness of the working time but the accuracy of crack pixel detection is needed in a further improvement.

5．の別紙3

学位論文審査の結果及び最終試験の結果報告書

(博士後期課程博士用)

山口大学大学院理工学研究科

報告番号	理工博甲　第　762　号	氏　名	NGUYEN KIM CUONG

最終試験担当者	主　　　査　河村圭 審査委員　進士正人 審査委員　多田村克己 審査委員　中村秀明 審査委員　藤田悠介

【論文題目】

Study of Defect Inspection System for Concrete Tunnel Lining Based on Image Processing Techniques
(画像処理技術に基づくトンネル覆工コンクリートの外観検査システムの研究)

【論文審査の結果及び最終試験の結果】

日本の道路トンネル（約1万箇所）は，その多くが高度経済成長期に建設され，高齢化や老朽化が顕在化している．また，トンネル点検は，上向きの苦渋作業であり，その自動化・省力化技術への期待が大きい．

これを背景として，第1章では，まず，トンネル点検の現状を整理し，トンネル点検の自動化また省力化に必要とされる主要な技術が，トンネル壁面全体を撮影した画像から変状を抽出・計測することを可能とする技術であることを明らかにした．また，その主要な要素技術を，「トンネル壁面撮影装置」，「撮影画像からの撮影画像展開図作成」，「撮影画像からのひび割れ抽出」とした．

第2章では，既存のトンネル覆工コンクリート外観検査手法と装置を網羅的に調査し，その特徴を明らかにした．さらに，本研究目的を，点検装置またシステムの操作に専門的な知識を必要とせず，十分な維持管理予算を有さない地方自治体でも導入が可能な外観検査システムの開発とし，その要件を整理した．

第3章では，「トンネル壁面撮影装置」の開発と「撮影画像からの撮影画像展開図作成」の研究を行なった．具体的には，デジタルビデオカメラを用いた車載型撮影装置によりトンネル壁面の動画を撮影し，このキャプチャ画像を結合することでトンネル壁面画像展開図を作成する撮影画像結合手法を研究した．さらに，本研究で開発した撮影装置にて，既存トンネルを撮影し，本研究で提案した画像結合手法の有効性を検証した．キャプチャ画像間の結合では，既存の領域ベースマッチング手法であるSSD法などを検討したが，画像結合エラー率が20%程度という十分な結合精度が得られなかった．そこで，キャプチャ画像間の重なり領域の画素値差分布の勾配変化量を類似度指標とした結合手法を新たに提案し，画像結合エラー率が1.0%未満を可能とした．さらに，結合エラーの補正手法を提案し，本研究で利用した撮影画像の範囲では，結合エラー率0%を実現した．

第4章では，「撮影画像からのひび割れ抽出」に関する研究を行なった．具体的には，タッチパネルを用いた抽出作業の効率化手法，さらに，画像処理手法と対話型遺伝的アルゴリズムを融合させた，ユーザが画像処理知識を必要としない視覚的な画像処理パラメータ調整を可能とする半自動抽出法を提案した．本手法の有効性の検証では，ユーザにより多少の差は見られたが，手書きによるひび割れ抽出作業に要する時間に対して，85%以上の時間短縮が示され，手書きでひび割れを抽出した場合と，同等の抽出精度を得ることができた．

第5章では，第4章に続いて，ひび割れ抽出の研究であるが，その研究目的を，完全自動抽出法の検討とした．具体的には，遺伝的アルゴリズムを利用して画像処理手法を最適化する完全自動抽出法の提案を行い，第4章で提案した半自動手法による，ひび割れ抽出結果と比較した．その結果，ひび割れ抽出作業は，30分の1程度の作業時間に短縮された．しかしながら，ひび割れ抽出の難易度が高い撮影画像に対し

ては，やや抽出精度が劣る結果となり，完全自動抽出実現の可能性と課題を示した．

第6章では，本研究の結論をまとめると共に，今後の展望として実用化への残された課題を示した．

本研究は，既存点検装置と比較して安価かつ簡易にトンネル壁面を撮影し変状図（ひび割れ図）を効率的に作成できるトンネル覆工コンクリート外観検査システムを構築するための要素技術の研究を行なったものであり，提案手法の実験結果は，実用化への発展に寄与することが期待できるものである．

公聴会では，学内外合わせて20名の参加者があった．また，①ひび割れ完全自動抽出手法の精度とその課題，②ひび割れ長さと幅の計測の必要性，③トンネル壁面撮影装置のカメラの配置や性能とひび割れ抽出への影響などに関する質問があり，いずれに対しても適切に回答がなされた．

以上より，本研究は独創性，信頼性，有効性，実用性ともに優れ，博士（工学）の論文に十分値するものと判断した．

論文内容及び審査会，公聴会での質疑に関する応答などから，最終試験は合格とした．

なお，主要な関連論文の発表状況は，下記の通りである（関連論文：4編，参考論文：なし）

【関連論文】

1) C.N. Kim, K. Kawamura, A. Tarighat : A Study On Semi-Automatic Concrete Cracks Detection Using Interactive Genetic Algorithm, Proceedings of the Japan Concrete Institute, Vol. 38, No. 1, pp. 2061-2066, 2016.

2) K. Kawamura, M. Yoshizaki, C. N. Kim, M. Shiozaki, H. Nakamura：トンネル壁面画像展開図作成における画像間の画素値差分布の勾配を利用した画像結合位置探索手法に関する研究，Journal of Japan Society of Civil Engineers, F3,Vol.73, No. 2, pp.I_188-I_200, 2018.

3) C. N. Kim, K. Kawamura, A. Tarighat, H. Nakamura : A Crack Detection Method For Concrete Infrastructures Based On Image Processing Technique And Genetic Algorithm, Proceedings of the Japan Concrete Institute, Vol. 40, No. 1, pp. 1785-1790, 2018.

4) C. N. Kim, K. Kawamura, A. Tarighat, and M. Shiozaki : Development of an Automatic Crack Inspection System for Concrete Tunnel Lining Based on Computer Vision Technologies, IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering, Vol.371, 2018. (Doi:10.1088/1757-899X/371/1/012015)

【参考論文】　なし