

セマンティックセグメンテーションを用いた斜張橋ケーブル外観の動画画像処理手法の構築

長崎大学大学院 学生会員 ○山口嵩生 長崎大学大学院 正会員 西川貴文
 株式会社長大 非会員 梯 誌修 長崎大学大学院 正会員 中村聖三

1. はじめに

斜張橋において最も重要な部材であるステイケーブルの点検は、図1のように被覆面の傷や剥離、汚れなどの変状の有無を高所作業によって目視で確認することが主であり、特殊な技術や高所作業車の利用を要する。そこで近年では点検の効率性や経済性、合理性を考慮して、ロボットによる動画画像の集録とその確認をもって直接目視による点検に替える技術開発が進められている。本研究では、斜張橋ケーブルの点検ロボットが集録する動画画像からケーブル外観の展開画像を作成し、さらに変状の種類や位置を検出する画像処理技術を構築することを目的とする。

2. 開発された斜張橋ケーブル点検ロボット

(1) 橋梁点検ロボットの概要と撮影方法

対象とするのは図2に示す斜張橋ケーブル点検ロボットである。搭載した4基のアクションカメラで、ケーブル表面全周の近接映像を4方向から撮影する。機体の移動は自律制御され、4系統の動画画像に加えて、コントローラユニットに搭載されるエンコーダにおいて、機体の移動速度の絶対値と、ケーブル下端と機体との間の距離が毎秒記録される。しかし、各カメラとエンコーダのタイムスタンプは独立しており、それらの同期処理が別途必要な仕様となっている。

(2) 既往のシステム

ケーブル表面を収録した各動画をもとに、直接確認するのに時間を要する。また、各動画の同期と、動画とエンコーダデータの同期の精度が画像相関法の精度で決定づけられるため、手法の安定性に欠ける。さらに、結合する際の結合対象領域（ウィンドウ画像）の抽出において手動で範囲の設定を行っていたため非効率的であり、ケーブル展開画像から変状領域の検出に時間を要していた。

3. 画像処理システムの全体構成

本研究では、エンコーダデータと動画のタイムスタンプを同期するために、動画データからケーブル上端到着地点を推定する方法を検討した。フレーム群から上端の特徴を検出する際に、画素の分類を行うセマンティックセグメンテーションを用いた。また、動画同士の同期では、撮影時に収録されるオーディオの相関を採ることで動画同士の同期を行った。展開図を作成する際に、結合するウィンドウ画像をフレーム画像から抽出する作業において、機体の位置とケーブルの位置関係をセグメンテーションを用いて自動的に推定し、対象範囲を抽出するシステムを構築した。変状領域の検出においては、ウィンドウ画像にセグメンテーションを行い、自動的に変状領域を検出する。また、ウィンドウ画像はエンコーダデータの位置情報を有しているので、それをもとに変状位置の推定を行った。これらの方法により、従来の手法では自動化できなかった処理や、時間を要する処理や作業の省力化を図った。

4. エンコーダデータと動画ファイルの同期

動画データ群の同期では、集録される各音声をもとに相互相関のラグから動画同士のタイムスタンプを同期

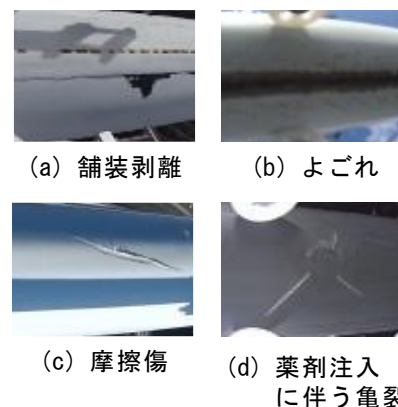


図1 斜張橋ケーブル損傷例



図2 斜張橋ケーブル点検ロボット

キーワード Bridge inspection robot, Image processing, Video processing, Semantic segmentation

連絡先 〒852-8131 長崎県長崎市文教町1-14 長崎大学大学院工学研究科 TEL 095-819-2626

した。動画データとエンコーダデータの同期は、動画像データから点検ロボットがケーブル上端に到達した時刻を同期する手法として、図3のようにセグメンテーションを行い、①主塔とケーブルの接合部であるキャップの領域が最大になる地点を最大と、②機体からケーブル先端までの画素数が最小となる地点をケーブル上端到達時刻とする2つの方法で検証を行った。本研究では、最も良好に同期を行えた①の手法を採用し、キャップが無い橋梁に関しては②の手法を用いる。これにより、動画データとエンコーダデータのタイムスタンプの同期を行い、エンコーダデータの位置情報をもとに空間的に等間隔に結合対象フレームを抽出する方法を採った。

5. ウィンドウ領域の抽出と画像補正

(1) ケーブル領域の抽出

抽出した各フレーム画像においてケーブル外観展開画像に使用する対象領域の抽出を行う。先行研究においては、ウィンドウ領域を手動で設定する方法が採られたが、本研究では、セグメンテーションを用いることでケーブル領域を特定し、図4のように点検ロボットの機体とケーブルの位置関係から対象範囲を自動的に決定して抽出を行った。

(2) 画像補正

視認性の観点から抽出した対象範囲を、ケーブルが曲面になっているため平面に展開する補正と、カメラによる歪みに対する補正を行い作成する。補正を行ったウィンドウ画像を図5に示す。

6. ケーブル変状識別に関する検討

ケーブル外観展開画像の作成により、ケーブル外観点検が大幅に効率化できるものの、図1のように、まれに発生する変状を発見するのには多くの時間と労力を要する。そこで、セマンティックセグメンテーションを用いて、変状領域を自動的に検出し、変状の種類やサイズ、位置の推定を行い、変状の発見に対する時間と労力の省力化を図った。図6のように、other, cable, damage, repair で領域を分割・識別する方法を採った。

7. 画像補正とケーブル外観展開図作成の手法の妥当性の検証

構築されたアルゴリズムをケーブル86本に適用したところ、14本で適用することができず、残りの72本すべてに適用でき、ケーブル外観展開画像を得ることができた。適用できなかった14本のケーブルの内訳としては、3本でエンコーダデータから降下時の対象範囲を抽出できず、他10本分でケーブルの上端到達時刻を推定することができなかった。これは、セマンティックセグメンテーションの精度や、キャップが映る範囲まで上昇することなく折り返したためキャップの領域が推定できなかったと考えられる。残りの1本分については、対象フレームの抽出後、書き込み時に何らかのエラーが発生した。このことから、実橋梁で検証した結果、85%程度で良好なケーブル外観展開画像を得ることができた。

8. まとめ

本研究では、ケーブル点検ロボットによる効率的な斜張橋ケーブル外観検査のための動画像処理の構築をセマンティックセグメンテーションを活用して行った。これにより、高速化・効率化・自動化・省力化を実現することができた。また、変状領域検出を自動化することにより、展開図から漏れなく変状領域を把握することができた。

参考文献

- 1) 株式会社長大「斜張橋ケーブル点検ロボット VESPINAE <https://www.chodai.co.jp/vespinae>



図3 セグメンテーション例

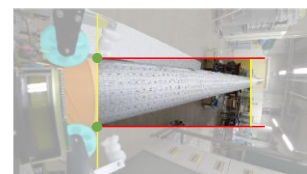


図4 対象範囲の抽出

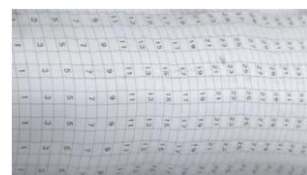


図5 ウィンドウ画像

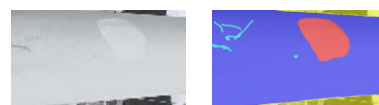


図6 変状領域分類例

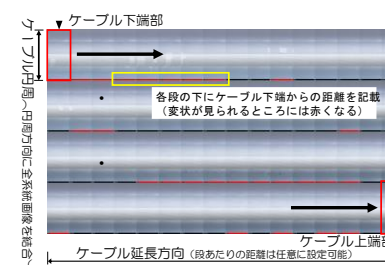


図7 ケーブル外観展開画像