

## セマンティックセグメンテーションを用いた 効率的なケーブル外観検査のための動画処理

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

### 1. 研究の背景・目的

斜張橋において最も重要な部材であるステイケーブルには、まれに図1のような変状が発生するが、その点検は高所作業による目視点検が主であり、特殊な技術や高所作業車の利用を要するため、専門技術者の確保や時間とコストがかかるといった課題がある。近年ではそれらの効率性や経済性、合理性を考慮して、ロボットで集録した動画像による目視点検を可能とする技術開発が進められている。しかしながら、集録した動画像を確認し、変状の箇所や位置を把握するのに長時間と労力を要し、未だ十分に効率的ではない。そこで、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。本研究で作成したシステムのフローチャートを図2に示す。

### 2. 斜張橋ケーブル点検ロボットの仕様

#### (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<sup>1)</sup>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。ケーブルの上端から下端まで下降する間の集録動画像が点検対象となる。機体の移動は自律制御され、4系統の動画像に加えて、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。ただし、各カメラとエンコーダのタイムスタンプは独立しているため、4系統の動画像と機体の移動記録は同期していない。

#### (2) 画像処理に関する技術的課題

斜張橋ケーブル点検ロボットによる撮影により、ケーブル1本あたり4つの動画ファイルが得られる。本研究では、各系統をそれぞれ「上面カメラ」、「下面カメラ」、「左面カメラ」、「右面カメラ」と記す。各系統の動画像のフレーム画像を延長方向へ合成することで、ケーブルの上面・下面・左面・右面の表面展開画像が各1枚得られ、さらにこれらを円周方向に結合することで、ケーブル1本の表面展開画像が作成される。ただし、一般的なフレーム画像の抽出は時間的に等間隔に静止画分割することで行われるが、点検飛行中の機体は移動の速度と方向が変動するため、重複領域が大きくなる。そのため、フレーム内の結合対象領域の結合処理を行う前に、重複領域の除去作業が必要となることが課題である。本研究では、エンコーダデータをもとに、静止画分割を経ずに動画像から直接、距離について等間隔、時間については非等間隔にフレームを抽出する。



図1 ケーブル変状例



図2 システムフローチャート



図3 ケーブル点検ロボット<sup>1)</sup>



図4 キャップ領域による推定

### 3. 空間的に等間隔なフレームの抽出

各カメラとエンコーダのタイムスタンプのそれぞれにおいてケーブル上端到達時刻を特定し、その時刻において同期を実現する。本研究では、動画像におけるケーブル上端到達時刻の特定にはセマンティックセグメンテーションを用いた2つの方法を採用した。1つ目の方法では、図4のようにケーブル上端のキャップの領域が最大になった時間を上端到達時刻とする。2つ目の方法では、図5のように機体のガイドローラからケーブル先端までの距離が最小となる時間を上端到達時刻とする。

一方、エンコーダデータにおいては、機体の位置情報からケーブル上端到達時刻が特定できるため、動画像との同期が可能となる。機体の位置情報から空間的に等間隔になるような時刻を抽出し、その時刻におけるフレームを各カメラから抽出する。これにより、空間的に等間隔なフレーム抽出することができる。

### 4. あおり補正・曲面補正

ケーブル展開図を作成するにあたり、各フレームの結合対象領域を抽出する必要がある。従来の手法では、結合対象領域を予め手動で定め、定めた領域に対し機械的に抽出を行っていた。本研究では図6のように、まずセマンティックセグメンテーションによる分類を行い、ガイドローラ (wheel) の位置に対するケーブルの直径を求める。結合対象領域の長さは、フレームの抽出間隔に基づいて、ケーブル径に対する延長方向の長さで決定する。ケーブル径と指定した延長方向の長さを抽出領域とし、元画像からその領域を抽出する。また、エッジを用いてケーブルの輪郭を検出し、径方向に対して同じ直径になるように内挿補間を行い撮影角度に対する補正を行った。さらに、ケーブルの曲面に対する補正も施し、曲面による面積のひずみを極力抑えた。それらをケーブルの延長方向および円周方向に結合したケーブル外観展開画像の作成例を図7に示す。

### 5. 変状領域の抽出

展開画像の作成により大幅に効率化ができるものの、細かな変状を見つけることは容易ではない。変状の見落としを防ぐ観点からも、本研究ではセマンティックセグメンテーションを用いて、結合対象領域に抽出された画像を変状領域に分類する。図8のようにクラス分けはCableとDamage, Repair, Otherの4分類で行う。変状 (Damage, Repair) が認められる画像には、位置情報を付加して別途保存する方法を採用した。

### 6. まとめ

本研究により、静止画分割を経ずに、動画像から直接、自動的かつ高速に結合対象のフレーム画像を抽出することが可能となり、従来の手法に対して処理時間を大幅に短縮し、自動的に結合処理を行う合理的な結合処理を実現した。また、フレーム画像内で分類を行い、基準となる範囲を決めることで結合対象領域の抽出を自動的に行えるようになった。さらに、その結合対象領域にセマンティックセグメンテーションを適用することで、まれに発生する変状領域を自動的に検出できるようになった。

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」<http://www.chodai.co.jp/vespinac>

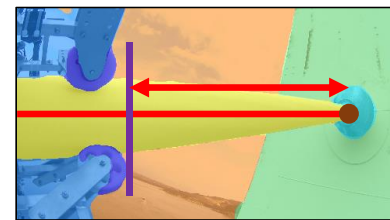


図5 ケーブル端までの距離による推定

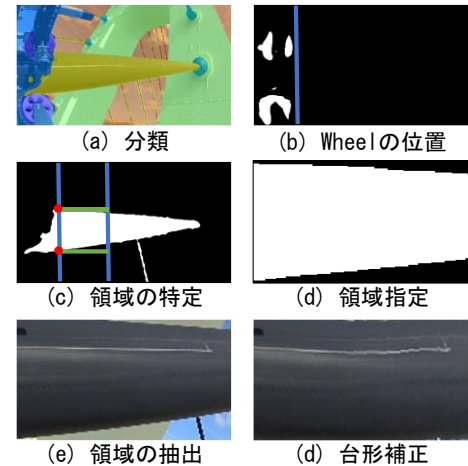


図6 結合対象領域の抽出

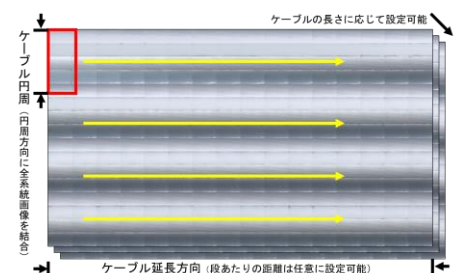


図7 ケーブル外観展開図の例

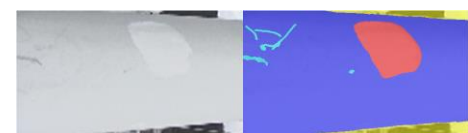


図8 左) 対象領域抽出画像  
右) 分類画像