

ケーブル点検ロボットによる効率的なケーブル外観検査のための動画像処理

長崎大学工学研究科 学生会員 ○山口嵩生
株式会社長大 非会員 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. はじめに

インフラ構造物の維持管理において、新技術の利活用による効率性・安全性の向上と省力化が求められている。本研究では、高度な専門技術が必要なうえに、費用と労力の負担が大きい斜張橋のステイケーブルの点検を高度化することを目的に、開発が進められている斜張橋ケーブル点検ロボットによる外観検査のための動画像処理システムを構築した。

2. ケーブル点検ロボットのデータ集録仕様

対象の図1に示すケーブル点検ロボット¹⁾では、ステイケーブルの外観検査のために、4基のカメラで4方向から撮影されるケーブル表面の近接映像が動画形式で記録される。機体の移動は一定速度を保つように自律制御され、移動速度および距離がエンコーダによって記録される。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おり、同期処理が別途必要な仕様となっている。また、機体の移動速度は風等の外乱によって変動する。

3. ケーブル外観画像の作成における課題

上記仕様のシステムに対して、4系統の動画像を合成することでケーブル外観画像を作成する。本研究では、各動画データを静止画分割したフレーム群をケーブル延長方向へ結合し、得られたケーブル上下面および左右面の外観画像をさらに円周方向に結合することで、ケーブル全周・全長の外観画像を作成することとした。ただし、映像系とエンコーダが同期していないため、①点検対象であるケーブルの上・下端間の部分映像の抽出と、②変動する移動速度に対応した効率の良い静止画分割が必要である。

4. 動画像処理によるケーブル外観画像の作成手法

(1) 手法の概要

本研究では、エンコーダデータを用いることで、一般的な静止画分割を経ずに動画像から直接、時間については不等間隔で、距離について等間隔に動画像フレームを抽出することで、静止画分割の処理負荷を大幅に軽減するとともに、不要な重複のないフレームを抽出するアルゴリズムを構築した。

図2にそのフローチャートを示す。

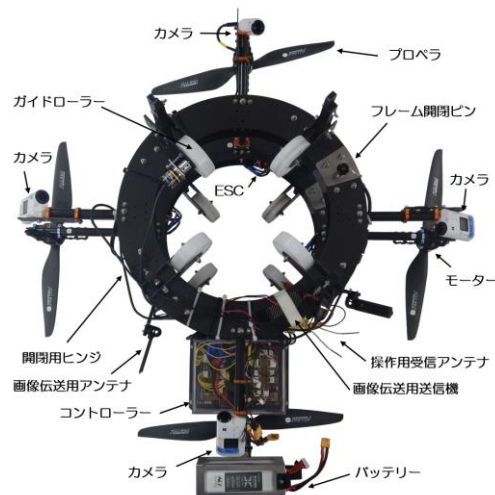


図1 ケーブル点検ロボット¹⁾

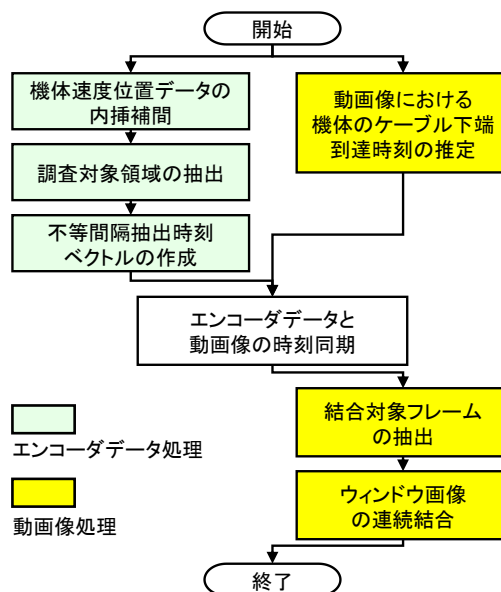


図2 データ処理の方法および流れ

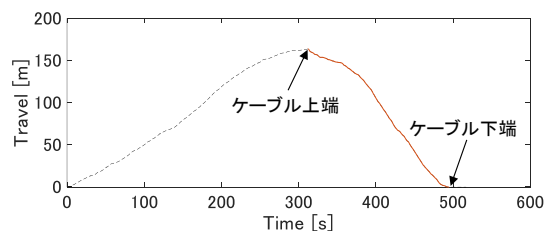


図3 機体の位置データと対象領域の抽出

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

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

(2) ケーブル上・下端と抽出対象フレームの時刻列の取得
エンコーダでは、機体の移動速度と位置データが毎秒1回の頻度で記録される。機体の毎秒の位置データを内挿補間により動画像のフレームレートに合わせて高分解能化したうえで、機体がケーブルの上・下端に位置した時刻と、その間における空間的に等間隔な機体位置を示す時刻列（時間について不等間隔）を取得する。ケーブル上端に該当するのは機体の位置データにおける最高到達点であるため特定が容易である一方、ケーブル下端到達時刻は、ウィールが空転することにより、必ずしも出発時と同じ位置を示さない。そこで、一定時間が経過する間、機体の運動変化がない場合に、機体がケーブル下端に到達したものとすることとした。ケーブル上・下端時刻の特定結果の例を図3に示す。同図の赤線は点検対象時間を表している。

(3) ケーブルの上端および下端フレームの特定

一方、動画像処理では、フレーム群からケーブル上端と下端到達時刻に対応するフレームをそれぞれ特定する。ここで、ケーブル上端を特定する方法として、ケーブル上端の形状にもとづいたパターン認識や移動量推定が考えられる。一方、ケーブル下端フレームの特定には、機体が停止していることにもとづく画像相関法の応用が考えられる。本報告では、画像相関法によって特定したケーブル下端フレームを基準点として、エンコーダデータの分析結果にもとづいて動画像と機体位置データを同期する方法を示す。動画像の最終フレームから、時間を遡る方向に任意の間隔でフレーム間の画像相関値を求め、その推移にもとづいてケーブル下端フレームを特定する。図4の赤丸は動画像におけるケーブル下端到達時刻の特定結果を例示し、図5は特定されたケーブル上・下端の動画フレームの例を示す。

5. 手法の適用結果

構築した不等間隔フレーム結合手法を実際の点検データに適用し、静止画分割を経ずに、動画像から直接、自動的かつ高速にケーブル外観画像を作成できることを確認した。

図6に階調値補正を経ないケーブル外観画像の一部を例示する。処理の効率性については、約10分間（約36,000フレーム相当）の動画像の場合、1系統（1カメラ映像）あたり約600フレームを自動抽出し、その処理時間は一般的な静止画分割処理を経る手法に対して約5%と大幅に短縮することができた。

6. まとめ

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動画像処理を実現した。

参考文献

- 1) 梯誌修, 藤木剛, 中村聖三, 山本郁夫, 中島貞治: 斜張橋ケーブル点検ロボットの開発と実橋への適用, 鋼構造論文集, No.113, pp.65-73 (2022.3)

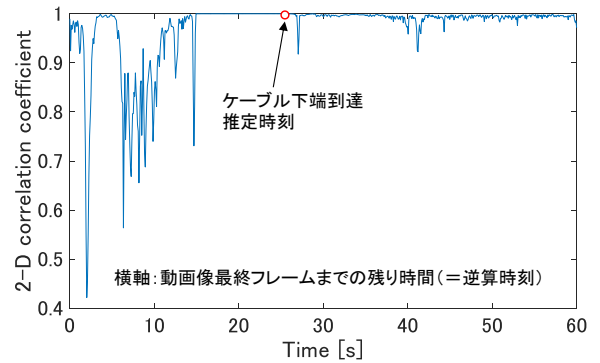


図4 動画像のケーブル下端到達時刻の特定例



(a) ケーブル上端



(b) ケーブル下端

図5 ケーブル上・下端フレームの特定結果例

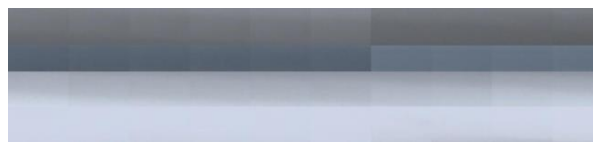


図6 ケーブル外観画像（未補正，一部）の例