

ステレオカメラを活用した線路巡視支援システムの基礎技術の開発

鉄道総合技術研究所 正会員 ○川崎 恭平

鉄道総合技術研究所 正会員 清水 惇

日本電気株式会社 非会員 齊藤 拓也

NEC ソリューションイノベータ株式会社 非会員 中島 昇

1. はじめに

線路の保守状態や線路沿線環境の変化等を総合的に把握することを目的として、徒歩または列車に添乗して線路巡視が行われているが、従事員の減少や高齢化、設備の老朽化を背景として、線路巡視等業務の効率化と線路設備の安全確保の両立が求められている。これらに対して現在、営業車の先頭に設置したステレオカメラの映像に画像解析を適用することによる線路巡視支援システムの開発を進めている。

本稿では、同システムの基礎技術として開発した自己位置推定技術及び同技術を活用した三次元計測技術、また夜間及び暗所においてこれらの画像解析技術が適用可能な映像取得手法について検討した結果について述べる。

2. 自己位置推定技術

カメラの姿勢・位置を推定する自己位置推定技術は、GPS の捕捉が困難な山間部等での走行経路の推定や後述する精度の高い三次元計測に有効である。

図1に本技術の処理手順を示す。

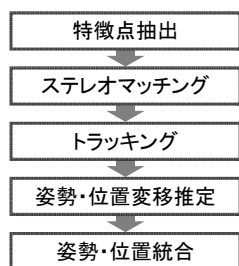


図1 カメラ姿勢・位置推定の処理フロー

(1) 特徴点抽出

カメラより取得されるシーンは撮影条件の変化により光学的、幾何学的変動を受けるため、単純に複数の映像フレームにおける被写体の一致をとることはできない。そのため、比較的一致のとりやすい物体輪郭や物体色変化の端点を特徴点として抽出する。

(2) ステレオマッチング

ステレオカメラより取得される左右映像に対して

(1)の特徴点抽出を行い、類似した特徴点をペアリングすることでステレオマッチングを行う。

(3) トラッキング

(1)で得られる特徴点を時間方向に追跡し、最新のフレームと直前のフレームの特徴点をペアリングすることでカメラの移動量を算出するトラッキングを行う。ここで、列車の移動量は前後フレームの時間差程度の短時間では大きく変化しないと仮定して、直前のフレームまでで推定された移動量から最新のフレームの位置を予測し、列車の可動範囲内で類似する特徴点をペアリングする。

(4) 姿勢・位置変移推定

ステレオマッチング及びトラッキングでペアリングした全ての特徴点から三次元点群を求め、その位置のズレが最小となるカメラの姿勢・位置を推定し、その結果を姿勢・位置変移量とする。

(5) 姿勢・位置統合

(4)の変移量を積分することで、カメラの姿勢・位置の推定結果とする。

以上の処理手順で得られる走行経路推定結果とGISの線路平面図を図2に示す。同図より、GPSの受信状態の変化により位置推定精度に変動が生じて、自己位置推定技術により走行経路の推定を補完できる可能性を確認した。

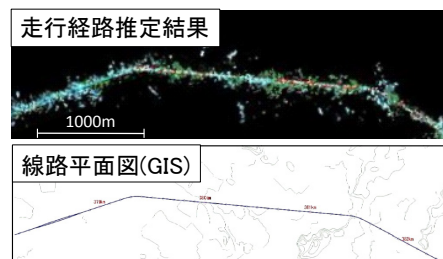


図2 自己位置推定技術

3. 自己位置推定技術を活用した三次元計測技術

精度の高い三次元計測は、沿線に存在する物体や地形の三次元情報を把握する上で重要であり、その

キーワード 線路巡視, ステレオカメラ, 自己位置推定, 三次元計測, 建築限界, 赤外線照明

連絡先 〒185-8540 東京都国分寺市光町 2-8-38 鉄道総合技術研究所 軌道管理 TEL042-573-7277

情報に基づいて建築限界支障物の検知等が可能となる。ここでは、自己位置推定で得られる姿勢・位置情報を適用して多視点で三次元計測（以下、多視点法という）を行うことで、1視点のみの三次元計測（以下、従来法という）に比べて、精度の高い計測を可能とした。具体的には以下の通りである。

ステレオ映像の三次元計測で得られる情報から三次元空間の構成を複数のフレーム（視点）で行い、自己位置推定技術で得られるカメラの姿勢・位置情報に基づいて、それらを統合処理する。これにより、多視点ステレオによる三次元空間が構成できる。ここで、統合処理は、複数のフレームの特徴点を対比することで、各フレーム間で近傍に存在すると認められる特徴点は統合し、そうでない特徴点は棄却する処理を実行している。これにより、密度の高い三次元空間が生成され、詳細な形状計測が可能となる。

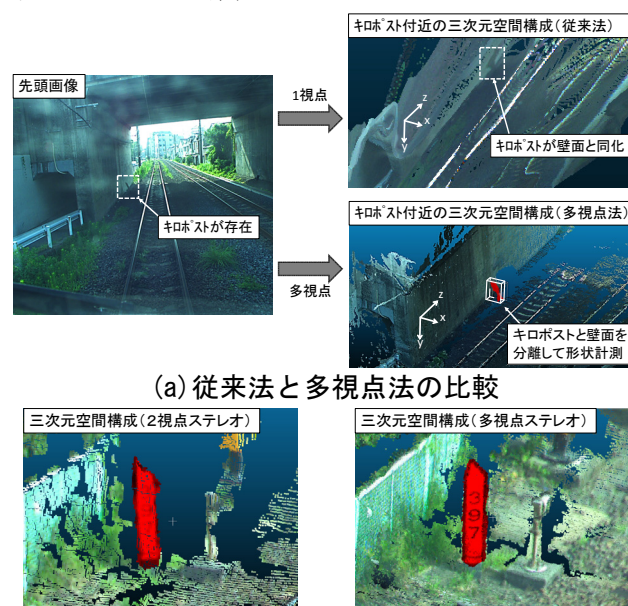
以上の処理手順で得られる三次元計測結果を図3に示す。図3(a)より、従来法による三次元空間構成はキロポストが壁面と同化し、広域で歪が発生しているのに対して、多視点法ではキロポストと壁が分離され、軌道や構造物の形状が従来法に比べて正確に復元できていることが確認できる。図3(b)に、視点数の増加が分解能に与える影響を2視点ステレオと多視点ステレオで評価した例を示す。同図より、多視点化によりキロポストの数字を鮮明に復元できることが確認できる。また、図3(a)の三次元空間に対して任意の範囲を設定し、範囲内に存在する物体を検出した結果を図4に示す。同図より任意の範囲内に存在するキロポストを検出できていることが確認できる。この範囲を建築限界とすることで、建築限界支障物の検知に活用できる。

4. 暗所における画像取得手法の検討

トンネル内や夜間等において画像解析が適用可能な映像を取得することは、トンネル内の異常等の把握に有効である。今回、試験的に軌陸車先頭に赤外線照明及びステレオカメラを設置し、昼夜及び暗所における映像を取得した。また、取得した映像に対して自己位置推定技術を適用して本手法を評価した。

本手法により撮影したトンネル内の画像を図5(a)に、昼夜に取得したそれぞれの映像に自己位置推定技を適用した結果を図5(b)に示す。図5(a)より、トンネル内において安定した映像が取得できることを

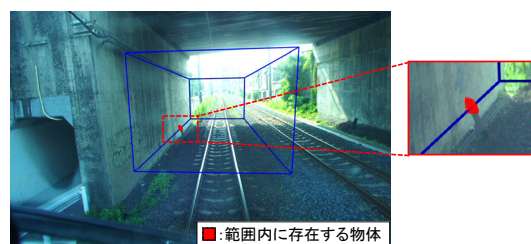
確認できる。また、図5(b)より、自己位置推定技術を適用して推定した走行経路が昼夜で概ね一致していることから、軌陸車の速度（20km/h程度）において、夜間及び暗所で取得した映像に同技術が適用可能であることを確認した。



(a) 従来法と多視点法の比較

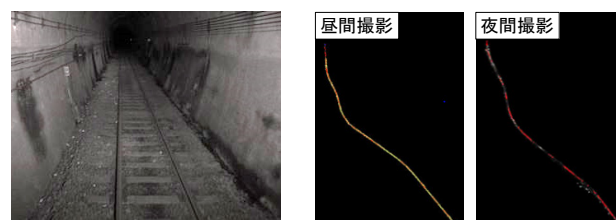
(b) 2視点ステレオと多視点ステレオの比較

図3 自己位置推定を活用した三次元計測技術



※建築限界よりも範囲を拡大した場合の検出結果

図4 任意の範囲内に存在する物体の検出結果



(a) トンネル内映像例

(b) 走行経路推定結果

図5 近赤外線を用いた画像取得手法

5. おわりに

営業車で取得したステレオ映像から、カメラの姿勢・位置を推定する自己位置推定技術及びそれを活用した三次元計測技術を開発した。また、赤外線照明を活用した画像取得手法について検討した。今後は、物体認識技術を応用して、特定の物体とキロ程を対応付けることによる自己位置推定技術の精度向上や異常等の自動抽出技術を開発する予定である。なお、本研究の一部は、国土交通省の鉄道技術開発費補助金を受けて実施した。