

トンネル内における照明認識による自己位置推定手法

東京大学

望戸 雄史

東京大学

正会員 ○早川 智彦

中日本高速道路株式会社

大西 偉允

東京理科大学, 東京大学

石川 正俊

1. はじめに

日本の高速道路は令和二年度末の時点での総延長 9,231.7km のうち供用開始から 30 年以上が経過した区間は半分を超えており、劣化したインフラの安全性維持に適切な修繕と更新が必要である[1]。トンネルに対しては近接目視および打音検査による詳細点検が 5 年に 1 度実施されているが、道路の規制や高所作業等が伴うため、利用者への影響や点検員の安全確保に課題を抱えている。更に、トンネル覆工のはく落は利用者に直接危険を及ぼす可能性があり、はく落に繋がるひび割れをより高頻度に検査できる技術が求められている。

一般的な道路巡回車による日常的なパトロール中にトンネル検査を可能とする技術として、著者らは道路巡回車に搭載可能なトンネル検査装置[2]を提案している。この装置は 100km/h で走行中にモーションブラーを補償しながら撮像を行い、2～5m 離れたトンネル天井部に対して幅 0.2mm のひび割れを発見することができる。その高い空間分解能のトレードオフとして画角が限られており、既知のひび割れを確実に捉えるためにはドライバーの運転による走行位置の変化に対して点検用カメラの向きを補償する必要がある。トンネル内では GNSS が使用できないため、ビジョンベースの自己位置推定を行い、リアルタイムで走行位置を取得して点検用カメラの向きを制御する。

トンネルには照明が設置されており、白線に似た特徴を持つ。近年では排ガス規制や EV 化によりトンネル内の空気や照明カバーが清浄に保たれ、照明の LED 化による調光制御により部分的に消灯されることもなくなったため、白線に代わる安定した特徴として利用できる。本研究では、車両前方の撮像画像からトンネル内の照明を認識することで自己位置を推定する手法を提案する。

2. 照明認識による自己位置推定

照明はトンネル天井部に路面から一定の高さで一列に設置されており、車両に近い箇所はほぼ直線と見なすことが出来る。これを白線認識のように 2 本の直線として検出する。水平面に対して角度を付けて設置された照明は路面上の白線と異なり短辺のエッジが横方向の微分フィルターで長辺と同等の強度で検出されてしまう。そこで、画像の左右にそれぞれ式1のような線形フィルターを使って長辺のエッジのみを得る。

$$F_L = \begin{pmatrix} 0 & -\alpha & 0 & 0 \\ \alpha & 0 & -\alpha & 0 \\ 0 & \alpha & 0 & -\alpha \\ 0 & 0 & \alpha & 0 \end{pmatrix}, F_R = \begin{pmatrix} 0 & 0 & -\alpha & 0 \\ 0 & -\alpha & 0 & \alpha \\ -\alpha & 0 & \alpha & 0 \\ 0 & \alpha & 0 & 0 \end{pmatrix} \quad (1)$$

こうして得られたエッジ画像の輝度が暗から明へ閾値以上で変化する点を特徴点として抽出する。この特徴点は外乱を含むため、その影響を除くために直線モデルフィッティングを行う。RANSAC を用いることで効率的に外乱を除外して、照明を少ない計算量でロバストに認識することが出来る。

自己位置推定には足立らによるカメラキャリブレーションを必要としない白線認識による自己位置推定手法[3]を照明に対して応用する。この手法では前方に向けたカメラの位置が左の照明を 0, 右の照明を 1 とした相対位置で求まるため、実際のトンネル内の寸法や各カメラの取り付け位置を考慮してひび割れを撮影するための角度を求める。

キーワード トンネル検査, 維持管理, 自己位置推定, 高速ビジョン, 画像処理, 車載型検査システム
 連絡先 〒125-8585 東京都葛飾区新宿 6-3-1 東京理科大学 研究棟 4 階
 総合研究院 石川グループ研究室 TEL03-5227-6276

3. 精度・安定性評価

提案手法の評価実験として、中央自動車道恵那山トンネルにおいて車両を交通規制内で停車させた状態と走行車線を巡航させた状態で自己位置推定を行い、精度と安定性の評価を行った。

精度評価は停車可能な規制内の3地点において、検査装置の測距センサーをトンネル側面に向けた計測値を真値として行った。自己位置推定結果は左右の照明間の相対的な位置であるのに対し、真値とした計測値はトンネルの壁面から測距センサーまでの距離であり、直接比較することはできない。しかし両者の合計は車両の位置に依らず一定となることが期待される。合計値はそれぞれ4.990m、4.972m、4.980mであり、数cmオーダーでの誤差となった。点検カメラの水平視野は5m先で52.8cmであり、点検には十分な精度と言える。

安定性評価は両者の距離をグラフで比較することで行った。測距センサーはトンネル壁面の凹凸や待避出入口を計測しており、自己位置推定に使用するには外乱の除去が必要となる。共通して大きく外れている箇所は非常駐車帯があり、照明認識が片側に2つの直線があることを考慮していないため不安定となった。これら以外では安定して推定できたと考えられる。



Fig. 1 直線として認識された照明の例

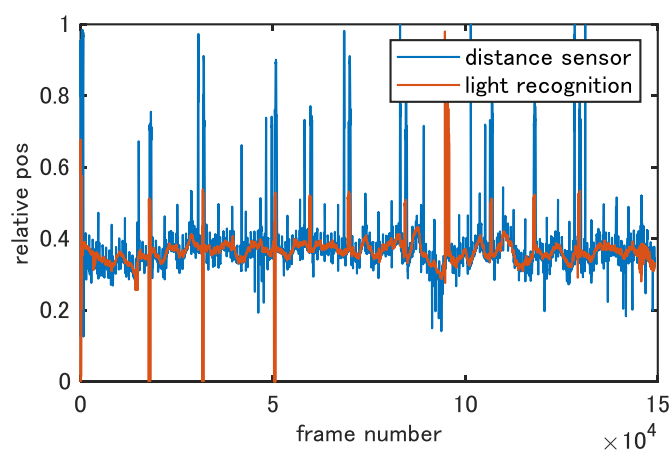


Fig. 2 照明認識と測距センサーの比較

4. まとめ

本研究では、高速で安定な照明認識による自己位置推定手法を提案した。実際のトンネルで評価実験を行い、その精度と安定性を確かめた。

提案手法は水平方向の自己位置のみを推定したが、認識した直線上の個々の照明に対してカウントやトラッキングを行うことで、進行方向の自己位置を高速に推定することも可能であると考えられる。

参考文献

[1] 社会資本整備審議会 道路分科会 国土幹線道路部会中間答申:

URL: <https://www.mlit.go.jp/report/press/content/001417808.pdf>

[2] Hayakawa, Tomohiko, Yushi Moko, Kenta Morishita, and Masatoshi Ishikawa: Pixel-wise deblurring imaging system based on active vision for structural health monitoring at a speed of 100 km/h, In Tenth International Conference on Machine Vision (ICMV 2017), vol. 10696, pp. 548-554. SPIE, 2018.

[3] 足立淳, 佐藤淳: 未校正カメラによる自車両位置推定, 電子情報通信学会論文誌 D, Vol.J89-D, No.1, pp.74-83, 2006

[4] T. Ogawa and K. Takagi: Lane Recognition Using On-vehicle LIDAR, 2006 IEEE Intelligent Vehicles Symposium, 2006, pp. 540-545