

## 鉄道車載カメラを用いた照明変動にロバストな自車位置推定法

○ 光岡聖悟<sup>†</sup>, 目加田慶人<sup>†</sup>, 村瀬洋<sup>††</sup>

○ Seigo MITSUOKA<sup>†</sup>, Yoshito MEKADA<sup>†</sup>, and Hiroshi MURASE<sup>††</sup>

<sup>†</sup>中京大学大学院情報科学研究科, <sup>†</sup>h10913m@st.chukyo-u.ac.jp, <sup>†</sup>y-mekada@sist.chukyo-u.ac.jp

<sup>††</sup>名古屋大学大学院情報科学研究科, <sup>††</sup>murase@murase.m.is.nagoya-u.ac.jp

<要約> 鉄道が、多くの人や物を運ぶ輸送機関である以上、その安全確保は重要な課題である。そのため、鉄道には様々な安全システムが用いられている。しかし、コストとの兼ね合いで、その精度が十分とは言えないシステムも多く存在する。本稿では、鉄道車両前方に設置し得られた車載カメラ展望映像を用いた自車位置の高精度な推定を目的とし、現在の映像と、過去に撮影された同一区間を走行して位置情報が付与されている映像と、フレーム単位でのマッチング手法を報告する。マッチングを行う各系列の映像ごとに、車速や天気、映っている物体が異なるため、単純な照合での実現は困難である。そのため、フレーム単位の対応付けを実現するために、映像フレームのデータ量圧縮と DP マッチングによる時間伸縮を許した対応付けを行った。また、輝度画像とエッジ画像を組み合わせるにより、各系列での照明変動に頑健なマッチングに成功し、本手法が非常に有用であることを示した。

<キーワード> 固有空間法, DP マッチング, 列車位置検知技術

### 1. はじめに

鉄道は、人や物を大量、かつ高速に輸送できる輸送機関として、我々の生活に欠くことのできない交通手段の一つとなっている。列車の運行が高密度である首都圏輸送や、様々な条件下で運行される地方路線においても、一度事故が発生すると甚大な被害が生じる。ITS 分野においては、自動車の事前安全、事後安全に対し、高度な視覚機能の実現が期待できる画像認識技術を応用した多くのシステムが報告[1,2]されており、実用化されたシステム[3,4]も多い。一方、鉄道分野でも様々な安全システムが用いられており、自動列車停止装置 (Automatic Train Stop) や自動列車制御装置 (Automatic Train Control) などの保安設備もその一つである。しかし、その精度を上げるためには、多くの地上設備や車上システムを必要とし、コストやメンテナンスの観点から好ましくない。

これに対して、車載カメラで撮影した映像を用いて自車位置が推定出来れば、車両の大幅な改造や、地上設備の増設・改良を必要とせずこの問題を解決することが可能である[5]。そこで我々は、

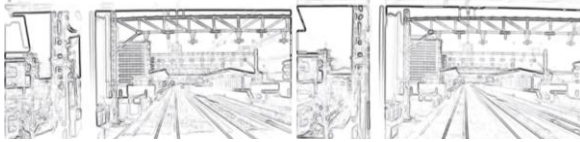
佐藤らが全方位映像を用いて、自動車の自車位置推定のために提案した手法[6]を基に、これを実際の鉄道展望映像で自車位置推定に適用できるよう改良してきた[7]。しかし、実際の展望映像での対応付けでは、局所的に大きな照明変動が存在する映像間で精度が下がることが確認されていた。本稿では、エッジ画像を用いて照明変動や局所的な背景の変化に頑健な自車位置推定法を報告する。

### 2. 手法概要

文献[7]では、各映像のフレーム画像を固有空間に投影し、DP マッチングによる映像間の対応付け手法を提案した。平均的には十分な精度が得られたものの、照明変動が大きい区間での映像間対応付けでは精度が下がることがわかった。そこで、照明変動の影響が低減されるエッジ画像を用いてこの問題の解決を試みた。図 1 では、同じ位置において、輝度画像とエッジ画像による位置合わせの結果を示す。輝度画像では影と太陽光の影響により、位置合わせにズレが生じているが、エッジ画像では、影と日向の境界線がエッジとして検出されているものの、正しく対応付けされているこ



(a) 輝度画像による対応付け失敗例



(b) エッジ画像による対応付け成功例



(c) 輝度画像による対応付け成功例



(d) エッジ画像による対応付け失敗例

図1 輝度画像とエッジ画像の対応付け結果

とがわかる。しかし、エッジ画像ではすれ違う電車の影響により対応失敗していることがわかる。そこで、本稿では、輝度画像とエッジ画像を組み合わせ利用する。

以下で、手法の各手順の概略を説明する。

## 2.1 映像の特徴次元圧縮

計算量の削減や高速化のため、対応付けを行う映像以外からランダムに抽出したフレーム画像に対して主成分分析を行った。固有値が大きい順にそれに対応する固有ベクトルを  $N$  個用い、学習フレーム画像や入力（テスト）画像を低次元の固有空間に射影して扱う事とした。このため、固有値の小さい固有ベクトルに対応するような、背景の変化による照明条件や、構造物の変動等の微細な変化の影響が低減される。

次に学習映像系列を、固有空間上での座標系列  $\{y_1, y_2, \dots, y_p\}$  を得る。ここで  $p$  は、切り出された映像のフレーム数である。



図2 鉄道に搭載したカメラ

## 2.2 DP マッチングによる映像間対応付け

学習映像と、様々な異なる時期に撮影された入力映像のフレームどうしを対応付けるために、2.1 で次元圧縮した映像間で、フレーム単位の対応付けを行う。まず、学習映像の固有空間上での座標系列  $\{y_1, y_2, \dots, y_p\}$  と、同じように  $q$  フレームの入力映像の座標系列  $\{y'_1, y'_2, \dots, y'_p\}$  を用いる。相違度の尺度として、固有空間上のユークリッド 2 乗距離

$$d(i, j) = \|y_i - y'_j\|^2 \quad (1)$$

を用いる。そして  $D(i, j) = d(1, 1)$  として漸化式

$$D(i, j) = \min \begin{cases} D(i-1, j) + \omega_1 \cdot d(i, j) \\ D(i-1, j-1) + \omega_2 \cdot d(i, j) \\ D(i, j-1) + \omega_3 \cdot d(i, j) \end{cases} \quad (2)$$

を再帰的に計算することで映像間の相違度  $D(p, q)$  を得る。  $\omega_1, \omega_2, \omega_3$  は相違度に対する重みであり、実験により決定する。  $D(p, q)$  は映像のフレーム数に依存するため、相違度は  $\bar{D}(p, q) = D(p, q)/n$  として正規化する。  $n$  は DP マッチングで選んだノード数である。

また、各系列間における照明変動の影響を考え、輝度画像と照明変動による影響の少ないエッジ画像を組み合わせ利用した。エッジ画像に対しても 2.2 と同様の処理を行い、  $\{z_1, z_2, \dots, z_p\}$  と  $\{z'_1, z'_2, \dots, z'_q\}$  を得る。最終的な相違度として、画像間の輝度にあたる距離とエッジ画像による距離の線形和である次式を用いた。

$$d(i, j) = \alpha \|y_i - y'_j\|^2 + (1 - \alpha) \|z_i - z'_j\|^2 \quad (3)$$

なお、  $\alpha$  は輝度画像とエッジ画像の比率を決めるための定数である。

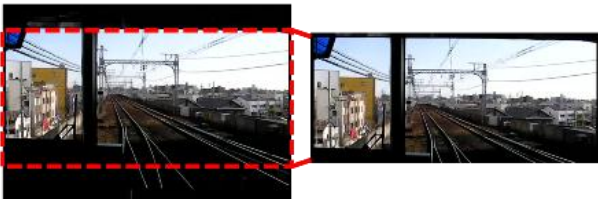


図3 学習サンプル画像の切り出し

表1 従来手法と提案手法の対応付け結果

	Intensity	Edge	Intensity + Edge
Accuracy [%]	80.7	83.9	86.1
Average [frame]	2.04	1.66	1.48
S.D. [frame]	1.44	1.30	1.23
Maximum err.[frame]	56	46	40

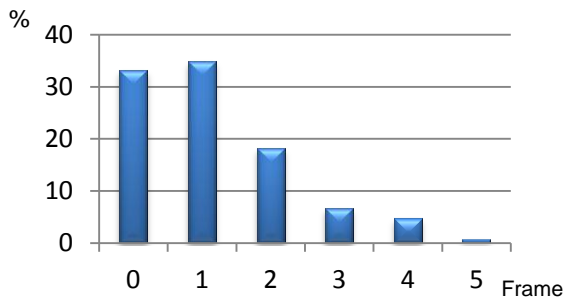


図4 映像間対応付け結果

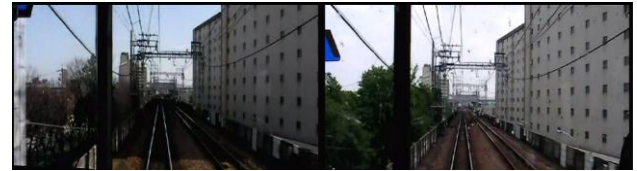
### 3. 実験および考察

図2に示すように、鉄道車両の客室前方にカメラを設置し、季節(夏と冬)や天候が異なる様々な時期に、同一経路を3日にわたって撮影し、合計8系列の展望映像を取得した。学習サンプルは全映像8本のうち、対応付けには用いない系列の映像から無作為に抽出した2800フレームを用いた。映像には運転台が映り込んでいるため、図3のように画像中心部分のみに切り取って740×250pixelを対象領域として処理を行った。映像のフレームレートは30frame/secであり、フレーム画像を線形補完を用いて40×10画素に圧縮した。固有空間次元数 $N$ は20次元とした。

エッジ検出では、ガウシアンフィルタを施した後に、Prewittの1次微分フィルタでエッジ検出を行なった。これには、局所的な背景の変化による影響を低減させるだけでなく、車両の揺れなどによるカメラの位置ずれの影響を低減させるため



(a)



(b)

図5 映像間対応付け成功例

ある。

2.2のDPマッチングによる映像間の時間方向の対応付け精度を目視により確認した。映像間対応付けの評価として、正解フレームから何フレームずれているかという、フレームのずれで評価し、従来法と提案手法での対応付け成功率、ずれの平均、標準偏差、フレームのずれの最大値を表1に示す。提案手法の対応付け結果として、正解フレームから何フレームずれているかという、フレームのずれの累積で評価し、その結果を図4に示す。縦軸が全フレーム中の割合であり、横軸が正解フレームとのずれである。誤差が2フレーム以下であった割合は86.1%であり、良好な結果を得たといえる。撮影区間の最高速度が50km/h程度であるため、この基準は位置測定誤差が1m以下であることとなる。図5のようにすれ違う列車や、天候・季節による背景の変化にも影響されることなく、映像間の対応付けが成功しており、本手法が有効であることが示せた。しかし、図6のような局所的に照明変動が大きなフレーム間では対応付けの精度が低下する。これは、撮影時期の違いによる太陽光の影響により、エッジ検出においても影の時と日向の時の検出されるエッジの違いが大きく影響していると考えられる。今後は、このような局所的に照明変動が大きいフレーム間における対策と、対応付け精度の高精度化が課題として挙げられる。図7に本手法と従来手法により対応付けられた結果を、約500フレーム間隔で間引いた映像系列を示す。

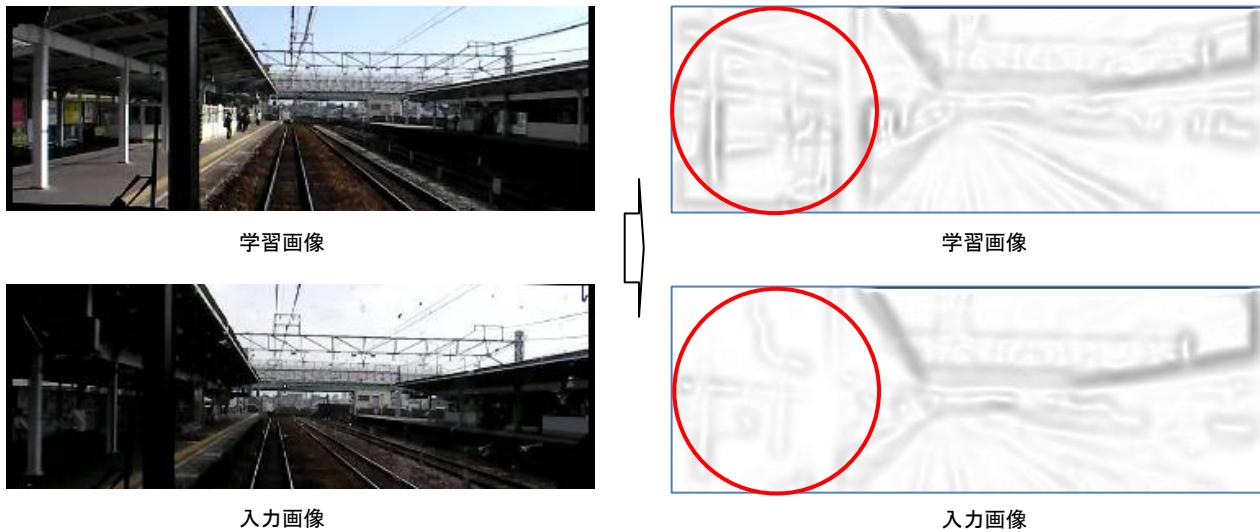


図 6 同一地点における局所的な照明変動

#### 4. むすび

本稿では、高精度な列車位置検知技術の構築に向けて、異なる時期に撮影した鉄道展望映像を用いて、異系列映像でのフレーム間の対応付けを行い、照明変動に頑健で高精度に実現する方法を提案した。列車位置検知精度に大きく影響を与える、映像間の対応付け精度は良好であり、すれ違う列車や天候・季節の違いにも影響されず、高精度な対応付けができたと言える。しかし、局所的な明暗の差が大きい映像間では、精度が低下する場合もあった。今後は、さらなる局所的な照明変動に対応するための改良や、リアルタイム映像間照合のための端点フリーDPの実装が課題となる。

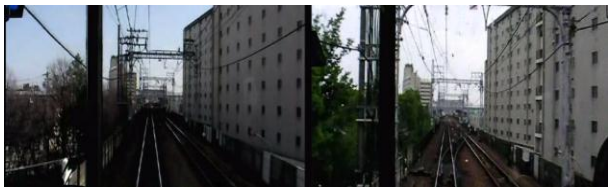
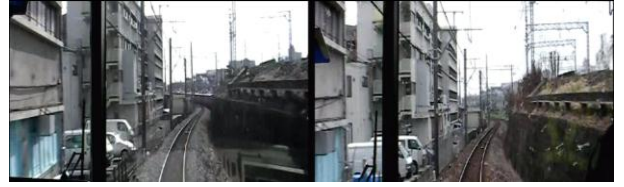
**謝辞** 日頃より熱心に討論頂く中京大学目加田研究室諸氏に深く感謝する。また、鉄道車載カメラ展望映像撮影にご協力頂いた、名古屋鉄道の皆様に深く感謝致します。本研究の一部は、JST 戦略的創造研究推進事業 CREST および科学研究費補助金による。本研究では、画像処理に MIST ライブラリを使用した。

(<http://mist.murase.m.is.nagoya-u.ac.jp/>)

#### 参考文献

- [1] 望月大介, 矢野良和, 橋山智訓, 大熊繁, “車載カメラによる歩行者検出のための背景除去及びアクティブ探索を用いたテンプレートマッチングの高速化”, 信学論 (D-II), Vol. J87-D-II, No.5, pp.1094-1103, March, 2004.
- [2] M. Koyamaishi, H. Sakai, T. Fujii and M. Tanimoto, “Acquisition of position and direction of in-vehicle camera forHIR System”, Proc. IEEE Intelligent Vehicles Symposium2004, pp.848-853, June, 2004.
- [3] 本田技研工業 (株), 技術紹介,  
<http://www.honda.co.jp/safety/technology/car-safety/main-technology/night/index.html>
- [4] 富士重工業 (株), 技術紹介,  
<http://www.subaru.jp/eyesight/eyesight/>
- [5] 水間毅, 吉永純, 工藤希, “鉄道における運転状況記録装置について” IEICE technical report 106(615) pp.5-8 2007032
- [6] 佐藤准嗣, 高橋友和, 井手一郎, 村瀬洋, “GPS 座標付き全方位映像群からの市街地映像マップの構築と街並変化の検出” 信学論 Vol.J90-D No.4 pp.1085-1095, Apr. 2007
- [7] 光岡聖悟, 目加田慶人, 村瀬洋, “鉄道車載カメラを用いた高精度位置検知技術の開発” SSII2010





(a) 従来手法による対応付け結果

(b) 本手法による対応付け結果

図 7 映像間対応付け結果