

鉄道車載カメラを用いた高精度位置検知技術の開発

Train Position Estimation by Corresponding The Past and The Present Image

光岡聖悟[†]， 目加田慶人[†]， 村瀬洋^{††}

Seigo Mitsuoka[†], Yoshito Mekada[†], Hiroshi Murase^{††}

[†]中京大学大学院情報科学研究科 ^{††}名古屋大学大学院情報科学研究科

[†]Graduate School of Information Sciences, Chukyo University

^{††}Graduate School of Information Sciences, Nagoya University

E-mail: h10913m@st.chukyo-u.ac.jp

Abstract

鉄道は多くの人や物が行きかう輸送機関であり，その安全確保は重要な課題となる．鉄道には様々な安全システムが既に用いられているが，メンテナンスやコストとの兼ね合いで精度が十分ではないものもある．本稿では，鉄道車両前方に設置した鉄道車載カメラから得た現在の映像と，同区間の位置情報が付与された映像とをフレーム単位でマッチングすることにより，自車位置を推定する手法を報告する．区間ごとに，車速や映っている物体の異なる各映像系列間で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．駅舎内の番線確認のために，各番線の映像特徴と現在の映像の映像特徴との類似度比較に基づく手法を検討した．本報告では，N ゲージ鉄道模型でのシミュレーション実験とともに，実際の鉄道車載カメラ映像を用いて実験を行い，その有用性を示す．

1 はじめに

鉄道は，人や物を大量，かつ高速に運ぶことが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ものの一つとなっている．列車の運行が高密度である現在の運行形態においては，一度事故が発生すると，甚大な被害が生じる．このため，鉄道には安全輸送を実現するための多くの設備が備わっている[1]．ループコイルによる自車位置の計測もその一つである．その他にも，自動列車停止装置(Automatic Train Stop)や自動列車制御装置(Automatic Train Control)に代表される様々な保安設備があるが，安全確認に関しては，運転士の目視に依存しているのが現状である[2]．画像情報を用いた安全技術も多数あるが，画像情報を目視することにより人が判断するものがほとんどである．また，鉄

道の安全輸送には，列車や車両の位置を検知する，列車位置検知技術の精度が大きく影響する．現在の精度は区間単位(数百メートル)であり，十分とは言えない．最近では GPS による列車位置検知技術の精度向上も検討されているが，普及型 GPS には5m以上の測定誤差が存在する．また，トンネルが多い区間などでは，利用できないという課題が残る．さらに，列車位置検知技術の精度を上げるためには，多くの地上設備を必要とし，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，鉄道車載カメラで撮影した映像を用いてフレーム単位の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．さらに，2005年4月25日に発生した福知山線列車脱線事故を受けて，運行状況記録装置(鉄道車載カメラ)の設置が義務付けられたことから[3]，鉄道車載カメラ映像の利用は現実的になりつつある．

本報告稿では，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[4]を基に，これを電車車両の自車位置推定と番線確認に適用できるよう改良し，鉄道模型で撮影した映像に適用した結果と，実際の鉄道展望映像(図1)での自車位置推定の結果を報告する．



図1 実際の鉄道車載カメラ映像



図 2(a) 車載カメラ



1 番線走行 2 番線走行

図 2(b) 駅区間での映像の例



図 3 鉄道に搭載したカメラ

2 映像収集

本研究では，N ゲージ鉄道模型の映像と，実際の鉄道の展望映像を以下の方法で取得した。

2.1 N ゲージ鉄道模型

N ゲージ鉄道模型の前方にカメラを設置し，大規模 N ゲージ模型の同一コースを様々な条件で撮影した映像を使用した。図 2(a)のように鉄道模型の車両前方にカメラを設置し，他車両も走行している 1 周約 15m のコースを異なる自車速度で撮影した。番線確認のために図 2(b)のような駅舎区間を対象に，1 番線を走行させた映像と，2 番線を走行させた映像を撮影した。同一区間 30 本分の映像の中から 1 番線走行，2 番線走行の映像各 1 本ずつを 1 組のデータとし，10 組のデータで検証を行った。

2.2 実際の鉄道展望映像

実際の鉄道展望映像については，図 3 のように客室前方にカメラを設置し，展望映像を取得した。同一区間を撮影日時や天気などが異なる条件で撮影を行い，映像を取得した。同一区間で撮影した全 6 本で検証を行った。番線確認のための異なる番線での映像は，取得が困難であったため，番線確認は本稿では行わないものとする。

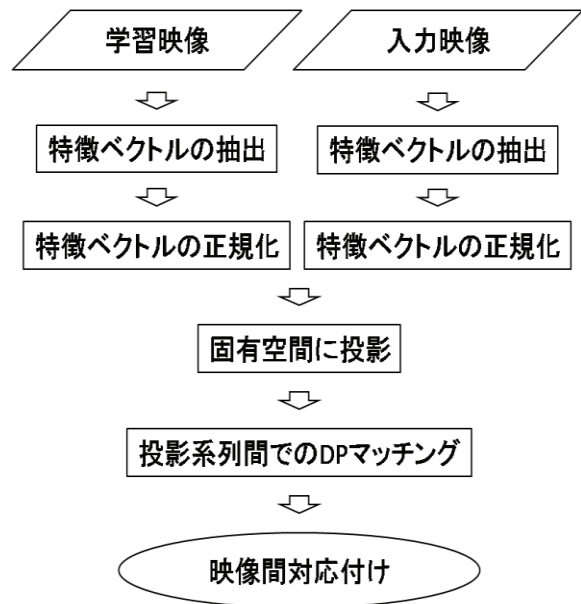


図 3 映像間対応付けの手順

3 自車位置推定法

3.1 映像の特徴次元圧縮

計算量や使用メモリ量の削減のため，すべての映像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(図 3)。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 $\{\mathbf{y}_1, \mathbf{y}_2, \dots, \mathbf{y}_p\}$ 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。

3.2 DP マッチングによる映像間対応付け

学習映像と，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，次元圧縮した映像間でフレーム単位の対応付けを行う。処理手順を図 3 に示し，以下で詳しく説明する。学習映像の固有空間上での座標系列 $\{\mathbf{y}_1, \mathbf{y}_2, \dots, \mathbf{y}_p\}$ と，同じように q フレームの入力映像の座標系列 $\{\mathbf{y}'_1, \mathbf{y}'_2, \dots, \mathbf{y}'_q\}$ 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

$$d(i, j) = \|\mathbf{y}_i - \mathbf{y}'_j\|^2 \quad (1)$$

を用いて映像間の DP マッチングを行う。そして $D(1,1) = d(1,1)$ とし，漸化式

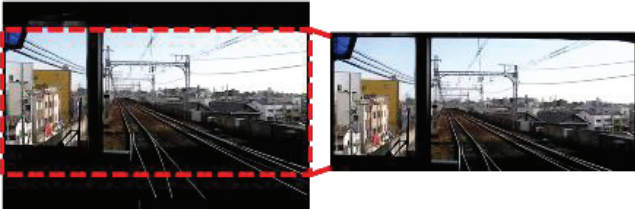


図4 学習サンプル画像の切り出し

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

を再帰的に計算する。

DP マッチング後の累積相違度を映像間の相違度 $D(p, q)$ とする。 $D(p, q)$ は映像のフレーム数に依存するため，正規化された相違度は $\hat{D}(p, q) = D(p, q) / n$ とする。 n は DP マッチングで選んだノード数である。

3.3 番線確認

現在の列車位置検知技術では，列車が駅のどのホームに進入・通過したのかという番線確認が出来ない。GPS を用いた番線確認なども現在検討されているが，一般的な普及型 GPS の測定平均誤差は条件の良い場合でも 5m 以上であり，番線確認では利用できない。

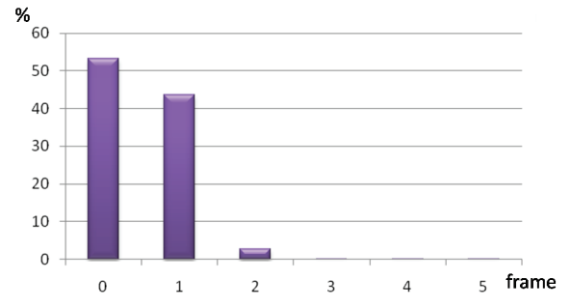
そこで，N ゲージ鉄道模型を利用して上で求めた DP マッチングの相違度の大小を比較し，画像情報のみでの番線確認を行った。具体的には，1 番線を通じたときの p_1 フレームの学習映像との相違度 $\hat{D}(p_1, q)$ と同じく，2 番線を通じたときの p_2 フレームの映像との相違度 $\hat{D}(p_2, q)$ の値が小さい方の番線を通じたしていると判定することで実現した。

4 実験および考察

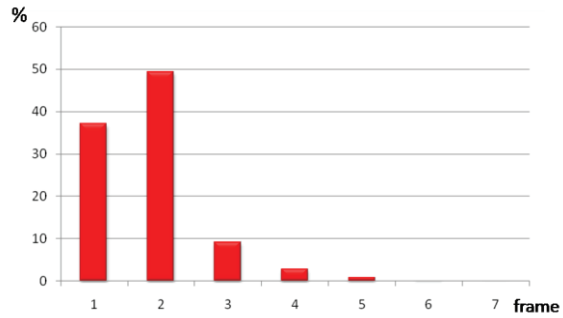
N ゲージ鉄道模型で使用した実験では，鉄道車載カメラ映像 (740×480pixel) を用いて行った。2.1 で取得した学習サンプルは，全 10 組の中から無作為に抽出した 2000 フレームを固有空間生成のための学習サンプルとした。

実際の鉄道展望映像を使用した実験では，2 日にわたって撮影した鉄道車載カメラ映像 (740×480pixel) を用いて行った。学習サンプルは全映像 6 本の中から無作為に抽出した 500 フレームを学習サンプルとした。鉄道展望映像には運転台が映り込んでいるため，図 4 のように画像中心部分のみに切り取って用いた。

N ゲージ鉄道模型と実際の鉄道展望映像共にフレームレートは 30frame/sec であり，圧縮次元数 N は 20 次元とした。



(a) N ゲージ模型電車



(b) 実際の鉄道展望映像

図5 正解フレームとのずれ



(a)



(b)

図6 映像間対応付け成功例

4.1 映像間対応付け

3.2 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。結果を図 5 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。同図からわかるように，N ゲージ模型電車では誤差が 1 フレーム以下であった割合は 91.8%，実際の鉄道展望映像を使用した場合は 86.4% であり，共に良好な結果を得たといえる。

N ゲージ鉄道模型では，背景の物体の移動は少ないが，撮影カメラの仕様で定常的にノイズが入っている。しかし，マッチング結果は最大でも 5 フレームのずれであり，良好な結果を得た。図 6(a) のように映像中のノイズの影響や，すれ違う電車・背景(見物人)にも影響さ

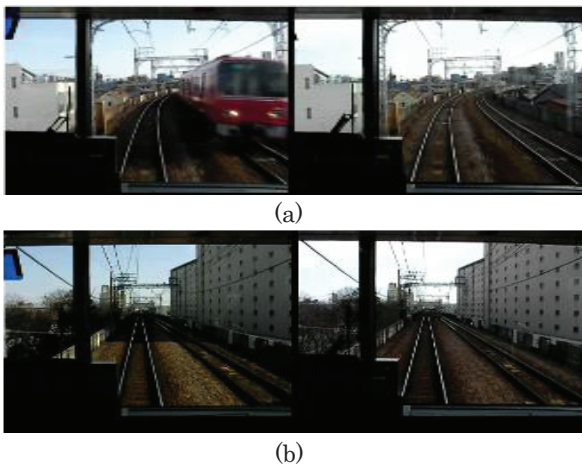


図7 映像間対応付け成功例

れず、マッチングできた。さらに、図 6(b)のようにトンネルの中で外界情報がほとんどないような場合においても、映像間の対応付けが成功していた。

実際の鉄道展望映像では、図 7(a)のようにすれ違う電車・背景(影)にも影響されずマッチングができた。フレームのずれは 86.4%が 1 フレーム以下、最大でも 7 フレームであった。1フレームの誤差とは時速 80 km/h のときに 0.74mであり、高い対応付け精度が得られたことになる。また、図 7(b)のように多少の天候の違いや、撮影時期の違いなど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、実際の鉄道にも本手法が有効であることが示せた。図 9 に対応付けられた結果を約 50 フレーム間隔で間引いた映像系列を示す。

4.2 番線確認

N ゲージ鉄道模型による番線確認については、全ての映像系列で番線の識別ができた。背景による変化や、車両速度による影響も受けず良好であった。図 8 に、映像間での時系列の短時間相違度の例を示す。1 番線と 2 番線の学習映像に対し、駅区間では相違度が連続的に大きくなっていることが読み取れる。入力映像がどちらの番線を通じたのかが、グラフ中の駅区間での各映像の相違度から識別できる。

本稿では、実際の鉄道展望映像での番線確認を行っていないが、N ゲージ鉄道模型の実験結果から、駅舎区間における番線確認が可能であると予想される。

5 むすび

本稿では、列車位置検知技術・在線システムの構築に向けて、異なる時期に撮影した鉄道模型の映像と実際の鉄道展望映像を用いて、異系列映像でのフレーム間マッチングを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、映像間のマッチング精度は良好であったと言える。しかし、局所的な

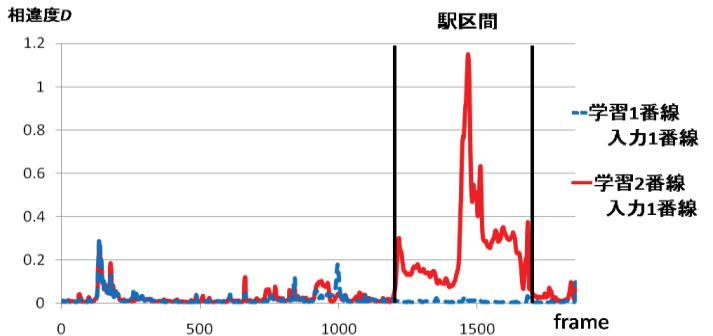


図8 時系列での映像間の相違度

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。実際の鉄道展望映像に適用しても、すれ違う列車や、多少の天候の違いにも影響されず、マッチングができたと言える。次に、駅舎区間の見え方の違いを学習することにより、映像間対応付けの際の相違度から、番線確認が可能であることを確認した。

今後は、実際の鉄道展望映像での番線確認や、様々な照明変動に対応するための改良を予定している。また、リアルタイム映像間照合のための端点フリーDP の実装を予定している。

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、N ゲージ鉄道模型の鉄道車載カメラ映像を提供して頂いた、名古屋市交通局の皆様にも深く感謝致します。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も深く感謝致します。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] 若杉 健一, 阿部 紘士, 阿部 健一, “画像情報を用いた鉄道運行監視支援システム” 情報処理学会研究報告. ITS, [高度交通システム] [収録刊行物詳細] 2000(83) pp.25-30 2000 0918
- [2] 長峰 望, 鶴飼 正人, “列車前方映像を用いた徐行予告信号機の認識手法” 鉄道総研報告 RTRI report 23(1) pp.33-38 2009/1 研友社
- [3] 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 20070321
- [4] 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

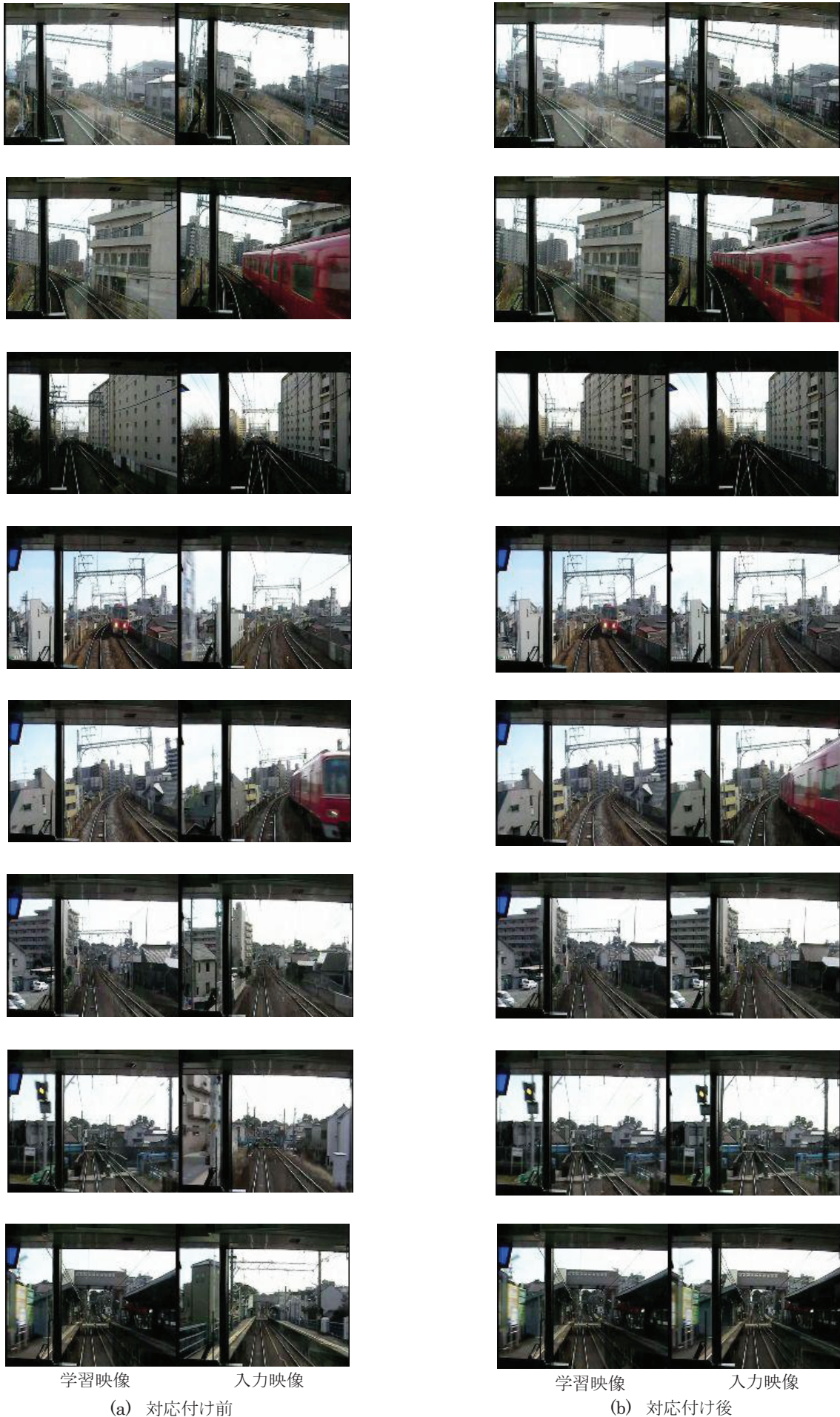


図9 DP マッチング結果