

鉄道車載カメラを用いた映像間照合に基づく電車在線システムの検討

○ 光岡聖悟[†], 目加田慶人[†], 鳥脇純一郎[†], 村瀬洋^{††}

[†] 中京大学大学院情報科学研究科 〒470-0393 愛知県豊田市貝津町床立 101

^{††} 名古屋大学大学院情報科学研究科 〒464-8601 愛知県名古屋市千種区不老町

E-mail: [†] h10913m@st.chukyo-u.ac.jp, [†] {y-mekada, jtoriwak}@sist.chukyo-u.ac.jp

^{††} murase@is.nagoya-u.ac.jp

<要約> 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, 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のフレーム単位のマッチングにより, 自車位置を推定する手法に関する初期的検討を報告する. 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. プラレール電車・N ゲージ鉄道模型でのシミュレーション実験により, 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, 在線システム, 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, 鉄道には安全な運行を実現するためのシステムが多く備わっている[1]. ループコイルによる自車位置の推定もその一つである. その他にも, 自動列車停止装置 (ATS) などの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, 鉄道の安全運行には, 列車や車両の位置を検知する, 列車位置検知技術が大きく影響する. しかし, そ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, 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[3]. 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を報告する.

2. 自車位置推定法

2.1 映像収集

本研究では, 鉄道模型車両の前方にカメラを設置し, 研究室内や大規模 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 1 (a) のようにプラレール列車前方にカメラを設置し, 研究室内に設けた 1 周約 10m のコースでの実験においては, 番線確認のために図 2 のような駅舎を設け, 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. 照明条件やレール脇の物体を変えるなどして撮影した 50 組のデータを収集した.

N ゲージ鉄道模型についても, 図 1 (b) のように列車前方に設置されたカメラを用い, 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. 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.

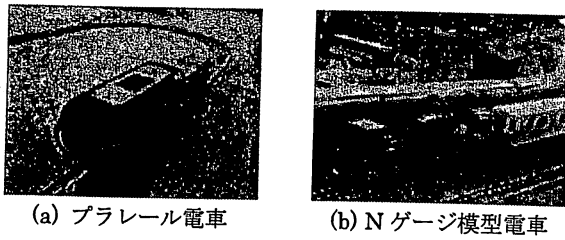


図1 車載カメラ設置の様子

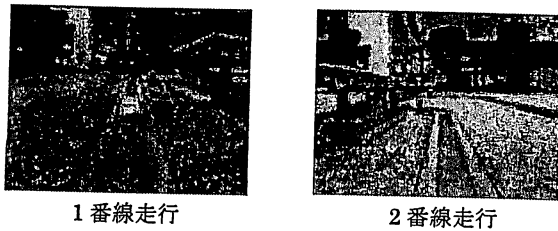


図2 駅区間での映像の例

2.2 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 $\{y_1, y_2, \dots, y_p\}$ 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。

2.3 DP マッチングによる映像間対応付け

学習映像(1番線走行)と、異なる時期に撮影された入力映像(1番線走行)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 $\{y_1, y_2, \dots, y_p\}$ と、同じように q フレームの入力映像(1番線走行)の座標系列 $\{y'_1, y'_2, \dots, y'_q\}$ 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距離 $d(i, j) = \|y_i - y'_j\|^2$ を用いて映像間の DP マッチングを行う。DP マッチング後の累積相違度を映像間の相違度 $D(p_1, q)$ とする。 $D(p_1, q)$ 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 $\hat{D}(p_1, q) = D(p_1, q)/n$ とする。 n は DP マッチングで選んだノード数である。これと同じ処理を、番線確認のために用意した駅通過経路が異なる2番線走

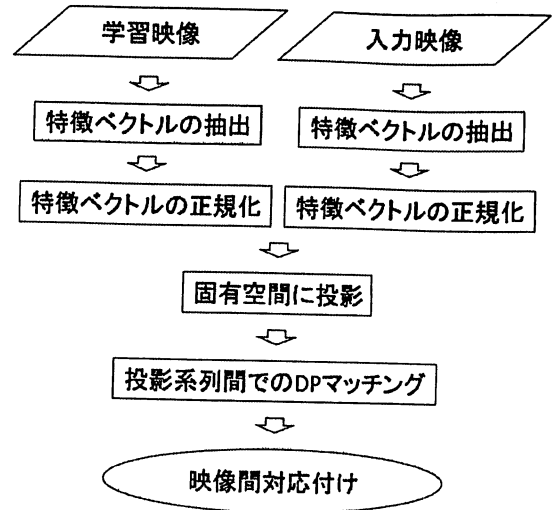


図3 映像間対応付けの手順

行の映像でも行い、映像間の正規化された相違度 $\hat{D}(p_2, q)$ を求める。

2.4 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、上で求めた DP マッチングの相違度 $\hat{D}(p_1, q)$ と $\hat{D}(p_2, q)$ の大小を比較し、画像情報のみでの番線確認を行った。

3. 実験および考察

プラレール電車を使用した実験では、車載カメラ映像(740×480pixel)を用いて行った。2.1で切り出した、プラレール電車映像での学習サンプルは、全10組の全区間の映像の中から、無作為に抽出したフレームを1300フレーム集めて学習サンプルとした。

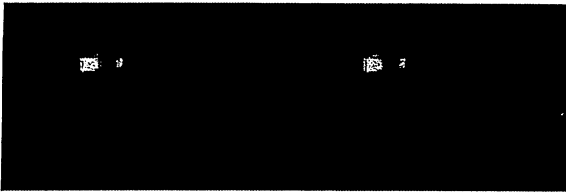
Nゲージ鉄道模型で使用した実験では、車載カメラ映像(740×480pixel)を用いて行った。学習サンプルは、プラレール電車と同様に切り出した、全10組の中から無作為に抽出した2000フレームを学習サンプルとした。プラレール電車、鉄道模型共にフレームレートは30frame/secであり、圧縮次元数 N は20次元とした。



(a)



(b)



(c)

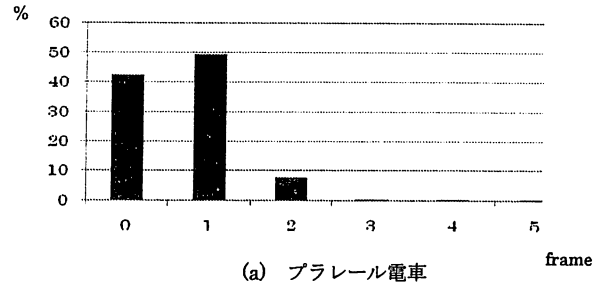
図4 映像間対応付け成功例

3.1 映像間対応付け

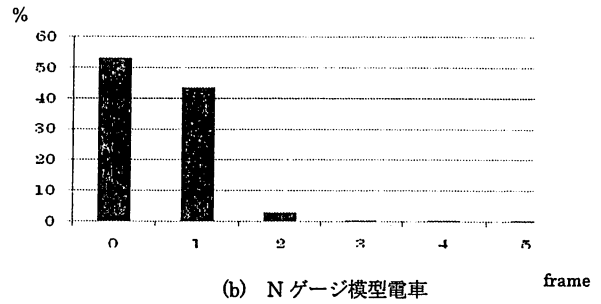
2.4のDPマッチングによる映像間の時間方向の対応付け精度を目視により確認した。結果を図5に示す。縦軸が全フレーム中の割合であり、横軸が正解フレームとのずれである。同図からわかるように、プラレール電車では誤差が1フレーム以下であった割合は91.8%、Nゲージ模型電車の場合は96.8%であり、共に良好な結果を得た。

プラレール電車の場合、フレーム間のずれは最大でも3フレーム程度であり、図4(a)のように照明条件や物体の変化にも影響されず、良好な結果を得られた。

Nゲージ鉄道模型の場合では、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フレーム程度のずれであり、良好な結果を得た。図4(b)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)にも影響されず、マッチングできたと言える。さらに、図4(c)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おり、様々なシーンでの利用が期待できる。

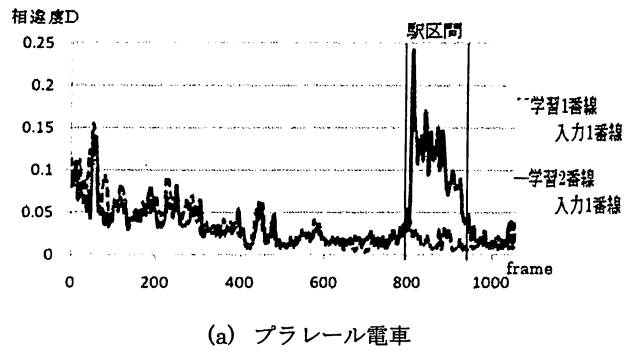


(a) プラレール電車

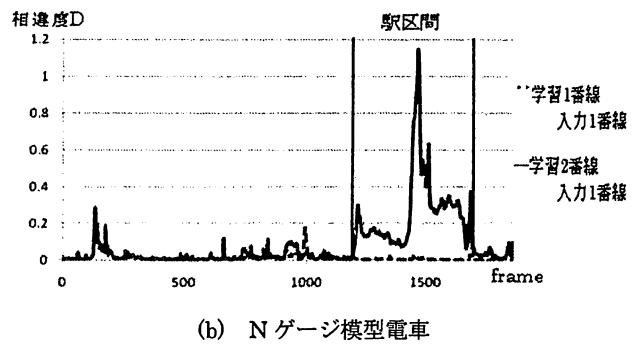


(b) Nゲージ模型電車

図5 正解フレームとのずれ



(a) プラレール電車



(b) Nゲージ模型電車

図6 時系列での映像間の相違度

3.2 番線確認

番線確認による結果は、プラレール電車・Nゲージ鉄道模型ともに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6に、映像間での時系列の短時間相違度を示す。1番線・2番線の学習映像に対し、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するこ

とができる。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。プラレール電車において駅区間以外で相違度が大きくなっているのは、車両と車軸、および、車輪とレールの間に大きな遊びがあることによるゆれや、図 4 (a) のように光源が直接映像に映り込んでいるのが原因であると考えられる。

4. 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。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。プラレール電車の実験では、駅区間以外でも相違度にばらつきが見られる区間があった。

今後は、様々な照明条件に対応するための改良や、実際の鉄道走行映像への適用などを予定している。

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。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