

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 5 月 26 日現在

機関番号：32644

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2014

課題番号：23560631

研究課題名(和文) 赤外線温度画像処理を用いた視界不良時にも適応可能な交通流監視

研究課題名(英文) Road Traffic Flow Surveillance Robust for Poor Visibility Conditions Using Infrared Thermal Image Processing

研究代表者

岩崎 洋一郎 (IWASAKI, Yoichiro)

東海大学・基盤工学部・教授

研究者番号：20168561

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円

研究成果の概要(和文)：赤外線サーモグラフィから得られる温度画像を用いた車両の位置と動きを検出する手法1と手法2の2つの手法を提案した。手法1は降雪濃霧の視界不良環境を含む4つの異なる環境下で高精度に車両を検出することができた。手法2は、手法1では検出精度が低下する画像に対して高精度に車両を検出できた。これら2つの手法を組み合わせるにより多様な環境下で車両を検出できる。2つの手法から得られる情報を用いた道路交通流自動監視手法を提案し、その有効性を示した。これによって、車線毎の自由流と渋滞流の区別ができる。さらに、車両事故、故障車両、違法駐車のような突発事象の検知が可能となる。

研究成果の概要(英文)：We have proposed two methods, method 1 and method 2, for detecting vehicle positions and their movements using thermal images taken with an infrared thermal camera. Method 1 detects vehicles robustly under four different environmental conditions which contain poor visibility conditions in snow and thick fog. Method 2 detects vehicles in thermal images for which the vehicle detection accuracies of method 1 are low. By combining these two methods, high vehicle detection accuracies are realized under various environmental conditions. We have proposed a traffic flow automatic surveillance method using traffic information obtained by the two methods, and have shown the effectiveness of our proposal. This surveillance method distinguishes uncongested flow and congested flow in each lane. The method also detects traffic problems such as vehicle accidents, broken down vehicles, and illegal parking.

研究分野：画像処理工学、交通システム工学

キーワード：車両検出 画像処理 道路交通流自動監視 赤外線サーモグラフィ 視界不良環境 パターン認識 赤外線エネルギー反射

1. 研究開始当初の背景

ITS (Intelligent Transportation Systems: 高度道路交通システム)の1研究分野として、カメラからの交通画像中の車両を検出する研究、すなわち、画像センサの研究が活発である。従来の車両感知器と比較し、画像センサからは車両の位置、走行軌跡などの情報を複数車線に亘って得られる。したがって、画像センサを用いることによって、交通信号制御や交通流監視のための極めて有効な情報収集が可能となる。

現在の画像センサの研究レベルは昼夜に亘って車両を検出できるレベルにあるが、以下のような問題点がある。

- (1) 車両の影が隣接車線まで伸びて誤認の原因となることから影を排除する複雑な処理が必要となる。
- (2) 昼間は車体を検出し、夜間はヘッドライトあるいはテールランプを検出する。つまり、昼夜で車両検出アルゴリズムを切り替える必要がある。
- (3) さらに、降雪、濃霧、暗闇などの視界不良下では車両検出精度が低下する。ところが、そのような環境下において交通渋滞や車両事故は多発する。

したがって、交通流自動監視では、あらゆる環境下で高精度に車両を検出できる手法の開発が望まれる。

2. 研究の目的

我々は、可視光カメラの代わりに、赤外線サーモグラフィから得られる温度画像を用いた新たな車両検出アルゴリズムについて研究を行ってきた。赤外線サーモグラフィから得られる温度画像は、可視光カメラから得られる画像と異なり、降雪、濃霧、暗闇などの視界不良下でも車両を検出でき、車両や建物などの影の影響もない。赤外線温度画像を用いた時点で交通流自動監視を見据えて車両検出アルゴリズムを構築してきた。すなわち、車両の位置情報と共に車両の動きの状態を停止、低速走行、高速走行に3分類した情報を提供する。交通流状態を監視するためには個々の車両の厳密な速度を計測する必要はなく、停止、低速走行、高速走行程度の情報で十分である。



図 1. 温度画像の一例

本研究では、図 1 に示すような横断歩道橋程度の高さから撮像した温度画像中の流入車両を検出対象としている。なお、図 1 の温度画像の右の帯は温度スケールを示している。

本研究では、提案した車両検出アルゴリズムを基にした 1)自由流・渋滞流の識別、2)交通需要の推定、3) 車両事故・故障車両・違法駐車の突発事象の検知を実現できる交通流自動監視手法を構築する。もちろん、視界不良下へ適応でき、かつ 24 時間の自動監視を目指す。

3. 研究の方法

本研究開始までに、温度画像における車両前部に共通の形状特徴であるフロントガラス部分を中心とした領域をパターン認識し、さらに、計測領域全体を対象とした時空間画像処理により各車両の動きの状態を3分類する手法を提案した。

本研究では、さらに車両の検出精度を上げるために、パターン認識結果に対する補正処理のアルゴリズムを追加した。また、氷点下の冬季の画像では、フロントガラスの温度とその周辺の温度との高低関係が他の季節とは逆転する。その際には、パターン認識の前処理として原画像の濃淡を反転する処理を追加するだけで、パターン認識が機能することを確認した。このパターン認識を用いた車両検出手法を以降「手法 1」という。

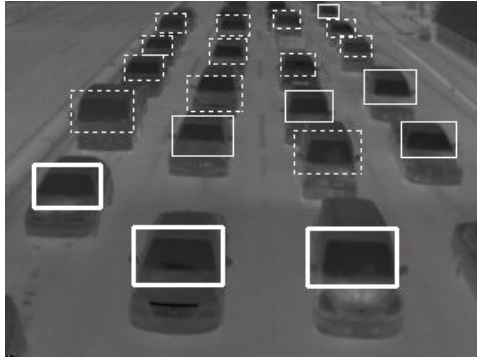
氷点下まで低温ではない冬季において、フロントガラス領域と外界との温度差が小さくなり、手法 1 では、車両検出精度が低下することが判明した。そこで、パターン認識に頼らない新たな車両検出アルゴリズムの構築を行った。赤外線サーモグラフィは、物体からの放射エネルギーおよび反射エネルギーを捉えて温度に換算する。つまり、物体自体が持っている熱の放射以外に、他の物体からの熱の反射も捉えている。撮像された温度画像から、タイヤからの熱を路面で反射した領域の画素値が高く、その領域を視認できることを確認した。そこで、車両側面に位置する領域の画素値を計測し、タイヤからの路面反射エネルギーの濃度変動を検知することによって車両を検出する新たな車両検出アルゴリズムを構築した。このタイヤの路面反射エネルギーを活用した車両検出手法を以降「手法 2」という。手法 1 と手法 2 を切り替えて使用することにより、四季を通して変動する環境に強い車両検出手法が実現できる。

手法 1、手法 2 では、車両の位置情報と共通の機能である時空間画像処理により3分類した車両の動きの情報が得られる。3 分類した車両台数を車線毎に計測し、計測した車両台数の比較から、突発事象の発生を検知する単純な不等式(1)を提案した。

$$n_{\text{stop}} + n_{\text{slow}} \geq n_{\text{fast}} \quad (1)$$



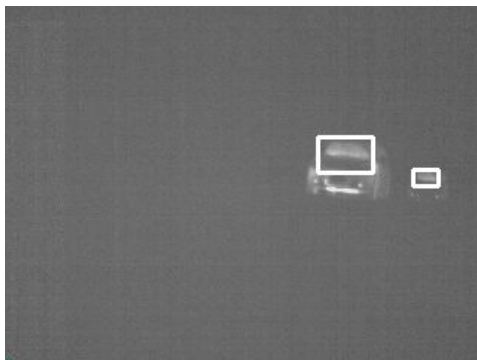
(a) 6月の画像



(b) 8月の画像



(c) 10月の画像



(d) 2月の画像

図2. 手法1による車両検出結果例

ここで、 n_{stop} は停止車両台数を、 n_{slow} は低速走行車両台数を、 n_{fast} は高速走行車両台数をそれぞれ示す。もし、青信号中に低速走行車



図3. 2月の可視光画像

両と停止車両の台数が増加した場合、提案した不等式(1)が成立し、突発事象の発生を検知することができる。

4. 研究成果

まず、手法1、手法2の車両検出についての研究成果を述べる。

図2に、6月、8月、10月、2月に撮像した温度動画像に対する手法1による車両検出結果例を示す。2月の画像は降雪濃霧の視界不良下で撮像したもので、温度画像では車両を正確に検出できている。一方、この時に撮像した図3に示す可視光画像では、車両のフォグランプの位置がかすかに視認できる程度である。なお、6月、8月、10月の温度動画像の車両検出精度は、存在車両1,460台中1,404台を検出し96.2%であった。また、2月の温度動画像では、走行車両が撮像された222フレームの動画像において完全に車両検出ができた。図2の中で、点線枠は停止車両、細線枠は低速走行車両、太線枠は高速走行車両をそれぞれ示している。

図4に、手法1では車両検出精度が低下する2月に撮像された温度動画像に対しての手法2による車両検出結果例を示す。車両検出精度は、存在車両3,348台中3,084台を検出し92.1%であった。なお、図4では、時空間画像処理による車両の動きの情報は含んでいない。

次に、手法1、手法2から得られる情報を用いた交通流自動監視手法についての研究成果を述べる。

図5は、第2車線と第3車線の車両台数の推移を示したものである。なお、車線の番号は外側車線から中央分離帯へ向かって、1から4とする。図5では、赤信号時に計測を開始したので、ほとんどの車両が停止している。赤信号から青信号に変わって、待ち行列先頭から車両が順次発進し、徐々に高速走行車両台数が増加する。図5のように全ての車両が高速走行を維持している場合、自由流である。本監視手法では、3分類した車両台数から時間遅れなく計測領域内の交通需要(交通量)を推定できる。



(a)



(b)



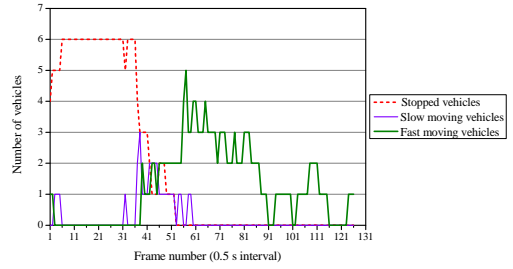
(c)



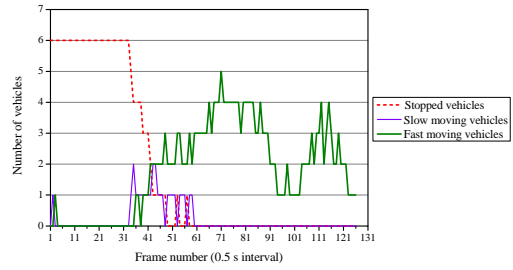
(d)

図 4. 手法 2 による車両検出結果例

図 6 は、第 2 車線の車両台数の推移を示したもので、先詰まりのために待ち行列が発生したことを示している。このような先詰まり



(a) 第 2 車線



(b) 第 3 車線

図 5. 2 つの中央車線の車両台数の推移

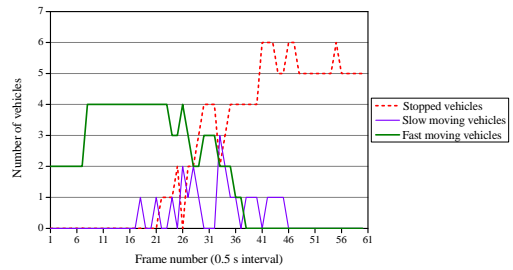


図 6. 第 2 車線の車両台数の推移

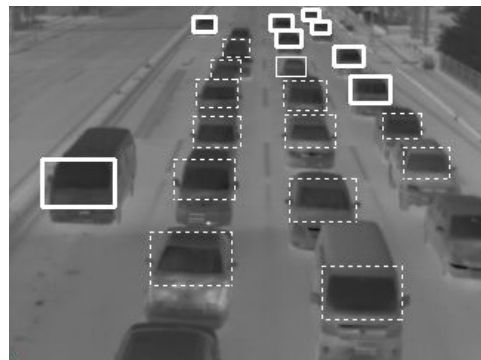


図 7. 図 6 のフレーム番号 35 の画像

では、複数の車線ではほぼ同時に待ち行列が増加する。図 6 において、フレーム番号 27 以降、不等式(1)が成立し、本監視手法では待ち行列の発生を検知できる。図 7 に、図 6 のフレーム番号 35 の画像を示す(各枠の線種は、

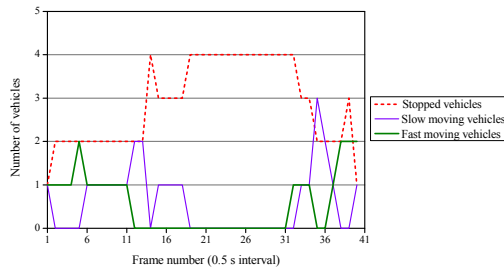


図 8. 第 1 車線の車両台数の推移

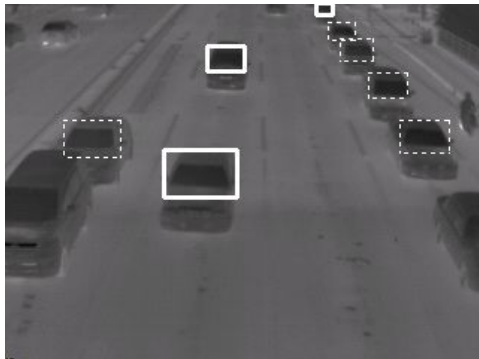


図 9. 図 8 のフレーム番号 32 の画像

図 2 と同じ意味である)

図 8 は、第 1 車線の車両台数の推移を示したもので、全てのフレームにおいて不等式(1)が成立する。図 9 に、図 8 のフレーム番号 32 の画像を示す(各枠の線種は、図 2 と同じ意味である)。第 2 車線および第 3 車線の交通は自由流である。本監視手法は、車線毎に交通流監視が可能で、第 1 車線にのみ待ち行列が発生したことを検知できる。この場合、空いている隣接車線への車両の車線変更がないことから、道路下流の外側車線に隣接する特定地点への入退場による混雑が主に考えられる。なお、このような状況は現実には発生確率が低いので実測が難しい。そこで、図 8 は、画像合成により生成した動画像を使用して得られたものである。

停止車両と低速走行車両の合計台数を基に突発事象の発生を感知し、停止車両の位置や台数から、車両事故、故障車両、違法駐車を検出することも可能となる。

以上述べたように、四季を通して変動する環境に強い車両検出手法および交通流自動監視手法を構築することができた。我々が文献を調べた中では、赤外線サーモグラフィを用いた車両検出手法において、本手法のように渋滞や交通量の多い幹線道路において交通流自動監視ができる手法は他にはなかった。交通流監視の自動化により交通管制センター交通管制官の監視業務の負荷が軽減し、さらに交通信号制御の高度化ができる。本研究成果が、安心安全な交通社会の実現に寄与

することが期待できる。

5 . 主な発表論文等

(雑誌論文)(計 6 件)

Yoichiro Iwasaki, Masato Misumi, and Toshiyuki Nakamiya, “Robust Vehicle Detection under Various Environments to Realize Road Traffic Flow Surveillance Using an Infrared Thermal Camera,” The Scientific World Journal, 査読有, Vol. 2015, Article ID 947272, 2015, 11 pages
DOI: 10.1155/2015/947272

Yoichiro Iwasaki, Masato Misumi, and Toshiyuki Nakamiya, “Road Traffic Flow Automatic Monitoring Robust for Various Environments Using Thermal Image Processing,” Proceedings in the 1st International Virtual Conference on ITS 2013 (Intelligent Transportation Systems 2013), 査読有, Vol. 1, 2013, pp. 76-82
<http://www.itransport.sk/archive/?vid=1&aid=2&kid=100101-24>

Yoichiro Iwasaki, Masato Misumi, and Toshiyuki Nakamiya, “Robust Vehicle Detection under Various Environmental Conditions Using an Infrared Thermal Camera and Its Application to Road Traffic Flow Monitoring,” Sensors, 査読有, Vol. 13, Issue 6, 2013, pp. 7756-7773
DOI: 10.3390/s130607756

Yoichiro Iwasaki, Masato Misumi, and Toshiyuki Nakamiya, “Robust Vehicle Detection under Various Environmental Conditions Using Infrared Thermal Images and its Application to Road Traffic Flow Monitoring,” Proceedings in Advanced Research in Scientific Areas, The 1st Virtual International Conference on Advanced Research in Scientific Areas (ARSA 2012), 査読有, 2012, pp. 2027-2032
<http://www.arsa-conf.com/archive/?vid=1&aid=2&kid=60101-244>

Yoichiro Iwasaki, Shinya Kawata, and Toshiyuki Nakamiya, “Vehicle Detection Even in Poor Visibility Conditions Using Infrared Thermal Images and Its Application to Road Traffic Flow Monitoring,” Emerging Trends in Computing, Informatics, Systems Sciences, and Engineering, Lecture Notes in Electrical Engineering, Springer, 査読有, Vol. 151, 2012, pp. 997-1009
DOI: 10.1007/978-1-4614-3558-7_85

Yoichiro Iwasaki, Shinya Kawata, and Toshiyuki Nakamiya, “Robust vehicle

detection even in poor visibility conditions using infrared thermal images and its application to road traffic flow monitoring,” Measurement Science and Technology, 査読有, Vol. 22, No. 8, 085501, 2011, 10 pages
DOI: 10.1088/0957-0233/22/8/085501

[学会発表](計10件)

岩崎洋一郎, 中宮俊幸, “赤外線サーモグラフィカメラを用いた環境変動に強い道路交通流監視,” 電子情報通信学会 ITS 研究会, 2014年12月19日, 熊本大学(熊本県熊本市)

岩崎洋一郎, 中宮俊幸, “赤外線サーモグラフィを用いた環境変動に強い道路交通流監視を実現するための車両検出手法の開発,” 日本産業技術教育学会第27回九州支部大会, 2014年10月4日, 福岡教育大学(福岡県宗像市)

岩崎洋一郎, 中宮俊幸, “赤外線サーモグラフィを用いた環境変動に強い道路交通流監視,” 平成26年度電気・情報関係学会九州支部連合大会(第67回連合大会), 2014年9月19日, 鹿児島大学(鹿児島県鹿児島市)

岩崎洋一郎, 中宮俊幸, “赤外線サーモグラフィの特性を生かした物体検出—道路交通流計測と駅ホームからの転落者検出—,” 日本産業技術教育学会第57回全国大会, 2014年8月24日, 熊本大学(熊本県熊本市)

岩崎洋一郎, 三隅政人, 中宮俊幸, “赤外線温度画像処理を用いた視界不良時にも適応可能な交通流自動監視手法,” 日本産業技術教育学会第26回九州支部大会, 2013年10月5日, 大分大学(大分県大分市)

岩崎洋一郎, 三隅政人, 中宮俊幸, “赤外線温度画像処理を用いた環境変動に強い道路交通流自動監視手法,” 平成25年度電気関係学会九州支部連合大会(第66回連合大会), 2013年9月25日, 熊本大学(熊本県熊本市)

岩崎洋一郎, 三隅政人, 中宮俊幸, “赤外線温度画像処理を用いた環境変動に強い道路交通流自動監視,” 第27回熊本県産学官技術交流会, 2013年1月17日, 熊本県産業技術センター(熊本県熊本市)

岩崎洋一郎, 三隅政人, 中宮俊幸, “赤外線温度画像処理を用いた環境変動に強い車線別交通流自動監視,” 日本産業技術教育学会第25回九州支部大会, 2012年10

月13日, 宮崎大学(宮崎県宮崎市)

岩崎洋一郎, 三隅政人, 中宮俊幸, “赤外線温度画像の特性を活かした車両検出,” 平成24年度電気関係学会九州支部連合大会(第65回連合大会), 2012年9月24日, 長崎大学(長崎県長崎市)

岩崎洋一郎, 川田真也, 中宮俊幸, “赤外線温度画像処理を用いた視界不良時にも適応可能な交通流自動監視,” 日本産業技術教育学会第24回九州支部大会, 2011年10月1日, 沖縄県男女共同参画センター(沖縄県那覇市)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

岩崎 洋一郎 (IWASAKI, Yoichiro)
東海大学・基盤工学部・教授
研究者番号: 20168561