

# 卒業論文概要書

Summary of Bachelor's Thesis

2/3/2016

1. 学科名 Department	情報理工	氏名 Name	加藤君丸	指導員 Advisor	渡辺 裕 印 Seal
2. 研究指導 Research guidance	オーディオビジュアル情報処理研究	学籍番号 Student ID number	1W120139-8 CD		
研究題目 Title	背景差分を用いた鉄道運行映像からの移動物体検出に関する研究 Research on Moving Object Detection in Railway Operation Video Using Background Subtraction				

## 1. まえがき

鉄道は、重要な交通機関の一つであり、日本においては年間で 236.0 億人が利用している[1]。多数の人が利用する鉄道において、安全対策は重要であり、特に人身や障害物との接触事故防止は大きな課題である。鉄道車載カメラ映像からの人物や障害物の検出は、こうした安全対策に寄与するとともに、鉄道の自動運転によるコスト削減・安全性向上にむけた技術開発の助けとなりうる。こうした背景から、本研究では固定カメラ映像に対して広く使われる移動物体検出手法である背景差分法の鉄道運行映像に対する適用を検討する。

## 2. 鉄道運行映像への背景差分法の適用

鉄道運行映像においては、カメラが移動し、それに伴い風景が移り変わるため、背景差分法をそのまま適用することは困難である。本論文では、過去の運行映像から撮影位置のマッチングを行い、同地点における撮影フレームを抽出し、さらに構図のマッチングを行うことで、背景を作成する手法を提案する。現在の撮影フレームと同じ地点で撮影されたフレームを過去の運行映像から抽出する操作は、HOG 特徴量[2]による画像類似度を用いて行う。また、構図マッチングには、OpenCV の findTransformECC[3]を用いる。最後に、画像を小領域に分割し、小領域ごとに細かな構図のマッチングを行ったうえで、複数の背景との差分をとり、それらを総合して移動物体領域の検出を行う。

## 3. 実験

実験では、撮影位置のマッチング、構図のマッチングを行ったフレームを出力し、背景作成手法の評価を行った。また、実際に提案する背景差分法を適用し、移動物体領域の検出ができているかを確認した。結果として、撮影位置のマッチングおよび構図のマッチング手法は、細かなずれを含むもののマッチングに成功した。背景差分法については、移動物体領域を検出したものの、誤検出の領域が多く、またリアルタイム性にも欠けるという課題が確認された。

## 4. まとめ

本研究では、背景差分法を鉄道運行画像に適用することを検討した。実際に提案手法による実験を行った結果、誤検出の抑制とリアルタイム性の向上といった課題が発見された。また、天候や日照といった条件の変化に対するロバスト性についても今後の課題となる。

## 参考文献

[1] 国土交通省, “鉄道輸送統計年報,” 国土交通省総合政策局情報政策課交通経済統計調査室, <http://www.mlit.go.jp/k-toukei/10/annual/index.pdf>, 参照 Jan. 28, 2016.

[2] N. Dalal and B. Triggs, “Histograms of Oriented Gradients for Human Detection,” CVPR, vol.1, pp.886-893, 2005.

[3] G. D. Evangelidis , E. Z. Psarakis, "Parametric Image Alignment using Enhanced Correlation Coefficient Maximization", IEEE Trans. PAMI, Vol.30, No. 10, pp.1858-1865, 2008.

2015 年度 卒業論文

背景差分を用いた鉄道運行映像からの  
移動物体検出に関する研究

Research on Moving Object Detection in Railway  
Operation Video Using Background Subtraction

指導教員 渡辺 裕 教授

早稲田大学 基幹理工学部

情報理工学科

1W120139-8

加藤君丸

## 目次

第 1 章	序論.....	1
1.1	研究の背景と目的.....	1
1.2	関連研究.....	2
1.3	本論文の構成.....	2
第 2 章	背景差分法.....	3
2.1	背景差分法の概要.....	3
2.2	鉄道運行映像に対する背景差分法.....	4
2.2.1	はじめに.....	4
2.2.2	鉄道運行映像に背景差分法を適用する際の課題.....	4
2.2.3	撮影位置のマッチング.....	5
2.2.4	構図のマッチング.....	7
2.2.5	むすび.....	7
第 3 章	提案手法.....	8
3.1	撮影位置のマッチング.....	8
3.2	構図のマッチング.....	8
3.3	背景差分法の適用.....	9
3.3.1	複数動画系列の使用.....	9
3.3.2	小領域分割.....	10
3.3.3	領域の検出.....	11
第 4 章	提案手法の実験.....	12
4.1	鉄道運行映像.....	12
4.2	撮影位置のマッチング.....	13
4.3	構図のマッチング.....	14
4.4	背景差分法の適用.....	15
第 5 章	結論.....	17
5.1	まとめ.....	17
5.2	今後の課題.....	17
	謝辞.....	18
	参考文献.....	19
	図一覧.....	20
	表一覧.....	21
	研究業績	

## 第1章 序論

### 1.1 研究の背景と目的

鉄道は、日本において重要な公共交通機関の一つである。平成 26 年度における鉄道旅客数量は 236.0 億人[1]と、平成 19 年度からほぼ横這いの数字であり、今後も安定して多量の利用が予想される。このように、鉄道は日本においても広く利用されており、その運行において、安全対策は重要である。特に列車の人身との接触は最も避けなければならない重大な事故であり、人命に大きく関わる問題である。また、軌道内に障害物が入り込んでしまうと、それが人でなくとも、衝突事故や脱線事故に繋がる危険がある。自動車などと比較して鉄道車両は操舵による障害物回避が不可能であり、急停車も苦手であることから、事故防止には障害物の早期発見が重要となる。

また、近年、自動車の自動運転の実現に向けた技術開発が進んでいる。これは、自動車に搭載された各種センサによって周囲の状況を把握し、コンピュータによる適切なオペレーションを行うというものである。自動運転には、運転手の負担を軽減、あるいは肩代わりする事以外に、複数の利点があるとされている。その一つとして、異常事態に対してコンピュータによる人間の反応速度を超えたオペレーションが行われることで、安全性が向上するということが挙げられる。鉄道においても、自動運転は、運転手の雇用や教育のコスト削減や、安全性の向上といった利点をもたらす可能性がある。

鉄道車両に搭載されたカメラの映像から人や障害物を検出することは、以上のような背景から、安全な運行や自動運転の実現の助けとなる。自動車の自動運転実現に向けた研究においては、様々な方法によるカメラ映像や各種センサの情報からの人や障害物の検出手法が提案されている。

背景差分法は、過去の映像から背景を抽出し、現在の撮影映像と背景の差分から移動物体領域を発見する手法である。これを適用するには、背景を抽出する過去の映像と現在の映像が同じ位置から撮影されていないとてはならない。このことから、カメラが移動する自動車の車載カメラ映像には適用が難しい。しかし、鉄道車両の場合は、カメラは移動するものの、撮影地点はレールの上に限られるため、過去の運行において撮影された映像から背景を抽出することが可能である。固定カメラ映像に対する背景差分法は、アルゴリズムが単純で計算コストが低いことや、十分な精度が得られることから、広く使われている。これを鉄道運行動画にも適用できれば、計算コストや精度において他の障害物検出手法を上回る可能性がある。以上のことから、本研究では、背景差分法の鉄道運行映像への適用する手法を提案し、計算機により提案手法の有効性を評価する。

## 1.2 関連研究

鉄道車両に搭載されたカメラ映像による障害物検出の関連研究として、鵜飼ら[2]はレールの検出と複数の障害物検知アルゴリズムを組み合わせた手法を提案している。これは、オプティカルフロー特異点検出や赤外線映像解析といった複数の画像認識モジュールの出力を総合し障害物検出を行っているものであり、並列化によって実時間での処理を実現している。また、雑賀ら[3]は鉄道車載カメラの映像からの人物検出について、前フレームにおける検出結果の情報を利用することで、HOG 特徴量を用いた人物検出手法の精度向上を検討している。

本研究において提案する手法は、人物を含む障害物の検出を目的としたものである。鵜飼らも線路周辺の障害物検知を実現しているが、鵜飼らによって提案された手法に背景差分法は含まれていない。背景差分法の鉄道運行映像への適用はその精度向上に寄与しうると考えられ、本研究においてその可能性について研究した。

## 1.3 本論文の構成

以下に本章以降の構成を示す。

- 第1章 本章であり、研究の背景および目的について述べている。また、関連研究について述べている。
- 第2章 背景差分法について述べる。まず、背景差分法の概要を述べる。次に、背景差分法を鉄道運行映像に適用する際の課題について述べる。最後に、これらの課題を解決する方法について述べる。
- 第3章 第2章を踏まえ、鉄道運行映像に背景差分法を適用して移動物体を検出する手法を提案する。
- 第4章 第3章で提案した背景差分法による移動物体検出手法の実験を行う。
- 第5章 本研究のまとめを行う。また、今後の課題について述べる。

## 第2章 背景差分法

### 2.1 背景差分法の概要

背景差分法は、カメラからの入力画像とあらかじめ保持していた背景画像の差分から移動体候補領域を発見する手法である。主に固定カメラによる映像に対して適用される。背景を取得する方法は様々あるが、単純な方法としては、そのカメラによって撮影された過去の映像から、移動物体が全く写っていないフレームをそのまま背景として使用する方法や、過去のフレームを平均した画像を背景として使用する方法などがある。一般的には、対象画像と背景画像の対応する画素値の差分により背景差分画像が求められる。対象画像の座標 $(x, y)$ における画素値を $I(x, y)$ 、背景画像の座標 $(x, y)$ における画素値を $I_b(x, y)$ とした時、背景差分画像の座標 $(x, y)$ における値 $I_d(x, y)$ は以下のように求められる。

$$I_d(x, y) = I(x, y) - I_b(x, y) \quad (2.1)$$

また、移動物体領域検出のため、閾値 $T$ を用いて、

$$I_d(x, y) = \begin{cases} 1 & \text{if } |I(x, y) - I_b(x, y)| > T \\ 0 & \text{else} \end{cases} \quad (2.2)$$

と二値化する場合も多い。この手法による背景差分法の例を図 2.1 に示す。



図 2.1 背景差分法の例 左:入力画像 中央:背景画像 右:背景差分画像(二値化)

しかし、上記のような単純な手法では、何らかの条件の変化が起こった場合、正しく移動物体を検出できなくなってしまう可能性がある。例えば、屋内であっても、照明の変化などにより画像全体の画素値が変化する場合がある。その際、上記のような単純な方法では、照明変化による画素値の変化が閾値を超え、画面全体を移動物体領域としてしまう可能性がある。照明変化などの条件変化にロバストな背景差分法が様々提案されている。松山ら[4]は、一様な照明変化にロバストな手法として、テクスチャに注目した手法、正規化距離を利用した手法とそれら二つを組み合わせる手法を提案している。また、屋外の監視カメラ映像に適用する際、木の揺れなどといった背景の変化に対応するため、岩田ら[5]は統計的な手法を提案している。

## 2.2 鉄道運行映像に対する背景差分法

### 2.2.1 はじめに

前節では、一般的な固定カメラ映像に対して用いられる背景差分法について述べた。しかし、鉄道運行映像に対して背景差分法を用いる場合、固定カメラとは環境条件が異なり、前節で述べた手法をそのまま用いることはできない。本節では、鉄道運行映像の固定カメラとの主な違いおよび背景差分法を適用する際の課題について述べる。また、その課題を解決するための手法についても述べる。

### 2.2.2 鉄道運行映像に背景差分法を適用する際の課題

鉄道運行映像はカメラが固定されておらず、レール上を走行する鉄道車両と共に移動している。しかし、背景差分法を適用するには、対象画像と背景画像の撮影位置が同じ必要がある。このことから、同一動画系列から背景を抽出することは困難である。これを解決するため、過去の動画系列からの背景作成方法について 2.2.3 にて後述する。

各位置に対応する背景がすでに取得できているとする。次に、対象画像と背景画像は同一の系列における撮影ではないことから、背景画像と対象画像の画像内における各物体の配置(本論文では仮に構図と呼ぶ)のずれが課題となる。構図のずれは、主に撮影時のカメラの位置や角度の違いによって生じる。背景画像は対象画像と同一位置にて撮影されたものであるが、カメラが鉄道車両に固定されている場合、車両の傾き等の違いから、絶対座標における位置には差が生じる。カメラの角度の差についても同様の理由によって生じる。背景差分法を適用するには、背景画像と対象画像の構図の差を補正する必要がある。この手法については 2.2.4 にて後述する。

また、鉄道の運行は多くの場合、屋外である。屋外では、時間とともに日照や天候など様々な条件が変化し、映像に影響を与えるため、背景差分法の適用が困難となる。固定カメラの映像に背景差分法を利用する場合でも前節で述べたような工夫が必要となる。本論文において提案する鉄道映像に対しての手法では、過去の運行映像から背景を抽出するものであり、基本的には一回の運行映像から抽出できる背景画像は各位置について 1 フレームのみである。そのため、固定カメラ映像に対する統計的手法のように、同一系列から多量のサンプルを抽出し、それによって背景を作成する手法を用いることは出来ない。過去の運行映像は、最も近いものでも、現在の数分前のものとなる。例えば、2016年1月時点での山手線内回りの新宿駅における時刻表[6]を見ると、午前7時から午前10時頃の最も頻度が高い時間帯においては、ほぼ3分毎に列車が発車している。この数分間に太陽高度や太陽方位が変化し、映像内の明度や影の形に影響が生じる。前日の同時刻の運行映像を背景として利用する場合にも、太陽の位置や天候の違いによって映像内に差異が生じてしまう。過去の運行映像を天候や太陽の位置の情報と共に多量に保存しておき、対象となる時刻、天候に対して適切な背景を作成する方法も考えられる。しかし、軌道周辺や駅において改修工事などによる景観の変化があった場合、それ以前の運行映像からは適切な背景

を作成することが出来ない可能性も考えられる。また、過去の運行映像から同一の条件の背景を発見することが困難である場合も考えられる。例えば、映像に大きな影響を与える条件として積雪がある。気象庁のデータ[7]によると、近年の東京における雪日数はほとんどの年において15日を超えず、東京において積雪があった場合に過去の運行映像から条件に合った背景を発見することは困難であると予想される。以上のように、日照や天候といった条件が鉄道運行映像に対する背景差分法の適用において大きな課題となる。提案手法では、画像正規化によって明度の変化に対する対応を試みているものの、現状ではこの課題に対応できておらず、今後の課題となる。

### 2.2.3 撮影位置のマッチング

前節で述べたように、鉄道運行映像に対して背景差分法を適用する場合、対象画像と同一系列から背景を抽出することはできない。そこで過去の運行映像から、レール上の各位置に対応する背景を作成することを検討する。この場合、運行動画の各フレームについて、その撮影位置の情報が必要となる。本節では、撮影位置を得るための手法を考える。

#### 2.2.3.1 GPS

現在、位置情報を得るために広く利用されている方法がGPS (Global Positioning System)である。GPSは、複数の衛星から発信される電波から、受信器の座標を測位するシステムである。カメラの映像とともに、GPS位置情報を記録することで、各フレームの撮影位置を得ることができる。

GPSの精度は、様々な要因によって左右される。Web情報[8]では、GPSは、最悪の場合でも95%の確率で7.8m以内の正確性が得られるとされている。GPSで十分な精度の測位を行うには、受信機が最低でも4機の衛星からの電波を受信していることが必要となる。日本では常時6~10の衛星が利用できるが、都市部や山間部では、ビルや山に衛星が隠れてしまい、十分な数の衛星から電波を受信できない可能性がある。この場合、測位に大きな誤差が生じてしまう、測位ができなくなってしまうといった問題が生じる。

#### 2.2.3.2 準天頂衛星システム

GPSの問題点を補完するための手段として、準天頂衛星システム(Quasi-Zenith Satellite System, QZSS)[9]の利用が考えられる。準天頂衛星システムは、日本版GPSとも呼ばれる日本の衛星によるシステムである。日本上空の準天頂軌道にGPS互換の衛星を追加するものであり、これによって日本ではより良い位置情報を利用できるようになる。2010年に初号機が打ち上げられており、2019年までに合計4機の衛星が打ち上げられ、本格的なサービスが開始される予定となっている。また、2013年度をめどに7機体制とすることを目指している。

準天頂衛星システムの衛星は、日本の上空、天頂付近を通過するため、ビルや山に隠れ



にくい。これにより、4機以上の衛星による電波を利用できる状況が増え、大きな誤差の発生や測位不可能といった状況の発生を抑えることができる。また、利用できる衛星の数が増えることで、より精度の高い位置情報を利用することが可能となる。Web情報[10]では、限定的な用途ではあるものの、誤差数 cm の位置情報を利用することが可能になるとしている。以上のように、日本においてはより高精度な位置情報を利用できる予定である。

### 2.2.3.3 速度計の利用

鉄道車両には、速度計が搭載されている。主な速度計な例としては、車輪の回転から車両の速度と比例した周波数の電圧を発生させる速度発電機によるものがある。鉄道車両が定められたレール上のみを走行するという制約条件を考慮した場合、初期位置と速度の積分から現在位置を計算することが可能である。上記の衛星測位システムと併用し、その誤差を補完する用途も考えられる。

### 2.2.3.4 撮影映像の類似度による手法

撮影時に位置情報を記録することが出来ない場合、撮影された映像から位置のマッチングを行う手法が考えられる。撮影された映像の類似度から複数動画系列のフレーム同士の撮影位置をマッチングする手法を以下に述べる。

まず、基準となる動画系列 A を定める。次に、系列 A のあるフレーム a と、他の動画系列 B の全てのフレームを比較し、類似度を計算する。系列 B において、フレーム a と類似度が最も高かったフレーム b を、a と同じ位置で撮影されたフレームと扱う。これを系列 A の各フレームに対して行うことで、系列 A と系列 B の撮影位置のマッチングを行うことができる。

以上のようにして、保存されている全ての動画系列について系列 A とのマッチングをとることで、系列 A を基準とした各系列、各フレームの撮影位置の情報を得ることができる。系列 A には信頼できる位置情報付与されている場合には、それを利用して他の動画系列にも位置情報を与えることができる。信頼できる位置情報がない場合でも、系列 A と背景差分法の対象となる映像を同様にマッチングすることで、擬似的に同一位置での撮影フレームを各系列から探すことができる。

また、GPS 情報等を利用できる場合、フレーム b の探索範囲を限定することができる。系列 B のフレームのうち、フレーム a の持つ GPS 位置と近い GPS 位置を持つフレームから類似度の高いフレームを探索する。

さらに、フレーム a の次のフレーム a+1 に対応するフレームを系列 B から探す場合、それは時空間においてフレーム b の近くに存在する可能性が高い。このことから、探索範囲の限定を行うことができる。

この手法の問題点として、通常の鉄道車両速度と映像フレームレートを想定した場合、全く同一位置から撮影されたフレームを探索することは困難であることが挙げられる。例

例えば、時速 80km の鉄道車両に対し、30fps で運行映像を撮影した場合、1 フレームの間に約 0.74m の移動を伴う。このことにより、例えマッチングが理想的に行われたとしても、上記の例では最大で±0.37m の誤差が生まれる。これを解決する方法としては、より高フレームレートで撮影可能なカメラを使うことが挙げられる。

また、この手法は、撮影された画像の類似度が最も高いことを撮影位置マッチングの判断基準としている。しかし、構図の違いや様々な条件により、類似度が最も高いから撮影位置が同じであると断定できない場合が考えられる。よって、可能であるならば撮影位置のマッチングには信頼できる衛星測位システムの測位情報や速度計の情報を利用すべきである。

#### 2.2.4 構図のマッチング

上記の手法によって撮影位置のマッチングが為されたフレーム同士について、背景差分法を適用するため、構図のマッチングを行う手法について考える。構図マッチングについては以下の 2 点の補正法について述べる。

##### 2.2.4.1 傾きセンサの利用

カメラに傾きセンサを設置し、その情報を用いることで、カメラの位置や角度を把握でき、構図の補正に用いる。

##### 2.2.4.2 画像内の画素情報による補正

傾きセンサ等の外部の情報を使うことが出来ない場合、対象となる画像を比較し、片方の画素に対応する画素を他方から発見する方法が考えられる。これには、反復的に座標変換と画像観誤差の評価を繰り返す方法や、画像内から物体のコーナー等の特徴的な画素を発見し、これが重なるように座標変換を行う方法等がある。

#### 2.2.5 むすび

本節では、鉄道運行映像に対して背景差分法を適用する際に考えられる課題と、それを解決しうる方法について述べた。移動するカメラによる撮影映像に対する背景差分法の適用は例が少ないが、鉄道の場合には移動する範囲が限定されていることから、本節にて述べたように背景差分法の適用が可能である。

### 第3章 提案手法

#### 3.1 撮影位置のマッチング

本研究では、速度計の情報および準天頂衛星システムによる位置情報を使用しない単純な環境を想定した鉄道運行映像のフレーム撮影位置のマッチング手法を提案する。GPS 位置情報は、一般的な環境においてもスマートフォンなどの機器を利用し記録することができる。しかし、このように記録した GPS 位置情報には誤差が多く含まれていること、一部の地点では衛星の隠れによると思われる測位不可状態が発生することにより、十分に信頼できる位置情報とはならない。そのため、撮影された画像の類似度による複数の動画系列同士の撮影位置マッチング手法を採用する。

本研究では、基準となる系列の各フレームに対し、対象となる系列の全フレームを探索範囲とする。

画像の類似度の測定には HOG 特徴量[11]を用いる。比較するフレームの縮小画像に対し、画像全体の HOG 特徴量を計算し、HOG 特徴量同士の二乗誤差が小さいほど画像同士の類似度が高いとする。HOG は、画像の局所領域をセル・ブロックに分割し、セル中の輝度勾配ヒストグラムを計算、それをブロックごとに正規化することで得られる特徴量である。HOG は、元々人物検出を目的として提案された画像特徴量であるが、幾何学的変換に強く、また照明変化に頑健であるという特性を持つことから、本手法において画像類似度の算出に適している。撮影位置のマッチングを行う段階においては、構図のマッチングは行われず、比較画像にはカメラの角度や位置による細かな構図のずれが存在する。構図のずれを含んだまま画像の類似度を測定する際に、幾何学的変換に強いという HOG の特性は利点となる。また、照明変化に頑健であるという特徴も、日照や天候の条件が必ずしも同じでない 2 系列のフレームを比較する際、明度の差異による影響を抑えることができる。

この手法により、入力系列のフレームと系列 C のフレーム間で撮影位置のマッチングを行う。

#### 3.2 構図のマッチング

本研究においては、傾きセンサの情報を用いずに撮影された画像内の情報から構図を補正する手法について検討する。補正手法として、オープンソースのコンピュータビジョンライブラリ OpenCV に内包されている `findTransformECC`[12] 関数が利用できる。`findTransformECC` に利用されているアルゴリズムは、画素値の対応を反復試行によって発見する手法について、計算コストの高い部分について単純化を行い高速化している。この関数では、入力画像を、与えられたテンプレート画像に何らかの幾何学的変換を適用したものとして扱い、その幾何学的変換がどのようなものであったかを導き出す。撮影位置のマッチングを行った 2 フレームについて、一方とテンプレート画像、他方を入力画像とすることで、入力画像をテンプレート画像と同じ構図になるように変換する幾何学的変換を求めることができる。本手法では、この幾何学的変換をアフィン変換とし、そのパラメ

ータを `findTransformECC` によって求める。この時、撮影位置のマッチングにおいて基準とした系列のフレームをテンプレート画像とする。

アフィン変換は、平行移動、回転、せん断、拡大縮小の組み合わせによって表現される幾何学的変換である。上記の撮影位置のマッチング手法において、鉄道車両速度と撮影フレームレートの関係により、撮影位置に数十 cm の誤差が生じる可能性があるが、この誤差によって生まれる画面全体のスケールの差異は、アフィン変換によって拡大縮小を許すことで補完される。ただし、撮影位置の誤差によって生じる近景と遠景の位置関係の差異をアフィン変換で補完することは簡単ではない。

提案手法では、系列 C のフレームをテンプレート画像とし、入力系列の対応するフレームを入力としてアフィン変換を求め、そのアフィン変換を入力系列のフレームに適用する。

### 3.3 背景差分法の適用

系列 C との撮影位置・構図のマッチングを行った複数の動画系列を鉄道軌道上の各地点における背景の系列として扱い、同じく上記手法により系列 C との撮影位置・構図のマッチングを行った入力系列に対して背景差分法を適用する手法を提案する。まず、複数の動画系列をそれぞれ背景として用いてそれぞれ背景差分法を行い、総合して領域を検出することについて詳しく述べる。次に、この時に用いる背景差分法について述べる。最後に、背景差分の結果を総合し、領域を検出する操作について述べる。

#### 3.3.1 複数動画系列の使用

複数の動画系列を背景として用いる理由について述べる。各動画系列は過去の運行映像であり、各系列に固有の移動物体や障害物が含まれる。ある背景系列のフレームが移動物体を含む場合、入力系列のフレームとの差分をとった際、入力系列のフレームには移動物体が存在しなくとも背景系列の移動物体領域が検出される。これを防ぐため、入力系列と複数の背景系列の差分を並列して作成し、それらを総合して領域の検出を行う。

複数背景系列の同地点におけるフレームについて、平均画像を作成することで、各系列に固有の移動物体の影響を抑えた背景を作成する方法も考えられる。しかし、撮影位置および構図のマッチングにおいて、背景フレーム同士の間には細かなずれが残っており、それによって平均画像を作成する際にテクスチャの情報が失われる可能性がある。例を図 3.1、図 3.2 に示す。図 3.2 は、図 3.1 を含む 5 枚の撮影位置および構図のマッチングが行われた画像によって作成された平均画像である。図 3.1 でははっきりと見える格子状の柵が、平均画像ではぼやけてしまっていることが分かる。



図 3.1 平均画像の元画像の一つ（一部）



図 3.2 平均画像（一部）

### 3.3.2 小領域分割

適用する背景差分法について説明する．本手法で適用する背景差分は，入力画像と背景画像を小領域に分割し，各小領域に対して最大値・最小値正規化を行った後，入力画像と背景画像の対応する小領域同士で更に構図の補正を行い，各画素値の差を小領域内において平均する手法によって作成される．以下に詳細を述べる．

まず，入力画像と背景画像をそれぞれ  $k \times k$  画素の小領域に分割する．この際，画像の上下左右  $p$  画素は小領域に含まれないようにする．これは，構図のマッチングを行う際，小

領域の周辺  $p$  画素を `findTransformECC` に入力するためである。

次に、各小領域について、小領域と周辺  $p$  画素の画素値を最大値最小値正規化する。これは、入力画像と背景画像の日照・天候条件による明度差の影響を抑えるためのものである。

さらに、入力画像の各小領域と背景画像の対応する小領域について、構図のマッチングを行う。これは、3.2 節において画像全体に対するおおまかな構図のマッチングは行われたものの、画像を部分的に見た場合依然細かなずれが残っており、これを補正するためのものである。入力画像の小領域と周囲  $p$  画素を `findTransformECC` テンプレート画像とし、背景画像の小領域と周囲  $p$  画素を `findTransformECC` の入力画像とする。これによって得られたアフィン変換を背景画像の小領域と周囲  $p$  画素に適用した上で、入力画像の小領域に対応する部分を差分の対象とする。

最後に、入力画像と背景画像で小領域ごとに画素値の差をとり、小領域内の画素値の差の平均値を、その小領域内全ての画素の値として背景差分画像を作成する。

以上の操作を複数の背景画像についてそれぞれ行い、同数の背景差分画像を得る。

### 3.3.3 領域の検出

本項では、得られた複数の背景差分画像から、移動物体・障害物の領域を検出する操作について述べる。まず、得られた複数の背景差分画像の平均画像を作成する。この平均画像を閾値  $T$  によって処理し、 $T$  以上の画素値を持つ領域を移動物体・障害物領域とする。

## 第4章 提案手法の実験

### 4.1 鉄道運行映像

実験用に、鉄道運行映像の撮影を行った。表 4.1 に撮影に使用した機材と設定を示す。また、表 4.2 に実験に使用した鉄道運行映像の用途と撮影状況を示す。

表 4.1 撮影機材と設定

カメラ	撮影解像度	撮影フレームレート
SONY FDR-AX30	4K(3840 * 2160 画素)	30 fps

表 4.2 鉄道運行映像の用途と撮影状況

鉄道運行映像 動画名	撮影開始日時	撮影時天候	用途
C0020	2015年10月23日 9時34分	曇り	入力系列
C0023	2015年10月28日 10時46分	快晴	基準背景系列
C0015	2015年10月21日 10時22分	曇り	背景系列
C0021	2015年10月24日 10時10分	曇り	背景系列
C0025	2015年11月10日 10時34分	曇り	背景系列
C0027	2015年11月25日 11時22分	曇り	背景系列

本手法の適用対象は鉄道の前面展望を想定しているが、運転手が映像に入り込んでしまう事を避けるため、本実験では背面展望を撮影し、時系列を反転させて擬似的に前面展望として使用する。実験に使用したのはある特定の駅一 구간についての運行映像である。また、撮影時の画像のサイズは 3840 \* 2160 画素であるが、映像に入り込んでしまっている鉄道車両の窓枠部分等を取り除き、風景部分のみを使用するため、実験に使用する画像サイズは 3060\*1660 画素である。

背景系列に使用する映像は、基準背景系列以外は入力系列の撮影時と天候の近いものを手動にて選択した。

## 4.2 撮影位置のマッチング

撮影位置のマッチングは、3.1 節にて述べた手法によって行う。基準となる系列には C0023 を使用する。また、類似度の算出には、フレーム全体を 1/10 に縮小した画像に対して計算した HOG 特徴量による。



図 4.1 基準背景系列のフレーム



図 4.2 入力系列のフレーム





図 4.3 図 4.1 と図 4.2 の明度値差分

この手法により撮影位置のマッチングが為されたフレームの例を図 4.1~4.3 に示す。図 4.1 は基準系列となる C0023 のフレームである。図 4.2 は入力系列 C0020 のフレームのうち、図 4.1 と撮影地点が同じであると判定されたものである。図 4.3 は図 4.1 と図 4.2 の明度値差分画像である。

図 4.1 と図 4.2 を見ると、ほぼ同じ位置において撮影されたであろうフレームを抽出できていることが分かる。また、図 4.3 を見ると、構図のずれが存在していることが分かる。特に線路の部分や軌道周辺の家屋の輪郭部分を見るとずれの存在が分かる。

### 4.3 構図のマッチング

基準背景系列のフレームをテンプレート画像として用い、入力系列のフレームおよび基準以外の背景系列について、`findTransformECC` による構図のマッチングを行う。この処理結果の例を図 4.4~4.5 に示す。図 4.4 は図 4.1 をテンプレート画像として図 4.2 に対して構図のマッチングを行った。図 4.5 は、図 4.1 と図 4.4 の明度値差分画像である。

図 4.4 では、図 4.2 にアフィン変換が行われ、画像左端と画像下端に黒線部分が生じている。このようなアフィン変換によって生じる黒線部分を取り除くため、以降の処理では、全画像について外周部分を捨てて中央部分のみを使用する。これによって、画像サイズは  $2560 \times 1280$  画素となる。

図 4.5 においては、図 4.3 に存在していた線路等のずれが補正されており、構図のマッチングがとられていることが分かる。しかし、図 4.5 を見ると、依然として細部にずれが存在していることが分かる。画像左側の民家の屋根越しに見える電波塔のずれが目立つ。このずれは、撮影位置のずれによる遠景と近景の画像内における位置関係の差異から生じるも

のと思われる。



図 4.4 画像マッチングした入力系列のフレーム



図 4.5 図 4.1 と図 4.4 の明度値差分

#### 4.4 背景差分法の適用

3.3の手法により、撮影位置・構図のマッチングが為された入力系列のフレームと各背景系列のフレーム間で、背景差分法を適用する。画像を小領域に分割する際の、小領域の一边の長さ  $k$  は 32 画素とする。また、小領域同士の構図マッチングを行う際に参照する周辺領域の大きさ  $p$  は 32 画素とする。

本手法によって得られた背景差分画像の例を図 4.6 に示す。図 4.6 は五つの背景差分の結果を総合し、ある閾値によって検出された領域以外を黒く塗りつぶしたものである。これを見ると、画像左下部分に存在する複数の人物領域について検出が行えていることが分かる。しかし、移動物体や障害物が存在しない部分を検出してしまっている領域も多く存在している。

また、提案手法における背景差分法の適用では、小領域に対する構図マッチングにて繰り返し `findTransformECC` を使用しており、多大な時間を要する。本実験では、1 フレームに対してのこの操作に 4 分弱を要しており、本来リアルタイム処理を必要とする背景差分法において大きな欠陥となっている。

以上のことから、提案手法は不完全なものであり、特に背景差分法の適用を行う操作についてはアルゴリズムの根本的な改善が必要である。



図 4.6 提案手法による検出結果の例

## 第5章 結論

### 5.1 まとめ

背景差分法は一般的に広く使われている強力な物体検出手法であり，鉄道運行映像に対する適用が可能となれば鉄道の安全確保および自動運転の実現に寄与する．鉄道運行は定められたレール上にて行われるため，軌道上の全地点に対する背景を過去の運行映像から抽出することで，背景差分法の適用が実現できる．

背景差分法は一般的に固定カメラの映像に対して適用されるものである．しかし，鉄道運行映像ではカメラが移動しているため，様々な課題が生じる．これに対応するため，撮影位置のマッチング，構図のマッチングと小領域ごとのさらなる構図マッチングを行う手法を提案した．

次に，提案手法による実験を行った．提案した撮影位置のマッチング，構図のマッチングによって入力画像と背景画像の撮影位置と構図を合わせることができると確認できた．しかし，小領域に分割し背景差分法を適用する手法は，障害物と移動物体の領域を検出するものの，多くの誤検出を含み，またリアルタイム性に欠けることが確認された．

### 5.2 今後の課題

本研究では，鉄道運行映像に対する背景差分法の適用について検討し，提案手法による実験を行ったが，その結果，誤検出と抑制とリアルタイム性向上といった課題が確認された．また，天候や日照といった条件の変化に対するロバスト性に関する検証も未だ十分に行えておらず，今後の課題となる．

**謝辞**

本研究成果は、独立行政法人情報通信研究機構(NICT)の委託研究「ソーシャル・ビッグデータ利活用・基盤技術の研究開発」によって得られたものであります。

本研究の必要機材や実験環境，快適な研究環境を与えてくださり，研究および学生生活において素晴らしいご指導を頂いた渡辺教授に心より感謝いたします。

日頃から貴重なアドバイスや示唆を頂いている渡辺研究室の皆様に感謝いたします。

最後に，私をここまで育ててくださり，生活を支えてくださっている家族に感謝いたします。

## 参考文献

- [1] 国土交通省, “鉄道輸送統計年報,” 国土交通省総合政策局情報政策課交通経済統計調査室, <http://www.mlit.go.jp/k-toukei/10/annual/index.pdf>, 参照 Jan. 28,2016.
- [2] 鶴飼, 那須, 長峯: “光学画像センサによる列車前方の監視手法,” 鉄道総研報告, 26(7), pp.29-34, Jul. 2012
- [3] 雑賀, 竹内, 折橋, 甲藤: “列車車載カメラにおける HOG 特徴量を用いた人物検出の精度改善,” 2015 年映像情報メディア学会冬季大会, 22B-5, Dec. 2015
- [4] 松山, 和田, 波部, 棚橋: “照明変化に頑健な背景差分,” 信学論 (D), J84-D-11, No. 10, pp.2201-2211, Oct. 2001
- [5] 岩田, 佐藤, 尾崎, 坂上: “統計的リーチ特徴法に基づくロバスト背景差分,” 信学論 (D), J92-D, No. 8, pp.1251-1259, Aug. 2009
- [6] JR 東日本, “時刻表 新宿駅 山手線 渋谷・品川方面 (内回り),” JR 東日本, <http://www.jreast-timetable.jp/1602/timetable/tt0866/0866110.html>, 参照 Jan. 28,2016.
- [7] 気象庁天気相談所, “東京の年最深積雪の記録と年間降雪日数,” 気象庁 [http://www.jma-net.go.jp/tokyo/sub\\_index/kiroku/kiroku/data/64.htm](http://www.jma-net.go.jp/tokyo/sub_index/kiroku/kiroku/data/64.htm), 参照 Jan. 28,2016.
- [8] GPS.gov, “GPS Accuracy,” NOAA, <http://www.gps.gov/systems/gps/performance/accuracy/>, 参照 Jan. 28, 2016.
- [9] 準天頂衛星システムサービス株式会社, “準天頂衛星システム,” 準天頂衛星システムサービス株式会社, <http://qzss.go.jp/>, 参照 Jan. 28,2016.
- [10] 準天頂衛星システムサービス株式会社, “センチメートル級測位補強サービス,” 準天頂衛星システムサービス株式会社, [http://qzss.go.jp/overview/services/sv06\\_clas.html](http://qzss.go.jp/overview/services/sv06_clas.html), 参照 Jan. 28,2016.
- [11] N. Dalal and B. Triggs, “Histograms of Oriented Gradients for Human Detection,” CVPR, vol.1, pp.886-893, 2005.
- [12] G. D. Evangelidis , E. Z. Psarakis, "Parametric Image Alignment using Enhanced Correlation Coefficient Maximization", IEEE Trans. PAMI, Vol.30, No. 10, pp.1858-1865, 2008.

**図一覧**

図 2.1 背景差分法の例 左:入力画像 中央:背景画像 右:背景差分画像(二値化).....	3
図 3.1 平均画像の元画像の一つ(一部).....	10
図 3.2 平均画像(一部).....	10
図 4.1 基準背景系列のフレーム.....	13
図 4.2 入力系列のフレーム.....	13
図 4.3 図 4.1 と図 4.2 の明度値差分.....	14
図 4.4 画像マッチングした入力系列のフレーム.....	15
図 4.5 図 4.1 と図 4.4 の明度値差分.....	15
図 4.6 提案手法による検出結果の例 .....	16

**表一覧**

表 4.1 撮影機材と設定.....	12
表 4.2 鉄道運行映像の用途と撮影状況.....	12



**研究業績**

- [1] 加藤, 渡辺, “鉄道運行映像に対する背景差分法の適用,” 電子情報通信学会総合大会, May, 15, 2016(発表予定)

# 鉄道運行映像に対する背景差分法の適用

## Utilization of Background Subtraction Method for Railway Operation Image

加藤 君丸  
Kimimaru KATO

渡辺 裕  
Hiroshi WATANABE

早稲田大学基幹理工学部 情報理工学科  
School of Computer Science and Engineering, Waseda Univ.

### はじめに

鉄道運行において、人との接触事故は最も避けなければならない重大な問題の一つである。鉄道の前面展望映像から人物領域を検出できれば、鉄道の安全運行の支援となりうる。

背景差分法[1]は、固定の監視カメラ映像からの移動対象の検出などにおいて広く利用されている。鉄道の運行は、定められたレール上でのみ行われる。本稿では、過去の運行において撮影された映像より、レール上の全ての地点から撮影される背景を抽出し保持しておくことにより、鉄道運行映像に対する背景差分を適用する手法について検討する。

### 鉄道運行映像における背景差分法

背景差分法では、カメラからの撮影画像と背景画像との差分から、移動対象が存在する領域を抽出する。

鉄道の映像に背景差分法を適用する場合、撮影位置とフレーム内での被写体の位置を合わせる必要がある。また、通常の列車速度と映像フレームレートを想定した場合、同一位置から撮影されたフレームを探索することは困難である。例えば、時速 80km の列車に対し、30fps 映像では、1 フレームの間に約 0.74m の移動を伴う。

さらに、鉄道の運行が屋外である場合、日照や天候の変化による影響が大きいという問題点がある。

### 提案手法

本稿では、鉄道運行映像について、撮影位置のマッチング、フレーム内での被写体位置のマッチングを行い、背景差分法を適用する手法を提案する。

まず、背景差分法の適用対象となるある映像のあるフレームについて、他の複数映像系列から、HoG 特徴量による類似度が最も高いフレームを同じ地点で撮影されたものとし、背景とする。

次に、背景差分法を適用するフレームに対して、背景のフレームにおける各物体の座標を合わせる作業を行う。これには、OpenCV の findTransformECC[2]関数を利用する。

得られた複数の背景による背景差分結果を統合し、移動対象領域の判定を行う。

### 実験

実験では、背景の映像を 5 系列として背景差分画像を作成した。対象フレームの一部を図 1 に、背景差分画像を図 2 に示す。図 2 では、写っている物体全ての輪郭部位が白く現れている。これは、提案手法の撮影位置、被写体位置の

マッチングが不完全なためである。従って、小領域に分割、正規化するアプローチを検討した。

まず、提案手法によって作成された 5 枚の背景画像と、対象のフレームを小領域に分割し、小領域内で正規化を行う。次に、さらに対象フレームの各小領域と背景画像の対応する小領域の被写体のマッチングを行う。その後、小領域の中央部分について、画素値の二乗誤差をとり、5 枚の背景画像について小領域ごとに平均する。この値が閾値よりも大きい場合、移動対象領域と判定する。

本手法による背景差分画像の一部を図 3 に示す。人物の領域が移動対象領域として判定されていることがわかる。



図 1 対象フレーム



図 2 背景差分の結果



図 3 小領域分割による手法の結果

### おわりに

本稿では、鉄道運行映像に対する背景差分法の適用について検討した。リアルタイム性及びロバスト性の検討が今後の課題である。

### 謝辞

本研究成果は、独立行政法人情報通信研究機構(NICT)の委託研究「ソーシャル・ビッグデータ利活用・基盤技術の研究開発」により得られたものである。

### 参考文献

- [1] 松山, 和田, 波部, 棚橋: “照明変化に頑健な背景差分”, 信学論 (D), J84-D-II, No. 10, pp.2201-2211, Oct. 2001
- [2] G. D. Evangelidis, E. Z. Psarakis, "Parametric Image Alignment using Enhanced Correlation Coefficient Maximization", IEEE Trans. PAMI, Vol.30, No. 10, pp.1858-1865, 2008.