

画像情報を用いた鉄道運行監視支援システム

若杉健一* 阿部紘士** 阿部健一*

東北大学大学院工学研究科* 秋田県立大学システム科学技術学部**

鉄道を含めて全ての輸送機関には安全であることが求められる。これを実現するために多くのシステムが存在し、その中には画像情報を利用したシステム例も見られるが、画像処理を施したシステムの例は少ない。本研究では画像情報を用いて安全運行に寄与するシステムの可能性について検討した。

その結果、鉄道車両の先頭部に設置したカメラによる画像を解析する方式では、300~400m 程度前方までの軌道および軌道上の障害物を検知することができた。また、踏切等危険が予測される箇所に設置したカメラによる画像を解析する方法では、撮影された物体の大きさや動きをもとに障害物か否かが判別することができた。

両方式ともまだ改善の余地はあるが、運行上支障となる障害物を画像情報を利用して検知するという基本的な目的は実現できたと考えられる。

Support system for railroad operation monitoring using image informations

Ken-ichi Wakasugi*, Kohshi Abe** and Ken-ichi Abe*

Graduate School of Engineering, Tohoku University*

Faculty of Systems and Technology, Akita Prefectural University**

All transport systems, including railroads, should be safe. There are some safety systems, but few systems using image informations are installed in railroad facilities. We examined the possibility of safety systems using image informations for railroads.

By analysis of images shot by camera on the car, we can recognize rails and an obstacle 300~400 meters ahead. We also detected an obstacle on railroad crossover by analysis of images shot by camera near the rails.

There is a room for improvement in our image analysis and obstacle detection method, but we achieved the basic objective of obstacle detection.

1 はじめに

鉄道は輸送機関の一つとして重要な位置を占めており、欠くことのできない交通手段となっている。鉄道が輸送機関である以上安全であることが最重要課題であることは言うまでもないことであり、安全な運行を実現するためのシステムが多く用いられている [1] [2]。また、これらのシステムには画像情報を利用したものも多数含まれているが [3]、その使い方は例えば ITV システムの画像を直接伝送するシステムの例 [4] のように、人の目視による判断が必要であるなど、高度な画像処理を組み合わせている例が少ないのが現状である [5]。

本稿では画像情報を人手を介さずに処理・分析し、鉄道車両の安全な運行を目指すシステムについて検討した。

2 提案する運行監視支援システム

2.1 システムの概要

本システムは、車両上または軌道付近に設置されたカメラによって撮影された映像を計算機で処理・分析して、運行に支障の恐れのある障害物を検知し、事故を未然に防ぐのに供するものである。このシステムは乗務員の視覚情報を補佐することを目的とするものであり、計算機での分析の結果障害が検知された際には乗務員に警報を発生し、対処を促すことを想定している。その後、問題となった画像を乗務員をはじめとする関係係員に呈示したり、必要に応じて後続列車や駅構内の乗客に対しても情報を提供することも可能である。列車制御への適用、即ち防護無線の発報や自動列車停止装置との連動などはシステムの信頼性が十分に確認された後とし、段階的な移行を目指すものとする。

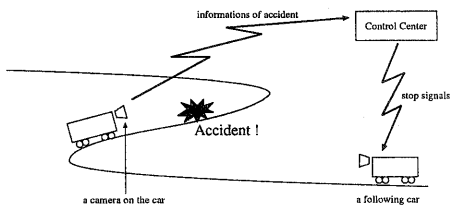


Fig. 1: Outline of "on the car" monitoring system.

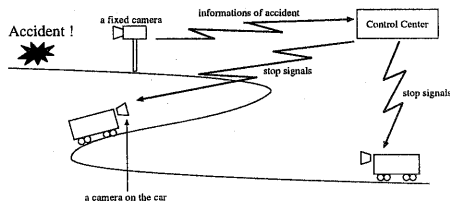


Fig. 2: Outline of "fixed" monitoring system.

本研究で取り扱う運行監視支援システムは、

- 車上搭載型監視支援システム
- 地上固定型監視支援システム

の2つからなる。

2.2 車上搭載型監視支援システム

車上搭載型監視支援システムとは、Fig.1に示すように、先頭車両に搭載したカメラで撮影した列車前方の映像を処理・分析し、進行方向前方の軌道上の障害物を検知するものである。乗務員が見落とし易い遠方を監視することによって、乗務員の視覚情報を補佐することを想定したシステムである。

先頭車両に搭載したカメラは常に軌道前方を撮影し、同車内にある計算機へ画像データを転送する。計算機ではこの画像を一定間隔、例えば0.5秒毎¹⁾に取り込み、処理プログラムで必要な画像処理を施して軌道上の障害物の有無を判断する。ここで障害物が検知されなければ異常なしと判断し、次の画像の処理に取りかかる。もし、処理の結果障害物の存在が認められたら、乗務員に警報を発して対処を促すとともに撮影された画像を表示する。これを受けて乗務員は危険性の有無についての最終的な判断を下し、危険であるとの判断に至れば制動等の必要な措置をとる。

¹⁾ 時速100Kmで走行する列車では約14mおきの処理となる

2.3 地上固定型監視支援システム

地上固定型監視支援システムでは、Fig.2に示すように軌道上のある1点を監視するカメラからの映像により、路線上で事故が発生しやすい危険箇所を重点的に監視するものであり、例えば踏切等で多発する事故を回避するためのシステムである。

カメラは特定の1点を撮影するように軌道付近に固定され、撮影した画像を一定時間毎に計算機へ転送する。処理の結果異常が検出されたら中央指令室等に情報を呈示し、それをもとに係員が判断して停車命令等の対策をとる。

3 システムの検証

3.1 車上搭載型監視支援システム

3.1.1 カメラからの映像入力

本システムは先に述べた通り、列車に搭載したカメラから得られる映像を処理することにより軌道上の障害物の有無を判定するものである。カメラは先頭車両の運転席付近もしくは屋根上に設置し、列車の数100m前方を撮影する。これは、本システムが乗務員の視覚情報を補佐するのが目的であるため、乗務員が見落とし易い遠方の監視を重視したためである。カメラで撮影された映像は、分析処理のために一定時間毎に計算機へ送られる。今回の検証は、カメラからの映像入力は適切に行なわれることを前提とした。

3.1.2 レールの連続性

本システムでは映像中のレールの連続性をもとにして軌道上の障害物の有無を判定した[6]。Fig.3に示す2枚の図は平常時と事故時(軌道内で自動車故障)の軌道画像であり、レールの連続性とは画像下方(手前)から上方(遠方)に向けてレールが途切れなく続いているか否かを意味する。

平常時(左)の場合はレールが遠方(矢印)まで連続しており、軌道上にレールを遮る障害物が存在しないことがわかる。一方、事故時(右)の場合はレールが故障車の部分(矢印)までで途切れしており、軌道上に障害物が存在していることがわかる。

以上のように軌道画像におけるレールの連続性を調べることにより、障害物が存在するか否かを判断することができる。なお、この方法だと左右のレールの間に存在する(レールに直接接触しない)

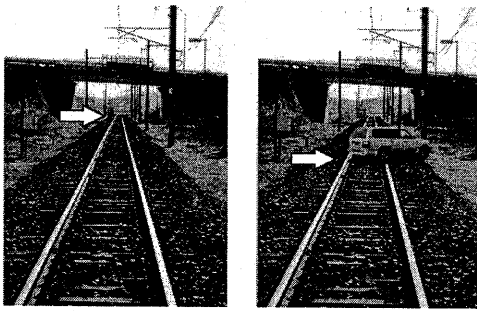


Fig. 3: Continuation of rails in usual (left) and in accident (right).

小さな障害物を検知することができないが、運行上特に危険性の高い障害物の多くはレール上に存在するものとして扱った。

3.1.3 エッジ抽出によるレール検出

レールの連続性を調べるためには、入力された画像に適切な処理を行なってレールのみを正しく認識する必要がある。ここでは以下の手順にしたがってレール部分を検出した。

1. 画像入力とグレースケール化
2. フィルタでエッジを抽出
3. 閾値を用いて二値化
4. 画素の連続性からレールを検出

つまり、1.でカメラから画像を入力し、後の処理のためにグレースケール化を行なう。

2.の過程では1.の画像をフィルタにかけてエッジを抽出する。エッジ処理は画像の輪郭を抽出する際によく用いられる処理であり、基本的には画像に対して空間微分の演算をおこなっている。そのため、隣接画素との階調値の差が大きい画素がエッジとして抽出される。

3.は前段で得られたエッジ画像を、ある閾値を用いて二値化する過程である。二値化とは、多階調画像を閾値を境に二階調画像に変換する処理である。

4.では二値化された画像について、画素の連続性をもとにレールを検出する。3.までの処理が終わった画像は Fig.4 の左図のようになっている。ここで、レールを構成する画素(図中 A)は画像下端の左右から中央上部へ向けて伸びており、一連の隣接する画素から構成されている。これに対し、雑音

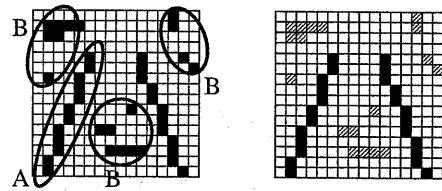


Fig. 4: Binarized image (left) and detected rails (right).

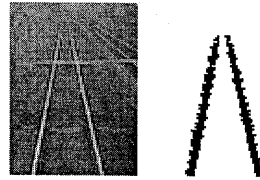


Fig. 5: Original image (left) and detected rails by edge-filter method (right).

成分(図中 B)には画像下端からの連続性がなく不規則に現われている。以上の特徴を利用して、画像下方両端から隣接する一連の画素をレールと判断したものが Fig.4 の右図である。

この検出法を実際の軌道画像に適用したものが図 5 である。確かにレール部分を検出されているが、レール以外の雑音成分も拾っているのがわかる。特にレール近傍では検出されたレール形状が不鮮明になってしまうなど、エッジ抽出による方法だけでは不十分であることがわかる。

3.1.4 階調値によるレール検出

エッジ抽出によるレール検出のみでは不十分であることから、エッジによらないレール検出法を併用する必要がある。

Fig.6 は軌道画像を画素の階調値を縦軸に 3 次元プロットしたものである。これを見るとレール部分の階調値が他の部分と比べて突出しているのがわかる。この特徴を利用し、画素の階調値が画像全体に対して突出している(ピークになっている)部分をレールとして検出することができる。この方法はエッジ検出と似ている点もあるが、物体の輪郭を浮き彫りにするエッジ検出に対してピーク値を利用する方法はレールを面としてとらえることができ、レール形状をより適切に検出できる特徴

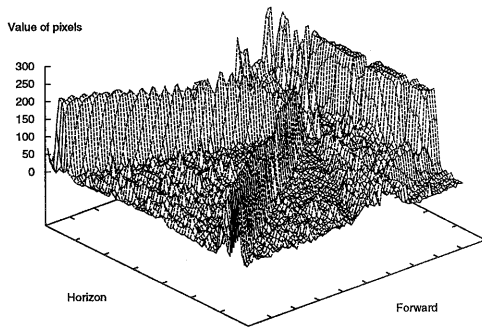


Fig. 6: 3D plot of pixels.



Fig. 7: Detected rails by pixel-valued methods (left) and finally output image of rails (right).

がある。

一方、レール部分のピークの値が画像中ではほぼ一定、言い替えればレール面はだいたい同じ色に見えることを利用すれば、画像中のレールと同じ色(階調値)の画素を拾うことでもレールを検出できる。レール色の基準は他の方法を元に決定する必要がある。

これら画素の階調値を直接利用する2つの方法は、ピーク値を利用する方法が周辺画素との相対的な関係を利用しているのに対し、同じ色の画素を検出する同色法は1つの画素の値をそれぞれで判断する特徴がある。

Fig.7の左図は階調値を用いる2つの方法を組み合わせた結果である。エッジ検出による方法よりも鮮明にレールを検出できているが、レール以外の部分も誤検出してしまっている。以上の3方法はそれぞれ単独では不十分であるので、最終的には各方法による結果を組み合わせることで検出結果とした。この結果を示したのがFig.7の右図である。最後にこの出力からレールの連続距離を求め、レールが

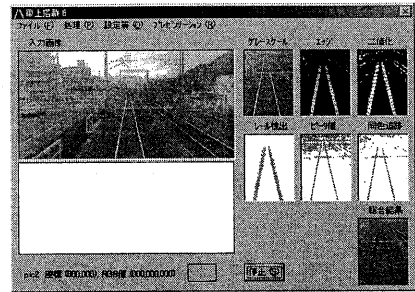


Fig. 8: Appearance of the operation monitoring program

一定距離以上連続していない場合には障害物が存在するものと判断した。

3.1.5 実験と評価

Fig.8は処理プログラムによる表示の外観である。本来はカメラから映像を入力して処理を行なうが、実験の都合上、ここでは事前に家庭用ビデオカメラで撮影した動画を複数枚からなる時系列静止画像に変換し、この画像を順次取り込むものとした。平常時は検出されたレール部分が画面右下に赤く表示され、レールの連続性が途切れて障害物が存在すると判断された場合にはその旨を画面に表示する。

実験に用いた画像は、阿武隈急行株式会社殿の御協力により撮影した軌道前方のビデオ映像を複数枚の静止画に切り出したものを用いた。

障害物のない通常走行時の様子はFig.8に示した通りであり、遠方まで連続してレールを検出している。検出されたレールが十分な距離を保っているため、軌道上に障害物がなく安全であるとの判定がなされている。この状態で列車から200~250m先までの安全が確認できた。また、カメラのズーム機能を用いることにより最大300~400m前方まで確認することができたが、この場合は映像が不鮮明になってしまうため正確さを損なう恐れがあった。

Fig.9は駅構内進入時の画像である。正面には停車中の列車が見えており、この列車を障害物として検知できるか否かを実験した²⁾。処理の結果、およそ150m手前で停車車両を障害物として検知し、そ

²⁾ 実際には場内入口の転轍器の開通方向が異なるため正確には障害物ではない

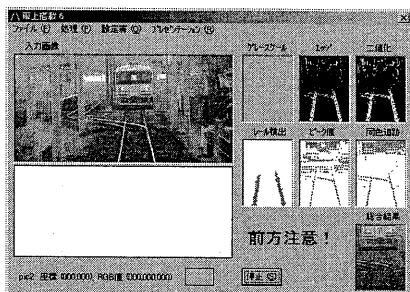


Fig. 9: Process in an accident

の旨を伝える警告が表示された。設定により、200m以上手前で警告することも可能である。

以上今回の実験結果では映像の質に左右される部分が大きく、障害物が検知できる距離もあまり伸びなかった。これはカメラ等の光学系機器の性能をあげることで対処でき、今回用いた機器がすべて市販の民生用機器であったことを考えれば、妥当な結果であったと考えられる。

なお、現行の列車の場合制動距離が約600mであるので実際には700m以上先まで監視できることが望まれる。高性能なカメラや計算機等の環境を整えるなど、実用化に際しては改善の余地が大きい。

3.2 地上固定型監視支援システム

3.2.1 比較による障害物検知

この地上固定型監視支援システムは、軌道上の1点を常に監視するものであり、本稿では監視対象として踏切を扱う。踏切は鉄道と道路の接点であり、事故が発生しやすい箇所である。万一踏切内で自動車等が故障等で動けなくなった場合、事故につながる恐れがあり非常に危険である。よって、ここでは本システムの障害物検知の一例として、踏切内に存在する自動車の検出を検討する。

本システムは、あらかじめ用意した基準画像とカメラで撮影された入力画像との比較により、障害物を検知する。これは2枚の画像を画素ごとに階調値を比較することで相異なる部分を抽出し、その異なる部分を障害物としてとらえるものである。その際に単順に2枚の画像の差をとると、カメラのぶれや風による背景のわずかな変化までも検出してしまふ。そこで、差をとるまえに2枚の画像を低解像度化(モザイク化)することで誤検出を減

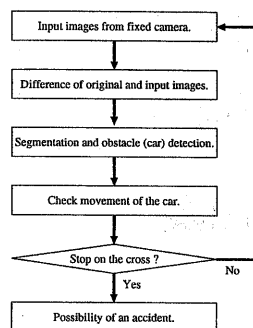


Fig. 10: Processes of "fixed" system.

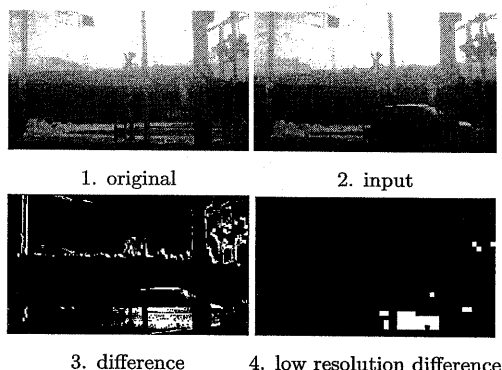


Fig. 11: Obstacle (car) detection by difference.

少させることを試みた。Fig.11の1.と2.に基準画像と入力画像を示す。入力画像の中には踏切中央に自動車が進んでいる。この2枚の画像について差をそのままとったものが3.であり、自動車とともに背景の一部も検出している。一方、比較する2枚の画像を低解像度化した後に差をとると4.のようになり、自動車以外の背景等の誤検出が大幅に減少した。

3.2.2 障害物の移動軌跡

前段階までの処理によって入力画像と基準画像の差異が検出されたが、自動車以外のものも検出されている。ここでは踏切を通行する自動車の特徴をとらえ、自動車ではないと思われるものは除外する処理を行なう。ここでは踏切を通行する自動車の特徴として以下を考えた。

- 一定以上の大きさ
- 路面上をほぼ平行に移動

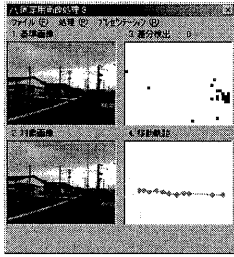


Fig. 12: Appearance of the “fixed” monitoring system.

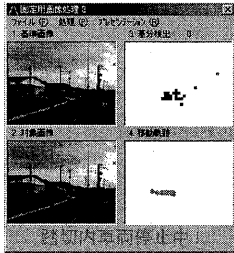


Fig. 13: Process in an accident.

● 比較的低速

まず、基準画像との差をとった画像について領域分割を行なって各領域の面積を求め、一定面積以上の領域を自動車とみなしてその領域の重心の位置を求める。この処理によって小面積の背景等の誤検出などは除去できる。その後、次々と入力される画像についても同様の処理を行うことにより、その自動車の位置の軌跡を求めることができる。その軌跡が上記の条件に合致しているか否かにより、自動車であるかどうかを推測することができる。また、移動の仕方によって正常に踏切を通過したのか、あるいは踏切内で停止してしまったのかを判定することができる。

3.2.3 実験と評価

車上搭載型システムと同様に、カメラからの入力を想定した画像を処理するプログラムを作って実験を行った。Fig.12はその外観であり、左上に基準画像、左下に入力画像が表示される。そしてこの2枚について領域分割までを行なった画像が右上に、自動車の軌跡が逐次右下にプロットされる。

自動車が踏切内を正常に通行すると、右下に表示される自動車の軌跡は一定間隔で水平方向に伸

びていき、無事に踏切を通過したことがわかる。しかし、踏切内で故障等の理由で自動車が停止した場合はFig.13のように軌跡が踏切中央で滞ってしまうため、踏切内での異常を検知して警告が表示された。

実験の結果、基準画像と入力画像との差分・領域分割によって踏切内に存在する障害物(立往生している自動車)を検出し、事故につながる危険性があるか否かを判定することができた。

しかし、基準画像の選定や天候の変化への対応など考慮すべき点があり、まだ改善の余地があるといえる。また、多数の自動車が踏切内に存在する場合やより小型の物体への対応も考慮する必要がある。

4 まとめ

以上、本研究で取り扱った2つの監視支援システムについて述べた。車上搭載型監視支援システムでは見通し距離に若干不十分な点があるものの、軌道画像からのレールを検出及び障害物の存在を検知することができた。地上固定型監視支援システムでは踏切内を通行する1台の自動車についてその軌跡を分析し、踏切内で停車しているか否かを判断することができた。

両方式とも改善の余地はあるものの、安全な運行に支障のある障害物を検知するという基本的な目的は達成できたと思われる。

参考文献

- [1] 渡辺寿男,「新幹線の電子制御・通信システム」,電子情報通信学会
- [2] 菱沼好章,「信号保安・鉄道通信入門」,中央書院
- [3] 笹間宏,「鉄道における画像技術利用の現状」,鉄道総研報告,vol.7 No.11 pp.1-8,1993年11月
- [4] 加藤,竹村,中川他,「列車・地上間における画像伝送方式の開発」,第33回鉄道におけるサイバネティクス利用国内シンポジウム論文集,804,pp.445-448,1996年11月
- [5] 田中豊,佐々木敦,市倉庸宏,「画像処理を用いた新幹線新型確認車の開発・導入について」,JREA 1998 vol.41 No.7, pp.25510-25513
- [6] Wilfried Enkelmann, “AN OBSTACLE DETECTION SYSTEM FOR AUTOMATIC TRAINS”, WORLD CONGRESS ON RAILWAY RESEARCH, 1997