

ステレオ画像処理技術を用いた踏切障害物検知装置



高荷 洸*

加藤 尚志*

渡邊 貴志*

現在の踏切障害物検知装置は、踏切道内に機器を設置しなければならないという制約から、「施工性が悪い」といった課題がある。近年、ITS（Intelligent Transport Systems：高度道路交通システム）の分野において、「画像処理を利用したセンサ」が盛んに研究されている。その取組みのなかで、複数のカメラを用いて物体の高さ情報を求めるステレオ画像処理の活用がある。以前にステレオ画像処理を用いて踏切道での障害物検知の基礎実験を実施したところ、90%以上の検知率が得られている。そこで、更なる検知率の向上を目的に障害物検知アルゴリズムの改良を行った。このアルゴリズムを用いて踏切において試験を行った結果、雨天夜間においても安定した検知性能を有しており、平均で98.7%の検知率が得られた。

●キーワード：踏切障害物検知装置，画像処理，ステレオ計測，障害物検知アルゴリズム

1 はじめに

踏切障害物検知装置は、自動車（特に大形自動車・ダンプカー）が踏切内でエンストなど立往生して列車と衝突し、乗客や乗務員に危害を与える事故を未然に防ぐために開発された。実用化されている装置には、赤外線光線を遮断することで物体を検知する光電方式と、金属体によるインダクタンス変化を利用したループコイル方式の2種類がある。これら装置の共通な問題点として、踏切道内に設置するため、「施工が難しい」ということがある。また、ループコイル方式では、金属体の検知のみといった「検知対象の制約」がある。光電方式では、踏切道内の低位置に受発光装置を設置するため、「作業の邪魔になる」「いたずらされやすい」ことや「列車が舞い上げた雪等による誤検知」などがある。

近年、踏切での事故は減少傾向ではあるが、依然として、無謀な進入による「自動車のトリコ」や「人や自転車との衝突」など発生している。

これらの衝突事故を未然に防ぐため、従来の踏切障害物検知装置よりも優れた装置を開発することが求められている。理想的な踏切障害物検知装置として、

- (1) 障害物の種類を問わず確実に検知が可能
- (2) 踏切道内に装置設置が不要
- (3) 低コストで導入が可能
- (4) 気象条件に検知性能が左右されない

ことが挙げられる。

従来の検知方式にかわる新しい方式として、画像処理¹⁾、超音波²⁾、レーダー技術³⁾の適用が検討されてきた。このう

ち、画像処理方式については以前よりアイデアがあったにも関わらず、画像処理関連の機器の性能や価格など様々な課題があったため、実用化には至っていない。しかしながら、近年のIT技術の躍進により、カメラやコンピュータなど電子機器の高性能化と低価格化は目覚しく、ITSなど画像処理技術と情報通信技術を活用した研究開発が盛んに行われるようになった。

屋外環境における画像処理による監視は、構造物の影や天候変化などにより、絶えず観測するシーンが変動するため、困難とされてきた。予め用意された画像（情報）から現在の画像との差から物体を検知する、背景差分法やフレーム差分法が一般的に知られているが、影や路面での反射など様々な天候に対応した監視は困難である。そこで、1台のカメラによる障害物検知処理ではなく複数のカメラを用いて、ステレオ計測の原理で3次元情報を獲得して物体の判断を行う方法が考えられる。しかし、一般的なステレオ計測では、2枚の画像間の特徴点の対応探索に莫大な演算量を必要とするため、実時間監視システムの実現には、高性能な画像処理LSIを用いなければならない。また、ステレオ視を行うためには、共通視野に座標系を仮定し、この座標系で3次元位置が既知の点を多数用意して、カメラキャリブレーションを行う必要があるが、屋外の実環境下で、このようなキャリブレーションを精度良く行うのは難しい。

これに対して、一般的に観測する道路や通路は平面であることから、左右のカメラ間で平面が一致するように一方のカメラ画像を変換して、画像間の差を求めることで、路面上に存在する高さのある物体を検知する平面投影ステレオ法⁴⁾が

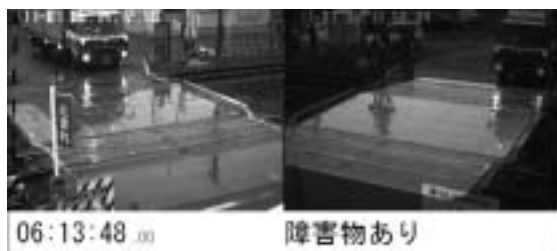
ある。この手法では平面から平面への画像変換を1回行うだけなので、演算量も少なく、キャリブレーションは路面上の特徴点だけで行えるため簡便である、という利点がある。

1999年に平面投影ステレオ法を用いて踏切での障害物検知実験を実施したところ、90%以上の検知率が得られている。しかしながら、平面投影ステレオ法では、左右のカメラで高さ方向の視差のない、路面上の影を除去することはできるが、高さ方向の視差が異なる、水たまり等の鏡面反射による像は除去できないという課題があった。そこで、平面投影ステレオ法を基に、水たまりの反射等の虚像を除去し、実像だけを検知する障害物検知アルゴリズムを検討した。そして、今回検討した新しい障害物検知アルゴリズムを実装した踏切監視システムを試作し、踏切において障害物検知性能の評価を実施した。

2 ステレオ画像の事前検討

以前に実施した実験において、検知率を低下させた原因として、図1に示すような路面反射による虚像と左右カメラ画像の輝度差による影響が挙げられる。そこで、ステレオ画像処理に適した画像を検討するために、基礎実験を実施した。

まず、路面反射による影響を軽減するため、偏光フィルタを適用した。図2に偏光フィルタの有無の画像を示す。



路面反射による虚像を誤検知



通常の左右カメラ画像



左右カメラの輝度差が大きい場合

図1：検知率を低下させた原因

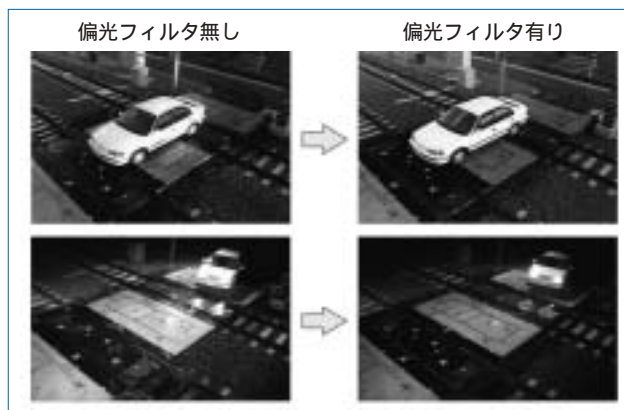


図2：偏光フィルタの有無の画像

2つの画像を比較した結果、偏光フィルタにより路面表面での反射が軽減していることが確認できた。偏光フィルタを使用することで、若干画像が暗くなるが、この程度であれば物体検知処理に影響がないと思われる。

次に、2台のカメラ間隔により生じる左右画像の輝度差を把握するために、カメラ間隔を1m、1.5m、2mとした場合の画像を取得して比較を行った。その結果、カメラ間隔が2m以下であれば左右カメラ画像の輝度に差がないことが確認できた。

3 障害物検知アルゴリズムの検討

平面投影ステレオ法による障害物検知では、水たまり等で反射した虚像も高さがある領域、つまり障害物と誤って検知してしまう。このような誤りをなくすために、ステレオ計測の原理で3次元情報を求めて虚実を区別することも考えられるが、2枚の画像間の特徴点の対応探索やキャリブレーションなどの莫大な演算を伴うという課題がある。しかしながら、踏切での障害物検知にステレオ画像処理を利用する目的は、障害物の大きさや位置を求めるのではなく、踏切道内の障害物の有無の判定であるので、虚実の判定のみで良い。水たまり等で反射した虚像は、ステレオ画像では路面より下側で対応するため、平面投影ステレオ法で検知した領域について、路面の上下どちらかにあるかを判定できれば区別ができる。

画像処理を使用したモデリングの分野において、基準平面に投影した複数の画像をもとに、物体の3次元形状を復元するSpace-Sweep法⁵⁾が提案されている。これは、図3に示すように、路面に平行な平面を複数仮定し、これらの複数平面に像、あるいは像の特徴量を投影し物体の形状を復元する手法であり、必要なパラメータは平面投影ステレオ法で使用する行列式から計算できるため、特別なキャリブレーションが不要である。また、複数平面の各平面への投影は、路面に投影した像の拡大・縮小・平行移動で求められるため、従来

のステレオ計測に比べて高さを求める演算量を減らすことが可能である。正確な形状復元を行うためには、複数台のカメラを用いて莫大な演算を行わなくてはならないが、平面投影ステレオ法により検知された領域が路面に対して上下どちらかに像があるか判別できればよいだけであり、またカメラも2台のみであるので、Space - Sweep法を用いてもリアルタイム性を損なうことはない。

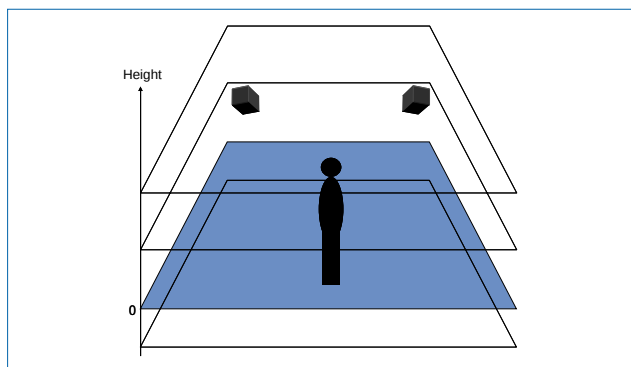


図3：Space - Sweep法

図4に今回検討をおこなった障害物検知アルゴリズムの処理の流れを示す。図中のAが左カメラ画像、Bが右カメラ画像である。まず、右カメラの画像を左カメラと平面が一致するように投影変換する（図中C）。次に、遮断かんを検知しないようにAとCをマスク処理する（図中D、E）。そして、高さのある領域をDとEとの差分処理により求める（図中F）。最後に、検知した高さのある領域についてブロック毎に高さ判定を行う（図中G）。

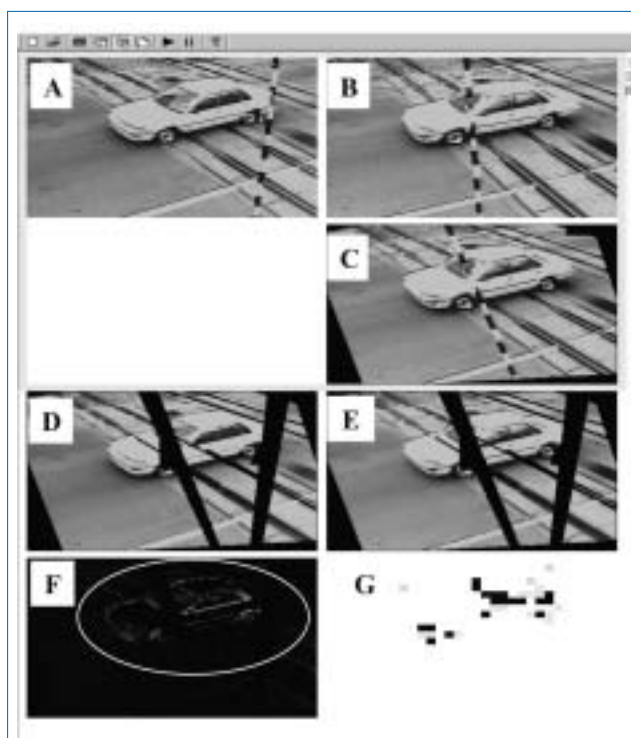


図4：障害物検知アルゴリズムの処理の流れ

4 現地試験

埼京線板橋・十条間の仲仙道踏切にて、改善した障害物検知アルゴリズムを実装した踏切監視システムを試作して踏切障害物の検知実験を実施した。屋外環境下での画像処理として問題となる、下記事項の検証を目的とした。

- (1) 天候変化（晴、曇、雨等）による影響
- (2) 日照変化による影響
- (3) 風や列車通過時の振動の影響
- (4) 構造物の影等による影響
- (5) 照明等による影響

図5に示すように、2台のカメラは専用の固定金具を製作して、スパン線が固定されている既設のコンクリート柱に取付けた。2台のカメラ間隔は1.75m、高さは4mとした。図6に示すように、PC等システムを構成する機器は、無停電電源装置（UPS）と空調機器と共に仮設の測定小屋に設置した。障害物検知装置（レーザー式）との動作比較を行うために、既設装置の検知結果出力を取得した。画像処理に使用した画像データと処理結果および既設装置の検知結果は、画像蓄積PCのハードディスクに保存して、データを定期的に回収した。



図5：カメラの取付状態

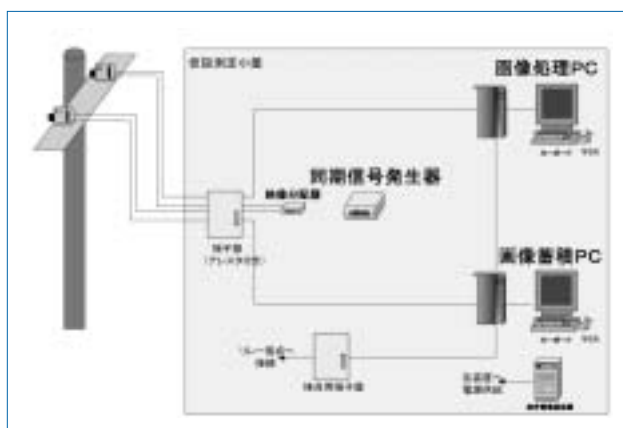


図6：踏切監視システムの構成

5 試験結果

現地試験で得られた32シーケンス（1シーケンス40分）384000フレーム（毎秒5フレーム）について検知の可否を確認した。踏切監視システムが障害物ありと出力した回数を実際に踏切内に進入した車両・歩行者等の数で割った値を検知率とした。

時間帯を日中（6～17時）夜間（17時～6時）の2種類とし、検知性能に大きな影響を及ぼす晴れ・曇り、雨（少）雨（多）と分類した。表1にそれぞれの検知率を示す。また図7に踏切監視システムによる車両や人物の検知例を示す。

表1：現地試験における検知率

	晴れ 曇り	雨(少)	雨(多)	平均
日中	99.4%	99.2%	97.1%	98.8%
夜間	99.2%	95.7%	96.9%	98.4%
平均	99.3%	98.9%	97.1%	98.7%

日中は、雨（多）以外で、99%以上の検知率が得られた。雨天時は、路面（アスファルトやコンクリート）が濡れて全体的に色が黒っぽくなる一方で、水たまりが空を反射している部分は白くなるため、対象のコントラストが悪化する。特に白い車両が輝度飽和を起こして検知が困難になる場面を想定したが、実際には誤りは1%以下に留まった。また、水たまりに空や構造物が映りこみ、平面投影ステレオ法で検知された高さを有する領域も、高さ判定で路面付近もしくは路面以下での変化と判定され、障害物としては検知することはなかった。一方、豪雨時は路面や検知対象表面で乱反射が起こり、物体のテクスチャが乱されてしまうため、高さ判定を誤る場合があった。

夜間は、路面が乾燥している場合では99%以上の検知率が得られた。しかしながら、路面が濡れている場合や水たまりができている場合において、僅かではあるが検知漏れが生じている。これは、日中の場合と同様に路面が濡れてシーン全体が暗くなる一方で、踏切近くにある看板照明（ネオン）や車両のヘッドライトの影響で日中以上にコントラストが極端に悪化するためである。この場合は日中とは異なり背景と同系色となる黒い対象物の検知が困難となる。更に、レールや水たまりでの看板照明や車両のヘッドライトの影響が重なった場合、路面表面で乱反射が起こり、それを障害物と誤検知してしまう場面も見られた。また、夜間ではカメラの露光時間が長くなるため、速度のある物体は捉え難くなる傾向が若干見られた。踏切に進入する二輪車や自転車は、その他の車両とは異なり踏切手前で一時停止を行うことがほとんど無く、速度を落とさず進入する。このため、通過中の二輪車は

検知されにくく、検知漏れの原因となっている。

風や列車通過時の振動による影響は、2台のカメラを共通の金具に固定したことにより、全く見られなかった。

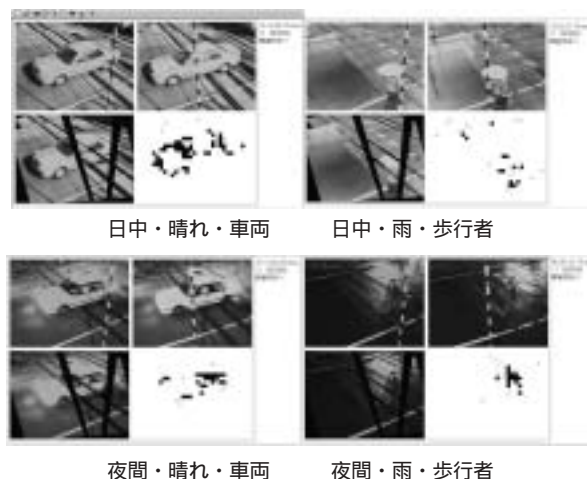


図7：踏切監視システムによる検知例

6 終わりに

踏切道といった屋外での画像処理技術の適用は、環境変化への追従といった課題がある為に困難であると考えられてきた。しかし、今回の試験結果が示すように、実用化に十分耐えられるレベルに着実に近づきつつある。また、画像処理に関連するカメラやコンピュータなどの高性能化と低価格化は、IT分野の発展に支えられて、著しい勢いで実現している。今後、ステレオ画像処理を用いた踏切障害物検知装置を実現するために、低コストで信頼性の高いハードウェア構成の検討と障害物検知アルゴリズムの更なる改良を実施していく。

参考文献

- 1) 佐藤正信, 加藤 功, 片岡義雄, 新井 直, 安井重光, 藤智亮: 画像処理を用いた踏切監視システム, 鉄道サイバネ・シンポジウム論文集, 1994, 512 - 515.
- 2) 佐藤和敏, 新井英樹, 小林 朽, 牛島康博: 超音波式踏切障害物検知装置の開発, 鉄道総合技術研究所要請課題報告, 2000.3.
- 3) P.Suzan, and P.Schiirmans : Gefahrenraumfreimeldung mit Radarscanner, SIGNAL + DRAHT, 91, 1999.6.
- 4) K.Onoguchi, Shadow Elimination Method for Moving Object Detection, ICPR 98, 583 - 587, 1998.
- 5) R.T.Collins, A Space - Sweep Approach to True Multi - Image Matching, IEEE Computer Vision and Pattern Recognition, 18 - 26, 1996.