

## 2本の水平線分と消失線を用いた複比に基づく障害物検出

眞弓 健二郎<sup>†1</sup> 林 豊 洋<sup>†2</sup>  
榎 田 修 一<sup>†3</sup> 江 島 俊 朗<sup>†3</sup>

車載カメラから得られる動画像を用いた研究が盛んに行われている中で、先行車両の検出技術は重要な技術の一つである。その中で、車載カメラの普及に伴い、様々な位置・角度で取り付けられたカメラの映像に対して、画一的に適用可能な手法が求められる。そこで本論文では、複比と消失線に基づく障害物検出法に注目し、従来手法では明確な考察のなされていなかったカメラの仰俯角への対応について定式化を行うと共に、新たに路面の消失線の位置を導入することにより、画像中の2本の水平線分を用いる計算手法について、カメラの仰俯角と車両のピッチング運動に対する頑健性の向上を図る新たな手法を提案する。

### Obstacle Detection Based on Cross Ratio Using Vanishing Lines and Two Horizontal Line Features

KENJIRO MAYUMI,<sup>†1</sup> TOYOHIRO HAYASHI,<sup>†2</sup>  
SHUICHI ENOKIDA<sup>†3</sup> and TOSHIAKI EJIMA<sup>†3</sup>

This paper treats a method for detecting vehicles as obstacles using a single car-mounted camera. With the spread of car-mounted camera, the uniform method is required which applicable to videos from camera in various positions and angles. There, focus on the method using cross ratio and vanishing lines, propose the introduction of position of vanishing line of grand plane and attempt to improvement of robustness to the angles and pitching motion of vehicles, for the calculation method using two horizontal lines in the image.

#### 1. はじめに

自動車がかかせない現代の交通システムにおいて、毎年数十万件発生している交通事故は大きな問題である。近年では交通事故に対する運転手の安全意識が高まり、様々な手法を用いて事故の減少が図られている。その一つとしてドライブレコーダーはじめとする車両へのカメラの取り付けが挙げられる。ドライブレコーダーによって記録された映像は、事故発生時の証拠として用いることができるうえに、運転手の安全意識を高める効果も期待されており、タクシーやトラックといった営業車両を中心に普及が進んでいる。また、従来は専用機器として一般向けには敷居の高かったドライブレコーダーだが、昨今のスマートフォンの急速な普及に伴い、アプリケーションとして容易に利用することが可能になることで、一般車両への搭載の拡大が期待されている。そうした中、様々な事故映像が収集され、安全運転に関する知見の獲得が交通事故の減少に役立っていると同時に、その膨大な量の画像データの解析時にかかる人的負担の増加も問題となっている。そこで、分類・解析の自動化が必要となる。

本研究では、単眼車載カメラ画像を用いた障害物の自動検出を目指す。車対車の事故のなかで最も多いのは追突事故である。追突事故の解析自動化には先行車両領域を検出する必要がある。その手法として岡田らの複比と消失線に基づく障害物検出法<sup>1)</sup>に注目する。この手法は、射影変換における不変量である複比の値と消失線の情報を利用して、画像中から検出される水平な平行線分（以下、「水平線分」と呼ぶ）の組が先行車両などの障害物に属する場合と、路面に属する場合とでそれぞれ運動予測を立て、その予測位置と実際に観測される位置を比較することにより、それらの線分が属する平面の向きを求めるとする手法である。

本研究では、岡田らの論文の中で詳細な考察のなされていない2本の水平線分と消失線を用いた検出法について厳密な定式化を行うと共に、路面の消失線の位置を用いてカメラの取り付け角への頑健性の向上を図る新たな手法を提案する。

---

†1 九州工業大学大学院情報工学府  
Kyushu Institute of Technology Graduate School of Computer Science and Systems Engineering  
†2 九州工業大学情報科学センター  
Kyushu Institute of Technology Information Science Center  
†3 九州工業大学大学院情報工学研究院  
Kyushu Institute of Technology Faculty of Computer Science and Systems Engineering

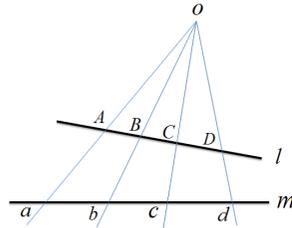


図 1 複比  
Fig. 1 Cross ratio

## 2. 水平線分と消失線を用いた複比に基づく障害物検出

### 2.1 複比の不変性に基づく運動拘束

複比とは、同一直線上の 4 点により定められ、射影変換に対する不変量である。直線  $l$  上にある 4 点  $A, B, C, D$  が別の直線  $m$  上の 4 点  $a, b, c, d$  に射影されたとき、次式 (1) の関係式が得られる。

$$I_{ABCD} \equiv \frac{\overline{AD}}{\overline{AC}} \cdot \frac{\overline{BD}}{\overline{BC}} = \frac{\overline{ac}}{\overline{ad}} \cdot \frac{\overline{bd}}{\overline{bc}} \quad (1)$$

ここで、 $I_{ABCD}$  は同一直線上の複比を、 $\overline{AC}$  等は 2 点間の距離をあらわす。

図 2 に示すように、障害物平面または路面平面に属する同一直線上の 4 点  $A, B, C, D$  を通る 4 本の水平線分  $L_A, L_B, L_C, L_D$  が画像平面の水平線分  $l_a, l_b, l_c, l_d$  に射影され、それぞれの観測された鉛直 ( $y$ ) 方向の位置を  $y_a, y_b, y_c, y_d$  とすると式 (1) より次式 (2) が得られる。

$$I_{ABCD} = \frac{\Delta AC}{\Delta AD} \cdot \frac{\Delta BD}{\Delta BC} = \frac{\delta_{ac}}{\delta_{ad}} \cdot \frac{\delta_{bd}}{\delta_{bc}} \quad (2)$$

このとき、 $\delta_{ac} = |y_a - y_c|$  である。

さらに、4 本の水平線分  $L_A, L_B, L_C, L_D$  を含む平面が現時刻  $t_1$  から次時刻  $t_2$  の間に 3 次元空間を移動するとき、これら 4 本の水平線分における複比は保存され、次式が成り立つ。

$$I_{ABCD} = \frac{\delta_{ac}(t_1)}{\delta_{ad}(t_1)} \cdot \frac{\delta_{bd}(t_1)}{\delta_{bc}(t_1)} = \frac{\delta_{ac}(t_2)}{\delta_{ad}(t_2)} \cdot \frac{\delta_{bd}(t_2)}{\delta_{bc}(t_2)} \quad (3)$$

同一平面上の 4 本の水平線分は必ず式 (3) を満たす関係にある。もしも、4 本の線分のうち一部が障害物平面に属し、残りの線分が路面に属していた場合には式 (3) を満たさな

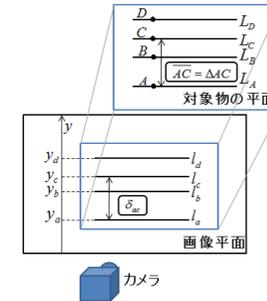


図 2 投影モデル  
Fig. 2 Projection model

い。このことを利用して、画像中で検出された水平線分の組に対して上記の運動拘束式を用いて評価を行い、障害物平面に属するか否かを判定する。

#### 2.1.1 消失線の導入

前述した 4 本の水平線分のうち  $l_d$  を路面、障害物平面の消失線と置き換えることにより、残りの 3 本の水平線分の路面、障害物平面のそれぞれにおける運動拘束式を導出する。

##### 障害物平面の消失線

前提条件より、障害物平面は画像平面に平行なので、その消失線の鉛直方向の位置は  $y = \infty$  となる。路面と同様に式 (3) に  $y_d = \infty$  を代入し、障害物平面上の 3 本の水平線分に関する運動拘束 (以下、「障害物運動拘束」とよぶ) を得る。

$$\frac{y_a(t_2) - y_c(t_2)}{y_a(t_1) - y_c(t_1)} = \frac{y_b(t_2) - y_c(t_2)}{y_b(t_1) - y_c(t_1)} = M_v \quad (4)$$

ここで、 $M_v = (y_a(t_2) - y_b(t_2))/(y_a(t_1) - y_b(t_1))$  である。また、式 (5), (4) 共に、 $y_c > y_b > y_a$  である。

##### 路面の消失線

画像中心を  $y = 0$  とすると、前述した前提条件より路面の消失線の画像中における鉛直方向の位置は  $y = 0$  となる。式 (3) について、 $y_d = 0$  を代入することで路面上の 3 本の水平線分に関する運動拘束 (以下、「路面運動拘束」と呼ぶ) を得ることができる。

$$\frac{\frac{1}{y_a(t_2)} - \frac{1}{y_c(t_2)}}{\frac{1}{y_a(t_1)} - \frac{1}{y_c(t_1)}} = \frac{\frac{1}{y_b(t_2)} - \frac{1}{y_c(t_2)}}{\frac{1}{y_b(t_1)} - \frac{1}{y_c(t_1)}} = M_h \quad (5)$$

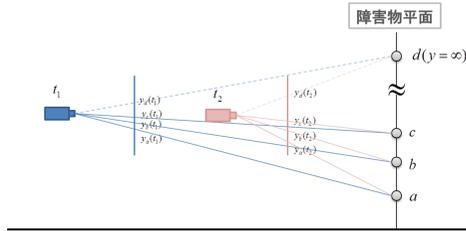


図3 障害物運動拘束モデル  
Fig.3 Obstacle motion constraint model

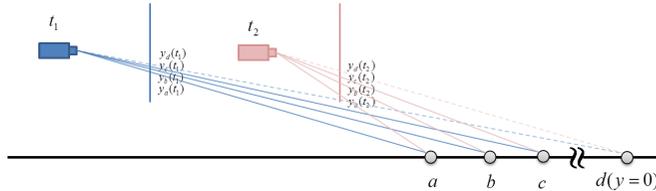


図4 路面運動拘束モデル  
Fig.4 Road motion constraint model

ここで,  $M_h = 1$ ,  $y_i(t)$  は水平線分  $l_i$  の時刻  $t$  の鉛直方向の位置である.

### 2.1.2 運動拘束から導かれる予測式

得られた路面運動拘束と障害物運動拘束に基づいて次時刻  $t_2$  における 2 本の水平線分  $l_b, l_c$  の鉛直方向の位置を予測する. 路面運動拘束に基づく予測位置  $y_b^h(t_2), y_c^h(t_2)$ , 障害物運動拘束に基づく予測位置  $y_b^h(t_2), y_c^h(t_2)$  はそれぞれ, 次式 (6), (7) で計算する.

$$\begin{cases} \frac{1}{y_b^h(t_2)} = \frac{1}{y_c(t_2)} + M_h \left( \frac{1}{y_b(t_1)} - \frac{1}{y_c(t_1)} \right) \\ \frac{1}{y_c^h(t_2)} = \frac{1}{y_a(t_2)} + M_h \left( \frac{1}{y_c(t_1)} - \frac{1}{y_a(t_1)} \right) \end{cases} \quad (6)$$

$$\begin{cases} y_b^v(t_2) = y_c(t_2) + M_v(y_b(t_1) - y_c(t_1)) \\ y_c^v(t_2) = y_a(t_2) + M_v(y_c(t_1) - y_a(t_1)) \end{cases} \quad (7)$$

### 2.1.3 検出評価関数

水平線分が実際に観測された位置  $y_b(t_2), y_c(t_2)$  と, 路面運動拘束から予測された位置  $y_b^h(t_2), y_c^h(t_2)$ , 障害物運動拘束から予測された位置  $y_b^v(t_2), y_c^v(t_2)$  の関係から, 対象の物体

が障害物平面であるかどうかを推定する. 観測された位置と, 障害物運動拘束から予測された位置の差が小さければ, その物体は障害物運動拘束にしたがって運動しているため, 障害物と判断することができる. そこで, 次式 (10) を用いて 3 本の水平線分の組を評価する.

$$D_{abc}^h = |y_b^h(t_2) - y_b(t_2)| + |y_c^h(t_2) - y_c(t_2)| \quad (8)$$

$$D_{abc}^v = |y_b^v(t_2) - y_b(t_2)| + |y_c^v(t_2) - y_c(t_2)| \quad (9)$$

$$s_{abc} = D_{abc}^h - D_{abc}^v \quad (10)$$

$s_{abc}$  を障害物評価値と呼び,  $s_{abc}$  が十分大きな正の値をとるとき 3 本の水平線分の組が属する平面は障害物平面であると判断できる.

### 2.1.4 ピッチング運動の補正

式 (10) の評価値は路面の凹凸や車両の加減速運動によるピッチング運動により誤差を生じる. 車両のピッチング運動は撮影される動画像中では縦方向の平行移動として観測される. この移動により障害物方向の消失線の位置は近似的に変化しないため, 式 (4) の障害物運動拘束は成り立つが, 路面の消失線の位置は大きな影響を受けてしまい, 式 (5) の路面運動拘束は成立しなくなり障害物評価値に誤差を生じてしまう.

そのためピッチング運動による縦方向の移動の補正を行う必要がある. 様々な画像の縦平行移動  $d$  に関して  $D_{abc}^h$  を計算し, 最小値で  $D_{abc}^h$  を再定義することによりピッチング運動を補正する.

$$D_{abc}^h = \min_{|d| < d_{max}} D_{abc}^h(d) \quad (11)$$

$$D_{abc}^h(d) = |y_b^h(t_2, d) - (y_b(t_2) + d)| + |y_c^h(t_2, d) - (y_c(t_2) + d)| \quad (12)$$

ここで,

$$\frac{1}{y_b^h(t_2, d)} = \frac{1}{y_c(t_2) + d} + M_h(d) \left( \frac{1}{y_b(t_1)} - \frac{1}{y_c(t_1)} \right) \quad (13)$$

$$\frac{1}{y_c^h(t_2, d)} = \frac{1}{y_a(t_2) + d} + M_h(d) \left( \frac{1}{y_c(t_1)} - \frac{1}{y_a(t_1)} \right) \quad (14)$$

$$M_h(d) = 1 + \left( \frac{d}{f} \right)^2 \quad (15)$$

ただし,  $f$  は焦点距離,  $d_{max}$  は消失線の平行移動の最大値である.

## 2.2 2本の水平線分を用いる障害物検出法

これまで3本の水平線分を用いて動画の中から障害物を検出する手法について述べてきたが、路面の凹凸などによる自車両のピッチング運動での画像の縦方向の平行移動が無視できるほど小さい場合には2.1.4に記述したピッチングの補正は必要ない。このとき、式4の障害物運動拘束の式に路面の消失線の位置  $y = 0$  を導入することにより検出に用いる線分の本数を減らし、2本の水平線分から障害物の検出を行うことが可能になる。以下に2本の水平線分による評価式を記述する。

$$\frac{1}{y_b^h(t_2)} = \frac{1}{y_c(t_2)} + M_h \left( \frac{1}{y_b(t_1)} - \frac{1}{y_c(t_1)} \right) \quad (16)$$

$$y_b^v(t_2) = y_c(t_2) + M_v (y_b(t_1) - y_c(t_1)) \quad (17)$$

$$s_{bc} = |y_b^h(t_2) - y_b(t_2)| - |y_b^v(t_2) - y_b(t_2)| \quad (18)$$

ここで、 $M_v = y_c(t_2)/y_c(t_1)$ 。

検出に用いる線分の本数を減らすことにより、画像中から得られる水平線分の組み合わせ数を減少させることができ、計算時間を削減することができる。また、2本の水平線分を用いた検出法は3本の場合と比較して、画像中での面積の小さい遠方の障害物を検出することが可能であったり、線分の平均追跡時間が長いことにより早期に障害物を検出することができるなどの利点がある。

さらに、一般的な障害物では、図5に示すように車体の上端・下端に加え、リアガラスとボディの境界を水平線分として取得することができるが、図6のような黒色などの特徴量の少ない色の障害物の場合、リアガラスとの境界からエッジを検出することができず十分な本数の線分が得られない場合がある。このような場合にも、より少ない本数で検出を行えることが有利になる。

## 3. 消失線の位置を導入した2本の水平線分を用いた障害物検出

岡田らの手法<sup>1)</sup>では、前提としてカメラの光軸は路面と平行であるという条件を設けているため、カメラに仰俯角が付いている場合は近似的に計算を行うことが可能だが、厳密には条件式に適合しないため検出の精度が低下してしまう。

そこで、本章ではカメラに俯角がついている場合の拘束式の厳密な定式化を行い、さらに画像中から路面の消失線の位置を取得し、その情報を用いることでカメラの仰俯角とピッチ



図5 一般的な障害物  
Fig. 5 Common obstacle



図6 特徴量の少ない障害物  
Fig. 6 Featureless obstacle

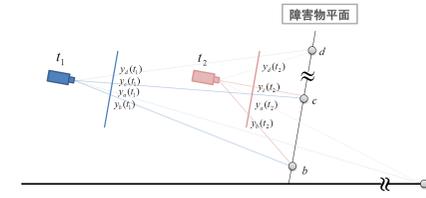


図7 俯角のついた障害物運動拘束モデル  
Fig. 7 Angled obstacle motion constraint model

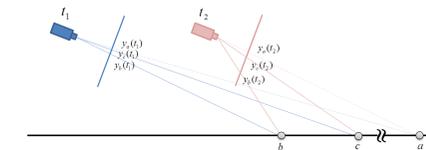


図8 俯角のついた路面運動拘束モデル  
Fig. 8 Angled road motion constraint model

ング運動を考慮した計算手法を提案する。

### 3.1 カメラの俯角を考慮した拘束式

カメラに仰俯角が付いている場合には、前提条件として検出対象となる障害物は車両に取り付けられたカメラと同じ傾きを持つと仮定する。このときのカメラと路面・障害物のモデルは以下の図7, 8のようになる。

ここで、カメラに仰俯角がある場合にも、路面運動拘束において従来手法での前提と同様に  $M_h = 1$  (式(5)) が成り立つことを示す。

$$M_h = \frac{\frac{1}{y_b(t_2)} - \frac{1}{y_c(t_2)}}{\frac{1}{y_b(t_1)} - \frac{1}{y_c(t_1)}}$$

$y(t_2) = y, y(t_1) = y'$  とすると,

$$\begin{aligned} &= \frac{\frac{1}{y_b} - \frac{1}{y_c}}{\frac{1}{y'_b} - \frac{1}{y'_c}} \\ &= \frac{y_c - y_b}{y_b y_c} \\ &= \frac{y'_c - y'_b}{y'_b y'_c} \end{aligned}$$

図(9)に表すように、カメラの高さを  $h$ 、焦点距離を  $f$  としたとき、路面上の4点  $b, c, d, e$  の画像平面上での位置  $y_b, y_c, y_d, y_e$  による複比は時刻間で保存され、

$$\frac{(y_b - y_c)(y_d - y_e)}{(y_b - y_d)(y_c - y_e)} = \frac{(y'_b - y'_c)(y'_d - y'_e)}{(y'_b - y'_d)(y'_c - y'_e)} = 1$$

$d, e \rightarrow \infty$  のとき、 $y_d, y_e \rightarrow 0, y'_d, y'_e \rightarrow 0$  より、

$$(y_d - y_e) = h \frac{(e - d)f}{(d + f)(e + f)}, (y'_d - y'_e) = h \frac{(e - d)f}{(d + f + \epsilon)(e + f + \epsilon)}$$

よって、

$$\begin{aligned} \frac{(y_b - y_c)(y_d - y_e)}{(y_b - y_d)(y_c - y_e)} &= \frac{y_b - y_c}{y'_b - y'_c} \\ \frac{(y'_b - y'_c)(y'_d - y'_e)}{(y'_b - y'_d)(y'_c - y'_e)} &= \frac{y_b - y_c}{y'_b - y'_c} \\ &= \frac{y_c - y_b}{y'_c - y'_b} \\ &= 1 \end{aligned}$$

このように、カメラに仰俯角がある場合にも  $M_h = 1$  が成り立つことにより、カメラに仰俯角がないときと同様に路面の運動予測を行うことが可能である。

### 3.2 路面の消失線の位置を利用した自車両のピッチング運動補正

2.1.4 で述べたように、路面を走行する車両に取り付けたカメラは路面の凹凸などによりピッチング運動を起こす。それは撮影される映像の中で上下方向の平行移動として観測されるため、線分の位置情報に誤差を与えるために補正を行う必要がある。しかし、2本の水平線分からは前述したピッチングの補正は行えないため、画像中に現れる路面の消失線の位

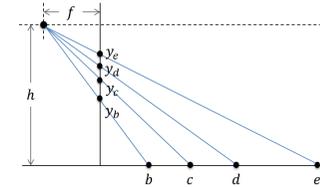


図9 複比に基づく路面運動拘束

Fig. 9 Cross ratio based road motion constraint model

置を用いてピッチング運動による線分の位置の補正を行う。

時刻  $t_1, t_2$  の画像中で観測される路面の消失線の位置をそれぞれ  $y_1, y_2$  としたとき、以下の式を用いて障害物の検出に用いる  $y_b(t_2), y_c(t_2)$  の位置を再定義する。

$$d = y_1 - y_2 \quad (19)$$

$$y_b(t_2)' = y_b(t_2) + d \quad (20)$$

$$y_c(t_2)' = y_c(t_2) + d \quad (21)$$

## 4. 実験

### 4.1 提案手法の効果検証のための理想環境下における基礎実験

提案手法がカメラの取り付け角度に対する頑健性を向上するために有効かどうかを確認するために理想的な環境の下で性能評価実験を行った。

#### 4.1.1 実験方法

図10は実験環境の概略図である。障害物に路面からそれぞれ  $0m, 1m, 2m$  の高さにマーカーを設置し、路面にも同様に障害物平面から  $1m, 2m$  の距離にマーカーを設置した。それらを高さ  $1m$  の高さに設置したカメラで  $10m, 8m$  の距離から撮影し、これらのマーカーを実際に車載カメラで撮影された画像から検出される水平線分に見立て、以下の条件の組み合わせにおいて従来手法と提案手法で、路面運動拘束による予測誤差(路面誤差)・障害物運動拘束による予測誤差(障害物誤差)・評価値の値を算出し、提案手法の有効性について検証する。

- カメラの取り付け角度
  - 俯角 0 度, 俯角 10 度, 俯角 20 度, 仰角 10 度
- マーカーの組み合わせ
  - AC (障害物平面), AD (障害物 2m, 路面 1m), AE (障害物 2m, 路面 2m),

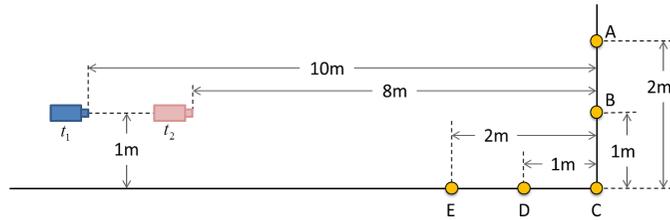


図 10 実験環境概略図  
Fig. 10 Experimental environment schema

BE (障害物 1m, 路面 2m), CE (路面平面)

#### 4.1.2 結果と考察

表 1~4 に結果を示し、提案手法の有効性を検討する。まず、カメラに俯角が付いていない場合、提案手法は従来手法の前提条件と同じく、路面の消失線の位置として  $y = 0$  を用いるため、同一の結果が表れる。表 1 から、本手法ではマーカー AC, AD, AE で作られる平面、つまり 0 度から 45 度程度の傾きを持つ平面を障害物平面として検出することが可能であることが分かる。次にカメラに俯角を付けた表 2, 3 の結果において、従来手法ではどの平面に対しても路面予測誤差・障害物予測誤差のどちらも大きな値を示し、評価値の値も期待される値を取っていない。それに対して提案手法では、俯角の付いていない状態で障害物平面とされた面に対しては障害物予測誤差が小さくなり、評価値から正しく障害物平面を定義することが出来ていることが分かる。また、仰角が付いている場合(表 4)では、従来手法と比較すると提案手法では障害物平面を検出することが出来ているが、俯角 0 度のとき路面平面として検出されていた平面 BE については、評価値が正の値となり誤検出を起こしている。しかし、障害物として判別される AC, AD, AE の評価値の値と比較すると、十分に区別できる値であるため、評価値に定める閾値を調節することで正しい検出が可能になると考えられる。

#### 4.2 実際の消失線の位置の導入による精度比較実験

従来の路面の消失線の位置として  $y = 0$  を用いる手法と、3.1 節で述べた実際に画像中で観測される位置を用いる手法で、障害物の検出率・誤検出率を比較し、提案手法の有用性を確認する。

##### 4.2.1 実験方法

車載カメラ動画像 (1280×720[pixel]) に対して、路面の消失線の位置として  $y = 0$  を用

従来手法・提案手法			
	路面誤差	障害物誤差	評価値
AC	68.69	0.25	68.43
AD	68.89	6.40	62.49
AE	68.49	13.19	55.30
BE	0.99	1.65	-0.66
CE	0.42	13.20	-12.78

表 1 俯角 0 度における検出結果

従来手法				提案手法			
	路面誤差	障害物誤差	評価値		路面誤差	障害物誤差	評価値
AC	376.75	208.82	167.93	AC	66.60	29.81	36.79
AD	440.64	377.56	63.08	AD	68.03	24.38	43.64
AE	462.84	1002.73	-539.89	AE	73.28	8.71	64.57
BE	253.20	560.39	-307.18	BE	8.01	9.03	-1.02
CE	52.39	115.69	-63.30	CE	13.76	22.91	-9.15

表 2 俯角 10 度における検出結果

従来手法				提案手法			
	路面誤差	障害物誤差	評価値		路面誤差	障害物誤差	評価値
AC	184.73	129.61	55.12	AC	80.83	32.72	48.10
AD	235.07	156.59	78.47	AD	81.78	26.83	54.95
AE	310.15	199.29	110.85	AE	82.88	18.92	63.95
BE	157.66	108.38	49.28	BE	6.27	10.54	-4.27
CE	42.17	35.04	7.13	CE	5.15	16.03	-10.88

表 3 俯角 20 度における検出結果

従来手法				提案手法			
	路面誤差	障害物誤差	評価値		路面誤差	障害物誤差	評価値
AC	43.33	50.19	-6.85	AC	80.26	2.85	77.41
AD	44.17	53.41	-9.23	AD	80.63	11.25	69.38
AE	45.22	57.84	-12.62	AE	80.91	21.95	58.94
BE	28.02	42.28	-14.26	BE	8.04	1.98	6.05
CE	17.99	22.51	-4.51	CE	0.72	13.36	-12.64

表 4 仰角 10 度における検出結果

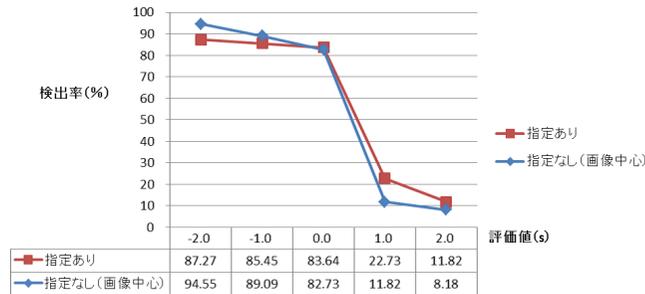


図 11 消失線位置指定による検出精度比較  
Fig. 11 Comparison of detection accuracy about vanishing line designation

いて拘束式を作成したものと、実際に画像中で観測される位置 (平均  $y = 514$ ) を用いて拘束式を作成したもので障害物検出処理を行い、検出率と誤検出率を比較した。検出率・誤検出率は以下の式を用いて計算した。

$$\text{検出率} = \frac{\text{検出フレーム数}}{\text{先行車両が画像中に現れる総フレーム数}} \times 100$$

$$\text{誤検出率} = \frac{\text{誤検出フレーム数}}{\text{先行車両が画像中に現れる総フレーム数}} \times 100$$

#### 4.2.2 結果と考察

図 11, 12 は、障害物検出に用いる評価値の閾値を  $-2.0 \sim 2.0$  まで変化させたときの検出率・誤検出率をまとめたものである。

##### 検出率

本手法では、評価値 ( $s$ ) の値が正になるとき、それらの線分が含まれる平面を障害物平面として判定するため、一般的に閾値として 0 以上を用いる。表 11 において、評価値の閾値を 0 以上に設定した時の結果を比較すると、従来手法に比べて提案手法の方が検出率が高くなっていることから、提案手法の有効性が確認できる。これは、カメラに仰俯角が付いた場合に、提案手法では実際の路面の消失線の位置を導入することでより厳密な拘束式を導くことができたからである。

#### 4.3 路面の消失線の位置からのピッチング補正についての実験

3.2 節で提案した消失線の位置を用いた自車両のピッチング運動の補正がどの程度障害物

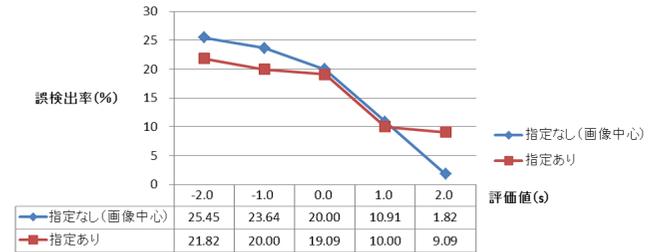


図 12 消失線位置指定による誤検出率の比較  
Fig. 12 Comparison of false detection accuracy about vanishing line designation

検出精度に影響を及ぼすか確認する。

#### 4.3.1 実験方法

使用した動画は 4.2 と同じ物で、この動画内での路面の消失線の位置は  $y = 508 \sim 520$  まで変化する。この動画に対して、路面の消失線の位置  $y_a$  として動画内の平均の位置である  $y = 514$  を用いた場合と、3.2 で提案した各フレームの消失線の位置を用いたピッチング運動補正を行った場合とにおいて、検出率・誤検出率を比較した。

#### 4.3.2 結果と考察

図 13, 14 は、障害物検出に用いる評価値の閾値を  $-2.0 \sim 2.0$  まで変化させたときの検出率・誤検出率をまとめたものである。

##### 検出率

表 13, 14 より、消失線の位置を利用したピッチングの補正が、検出率・誤検出率に対して有効に働いていることが確認できる。これは、ピッチングの運動の補正を行うことにより、時刻間での線分の移動が正確に表現され、より精細な計算が可能になったからである。また、従来は車両のピッチング運動が大きい場合には適用できなかった 2 本の線分を用いた検出を様々な動画に対して適用可能となるため、特徴量の少ないシーケンスについて検出が可能となったり、より早期に障害物の検出が可能になる。

##### 誤検出領域に対する考察

4.1 の結果より、本手法では路面と対象の平面のなす角が  $90 \text{度} \sim 45 \text{度}$  程度の平面を障害物平面として検出する。これにより、図 15 の左側の建物のように、高い位置で検出される線分と路面上の線分によって作られる平面を障害物平面として検出してしまふ。これは、走

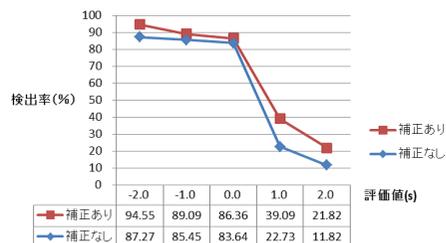


図 13 ピッチング補正による検出精度比較

Fig. 13 Comparison of detection accuracy about pitching correction

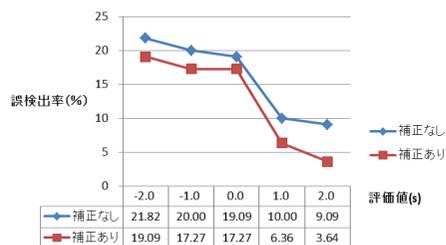


図 14 ピッチング補正による誤検出率の比較

Fig. 14 Comparison of false detection accuracy about pitching correction

行領域上の看板や信号機から検出される線分と横断歩道などの路面上の線分から作られる平面についても同様に障害物平面として検出を行ってしまう。このような誤検出を行わないために、線分の検出領域を限定したり、計算対象となる矩形に対して、縦横比の閾値を設定するなどの手法の検討が必要である。

## 5. ま と め

本論文では、複比と消失線を用いた障害物検出法に対して、カメラの取り付け角に対して頑健性を向上させる手法を提案した。

複比とは同一直線上の4点により定められる値で、射影変換における不変量である。車載カメラから得られる動画の中から検出される水平線分の位置から求められる複比の値が時刻間で保存されることを利用し、路面・障害物平面の消失線を導入することでそれぞれの平

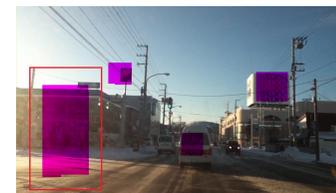


図 15 高い位置にある線分を含む平面の誤検出

Fig. 15 False detection containing a line segment in the high position

面の運動拘束を導く。各運動拘束から予測される線分の位置と実際に観測される位置を比較し、予測との誤差の小さい平面に水平線分が属すると判定する。

従来手法では、カメラの取り付け角が路面に対して平行という条件を置いているため、カメラに仰俯角が付いている場合には厳密な計算が行えないことに注目し、提案手法では実際に動画の中から観測される路面の消失線の位置を用いることで、カメラの取り付け角に対する頑健性の向上を図るとともに、路面の凹凸などによる自車両のピッチング運動に対する補正を行うことによる障害物検出精度の向上を目指した。

まず、提案手法の有効性の確認のため理想環境下での実験として、カメラに10度、20度の俯角、10度の仰角を付けて路面・障害物平面で観測される水平線分に見立てたマーカーを撮影し、そこから得られる値を用いて計算を行った。結果、従来手法では正しく計算が行えない場合にも、提案手法では正確に障害物の検出が行えることが確認できた。

次に、実際に車載カメラから得られた動画に対して、従来手法と提案手法を用いて障害物検出処理を実行した。検出率・誤検出率の比較を行い、路面の消失線の位置導入・消失線の位置を用いたピッチングの補正で4%程度の精度の向上が確認できた。

今後の課題としては、本手法では障害物の検出に用いる線分の検出・追跡に、計算時間や検出精度が大きく依存するため、それらを向上させる新たな手法の適用が必要である。

## 参 考 文 献

- 1) R.Okada, Y.Taniguchi, K.Furukawa and K.Onoguchi "Obstacle Detection Using Projective Invariant and Vanishing Lines," Proceedings of the Ninth IEEE International Conference on Computer Vision(ICCV'03), pp.330-337 (2003)
- 2) 馬場伸哉, "単眼車載カメラを用いた複比に基づく障害物検出", 九州工業大学修士論文, 2008.