車載カメラ映像の道路面経時差分による前方障害物検出

久徳　遙矢† 　出口　大輔† 　高橋　友和†† 　目加田慶人††† 　井手　一郎†
村瀬　洋†

† 名古屋大学大学院 情報科学研究科　〒 464-8601 愛知県名古屋市千種区不老町
†† 岐阜聖徳学園大学 経済情報学部　〒 500-8288 岐阜県岐阜市中鶉 1-38
††† 中京大学 情報理工学部　〒 470-0393 愛知県豊田市海津町床立 101
E-mail: †{kyutoku,ddeguchi,ttakahashi,mekada,ide,murase}@murase.m.is.nagoya-u.ac.jp

あらまし　本稿では，自車が車載カメラから得た現在の画像と，過去に同地点で得られた障害物の映っていない画像との間の差分を用いて前方障害物を検出する手法を提案する．差分を利用することにより，事前に検出対象の形状を把握することなく検出が可能となる．このとき，同じ道路を走行する場合でも，車両の位置や姿勢が走行の度に異なるため，単純な画像差分によって障害物を検出することは困難である．そこで提案手法では，道路面が平面であるという仮定の下，両画像中の道路面間を射影変換して位置合わせを行い，それらの差分を用いて障害物検出を行う．実験の結果，提案手法は適合率 86%，再現率 100%で前方障害物を検出できることがわかった．
キーワード　前方障害物検出, 経時差分, 車載カメラ, ITS

Detection of Forward Obstacles from In-Vehicle Camera Images by Temporal-Subtraction of Road-Surface

Haruya KYUTOKU†, Daisuke DEGUCHI†, Tomokazu TAKAHASHI††, Yoshito MEKADA†††,
Ichiro IDE†, and Hiroshi MURASE†

† Graduate School of Information Science，Nagoya University
Furo-cho, Chikusa-ku, Nagoya, Aichi, 464-8601 Japan
†† Faculty of Economics and Information, Gifu Shotoku Gakuen University
1-38 Nakauzura, Gifu, Gifu, 500-8288 Japan
††† School of Information Science & Technology, Chukyo University
101 Tokodachi, Kaizu-cho, Toyota, Aichi, 470-0393 Japan
E-mail: †{kyutoku,ddeguchi,ttakahashi,mekada,ide,murase}@murase.m.is.nagoya-u.ac.jp

Abstract　We propose a method which detects forward obstacles by using subtraction between a current image and the past image taken at the same road. The subtraction enables the detection of obstacles without using shape characteristics of obstacles. However, it is difficult to detect them from the simple difference image. Because the position and the posture of the vehicle are different at each driving. To overcome this problem, the proposed method makes a registration between the road surface in both image by using projective transformation before the subtraction, assuming that the road surface is a plane. Experimental results showed that the proposed method detected forward obstacles with accuracy of a precision 86% and a recall 100%.
Key words　Detection of Forward Obstacles, Temporal-Subtraction, In-Vehicle Camera, ITS

1. 背景と目的

近年，自動車における運転者支援システムの研究やその実用化が盛んに行われている．その中でも本研究では，車載カメラを用いた前方障害物の検出に注目する．これを実現することにより，ドライバへの注意喚起や路上駐車車両の自動取締りが実現可能になる．前方障害物の検出に関しては様々な研究がなされており [1] [2]，製品化されているものもある [3] [4]．これらは現在の走行情報のみを用いて検出するため，検出対象が予め学習できるものに限定される．一方，近年 Google street view などのサービスが実用化されてきており，各道路を走行して得た映像のデータベースの構築やその利用に関する研究 [5] [6] [7] が盛んに行われている．以上の背景から，

qOwøæéþ aˆwøæéþ
$ 1 øæéþw«

f‘x\•‡p|aˆwøæéþqqOwøæéþqw z±t,nX²MË•úwUZ›æloVh}f‘xf ws8$sU|q`o|hþ¤w+ M²¤¿´›Ãw )t‘”²M †wUZ O› Š`h [8]}\w O x| †srw+ M²¤¿´›Ãw M²MË•ú› UZb”‹wpK”}`T`| ú•×8 ~Ì «s r|+ M²¤¿´›Ãta`MË•úxUZU Épp K”qMOðJUKlh}

ŠØpx|aˆqqOwéþ¤w“ïØ wÚ€$s)ü›{Š”\qp|UZ0Åw Ý›Ãt‘ `sM| “ïØÍw²MË•úwUZ O› Šb”}

2. Š O

Š Opx|$ 1w‘OsqOwøæéþqaˆw øæéþT’|0 b”§Ýå•”wÑè”Ü›{Š| f•’w)üt‘“²MË•ú›UZb”} owhŠ| " 1 ¢w“Ï›0Åq`|× øæ ¢ÍwË•ú ›UZ0Åqb”}

qOwøæéþqaˆwøæéþwÑè”Ü w)ü ›{Š”M|‰a“ïwøæéþp‹× †w•”•Ÿ NUøæwStŸs”hŠ|omt æ ˆsrw o s•”ù˜dpË•ú›UZb”\qx ÉpK”}f \p|“ïØU ØpK”qMO> w<|qOqaˆ wÑè”Ü¤w“ïØ›ùè!õb”\qt‘lo•” ù˜d›æM|f•’w)ü›;MoË•úUZ›æO} \wqV|qOqaˆw“ïØw wùè!õæ»Už Aqs“|fwhŠt“ïØÍw0 :U 4:žAqs ”}`T`|“ïØxÂ«µ½ßUoÐpK“|°`$ shþ›Ãpx^S‘X0 :›{Š”\qU ÉpK ”}f\p|†hþ w,Åæ»q ¢•”›{Š| ¢q¤ÐÙ”å¢w¦:›;Mo0 :› 4:> b”} °M|qOwÑè”Üqaˆwè”Ü w)ü›{Š ”hŠtx|¤Ñè”ÜwÌ M²w•”ù˜dUžA qs”}`T`|o°Ñè”Ü‰œpw•”ù˜dpx ^SUqM}f\p|øæéþxÌ%»p˜’•”\q ›b;`| DP Ú¿½ï¬›æloÌ M²w•”ù˜ d›æO}

îMwrgwv•›$ 2tÔb}¤rgtmMoŽ< pÄ`X†Ìb”}

2.1 ›Ã:¨Z~,Åæ»*

‡c|aˆwøæéþqqOwøæéþw¤Ñè”Ü w,Åæ»›{Š”}ŠZ€px| SIFT(Scale-Invariant

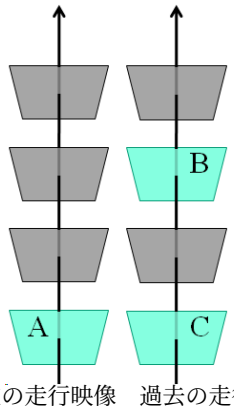
$ 2 rgwv•

qOwøæéþ aˆwøæéþ
z¢ : ¤ÐÙ”å¢
h: :SIFT ›Ã:
$ 3 ,Åæ»* AL

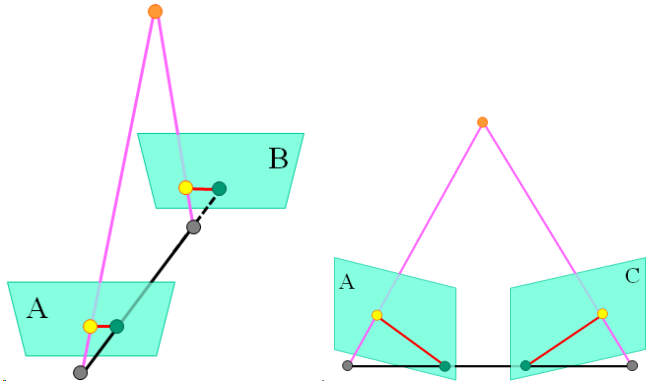
Feature Transform) ›Ã [9] ›;Mo›Ã:›¨Z`| RANSAC žç°æ¶Ü›;Mo,Åæ»›* `h} RANSAC žç°æ¶Üqx|åï¼Ü±ïÓæï¬t ,nXéÌµÄs* OpK”} RANSAC žç°æ ¶Üt‘loŽ•‹qs’sTlh:q|f•t0 b ”¤ÐÙ”å¢›³h`h‹w›$ 3tÔb}

2.2 Ì M²w•”ù˜d

aˆwøæéþqqOwøæéþw¤Ñè”ÜwÌ M²w0 ÇZx| DP Ú¿½ï¬t‘loæO}\w M|¨ÅS¦ªq`o|Ñè”ÜÍw«æ:w x 2ªq ¤ÐÙ”çw x 2ªqw‘m›;M”}hi` owh Š|Š Opx§ÝåUYØ›²MoM”q> `|« æ:›Ñè”Üw¤úqb”}aˆwøæéþqqOw øæéþU¶X‰aÚ¢ÍtK”DóQxÿX| Xw Ôù ætc•oøæb”}aˆqqOwøæM²U æTmøæ•”U #tRhqV|¤ÐÙ”çw x 2ª x«æ:w(ÈtGVXŽ•”hŠ|\wQí›b;` o¨ÅS¦ª› Š”\qUpV”}$ 4tÑè”Ü w•” ›Ôb}qOwøæéþw A wÑè”ÜU| aˆwéþwrwÑè”Üt0 b”T›ßQhÔùw| os«›$ 5tÔb}($x A qB wÑè”ÜwÔ ùp| 2mw§Ýåw•”U²™tc•oM”hŠ|¤ ÐÙ”çw•”UÑè”Üw¤út/loMo|¨ÅS xÿXs”}È$x A qC wÑè”ÜwÔùp|§Ý åw•”U #tK”hŠ|¤ÐÙ”çw•”UÑè” Üwzt/loMo|¨ÅSxôXs”}\w$px



現在の走行映像　過去の走行映像
矢印：進行方向
図 4　現在と過去のフレーム間の位置関係



類似度の低い例　　類似度の高い例
黒点：視点
橙点：対象点
黄点：対応点
緑点：エピポール
黒線：基線
赤線：エピポーラ線
図 5　エピポールの位置の例

単のためカメラの向きを少し傾けているが，これが平行になったときにエピポールの位置はフレーム外へ発散する．図 6 に類似度の低いとき，図 7 に類似度の高いときの実際の例を示す．

ここで，基礎行列は 2.1 で示したように特徴点ベースで求めている．そのためこの類似度指標はオクルージョンに強く，さらに，障害物を避けているフレームなどのずれが大きいフレームの対応付けにも対応できる．

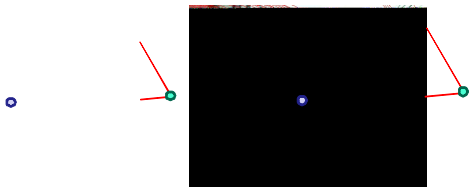
2.3　車 線 検 出

次に，2.2 で対応付いた過去の走行映像と現在の走行映像の 2 フレームから，ハフ変換を用いて車線を検出する．初めのフレームでは，ハフ空間のエッジ方向を車線が存在し得る範囲に限定して検出する．その後のフレームでは，直前のフレームでの検出結果からハフ空間のエッジ方向と距離の範囲を共に限定して検出することによって，検出精度の向上を図る．図 8 に検出結果の例を示す．

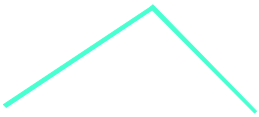
2.4　4 対応点決定・射影変換・差分

最後に，道路面の射影変換を行って領域内の差分を求め，差の大きい領域を前方障害物の検出結果とする．まず，2.3 で求めた車線上の適当な点を決め，これと基礎行列からエピポーラ線を求める．このエピポーラ線と他方のフレーム中の車線との交点を対応点とする．左側縁石上から 2 点，センターライン上から 2 点の 4 つの対応点を決定したのち，車線に挟まれた領域を道路面として射影変換する．そして，対応付いた領域間の差分を求め，差が大きい領域を前方障害物候補領域として検出する．図 9 に対応点決定の例を示す．しかし，4 つの対応点が正確に求まっていない場合，道路面を射影変換する際に誤差が生じる．このとき，ずれた部分のセンターラインや横断歩道などの路面表示領域の差分値が大きくなり，図 10 のように両フレームで共通に存在するものの端の部分が誤検出されてしまう．そこで，求まった前方障害物候補領域をラベリングし，面積が閾値以下の小領域，もしくは縦横比が閾値以上の細長い領域を除去する．こうして残った領域を，前方障害物領域として検出する．

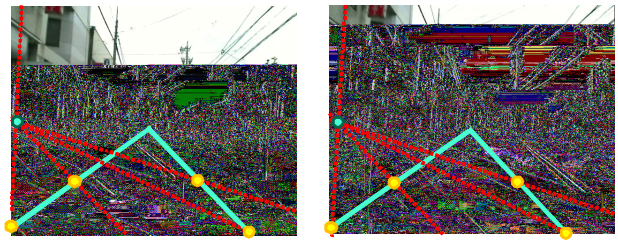
図 6　類似度の低い例



緑点：エピポール
青点：消失点
図 7　類似度の高い例



現在の走行映像　青線：車線　過去の走行映像
図 8　車線検出結果



現在の走行映像　　過去の走行映像
赤破線：エピポーラ線
青線：車線
緑点：エピポール
黄点：対応点
図 9　対応点決定の例

$ 10 ¡ U Z w «

$ 11 ² M Ë • ú – ¬ w « ( )

$ 12 ² M Ë • ú – ¬ w « ( )

$ 11 t † › U Z ` h « | $ 12 t 2 æ › U Z ` h « › Ô b }

3. î g

î M w L § Ý å é þ ¢ 640 · 480 pixel £ › ; M o î g › æ M | Š O w ° A › æ l h } î g Ã ” » x | WEB § Ý å › $ 13 w ‘ O t † t “ Ç Z o ˜ ` h }

2. 2 w DP Ú ¿ ½ ï ¬ t ‘ ” Ì M ² w 0 Ç Z x | Ï Í ± † › † Z o M ” æ ü p ‹ ‘ · t 0 Ç Z U p V h } $ 14 t 0 Ç Z A L T ’ & p t ¾ M h ‹ w › Ô b }

0 Ç Z ’ • h 2 % » w é þ 1200 Ñ è ” Ü T ’ å ï ¼ Ü t 100 Ñ è ” Ü › ¬ | | U Z ^ S w ° A › æ l h }

$ 13 L § Ý å w ƒ ” w 7

¯ 1 U Z A L

	Precision	Recall
A	0.67 (=76/113)	0.86 (=76/88)
A-E	0.72 (=72/100)	0.87 (=72/83)
A-H	0.80 (=64/80)	0.98 (=64/65)
A-(E+H)	0.86 (=61/71)	1.00 (=61/61)

A(100 Ñ è ” Ü) : ¶ 100 Ñ è ” Ü w A L
E(8 Ñ è ” Ü) : ¢ q ¤ Ð Ù ” å ¢ U æ
H(22 Ñ è ” Ü) : ¢ U Z æ

A L x | 1 Ë • ú t 1 m p ‹ ² M Ë • ú – ¬ U K • y 1 U Z | ¡ U Z x 1 ² M Ë • ú – ¬ t m V 1 U Z q ` o : Q h } 100 Ñ è ” Ü w O j | 4 0 : U O ‡ X { ‡ ’ s T l h 30 Ñ è ” Ü › † M h q \ – | & ù p 86% | 6 q p 100% p U Z p V h } \ \ p | & ù p (Precision) q x | $\frac{Y r U Z :}{¶ U Z :}$ p ¯ ^ • | ô M „ r ¡ U Z U — s M } ‡ h | 6 q p (Recall) q x | $\frac{Y r U Z :}{¶ Y r :}$ p ¯ ^ • | ô M „ r U Z ‹ • U — s M } Ä l s A L › ¯ 1 t Ô b } E x ¤ Ð Ù ” ç U « æ : Ç Ù t K “ | ¢ q ¤ Ð Ù ” å ¢ q U æ t Ù X s l h h Š | ù è ! õ æ » U G ü s ^ S p { ‡ ’ s T l h Ñ è ” Ü p K ” } ‡ h | H x ¢ • ” U O ‡ X { Š ’ • s T l h Ñ è ” Ü p K ” }

4. ß o

î g A L ‘ “ | ¤ Ð Ù ” ç q « æ : w ‘ m t , n X ¨ Å S ¦ ª › ; M h DP Ú ¿ ½ ï ¬ p | 2 m w L § Ý å é þ w Ì M ² w 0 Ç Z U î q p V ” \ q › ¬ Ý ` h } ‡ h | 0 Ç Z ’ • h Ñ è ” Ü p | ¢ q ¤ Ð Ù ” å ¢ T ’ G ü s ^ S p ù è ! õ æ » U { Š ’ • h q V t x | “ Ï Ø ) ü t ‘ ” ² M Ë • ú U Z U p V ” \ q › ¬ Ý ` h } ¢ U Z w æ x | Ï Í ± † › † Z o M ” Ñ è ” Ü • | # … 2 “ s r t ‘ “ “ Ï Ø Í w Â « µ ½ ß U ó v s Ñ è ” Ü p \ a h } ™ | ‘ “ ô ^ S s ¢ U Z › æ O ž A U K ” } ‡ h | “ Ï Ø Í w Â « µ ½ ß U ó v s Ô ù | Ï Ø ¯ Ô U Z [10] s › ; M h Ï Ø Í w 0 : w ô ^ S s • ” > ‹ U | b ” ž A U K ” } q O w é þ q a ˆ w é þ w (È M ² w ø æ • ” w) U – ^ M q V | $ 15 w ‘ O t ¢ q ¤ Ð Ù ” å ¢ U æ t Ù X s l o ` ‡ M | ¦ : • ” w ¡ ) U G V X s l o ` ‡ O h Š | ^ S ‘ X ù è ! õ › æ Q s M } \ • x | ø æ • ” U (È t Ÿ s ” ó : w a ˆ w é þ › ; ™ ` | ‘ “ ¤ Ð Ù ” ç w • ” U ‘ M é þ T ’ ù è ! õ æ » › { Š ” \ q t ‘ “ s † p V ” } ^ ’ t | î M w “ Ï Ø x ì ¶ s Ø p x s M h Š | r • i Z ô ^ S s ù è ! õ › æ l o ‹ ¡) U C \ b ” D ó Q U K ” } ‡ h K S ‹ t ‘ ”) ü p x | 1 © w !