

自車両の速度を考慮しフレーム間差分を用いた LRV前方画像からの障害物認識

高橋 友彰[†] 香取 照臣[‡] 高橋 寛[†] 泉 隆[‡]

† ‡ 日本大学理工学部 〒274-8501 千葉県船橋市習志野台 8-24-1

E-mail: † m162016@edu.cst.nihon-u.ac.jp, ‡ {katori, yutaka, izumi}@ecs.cst.nihon-u.ac.jp

あらまし LRV の安全走行支援のために、車両の前方の画像から、障害物の検知を自車両の速度を考慮したフレーム間差分と障害物の追跡を用いて行ない、障害物の認識をベイズの定理と障害物の速度を考慮して行なった。

自車両の速度を考慮した差分処理により、自車両が移動していても動物体のみの検出が可能になり、障害物の追跡処理により複数のラベルに分割されている 1 つの物体をまとめることができた。また、統計データを物体の縦横比としたベイズの定理および障害物の速度を考慮した認識を用いることにより障害物のカテゴリ分類(自動車、二輪車、人間の 3 種類)が可能となった。

キーワード LRV、移動速度、フレーム間差分、ベイズの定理、障害物認識

Pattern Recognition of Obstacles from Front View Images of LRV Using Frame Difference Considering Self-Vehicle Velocity

Tomoaki TAKAHASHI[†] Teruomi KATORI[†] Yutaka TAKAHASHI[‡] and Takashi IZUMI[‡]

† ‡ College of Science and Technology, Nihon University 7-24-1 Narashinodai, Funabashi-shi, Chiba, 274-8501
Japan

E-mail: † m162016@edu.cst.nihon-u.ac.jp, ‡ {katori, yutaka, izumi}@ecs.cst.nihon-u.ac.jp

Abstract To support driver of LRV(Light Rail Vehicle), it is important to recognize obstacles in front of the vehicle. We are researching how to recognize obstacles from front view images of LRV, and describe a method to recognize obstacles, in this paper. In proposing method, obstacles are detected by frame difference considered self-vehicle velocity and tracing moving them. Bayes' theorem that is a statistical theory to classify pattern and velocity of moving obstacles are applied to recognize them.

It is possible to detect moving obstacles only by the frame difference, the static objects are not detected from the images because all objects are judged by movement in world location. The several regions divided same object are integrated to a region. The obstacles are classified 3 categories (man, two-wheeler including motorcycle and bicycle, automobile) used conditions of obstacle's ratio between height and width of circumscribed quadrilateral and the velocity.

Keyword LRV, Moving Velocity, Frame Difference of Images, Bayes' Theorem, Pattern Recognition of Obstacles

1. まえがき

世界的に再評価の著しい LRV (Light Rail Vehicle : 路面電車の新型車両) の前方を、車載カメラで撮影した画像を処理することで障害物を認識し、交通安全に利用するための研究である。

路面電車は簡便な交通機関として、旧い時代から中規模以上の都市に敷設され利用してきた。しかしモータリゼーションの波の前に、特にわが国では昭和 40 年代に多くの路線が廃止され、バスや地下鉄にとって替わられ、技術的にもこの分野での発達は永く滞っていた。

近年、環境への負荷や高齢化社会を迎えるにあたっての社会的弱者への配慮から、自動車などの大気汚染

を引き起こさず、利用に際して上下方向の移動を伴わない路面電車が見直され、さらに高加減速性能を持つ低床式車両の登場^[1]や、路面電車を総合的な輸送体系に組み込んで扱う LRT (Light Rail Transit) への昇華から世界的に再評価されるようになった^[2]。

路面電車が便利であるのは、交通量の比較的多い道路を運行しているからにはかならないが、これは自動車や 2 輪車、人間と、同じ道路を共用していることでもある。路面電車は軌道上を走行して自由度が低いため、これら障害物が軌道上に存在する場合は自車の安全確保は停止するしか方法がない。この運行時の安全確保は、車両自体が LRV となつても依然として運転士の目視に頼っており、自動車の強引な割り込みや歩行者のとび出し、あるいは運転士の不注意や見落とし

により事故が発生する場合もある。

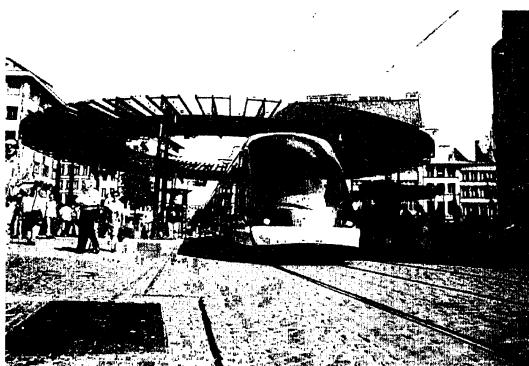


図1. L R V (Light Rail Vehicle)

Fig. 1. A sample of L.R.V.(Light Rail Vehicle)



図2. 路面電車の交通事故

Fig. 2. A traffic accident between tram and automobile

事故が発生すれば、運転士、乗客、相手の自動車や人間に危害が及ぶほか、路面電車の運行が一時的に停止することで、停留所で乗車待ちの乗客にも迷惑を及ぼし、定時制が確保されなくなり利便性も著しく悪化する。また、周辺道路での交通渋滞も引き起こし、都市部の輸送に悪影響を及ぼすことになる。

このようなことから、L R V の運転台にカメラを設置し、前方を撮影した画像を処理することで障害物を自動的に認識し、運転士への注意を促すことで、安全運転を支援することを研究している^[3]。また、障害物の移動ベクトルを求めることで、自車両との衝突の可能性判定を目指している。

路面電車の前方の安全確保に画像認識を利用する試みはまったくなされておらず、広い意味での画像利用として、ストラスブール（フランス）のL R Tで車

体側面に設置されたカメラからの画像を運転席に表示し、乗降客の様子を確認している程度である。

移動車両の前方からの障害物の検出に関しては、ITSの分野で多くの研究成果が報告されている。これらは主に隊列走行や自律走行に用いることを目的としているため、画像処理を適用した場合の検出対象は閉じた空間^[4]や、形状が固定されたサイン（信号機や交通標識）が多い^[5]。

L R V は、進行方向は軌道上ののみなので、この範囲を重点的に扱えばよいが、そこにはさまざまな障害物が出現し、その障害物の種類により自車を停車させるかそのまま走行させるかの対応が異なる。例えば、自動車、二輪車、人に対しては停車しなければならないが、新聞紙やコンビニエンスストアの袋の類は無視して走行してよい。このように、軌道上の障害物を検出するのみでなく、それが何であるかを認識する必要がある。さらに障害物はそれぞれの形状が一定しない。最も一定しないのは人間で、向きやポーズにより画像上でさまざまな形状を取りうる。ITSでの追従走行を目的とした画像処理のように、自動車だけしか存在せず、撮影方向がほぼ固定された画像から自動車を検出することは実現可能であるが、本研究のように他のカテゴリと同時に存在する場合は抽出が困難になる。

また、衝突判定のための移動ベクトルの算出には、画像中の移動物体を検出、追跡する必要がある。画像処理を用いた動き検出にはオブティカルフローによる方法^[6]があるが、自然画像を対象としてカメラの位置も移動する場合は、その適用は非常に困難である。

このようなことから、本研究では、L R V 前方画像からの障害物の認識にあたり、カメラの移動については自車両の速度を組み込むことで、3次元のワールド座標内での物体の位置と速度を求めることとした。また、形状の一定しない障害物のカテゴリ分類については、自動車、二輪車、人間の3種類とし、物体の大局部的な形状を表す縦横比と移動速度を特徴量として、パターン認識を行なうこととした。

本手法を実際のL R V 前方画像に適用したところ、80%程度の正認識が実現された。

2. 障害物認識の原理

2.1. 自車両の速度を考慮したフレーム間差分

L R V の障害物として移動物体を検出する必要がある。画像処理を用いて移動物体の検出を行なうためには、一般にフレーム間差分が用いられる。しかし、現在の画像（以下、n枚目の画像と表現）と1フレーム前の画像（以下、n-1枚目の画像と表現）で単純に差分をとると、自車両が走行している場合、道路標示など静止している障害物ではないものまで検出してし

まう。そこで、障害物となる動物体のみを検出するため、自車両の速度を用いて、差分をとる2枚の画像間で自車両が進む距離を算出することにより、ワールド座標系での絶対位置の差分を求められるため、静止物体の除去が可能となる。

2.2. 障害物の追跡

移動物体が検知できた後は、その物体がLRVの障害物となるかどうかを判断する必要がある。その物体と自車両の移動ベクトルを求める衝突判定を行なうために、障害物の追跡を行なうことで対応している。これは、速度を考慮したフレーム間差分の結果から障害物の候補となる領域に限定し、障害物を追跡している。背景領域の除去により、誤認識を減らすことも期待できる。

2.3. 障害物の速度を考慮した認識

速度を考慮したフレーム間差分によって検知された障害物が何であるかを判別するために、条件付確率密度関数を物体の縦横比とするベイズの定理を用いた障害物認識を行なう。しかし、ベイズの定理を用いた障害物認識の条件付確率密度関数として物体の縦横比を用いると、二輪車を正面または背後から見ると人間の縦横比と酷似しているため誤認識となることが多い。そこで、ベイズの定理で二輪車または人間と判別されたものに対して、速度を考慮した認識を行なうことによって誤認識を減少させる。

3. 障害物認識の方法

3.1. LRV前方画像からの障害物認識

速度を考慮したフレーム間差分、障害物の追跡、ベイズの定理を用いた障害物認識の概念図を図3に、障害物認識の流れを図4に示す。

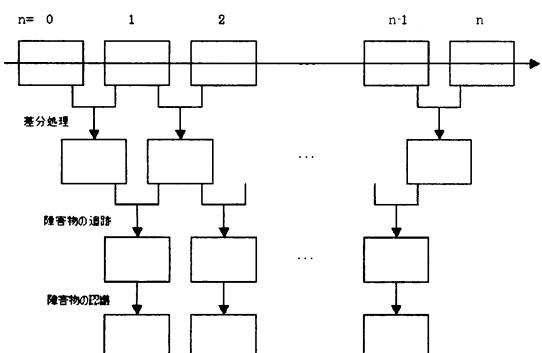


図3. 障害物認識の概念図

Fig.3.Pattern recognition from time series images

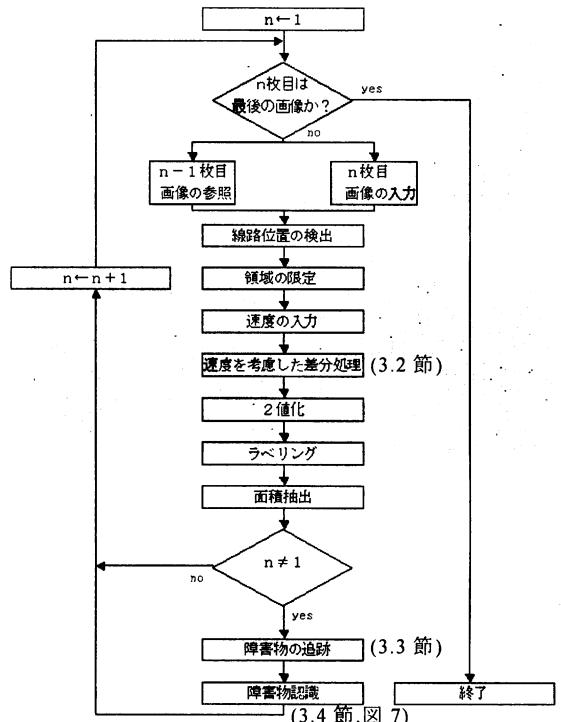


図4. 障害物認識の流れ

Fig.4.Flow chart to recognize of obstacles

現在の画像と1フレーム前の画像を参照し、それぞれの線路位置から障害物認識の対象領域を限定する。次に、速度を考慮したフレーム差分処理により障害物検知をし、障害物検知画像が2枚以上になったときに障害物の追跡および障害物の速度を考慮した障害物認識を行なう。

速度を考慮したフレーム間差分、障害物の追跡、ベイズの定理を用いた障害物認識の流れは、次節以降で述べる。

3.2. 速度を考慮したフレーム間差分

速度を考慮したフレーム間差分の流れを以下に示す。

- (1) フレーム間に進む距離の算出
- (2) 逆投影変換
- (3) 3次元空間での差分処理
- (4) 投影変換

自車両の走行速度からフレーム間に自車両が進む距離を算出し、ワールド座標系の絶対位置での差分をとることにより、移動物体のみの検出を行なう。

通常のフレーム間差分と速度を考慮したフレーム間差分の処理結果を図5に示す。

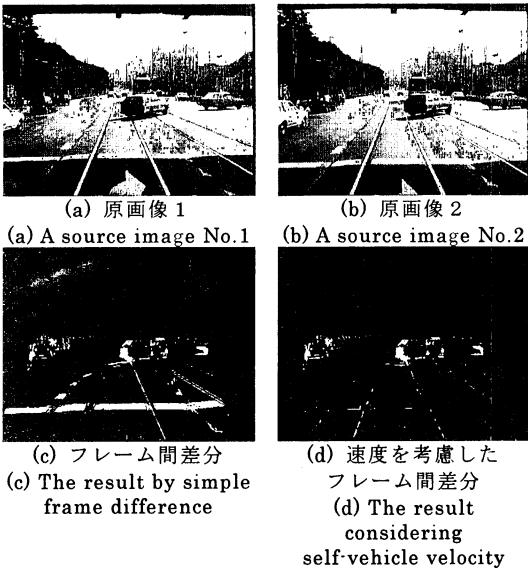


図 5. 速度を考慮したフレーム間差分
Fig.5.The result of frame difference
by the images considering velocity

3.3. 障害物の追跡

速度を考慮したフレーム間差分の結果からの障害物追跡の流れを以下に示す。

- (1) 現在の差分画像と 1 フレーム前の差分画像の結果をラベリングし、領域分割を行なう。
- (2) 現在の差分画像の 1 領域に対して 1 フレーム前の差分画像の領域で、形状の一一致度が最も高い領域を算出し、対応する領域とする。
- (3) (2)の処理を現在の差分画像のすべての領域に対して行なうまで繰り返す。

3.4. 障害物の認識

障害物の認識の手法として統計的決定理論で最も簡単であるベイズの定理^[7]を用いる。

本論文ではパターン認識のカテゴリは、自動車、二輪車、人間の 3 つとし、事前確率は等確率、条件付確率密度関数(学習パターン)として物体の外接四角形の縦横比を用いる。物体の縦横比はデジタルカメラで撮影した画像から計測した結果を用いる。この条件付確率密度関数を図 6 に、学習データのパターン認識の結果を表 1 に示す。

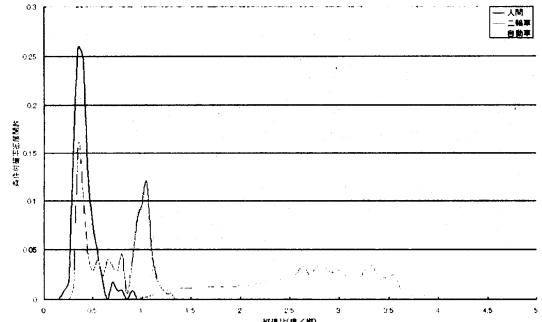


図 6. 条件付確率密度関数 (物体の縦横比)

Fig.6. A conditional probability density function
(obstacle's ratio between height and width
of circumscribed quadrilateral)

表 1. 学習データのパターン認識

Table 1. Pattern recognition for learning data

	人間(%)	二輪車(%)	自動車(%)
人間	93.97	6.03	0.00
二輪車	39.20	59.66	1.14
自動車	0.00	2.44	97.56

表 1 から、自動車画像を入力すると高い確率で自動車と認識されるが、二輪車と人間は誤認識が多い。これは二輪車を正面または背後から見ると人間の縦横比と酷似しているためである。そこで、ベイズの定理で二輪車または人間と判別されたものに対して速度を考慮した認識を行なうことによって誤認識を減少させることとする。

障害物の速度を考慮した認識の流れ(図 4 の障害物認識の部分)を図 7 に示す。

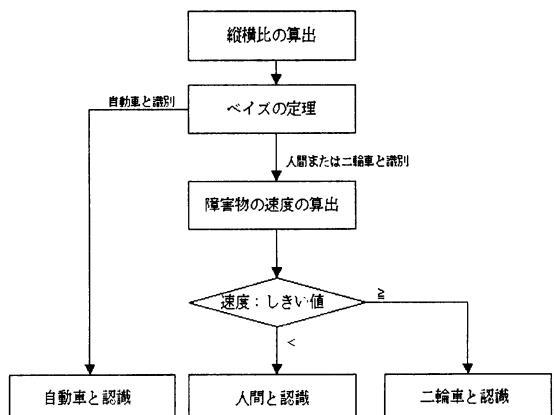


図 7. 障害物の速度を考慮した認識の流れ

Fig.7.Flow chart to pattern recognition considering
obstacle's velocity

速度を考慮したフレーム間差分、障害物の追跡の結果から物体の縦横比を算出し、ベイズの定理による判別を行なう。その結果が人間または二輪車のときのみ障害物の速度を算出し、しきい値以上のものを二輪車、しきい値未満のものを人間と判別する。

4. 結果と考察

未知データに対して障害物認識をベイズの定理のみで行なった結果を表2に、図5に示す障害物の速度を考慮した認識を行なった結果を表3に示す。

表2. 未知データのパターン認識(ベイズの定理のみ)

Table2.The result of pattern recognition
for unknown data used Bayes' theorem only

	人間	二輪車	自動車
人間	15	0	0
二輪車	3	10	0
自動車	0	0	15

表3. 未知データのパターン認識(速度を考慮)

Table3.The result of pattern recognition
for unknown data considering Bayes' theorem
and obstacle's velocity

	人間	二輪車	自動車
人間	15	0	0
二輪車	0	13	0
自動車	0	0	15

表2、3を比較すると、障害物の速度を考慮することで二輪車を人間と判別するものがなくなった。これより、人間と二輪車の速度によって判別することが有効であることがいえる。

次に、未知データ(自動車あり50シーン、二輪車あり10シーン、人間あり21シーン、障害物なし20シーン)に対して、速度を考慮したフレーム間差分を適用した結果を表4に、障害物が未検知であった画像を図8に示す。

表4. 速度を考慮したフレーム間差分の結果

Table4.The number of detecting frame difference
images considering self-vehicle velocity

	障害物あり	障害物なし
人間	20	1
二輪車	10	0
自動車	50	0
障害物なし	0	20

図8では、障害物が画像の遠方に存在し動きを検知ができずに未検知となったと考えられる。

障害物認識をする領域は線路位置から左右

40[pixel]の範囲、人間と二輪車の速度のしきい値を12[km/h]としている。表4で障害物ありと判定されたものについて、図7に示す障害物認識を行なった結果を表5に、また自動車と正認識された例を図9に、人間を二輪車と誤認識した例を図10に示す。

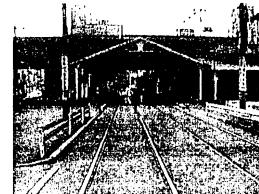


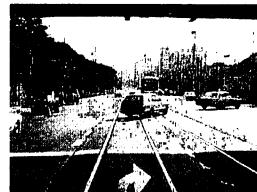
図8. 障害物未検知の画像(人間)

Fig.8.Undetectable obstacle (man)

表5. L RV前方画像からの障害物認識

Table5.The result of pattern recognition of
obstacles from images

	人間	二輪車	自動車	判別不能
人間	14	6	0	0
二輪車	1	9	0	0
自動車	0	4	42	4



(a) 原画像 1

(a) A source image No.1



(d) (a)と(b)の差分処理

(d) A difference image
between (a) and (b)



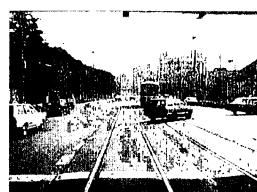
(b) 原画像 2

(b) A source image No.2



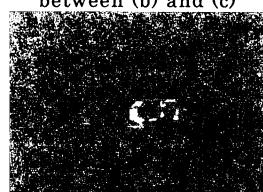
(e) (b)と(c)の差分処理

(e) A difference image
between (b) and (c)



(c) 原画像 3

(c) A source image No.3



(f) 正認識

(f) A right recognition

図9. 正認識の例

Fig.9. An example result of right recognition

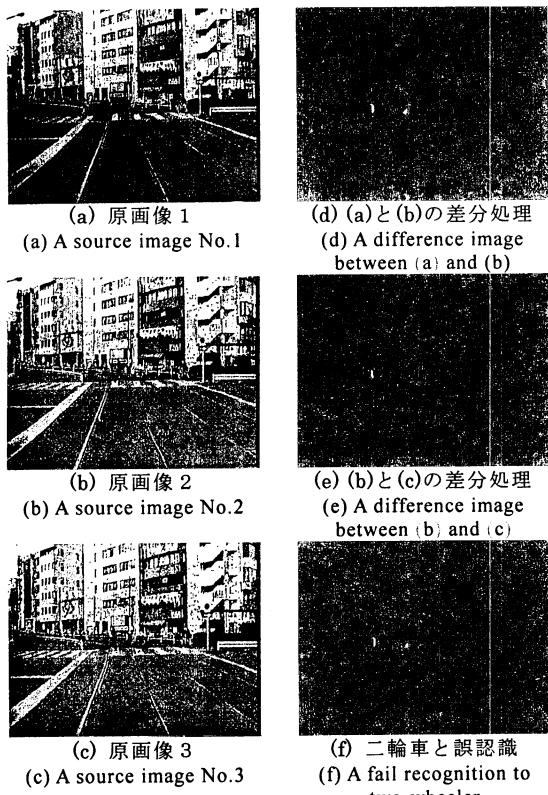


図 10. 誤認識の例

Fig.10.An example result of failed recognition

表 5 では、人間を二輪車と誤認識しているものが多い。図 10 は、その一例である。これは、障害物となる人間が遠方に存在し、(e)では検知することができなかつたため、障害物の速度の算出することができずして誤認識となった。遠方に存在する障害物に対して速度による認識は本手法では困難であるため、20[m]より遠い障害物に対してはペイズの定理のみの認識を行なったほうがよいと思われる。

5.まとめ

LRV の安全走行支援のために車両の前方をカメラで撮影した画像から自車両の速度を考慮したフレーム間差分と障害物の追跡を用いて障害物の検知を行ない、ペイズの定理と障害物の速度を考慮した認識を用いて障害物の認識を行なった。

自車両の速度を考慮した差分処理を用いることにより、自車両が移動していても静止している障害物ではないものは検出されず、動物体のみの検出が可能になり、障害物の追跡処理を用いることにより複数のレベルに分割している 1 つの物体をまとめることができ

た。また、統計データを物体の縦横比としたペイズの定理および障害物の速度を考慮した認識を用いることにより障害物のパターン認識が可能であるが、遠方の障害物の速度を考慮することは困難であった。

今後の課題として、処理画像のサンプル数を増やすこと、遠方に存在する障害物の認識処理、速度を考慮したフレーム間差分のアルゴリズムの改善、ステレオカメラを用いた距離測定の適用などが挙げられる。

最後に、確率密度関数のデータ収集と統計データの収集にご協力いただいた、学部生の富田陽介君に深く御礼申し上げます。

文 献

- [1] 柚原誠，“低床式ライトレール車両”，電気学会誌，Vol.119, No.3, pp.148-151, Mar.1999.
- [2] 曽根悟，“明らかになってきたライトレールの利点と欠点”，電気学会誌，Vol.121, No.8, pp.531-534, Aug.2001.
- [3] 高橋友彰，香取照臣，高橋寛，泉隆，“統計的手法を用いた LRV 前方画像からの障害物認識に関する検討”，平成 15 年電気学会電子・情報・システム部門大会，GS11-1, p.899, Aug.2003.
- [4] 毛利宏，白土良太，古性裕之，“画像処理による車線追従制御の検討”，電気学会道路交通研究会，RTA-01-28, pp.55-60, Sep.2001.
- [5] 渋田孝次，泉隆，高橋寛，“視認性を考慮した道路標識の抽出”，電気学会道路交通研究会，ITS-02-21, pp.19-23, Jun.2002.
- [6] 三池秀敏，古賀和利，橋本基，百田正広，野村厚志，“パソコンによる動画像処理”，森北出版，1993.
- [7] 舟久保登，“パターン認識”，共立出版，1991.