

歩行者支援を目的とした環境変動に頑強な道路状況の自動抽出

Robust Object Detection for Supporting Mobility of Pedestrian

藤吉 弘亘*1 小村 剛史*1 香山 健太郎*2 吉水 宏*3
 Hironobu Fujiyoshi Takeshi Komura Kentarou Kayama Hiroshi Yoshimizu

*1 中部大学工学部情報工学科

Department of Computer Science, College of Engineering, Chubu University

*2 通信総合研究所

Communications Research Laboratory

*3 三菱電機エンジニアリング株式会社

Mitsubishi Electric Engineering Company Limited

This paper describes a method for detecting object from real-time video stream as a part of the "Environment-Embedded Terminal (EET)" system supporting mobility of pedestrian. The EET system robustly detects objects at an outdoor surveillance site. We also proposed an evaluation method based on time duration for the object detection. For 23 cases of video evaluation, a high detection rate was measured under the variations caused by meteorological effects.

1. はじめに

現段階での歩行者 ITS(Intelligent Transportation System: 高度交通システム) は、経路誘導や情報提供などの環境を整備するのが主におかれており、突発的な危険や事故などの事前回避を含む安全への対応という面がやや弱いといえる。また、高齢者・障害者の自律移動支援のためには、情報を提供するだけでなく認知の補助が不可欠である。通信総合研究所の矢入らは、より幅広い高齢者・障害者を対象に、認知・駆動・情報入手の三つの要素行動を補助する移動支援システム (Robotic Communication Terminals, RCT) を提案している [矢入 02]。RCT には、道路等に設置される環境端末 (Environment-Embedded Terminal, EET) と、ユーザと共に移動するユーザ携帯型移動端末およびユーザ搭乗型移動端末の三つのタイプの端末がある。これらの役割の異なった端末同士が通信し互いに協力し合うことで、認知・駆動・情報入手の三つの要素行動を補助し、ユーザの市街地での移動を支援する。

本研究では、RCT における環境端末の実現を目的とする。環境端末は、一般の道路状況を自動的に抽出するために、様々な環境下で 24 時間口バストに動く必要がある。本稿では、天候等の環境変動に頑強な環境端末システムの実現と、その評価について述べる。

2. 環境端末 (EET) システム

環境端末 (EET) システムは、高齢者・障害者を含む歩行者や車椅子などの比較的低速で移動を行うユーザをターゲットにしている。

EET システムの概要を図 1 に示す。このシステムは、カメラからの視覚情報をもとに、人間、自転車、自動車などが共存する道路の往来、駐停車車輛などの障害物による道路状況の変化を、24 時間モニタし、必要に応じてユーザへ道路状況データの提供を行う。さらに、これらのデータとユーザの位置情報をもとに、ユーザと動物体の衝突などの危険性があるかどうかを判断する。そして、危険性があると判断された場合には、ユーザが携帯する情報端末に警報を発信する。本システムに要求される機能は次のとおりである。

連絡先: 藤吉弘亘, 中部大学工学部情報工学科, 〒487-8501 愛知県春日井市松本町 1200, Tel: 0568-51-1111, Fax: 0568-51-1514, hf@cs.chubu.ac.jp

- 歩行者・二輪車・自動車が共存するような、比較的流量が少ない(その分規則性が少ない)ような道路を対象とすること
- 自動車のみならず、歩行者・二輪車の動きをも認識できること
- 天候・時間の変化などの外乱を克服して 24 時間口バストに動作すること

EET システムにおける移動体認識部の処理は以下の手順で行う。

1. 移動体領域の検出
2. 検出された移動体の特徴量抽出
3. フレーム間での対応関係決定
4. 対象物体の種類の判定

以下に各処理の詳細について述べる。

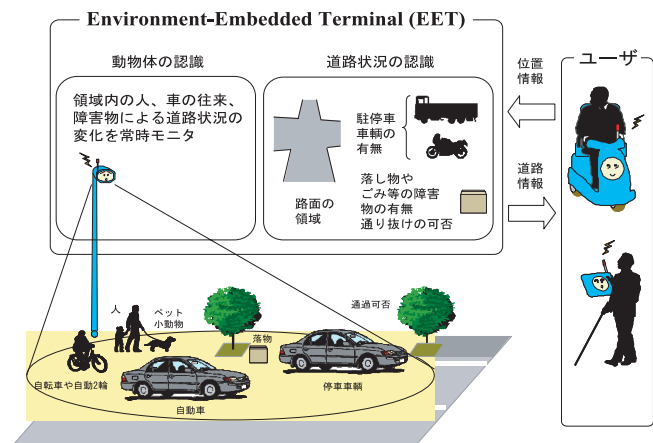


図 1: 環境端末システム

2.1 移動体検出

従来、移動体検出には背景差分を用いた手法が用いられており、背景を逐次推定する手法が提案されている [長屋 96]。本システムでは、屋外環境かつ 24 時間を対象としており、背景推定が対応できない場合が考えられる。そのため、本システム

における移動体検出には背景画像を必要としないフレーム間差分を用いる。

フレーム間差分は、時刻 t と時刻 $t-i$ の画像の差分を取ることで、移動体を検出する手法である。ここで、ピクセルの状態を表す M は、輝度変化をしきい値処理することにより、次式に示すように物体 (1) と背景 (0) に判定する。 Th は、急激な変化を判定するしきい値である。

$$M_t = \begin{cases} 1, & |I_t - I_{t-i}| > Th \\ 0, & |I_t - I_{t-i}| \leq Th \end{cases}$$

この操作を全ピクセルについて行う。

ここでしきい値 Th には、天候・時間帯の変化によりそれぞれの領域に適したしきい値を設定する必要がある。本手法では、しきい値に過去数フレーム間の輝度変化の分散を用いることにより適応的にしきい値を決定する。

分散しきい値 ピクセル毎にしきい値を設定する変動しきい値として、過去 K フレーム間の輝度値の分散値 S_t^2 を次式より求める。

$$S_t^2 = \frac{K \sum_{i=1}^K I_{(t-i)}^2 - \left(\sum_{i=1}^K I_{(t-i)} \right)^2}{K(K-1)}$$

これはフレーム $t-1$ から $t-K$ までの分散であり、安定した状態のとき分散値は小さくなる。図 2 に示すように過去 K フレーム間の輝度値の分散をしきい値に反映させることで、ピクセル毎に対応したしきい値を設定することが可能となり、検出性能の向上が期待できる。

しきい値の更新方法 変動しきい値を更新する場合、分散の変動が激しい領域では、 Th_t の変動も激しく移動体検出を失敗する場合がある。そこで本手法では、しきい値の変動を抑制するために次式のように過去のしきい値を用いた更新を毎フレーム行う。

$$Th_t = \alpha \cdot 4S_t + (1 - \alpha)Th_{t-1} \quad (0 < \alpha < 1)$$

ただし、 $M_{t-1} = 1$ の場合は $Th_t = Th_{t-1}$ とする。 α は、新しく計算した分散値 S_t をしきい値にどれだけ反映させて更新するかを決定する定数である。

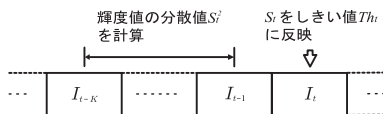


図 2: 分散の計算

2.2 物体追跡

物体追跡には、Markov Random Field モデルを時空間画像に拡張適用し、時空間画像中の隣接した画像同士でテクスチャの相関や移動物体軌跡の連結の確からしさを評価するアルゴリズムを使用している [上條 00]。このアルゴリズムでは、車輛形状モデルなども仮定せず、濃淡画像から得られる情報のみを用いることで実現できるため汎用性が高く、また安定性も高い。

2.3 物体識別

検出した移動体の領域より特徴量を求め、人・自動車等の識別を行う。識別器にはニューラルネットワークを用いた

[Collins 01]。特徴量として、平均距離の偏差、楕円の縦横比、領域の真円度、領域のコンパクト性、領域の凸面度、楕円長軸の傾き、外接円/内接円半径比、外接円/内接円中心座標距離を求めニューラルネットワークの入力パラメータとした。ニューラルネットワークを用いて人(影あり)、人(影なし)、人(複数)、自動車(セダン・ワゴン)、バス・BOX車、トラック、二輪車(自転車・バイク)、その他の8クラスに識別する。

なお、カメラは傾いて設置されることも多いため、画像上の大きさは位置により大きく変化し、認識に用いることは難しい。そこで、大きさについては、予め地図から得た緯度経度情報をもとにキャリブレーションを行い、画像上の位置と大きさから実際の大きさを計算している。

表 1: 評価用データの分類

時間帯	天候条件	ラベル名
日中	影の長い晴天	A
	影の短い晴天	B
	曇天	C
	画面の半分程度が影で覆われ、それ以外の部分では影の長い晴天	D
	画面の半分程度が影で覆われ、それ以外の部分では影の短い晴天	E
	雨天	F
	雨天直後の路面反射率が高い状態	G
日中～薄暮	晴天	H
	曇天	I
	雨天	J
	雨天直後の路面反射率が高い状態	K
朝	晴天	L
	曇天	M
	雨天	N
	雨天直後の路面反射率が高い状態	O
薄暮～夜間	晴天	P
	曇天	Q
	雨天	R
	雨天直後の路面反射率が高い状態	S
夜間	晴天	T
	曇天	U
	雨天	V
	雪天	W

3. 評価用データベース

屋外環境は天候・時間帯等の要因により常に変化しており、EETシステムに用いられる移動体検出法は様々な状況に対応する必要がある。そこで、EETシステムの評価用データとして、3年間分の映像データから表1の環境条件に一致する30分からなる映像シーンを選り、計23時間の映像データベースを作成した。映像データは、カメラ1(図3(a))、カメラ2(図3(b))の2ヶ所に設置したカメラで採取したものである。

映像データベースは時間帯・天候条件により分類した。時間帯による分類は、日中、日中～薄暮、朝、薄暮～夜間、夜間の5状態であり、その分類条件を以下に示す。

日中 日に照らされて明るい時間帯

日中～薄暮 日中から薄暗くなるまでの時間帯

朝 薄暗い状態から日が昇り明るくなるまでの時間帯

薄暮～夜間 薄暗い状態から完全に暗くなるまでの時間帯



図 3: カメラの設置場所

夜間 完全に暗い状態

同様に天候状態による分類は、晴天、曇天、雨天、雪天の 4 状態であり、その分類条件を以下に示す。

晴天 明るい領域と影領域が生じている状態

曇天 雲により影が薄い状態

雨天 雨が降っている状態および雨が上がった直後

雪天 雪が降り背景が雪で覆われている状態

日中においては晴天の中でも物体の影の長さ、背景を影が占める割合により更に分類した。このように、時間帯と天候条件から分類し、作成したデータベースは 23 状態である。これらの各状態におけるシステムの検出能力の評価を行う。

4. 評価実験

移動体検出の性能評価には検出物体数による評価がよく用いられるが、一度検出した物体はその物体が監視対象領域から消えるまで継続的に検出する必要がある [Fujiyoshi 02]。そこで、本研究では、検出時間間隔を基にした評価方法を提案する。

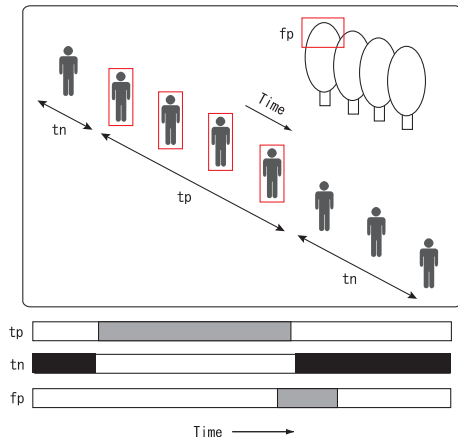


図 4: 検出時間間隔

4.1 検出時間間隔による評価法

図 4 に移動体検出の評価方法を示す。ある物体が対象領域に現れてから消えるまでの間に、対象物体を検出できた時間を tp [sec]、対象物体を検出できなかった時間を tn [sec] とする。木の揺れや静止物体など本来検出すべき対象ではないものを誤検出した時間を fp [sec] とする。複数の誤検出パターンが出現した場合、出現時間が同時なものについては、それを一括して扱うこととし、その全てが消えるまでの時間を計測する。また、夜間、朝、夕暮に車のヘッドライトで照らし出された領域については、自動車本体を含んでも誤検出とする。

図 5 に tp , tn , fp の関係を示す。システムがなんらかの物体を検出した時間は $tp+fp$ 、対象とする本来検出されるべき物体が出現してから出て行くまでの時間は $tp+tn$ となる。

- 移動体を検出した時間: tp [sec]
- 移動体を検出できなかった時間: tn [sec]
- 移動体以外を誤検出した時間: fp [sec]

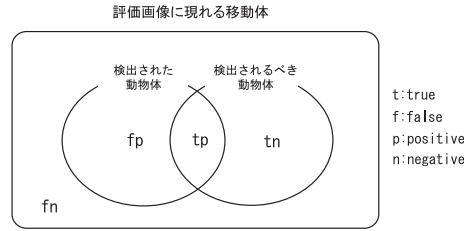


図 5: 検出の定義

移動体検出の評価は、人や自動車などの対象物体の検出だけでなく、外乱による誤検出に対しても行う必要があることから、以下に示す移動体検出率と誤検出率を計算し評価を行う。本来検出されるべき時間内において、実際に検出できた時間の割合を移動体検出率とし、次式で算出する。

$$\text{移動体検出率} = \frac{\sum tp}{\sum tp + \sum tn} \times 100[\%]$$

システムが検出した時間において、検出すべきでないものの時間の割合を誤検出率とし、次式で算出する。

$$\text{誤検出率} = \frac{\sum fp}{\sum tp + \sum fp} \times 100[\%]$$

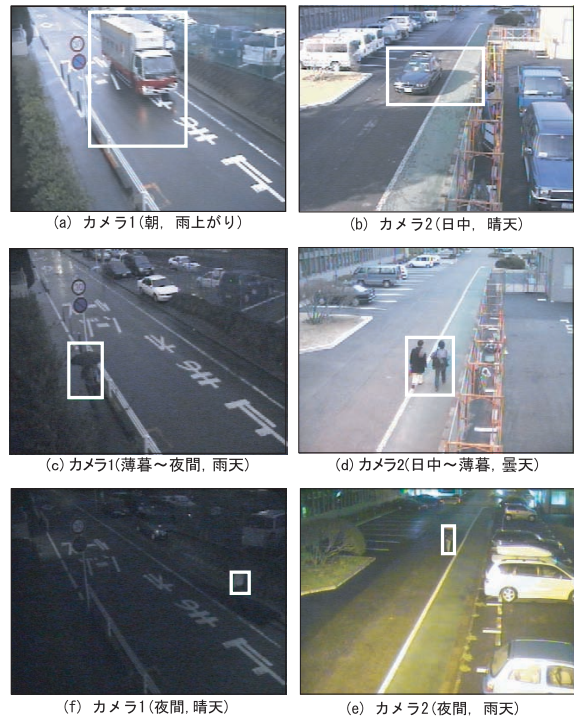


図 6: 移動体検出例

4.2 実験結果

約 23 時間の評価用データベースを用いて本システムの評価を行った。EET システムによる自動検出結果を目視により $tp/tn/fp$ の 3 種類に識別し、その時間間隔を測定した。時間の測定は、ビデオデッキのテープカウンタもしくはストップウ

表 2: 検出率と移物体数

	カメラ 1		カメラ 2	
	検出率 [%]	移物体数	検出率 [%]	移物体数
A	89	44	85	73
B	98	48	94	51
C	90	40	92	31
D	91	94	89	68
E	-	-	-	-
F	95	94	91	45
G	97	106	99	38
H	96	35	91	30
I	85	72	88	47
J	97	57	96	40
K	93	185	96	19
L	99	10	92	12
M	100	1	86	5
N	100	4	-	-
O	91	2	81	7
P	75	25	61	35
Q	82	120	61	49
R	90	75	77	11
S	97	52	79	4
T	95	22	45	46
U	82	36	67	15
V	84	36	72	9
W	-	-	38	60

オッチを使用した。図 6 に本システムによる移物体検出例を示す。

表 1 に示す 23 状態毎の移物体検出率と評価に用いた対象移物体数を表 2 に示す。また、各状態に対して時間帯・天候別に分類した際の移物体検出率と移物体数を図 7 に示す。夜間においては、自動車のヘッドライトを検出した場合を検出成功として判定している。また、カメラ 1 が対象としている道路には街灯が設置されておらず、夜間は目視においても歩行者の確認が困難なため、カメラ 1 における夜間の歩行者を評価の対象外とした。

図 7 の天候別のグラフより、どの状態においても検出率が大きく変わらないことが分かる。これは、分散しきい値が天候状態の各変化に適応して設定され、移物体を検出していることを示している。また、カメラ 1 に比べカメラ 2 の検出率が 10%程低い、これはカメラ 2 の対象領域内にはカメラ 1 よりも遠方の道路を移動する歩行者も含まれており、これらの移物体の画像上のサイズは小さく、その移動変化を検出できないためである。

一方、時間帯別に分類したグラフを見ると、夜間におけるカメラ 2 の検出率が低い。これは、夜間は歩行者が通過する際に著しい輝度変化が生じないためである。尚、夜間にカメラ 1 で検出率の低下が殆ど見られないのは、カメラ 1 では歩行者を評価していないためである。また、誤検出率を見ると朝、夜間において誤検出率が高いことがわかる。これは、車のヘッドライトにより照らされた道路領域を誤検出しているためである。

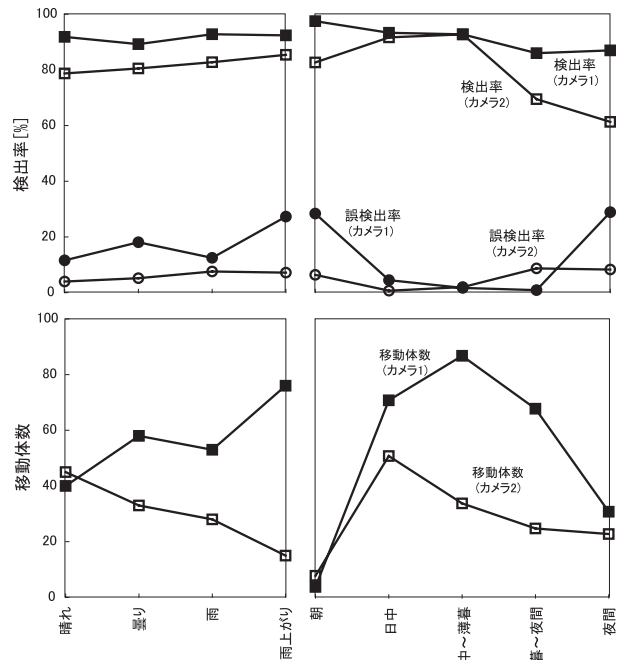


図 7: 天候・時間帯別の検出率

5. まとめ

本論文では、検出時間間隔を利用した評価法を提案し、環境端末 (EET) システムにおける移物体検出能力を天候・時間帯から評価した。分散しきい値を用いると、天候等による環境変動に対して適応的にしきい値がピクセル毎に設定されるため、検出率に影響がない。今後は夜間での輝度変化の抽出、自動露出調整機能による輝度変化の対処について検討する予定である。

参考文献

- [矢入 02] 矢入 (江口) 郁子: 高齢者・障害者の自立的移動を支援する Robotic Communication Terminals(2), 人工知能学会誌, Vol.17, No.2, pp.170-176(2002).
- [長屋 96] 長屋茂喜, 宮武孝文, 藤田武洋, 上田博唯, 伊藤敬一: 時間相関型背景判定法による移物体検出, 電子情報通信学会論文誌 (D-II), Vol.J79-D-II, No.4, pp. 568-576(1996).
- [上條 00] 上條俊介: 時空間 Markov Random Field モデルによる隠れにロバストなトラッキングアルゴリズム, 電子情報通信学会論文誌 (D-II), vol.J83-D-II, no.12, pp.2597-2609, December 2000.
- [Collins 01] R. Collins, A. Lipton, H. Fujiyoshi, and T. Kanade: Algorithms for cooperative multisensor surveillance, Proceedings of the IEEE, Vol. 89, No. 10, pp. 1456 - 1477, October 2001.
- [Fujiyoshi 02] H.Fujiyoshi and T.Kanade: Layered Detection for Multiple Overlapping Objects, Proceedings of the International Conference on Pattern Recognition (ICPR'2002), August 2002.