

歩行者 ITS のためのフレーム間差分による移動体検出法とその評価

藤 吉 弘 亘[†] 小 村 剛 史[†] 矢入(江口)郁子^{††}
 香 山 健 太 郎^{††} 吉 水 宏^{†††}

歩行者の移動支援を目的とした RCT システム (Robotic Communication Terminals) は、環境端末 (Environment-Embedded Terminal, EET), ユーザととも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 3 つのタイプの端末からなる。環境端末は、屋外に設置したカメラ映像から人や車等の往来を検出し、ユーザへ提供する。その際には、様々な環境下で 24 時間口バストに動く必要がある。本論文では、過去数フレームの輝度変化を反映したしきい値によるフレーム間差分に基づく移動体検出法を提案する。時間帯・天候条件により分類した映像データベースを用いて検出時間に基づく評価実験の結果、約 90% の移動体検出率を得た。歩行者 ITS における評価として、環境端末がカメラから画像を取得してから歩行者が携帯する端末に移動体情報が表示されるまでの時間を測定した。クライアントが 3 台の場合、環境端末が移動体を検出してから 0.152[sec] の時間で歩行者に物体情報を提供することが可能であり、次世代の歩行者 ITS としての有効性を確認した。

Object Detection Based on Temporal Differencing for Pedestrian ITS and Its Evaluation

HIRONOBU FUJIYOSHI,[†] TAKESHI KOMURA,[†] IKUKO EGUCHI YAIRI,^{††}
 KENTAROU KAYAMA^{††} and HIROSHI YOSHIMIZU^{†††}

We have been developing the Robotic Communication Terminals (RCT) as a mobility support system for elderly and disable people, which assists for their impaired elements of mobility — recognition, actuation, and information access. The RCT consists of three types of terminals: “Environment Embedded Terminal (EET)”, “user-carried mobile terminal”, and “user-carrying mobile terminal”. The EET system robustly detects moving objects at an outdoor surveillance site all day, and presents walkers with information of their surrounding. In this paper, as a part of the EET, we propose a method for detecting moving object based on temporal differencing using adaptive thresholding calculated from intensity changes in the past few frames. We also proposed an evaluation method based on time duration for the object detection method. For 23 cases of video evaluation, a high detection rate was measured under the variations caused by meteorological effects. We have developed a test bed system implementing our proposed method of the object detection. In our test bed system, user can receive the information from the EET with 0.139[sec] in time delay. Evaluations using the test bed system demonstrate the effectiveness of our method as a part of next generation ITS for pedestrian.

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等の環境を整備するのが主眼におかれており、突発的な危険や事故等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。

次世代歩行者 ITS として、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 3 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¹⁾。RCT には、道路等に設置される環境端末 (Environment-Embedded Terminal, EET) と、ユーザととも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 3 つのタイプの端末からなる。これらの役割の異なった端末どうしが通信し互いに協力し合うことで、

[†] 中部大学工学部
 College of Engineering, Chubu University

^{††} 情報通信研究機構
 National Institute of Information and Communications Technology

^{†††} 三菱電機エンジニアリング株式会社
 Mitsubishi Electric Engineering Company Limited

認知・駆動・情報の入手の3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。環境端末は、カメラからの視覚情報をもとに、人間、自転車、自動車等が共存する道路の往來を24時間モニタし、ユーザに情報を提供する。そのため、環境端末における移動体検出は、屋外環境下で長時間ロバストに移動体を検出する能力が要求される。

従来、移動体検出には背景差分法とフレーム間差分法が用いられている。背景差分法は、あらかじめ用意した背景画像（モデル）と現時刻 t との画像の差分により物体を検出する。屋外環境においては、天候・時間帯等による背景変化や背景中の木の揺れ等の背景物体の変動に対して背景モデルを適応させる必要がある。天候・時間帯等による背景変化に対して、入力画像と背景との距離算出に着目したものと、背景モデルを適応的に推定する手法が提案されている^{2)~5)}。長屋ら²⁾は、着目領域における入力画像と背景画像の正規化距離（各画素の濃度値をベクトル要素とする2つのベクトル間の距離）を求め背景変化の有無を判定し、背景を更新する手法を提案している。松山ら³⁾は、正規化距離による背景差分を改良し、照明条件を推定しノイズによる誤検出を軽減する手法を提案している。しかし、画像を $N \times N$ のブロックに分割して計算しているため空間分解能は高くない。そのため、部分画像内の明度の非一様な変動に対処することは困難と思われる。一方、背景中の木の揺れ等の動きを考慮した背景推定法が提案されている^{6)~9)}。Grimsonら⁶⁾は、背景画像の画素値の変化を確率分布によってモデル化し、移動対象に相当する輝度を検出している。しかし、背景差分法を用いた場合、緩やかな環境変動には背景モデルを適応させることができるが、太陽が雲に隠れる等の急激な背景変化が生じた場合に誤検出が生じる。

フレーム間差分法は、時刻 t と時刻 $t-i$ の画像の差分により移動体を検出するため背景画像を用意する必要がない。天候・時間帯等により背景がつねに変化する屋外環境下では、日照変動に対する誤報が起きにくいフレーム間差分は有効だといえる。しかし、移動体領域が分断される、静止物体を検出できない、移動体の進行方向や速度により切り出される領域が変化することが問題としてあげられる。長谷川ら¹⁰⁾は、フレーム間差分により切り出された移動体領域が分断される問題に対処しているが、分断された領域の対応付けが必要となる。

本論文では、過去数フレームの輝度変化の分散を反映したしきい値によるフレーム間差分に基づく移動体検出法を提案する。天候・時間帯等による背景の変化に

対して、本手法では、過去の短時間における輝度変動をもとにしきい値を算出するため、その影響を受けにくい。また、木の揺れ等の輝度変化が激しいピクセルはしきい値が高く設定できるため、木の揺れ等の誤検出を抑制することができる。フレーム間差分を用いる問題点として、検出した移動体領域が同一テクスチャを持つ場合に領域が分断されることがあげられる。本手法では、必ずしも領域を正確に検出することはできないが、輝度変化の分散をしきい値に反映させることで移動体領域内の微小な輝度変化を検出することが可能となり、移動体領域の分断を防ぐことができる。静止物体についてはフレーム間差分で検出することができないが、提案手法の移動体検出は高速な応答性が特長であり、停止した車両が再び動き出した場合でも、瞬時にそれを検出し、歩行者にほぼリアルタイムで提示することができるため、問題にならない。

移動体検出法の評価用データには、3年間の映像から天候・時間帯により分類した23時間の評価用データベースを用いる。従来、移動体検出の性能評価には検出物体数による評価が用いられるが、RCTシステムは歩行者の移動支援を目的としているため、カメラ対象領域内の移動体をつねに検出する必要がある。そこで、本論文では、検出時間に基づく評価方法を提案する。また、提案する移動体検出法を用いたRCTシステムを構築し、カメラの画像を取得してから、検出した移動体情報を歩行者に伝達するまでの時間を評価し、歩行者ITSとしての有効性を明らかにする。

2. フレーム間差分による移動体検出法

RCTシステムにおける環境端末は、屋外環境かつ24時間を対象としているため長時間ロバストに移動体を検出する必要がある。背景差分を用いて屋外での環境変動に対応することも可能だが、急激な日照変動が生じた場合に誤検出が生じるという問題がある。そこで、本システムにおける移動体検出には環境変動の影響を受けにくいフレーム間差分を用いる。フレーム間差分は次式により求められる。

$$\Delta_t = \max\{|I_t - I_{t-j}|, \forall j \in [1, n]\} \quad (1)$$

I_t は現在の入力画像、 I_{t-j} は j フレーム前の画像とする。急激な輝度値の変化がピクセル上に生じたとき、変化量 Δ_t の値は大きくなる。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。

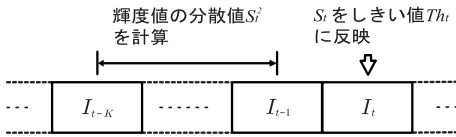


図 1 分散の計算

Fig.1 Calculation of variance using past few frames.

$$M_t(u, v) = \begin{cases} 1, & \Delta_t(u, v) > Th \\ 0, & \Delta_t(u, v) \leq Th \end{cases} \quad (2)$$

2.1 変動しきい値の設定

しきい値 Th には天候・時間帯の変化に適応し、かつ画像内の各領域ごとにしきい値を設定する必要がある。本手法では、各ピクセルごとに過去数フレーム間の輝度変化の分散をしきい値に反映させる。過去 K フレーム間の輝度値の分散値 $S_t^2(u, v)$ は次式により計算する。

$$S_t^2(u, v) = \frac{K \sum_{i=1}^K I_{t-i}^2(u, v) - \left(\sum_{i=1}^K I_{t-i}(u, v) \right)^2}{K(K-1)} \quad (3)$$

これはフレーム $t-1$ から $t-K$ までの分散であり、輝度変化が安定した状態のとき分散値は小さくなる。図 1 に示すように過去の短期間 (K フレーム) における輝度値の分散をしきい値に反映させることで、天候・時間帯等の背景変化に対してその影響を受けにくくなり、検出性能の向上が期待できる。

式 (3) により求めた分散値を用いて、各フレームにおいて変動しきい値を次式により更新する。 $S_t(u, v)$ の係数 α はしきい値の大きさを決定する値である。

$$Th_t(u, v) = \alpha \cdot S_t(u, v) \quad (4)$$

しかし、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を検出できない場合がある。そこで、しきい値の変動を抑制するために過去のしきい値の重み付けによる更新を行う。しきい値 $Th'_t(u, v)$ を次式により毎フレーム更新する¹¹⁾。

$$Th'_t(u, v) = \beta \cdot Th_t(u, v) + (1 - \beta)Th'_{t-1}(u, v) \quad (0 < \beta < 1) \quad (5)$$

ただし、 $M_{t-1} = 1$ の場合は $Th'_t = Th'_{t-1}$ とする。 β は、新しく計算した分散値 $S_t(u, v)$ を最新フレームにおけるしきい値 Th_t 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 に、あるピクセルにおける輝度の変動(差分値

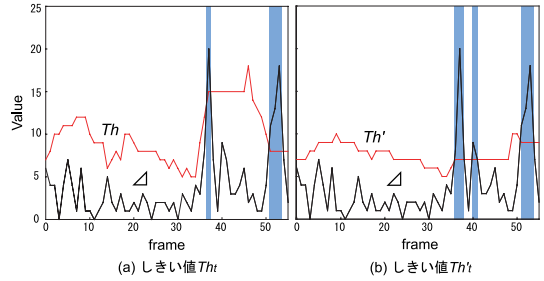


図 2 しきい値の遷移

Fig.2 Transition of threshold value over time.

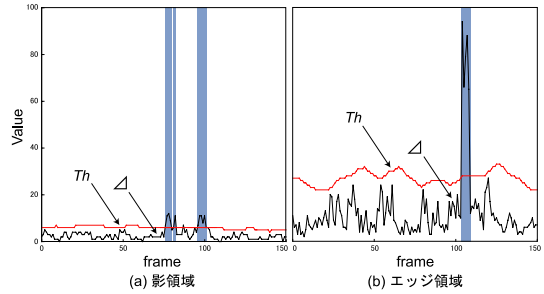


図 3 影とエッジ領域におけるしきい値

Fig.3 Threshold value for shadow region and edge region.

Δ) としきい値を示す。移動体は 33~55 フレームに通過している。移動体通過フレームをすべて検出できていないのは、移動体の面積が大きい場合、フレーム間差分では変化が生じるエッジ領域のみ検出するからである。 Th_t の場合、37 フレーム目の輝度変化に追従しており、40 フレーム目を検出できていない。 Th'_t では、分散値の変動が抑えられ 40 フレーム目の検出が可能である。

日中における各領域での輝度変化を表す差分値 Δ と分散しきい値 Th'_t の時間変化を図 3 に示す。(a) は影領域、(b) はエッジ領域での差分値としきい値の変動である。日中の影領域においては、日向とのコントラストにより影が濃くなり移動体通過時には微小な輝度変化しか観測されない。図 3 (a) より、しきい値を 7 程度に設定しなければ、77~84、96~101 フレームの移動体を検出できないことが分かる。一方、エッジや木の揺れが生じる領域においては輝度変化が激しく、しきい値を 30 程度に設定しなければ誤検出が発生する。このような状況では、固定しきい値で対応することは困難である。分散しきい値では、各ピクセルごとに過去の輝度変化を反映して設定するため、検出可能となる。

図 4 に影領域における移動体検出例を示す。固定しきい値においては、エッジ部分や木の揺れ等の誤検出が発生するためしきい値を低く設定できない。そのた

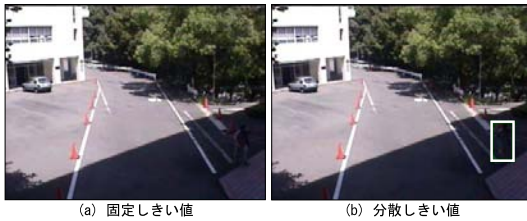


図 4 影領域における移動体検出
Fig. 4 Detection results in deep shadow area.

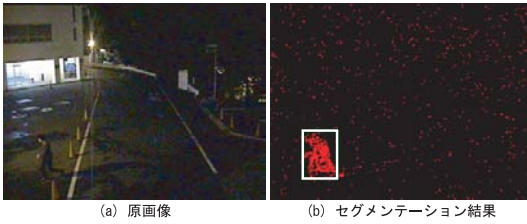


図 5 移動体のセグメンテーション
Fig. 5 Segmentation results of moving object.

め、影領域における移動体の検出に失敗している．一方、分散しきい値では、輝度変化の小さいピクセルはしきい値が低く設定されるため、検出感度を上げることになり影領域での検出が可能となる．変化の大きいピクセルはしきい値が高く設定され、検出感度を下げることになり木の揺れ等の誤検出が抑制される．

2.2 移動体領域の決定

分散しきい値により検出精度を各ピクセルごとに設定するため、検出感度の高いところでは、カメラのオートゲインコントロール (AGC) によりダイナミックレンジが自動調整され、実際に変化のない背景領域に輝度変化が生じる場合がある．そのため、特に夜間では、図 5 (b) に示すようなスパイクノイズ状の検出結果となる場合がある．そこで、フレーム間差分により $M_t = 1$ と判定したピクセル群を空間的な特徴を用いて、移動体領域を抽出する．フレーム間差分により物体 $M_t(u, v) = 1$ と判定された 2 つのピクセル (u, v) と (u_0, v_0) が半径 r_c 以内にあれば同一対象領域 $R_t(i)$ に属しているとする．

$$R_t(i) = \{M_t(u, v) \neq 0 : \exists M_t [(u_0, v_0) \neq (u, v) \in R_t(i), |(u, v) - (u_0, v_0)| \leq r_c]\} \quad (6)$$

r_c の値によりセグメンテーション領域が変化する． r_c が大きすぎると実際の物体領域よりも大きく抽出され、 r_c の値が小さすぎると 1 個の物体が複数に分割される． r_c は、対象環境下における移動体の面積より経験的に設定する．次に、抽出された各領域 $R_t(i)$ の面積を求め、小さいものはスパイクノイズと見なし除去する．

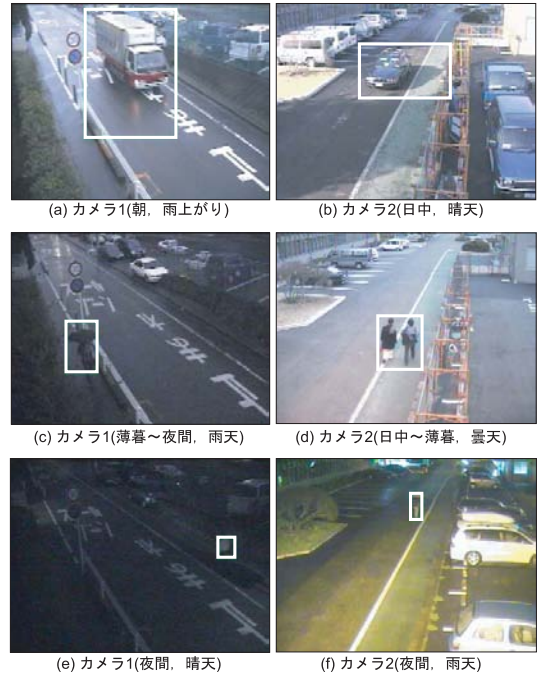


図 6 移動体検出例
Fig. 6 Detection samples in various environments.

図 5 に夜間における移動体のセグメンテーション結果を示す．スパイクノイズ状の検出結果から移動体領域のみを抽出していることが分かる．

図 6 に天候・時間帯別での本手法による移動体検出例を示す．本移動体検出法は、過去数フレームの輝度変化に基づいてしきい値を設定するため、様々な天候や時間帯においても移動体を検出可能であることが分かる．

3. 提案手法の評価

提案手法の評価として、時間帯・天候状態により分類した映像データベースを作成し、検出能力の評価を行う．

3.1 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つねに変化しており、環境端末 (EET) 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、提案する移動体検出法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 分からの映像シーンを選び、計 23 時間の映像データベースを作成した．なお、映像データはカメラ 1、カメラ 2 の 2 カ所に設置したカメラで採取した．

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

表 1 評価用データの分類
Table 1 Details of evaluation data.

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

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

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さらに分類した。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。

3.2 検出時間に基づく評価法

RCT システムは、屋外に設置したカメラから得られた物体情報を歩行者に提供することにより、歩行者の移動を支援する。そのためには、カメラの対象領域内の移動体をつねに検出する必要がある。移動体検出

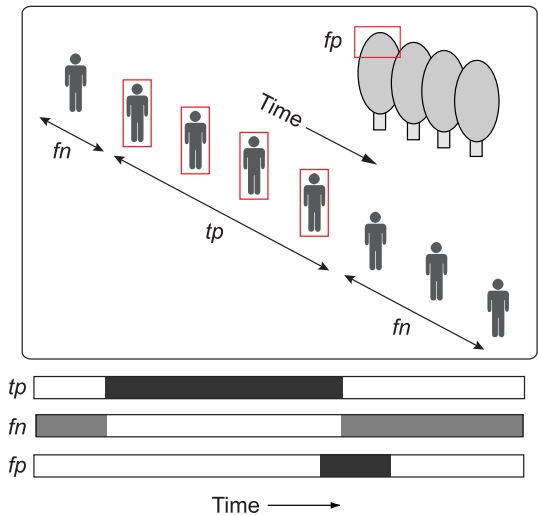


図 7 検出時間に基づく評価法

Fig. 7 Evaluation method based on detection time.

法の評価には、検出できた移動体数から移動体検出率を計算する方法が用いられているが、対象領域内を通過する移動体を一度でも検出できれば検出成功と判定する必要があるため、突発的な危険回避を目的とした RCT システムに用いる移動体検出法の評価には適切ではない。そこで、提案手法の評価に移動体の検出時間に基づく評価法を提案する¹²⁾。

図 7 に移動体検出法の評価法を示す。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 $tp[\text{sec}]$ 、対象物体を検出できなかった時間を $fn[\text{sec}]$ とする。木の揺れや静止物体等本来検出すべき対象ではないものを誤検出した時間を $fp[\text{sec}]$ 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、そのすべ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いても誤検出とする。

図 8 に tp 、 fn 、 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カメラの視野から外れるまでの時間は $tp+fn$ 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： fn [sec]
- 移動体以外を誤検出した時間： fp [sec]

移動体検出の評価は、人や自動車等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

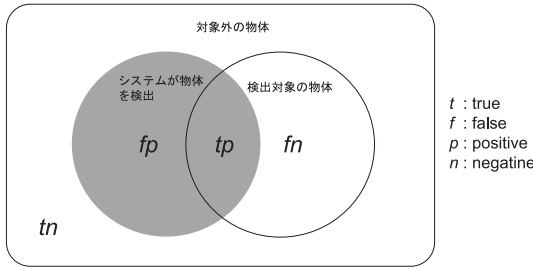


図 8 検出の定義

Fig. 8 Defenition of object detection.

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。

$$Detection = \frac{\sum tp}{\sum tp + \sum fn} \times 100[\%]$$

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。

$$FalseDetection = \frac{\sum fp}{\sum tp + \sum fp} \times 100[\%]$$

3.3 実験結果

約 23 時間の評価用データベースを用いて提案する移動体検出法の評価を行った。EET による自動検出結果を目視により *tp/fn/fp* の 3 種類に識別し、その時間を測定した。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ォッチを使用した。式 (1) のフレーム間差分に用いるフレーム数 *n* については、カメラから遠方の歩行者を安定して検出できるフレーム数として 4 に設定した。式 (4) のしきい値の大きさを決定する係数 α については、予備実験の結果をもとに 4 に設定した。式 (5) のしきい値の更新係数 β については、 β を高い値に設定するとしきい値の環境変動に追従する速度が速くなるが、分散値の変動が激しい画素では、しきい値の変動も激しくなり移動体を検出できない場合がある。また、屋外環境下で生じる天候・時間帯等による背景変化にしきい値が追従するように β を設定する必要がある。本システムは約 16 fps で動作しており、背景変化が生じても 1 フレーム間に急激に輝度値が変化することがないため、 β を高い値に設定する必要はない。以上のことから予備実験の結果をもとに $\beta = 0.015$ に設定した。

表 1 に示す 23 状態ごとの移動体検出率と評価に用いた対象移動体数を表 2 に示す。また、各状態に対して天候・時間帯別に分類した際の移動体検出率と移動体数を図 9 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

表 2 検出率と移物体数
Table 2 Detection results.

	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

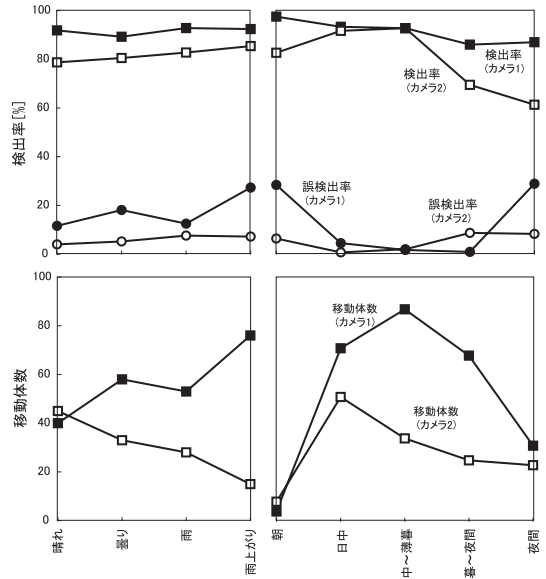


図 9 天候・時間帯別の検出率

Fig. 9 Detection rates for various environments.

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 9 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

表 3 薄暮～夜間における移動体検出率 [%]

Table 3 detection result from twilight gloom to night.

	提案手法	フレーム間差分		背景差分
		固定しきい値 15	30	固定しきい値 30
検出率	61	44	49	54
誤検出率	2	1	1	19

動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%ほど低いが、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、これらの移動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、夜間における街灯による照明が当たらない領域に歩行者が通過する際、著しい輝度変化が生じないためである。なお、夜間にカメラ 1 で検出率の低下がほとんど見られないのは、カメラ 1 の映像データには歩行者が含まれ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分かる。これは、車のヘッドライトにより反射した道路領域を誤検出しているためである。

3.3.1 他の手法との比較

移動体検出法の比較として、提案手法、固定しきい値を用いたフレーム間差分法¹⁰⁾、適応的に背景画像を更新する適応型背景差分法¹³⁾の 3 つの手法を評価する。評価用データは特に移動体検出が難しい映像として評価用データベースから薄暮～夜間、晴天に分類した 30 分の映像を用いる。この映像は時間が経つにつれ背景が薄暮から夜間へ変化するものである。夜間においては街灯が照らすため背景は完全に暗くはならないが、街灯の当たらない領域を移動体が通過しても著しい輝度変化が生じないうえに、AGC による輝度変化が生じるため移動体領域の抽出が困難である。

表 3 に各手法の移動体検出率と誤検出率を示す。フレーム間差分に固定しきい値を用いた手法においては誤検出率が低く抑えられているが、夜間において、しきい値を 15 に設定した場合、AGC による輝度変化が発生し背景ピクセルを物体と判定するため、移動体をセグメンテーションすることができない。しきい値を 30 に設定すると、夜間における AGC の影響による誤検出は軽減されるが、街灯の当たらない領域を移動する変化量が小さい移動体を検出できない。背景差分においては、AGC による影響を受けるため、誤検出率が高い。提案手法は、AGC による輝度変動をし

きい値が吸収するため、検出率が高く、かつ誤検出率は低く抑えられていることが分かる。

4. 歩行者 ITS としての評価

環境端末 (EET) が検出した人や車等の往来である物体情報は、周辺を移動するユーザが携帯するマップ型情報端末にリアルタイムに伝えられる。ユーザは、端末上に提示された周辺環境の情報により、移動経路の決定や危険回避を行うことが可能である。本章では、提案した移動体検出法を用いた RCT システムを構築し、歩行者 ITS としての有効性をシステムの時間応答性の面から評価する。

4.1 RCT システムの構築

道路の物体情報を検出する EET (2 台)、物体情報をクライアントに配信する Object サーバ、掲示板データを管理する BBS サーバ、マップ型情報端末から構成される RCT システムを構築した (図 11 参照)。EET における移動体認識処理は次の 3 つの処理からなる。最初に、屋外映像から提案手法により移動体を検出する。検出した移動体のテクスチャ情報から、人や車等の種別を識別する¹⁴⁾。最後に、検出した物体位置をマップ上に表示するために、平面射影変換によりカメラ画像座標から実際の地図座標に変換する。Object サーバは EET で自動検出された物体情報 (クラス、位置) を受信後 XML 形式に変換し、各歩行者が所有する情報端末へ配信する。マップ型情報端末では、図 10 に示すようにマップ上に識別結果に対応したオブジェクトアイコンを表示する。また、ユーザは携帯する情報端末からマップ上の任意の場所に周辺環境に関する情報 (テキストと画像) を書き込むことができる。BBS サーバはマップ型情報端末から送られてきた掲示板情報をすべてのクライアントに配信し、アップデートする。ユーザは、マップ上に表示されたアイコンをクリックすることにより掲示板情報を閲覧することができる (図 10 参照)。歩行者であるユーザは、マップ上にリアルタイムに表示された人や車の往来情報とユーザ同士が提供する掲示板による情報を複合的に判断して、最適な経路を選択することが可能となる。

4.2 通信時間の評価結果

歩行者が安全に移動するためには、EET が自動検出した物体情報をより早くクライアントに配信する必要がある。そこで、EET が画像をキャプチャした時間からマップ型情報端末に物体情報が表示されるまでの時間を測定した。評価用クライアントには、同一サブネット内のコンピュータ 10 台を用いた。EET には、XEON3.20GHz の DualCPU を搭載した PC を



図 10 マップ型情報端末上での情報表示例

Fig. 10 Indication example of map based terminal.

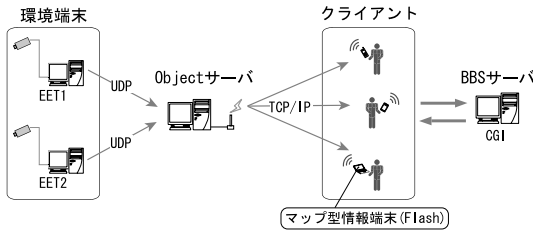


図 11 RCT システムの構成

Fig. 11 Structure of RCT system.

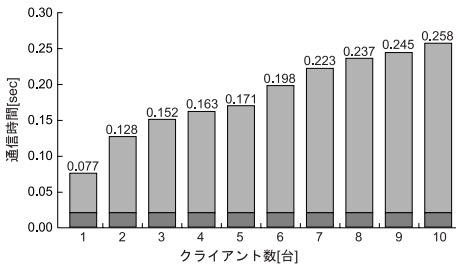


図 12 RCT システムにおける時間遅延の評価

Fig. 12 Evaluation by time delay of RCT test bed system.

用いた。

クライアント数を変化させたときの結果を図 12 に示す。EET における移動体認識に費やす時間は 0.022[sec] である。クライアントが 1 台の場合、通信時間を含めると表示までの時間遅延は 0.077[sec] となる。これは、自動車が時速 40[km/h] で走行している場合、マップ上に表示されるまでに自動車は 0.98[m] 進んでいることになる。突発的な危険や事故等の事前回避を行うには、クライアント数 3 台 (1.68[m]) までが許容範囲であると考えられる。提案手法はしきい値に用いる分散の計算、フレーム間差分、および領

域セグメンテーション処理だけで済むため処理時間が 0.022[sec] しか要しない。この画像認識の処理の速さが RCT システムのクライアント数の増加に貢献している。

5. おわりに

本論文では、過去数フレームの輝度変化を反映したしきい値によるフレーム間差分に基づく移動体検出法を提案した。しきい値に過去数フレームの輝度変化を反映することにより、各ピクセルごとに検出感度を設定している。時間帯・天候状態により分類した映像データベースを作成し、検出時間に基づく評価の結果、環境変動に対する提案手法のロバスト性を確認した。提案した移動体検出法を用いた RCT システムを構築し、システムの時間応答性を評価し、歩行者 ITS としての有効性を確認した。提案手法は、画像認識の計算コストが低いためリアルタイム性が要求されるシステムにおいて有用だといえる。今後の課題として、夜間に照明が当たらない領域における背景輝度低下時の移動体による輝度変化の抽出があげられる。

参考文献

- 1) 矢入 (江口) 郁子, 猪木誠二: 高齢者・障害者の自立的移動を支援する Robotic Communication Terminals (3), 人工知能学会論文誌, Vol.18, No.1, pp.29-35 (2003).
- 2) 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動物体検出, 信学論 (D-II), Vol. J79-D-II, No.4, pp.568-576 (1996).
- 3) 松山隆司, 和田俊和, 波部 齊, 棚橋和也: 照明

変化に頑強な背景差分, 信学論 (D-II), Vol.J84-D-II, No.10, pp.2976-2985 (2001).

- 4) 佐藤雄隆, 金子俊一, 五十嵐悟: 周辺増分符号相關画像に基づくロバスト物体検出及び分離, 信学論 (D-II), Vol.J84-D-II, No.12, pp.2585-2594 (2001).
- 5) 影広達彦, 大田友一: 動画像から背景画像の自動生成と適応的更新, 画像の認識・理解シンポジウム MIRU94, Vol.II, pp.263-270 (1994).
- 6) Grimson, W.E.L., Stauffer, C., Romano, R. and Lee, L.: Using adaptive tracking to classify and monitor activities in site, *Proc. CVPR*, pp.22-29 (1998).
- 7) 中井宏章: 事後確率を用いた移動物体検出手法, 情報処理学会研究報告, SIG-CV90-1 (1994).
- 8) 和田俊和, 松山隆司: 動的背景モデルを用いた移動領域の抽出, 情報処理学会全国大会講演論文集 (2), pp.141-142 (1994).
- 9) 関真規人, 和田俊和, 藤原秀人, 鷺見和彦: 背景変化の共起性に基づく背景差分, 情報処理学会論文誌, Vol.44, No.SIG 5(CVIM 6), pp.54-62 (2003).
- 10) 長谷川為晴, 小沢慎治: 移動物体追跡を利用した屋外駐車場における車両係数, 信学論 (D-II), Vol.J76-D-II, No.7, pp.1390-1398 (1993).
- 11) 藤吉弘巨, 小村剛史: 歩行者支援を目的とした環境変動に頑健な道路状況の自動抽出, 第 17 回人工知能学会全国大会, 2B3-02 (2003).
- 12) Fujiyoshi, H. and Kanade, T.: Layered Detection for Multiple Overlapping Objects, *IEICE Trans. Inf. & Syst.*, Vol.E86-D, No.3 (2003).
- 13) Lipton, A., Fujiyoshi, H. and Patil, R.S.: Moving Target detection and classification from real-time video, *Proc. 1998 Workshop on Applications of Computer Vision* (1998).
- 14) 長谷川修, 金出武雄: 一般道路映像中の移動物体の識別・色の推定と特定対象の検出, 情報処理学会論文誌, Vol.44, No.7, pp.1795-1807 (2003).

(平成 16 年 3 月 2 日受付)

(平成 16 年 9 月 11 日採録)

(担当編集委員 和田 俊和)



藤吉 弘巨 (正会員)

1992 年中部大学工学部電子工学科卒業. 1997 年同大学大学院博士後期課程修了. 1997 年~2000 年カーネギーメロン大学ロボット工学研究所 Postdoctoral Fellow. 2000 年中部大学講師. 2003 年同大学助教授. 工学博士. 計算機視覚, 動画像処理, パターン認識・理解の研究に従事. 電子情報通信学会, IEEE 各会員.



小村 剛史 (学生会員)

2003 年中部大学工学部電子工学科卒業. 現在, 中部大学大学院電気工学専攻に在籍. 動画像処理の研究に従事.



矢入 (江口) 郁子 (正会員)

1993 年東京大学工学部卒業. 1998 年同大学大学院工学系研究科機械工学専攻博士課程修了. 同年郵政省通信総合研究所 (現情報通信研究機構) 入所, 主任研究員. 博士 (工学). 現在は, 歩行者支援地理情報システムプロジェクト, ロボティック通信端末プロジェクト, 実世界指向的インタラクションのための多次元時系列データからの実時間意図認識の研究, 映像と音を触るインタラクティブテーブルの研究等に従事. 江口は旧姓. 1997 年 4 月~1999 年 3 月日本学術振興会特別研究員. ヒューマンインタフェース学会, 人工知能学会, ACM 各会員.



香山健太郎 (正会員)

1996 年東京大学工学部卒業. 2001 年同大学大学院工学系研究科情報工学専攻博士課程修了. 同年独立行政法人通信総合研究所 (現情報通信研究機構) 入所. 博士 (工学). ロボティック通信端末プロジェクトにおいて, 屋外環境認識の研究に従事. 日本ロボット学会, 人工知能学会, 日本機械学会, IEEE 各会員.



吉水 宏

1985年相模工業大学電気工学科
卒業。現在、三菱電機エンジニアリ
ング株式会社に勤務。RCT プロジェ
クトにおいて環境端末システムの開
発に従事。電子情報通信学会会員。
