歩行者 ITS のための道路状況自動抽出に関する研究

情報工学講座　　小村 剛史　　指導教授　　梅崎 太造

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．

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．RCT 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及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からリアルタイムで人や車の往来等の道路状況を自動検出し，歩行者の携帯する情報端末に提供する．

本稿では，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し，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提案手法の有効性を評価する．また，提案する移動体検出法を用いたリアルタイム道路状況配信システムを構築し，歩行者に情報が伝達されるまでの時間を評価することにより歩行者 ITS としての有効性を明らかにする．

2 変動しきい値によるフレーム間差分を基にした移動体検出法

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．

$$\Delta_t = \max\{|I_t - I_{t-j}|, \forall_j \in [1, n]\} \tag{1}$$

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．

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

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毎にしきい値を設定する必要がある．本手法では，各ピクセル毎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 $S_t^2(u,v)$ は次式より計算する．

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

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．

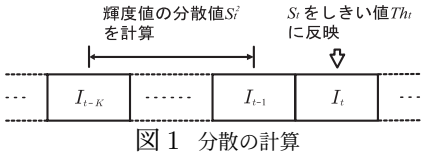

図 1　分散の計算

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．

$$Th_t(u,v) = 4 \cdot S_t(u,v) \tag{4}$$

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 [1].

$$Th_t^{'}(u,v) = \beta \cdot Th_t(u,v) + (1-\beta)Th_{t-1}^{'}(u,v) \quad (0 < \beta < 1) \tag{5}$$

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．

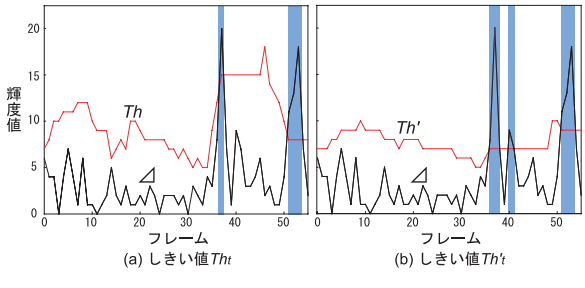

図 2　しきい値の遷移

図 2 に，あるピクセルの輝度の変動（差分値 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全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 レーム目の検出が可能である．

図 3 に天候・時間帯別での本手法による移動体検出例を示す．提案手法は，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わかる．

(a)カメラ2(日中, 晴天)　(b)カメラ1(薄暮〜夜間, 雨天)　(c)カメラ2(夜間, 雨天)

図 3　移動体検出例

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常に変化しており，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 23 状態に分類した環境条件に一致する 30 分からなる映像シーンを選び，計 23 時間の映像データベースを作成した．

3.2 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を評価した．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 4 に示す．

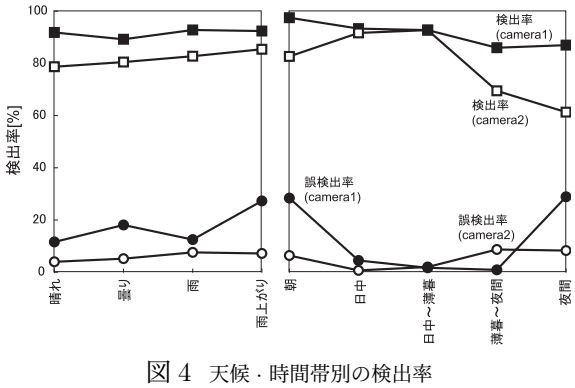

図 4　天候 · 時間帯別の検出率

図 4 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，移動体を検出していることを示している．

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わかる．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．

4 道路状況のリアルタイム配信システム

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
端末
の法
移動
テム
の時
4.1
EET
ject
ムを
法に
チャ
検出
射景
変換
体情
各タ
情報
に対

掲示

4.2
間か
の時
時間
1 台
は(
で走
動車
や事
(1.(

図 6　RCT システムにおける時間遅延の評価

5 むすび

本稿では，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．時間帯 · 天候状態により分類した映像データベースによる評価の結果，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道路状況配信システムを構築し，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．

参考文献

[1] 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 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”, 情報処理学会誌:コンピュータビジョンとイメージメディア, Vol. 45, No. SIG 13 (2004).