

高齢者・障害者のための歩行者移動支援システム (RCT)
-道路状況の自動抽出と歩行者へのリアルタイム配信-
Robotic Communication Terminals as a Mobility Support System for Elderly and
Disable People
-A System Providing Pedestrians with Information about Road Condition in
Real-time-

小村 剛史† 藤吉 弘亘† 矢入 郁子‡ 香山 健太郎‡ 吉水 宏††

Takeshi Komura†, Hironobu Fujiyoshi†, Ikuko Yairi‡, Kentarou Kayama‡, Hiroshi Yoshimizu††

† 中部大学大学院 ‡ 情報通信研究機構 †† 三菱電機エンジニアリング株式会社

† Chubu University, ‡ Institute of Information and Communications Technology,

†† Mitsubishi Electric Engineering Company Limited

E-mail: hf@cs.chubu.ac.jp

Abstract

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た評価実験の結果、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応答性について評価した。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。

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 [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からなる。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・情報の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。環境端末は、カメラからの視覚情報をもとに、人間、自転車、自動車などが共存する道路の往来を 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口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が用いられている。背景差分法では、予め背景画像 (モデル) を用意する必要がある。屋外環境においては、以下に示す 2 種類の原因による背景変動が考えられ、背景モデルを変動に適応させる必要がある。

1. 天候・時間帯等による背景変化
2. 木の揺れやなどの背景物体の変動

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] ~ [4]。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。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。いずれの手法も更新誤りの可能性や急な背景変化に対する遅延への対処は困難だといえる。

背景中の木の揺れ等の動きを考慮した背景推定法として、Grimson らは、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する手法を提案している [5]。しかし、RCT システムは駅や交差点などの人や車の往来が絶えない場所を対象としており、事前に背景画像を用意することが困難である。また、カメラの向きも時間帯により変えることが想定され、各カメラ向き毎に複数の背景モデルを推定することは、実用性の面で問題がある。

そこで、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する。フレーム間差分は、対象領域の形状を抽出することはできないが、背景モデルを用意する必要がない。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基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、木揺れ等の誤検出を抑制することができる。

環境端末が検出した人や車等の往来である動的情報は、周辺を移動するユーザの携帯端末にリアルタイムに伝えられる。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。本稿では、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。フレーム間差分は次式により求められる。

$$\Delta_t = \max\{|I_t - I_{t-j}|, \forall j \in [1, 4]\} \quad (1)$$

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。

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

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。

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

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時間 (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。

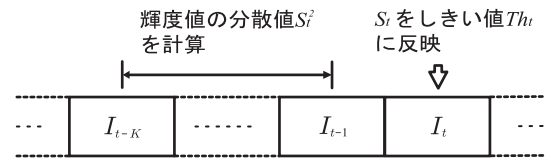


図 1 分散の計算

(3) 式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。

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

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の検出が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 [8]。

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

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 $S_t(u, v)$ 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 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 フレーム目の検出が可能である。

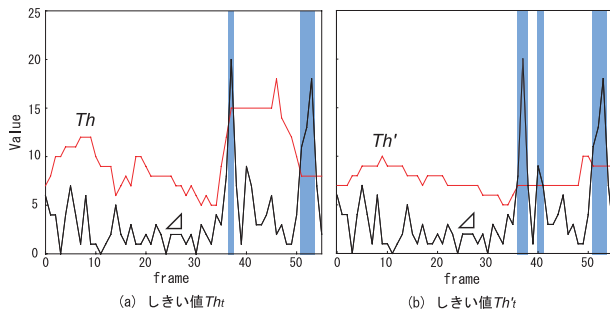


図 2 しきい値の遷移

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わかる。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。この様な状況では、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、各ピクセル毎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。

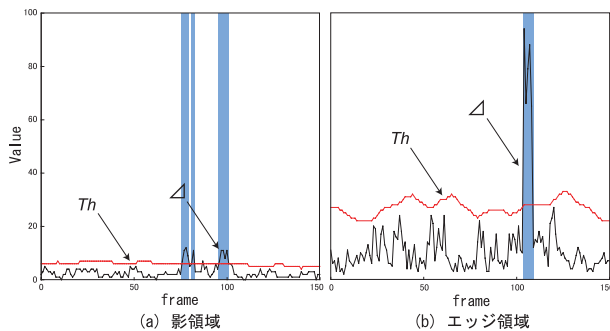


図 3 影とエッジ領域におけるしきい値

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などの誤検

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小さく設定されるため、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。

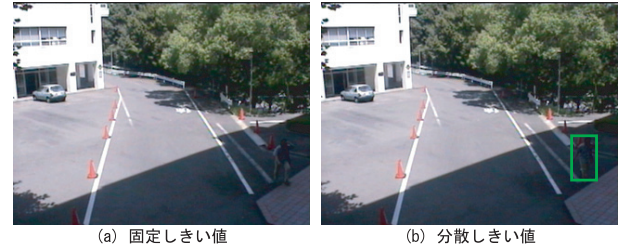


図 4 影領域における移動体検出

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毎に設定するため、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一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みなして除去する。

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わかる。

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わかる。

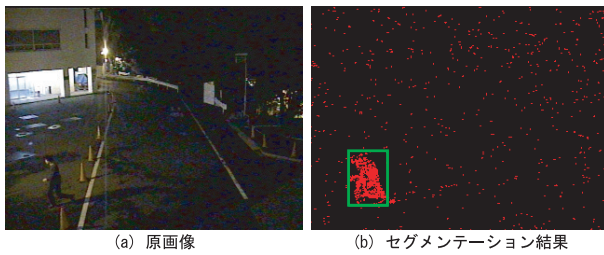


図5 移動体のセグメンテーション

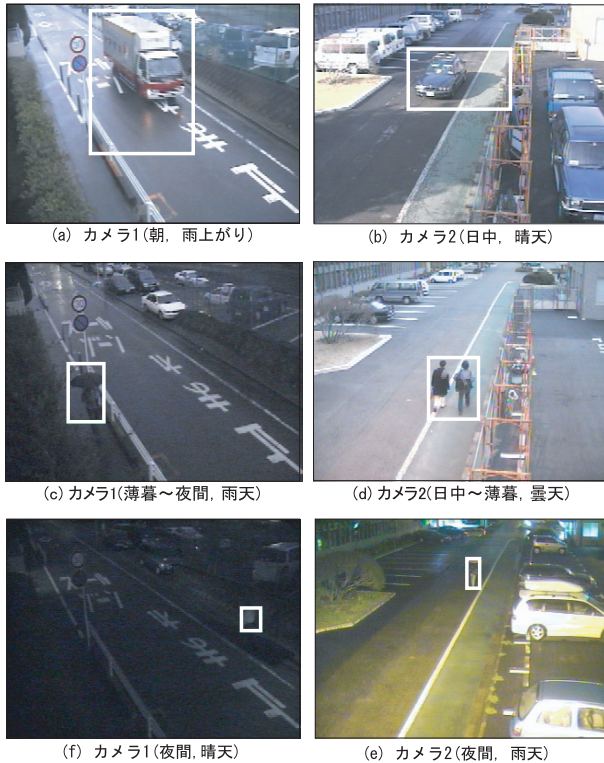


図6 移動体検出例

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、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背景状態の異なる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。

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
 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。

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の評価を行った。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り、本研究では検出時間間隔を基にした評価法を用いた[6]。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。

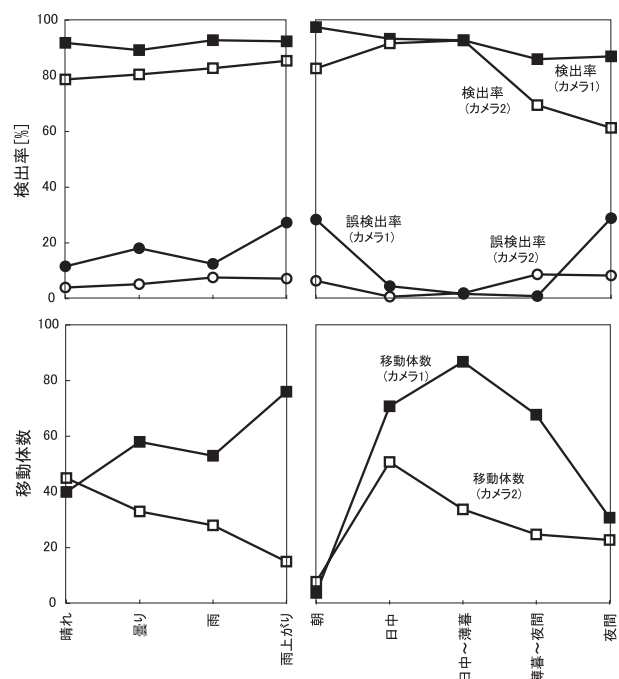


図7 天候・時間帯別の検出率

映像データベースの23状態を時間帯・天候別に分類した際の移動体検出率と評価に用いた移動体数を図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%程低いが、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より、夜間におけるカメラ2の検出率が低いことがわかる。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。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 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動的情報は、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。そこで、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。

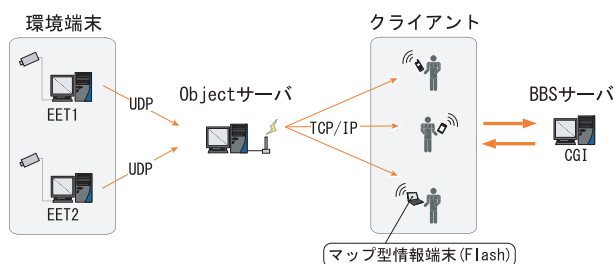


図9 RCTシステムの構成

4.1 RCTシステム

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9参照)。EET における移動体認識処理は次の三つの処理からなる。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ー情報から、人や車などの種別を識別する [7]。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、各クライアントである情報端末へ配信する。マップ型情報端末では、図8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全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8参照)。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

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 を用いた。

クライアント数を変化させたときの結果を図10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。

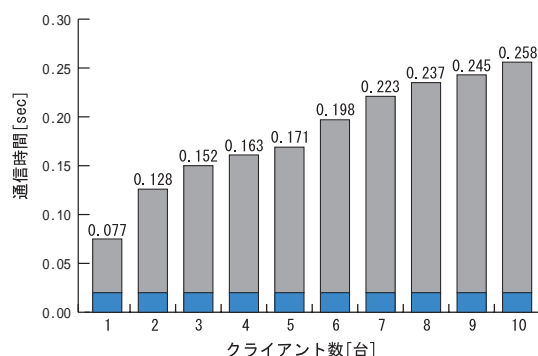


図10 RCTシステムにおける時間遅延の評価

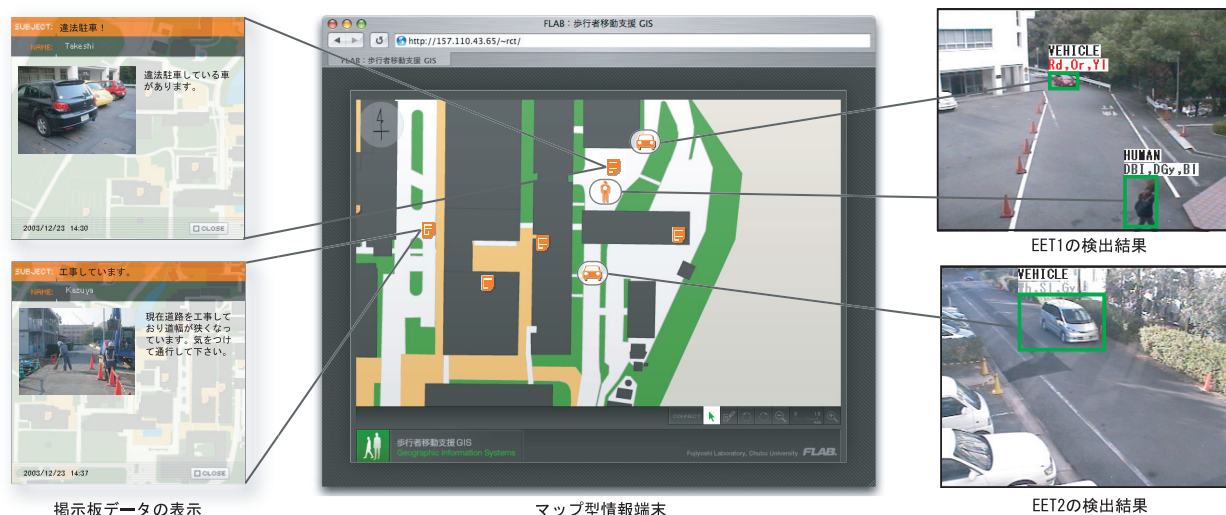


図 8 マップ型情報端末上での情報表示例

5 おわりに

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、各ピクセル毎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、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、時間応答性から歩行者 ITS としての有効性を確認した。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輝度変化の抽出などが挙げられる。

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, 波部斉, 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] 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).
- [5] W.E.L. Grimson, C.Stauffer, R. Romano, and L. Lee, “Using adaptive tracking to classify and

monitor activities in site,” Proc. CVPR, pp.22-29, 1998.

- [6] H.Fujiyoshi and T.Kanade: Layered Detection for Multiple Overlapping Objects, Proceedings of the International Conference on Pattern Recognition (ICPR'2002), August 2002.
- [7] 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).
- [8] 藤吉弘亘, 小村剛史: “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”, 第 17 回人工知能学会全国大会, 2B3-02(2003).