2台のカメラと射影変換を用いた進入者検出

木山 真伸[†]　太田 直哉[†]　金谷 健一[†]

[†] 群馬大学工学部情報工学科

2台の監視カメラによる画像を用いて進入者や進入物を検出する手法を提案する。地面を平面と仮定すると、その地面を別々の角度から撮影した2つの画像は射影変換によって一致させることができる。したがって、1台のカメラからの画像に射影変換を施した画像は、地面の部分ではもう1台のカメラの画像と一致する。しかし侵入者は地面の平面から離れているので、その部分の画像は一致しない。この不一致を判定することにより進入者を検出する。本手法は、背景差分やフレーム間差分を利用した手法と異なり、照明の変動や静止した物体に対しても安定した検出能力を示す。

キーワード: 進入者検出、進入物体検出、射影変換、画像差分、監視システム

Detecting Entering Persons using Two Cameras and Homography

Masanobu Kiyama[†], Naoya Ohta[†] and Kenichi Kanatani[†]

[†]Department of Computer Science
Gunma University, Kiryu, Gunma 376-8515 Japan

We present an image processing method that uses two observation cameras to detect persons or objects entering a monitored area. If the ground surface is a plane, two images of the surface taken from different angles can be related by a homography transformation. Accordingly, two views of a portion of the ground are identical after the transformation has been applied to one of the images. In contrast, areas of an image pair that depict persons or objects will be different after transformation, since the scene departs from the plane. The proposed method thus computes this difference and detects entering persons or objects. Unlike methods utilizing background subtraction or frame subtraction techniques, our method gives stable detection results even when confronted with illumination change or stationary objects.

Key words: entering person detection, entering object detection, homography, image difference surveillance system.

謝辞: 本研究の一部は文部省科学研究費基盤研究C (2) (No. 11680377) によった。

[†] 376-8515 桐生市天神町 1–5–1 群馬大学工学部情報工学科, Tel: (0277)30-1842, Fax: (0277)30-1801
Web page: `http://www.ail.cs.gunma-u.ac.jp/`
E-mail: `kiyama@ail.cs.gunma-u.ac.jp`, `ohta@cs.gunma-u.ac.jp`, `kanatani@cs.gunma-u.ac.jp`

1 はじめに

監視カメラにより得られる画像を用いて侵入者や進入物を検出する処理として、様々な手法が提案されている [1, 2]。それらの手法は、背景差分やフレーム間差分を処理の基本にしているものが多い。背景差分によって適切な結果を得るためには、照明の変動に追従して正しい背景画像を保持しておく必要がある。このための背景更新処理としていくつかの手法が提案されている [3] が、長時間にわたっての動作には問題を残している。この問題に対するもう一つのアプローチとして、エッジなどの照明の影響を受けにくい画像特徴を用いる手法がある。この考え方をさらに進め、照明の変動をモデル化し、その変動に不変な背景差分 [4, 5, 6] も提案されている。しかしながら背景の画像パターン自体が変化してしまう問題については対応できない。一方フレーム間差分においては照明や背景の変化に関する問題は生じないが、基本的にこの処理は物体の移動を検出するため、進入後静止した物体が検出できないという問題がある。これらの手法に対し、本論文ではカメラを 2 台使用することによって、照明の変動や背景の変化に対して安定で静止物体も検出可能な手法を提案する。

監視すべき地面を平面と仮定すると、その地面を 2 台のカメラによって別々の角度から撮影した 2 つの画像は射影変換によって一致させることができる。したがって、2 台のカメラが地面のみを撮影している場合には、1 台のカメラからの画像に射影変換を施した画像はもう 1 台のカメラの画像と一致し、両者の差分は原理的には 0 となる。しかし進入者・進入物体が地面上に存在する場合には、それらは地面の平面上に存在する物体ではないので、その部分の画像は一致せず、2 つの画像の差分は一般には 0 にならない。この 0 でない部分を判定し、進入者・進入物体を検出する。

平面を異なる位置から撮影した画像が射影変換によって関係づけられることを利用した手法として、自動車の正面に存在する障害物を検出する処理が報告されている [7, 8]。提案手法は同様な原理を進入者検出に利用するものである。しかし自動車の障害物検出では、自動車の移動や振動に伴いカメラと地面の位置関係が変動するため、画像間の対応を与える射影変換を常に計算しなおさなければならない。この処理が複雑で不安定な動作を生む要因となる。しかしここで提案する進入者・進入物体検出処理では、カメラと地面の位置関係は一定なのでこれにまつわる問題がなく、安定した動作が望める。

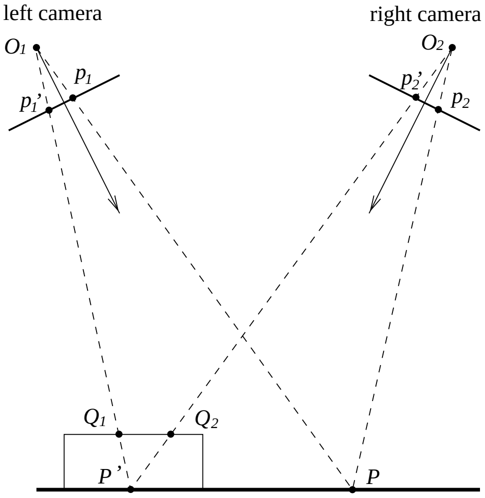


図 1: 地面とカメラの幾何学的関係

以下、提案手法の原理とアルゴリズムを説明した後、実験結果を示す。

2 提案手法の原理とアルゴリズム

図 1は監視すべき地面とカメラの幾何学的関係を示した図であり、下部の直線は地面を横から見たようすを表している。2 台のカメラは地面の同一区域を異なる角度から撮影するように設置する。地面上の点 P が左カメラ (left camera) の画像に写る位置を p_1 とし、右カメラ (right camera) に写る位置を p_2 とする。地面を平面と仮定すると p_1 と p_2 とは以下に示す射影変換によって関係づけられる。

$$x_2 = \frac{Ax_1 + By_1 + C}{Px_1 + Qy_1 + R} \quad (1)$$

$$y_2 = \frac{Dx_1 + Ey_1 + F}{Px_1 + Qy_1 + R} \quad (2)$$

ここで、左右の画像上の点 p_1 および p_2 の座標をそれぞれ (x_1, y_1) および (x_2, y_2) とした。上式は射影変換行列 $\boldsymbol{H}$ を用いて以下のように表すことができる。

$$\boldsymbol{p}_2 = Z[\boldsymbol{H}\boldsymbol{p}_1] \quad (3)$$

$$\boldsymbol{H} = \begin{pmatrix} A & B & C \\ D & F & G \\ P & Q & R \end{pmatrix} \quad (4)$$

$$\boldsymbol{p}_1 = \begin{pmatrix} x_1 \\ y_1 \\ 1 \end{pmatrix}, \quad \boldsymbol{p}_2 = \begin{pmatrix} x_2 \\ y_2 \\ 1 \end{pmatrix} \tag{5}$$

なお、式 (3) の $Z[\cdot]$ はベクトルの第 3 成分が 1 になるように正規化する関数である。

$$Z[\begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix}] = \begin{pmatrix} x/z \\ y/z \\ 1 \end{pmatrix} \tag{6}$$

いま、右カメラの画像を式 (1), (2)、または式 (3) の関係で変形させたとすると、画像上の同一位置に同一な地面上の点が撮像されていることになるので、両者は一致する。しかし図 1の左側で示すように、地面上に高さを持った物体が存在する場合には、画像上の位置 p_1' および p_2' には物体の異なる点 Q_1, Q_2 が撮影され、その画素値は一般には異なるので、これにより進入者・進入物体が検出可能となる。

本手法のアルゴリズムを模式的にまとめたのが図2である。右カメラによって撮影された右画像 (right image) に射影変換を施し、変換画像 (converted image) を得る。具体的には変換画像の各画素の位置を (x_1, y_1) とし、式 (1), (2) または式 (3) で (x_2, y_2) を計算して、その位置の右画像の画素値を変換画像の画素値とする。この場合、一般には (x_2, y_2) が整数値とならないので、内挿により画素値を決定する。ここでは以下に示す双 1 次内挿法 (bilinear interpolation) を用いた。右画像の位置 (i, j) の画素値を $I_r[i, j]$ とすると、変換画像の位置 (x_1, y_1) の画素値 $I_c[x_1, y_1]$ は次式で計算される。

$$\begin{aligned} I_c[x_1, y_1] &= (i{+}1{-}x_2)(j{+}1{-}y_2)I_r[i, j] \\ &\quad +(i{+}1{-}x_2)(y_2{-}j)I_r[i, j{+}1] \\ &\quad +(x_2{-}i)(j{+}1{-}y_2)I_r[i{+}1, j] \\ &\quad +(x_2{-}i)(y_2{-}j)I_r[i{+}1, j{+}1] \quad (7) \\ i &= [x_2] \quad (8) \\ j &= [y_2] \quad (9) \end{aligned}$$

ただし式 (8), (9) の記号 $[\cdot]$ はガウス記号であり、記号の中の数を越えない最大の整数を意味する。このようにして変換された画像と左カメラから得られる左画像 (left image) との差分を取り、適当なしきい値で 2 値化して結果の画像 (detection result) を得る。

$$I_d[i, j] = \begin{cases} 1 & \text{if} \quad |\, I_c[i, j] - I_l[i, j] \,| \geq \theta \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \tag{10}$$

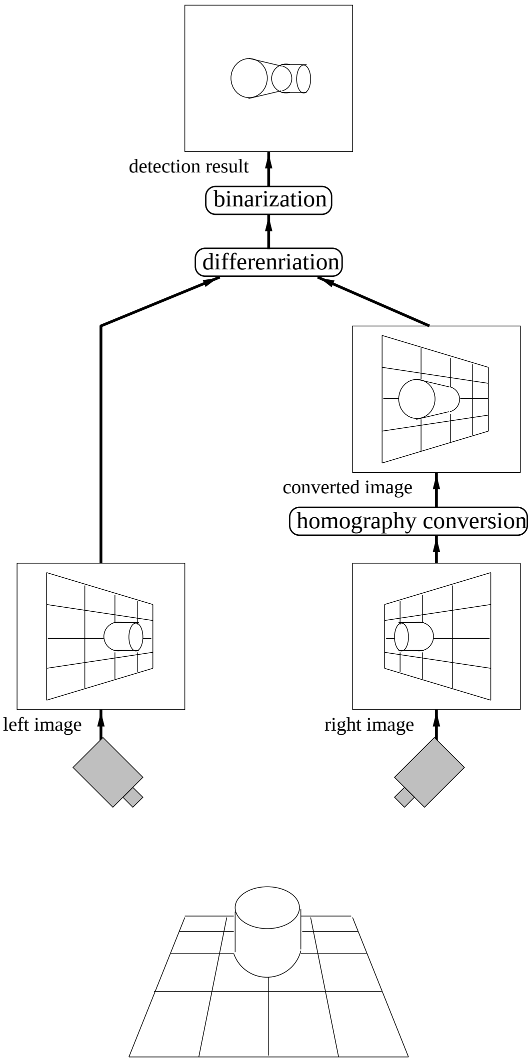


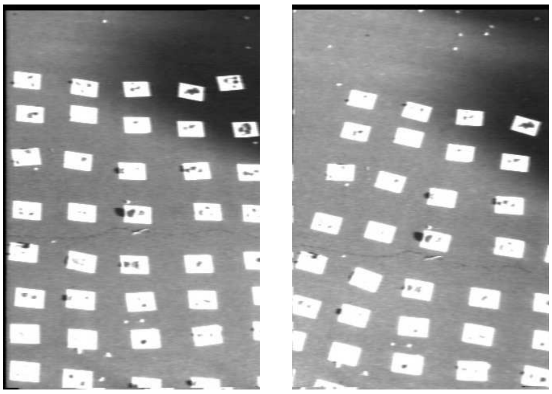
図 2: 処理の概要

ここで $I_d[i, j]$ および $I_l[i, j]$ は結果の画像および左画像の位置 (i, j) の画素値、θ はしきい値である。

3 実験

道路に隣接するビルの窓から、道路の同じ部分を見下ろすように 2 台のカメラを設置し、実験画像を撮影した。カメラにはソニー製 XC-75(白黒カメラ) を用いた。撮影画像は一旦 VHS ビデオテープに記録した後、計算機に入力し、256 レベル (8bit) のデジタル画像に変換した。

本手法を適用するには、まず道路面に対応する射影変換行列 $\boldsymbol{H}$ を計算する必要がある。これには図 3 に示すように、道路上の位置を同定するためのマークをいくつか置いて画像を撮影する。これらのマー



left image　　right image

図 3: 射影変換行列計算用のマーク

クの対応点を人手により決定し、その座標から文献 [9] に示された方法によって射影変換行列 $\boldsymbol{H}$ を計算した。

進入者の検出結果を図 4に示す。この図の左から、左画像、右画像を変換した画像、差分画像、検出結果である。なお、式 (10) で用いられるしきい値 θ は 22 とした。検出結果の画像において、歩行者が検出されているのが確認できる。本手法の利点の一つとして、物体の影などで道路面の輝度パターンが変化しても、それに影響されないという特徴がある。この特徴を落葉の例で示したのが図 5である。図 4 と比較すると道路上に白い点が増えている。これは落葉であるが、落葉は道路面上にあるため検出されず、歩行者のみが検出されているのが分かる。

本手法では道路面の一点を異なった角度から撮影し、輝度を比較している。このため、提案手法が正しく動作するためには道路面の反射特性が拡散面に近いことが要求される。通常この条件は問題とならないが、雨天で水たまりができた場合などは問題となる。先に述べた例と別の日の例であるが、雨天での実験例を図 6に示す。歩行者は検出できているが、水で濡れた道路表面で鏡面反射が起こるため、道路上の部分でも左右の画像の画素値に差異を生じ、進入物体と判定されている。

4　提案手法の特性と改善手法

以上、実験により提案手法の基本的な特性を検証した。ここで、本手法が持ついくつかの問題点と、それを改善するための方法を議論したい。

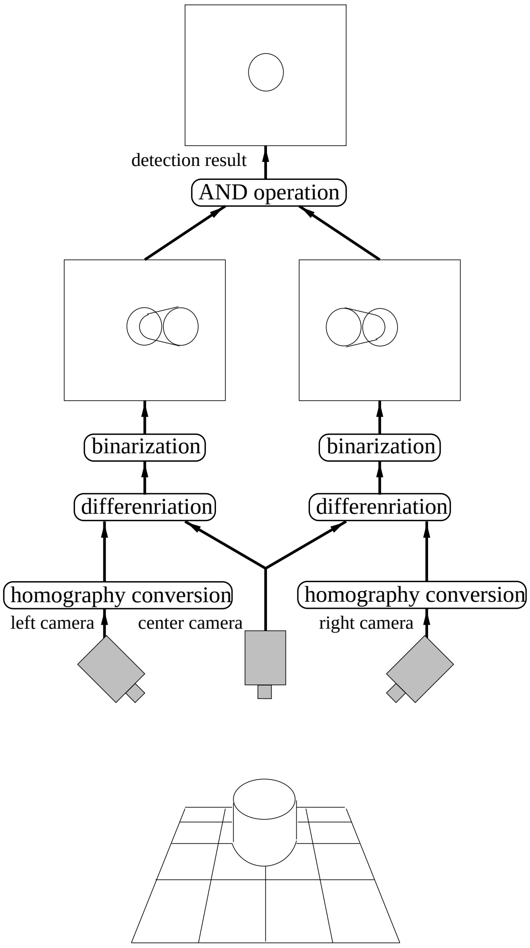
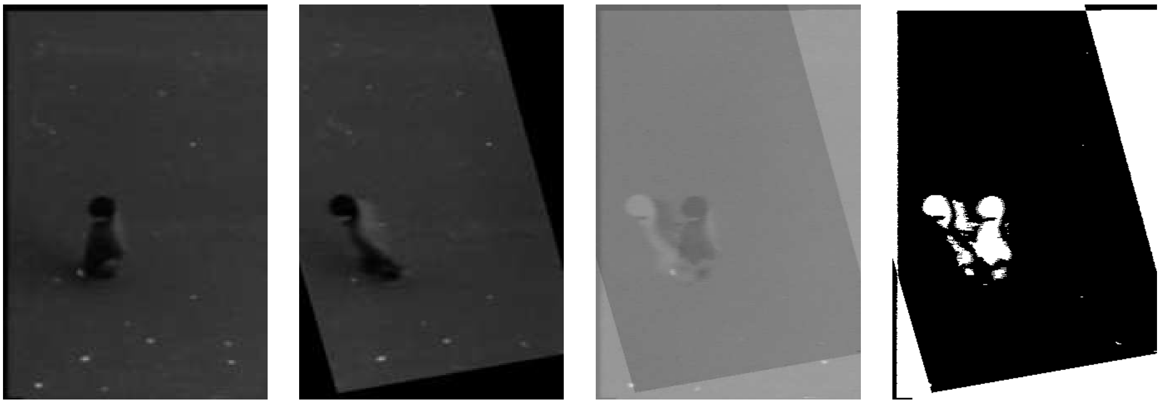


図 7: 3 台のカメラによる処理

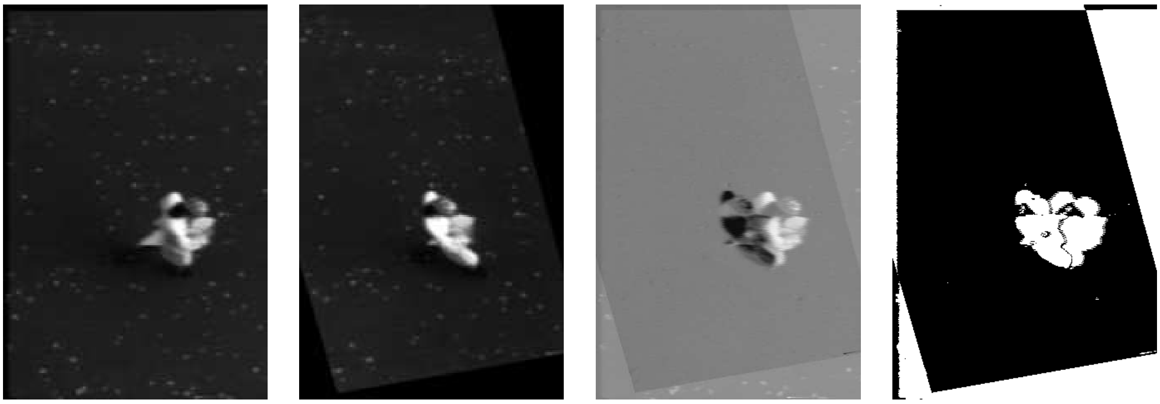
まず、図 4, 5, 6の検出結果を見れば分かる通り、本手法は検出された物体の領域が 2 重に広がるという特性を持っている。これは、左右の画像の少なくとも一方において、道路面が物体によって隠されている領域が検出されるため生じる特性である。2 重に検出された領域自体は接続しているので、この特性が問題にならない場合も多いと考えられる。しかしこれが好ましくない場合、カメラを 3 台用いることをいとわなければ、この特性は改善できる。その方法を示したのが図 7である。まず左と中央のカメラによって得られる画像に本手法を適用する。さらに右と中央のカメラの画像に対して本手法を適用する。このようにして得られる 2 つの結果画像の論理積を取ることによって、中央のカメラの画像上での進入者・物体領域のみを抽出することができる。

次に、提案手法では道路面 (背景の形状) は平面であると仮定している。射影変換によって 2 つのカメラの画像を関係づける場合にはこの仮定が必要である。しかし本手法の本質は、2 つのカメラによって背景の同一点を撮影することであるから、背景が平



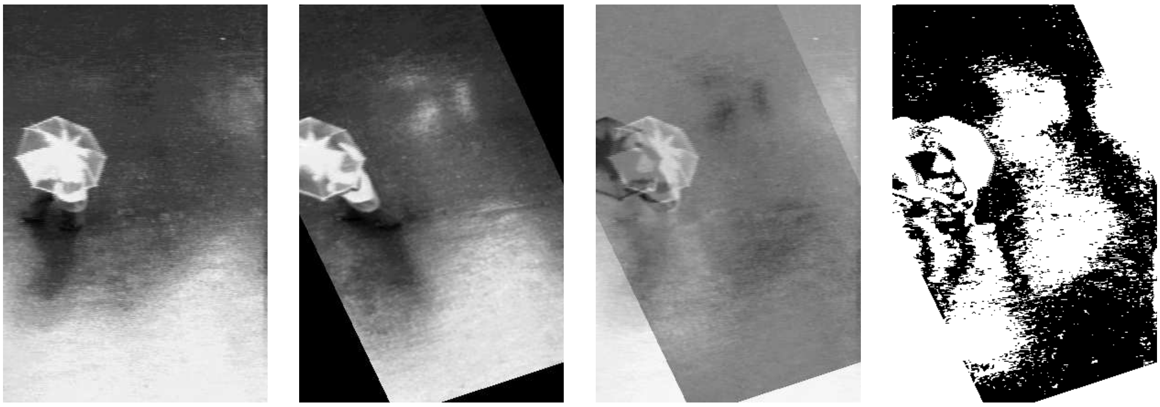
left image converted image image difference detection result

図 4: 進入者の検出結果



left image converted image image difference detection result

図 5: 進入者の検出結果 (落葉あり)



left image converted image image difference detection result

図 6: 進入者の検出結果 (雨天)

面でなくても、一方の画像のある点に撮影される背景の点が、他方の画像ではどこに撮影されるかが決定されれば良い。背景の形状が平面の場合には、この対応が射影変換で与えられる。任意形状の背景に対しては、一方の画像の各画素ごとに他方の画像の対応点を記録した配列 (画像) を用意すれば良いが、一般には背景形状は区分的に平面で近似できる場合が多いと考えられ、その場合には画像の区分ごとに異なった射影変換行列を適用することが実用的であると考えられる。

また、射影変換行列 $\boldsymbol{H}$ を計算する場合、実験では図 3に示したマークの位置を人手によって入力した。しかし、この入力方法が正確でないなどの理由で、射影変換行列 $\boldsymbol{H}$ に誤差を含む場合がある。この誤差の影響は、背景上に何らかのパターンがある部分で顕著に現れ、結果画像にそのパターンの境界が検出されると言う問題を生じる。これを改善するためには、背景を撮影した左右の画像が一致するように射影変換行列 $\boldsymbol{H}$ を修正すれば良い。具体的には式(7) で表される変換画像 $I_c[i,j]$ と左画像 $I_l[i,j]$ の差の二乗和

$$J = \sum_{i,j} (I_c[i,j] - I_l[i,j])^2 \qquad (11)$$

を最小にする行列 $\boldsymbol{H}$ を、探索によって求めれば良い。

5 まとめ

カメラを 2 台用い、一方の画像を射影変換によって他方の画像に重ね合わせることにより進入者 ・物体を検出する手法を提案した。通常の背景差分処理と較べると、本手法は照明の変動や背景パターンの変化に影響されないと言う特徴を持つ。またフレーム間差分処理が持つ、停止物体が検出されないと言う問題もない。しかし本手法ではカメラを 2 台必要とし、コストの面では不利である。また、背景に鏡面反射成分があると正しく動作しないという欠点もある。そのため、実用的な進入者 ・物体検出装置に望まれる安定性を得るためには、従来の背景差分やフレーム間差分処理などと本手法を組み合わせ、相補的に動作させることが必要と考えられる。しかしその場合にも、本手法は他の手法で得がたい情報を提供すると思われる。なお、本手法のプログラムは我々の研究室のホームページ[1] で公開されている。

---

[1] http://www.ail.cs.gunma-u.ac.jp/Labo/research.html

参考文献

[1] 上田浩次, 堀場勇夫, 池谷和夫, 小野寺浩, “画像処理を用いた駐車車両検出アルゴリズム,” 電子情報通信学会論文誌, Vol. J74-D-II, No. 10, pp.1379–1389, 1991-10.

[2] 高橋政雄, 北村忠明, 小林芳樹, “空間微分および差分処理を用いた車両抽出法,” 電子情報通信学会論文誌, Vol. J80-D-II, No. 11, pp.2976–2958, 1997-11.

[3] 伊藤渡, 山田浩正, 上田博唯, 千葉隆広, “映像監視システムにおける差分用背景画像の照度変化追従特性向上の検討,” 情報処理学会研究報告, 98-CVIM-112-1, pp.1–7, 1998-9.

[4] 太田直哉, “不変量の利用に関する考察とそれに基づく照明不変な画像差分処理,” 電子情報通信学会論文誌, Vol. J82-D-II, No. 6, pp.1009–1017, 1999-6.

[5] 高橋祐介, 亀井俊男, 溝口正典, “空間相関法による照明変動に頑強な物体検出法,” 第 5 回画像センシングシンポジウム論文集, pp.1–6, 1999-6.

[6] 波部斉, 和田俊和, 松山隆司, “照明変化に対して頑健な背景差分法,” 情報処理学会研究報告, 99-CVIM-115-3, pp.17–32, 1999-3.

[7] 小野田一則, 武田信之, 渡辺睦, “平面ステレオ法を用いた道路領域抽出,” 情報処理学会研究報告, 95-CV-93-7, pp.61–68, 1995-3.

[8] 野口卓, 奥富正敏, “ステレオ画像からの道路平面に対する射影変換行列の導出,” 情報処理学会研究報告, 97-CVIM-108-4, pp.23–30, 1997-11.

[9] 清水慶行, 太田直哉, 金谷健一, “信頼性評価を備えた最適な射影変換の計算プログラム,” 情報処理学会研究報告, 98-CVIM-111-5, pp.33–40, 1998-5.