

2つのカメラを用いたリアルタイム自動車検出及び 速度測定

河邊 勝紀 *1 徐 剛 *1

あらまし 本論文では、2台のデジタルカメラを用い、道路上の自動車に対して、太陽などの照明の変動や自動車が静止した場合でも安定して検出できるような手法を提案し、リアルタイム自動車検出およびその速度測定を行うシステムを構築する。背景差分法で行う検出方法では、気象条件で照明の変動があり、背景画像と検出すべき対象との分別をリアルタイムに処理するにはコストがかかり、実現は難しいという問題点や、フレーム間差分法では、フレーム内で移動物体が常に動いていた問題ないが静止した場合には検出することができないという問題点がある。本論文では、2つのカメラからの動画像で、4組以上の特徴点を取得することで求められる射影変換行列を用いることにより、道路より高さのある自動車を静止の場合でも安定的に検出する手法を述べる。

Stereo-Based Real-Time Vehicle Detection and Speed Measurement

Katsunori Kawabe and Gang Xu

Abstract In this paper, we propose a new technique that use two cameras to detect and count vehicles on roads in realtime. After determining the inter-image homography in the calibration stage, the difference of the road plane between the two images after applying the inter-image homography transform is roughly zero, while that of vehicles above the road plane is not. By searching the areas with non-zero differences we can detect the vehicles. Traditional methods that use differences between background and input images suffer from the fact that the background itself is constantly changing, and methods that use differences between consecutive input images fail in the case of stopping vehicles.

1 まえがき

昨今、自動車業界ではITSがさかんに研究されている。ITS(Intelligent Transport System)とは、情報通信技術を活用し道路交通の円滑化をはかる、といったものである。その分野の中でVICS[1][2]とよばれるものがあり、これはVICSセンターで編集、処理された渋滞や交通規制などの道路交通情報をリアルタイムに送信し、カーナビゲーションなどの車載機に文字・図形で表示する情報通信システムである。このシステムをカメラを用いて実現するにはリアルタイムで物体を検出、認識することが必要不可欠であり、そのうえ高い精度を求められている。今までは移動物体を検出する方法として、背景差分法、フレーム間差分法などを用いて1台のカメラで行う方法が多い。しかし背景差分法は、気象条件で照明の変動があり、背景画像と検出すべき対象との分別をリアルタイムに処理するにはコストがかかり、実現は難しい[3]。またフレーム間差分法は、フレーム内で移動物体が常に動いていた問題ないが静止した

場合には検出することができない[4]。本研究では以上のことをふまえて、背景差分法、フレーム間差分法ではなく、2台のデジタルカメラを用いて同一平面上にある移動物体に対して、照明の変動や進入した物体が静止した場合でも安定して検出できるような手法を提案し、これを用いてリアルタイム動物体検出、およびその速度測定システムの構築を目的とする。

河邊 勝紀、筑波大学大学院理工学研究所
Graduate School of Science and Engineering
Ritsumeikan University

2 射影変換によるカメラ間の画像差分

2.1 射影変換行列の算出と差分画像

図1に射影変換に関する概念図を示す。\$I_1\$ と \$I_2\$ を写す2台のカメラの間に次のような関係があるとする。

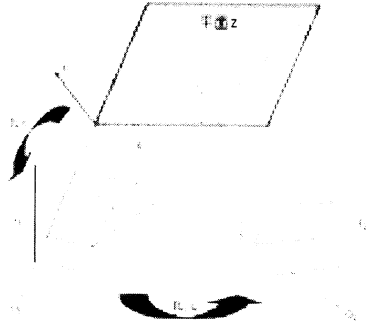


図 1: 射影変換の概念図

$$X = RX' + t \quad (1)$$

ここで、\$X\$ と \$X'\$ はそれぞれ \$I_1\$ と \$I_2\$ のカメラ座標系における座標を示し、\$R\$、\$t\$ はそれぞれ \$I_1\$ と \$I_2\$ のカメラ間の回転行列及び並進ベクトルである。

対象物体が平面の場合、次の式であらわすことができる。

$$\frac{n^T X}{d} = 1 \quad (2)$$

ここで、\$n\$ は \$I_2\$ のカメラ座標系における対象平面の法線ベクトル、\$d\$ は座標原点 \$O_2\$ から対象平面までの距離である。

式2を式1に代入すると、次式が得られる。

$$X = (R + \frac{tn^T}{d})X' \quad (3)$$

両画像における対応点の正規化画像座標をそれぞれ \$x\$、\$x'\$ とすると、次式を満たす。

$$\bar{x} \cong Hx' \quad (4)$$

ただし、行列

$$H = R + \frac{tn^T}{d} \quad (5)$$

は射影変換行列である。

さらに、デジタル画像座標 \$\bar{m}\$、\$\bar{m}'\$ を用いる場合、式1は、

$$\bar{m} \cong H\bar{m}' \quad (6)$$

となる。ただし、

$$H' = A(R + \frac{tn^T}{d})A^{-1} \quad (7)$$

である。ここで、\$A\$ は \$I_1\$ を撮影したカメラの内部行列で、\$I_2\$ も同じカメラを使うものとする。

この式6が本研究で使用する射影変換行列となり、この行列は平面上を映している2つのカメラから取得した4つ以上の対応点から算出できる行列である。この射影変換行列を用いると、ある一方のカメラの視点を他方のカメラの視点に変換することができる[5][6]。

2.2 射影変換を用いた画像差分と自動車の検出

まず、本研究で用いる自動車検出アルゴリズムとして、異なる位置から固定した2台のカメラで同一平面 \$Z\$ を映す。このとき、同一平面 \$Z\$ 上に自動車が存在しないとすると、座標 \$R_2\$ に対応する左右カメラの座標 \$P_2\$、\$Q_2\$ の階調値の差が0と近似できる。また、図2より、同一平面 \$Z\$ 上にある4組以上の対応点から、2台のカメラ間の対応関係を示す射影変換行列を求めることができる。この射影変換行列によって、片方のカメラが映す画像平面 \$Y\$ に射影変換を施したものは、もう一方のカメラが映す画像平面 \$Y'\$ との階調値の差分は0と近似できる。しかし、画面上に自動車が存在する場合は、座標 \$R_1\$ に対応する左右カメラの座標 \$P_1\$、\$Q_1\$ の階調値の差分が0にならないので、この部分は自動車と判定できる。

図3より同一平面 \$Z\$ 上にある4組以上の対応点から、2台のカメラ間の対応関係を示す射影変換行列を求めることができる。これによって片方のカメラが映す画像平面 \$Y\$ に射影変換を施したものは、もう一方のカメラが映す画像平面との階調値の差分は0と近似できる。しかし画面上に移動物体が存在する場合は、移動物体が高さを持つので、射影変換を満たさない。これにより座標に対応する左右カメラの座標の階調値が0にならないので、この部分は移動物体と判定できる[2]。以上のことを実際に射影変換行列を用いた数式で表現する。

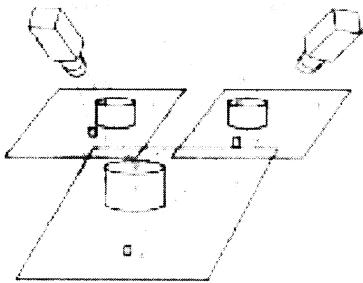


図 2: 左右カメラと平面の幾何学関係

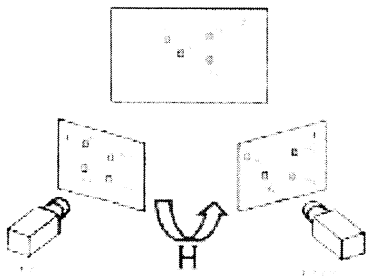


図 3: 左右カメラにおける対応点

$$\mathbf{m}_1 = [u_1, v_1]^T \quad \mathbf{m}'_1 = [u'_1, v'_1]^T \quad (8)$$

とすると、点 $\mathbf{m}_1$ と点 $\mathbf{m}'_1$ は、射影変換行列 $\mathbf{H}$ によって以下のように表現できる。

$$u'_1 = \frac{h_1 u_1 + h_2 v_1 + h_3}{h_7 u_1 + h_8 v_1 + h_9} \quad (9)$$

$$v'_1 = \frac{h_4 u_1 + h_5 v_1 + h_6}{h_7 u_1 + h_8 v_1 + h_9} \quad (10)$$

よって、点 $\mathbf{m}_1$ と点 $\mathbf{m}'_1$ との階調値の差分は 0 と近似できることがわかる。

2.3 実験設備について

ここで、本研究で使用するカメラや元となったアプリケーション、カメラ配置についての説明をする。本研究で使した 2 台のカメラは、IEEE1394 を準拠している PointGreyResearch 社の DragonFly を

使用する。動画を表示させるソフトウェアは View-Plus 社の DualCap を使用する。このソフトウェアは開発用に設計されたものでデジタルカメラが取得した動画を表示するところまでを組み込んである。このソフトウェアを元にシステムを構築していく。道路を平面として考えた縮尺は、図 5 で確認できる縦のマーカ間を 30cm とし、自動車の模型の縮尺は、一般的な自動車 (ブルーバードやカローラ) の大きさの 220 分の 1 スケールとする。そして、今回の実験はすべて部屋の床を仮想の道路として捉え、リアルタイムにカメラで自動車の模型を移動させて実験を行う。

また、今回のシュミレーション実験におけるカメラと平面の位置関係は以下の図 4 に示す。左カメラは平面の真上に位置し、右カメラは平面に対して斜め、自動車が進む方向に位置している。

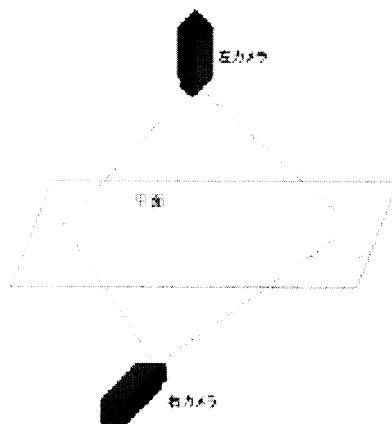


図 4: 両カメラと平面の位置関係

2.4 動画によるシュミレーション

まず、左カメラ、右カメラで取得された動画を以下の図 5 に示す。

左カメラと右カメラに映る動画に対して、同一平面上において対応する特徴点を 4 点取得し、射影変換行列を算出する。システム上でのその過程を図 6 に示す。

右カメラの取得した動画を射影変換行列を用いて変換し、左カメラが取得した動画との差分をとる。本研究では、差分の結果、ある閾値 (40 以下) 以下はす

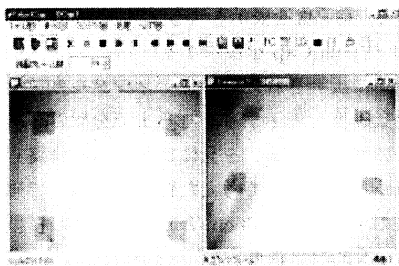


図 5: 両カメラの原画像

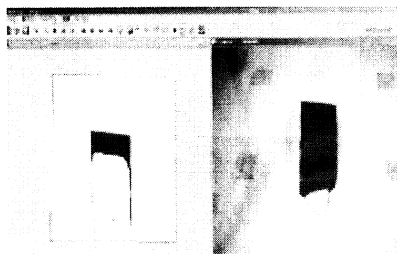


図 8: 移動物体ありでの差分画像

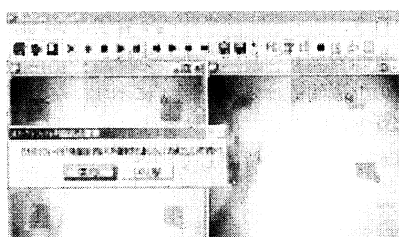


図 6: システム上での射影変換行列の算出過程

べて 255 で表現している。また、差分で移動物体と判断した画素値はそのままの RGB 値で表現した。さらに、本研究の実験環境上処理速度を向上させるために差分する範囲を先に指定する。以下に移動物体がないときとあるときの結果を図 7, 8 に示す。また図 7 以降の図は、左ウィンドウの画面が左カメラが取得した画像から、右ウィンドウの画像を射影変換して差分をとった後の画像で、右ウィンドウの画面は右カメラが取得した画像そのままを表示している。

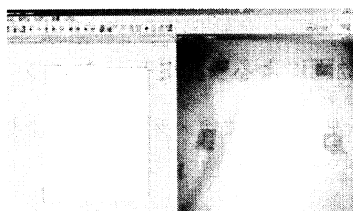


図 7: 移動物体無しでの差分画像

3 検出した自動車の領域抽出

3.1 領域抽出のアルゴリズム

射影変換行列を用いて、一方のカメラが取得した画像をもう片方のカメラへ変換し、差分をとることで、カメラ内の平面に映る高さのある自動車のみ検出することができる。検出される自動車は、2 値画像の黒として表現する。次に、この検出された自動車の領域を抽出する。抽出方法は、第 3 章の理論で検出された差分画像を 2 値化して、配列に格納して線形走査していき、255 になった画素から順にもう一度線形走査を行う。その結果、ある閾値 (検出された移動物体の面積) を越えると一つの領域と判断し、ラベル付けて他の領域と区別させる。そしてその中心座標を出力画面に反映させて、その中心座標から一定の距離の画素値を 0 に変更する、という流れを差分画像全体に関して行う。

3.2 領域抽出結果

以下に、検出した自動車の領域抽出結果を図 9.10 に示す。

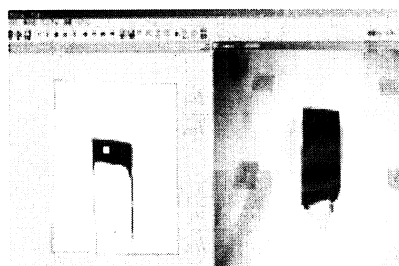


図 9: 移動物体を領域抽出した画像 (1 台)

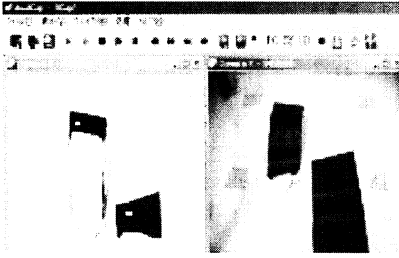


図 10: 移動物体を領域抽出した画像 (複数台)

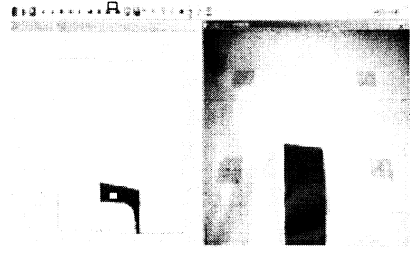


図 12: 移動物体を領域抽出した画像 (終点)

4 移動物体の速度測定

4.1 速度測定のアゴリズム

射影変換行列を算出するときに使用するカメラに映っている 4 マーカのうち、2 つのマーカの間隔を実距離で一定の長さで定義しておき、そのマーカ間をカメラ動画上で画素単位として計測する。次に、マーカ間の実距離を画素数で除算することで、1 画素あたりの実距離を算出する。この数値がわかれば、フレームレートを最初に定義しておき、3 節で求めた移動物体の中心座標が 1 フレームで進んだ画素数をカウントすることで、移動物体の瞬間移動速度、平均移動速度が算出できる。

また、平均速度については、移動物体の中心座標が出力されて数フレームすると安定するので、安定状態に入った点を始点とし、移動物体が移動して移動物体の認識ができなくなった点を終点とした移動距離を、その移動にかかったフレーム数で除算ことで算出可能である。以下の図 11, 12 に、距離を求めるときの始点と終点の画像を示す。

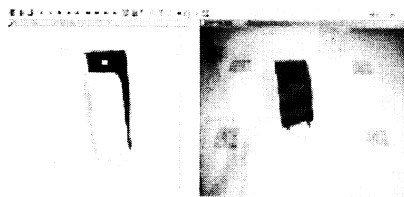


図 11: 移動物体を領域抽出した画像 (始点)

4.2 フレーム間の領域対応

移動物体の瞬間移動速度、平均移動速度は上記したとおり算出できるが、自動車の台数が複数台になると、移動物体の領域がフレーム間で対応が取れていないと速度測定ができない。

以下に、フレーム間の領域対応について簡単に述べ、図 13 に示す。複数の自動車がカメラ内に進入してきて領域が抽出される。ここで、1 つ前のフレームの各領域の x, y 座標値を覚えておき、現在のフレームの各領域の座標値と比較し、ある一定の距離 (この距離は領域として認められた点の周りを消す範囲と同等) を保っていないかったら、その地点までカウントしていたフレーム数や、始点を初期化する。

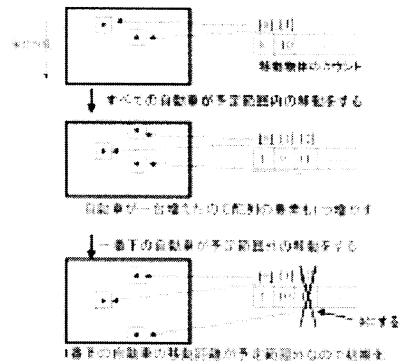


図 13: フレーム間対応の簡易図

4.3 速度測定結果

以下に、移動物体の平均速度測定の結果を表 1 に示す。今回の実験で使用した比較データは、移動物体がある始点から終点まで移動するときにかかった時間をストップウォッチで計測した。

表 1: 実世界の速度とシステムで測定した速度の比較

移動距離	実測時間	移動速度	システム測定速度
30	2.14	14.02	11.15
30	2.95	10.17	10.82
30	4.21	7.129	6.742
30	4.05	7.654	8.219
31	1.46	21.23	21.05
30	1.68	17.85	16.93
31	2.96	10.47	10.27
31	2.66	11.65	12.94
31	4.73	6.342	6.671

※注 物体移動距離は (cm), 実測時間は (s), 移動速度, システム測定速度は (cm/s) とする.

5 考察

移動物体検出, 認識及び速度測定の実験を行った結果, 各々望ましい結果が出た. 移動物体検出については, 2 台のカメラを用いることで, 高さのある物体に対して, 安定的に物体を検出することができた. 自動車かどうかの認識は, 検出された面積で判断しているので, 自動車のような大きいものに対しては, 問題なく認識できるが, 落下物などの面積が小さいものに対しては対応していない. 今後の課題としてあげたい. 物体の速度測定について, 速度測定は移動物体が複数台でも安定的に算出することができた. ただし, 領域が正しく認識されている場合に限る. 全体の問題点として, 今回の実験環境で使ったフレームレートは 7.5fps, 3.75fps である. これは, 実際の道路で自動車を監視し, その車台数や速度を求められるフレームレートではない. やはりフレームレートは 30fps で行わないと, 実社会での応用は難しいと考える.

6 むすび

本論文では, 2 台のデジタルカメラを用い, 同一平面上にある移動物体に対して, 太陽などの照明の変動や進入した物体がカメラ内に静止した場合でも安定して検出できるような手法を提案し, この手法を用いてリアルタイム移動物体検出およびその速度測定システムを構築した.

謝辞

様々な御討論を頂きました立命館大学徐研究室の皆様
に心より感謝いたします.

参考文献

- [1] “VICS のしくみ”. 財団法人 道路交通情報通信システムセンター, <http://www.vics.or.jp/>

- [2] 中ノ森 賢朗, 河合 あき子, 太刀川 喜久男, 吉川 元淳 “地球環境保全に貢献する ITS”, 沖テクニカルビュー P78-81 第 188 号 Vol.68 No.4, 2001
- [3] 上田 晃穂 “赤外線カメラとレーザ距離センサによる侵入者検知システム”, NAIST-IS-MT9551010
- [4] 宮崎 敏彦 “動画画像処理技術による映像監視の高度化”, 沖テクニカルビュー P72-78 第 195 号 Vol.70 No.3, 2003
- [5] 徐 剛, “写真から作る 3 次元 CG イメージベーストモデリング & レンダリング”, 近代科学社, 2001
- [6] 徐 剛, 辻 三郎, “3 次元ビジョン”, 共立出版, 1998