

ラインセンサカメラを用いた車両の検出と速度測定

片原 俊司 青木 正喜

成蹊大学 工学部 〒180-8633 武蔵野市吉祥寺北町 3-3-1

E-mail: {kawahara, masa}@ee.seikei.ac.jp

あらまし ラインセンサカメラを用いる 1 次元交通流計測手法を提案する。道路上方にラインセンサカメラ設置する。ラインセンサカメラから得られるスリット画像の車両の写り方を調べ、車両検出のための指標を導き出した。明色系の車両を良好な露光条件下で検出するためには、ライン毎の画素値の標準偏差が有効である。暗色系の車両を不足露光下で検出するために、ライン毎の画素値の標準偏差および画素値の平均の前ラインとの変化量を車両検出のための指標として加える。2 台のラインセンサカメラを用いて実交通流を撮影し、車両検出のための 3 指標を用いて車両検出、交通流計測を行った。各種交通流パラメータ計測において提案する手法の有効性を示した。

キーワード 車両検出、交通流計測、ラインセンサカメラ、画像処理、標準偏差

Spot Speed Detection of Vehicles Using Line Sensor Cameras

Shunji Kawahara Masayoshi Aoki

Faculty of engineering, Seikei University Kichijoji-kitamachi 3-3-1, Musashino-shi, Tokyo, 180-8633 Japan

E-mail: {kawahara, masa}@ee.seikei.ac.jp

Abstract We propose one-directional traffic flow measurement method using line sensor cameras. Line sensor cameras are installed in overhead location with longitudinal alignment. They shoot real traffic scene in downward direction. Line sensor camera outputs pseudo two-dimensional image that consists of space domain and time domain. We detect vehicles along time axis from information about pixel values at each line of a slit. Standard deviation is effective to detect bright color vehicles under the correct or over luminous exposure. We use change of standard deviation and average of a line of a slit as well as standard deviation to detect dark color vehicles under the under-luminous-exposure. We detect occupancy, time headway and time between two cars from each line sensor camera. In double slit configuration, we detect spot speed of vehicles by the time difference of its appearance at each slit. We estimate vehicle length by normalizing the vehicle region. We also divide vehicles into type of vehicle by length. We apply our proposed method into a real traffic scene. Experimental results show the effectiveness of our proposed method.

Keyword Vehicle detection, Traffic flow measurement, Line sensor camera, Image processing, Standard deviation

1. はじめに

交通計測は各種車両感知器を用いて行われる。車両感知器には、車両が路面に設置されたセンサを踏むときの圧力を感知する圧力感知式（ゴムホース式、踏板式、テープスイッチ式）、車両が導体、磁性体であることを利用して磁気環境の変化を検出する金属感知式（ループ式、磁気式）、ビームが車両によって反射、遮断されることを利用する形状感知式（光学式、マイクロ波式、超音波式）がある。速度はドップラー計測器あるいは 2 点間に車両感知器を設置して計測される^{1)~3)}。交通流計測には画像処理も用いら

れる^{4)~7)}。交通流の画像を解析することによって、画像に含まれる広範な情報（複数車線、車両台数、車両占有時間、車両間時間、車速、車両間距離、車種、車両の移動方向）を引き出すことができる。画像から交通流計測を行う場合、撮像素子には通常エリアセンサが用いられる。エリアセンサは 2 次元の交通流計測（高速道路のランプ部、一般道交差点での交通流）に適する。交差点以外の交通流は 1 次元とみなせる。1 次元の交通流計測にはラインセンサが適する^{8),9)}。ラインセンサカメラから得られる画像は空間軸と時間軸から成る擬似 2 次元画像を構成する。1

台のラインセンサカメラから台数、占有時間、車間時間の計測が行える。2 台のラインセンサカメラを用いることで、同一車両が出現する時間差から速度を計測できる。時間軸方向に正規化することで車長を推定し、車長から車種の判別が行える。

実交通流においてラインセンサカメラから得られるスリット画像の車両の写り方を調べ、車両検出のための指標を導いた。明色系の車両を適正な露光条件下で検出するためには、各ラインの画素値の標準偏差が有効である。暗色系の車両を不足露光下で検出するために、各ラインの画素値の標準偏差に加え、さらに画素値の標準偏差および平均の前ラインとの変化の大きさを指標とした。車両を検出するとともに、その時間軸上の情報から占有時間、車間時間、車頭時間を測定した。2 台のラインセンサカメラを接近して配置することで、同一車両がラインセンサカメラに出現する時間差から車両の地点速度を検出した。車速とラインセンサカメラの等価移動速度（単位時間当たりの解像度）の比から、車長を推定し、車長から車種判別を行った。

2. ラインセンサカメラ

1 次元運動をする物体の記録方法としてスリットカメラが用いられる。スリットカメラは一般的に競馬やトラック競技の着順判定に用いられ、移動スリットカメラは通常のカメラでは撮影が困難な長尺物（路面、壁画、列車等）の撮影に用いられる。

1 次元運動とみなせる移動物体の進行方向に対して直角にスリットを設け、フィルム上での移動物体の速度に合わせてフィルムを送ることによって、スリットカメラはスリット上を通過する移動物体の像を順次記録する。フィルム上には、移動物体の時間的な推移が記録される。移動物体の像がスリットを横切る速度とフィルムの移動速度が等しい場合、時間軸方向の解像度が空間軸方向の解像度に等しくなり、移動物体の像は時間軸方向に歪みのない画像となる。フィルムの移動速度が移動物体の像がスリットを横切る速度よりも速いと、フィルムに写る像は時間軸方向に引き伸ばされ、またフィルムの移動速度が移動物体の像がスリットを横切る速度よりも遅いと、フィルムに写る像は時間軸方向に押し縮められる。得られる画像は一方が空間軸、他方が時間軸に対応する擬似 2 次元画像になる。スリットカメラを近接して 2 台配置す

ることによって、2 台のスリットカメラに移動物体が出現した時間差とカメラ間（スリット間）の距離から移動物体の速度が検出できる（図 1）。

スリットカメラの感光材に相当する部分を CCD アレイに置き換えたものがラインセンサカメラであり、電子的な記録が可能である。ラインセンサカメラは工場の生産ラインにおいて、部品の位置決め、検査のための撮像装置として用いられている。

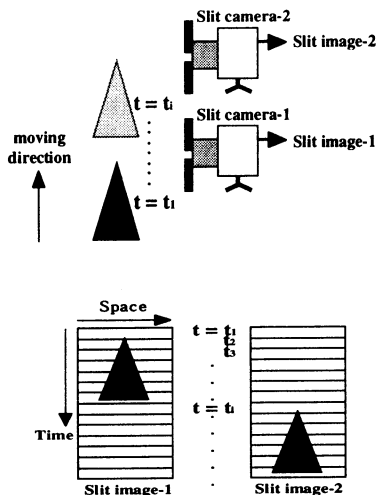


図 1. 近接配置ラインセンサカメラの原理

3. 車両の写り方

実交通流において、ラインセンサカメラから得られるスリット画像から 1 ライン毎に車両の有無を検出するための指標を導き出すために、車両の写り方を調べる。そのために車両画像と各 1 ラインの画素値の標準偏差 Std、平均 Ave との関係調べた。図 2～図 6 において、左側は車両画像、中央は 1 ライン毎の画素値の標準偏差、右側は 1 ライン毎の画素値の平均を示す。路面の標準偏差は日射が変化してもほぼ一定である。明色系の車両が適正露光で撮影されるならば、1 ライン毎の画素値の標準偏差が車両検出のために有効である（図 2）。ただし布（幌）で覆われた部分（単色のつや消し部分）は路面と区別つきにくい（図 3）。1 ライン毎の画素値の平均は日射の変化によって変動するため、平均それ自身は車両検出のための指標として用いにくい。暗色系の車両が写り込むと画素値の平均は低くなる（図 4、6）。また明色系、暗色系車両とも路面のテクスチャ性との異なりによって、標準偏差が小さ

くなる場合がある(図 5; 6)。

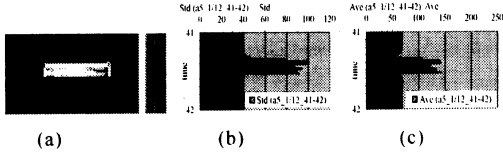


図 2. 車両 1 (明色系) の Std と Ave

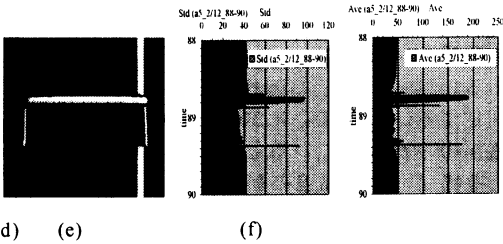


図 3. 車両 2 (明色系) の Std と Ave

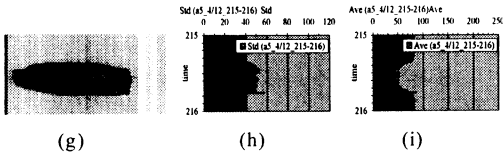


図 4. 車両 3 (暗色系) の Std と Ave

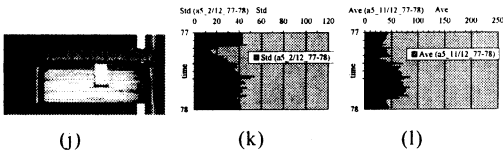


図 5. 車両 4 (明色系、不足露光) の Std と Ave

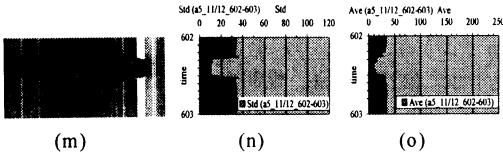


図 6. 車両 5 (暗色系、不足露光) の Std と Ave

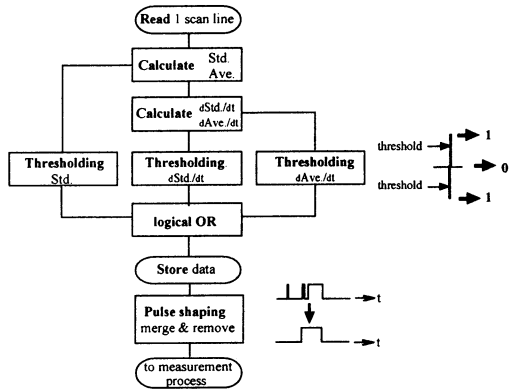
4. 手法

4-1. 車両検出のための指標

スリット画像への車両の写り方と 1 ラインの画素値の統計量(標準偏差、平均)の関係から、車両の有無を検出する。明色系の車両を適正な露光条件下で検出するために、各ラインの画素値の標準偏差に用いる。さらに暗色系の車両を不足露光下で検出することを考慮して、各ラインの画素値の標準偏差に加え、さらに画素値の標準偏差および平均の前ラインとの変化量を指標にする。

4-2. 車両検出

1 ライン毎に画素値の標準偏差、画素値の標準偏差および平均の前ラインとの変化量の 3 指標を車両検出するために用いる。画素値の標準偏差がある一定値以上、ある一定値以下になるラインを車両が写っているラインと判定する。同様に、画素値の標準偏差および平均の前ラインとの変化がある一定値以上、ある一定値以下になるラインを車両が写っているラインと判定する。3 指標について車両を含む場合を 1、車両を含まない場合を 0 の波形に置き換える。3 指標の論理和をとる。ノイズの影響を考慮し、孤立波を除去する。その後近接するパルス統合する(図 8)。



$Ave(t)$: average of pixel value at line t

$$Ave(t) = \frac{1}{n} \sum_{x=0}^n I(x,t)$$

$Std(t)$: standard deviation of pixel value at line t

$$Std(t) = \sqrt{Std(t)^2}, \quad Std(t)^2 = \frac{1}{n} \sum_{x=0}^n I(x,t)^2 - Ave(t)^2$$

$Ave(t)$: average of pixel value at line t

$$Ave(t) = \frac{1}{n} \sum_{x=0}^n I(x,t)$$

n : resolution of space domain

$I(x,t)$: pixel value

図 7. 車両検出の流れ

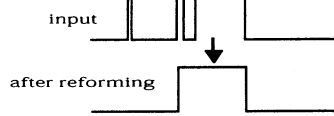
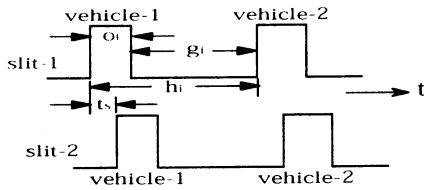


図 8. 波形整形

4-3. 交通流計測

時間に関する 1 次元の計測量として、占有時間 $Ot[\text{sec}]$ 、車間時間 $gi[\text{sec}]$ 、車頭時間 $hi[\text{sec}]$ 、ス

リット間通過時間 $ts[\text{sec}]$ が求められる (図 9)。ここで、カメラ間距離 $ds[\text{m}]$ は既知であるから、地点速度 $vt=ds/ts[\text{m/sec}]$ となる。

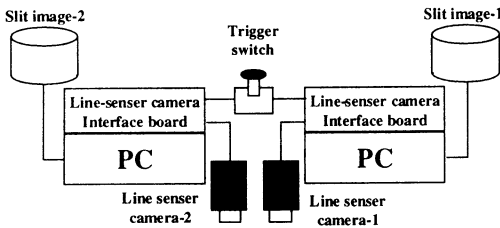


Ot: occupancy
gi: time between two cars
hi: time headway
ts: time difference of its appearance at each slit
 図 9. パルス波形から求められる交通諸量

スリットカメラの取り込み速度 $cslit[\text{line/sec}]$ と時間軸方向の解像度 $rt[\text{m/line}]$ から、等価スリット移動速度 $vslit=rt \cdot cslit[\text{m/sec}]$ となる。従って、時間軸方向に歪みのない画像を復元するための補正量 $k=vt/vslit$ となる。占有時間 ot を車長 l に対応させるため補正量 k を用いて、車長 $l=ot \cdot rt \cdot k[\text{m}]$ と推定できる。車長 l から大まかな車種判別が可能になる。一定時間の測定結果として、交通量 $Q[\text{台}]$ 、交通流率 $q[\text{台/h}]$ 、時間占有率 $Qt[\%]$ 、時間平均速度 $\bar{v}_t[\text{m/sec}]$ 、平均車頭時間 $\bar{h}[\text{sec}]$ 、平均車間時間 $\bar{g}[\text{sec}]$ が得られる。

5. 実験

5-1. 撮影



Line sensor camera: NED NF-1024
Interface board: Aval Data APC332+PSM330A
PC: IBM ThinkPad X31+ThinkPad-DockIII
 図 10. 撮影システム

2 台のラインセンサカメラを青梅街道歩道橋上に、車両の進行方向に直角に 2.16[m]の間隔で設置した。用いたレンズの焦点距離は 17[mm]、カメラを地面から 7.0[m]の高さに取り付けた。ラインセンサカメラのアレイのサイズは $10[\mu\text{m}] \times 10.24[\text{mm}]$ であり、撮影範囲は 1 ラインについて

幅 4.2[m] × 長さ 4.1[mm]、空間分解能は 4.1[mm/pixel]である。ラインセンサカメラの取込み速度を 500[line/sec]に設定した。1 ラインの走査に 2[ms]を要する。この撮影条件では、時速 40km で移動する物体であればその 22mm を 1 ラインに写す。12 分間 (360,000 ライン) 撮影行った。撮影システムの構成を図 10 に示す。

5-2. 車両検出のための指標

指標 1: 1 ラインの画素値の標準偏差が 45 以上あるいは 30 以下であれば、車両が写っていると判定する。標準偏差が 30~45 の範囲にある場合、路面のみが写っていると判定する。

指標 2: 標準偏差の前ラインの変化量が 3 以上あるいは -3 以下であれば、現ラインに車両が写っていると判定する。変化量が -3~+3 の範囲にある場合、路面のみが写っていると判定する。

指標 3: 平均値の前ラインの変化量が 6 以上あるいは -6 以下であれば、現ラインに車両が写っていると判定する。変化量が -6~+6 の範囲にある場合、路面のみが写っていると判定する。

5-3. 車両検出

3 指標を用いて 1 ライン毎に車両の有無を判定した。3 指標の論理和をとり、指標 1~3 いずれかで車両ありと判定されたならば、そのラインに車両ありと判定した。1 台の車両が分割されて検出されることを考慮して、0.5 秒間 (250 ライン) 以内に出現する車両候補を 1 台の車両に統合した。

図 11 に 12 分間の撮影画像を 1 分間毎 (30,000 ライン) に示す。12 分間の画像サイズは空間軸方向に 1024 pixel、時間軸方向に 360,000 line である。図 12 に 12 分間の測定中の 5~6 分目、1 分間 (30,000 ライン)、上流側の検出例を示す。図 12 (a)は原画像、(b)は各車両を見やすくするためヒストグラムを平坦化した画像、(c)は各ラインの画素値の標準偏差、(d)は標準偏差の前ラインとの変化、(e)は各ラインの画素値の平均、(f)は平均の前ラインとの変化、(g)は左側から 3 指標による車両検出、その論理和、車両候補を統合した結果を示す。日射が変化しても路面の標準偏差はそれ程変動しない、しかし路面の平均は日射の変化に伴って変動する。車両検出のための 3 指標(c), (d), (f)は有効に機能している。車間をつめて走行する 4, 5 台目、6, 7 台目、8, 9 台目の車両はそれぞれ 1 台の車両としてカウントしている。

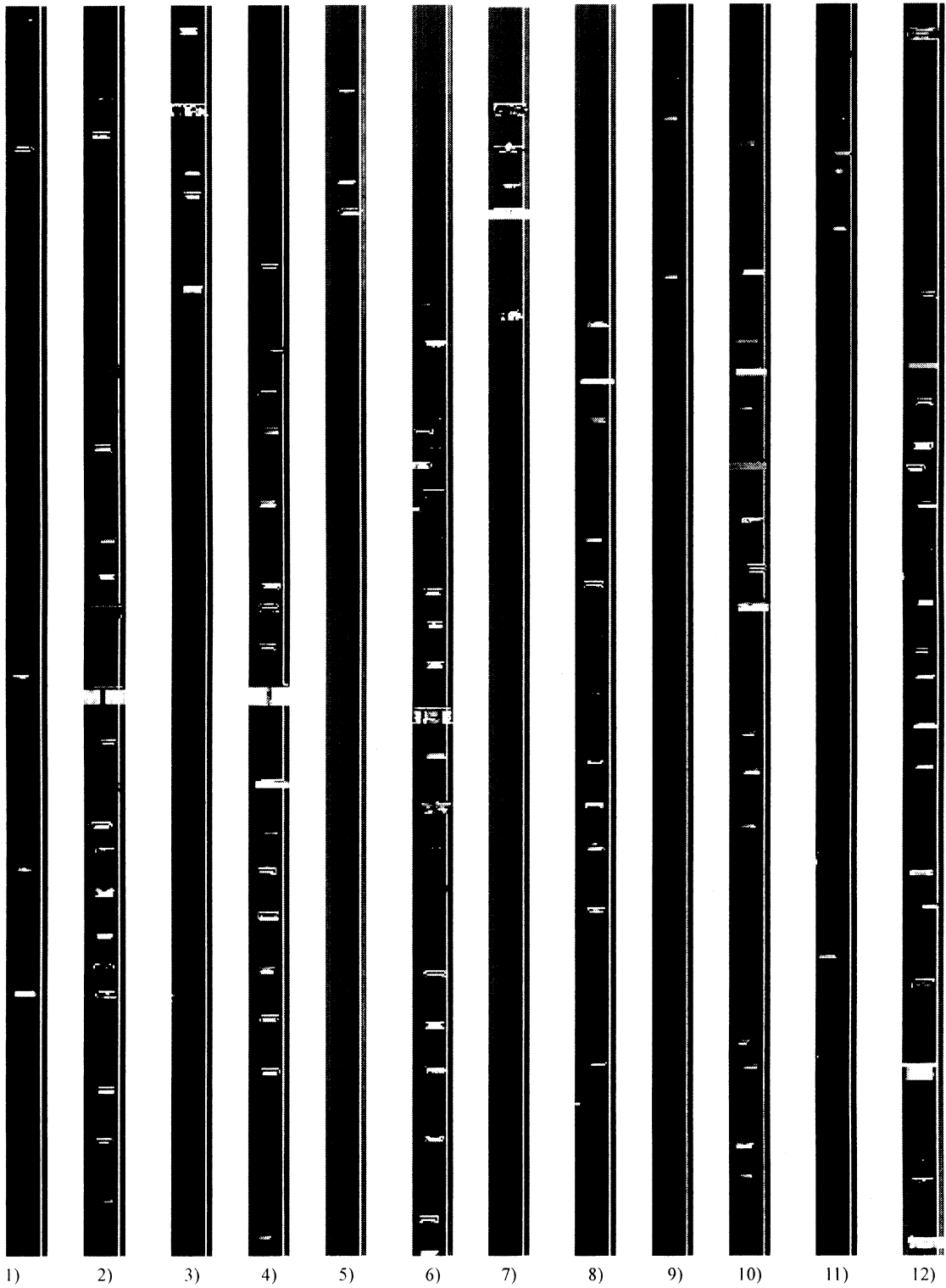
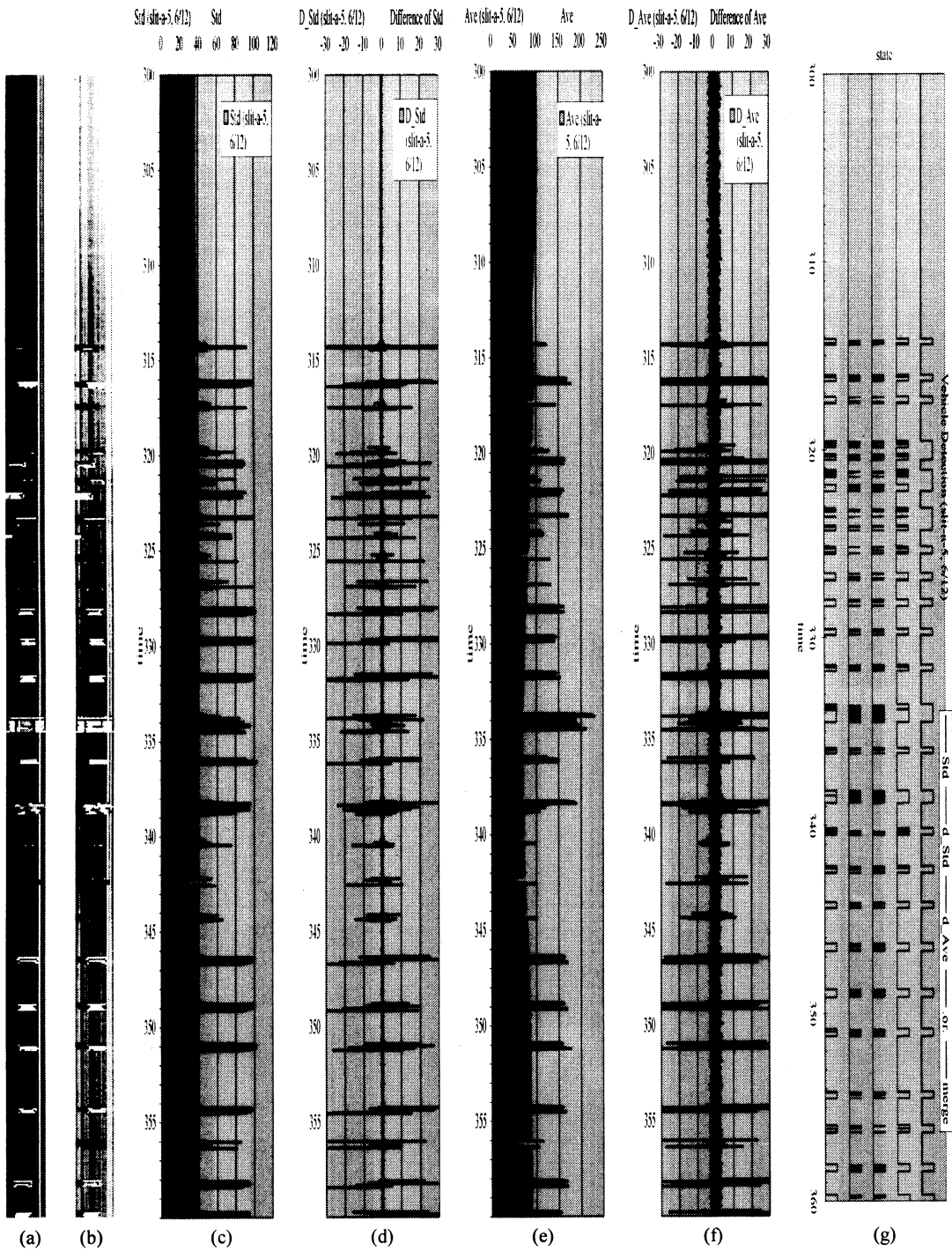


図 11. 撮影画像 (12 分間の撮影結果を 1 分間 (30,000 line) 毎に表示)



(a)原画像、(b)ヒストグラム平坦化、(c)標準偏差、(d)標準偏差の変化、(e)平均値、(f)平均値の変化、(g)車両検出（標準偏差、標準偏差の変化、平均値の変化、3指標の論理和、近接した車両候補の統合）

図 12. 車両検出結果（12分間中の5～6分目の1分間(30,000ライン)、上流側）

また車両が走行する位置を考慮していないため、3指標の表れ方によっては、隣車線を走行する車両の一部分を自車線を通過する車両として検出している(9番目の車両)。

12分間の測定中、上流側カメラに170台、下流側カメラに166台の車両が観測された。隣車線を走行する車両の一部分が下流側カメラに写らなかったため、下流側の通過台数が上流側より4台少ない。本手法を用いて上流側165台、下流側163台の車両が検出された。車間距離の狭い2台の車両を1台として検出したことが4回発生、不足露光下で暗色系車両の未検出が上流側で2回(2台)、下流側で1回(1台)発生した。ノイズによる車両の過剰検出が上流側で1回(1台)、下流側で2回(2台)発生した。検出の正解率は上流側で163/170=96%、下流側で159/166=96%であった。

5-4. 交通流計測

5-4-1. 車両の対応付け

上流側カメラによって検出された車両の車頭、車尾が、2.16[m]離れて設置された下流側カメラに車頭、車尾ともに1秒以内に検出される場合、同一車両として対応づけた。

$$0 < t_f, t_r \leq 1 \text{ [sec]}$$

この基準に基づくと、検出した車両上流側165台、下流側163台について、計153台が対応した。車速測定に至るまでの検出率は上流側に対

して153/170=0.90、下流側に対しては153/166=0.92となる。検出した車両(上流側165台、下流側163台)の93%が対応付けられた。

5-4-2. 交通流計測

表1に対応が付けられた車両の占有時間、車速、車長の検出結果を目視観測結果とともに示す。車速の検出誤差は最大+30[km/h]である。上流側で車両の前部が下流側より長く検出されると車速は低く検出され、車両の前部が短く検出されると車速は高く検出される。また車両の後部が下流側より長く検出されると車速は高く検出され、車両の後部が短く検出されると車速は低く検出される。下流側の車両に対しては上流側に対する場合と逆になる。

表2に12分間の測定から得られた交通流パラメータを示す。占有時間と車速から車長を推定し、車長を基に車種判別している。2.5m以下を2輪車、3.4m以下を軽自動車、4.7m以下を小型車、4.7m以上を普通車として分類している。12m以上及び1m未満として推定された車両は規格外として分類した。占有時間の検出失敗が車長の推定の誤差につながり、それが車種の誤判別につながる。

表1. 車両検出結果例

Vehicle No. Slt-1	Correspond Vehicle No. at Slt-2		Occupancy [sec]							Vehicle speed [km/h]							Mod. Coef. ciest		Vehicle length		
	Front edge	Rear edge	Detected		Human observation			error [%]	Front edge	Rear edge	Detected		Human observation			Error		Detected	Observed	Detected [m]	Observed [m]
			slit-1	slit-2	Average	slit-1	slit-2				Average	Average	Front edge	Rear edge	Average	[km/h]	[%]				
1	1	1	0.362	0.368	0.365	0.374	0.362	0.368	-0.8	46.8	45.2	42.3	45.2	43.7	2.3	5.2	6.2	5.9	4.8	4.6	
2	2	2	0.284	0.296	0.290	0.278	0.274	0.276	5.1	60.8	55.5	58.1	55.5	57.2	56.4	1.8	3.2	7.9	7.6	4.8	4.4
3	3	3	0.238	0.248	0.243	0.234	0.226	0.230	5.7	67.0	61.7	64.4	60.8	64.8	62.8	1.6	2.5	8.7	8.5	4.5	4.1
4	4	4	0.210	0.216	0.213	0.198	0.186	0.192	10.9	58.9	56.3	57.6	52.5	57.2	54.9	2.8	5.0	7.8	7.4	3.5	3.0
5	5	5	0.374	0.388	0.381	0.350	0.346	0.348	9.5	47.4	43.7	45.6	43.2	44.2	43.7	1.9	4.3	6.2	5.9	4.9	4.3
6	6	6	0.290	0.282	0.286	0.318	0.318	0.318	-10.1	54.8	58.0	56.4	57.2	57.2	-0.8	-1.4	7.6	7.7	4.6	5.2	
7	7	7	0.210	0.212	0.211	0.214	0.214	0.214	-1.4	54.8	54.0	54.4	55.5	55.5	-1.2	-2.1	7.4	7.5	3.3	3.4	
8	8	8	0.276	0.276	0.276	0.278	0.270	0.274	0.7	56.3	56.3	56.3	55.5	58.9	-0.2	-0.5	5.3	5.4	4.4	4.5	
10	10	10	0.218	0.340	0.279	0.350	0.338	0.344	-18.9	92.6	37.7	65.2	36.7	38.9	37.8	27.4	72.5	8.8	5.1	5.2	3.7
11	11	11	0.392	0.394	0.393	0.398	0.390	0.394	-0.3	39.7	39.3	39.5	38.9	40.5	39.7	-0.2	-0.5	5.3	5.4	4.4	4.4
12	12	12	0.306	0.300	0.303	0.370	0.358	0.364	-16.8	40.5	41.8	41.2	40.5	43.2	41.9	-0.7	-1.7	5.6	5.7	3.5	4.3
13	13	13	0.382	0.386	0.384	0.382	0.382	0.382	0.5	40.5	39.7	40.1	40.5	40.5	40.5	-0.4	-1.0	5.4	5.5	4.4	4.4
14	14	14	0.278	0.278	0.278	0.282	0.274	0.278	0.0	40.9	40.9	40.9	40.5	42.3	41.4	-0.5	-1.1	5.5	5.6	3.2	3.3
15	15	15	0.680	1.070	0.875	0.678	0.670	0.674	29.8	8.1	13.5	27.7	41.4	43.2	-14.6	-34.6	3.7	5.7	6.9	8.1	
16	16	16	0.948	0.930	0.939	0.950	0.926	0.938	0.1	38.9	42.7	40.8	38.9	44.2	41.5	-0.7	-1.8	5.5	5.6	10.9	11.1
17	17	17	0.314	0.314	0.314	0.314	0.314	0.314	-0.6	43.7	43.7	43.7	45.2	46.3	45.7	-2.1	-4.5	5.9	6.2	3.9	4.1
18	18	18	0.454	0.466	0.460	0.458	0.454	0.456	0.9	47.4	44.2	45.8	42.3	43.2	42.7	3.1	7.2	6.2	5.8	6.0	5.5
19	19	19	0.382	0.382	0.382	0.382	0.384	0.384	-0.5	42.7	42.7	42.7	42.3	43.2	42.7	0.0	0.0	5.8	5.8	4.6	4.7
20	20	20	0.370	0.382	0.376	0.342	0.338	0.340	10.6	49.8	46.3	48.1	45.2	46.3	45.7	2.3	5.1	6.5	6.2	5.1	4.4
21	21	21	0.386	0.412	0.399	0.382	0.378	0.380	5.0	49.2	42.3	45.7	42.3	43.2	42.7	3.0	7.0	6.2	5.8	5.2	4.6
23	23	23	0.410	0.436	0.423	0.378	0.378	0.378	11.9	42.3	37.0	39.6	38.1	38.1	38.1	1.5	4.0	5.4	5.2	4.8	4.1
24	24	24	0.434	0.456	0.445	0.398	0.382	0.390	14.1	42.3	37.7	40.0	36.0	38.9	37.4	2.6	6.8	5.4	5.1	5.1	4.2
25	25	25	0.316	0.328	0.322	0.310	0.306	0.308	4.5	54.8	50.5	52.6	51.2	52.5	51.8	0.8	1.5	7.1	7.0	4.8	4.5
26	26	26	0.314	0.322	0.318	0.290	0.286	0.288	10.4	51.8	49.2	50.5	48.6	49.8	49.2	1.3	2.7	6.8	6.7	4.6	4.0
27	27	27	0.378	0.386	0.382	0.358	0.346	0.352	8.5	48.6	46.3	47.4	45.2	48.6	46.9	0.5	1.1	6.4	6.4	5.2	4.7
28	28	28	0.332	0.338	0.335	0.306	0.302	0.304	10.2	50.5	48.6	49.5	49.8	51.2	50.5	-1.0	-1.9	6.7	6.8	4.7	4.4
29	29	29	0.356	0.802	0.579	0.334	0.330	0.332	74.4	50.5	13.0	31.7	47.4	48.6	48.0	-16.3	-33.9	4.3	6.5	5.2	4.5
30	30	30	0.788	0.782	0.785	0.734	0.726	0.730	7.5	42.3	43.7	43.0	42.3	44.2	43.2	-0.2	-0.6	5.8	5.9	9.6	9.0

表 2. 得られた交通流パラメータ

	Traffic volume	Rate of traffic flow [/h]	Time occupancy	Average time [sec] between two cars	Average time headway [sec]	Vehicle speed [km/h]		
						Average	Max. speed	Min. speed
Manual	168	840	0.074	3.90	4.20	46.2	108.0	29.7
Experiment	153	765	0.084	4.33	4.73	47.5	108.2	27.0

Type of vehicles					
shorter than 1 m			longer than 12 m		
Irregular	Bike	Sub-compact	Compact	Standard	Irregular
0	3	20	110	20	0
2	5	7	77	36	6

6. おわりに

ラインセンサカメラを用いる交通流計測手法を提案した。ラインセンサカメラから得られるスリット画像の 1 ラインの画素値の統計量を用いて車両を検出し、通過車両台数、占有時間、車間時間、車頭時間を測定した。2 台のラインセンサカメラを接近して配置することで車両の地点速度を測定した。車速とラインセンサカメラの等価移動速度の比を用いて車長を推定し、車長から車種判別を行った。

検出のために 3 指標を用いることで、不足露光下（曇天時）でも暗色系車両を検出することができた。より精度の高い検出、測定を行うためには、適正露光のスリット画像を生成する必要がある。そのためには自動絞り機構あるいは撮影範囲を覆う帯状の照明が必要である。

交通の状態から 0.5 秒以内に表れる車両候補を 1 台の車両に統合したため、車間時間が短い 2 台の車両（車間距離が短い 2 台の車両）を 1 台とカウントした。また本検出手法は車両の道路上での位置を考慮していないため、標準偏差、平均の表れ方によっては隣接車線を走行する車両の一部分を、自車線を走行する車両としてカウントする。車両らしさを考慮した検出を行うために、1 ラインの画素値のプロファイルから、凹凸部を検出し、検出位置、形状の一貫性、連続性を車両検出のための指標に加える必要がある。

文献

[1] Lawrence A. Klein, "Vehicle Detector Technologies for Traffic Management Applications Part 1 & Part 2", ITS Online, The Independent Forum for Intelligent Transportation Systems, 1977

(http://www.itsonline.com/detect_1.html&detect_2.html)

[2] 小沢 慎治：“ITS 道路画像における認識と理解”、電子情報通信学会技術報告 PRMU98-

105, pp. 99-104, 1998

[3] Dan Middleton, Deepak Gopalakrishna, and Mala Raman, "Advances in Traffic Data Collection and Management", White Paper, BAT-02-006, Traffic Data Quality Workshop, Federal Highway Administration, January 31, 2003

(http://www.itsdocs.fhwa.dot.gov/JPDOCS/REPTS_TE/13766.html)

[4] 北村 忠明：“ITS における画像処理技術の動向”、電子情報通信学会誌, Vol. 86, No. 10, pp. 773-776, 2003

[5] 岩田 武夫：“より快適で安全な自動車のための画像技術 5. 交通管制システムにおける画像技術 5-1 画像技術の交通流計測への応用”、映像情報メディア学会誌, Vol. 51, No. 6, pp. 766-768, 1997

[6] M. Takatoo, T. Kitamura, Y. Okuyama, Y. Kobayashi, K. Kikuchi, H. Nakanishi and T. Shibata: "Traffic flow measurement system using image processing", Proc. SPIE Int Soc Opt Eng, Vol. 1197, pp. 172-180, 1990

[7] N. Hashimoto, Y. Kumagai, K. Sakai, K. Sugimoto, Y. Ito, K. Sawai and K. Nishiyama: "Development of an image-processing traffic flow measurement system", Sumitomo Electric Technical Review, No. 25, pp. 133-138, 1986

[8] Shunji Katahara, Tetsuro Izumi, Shota Kawamata and Masayoshi Aoki: "Traffic Flow Measurement Using Double Slit Image". 9th World Congress on ITS, 3071, TP029, Chicago, USA, October 2002

[9] 片原 俊司、青木 正喜：“近接配置ラインセンサカメラを用いた交通流計測”、第 2 回 ITS シンポジウム、「交通マネジメント」O2-1, pp. 87-92, 2003