

## 動画像処理システム ISHTAR による リアルタイム交通流計測

瀬川 英吾      塩原 守人      佐々木 繁

株式会社 富士通研究所    マルチメディアシステム研究所

### 概要

動画像処理システム ISHTAR を用いて、日照変化や影などの環境変化のある高速道路でも車両の通過台数と速度がリアルタイムに計測できるシステムを開発した。日照変化への対処には、車両に多く含まれる水平線のエッジ数によって日照変化を定量化し、エッジ数の変動の影響が少ない車両検出を実現した。また、車両以外の影や車のライトへの対処には、それらの内部にエッジが少ないことを利用して車両認識を行った。ISHTAR に本手法を搭載し、昼夜の高速道路画像に対して実験を行ったところ、目視の結果と比べ通過台数では96%以上の認識精度が得られた。速度では、本手法を解析した結果、90%以上の認識精度であることがわかった。

## Real-Time Traffic Flow Measuring System Using ISHTAR

Eigo Segawa, Morito Shiohara and Shigeru Sasaki

FUJITSU LABORATORIES LTD. Multi Media System Laboratory

### Abstract

We developed real-time traffic flow measuring system using ISHTAR. ISHTAR is a time-varying image processor which we had developed. The purpose of this system is to count the passing cars and to calculate the speed of them under the inconstant condition in real-time. In order to accomplish this purpose we detect cars based on the number of the edge points on the horizontal line which a car usually has. And we can exclude the shadow because there are not edge points inside it. We evaluated this system using the images taken at a highway and the accuracy of the number of cars is better than 96%. And theoretically the accuracy of the speed is better than 90%.

## 1. はじめに

現在、発達した高速道路網の交通情報を提供することは欠かせないサービスになっている。従来は、この交通情報を得るために主に超音波や磁気センサが用いられてきた。しかし、これらのセンサには計測範囲が狭い、得られる情報の種類が少ないといった問題点がある。そこで、計測範囲が広く、多種の情報を得られる画像による計測の実用化が期待されている。ところが、道路のような屋外環境では時刻や天気によって照度が大きく変化するため、そこから得られる画像は撮影された時刻によってかなり異なるものとなる。したがって、画像による計測を実用化するためには、このような環境の変化に対して安定した結果を出さなければならない。また、計測した結果に基づき渋滞などの道路情報を提供したり、異常走行をする車両に警告を発したりするためには、入力された画像をリアルタイムに処理することが必要である。そこで、動画像を高速に処理でき、且つ処理内容をソフトウェアにより自由に設定することができる動画像処理システム ISHTAR<sup>1)</sup>を用いて、リアルタイムシステムを構築した。

画像による交通流計測の試みは既に幾つか行なわれている。時間差分に基づく方法として、田仲ら<sup>2)</sup>は画像中の固定された小領域内で背景差分をとり、差分値の時間的な変化から車両を検出した。この方法では、検出結果が走行する車両の速度によって変わる、影等も誤って検出するという問題点がある。一般的に、時間差分では車両全体を検出することは困難であり、また環境変化の影響を受けやすい。これに対して空間微分に基づく方法がある。これは、通常の車両には輪郭、バンパー、テールランプ等に多数のエッジが存在し、また、夜間のように暗い環境下でもテールランプやヘッドライトにより多数のエッジが存在することを利用している。井上ら<sup>3)</sup>は画像中に車両一台分が入るウィンドウを設け、ウィンドウ内の垂直

エッジ分布によって車両を検出し、垂直エッジ分布の相関により車両の追跡を行なった。また、工藤<sup>4)</sup>は一車線内の垂直エッジによって車両群の検出、追跡を行ない、リアルタイムに交通流計測が行なえるシステムを作った。しかし、どちらも垂直エッジのみを車両の特徴として用いているため影等の誤検出や、検出漏れのおそれがある。また、背景のエッジと移動物体のエッジを区別していないため、背景に含まれるエッジの量に応じたしきい値の微妙な調整が必要である。

通常、車両には垂直エッジよりも水平エッジの方が多く存在するため垂直エッジだけでなく水平エッジも用いた方が車両検出の信頼性が上がる。そこで、本報告では、水平エッジと垂直エッジを共に用いて車両を検出する。さらに、背景の影響を排除するために、移動物体に属するエッジのみを用いて車両検出を行なう。また、本報告では環境変化をエッジ数の増減と考え、検出されるエッジ数が変動した場合にも車両検出が行なえるようにしきい値を設定することにより、環境変化に対応する。

以下、2章では本システムで用いた ISHTAR の概要について述べる。3章では計測方法について述べる。4章では本手法を ISHTAR にインプリメントして、実際に高速道路を撮影した画像を処理した結果を示す。

## 2. ISHTAR

本報告で用いた動画像処理システム ISHTAR の概要について述べる。詳細については文献 [1] を参照されたい。図 1 に ISHTAR の構成を示す。

ISHTAR は、画像の入出力及びホストコンピュータとのデータの送受信を行なう 1 枚のビデオボードと、縦列に接続した複数枚の処理ボードで構成するリニアアレイプロセッサである。各処理ボードは TI 社製の DSP (TMS320C40) を搭載して

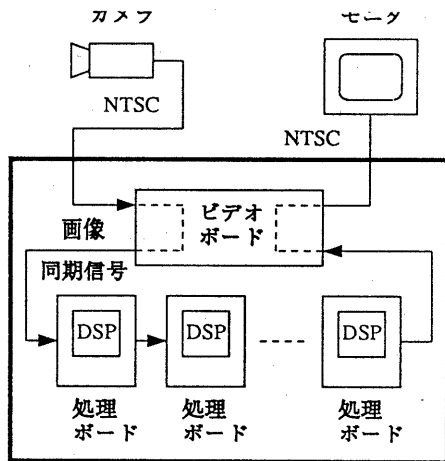


図1 ISHTAR

いる。ISHTARではDSP間の通信のオーバーヘッドを軽減しているため、各DSPはそれぞれのプログラムにしたがって独立に動作する。したがって、1つのアルゴリズムを複数のDSPへ負荷分散することにより、パイプライン処理を高速に行なうことができる。ここで、プログラムはあらかじめホストコンピュータから各DSPへダウンロードされ、以後DSPはホストコンピュータと独立に動作する。このため、ホストコンピュータの処理速度に依存することなく高速処理が行なえる。但し、DSPの単位時間あたりの処理量は一定であるから、リアルタイム処理を行なうためには、各DSPにかかる負荷を小さくしなければならない。そのためには、各DSPの負荷が大きくなるように全体の処理をうまく分割できるアルゴリズムを開発する必要がある。

### 3. 計測方法

計測は、まず、各フレームで車両の検出して、次に同一車両をフレーム間で対応付けることにより行なう。ここで、本システムでは以下の二点を達成することを目標とする。

- 照度の変化に対して安定した結果を出力する
- リアルタイムで処理を行なう

第一項を達成するためには、安定した車両の検出が不可欠である。道路のような屋外環境では照度の変動があるため、単純なフレーム間差分や背景差分では安定した車両の検出は困難である。また、従来のような垂直エッジを用いる方法では、車両には垂直エッジの数が少ないため照度や対象によっては検出漏れが起こる。そこで、垂直エッジのみでなく数の多い水平エッジを用いて、安定した車両検出を実現する。さらに背景に含まれるエッジを除去することによって、より安定した車両の検出を行なう。また、第二項を達成するためには、処理量を少なくする必要がある。二次元に分布したエッジを探索して車両を検出すると処理量が多くなる。そこで、エッジを水平方向へ投影したヒストグラムによって車両を検出する。以上より、車両検出処理ではエッジヒストグラムの作成とヒストグラムから車両の位置の決定を行なう。対応付け処理では車両のフレーム間での移動距離に制限を加えることにより、同一車両の対応付けを行なう。

以下では本システムで仮定した条件、車両検出処理の詳細及び対応付け処理の詳細について述べる。

#### 3.1 前提条件

本システムでは計測を行なうための条件として、以下の項目を仮定している。

- カメラは固定されている。
- 画像は図2のように車両を斜め後ろ上方から撮影し、車両の移動が数十メートルにわたって観測できる。
- 車両は画像平面でy軸方向に移動する。
- 画像内の各画素は道路上の点と対応付けられている。

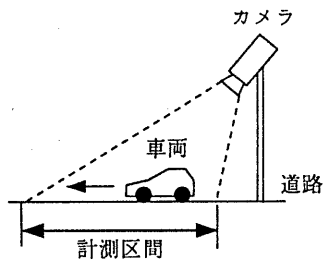


図2 撮影方法

### 3.2 車両検出

#### 3.2.1 エッジヒストグラムの作成

エッジヒストグラムは以下の手順により作成する。

- (1) 各車線毎にマスクをかけ、以降の処理は各マスク内で別々に行なう。
- (2) 移動物体の無い背景画像を作成する。
- (3) 背景画像からエッジを抽出する。
- (4) 入力画像からエッジを抽出する。
- (5) 入力画像にのみ存在するエッジを求めて、x軸方向へ投影を取る。

(1)のマスク処理を行なうことにより、画像中の道路以外が映っている部分が無視する。マスクをかける領域は、道路上の白線を検出することにより自動的に決定することができる。(2)の背景画像作成部であるが、屋外環境では静止している物体の明度値も刻々と変化するので、それに伴って背景画像の明度値も変化させなければならない。そこで、以下のようにして背景画像を作成する。まず初期背景画像を与える。例えば、一番最初に入力された画像を初期背景画像とする。次に画像が入力される毎に現在の背景画像と同じ座標にある画素どうしで明度の比較を行ない、差があればその差を減らすように背景画像の明度を一定値だけ変化させる。このとき変化させる値が十分小さければ移動物体の影響の無い背景画像を作成することができる。(3)及び(4)ではそれぞれ背景画像、入力画像にsobelフィルタをかけ、結果を適

当なしきい値で二値化する。このとき、車両検出時の手掛かりであるエッジが多数検出できるように、しきい値は低く設定する。(5)では、まず、(3)と(4)の結果を比較して、差のある点、すなわち移動物体に属するエッジを求める。次に、速度を計算するためには車両の位置は進行方向の成分さえ分かればよいので、図3のようにx軸方向に画像を走査して、各走査線毎にエッジ点数の和を求める。この操作によりy軸方向に分布した一次元のエッジヒストグラムを作成する。

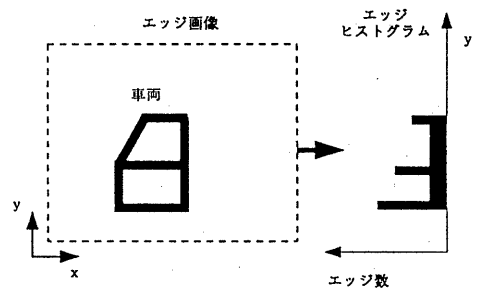


図3 エッジヒストグラムの作成

#### 3.2.2 車両の位置決定

車両候補の位置を決定するために、まず、図4のようにエッジヒストグラムを計測区間の端からy軸方向に走査して車尾位置と車頭位置を求め。車両の後部にはテールランプ、バンパー等があるため水平方向に分布したエッジが多数検出される。したがって、エッジヒストグラムはこの部分で大きな値を持つ。しかし、環境変化のためにこれらのエッジがいつも完全に検出されることは期待できない。ただし、これらの中の幾つかが部分的に検出されることは期待できる。そこで、基準値にある割合を乗じた値をしきい値 $\alpha$ として、エッジヒストグラムの値が $\alpha$ 以上となる点を車尾位置とする。ここで、基準値にはあらかじめ設定した普通車の車幅を用いる。このとき、 $\alpha$ の基準値に対する割合が小さい方が環境変化に対する許容度が大きくなるが、小さすぎると車両とノ

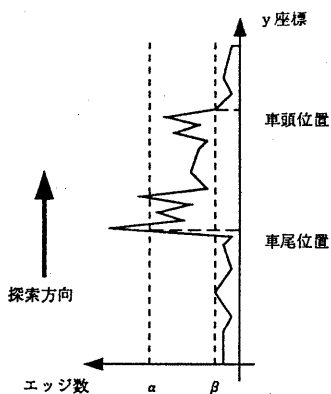


図4 車両の位置決め

イズの区別ができなくなる。本報告ではこの割合を、ほぼ普通車のテールランプ一つ分に相当する30%とする。上記の方法により車尾位置が求められるので、次に車頭位置を求める。車頭位置は車尾位置からy軸方向へ探索を行ない、エッジヒストグラムの値がしきい値 $\beta$ より小さくなる位置とする。ただし、車両の中間部分は屋根やボンネットにあたるため水平エッジがほとんど存在しない。したがって、 $\beta$ には検出が期待できる垂直エッジの数を設定する。しかし、ここでも環境変化の影響などのために、車両の中間部分でエッジヒストグラムの値が $\beta$ 以下になる可能性がある。そこで、車両の長さはある程度決まっていることを利用して、車尾位置から普通車の車長分離れるまでは探索続け、ヒストグラムの値が $\beta$ 以上であればその点からさらに探索を続ける。そして、最後に $\beta$ 以上であった点を車頭位置とする。以上の操作をヒストグラムの端まで繰り返す。そして、求めた車尾位置と車頭位置の組を車両候補として記録する。

車両候補には、車両以外に隣の車線を走行する車両の影や路面に映ったヘッドライトの光等も含まれている。そこで車両以外の物体を除去する。まず、車両は一定値以上の長さを持つので、車両候補の中で車尾と車頭の間隔が一定値に満たない

ものは取り除く。また、影や光は輪郭部分以外にはエッジが検出されないことを利用する。具体的には、車尾位置から車頭位置の間のエッジ点の数が一定値に満たないものも除外する。

### 3.3 フレーム間の対応付け

各フレームにおいて求めた車両候補の車尾位置を用いて、同一車両のフレーム間の対応付けを行なう。対応付けは以下の二つの拘束条件を満たすように行なう。

- 対応する車両の位置は前フレームでの位置よりも進行方向側になければならない

- フレーム間での移動距離は一定値以下である

前者は車両の進行方向は一定という前提条件に基づいている。後者は車両の移動距離には上限が存在することに基づいている。移動距離の上限は画像を撮影する時間間隔と車両の速度の上限によって決まる。このとき、一台の車両に対して複数の車両が拘束条件を満たす場合が問題になる。これは、車尾間隔がフレーム間での移動距離よりも小さい場合に起こる。ここで、画像のサンプリング時間を1/10秒、車両の移動速度の上限を180 km/hとすると、フレーム間での車両の移動距離の上限は5 mである。通常走行時に車尾間隔がこの値よりも小さくなることはない。したがって、この対応付けは1対1であると考えてよい。

フレーム間での対応付けができれば、対応付けができた組を数えることにより通過車両台数が求められる。また各車両毎の位置の推移から車両の通過速度を計算できる。

## 5. 実験

本手法を動画像処理システムISHSTARにインプリメントして実験を行なった。本手法は全体の処理を流作業が行なえるように、大きく5つの部分に分けることができる。そこで、今回はISHSTARをピ

デオボード1枚と処理ボード5枚という構成にした。そして、5つに分割した処理をそれぞれ5枚の処理ボードへ割り当てた。各処理ボードで行なった処理は表1の通りである。

表1 各ボードの処理内容

ボード	処理内容
1	マスク設定
2	背景画像作成
3	背景画像のエッジ抽出
4	動エッジ抽出とヒストグラム作成
5	対応付けと台数・速度の計算

実験に用いた画像は晴れた日の日中(11:00~13:00)および夜間(19:00~21:00)に高速道路を民生用ビデオカメラで撮影したものである。図5、図6は実験に用いた昼間と夜間の画像の中の1つである。実験にはカメラで取り込んだ画像の中の偶数フィールドのみを取り出した大きさ320×240画素の画像を用いた。また、処理速度は10フレーム/秒である。図7、図8は、それぞれ昼間、夜間におけるエッジヒストグラムの1つである。図9、図10は出力画像の1つである。

## 6. 評価

### 6.1 通過台数

車両の通過台数については、目視との比較を行なったところ表2の結果を得た。

表2 通過台数計測結果

	昼間	夜間
総通過車両数	1346台	1237台
誤検出件数	32台	45台
精度	97.6%	96.5%

通過台数を正しく計測できなかった例の中には、車両を検出できなかったものと1台の車両を2台

として検出したものがあった。車両を検出できない原因は、車両と路面の明度の変化が小さく且つ車両内部での明度の変化が小さいため、エッジがほとんど検出されないためであった。また、1台の車両を2台として検出した原因は、大型トラックの場合で車体の中間部分にエッジが検出されなかったために、車体の前部と後部が別々の車両として検出されたためである。上記の誤検出はあるものの、実験では96%以上の精度で計測が行なえた。したがって、本システムは十分実用化に耐えると考えられる。

### 6.2 速度

速度については、比較を行なうための真値を得ることは困難である。視覚センサ以外を用いて速度を得ることも考えられるが、他センサの測定値にも誤差が含まれている。そこで、速度の誤差の大きさを理論的に推定する。速度は移動距離と移動時間から計算するため、両者に含まれる誤差が速度の誤差の要因である。移動時間は計測したフレーム数から求めるので、カメラが画像を取り込む時間間隔の精度によって含まれる誤差は決まる。今回使用したカメラは画像の各フィールドを1/60秒毎取り込むが、水晶発振器の精度を考えれば、この時間に含まれる誤差は無視できる。そこで、速度の誤差の要因としては移動距離に含まれる誤差のみを考慮する。移動距離には以下のような誤差が含まれる。

#### ○画像の解像度に依存した誤差

画像中では、1画素が道路面のある範囲を表す。したがって、1画素を道路面の1点に対応付けると、道路面上の位置はある範囲の誤差を持つ。簡単化するために画像のy軸方向のみの一次元で考える。光軸に最も近い画素を第0画素とし、この画素から順番に番号を付ける。第i画素が対応する道路面上の長さは次式で表される。

$$L_i = \frac{h}{\tan(\psi - \tan^{-1}(\frac{(i+1)s}{f}))} - \frac{h}{\tan(\psi - \tan^{-1}(\frac{is}{f}))}$$

$f$  はレンズの焦点距離、 $s$  は撮像面における 1 画素の長さ、 $h$  は道路面からカメラまでの高さ、 $\psi$  はカメラの俯角を表している。このとき、第  $i$  画素に含まれる誤差は  $\pm L_i/2$  と考えられる。第  $n$  画素から計測を開始し第  $m$  画素で計測を終了したとすると、移動距離の誤差は  $\pm (L_n/2 + L_m/2)$  である。この値は使用するカメラ、レンズ、カメラの設置位置により異なる。本実験では、画像面上での車両の計測範囲は  $80 \leq y \leq 224$  である。仮に車両が計測範囲の端から端まで観測されたとすると、 $y=80$  の画素では  $0.06\text{m}$ 、 $y=224$  の画素では  $0.46\text{m}$  の誤差が含まれるため、移動距離に含まれる誤差は  $0.52\text{m}$  である。移動距離は  $45.72\text{m}$  であるから、速度の誤差は  $1.14\%$  となる。また、車両検出の際に車両の位置が数画素ずれた場合を考える。画像上で位置のずれが 5 画素であるとする、道路上での位置のずれは最大  $3.62\text{m}$  となり速度の誤差は  $7.91\%$  となる。

#### ○車両が斜めに移動したために生じる誤差

車両があらかじめ固定した進行方向に対して斜めに移動した場合は、進行方向成分のみを計算している。この場合、実際に車両が移動した方向と固定の進行方向のなす角を  $\theta$  とすると、計測した速度は  $(1 - \cos \theta)$  % の誤差を含む。ただし、高速道路上を移動する車両では  $\theta$  の値はあまり大きくはない。 $\theta$  の最大値を  $10$  度とすると誤差の最大値は  $1.52\%$  である。

#### ○画像のぶれによる誤差

また、走行中の車両を画像に取り込む場合、シャッターが開いている時間も車両は動くため、画像にぶれが生じる。ぶれは、車両の速度とシャッタースピードの積で決まる。例えば、時速  $100\text{km}$  の車両をシャッタースピード  $1/1000$  秒で

撮影した場合のぶれは  $28\text{mm}$  である。本実験では、この値は画像の解像度と比較して十分小さいので無視できる。

以上から速度に含まれる誤差は  $9.31\%$  であると推定できる。これは、例えば異常走行車の発見という目的には問題のない精度であると言える。

## 7. おわりに

固定カメラで高速道路を撮影した画像列から、エッジヒストグラムを用いることにより、車両の通過台数、速度を計測する方法を提案した。さらに本手法を動画像処理システム ISHTAR にインプリメントしリアルタイムで計測を行なった。本手法により日中と夜間のように照度が大きく変わる場合にも、 $96\%$  以上の精度で台数計測が行なえた。速度の精度は  $90\%$  以上であることを推定した。

## 謝辞

本研究の機会及び有益な示唆をいただいた、当社松田喜一郎長に感謝致します。

## 参考文献

- (1) 塩原, 瀬川, 江川, 佐々木, "リアルタイム・オプティカル・フロー・プロセス" ISHTAR", MIRU94, pp. 11-295-11-302, 1994
- (2) 井上, 小畑, 生井, 半場, "車両動態計測の試み", 第17回画像工学コンファレンス論文集, pp. 295-298, 1986
- (3) 田仲, 岡田, 小畑, "画像処理手法に基づく車両検出の一手法", 計測制御論, Vol. 22, No12, pp. 101-103, 1986
- (4) 工藤, "画像処理手法を用いた交通流計測システム", 信学論, Vol. 68-D, No3, pp. 308-315, 1985
- (5) 谷口, 古澤, 関, 池端, "DTT法を用いた車両認識", 情処技報, CV72-5, 1994

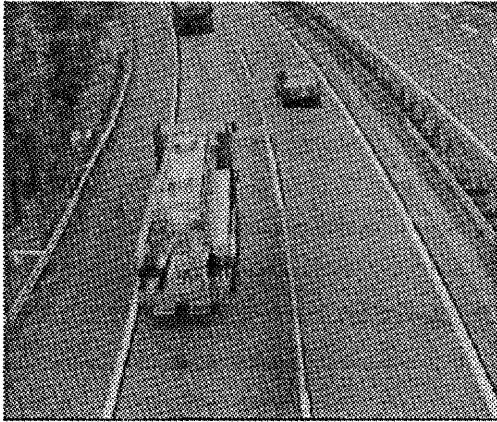


図5 原画像（昼間）

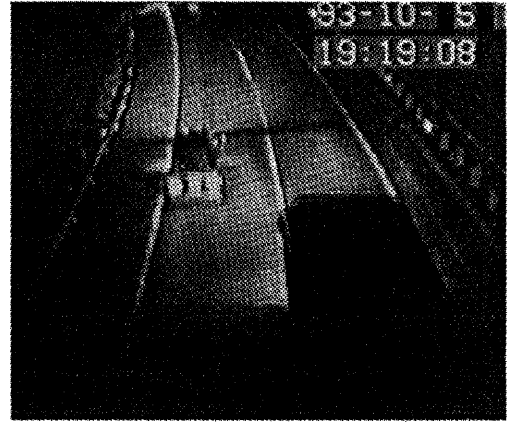


図6 原画像（夜間）

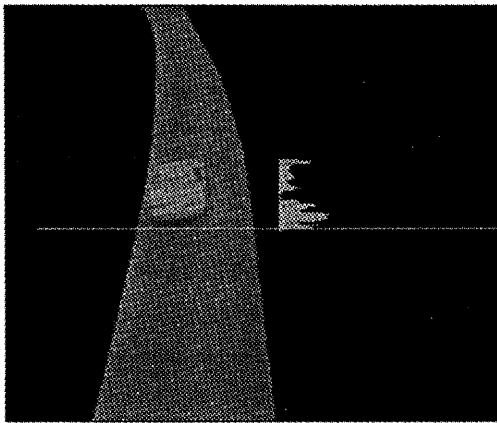


図7 エッジのヒストグラムと車尾位置（昼間）

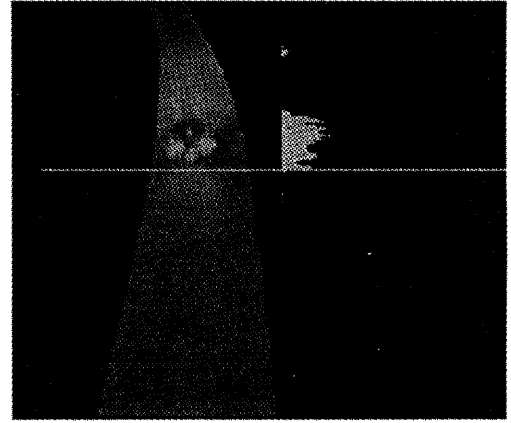


図8 エッジのヒストグラムと車尾位置（夜間）

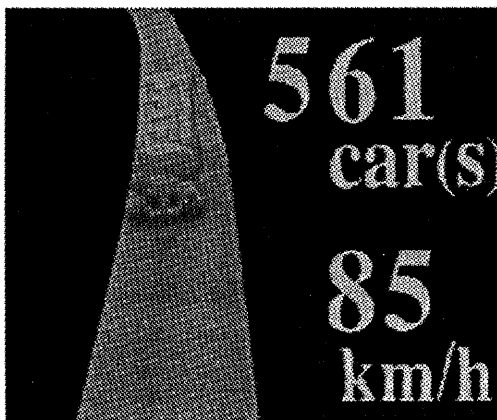


図9 出力画像（昼間）

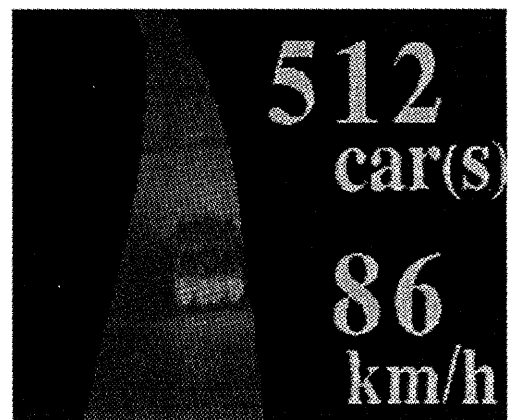


図10 出力画像（夜間）