

画像処理形車両感知システム

田口 耕造*

Image Processing Type Vehicle Detector System

Kozo TAGUCHI

ABSTRACT

The measurement of moving state of individual vehicle is necessary to grasp automobile traffic flow. Recently the image-processing type vehicle detector system has been noticed as a new sensor. However, as it is very difficult in real time processing and moreover it has particular technical problem for image-processing at outdoor environment, it has not been sufficiently utilized.

In this paper, we propose a vehicle detecting method using wave form analysis on space frequency domain which signal is a brightness distribution from TV monitor. The features of our method are simple system construction because detection is achieved using finite frequency components and its Spectrum ratio.

At the end of this paper, the certitude and robustness of this method has been verified with recognition experiments.

Keywords: 車両感知器, 周波数領域, 実時間処理, 車両検知, 車種判別

1. まえがき

画像処理形の車両検知器[1]~[4]は早くから注目され、多くのメーカーが開発しているにもかかわらず、現在までほとんど実用に供されていない。この原因としては、リアルタイムでの計測が難しいことや屋外環境での画像処理という特有な技術的課題がある。このため、実用化に際してはコンパクトなハードウェア、昼間・薄暮・夜間にわたる大幅な照度変化のもとでの安定動作、異なった車種・車色車両での安定な検出等の解決が必要である。本論文では、ITV カメラから得られる映像信号からリアルタイムで車両検知および車種判別が可能である実用的な計測システム[5][6]の構築について考える。ビデオ画面には多くの情報が含まれており、画像全体をサンプリングと量子化によって数値化し、高速コンピュータを駆使して情報を分析することも行われているが、ビデオ映像の本来の特徴である動的な情報に対しては、量子化を行う A-D コンバータの高速変換性能や大容量メモリを必要とするため一般化して使用するには至っていない。一方、画面全体ではなく一部分のみを抽出して冗長な情報を棄却すればメモリ容量を大幅に軽減でき、パーソナルコンピュータや簡単なシステムでも情報処理が可能になる。このとき重要となるのは明度の正確な弁別である。汎用のビデオシステムでは、画像の明るさは被写体の平均明度に応じて自動的に調整されており、明度分析範囲の明度も

平均照度に追従して変化する。それゆえ計測対象が屋外である場合、天候や周囲の環境変化による照度の変化が明度分析範囲の明度情報に大きな影響を与え正確な明度情報の抽出が困難となる。特に薄暮時においては道路明度と車両明度との明度差が小さく、単なる明度の振幅弁別では道路の明度雑音が無視できず検出確度が低下する。

本論文においては、明度分析範囲の空間周波数分析に車両幅情報を織り込むことを提案[7][8][9]し、検出確度が飛躍的に向上できることを示す。この手法は車両幅に対応する空間周波数スペクトルを検出対象とする方法であり、周波数分析を積分計算で行うことから車両明度の多様性や路面雑音から受ける影響が軽減される。以下 2. では、明度抽出制御システムについて述べている。3. では空間周波数分析により車両幅情報の抽出が可能であり、車両幅に対応する空間周波数スペクトルを検出対象とすることで車両有無判定が容易に実現できることを示す。また、空間周波数スペクトルを相対的に評価することで車幅情報を簡易的に抽出することが可能であることを示す。4. では周波数分析を用いた画像処理形の車両検知装置の構成と動作原理について述べ、フィールドでの評価実験から実用機としての性能を十分満足することを示す。

2. 明度抽出制御システム

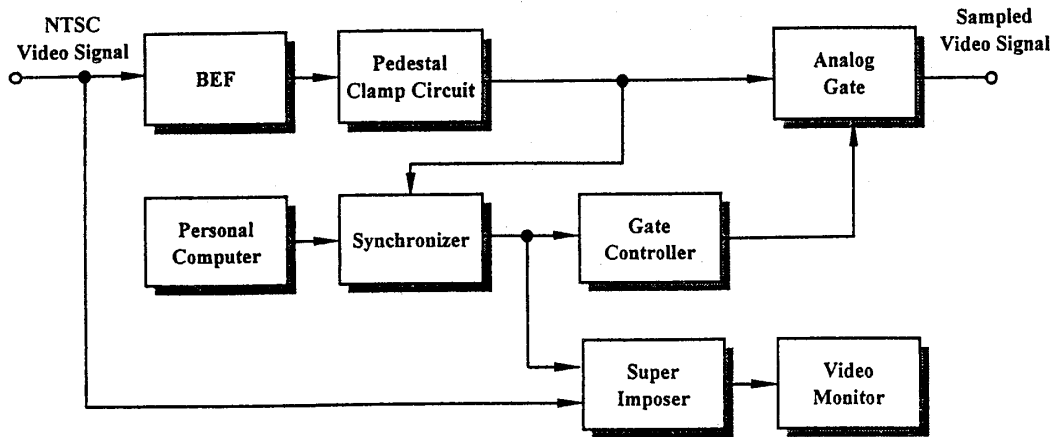


図1 映像信号抽出制御システムの基本構成

コンピュータのグラフィックディスプレイでは図形を輝点の集合として取り扱い、個々の輝点を一画素として制御している。また図形は各画素の輝度情報によって組み立てられており、コンピュータ本体で作り出した図形情報をディスプレイ部に時系列信号で伝送している。このとき発光画素の位置情報は NTSC 方式と同様に時間情報に置き換え、発光画素の左右方向の位置を水平同期信号からの時間遅延量、上下方向の位置を垂直同期信号からの時間遅延量として伝送している。これらの時間遅延量はコンピュータソフトウェアで管理しており、利用者は簡単なプログラムで位置設定ができる。図1は汎用ビデオシステムの NTSC 映像信号から情報抽出と領域設定を行うシステムの原理図である。

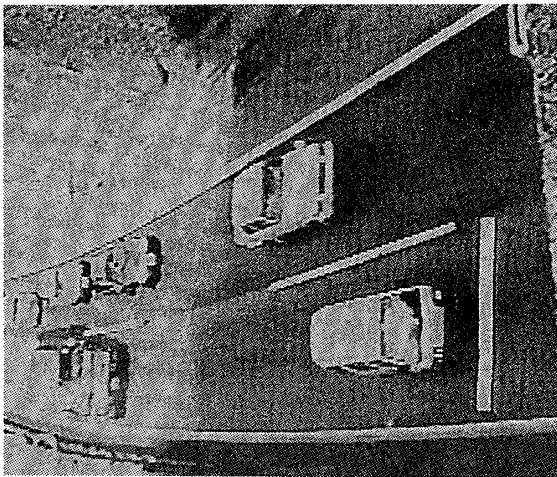


図2 明度分析領域の確認例

システムは映像信号にコンピュータ図形信号を同期させるシンクロナイザ、ゲートコントローラ、映像信号から特定部分の明度を抽出するアナログゲート、スーパインポザ、ビデオモナタ、パーソナルコンピ

ュータから構成している。ただし、コンポジットビデオ信号を 3.58MHz の BEF(Band Eliminate Filter)を通して、カラー成分を除去し輝度信号を取り出している。また、一般にビデオ信号は AC カップリングされており、AC カップリングされた信号はその電圧レベルの分布にしたがって DC レベルが変動する。それゆえ、クランプ回路を設け直流再生したのち、シンクロナイザとアナログゲートに入力している。またこの特定した抽出領域はグラフィック信号と映像信号の重畳によりビデオモナタで図2のように確認することができる。

3. 車両幅情報の抽出

3.1 明度分布のフーリエ変換

TV 映像上の明度分析範囲の明度分布 $m(x)$ を図3のようにモデル化する。

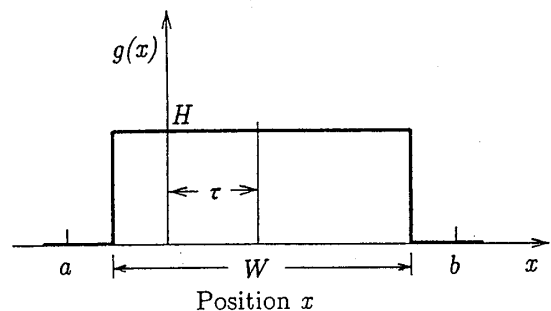


図3 車両明度のモデル分布

このとき、 $m(x)$ は次式で与えられる。

$$m(x) = \begin{cases} H & \tau - W/2 \leq x < \tau + W/2 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (1)$$

ただし $a \leq x \leq b$ であり、 H は車両の明度、 W は車両幅、 τ は車両の通過位置を与える係数である。明度分布

$m(x)$ に直交関数を乗じて積分を行うと明度分布の周波数スペクトルが得られ

$$M(f_x) = \int_{-\infty}^{+\infty} m(x) \exp(-j2\pi f_x x) dx \quad (2)$$

$$= WH \operatorname{sinc}(Wf_x) \exp(-j2\pi f_x \tau)$$

となる。ただし、 $M(f_x)$ は $m(x)$ の一次元フーリエ変換である。それゆえ、 $M(f_x)$ のパワースペクトル $P(f_x)$ は次式で与えられる。

$$P(f_x) = \{WH \operatorname{sinc}(Wf_x)\}^2 \quad (3)$$

ここで計測対象である車両の幅に着目して、車幅 W の 2 倍を基本周期とする高調波成分のみを抽出すると

$$P\left(\frac{n}{2W}\right) = \left\{WH \operatorname{sinc}\left(\frac{n}{2}\right)\right\}^2 \quad (4)$$

となる。ただし $n = 0, 1, 2, 3, \dots$ であり、 $n/2W$ は車幅の 2 倍を基本周期とする n 次高調波周波数である。(4)式から奇数次高調波成分は明度に依存した値となるが、偶数次高調波成分は車両明度によらずいずれも 0 となっている。すなわち、基本的には車両の検知は奇数次高調波成分の検出によって可能であることが示されている。

3.2 車両幅情報の簡易的検出法

実際に道路上を走行する車両の幅はさまざまであり、車両検知のための検出スペクトルを探索することは困難である。システム構成および処理速度の観点からは検出スペクトルをあらかじめ決定しておくことが望ましい。本項ではまず、車両の基準幅を $W = 1.7\text{m}$ と設定し計測対象の車両幅を基準幅 W の α 倍で与えたときの計測対象の車両幅と検出スペクトルの関係について検討を行う。

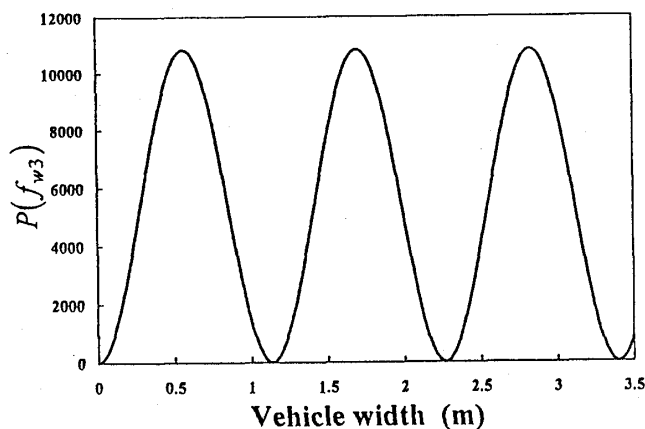


図4 αW と検出スペクトルのパワーの関係

基準幅 W の 2 倍を基本周期とする第 3 次高調波周波

数 f_{w3} は次式で与えられる。

$$f_{w3} = \frac{3}{2W} \text{ cycle/m} \quad (5)$$

したがって、計測対象の車両幅を基準幅 W の α 倍で与えたときの検出スペクトルのパワー $P(f_{w3})$ は次式となる。

$$P(f_{w3}) = \{\alpha WH \operatorname{sinc}(\alpha W f_{w3})\}^2$$

$$= \left\{ \frac{2WH}{3\pi} \sin\left(\frac{3}{2}\pi\alpha\right) \right\}^2 \quad (6)$$

すなわち、図 4 に示すように $P(f_{w3})$ は周期的に変化しており、絶対的なパワーの評価のみでは車両以外の物体までも検知する可能性がある。それゆえ、第 3 次高調波 f_{w3} のパワーを検出量とし、第 2 次高調波 f_{w2} および第 4 次高調波 f_{w4} のパワーの平均値を参照量とする次式で与えられる車両有無判定のための特徴量を定義する。

$$\rho(W) = \frac{P(f_{w3})}{\{P(f_{w2}) + P(f_{w4})\}/2} \quad (7)$$

それゆえ、車両幅比 α と特徴量 $\rho(W)$ の関係は次式

$$\rho(W) = \frac{2\{\alpha WH \operatorname{sinc}(1.5\alpha)\}^2}{\{\alpha WH \operatorname{sinc}(\alpha)\}^2 + \{\alpha WH \operatorname{sinc}(2\alpha)\}^2} \quad (8)$$

$$= \frac{2 \operatorname{sinc}^2(1.5\alpha)}{\operatorname{sinc}^2(\alpha) + \operatorname{sinc}^2(2\alpha)}$$

で与えられ、 α の増減によって特徴量 $\rho(W)$ は低下するが、道路上を走行している車両は一般に小型車両、中型車両、大型車両の三種類に分類できることから、それらの代表的車幅を $W_S = 1.4\text{m}$ 、 $W_M = 1.7\text{m}$ 、 $W_L = 2.0\text{m}$ と設定し、3 種類の特徴量 $\rho(W_S)$ 、 $\rho(W_M)$ 、 $\rho(W_L)$ を用いて車両検知を行う。

$$\rho(W_S) = \frac{2P(1.071)}{P(0.714) + P(1.429)} \quad (9)$$

$$\rho(W_M) = \frac{2P(0.882)}{P(0.588) + P(1.176)} \quad (10)$$

$$\rho(W_L) = \frac{2P(0.75)}{P(0.5) + P(1.0)} \quad (11)$$

図 5 に計測対象の車幅と提案する特徴量 $\rho(W_S)$ と $\rho(W_M)$ および $\rho(W_L)$ の関係を示す。図 5 から特徴量に適当なしきい値を設けることで車両のみの検知が可能

であることが示されている。

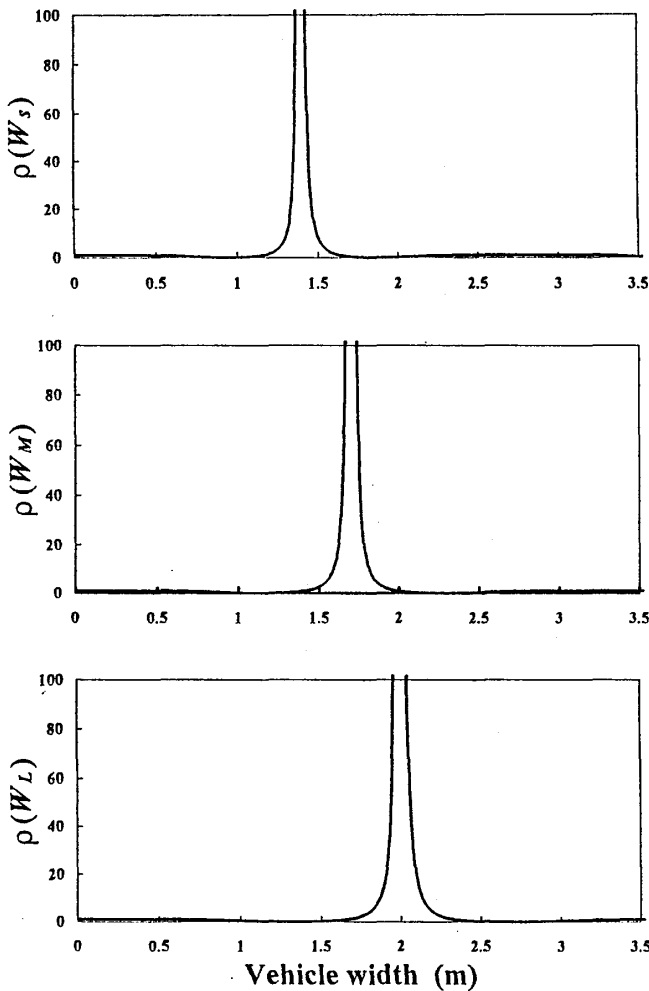


図5 計測対象の車両幅と提案する特徴量の関係

3.3 実測データへの適用

現実に得られる明度分析範囲の明度分布は道路明度と車両明度の合成明度であり、AD変換による離散値明度分布である。それゆえ、現実に得られる明度分布を $m(x)$ から $f(k)$ (ただし $k=0,1,2,3,\dots,N-1$ であり、 $f(k)$ は k 番目の輝度値)と修正し、次式で与えられるものとして考察を行った。

$$f(k) = r + m(k - \xi) \quad (12)$$

ただし、 N はサンプル点数であり明度分析範囲内に存在する映像走査線の数である。また、 r は道路明度分布、 $m(k - \xi)$ は(1)式を離散化した車両明度分布に対応している。スペクトル変換結果における道路明度の影響を除去するため、 $f(k)$ を明度分析範囲長 $b-a$ の周期関数とみなすとき次式が成り立つ。すなわち、道路の明度情報は直流成分のみに影響をおよぼし、基本波成分以上の高調波成分には影響しない。

$$F(n) = \sum_{k=0}^{N-1} f(k) \exp\left\{-j2\pi\left(\frac{n}{N}\right)k\right\} \quad (13)$$

$$= \sum_{k=0}^{N-1} r \exp\left\{-j2\pi\left(\frac{n}{N}\right)k\right\} + \sum_{k=0}^{N-1} m(k - \xi) \exp\left\{-j2\pi\left(\frac{n}{N}\right)k\right\}$$

ただし、 n は周波数のインデックスである。このとき、パワースペクトル $P(n)$ は次式で与えられる。

$$P(n) = \left| \sum_{k=0}^{N-1} \{r + m(k - \xi)\} \exp\left\{-j2\pi\left(\frac{n}{N}\right)k\right\} \right|^2 \quad (14)$$

ここで、 $n \geq 1$ では

$$\sum_{k=0}^{N-1} r \exp\left\{-j2\pi\left(\frac{n}{N}\right)k\right\} = 0 \quad (15)$$

であることから

$$P(n) = \left| \sum_{k=0}^{N-1} m(k - \xi) \exp\left\{-j2\pi\left(\frac{n}{N}\right)(k - \xi)\right\} \right|^2 \quad (16)$$

ここで $\varphi = k - \xi$ として

$$P(n) = \left| \sum_{\varphi=-\xi}^{N-1-\xi} m(\varphi) \exp\left\{-j2\pi\left(\frac{n}{N}\right)\varphi\right\} \right|^2 \quad (17)$$

が得られる。 $m(\varphi)$ は周期 N の周期関数であるから

$$\begin{aligned} m(-\eta) \exp\left\{-j2\pi\left(\frac{n}{N}\right)(-\eta)\right\} \\ = m(N - \eta) \exp\left\{-j2\pi\left(\frac{n}{N}\right)(N - \eta)\right\} \end{aligned} \quad (18)$$

であり、それゆえ $n \geq 1$ でのパワースペクトル $P(n)$ は

$$P(n) = \left| \sum_{k=0}^{N-1} m(k) \exp\left\{-j2\pi\left(\frac{n}{N}\right)k\right\} \right|^2 \quad (19)$$

で与えられ、離散明度分布 $f(k)$ から車両明度 $m(k)$ の車幅情報のみの抽出が可能となる。ただし、3.で示したように車両検知のための特徴スペクトルは、車幅の2倍を基本周期とする高調波周波数である。それゆえ、周波数分解能の観点から

$$f(k) = \begin{cases} f(k) & k \leq N-1 \\ f(N-1) & N-1 < k < N_p-1 \end{cases} \quad (20)$$

とすることで、離散演算による車両検知を実現している。ただし、実験においては $N_p = 256$ に設定している。

4. 画像処理形車両検知装置への応用

4.1 システム構成と動作原理

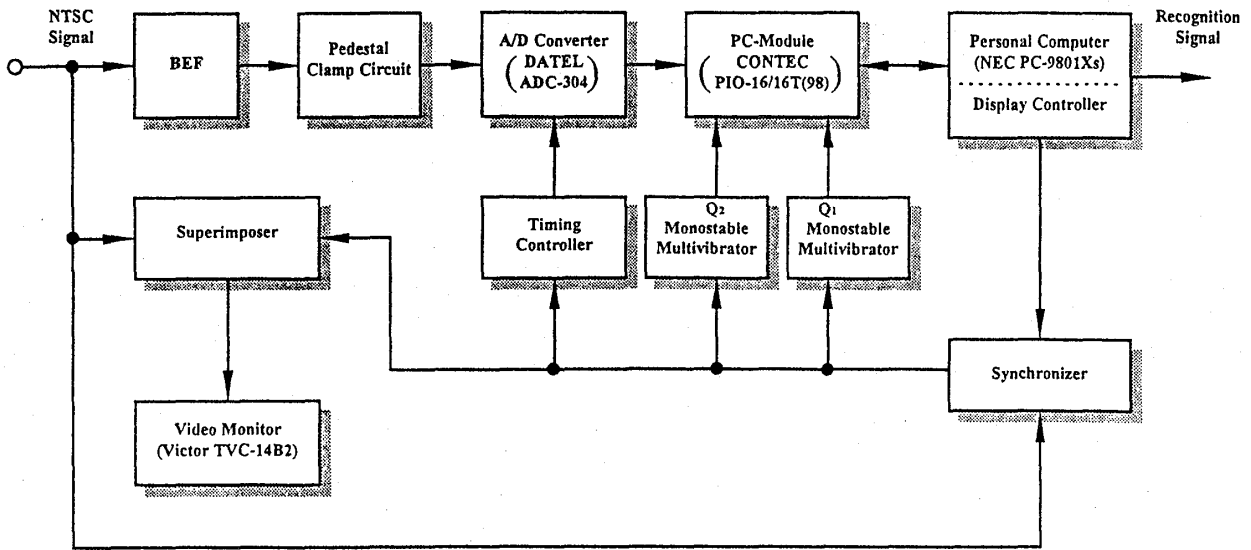


図6 車両検知システムのブロック図

図6は車両検知システムのブロック図である。システムは映像信号にコンピュータ図形信号を同期させるシンクロナイザーと映像信号から特定部分の明度を抽出するAD変換器およびタイミングコントローラを主体に構成しており、明度分析範囲をグラフィック信号で定義し、この信号でAD変換器を制御して信号抽出を行っている。

り込みを発生する。 Q_2 はA-Dデータを明度分析範囲の上端から順にコンピュータに取り込むための制御信号として利用しており、 Q_2 のリーディングエッジを検出してからHIレベルの間のみCPUは割り込みを許可し、A-Dデータを取り込む。図7は明度情報抽出システムの外観である。

4.2 実験結果

図8に車両交通量計測結果を示す。横軸は時間であり、縦軸は5分間交通量を意味している。

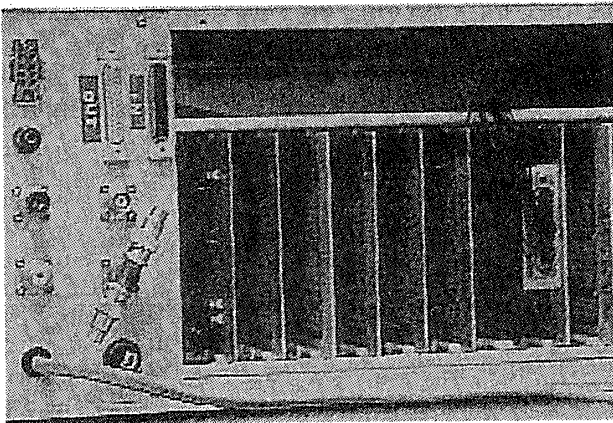


図7 明度情報抽出システムの外観

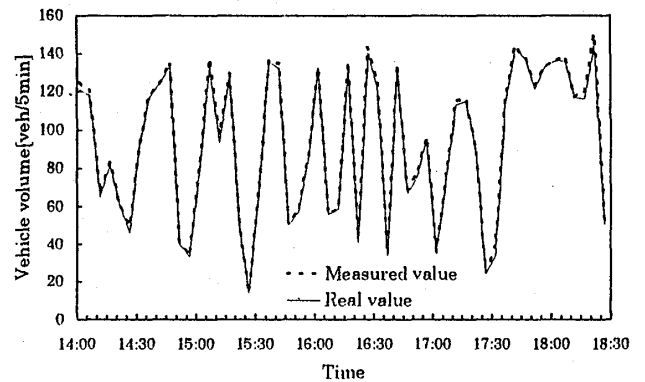


図8 車両交通量の変動

AD変換器(DATEL ADC-304)は単一のクロック(変換開始パルス)で駆動される。変換開始パルスの立ち上がり時のアナログ入力信号がデジタル化され、変換開始パルスの立ち下がりから25 nsecないし35 nsec遅れて出力される。 Q_1 は一般に割り込み要求信号と呼ばれるものであり、CPUに対してA-D変換の終了を知らせ割

交通状態は時々刻々と変化しているが、本論文で提案した計測手法を用いることで流れを把握できることが示されている。図9に大型車両の判別結果、図10に普通車両の判別結果を示す。結果から、本手法を用いることで現実の交通流において大型車両、普通車両の

交通量の計測,さらにはその交通流把握が可能であることが示されている.また処理時間はデータの取り込み時間を含め 33 m sec 未満であり,リアルタイム処理が可能である.これらのことから,提案した画像処理形の車両検知システムは実用器としての性能を十分満足することが実証された.

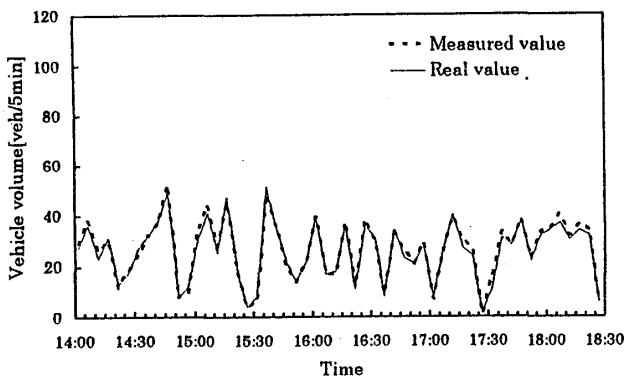


図9 交通量(大型車両)の変動

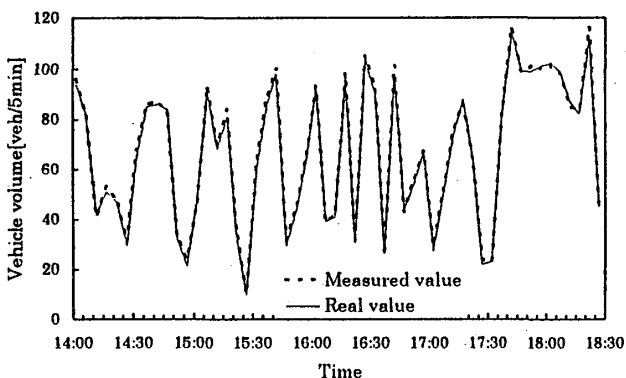


図10 交通量(普通車両)の変動

5. むすび

本論文ではITVカメラから得られる映像信号からリアルタイムでの車両検知が可能である実用的な計測システムについて述べた.得られた結果を要約すれば次のようになる.

(1) 画像上の計測領域をコンピュータのグラフィック信号で定義し,アナログ-デジタル変換器をそのグラフィック信号を利用して制御することにより,画像内の任意に指定する計測領域の明度情報の抽出が可能であることを示した.

(2) 画像の空間周波数分析により車幅情報の抽出が可能であり,車両幅に対応する空間周波数スペクトルを検出対象とすることで車両有無判定が実現できることを示した.

(3) 空間周波数スペクトルを相対的に評価することで簡易的な車幅情報の抽出が可能であることを示し,システムの単純化と処理速度の高速化を実現した.

(4) 周波数分析を用いた画像処理形の車両検知装置を作製し,実用機としての性能を十分満足することを実証した.

参考文献

- [1] 関明伸,古澤春樹,谷口博康,池端重樹:トンネル走行車両の画像計測方式,計測自動制御学会第8回パターン計測部会研究会資料,9-13(1989)
- [2] 関明伸,古澤春樹,谷口博康,斎藤光夫:交通流画像計測,三菱電機技法,Vol.66,No.7,pp.42-45(1992)
- [3] 林田光紀,福島敏弘:外部環境変化に強い画像形車両センサー,OMRON TECHNICS,Vol.32,No.2(1992)
- [4] T.Nakanishi,H.Kirita,K.Taguchi,K.Kariya:"Automobile Speed Measurement on TV Picture",Proc.of IMEKO TC1 & TC7 Colloquim,pp.401-406(1993)
- [5] 田口耕造,小野川義彦,苅屋公明,中西恒彦:TV映像からの車両認識,システム制御情報学会論文誌,Vol.6,No.10,pp.446-453(1993)
- [6] 吉川仲次,田口耕造,中西恒彦:TV画像による交通量計測,電気学会論文誌,
- [7] K.Taguchi,I.Mizoshiri,T.Nakanishi,K.Kariya:"Width Measurement using Video Signal",Proc.of IMEKO World Congress,pp.960-965(1994)
- [8] 近藤広隆,田口耕造,中西恒彦:TV映像の空間周波数分析による交通流計測,Vol.116-C,No.11(1996)
- [9] 田口耕造,溝尻勲,中西恒彦:周波数領域における車両幅計測,第39回自動制御連合講演会,SS15(1996)