パターン認識手法を用いた車間距離の測定[†]

広瀬 武志*・松本 俊哲*

A New Instrumentation Method of Vehicular Gap Using Pattern Recognition Technique

Takeshi HIROSE* and Shuntetsu MATSUMOTO*

This paper introduces the operating principle and the experimental result of a vehicular gap measurement system using a pattern recognition technique. This measurement system consists of a sign board at the back of a preceding-car, a TV camera mounted on the hood of a following-car and a processing device installed in the following-car.

This sign board has a specific pattern most unlikely seen in a highway traffic environment. Utilizing the fact that the size of the image of the specific pattern taken by the TV camera is inversely proportional to the gap between the TV camera and the sign board, the vehicular gap is measured. But the image is converted into a video signal, the pattern recognition technique is applied to this video signal in order to select the specific pattern from among other visual patterns.

The pattern recognition process is performed by the processing device. This device consists of a preprocessing circuit, a pulse spacing measuring circuit, a comparing circuit, a judging circuit and a converting circuit. These circuits operate as follows.

- (1) In the preprocessing circuit, the changing points between a bright spot and a dark spot in the video signal are extracted in pulse signals.
- (2) The pulse spacing measuring circuit computes the time interval between the above extracted pulse signals.
- (3) The comparing circuit compares the ratio of the above pulse spacing with that to be expected from the given specific pattern.

(4) The judging circuit selects only the pulse train corresponding to that of the specific pattern.

(5) The converting circuit converts the pulse spacing of the above pulse train into the distance of the vehicular gap.

This measurement system was successfully tested on Chuodo highway and Shin-ohme street. The TV camera with a 150 mm lens was used on Chuodo highway so that it was possible to measure vehicular gaps ranging from approximately 10 to 160 m with a high vehicular speed up to 80 km/h. And using a 50 mm lens on Shin-ohme street, it was possible to measure vehicular gaps 3 to 50 m long.

1. ま え が き

走行中の自動車上で、先行車との車間距離を測定することは、追走とか追越し現象の解析、交叉点における自動車群の走行パターン¹⁾の調査などの自動車群を対象とした研究をすすめるうえで重要な問題である。

これまで車間距離を測定する方法としては、先行車と後続車の間にロープを張りその一端を自動巻取り式のリールに結び、ロープの長さから測定する方法とか、マイクロ波レーダを使用する方法²⁾、先行車後部に目印の看板を取付け、これを後続車内からシネフィルムに撮影し、現像したフィルムの画像解析によって測定する方法³⁾などがあつた。しかし、最初の方法は一般道路では使用できず、2番目の方法は測定値の不安定性と価格の面で難点があつた。最後の方法は装置も手軽であり、精度の良いデータが得られるので良く使用されるが、実時間の測定ができないという欠点があつた。

本論文は、この車間距離の測定手法に関するものであつて、映画フィルムの画像解析の方法における映画撮影機のかわりに ITV カメラを使用する。そして、人間が行っていた画像解析を、パターン認識手法を適

[†] 第 15 回計測自動制御学会学術講演会で発表 (昭 51・8)

* 機械技術研究所 東京都東村山市富士見町 5-12-2

* Mechanical Engineering Laboratory, Higashi-murayama

(Received November 25, 1977)

用した処理装置に行わせ、車間距離を
実時間で測定する方法について述べ
る。

映画フィルムの画像解析の方法で
は、1コマ1コマの静止画像の中から
目印の看板を人間が認識し、その画像
幅を測定して車間距離に変換する。こ
れに対して、ITVカメラではその映
像情報が即座に得られるが、その映像
は撮像面で2次元的に走査され、映像
の明暗に関連した時間間数として1次

元の電気的映像信号に変換される。それゆえ、車間距
離を求めるには、この映像信号の中から何らかの方法
で自動的に目印の看板を認識し、画像幅を測定する必
要がある。

本論文の構成は、まずこの目印の看板の認識手法に
ついて述べ、つぎにこの認識手法に適合した目印の看
板を製作するため、道路環境において行った調査の方
法とその結果について述べる。そして、測定装置のお
おの構成機器の詳細を説明し、最後に高速道路およ
び一般市街地での走行実験の結果を述べる。

2. 測定方法

車間距離測定装置は Fig. 1 に示すように、走行車
後部に取付けた目印の看板（以下測定用パターンと記
す）、後続車に設置した ITV カメラおよび後続車内の
処理装置から構成される。この装置の測定原理は、
ITV カメラで測定用パターンを撮影したとき、その
空間的映像の大きさが測定用パターンから ITV カメ
ラまでの距離に反比例することを利用する。しかし、
ITV カメラの映像は電気的映像信号に変換されてい
るので、この中から測定用パターンだけを認識し、そ
の画像幅を測定する。

この認識過程を Fig. 2 によって説明する。同図
において(a)はモニタ像であり、(b)はこのモニタ上の
測定用パターンを横切る部分の走査線（モニタ上の白
線部分）の信号波形である。Fig. 2.1 は測定用パタ
ーンを取付けた先行車を撮影したものである。同図(b)

Fig. 2 Edges finding process from video signal

のような映像信号の中から、直接測定用パターンを認
識することは、現在の情報処理技術では困難である。
そこで、このような濃淡画像から図形を認識するため
に、パターン認識の分野で最も広く行われている縁・
線の抽出手法³⁾を利用する。これは一般的には電子計
算機を使用した空間的微分処理によって線画を作成す
ることであるので、実時間の処理を目的とするこの手
法には適さない。そこで、ここでは空間的微分処理の
かわりに、映像信号を時間的に微分する。Fig. 2.2 は
その微分された映像および波形であるが、映像の水平
走査方向への明暗の変化の度合いに比例したものに交
換される。

この微分信号のある適当な値を越える部分を抽出
し、さらに一定幅のパルスに波形整形する。これは映
像内において水平走査方向での明暗が急激に変化して
いる点（明暗変化点と定義する）を抽出することであ
る。Fig. 2.3 は水平走査方向に暗から明への変化点を
抽出した線画と、その線の部分に対応したパルス列信
号である。

さて、ここで使用した測定用パターンは、明暗変化
点が抽出されやすいように白黒の縦縞が描かれてお
り、水平方向を左から右に見て、黒から白に変わる縁
の間隔は 1:2:1:2:1 の比率の規則性をもっている。
それゆえ、測定用パターンから生ずるパルス列の
時間間隔にも同様の規則性が見られる。しかも、測定
用パターンが垂直方向に有限の幅をもっているため、
この幅に相当する走査線の数だけ連続してこの規則性
は分布している。そこで、このパルス列の時間間隔の
規則性を抽出する手法（以下これを間隔規則性抽出手
法と記す）と、この規則性が数本の走査線に渡って連
続して分布していることを判断する手法（以下これを
走査線連続抽出手法と記す）を利用する。これによ
って、道路環境から生ずる多くのパルス群の中から、測
定用パターンから生ずるパルス列だけを抽出し、これ
を測定用パターンとして認識する。

Fig. 1 Block diagram of vehicular gap measurement system

この抽出されたパルス列の時間間隔を測定すれば、これは測定用パターンの画像幅の一部に対応しているので、車両距離を求めることができる。

3. 道路環境における明暗変化点の分布状態の調査

先行車に取付ける測定用パターンは、それから生ずる明暗変化点の分布が、道路環境のもとでは存在しないような特殊な規則性を有するものが望ましい。この規則性は、それを複雑にするほど道路環境に存在する確率は小さくなるが、それにつれてその処理回路も複雑になる。そこで、処理が比較的簡単と思われるいくつかの明暗変化点分布の規則性を設定し、それぞれの規則性の道路環境における分布状態を調査し、測定用パターンを製作する参考とした。

調査方法は、自動車前部に ITV カメラを進行方向に向けて設置し、一定速度で走行しながら撮影した道路環境の映像信号をビデオテープレコーダに録画する。そして、これを研究室内で再生し、その際微分し、波形整形したうえで、明暗変化点群をパルス列信号として抽出する。この微分は Fig. 3 の左図に示すような簡単な CR 回路で行う。なお、同右図は入出力信号の関係を示したものである。微分の時定数 τ は、水平走査の時間が $63.5 \mu\text{sec}$ であるのに対して、 $0.05 \mu\text{sec}$ である。この微分信号のうち、微分の最大値（映像信号入力最大 $1V_{p-p}$ の場合 $1V$ が理論的最大値）の $1/10$ 以上の信号を抽出し、この調査での明暗変化点と定義する。これは $2V/\mu\text{sec}$ 以上の傾斜をもつ映像信号変化に相当する。このパルス列信号の中から、設定した明暗変化点分布の規則性が単位時間内に何回抽出されるかを計数する。

調査場所は、中央高速道の八王子インターチェンジから国立府中インターチェンジまでの約 8km で、この区間内を 60km/h の一定速度で走行した。日時は7月3日午後3時頃、天候は快晴、照度は平均 $12,000\text{lux}$ であった。ITV カメラには焦点距離 150mm で、距離は無限度、絞りは F16 に設定したレンズを使用し、その映像信号を VTR に録画した。

Fig. 3 Differentiator

Table 1 Survey of brightness/darkness changing points in road environment

Regularity of pulse spacing ratio	Numbers of scanning line	A	B	C	D	E	F	G
1:1:1:1:1	1	123	35	157	71	661	329	7140
	2	19	9	32	13	129	835	2993
	3	7	1	93	2	13	142	761
1:1:1:1:1:1	1	29	6	115	8	299	1015	3997
	2	12	2	183	1	31	251	1218
	3	3	0	24	0	9	83	253
1:1:1:1:1:1:1	1	2	1	786	1	156	467	2072
	2	0	0	137	0	17	88	671
	3	0	0	11	0	6	12	105

Table 2 Survey of brightness/darkness changing points in road environment

Regularity of pulse spacing ratio	Numbers of scanning line	A	B	C	D	E	F	G
1:2:1:2	1	41	28	127	62	111	164	290
	2	8	6	11	4	6	15	13
	3	1	0	3	0	2	7	3
1:2:1:2:1	1	5	11	8	3	15	19	27
	2	0	3	1	0	2	7	3
	3	0	0	0	0	1	2	1
1:2:1:2:1:2	1	0	3	0	0	6	8	6
	2	0	0	0	0	0	1	1
	3	0	0	0	0	0	0	0

この録画テープを再生の際に1分間ごとに区切り、全区間を A, B, C, D, E, F, G の7区間に分割する。そして、Table 1 ではパルス列の間隔の規則性として、まず等間隔性を採用し、それが3回、4回、5回連続する場合を調査対象とした。そして、さらに上記の等間隔性が1本の走査線だけに発生する場合と、隣接する2本または3本の走査線にわたって発生する場合について分類し、その明暗変化点分布の発生頻度を各区間ごとに計数した。その結果、C, F, G 地区での発生頻度が異常に大きいことが観察された。そこで、TV モニタを監視しながら再調査したところ、道路曲線部分でのガードレールの柱、歩道橋の欄干、フェンスの支柱などの人工的建造物から等間隔性が発生することが判明した。そこで、Table 2 では間隔の規則性を、その間隔が1:2の比率で周期的に2回、2回半、3回繰り返す場合を設定し、Table 1 と同様の調査を行った。この場合も上記の C, F, G 地区での発生頻度がやや大きい傾向はあるが、Table 1 の場合と較べると発生頻度は全体に低く、地区による大きな差も発生しなかった。

この調査の結果、処理回路が一番簡単な等間隔の規則性は、道路環境に存在する確率が高く、測定用パターンには不適当であるが、1:2の間隔の比率の規則性で、隣接する2本または3本の走査線にわたってこの規則性が発生する組合せは、道路環境に存在する確率が非常に低いことが判明した。

4. 車間距離測定装置の機器構成

すでに Fig. 1 に示したように、車間距離測定装置は測定用パターン、ITV カメラおよび処理装置で構成されている。この各装置の詳細を以下に説明する。

測定用パターンは前章の調査結果から、その明暗変化点の間隔が1:2の比率の周期をもつものを採用することにした。しかし、この周期の連続回数を決めるには測定装置の認識精度、ITV カメラの分解能と視界および自動車の横幅で測定用パターンの大きさが制約されることなどを考慮する必要がある。ここでは測定距離範囲をなるべく広くする目的で Fig. 4 に示す測定用パターンを製作した。大きな黒白の縦縞は遠距離測定用で、暗から明への変化点だけが1:2:1:2の間隔の規則性をもっている。下段の小さな縦縞は近距離測定用で、上とは逆に明から暗への変化点だけが1:2の周期の間隔の規則性をもっており、大きな縞の1/4のスケールになっている。そして、周期の連続回数は7回あるが、そのうちの2周期(1:2:1:2)がITV カメラの視界内にあれば測定できる。

検出器として使用するITV カメラは、Fig. 5 に示すように自動車右前部フード上に設置する。機種は池

Fig. 4 Sign board

Fig. 5 ITV camera

上通信機製 CTC-6000 で、走査方式だけは走査線連続抽出手法に都合の良いように、飛越し走査をするインターレス方式から順次走査方式に改造してある。レンズは150mm望遠で、距離無限大、絞りは焦点深度を深くする目的でF16に設定する。

このITV カメラからの映像信号の処理装置の回路構成を Fig. 6 に示す。映像信号はまず前処理回路で微分される。この微分は Fig. 3 に示したものと同様のCR回路で行われる。同図において、回路に矩形波を加えるとRの端子電圧 e_R は、時定数 $\tau=CR$ としたとき、 $\tau \ll T/2$ (T : 矩形波の周期)の条件が満足する範囲では、 $e_R = CR \frac{dV}{dt}$ となり印加電圧を微分したものにおおよそ比例する⁴⁾。ところで、この装置の測定距離範囲の上限を150mと設定すると、このとき測定用パターンの黒白の縞は映像信号では矩形波となり、間隔1の部分に対応する周期は $T=0.73 \mu\text{sec}$ となる。そこで、微分の時定数 τ は上記の条件を満足するように、 $\tau=0.05 \times 10^{-6} \ll 0.37 \times 10^{-6} = T/2$ ($C=50 \text{ pF}$, $R=1 \text{ k}\Omega$)と設定した。

この微分信号から明暗変化点を抽出するにあたり、測定用パターンまでの距離と、その映像波形および微分波形の振幅との関係を、照度をパラメータとして調査した。Fig. 7にこの関係を示すが、一般に同図(1)のような特性をITV カメラの square-wave response とか amplitude response⁵⁾ と称し、黒白の縞の間隔が細くなるに伴ってその振幅は減少する。この特性は測定時の照度によっても変化し、照度を徐々に落してゆくと、振幅も減少する。同図(2)は微分波形の正方向の振幅をプロットしたものであるが、(1)と同様の傾向を示す。この微分信号を、コンパレータによって適当な正、負の電圧レベル(コンパレート・レベル)と比較して、明から暗、暗から明への変化点を抽出し、さらに、単安定マルチバイブレータによって一定幅のパルス列信号に波形整形する。このコンパレート・レベルは、照度が750 lux 以上のとき150mまで測定できるように、 $\pm 0.5 \text{ V}$ に設定した。ただし、このコンパレート・レベルは測定条件に対応して、自由に変更できるように設計されている。

波形整形された明から暗、暗から明への変化点を示す二つのパルス列信号は、並列に処理されるのではなく、どちらか一方が選択される。これは、1回の垂直走査(1フレーム)の間に設定した規則性が抽出されたときには、つぎの1フレームの間もそのパルス列信号を維持し、抽出されないときにもう一方のパルス列信号に自動的に切り換える。つまり、遠距離用のパターンが視界からはみ出るほどのときは近距離用を、そ

Fig. 6
Block diagram of processing device

Fig. 7 Operating characteristics of preprocessing circuit

して近距離用のパターンの明暗変化点が抽出できないほど離れたときは遠距離用を自動的に選択する。

選択されたパルス列信号はパルス間隔測定回路に入力される。このパルス列信号が“1”のとき、カウンタ1をリセットし、“0”の間の時間間隔を水晶振動子を使用した発振器の出力を計数することによって測定する。発振器の周波数は 20 MHz、カウンタ1は2進8桁で構成され、最大 255 個まで計数できる。カウンタ1の計数値は、つぎの“1”のパルスでリセットされる直前に、シフトレジスタAに転送される。このとき、シフトレジスタAの元の値は、シフトレジスタBに同時に転送されるので、シフトレジスタA,Bには隣接するパルス間隔値が記憶される。

比較回路では、1:2:1:2の間隔の規則性に対応して、Bの値を判定回路のカウンタ2の計数値が偶数のときは2倍し、奇数のときは1/2倍し、Aとの差の絶対値を求める。そして、この値が適当な誤差範囲 ΔA (パルス間隔Aの $1/2^N$ 倍) 内にあるか否かを比較する。この誤差範囲の値は、実験の結果から $\frac{1}{16}A$ に設定した。

比較回路からの信号は判定回路のカウンタ2に導かれ、 $|A - kB| - \Delta A \leq 0$ の場合には1カウントし、 $|A - kB| - \Delta A > 0$ の場合はリセットする。すなわち、カウンタ2が“3”をカウントしたとき、間隔規則性抽出手法が実行されたことになる。この“3”の計数値はシフトレジスタDにセットされ、水平同期信号によってつぎつぎと転送される。このシフトレジスタDの並列出力の論理積を求めれば、走査線連続抽出手法が実施される。この走査線の連続本数は1走査線だけと2本、3本と手で切り換えることができるが、実験の結果では2本で十分であり、これ以上増やすとえって遠距離の測定が困難になった。

判定回路からの論理積が“1”のとき、すなわち、測定用パターンが認識されたとき、シフトレジスタBの値を変換回路のシフトレジスタCに転送する。そして、この値をD-A変換器でアナログ量に変換するが、このアナログ量は車間距離に反比例しているの、アナログ形除算器を使用して逆数を求める。そして、前処理回路で選択されたパルス列信号が、明から暗への変化点を抽出した近距離測定用の信号であるときのみ、除算器の出力を1/4倍すれば、車間距離を出力電圧に比例した値として連続的に測定できる。

5. 走行実験

この測定装置を使用して、中央高速道(最高速度制限 80 km/h)において走行実験を行った。Fig. 8はそのときの測定データで、車間距離を任意に変更して測定したものである。同図において1ch(チャンネル)には判定回路の論理積を、測定用パターン確認信号として記録した。これは車間距離測定データの信頼性を示す尺度となるもので、密度濃く“1”を表示してい

Fig. 8 Experimental result on Chuodo highway

Fig. 9 Experimental result on Shin-ohme street

箇所のデータは信頼性が高い。これに対して、まばらに“1”のある箇所のデータは信頼性は低く、“0”を表示している箇所のデータは、過去のデータをホールドしているにすぎない。2ch. は車間距離測定データで、フルスケール 160 m である。そして、3ch. には後続車の速度を、プロペラシャフトの回転数をタコジェネレータで検出して記録した。4ch. は先行車の速度データで、同じくプロペラシャフトの回転数をタコジェネレータで検出し、テレメータで後続車に送信して同一記録紙上に記録させた。この測定データにおいて、遠距離での測定値のばらつきは、パルス間隔測定回路のカウント 1 の計数誤差によるものと思われる。また、データ後半のヒゲ状の大きな測定値の変化は誤認識によるものと思われる。

ところで、この装置は高速道路での測定を目的として設計・製作されたものである⁶⁾が、一般市街地での測定の可能性を試すため、新青梅街道（最高速度制限 40 km/h）において走行実験を行った。高速道路と比較すると、車間距離はずっと狭くなるので焦点距離 50 mm のレンズを使用した。Fig. 9 はそのときの測定データであるが、高速道路での実験と同様のデータを記録させた。この実験においては、高速道路での測定ではあまり効果のなかった遠近両用の測定用パターンは、交叉点で赤信号で停止する場合などに生ずる非常に狭い車間距離も測定でき、十分にその能力を発揮した。しかし、一般道路での明暗変化点の分布は非常に複雑であり、しかも建造物や樹木の蔭が多く、照度が非常に変化する。そのため、測定データには誤認識が原因と思われる、急激に変化する測定データが少なからずあり、また、ITV カメラ視界内に測定用パターンが存在するのに認識できない場合が観察された。

しかし、どちらの測定例も、自動車の動特性を考慮し、パターン確認信号を参考にして測定データを再評

価すれば、実用上十分満足すべきデータである。

6. あとがき

ITV カメラがとらえた道路という複雑な環境の中から、測定用パターンを認識するためまず映像信号を微分処理して明暗変化点だけを抽出した。この微分処理によって生ずる測定用パターンの明暗変化点の分布は、道路環境における明暗変化点の分布状態の調査に基づき、前もって道路環境には存在しないような特徴をもたせた。この特徴を道路環境から生ずる多くの明暗変化点群の中から、間隔規則性抽出手法および走査線連続抽出手法を適用した論理回路を使用して抽出した。これによって、測定用パターンを実時間で認識し、その明暗変化点の間隔から車間距離を測定した。

そして、中央高速道および新青梅街道での走行実験の結果、高速道路と街路とは走行速度の差から車間距離が大幅に異なるが、ITV カメラのレンズを高速道路では長焦点のレンズに、街路では短焦点のレンズに交換するだけで、それぞれの場合に要求される測定距離範囲を確保できることが判明した。

この装置の測定精度は、照度 10,000 lux の路面上において、停止状態の自動車を対象として測定したが、測定範囲の下限での誤差は 2%、上限では 10% であった。しかし、測定精度は測定時の照度の変化とか、両車輦の姿勢角のずれに影響されるので、走行実験時の測定精度を正確に測定することは困難である。

この測定装置の欠点は、太陽光線の角度とか照度の変化による測定の不安定さにある。この問題については、自照式の測定用パターンを製作するとか、明暗変化点抽出のコンパレータ・レベルを照度によって自動的に調整するなどの方法を、現在検討中である。もう一つの欠点は、ITV カメラの走査の非線形さとか、処理回路の演算の誤差などによって、誤動作が生ずる可

能性があることだが、実際の測定においては、ほとんどその影響を受けなかった。

本研究をすすめるにあたっては、機械技術研究所自動車安全公害部 菊池英一前部長（現、職業訓練大学校教授）には懇切なるご指導をたまわり、また、実験の実施にあたっては当所の池田喜一、重田清子の両氏のご協力をいただいた。この機会にあわせて感謝の意を表する。

参 考 文 献

- 1) 安坂, 加藤: 三角波変調 FM-CW レーダの改良, 電子通信学会光・電波部門大会 (1976)
- 2) 小林 実: 追い越し動作に關与する二, 三の要因について, 科警研報告・交通編, 9-1 (1968)
- 3) 長尾, 金出: パターン認識における縁・線の抽出, 電子通信学会誌, 55-12, 1618/1627 (1972)
- 4) 川上正光: 電子回路 I, 共立全書 50, 52/54 (1953)
- 5) 和久井: ITV カメラ, 日本放送出版協会, 133/144 (1973)
- 6) 広瀬ほか: 自動車シミュレータによる追走の模擬, 第16回 FISITA 国際会議, 6-131/6-138 (1976)