微小光電素子群を利用した実交通流計測[†]

大 山 尚 武*・重 田 清 子*

Measurement of Traffic Flow Using Fine Photoelectric Elements

Naotake Ooyama* and Kiyoko Shigeta*

The detector using fine photoelectric elements was developed to measure the spatial distribution of vehicle velocities on the flow of traffic¹⁾. To test the equipment and to investigate possible advantages for traffic control, an installation was made on Route 15 in Tokyo. The field test was carried from March 1978 to September 1980. This paper describes the results of this test. Concluding remarks are as follows. (1) The detector has stably and correctly worked for two years without a repair and a regulation. (2) The error in measuring vehicle velocities is less than ± 3 km/h. (3) As the new area detection capability, the detector is able to estimate the vehicle density in the detection area.

1. はじめに

実交通流のオンラインリアルタイム制御は 1963 年 7 月カナダのトロントに端を発し²⁾、現在では世界各地に普及している。日本においても都道府県庁所在地をはじめとする都市部³⁾や高速道路⁴⁾において、すでに稼働を続けている。最近では、このような広域交通管制システムの機能向上が重要な課題となっている。そのための手段の一つとして計測方法の改善がある。現在、主として使用されている超音波式ならびにループ式の車両感知器⁵⁾は、一基当りの検出領域がいずれも数平方メートルである。これに対して、一基当りの検出領域が数百平方メートル以上に及ぶ検出器の開発が試みられている。電磁効果を利用して検出領域内の車両密度を検出する長大ループ方式⁶⁾、検出領域の光学映像上に微小光電素子群を配列して速度分布を検出する方式¹⁾、ITV の画像処理による交差点内の車両挙

動の検出⁷⁾、さらには CCD イメージセンサを用いて速度分布や行列長を検出する^{8), 9)} 試みなどがある。

本論文においては微小光電素子群方式について検討する。機器設計についてはすでに報告しているので¹⁾、ここでは検出器を実交通流の現場に設置し、2年7ヵ月にわたる計測実験を試みた結果について報告する。実交通流を対象とした検出器の第1の課題は、野外の苛酷な計測環境のもとで長期間安定に動作し、しかも計測精度が保証されなければならない点である。本論文の第1の目的は、検出器の耐久性・耐環境性・計測精度について現場実験の結果から明らかにすることである。第2の目的は、検出器の新たな機能として、検出領域内の車両密度を推定することの可能性を検証することである。

2章は現場実験の説明である。2章1節では測定原理、2章2節は速度検出の近似手法と検出された速度の処理手法について述べる。2章3節は現場実験のシステムの全容を示している。3章は実験結果である。3章1節は検出器の耐久性と耐環境性、3章2節では計測精度を明らかにしている。ついで3章3節では、検出器の出力としての空間平均速度から密度を推定することの可能性を検証している。

2. 実交通流計測実験

2.1 測定原理

光学系の結像面上に道路映像を結像させる。その道路映像上の車線に沿って光電素子を一対ずつ配列する。車両映像が一対の光電素子面を通過するとしよう。車両の通過によって生ずる光電素子面上の輝度変化に対応して、光電出力がそれぞれの光電素子から発生する。この一対の光電出力の発生時間差で、影像素子間距離を除いた値が通過速度となる。影像素子とは光電素子の道路上への投影である。夜間は車両の尾灯による輝度変化を検出する。一方、気象の変化による路面の輝度変化の影響を除去するために、各素子の映像信号を微分し、この微分波形を整形して時間差を検

[†] 第 19 回計測自動制御学会学術講演会で発表 (昭 55・8)

* 機械技術研究所 茨城県新治郡桜村並木 1-2

* Mechanical Engineering Laboratory, Niihari-gun Ibaraki

(Received May 28, 1981)

(Revised August 31, 1981)

Photo. 1 Detector and 8mm camera in field test

出する。したがって、影像素子面上に車両が停止しているときは検出不能となる¹⁾。

Photo. 1 は実験現場であり、地上 30m の高さに設置された検出器と計測対象道路を示す。検出器の光学系の結像面上には、シリコンの光電素子群が **Fig. 1(c)** のごとく配列されている。検出領域の光学映像に合せて透視画法的となっている。上部の大きな素子は EE 用である。検出領域は、**Fig. 1(a)** の中央分離帯に接する左側の一車線 3.1m×300m である。検出領域内に投影された光電素子の影像が **Fig. 1(b)** である。

光電素子の横幅は車線幅に相当する。また縦方向の幅は、車両の通過による素子面上の輝度変化を光電素子の映像波形が再現するように設定する。すなわち、微小光電素子による実交通流の映像波形のスペクトルを解析し、その cut off frequency の 1/2 波長に影像素子の進行方向の長さを設定した。さらに、一對の

光電素子間隔は、それぞれの映像波形が相似となるように接近させている。一方、速度検出を 50m ほどの 6 地点とした理由は、実交通流の空間速度分布をスペクトル解析した結果、最高周波数の 1/2 波長が約 50m であるためである¹⁰⁾。

2.2 速度検出ならびに処理手法

一對の光電出力の発生時間差を t 、素子間距離を p とすれば、通過速度 v は p/t である。しかし検出器は

$$v = 4.7e^{-\frac{1}{CR}t} \quad (1)$$

で近似して求めている。

i 番目の素子対から、(1)式で得られる時系列データを $v_{ij}(j=1, 2, \dots)$ とする。 v_{ij} は低域ろ波器を介して、平滑化出力 V_i として 30 秒間隔で打点式記録計に出力される。最新の速度データを v_{ij} 、 v_{ij} よりも n 個以前の速度データを v_{ij-n} とすれば

$$V_i = k \sum_{n=0}^{j-1} (1-k)^n v_{ij-n} \quad (2)$$

で表わされる。 k は平滑化係数である。 k の値は、交通信号などに起因する速度変化の高周波成分を極小化し、さらに渋滞現象への追従遅れ時間を極小化するように定めた。種々の k の値のもとで、交通現象との比較を現場で実施した結果 $k=0.1$ となった。

2.3 実験システム

1978 年 3 月 6 日、**Photo. 1** に示すように検出器は東京都港区芝大門に設置された。国道 15 号の浜松町から新橋へ向かう交通流を背後から計測する。検出領

Fig. 1 (a) Detector viewing position (b) Images of photoelectric elements in detection area (c) configuration of photoelectric elements on focal plane

Fig. 2 System of field test

域は 2 章 1 節のとおりである。1980 年 9 月 30 日までの 2 年 7 ヶ月間にわたる計測実験が実施された。

Fig. 2 が実験システムである。いずれも耐環境設計がなされた自動計測装置である。Photo. 1 に示す 8 mm カメラは、検出器の出力を実交通レベルで検証する。雨量、照度、温度、風向、風速の計器は検出器の周辺に配置され、計測環境を定量的に記録する。8 mm カメラはコマ撮り、雨量計は 0.5mm 単位の転倒マス型、照度計はシリコンの光電素子を用い検知範囲は 0~10 万 lx である。雨量、温度、照度は Fig. 3 に示すように打点式記録計に出力される。

3. 実験結果

3.1 耐久性ならびに耐環境性

検出器は設置されて以来、1980 年 2 月 22 日までの 24 ヶ月間、無保守無調整で安定に動作した。現在、交通制御用機器の保守調整は 1 年に 1 回なので、耐久性は実用上は十分である。その間、梅雨、夏期の高湿・高湿、秋の暴風雨、冬期の低温や雪さらには霧、かげろう、地震などに遭遇している。光学系と電子回路を内蔵する検出器が、苛酷な計測環境下で、どのように動作していたかを出力データで示す。

1979 年 10 月 19 日(金)の台風 20 号の場合を Fig. 3, Fig. 4 に示す。台風 20 号は、実験期間中の最大の台風であり、14 時から夕刻にかけて首都圏の鉄道はすべて停止した。Fig. 3 によれば、台風が通過する 14:10~14:40 は 20 mm/h の豪雨であり、照度も 13:40 以後は数十 lx であり夜のように暗くなっている。しかも瞬間最大風速 40 m/s が記録されている。14:50 になると、雨は止み照度も 100 lx 以上となり

Fig. 3 Rainfall, illumination and temperature, 9:00~18:00, October 19 (Fri.), 1979

Fig. 4 Outputs of detector, 14:10~15:30, October 19 (Fri.), 1979

天候は回復に向かう。一方、検出器の出力 Fig. 4 では、14:50 から No. 6, 5, 4 地点の速度低下が顕著となり、順次 No. 3, 2, 1 地点に波及し、15:00 には全地点の速度が極小となる。この状態は 18:00 まで続いた。すなわち、待行列が天候の回復とともに No. 6, 5 地点から順次成長し、10 分間で No. 1 地点に到達し、渋滞状態になったことを示している。ついで、Fig. 5 は 1978 年 6 月 12 日(月)に発生した宮城沖地震前後の出力である。業務交通による昼間の渋滞が 16:40 に解消したあとの 17:16 に地震が発生した。2 分間強にわたる震度 4 の振動後に、No. 6~2 地点で速度が低下し、数分後に回復している。さらに、Fig. 6 は 1979 年 3 月 4 日(日)の降雪時の出力である。交通量の少ない日曜日の朝の典型的な交通特性を示している。信号機に近い No. 6~4 地点には速度変動があるが、No. 3~1 地点は高速度でほとんど変動がない。

さらに、検出器の出力データは 8 mm のコマ撮りフィルムと照合した結果、待行列の長さを反映している

Fig. 5 Outputs of detector, 16:10~17:50, June 12 (Mon.), 1978

Fig. 6 Outputs of detector, 8:20~9:30, March 4 (Sun.), 1979

ことが検証された。渋滞現象の発生・解消の検出率は100%であった。一例を、Fig. 8, Photo. 2に示す。

以上のように、検出器が長期間安定かつ正確に動作した理由は、①8500 Åをピークとする光電素子の幅広い分光感度特性②映像信号の微分処理による、計測対象路面の輝度変化の検出③EE機構と各素子のAGC増幅回路④防雨筐体とレンズ前方のフード⑤ヒータによるレンズ面曇り防止⑥ファンによる電子回路の温度上昇の防止⑦重量化による振動防止、などがあげられる。

3.2 計測精度

この検出器において、(1)式により得られる速度での計測精度を求める。校正実験は、検出領域内に車速計測装置を搭載した実験車を走行させて行われた。車速計測装置は、実験車の後部車輪と機械的に結合した回転センサ(25cm/1パルス)を用いている。

実験方法は、まず予備走行を行って各種速度における回転センサ1パルス当りの走行距離を1%の精度で校正する。そして本実験に入り、検出領域内を実験

Fig. 7 Results of Measurement concerning velocities of test vehicle, November 9 (Thurs.) 1978

車は10, 20, 30, 40, 50 km/hの各目標速度で走行する。

校正実験は、1978年6月から1979年10月までに6回実施された。昼間、夜間とも実施されたが計測精度に差異はなかった。実例として、第5回目の1978年11月9日未明の実験結果をFig. 7に示す。横軸が車載計測の速度であり、縦軸が検出器による計測速度である。検出器による速度は全体として上方に偏っている。この傾向は回路定数の調整で修正できるので、図中の点線を中心にした偏差を評価すればよい。計測精度は ± 3 km/h以内である。誤差は速度の増加とともに増大する傾向にあるため、各種速度において相対誤差は数%以内となる。なお、低速域の測定限界は5 km/hである。

3.3 密度の推定

交通現象と検出器の出力との対応の一例をPhoto. 2, Fig. 8に示す。1979年10月29日(月)14:00~16:00、天候はくもりで照度は1万lx前後である。

Photo. 2によれば、行列長は14:31にNo. 4地点、14:47にNo. 3地点、14:48にNo. 2, 1地点と成長し、渋滞現象が発生している。約30分間渋滞現象が続いている。ついで、行列長は15:25にNo. 1地点、15:27にNo. 2地点、15:45にはNo. 5地点が解消し、15:47には消滅している。ここで述べた行列長は、信号が青現示の最終時点の車両行列長である。一方、Fig. 8をみると、各地点の速度変動としてPhoto. 2の渋滞現象の推移が再現している。すなわち上記の各時点と地点において、渋滞が発生する過程では速度低下が示され、渋滞が解消する過程では速度上昇が示されている。

そこで、密度の推定について検討する。検出領域は6地点を含む3.1m×300mである。密度は、単位時間内に検出領域に存在する平均の車両数として定義さ

Photo. 2 Outputs of 8 mm camera, 14:00~16:00, October 29 (Mon.), 1979

れる。ここで単位時間としては、現在の広域交通信号制御パラメタの更新時間間隔を考慮して5分とする。すなわち、1分ごとの8mmフィルムから車両数 ρ_k を読みとり、5分間の平均 $\bar{\rho} = \sum_{k=1}^5 \rho_k$ により密度を求める。一方、 i 番目の地点で l 番目に得られる(2)式に相当する出力を V_{il} とする。 V_{il} は30秒間隔で出力されたFig. 8の一打点に相当する。ここで5分間の空間平均速度を $\bar{V} = \sum_{i=1}^6 \sum_{l=1}^{10} V_{il} / 60$ と定義する。このようにして得られた密度と空間平均速度との関係をFig. 9に示す。Fig. 9は、Photo. 2とFig. 8の場合である。夜間を含む場合をFig. 10に示す。両図とも密度と空間平均速度との間には強い相関関係の存在することがわかる。ほかの事例の特性も同様であり、検出器の出力によって実用上十分な精度で密度の推定が可能であることが検証された。

4. む す び

本論文は微小光電素子群を利用して、速度分布を計測する検出器を実交通流を対象として稼動させた結果として、機器の信頼性と新たな機能を明らかにしている。結果をまとめるとつぎのようになる。

- ①検出器は719日間無保守・無調整で、正確かつ安定に動作した。
 - ②検出領域内、各地点速度の計測誤差は ± 3 km/h以内である。
 - ③検出器の出力としての空間平均速度から、密度を推定することができる。
- ①, ②は検出器の耐久性・耐環境性・計測精度が実用上十分であることを示す。③は実交通流制御の状態変

Fig. 8 Outputs of detector, 14:00~16:00, October 29 (Mon.), 1979

Fig. 9 Relation between vehicle density and spatial average speed correspond to Photo. 2, Fig. 8

数として密度を導入しうることを意味する。

以上の結論をふまえ、装置設計ならびに測定条件の簡易化を図り、実用性を検討する実験が大阪府広域交通管制システムの現場で続けられている。また今後の課題としては、速度分布や密度を計測可能とした場合における交通流制御の最適化手法を検討する必要がある。

本研究を進めるにあたり、科学警察研究所 池之上

Fig. 10 Relation between vehicle density and spatial average speed, 15:00~19:00 December 19 (Wedn.), 1979

慶一郎交通規制研究室長から終始かわらぬ御教示と御鞭撻をいただき、東京大学生産技術研究所 高羽禎雄数授からは貴重な御助言をいただいた。また立石電機(株)中央研究所 岩本俊輔所長、同東京技術部山田惟忠課長には、本実験を遂行するにあたり絶大なる御支援をいただいた。ここに厚く感謝の意を表す。最後に、終始かわらぬ御指導をいただいた豊田工業大学松本俊哲教授に心から感謝の意を表す。

参考文献

- 1) 重田清子, 大山尚武, 松本俊哲: 微小光電素子群を利用した交通流センサ (第1報), 機械技術研究所所報, **35-1**, 22/48 (1981)
- 2) D. W. Whitehead: The Toronto System, Traffic Engineering & Control, **39-12**, 28/30 (1969)
- 3) 岡本博之: 交通管制と公害防止, 計測と制御, **16-1**, 83/90 (1977)
- 4) 菊田聰裕, 吉田和正: 首都高速道路の新交通管制システム, 第13回日本道路会議特定課題論文集, 343/344 (1979)
- 5) 油本暢勇, 橋本直磨, 山本豊俊: 交通流の計測, 計測と制御, **11-6**, 1/13 (1972)
- 6) K. L. Bang and L. E. Nilsson: Traffic Signal Control with Long Loop Detectors, Traffic Engineering & Control, **11-11**, 525/527 (1970)
- 7) 高羽禎雄, 谷口忠勝, 兼子 隆: 画像情報報出処理による交通流計測, 生産研究, **27-10**, 21/24 (1975)
- 8) C. F. Scheffey: Wide Area Detection System, FHWA Report, **FHWA-RD-77-86** (1978)
- 9) 工藤安夫, 他: Traffic Flow Measurement System with CCD Image Sensor, Private Communication
- 10) 大山尚武, 重田清子, 松本俊哲: 実交通流における旅行時間の推定について, 機械技術研究所所報, **34-5**, 26/41 (1980)