

## 荷重積分法を用いた交通流計測の検討

今村 一貴† 金道 敏樹†

金沢工業大学工学部情報工学科†

## 1. はじめに

交差点などにおける交通流の計測は、今日でもなお交通量調査員を用いて行われており、これを機械によって自動化するニーズは高い。比較的安価なセンサであるカメラを使った交通流計測は魅力的であるものの、屋外環境に起因する課題、計測対象やカメラ設置条件による課題があることが川崎らによって以前より指摘されている[1]。その課題を解決しようと、最近では深層学習を使った方法が検討されている[2]。しかし、車両認識を前提とするこれらの検討では、誤検出と未検出のトレードオフを最小にすることが難しい技術課題となる。

この難しいトレードオフの問題を避けるために、車両認識を介さない交通流計測の可能性を検討することも有意義である。この方向の最近の検討の一つが遠藤らの背景差分を用いた検討である[3]。遠藤らの方法では、背景の草木の揺れをいかに取り除くかという問題を解決できていなかったが、荷重積分法によるオプティカルフローの算出と空間粗雑化とを組み合わせることで、オプティカルフロー中の移動体と関係のない成分を除去したオプティカルフロー画像が得られることが示された[4, 5]。この手法を交通流計測に応用した結果を報告する。

## 2. 時間相関イメージセンサと荷重積分法

安藤が実現した時間相関イメージセンサ（以下、時間相関カメラ）は、イメージセンサの画素を構成する各フォトダイオードの光電流を外部からの参照電流によって3つのコンデンサに振り分ける機能を持ったイメージセンサである。3つのコンデンサに蓄積される電荷の総和は、通常のイメージセンサのコンデンサに蓄積される電荷と同じであるから、時間相関イメージセンサは通常のイメージセンサの機能を持ちつつ、光電流が時間的に異なるタイミングで3つのコンデンサへ振り分けられることで被写体の時間変化情報を画素レベルで持つと言う特徴を持っている[4]。

今、時間相関カメラの1フレームの撮像時間を

$$T = \frac{2\pi}{\omega} \quad (1)$$

とし、画素 $(x, y)$ に時刻 $t$ に入射する光から生じる光電流を $f(x, y, t)$ とすると、我々は、時間相関カメラから、次の強度画像(2)と複素画像(3)を得ることができる

$$g_0(x, y) = \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} f(x, y, t) dt \quad (2)$$

$$g_1(x, y) = \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} f(x, y, t) e^{-i\omega t} dt \quad (3)$$

ここで、初期位相 $\phi$ は $\phi=0$ とした。ここで荷重積分法を用いると、1フレームの撮像時間 $T$ をパラメータとして含む式(2)と(3)と、運動によって対象の明度は変化しないということの数学的表現

$$\frac{df(x, y, t)}{dt} \equiv 0$$

から得られるオプティカルフロー方程式

$$\left( \frac{\partial}{\partial t} + v_x(x, y) \frac{\partial}{\partial x} + v_y(x, y) \frac{\partial}{\partial y} \right) f(x, y, t) = 0 \quad (4)$$

$$v_x(x, y) = \frac{\partial x}{\partial t}, v_y(x, y) = \frac{\partial y}{\partial t}$$

とから、各フレーム毎かつ各画素毎に、3つの未知数、 $(v_x(x, y), v_y(x, y))$ と定積分値、を含む3元1次連立方程式が導かれる。この連立方程式は、

$$|v(x, y)| \neq 0,$$

$$\text{where } v(x, y) = (v_x(x, y), v_y(x, y)) \quad (5)$$

を満たす全ての点 $(x, y)$ 、つまり画像中の変化がある領域全てで代数的に解くことができ、その結果として対象物の形状に関わりなく稠密なオプティカルフロー $v(x, y)$ を求めることができることが知られている[4]。

## 3. オプティカルフロー画像からの交通流計測

前節の荷重積分法から得られるオプティカルフロー画像は、画像中の全ての動きを表現する画像であるが、これに空間粗雑化を行うと移動体起源だけのオプティカルフロー画像が得られる[5]。このオプティカルフロー画像を使えば、車両の進行に直行する計測線を設置し、その線上の動き情報（オプティカルフロー画像の色）を計算して動き情報の総和で車両が何台通過したか計測することができる。

ここでは、高フレームレートのビデオ画像を使って、時間相関カメラの動作をコンピュータシミュレーションする方法で検討を行った。

今回の交通流計測で用いた連続画像は解像度 $960 \times 540$ 、カメラフレームレート $120 \text{ frame/sec}$ で撮影した約5分間の画像 $36000 \text{ 枚/シーン}$ で、オプティカルフロー画像は連続画像を $128 \text{ frame}$ 毎に作成して $285 \text{ 枚}$ ある。

得た連続するオプティカルフロー画像に対し、車両と直行する計測線を設置し、画像ごとに動き情報（オプティカルフロー画像の色）取得し、画像全体の動き情報の総和から車両が何台通過したか計測するものである。具体的には、図1に示すように、画像中の車線ごとに計測ラインを設定し、そこに生じるオプティカルフローを積算し、それを1台の車両が発生させるオプティカルフロー量で割ることで、通過台数を得る。なお、一台の動き情報の量の決め方はオプティカルフロー画像群を3分割し、その一つの画像群の車線の一つの動き情報の総和と目視で確認した車両台数から求めた。

† A study of traffic flow measurement using the weighted integral method

† Kazutaka Imamura, Toshiki Kindo,

Department of Information and Computer Science,

College of Engineering, Kanazawa Institute of Technology



図1 高フレームレートカメラで取得した画像と交流計測のために設定した計測ライン（緑）

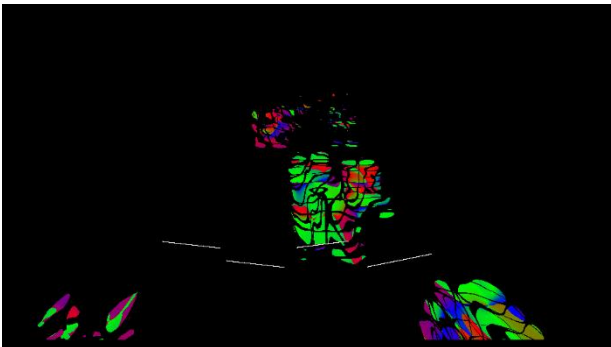


図2 高フレームレートのビデオ画像から得られたオプティカルフロー画像

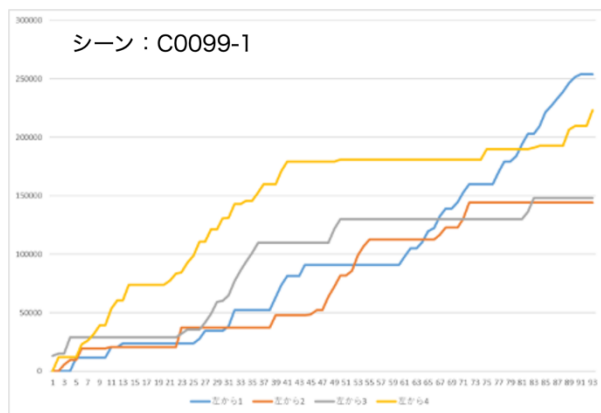


図3 各計測ライン毎のオプティカルフローの積算値

図2は、荷重積分法と空間粗雑化により得られる移動体起源のオプティカルフロー画像である。

図3は、計測ライン状に生じる移動体起源のオプティカルフローを積算したグラフである。この積算値が計測ラインを通過した車両台数を表現しており、上述のように1台の車両が発生させるオプティカルフロー量で割ることで、小数点以下を伴う台数換算値を得ることができる。

3つのシーンに対して計測実験を行った結果をまとめたものが、表1である。表1には、3シーン合計で車両が4つの車線をそれぞれ40、37、38、47台計162台通過した時の台数を単位とする誤差をまとめてある。表中のC0099-1-2,3は実験に用いたシーンを表しており、「左から1」は車線を表している。シーンと車線から指定されるセルの値は、目視台数と本手法で計測した台数換算値の誤差である。

表1 3シーンに対する台数換算値の誤差と目視台数

台数の差	C0099-1	C0099-2	C0099-3	全体	目視台数
左から1	1.5	-0.2	3.2	4.5	40
左から2	-1.1	-1.2	1.7	-0.5	37
左から3	0.2	-0.4	-2.3	-2.5	38
左から4	-0.6	0.4	0.0	-0.3	47
合計	0.0	-1.4	2.6	1.2	162

今回の実験は、各車両の速度の違いと車両の大きさを無視していることから、個別に見ると台数換算値の誤差は小さくないが、車両台数の総数は162台通過した動画に対し、約161台と誤差は比較的小さくなっており、精度上の課題はあるものの提案手法の可能性は否定されない結果となっている。

誤差の主な原因となっているのは、車両の大きさのバラツキと、車両の速度のバラツキである。

車両の速度のバラツキについては、オプティカルフローから推定が可能なので、これに起因する誤差を低減することは、本手法の枠内で十分可能であると考えている。

一方、車両の大きさのバラツキについては、車間距離が広く移動体起源のオプティカルフローに重なりがない場合に限れば本手法の枠内で十分可能であるが、重なりがある場合には、補助的に画像認識技術を使わざるを得ないだろう。とは言え、必要な認識技術は、車両を区切ることができれば十分であるからそれほど高度なものでも構わないと考えられる。

## 5. まとめ

本研究では画像認識を介さない交通流計測の実現を目指して、一般カメラでの荷重積分法を用いたオプティカルフロー画像の作成を行い、画像作成の際に時間的、空間的平均処理を加えて車両とノイズの草木の揺れを分離することで車両のみの検出を実現した。移動体に起因するオプティカルフロー画像を使えば、車両の進行に直行する計測線を設置し、その線上の動き情報（オプティカルフロー画像の色）を計算して動き情報の総和で車両が何台通過したという交通流計測をすることができる。提案する交通流計測は計測精度に少し難があるが、適切な調整をすることで精度を高めることができると考えている。

## 参考文献

- [1] 川崎紀一, 西山和人, 画像処理技術を用いた交通流計測と今後の方向性, 第33回土木計画学研究発表会講演集, (2006).
- [2] 峯岸朋弥, 吉田享子, 画像識別器による簡易な自動車交通量調査システムの試作と評価, 情報処理学会研究報告, IPSJ SIG Technical Report Vol. 20190IS-147No. 3, (2019).
- [3] 遠藤広人, 阿部 亨, 菅沼拓夫, 時空間に拡張した背景差分による映像中の移動物体検出, 情報処理学会第84回全国大会, 7U-7, (2022).
- [4] 安藤繁, 時間相関イメージセンサの開発とその応用, 映像情報メディア学会技術報告会, 21. 61, (1997).
- [5] 今村一貴, 金道敏樹, 時間相関カメラ・荷重積分法を用いた道路の交通流計測の検討, 第21回情報科学技術フォーラム (2022).