

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
Traffic flow measurement using temporal weighted integral method and time domain correlation image sensor

今村一貴† 金道敏樹†
Kazutaka Imamura Toshiki Kindo

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が、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い [3]。

我々は、動きに注目すれば、背景差分では難しい移動体と草木の揺れとの区別は可能と、考えている。実際、移動体の動きは一定方向の動きであり、それに対して草木の揺れはマクロに見ると周期的な動きという明確な違いがある。問題は、どうやってマクロに見ることが出来る程度に広くかつ稠密に動きを検出するかである。撮影時刻の異なる画像間の特徴点の対応づけによって動きを検出する一般的な方法は、草木の揺れの場合に特徴点の対応づけが難しく、加えてそもそも特徴点が疎という課題を含んでおり、この問題には適さない。

今回、稠密に動きを検出するために、我々が採用するのは、安藤の提案になる時間相関イメージセンサの基本理論である荷重積分法である [4]。

† 金沢工業大学工学部情報工学科
[〒921-8501 野々市市扇が丘 7-1]

† Departments of Information and Computer Science, Kanazawa Institute of Technology
7-1 Ohgigaoka, Nonoi, Ishikawa 921-8501 Japan

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。

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) とを得ることができる

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

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

ここで、初期位相 ϕ 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

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

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

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、

$$\begin{aligned} |\mathbf{v}(x, y)| &\neq 0, \\ \text{where } \mathbf{v}(x, y) &= (v_x(x, y), v_y(x, y)) \end{aligned} \quad (5)$$

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 $\mathbf{v}(x, y)$ を求めることができる。

3. 高フレームレートカメラを使った実験

今回、我々は、高フレームレートカメラ（以下、カメラ）で取得した連続画像を使い、コンピュータ上で時間相関イメージセンサの動作を模擬する方法で、交通流計測の対象となる物体と、風に揺れる草木とが区別できるかどうかを実験的に調べた。実験に使用した連続画像は、解像度 960×540 、カメラフレームレート 240 frame/sec で撮影した約4秒分の画像1020枚/シーンである。

実験のポイントは、空間的な粗雑化と、時間相関カメラ1フレームの撮像時間 T に対する動き検出結果の応答性である。各シーンについて、時間相関カメラ1フレームの撮像時間 T についてはカメラフレーム数で 32, 64, 128, 256, 516 カメラフレームの5通り、空間的な粗雑化については標準偏差 $\sigma = 16, 32, 64$ 画素のガウシアンフィルタを使って、色によって動きの方向を示すオプティカルフロー画像（「動きなし」は黒）を計算した。

その典型的な結果が、図1、2である。いずれも右上がシーンを示すための通常の画像（式(2)の強度画像）であり、左側の3枚は $T = 64$ カメラフレーム、下から上へと空間粗雑化を $\sigma = 16, 32, 64$ 画素と強くした順で並べている。右側の2枚は $T = 128$ カメラフレーム、下から上へ $\sigma = 16, 32$ の場合である。

風に揺れる樹木を撮影した図1（特に左上図）からは、撮像時間 T が短く、空間粗雑化を強くすれば、風に揺れる樹木の影響を取り除ける（黒くなる）ことが分かる。

一方、路上を走行する車を撮影した図2では、全て車領域がはっきりと検出され、空間粗雑化は車の移動方向（色）のばらつきを抑制するように働いている。

この結果から、荷重積分法で求まる動き情報を使えば移動体だけを選択的に検出できることが分かる。

4. 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、背景差分法の移動体と草木の揺れの分離できない問題を、動き情報を得ることができる荷重積分法を用

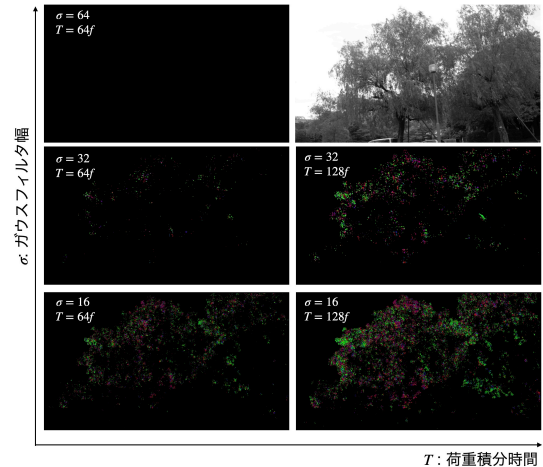


図1 風に揺れる樹木のオプティカルフロー画像

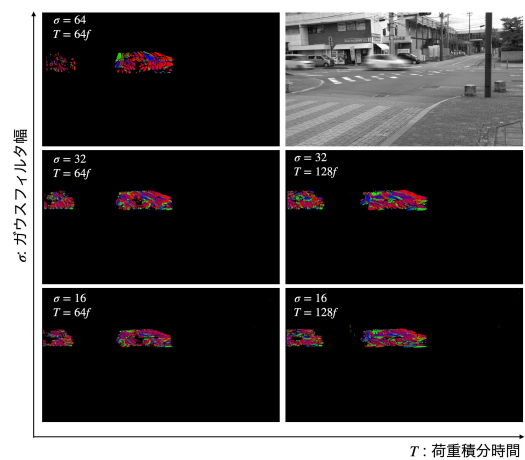


図2 路上を走行する車のオプティカルフロー画像

いて両者の動きを分離することで解決した。

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-147 No.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).