

# 車両走行開始時におけるオプティカルフロー長の特徴を利用した同期手法

石渡要介<sup>†</sup>†† 田口進也<sup>†</sup> 虻川雅浩<sup>†</sup> 峰野博史<sup>††</sup>

**概要:** 本論文では、同一の車両に搭載されたカメラセンサにより取得した動画データと、加速度センサにより取得した加速度データの時間同期手法について述べる。時刻情報の付随していない両データのラフな同期を目的とし、動画データから得たオプティカルフローの長さの分布を基に車両の走行開始タイミングを検知し、加速度センサから別途得た車両走行タイミングと合わせるものである。基礎評価の結果、本手法による同期精度は34フレームであった。我々は過去に、数秒程度の同期精度の動画データと加速度データを1フレーム程度で同期することが出来る手法を提案しており、本手法を過去提案手法と組み合わせることで、任意のズレの両データを数フレームで同期することを可能とした。

**キーワード:** 自動運転, マルチモーダル, データ同期, 車両挙動推定

## A rough synchronization method between movie and sensor data using optical flows when start to moving

YOSUKE ISHIWATARI<sup>†</sup> SHIN'YA TAGUCHI<sup>†</sup>  
MASAHIRO ABUKAWA<sup>†</sup> HIROSHI MINENO<sup>††</sup>

### Abstract:

We propose a method for synchronizing between a camera movie and an acceleration data from sensors in a car. Our method is for roughly synchronized those data that have no time data, and the method is mainly detecting a situation 'the car is about to move' by using optical flows and acceleration data respectively, and synchronizing those situations. We evaluated our method using sensor data acquired by a smartphone, so we proved that an error of our method is 34 frames. We proposed a method that synchronized those data (the time gap between those data is a few seconds) within a frame previously, so by combining our method with previously proposed method, we are able to synchronize those data within about a frame.

**Keywords:** Autonomous Driving, Multimodal, data synchronization, motion estimation of a vehicle

## 1. はじめに

センサの多様化・小型化・低廉化等により、複数のセンサを用いたデータ分析・利用が多くの分野で行われている。複数のセンサを用いる応用分野のひとつに自動運転があり、自動運転車両は、車両や路側に備え付けたカメラやレーザ・レーダやGPS・加速度センサ・オドメトリ等の情報を用いて自車の動きを制御している<sup>1)2)</sup>。自動運転車両以外の車両においても、車両に搭載したセンサのみならず、ドライブレコーダを別途設置しカメラ画像等のデータを取得することが行われており<sup>a</sup>、複数のセンサを複数のシステムで運用することが珍しいことではなくなっている。

複数のセンサデータの分析において、相関値に代表される「各センサデータ間の関係性」を得るためには、各センサデータが同期していることが重要である。すべてのセンサデータが単一のシステムで記録されるのならば、基準となる時刻として当該システム時刻を利用することで同期で

きる。一方、複数のシステムで記録されたセンサデータを扱う場合(図1)、複数のシステムで複数のシステム時刻を持つ可能性があり、そのためデータの同期のためには各システム時刻間のずれを把握する必要がある。各システム時刻を同期させる手段は複数存在するが、同期後も時刻は少しずつずれてくるため、一度の時刻同期を行うだけでは問題解決にはならない。加えて、記録後に複数のセンサデータを分析する場合、記録時の定期的な同期では「各センサのデータ受信時点でどの程度時刻がずれているか」を把握できないため、分析時に「同期したタイミング以外での各センサデータ間のずれが把握できない」可能性がある。センサデータの記録時に同期しているかどうか不明の場合、前記したような手法では事後に同期する事が出来ないため、そのままでは利用できない。

<sup>†</sup> 三菱電機株式会社 情報技術総合研究所  
Information Technology R&D Center, Mitsubishi Electric Corporation.  
<sup>††</sup> 静岡大学 創造科学技術大学院 情報科学専攻  
Graduate School of Science and Technology, Shizuoka University.

<sup>a</sup> 例えば、貸し切りバスにおける装着率見込みは平成29年度末に50%と見込まれ、ここ2年で装着率が大幅増<sup>3)</sup>

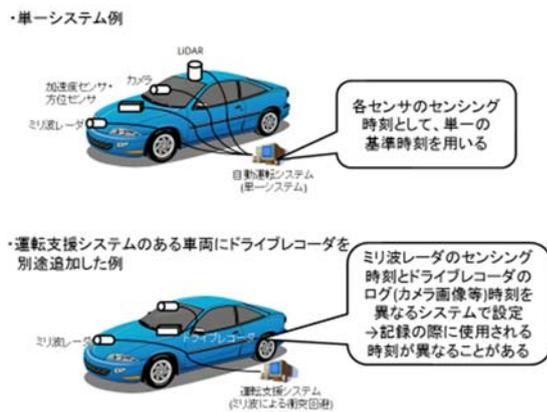


図 1 車両搭載センサと基準時刻

本論文ではこのような問題を解決するため、センサデータ記録時に同期を行う手法ではなく、与えられたセンサデータから得られる特徴を利用して自車の挙動を推定し、その推定結果を用いて複数のセンサデータを同期する方法について述べる。時刻データを使わずセンサデータ間の相関値をもとに同期させる手法が過去に提案されている<sup>4)</sup>が、後述するとおり本論文ではカメラ映像を対象としており、当該手法は適用できない。

## 2. 想定環境と同期対象および同期方針

本論文では、車両上に搭載した異なるシステムで取得したカメラ画像（動画）と加速度データの間で同期を行う。また、リアルタイムでのデータ同期ではなく、車両を走行して得られたカメラ画像と加速度データを走行後に同期させる（図2）。両システム間の時刻は大幅にずれてはいるが、どのくらいずれているかは分からないものとする。

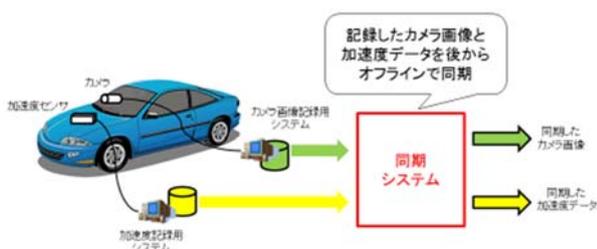


図 2 想定環境

前記想定環境下では、データ記録時点での各センサデータ間の時刻ずれ量は分からず、また複数のシステムで独立した時刻付けをしており、記録したデータすべてにおいて時刻ずれ量が一定とは限らない。そのため、データ内の一箇所だけ同期させても他のデータが同期しないことが想定される。この問題に対し、複数の同期ポイントを求め各同期ポイントで同期させた上で、同期ポイント間のデータでは前後の同期ポイントでのズレ量を用いて推定することで解決する。また、同期対象である動画と加速度データではデータとしての特徴が異なり、特徴を抽出するだけでなくその特徴から両者に共通の情報を得る必要がある。これに対し、動画と加速度のそれぞれから車両の挙動を推定し、

その推定結果から同期を行う手法を提案する。車両挙動の推定は個々のデータのみから推定し時刻を利用しない。そのため時刻ずれ量が異なるデータを用いても問題なく両データの同期が可能となる。

我々は、上記前提のもと、動画データから得られるオプティカルフローを利用して車両の右左折を検知し同期するアルゴリズムを検討し、30fpsの画像換算で1フレーム強の誤差の同期を行えることを確認した<sup>5)6)</sup>。一方、検討したアルゴリズムでは、動画と加速度のズレが数秒程度であるという仮定を前提としていた。この仮定は必ずしも成り立つとは限らず、何らかの形でこの仮定を成立させる必要がある。そこで、本論文では当該仮定を成立させるためのラフな同期手法について検討した結果について述べる。

## 3. オプティカルフローを用いた同期手法

### 3.1 同期ターゲット

前記した通り、本論文でターゲットとするデータは動画と加速度データとする。また、参考文献5)6)で利用したオプティカルフローを利用する。これにより、新たな情報を利用することなく同期処理を行うことができ、計算コスト的にも優位である。

### 3.2 オプティカルフローの長さの標準偏差を利用した挙動検知手法

#### 3.2.1 自車挙動とオプティカルフロー

カメラ画像（動画）からの車両挙動(右左折)検知には、画像特徴量とそのオプティカルフローを利用する。それは、カメラ画像に映る静止物上にある特徴点のオプティカルフローが、自車の動きと真逆の動きとして現れるためである。すなわち、自車の動きの逆向きのベクトルをカメラの撮影する領域に対して射影した結果をオプティカルフローとして得ることが出来、得られたオプティカルフローの向き等傾向を見ることにより自車の動きが判断できる。図3は自車が右折した際のカメラ内のオプティカルフローのついて示したものであり、自車の動きの逆方向（＝画像左方向を向くベクトル）が得られることになる（図3）。

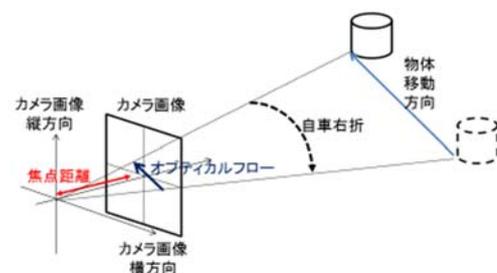


図 3 自車右折時のオプティカルフロー例

ただし、自車周辺の特徴点は静止物上に乗っているものだけではない。自車周辺の移動体に乗った特徴点では、自車の動きと移動体の動きを合成した結果がオプティカル

フローとして現れることになる。

### 3.2.2 走行開始とオプティカルフロー

自車が静止しているとき、オプティカルフローは、自車周囲の移動体が移動することのみ得られる。この時、移動体の位置や速度により、オプティカルフローの長さはまちまちなになる。同一時間間隔でのオプティカルフロー計算結果において、自車から等距離にいる移動体であれば速度が速いほどオプティカルフローは長くなるし、等速度であれば自車から遠いほど長くなる。

図4に、静止時のオプティカルフロー長の分布を示す。この例では、自車周囲の移動体が、風で揺れる木の枝や葉ということもあり、あまり大きな動きとなっていないが、移動体によってオプティカルフローの長さが異なってくる。一方、一定の時間幅でのオプティカルフローの長さの分布を考えると、移動体自体の動きや速さが急に変動しない限り、分布の変動が小さいことが想定される。

一方、自車が走行を始めると、各オプティカルフローに自車の動きが合成されて現れるため、走行前と比べ変動が大きくなることが予想される。各移動体の動きは自車の動きと独立であるため、得られるオプティカルフローの長さにも違いが現れ、分布が変化する。図5に走行開始前後の分布を示すが、走行時の変動が見て取れる。すなわち、「分布の小ささ」と「分布の変動」の両方を検知することにより、静止時から走行開始のタイミングがオプティカルフローから得られると考えられる。

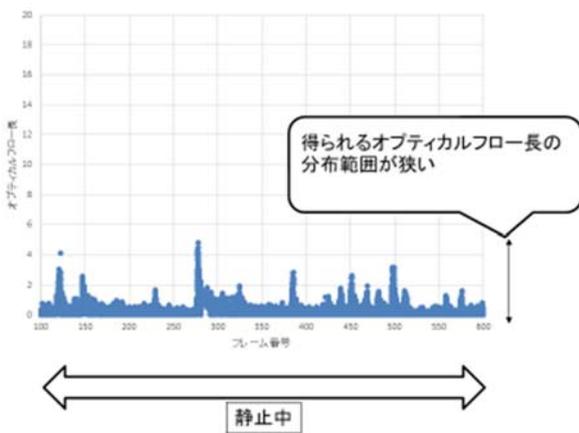


図4 静止時のオプティカルフロー長の分布

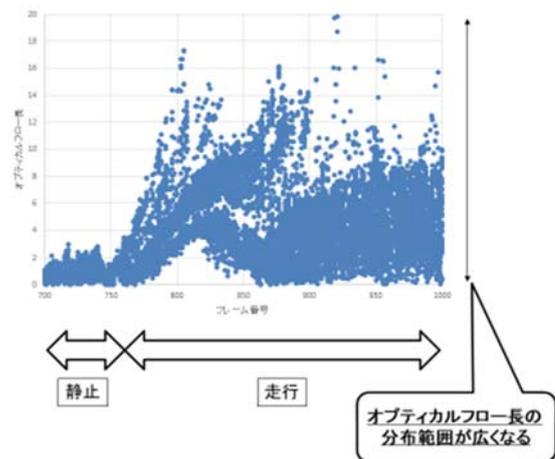


図5 静止から走行開始時のオプティカルフロー長の分布

### 3.3 加速度センサデータと走行開始検知

静止時には自車進行方向の速度がゼロであることは自明である。加速度がゼロであることは速度を維持する条件であり、速度がゼロである条件にはならない。加速度の積分によって速度を得るにしても、初期状態での速度が得られない限り、加速度から速度を得ることはできない。

そのため、本論文では仮定として「初期状態では速度ゼロ(加速度データの記録開始時点での速度ゼロ)を与えることとする。これにより、データ開始時点で自車が静止状態であることを仮定でき、加速度値から速度を推定することで自車が走行を開始したかどうかを判断することができる。

一方、加速度センサから得られる値はノイズやバイアスがかかり、そのため値が変化しやすい。図6に自車進行方向の加速度の例を示すが、加速度がゼロにはならず振動していることが分かる。よって、ノイズやバイアス等を除去するか、値そのものではなく値の変動(走行開始時点では静止時よりも大きな加速度がかかるはず、すなわち加速度の変化が大きくなる)で判断する必要がある。

b 実際には、加速度センサの生の値を取るとぶれた値が得られること、ドリフトなどの問題でゼロ点がずれること、など、単なる積分ではうまくい

かないことが多い。

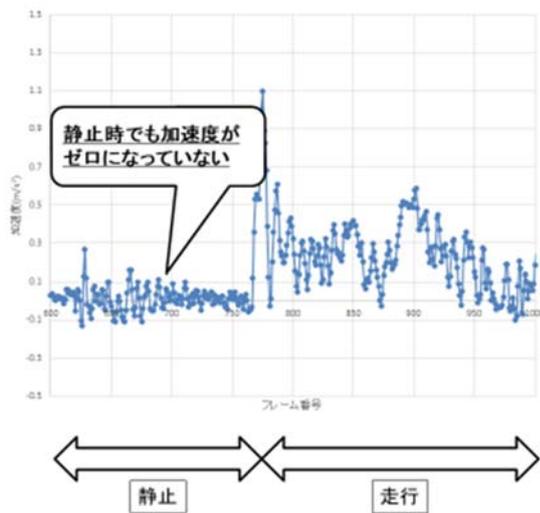


図 6 静止時の加速度変動

### 3.4 同期手法

前記したオプティカルフローの特徴と、加速度情報を利用して、動画と加速度データを同期する手法について述べる。条件として、以下を制約とする。

- 1) データ開始時点で自転車は静止していることとする
- 2) 動画・加速度データともに、同じ「走行開始動作」が最初に得られるものとする

つまり、同じ静止状態から記録されたデータであっても、片方は「一度動いて再度静止した状態から記録」、もう片方が「動く前の静止状態から記録」という状況にはならない、という条件とする。これは、自転車の静止状態が検知できた時に「その静止状態が同じ時刻のものか」を判断するための情報としての条件付けである。

上記状況としては例えば、動画記録用カメラ・加速度センサ記録デバイスのうち片方の時計が大幅にずれており、同じタイミングで記録を始めたにも関わらず添付時刻がずれ、そのままでは同期が出来ない、といったものがあり得る。

#### 3.4.1 概略

提案手法は2つの処理からなる。ひとつはカメラ画像(動画)における走行開始検知であり、前節で述べた考え方を基にして、静止状態から走行を開始したフレームを検知する。もうひとつは加速度データからの走行開始検知、すなわち加速度変動値を利用して走行開始タイミングを得たうえで、前記したカメラ画像における走行開始検知結果とマッチングを行う処理である。

#### 3.4.2 カメラ画像における走行開始検知

前節で述べたとおり、カメラ画像からの静止時および静止状態から走行開始に変化する状況ではオプティカルフローの長さの分布に特徴がある。この特徴を先頭フレームから順に検索することで、走行開始フレームを検知する。図

4で示す通り、オプティカルフロー長の分布の変動が少ないことを、一定期間における「各フレームのオプティカルフロー長の標準偏差の標準偏差」が小さいことを以て判定する(図7)。つまり各フレームでオプティカルフロー長は前期の通り移動体の位置や動きで変動するため、自転車の置かれた環境次第で標準偏差そのものはばらつくが、その標準偏差が変動しなければ前節で述べた状態と判断でき、そこから静止状態とみなす。静止状態からの離脱(=走行開始)は、この標準偏差がばらつき始めたフレームを以て判定する(図8)。すなわち、開始フレーム  $F_s$  は、 $\sigma_o(f) > \alpha$  を満たす最初のフレーム  $f$  とする。ただし、 $\sigma_o(f)$  はフレーム  $f$  および前  $\beta$  フレームにおけるオプティカルフローの標準偏差  $\sigma_{OF}(f)$  の標準偏差である。 $\alpha, \beta$  は閾値であり、別途決定する。

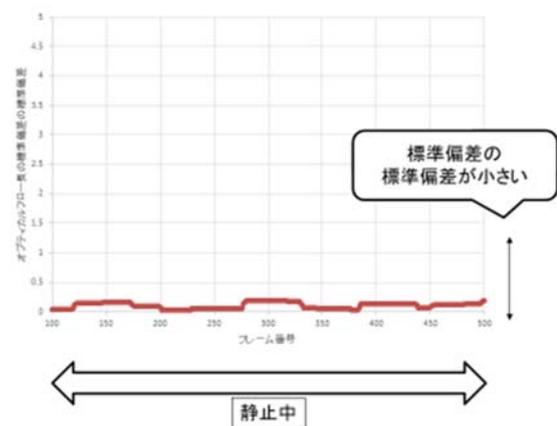


図 7 オプティカルフロー長の標準偏差の標準偏差 (静止時)

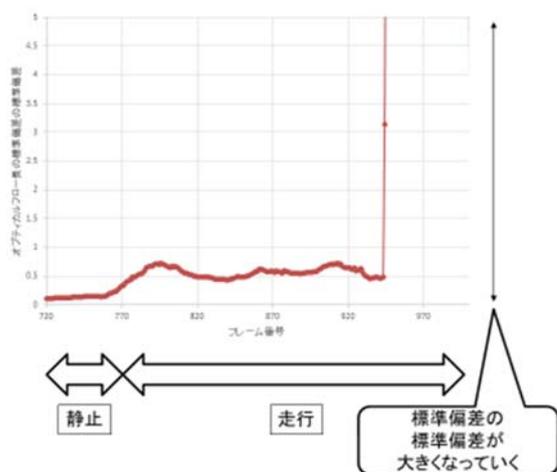


図 8 オプティカルフロー長の標準偏差の標準偏差 (静止状態から走行開始)

#### 3.4.3 加速度データからの走行開始検知

加速度データからの走行開始検知は、前記の通り加速度データの変動を考慮する必要がある。本論文では、閾値  $\alpha$  を設定し、先頭から加速度が  $\pm \gamma$  以下の状況を静止状態と

して判断することとする。

## 4. 評価

前章で述べた手法について、基礎実験を行い評価した。

### 4.1 使用データ

車両にスマートフォンを設置して車両を走行させ、取得した動画データと加速度データを使用した。スマートフォンの設置向きは、車両前方を撮影するとともに、車両上下方向・左右方向・前後方向の加速度を取得するように調整している

なお、動画データおよび加速度データはスマートフォンの時刻を付与してある同期済データである。すなわち、このデータを前記アルゴリズムに適用することで得られた結果が、本論文で提案した手法による誤差に相当する。

### 4.2 オプティカルフロー取得処理

オプティカルフローは隣接する 2 フレーム間で算出し、取得した。取得には OpenCV ライブラリを利用し、Lucas-Kanade 法によって得た。

### 4.3 データ前処理

加速度データはノイズが多いため、30 データ分の移動平均による平滑処理を実施した。時刻  $t$  の加速度に対し、時刻  $t$  より前 29 データ分を合わせた 30 データ分の平均値を用いている。また、線形補完処理を実施し、加速度センサのサンプリング間隔を動画のフレーム間隔(30fps)と同一にするようにした。

オプティカルフローについては、開始数フレームのオプティカルフローについて不正なデータが含まれることが分かり、その分については削除している。

### 4.4 閾値定義

前記した使用データとは別に、使用データと同一のコースを走行し、動画フレームと加速度センサデータを取得した。そのデータを利用して  $\alpha, \beta, \gamma$  を決定した。具体的には、 $\alpha$  と  $\gamma$  は動画実フレームとの比較による動作開始地点の決定を行いそのフレーム前後の  $\sigma_{OF}(f)$  および加速度値から決定した(図 9, 10)。  $\beta$  は車両静止時の値変動から決定し、 $(\alpha, \beta, \gamma) = (0.5, 60, 0.2)$  とした。

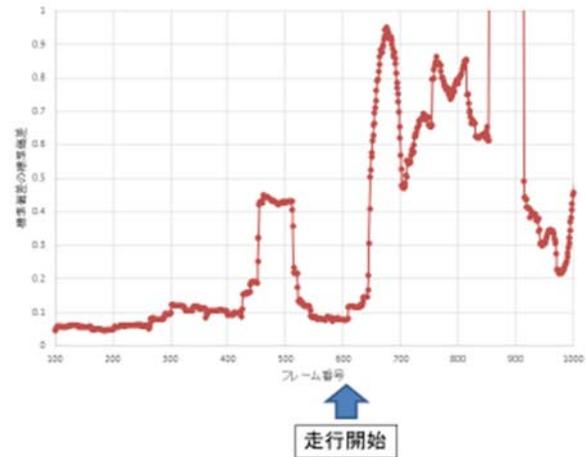


図 9 閾値決定用データ(オプティカルフロー)

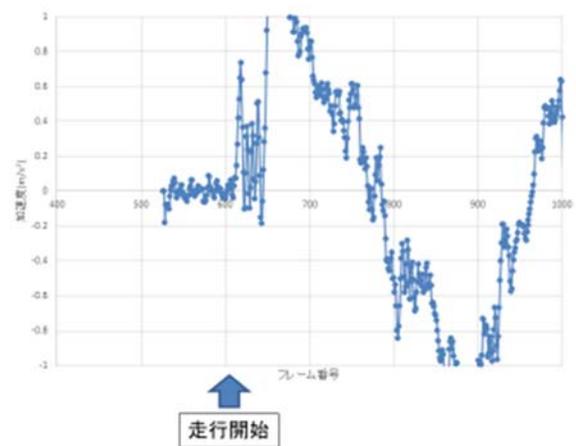


図 10 閾値決定用データ(加速度)

### 4.5 手法適用結果

前記パラメータを適用して、オプティカルフローによる走行開始フレームと加速度による走行開始フレーム値の組を表 1 に記す。このずれが本手法で得られる誤差となるが、当該データでは 34 フレームのズレとなっている。本手法だけでは誤差が大きいが、前記した通り、過去に提案した手法を適用することができる程度の誤差になっている。

表 1 手法適用結果

オプティカルフローにより検知した走行開始フレーム	加速度により検知した走行開始フレーム
538 フレーム	504 フレーム

### 4.6 考察・課題

前記したとおり、30 フレーム程度で合わせられることが分かった。一方、単独の同期処理としては大きいズレ量であ

c GoodFeaturesToTrackDetector 関数により特徴点取得(最大 200 点), calcOpticalFlowPyrLk 関数によりオプティカルフローを取得している。

り、このズレ量の原因について以下の通り推測した。これらを解消することでより小さいズレ量で合わせられると考えられる。

・ オプティカルフローの誤差・誤検知

処理を簡素化するため、前記した処理以外のオプティカルフローの正偽については考慮せず、得られたオプティカルフローをすべて利用している。そのため、オプティカルフローに間違いがあれば、特に自車から近距離にある場合など少しの動きが大きなオプティカルフローになるものに間違いがあった場合の影響が大きい。

・ 加速度に対する前処理

4.3 節で述べた通り、加速度には 30 サンプル分の平滑処理を施している。そのため、動き出して加速度が変化するタイミングが、平滑化前と平滑化後でずれる。最悪で 30 フレームずれる可能性があり、その分結果としてずれることになる。

この場合、平滑化以外の処理でのノイズ除去を実施する(ホワイトノイズやゼロ点ズレ(キャリブレーションミスやドリフトなどの要因が考えられる)ならば、単なる差分で済ませられ、この場合閾値を決め直せば平滑化時より正確に取れる可能性がある)必要がある。

・ データ取得環境

本実験ではデータ取得のためのスマートフォンを車内に固定して設置しているが、車両そのものの動き以外を取ってしまうことが多々ある。具体的には、エンジン動作中の車両のブレである。図9では実際の動作前のフレームで多少オプティカルフローの標準偏差の標準偏差が変化している個所(400 フレーム目から 500 フレーム目あたり)が見られるが、これはエンジンが空吹けして車両が揺れたことによるものである。

本実験では閾値定義によりこれらを除去したが、走行開始前のこれらの挙動については明示的に除去利するほうが高精度な結果が得られるようになると推測される。

また、前記した通り本実験ではパラメータを別データから目視により決定しているが、このデータも環境・特にカメラの状況による。図 11 に、本実験と同時に、車両左 90 度方向を撮影した動画データによるオプティカルフロー長の標準偏差の標準偏差を示すが、図の通り静止時の値が高止まりしていることが分かる。そのため、前記閾値ではうまくいかない。ただし、閾値をこのカメラに合わせて設定すると、同程度の誤差で検知できている。

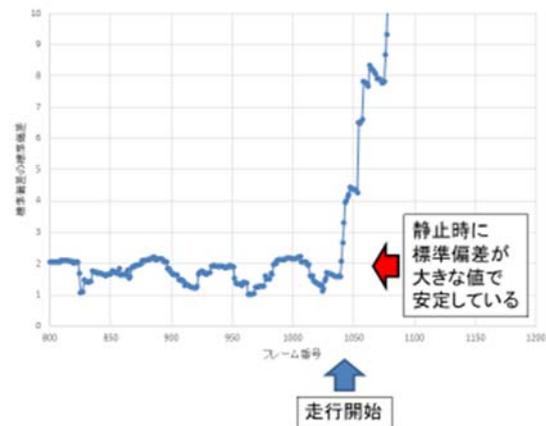


図 11 オプティカルフロー長の標準偏差の標準偏差 (自車左方向を撮影した動画)

閾値は上記の通りカメラにより異なると想定され、そのため手動ではなく、カメラに応じて自動決定することが望ましい。

## 5. おわりに

本論文では、過去に発表した「動画データと加速度センサのデータ間の同期手法(画像特徴量を利用した同期点の検出手法と、その同期点を利用した加速度センサデータの同期手法)の制約を緩くするための手法について述べた。動画データ、加速度データともに静止状態から記録されると仮定し、静止状態から走行状態に移行するタイミングでのオプティカルフローの変動として、オプティカルフロー長の標準偏差の標準偏差が大きくなることを利用し、走行状態を検知して加速度データとマッチングし、同期する手法についてまとめ、基礎評価を実施した。基礎評価には、加速度センサを持つスマートフォンを使用して取得したデータを利用し、34 フレームの誤差で同期が行えていることを確認した。単独の同手法としては精度が低いものの、この結果から過去手法の適用につなげることで高精度に同期することができる。カメラ向きによる閾値設定が必要など、本手法そのものにもまだ改良の余地はあり、今後それらを解決しつつ、過去手法と組み合わせ汎用的な同期手法を確立する。

## 参考文献

- 1) “Autonomous long-distance drive”, Mercedes-Benz, <https://www.mercedes-benz.com/en/mercedes-benz/innovation/autonomous-long-distance-drive/>
- 2) Google Self-Driving Car Project, <https://www.google.com/selfdrivingcar/>
- 3) 国土交通省交通局, “平成 29 年度 自動車局関係 予算概算要求概要”, <http://www.mlit.go.jp/common/001142735.pdf>

- 4) 田中 翔太, 中村 優斗, 服部 祐一, 井上 創造, "複数のウェアラブルセンサーデータ間の時刻同期手法の検討", 日本知能情報ファジィ学会学術講演会, 2011/12,  
<https://sozolab.jp/publications/140-study-of-time-synchronization-method-between>
- 5) 石渡他, "フレーム間対応点の移動方向を利用した動画とセンサーデータの同期手法の検討", 情報処理学会第73回ITS研究会, Vol.2018-ITS-73, No.25 (2018).
- 6) Y. Ishiwatari, *et al.*, "A method to synchronize movie and acceleration sensor data using directions of vectors determined by corresponding points between video frames", INFSOC Proc. of International Workshop on Informatics (IWIN) 2018, pp13-16 (2018).