Vol.2018-DPS-175 No.25
Vol.2018-MBL-87 No.25
Vol.2018-ITS-73 No.25
2018/5/25

フレーム間対応点の移動方向を利用した動画像とセンサデータの同期手法の検討

石渡要介[†,††]　谷本昌彦[†]　虻川雅浩[†]　峰野博史[††]

概要：　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収集・分析が多くの分野で行われている．複数のセンサデータの関連性の分析には各センサデータ間での同期が必要であり，これまでは同一の時刻付与・取得システム間での時刻同期といった手法が取られているが，データ取得後の同期が出来ないなどの問題があった．本論文では，車載センサから取得した動画データと加速度センサの，データ取得後の同期を取るため，画像特徴量を利用した同期ポイントの検出手法と，その同期点を利用した加速度センサデータの同期手法について述べる．本論文では基礎評価として，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もとに，車両の右左折時を検出し右左折開始・終了時を同期ポイントとして使用するアルゴリズムについて評価を行い，提案手法により平均1.11フレームの誤差で同期がとれることを確認した．今後右左折以外の同期ポイント抽出について対応させるなどの手法拡張を行う予定である．

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 synchronization method between movie and sensor data using directions of vectors determined by corresponding points between video frames

YOSUKE ISHIWATARI[†]　MASAHIKO TANIMOTO[†]
MASAHIRO ABUKAWA[†]　HIROSHI MINENO[††]

Abstract:
Data acquisition and analysis using plural sensors is being popular owing to diverseness, miniaturization, and inexpensiveness of sensors. The system uses two or more sensors to acquire sensing data, and it is important to synchronize sensor data for analyzing relationships between the data sets of the sensors. A time-synchronizing method is popular for the purpose, but it is not suitable for some sensor data for synchronizing at offline. In this paper, we propose a method for synchronizing movie data and acceleration data from the sensors that are on a car, by detecting synchronization points using image features and matching synchronization points for acceleration data. We evaluate the fundamental performance of our method by using movie data and acceleration data acquired by a smartphone, and by extract the intervals when a car turns right or left for the synchronization points. The error of our method is 1.11 frames with such data. We will intend to expand our method by extracting another car situations.

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 [1) 2)]．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[a]，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

† 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.
†† 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.

a 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 [3)]

ⓒ 2018 Information Processing Society of Japan

Vol.2018-DPS-175 No.25
Vol.2018-MBL-87 No.25
Vol.2018-ITS-73 No.25
2018/5/25

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．

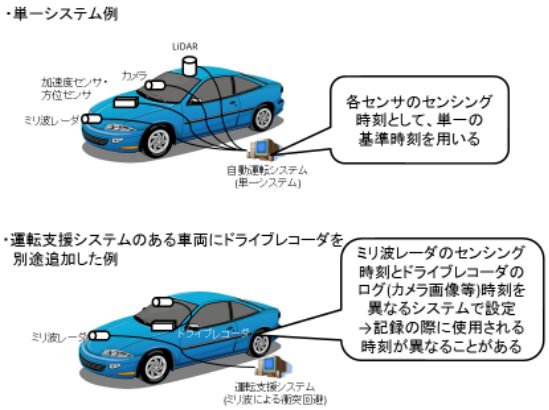

図 1 車両搭載センサと基準時刻

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[4]が，後述するとおり本論文ではカメラ映像を対照としており，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ないが，どのくらいずれているかは分からないものとする．

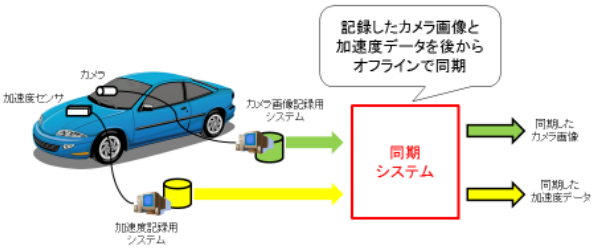

図 2 想定環境

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は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．

3. カメラ画像の画像特徴量と加速度センサデータの特徴を利用した同期点の検出手法

3.1 検知する車両挙動

前章で述べたとおり，本論文で提案する手法では複数の同期ポイントを利用する．そのため，同期ポイントとして検知する車両挙動には，特徴的(検知しやすい)かつ車両走行時に通常行う挙動(何度も実行する・そのため同期ポイントとして複数回検知できる)であることが望ましい．特徴的な車両挙動としては，例えば段差の乗り上げ（カメラ画像が上下し，上下方向の加速度がその瞬間に急激に出るはず）や急ブレーキ(カメラ画像の自車周辺地物の動きが急変動し，同時に前後方向加速度が急変動する)といったものが考えられるが，必ずしもそれらの動作を行うとは限らない．本論文では，特徴的かつ通常走行時に通常行う動作として「車両の右左折」を検知し，同期ポイントとすることとした．以降，順に述べる．

3.2 カメラ画像の画像特徴量を利用した車両右左折検知

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．

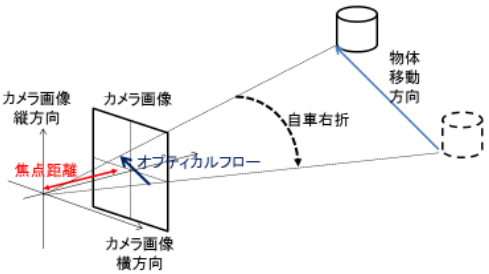

図 3 自車右折時のオプティカルフロー例

ただし，自車周辺の移動体上の特徴点は静止物上に乗っ

ⓒ 2018 Information Processing Society of Japan

Vol.2018-DPS-175 No.25
Vol.2018-MBL-87 No.25
Vol.2018-ITS-73 No.25
2018/5/25

ているものだけではなく，自車の動きをオプティカルフローから求めるためには，特徴点が移動体上にあるかと静止物上にあるかを見極める必要がある．

3.2.2 右左折とオプティカルフロー

図３で示した通り，右左折時には静止物のオプティカルフローが自車の移動方向と逆向き（右折なら左方向・左折なら右方向）に出る．カメラの撮影方向が車両前方に固定されているならば，画像内のどの静止物上の特徴点のオプティカルフローも，右ないしは左方向に偏る．自車が左右に動くこと以外で静止物上の特徴点のオプティカルフローがこのような偏りを見せることは無く，この特徴を利用することで右左折の検知が可能になる．

なお，画像上下方向のオプティカルフローの向きは，特徴点の位置と自車の動きによって変動する．図４に左折時のオプティカルフローの例を示すが，上下方向の動きはばらつきがあることがわかる．

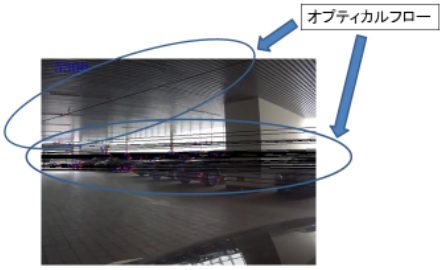

図 4 左折時のオプティカルフロー

3.3 加速度センサデータと車両右左折

加速度センサでは多軸の加速度データが得られることが多いが，本論文では，自車左右方向の加速度が得られた場合に，車両右左折を検知する手法を検討する．

運転時に，自車が右左折時以外に自車横方向の動きが無いことように走行しているのであれば，右左折時は「自車の左右方向速度（自車基準）がゼロではない（直進時等では自車基準で左右方向速度がゼロ）」時であると判断でき，左右方向加速度値とその積分による速度算出といった手法が有効と考えられるb．しかしながら，実際の車の動きでは「右左折動作前後にも左右方向に移動している」こともありえるため，上記の手法では誤差が大きい（右左折を実施している期間が長くなる）と考えられる．実際に自車が右左折前後にどのような動きをしているかは状況に依るため，画一的な動きを仮定することはできない．そのため，速度（加速度積分）による手法（たとえノイズがなく正確な加速度・速度が求められたと仮定しても）は問題がある．

運転時における右左折行動とは，それまで(直進等)と比べてより左右方向に動こうとする挙動を示すことを意味することであり，それは右左折の挙動を示す前と比べて「左右方向の速度を上げようとする（＝左右方向にそれまで以上に加速度を与える・ないしはそれまでの挙動と逆方向に加速度を与える)」ことを意味する．右左折中に，途中から加速度を逆方向に与える(右左折終了に備えて速度を落とすため)動作をしたのち，右左折終了時は「加速度の与え方が小さくなる（それまでの加速度により，左右方向の速度が小さくなっているため)」挙動を示すと考えられる．

この挙動を加速度から見ると，右左折開始・中間・終了時点で加速度が急変動する(=加速度の変化量が変わる)ことになる．前記したとおり右左折前後で自車左右方向の動きがある以上，速度や加速度で判断が出来ず，加速度の減少・増加の観点から判断する必要が在る．そこで，本論文では，加速度変化量の極値や変曲点（順方向・逆方向の変化が生じているという意味になる）を右左折開始・中間・終了時点としてみなした．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ること，また値が変化しやすく多くの極値や変曲点が存在する．そのため，すべての極値や変曲点が必ず右左折の開始・終了点となるわけではなく，ノイズやバイアス等を除去した上で，適切な右左折の開始・終了点を選ぶ必要がある．

3.4 同期点検知手法

前節までで述べたカメラ画像（動画）および加速度センサの値と車両右左折の関係についての考え方をもとにした，カメラ画像と加速度センサの同期手法について述べる．

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）における右左折検知であり，前節で述べた考え方を基にして，どこからどこまでのフレームで右左折動作を行っているかを検知する．もうひとつは得られた「右左折動作を行っているフレーム」に相当する範囲が，加速度センサデータ上のどの範囲に相当するかのマッチング処理である．

なお 2 章で述べた通り，大幅なずれが無いことが前提である．この条件は後者の手法の前提としており，以降で理由を述べる．

3.4.2 カメラ画像における右左折フレーム検知

前節で述べたとおり，右左折時にはオプティカルフローの方向の特徴(静止物上の特徴点のオプティカルフローが左右方向に偏る)がある．このことを利用し，その特徴がどれだけ連続して得られるか，を検知することにより右左折の範囲(右左折動作範囲)を求めた．具体的には，連続するフレーム間でのオプティカルフローを算出し，そのベクトルの方向でオプティカルフローを 16 個のビンに分類した．このときオプティカルフローを最も多く含むビンを求め，そのビンおよび隣接する 2 ビンが「オプティカルフローを最も多く含むビン」である範囲を算出し，その範囲を右左折動作範囲とした．図５に右折時のオプティカルフローの偏りを示すが，ほぼ同一方向近辺に偏っていることがわかる．

b 単純にセンサデータと時間を用いた近似ではノイズやドリフトなどにより誤差が大きくなるため，それらに対する処理は別途必要．

ⓒ 2018 Information Processing Society of Japan

Vol.2018-DPS-175 No.25
Vol.2018-MBL-87 No.25
Vol.2018-ITS-73 No.25
2018/5/25

上記手法で「最も多く含むビン」を選ぶ理由は，自車周囲から得られる特徴点が移動体上に偏ることは稀であるという仮定による．この仮定は，自車が移動体に囲まれていて静止物が全く見えない状態で問題となり得るが，そのような状態は稀であると考える．

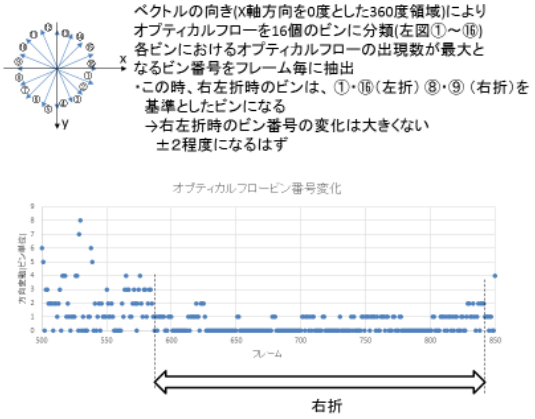

図 5　右折時のオプティカルフローの方向の最大量の変化

3.4.3 動画フレームと加速度センサデータとのマッチング

右左折動作範囲を動画から求めた後，各右左折動作範囲の先頭フレーム・最終フレームに対応する加速度センサデータの位置を算出する．前節で述べたとおり，加速度変化量の極値・変曲点を右左折動作の開始・終了点とすることを踏まえ，探索開始位置(加速度データと動画データのずれが 0 であるとした場合に対応する箇所)周囲で極値・変曲点を取る個所を探索して個々のズレ量を算出する．その後，フレーム数(から得られる右左折動作範囲の時間)と加速度データの幅(時間幅)が同一になるようにズレ量を補正する．例えば，先頭フレームの時刻 t_1 に対応する加速度データの時刻が t_1’，最終フレームの時刻 t_2 に対応する加速度データの時刻が t_2’である場合，先頭フレームに対応する加速度データの時刻を$((t_2-t_1)-(t_2'-t_1'))/2$ だけ前にずらし，最終フレームに対応する加速度データの時刻を$((t_2-t_1)-(t_2'-t_1'))/2$ だけ後ろにずらす．

3.4.4 右左折動作完了時から次の右左折動作開始時までの補正

右左折動作以外の動作時については，当該動作前後の右左折動作時のズレから線形補完することで合わせることにより，任意の時刻でのデータの同期を行うことが可能になる．例えば，右左折範囲外のある時刻 t_3 における動画フレームに対応する加速度データの時刻 t_3’とのズレ量 Δt_3 は，t_3 の直前にある右左折動作範囲の終了時刻 t_4 におけるズレ量 Δt_4 および t_3 の直後にある右左折動作範囲の開始時刻 t_5($t_4<t_3<t_5$)におけるズレ量 Δt_5 を用いて，$\Delta t_3=\alpha\ \Delta t_4+(1-\alpha)\ \Delta t_5$ (ただし $\alpha=(t_5-t_3)/(t_5-t_4)$)とする．

4. 基礎評価

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．車両前方を撮影するように配置するとともに，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スマートフォンを設置した．

なお，両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，このデータを上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 データ前処理

加速度データはノイズが多く，30 データ分の移動平均による平滑処理を実施した．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)と同一になるようにした．

4.3 同期点検知範囲

動画フレームと加速度センサとのマッチング時に，加速度変化量の極値・変曲点を探索するが，その探索範囲を前後 30 サンプル（1 秒分）とした．探索開始地点（ズレ量をゼロとした場合の点)から近い順に極値・変曲点となる地点を探索し，該当する点を検知した時点で探索終了として，該当する点の探索開始地点からの移動量を個々のズレ量として算出している．

4.4 画像フレームによる右左折検知結果と評価対象

前章で示した手法により，画像フレームから右左折動作となり得る範囲をまず確認した．その結果，右左折動作の範囲を正しく取れている個所以外に，以下の問題が見つかった．

1) 右左折動作とは異なる，左右移動動作の検知
   具体的には，道路脇の電柱を避ける動作のように，右左折ほど動かないけれども同じような動作をする範囲を検知してしまうことがある．
2) 右左折中に段差がある個所での範囲分割
   右左折しながら段差に乗り上げている個所などでは，乗り上げ直後の上下動運動により，オプティカルフローが上下に動いてしまうため，そこで切れてしまう．上下動運動が終了した後，その後の右左折動作を再度検知することになり，結果として 1 回の右左折動作が 2 つに分かれ，かつ右左折中の一部のフレームが抜けてしまう．

本論文においては，上記のような範囲を主導で除去し，残ったものから 18 個の右左折動作の範囲を抽出し，加速度センサの値との同期処理を実施して評価した．

4.5 手法適用結果

前記 18 個の右左折動作範囲について，前章で述べた手法を適用し，各右左折動作範囲の先頭フレームと加速度データとのズレ量(=誤差量)を算出した．算出結果を表 1 に示す．

18 個のズレ量(絶対値)平均は 1.11(フレーム)，標準偏差

ⓒ 2018 Information Processing Society of Japan

Vol.2018-DPS-175 No.25
Vol.2018-MBL-87 No.25
Vol.2018-ITS-73 No.25
2018/5/25

は 0.81(フレーム)となった．全体的に 3 フレーム未満（誤差 0.1s）に収まっており，結果は良好と言える．

表 1 手法適用結果

No.	ズレ量(フレーム数)	ズレ量(絶対値)
1	1.5	1.5
2	−1	1
3	2.5	2.5
4	1.5	1.5
5	0.5	0.5
6	1	1
7	0.5	0.5
8	1	1
9	0.5	0.5
10	2	2
11	2.5	2.5
12	−1	1
13	−0.5	0.5
14	0	0
15	1	1
16	2.5	2.5
17	0	0
18	−0.5	0.5

4.6 考察・課題

前記したとおり，手動で抽出した右左折動作フレームについては 3 フレーム以内の誤差で合わせられる結果となったが，手動抽出せずに本アルゴリズムを適用するにはまだ解決するべき課題がある．

・より正確な，動画からの右左折動作の抽出

前節で述べたとおり，道路端の電柱回避動作といった右左折動作に似た動作を抽出してしまうことや，右左折中の段差乗り上げによる分割といった課題がある．

このことについては，右左折動作として検知する範囲のフレーム数に下限を設ける(一般的な道路走行において，右左折ではない左右移動動作は，短時間になり得ると考えられる), ある右左折動作から次の右左折動作までの間隔が短い場合に 1 つの動作とみなすといった手法が考えられる．ただし，後者については S 字道路走行の検知時に問題が出ることが想定され，本手法のように右左折を同一に扱うのではなく右折・左折をそれぞれ別に扱う必要がある可能性がある．右折・左折を別に扱うことは，オプティカルフローの向きから判断できる．

・動画フレーム・加速度データ間マッチング時の問題

本手法では最後に動画から得られる右左折動作の範囲と，その先頭フレーム・最終フレームが対応する加速度データの時刻から得られる，加速度データの右左折動作の範囲が異なる場合，その差を均等に前後に(加速度データ側を)ずらすことによって，動画からの右左折動作範囲と加速度による右左折動作範囲が同一になるようにしている．実際には，均等にずらすことにより誤差がまぎれる効果はあるかもしれないが，正確性に多少劣る．

動画フレームに対応する加速度データを求める際，極値・変曲点のうち近い方を採用する手法を取っているが, 個々の対応点よりも全体的なマッチング(例えば個々のズレが大きくても，うまくスライディングするような動きをする(=先頭フレーム・最終フレームで同じようなズレ量になる)ならば, その方がよい可能性もある．

・特徴点が静止物上に多く乗らない場合の判定

本手法は，オプティカルフローの方向を基に処理を行っていることから分かる通り，オプティカルフローの多数が自車の挙動に即したものになっていることを想定している．つまり，前節で述べたように，静止物上の特徴点から得られたオプティカルフローが多数になる仮定を含んでいる．オプティカルフローを単に計算するだけではこの前提を満たす保証はないため，何らかの形で静止物上の特徴点を多く抽出できるための前処理を実施する必要がある．これ対して，例えば急に現れた特徴点(前後フレームに存在しない特徴点)を除去するといった処理を適用するといったやり方が考えられる．

・特徴点が得られない場合の対応

夜の暗い状況など，カメラ画像から特徴点が抽出できない場合，オプティカルフロー取得前に各フレーム画像に対して前処理を施すといった処理が必要になると考えられる．

・オプティカルフローの傾向と自車挙動の関係

今回のような右左折動作では，画像全体でオプティカルフローが右方向ないしは左方向に偏る特徴が出るため，得られたオプティカルフローをそのまま利用した．一方，他の動作を得ようとする場合には，同じようにはいかない．例えば，車両直進時には，オプティカルフローの方向は特徴点の位置により異なる向きをとる．具体的には，画像内の消失点に向かう方向になり，オプティカルフローの向きだけではなく特徴点の画像上での位置も重要になってくる．

本論文では右左折動作を行ったデータによる基礎評価を実施したため問題にはならなかったが，本来の目的であるデータ同期という観点から考えた場合，右左折動作が無いデータで同期する場合に，本手法をさらに拡張して対応できるようにするためには，上記の

ⓒ 2018 Information Processing Society of Japan

Vol.2018-DPS-175 No.25
Vol.2018-MBL-87 No.25
Vol.2018-ITS-73 No.25
2018/5/25

ような考慮が必要になると考えられる．

5. おわりに

本論文では，動画データと加速度センサのデータ間の同期を取るため，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について述べた．画像特徴量を利用したオプティカルフローの方向を利用することで車両の右左折動作を抽出し，その変化点(先頭フレーム・最終フレーム)を同期ポイントとして，同期ポイントに対応する加速度センサの時刻を算出し，同期することを可能とした．基礎評価として，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もとに評価を行い，おおむね 3 フレーム以内に収まる同期が行えていることを確認した．一方で，本アルゴリズムにはまだ改良すべき点があり，今後それらを解決し，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

ⓒ 2018 Information Processing Society of Japan