

令和元年6月10日現在

機関番号：12605

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K18048

研究課題名(和文) ドライバの交通環境認知状態を考慮した自律運転知能の判断支援システムの構築

研究課題名(英文) Autonomous Driving intelligence System based on Estimated Driving Behavior

研究代表者

山崎 彬人 (YAMASAKI, AKITO)

東京農工大学・工学(系)研究科(研究院)・特任助教

研究者番号：70725944

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、自動車運転時にドライバーが認知すべき交通環境を正しく認知しているかを画像から推定し、自律運転知能による運転支援機能を作動させるか否かを判断するシステムを開発することを目的としている。

車載カメラを用いてドライバーと車両前方を撮影し、得られたドライバーの顔画像から画像処理によって顔向きを推定し、その顔向き角度から前方画像のどの方向を確認しているかの注視領域抽出を行う手法を開発した。ドライバーの顔向きや抽出した注視領域の速度やブレーキなどの車両情報を総合的に解析することにより、ドライバーの加減速などの運転行動の意図推定に利用可能であることを示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、ドライバーの顔画像から顔向きを推定し車両前方を撮影した画像のどの領域を注視しているかを表す注視領域の抽出を行った。本手法を用いてイベント抽出を行った。注視領域を抽出し、その領域に歩行者が存在するか否かの情報も用いることで、これまで抽出することができなかったイベントを抽出できることを確認した。また、顔向きや注視領域の情報と速度やブレーキなどの車両情報を総合的に解析することにより、ドライバーの加減速などの運転行動の意図推定に利用可能であることを示した。これにより、安全運転評価への利用や、運転意図・状態を推定することによる、運転支援可否判断システムの実現可能性を示すことができた。

研究成果の概要(英文)：The significant problem for active safety system and ADAS (Advanced Driving Assistance System) is how to recognize driver behavior such as where driver look in a scene or what driver aware of their environment. In order to recognize the driver behavior, it is necessary to estimate gaze direction and gaze region in forward environments. In this paper, we propose a method that estimate gaze direction and extract driver's gaze region in forward image using estimated head pose from in-vehicle cameras.

研究分野：予防安全、画像処理

キーワード：予防安全 ドライバ状態 画像処理

様式 C-19、F-19-1、Z-19、CK-19（共通）

1. 研究開始当初の背景

日本における交通事故の状況は、脇見運転や注意散漫、思い込み・安全不確認による歩行者や自転車、他車両の見落とし、または判断の誤りや遅れなどのドライバーの認知・判断のミスが原因であるものが70%近くを占めている。また、近年のクルマ社会ではドライバーの高齢化が進んでおり、高齢化に伴う身体機能の衰えによる認知・判断の遅れによる高齢者の事故の増加も懸念されている。このような状況の中で、交通事故を防止するために、赤外線レーザやカメラ等の種々のセンサを用いて先行車や歩行者などを検知して衝突を回避するプリクラッシュセーフティシステムなどが自動車メーカー各社より商品化されている。一方で、ドライバーの運転状態や運転行動の意図を考慮せずに支援システムが介入すると、運転行動が不安定になる可能性が考えられる。そのため、ドライバーの運転状態を考慮した、人間と機械が協調した運転支援システムが必要とされている。そこで、本研究では、自動車運転時にドライバーが認知すべき交通環境を正しく認知しているかを画像から推定し、自律運転知能による運転支援機能を作動させるか否かを判断するシステムを開発することを目的としている。

2. 研究の目的

自動車運転時にドライバーが認知すべき交通環境を正しく認知しているかを推定するにあたって、まず、車載カメラを用いてドライバーと車両前方を撮影し、得られたドライバーの顔画像から画像処理によって顔向きを推定し、その顔向き角度から前方画像のどの方向を確認しているかの注視領域抽出を行う手法を提案する。提案手法による結果の例を図1に示す。図に示すようにドライバーの顔向き推定(方向を矢印で表示)と、前方画像中の注視領域(画像中の枠線領域)の抽出が行えていることが分かる。図1(a)においてドライバーは左方向を確認しているが、このとき画像右側に存在する歩行者は注視領域に含まれていないため、ドライバーは歩行者を確認できていない。一方図1(b)ではドライバーは右方向を確認しており、歩行者は抽出した注視領域に含まれているため、ドライバーは歩行者を確認できている可能性が高いといえる。抽出した注視領域に歩行者が含まれている場合において、ドライバーが必ずしもその歩行者を認知しているとは限らないが、反対に注視領域に歩行者が含まれていない場合は、その瞬間においてドライバーはその歩行者を認知していない、または行動を確認することはできない、といえる。このことから、本研究では、注視していないという情報がより重要と考えている。提案手法を用いて顔向き推定と注視領域抽出を行った結果を基にイベント抽出を行った。ドライバーの情報だけではなく、前方画像の情報も用いることで、ドライバーの行動が安全行動か不安全行動か区別できる可能性を確認した。また、速度やブレーキなどの車両情報を加味することで、従来のイベント抽出手法では得られなかった、ドライバーの減速意図推定などへの可能性を検討した。これにより、ドライバーの安全運転評価や支援可否判断のための運転状態の推定などへの応用可能性を示す。

3. 研究の方法

(1) 処理の概要

処理の概要を図2に示す。まずドライバーの顔画像から顔向きを推定し、得られた顔向き角度からドライバーの視線方向を正面、左、右の3方向に分類する。次に分類したドライバーの視線方向をそれぞれ前方画像に対し、左、正面、右方向を1:2:1の割合で対応付けた領域を注視領域とする。

(2) ドライバ画像と車両前方画像および車両情報の取得

ドライバーと車両前方を撮影するカメラの解像度はともにVGA(640x480)のカラー画像であり、サンプリングタイム200ms(5FPS)で取得している。また、車両信号はCANから車速とブレーキの情報を、GNSSにより緯度・経度情報をそれぞれ取得している。以上の取得データはサンプリ

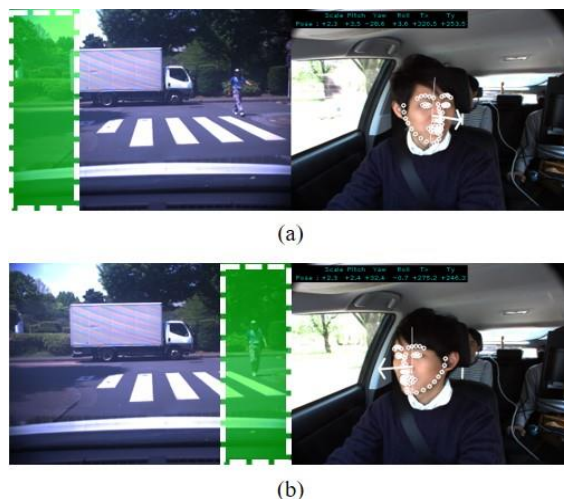


Fig.1 Result of Extracted Driver's gaze region

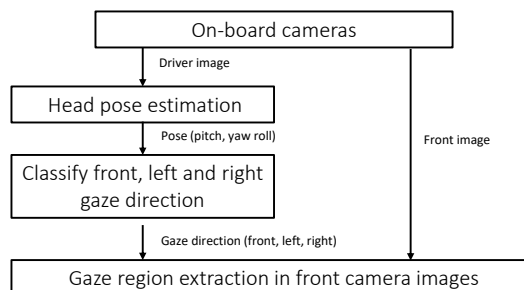


Fig.2 Overview of proposed method

ングレートが異なるため、画像の取得レートである 200ms (5fs)に同期して使用している。

(3) ドライバ画像の顔向き推定

ドライバ画像の顔向きの推定には、これまで我々が開発してきた手法(2)を使用する。これは従来提案されてきた、顔画像上の目、鼻、口、眉そして輪郭上の特徴点から Point Distribution Mode (PDM) (3)を用いて作成した顔の 3D シェイプモデルと、顔画像特徴の濃淡パターンなどで作られるアピランスで構成した顔モデルを入力画像とマッチングする CLM(Constrained Local Model) (4)を改良し、より多様な姿勢に対しても頑強に顔向きを推定することが可能な手法である。本手法を適用した結果の例を図 3 に示す。図に示すようにドライバ画像から顔向き推定が行えていることが分かる。

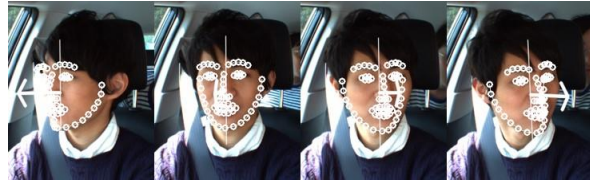


Fig.3 The result of the head pose estimation

(4) 視線方向の分類と注視領域抽出

まず、得られた顔向き角度をドライバの視線方向と仮定し、ヨー角に対してしきい値を設定し、視線方向を正面・左・右の 3 方向への分類する。自動車運転時は顔向きによらない、視線移動のみで確認行動を行うことも多いが、走行環境によってドライバは一定の回数・頻度で顔向きの変化を伴う確認行動をとるという知見をもとに(1)、ここでは顔向き角度を視線方向と仮定した。視線方向の分類については、正面方向を中心にヨー角 ± 15 度をしきい値とし、その外側を左と右に分類した。しきい値の設定については、人間の有効視野(5)や視野特性を考慮した歩行者の見落としやすさ(6)、頭部姿勢を利用したドライバの運転挙動評価(7)の知見と、本手法による顔向き推定の解析結果をもとに総合的に判断し ± 15 度とした。顔向きの推定結果をもとに視線方向を正面・左・右の分類結果を図 4 のグラフに示す。横軸は時間、縦軸は横方向の視線の推定結果で、正方向を右側、負方向を左側への顔向きの変化を表している。このデータではカメラの設置位置の関係上ドライバの正面方向は 10 度の位置となるが、グラフ上では正面方向を 0 度に補正した値を表示している。

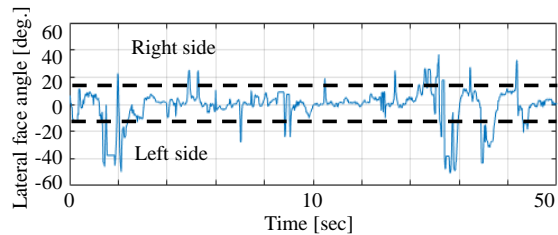


Fig. 4. The classification of gaze direction from

(5) 注視領域抽出

分類した視線方向をもとに、ドライバが前方画像中のどの方向を確認しているかの注視領域の抽出を行う。図 5 に示すように、正面・左・右の視線方向をそれぞれ 2:1:1 の割合で前方画像に対応付けを行った。この割合は、ドライバに前方画像の各領域を確認するよう指示をし、取得した顔画像データに対して顔向き推定を適用して得られた顔向き角度が正面方向に対して ± 15 度変化したときの位置から決定した。提案手法を適用した結果を図 6 に示す。図に示すようにドライバの顔向きを推定し、注視領域を抽出できていることが分かる。

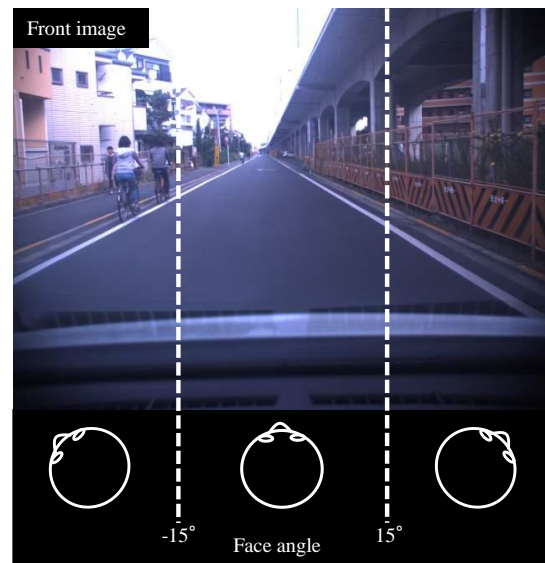


Fig.5 Definition of driver's gaze region

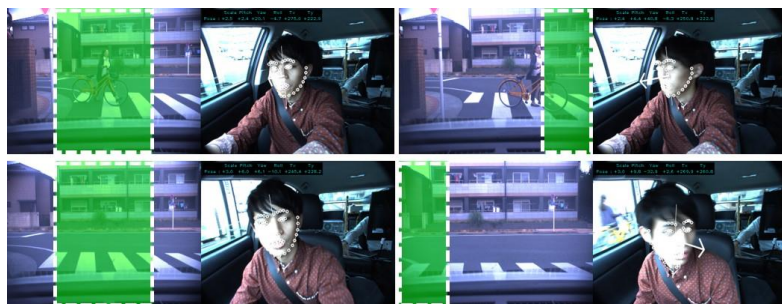


Fig.6 The result of driver's gaze region extraction

4. 研究成果

(1) 一般道におけるイベント抽出

開発したシステムを用いて 1. 顔向きのみを用いたイベント抽出, 2. 顔向きと注視領域を用いたイベント抽出を行った. また, 抽出したイベントを基に注視領域と速度・ブレーキ情報を用いたドライバの加減速意図推定の検討を行った. イベント抽出に使用したデータは, 大学周辺の一般道を約 2.5km 走行したもので, 走行時間は約 8 分であった. 抽出したイベントは取得した GNSS の位置情報と同期しているため, 走行経路上に表示することが可能となっている. 1 名の運転データを用いて, 上述した複数の手法を用いてイベント抽出した結果を次節以降で説明する.

(2) 顔向きのみを用いたイベント抽出

開発したシステムを用いて, 顔向きのみを用いたイベント抽出を行った. まず, 取得したドライバの顔画像に 3 章で説明した顔向き推定手法を適用し, 推定したドライバの顔向き角度から図 4 および図 5 に示すような正面・左・右の視線方向の分類をおこなう. 次に, 分類した視線方向をもとに, ある一定時間においてある特定の方向へ視線が偏っている位置をイベントとして抽出する. 本研究では直近 10 秒の正面・左・右の視線方向の割合を計測し, 左右いずれか一方の割合が 30%, つまり 3 秒を越えた位置を視線イベントとして抽出する.

これは自動車運転時に 3 秒以上正面以外の一方へ注意が向くと衝突リスクが高くなる (8) という知見をもとに決定した. 図 4 の例では 0 秒から 10 秒の間および 35 秒から 45 秒の間の地点で左方向への視線イベントとして抽出される.

抽出した視線イベントは, 取得した GNSS の位置情報と同期しているため, 走行経路上に表示することが可能となっている. 抽出した視線イベントを図 7 に示す. 図の縦軸と横軸はそれぞれ緯度と経度を示しており, 車両の走行軌跡を実線で示している. また抽出した視線イベント位置をひし形で示している.

抽出された視線イベントは交差点左折時や駐車車両追い越し時の安全確認行動が主な要因であり, 今回の実験では一方向を見続けるような脇見などの危険な運転行動はみられなかった. また, ドライブレコーダでイベント抽出に一般的に用いられる加速度 $-0.3G$ を越える急減速もみられなかった. そのため従来の減速などの車両情報を用いた手法では抽出できなかったイベントも, ドライバの顔向きを用いた視線イベントを加えることで抽出することができた.

(3) 顔向きと注視領域を用いたイベント抽出

4.2 節では顔向きのみを用いたイベント抽出の結果を示した. しかしながら, 顔向きの情報のみではドライバが安全確認のために顔向きを変化させたのか, 脇見行動の結果として顔向きが変化したのかを判別することができない. また, 一方向を 3 秒以上見続けていなくても, 歩行者を見落としている場合や, 安全確認のために歩行者の方向を向いたため, 他方の歩行者を見落としてしまった場合など, 前述の手法ではイベントとして抽出していない箇所においても, 危険が生じる可能性が考えられる. ドライバの安全運転評価や支援可否のための運転状態推定に用いるためには, そのような箇所もイベントとして抽出することが重要となる. そこで, 顔向きのみでイベントを抽出するのではなく, 前方画像中の歩行者等の情報も加味し, ドライバの注視領域に歩行者が含まれているか否かの情報も加味し, イベントの抽出を行う.

今回の実験においては, 前方画像から得られる情報として, 前方画像を 3 分割した領域に歩行者 (自転車を含む) が存在しているかどうかを手動でラベリングしたものをを用いる. この 3 分割した領域は抽出する注視領域と同一である. ラベリングする歩行者情報は, 分割した領域に歩行者が含まれているかどうかのみを 0/1 で表し, 車両からの距離, 含まれる人数, 歩行速度や向き, および同一人物かどうかなどの情報は付与していない. また, 遠方や柵の内側にいる場合など明らかに安全運転に影響のない歩行者や, 駐車車両や対向車などの歩行者以外の対象物は含めないこととする.

① 歩行者確認イベントの抽出

まず, 歩行者がドライバの注視領域に含まれている場所を歩行者確認イベントとして抽出する. 画像の各フレーム毎 (取得間隔 200ms, 5FPS) に注視領域に歩行者が含まれているかどうかを判定し, 連続するフレームで発生した場合はその開始位置をイベント発生地点とした. 注視領域に含まれている場合にドライバが必ずしも歩行者

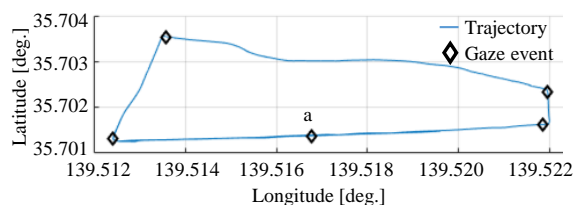


Fig. 7 The display of extracted gaze events

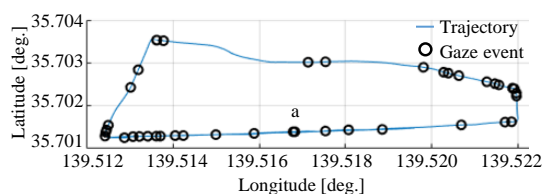


Fig. 8 The extracted events with pedestrian in gaze

を認知しているとは限らないが、先述した顔向きのみで抽出した視線イベントと合わせて解析することで、視線イベントが発生した理由を推測することができると考えられる。4.2節で使用したものと同一走行データに対し、歩行者確認イベントを抽出した結果を図8に黒丸で示す。抽出されたイベント地点は、歩行者の存在地点と比較するとおおむね一致しており、このドライバは歩行者に対して確認行動を行っている可能性が高いといえる。

また、図7のイベント抽出結果と比較すると、図中のa地点において、歩行者確認イベントが発生していることが分かる。このことからa地点でのイベントは脇見行動ではなく歩行者に対する安全確認行動であったことがわかる。このように、顔向きのみでは確認行動か脇見かの区別がつかないイベントでも、前方映像の情報も加味してイベントの抽出を行うことで、その区別をおこなえる可能性を示すことができた。

② 歩行者未確認イベントの抽出

次に、歩行者がドライバの注視領域に含まれていない場所を歩行者未確認イベントとして抽出する。図9に3秒以上継続して注視領域に

歩行者が含まれなかった歩行者未確認イベントをひし形で示す。抽出されたイベント箇所の画像を解析した結果、いずれも歩行者が複数存在するシーンであり、ドライバの注視領域に一度も含まれない歩行者は存在せず、特に危険な場面はみられなかった。図9のb地点における前方画像とその注視領域を図10に示す。このイベントは複数の歩行者を連続して追い越す場面であり、ドライバはきちんと歩行者を確認して安全に追い越している。しかしながら、歩行者を追い越す直前には注視領域から外れており、この瞬間には歩行者の行動を確認することはできていない。仮にこのときに歩行者が急横断等の行動をとった場合、ドライバはその行動を認知することができず、事故が起こる可能性も考えられる。このような場面に対して、システムがドライバに代わって注視領域を外れた歩行者を監視することで、より適切な支援介入を行うことができる。また、この場面ではドライバは正面方向を見ており、左右への視線イベントは発生しないため、従来のドライバ情報のみを用いた手法では抽出することができない。本提案手法であるドライバの顔向きと前方画像情報を用いた注視領域抽出手法では、このような場合でもイベントとして抽出することができるため、有効性が高いことを確認した。

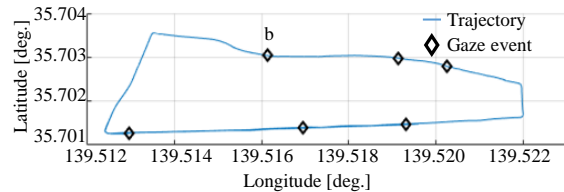


Fig. 9 The extracted events without pedestrian in gaze region.

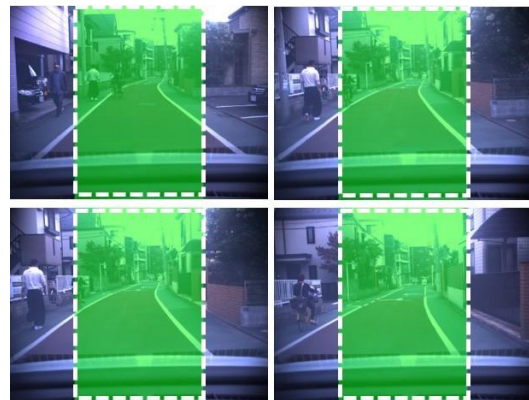


Fig. 10 Front camera images at point b in Fig.9

Fig.9

(4) 注視領域と速度・ブレーキ情報を用いたドライバの加減速意図推定の検討

注視領域の抽出に加えて、車両のブレーキ情報を利用して、ドライバの減速意図推定の可能性を探る。CAN から得られたブレーキの on/off の情報とドライバの歩行者確認イベントを図11に示す。図の黒丸は歩行者確認イベントの位置を、太線はブレーキ操作を行っている区間を示している。図のc地点やd地点などではドライバが歩行者を発見した歩行者確認イベント発生地点からドライバがブレーキ操作を行っていることが分かる。またe地点での車両速度と前方画像をそれぞれ図12と図13に示す。この地点ではドライバはブレーキ操作をしていないが、アクセルを離すことにより減速していることが分かる。これは狭路かつ歩行者や自転車、対向車などが複数存在したため、減速したと考えられる。このようにブレーキ情報や速度情報だけではドライバがなぜ減速したかその意図を理解することは難しいが、ドライバの注視領域をもとに得られる情報とともに解析することにより、減速意図を推定できる可能性を示すことができる。

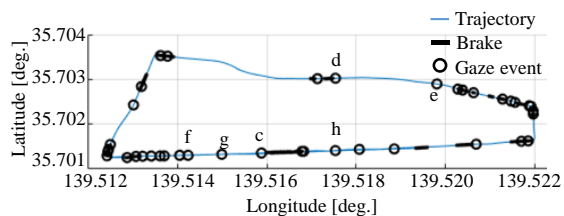


Fig. 11 The extracted events with brake.

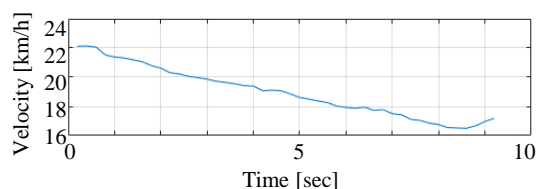


Fig. 12 Velocity at point e in Fig.11

次に、自転車追い越しシーンである f, g, h 地点に注目する。この地点での速度を解析すると、ドライバは前方を走行する自転車を発見し追い越すために一旦加速し、その後減速していることが確認できた。今回の走行シーンにおけるすべての自転車追い越しシーンにおいて同様の速度プロファイルを示す傾向がみられた。ドライバの注視領域から得られると速度情報などを組み合わせて総合的に解析することで、ドライバの運転状態や行動意図の推測が可能となり、安全運転評価やドライバの運転リスク予測などへの応用可能性が考えられる。



Fig. 13 Front camera images at point e in Fig.9

(5) まとめと今後の課題

本研究では、ドライバの顔画像から顔向きを推定し車両前方を撮影した画像のどの領域を注視しているかを表す注視領域の抽出を行った。また開発した手法を用いてイベント抽出を行った。ドライバの顔向きや車両の情報のみでイベント抽出を行うのではなく、注視領域を抽出してその領域に歩行者が存在するか否かの情報も用いて、これまで抽出することができなかったイベントを抽出できることを確認した。また、ドライバの顔向きや注視領域の情報と速度やブレーキなどの車両情報を総合的に解析することにより、ドライバの加減速などの運転行動の意図推定に利用可能であることを示した。本提案手法を用いることで、安全運転評価への利用や安全確認行動検出システムの開発、ドライバの運転意図・状態を推定することによる、運転支援システムの支援可否判断システムの実現可能性を示すことができた。

今後の課題として、ドライブレコーダ画像などの低解像度画像に対する顔向きの推定性能の向上や、前方画像の歩行者の検出などの周辺環境認識技術の実装があげられる。また、速度やブレーキ以外の車両情報を利用することを検討していく。今後は、より多くのドライバの運転データに本手法を適用し解析することで、イベント検出性能の検証を行ったり、統計的手法や機械学習を用いてより効果的なイベント検出や運転行動意図推定手法の開発を行っていく。

<引用文献>

- (1) 野呂哲史, 岩男眞由美, 近藤敏之, 丹羽伸二: ウェアラブルデバイスを用いたドライバの顔向き推定システムの開発, 自動車技術会春季大会学術講演会講演予稿集, pp.1559-1564 (2016)
- (2) 高野博幸, 山崎彬人, 金出武雄, 出口光一郎: 顔の向きに頑健なフェイスアライメント, 電子情報通信学会論文誌 D, Vol.J96-D, No.3, pp.704-712 (2013)
- (3) T.F. Cootes, C.J. Taylor, D. Cooper, and J. Graham: Training models of shape from sets of examples, Proc. British Machine Vision Conference, vol.9Citeseer, p.18 (1992)
- (4) J.M. Saragih, S. Lucey, and J.F. Cohn: Deformable model fitting by regularized landmark mean-shift, Int. Journal of Computer Vision, Vol.91, No.2, pp.200-215, (2011)
- (5) 三浦利章: 視覚的注意と安全性--有効視野を中心として, 照明学会誌 Vol.82, No.3, pp.180-184, (1998)
- (6) 谷繁龍之介, 道満恵介, 出口大輔, 目加田慶人, 井手一郎, 村瀬洋: 運転時の人間の視野特性を考慮した歩行者の見落としやすさ推定手法, 電子情報通信学会論文誌 D Vol.J99-D, No.1, pp.56-66, (2016)
- (7) 松尾治夫, 佐藤智和, 横矢直和: 安全運転評価に向けた車両信号と顔画像処理による車両運転イベントの自動抽出と記録, 画像センシングシンポジウム(SSII)講演論文集, IS3-26, pp.1-6 (2014)
- (8) 平松真知子, 小原英郎: 追突事故におけるヒューマンエラー別事故発生シナリオ, 自動車技術会学術講演会前刷集, No.80-99, pp.5-8 (1999)

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 1 件)

① 山崎彬人, ポンサトーン・ラクシンチャラーンサク, 小竹 元基: 車載カメラを用いたドライバの顔向き推定による注視領域抽出, 自動車技術会論文集, 査読有 Vol. 48 No.5, pp. 1113-1119, 2017

〔学会発表〕(計 1 件)

① 山崎彬人, ポンサトーン・ラクシンチャラーンサク, 小竹 元基: 車載カメラを用いたドライバの顔向き推定による注視領域抽出, 自動車技術会秋季大会学術講演会, 査読無, 講演予稿集, pp. 929-93, 2016

※科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。