

# 車室内モニタリングの課題と対策

Issues and Countermeasures in In-vehicle Monitoring System

\*三菱電機モビリティ㈱(博士(学術))  
†同社

## 要旨

自動車の室内をカメラで撮像し、各乗員の状態をセンシングする車室内モニタリングシステムは、自動運転の普及や一部地域での規格・アセスメント化によって、需要が高まっている。運転者を含む前席をセンシング対象とする場合、広角カメラを利用してカメラ1台でセンシングを行うケースが考えられる。このように広角カメラを用いたケースでは、運転者と運転者以外を明確に分けてセンシングすることが必要である。三菱電機モビリティ㈱(MELMB)は、センシングのうち特に、撮像制御や運転者の顔検出、顔認証について、開発や改善を行った。




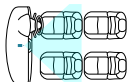
## 1. ま え が き

自動車の室内をカメラで撮像し、運転者の不注意や疲労状態を推定した上で警告や支援を行う車室内モニタリングシステム(In-vehicle Monitoring System : IMS)の導入が進展している。これは、自動運転機能の普及によって、従来の運転挙動(ふらつきや加減速など)から運転者の状態を推定する手法に限界が生じたことが一因にある。また、欧州の一般安全規則(General Safety Regulation : GSR)や欧州新車アセスメントプログラム(European New Car Assessment Program : ENCAP)で運転者の不注意等を推定する機能要件が追加されたことも、IMSの導入・拡大に寄与している。さらにENCAPでは、助手席乗員の体格や着座状態といったセンシング機能についてもアセスメント化が進んでおり、運転者だけでなく助手席乗員の状態推定を行う機能を持ったIMSの普及も見込まれる。

運転者の不注意状態の推定は、欧州のGSRやENCAPにも含まれている機能であり、また、警察庁が発表している一般原付以上運転者の法令違反別死亡事故件数<sup>(1)</sup>でも不注意が死亡事故原因上位に存在することから、IMSの必須機能と位置付けることができる。不注意状態を推定する手段としては、運転中の視線方向を推定することが一般的かつ有効であるが、カメラを瞳孔が撮像できる位置に設置して、比較的高解像度かつ高フレームレートでセンシングする必要がある。一方、前席乗員の体格や着座姿勢の推定では、カメラの解像度やフレームレートよりも、複数乗員の体全体を撮像できるといった広画角への要求度が高い。つまり、センシング機能によって求められるカメラ要求は大きく異なる。

これらの前提を踏まえた場合、カメラの搭載構成は、主に二つに分類される。一つ目は、運転者専用でセンシングするカメラと運転者含む乗員をセンシングするカメラの2台から構成されるパターン①であり、二つ目は、1台のカメラで運転者と乗員をセンシングするパターン②である。表1にそれぞれの構成と特長・短所を示す。パターン①はカバーできる機能は多いもののコストが高くなってしまう。その一方、パターン②は、瞳孔を撮像するための設置レイアウトや解像度に制約があり、対応できる機能に制限があるが、コストメリットがある。

表1-カメラ搭載パターンの特長と短所

パターン①：運転者専用カメラ+乗員用カメラ		パターン②：前席用カメラだけ	
			
運転者専用カメラ	乗員用カメラ		
<p>○特長</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・運転者専用カメラ：顔以外の情報が少なく、センシングが容易</li> <li>・乗員用カメラ：車室内を広く撮像可能</li> </ul> <p>▲短所</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・カメラ追加に伴って、コスト増加</li> </ul>		<p>○特長</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・前席用カメラ：前席乗員の胸から上を撮像可能</li> </ul> <p>▲短所</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・実現機能に制限あり(例えば、ステアリング把持は条件付きになる)</li> </ul>	

そこで本稿では、パターン①よりコストメリットがあるパターン②の構成に着目した。パターン②で、運転者向けのセンシングをロバスト性高く、また、効率的に行うための工夫について述べる。

## 2. IMSの概要と本稿のスコープ

この章では、IMSの概要と、それにまつわる課題と対策について述べる。

### 2.1 IMSの概要

IMSのハードウェアは、近赤外線イメージセンサーと近赤外線LEDを備えたカメラモジュールと、撮像を制御し、取得した画像から乗員の状態を判定するECU(Electric Control Unit)から構成される。近赤外線を用いるのは、夜間等で車室内の明るさが一定以下になった場合でも、乗員に眩(まぶ)しさを感じさせることなく撮像が行えることに加えて、外光の状況に依存せずにセンシングすることが可能で、性能が安定するためである。

IMSのソフトウェアは主に、撮像制御部、コアセンシング部、アプリケーション部の三つの処理部から構成される。撮像制御部は過去に撮像された画像の輝度情報を基に、LEDの光を取り込む露光時間を制御することによって、黒つぶれや白飛びを抑制し、センシングを行いやすい画像を取得する。コアセンシング部は、顔の位置や向き、視線などを推定処理する。アプリケーション部は、コアセンシング部で取得した情報を基に、不注意状態や顔認証といった機能を実行する。

### 2.2 課題と対策

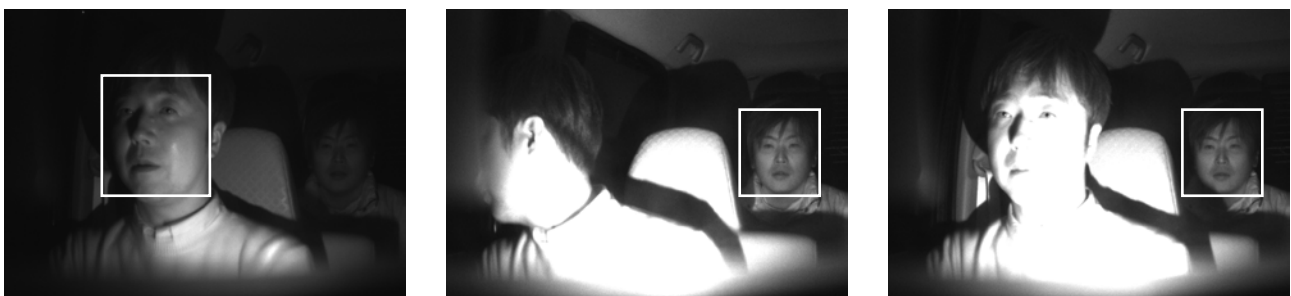
本稿では、2.1節で述べた三つの処理部の実装に当たって、運転席だけではなく前席全体を撮像できるカメラであるがゆえに生じた課題への対策を述べる。具体的には、まず、撮像制御の誤りによって画像が白飛びし、運転者のセンシングが正しく行えなかった事例への対策、次に、顔検出のロバスト性向上、効率化の対策、最後に、運転者に対する個人認証機能をほかの乗員に対して誤って実施してしまう課題に対して行った対策を述べる。

## 3. 運転者の状態推定の安定化に向けた露光制御の重要性

運転者の状態推定の精度と安定性を向上させるためには、運転者の顔の状態推定に最適化された画像取得を実現する必要と、露光制御を適切に実施する必要がある。具体的にMELMBでは、運転者の顔の輝度状態をリアルタイムでセンシングし、顔が望ましい輝度状態より白飛び傾向にある場合は、露光時間を短くして撮像画像の明るさを抑えて、黒つぶれ傾向にある場合は、逆に露光時間を長くする方へ制御することで、運転者にとって最適な画像に近づけている。

### 3.1 課題

センシングに最適な運転者の顔映像を取得するためには、運転者の顔領域内の画素の輝度情報がどのような状態かを知る必要がある。しかし、運転者以外が撮像範囲に含まれるカメラの場合、誤って運転者以外の顔を運転者としてセンシングし、露光制御が正しく行われぬ事象が発生してしまう。図1に発生事象のイメージを示す。この例は、後席乗員の顔を誤って運転席乗員としてセンシングしてしまい、後席乗員の黒つぶれ傾向の顔を明るくするために露光時間が長くなっ



(a) 運転者の顔を検出

(b) 姿勢変化に伴って後席乗員の顔を誤検出

(c) 後席誤検出が継続

図1-後席乗員誤検出に伴う露光制御不正例(画像中矩形(くけい)は顔検出結果)

ている。しかしLED光が後席には届いていないため、光を過度に照射された運転者だけが白飛びするくらいに明るくなり、後席乗員を運転者として検出し続けてしまう例である。3.2節で、この例の対策について述べる。

### 3.2 対策

3.1節で述べた白飛びを最小限に抑えるためにMELMBのIMSでは、検出された顔が誤っていないかを判定し、誤検出していないと判定した場合に運転者の顔領域内の画素の平均輝度に応じた露光設定の制御を行い、誤検出していると判定した場合には露光設定を維持する制御を行う対策をとる。例えば、運転者が存在し得る画像領域内で複数の顔が存在したとしても、各座席は物理的に離れているため、画像上では顔の大きさが異なる。そのため、運転姿勢の変化などによって一時的に運転者の顔が撮像範囲から逸脱し、その間に後席乗員の顔を検出したとしても、検出した顔の大きさの変化が一定以上であれば誤検出したと判定可能である。また、誤検出したと判定された際には、顔の検出領域自体を狭めて、かつ露光設定を維持することで、後席乗員の顔を継続して誤検出することを防いで、運転者の顔が撮像範囲に戻った際に改めて検出することが可能になる。

しかし、この誤検出判定を用いても、後席乗員の顔を運転者の顔と誤検出する場合がある。通常、後部座席は、運転席よりも光が届きにくいいため、後席乗員の顔は画像で暗く撮像される。そのため、後席乗員の顔を鮮明に撮像するための露光設定の値は、運転者の顔を鮮明に撮像するのに十分と想定される値よりも大幅に大きくなる。それに伴って、運転者の顔が撮像されている可能性の高い領域には、白飛びが発生し、運転者の顔を検出できない状態に陥る。そのため、露光設定の値が一定以上であり、かつ運転者の顔が撮像されている可能性がより高いと推定される領域の平均輝度があらかじめ設定された条件を満たす場合にも誤検出したと判断し、顔の検出領域自体を狭めて、かつ露光設定を初期値に変更する制御を行うことで白飛びを解消させて、運転者の顔を再検出可能にしている。なお、この対策に関する特許権(特許第7183420号<sup>(2)</sup>、特許第6945775号<sup>(3)</sup>)も取得している。

## 4. 顔検出の未検知及び誤検知の防止と、処理の効率化

前席全体を撮像できるカメラで運転者のセンシング処理を行う場合、前席全体の画像に対して運転者の顔検知を毎フレーム行うのは、処理負荷の観点でも、また、運転者以外の顔を運転者と誤検出する事象発生観点でも適切ではない。そのため、画像内で運転者領域を定めて、その領域内で検出された顔を運転者の顔としてセンシング処理することが合理的である。この章では、このように運転者領域を定めて処理を行う場合の課題例と対策について述べる。

### 4.1 課題

運転者領域を定めて運転者のセンシング処理を行う場合、運転者領域を狭く設定すればそれだけ運転者以外の対象を運転者と誤って検出するリスクは低下する。しかし、領域を狭く設定した場合、運転者の姿勢によってはその領域から顔が外れてしまって、運転者の顔検出が行えなくなるケースも増加する。また、運転者領域から顔が外れた場合に警告を行うようなシステムにすれば、運転者にとっては自由度が低い窮屈な運転環境になってしまう。4.2節で、この課題の対策について述べる。

### 4.2 対策

4.1節で述べた課題を解決するために、顔の未検出が生じた場合にだけ、顔の検出領域を拡張する対策が考えられる。より効率的に顔を探索するために、最終的に未検出となった顔の位置座標を参考に、未検出の範囲周辺の顔検出領域を拡張することで、ほかの乗員を誤って検出するリスクを更に低下させることも可能である。図2にこの対策のイメージを示す。図2(a)では、顔検出領域に後席乗員や助手席乗員の顔が含まれにくくなるように設定した。しかし、図2(b)のように、運転姿勢によっては顔が顔検出領域をはみ出してしまうため、図2(c)のように領域を拡張することで、継続的な検出を行うことができる。この方法であれば、例えば、運転中の姿勢崩れ等で早急に支援を行うべき状況なのか、正面方向に視線は向けて運転していて緊急性の低い状況であるのかの判別も行うことができる。なお、この対策に関する特許権(特許第7345632号<sup>(4)</sup>)も取得している。



図2-顔検出領域と顔検出結果

## 5. 運転者に対する顔認証機能のロバスト性向上

自動車での顔認証機能のユースケースとしては、盗難防止や車室内環境の個人最適化が挙げられる。例えば、乗り込み時に運転者を特定して、運転者があらかじめ設定したシート位置やミラー角度に自動変更するといったサービスを実現できて、複数ユーザーが利用する自動車の場合でも、各運転者が都度手でシート位置などを変更する手間を省くことができる。このような機能を実現するためには、撮像内に映ったどの人物が運転者なのかを正しく判別する必要がある。

### 5.1 課題

3章や4章でも述べたとおり、前席全体が撮像できるカメラの場合、助手席や後席に着座した人物も検出可能である。運転環境を最適化するためには、これら運転者以外の乗員や車外の人の顔を運転者として認識せず、運転者が乗り込んできたときに、運転者が誰であるかを正しく判定する仕組みを導入する必要がある。5.2節で、この課題の対策について述べる。

### 5.2 対策

MELMBのIMSでは、5.1節で述べた課題を解決するために、撮像画像内に、運転席や助手席の領域を定めて、その領域内に顔が検知された場合に、該当の座席に着座したユーザーと判定し、個人認識を行う対策をとっている。例えば図3(a)の状態では、誰が運転者なのかを判定することが難しいが、図3(b)のように運転席のヘッドレスト周辺を運転者領域と定めて、その領域で顔が検出された場合だけ顔認証を行うようにすれば、その他乗員を運転者と誤検出するリスクを低減させることができる。さらに、これらの領域設定のほかに、顔の大きさの条件を加えることで、後席の乗員の顔が仮に運転席向けに設定した領域内に入っても、撮像された顔の大きさから、後席の乗員としてある程度正確な判定が可能である。また、顔の向きの条件を追加することで、車外から車室内をのぞき込んでいる人が誤検出されるといったケースも防止できる。なお、この対策に関する特許権(特許第6807951号<sup>(5)</sup>)も取得している。



図3-運転者の顔認証領域設定有無による運転者の判定

## 6. む す び

車室内モニタリングの運転者向け機能に着目し、前席全体を撮像できるカメラで、正確かつ効率的に運転者をセンシングするためのMELMBの工夫を述べた。運転者として正しくセンシングするためには、まずは着座位置や撮像される顔の大きさといった運転者の定義が必要であり、仮に誤ってセンシングした場合も、3章で述べたようなりカバー策を持つことで、よりロバスト性の高いシステムになる。

今後は自動運転の高度化によって、車室内での行動自由度が高まることが予測されるため、新たなユースケースに最適化した乗員センシングの創出が必要である。

## 参 考 文 献

- (1) 警察庁交通局：令和6年中における交通死亡事故の発生状況及び道路交通法違反取締り状況等について (2025)
- (2) 安田太郎：車載用画像処理装置、および、車載用画像処理方法、特許第7183420号 (2022)
- (3) 安田太郎：車載用画像処理装置、および、車載用画像処理方法、特許第6945775号 (2021)
- (4) 國廣和樹、ほか：顔検出装置、特許第7345632号 (2023)
- (5) 三菱電機：画像認証装置、画像認証方法および自動車、特許第6807951号 (2020)

