

# カメラ映像からの脈波および瞬目波形計測と覚醒状態判定

鎌倉 快之<sup>\*1</sup> 大須賀 美恵子<sup>\*2</sup>

## The Detection System of Pulse Waveform and Blink Waveform using USB Camera Image for the Assessment of Driver's Arousal Level

Yoshiyuki Kamakura<sup>\*1</sup> and Mieko Ohsuga<sup>\*2</sup>

**Abstract** - Recently, many of driving assist systems have been proposed towards for developing full-automatic driving system. At the driving assist system or the semi-automatic driving system, driver monitoring by the driving system is necessary. Because, the driving system requires of drivers to interrupt to the driving operation of it in the case of emergency situation. We proposed the blink detection and classification system using near-infrared camera. In the driver's arousal states, there is a state of the battle against drowsiness. We think its characteristics appears on blink waveform. Therefore, we compared with distribution of the class of detected blink waveform and physiological data in order to estimate the driver's arousal states. That system is one of the non-contact sensing system using near-infrared camera. Especially at the driver monitoring, it is helpful to sense driver's state with contact free, not using dedicated devices. In this article, we propose the new system using USB visible light camera which is able to detect not only blink waveform but also pulse waveform, heart rate and position of face parts. We aim to develop the non-contact sensing system which is able to estimate more detailed assessment of driver's status.

**Keywords:** Arousal states, Driver's status, Face detection, Blink, Pulse wave, Heart rate.

### 1. はじめに

近い将来の自動運転システム（レベル3～4）の実現に向け、近年、運転支援システム（レベル1～2）の実用化と普及が急速に進んでいる。このうち、システムは主に運転を支援し、自動走行であっても緊急時にはドライバによる介入が必要とされるレベル1～3においては、運転中のドライバのモニタリングを行い、運転の特性やドライバの状態を判定することは必要不可欠な要素のひとつである。筆者らは、ドライバの状態検知・判定のうち、特にドライバの覚醒状態に注目し、近赤外カメラによる瞬目波形の取得とこれを用いた覚醒状態判定に関するシステムの開発に取り組んだ。その結果、ドライバにおいては、高覚醒、低覚醒の他に、覚醒の低下に対抗するフェーズが存在し、それらのフェーズは瞬目波形の分類によって判定が可能であることが示唆された。このことから、近赤外カメラ映像からの瞬目波形の検出と分類を行うシステムを構築し、自動覚醒状態判定に向けた、生理データや顔表情評価結果と分類瞬目の比較検証を行い、その成果について報告してきた(1-7)。

一方で、ドライバの状態検知・判定は覚醒状態だけではなく、例えば運転への意識や集中の度合い、ドライバの精神状態や健康状態なども挙げられる。これらの状態検知には、心拍や呼吸を始め、種々の生理、心理データ

の取得とその解析が必要となる。センサの小型・高性能化が進んでいる近年において、これらのデータの取得には、シートやステアリングへの生体センサの埋め込み、簡易装着型の生体センサの利用などによっても解決が可能である。しかし、専用のデバイスを必要としない、汎用カメラの映像のみを利用したセンサ非接触でのデータ取得と解析を実現するシステムや手法の提案はより有益であると考えられる。

以上のことから、汎用 USB カメラの RGB 映像から、画像処理技術を応用し、被測定者の顔と顔のパーツの検出を行うことで脈波および瞬目波形計測をリアルタイムで検出可能なシステムの構築を行うこととした。得られた情報を元に、心拍数、瞬目波形を用いた覚醒状態判定、顔のパーツの変化を基にした表情判定などが可能なシステムの実現を目指す。

### 2. システム構成

提案システムに使用したのは、Logicool 社製のロジクール HD プロウェブカム C920r で、フレームレートが 30fps の可視カメラである。このカメラを Intel Core i-7 3.1GHz の CPU、16GB のメモリを搭載した汎用ノートパソコンに接続し、撮影した映像を処理して映像からの脈波および瞬目波形の計測を行い、覚醒状態の判定に必要なパラメータ取得が可能であることを確認した。

なお、撮影した映像の処理、解析には MathWorks 社の MATLAB、および汎用画像処理ライブラリである OpenCV3.2 のパッケージを追加した Python 3.6.1 を利用した。

<sup>\*1</sup>: 大阪工業大学 情報科学部

<sup>\*2</sup>: 大阪工業大学 ロボティクス&デザイン工学部

<sup>\*1</sup>: Faculty of Information Science and Technology, Osaka Institute of Technology

<sup>\*2</sup>: Faculty of Robotics and Design, Osaka Institute of Technology



図 1. 顔検出のイメージ例  
Fig. 1 Example for face detection



図 2. 顔検出と顔追跡の結果  
Fig. 2 Results of face detection and tracking.

### 3. 顔の検出と追跡

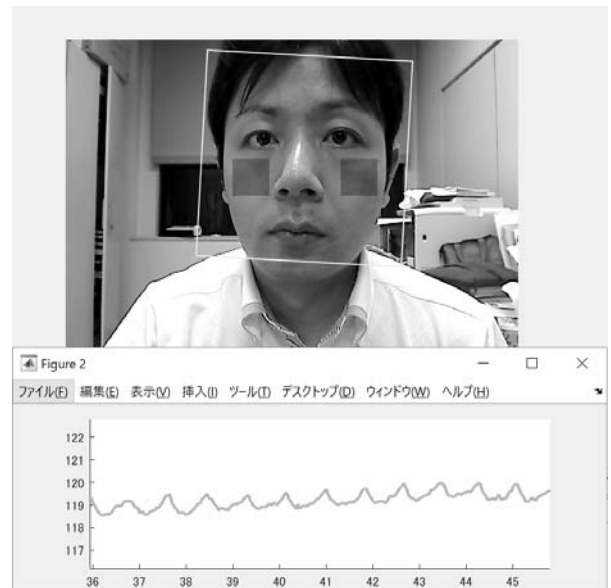
#### 3.1 顔の検出と追跡の手法

##### 3.1.1 顔の検出

顔検出機能は、デジタルカメラからスマートフォンに至るまで様々なデバイスに搭載されている。それらの顔検出のアルゴリズムで最も一般的なものは、高速かつ簡便で検出精度も比較的高いとされるカスケードを用いた Viola-Jones 法である(8)。この手法では、まず、顔検出の対象画像に対して探索窓を用意する。探索窓内の画像に機械学習アルゴリズム (Boosting) を用いて作成しておいたカスケード構造の識別器を適用し、顔の有無を判定する。探索窓の位置や大きさを変えながら対象画像内を走査することで、大小複数の顔を検出することが可能である。Viola-Jones 法では、Haar-Like 特徴と呼ばれる画像の輝度差を判定基準とする弱検出器を多段的に組み合わせたカスケード構造の識別器が用いられている。ヒトの顔の検出のイメージ図を図 1 に示す。図 1 中の画像中央にある白枠がある時点での探索窓を示し、白と黒の四角形が組み合わせられた図形が識別器の例である。

##### 3.1.2 顔の追跡

Viola-Jones 法を適用して得られた各顔検出領域の中から、特徴的な輝度差を持つ点などを特徴点として複数抽出し、それらの特徴点が次のフレームでどこに移動したかを探索することで、検出顔領域の追跡が可能である。カメラ映像の各フレーム毎に顔の検出を繰り返すのではなく、一旦顔の検出を行い、対象となる顔領域が確定した後はその領域の追跡を行うことで、映像内での人物の動きに対応することが可能となり、また顔の検出処理による演算負荷を軽減することが可能である。



横軸：撮像時間（秒）  
縦軸：緑色（G）成分の平均画素値

図 3. 脈波検出結果例

Fig.3 Results of pulse waveform detection.

#### 3.2 提案システムでの顔の検出と追跡

提案システムにおいては、被測定者はドライバなど 1 名で、ほぼ正面を向いていることを想定している。そのため、顔の検出には Viola-Jones 法を用い、そのカスケードファイルには、画像処理ライブラリなどと共に配布されている汎用的な「正面顔」の学習済みファイルを利用した。また、顔検出の速度と精度を向上させるため、探索窓のサイズは、撮像サイズの短辺の 1/3 以上、撮像サイズ以下とし、検出された顔領域が複数個存在した場合には、検出領域が最大のものを測定対象とした。解析対象となる顔領域の決定後はその領域を追跡し、追跡が失敗した場合にのみ顔検出をやり直すようにすることで、演算負荷を軽減し、被測定者の動きにある程度適応可能なシステムとした。図 2 に顔の検出結果と追跡の例を示す。被測定者がカメラのフレーム内で移動を行っても解析対象領域（画像内の白枠部分）が被測定者の動きに追従している。

#### 3.3 顔のパーツの検出

目や鼻、口といった顔のパーツの検出についても顔の検出と同様に Viola-Jones 法の適用が可能である。しかし、顔の検出に対し、顔のパーツの検出は必ずしも精度が高いとはいえず、誤検出を起こしやすい。そのため、顔のパーツの検出に用いる探索窓のサイズや探索領域、その他のパラメータを顔検出の結果に適応的に変化させることとした。ここでは、後述する瞬目波形の取得のために被測定者の右目領域だけを検出することとした。

## 4. 脈波の検出

### 4.1 脈波の検出と心拍数の推定

センサ非接触での脈波や心拍数 (HR) の計測は古くから試みられており, CCD カメラや Web カメラのカラー映像を利用したもの報告されている(9-12. 特に可視カメラのカラー映像を利用した HR 計測の原理は広く知られてきており, その原理を利用したスマートフォンの内蔵カメラで撮影した顔映像から心拍数を計測するアプリも複数提供されている.

可視カメラによるカラー映像を利用して脈波や HR を計測する場合, ヒトの肌の色を構成する RGB 色成分のうちの緑色 (G) の成分の変化に注目する. ヒトの血液中の赤血球に含まれるヘモグロビンは緑色の光を吸収するため, 脈動により血流量が増えた時には緑色の光の吸収量も増加し, 血流量が減少するときには緑色の光の吸収量も減少する. この作用によって, 肌の色の緑色 (G) の成分は脈動に合わせて微妙に変化しているとされている. そのため, カメラで撮影した肌の色の緑色 (G) の成分の変化をとらえると, そこには脈波成分が含まれており, 脈波の抽出およびそのピーク回数をを用いた HR の推定が可能であるとされている.

### 4.2 提案システムでの脈波検出と心拍数の推定

3.1.3 で抽出した顔領域に対し, フレーム毎の肌の色の变化を観察するための関心領域 (Region of Interest, ROI) を両頬のあたりに設定する (図 3 に示す画像中白枠内の濃灰色四角形領域). ROI 内には背景, 髪の毛や髭, 眼鏡類など肌以外のもの, 顔の凹凸や環境光の影響による反射や影が含まれる可能性がある. そのため, ROI 内の肌色領域を判定し, 正となったピクセルの緑色 (G) の成分のみを抽出, 平均した. これをフレーム毎に時系列に並べたものを脈波波形とし, その一定時間内のピーク数を数えることで HR の推定値とした. なお, 肌色領域の判定には, 証明条件にロバストな肌色判定が可能とされる文献 13 の手法を用いた. 図 3 に脈波の検出結果例を示す. 図中のグラフの横軸は撮像時間 (秒), 縦軸は緑色 (G) 成分の平均画素値である. 図 3 の通り, 顔領域の検出と肌色領域の抽出によって, 緑色 (G) 成分だけを時系列に並べても脈波波形が観測されることがわかる. なお, 文献 12 などにおいては, 緑色 (G) 成分に独立成分分析 (ICA) を適用することで, より精度の高い脈波の取得が可能であるとしていることから, それらの手法の適用についても検討を行っている.

## 5. 瞬目波形の抽出

### 5.1 瞬目波形の抽出

筆者らは, 文献 4 において, 近赤外カメラの映像に対し, Active Shape Model (ACM) を適用して被測定者の目の形状にフィッティングしたランドマークを取得, そこから眼尻と目頭, それらを結んだ直線と直行し開眼時に

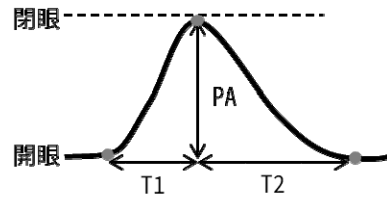


図 4. 瞬目パラメータ (出展: 文献[\*])

Fig.4 Parameters in blink waveform (Source [\*])

表 1. 瞬目カテゴリ分類 (出展: 文献[\*])

Table 1 Categories of blink waveform (Source [\*])

カテゴリ	波形	特徴
A		標準的な瞬目
B		PAが大きい and/or (T1 and/or T2)が長い
C		PAが小さい
D		PAが大きくない and (T1が長い and/or T2が長い)
E		PAが小さい and (T1が短い and T2が短い)

上瞼と下瞼の距離が最も大きくなるランドマークの対を算出した. これらのパラメータを使用して上下瞼間距離を目頭目尻間距離で正規化した眼瞼開口度を得, その変化を図示すると, 垂直眼電図 (V-EOG) と類似した瞬目形状波形となることがわかっている.

### 5.2 提案システムで瞬目波形の検出と分類

提案システムにおいても, 3.3 で得られた被測定者の右目領域のデータを基に 5.1 とほぼ同様の手法を用いて瞬目波形の検出を行っている.

## 6. 予備実験の結果

筆者ら自身を対象として予備実験を行い, 本稿の通りの結果を得た. なお, 本稿中に用いたヒトを対象としたデータはすべて筆者自身のものである. このように汎用の USB カメラとノートパソコンを利用し, 顔, 顔のパーツ, 頬周辺の肌の色の取得を行うことで, 非接触による脈波および瞬目波形計測が可能であった.

今後, 倫理審査を経た後, 複数の参加者に対して, 接触型の生体センサの計測結果と提案システムを用いて計測した脈波および瞬目波形を比較検証する実験を行う予定である. また, 大須賀らが提案するバイタルセンシングチェア[14]による計測データとの比較検証などを行い, 複数センサの利用による計測精度の向上などについても検討を行う.

デモ発表においては、提案システムのデモンストレーションを行い、ディスカッションを通じてコメントや改善提案を戴くことで今後のシステムの発展に役立てたいと考えている。

## 7. 今後のシステムの更新計画

筆者らは、文献3他において、瞬目波形をピーク（閉眼状態）までの時間 T1、ピークから瞬目終了までの時間 T2、ピークの高さ（瞬目開始とピークの間の電位差）PA の3つのパラメータ（図4）であらわし、その値をもとに5つのカテゴリに分類した（表1）。これら各カテゴリの瞬目出現頻度は、被験者の覚醒状態の変化に合わせて変化することがわかっている。また、瞬目波形を入力、瞬目カテゴリを出力として隠れマルコフモデル（Hidden Markov Model: HMM）を識別器に利用した瞬目カテゴリ識別モデルを構築し、瞬目カテゴリと顔表情評定による眠気判定結果および生理データの比較検証を通じた覚醒状態判定を試みてきている。同システムについては2008年に開催されたヒューマンインタフェースシンポジウムにおいてデモンストレーションを行った[15]。

提案システムには HMM を始め、サポートベクタマシン（Support Vector Machine: SVM）他、種々の学習機能を導入することが可能である。また、顔のパーツを取得可能であることから表情のデータについても取得可能であると考えられる。これらの機能を実装し、計測した HR、瞬目波形、顔のパーツから、瞬目カテゴリ、顔表情などのデータを習得、学習し、そこからドライバの状態の判定が可能となるようなシステムへと発展させていきたいと考えている。

## 参考文献

- [1] OHSUGA Miekko, KAMAKURA Yoshiyuki, INOUE Yumiko, NOGUCHI Yoshihiro, SHIMADA Kenji, MISHIRO Masami : Estimation of Driver's Arousal State Using Multi-dimensional Physiological Indices, Lect Notes Comput Sci, 6781, pp.176-185, (2011).
- [2] NOGUCHI Yoshihiro, SHIMADA Keiji, OHSUGA Miekko, KAMAKURA Yoshiyuki, INOUE Yumiko : The Assessment of Driver's Arousal States from the Classification of Eye-Blink Patterns, Lect Notes Comput Sci, 5639, pp.414-423, (2009).
- [3] 大須賀 美恵子, 鎌倉 快之, 井上 裕美子, 野口 祥宏, ノブスワンチャイ ルーングロシュ, ドライバの覚醒状態推定, 自動車技術, 62(12), pp.46-52, (2008).
- [4] Nopsuwanchai Roongroj, Noguchi Yoshihiro, Ohsuga Miekko, KAMAKURA Yoshiyuki, The Assessment of Driver's Arousal States from Video Sequences Based on the Classification of Eye-Blink Patterns, 自動車技術会論文集, 38(6), pp.253-258, (2007).
- [5] 鎌倉 快之, 大須賀 美恵子, 井上 裕美子, 野口 祥宏, ドライバの覚醒水準評価をめざした瞬目の分類について, 自動車技術会論文集, 38(4), pp.173-178, (2007).
- [6] OHSUGA Miekko, KAMAKURA Yoshiyuki, INOUE Yumiko, NOGUCHI Yoshihiro, NOPSUWANCHAI Roongroj, Classification of Blink Waveforms Toward the Assessment of Driver's Arousal Levels-An EOG Approach and the Correlation with Physiological Measures, Lect Notes Comput Sci, 4562, pp.787-795, (2007).
- [7] NOGUCHI Yoshihiro, NOPSUWANCHAI Roongroj, OHSUGA Miekko, KAMAKURA Yoshiyuki, Classification of Blink Waveforms Towards the Assessment of Driver's Arousal Level-An Approach for HMM Based Classification from Blinking Video Sequence, Lect Notes Comput Sci, 4562, pp.779-786, (2007).
- [8] Paul Viola, Michael Jones, Rapid object detection using a boosted cascade of simple features, Accepted Conference on Computer Vision and Pattern Recognition 2001 pp.1-9, (2001)
- [9] M. Garbey, N. Sun, A. Merla, and I. Pavlidis, Contact-free measurement of cardiac pulse based on the analysis of thermal imagery, IEEE Trans. Biomed. Eng., 54(8), pp.1418-1426 (2007).
- [10] Chihiro Takano, Yuji Ohta, Heart rate measurement based on a time-lapse image, Medical Engineering & Physics, 29(8), pp.853-857, (2007).
- [11] W. Verkruysse, L. O. Svaasand, and J. S. Nelson, Remote plethysmographic imaging using ambient light, Optics Express, 16(26), pp.21434-21445 (2008).
- [12] Ming-Zher Poh, Daniel J. McDuff, and Rosalind W. Picard, Non-contact, automated cardiac pulse measurements using video imaging and blind source separation, Optics Express, 18(10), pp. 10762-10774 (2010).
- [13] 田中昭二, 田中聡, 照明条件の変化にロバストな顔部位領域の追跡, 電子情報通信学会技術研究報.IE, 画像工学, 101(626), pp73-78, (2002).
- [14] 大須賀美恵子, バイタルセンシングチェアの応用可能性について, ヒューマンインタフェースシンポジウム 2017, (2017).
- [15] 鎌倉 快之, 大須賀 美恵子, 井上 裕美子, NOPSUWANCHAI Roongroj, 野口祥宏, ドライバの覚醒状態評価に向けた瞬目カテゴリ分類, ヒューマンインタフェースシンポジウム論文集(CD-ROM), (2008).