

運転手の眠気検出のための開眼率の高精度な推定

High-accuracy Estimation of Eye-opening Rate for Detection of Driver Drowsiness

松井 清修[†] 青木 輝勝[†]
Seishu Matsui Terumasa Aoki

1. 研究背景と目的

疲労運転、特に居眠り運転による交通事故は深刻な社会問題となっており、その死亡重症率は他の交通事故に比べて約 4 倍と報告されている[1]。眠気を検出し、これらの事故を未然に防ぐための手法については既に様々な研究が行われている。だが、これらの技術の多くは運転手の顔をカメラが正面から完全に捉えることを前提に設計されており、現実の車両環境では必ずしも適用できない。したがって、これらの手法は実際の運転環境に対する実用的な解決策とはいえない。

この問題に対する解決策として、本研究では Siamese Network[2]を用いた新たな眠気検出モデルを提案する。このモデルは、運転手の眼の通常の状態と現在の状態の特徴量を比較し、その違いから現在の開眼率を正確に推定する。そして、提案手法の有効性を検証するために正面以外からでも開眼率を予測できる他の技術との比較も行った。Face Frontalization GAN[3]による顔の正面化を用いたアプローチや CNN による回帰モデルと比較して、本手法が優れていることを示す。

2. 関連研究と問題点

眠気検出に関する手法は数多く存在する。顔の向きや姿勢、目の開眼率やあくびなど多岐にわたる。本章では目や口に注目した研究の中で dlib を用いた研究と CNN を用いた研究の 2 つを紹介する。

2.1 関連研究 1

この研究では機械学習ライブラリである dlib と顔の特徴点を活用し、運転者の目の動きとあくびを捉えることで眠気を検出している[4]。Eye Aspect Ratio (EAR) という指標を用いて運転者の眼の閉じている時間を測定し、閾値を超えると眠気と判断する。同時に、顔の特徴点と dlib ライブラリを用いて運転者のあくびを検出し、これも眠気の判断材料とする。このシステムは、運転者の状態を 4 つに分類し、リアルタイム画面で各状態を色分けして視覚的に表示する。図 1 からわかるように、状態により緑色や赤色の顔や口

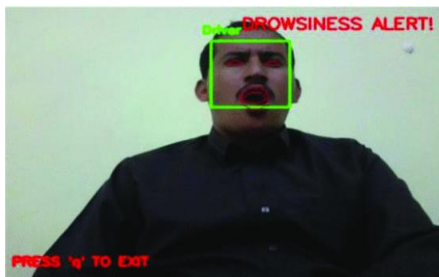


図 1 眠気検知をした画像(Real-time Driver Drowsiness Detection based on Eye Movement and Yawning using Facial Landmark [4]より引用)

の境界が表示され、眠気の有無が識別される。眠気が検出された場合には警告音が鳴り、運転者に眠気を感じていることを知らせる。またこの研究は低コストであり、リソースが限られている車内で使う技術として有効であると示されている。

2.2 関連研究 2

この研究では運転者の疲労状態を検出するための完全自動化されたアルゴリズムを提案している[5]。この研究のアルゴリズムでは、顔の検出と特徴点の位置決めマルチタスクカスケード畳み込みネットワーク (MTCNN) アーキテクチャを使用し、特徴点を使用して関心領域 (ROI) を抽出する。そして、ROI 画像から目と口の状態を検出するために、EM-CNN と名付けられた畳み込みニューラルネットワークを提案している。学習には図 2 のように、実際に車に乗っている運転手の画像から疲労検出のための 2 つのパラメータとして、瞼の閉じる割合 (PERCLOS) と口の開き度 (POM) が使用される。実験結果では、提案された EM-CNN が運転画像を使用して効率的に運転者の疲労状態を検出できることを示している。



図 2 学習用の画像(Driver Fatigue Detection Based on Convolutional Neural Networks Using EM-CNN[5]より引用)

2.3 関連研究の問題点

これまでの眠気検出の多くは、紹介した 2 つの研究からもわかる通り、顔や眼を正面から正確にカメラで撮った時を前提としている。しかし車内カメラは上からや横からなど角度がついた状態で撮影されることが多く、既存手法は実用的でない。そのため角度がついた状態の映像からでも正確に開眼率を計測する必要がある。

[†] 東京工科大学 Tokyo University of Technology

3. 提案手法

本研究手法では Siamese Network を利用して、運転手の眠気を検出するための新たな手法を提案する。Siamese Network とは図 2 に示すように 2 つの同一の畳み込みネットワークから構成されており、その画像のペアは CNN を通じて処理され、その特徴ベクトルの差分によって類似度を計測する。Siamese Network は主に顔認証などのパターン認識に用いられるが、本研究手法では Siamese Network を用いた回帰モデルによって運転手の開眼率を求め、眠気を検知する。

具体的には眼の画像から特徴を抽出し、その特徴の差異を基に開眼率を推定する。学習には `diagonal_image` と `normal_image` という 2 つのディレクトリ内の画像と `output.txt` で行う。`diagonal_image` には学習に使う様々な開眼率の画像、`normal_image` には通常状態（開眼率 100%）の画像が 1 枚はいている。また `output.txt` には `diagonal_image` にある画像ファイルの名前とそれぞれの開眼率が記されている。Siamese Network の 2 つの入力のうち、一方には `normal_image` にはいつている通常状態の画像を毎回入力として使用し、もう一方には `diagonal_image` に入っている様々な開眼率の画像を入力する。そしてそれぞれから特徴量を抽出する。特徴量抽出には、事前に訓練された ResNet を使用する。これら 2 つの画像から抽出された特徴の差異（絶対値）を計算し、その差異を 1 次元に変換する全結合層を通じて開眼率を推定する。損失関数には、コントラティブ損失を使用する。この損失関数は、2 つの画像の特徴の差異と、その画像の開眼率の差との間に一貫性を持たせることを目的としており、同じ開眼率を持つ画像ペアの特徴の差異は小さく、異なる開眼率を持つ画像ペアの特徴の差異は大きくなるように学習をする。

特徴量の差分と開眼率の関係性を出力した結果の一例を図 4 に示す。データセット内にはデータ拡張によって図 4 では開眼率が 1.0 の時は特徴量の差分が小さく、離れていくほど特徴量の差分も大きくなっていく様子がわかる。

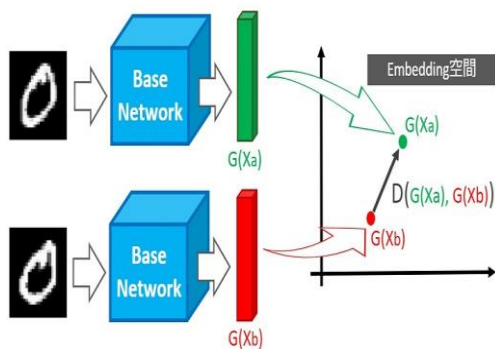


図 3 Siamese Network の構造(【深層距離学習】Siamese Network と Contrastive Loss を徹底解説[2]より引用)

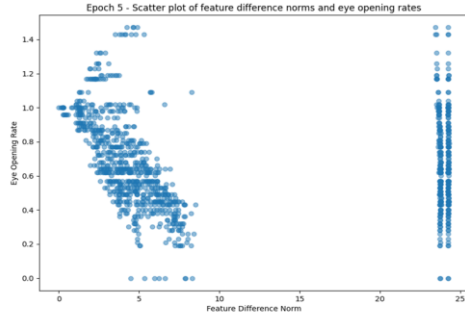


図 4 開眼率と特徴量の差分の関係性

4. 実験結果

顔の正面化を用いたアプローチと CNN による回帰モデルを本手法と比較した結果、提案手法が最も優れていることが明らかになった。顔の正面化は、FFGAN(face frontalization GAN)[5]を用いて、斜めから撮った眼の画像から正面化画像を生成し、開眼率を求めている。また CNN に関しては学習済みの vgg16 に現在の状態の画像とその開眼率を学習させ開眼率を出力させている。以上の比較実験の結果、テストデータに対して本手法である Siamese Network を用いた回帰モデルが最も精度が高いことが分かった。

5. まとめと今後の課題

本研究では、運転者の眠気を正確に検出するための新しい手法を提案した。このモデルは、Siamese Network を活用して運転者の眼の正常な状態と現行の状態の特徴を比較し、その違いから現行の開眼率を高精度に推定している。これにより正面以外の角度からでも開眼率を正確に出すことができることがわかった。またそのほかの手法と比較しても優れた手法であることが明らかになった。

一方で、今後の課題としてモデルの汎用性の強化が必要となる。異なる照明条件下での性能、運転者が眼鏡を着用している場合の適応性など、多様なシチュエーションへの対応力を向上させることが求められる。今後は、このような課題への対応とともに、眠気検出技術のさらなる精度向上と汎用性の確立を目指す。

参考文献

- [1] 株式会社ラビット・カーネットワーク, “居眠り運転の対策・防止策とは【罰則点数についても解説】”, carticle, 2020.03.26, https://www.e-rabbit.jp/carticle/drowsy-driving/?doing_wp_cron=16736811597881250381469726562500, [アクセス日:2023/06/16]
- [2] はやぶさ, “【深層距離学習】Siamese Network と Contrastive Loss を徹底解説”, はやぶさの技術ノート, 2019 年 11 月 23 日, <https://cpp-learning.com/siamese-network/>
- [3] Scaleway. (2023). Pytorch implementation of a face frontalization GAN. GitHub. <https://github.com/scaleway/frontalization>
- [4] Ali Mansour Al-madani; Ashok T. Gaikwad; Vivek Mahale; Zeyad A.T. Ahmed; Ahmed Abdullah A. Shareef, “Real-time Driver Drowsiness Detection based on Eye Movement and Yawning using Facial Landmark”, 2021 International Conference on Computer Communication and Informatics (ICCCI), 27-29 January 2021, <https://ieeexplore.ieee.org/document/9457005/authors#authors>
- [5] Zuopeng Zhao, Nana Zhou, Lan Zhang, Hualin Yan, Yi Xu, Zhongxin Zhang, “Driver Fatigue Detection Based on Convolutional Neural Networks Using EM-CNN”, Computational Intelligence and Neuroscience Volume 2020, 18 Nov 2020, <https://www.hindawi.com/journals/cin/2020/7251280/>