

感情推定による運転権限移譲可否判断手法

長谷川廉¹ 清原良三¹ 鈴木孝幸¹

概要: 自動運転技術の導入が、安全面、コスト面、CO₂削減などあらゆる方面から期待されている。しかしながら不完全な状態での導入では、事故の原因となる場合も想定されるため、段階をおった導入が検討されている。中でも自動運転レベル3という段階では限定的な場所では、自動運転が許可されることになる。一旦自動運転が許可されるとドライバはスマートフォンをアクセスするなどリラックス状態となるため、ルール上はいつでも運転できる状態にあるべきとしても、不注意でスマートフォンの操作に集中したり、居眠りしたりする場合は考えられる。そこで、自動運転から手動運転に切り替えて良いかどうかの判断手法や、通知手法に関して研究されつつある。本論文で、これらの手法に、さらに感情推定を導入することにより、権限以上の可否判断の精度の向上手法を提案し、基礎的な実験評価を行ったので、その結果を報告する。

キーワード: 自動運転, レベル3, 権限以上, 感情推定

1. はじめに

自動運転技術の導入は配送ネットワークの拡大やコスト削減、安全性への対策として期待が高まっている。SDGsで掲げられている17の目標のうち3番目である「すべての人に健康と福祉を」と11番目の目標である「住み続けられる街作りを」の二つの目標において自動運転は必要とされており、地域再生や高齢化社会対策の要である。自動運転は、その技術適用段階に関してSAE (Society of Automotive Engineers) Internationalにより5段階の自動運転レベル(表1)に分けられ定義されている。

交通事故の発生件数の多くが運転違反(ヒューマンエラー)に起因することから、自動運転技術の実用化によりこれらのヒューマンエラーに起因する交通事故が大幅に削減されることが期待されている。このため自動運転はそれぞれのレベルに応じた走行条件下において、人間のみが運転する場合よりも高度な認知、判断および操作を行い、ヒューマンエラーに起因する事故が削減されるものでなければならない。

また感情も事故を起こす原因の一部と考えられてきている。そのため感情を考慮した事故の削減も考えなければならない。自動運転レベル3の安全性において、国土交通省自動車局の自動運転安全技術ガイドライン[2]によると以下の要件を満たす自動運転システムが必要である。

(1) 設定された運転設計領域の範囲内となった場合や自動

- 運転中に障害が発生した場合等、自動運転継続が困難であるとシステムが判断した場合において、運転者に対し介入のための警告(運転権限の委譲)を行うこと
- (2) 運転者に運転権限が委譲されるまでの間、システムの機能を維持又はシステムの機能を制限した状態でシステムの稼働を継続させるフォールバック(縮退運転)を行うことにより、安全に自動運転を継続すること
 - (3) システムから運転者に運転が引き継がれたか否かを判断することができること
 - (4) システムから運転者に運転が引き継がれない場合において、車両を自動で安全に停止させること

表1 自動運転レベル

レベル	特徴
5	完全自動運転
4	特定条件における完全自動運転 出発から目的地への走行を実現するため自動車走行位置の認識、周辺の走行車両や歩行者の行動予測、自車の走行経路計画とその経路に沿った走行といった技術要素。
3	条件付き自動運転 システムがすべての運転タスクを実施するがシステムの介入、要求にはドライバーが適切に対応すること。
2	特定条件下での自動運転機能(レベル1の組み合わせ) 特定条件下での自動運転機能(高機能化):部分的なもの
1	運転支援がついている。 (例:自動ブレーキ, ACC(自動追従), 斜線からはみ出さない機能など)
0	自動運転化なし

¹ 神奈川工科大学
Kanagawa Institute of Technology

自動運転レベル3においてシステムが運転制御しているときはドライバは周辺を監視しなければならない。しかし、海外の公道実験では多数の事故が発生しており、中にはドライバの不注意によって事故が発生しているケースがある。今後自動運転の普及とともにドライバがシステムに頼り切り、監視の意識が低下していくことが予想できる。この意識の低下によって緊急時に対応できない側面とともに、非緊急時にも自動運転継続が困難であるとシステムが判断した場合にも権限委譲時、その後の対応ができないことが容易に想定できる。

運転時のヒューマンエラーの要因はドライバの認知、判断、操作に分かれている。認知では主にドライバが周辺状況の確認不足である。判断は主に誤った思い込みである。操作は主に操作の誤りである。これらのヒューマンエラーをドライバの状態をカメラやセンサーなどで取得し、得られた情報をもとにドライバの状態を判断するシステムが必要である。

本論文では自動運転中のドライバの生体情報から感情を推定し引き継ぎを判断することによって手動運転に切り替わった後ドライバの感情によって引き起こされる事故を防止することを目的とする。

2. 権限委譲のプロセス

自動運転から手動運転への権限移譲には以下に示す2種類がある。

- 緊急時の判断のための緊急権限移譲 (図1)
- 自動運転が許可されないエリアへの侵入時 (図2)

自動運転レベル3は限定した条件下で許可されるものである。その条件はエリア的なものと、周辺状況の2点で決められる。エリア的なものは走行していくため、事前に権限移譲が必要であることがわかり、準備が可能であるのに対して、周辺状況に依存する場合は、いつその状況になる

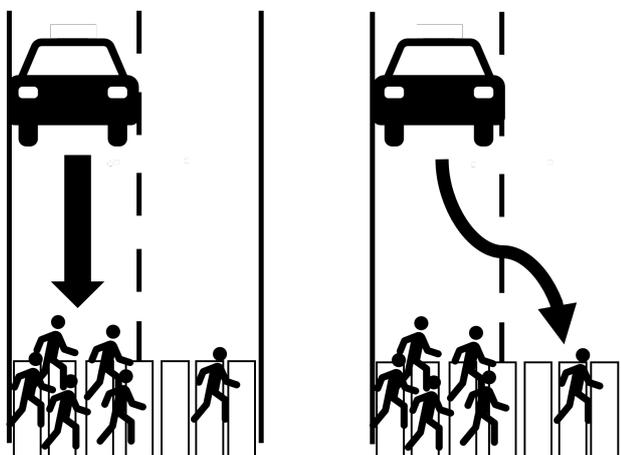


図1 緊急時の権限移譲

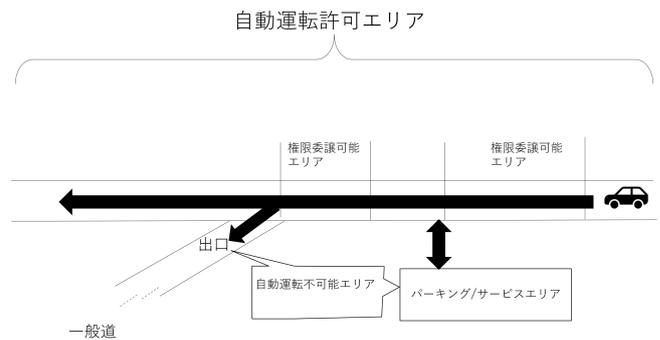


図2 計画的権限移譲

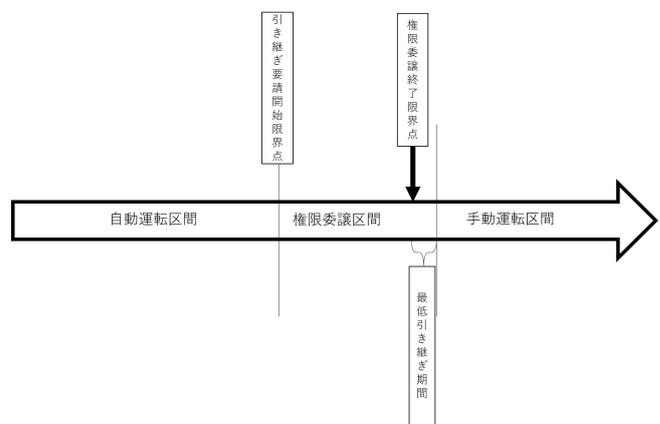


図3 時系列に沿ったプロセス

かわからないことが多い。そのため、レベル3では本来、常に権限が移譲されても問題ないような体制をドライバに求めている。

しかしながら、文献 [1] にも示されるようにレベル3での運転に慣れると、いくらドライバは常に権限移譲されても問題ないようであるべきとしてもスマートフォンの操作に夢中になったり、画面のコンテンツの視聴に集中してしまうといったことが十分予測できる。

こういったドライバの状態を常時システムが把握しておくことができれば、緊急時および計画的に権限移譲できる場合の双方に対応できると考えられる。そこで、本論文ではこの2点のうち、緩やかに、計画的に権限移譲する場合に、どのようにあるべきかに焦点を絞って検討を進めることにした。

図3に計画的な権限委譲のプロセスを時系列で示す。時系列に従って、次の3つの区間に分ける。

- 自動運転区間
- 権限委譲区間：権限委譲開始から権限委譲完了までの区間とする
- 手動運転区間

また、それぞれの区間中に以下示す限界点を定義する。

- 引継ぎ要請開始限界点
- 権限移譲可能判断限界点
- 権限移譲終了限界点

図4にドライバ視点での自動運転に切り替えプロセスを示す。自動運転中は周辺を監視する。もしくは別のタスクを行う。運転引き継ぎの警告が発生するとドライバは応答もしくは応答をしない。応答がある場合は周辺を確認し、運転操作を開始する。応答がない場合は応答があるまでそのままである。

引き継ぎ後のヒューマンエラーを削減するためにドライバが応答後と権限委譲終了の間にドライバに運転操作を行わせ、その運転操作から権限委譲可能かを判断する研究やドライバの応答時にドライバの視線方向を確認し権限委譲が可能であるか判断する研究が行われてきた。しかしこれらの研究ではドライバの応答を待つ時間の他にさらに時間を必要とするそのため緊急時に対応が遅れ、安全性が低下する。

これらのことからドライバの状態を確認するのは引き継ぎ要請をする前が好ましいと言える。そのため引き継ぎ後のヒューマンエラーを削減するために本研究では自動運転開始からドライバが応答するまでの間でヒューマンエラーになり得る要因を検出することとした。

3. 関連研究

ドライバの状況に関する研究は数多くされている。文献[2]では、ドライバの状況はどこを走行しているかに依存して変わるといふ点に着目した研究であり、影響が大きいことを示しているが、直接的に自動運転に関わるかどうかは示されていない。

直接関係するような研究としては眠気検知に関する研究[3]などがあるが自動運転中の場合は視線は必ずしも前を見てるとは限らないためそのまま利用することはできない。

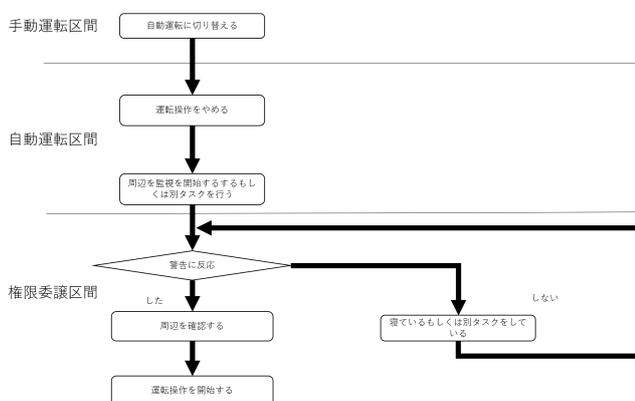


図4 ドライバにおける権限委譲のプロセス

い。心拍に関してのみは有効であると考えられる。

また、安全な引継ぎ方法に関する研究[4]などもあるが、通知手法が主であってドライバの状態はどうすべきかという観点からはそのまま利用できるわけではない。段階を区切り周辺状況を考慮した引継ぎ手法も提案されている[5]がドライバの状況に応じたものではない。

ドライバの運転操作から権限委譲を判断する手法[6]ではハンドル操作とブレーキ操作を引き継ぎ要請発生後にドライバに自動運転中に擬似的操作をさせることによって判断する。しかし緊急時における権限委譲の安全を確保しにくい。

また人間の感情や自動運転時の人の状態の推定やセラピーやマインドフルネスなど人の心の状態である感情の推定手法について関心が高まっている。運転時の生体情報を用いた感情推定手法[7]では感情推定に10秒程度の脈拍からRR間隔を求めてPNN50によってドライバが不快に感じているか快と感じているかを計測している。また、脳波ではα波とβ波を用いて覚醒度を算出して利用している。

これらによって運転中のドライバが緊急時にどのような感情で運転をしているか調査している。しかし、10秒程度で心拍数から不快か快を調べているがその10秒間の間でデータが取得できなければ計測が失敗となってしまう。そのため安定した計測をするために長時間の計測をしなければいけない。

上記のことから感情は運転時の判断能力と操作に影響が出やすいと仮定する。

4. 提案手法

本論文では引き継ぎ要請発生前にドライバの生体状態から感情推定を行い、ドライバの応答時に引き継ぎを判断する権限委譲手法を提案する。

提案手法の構成を図5に示す。自動運転開始から権限委譲区間におけるドライバの応答までの生体情報計測とする。生体情報としては本来は安価なセンサで非接触なもののみ計測可能な情報で判断しなければ、一般のドライバには普及しないという問題がある。

そこで、比較的安価で多くのドライバに受入れられるであろう心拍の測定とカメラを利用することによる姿勢判断で実現する手法を検討するが、ここではさらに脳波も測定することでより真の状態に近い状態を考える。その後、脳波と心拍の関係を明らかにすることにより心拍のみである程度判断できることを示す。

権限移譲に関しては、権限移譲通知に対して、ドライバの応答が有り、ドライバの状態が良好である場合に自動運転を終了し権限委譲を行う。ドライバの応答もしくは応答があってもドライバの状態が不良の場合は安全な場所での停車をさせる。この不良な場合を心拍の測定により実現する。

図 6 に判断の構成を示す。ドライバが通知に対して応答したことは、ドライバがハンドルを握ることで確認する。この時点で判断限界点までに応答がない場合には権限委譲不可能とする。

次に応答後に姿勢を判断する。手動運転時姿勢を判断基準とし応答時の姿勢と比較する。ドライバが手動運転時の姿勢に近くなければ権限委譲不可能とする。その後、ドライバの自動運転時の感情において運転操作に悪影響が出ないかを判断をする。

感情の測定法は脳波とストレス指標を用い、Russell 円環モデル [9] 図 7 にプロットすることで感情を計測する。座位姿勢を OpenPose を用いることで測定する。

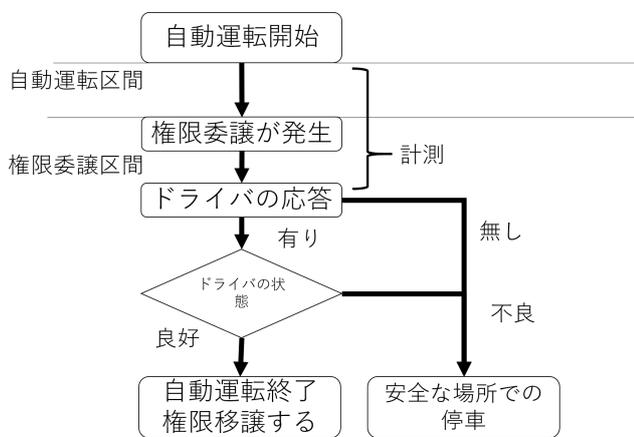


図 5 提案手法の構成図

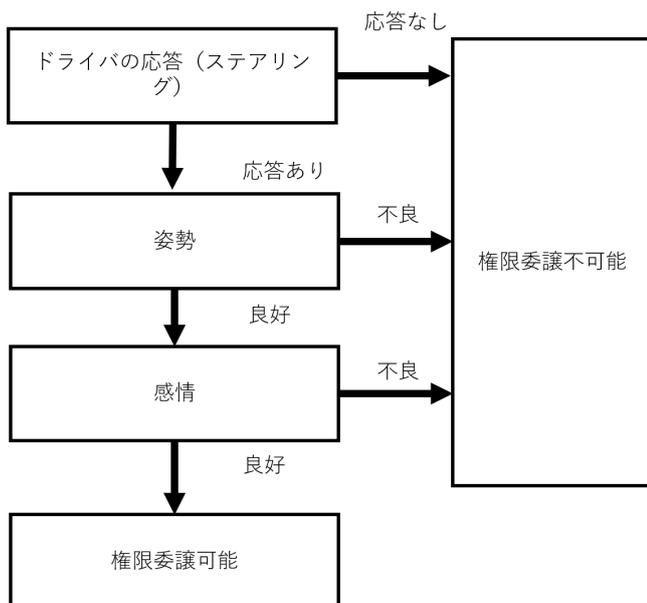


図 6 判断の詳細

ストレス指標を求めるためには心拍変動から交感神経と副交感神経のバランスを測定する。心拍変動から R-R 間隔を求めその周波数からパワースペクトル密度を推定し求めた密度から LF (Low Frequency) 成分 (0.04 - 0.15Hz), HF (High Frequency) 成分 (0.15 - 0.45Hz) を算出する。

HF 成分はリラックスしているときなどに出る副交感神経が優位である時に現れる。逆にストレスが高いときは HF 成分が減少し LF 成分が現れるため LF と HF の比をとってストレス指標となる。図 7 では LF/HF の値が低い快の状態となり、LF/HF の値が高いほど不快の状態となる。

[7] の研究では 10 秒程度の R-R 間隔を求めて感情を測定していたが長期的に表れる感情の方が後の判断や操作に影響が出ると想定する。そのため計測期間を自動運転開始時から要請発生までとする。感情だけでは睡眠やドライバが運転にそぐわない姿勢していた場合を判断できないためカメラを用いることによって検知する。姿勢はドライバの上半身を対象として取得をする。運転にそぐわない姿勢とは手動運転時の姿勢ではない姿勢である。

5. 実験環境

本実験ではドライバが自動運転中における特定のタスクによって生じる感情について心拍変動とアンケートを用いて検出を行った。センシングには生体センサアプリキット BITalino[8] を用いて心拍変動を計測した。ドライビングシミュレータは City Car Driving[10] を使用しており、モニタに前方の画面と、前方画面中にドアミラー情報、バックミラー情報を表示している。また、引き継ぎの警告するモノとしてタブレットを使用する。実験では自動運転中の車内



図 7 Russell 円環モデル

を想定してドライビングシミュレータで操作したデモムービーを表示させる。自動運転中の自車両の速度は 80km/h を一定に保つ。デモムービーは 8 分から 5 分程度を 3 種類用意し、ランダムに表示するようにした。権限委譲の引き継ぎを 15 秒として自動運転解除場所をあらかじめ設定している。計測はデモムービーが開始してから引き継ぎの警告が発生して被験者がハンドルを握るまでとした。3 人の被験者に以下の条件で実験を行った。

- 事前にドライビングシミュレーターでの走行を 30 分程度させる。
- ハンドル、アクセルペダルといった運転操作に関わる器機には警告発生まで触れない。
- シチュエーション
 - (1) モニタを監視させ、ドライバに自動運転中の周囲の状況を確認させる。
 - (2) スマートフォンで動画を見せる。

行ったシチュエーションに応じてドライバの主観的感情評価を SAM 尺度 (Self-assessment manikin) [1] を用いて 9 段階に分かれている評価を 6 段階に変更し、ストレスをアンケートした。

内一人にはもう一度 (2) を行い、また追加のシチュエーションとして半覚醒状態で実験を行った。

6. 実験結果および考察

全体のストレス指標と SAM 尺度におけるストレス値を比較したヒストグラムと内一人のストレス指標と SAM 尺度におけるストレス値を比較したヒストグラムを (図 8, 図 9) に示す。

ヒストグラムについては心拍変動から取得できるストレス値を 0.0 から 6.0 までとし数値が高いほどストレスを感じているとする。そして SAM 尺度で取得できるストレスは 9 段階に分かれている評価を 6 段階に変更して用いた。データを 3 つに分け 0 以上 2 未満, 2 以上 4 未満, 4 以上 6 以下に分割し評価した。それぞれの回帰分析を (表 2,

表 2 全体の回帰分析結果

X 値	切片	重決定 R2	有意 F
0.165	1.263	0.080	0.644

表 3 一人の回帰分析結果

X 値	切片	重決定 R2	有意 F
-0.594	7.048	0.471	0.131

表 3) に示す。

図 8 では心拍変動から計測されたストレスによると全体的にストレスは低いことが分かった。しかし、ドライバのアンケートによるとストレスが高いことが分かった。これにより生体情報から得られたストレスとドライバの認識から来るストレスは異なることが分かった。図 9 は同じ被験者に追加で実験をした結果をまとめたヒストグラムである。

7. 課題

本論文ではドライビングシミュレータを用いて自動運転環境を再現したデモムービーを作成し、BITalino を用いて心拍変動から得られるストレス値の計測を実施した。

7.1 ストレスの基準について

ストレスを高い、低いという評価のもと実験を行ったが、運転時におけるドライバの感じるストレスは違うためドライバごとの運転時におけるストレスの基準値をどのようにして定めるかで結果が変わる。そのためより精度を向上するためには個人ごとのデータの扱が必要になり、機械学習などの導入が必要と考える。

7.2 環境について

市販のシミュレータを用いてデモムービーを作成し自動運転のシチュエーションとした。左車線、右ハンドルを設

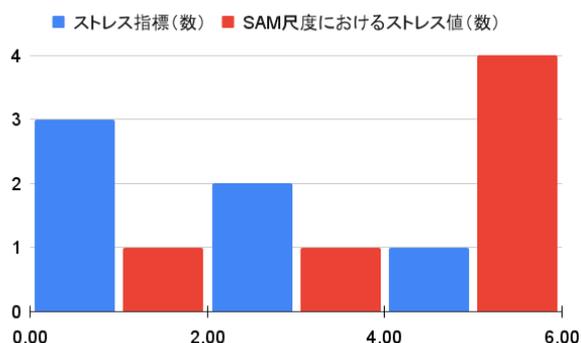


図 8 全体のヒストグラム

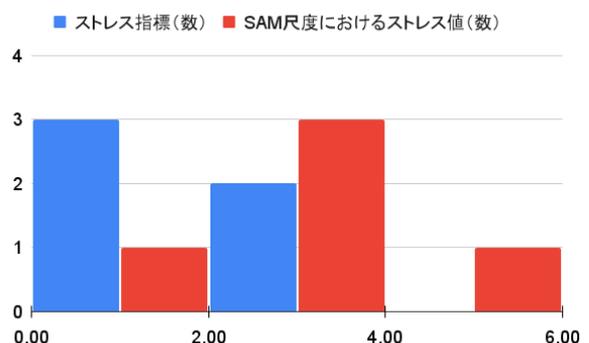


図 9 内一人のヒストグラム

定したが振動や音といった現実の環境に近いものにならないため、ストレスを再現することが難しい。そのため、現実に近い加速度を感じるようなドライビングシミュレーターで自動運転を実装した上で、実験し精度をあげる必要がある。

8. まとめ

本論文では自動運転中のドライバの生体情報から感情を推定し引き継ぎを判断することによって手動運転に切り替わった後ドライバの感情によって引き起こされる事故を防止することを目的とした。そのため基礎的実験評価として自動運転時の心拍変動を取得し、ストレス値を求めアンケートと比較を行った。

実験ではドライバの心拍変動から取得できたストレスは低いことが分かったが、ドライバが運転する際にはある程度のストレスを受けながら判断や操作を行っている。そのため自動運転によって軽減されたストレスから手動運転に必要なストレスを加えることを検討しなければならない。

今回は2種類のシチュエーションを全員に、一人の被験者に追加で同じシチュエーションを2回と半覚醒時に実験を行った。全体の集計では生体情報から得られるストレスとアンケートから得られたストレスとは異なっていた。

今後の展望としては脳波計を用いて感情推定の精度を向上させるとともに姿勢を計測することの組み合わせ利用に

よる効果の検討などが考えられる。

参考文献

- [1] 貴答峻介, 荒川俊也 ”自動運転使用時におけるドライバ行動の観察と考察,” 応用工学論文誌 Vol.8, No.2, pp.222-228,2020
- [2] 松山聖路, 徳永雄一, 清原良三, ”認知地図の構築過程に着目したスマートフォンによる運転者の地点把握度推定手法,” 情報処理学会論文誌, Vol.58, No.10, pp. 1606-1616, 2017
- [3] 土田歩, 小栗宏次, ”視線情報と心拍情報からの眠気レベル推定,” 電子情報通信学会技術研究報告. MBE, ME とバイオサイバネティクス 109(123), 69-72, 2009
- [4] 児島亨, 波多野忠, ”高速道路上で自動運転システムを使用中の安全な運転操作引継ぎに関する実験的研究,” 自動車技術会論文集, Vol.50, No.3, pp.870-876, 2019
- [5] 林聡一郎, 田中佳輝, 佐藤健哉, ”車両走行環境を考慮した自動運転の段階的引き継ぎ要求のシミュレーション評価,” 情報処理学会ルチメディア, 分散, 協調とモバイル (DICOMO2020) シンポジウム, pp. 1528 - 1537, 2020
- [6] 中屋拓海, 鈴木孝幸, 清原良三, ”レベル3自動運転時の権限移譲完了確認手法,” 第83回情報処理学会全国大会, 5T-04, 2021
- [7] 渡辺一生, 菅谷みどり, ”生体情報を用いた感情推定手法による運転時の人の反応の評価,” 情報処理学会研究報告ユビキタスコンピューティングシステム (UBI) ,2018-UBI-57
- [8] bitaliano: <https://bitalino.com/products/heartbit-bt>
- [9] J.A.Russell: *A circumplex model of affect*, Journal of Personality and Society Psychology, Vol. 39, pp.1161-1178, 1980.
- [10] steam: <https://store.steampowered.com/app/493490/City-Car-Driving/>