

車載システムにおける異常検知に向けた車両動作モード識別に関する検討 Study on Vehicle Operating Mode Identification for Anomaly Detection in Vehicle Control System

横田 薫[†]豊田 真智子[†]中村 吉孝[†]

Kaoru Yokota

Machiko Toyoda

Yoshitaka Nakamura

東羅 翔太郎[†]川口 信貴[†]多鹿 陽介[†]

Shotaro Tora

Nobutaka Kawaguchi

Yosuke Tajika

1. まえがき

自動車の先進運転支援システム(ADAS: Advanced Driver Assistance System)機能の進化に伴い ADAS 動作中の安心・安全の確立が必須となり、ADAS 機能の異常発生防止対策が求められている。近年では、それに加えて、異常が発生した際の異常検知も必要となっている。実運用にあたっては、異常発生時に適切な危険回避を取るために車両の動作状況を識別することが重要である。

そこで、本稿では追加部品不要で車両から取得可能な CAN (Controller Area Network) データを活用した動作状況の識別方式についての原理確認を行った。車両動作中に通信される CAN メッセージを元に動作状況を示す複数の動作モードを定義し、機械学習により動作モードを分類して動作状況を識別する方式を検討した。そして、実際の車両を用いた実験により、本方式による動作状況識別の可能性を確認した。

2. 研究の背景

近年、自動車に先行車追従機能、車線逸脱防止機能といった様々な ADAS 機能が年々進化を遂げながら装備されており、自動運転機能の実現も間近に迫っている。ADAS 機能は便利・快適を提供する反面、動作中に異常が発生した場合に自動車の基本動作である“走る、曲がる、止まる”に影響を及ぼす恐れがある。よって、ADAS 機能の安心・安全確立のために異常発生防止対策が必須とされている。

異常発生防止のためには、ハード故障だけでなく ADAS 機能の意図的な不正利用も想定した対策が求められる。その実現方法として制御システムの多重化[1]や暗号技術の使用[2]などがあり、実車両への搭載に向けての開発が進んでいる。

一方、米国 NHTSA (National Highway Traffic Safety Administration) の自動運転車に対するガイドライン[3]では、異常発生防止対策だけでなく、異常が発生した際の異常検知の必要性が挙げられている。このような背景から、自動運転車などの ADAS 機能が動作する車両向けに実用的な異常検知技術の研究・開発が、現在盛んに行われている[4]。

3. 異常検知の課題と本稿における取り組み

3.1 本稿の課題認識

異常検知を実際の車両に適用することを想定した場合、異常検知後には運転者や車両の安全を確保するための危険回避動作が必要となり、その際、異常発生から異常検知を行うまでにかかる遅延時間の削減や、正常走行時の誤検知率抑制などの課題が考えられる。また、異常検知後は、異

常の状況に応じた適切な危険回避動作を判断して行う必要があるが、車両の動作に対する“正常・異常”の判定だけでは、運転者及び車両本体に及ぼす危険度合いや緊急度合いがわからないので、その判断が困難である。即ち、異常検知時に適切な危険回避を行うためには、車両の動作状況のような追加情報が必要となる。これは異常検知後の安全確保のためには解決すべき重要課題の一つと考え、本稿ではこの課題を解決する方法を検討した。

3.2 取り組み

前節の課題を解決するために、車両の動作状況を「運転モード」と呼ぶ状態として定義し、複数の運転モードからどの運転モードであるかを推定して車両の動作状況を識別する方式を検討した。識別した運転モードを、異常発生時の車両の動作状況を示す追加情報として使用することで、適切な回避手段の選択への活用が期待できる。

我々は上記の運転モードの識別を、追加部品不要で取得可能な CAN データを使用して実現可能かを評価した。

上で述べた「CAN データを用いた自動車の運転モード識別」の概要を図 1 に示す。CAN は自動車の制御ネットワークに関する通信規格であり、自動車の制御システムは ECU (Electronic Control Unit) と呼ばれる制御ユニットが複数個 CAN バスに接続される形態として実現される。CAN データは各 ECU が送信する CAN メッセージを送信時間軸で並べた系列データである。CAN メッセージはメッセージ種別を識別するためのヘッダ情報と、各 ECU への制御指示内容や ECU の状態表示を含むシグナル情報からなる。今回、我々は少ない情報からでも識別が可能であるかを見るために、ヘッダ情報のみを用いた運転モードの識別方式を検討し、評価することとした。

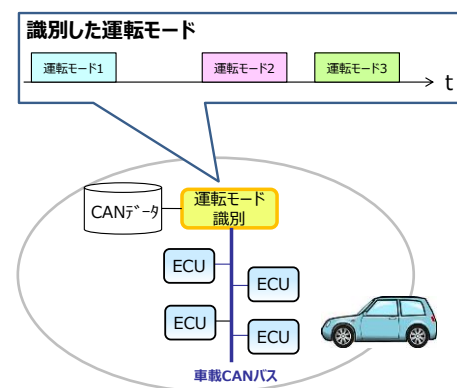


図 1 CAN データを用いた運転モード識別の概要

4. 実験

4.1 実験方法

「運転モード」とは、自動車を前進させる、ブレーキを掛ける、といった運転操作とその時の ADAS 機能の使用有無を時間軸で要素化したものとする。そして、その時間軸中に通信される CAN メッセージの集合を、各モードを特徴付ける情報源とする。

運転モードの識別とは、各モードの情報源を用いて、確認対象の自動車の動作状況＝運転モードが、どの運転モードと同じなのかを決定することである。

今回、運転モードの識別には、機械学習の分類手法の一つである k-近傍法を用いて行った。具体的には、実際に車両を運転し、規定された運転モードで動作中の車両から CAN データを取得する。そして、取得した CAN データを運転モードごとに学習用と評価用に分け、学習用の CAN データで各運転モードを学習した後に、評価用の CAN データの分類を行った結果から適合率・再現率などの分類精度を算出した。運転モードの分類精度が高いほど、車両の動作状況の識別が高い精度で行えることになる。

4.2 実験環境

実験機材として、車両内に CAN 対応の通信コネクタを備える国産車を用い、CAN 通信に対応した市販の計測器を用いて CAN データ取得を行った。

今回の実験では、「前進」及び「後退」、「手動による運転」と「ADAS 機能を利用した運転」の違いにより定義した計 4 つの運転モードに対して分類を行った。

また、運転者固有の操作癖が及ぼす影響を考察するために複数人の運転者で実験を行い、1 運転者につき同じ運転モードの走行を 50 回行い、その CAN データを取得した。全ての CAN データを取り終えた後に、オフラインで運転モード分類のためのデータ解析を実行した。解析には自動車メーカー・車種に依存しない汎用的な CAN 信号仕様の情報だけを用いるものとした。

評価は、実際の利用シーンに近い条件とするために、全運転者の CAN データを混ぜたものを学習データセットとして運転モードの学習を行った。そして、各運転者の評価用データセットに対して運転モードの分類を行い、分類精度の算出と考察を行った。

5. 結果とまとめ

5.1 結果

前節で述べた運転モードの分類精度評価を行った結果を図 2 に示す。色が濃いほど分類精度が高いことを意味している。どの運転モードに対しても正解のモードに分類される割合が最も大きくなっており、CAN メッセージのヘッダ情報だけという少ない情報からでも分類が行える可能性を確認した。一方で、「運転モード B」や「運転モード C」の分類のように、他のモードと混同される傾向が高いものも見られた。これは、前進運転の運転モード間、後退運転の運転モード間での分類間違いが起りやすいことを示しており、精度向上の余地も残っている。

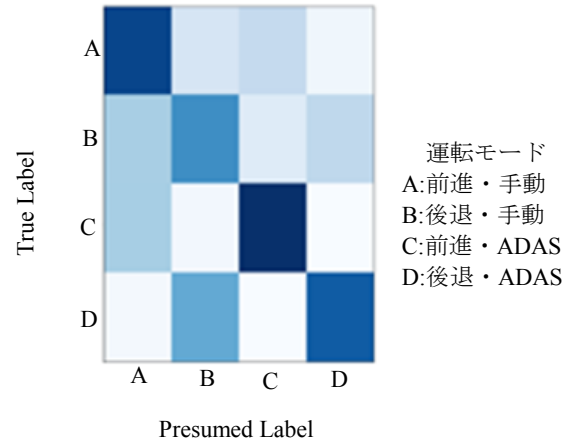


図 2 運転モードの分類精度評価結果

5.2 まとめ

本稿では、異常検知時に適切な危険回避を行うために車両の動作状況を示す追加情報が必要であるという課題に対して、CAN データを用いた運転モードの識別を行う方式を検討して原理確認を行った。機械学習の分類という手法を用いて運転モードの分類を行う実験を行った結果、5.1 で示したように、複数の運転者を混ぜた学習データセットを用いるという実際の利用シーンに近い条件下でも、運転モードの分類が行える可能性を確認した。

今回の実験では、CAN メッセージ内のヘッダ情報のみを用いたが、更なる特徴量の活用が期待できるシグナル情報を使用することで、より分類精度が向上することが期待できる。

また、分類結果を異常検知に組み込む事や、異常検知の判定結果からの車両への影響を判定するためにも活用できるため、CAN データを用いた外れ値検知などによる正常・異常判定との組み合わせの効果も期待できる。今後は、データセットを構成する特徴量抽出の工夫などによる分類精度の向上を目指して、引き続き検討を行う。

参考文献

- [1] 日立評論「クルマが通じあう-自動運転開発プロジェクト-」
www.hitachihyoron.com/jp/pdf/2015/01_02/2015_01_02_00_visionaries_3.pdf
- [2] 中野 学, 松本 勉, Camille Vuillaume, 小谷 誠剛「自動車の情報セキュリティ」日経 BP 社
- [3] ESCAR Europe 2015 CAN traffic modeling: Applying Machine Learning for Anomaly Detection in CAN bus networks, Harel Cain
- [4] NHTSA, Federal Automated Vehicles Policy, September 2016.

† パナソニック株式会社, Panasonic corporation

‡ 日本電信電話株式会社, Nippon Telegraph and Telephone corporation