

ふらつき修正操舵に着目した横方向加速度解析によるながら運転判定手法の提案

榎原 大貴

指導教員：河中 治樹

1 はじめに

近年、ながら運転や脇見運転による事故が問題となっている。それに伴い、ながら運転や脇見運転が車両挙動に与える影響について多くの研究がされている。岡山らはカーブ走行時において操舵が滑らかに行われなくなることを確認したと報告している[1]。多くの研究ではカーブ走行時のようなある評価区間における車両挙動について調査するものばかりで常時評価することができるような研究はなされていない。また、車両挙動からながら運転をリアルタイムに検出するような研究はなされていない。

そこで本研究では、車線維持のための修正操舵に着目したながら運転検出手法を提案する。デジタルタコグラフから取得される横方向加速度から算出した操舵角を用いてながら運転を検出する。そしてドライビングシミュレータ(以降DS)走行および実車走行での実験により、ながら運転検出の精度を評価した。

2 ながら運転時の車両挙動

DS上の高速道路を模擬した道路を使用して、ながら運転時の車両挙動について調査した。5名の被験者(23.6 ± 0.48歳)に対し、図1,2に示すようにながら運転と通常運転それぞれ実施し比較検証をした。走行時間は30分とし、コースの端まで行くとスタート位置に戻るような周回コースとなっている。走行ログは100Hzで記録される。ながら運転についてはスマートフォンによるSNS閲覧、もしくはネットサーフィンをするように指示をした。

実際に取得された操舵角と操舵角を微分した操舵角速度を図3に示す。まず、修正操舵の周期性について調査した。20秒の窓枠によって操舵データを抽出し、窓枠ごとにFFTによって周波数を取得することで周期を比較した。すると、修正操舵においてながら運転と通常運転であまり違いが見られないということが分かった。

次に操舵角速度について注目した。全ての被験者においてながら運転の方が角速度が高くなっている頻度が高くなっているということが確認された。

また、操舵操作の滑らかさを示すステアリングエントロピーについて注目した。ステアリングエントロピーというのは操舵の滑らかさを表す指標[2]であり、ドライバーに対して負荷が加わるほどステアリングエントロピー値 H_p は増大するとされている。ステアリングエントロピーは、過去3点の舵角 $\theta(n-1)$, $\theta(n-2)$, $\theta(n-3)$ から舵角予測値 $\theta_p(n)$ を

$$\theta_p(n) = \theta(n-1) + \frac{1}{2}((\theta(n-1) - \theta(n-2)) - (\theta(n-2) - \theta(n-3))) \quad (1)$$

によって算出し、予測値 $\theta_p(n)$ と実際の n 時点舵角値 $\theta(n)$ との差 PE を求める。そして窓枠によって PE の度数分布を取得し、ある一定値 α を用いて度数分布を九つのセルに分け、各セルに入る割合 P_1, P_2, \dots, P_9 を求めエントロピー値 H_p を

$$H_p = - \sum P_i \log_9 P_i (i = 1 \sim 9) \quad (2)$$

によって算出する。ある一定値 α については本研究では全データのパーセンタイル値の平均を使用した。ここでは300秒の窓



図1 通常運転の走行例



図2 ながら運転の走行例

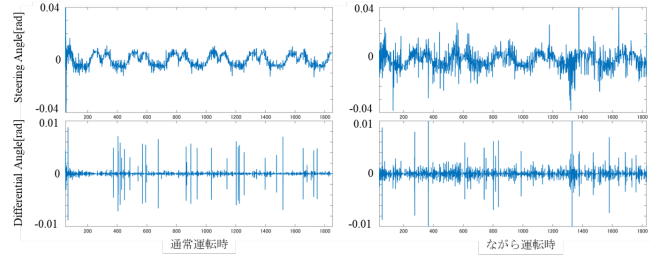


図3 取得された操舵角

枠を用いて窓枠ごとにステアリングエントロピーを算出し比較した。差の大きさについては人それぞれであったが、ながら運転時のほうが通常運転時に比べ、全ての被験者において常に高い値を示しているということを確認した。

これらの結果から、ながら運転時の修正操舵について修正操舵の頻度は変化しないこと、修正操舵の角速度の大きさに影響が及ぶことが明らかになった。

3 ながら運転検出手法

デジタルタコグラフによって取得された横方向加速度を用いて前節で示されたながら運転時の特徴を取得できるような特徴量を抽出し、ながら運転の検出を行う。

3.1 横方向加速度からの操舵角算出

図4に示すような仮想車両において転舵角 φ は操舵角 θ に対し、

$$\varphi = k\theta \quad (3)$$

とする。ただし、 k は定数を表す。また、ホイールベース L および回転半径 R から、

$$\tan \varphi = \frac{L}{R} \quad (4)$$

とする。ここで回転半径 R および角速度 ω から車速 v を

$$v = R\omega \quad (5)$$

とし、横方向加速度 a を

$$a = R\omega^2 \quad (6)$$

とすると、式(5)および(6)から

$$\theta = \frac{1}{k} \arctan \frac{La}{v^2} \quad (7)$$

としてデジタルタコの記録データから操舵角 θ を推定することができる。

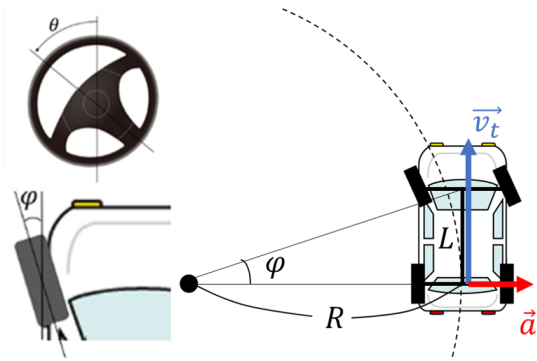


図4 操舵と車両の動きの関係

ただし、デジタルタコグラフによって取得される横方向加速度にはエンジンによる振動や道路の凹凸による振動がのっているため、算出された操舵角に対し、0.1Hz~1.2Hzのバンドパスフィルタを適用した。

3.2 ながら運転時の修正操舵に基づく特徴量抽出

横方向加速度から取得された操舵角のデータのある窓枠で取得し、取得されたデータから特徴量抽出を行って、ながら運転の検出を行う。本研究では窓枠 W は 30 秒, 60 秒, 90 秒の3つとし、特徴量の抽出は 10 秒おきに行うこととした。第2節で示したようにながら運転によって修正操舵に雑さが現れるため、時刻 t から $t + W$ までの操舵角の分散 $\sigma(t, W)$ 、および操舵角速度の絶対値の平均 $m(t, W)$ を特徴量として取得する。また操舵の滑らかさに影響が現れるということからステアリングエントロピー値 $H_p(t, W)$ を特徴量として抽出する。

そして、ステアリングエントロピーを算出する際に使用する予測操舵角と実操舵角の誤差を示す PE は突然大きく操舵を切った際に大きな値が出るような値となっている。つまり PE の値が大きくなる頻度、回数が増えれば増えるほど角速度が突然大きくなっているということが分かるため、特徴量として有効であると考えられる。そこで PE の度数分布のパーセンタイル値 P 、および PE の絶対値があらかじめ定義しておいた α を超える回数 C を取得する。

3.3 アンサンブル学習によるながら運転検出

DS でながら運転と通常運転の修正操舵について比較した際、ステアリングエントロピー値などは被験者によって値は大きく異なっており、個人差が大きく現れているということが考えられた。そのため、単純な閾値などでは分類できない可能性がある。

そこで学習データの情報を全て使うのではなく、一部を使用して学習し最後に結合させる手法である、バギング木によってながら運転の判定を行う。

4 検証実験

提案手法を評価するため、DS および事業用ドライバの実走行データに対するながら運転検出の性能評価実験を行った。

4.1 DS データにおけるながら運転検出

第2節にて取得されたDSのデータを使用して、学習、評価を行った。ながら運転、通常運転のそれぞれ30分×5人の合計で5時間分のデータを計測した。ただし、実車のデジタルタコグラフのサンプルレートに合わせて、10Hzにダウンサンプリングして検証した。

交差検証による検証結果を表1に示す。 $Precision = 0.810$, $Recall = 0.806$, $Accuracy = 0.810$, $F - measure = 0.808$ となった。これらの結果から、DSでのながら運転検出に提案手法が有効であるといえる。

表1 DS データにおけるながら運転検出精度

推定値 \ 正解値	通常運転	ながら運転
通常運転	81% (708/871)	19% (163/871)
ながら運転	19% (166/759)	81% (693/759)

4.2 実車データにおけるながら運転検出

実際の高速道路を走行する業務用トラックに設置されたデジタルタコグラフDTG7によって記録されたデータを使用して検証を行った。ただし、眠気が高まっているデータが通常運転のデータの中に含まれていることで精度が低下していることが考えられたため、北島らの提案する眠気レベル [3] に従って評定し、危険な状態とされる眠気レベル3以上のものを除去した。使用データについてはながら運転および通常運転のそれぞれの合計時間を5時間とした。

交差検証結果を表2に示す。 $Precision = 0.709$, $Recall = 0.711$, $Accuracy = 0.702$, $F - measure = 0.710$ となった。通常運転において精度が低下してしまっているもののそれぞれ75%以上の精度で抽出できていることを確認し、実車データにおいても提案手法の有効性が示された。

DSデータに比べ実車データの方が精度が低下してしまっている原因として、操舵角算出時に道路の凹凸による振動が全て取り除けず、正しい操舵が算出されていないことが影響していると考えられる。

表2 実車データにおけるながら運転検出精度

推定値 \ 正解値	通常運転	ながら運転
通常運転	77% (789/1022)	23% (233/1022)
ながら運転	25% (268/1069)	75% (801/1069)

5 おわりに

本研究ではながら運転時の修正操舵の挙動について調査したうえで、操舵の角速度、滑らかさに着目した特徴量からながら運転を検出する手法について提案した。DSおよび実車から取得されたそれぞれのデータに対して検証実験を行ったところ、高い精度で検出可能であるということを確認し、本提案手法の有効性が示された。今後の課題として、実車データにおける更なる精度向上が挙げられる。

参考文献

- [1] 岡山他, 自動車技術会論文集, Vol.47, No.5, pp.1153-1159, 2018.
- [2] 伊藤他, 交通安全学会誌, Vol.26, No.4, pp.243-250, 2001.
- [3] 北島他, 日本機械学会論文集 (C 編), Vol.63, No.613, pp.3059-3066, 1997.