

スマートフォンを用いた 右左折時のウィンカー操作パターン計測システム

古川 芽依¹ 中村 優吾¹ 荒川 豊¹

概要: 自動車の運転技量は人によって異なり、従来から急加速や急ブレーキ、急ハンドルを検知する手法は存在している。本研究では、ウィンカーの使い方に着目する。ウィンカーの使い方は人によって様々であり、車線変更の際にウィンカーを使わない人や、ウィンカーを使うタイミングが早い人、遅い人もいる。これらの運転には地域性もあり、“岡山ルール”や“名古屋走り”などという名前もついている。本研究の目的は、ドライブレコーダーや OBD2 等を使うことなく手軽にスマートフォンのみでドライバーのウィンカー操作パターンを計測することである。具体的には、スマートフォンのマイクから取得可能な音響情報と機械学習によってウィンカーの操作を検知し、ジャイロセンサで自動車の右左折を検知するという手法について検討した結果を報告する。

1. はじめに

近年、自動運転車の開発がなされているが、完全自動運転の実用化には至っていない。また完全自動運転の実用化がなされたとしても、自分で運転することを好む人も存在し、人間が自動車を運転する場面は今後も存在すると考えられる。その一方で、自動車の運転技量は人によって異なり、2020年の交通事故での死亡者数は2839人にもものぼる。統計開始以来最小を更新したものの、不慮の事故は15歳以上30歳未満の若者の死因第2位となっている^{*1}。また近年、スマートフォンが普及したことにより、運転中にスマートフォンの画像を注視することなどが原因の交通事故が増加傾向にあった。携帯電話使用等の罰則等を引き上げたことによって、2020年にはこのような交通事故は減少傾向になった。しかし、依然として携帯電話の使用等に起因する交通事故は発生している^{*2}。さらに、近年では高齢者ドライバーによる交通事故も深刻な問題となっている。2020年の交通事故発生件数は25,642件、そのうち高齢者が第一当事者となった交通事故は4,246件にもものぼる。このような状況により、近年、交通事故の重要性が改めて注目されている。

こうした現状を踏まえ、従来から急加速や急ブレーキ、

急ハンドルを検知する手法は研究されてきた。また、近年ではスマートフォンを用いた危険な運転行動に関する研究も増えている。事故を起こさない運転はもちろん、事故を起こさせない運転も大切であると考え、今回は急加速や急ブレーキではなく、ウィンカーの使い方に着目した。ウィンカーは周囲の車両に対して意思表示を行う重要な機器であり、特に交差点での右左折の際は歩行者や自転車にも影響が大きい。追突や巻き込み等の不意の事故を防ぐため、道路交通法第53条にて、“車両の運転者は、左折、右折、転回、徐行、停止、後退、または同一方向に進行しながら進路を変えるときは、ウィンカーまたは灯火により合図をし、かつこれらの行為が終わるまで当該合図を継続しなければならない”と定められている。また、交差点についても道路交通法第53条第2項にて同様の規定がされており、これを守らなかった場合は“合図不履行違反”として違反点数1点、反則金、罰金が科せられる。このようにウィンカーは重要な装置であるにも関わらず、ウィンカーを使用せずに右左折や車線変更を行う人もいるのが現状である。

本稿では、スマートフォンを用いて、ドライバーが適切なタイミングでウィンカーを使用できているかを調べるための手法を提案する。手軽にドライバーの状況を確認することが目的であり、スマートフォンに搭載したセンサのみで実装することとした。そのために、スマートフォンでウィンカーの操作と右左折を検知する必要がある。ウィンカーの操作を検知するために機械学習を用い、右左折の検知にはスマートフォンに搭載されている3軸ジャイロセンサを用いた。

¹ 九州大学, Kyushu University

^{*1} 令和2年(2020)人口動態統計月報年計(概数)の概況—厚生労働省 <https://www.mhlw.go.jp/toukei/saikin/hw/jinkou/geppo/nengai20/d1/gaikyouR2.pdf>

^{*2} やめよう!運転中のスマートフォン・携帯電話等使用—警察庁 <https://www.npa.go.jp/bureau/traffic/keitai/info.html>

提案システムにより、ウインカーを出してから実際に右左折するまでの時間を高い精度で推測することができた。このシステムを使用することで、ドライバーが自分のウインカーの使い方について手軽に状況を確認できるといえる。ドライバーが自分の状況を手軽に確認できることで、ドライバーの安全運転意識の高まりや、ウインカーの意識的な利用に効果があると考えられる。

本稿の構成は以下の通りである。第2章で関連研究、第3章でウインカー操作パターン計測システムについて述べ、第4章で評価実験について述べ、最後に第5章で今後の課題について述べる。

2. 関連研究

本章では、本研究に関連した研究について述べる。

2.1 スマートフォンを用いた運転監視システムに関する研究

近年、センサを多く搭載したスマートフォンの普及に伴って、スマートフォンを用いたドライバーの運転行動を推定する研究が多くなされている [1][2][3]。

リアルタイムでの異常運転行動の監視は、運転の安全性を向上させるために重要である。スマートフォンの加速度センサや方向センサを利用することで、高速でのUターンや急ブレーキなどの異常運転行動をリアルタイムで高精度に検出することができる [4]。

また、スマートフォンアプリケーションを使用して各ルートに沿ったドライバーの行動を分析することにより、運転スタイルの分類を生成する研究もなされている。速度、加速度などのパラメータに基づいて、車両が移動している道路のタイプを特徴づけることができるニューラルネットワークを実装した結果、高い精度でユーザトレースに基づいて道路とドライバーの両方のタイプを分類することができた [5]。

さらに、近年“テレマティクス保険”というものがある。テレマティクス保険とは、自動車に設置した端末でドライバーの運転速度やブレーキの踏み方等を計測し、それらのデータから保険料を算定するものである。その算定に用いるような運転スコアをスマートフォンを使って求めるような研究もなされている。スマートフォンに搭載された複数のセンサとGPS情報、環境データを組み合わせることで運転スコアの計算に使用される異常な運転イベントを検知できる [6]。

2.2 ウインカーに関する研究

ウインカーの未使用は、追突を主とする交通事故の原因である。ベトナムで行われた研究によると、自動車ドライバーのウインカーの使用率は68.27%であり、危険な状況である [7]。また、ドライバーの信念や環境特性が、ウイ

ンカーの使用頻度に大きな影響を与えることがわかっている [8]。

2.3 安全運転に関する研究

近年のスマートフォンの普及に伴って、“ながらスマホ”という言葉が生まれたように、運転中にスマートフォンを操作していたことによる交通事故も発生している。そこで、運転シミュレーションの最中にテキストメッセージを書き込む動作を従来の携帯電話とスマートフォンとで比較した研究もある。反応時間の遅延や車の追跡距離の短縮、車線違反、衝突などがみられ、テキストメッセージを送信する際にドライバーの運転パフォーマンスが低下することが明らかになっている [9]。

そして、スマートフォンを用いた安全運転の分析に関する研究もなされており、200人を対象として7ヶ月間の運転行動をリアルタイムに記録した。主な運転行動分析の要素として、走行距離、加速、ブレーキ、速度、スマートフォンの使用状況があり、クラスタリングを行なった結果、ドライバーはa) 中程度、b) 不安定、c) 慎重の3つに分けられることがわかった。このことから、安全運転効率には人によって差があることがわかっている [10]。

3. 提案手法

本章では、右左折時のウインカー操作パターン計測システムについて述べる。

3.1 システム概要

今回提案するのは、スマートフォンのみを用いて自動車の運転中に、ドライバーがどのようにウインカーを使っているかをリアルタイム推定するものである。右左折をする前のウインカーを出すタイミングが適切かどうかを知ることができる。

具体的には、自動車の運転中に以下の処理を行う。

- (1) スマートフォンのマイクから周辺の音を取得し、ウインカーの操作を検知する。
- (2) スマートフォンのジャイロセンサを用いて、右左折を検知する。
- (3) ウインカーを出してから右左折を行なうまでの時間を計算する
- (4) 計算結果をFirebaseに保存する。このとき、右左折を行なうまでの推定時間が30秒未満のときは具体的な数値として求めるが、30秒以上経過したと見られる場合には全て31として出力する。ウインカーの操作が検知されずに右左折のみ検知された場合は-1を出力する。Firebaseに保存するデータを表1に示す。

表 1 Firebase に保存するデータ

データの種類	概要
UUID	デバイスの一意の番号
時刻	右左折をしたときの時刻
緯度	右左折をしたときの緯度
経度	右左折をしたときの経度
経過時間	ウインカーを出してから右左折するまでの推定時間

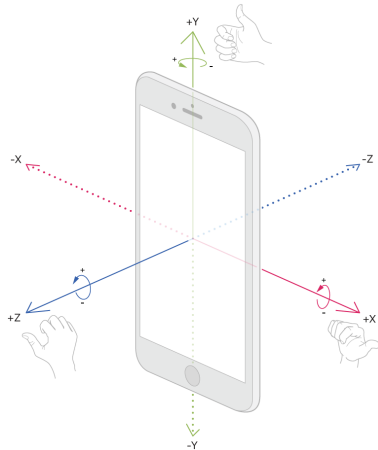


図 1 3軸ジャイロセンサ*3

3.2 実装

3.2.1 右左折の検知

スマートフォンの3軸ジャイロセンサを用いて、右左折の検知を行なった。3軸ジャイロセンサの軸を図1に示す。実際に右左折の検知に用いたのはY軸とZ軸の角加速度データである。直近4秒間のジャイロセンサの平均値を求め、閾値と比較して右左折したかどうかを判断した。具体的には、以下のような処理を行う。

- (1) 直近4秒間のY軸のジャイロセンサの絶対値の平均を求め
- (2) Z軸の値に関しても同様の処理を行う
- (3) Y軸の平均値とZ軸の平均値の合計を求め
- (4) 閾値と比較する

3.2.2 ウインカーの操作の検知

まずXcodeのCreateMLを使用してウインカーを検知するモデルを作成し、そのモデルをアプリケーションに組み込んだ。そしてアプリケーション上でスマートフォンのマイクを使用して周囲の音を拾い、モデルを使ってウインカーが出されているかどうかを判定する。周囲の雑音によるウインカーの誤検知もあるため、ウインカーの操作を検知した後に右左折が検知されれば、実際にウインカーが出されたものと扱うようにした。また周囲の雑音やウインカーの操作の周期の影響で、ウインカーを出し続けていても途中で検知されないことがある。これを防ぐために、以

*3 Getting Raw Gyroscope Events — Apple
https://developer.apple.com/documentation/coremotion/getting_raw_gyroscope_events

下の2つのアプローチを行なった。

- (1) ウインカー判定の閾値を変化させることによる対応
- (2) 過去の判定を基にして補完を行うことによる対応

まず、ウインカー判定の閾値を変化させることによる対応について述べる。通常、ウインカーが出されたと判定するのは、モデルからの出力が60%以上の時である。この閾値を直近6回の判定結果によって変動させた。閾値の変更方法を表2に示す。

表 2 ウインカー判定の閾値の変更

直近6回のうちの陽性判定回数	閾値
2回未満	60%
2回	58%
3回	55%
4回	53%
5回以上	50%

次に、過去の判定を基にした補完について述べる。本システムは、直近30秒間の判定結果を保持している。そのうち連続6回以内で陰性と判定された場合、すなわち陽性と判定された後最大6回が陰性、その後再び陽性と判定された場合に、陰性と判定された最大6回の判定結果を陽性とみなす手法をとった。

本研究では、ウインカーの操作を検知するために、SwiftのSNAudioStreamAnalyzerクラスとSNClassifySoundRequestクラスを使用した。SNAudioStreamAnalyzerは、マイクなどからのオーディオストリームを処理することで、人間のスピーチ、音楽、歌などの音をリアルタイムで認識することができるものである。SNClassifySoundRequestクラスは、CoreMLモデルを使用してサウンドを分類するものであり、アナライザにこのリクエストを追加することで、リアルタイムにウインカーの操作を検知することができる。

4. 評価実験

本章では、提案システムの有効性について評価するための実験について述べる。

4.1 実験概要

道幅の広い交差点や道幅の狭い交差点、市街地のような比較的低速で右左折するような交差点での右左折を含んだコースで運転を行う。また運転中に音楽を再生する人は85%にのぼる*4というデータより、音楽を再生しながら運転を行い、作成したアプリケーションを使用して運転のログをとる。車内に設置したスマートフォンの様子を図2に示す。助手席のシート上に滑り止めシートを敷き、その上

*4 20代以下の9割以上はドライブ中に音楽を聴く、よく聴く曲のジャンルは全年代で「ポップス」がトップ—パーク24株式会社 <https://www.park24.co.jp/news/2021/09/20210909-1.html>

にスマートフォンを置いた。またスマートフォンで運転のログをとると同時に、運転中の様子をカメラで撮影する。運転終了後、カメラで撮影した動画をもとに、ウインカーを出してから実際に右左折するまでの時間を計測する。そして、アプリケーションで求めたウインカーを出してから実際に右左折をするまでの時間と、動画をもとに計測した時間とを比較する。



図 2 車内に設置したスマートフォン

4.2 実験結果

4.2.1 右左折の検知

アプリケーション上で記録した右左折地点を示したものを図 3 に示す。これは、Firebase に保存されたデータをもとに、Python の Folium ライブラリ等を用いて地図上にマッピングしたものである。実際の右左折を正しく検知できた箇所を青色のピン、右左折速度が通常であったにも関わらず右左折を検知できなかった箇所を赤色のピン、右左折がかなり低速であり且つ右左折を検知できなかった箇所をオレンジ色のピンで表している。また、図 2 で示したピンの数をまとめたものを表 3 に示す。青色のピンが 38 個、赤色のピンが 5 個、オレンジ色のピンが 7 個であることを示している。この結果から、右左折の検知成功率は 76.0% であった。

4.2.2 ウインカーの発出から右左折までの時間の推定

右左折の検知に成功した箇所（青色のピン）について、アプリケーションで推定したウインカーの発出から右左折するまでの時間と、実際にウインカーを出してから右左折を開始・終了した時間、推定が成功したか否かを表 4 に示す。検知した 37 回の右左折のうち、推定に成功したのは 31 回であり、成功率は 83.8% であった。また、推定に失敗

表 3 右左折検知・非検知数

右左折検知・非検知		回数
検知		38
非検知	通常右左折	5
	低速右左折	7

した 6 回のうち 4 回は、ウインカーを出してから実際に右左折するまでに 20 秒以上かかっている。

4.3 考察

4.3.1 右左折の検知

右左折の検知をできなかった箇所が複数あり、原因としては 3 点考えられる。1 点目は、図 3 にもオレンジ色のピンで示してある通り、道路の混雑等によって右左折が低速になったため、ジャイロセンサでは検知することができなかったということである。2 点目は、交差点の規模が大きくなり、ジャイロセンサでの右左折の閾値を超えなかったことによる検知漏れである。本実験では、道そのものがカーブしている場合に右左折と判定しないように閾値を設定した。そのため、片側 3 車線のような大きな交差点となると右左折判定の閾値を超えず、検知漏れに繋がったと考えられる。3 点目は、歩行者等の存在である。右左折時に歩行者や自転車が存在すると、一旦停止をして横断を待ってから右左折をする。一旦停止をしたことで、検知漏れに繋がったと考えられる。

4.3.2 ウインカーの発出から右左折までの時間の推定

実験結果より、実際にウインカーを出してから右左折するまでの時間が 20 秒以内であれば、アプリケーションでかなりの高精度で推測できていることがわかる。ただし、ウインカーを出してから実際の右左折に 20 秒以上かかる場合、アプリケーションでは正しく推測できないケースが見られた。原因としては、ウインカーの操作の検知漏れが挙げられる。ウインカーを出し続けていても、周囲の雑音等により検知されないことがあり、それが原因だと考えられる。また少数ではあるが、ウインカーを出してから右左折するまでの時間が 20 秒以内でも時間の推定に誤りがあり、実際より長く推定している場合があった。それは、ウインカーを出す直前に生じた雑音をウインカーの操作だと誤判定したためだと考えられる。

5. 今後の課題

本章では、本システムの改善点および今後の研究について述べる。

5.1 本システムの改善点

本システムはウインカーを出してから右左折をするまでの時間を推定するものだが、前述したように右左折を検知できていないこともあった。検知漏れを防ぐための改善策



図 3 右左折地点

としては、

- (1) 右左折判定のための閾値を下げる
 - (2) 閾値と比較する際に使用する値を直近 5-7 秒間のジャイロセンサの平均値とする
 - (3) GPS や地磁気センサを用いる
- などが挙げられる。単純に閾値を下げるだけでは、ウインカーを出す必要がないカーブ等でも右左折と判定される可能性があるため、試行錯誤が必要である。

また、ウインカーの操作の検知漏れによって、右左折までの時間を正しく推定できないケースがあった。ウインカーの操作の検知漏れを防ぐためには機械学習モデルをさらに精度の高いものにする必要がある。本システムで用いたモデルは、ウインカーが出されている状態の音を 20 個、ウインカーが出ていない状態の運転の音を 19 個使用して作成した。これらの音データには BGM 等の雑音も含まれており、実際の運転環境下でもウインカーの操作を検知できるように作成した。しかし、自動車に搭載されているナビの音声案内等、比較的大きな音の雑音が発生するとウインカーの操作を検知できない可能性がある。またウインカーは周期的な音であり、音がなくなっている時間も存在する。それも加味した上で強力なモデルを作成する必要がある。

ると考えられる。

そして、本システムは道そのものがカーブになっている場合に右左折と判断しないよう、閾値を高く設定してあるため、車線変更の検知は難しい。しかし、実際にウインカーの未使用による事故の発生は、右左折時だけではなく車線変更時においても発生している。そのため、車線変更も検知でき、且つ道そのものがカーブになっているときに誤検知しないようなシステムにすることも改善点である。

さらに、ウインカーは周囲への意思表示であるため、ウインカーを使用したにも関わらず右左折しなかったことによる事故も発生している。本システムで使用したモデルは、雑音をウインカーの操作だと誤検知してしまうことがあったため、ウインカーの操作とみられる音が発生した後に右左折が検知された場合に、その音をウインカーの操作とみなすような仕様とした。しかしこのような事故を防ぐためには、ウインカーの使用後に右左折や車線変更をしたかどうかを確認できるシステムにする必要がある。

5.2 今後の研究

今回は被験者 1 名の運転データから本システムを評価した。しかし、運転には個性が現れるため、結果に個人差が

表 4 ウィンカーの発出から右左折までの時間

地点	推定時間 [sec]	実測時間 [sec]		推定成功 T/F
		開始時間	終了時間	
1	8.062	6.00	9.26	T
2	7.864	5.81	10.48	T
3	7.664	6.30	10.03	T
4	1.498	57.65	61.72	F
5	7.963	6.60	10.27	T
6	8.264	8.76	14.75	F
7	7.070	6.24	8.76	T
8	29.071	48.16	51.74	F
9	20.41	19.49	23.37	T
10	7.769	5.86	8.16	T
11	28.376	25.33	29.68	T
12	8.762	7.41	8.93	T
13	10.744	9.93	13.12	T
14	10.254	24.18	26.24	F
15	5.18	4.39	7.64	T
16	23.297	21.95	24.34	T
17	3.584	3.10	4.99	T
18	6.671	5.56	8.17	T
19	5.078	2.99	6.55	T
20	9.358	3.52	7.69	F
21	5.878	4.73	8.40	T
22	5.477	5.22	8.41	T
23	31	61.62	67.11	T
24	7.668	5.77	9.48	T
25	7.866	7.01	9.64	T
26	7.367	6.46	8.17	T
27	14.635	14.62	18.45	T
28	29.664	42.05	47.22	F
29	7.173	5.37	9.17	T
30	1.693	1.27	4.73	T
31	5.973	3.32	6.87	T
32	6.57	5.60	9.65	T
33	4.978	4.74	7.77	T
34	31	80.98	87.55	T
35	31	40.16	44.34	T
36	3.386	2.54	4.59	T
37	31	36.30	41.07	T

生じる可能性がある。そのため今後は 3-5 名の被験者に同じコースで運転を行なってもらい、その上で本システムを評価する必要がある。

謝辞 本研究の一部は、SIP, My-IoT 開発プラットフォームの研究開発 (JPNP18014) の支援のもと実施されている。

参考文献

- [1] Johan Wahlström, Isaac Skog, and Peter Händel. Smartphone-based vehicle telematics: A ten-year anniversary. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, Vol. 18, No. 10, pp. 2802–2825, 2017.
- [2] H. Eren, S. Makinist, E. Akin, and A. Yilmaz. Estimating driving behavior by a smartphone. In *2012 IEEE*

- Intelligent Vehicles Symposium*, pp. 234–239, 2012.
- [3] Claus Aichinger, Philippe Nitsche, Rainer Stütz, and Marko Harnisch. Using low-cost smartphone sensor data for locating crash risk spots in a road network. *Transportation Research Procedia*, Vol. 14, pp. 2015–2024, 2016. Transport Research Arena TRA2016.
- [4] Zhongyang Chen, Jiadi Yu, Yanmin Zhu, Yingying Chen, and Minglu Li. Abnormal driving behaviors detection and identification using smartphone sensors. In *2015 12th Annual IEEE International Conference on Sensing, Communication, and Networking (SECON)*, pp. 524–532, 2015.
- [5] Javier E. Meseguer, Carlos T. Calafate, Juan Carlos Cano, and Pietro Manzoni. Drivingstyles: A smartphone application to assess driver behavior. In *2013 IEEE Symposium on Computers and Communications (ISCC)*, pp. 000535–000540, 2013.
- [6] German Castignani, Thierry Derrmann, Raphael Frank, and Thomas Engel. Validation study of risky event classification using driving pattern factors. In *2015 IEEE Symposium on Communications and Vehicular Technology in the Benelux (SCVT)*, pp. 1–6, 2015.
- [7] Duy Quy Nguyen-Phuoc, Anh Thi Phuong Tran, Chris De Gruyter, Inhi Kim, and Diep Ngoc Su. Turn signal use among car drivers and motorcyclists at intersections: a case study of da nang, vietnam. *Accident Analysis & Prevention*, Vol. 128, pp. 25–31, 2019.
- [8] Duy Quy Nguyen-Phuoc, Chris De Gruyter, Oscar Oviedo-Trespalacios, Su Diep Ngoc, and Anh Thi Phuong Tran. Turn signal use among motorcyclists and car drivers: The role of environmental characteristics, perceived risk, beliefs and lifestyle behaviours. *Accident Analysis & Prevention*, Vol. 144, p. 105611, 2020.
- [9] Kaspar Lyngsie, Martin S. Pedersen, Jan Stage, and Kim F. Vestergaard. Don't text while driving: The effect of smartphone text messaging on road safety during simulated driving. In Paula Kotzé, Gary Marsden, Gitte Lindgaard, Janet Wesson, and Marco Winckler, editors, *Human-Computer Interaction – INTERACT 2013*, pp. 546–563, Berlin, Heidelberg, 2013. Springer Berlin Heidelberg.
- [10] Dimitrios I. Tselentis, Eleni I. Vlahogianni, and George Yannis. Temporal analysis of driving efficiency using smartphone data. *Accident Analysis & Prevention*, Vol. 154, p. 106081, 2021.