

快適な車道推薦のための 自転車挙動データを用いた障害物検出手法

武安裕輔^{†1} 白石陽^{†2}

概要: 近年, 自転車通行環境が十分に整備されていないという現状から, 自転車利用者が車道を走行する際に, 快適に走行できないという問題が生じている. この問題を解決するアプローチとして, どの道路が自転車の走行に適しているかという情報を収集し, 共有する方法が挙げられる. 自転車の走行の快適性を左右する大きな要因として, 路側帯上の障害物の存在が挙げられる. より多くの道路における, 障害物の有無や種類などの情報を網羅的に収集するためには, 自転車にセンサを設置し, 自転車利用者による参加型センシングを行う方法が有効であると考えられる. 本研究では, 路側帯を走行中に障害物に遭遇した場合, 自転車利用者が回避動作を行うことから, その回避挙動に着目する. そして, センサを用いて収集した自転車挙動データから障害物回避挙動を検出することで, 障害物を検出することを目的とする. 本稿では, 快適な車道推薦のための自転車挙動データを用いた障害物検出手法を提案する. 提案手法は, 複数種類存在する障害物に対する回避挙動の特徴に基づいて, 教師あり機械学習により挙動分類を行うことで障害物の有無や種類を検出する. 検出には, 回避時の自転車の進行方向や車体の姿勢の変化を特徴量として用いた. また, 提案手法に用いる特徴量の有効性を検討するために, 直線とカーブにおいて, 回避挙動がある場合と無い場合の挙動データを用いて, 分類精度評価を行った. 結果として, 今回選定した特徴量を用いることで, 高い精度で複数種類の障害物に対する回避挙動を分類できることが示唆された.

A Method for Obstacle Detection by Using Bicycle Behavior Data to Recommend comfortable Routes

YUSUKE TAKEYASU^{†1} YOH SHIRAISHI^{†2}

1. はじめに

近年, 日本では自転車利用者が増加している[1]. 理由として, 利用者自身の健康促進や, 地球環境への配慮が考えられる. その中でも特に, 趣味・スポーツの一つとしてサイクリングをする人が増加の大半を占めている. ドイツやデンマークなどの多くの国民が自転車を利用している自転車大国では, 自転車利用者に配慮した道路環境の整備が進んでいる. 代表的な例として, 車が通行する車道とは別に設けられた自転車専用レーンや, 自転車が通行可能な歩道橋などが挙げられる.

日本では, 自転車利用者の増加を受けて国土交通省が2008年1月に「自転車通行環境整備モデル地区」[2]を指定した. このモデル地区では, 他の地区に先立って自転車通行環境の整備を進めている. 具体的な取り組みとして, 歩道上における歩行者と自転車の通行区分を分ける柵の設置や, 自転車専用レーンの設置等が挙げられる. さらに, 自転車利用者の増加に伴い, 歩道での歩行者と自転車の間の事故が多発していることから[3], 国は2015年6月1日に道路交通法を改正した. この改正により, 自転車利用者に

対して原則車道通行が義務付けられた. しかし, 現状の日本の道路を見ると, 車道脇の路側帯が狭く排水溝の蓋を回避する際に車と安全な距離を確保できない道路や, 路上駐車によって路側帯や自転車専用レーンを塞がれている道路, 路面の損傷等で凹凸のある道路など, 障害物や路面の損傷が自転車の快適な走行を妨げている道路が多く見受けられる. このように, 自転車通行環境の整備は一部の地域を除き, なかなか進んでいない. こうした現状から, サイクリングを楽しもうとする自転車利用者が車道を走行する際に, 頻繁な加減速や障害物回避などの動作を強いられ, 快適に走行できず楽しめないという問題が生じている.

この問題を解決するために, どの道路がサイクリングに適しているかという情報を収集し, 共有するアプローチが挙げられる. 例えば, 自転車利用者の間で参加型センシングを行うことによって道路の快適性などの情報を収集・共有する「自転車大好きマップ」というサービスが実用化されている. しかし, このサービスは利用者が自転車で走行した道路に関する情報を手入力によって収集している. そのため, 利用者が情報を入力するにはかなりの手間がかかり, 走行した全ての道路に関する情報を収集することが困難であるという欠点がある. この欠点を解消するためのアプローチとして, 自転車利用者が自転車で走行した全ての道路の情報を自動で収集し, 共有することが挙げられる.

^{†1} 公立はこだて未来大学大学院システム情報科学研究科
Graduate School of Systems Information Science, Future University Hakodate
^{†2} 公立はこだて未来大学システム情報科学部
School of Systems Information Science, Future University Hakodate

そこで本研究では、自転車で行った道路の快適性に関わる情報を自動で収集し、収集した情報をもとに自転車利用者に快適な車道経路を推薦することを最終目的とする。ここで、路側帯上の障害物は自転車走行時の快適性に大きく影響すると考えられるため、本研究では障害物の有無や規模に関する情報を収集する。そのためにまず、自転車に設置したセンサを用いて走行中の自転車の挙動データを収集する。次に、収集した自転車の挙動データから、障害物の回避挙動を検出する。障害物の回避挙動を検出することで、障害物に関する情報を収集することができると考える。そして、自転車の挙動データから得られる障害物に関する情報を、参加型センシングを用いて複数の自転車利用者から収集する。参加型センシングとは、計測対象領域に分散した多数の協力者が自身のスマートフォンなどに搭載されているセンサを用いて計測した何らかのデータを相互に共有する方法である[4]。参加型センシングを用いた研究としては、スマートフォンの照度センサを用いて夜道の街灯照度データを収集する研究[5]や、車載スマートフォンを用いて桜を検出することで桜景観の良い道路区画の抽出を行う研究[6]が挙げられる。

以上の自転車挙動データを収集し障害物回避挙動を検出するアプローチにより、本稿では、快適な車道推薦のための自転車挙動データを用いた障害物検出手法を提案する。

2. 関連研究

本研究では、自転車挙動データを用いた障害物検出手法を提案する。そこで、関連研究として自転車挙動のセンシングに関する研究と、自転車挙動データを用いた挙動検出に関する研究について述べる。

2.1 自転車挙動のセンシングに関する研究

自転車の挙動をセンシングする研究として、複数種類の専用センサを用いてセンシングを行う研究[7][8][9][10]と、スマートフォンを用いてセンシングを行う研究[11][12][13]が挙げられる。

まず、複数種類の専用センサを用いてセンシングを行う研究[7][8]では、リードスイッチと光電センサを用いて自転車の速度の情報を収集している。これらを用いることで、自転車のタイヤの回転数を計測することができ、一定時間におけるタイヤの回転数から、自転車の速度を算出することができる。また、自転車のハンドル角の情報を収集するために、ロータリーエンコーダを用いている。文献[9]では、磁気センサを用いてペダルの回転数の情報を収集している。更に、文献[10]では、自転車や二輪車がハンドル操作だけではなく車体を傾けて旋回するということから、角速度センサを用いて操舵角や車体の傾きの情報を収集している。以上のように、専用センサを用いてセンシングを行うこと

で、自転車の挙動に関する様々な情報を高精度に収集することができる。しかし、参加型センシングを行う場合、より多くの自転車利用者がセンシングに参加することが重要であるため、導入コストを抑える必要がある。そのため、一般の自転車利用者が通常所持していないセンサを複数使用したセンシング方法は、本研究に適さないと考えられる。

次に、スマートフォンを用いてセンシングを行う研究[11][12][13]では、ハンドルに設置したスマートフォンに搭載された角速度センサを用いてハンドル角や車体の傾きの情報を収集している。さらに文献[12]では、加速度センサを用いて自転車の走行・停止判別や、加減速の情報を収集し、これらの情報を用いて見通しの悪い交差点や混雑している道路などを検出している。文献[13]では、地磁気センサを用いて操舵角や車体の傾きを収集し、右左折や蛇行などの動作を判別している。スマートフォンには上記の研究で用いられているセンサの他にも、多種多様なセンサが搭載されているため、スマートフォン単体で多くの情報を収集することができる。そして、スマートフォンは近年普及が進んでいるため、自転車利用者の多くが所持しており、導入コストを抑えることができる。そのため、参加型センシングを用いる本研究に適したセンシング手法であると考えられる。

2.2 自転車挙動データを用いた挙動検出に関する研究

自転車挙動データを用いた挙動検出に関する研究として、閾値を用いて挙動検出を行う研究[10]と、機械学習を用いて挙動検出を行う研究[8][11][12]が挙げられる。

まず、閾値を用いて検出を行う研究[10]では、自動二輪車の車体の左右への傾きに関する角速度の値に対して閾値を設けることで、路面に出来た損傷箇所の回避挙動を検出している。しかし、複数の自転車利用者によって収集された回避挙動には、回避を始めるタイミングや、ハンドルの切り方や車体の傾け方に大きく個人差が現れてしまう。そのため、ハンドルの操舵角や車体の傾きに一定の閾値を設定することが難しいと考えられる。また、自動二輪車と自転車を比べると、自転車はふらつきが多いため、回避挙動として設定した閾値をふらつき時に超えてしまう可能性も考えられる。以上より、操舵角に対して一定の閾値を設定する検出手法は、本研究には適さないと考える。

次に、機械学習を用いて検出を行う研究[8][12]は、センサによって収集した自転車挙動データから特徴量を抽出し、それをもとに決定木を用いた機械学習を行うことで、蛇行運転や路上駐車などの回避する挙動の分類を行っている。また、文献[11]はSVM(Support Vector Machine)によって右左折や左右のカーブなどの挙動の分類を行っている。自転車の挙動においては、自転車利用者によりハンドル操作のタイミングなどが異なり、ある挙動に対して複数の挙動パターンが考えられる場合がある。機械学習によって挙動分

類を行うことで、複数の挙動パターンの特徴量を同じ挙動として学習させることにより、自転車利用者の個人差に柔軟に対応することが可能であると考えられる。このことから、機械学習を用いた検出手法は、回避を始めるタイミングの差やハンドルの切り方における個人差を考慮した分類モデルを生成することができると考えられるため、参加型センシングを用いる本研究に適した手法であると考えられる。

3. 提案手法

本章では、本研究の目的とアプローチを述べ、各アプローチについて、詳細を述べる。

3.1 研究課題とアプローチ

本研究は、自転車挙動データを用いて障害物回避挙動を検出することで、障害物を検出することを目的とする。目的を達成するための本研究の課題は以下の3つである。

課題Ⅰ．導入コストを抑えた挙動データ収集

課題Ⅱ．挙動検出に有効な特徴量抽出

課題Ⅲ．障害物回避挙動の検出

上記の課題を設定するにあたって、既存研究を本研究に応用する際の問題点を以下に述べる。まず、自転車挙動データを収集する際に複数の専用センサを自転車に設置する収集方法では、導入コストが高くなってしまい、より多くの道路の快適性などの情報を網羅的に収集することが困難である。そのため、導入コストの低い収集方法の検討が必要である。また、自転車挙動データから障害物の回避挙動を検出する際に、回避の仕方に利用者の個人差があり検出漏れを起こすことや、ふらつき動作などの挙動が回避挙動として誤検出されてしまうことがある。さらに、カーブ走行時など、自転車の進行方向が常に変化し続けている状況では直進時と同様の検出方法が適用できないと考えられる。そのため、ふらつきなどの類似動作との区別に有効な特徴量の検討や、挙動の個人差に柔軟に対応できる検出手法の検討、カーブ走行時の検出手法の検討が必要である。

課題に対するアプローチをまとめると以下の3つになる。アプローチⅠでは課題Ⅰを解決し、アプローチⅡで課題Ⅱを解決する。そして、アプローチⅢで課題Ⅲを解決する。

アプローチⅠ．スマートフォンを用いた挙動データ収集

アプローチⅡ．特徴量として進行方向の変化や車体の左右への傾きに着目

アプローチⅢ．機械学習による特徴量の学習および分類

アプローチⅠ．スマートフォンを用いた挙動データ収集

課題Ⅰに対するアプローチとして、様々な道路の情報を網羅的に収集するには、自転車利用者による参加型センシングを用いた収集が有効であると考えられる。多くの自転車利用者が参加型センシングに参加するためには、導入コストを抑えた挙動データ収集手法を用いる必要がある。そこで、本研究では各自転車の挙動データの収集にスマートフォンに搭載されたセンサを用いる。スマートフォンは普及が進み、自転車利用者の多くが所有していると考えられる。また、スマートフォンの技術進歩により、スマートフォンには多種多様なセンサが搭載されている。スマートフォンを自転車のハンドルに設置することで、導入コストを抑えた自転車の挙動データ収集を実現することができると考える。さらに、スマートフォンにはネットワーク通信機能も搭載されているため、収集した挙動データや道路の情報をそのままネットワークを介してリアルタイムに共有することも可能であると考えられる。

アプローチⅡ．特徴量として進行方向の変化や車体の左右への傾きに着目

課題Ⅱに対するアプローチとして、走行中の自転車における自転車の進行方向や、車体の左右への傾きに注目する。まず、自転車の進行方向に着目すると、自転車が快適に走行できている場合は、急なハンドル操作はほとんど行われず、進行方向はほぼ一定な状態で保たれると考えられる。しかし、障害物が存在する場合や危険を感じた場合など、自転車の快適な走行を阻害された場合には、障害物や危険を回避するために左右へハンドルを操作し、進行方向が変化することが考えられる。こうした進行方向の変化の特徴から障害物回避挙動時の特徴量を抽出する。また、自転車はハンドル操作だけではなく車体を左右に傾けることによって旋回を行う場合がある。そのため、車体の左右への傾きにも着目する。その他に、排水溝の蓋や路上駐車などの大きさの異なる障害物においては回避にかかる所要時間が異なることが考えられる。また、ふらつきなど極小時間のうちに行われるハンドル操作との区別をするためにも挙動にかかる時間にも着目する。これにより、大きさの異なる障害物を区別した障害物回避挙動やふらつきなどの障害物回避と類似する動作の誤検出を防ぐ。これらの特徴も踏まえて、特徴量を検討する。

アプローチⅢ．機械学習による挙動の学習及び分類

課題Ⅲに対するアプローチとして、収集した挙動データから障害物の有無や大きさの規模の情報を得るために、障害物回避挙動を検出する必要がある。そこで、挙動検出アルゴリズムとして決定木を用いる。決定木とは、教師あり機械学習の一種であり、木の根ノードから葉ノードまでに記述されている条件によるテストを繰り返し実行すること

で、データを分類する。本研究では、挙動データから抽出した特徴量と、障害物の規模の正解ラベルを用いて障害物回避挙動の学習をあらかじめ学習し、学習したデータを元に生成した分類モデルにより挙動の分類を行う。

3.2 案手法の概要

提案手法の概要を図 1 に示す。

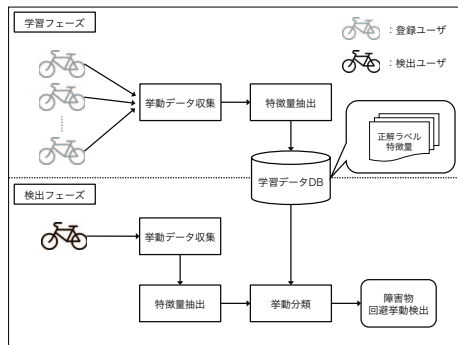


図 1 提案手法の概要

提案手法は、学習フェーズと検出の 2 つのフェーズで構成される。学習フェーズでは、学習データをデータベースに登録する登録ユーザーが、自転車走行中に収集した自転車挙動データから学習に用いる特徴量を抽出する。抽出した特徴量を正解ラベルとともに学習データのデータベースに格納する。そして、この学習データを用いて複数種類の障害物回避挙動の特徴量を学習する。検出フェーズでは、参加型センシングの協力者である検出ユーザーが、自転車走行中に収集した自転車挙動データから特徴量を抽出し、抽出された特徴量を用いて障害物の回避挙動と見られる挙動を検出する。

3.3 自転車挙動データの収集

3.3.1 データの収集方法

走行中の自転車から自転車挙動データの収集には、自転車のハンドルに設置したスマートフォンを用いる。設置の方法については、図 2 のようにスマートフォンの上部が自転車の進行方向に向くように地面と水平に設置する。収集するセンサデータは、加速度、地磁気、GPS とし、これらに付随してタイムスタンプも記録する。

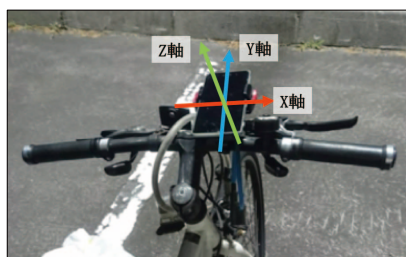


図 2 スマートフォンの設置方法および各センサの座標軸

そして、ハンドル操作に応じて変化する自転車の進行方向と自転車の車体の左右への傾きから障害物を回避する際の挙動の分析を行うために、収集した加速度センサと地磁気センサの値から方位角と Y 軸（進行方向）を回転軸としたスマートフォンの左右への傾きを算出する。方位角と Y 軸におけるスマートフォンの左右への傾きはそれぞれ、自転車の進行方向と自転車の車体の傾きと同等の変化を示すと考えられる。方位角は 0° から 360° の値を示し、時計回りに方向が変化すると、角度の値が大きくなる。また、方位角は 0° 、 90° 、 180° 、 270° の順に、北、東、南、西を表す。そして、スマートフォンの左右への傾きは、水平状態から右側へ傾くと負の値、左側へ傾くと正の値となる。

3.3.2 収集したデータの分析

実際に直進・左カーブ・右カーブそれぞれの環境における、障害物がある場合とない場合の挙動データを収集した。カーブの環境は図 3 に示すようなカーブを用いた。また、障害物は、幅 1.5m、長さ 4m の普通車を想定した。実際に収集されたデータを図 4 に示す。

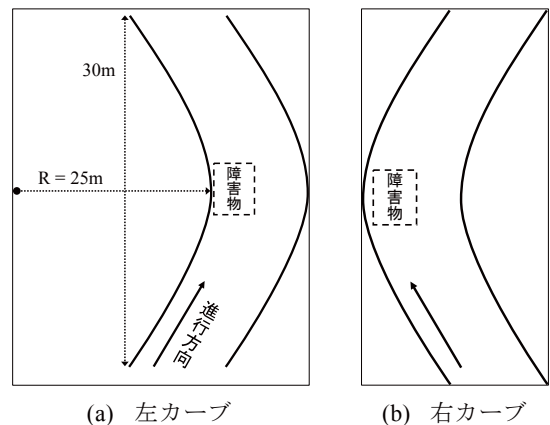


図 3 左右カーブの実験環境

まず、障害物が無い場合に直進、左カーブ、右カーブの挙動をとった際のセンサ値の変動を表したグラフをそれぞれ図 4(a), (b), (c) に示す。直進走行時は、進行方向が変わらないため方位角の値がほぼ一定である。それに対して、左カーブ走行時（右カーブ走行時）は一定の割合で方位角の値が減少（増加）していることがわかる。また、スマートフォンの左右への傾きに関しては、直進・カーブ走行時のどちらの場合もほぼ一定の値であり、大きなハンドル操作は無いため、車体も傾けずに走行していることがわかる。

次に、障害物がある場合に直進・左カーブ・右カーブの挙動をとった際のセンサ値の変動を表したグラフをそれぞれ図 4(d), (e), (f) に示す。ここでは、障害物として路側帯に路上駐車する普通車を、走行中に右へハンドルを切って回避する場合を想定した。直進時は、障害物を回避する際

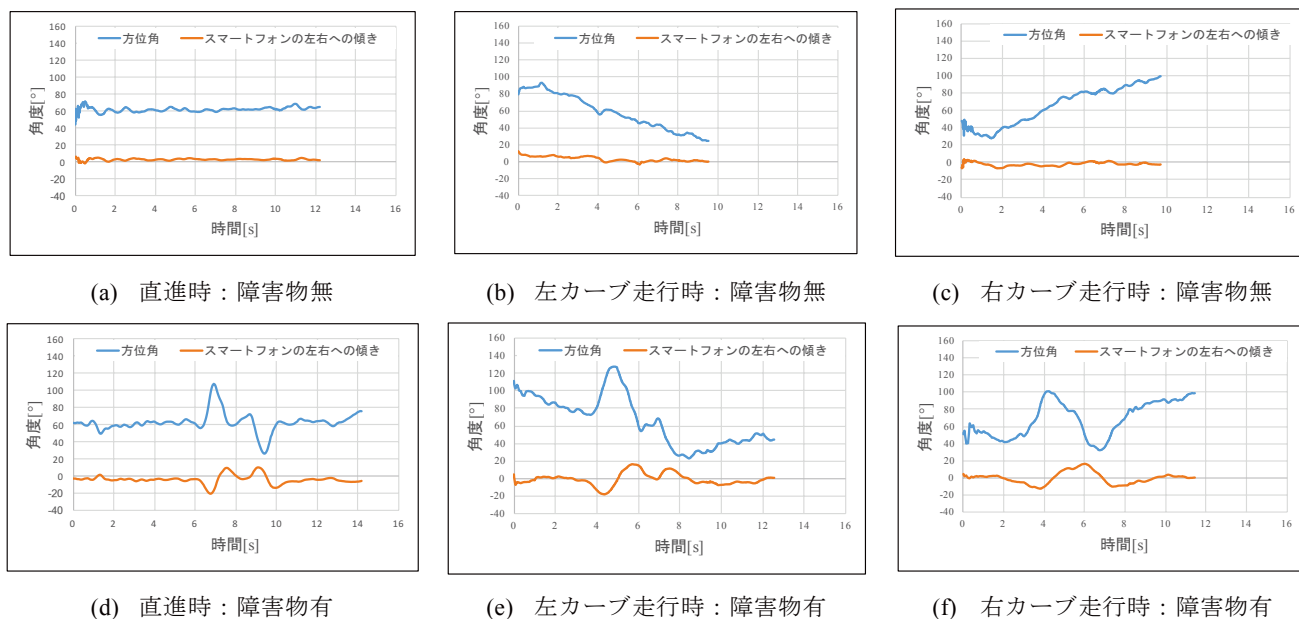


図 4 各条件における障害物回避時の方位角とスマートフォンの左右への傾き

に方位角とスマートフォンの傾きの値が大きく振れ、障害物回避後に元の値に戻っている。それに対して左カーブ・右カーブ走行時は、方位角が一定方向に変動し続ける中、障害物を回避する際に大きな変化を示している。また、スマートフォンの傾きの値も同様に回避時に大きく変化していることがわかる。その他の特徴として、障害物の規模を変化させた際の挙動の変化にも着目した。障害物の規模による変化を比較するために、路上駐車のと、排水溝の蓋をそれぞれ回避した際の挙動を比較した。排水溝の蓋の大きさは0.5m四方を想定した。そして、右カーブ走行時の2つの障害物を回避した際のグラフを図5に示す。この2種類の回避挙動を比較すると、路上駐車のを回避する場合の方が、排水溝の蓋を回避する場合に比べて方位角が増加し始める地点が約2秒早い。これは、回避する障害物が大きいと、早い段階で回避挙動が始まったと考えられる。

3.4 特徴量の抽出

機械学習による障害物回避挙動の検出を行うために、収集した自転車挙動データから特徴量を抽出する。

3.3 節で分析した特徴から、本研究では障害物回避挙動を検出するための特徴量として、障害物回避時における方位角とスマートフォンの左右への傾きの大きな変化と、回避にかかる所要時間に着目する。まず、方位角とスマートフォンの左右への傾きの変動について検討する。直進時に限定した場合は、回避挙動の前後で進行方向が変化しないため、方位角の変動の正負への変化がそれぞれ最大・最小となる点を検出することで回避挙動を検出することが可能であると考えられる。しかし、左右へカーブしている場合

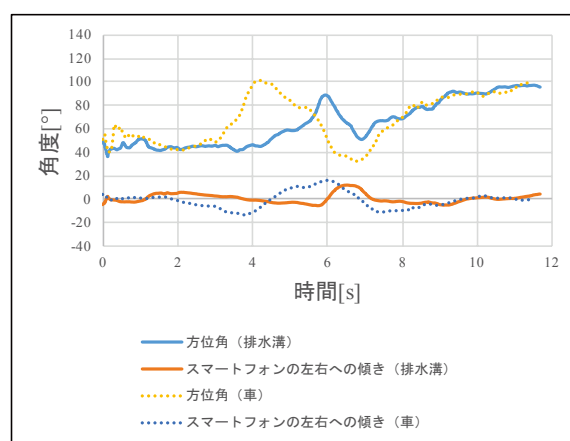


図 5 障害物の規模の違いによる回避挙動の変化 (右カーブ走行時)

は、方位角が常に減少(増加)しているため、上記の2点を検出するだけでは回避挙動を検出することが出来ない。そこで、直進時と左右へのカーブ走行時の両方で用いることができる手法として、本研究では値の変動における線形近似曲線を用いた手法を提案する。線形近似曲線を求めることで、値の変動を図6の点線のように近似することができる。そして、実測値と近似値との差を用いることによって回避挙動時の値の変化を、直進時の手法と同じように検出することができるようになるため、左右のカーブ走行時にも適用できると考える。

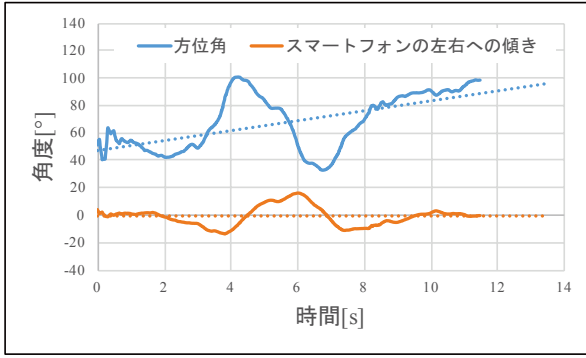


図 6 線形近似による値の近似曲線

特徴量抽出の流れとしてまず、方位角に関する線形近似曲線 $f_{az}(x)$ を求める。次に、実測値と近似値の差が最大・最小となる点 x_{az_max} , x_{az_min} を求め、その点における差をそれぞれ $Diff_{az_max}$, $Diff_{az_min}$ とする。そして、方位角における最大・最小ピークの時刻 T_{az_max} , T_{az_min} の差 T_{az_int} を求める。また、スマートフォンの左右への傾きにも同様に線形近似曲線 $f_{yaw}(x)$, 実測値と近似値の差が最大となる点 x_{yaw_max} , 最小となる点 x_{yaw_min} , 最大となる点の時刻 T_{yaw_max} , 最小となる点の時刻 T_{yaw_min} を求める。そして、 T_{yaw_max} , T_{yaw_min} が T_{az_max} , T_{az_min} の範囲前後 1 秒内に存在するかそれぞれ真偽値 Ex_{yaw_max} , Ex_{yaw_min} を求める。求めた特徴量を図 7, 図 8 に示す。また、ここまでの数値導出に用いた式を、式 (1)~(5) に示す。

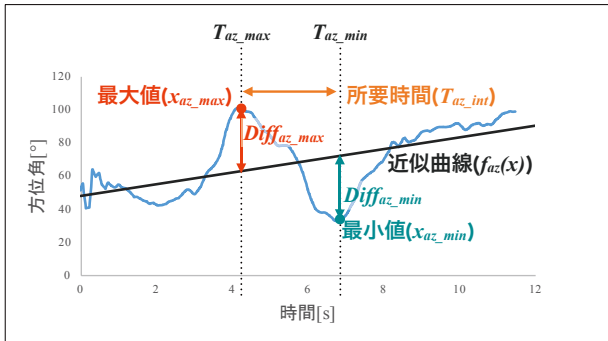


図 7 方位角についての特徴量

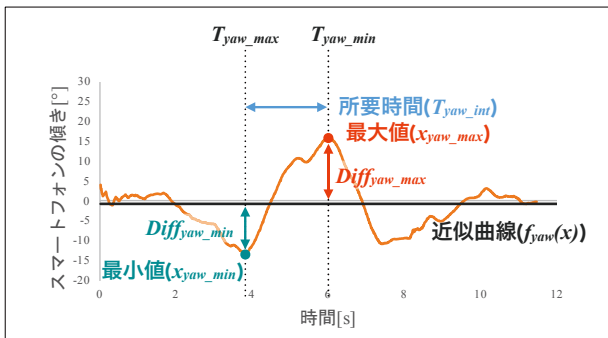


図 8 スマートフォンの左右への傾きについての特徴量

$$Diff_{az_max} = x_{az_max} - f_{az}(x_{az_max}) \quad (1)$$

$$Diff_{az_min} = x_{az_min} - f_{az}(x_{az_min}) \quad (2)$$

$$T_{az_int} = |T_{az_max} - T_{az_min}| \quad (3)$$

$$Ex_{yaw_max} = True \quad (4)$$

$$if \quad T_{az_max} + 1 < T_{yaw_max} < T_{az_min} - 1$$

$$Ex_{yaw_min} = True \quad (5)$$

$$if \quad T_{az_max} + 1 < T_{yaw_min} < T_{az_min} - 1$$

回避挙動の検出に用いる特徴量をまとめると、まず、 $f(x)$ の傾きを用いることで、直進、右カーブ、左カーブのどの場合における挙動なのかを判定する。次に、 $Diff_{az_max}$, $Diff_{az_min}$ を用いて回避挙動を検出する。そして、 T_{az_int} を用いて回避した障害物の規模を分類する。また、その他にも Ex_{yaw_max} , Ex_{yaw_min} を用いることで、ふらつきか、意図的なハンドル操作なのかを判定する。以上の特徴量を用いて、本研究では回避挙動の検出を行う。

3.5 障害物の検出

障害物の検出は、自転車の挙動から障害物を回避する挙動を検出することによって行う。自転車の障害物回避挙動の検出は、機械学習ソフトウェア Weka を用いた教師あり機械学習により行う。そして、自転車挙動データから抽出した特徴量の有効性を確認するために、挙動の分類には決定木を用いる。分類対象とする障害物の回避挙動は、排水溝の蓋などの小規模な障害物の回避、路上駐車などの中規模の障害物の回避、大型のバス・トラックおよび複数台続いた路上駐車などの大規模な障害物の回避の挙動を考える。

4. 評価実験

3 章で述べた提案手法の有効性を検討するために分類精度の評価実験を行った。

4.1 自転車挙動データの収集

今回の実験では、直進する挙動、直進中に障害物を回避する挙動、左右にカーブする挙動、左右のカーブ中に障害物を回避する挙動に関する挙動データを収集した。障害物は、小規模な障害物と中規模な障害物の例として、排水溝の蓋と路上駐車などをそれぞれ想定した。そして、障害物の大きさを、排水溝の蓋は 0.5m 四方、路上駐車は幅 1.5m, 長さ 4m とした。また、左右のカーブ走行時の挙動データの収集時に用いたカーブの実験環境は 3 章の図 3 にまとめる。

本実験で用いたカーブの半径は約 25m で、そのうち、弦長 30m, の部分を切り出して用いた。次に、カーブの中間地点に障害物を設置した。この時、左カーブの場合にはカーブの外側に設置し、右カーブの場合にはカーブの内側に

設置した。理由としては、自転車は原則的に車道の左側を走行しているためである。

以上の実験条件・実験環境で、直進・左右のカーブにおいて障害物がない場合の挙動、障害物がある場合の挙動 2 パターンの挙動データを 20 回ずつ、計 180 個の挙動データを収集した。

挙動データとしては、走行中の加速度、角速度、地磁気センサ、GPS、タイムスタンプの値を記録した。また、この時のサンプリングレートは 100Hz とした。

4.2 挙動分類における精度評価実験

3.4 節で述べた特徴量が障害物回避挙動を分類するための特徴量として有効かどうかを検討するための実験を行った。まず、収集した自転車挙動データから特徴量を抽出する。次に、抽出した特徴量と挙動の正解ラベルから学習データを生成し、Weka を用いて教師あり機械学習を行った。学習アルゴリズムは、J48 決定木を用いて 10-分割交差検定を行った。10-分割交差検定は、学習データを 10 個に分割し、そのうちの 9 個を学習データとして学習を行い、残りの 1 個のデータをテストデータとして分類モデルの生成および精度を算出する。そしてこれを 10 通り全てに対して行い、その平均から分類モデルと精度を算出する手法である。機械学習による分類結果を表 1 に示す。

表 1 機械学習による挙動分類の結果

			分類結果								
			直進			左カーブ			右カーブ		
			無	排	車	無	排	車	無	排	車
正解ラベル	直進	無	19	0	0	0	0	0	1	0	0
		排	0	20	0	0	0	0	0	0	0
		車	0	0	20	0	0	0	0	0	0
	左カーブ	無	0	0	1	19	0	0	0	0	0
		排	0	0	0	0	18	2	0	0	0
		車	0	0	0	1	2	18	0	0	0
	右カーブ	無	0	0	0	0	0	0	19	0	1
		排	0	0	0	0	0	0	0	19	1
		車	0	0	0	0	0	0	0	1	19

4.3 考察

分類結果を見ると、180 個の挙動データのうち 95% の挙動データが正しく分類された。一方で、誤分類されたデータを見ると、まず、左カーブにおいて、排水口の蓋を回避する挙動と、路上駐車車を回避する挙動が互いに誤分類されていることがわかる。原因としては、回避に要した所要時間 T_{az_int} に差がほとんど無いデータが存在したことが考えられる。左カーブ走行時に障害物を回避する場合に、実際に誤分類されたデータを図 9 に示す。この例では、6

秒付近で右にハンドルを切って障害物を回避した後に、左へ大きく切り返す挙動が見られない。これは、左へカーブする場合、右に回避した後に左へ切り返す動作と左へカーブする動作が同じ方向となるため、操舵角が大きく変化しないことが原因であると考えられる。そのため、回避動作時の負の方向への変化が最大となる点が正しく現れず、回避に要した所要時間を正しく算出することができなかったと考えられる。

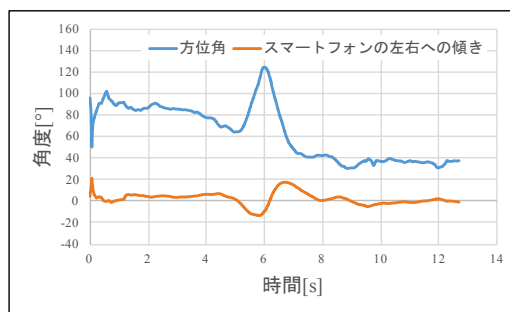


図 9 左カーブ時に負の方向へピークが現れない例

また、上記の他に誤分類があったものとして、右カーブにおいて、排水溝の蓋を回避する挙動と、路上駐車車を回避する挙動が互いに誤分類されていた。この原因として、排水溝の蓋を長い時間かけて緩やかに回避する挙動と、路上駐車車を短い時間で急激に回避する挙動における、回避に要した所要時間にほとんど差のないデータが存在したことが考えられる。

以上より、今回の実験における主な誤分類の原因として以下の 2 つが挙げられる。まず、左へカーブしながら障害物を回避すると元の走行ラインに復帰する際の挙動が、左へカーブする挙動と類似してしまうことが挙げられる。次に、小規模な障害物を長い時間かけて緩やかに回避する挙動と、中規模な障害物を短い時間で急激に回避する挙動における、回避に要する所要時間にほとんど差が出ない場合があることが挙げられる。

5. まとめ

本研究は、自転車挙動データを用いて障害物回避挙動を検出することで、障害物を検出することを目的とする。そこで本稿では、自転車が障害物を回避する際の加速度センサと地磁気センサの値から得られる、自転車の進行方向や車体の左右への傾き、回避に要する所要時間の時系列データを学習することで、障害物を回避する挙動を検出する手法を提案した。

評価実験では、直進・左カーブ・右カーブ走行時の 3 種類の走行環境において、障害物が存在しない場合、排水溝の蓋などの小規模な障害物を回避する場合、路上駐車車などの中規模な障害物が存在する場合の 3 パターンの挙動

データを収集した。そして、挙動データを機械学習によって分類する実験を行った。実験結果として、9種類の挙動データを95%の精度で分類することが出来た。しかし、左カーブ時に、障害物を右にハンドルを切って回避する挙動では、元の走行ラインに戻るために左にハンドルを切る動作と左にカーブする動作が同時に行われることにより、特徴量が正しく抽出することが出来ない場合があった。

今後は、左へカーブする際の障害物回避挙動の検出精度を向上するための新たな手法や、一度の計測データ内に複数の回避挙動が存在する場合の特徴量抽出および回避挙動検出手法の検討を行っていく。また、複数の被験者を対象とした実験を行い、今回提案した特徴量の有効性を検討していく。

参考文献

- [1] 国土交通省, 自転車交通, <https://www.mlit.go.jp/common/001085121.pdf>, (accessed 2017-1-14).
- [2] 国土交通省, 自転車通行環境整備のモデル地区を指定しました, http://www.mlit.go.jp/kisha/kisha08/06/060117_.html, (accessed 2017-1-14).
- [3] 総務省 統計局, 平成 27 年における交通事故の発生状況, <http://www.e-stat.go.jp/SG1/estat/Pdfdl.do?sinfid=000031400112>, (accessed 2017-1-14).
- [4] J. Burke, D. Estrin, M. Hansen, A. Parker, N. Ramanathan, S. Reddy and M. B. Srivastava, "Participatory Sensing", *World-Sensor-Web (WSW '06) at SenSys '06*, pp.1-6 (2006).
- [5] 松田裕貴, 新井イスマイル, "スマートフォン搭載照度センサの集合知によるセンサ入光特性を考慮した夜道の安全性判定システムの構築", 情報処理学会マルチメディア, 分散, 協調とモバイル (DICOMO2014) シンポジウム, pp. 966-974 (2014).
- [6] 玉井森彦ほか, "桜センサ: 車載スマートフォンによる画像処理に基づいた桜景観の良い道路区間の抽出". 情報処理学会研究報告モバイルコンピューティングとユビキタス通信 (MBL), Vol.72, No.19, pp. 1-8 (2014).
- [7] 下山直起, 安藤輝, 山崎和人, 石井貴拓, 平山雅之, "マルチセンサを用いた走行解析による自転車事故防止システムの検討", 情報処理学会研究報告, 組込みシステム(EMB), Vol.36, No.51, pp.1-6 (2015).
- [8] 田端佑介, 河内雄太, 山本光, 浅田翔平, 金田重郎, "自転車ユーザに障害物情報を提供する路上障害度共有システム", 電子情報通信学会技術研究報告. 高度道路交通システム (ITS), Vol.113, No.491, pp.1-6 (2014).
- [9] A. Zhan, M. Chang, Y. Chen and A. Terzis, "Accurate Caloric Expenditure of Bicyclists Using Cellphones", *Proceedings of the 10th ACM Conference on Embedded Network Sensor Systems*, pp.71-84 (2012).
- [10] 宮崎雄也, 神村吏, 菱本圭亮, 木谷友哉, "二輪車車体運動センシングデータを用いた路面損傷箇所の検出手法の提案", 情報処理学会マルチメディア, 分散, 協調とモバイルシンポジウム 2015 論文集, pp.1350-1358 (2015).
- [11] 神村吏, 木谷友哉, "SVM を用いた二輪車の運転挙動分類の基礎検討", 情報処理学会マルチメディア, 分散, 協調とモバイルシンポジウム 2014 論文集, pp.44-52 (2014).
- [12] 田端佑介, 山本光, 河内雄太, 浅田翔平, 金田重郎, "モバイルアドホックネットワークを利用した複数自転車向け路上危険箇所共有システム", 電子情報通信学会技術研究報告. 知能ソフトウェア工学(KBSE), Vol.113, No.475, pp.73-78

- (2014).
- [13] 斉藤裕樹, 菅生啓示, 間博人, テーブウィロージャナボンニワット, 戸辺義人, "sBike: 参加型センシングを志向したモバイルセンシングによる自転車走行状態収集・共有機構", 情報処理学会論文誌, Vol.53, No.2, pp.770-782 (2012).