Vol.2017-MBL-85 No.22
Vol.2017-ITS-71 No.22
2017/11/16

自転車の障害物回避挙動検出手法における速度変化特徴の有効性の検討

武安裕輔[†1,a)]　白石陽[†2,b)]

概要：近年，自転車利用者が増加しているが，日本では自転車利用者に向けた道路環境が十分に整備されていない．そのため，自転車利用者が道路を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，自転車利用者が快適に走行できる道路がどこなのかという情報を収集し，複数の自転車利用者の間で共有する方法が考えられる．そこで本研究では，自転車利用者の走行の快適性を左右する大きな要因の 1 つとして，路側帯上の障害物の存在に着目し，障害物の有無や種類の情報を収集することを目的とする．そのために，自転車が排水溝の蓋や路上駐車の車両などの障害物を回避する際には特有の挙動を示すことから，自転車の障害物回避挙動を検出することによって障害物に関する情報を収集する手法を検討する．そして，より多くの道路における障害物に関する情報を網羅的に収集するために，本研究では参加型センシングによる情報収集を想定する．自転車の挙動検出に関する既存研究では，ハンドルの操舵角などに対する閾値判定や，機械学習を用いた方法によって特定の挙動を検出している．しかし，閾値判定を用いた手法では，複数の自転車利用者の個人差を考慮した閾値を一意に設定することが難しい．そのため，多数の自転車利用者による個人差のある挙動をより正確に検出するために機械学習を用いる．著者らはこれまでに，障害物検出のための自転車の障害物回避挙動を検出するための手法を提案してきた．回避挙動検出は機械学習によって行い，障害物を回避する際に自転車の進行方位が変化することに着目し，進行方位の変化に関する特徴量を用いた．しかし，自転車の進行方位変化のみに着目した検出手法では，速度変化によってハンドルの切り方や切り始めが異なる場合に誤分類が生じ，回避挙動検出精度の低下が見られた．そこで本稿では，これまでの自転車の進行方位変化に加え，障害物回避時における減速といった速度変化を特徴量として用いた機械学習による検出手法を検討し，速度変化特徴が特徴量として有効であるかを評価する．

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]．増加の要因として，利用者自身の健康促進や，地球環境への配慮に対する意識の向上が考えられる．その中でも，趣味・スポーツの一環としてサイクリングを楽しむ人が増加の大半を占めている．自転車利用者の増加に伴い，歩道での歩行者と自転車利用者との間での事故が多発していることから[2]，国は 2015 年 6 月 1 日に道路交通法を改正した．この法改正により，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，現状の道路環境整備は全国的にあまり進んでいない．そのため，車道脇の路側帯が狭く，路上駐車の車両などの障害物を回避する際に側方を走行中の車両との安全な距離を確保できない道路や，路上駐車の車両によって路側帯や自転車専用レーンが塞がれている道路，路面の損傷等により凹凸のある道路など，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．こうした現状から，自転車利用者が交通ルールに従って車道を走行する際に，加減速や障害物回避などの動作を頻繁に行う必要があり，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ために，どの道路が自転車の走行に適しているの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．このアプローチによる既存サービスとして「自転車大好きマップ」[3]が挙げられる．このサービスは，自転車利用者が自転車で走行した道路について,「走りやすい」「走りにくい」などの道路の快適性に関する情報を収集し，利用者同士で共有することができる．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利用者自身の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際に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り，道路の情報を網羅的に収集することができないという欠点がある．

この欠点を解決するためのアプローチとして，本研究では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・共有することを目的とする．そして，自転車走行時の快適性を左右する障害物（排水溝の蓋，路上駐車の車両など)や車の交通量,路面の凹凸などの要因の中から，特に影響が大きいと考えられる路側帯上の障害物に着目し，障害物の有無や規模に関する情報を収集する．

障害物に関する情報を収集するために，まず，自転車にセンサを設置し,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．障害物の種類や規模によって回避挙動が異なると考えられることから，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．

著者らはこれまでに，自転車の進行方位が障害物を回避する際に変化するという特徴を用いた機械学習により，障害物回避挙動を検出する手法[4]を提案してきた．しかし，自転車の進行方位の変化を用いた検出手法では，速度変化によってハンドルの切り方や切り始めのタイミングが異な

†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.
a) g2117030@fun.ac.jp
b) siraisi@fun.ac.jp

ⓒ 2017 Information Processing Society of Japan

る場合に誤分類が生じ，回避挙動検出精度の低下が見られた．そこで本稿では，これまでの自転車の進行方位の変化に加え，速度変化を特徴量として用いた機械学習による検出手法を検討し，その速度変化が特徴量として有効であるかを評価する．

2. 関連研究

本研究では，障害物検出のための自転車挙動データを用いた障害物回避挙動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[5][6][7][8]と，スマートフォンを用いてセンシングを行う研究[9] [10][11]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[5][6]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る．そして，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[7]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[8]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[9][10][11]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[10]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[11]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きているため，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デバイスであると考える．

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，閾値判定を用いて挙動検出を行う研究[8]と，機械学習を用いて挙動検出を行う研究[6][9][10]が挙げられる．

まず，閾値判定を用いて検出を行う研究[8]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定することで，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[6][10]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の車両を回避する挙動の分類を行っている．また，文献[9]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る．

3. 予備実験

自転車挙動データを用いた障害物回避挙動検出において有効な特徴量を検討するために，予備実験として，実際にデータを収集し，収集データの分析を行った．以下にデータの収集方法および収集したデータの分析結果を述べる．

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を収集するためのセンサとして，スマートフォンと自転車用のスピードセン

ⓒ 2017 Information Processing Society of Japan

Vol.2017-MBL-85 No.22
Vol.2017-ITS-71 No.22
2017/11/16

サを用いる. スマートフォンの設置の方法については, 図 1 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. また, スピードセンサは図 2 のように自転車の後輪に設置し，後輪に設置した磁石の回転をセンサによって検出し，単位時間あたりの後輪の回転数を計測することによって速度を算出する．収集するセンサデータは，加速度，角速度，地磁気，GPS，速度とし，サンプリングレートは加速度，角速度，地磁気は 100Hz，GPS が 5Hz，速度は 1Hz として収集した．

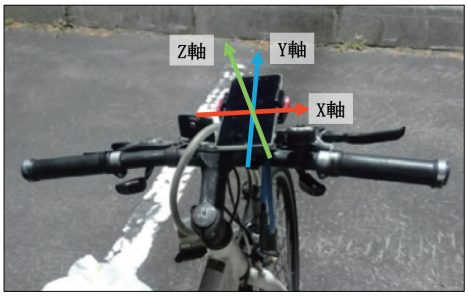


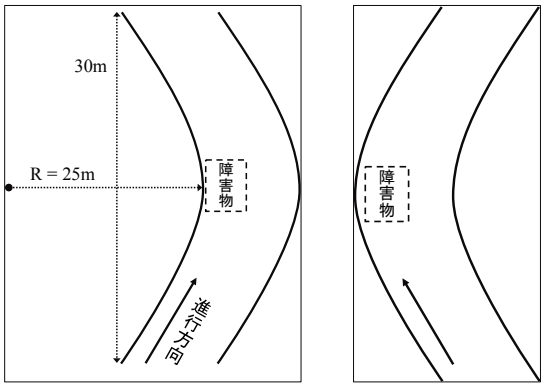
図 1　スマートフォンの設置方法および各センサの座標軸



図 2　スピードセンサの設置

先行研究[4]の実験結果より，ハンドル操作に応じて変化する自転車の進行方位は，回避挙動検出に有効な特徴の一つである．方位角は，自転車の進行方位と同等の変化を示すと考えられるため，収集した加速度センサと地磁気センサの値から方位角を算出する. 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，方角は 0°，90°，180°，270°の順に，北，東，南，西を表す.

自転車挙動データは，直進する挙動，左へカーブする挙動，右へカーブする挙動の 3 種類について，走行中に障害物回避がある場合と障害物回避がない場合の挙動データを収集した．今回は，障害物として排水溝の蓋と路上駐車の車両の 2 種類を想定した．それぞれの大きさを，排水溝の蓋は 0.5m 四方，路上駐車の車両は長さ 4.0m，幅 1.5m とした．また，左右のカーブには，図 3 に示したように半径約 25m，弦長約 30m の部分を切り取ったものを使用した．そして，カーブの中間地点に障害物を設置した．このとき，自転車は原則車道左側通行であることから，左右どちらのカーブも道路の左側に障害物を設置した.



(a) 左カーブ　　(b) 右カーブ

図 3　左右カーブの実験環境

3.2 収集したデータの分析

実際に収集した自転車挙動データの例を図 5 に示す. 図 5 は方位角と速度の変化についてのグラフである. 以下に, 方位角と速度の変化の特徴についてそれぞれ述べる

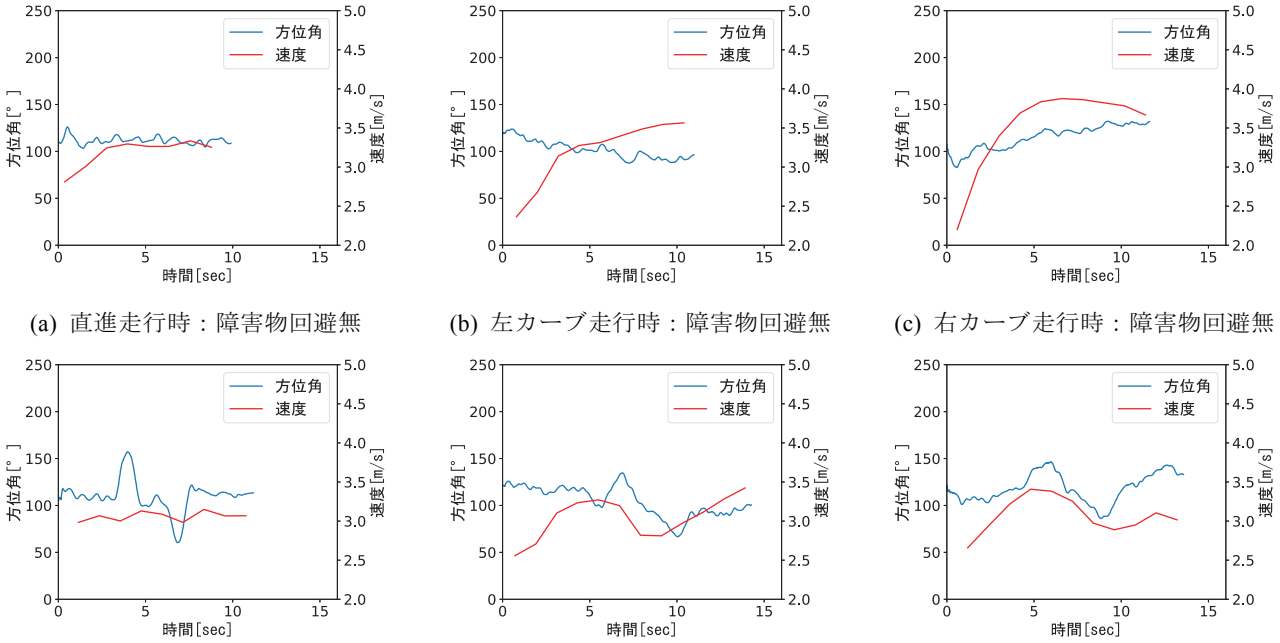
3.2.1 方位角の変化の特徴

本項では, 方位角の変化について着目する. 図 5(a), (b), (c)は，各条件（直進走行時，左カーブ走行時，右カーブ走行時）において障害物回避がない場合の変化を表し，図 5(d)，(e)，(f)は，障害物回避がある場合の変化を表している．まず，障害物回避がない場合に直進・左カーブ・右カーブの挙動をとった際のセンサ値の変動に着目する．直進走行時は，進行方位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・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.

次に，障害物回避がある場合に直進・左カーブ・右カーブの挙動をとった際のセンサ値の変動に着目する．ここでは, 障害物として路側帯に路上駐車する車両(普通車相当)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．直進走行時は，障害物を回避する際に方位角の値が大きく振れ，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，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，路上駐車の車両と，排水溝の蓋をそれぞれ回避した際の挙動を比較した．そして，右カーブ走行時に 2 種類の障害物を回避した際の方位角と速度の変化を表したグラフを図 4 に示す．この 2 種類の回避挙動を比較すると，路上駐車の車両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回避対象である障害物が大きいため，早い段階で回避挙動が始まっていた.

ⓒ 2017 Information Processing Society of Japan



(a) 直進走行時：障害物回避無　(b) 左カーブ走行時：障害物回避無　(c) 右カーブ走行時：障害物回避無

(d) 直進走行時：障害物回避有　(e) 左カーブ走行時：障害物回避有　(f) 右カーブ走行時：障害物回避有

図 5　各条件における障害物回避の有無による方位角と速度の変化

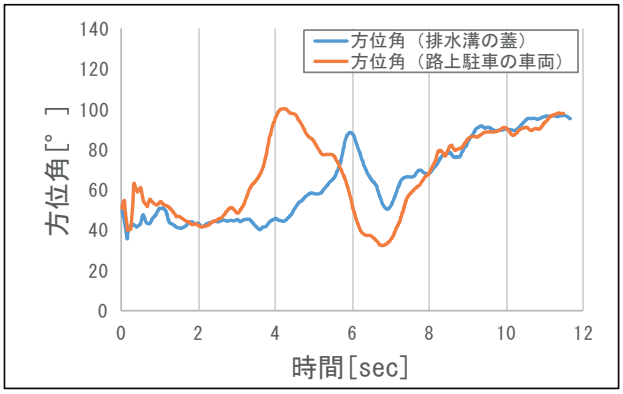


図 4　障害物の規模の違いによる回避挙動の変化
（右カーブ走行時）

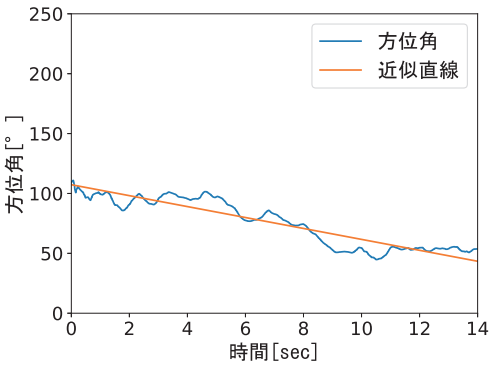


図 6　方位角に変化が見られない回避挙動

そのほかに，左カーブ走行時に障害物を回避する際に，図 6 のように方位角に障害物回避特有の変化が見られない場合が見られた．これは，図 7(i)のように障害物の手前でハンドルを右に切ることで回避する場合のほかに，図 7(ii)のようにハンドルを右に切ることなく緩やかに回避を行う場合があったためと考えられる．ハンドルを右に切らない回避方法の場合，図 7(iii)のように，障害物回避時の挙動が障害物回避のない場合の挙動に類似してしまうと考えられる．

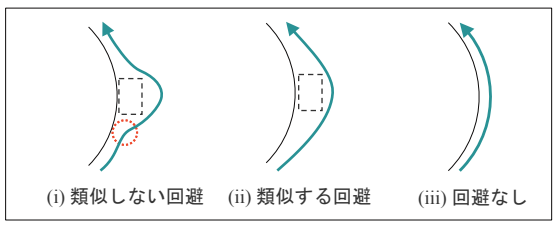


図 7　障害物回避のない挙動に類似する障害物回避挙動

3.2.2 速度の変化の特徴

本項では，速度の変化について着目する．まず，障害物回避がない場合，速度はどの条件においても急激に減速することはなく，速度変化も少ない．

次に，障害物回避がある場合の変化に着目する．直進走行時に障害物を回避する際には速度変化はほとんど見られない．一方で，左右のカーブ走行時に障害物を回避する際

ⓒ 2017 Information Processing Society of Japan

に急激に減速し，回避終了後に再度加速する場合や，そのまま速度を維持する場合が見られた．また，左カーブ走行時に障害物を回避する挙動のうち，図 6 のように方位角に変化が現れない場合の速度変化のデータを確認すると，図 8 に示すように障害物の回避を行っている部分（黄色で示した部分）で速度が減速しているのが確認できた．

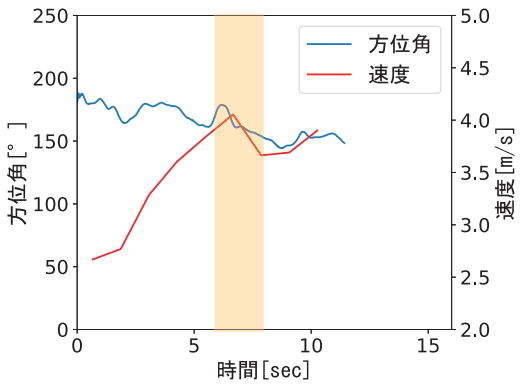


図 8　方位角が変化しない障害物回避と速度変化

4. 提案手法

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．

著者らがこれまでに提案した障害物回避挙動の検出手法[4]では，3.2.1 項で述べたように，図 6 のような回避挙動を正しく検出することが難しかった．そこで本稿では，自転車の進行方位の変化に関する特徴量に加えて，速度変化に関する特徴量も導入した障害物回避挙動の検出手法を提案する．

4.1 手法の概要

提案手法の概要を図 9 に示す．

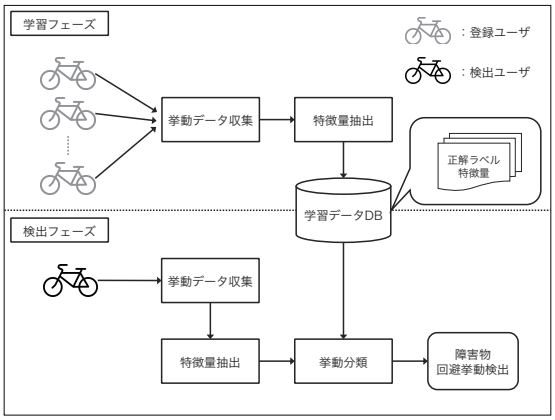


図 9　提案手法の概要

提案手法は，学習フェーズと検出フェーズの 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．

4.2 自転車挙動データの収集

自転車挙動データは，3.1 節で述べた方法により収集する．最終的には，参加型センシングを用いて多数の自転車利用者から網羅的に情報収集を行うことを想定している．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[12]．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[13]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[14]が挙げられる．このように，参加型センシングを用いた情報収集は，複数の場所における情報を網羅的に収集することができるため，道路情報の収集に適している．

4.3 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．以下に，著者らの先行研究[4]から共通して用いる特徴量と，今回の提案手法で新たに導入する速度変化に関する特徴量の詳細について述べる．

4.3.1 先行研究から共通して用いる特徴量

著者らの先行研究[4]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の大きな変化と，回避にかかる所要時間に着目した．3.2.1 項でも述べたように，直進時の場合は，回避挙動の前後で進行方位が変化しないため，方位角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，先行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した．線形近似曲線を求めることで，値の変動の傾向を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

ⓒ 2017 Information Processing Society of Japan

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た．

先行研究では，障害物回避挙動を検出するために式(1)～(3)に示す特徴量を用いた．

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

$$Diff_{az_min} = y_{az_min} - f_{az}(T_{az_max}) \quad (2)$$

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

$Diff_{az_max}$は，方位角の実測値と線形近似曲線$f_{az}(x)$によって近似された近似値の差が最大（正の値）となる点 T_{az_max} における実測値 y_{az_max} と近似値 $f_{az}(T_{az_max})$の差を表す．$Diff_{az_min}$ は，実測値と近似値の差が最小（負の値）となる点 T_{az_min} における実測値 y_{az_min} と近似値 $f_{az}(T_{az_min})$の差を表す．また，$Diff_{az_max}$，$Diff_{az_min}$ は障害物の回避挙動を検出するために用いる．そして T_{az_int} は，時刻 T_{az_max}，T_{az_min} 間の経過時間を表し，障害物の規模を分類するために有用と考えられる．以上の特徴量を用いて先行研究では回避挙動の検出を行った．これらの特徴量の関係を図 10 に示す．

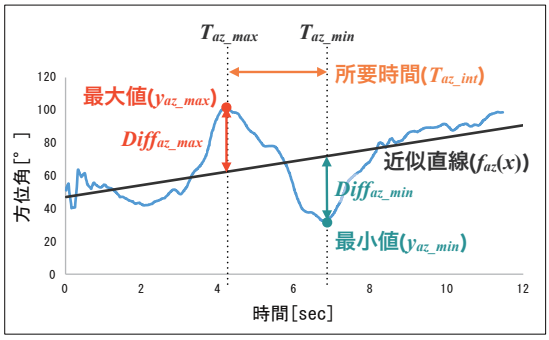


図 10　方位角の変化に関する特徴量

4.3.2 新たに抽出した特徴量

3.2.2 項の予備実験の考察から得られた速度変化の特徴から，本稿では，障害物回避時に急激な減速が起こる場合があるという特徴に着目し，新たな特徴量を検討する．

まず，急激な減速を検出するために，減速がない場合の速度変化の傾向を推測する必要がある．そこで，方位角の変化と同様に，速度の値の線形近似曲線 $f_{sp}(x)$を求める．次に，実測値と近似値との差が最大となる点 T_{sp_max} における実測値 y_{sp_max} と近似値 $f_{sp}(T_{sp_max})$との差 $Diff_{sp_max}$ を求める．同様に，実測値と近似値との差が最小となる点 T_{sp_min} における実測値 y_{sp_min} と近似値 $f_{sp}(T_{sp_min})$との差 $Diff_{sp_min}$ を求める．速度変化の中で極大値・極小値を取る点 sp_{ex} について，隣接する極大値と極小値の差 $Diff_{acc/dec_sp}$ を求める．

本稿で新たに導入する特徴量の関係と算出の式をまとめたものを式(4)～(6)に示す．また，各特徴量の関係についてまとめたものを図 11 に示す．

$$Diff_{sp_max} = y_{sp_max} - f_{sp}(T_{sp_max}) \quad (4)$$

$$Diff_{sp_min} = y_{sp_min} - f_{sp}(T_{sp_min}) \quad (5)$$

$$Diff_{sp_acc/dec} = sp_{ex_i} - sp_{ex_i-1} \quad (6)$$

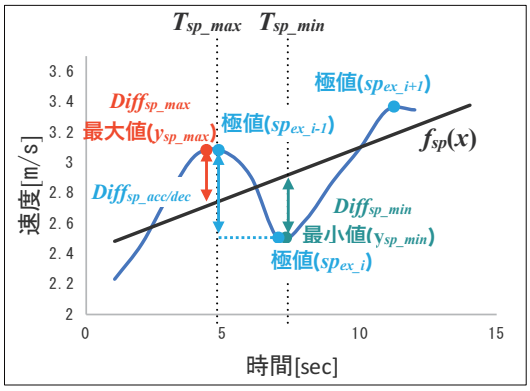


図 11　速度変化に関する特徴量

$f_{sp}(x)$の傾きを用いることで走行中全体の速度変化の傾向を得ることができる．また，$Diff_{sp_max}$，$Diff_{sp_min}$ は急激に速度が変化することで絶対値が大きな値をとるため，急激な速度変化の検出に有用であると考えられる．そして，$Diff_{sp_acc/dec}$ の最小値を用いることで急激な減速における減速量の算出に有用であると考えられる．

4.4 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，教師あり機械学習により行う．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，路上駐車の車両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の車両などの大規模な障害物の回避の挙動を想定している．本稿では，その中でも，自転車走行中に遭遇頻度が高いと考えられる排水溝の蓋と路上駐車の車両の回避挙動に着目した．

5. 評価実験

4 章で述べた本稿の提案手法および先行研究[4]の手法について分類精度を比較・評価する実験を行った．

5.1 自転車挙動データの収集

本評価実験を行うにあたって，3.1 節と同様の実験環境・実験条件において，3 名の被験者の協力を得て挙動データを収集した．挙動データは，直進・左カーブ・右カーブの 3 種類の実験環境において，障害物回避なしの挙動・排水溝の蓋を回避する挙動・路上駐車の車両を回避する挙動の 3 種類の実験条件を設定し，計 9 種類の挙動を収集した．

ⓒ 2017 Information Processing Society of Japan

Vol.2017-MBL-85 No.22
Vol.2017-ITS-71 No.22
2017/11/16

また，各挙動について 10 回ずつ挙動データを収集し，一人につき 90 回分の挙動データを収集した．

5.2 速度変化に関する特徴量の有無による分類精度の比較

4.3.2 項で述べた速度変化に関する特徴量の挙動分類における有効性を評価するために，先行研究の手法のみを用いた場合の分類精度と，速度に関する特徴量を追加した手法を用いた場合の分類精度を比較する実験を行った．実験を行うにあたって，まず，収集した挙動データから特徴量を抽出する．次に，抽出した特徴量と正解ラベルを用いて学習データを生成し，Weka[15]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-分割交差検定とは，学習データを 10 個分割し，そのうちの 9 個を学習データとし，残りの 1 つをテストデータとして学習および分類を行う．そして 10 個全てがテストデータとなるように 10 通りの組み合わせで分類を行う．そして，それらの分類精度の平均を求めることで，分類モデルの分類精度を算出する手法である．そして，今回の実験では，障害物回避のない挙動・排水溝の蓋を回避する挙動・路上駐車の車両を回避する挙動の 3 種類の挙動に分類した．先行研究の手法のみを用いた場合と速度に関する特徴量を追加した場合の分類結果をそれぞれ表 1，表 2 に示す．

表 1　先行研究の手法[4]による分類結果

		分類結果		
		回避なし	排水溝	路上駐車
正解ラベル	回避なし	79	10	1
	排水溝	3	79	8
	路上駐車	0	5	85

表 2　速度変化に関する特徴量を追加した手法による分類結果

		分類結果		
		回避なし	排水溝	路上駐車
正解ラベル	回避なし	83	6	1
	排水溝	1	81	8
	路上駐車	0	5	85

5.3 考察

まず，先行研究の手法による分類結果（表 1）を見ると，270 個のデータのうち 243 個のデータが正しく分類され，90.0%の分類精度が得られた．誤分類について着目すると，障害物回避のない挙動と排水溝の蓋を回避する挙動や，排水溝の蓋を回避する挙動と路上駐車の車両を回避する挙動のように，比較的類似しやすい挙動の同士の誤分類が多い．そのうち，障害物回避のない挙動と排水溝の蓋を回避する挙動との間で生じる誤分類は，3.2.1 項で述べたように，方位角に障害物回避特有の変化が見られない場合があることが原因であると考えられる．また，排水溝の蓋を回避する挙動と路上駐車の車両を回避する挙動との間で生じる誤分類については，回避に要する所要時間に差が見られない場合があることが原因であると考えられる．具体的には，短時間で急激に路上駐車の車両を回避する挙動と，長時間で緩やかに排水溝の蓋を回避する挙動における所要時間に差が見られないことが挙げられる．

次に，速度に関する特徴量を追加した手法による分類結果（表 2）を見ると，270 個のデータのうち 249 個のデータが正しく分類され，92.2%の分類精度が得られた．誤分類について着目すると，障害物回避のない挙動と排水溝の蓋を回避する挙動との間で生じる誤分類の数が，先行研究の手法よりも減少している．一方，排水溝の蓋を回避する挙動と路上駐車の車両を回避する挙動との間で生じる誤分類については先行研究の手法と結果が変わっていない．以上のことから，今回追加した速度変化に関する特徴量は，障害物回避のない挙動と排水溝の蓋を回避する挙動との間で生じる誤分類の軽減に有効であると示唆された．理由として，主に左カーブ走行時に見られた，方位角に回避挙動特有の変化が現れず障害物回避のない挙動として誤分類されてしまう場合に，障害物を回避する際の速度変化を捉えて分類できることが考えられる．

しかし，障害物回避のない挙動と排水溝の蓋を回避する挙動との間に生じる誤分類の全てを改善することは出来ていない．そこで，特徴量を追加後も誤分類されている挙動データを確認すると，図 12 に示すような挙動データが確認された．この挙動データは，左カーブ走行時における障害物回避のない挙動のデータである．障害物がないため方位角に回避挙動特有の変化は見られないが，走行中に急激に減速している箇所がある．これによって，排水溝の蓋を回避する際に方位角に障害物回避特有の変化が現れない場合の挙動として誤分類されてしまったことが考えられる．急激な減速が生じた原因として，実験環境に傾斜が存在していたことが考えられる．実験を行った場所では，目視では確認することが出来ない程度のわずかな下り傾斜が存在した．自転車が走行する際に，このわずかな傾斜によって想定よりも速度が速くなり，カーブの頂点に差し掛かる際に減速したと考えられる．このように，傾斜などによって通常よりも速度が速くなることによってカーブ走行中に減速をする際に，障害物を回避するための減速として捉えられてしまう場合があることが確認された．このような場合にも障害物回避のない挙動と排水溝の蓋を回避する挙動との間で誤分類が生じてしまう．

ⓒ 2017 Information Processing Society of Japan

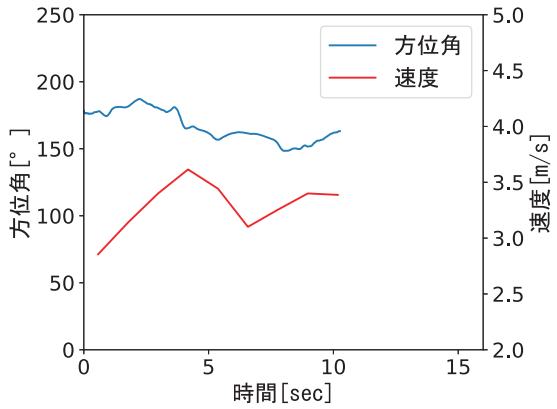


図 12　急激な減速が見られる障害物回避のない挙動

6. 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．筆者らはこれまでに，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，方位角や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[4]．しかしこの手法では，障害物を回避する際に方位角に回避挙動特有の変化が見られない場合に誤分類を生じてしまうという問題があった．そこで本稿では，障害物を回避する際に速度が変化するという特徴に着目し，速度変化に関する特徴量を新たに導入した場合の分類精度と比較することで，速度変化に関する特徴量の有効性を検討した．

そして，先行研究の手法と速度変化に関する特徴量を導入した新たな手法を比較するための挙動分類実験を行った．その結果，新たに追加した速度に関する特徴量によって，障害物回避のない挙動と排水溝の蓋を回避する際に方位角の障害物回避挙動特有の変化が見られない挙動との間で生じていた誤分類を軽減することができた．この結果から，速度変化に着目した特徴量は挙動分類に有効であることが示唆された．しかし，下り坂などの傾斜によって速度が速くなってしまった際に減速をする場合があり，正しく分類できなくなる例も確認された．

今後は，速度の超過等による減速と障害物を回避するための減速を分類できるような特徴量を新たに検討する必要がある．また，今回の手法検討で取り上げることがなかった，排水溝の蓋を回避する挙動と路上駐車の車両を回避する挙動との間で生じる誤分類の軽減についても検討する必要がある．

謝辞　本研究の一部は JSPS 科研費 JP17K00128 の助成を受けたものである．

参考文献

[1] 国土交通省，自転車交通，https://www.mlit.go.jp/common/001085121.pdf, (accessed 2017-10-23).
[2] 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).
[3] 自転車ライフプロジェクト，自転車大好きマップ，http://www.bicyclemap.net/，(accessed 2017-10-23).
[4] 武安裕輔，白石陽，“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”，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 2017 論文集，pp.83-90 (2017).
[5] 下山直起，安藤輝，山﨑和人，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).
[6] 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).
[7] 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).
[8] 宮崎雄也，菱本圭亮，木谷友哉，“二輪車の障害物回避動作検出による路面損傷一推定手法”，情報処理学会研究報告，高度交通システムとスマートコミュニティ(ITS)，Vol.68，No.6，pp.1-9 (2017).
[9] 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).
[10] 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).
[11] 斉藤裕樹，菅生啓示，間博人，テープウィロージャナポンニワット，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).
[12] 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).
[13] 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，協調とモバイルシンポジウム 2014 論文集, pp. 966-974 (2014).
[14] 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).
[15] Weka 3: Data Mining Software in Java，Machine Learning Group at the University of Waikato, http://www.cs.waikato.ac.nz/ml/weka/index.html, (accessed 2017-10-23).

ⓒ 2017 Information Processing Society of Japan