

自転車ユーザに向けた路上障害度情報の リアルタイム提供システム

田端佑介^{†1} 河内雄太^{†1} 浅田翔平^{†2} 山本光^{†2} 金田重郎^{†1}

プローブ自転車を用いて道路状況や周囲環境に関する情報を収集する道路情報提供システムの研究が盛んである。本稿では、道路上の固定障害物と移動障害物とを区別して検出し、道路上の障害物の有無や大きさをセンシングしてユーザ間で共有する新たなシステムを提案する。具体的には、本システムは以下の機能を有する。(1)道路上の固定の障害物・道幅の大きさを速度や舵角から判定して検出する。(2)道路上を移動する障害物や路面状況は自転車の加速度や角速度、傾きから検出する。これは加速度や角速度は積分してもどのような障害物を避けたのか判別できないからである。また、加速度や角速度は速度や舵角で測定しにくい自転車の瞬間的な動きを検知できる。以上の機能から、本システムは路上の障害物が移動体か非移動体か識別して、その障害が一時的な障害なのかある程度永続的な障害なのかユーザに提示する。自転車で装着している携帯端末から移動障害物をリアルタイムに検知し、事前に収集したその道路固有の障害情報を合わせてマッピングした地図をユーザに提供するシステムを実装した。評価の結果、ユーザが初めて訪れる道路でも障害が少ない快適な道路を選択し得ることが判明した。また、障害物の種類が分かるので、ユーザの障害物への好みに併せたルートを選択可能である。

Real-time Information Service System that Detects Degree of Obstruction for Bicyclists

YUSUKE TABATA^{†1} YUTA KAWACHI^{†1} SHOHEI ASADA^{†2}
AKIRA YAMAMOTO^{†2} SHIGEO KANEDA^{†1}

The development of transportation guide systems for bicyclists has recently become popular. The most conventional systems detect road situations using smart-phone sensors, but the resultant accuracy is low. As a solution, this paper proposes a new type of information service system that provides and shares the degree of obstruction for cyclists by employing more accurate sensing devices, specifically, a rotary encoder and a high-precision speed sensor. Our proposed system: (1) detects the size of stationary obstacles and road width using bicycle velocity and rudder angle sensors. Conventional sensors, such as the angular velocity and acceleration sensors of smart-phones, cannot discern obstacle size; (2) detects moving obstacles and road conditions via acceleration and angular velocity sensors. The sensing values are calculated from the bicycle velocity and rudder angle; and, (3) distinguishes between moving and stationary obstacles on the road, and provides the resultant information to the cyclists. Evaluation of our prototype information service system demonstrates that bicyclists can locate obstacle information from a road map on smart-phones and can choose comfortable routes.

1. はじめに

走行中の自転車に身近なセンサを装備し、交通状況を検出するプローブ自転車の研究が活発化している[1][2][3][4]。既存のシステムでは、路面状況や自転車の走行状態をセンシングしているが、路上にある障害の種類が分からないため交通状況を推測するのは難しい。本稿では、交通状況をより深く計測するために、道路上の障害物の種類や大きさをセンシングしてユーザ間で共有するシステムを提案する。

著者らは自転車の障害物の回避方法についてフィールドワークを行った。その結果、駐車している自動車や電柱などの固定障害物と、走行中の自動車やバイクなどの移動障害物で、回避行動の違いが判明した。回避行動の違いは自転車の速度と舵角に起因しており、これらの要素を詳しくセンシングするため新たなプローブ自転車を考案した。

携帯端末では速度と舵角を厳密に測定できなかったためである。また、この自転車を利用して自転車が周囲の障害物から受け影響の大きさである路上障害度を測定した。

以上の原理を利用して、路上の障害物が移動体か非移動体かを識別して、障害物が一時的な障害かある程度永続的な障害かをユーザに提示する。さらに、リアルタイムにセンシングしたデータから路上障害度を提供する。著者らはこの機能を持つプロトタイプシステムを開発した。自転車で装着している携帯端末から移動障害物をリアルタイムにデータを取得し、事前に収集したその道路固有の障害情報を合わせて地図にマッピングしユーザに提供する。

2. 障害物の認識原理

本章では障害物の種類を認識する原理について説明する。障害物を回避する時の自転車の行動について、著者らは京都府京都市の実際の公道を調査した。フィールドワークから判明した自転車の回避行動は図1の通りになっている。

^{†1} 同志社大学大学院理工学研究科
Graduate School of Science and Engineering, Doshisha University.
^{†2} 同志社大学理工学部
Faculty of Science and Engineering, Doshisha University.

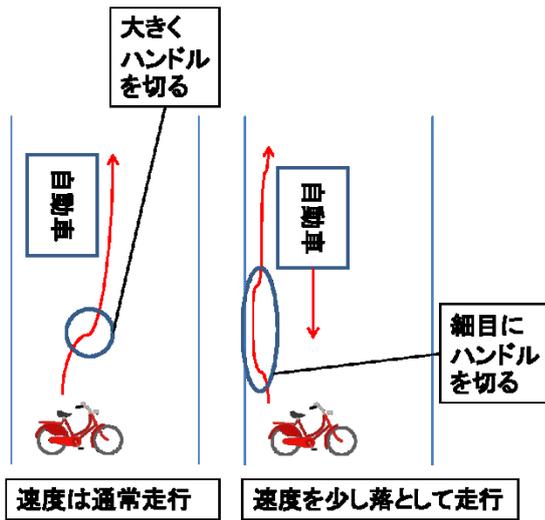


図 1 自転車の走行観察結果

Figure 1 Result of running experiment of bicycle.

固定障害物を回避する自転車は、図 1 左のように余裕をもって回避を試みていることがわかった。固定障害物を回避する自転車は障害物が路肩をふさいでいるため、道路の中央に膨れて障害物を回避する。この時、自転車の速度に大きな変化はないが小刻みに変化させていた。また、大きくゆったりとハンドルを切っていることが判明した。

移動障害物を回避する自転車は、図 1 右のように警戒をしながら回避をする。移動障害物を回避する自転車は道路中央に膨らんで回避せず、路肩の狭いスペースで障害物を回避する。この時、自転車はやむなく速度を落として走行していた。また、細かく調整するようにハンドルを切っていることが判明した。

この特性を生かして、自転車の速度、舵角からの障害物を回避しているのか認識する。自転車の速度と舵角をセンシングして取得するため 3 章で示すようなプローブ自転車を開発した。

3. プローブ自転車の概要

3.1 自転車に装着したセンサ

本章では各種センサのデータ取得方法について述べる。提案システムは携帯端末を用いているため携帯端末のセンサで速度と舵角の検出を目指したが、うまく認識できなかった。その原因は 3.2 節で述べる。また、加速度と角速度は積分しても誤差が大きく使えなかった。

そこで、正確な速度と舵角を測定するため光電センサとロータリーエンコーダを使う手法を考案した。速度と舵角を微分しても量子化誤差のため正確な波形を取得できず、加速度や角速度で移動障害物が検知しやすかったのでこれらのセンサを採用した。プローブ自転車に搭載したセンサは表 1 の通りである。

表 1 自転車に装着したセンサ

Table 1 Sensor mounted on the bicycle.

センサ名	取得端末	取得データ
加速度センサ	Android	加速度
ジャイロセンサ	Android	角速度
光電センサ	データロガー	速度
ロータリーエンコーダ	データロガー	舵角
GPS	Android	位置座標

3.2 携帯端末を用いたセンシング

Android を用いた自転車のセンシング手法は加速度センサ、ジャイロセンサを利用している。図 2 のように Android を自転車のハンドル部分に取り付け自転車のハンドルの角度、傾きを取得できるようにした。

携帯端末から取得した加速度と角速度には以下のような問題点がある。(1)どの波形も自転車が走行を開始した地点で大きな波を計測しており、右左折や蛇行との判別が難しい。つまり、固定障害物の回避と右左折が判別できない。(2)加速度から具体的な速度が分からないため通常か徐行しているのか判別ができない。つまり、移動障害物の認識ができない。これらの問題を解決するため、徐行の判別は自転車の速度、右左折と蛇行の判別は自転車の舵角を計測する必要がある。

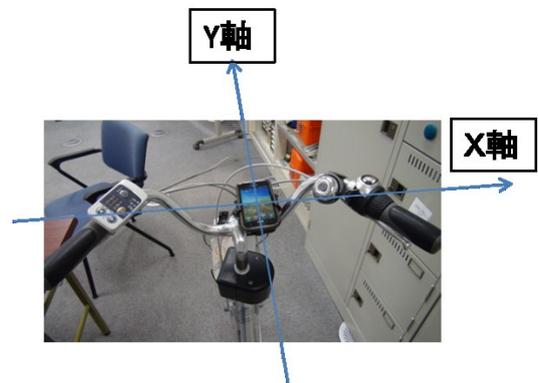


図 2 携帯端末を装着した自転車

Figure 2 Bicycle fitted with a mobile terminal.



図 3 光電センサを取り付けた自転車

Figure 3 Bicycle fitted with a photoelectric sensor.

3.3 自転車の速度のセンシング

自転車の走行環境の測定には速度の変化を感知できるリアルタイムでの速度の算出が必要である。リアルタイムな速度の算出のために図3のように光電センサ[5]をタイヤの側面にめぐらし、スポーク間の黒テープを読み取った。

光電センサ[5]のトランジスタの制御出力信号をデータロガー[6]で取得した。制御出力信号は高周期周波数、黒テープ間の測定に使わないスポークが雑音として混じっているので除去する。データロガー[6]のサンプリング周期 $T[s/div]$ 、黒テープの長さ $a[cm]$ 、タイヤの中心からセンサまで $b[cm]$ とすると、ヘロンの公式よりテープとスポーク間の三角形の面積 $S[cm^2]$ は

$$S = \sqrt{s(s-a)(s-b)(s-b)}$$

$$2s = a + b + c$$

となる。タイヤの中心角 $\theta[degree]$ は

$$\theta = \sin^{-1} \left(\frac{2S}{ab} \right)$$

である。黒テープ1枚につき光電センサ[2]の光路 $L[cm]$ は

$$L = 2b\pi \left(\frac{\theta}{360} \right)$$

が成り立つ。N個サンプリングが取れているとするとテープを通過した時間 $t[s]$ は

$$t = T(N - 1)$$

である。以上より自転車の速度 $v[cm/s]$ は

$$v = \frac{L}{t}$$

で求められる。

3.4 自転車の舵角のセンシング

自転車の走行環境を測定するためには操舵角の正確な角度を知る必要がある。そのためには自転車の舵角の算出を行わなければならない。自転車の舵角を知るため図4のように歯車とゴムを用いてインクリメンタル方式のロータリーエンコーダ[7]を自転車に取り付けた。ロータリーエンコーダは回転に合わせて位相がずれて2相のパルスが出力される。周波数の雑音処理をした結果でどちら方向にどれだけ回転したのか舵角が算出できる。



図4 ロータリーエンコーダを取り付けた自転車
 Figure 4 Bicycle fitted with a rotary encoder.

3.5 原理の評価結果

本節ではプローブ自転車が障害物の種類を認識する評価実験について説明する。固定障害物と移動障害物を回避したときにセンシングされる波形を収集するため、被験者5人を用意して障害物を回避する実験を行った。被験者には、駐車している自動車と対面から来る自動車を回避してもらい、自転車でデータを取得した。固定障害物の回避は図7~10、移動障害物の回避は図11~14のようになった。

固定障害物を回避する自転車の速度(図7)はそれほど落とさないが、舵角(図8)は振幅が大きい。これに対して、移動障害物の回避は、自転車の速度(図11)が大きく落ち、舵角(図12)は振幅が小さいことが分かった。

また、固定障害物を回避する自転車の角速度(図9)は振幅が大きく周期がゆったりしており、加速度(図10)は振幅の大きい期間が長い。これに対して、移動障害物の回避は、自転車の角速度(図13)の振幅が固定障害物に比べて小さく、加速度(図14)は自動車との擦れ違い時とすれ違い後の2回大きな振幅が出る。

これらのセンシングの結果から2章の走行原理が確認できた。この特性を利用した、障害物の種類の認識方法は4章で述べる。



図5 駐車している自動車
 Figure 5 A car parked.



図6 対面から来る自動車
 Figure 6 A car coming from face to face.

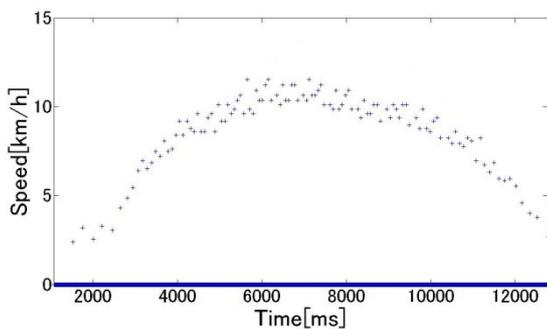


図 7 駐車している自動車を回避した速度
 Figure 7 Speed to avoid a parking car.

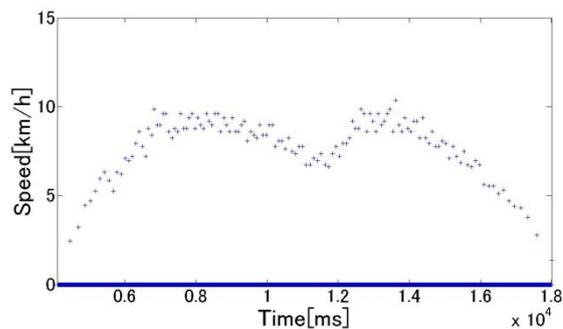


図 11 対面で来る自動車を回避した速度
 Figure 11 Speed to avoid a car coming from face to face.

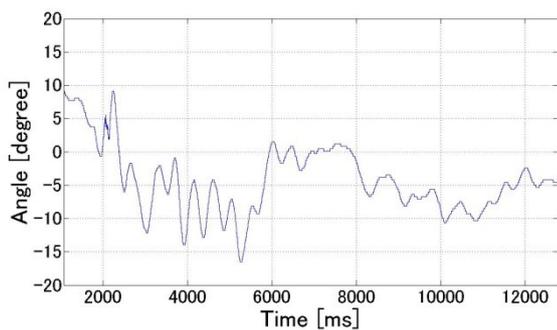


図 8 駐車している自動車を回避した舵角
 Figure 8 Angle to avoid a parking car.

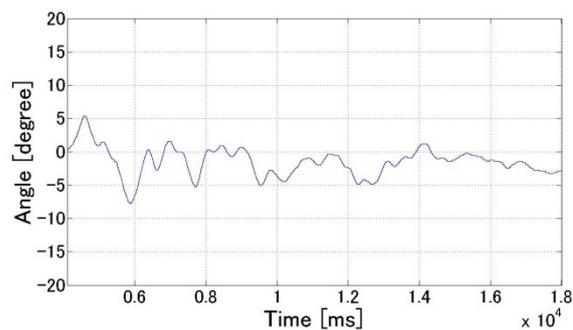


図 12 対面で来る自動車を回避した舵角
 Figure 12 Angle to avoid a car coming from face to face.

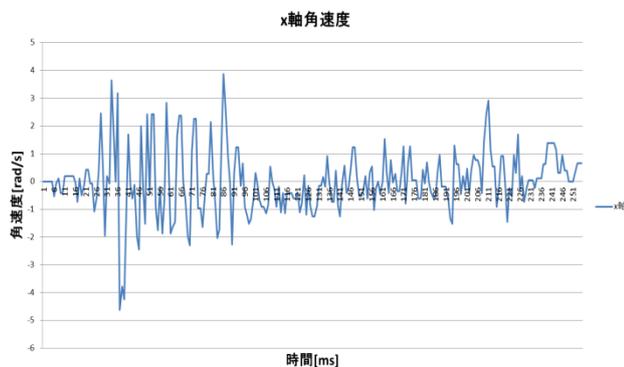


図 9 駐車している自動車を回避した角速度
 Figure 9 Angular velocity to avoid a parking car.

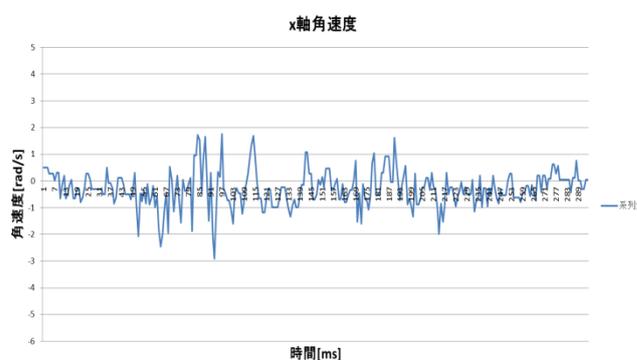


図 13 対面で来る自動車を回避した角速度
 Figure 13 Angular velocity to avoid a coming car.

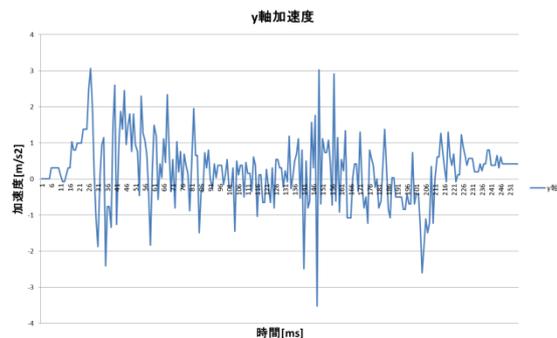


図 10 駐車している自動車を回避した加速度
 Figure 10 Acceleration to avoid a parking car.

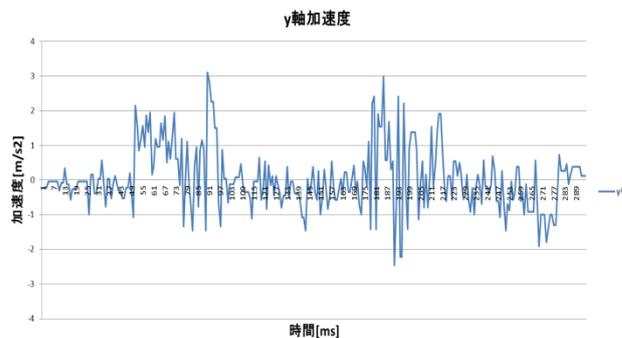


図 14 対面で来る自動車を回避した加速度
 Figure 14 Acceleration to avoid a coming car.

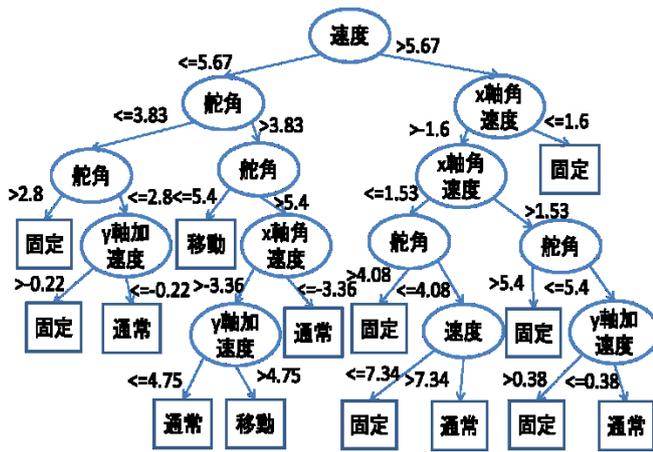


図 15 障害物の種類の判断

Figure 15 Judgment of the type of obstacle.

4. 路上障害度の計算手法

4.1 路上障害度の測定概要

本章では路上障害度の計算手法について述べる。本稿で路上障害度とは、自転車ユーザが道路上で感じる障害物からの影響の大きさと定義する。路上障害度の計算には、(1)どのような障害物から影響を受けたのか認識し、(2)その障害物から受けた影響の大きさを計算する必要がある。そこで、4.2節で障害物の認識方法について、4.3節で障害度の計算手法について説明する。

4.2 障害物の種類の認識

3.5節の原理の評価実験では速度、舵角、加速度、角速度を取得した。取得したデータは自転車の速度が5[km/h]以下のものは自転車が走行していなかったものとみなし自動的にカットした。これにより、加速度と角速度の走行開始時に出る振幅の大きな波形は障害物を回避したために出たものではないと認識される。この地点で、10回分の走行データで各波形のデータ総数は11806個になった。また、障害物を回避した部分を切り出す窓は舵角の振幅が左右5度を超えている区間に設定した。

障害物の種類の認識は2章の原理に沿って行った。種類の認識には決定木を用いた。決定木は枝分かれ構造でデータを分類する機械学習で、本節では3クラスを判断するために用いている。3クラスとは固定障害物の回避、移動障害物の回避、通常走行のことである。決定木の構築には、機械にデータを学習させていく過程で交差検証法を用いており、10ホールドの交差検証法を用いている。ツリーはJ48を用いている。

決定木は図15のようになっている。決定木の精度は88.34%であった。決定木を読み取ると、まず、自転車の速度が少し低下している場合は移動障害物を回避していると判断できる。これは移動障害物を回避する自転車はやむな

く速度を落とすが、固定障害物を回避する時の自転車は前もって回避準備をするので、不快である速度を落とす行動をしないためであると推測できる。ただし、舵角が低下している時は固定障害物の回避であることも考えられる。

速度の低下が見られない時は、自転車のハンドルに着目する。自転車の舵角の振幅が大きい時はハンドルを大きく切って道路の真ん中に移動しており、角速度の振幅が大きい時はゆったりとハンドルを切っていることを示している。舵角と加速度の振幅が大きい時は固定障害物を回避していると認識する。ただし、速度がかなり出ているときは通常走行である。

自転車のハンドルでも判断がつかない場合は最後に加速度に着目する。障害物を回避する時の加速度は振幅が大きくなるためである。

以上の手法で、障害物が移動体か非移動体か識別した後、障害物からどれほど影響を受けたか障害度を計算する。障害度の計算は4.3節で述べる。

4.3 障害度の計算

本節ではプローブ自転車からセンシングしたデータの路上障害度の計算方法について述べる。路上障害度とは自転車ユーザが周囲の障害物から影響を受けている大きさであり、影響が大きいほどセンサ波形の振幅が大きくなる。3.5節の実験の後、被験者の道路の混雑具合の感想を得た。混雑具合は通常の道路、少し混雑した道路、混雑した道路、かなり混雑した道路の4クラスである。システムが時々刻々のセンシングしたデータを自動で分類できるように機械学習を用いる。本稿では決定木と重回帰分析を採用した。

決定木は枝分かれ構造でデータを分類する機械学習で、今回は4クラスを判断するために用いている。決定木の構築には、機械にデータを学習させていく過程で交差検証法を用いており、10ホールドの交差検証法を用いている。ツリーはJ48を用いている。

重回帰分析は2個以上の説明変数から1つの目的変数を推定するための回帰分析法である。説明変数と目的変数を式に当てはめどれくらい説明できるか分析する。本稿では阻害度を目的変数として説明変数のセンシングしたデータで説明する。

速度と舵角、加速度と角速度について機械学習を行った。各手法の精度は表2のようになっている。速度と舵角の決定木は図16、加速度と角速度の決定木は図17である。

表2より速度と舵角、加速度と角速度ともに決定木が一番精度が高いことが分かった。データを部分集合に分割する決定木の構造が路上障害度の計算に適していると言える。決定木の構造から、自転車に対する周囲環境からの影響の測定は自転車の速度が大きくかかわっているが、舵角も測定に必要であることが読み取ることができる。路上障害度の計算には決定木を用いることにした。

表 2 機械学習の精度

Table 2 Accuracy of machine learning.

機械学習の種類	精度
決定木	89.24%
重回帰分析	85.91%

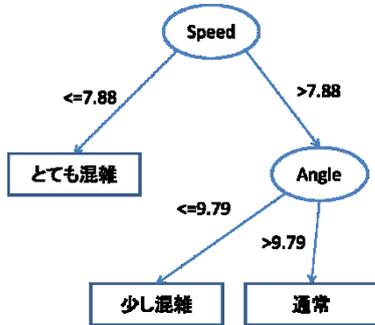


図 16 速度と舵角に関する決定木

Figure 16 D-tree with steering angle and speed.

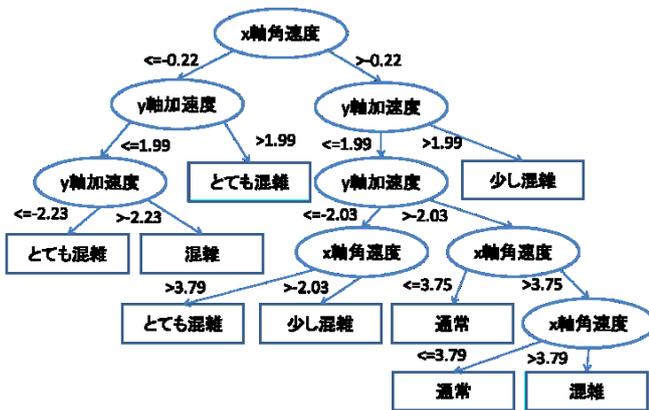


図 17 加速度と角速度に関する決定木

Figure 17 D-tree with acceleration and angular velocity.

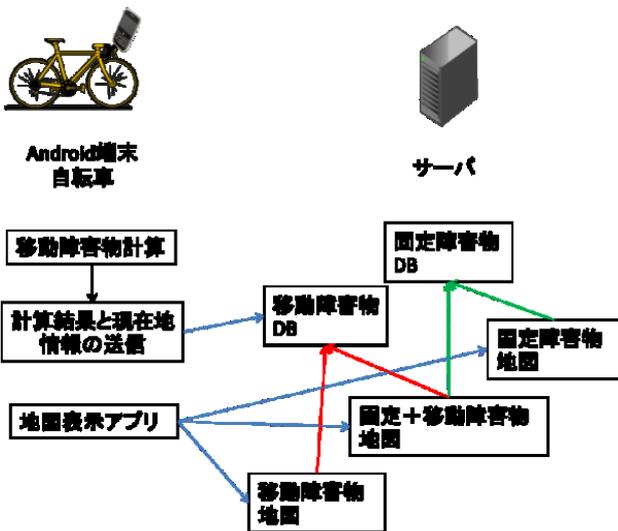


図 18 システムの構成図

Figure 18 Block diagram of the system.

5. プロトタイプシステムの概要

本章では実装したシステムの全体像について述べる。システムは図 18 のように携帯電話、自転車、サーバから構成されている。

5.1 アプリケーション概要

システムの構成図は図 18 のようになっている。それぞれの役割について説明する。携帯端末は大きく分けて次の 2 つの機能を持つ。(1)角速度センサ、加速度センサ、地磁気センサ、GPS の値を取得してサーバに送信する。(2)サーバから提供される地図を表示し、現在地が変わるごとに更新する。それぞれの機能について具体的に説明する。

(1)のセンサを送信する機能は、各種センサの値が変化したときに起動する。センサマネージャクラスは GPS 以外のセンサの値を管理しており、センサの値が変わったときにセンサ制御クラスに送信する。また、GPS マネージャクラスは GPS の値を管理しており、GPS の値が変わればセンサ制御クラスに位置座標を送信する。センサ制御クラスはセンサマネージャからデータを受け取ったとき、加速度と地磁気値から傾きを計算する。その後、4 章で説明した決定木のプログラムから障害度を計算する。計算された混雑度と GPS の値はソケット通信でサーバに送られる。サーバ側の処理は 5.2 節で説明する。

(2)の地図を提供する機能は、アプリケーションが起動したときに起動する。アプリケーションをユーザが起動させると、現在地を GPS マネージャから取得し周辺の地図を表示する。地図はサーバから配信されるもので、(1)の機能である障害度が付加されている。ユーザは自分の周囲の障害度を見られるとともに、他人の周囲の障害度を見ることができる。その他、携帯端末の画面にはボタンが配置されており、ユーザが押すと反応するが詳しい説明は 5.3 節で行う。

5.2 システムのサーバ側の処理

本節ではサーバがどのような処理を行うのか説明する。サーバは地図に混雑度を付加する機能と地図を表示する機能を持つ。

第一に、携帯端末から受信したデータを地図に付加する機能を説明する。サーバはソケット通信での受信プログラムでクライアント側からデータを受け取る。サーバは受信したデータについて受信した GPS の位置座標が地図の道路にあるか確認する。道路にない場合は、道路レイヤの位置座標との距離計算を行い、一番近くの道路から取得した値として扱う。正常なデータとして確認された場合、データはデータベースへ挿入される。混雑度は GPS と受信時間とともにサーバマシン内の PostgreSQL[8]のジオデータベースに格納される。

5.3 システムのインタフェース

本節ではシステムのインタフェースについて説明する。アプリケーションを起動すると図 19 のような画面が現れる。図 19 の画面において青色のダイヤモンドのマークが現在位置を示している。画面右上の「切り替えボタン」を押すと、地図を切り替えるためのラジオボタンが表示される。地図は固定障害物をマッピングした地図(図 20)、移動障害物をマッピングした地図(図 21)、両方をマッピングした地図(図 22)を選択することができる。また、「現在地に戻るボタン」を押すと、現在位置から離れた場所の地図を見ている場合でも現在位置が画面の中心に来るように地図を表示しなおす。さらに、「センサボタン」を押すと現在の加速度、角速度、障害度が表示される。ユーザはシステムがどのような値をセンシングしているのか知ることができる。



図 19 アプリケーションの画面
 Figure 19 Screen of the application.



図 21 移動障害物地図

Figure 21 Screen of moving obstruction map.



図 22 固定+移動障害物地図

Figure 22 Screen of stationary and moving obstruction map.



図 20 固定障害物地図

Figure 20 Screen of stationary obstruction map.

6. 実験と評価

本章では提案システムを用いた社会実験とその評価について述べる。5.1節は実験の概要、5.2節はAHPによる評価、5.3節はM-GTAを用いた質的評価について説明する。

6.1 社会実験の概要

本システムを使って実験するに当たり、被験者4名が京都市の田の字地区を走行した。田の字地区は京都市の中心部に位置し、南北に御池通、四条通、五条通、東西に堀川通、烏丸通、河原町通の6本の幹線道路に囲まれた地区である。

被験者には本アプリケーションがインストールされた携帯端末を、自転車のハンドル部分に装着した様々なタイプの自転車を用意した。被験者は出発地点から携帯端末の画面を見ながら自由に道路を選択して走行し、目的地点まで走行した。

6.2 AHPを用いた評価

本システムは固定障害物をマッピングした地図、移動障害物をマッピングした地図、両方をマッピングした地図をユーザが選択できる。被験者がどの地図を選択するのかAHP[10][11]を用いて評価を行った。AHPの階層構造は図23のように設定した。LEVEL1は総合目的であり、「快適な道路を走行するための地図の選択」と定めた。LEVEL3は代替案であり、本システムの3種類の地図と定めた。LEVEL2は代替案を決定づけるための評価基準であり、本システムを評価するため、「効率性(効率的に情報を得られるか)」、「実用性(役立つか)」、「操作性(使いやすいか)」、「見やすさ」の4項目を定めた。

AHPの評価値を出すために、被験者4名(A, B, C, D)に評価基準と代替案の一対比較表を記入して頂いた。その結果から、評価基準の重要度(図24)とシステムの総合評価(図25)が得られた。整合度(C.I.)は0.08で整合性があり、今回のAHPが有効であると判断した。評価から、評価基準の重要度は「実用性」や「見やすさ」の割合が一番高いことがわかる。被験者が本システムに期待しているのは「実用性」や「見やすさ」である。また、システムの総合評価値から、人によって評価の高い地図が異なることが判明した。

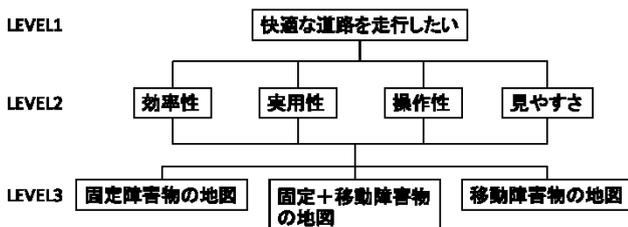


図 23 AHP の階層図

Figure 23 Hierarchy diagram of AHP.

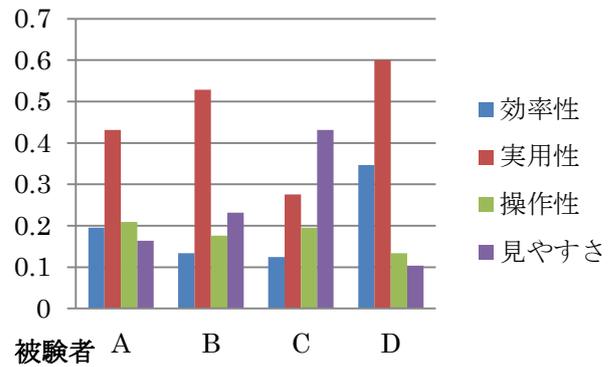


図 24 評価基準の重要度

Figure 24 Importance of the evaluation criteria.

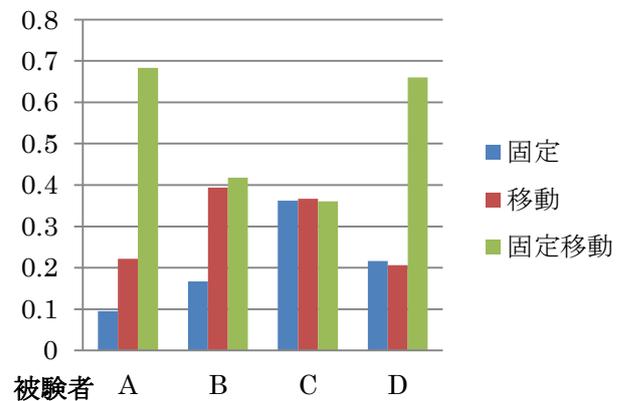


図 25 システムの総合評価値

Figure 25 Comprehensive evaluation of system.

6.3 M-GTAを用いた評価

本システムの有用性を評価するため、被験者に本システムを使用した感想をインタビューにより聞き出した。また、AHPのアンケートを行う際、被験者に理由を尋ねる手法で質的データを得た。被験者の感想は質的研究法の一つであるM-GTA[12][13]を用いて分析した。

M-GTAでは分析テーマと分析焦点者を定める。本稿では、分析テーマは「システムを利用した感想」、分析焦点者は「サービスを利用した自転車ユーザ」に設定した。その後、インタビューの文脈に着目しながら分析ワークシート(表3)で概念化してカテゴライズ化した。M-GTAの結果図は図26のようになった。

M-GTAの結果、被験者はシステムの路上障害度情報から今後の道路の混雑具合を予測し、ルートの決定や変更を行っていることが判明した。また、人によって各障害物やルートに関する感覚が異なり、自分に合った地図を選択してルートを選択する結果が分かった。さらに、サービスの路上障害物情報や場所が実際に走行すると人間の感覚に合っていることも挙げられる。しかし、一部の道路で路上障害度ほど混雑していないことや、携帯端末の欠点によるサービスの短所も明らかになった。

表 3 M-GTA の分析ワークシート(一部)

Table 3 M-GTA analysis worksheet.

概念名	個性によるルートを選択
定義	人それぞれの個性により、ルートを選択に違いがあり、障害物に対する印象や迂回の感覚などが異なる
ヴァリエーション	A: はい。でまあ、なんか、(出発点と目的地を確認して)とりあえず4本のうち2本は曲がらないといけなと思って、それで一番空いてるのがここだったんです。 B: そうですね、この先は結構何もなかったんで、多少混んでいましたけどこの道を選びました。 D: まあ、俺はこの道(高倉通り)をまっすぐ行って、ちょっと迂回して回って郵便局についたわ。ちょっと迂回したら車の絵がなかったんでそこ使おうと思ったら、その通りやったわ。 C: えっと・・・アプリの地図を見て、ずっとまっすぐ進めば何もない道かなって。で、あとは曲がるしかなかった。
理論的メモ	出発地点から目的地まで被験者が選んだルートはまちまちであった。それは人それぞれの個性によるルートの違いである。初めに全体を確認してからルートを選んでおく人もいれば、とりあえず走りながら考えておく人もいる。多少の障害をよしとする人がいれば、迂回しても障害の大きい道路を回避する人もいた。

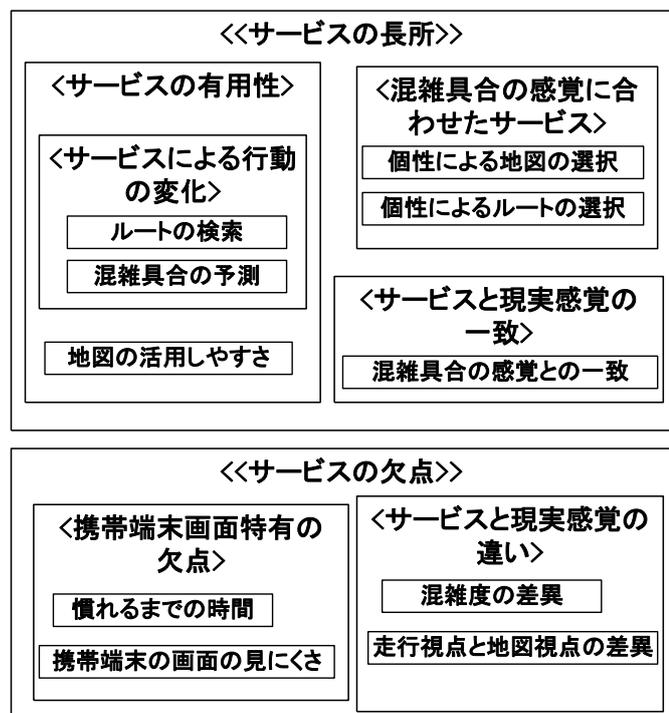


図 26 M-GTA の結果図

Figure 26 M-GTA full results charts.

7. おわりに

自転車の障害物の回避の仕方には固定障害物と移動障害物で違いがあった。具体的には、固定障害物を回避する自転車は速度を調節しながらゆったりとハンドルを切る。移動障害物を回避する自転車はハンドルを調整しながら速度を大きく落とす。この原理を証明するため、固定障害物と移動障害物を検知してユーザに通知するシステムを実装した。AHP と M-GTA によるシステムの評価の結果、ユーザが初めて訪れる道路でも障害が少ない快適な道路を選択し得ることが判明した。また、障害物の種類が分かるので、ユーザの障害物への好みに併せたルートを選択可能である。

参考文献

- 1) 齊藤裕樹, 菅生啓示, 間博人, テーブウィロー ज्या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, pp770-782 (2012)
- 2) 菅生啓示, 宮崎学, 中田龍太郎, 木實新一, 戸辺義人: 自転車の走行情報を用いた混雑度の推定に関する検討, 情報処理学会第72回全国大会講演論文集, Vol.3, pp239-240 (2010)
- 3) 田端佑介, 河内雄太, 金田重郎: 自転車センサを用いた市街地走行環境と阻害度の測定, 情報処理学会第75回全国大会講演論文集, Vol.3, pp165-166 (2013)
- 4) 近藤潤也, 田端佑介, 金田重郎: マクロ評価機能を持つユーザ中心設計手法と ITS 普及サービスへの適用, 同志社大学 技術・企業・国際競争力研究センター ワーキングペーパー (2012)
http://www.itec.doshisha-u.jp/03_publication/01_workingpaper/2012/12-02.pdf
- 5) OMRON, 光電センサ E32-T11N 2M
<http://www.fa.omron.co.jp/products/family/1532/>
- 6) Keyence, モバイル型絶縁高電圧入力レコーダ NR-2000
http://www.keyence.co.jp/keisokuki/mobile/nr_2000/menu/376/
- 7) OMRON, 超小型ロータリーエンコーダ・インクリメンタル型 E6J-C
<http://www.fa.omron.co.jp/products/family/1607/>
- 8) Esri ジャパン, ArcGIS for Server 製品情報
<http://www.esri.com/products/arcgis/server/arcgis-for-server/>
- 9) 日本 PostgreSQL ユーザ会, PostgreSQL
<http://www.postgresql.jp/>
- 10) 池田将明, 井上雅裕, 陳新開: システム工学-計画・分析の方法, オーム社 (2011).
- 11) 井上雅裕, 陳新開, 長谷川浩志: システム工学問題発見・解決の方法, オーム社 (2011).
- 12) 木下康仁: グラウンデッド・セオリー・アプローチの実践-質的研究への誘い, 弘文堂 (2003).
- 13) 木下康仁: グラウンデッド・セオリー・アプローチ-質的実証研究の再生, 弘文堂 (1999).
- 14) Ian H. Witten, Eibe Frank and Mark A. Hall, Data Mining: Practical Machine Learning Tools and Techniques, Third Edition, Morgan Kaufmann Publishers (2011).