

高齢者の自転車操作支援を目的とした スマートフォンによる接近車両検知手法の提案

河中 祥吾^{1,a)} 柏本 幸俊¹ Firouzian Aryan² 荒川 豊¹ Pulli Petri² 安本 慶一¹

概要: 自転車乗車中における死亡事故の5割以上は、65歳以上の高齢者が占めている。原因として、加齢により身体能力や認知能力が低下し、車両の接近といった危険の検知や回避が遅れることがあげられる。よって、高齢者の自転車乗車中の事故を低減させるためには、接近する自動車を検知し自転車ユーザへ通知するツールにより、認知能力を支援することが重要である。本研究では、自動車接近時に生じる車両特有な近接音の周波数成分の変化パターンをスマートフォン内蔵マイクロフォンを用いることで検出し、車両の接近を通知するシステムを提案する。本稿では、実際に自動車接近時に生じる特有の変化値を収集し、機械学習を行うことで近接車両検知アルゴリズムを開発した。また、開発した車両検出モデルを10分割交差検証により精度評価したところ、平均F値が97.4 [%]と高精度で車両接近を識別することができた。

Proposal of Approaching Vehicle Detection Method by using Smartphone for Support of Bicycle Operation of Elderly People

SHOGO KAWANAKA^{1,a)} YUKITOSHI KASHIMOTO¹ FIROUZIAN ARYAN² YUTAKA ARAKAWA¹
PULLI PETRI² KEIICHI YASUMOTO¹

1. はじめに

自転車は、子供から高齢者まで、日々の生活で手軽に利用される交通手段である。また、地球温暖化などといった環境問題への注目が高まる中、環境への負担が小さい交通手段として見直されている。さらに近年の健康志向の高まりや震災時の自転車の活躍とともにその利用が拡大している。しかし、全交通事故件数は減少しているのに対して、事故全体に占める自転車事故の割合は増加している。その中でも死亡に至る自転車事故の6割を高齢者が占めており問題となっている [1](**図 1**)。高齢化が進行している現在の日本において、自転車の利用の拡大と高齢者の増加から、今後自転車事故における高齢者の死亡者数がさらに増加し

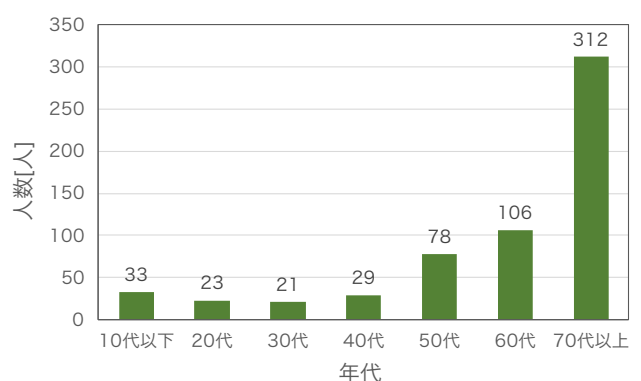


図 1 年齢階層別自転車乗車中の交通事故 死者数 (2015)

¹ 奈良先端科学技術大学院大学
Nara Institute of Science and Technology
〒630-0192, 奈良県生駒市高山町 8916-5
² オウル大学
University of Oulu
Pentti Kaiteran katu 1, Oulu 90014, Finland
^{a)} kawanaka.shogo.kp1@is.naist.jp

ていくことが予想される [2]。よって、高齢者の自転車乗車中の事故対策は急務である。

自転車事故割合の増加を受け、日本政府や各自治体も自転車の安全に対する対応を始めている。その一例として2020年に開催が予定されている東京オリンピックへ向けた

“2020年の東京”計画があげられる[3]。この計画では、自転車走行空間の整備があげられているが、自転車レーンを新たに整備するには膨大なコストがかかるうえ、大規模な工事を行う必要があることや地形上適応できないこともあるため、我々の生活圏にくまなく適用するのは難しい。

一方、道路環境を整備する方法を用いずに事故を防ぐ手法としては、利用者側が対策する方法が考えられる。一般的に、人間は加齢により、認知能力及び身体能力が低下することから、危険認知およびそれに伴う回避行動の遅れが生じると考えられる。この“遅れ”が、高齢者の事故の主要因であるといえる。よって、高齢者の自転車乗車中の事故を低減させるためには、接近する自動車を検知し自転車ユーザへ通知するツールを開発することにより、認知機能を支援することが重要である。接近車両を事前に通知することで事故を防ぐ方法として、Stephenら[4]は、後方から接近する車両をビデオカメラと埋込型コンピュータを用いて検出し、車両接近を通知するシステムを提案している。また、下山ら[5]は複数種類のセンサを用いて走行解析を行い、事故発生前に危険運転状態を警告し事故を未然に防ぐシステムを提案している。これらのシステムでは、カメラやセンサデバイスを取り付ける必要があるため使用者が限定的であり、一般に使用することは難しい。その他、吉田ら[6]の提案する車車間通信による近接通知システムでは、双方に専用設備が搭載されていることを前提としているため、現状として普及に至っていない。実用する際のコストを考えると、自転車利用者側が普段所持しているデバイスだけで車両の接近を検知できるシステムが望ましい。

本研究では、自転車ユーザが持つスマートフォンを用いることで上記の課題を解決する。本稿では、自転車接近時に生じる車両特有な近接音の周波数成分の変化パターンをスマートフォン内蔵のマイクロフォンを用いて取得、分析することで車両を検知し、通知を行うシステムを提案する。なお、自転車乗車中に安全に通知を行うため、スマートフォン以外にスマートウォッチやスマートグラスといったウェアラブルデバイスを通知端末として用いることを想定している。

本稿では、まずスマートフォンを用いた車両検出手法に関する事前調査として、スマートフォンに搭載されている各種センサについて実験を通じた有用性の検証を行った。その結果、マイクロフォンから得られた音声データを周波数解析を行う手法が適することが分かった。次に、スマートフォンを用いて実環境で収集した自転車走行中の環境音からデータセットを作成し、Wekaを用いた機械学習(REPTree)により車両検出アルゴリズムを作成した。10分割交差検証により評価を行った結果、平均F値97.4 [%]の高精度で車両の接近を検出することができた。

2. 先行研究

自転車事故防止や走行音を用いた車両検出に関する先行研究を紹介する。まず、Stephenら[4]は自転車のサドル部にビデオカメラを取り付け後方を撮影し、接近してくる車両を認識、接近通知を行うCyber-Physical Bikeを開発した。本手法では、車両の検知だけでなく、衝突のリスクを評価できる点で優れているが、カメラや処理用の小型コンピュータを自転車本体に取り付ける必要があり、使用者が限定的であり、一般に使用することが難しい。次に、下山ら[5]は複数種類のセンサを用いて自転車の走行状況を解析し、危険運転を行っている場合警告を行うシステムを検討している。本システムは、走行状況検知部、走行環境検知部、警告部の3つのサブシステムに分かれており、それぞれのサブシステムで2~3種類のセンサやモジュールを用いている。本システムも同様に、多数のセンサ類を自転車本体に取り付ける必要があり一般に使用できない。

一方で、高木ら[7]は、スマートフォンを用いて電気自動車(EV)やハイブリッド車(HV)の発する高周波音を検知し、歩行者にその接近を通知する手法を提案した。J48分類器を用いて近接判定を行ったところEVを92 [%]、HVを82 [%]の高精度で検出でき、最大で最接近の11.6秒前に車両を検知することに成功した。しかし、本提案では歩行者に接近するEV、HV車のみを検出対象としており、今回我々が目的としている自転車乗車中に接近する自動車の検出には適さない。

紹介した自転車事故防止を目的とする先行研究では、衝突のリスクを評価できる点や、ユーザの危険運転を検出できる点は優れているが、カメラやマルチセンサなど専用の装置を取り付ける必要がある点から実用することが難しいと言える。高木らの研究では、スマートフォンを用いてEVやHVの接近を事前に通知可能となっている。総務省のデータによるとスマートフォンは平成26年末時点で普及率が64 [%]を越えており、今後も普及していくと予想されるため実用性があるものといえる[8]。しかし、歩行者に接近するEV、HVを検出対象としているため、自転車乗車中の一般車両検出は想定されていない。

本研究では、自転車に専用のセンサやデバイスを取り付ける必要がなく、一般に普及しているスマートフォンを用いた自転車乗車中の接近車両検出手法を提案する。

3. 車両検出手法に関する事前調査

本章では、車両検出手法を提案する前段階として行ったスマートフォンを用いた車両検出に関する事前調査について述べる。初めに、先行研究から用いるセンサの検討を行った。その後、それらを用いて車両検出が可能かを確認するための実験方法を説明し、最後に実験結果を示す。

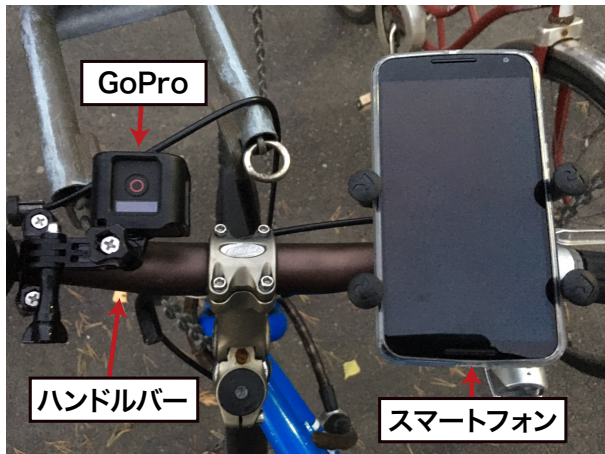


図 2 スマートフォンおよび GoPro カメラの配置



図 3 データ収集に使用した実験コース

3.1 車両検出手法の検討

まず、スマートフォンを用いて車両接近を検出するために用いるセンサおよび手法を検討する。前述したように先行研究において、車両検出を行うためにカメラ、赤外線、超音波、地磁気、マイクロフォンといったセンサが用いられている [4], [5], [9], [10]。これらの中で、スマートフォンに搭載されているセンサとして、カメラ、地磁気、赤外線、マイクロフォンがあげられる。しかし、カメラは自転車乗車中、常時後方を録画し続ける必要があるうえ、自転車後方部に取り付けることは容易でない。また、スマートフォンに搭載されている赤外線センサは数センチ程度の至近距離の測定しかできず、分解能がとても低いため車両接近を検出するには不適である。以上の制約条件から本研究では地磁気およびマイクロフォンを対象を絞りそれらのセンサを用いて車両検知が可能かを確認するため事前実験を行った。

3.2 実験方法

スマートフォンに搭載された地磁気センサおよびマイクロフォンを用いて車両検知が可能か確認するため、スマートフォンを自転車にマウントを用いて取り付け図 3 に示す片側一車線の直線コースを走行し計測を行った。スマートフォンには、Nexus 6 (モトローラ社製, XT1100, Android 6.0) を用い、センサデータ取得アプリケーションにてデータを収集した。この時、地磁気データはサンプリング周波数 10 [Hz] でデータを取得し、音声データの録音形式は、サンプリング周波数 16.0 [kHz], 16bit リニア PCM とした。また、車両の通過やその他走行中の変化を確認するために、同時に GoPro カメラを取り付けて走行中の動画を撮影した。スマートフォンおよび GoPro カメラの配置を図 2 に示す。なお、自転車はサスペンションなどがついていない一般的な自転車を使用した。

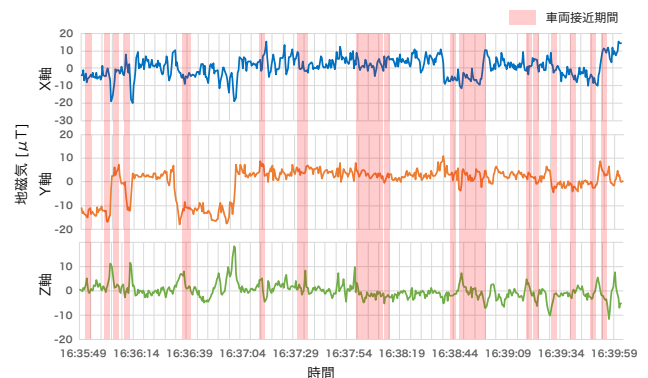


図 4 収集した地磁気データの結果

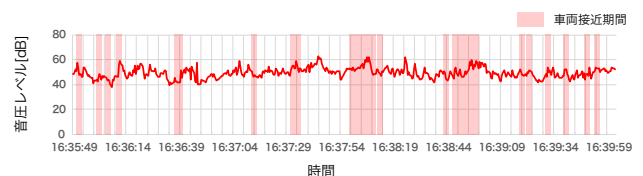


図 5 収集した音圧レベルの結果

3.3 実験結果

収集した地磁気データの結果を図 4 に示す。図中赤色背景で示す箇所が車両接近期間を表している。図から見てわかるように、車両接近時に変化をしている箇所も見られるが、車両接近時以外にも大きく変化している部分が見られる。この結果は、車両通過による地磁気揺らぎ以上に自転車走行中の障害物を回避する行動やハンドル操作の揺れによる変化が上回っている事に起因すると考えられる。

次に、収集した音圧レベルの結果を図 5 に示す。こちらも同様に図中赤色背景で示す箇所が車両接近期間を表しており、車両接近時以外にも大きく変化している部分が見られる。この結果は、スマートフォンのマイクロフォンには特に風切り音対策をしておらず、自転車走行時に発生する風切り音の影響を受けているものだと考えられる。

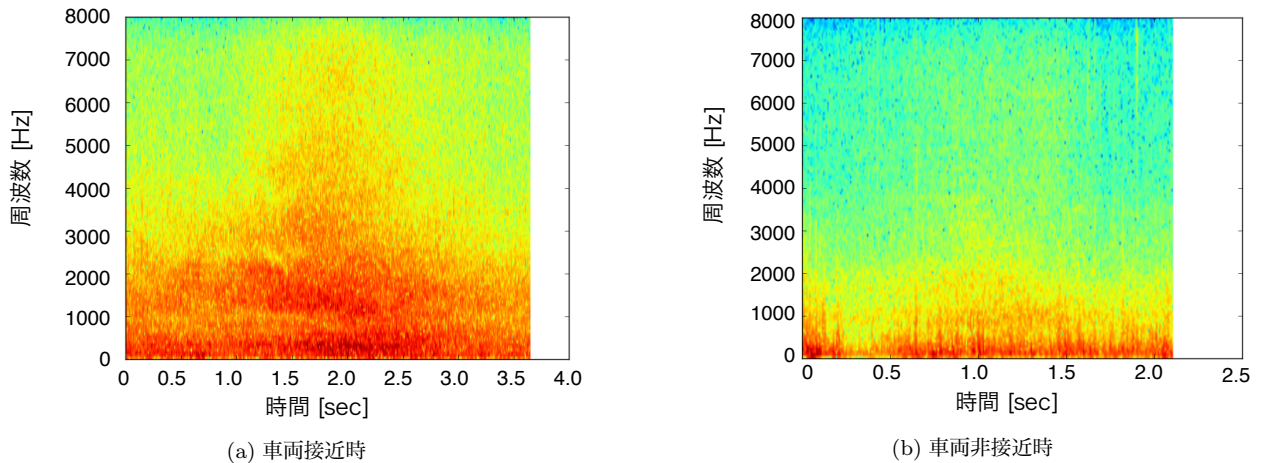


図 6 音声データの各状態におけるスペクトログラム

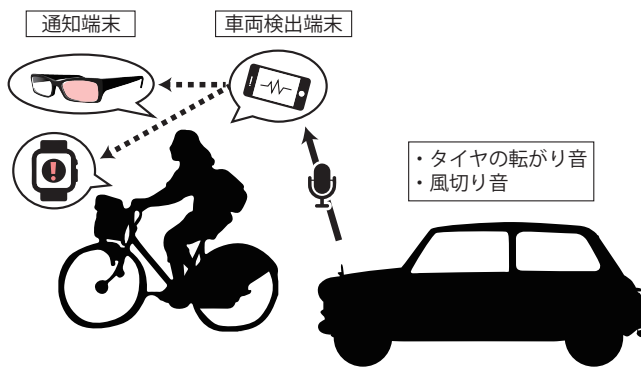


図 7 提案する接近車両通知システムの概要図

最後に、収集した音声データをフーリエ変換し、得たスペクトログラムを図 6 に示す。図中 (a), (b) はそれぞれ車両接近時とそれ以外の時のスペクトログラムを示している。(a) の方では (b) と比べて常時 2000 [Hz] 以下のスペクトルが強くなっており、更に最接近時である 2.0 秒周辺では 8000 [Hz] 程度までスペクトルが強く出ていることが見て取れる。

これらの結果から、車両接近検出には音声データの周波数特性解析を行うことが有用であるということが分かった。

4. スマートフォンによる接近車両検出手法

本章では、初めに本研究で提案する接近車両通知システムの概要を説明する。次に機械学習を適応するために必要なデータ収集について述べる。その後、機械学習により作成した接近車両検出アルゴリズムについて説明し、最後に評価結果をまとめる。

4.1 接近車両通知システムの構成

本研究で提案するスマートフォンおよび任意の通知端末を用いた接近車両通知システムの概要図を図 7 に示す。

本システムは、車両検出および通知のためのスマート



図 8 Twinkle Megane

フォンと接近車両通知端末から構成される。スマートフォンを、自転車のハンドルバーにマウントなどで固定している場合は検出と通知の双方の役割を担うことが可能である。なお、スマートフォンが胸ポケット等に入っている場合は通知端末が必要となる。そこで、自転車走行中の安全を考慮した上で、柏本ら [11] が作成した Twinkle Megane (図 8) や、雰囲気メガネ [12] といった LED の発光による通知機能を有したメガネ型デバイスや、スマートウォッチを用いる。これらの通知端末は、Bluetooth 接続が可能であり車両検出時に発光や振動により通知を行う。

4.2 近接車両検出手法

スマートフォンを用いた車両検出手法について述べる。本システムでは、機械学習により車両の接近を識別する。機械学習の適用過程は、(1) 学習に使用するデータの取得、(2) トレーニングデータの作成、(3) 取得データの特徴量抽出、(4) 接近車両検出モデルの構築、の 4 つの過程から構成される。以下にそれぞれの過程について述べる。

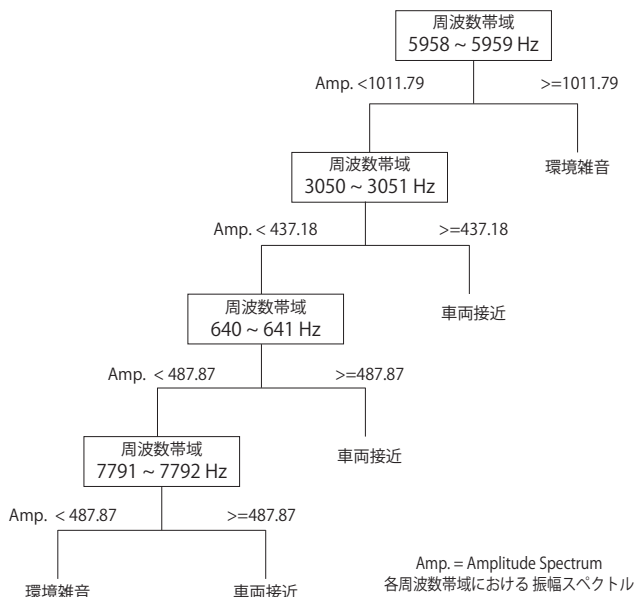


図 9 接近車両検出モデル

(1) 学習に使用するデータの取得

機械学習を行うにあたって、まず学習データが必要となる。そこで、学習に使用する音声データの収集を行った。収集方法および録音形式は 3.2 節で述べた実験方法と同様で、自転車のハンドルバーにスマートフォンと GoPro カメラを取り付けてデータ収集を行い、図 3 に示す実験コースを 6 往復し、合計 34 分 17 秒の音声データを取得した。この時、合計 158 回車両とのすれ違いが発生した。

(2) トレーニングデータの作成

次に、あらかじめどの周波数特性が車両接近に対応するかのラベルがついたトレーニングデータが必要となる。グランドトゥールースとして撮影していたビデオを照合しつつ、一連の音声データを一つ一つ手作業で車両接近中とそれ以外の部分へ分割し、それぞれ車両接近 (car) と環境雑音 (noise) のラベルリングを行った。

(3) 取得データの特徴量抽出

取得したデータより、近接車両を検出するための特徴量を抽出する。手順として、まずセンサから得られたデータを一定の時間間隔 (以降 Time-window と呼ぶ) に分割する。次に、各 Time-window 区間ごとのデータから特徴量を抽出する。本研究では経験的に Time-window の大きさを 0.5 秒 (8000 サンプルごと) に設定する。特徴量については、FFT を用いて得られた 20 ~ 8000 [Hz] 周波数スペクトル強度を 1.0Hz ごとに分割したものを特徴量として用いる。

(4) 接近車両検出モデルの構築

ラベル付けた音声データの周波数特徴量をトレーニングデータとする機械学習モデルを構築する。分類器の構築にはデータマイニングツールである Weka を用

表 1 混合行列

	環境雑音	車両接近
環境雑音	353	23
車両接近	5	691

表 2 評価結果

状態	Precision [%]	Recal [%]	F 値 [%]
環境雑音	98.6	93.9	96.2
車両接近	96.8	99.3	98.0
平均	97.4	97.4	97.4

いた。Weka は多数の機械学習アルゴリズムに基づく分類器を実装しており、本研究では、スマートフォンアプリケーションへの実装を簡単化するために浅い階層の二分木を作成する REPTree を用いて接近車両検出モデルを構築した。この時、学習データは合計 1072 サンプルであった。学習を行った結果作成された分類器を図 9 に示す。

4.3 車両検出モデルの評価

学習データ全てを用いて 10 分割交差検証を行い、検知精度を評価した。表 1、表 2 にそれぞれ結果を示す。Precision (適合率) は、車両接近音または環境雑音であると認識されたデータのうち、実際にその音であった正しいデータの割合である。Recall (再現率) は該当する音のうち、その接近状況であると正しく認識されたデータの割合である。F 値は、Precision と Recall の調和平均であり、次式で表される。

$$F_{value} = \frac{2 \cdot Recall \cdot Precision}{Recall + Precision} \quad (1)$$

結果、平均 F 値が 97.4 [%] と高精度で車両接近を識別することができた。

5. おわりに

本稿では、自転車乗車中の高齢者の死亡事故を防止するための自転車操作支援を目的としたスマートフォンによる接近車両検知手法を提案した。提案手法では、自転車に専用のセンサやデバイスを取り付ける必要がなく、一般に普及しているスマートフォンのマイクロフォンのみを使用した。実際にフィールドにおいてデータを収集し、Weka を用いた機械学習により接近車両検知モデルを作成した。また、10 分割交差検証を行い検知精度を評価した結果、平均 F 値 97.4 [%] という高精度で車両の接近を検出できた。

今後の予定としては、今回作成した接近車両検知アルゴリズムをスマートフォンアプリケーションとして実装し、実環境における検証実験を行い評価を行う。この時、通知端末を用いて通知を行った時のユーザの挙動を加速度などから判断し、適切な通知方法、通知の程度であるかを評価する。また、本研究では事前に通知を行うことを目的としているため、最接近する何秒前に通知を行えるかに関して

評価する必要がある。平成 16 年度の自動車安全運転センターの調査結果によると、高齢者の自転車走行中における回避行動及び停止行動には 2 秒程度かかることが分かっている [13]。このことから、安全な回避行動を促すためには、車両検知から回避行動を完了するまでに要する時間を事前通知最低時間とし、この要件を満たす必要がある。ただし、事前通知のタイミングが早すぎる場合、不必要な回避行動を促したり、ユーザにとってストレスとなりうるため、適切なタイミングを今後実験を通して検討する必要がある。加えて、自転車自身の速度やドップラー効果を考慮することで、接近車両の方向、車両速度、車種（二輪車を含む）といった要素の検出も検討を行う。

参考文献

- [1] 警察庁: “平成 27 年における交通事故の発生状況,” 2016.
- [2] 内閣府: “平成 28 年版高齢社会白書 (全体版) 第 1 章 高齢化の状況,” 2016.
- [3] 東京都庁: “東京都自転車走行空間設備推進計画,” 2012.
- [4] Stephen Smaldone, Chetan Tonde, Vancheswaran K. Ananthanarayanan Ahmed Elgammal and Liviu Iftode: “The Cyber-Physical Bike: A Step Towards Safer Green Transportation,” In Proceedings of the 12th Workshop on Mobile Computing Systems and Applications, Hot-Mobile’11, ACM(New York, NY, USA, 2011), pp.56–61, 2011.
- [5] 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, 2015-EMB-36(51), pp.1–6, 2015.
- [6] 吉田 裕幸, 中野 美由紀, 渡辺 柚佳子, 菅谷 みどり: “移動体位置情報を利用した接近検知による自転車と歩行者の事故防止システム,” 情報処理学会研究報告, ユビキタスコンピューティングシステム, 2015-UBI-46, pp.1–8, 2015.
- [7] Masaru Takagi, Kosuke Fujimoto, Yoshihiro Kawahara, Tohru Asami: “Detecting hybrid and electric vehicles using a smartphone,” Proceedings of the 2014 ACM International Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing, New York, USA, pp.267–275, 2014.
- [8] 総務省: “平成 27 年版 情報通信白書 インターネットの普及状況 第 3 部 基本データと政策動向,” 2015.
- [9] 石田 繁巳, 劉 嵩, 三村 晃平, 田頭 茂明, 福田 晃: “Dynamic Time Warping を用いた路側装置マイクロフォンによる車両カウントシステムの設計と初期敵評価,” 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, 2016-ITS-64, pp.1–6, 2016.
- [10] Bence Koszteczyk, Gyula Simon: “Magnetic-based vehicle detection with sensor networks, Instrumentation and Measurement Technology Conference (I2MTC),” pp.265–270, 2013.
- [11] Kashimoto Yukitoshi, Aryan Firouzian, Zeeshan Asghar, Goshiro Yamamoto, Petri Pulli: “Twinkle megane: Near-eye LED indicators on glasses in tele-guidance for elderly,” IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communication Workshops, pp.1–6, 2016.
- [12] FUN’IKI Ambient Glasses, <http://fun-iki.com/> (2016 年 11 月 7 日閲覧).
- [13] 自動車安全運転センター: “高齢者の交通モード別の安全行動等に関する調査研究,” 平成 16 年度調査研究報告書, pp.22–25, 2005(2016 年 11 月 9 日閲覧).