

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 16 日現在

機関番号：13801

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2011～2013

課題番号：23700073

研究課題名(和文) 高速移動端末を含む無線通信ネットワークのモデル化と情報流通プロトコルの設計

研究課題名(英文) Study of a modeling method and a communication protocol for a wireless ad-hoc network with high mobility nodes

研究代表者

木谷 友哉 (Kitani, Tomoya)

静岡大学・情報学研究科・准教授

研究者番号：40418786

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円、(間接経費) 960,000円

研究成果の概要(和文)：車両がノードとなる無線通信ネットワークでは、ノードの移動速度の分散が大きいため接続性の変化が激しい。しかし、車両は道路上を移動することや、移動経路が予測可能といった特性を考慮することで情報伝達効率を改善できる。本研究課題では、高速移動端末を含むネットワークをその移動特性を考慮してモデル化し、ノードの移動性を考慮したデータ通信性能の評価、ノードの測位の高精度化、ネットワーク接続性の変化の激しい環境における自律的な情報伝播・収集を可能とする通信プロトコルの設計、自動二輪車をノードとして考慮した場合のその移動性の解析を行った。

研究成果の概要(英文)：In vehicle ad hoc networks (VANET), the network connectivity is frequently changed due to the high mobility of each communication node. Its mobility can be utilized for improving the message delivery ratio because vehicles as such nodes go along roads and their trajectory can be predicted. In this research, I have conducted the following tasks and have achieved a result: modeling a VANET and an analysis of its message delivery ratio considering the behavior of such high mobility nodes; developing a cooperative GPS/GNSS positioning with neighboring vehicles; developing a message delivery protocol where the network connectivity is frequently changed due to nodes with an unstable power supply model; modeling and analyzing motorcycles as a communication node in VANET.

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：計算機システム・ネットワーク

キーワード：モバイルネットワーク技術 高度交通システム(ITS) VANET モバイルアドホックネットワーク(MANET) GPS/GNSS

### 1. 研究開始当初の背景

無線通信装置を搭載した車両で構成されるアドホックネットワークは VANET (vehicular ad hoc network) と呼ばれ、近年研究がなされている。人間が持つ携帯情報端末などがノードとなる MANET (mobile ad hoc network) に対して VANET は、車載された電源やコンピュータの計算能力に対する制約が弱い反面、移動速度の分散が大きく、頻りにノード間の接続関係が変化するという点が大きく異なる。そのため VANET の環境では、コネクション通信を行うことは一般的な MANET と比較して難しい。

現時点で考えられている VANET のネットワークプロトコルとしては、単純なフラッディングやそれをベースにして近隣のノードに確率的にデータの中継を行う Epidemic ルーティング、GPS による位置情報を利用して地理情報で指定された宛先に近いノードにデータを中継する GeoCast と呼ばれるプロトコルが提案されている。しかし、これらは一般的な MANET でも用いられる方法であり、VANET の性質を反映させたものとはいえない。そのため、高速に移動するノードの移動性など VANET の性質を考慮したプロトコルの開発が望まれる。

また、VANET のようなアドホックネットワークを用いたサービスやアプリケーションを考える場合、インフラの設置コストや利用コストを考えると、できるだけインフラを用いずにそれを実現することが望ましいとされる。しかしながら、VANET のみを用いてどの範囲まで情報を流通させれば良いか、または、できるかということとは明確になっていない。

本研究課題では、VANET をそれが持つ特性などを考慮してモデル化し、VANET 自身が他のインフラに頼らずどこまで情報流通できるかを明らかにする。それとともに、その性質を活かして VANET 内部の任意のノード間で双方向に通信するためのルーティングプロトコルを開発することを目標とした。

### 2. 研究の目的

車両がノードとなる無線通信ネットワークでは、ノードの移動速度の分散が大きいため接続性の変化が激しく、ネットワーク内の情報の伝達が困難である。しかし、車両は道路上を移動することや、車載ナビゲーションシステムから移動経路が予測可能といった特性を考慮することで情報伝達効率を改善できる。本研究課題では、高速移動端末を含むネットワークをその移動特性を考慮してモデル化し、自律的な情報伝播・収集を可能とする通信プロトコルの設計と評価を行うことを目的とする。

### 3. 研究の方法

本研究は以下の4つの段階に分けて研究を進めていく。

#### (1) VANET のモデル化

まず、対象とする VANET のモデル化を行う必要がある。それを特徴付けるパラメータとして、車両密度や、車両の移動性のような通信ノードに関するもの、通信範囲や通信帯域のような無線通信に関するもの、地理的条件や1つの VANET がカバーするエリアの想定サイズのようなネットワーク全体に関するものを考慮する。

上記のようなパラメータを設定してモデルを作成し、交通流シミュレータや無線通信シミュレータを用いてモデルを解析していく。

#### (2) ノードの移動特性を利用したルーティングプロトコルの設計

各車両がカーナビゲーションシステムなどから得られる移動予定経路情報を用いて最もデータの宛先に近づく近隣車両を中継先に選ぶことで、任意のノードからある固定地点へのメッセージ到達率を向上させ、同時にネットワーク内に流通するメッセージ量の大幅な削減できる。本研究課題では、プロトコルを双方向の通信に利用できるように拡張する。一般的な MANET では、送信元ノードからの要求 (クエリ) に対する送信先ノードからの返答 (リプライ) は、送信元ノードの移動先となる可能性のある範囲にブロードキャストすることで配信される。しかし、VANET ではノードの移動速度が大きいため、返信先となるエリアが広大となりこの方法では効率が悪い。そこで VANET のノードの移動特性を利用し、クエリに送信者の移動予定経路情報を含ませるなどし、予想されるその車両の移動先に返答を配信するプロトコルを考案する。

精度の高い予定経路情報が得られるとすれば、複数台の情報から未来のノード接続性グラフが導出できる。このグラフを用いることで、将来メッセージ交換可能かどうかを知ることができ、より効率的にメッセージの伝達が行える。また、宛先ノードの現在位置を知らなくても、このグラフを用いて VANET 内の任意のノードへ要求 (クエリ) を送信することが可能となる。また、各車両の予定経路情報などの制御情報を VANET 内の全ノードで共有し任意のノード位置を把握することを考えると、制御情報の流通が通信帯域幅を圧迫する可能性がある。ノード接続性グラフでは接続関係は短いビット列で表現できるため、制御情報の流通速度や流通範囲の向上を見込める。

ここで、開発したルーティングプロトコルを VANET のモデルに入力し、提案するプロトコルの能力をパラメータの変化から評価する。

#### (3) 基礎的な VANET アプリケーションの提案

VANET を利用する汎用的なアプリケーションとして、各車両がセンシングするデータを収集、流通させる VSN (vehicular sensing network) を設計する。クラスタヘッドとな

るノードからクラスタ内のノードへリクエストを一斉に送信するためのマルチキャスト通信や、クラスタ内のノードから一斉にクラスタヘッドへ情報を収集するための通信に対するプロトコルを設計し、今後開発される様々なVANETアプリケーションへの応用を期待する。

上記のプロトコルの開発および評価は、交通流シミュレータや通信シミュレータを用いた計算機シミュレーションで行う。

(4) 実機を用いたVANETのモデルとプロトコルの評価

提案したモデルとプロトコルが実環境においても期待する機能を果たすかどうかを評価するため、実機の無線センサノードに提案したプロトコルを実装し、それを実際に車両に持ち込んで評価実験を行う。また、ここで得られた実際の環境の無線通信状況を提案モデルに反映し、より精度の高い解析を行えるようにする。

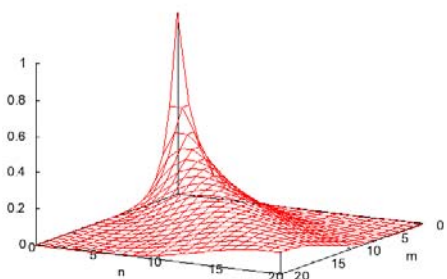
#### 4. 研究成果

(1) VANETのモデル化について、まず数理的なモデルを用いた解析と検討を行った。

車載カーナビゲーションシステムに設定された目的地情報や、普段の移動経路履歴などを用いることにより、各車両の移動予定経路を高精度で推定可能である。車両のような端末でデータを中継する場合は、無線中継とは異なり、物理的なノードの移動が必要となるため、通信遅延は大きくなる。そこで本研究課題では、数km四方程度の領域をカバーするVANETを対象とする。そこにおいて、領域内の任意の地点間のメッセージをCarry and Forwardで宛先まで伝達する複数のルーティングプロトコルの基礎性能解析と考察を行った。

単純にメッセージを複製しながら拡散するフラディングに比べて、中継先車両の移動予定経路情報を利用することで、到達率の下限を向上させることができることを数学的に示した。

格子状の評価用のトポロジを用いた。図1は、左上の交差点(0,0)をスタートし、目的地( $\infty, \infty$ )へ向かう車両が交差点(m,n)を通過する確率 $P(m,n)$ である。目的地方向の交差点通過率は当然のことながら高く、その情報を利用することでデータ到達率の向上と通信オーバーヘッドの削減が可能である。

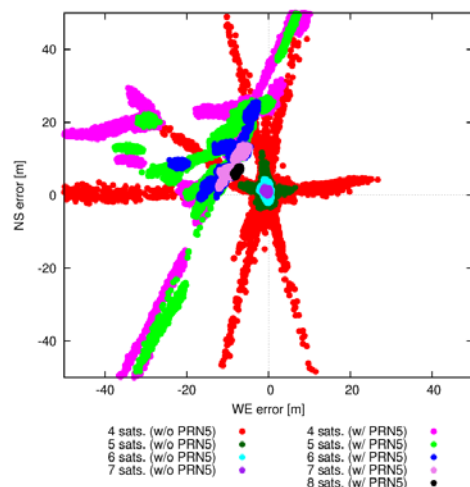


【図1】車両が交差点(m,n)を通過する確率

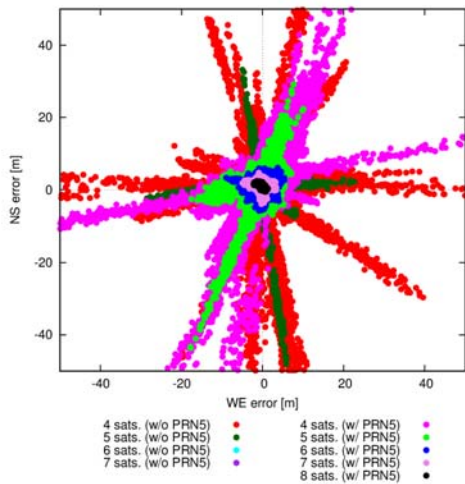
次に、車両の位置情報取得についての研究を行った。通信ノードとなる各車両の位置を知るためには、一般にGNSS(全地球航法衛星システム)が用いられる。GNSSでは、現在、見通し環境で多数の衛星から測距信号を受信できれば十分高精度・高精度に測位ができるようになってきている。しかし、都市部の構造物によるマルチパスなどの影響で、測定した各衛星までの距離(擬似距離)に誤差が大きく含まれると、位置推定精度が劣化する。この誤差の要因のうち、空間的・時間的に相関があるものについては、位置が既知である受信機によって擬似距離の補正量を計算し、近隣の受信機はその補正量を使用することで測位精度・精度を向上させることができる。インフラとして用意された固定基準受信局ではなく、測位環境が良好な一般の移動受信局によって正しい補正量を計算するためには、その受信機が高精度・高精度に測位できていることと、それを判断できる必要がある。

そこで、単独測位において誤差が大きい擬似距離を特定するため、測位計算における最小自乗過程の残差に着目する。その残差の大きさによって、誤差の大きい擬似距離を排除して高精度・高精度に測位を行い、またそのような測位が行えているかの判断基準として利用する手法を考案した。

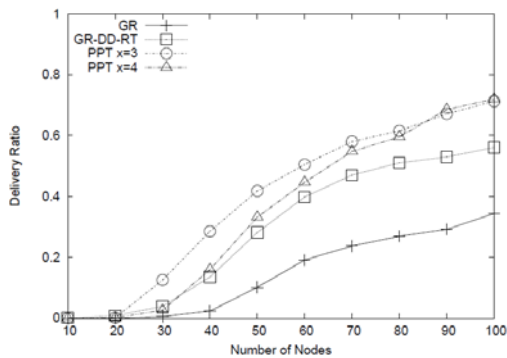
GPS受信機の実機を複数台使い、ある衛星との擬似距離に作為的に+20mのバイアス誤差を与えて評価を行った結果、8衛星による測位でも10m以上の水平方向誤差があった従来手法と比べ、提案手法では6衛星での測位でも水平誤差を2m以内に抑えることができた。図2に見通しが良く誤差が少ない場合のデータに対して特定の1衛星の測位距離に誤差20mを入れた場合の測位実験結果、図3に提案手法を用いた場合の測位の補正結果を示す。



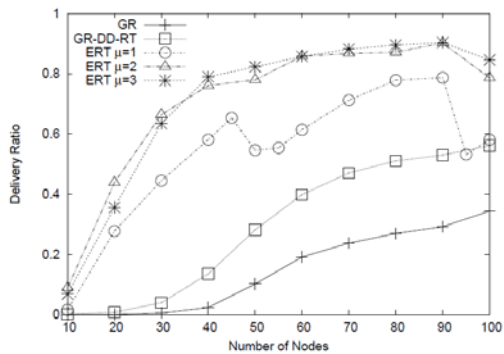
【図2】見通しの良い観測条件下、PRN5の測位距離に誤差20mを入れた場合の測位計算結果



【図3】 図2のデータを提案手法で補正した場合の測位計算結果



【図4】 PPTのデータ到達率



【図5】 ERTのデータ到達率

(3) 接続関係が頻繁に変わるネットワークでの通信プロトコルとして、移動はしないが、通信状態が頻繁に変わるエネルギーハーベスタセンサネットワークにおける情報収集プロトコルの設計を行った。熱や光、振動などから電力を得る環境発電（エネルギーハーベスタリング）が次世代センサネットワークの電源として注目されている。エネルギーハーベスタリングは従来のバッテリーとは異なる不安定な電力供給となるため、データ収集時に中継するノードが常に動作可能とは限らず、パケットの欠落が頻繁に発生する。

そこで、中継時のパケットの欠落に対応し、効率のよいデータ収集を行うため、パリティを用いて冗長にデータを送信する方式(PPT、APT)と通信成功確率に基づいてパケットの

再送を行う方式(ERT)を提案した。

計算機シミュレーションによる評価の結果、エネルギーハーベスタリングを用いたセンサネットワークにおいて、提案方式は従来方式と比較してシンクへのデータ到達率を向上させられることがわかった。

図4に、GR（宛先方法のみを考慮したフラッディング）、GR-DD-RT（帯域が空いているときは再送を行う処理をGRに追加したもの）と比較したPPTのデータ到達率を示す。横軸はノード密度である。図中の $x$ はパリティを作るパケットの間隔である。これにより提案手法がより高いデータ到達率を示していることが分かる。

図5に、同じくERTのデータ到達率を示す。図中の $\mu$ は宛先までのデータ到達冗長度である。経路の途中で一度でもデータの消失が起きると到達率は低下する。そのため、宛先までの同一データの到達数は2程度が望ましいことが図より分かる。また、提案手法が従来手法より良い性能を示している。

(4) VANETによるデータ転送を活用するアプリケーションとして、携帯電話網を利用するモバイルデータ通信の負荷を軽減する、データオフローディングに着目した。スマートフォンの普及によって増え続けるモバイルデータ通信量を削減するため、携帯電話キャリアは店舗などでユーザに公共のWiFi回線を提供することによって固定回線網に接続し、携帯回線網の負荷を減らす、モバイルデータオフローディングを行っている。しかしながらオフローディング可能となる範囲は極めて限定的である。一方で、モバイルデータ通信を用いた高度交通システムの普及が進みつつあり、通信量は更に増えつづけると考えられる。そこでDTNによるVANETを用いて、モバイルデータトラフィックを時間的、空間的、通信路的という3つの方向性(3D)でオフローディングを行う通信手法を提案する。時間的、空間的オフローディングではデータの遅延耐性や自動車の移動性を活かして時間的、空間的にモバイルデータ通信のピークシフトを行う仕組みを提案した。通信路的オフローディングでは移動予定経路情報を用いたVANETにWiFiアクセスポイントとユーザの仲介役を果たさせ、モバイルデータ通信量を削減する。数理モデルと計算機シミュレーションを用いて、提案手法の上界性能と現実的な環境上での性能を評価する方法、および、同手法の有効性を証明するための方策を示した。

特にVANETを用いて、車両内や道路周辺にモバイルユーザのデータを運搬するときには、各車両の移動予定経路情報を考慮して、適切な中継先車両を選ぶ方策を提案した。

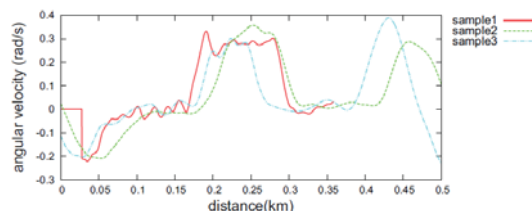
次に、二輪車を通信ノードとすることに着目し、二輪車の移動性の解析、二輪車に対応する高度交通システム(ITS)の基礎検討を行った。

二輪車は四輪車より事故時の危険性が高いにもかかわらず安全運転支援システムが普及していない。そこで我々は、二輪車の右左折や加減速の挙動を把握することで危険な状態を判断し、二輪車の安全運転を支援するシステムを創出する研究を開始した。

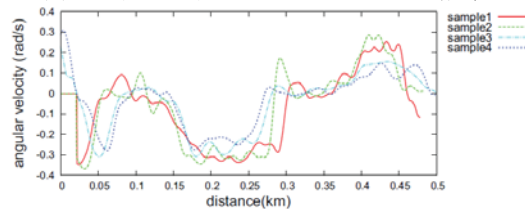
二輪車の車体挙動を把握することは、モーションセンサを取り付けて取得したセンシングデータを解析することで行える。解析は一般的に挙動の正解データを与えて機械学習を使用する。そして、新たに取得したデータがどのような挙動をしているかを判断する。そのためには、あらかじめ正解ラベルを付けた二輪車のモーションセンシングデータを用意する必要がある。センシングデータにどの挙動時のものであるかの正解ラベルをつけるには、走行時の状況を記録した映像データから手作業でつけることも可能であるが、手間が大きい。そのため自動ラベリング手法を提案した。

提案手法では、二輪車の走行時にGPSから得た位置情報を使用し、どの道路で旋回、右左折をしたかどうかを特定する。位置情報の連続する2時点の差分データから走行地点の曲率を計算して、曲率があるしきい値より大きかった地点を抜き出し、その時刻に対応する二輪車の右左折時のモーションセンシングデータを抜き出す。それに、右左折の正解ラベルをつけることで、二輪車の車体運動のコーパスを作成する。また、GPS情報取得間隔のズレから発生する挙動データの始点のズレは、その時の速度や進行方向より補正する。結果として、同じ地点の二輪車のモーションセンシングデータから、同じ挙動を行ったものをクラスタリングでき、0.85以上の相関を持ったデータの抽出が可能となった。

図6に同じ地点で抜き出した7回分(3往復半)のあるカーブでの二輪車のヨーレートのグラフを示す。同図(a)(b)にはそれを方向別に分類したクラスタリング結果を示す。二輪車の運動は、人間の行動に比べて制限が多く、自動的なクラスタリングが比較的容易に行えることを基礎実験で示し、高精度なクラスタリングの実用可能性を確認した。



(a) 左旋回方向のクラスタリング結果



(b) 右旋回方向のクラスタリング結果

【図6】 同じ地点で抜き出したヨーレート

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 4 件)

[1] H. Hatano, T. Kitani, M. Fujii, Y. Watanabe and H. Onishi, “A Helpful Positioning Method with Two GNSS Satellites in Urban Area,” Proceedings of the Third International Conference on Mobile Services, Resources, and Users (MOBILITY 2013), pp. 41-46, 2013. (査読有)

[2] M. Yoshida, T. Kitani, M. Bandai, T. Watanabe, P. Chou and W.K.G. Seah, “Probabilistic Data Collection Protocols for Energy Harvesting Wireless Sensor Network,” International Journal of Ad Hoc and Ubiquitous Computing (IJAHUC), vol. 11, no. 2/3, pp. 82-96, 2012. (査読有)

[3] 小谷和也, 孫 為華, 木谷友哉, 柴田直樹, 安本慶一, 伊藤 実, “交差点鳥瞰映像の協調撮影と共有を目的とした車車間通信プロトコル,” 情報処理学会論文誌, vol. 52, no. 6, pp. 1980-1992, 2011. (査読有)

[4] M. Yoshida, T. Kitani, M. Bandai, T. Watanabe, P. Chou and W.K.G. Seah, “Probabilistic Data Collection Protocols for Energy Harvesting Sensor Networks,” Proceedings of IEEE 36th Conference on Local Computer Networks (LCN2011), pp. 366-373, 2011. (査読有)

〔学会発表〕(計 18 件)(発表者に○)

[1] ○T. Kitani, “A Prototype of a Vehicle-Motion Sensing System with a Smartphone and Dedicated Sensing Devices,” In Proceedings of the 2nd International Symposium on Dynamics and Control of Single Track Vehicles (BMD: Bicycle and Motorcycle Dynamics 2013), pp. 68-69, 2013. (Nihon University (Narashino, Chiba, Japan)) (2013/11/10) (査読有)

[2] ○神村 吏, 木谷友哉, “位置情報を用いた二輪車モーションセンシングデータへの正解データ自動ラベリング手法の一提案,” 情報処理学会研究報告, vol. 2013-DPS-157, no. 6, pp. 1-6, 2013. (館山寺サゴローヤルホテル(静岡県)) (2013/10/17)

[3] ○西岡哲朗, 木谷友哉, 太田 剛, 峰野博史, “VANETによるモバイルデータ3Dオフローディングの提案,” 情報処理学会研究報告, vol. 2013-DPS-157, no. 9, pp. 1-6, 2013. (館山寺サゴローヤルホテル(静岡県)) (2013/10/17)

[4] ○羽多野裕之, 木谷友哉, 藤井雅弘, 渡辺 裕, 大西博信, “利用衛星数の低減を目指した自位置推定アルゴリズムの検討,” 電子情報通信学会技術研究報告(ITS), vol. 113, no. 199, pp. 39-44, 2013. (電気学会本部(東京都)) (2013/09/02)

[5] M. Nakamura, T. Kitani, W. Sun, N. Shibata, K. Yasumoto and M. Ito, "A Method for Information Delivery in VANET with Scheduled Routes of Vehicles," In Proceedings of International Workshop on Informatics (IWIN2013), pp. 201-207, 2013. (Kungsbron Hotel (Stockholm, Sweden) (2013/09/02) (査読有))

[6] 木谷友哉, 澤 悠太, 柴田直樹, 安本慶一, 伊藤 実, "運転者に対する交通安全支援のための指向性アンテナおよび車車間通信を用いた歩行者の位置推定手法," 情報処理学会研究報告, vol. 2013-MPS-95, no. 7, pp. 1-6, 2013. (熊本県立大学 (熊本県)) (2013/09/26)

[7] 木谷友哉, "BikeInformatics: 情報科学的二輪車 ITS の基盤研究," 情報処理学会 マルチメディア, 分散, 協調とモバイル (DICOM02013) シンポジウム論文集, pp. 1517-1524, 2013. (十勝川温泉ホテル大平原 (北海道)) (2013/07/11)

[8] 木谷友哉, 羽多野 裕之, "GNSS における疑似距離残差情報を元にした測位精度向上手法および近隣の端末との協調による測位精度向上," 電子情報通信学会信学技報, vol. 113, no. 165, pp. 7-12, 2013. (電子航法研究所 (東京都)) (2013/07/26)

[9] 木谷友哉, 羽多野裕之, "GPS 測位における近隣の端末との協調による測位精度向上手法," 情報処理学会研究報告, vol. 2013-ITS-52, no. 3, pp. 1-7, 2013. (日本科学未来館 (東京都江東区)) (2013/03/16) (平成 25 年 ITS 研究会優秀論文賞受賞)

[10] T. Kitani and A. Shiomi, "Intelligent Transportation Systems for Motorcycle with Motion Sensors and Wireless Communication," In Proceedings of the 13th International Young Scientists Conference Optics and High Technology Material Science (SPO2012), 2012. (The Taras Shevchenko National University of Kyiv (Kiev, Ukraine)) (2012/10/25) (招待講演)

[11] 宮澤彰人, 木谷友哉, 神村 吏, 塩見彰睦, "二輪車向け車体運動センシングシステムの試作," 第 20 回 マルチメディア通信と分散処理ワークショップ (DPSWS2012) 講演論文集, pp. 102-107, 2012. (ホテル奥道後, 愛媛県松山市) (2012/10/18) (優秀デモンストレーション賞受賞)

[12] T. Kitani, A. Miyazawa, T. Kamimura, A. Shiomi and T. Watanabe, "A Motion Sensing System to Grasp a Motorcycle's Behavior with Sensors as Mounted on a Smartphone," In Proceedings of International Workshop on Informatics (IWIN2012), pp. 115-120, 2012. (Park Hotel Suisse & Spa (Chamonix-Mont Blanc, France)) (2012/09/05) (査読有)

[13] T. Kamimura, T. Kitani and T. Watanabe, "A System to Comprehend a Motorcycle's Behavior Using the Acceleration and Gyro Sensors on a Smartphone," In Proceedings of the 11th International Conference on Global Research and Education (Inter-Academia 2012), pp. 405-414, 2012. (Hotel Ramada Plaza Budapest (Budapest, Hungary)) (2012/08/27)

[14] 神村 吏, 木谷友哉, 渡辺 尚, "スマートフォン搭載センサを使用した二輪車車両挙動把握システムの提案," 情報処理学会 マルチメディア, 分散, 協調とモバイル (DICOM02012) シンポジウム論文集, pp. 1352-1360, 2012. (ホテル百万石 (石川県加賀市)) (2012/07/04)

[15] 木谷友哉, 羽多野裕之, 大西博信, 平尾 駿, "近隣端末との誤差情報の共有による GPS 測位精度向上手法の検討," 情報処理学会研究報告, vol. 2012-ITS-49, no. 2, pp. 1-6, 2012. (首都大学東京 秋葉原サテライトキャンパス (東京都千代田区)) (2012/06/15)

[16] 神村 吏, 木谷友哉, 渡辺 尚, "スマートフォン搭載の加速度センサ, ジャイロセンサを使用した二輪車の挙動収集," 情報処理学会研究報告, vol. 2012-ITS-48, no. 2, pp. 1-8, 2012. (電気通信大学) (2012/03/16)

[17] 神村 吏, 木谷友哉, 渡辺 尚, "二輪車向け車々間通信を実現するためのスマートフォンによる二輪車の車両挙動収集システムの考案," 情報処理学会全国大会講演論文集, vol. 74, no. 3, pp. 3485-3486, 2012. (名古屋工業大学) (2012/03/06)

[18] 木谷友哉, "経路設定情報を利用した車車間メッセージルーティングプロトコルの性能解析," 情報処理学会 マルチメディア, 分散, 協調とモバイル (DICOM02011) シンポジウム論文集, pp. 620-627, 2011. (天橋立宮津ロイヤルホテル (京都府)) (2011/07/06)

〔図書〕 (計 0 件)

〔産業財産権〕 なし

〔その他〕 なし

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

木谷 友哉 (KITANI TOMOYA)  
静岡大学・情報学研究科・准教授  
研究者番号: 40418786

### (2) 研究分担者

なし

### (3) 連携研究者

なし