

令和 5 年 6 月 26 日現在

機関番号：82670

研究種目：若手研究

研究期間：2020～2022

課題番号：20K19826

研究課題名（和文）豪雪寒冷地域を対象としたインテリジェント道路状況監視IoTシステムの研究開発

研究課題名（英文）Research and Development on Intelligent IoT-based System for Road Condition Observation

研究代表者

櫻庭 彬（SAKURABA, Akira）

地方独立行政法人東京都立産業技術研究センター・研究開発本部情報システム技術部IoT技術グループ・副主任  
研究員

研究者番号：20650766

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,200,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、自動車上に搭載し、測距センサにより自動車が走行しながら道路の積雪量を測定する手法を開発した。本研究で開発した手法と連係して機能する近赤外線レーザセンサや力学センサによる定性/定量的な道路気象センシング技術についても開発を行い、いずれもフィールド実験を行い、実用性を検証した。提案手法の実証実験では、本手法のプロトタイプを開発し、若手県内の公道において実車走行実験を行った。現在車上センサデータの解析を行っている。車上解析したデータを車路間通信または車車間通信で配送する手段についてフィールド実験を行ったが、さらなる信頼性と大容量通信が求められることが判明した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

これまで、積雪を対象とする気象センシング技術は定性的なものであったり、路線単位や特定地点での積雪量の表現が困難であった。本手法は、道路の路線単位での積雪量を広範囲に日常業務と並行しながら行うことを可能にする手法である。本手法は、将来的に開発される積雪量推定を実現するための学習データの構築や、よりきめの細かい道路管理への活用、将来的な除排雪作業の自動化の分野に応用できる。

研究成果の概要（英文）：This research work achieved to develop a method for the measurement of snow accumulation on the road surface. The proposed method is based on an onboard range sensor while the vehicle is on the move. We also conducted implementations and evaluation of linkage systems for the road surface weather information with a near-infrared sensor or a 6-DOF dynamics sensor, these systems can realize to evaluate road state information qualitatively or quantitatively. We performed an evaluation of a newly proposed method and two linkage systems in Iwate Prefecture. The analysis and evaluation of the proposed system are now progressing due to COVID-19. Another research of interest in this work was the vehicle-to-everything (V2X) communication system. We evaluated the V2X information exchange system in several situations in the actual field. The result suggested that the communication system is required an efficient large capacity and high reliability for the actual implementation.

研究分野：情報科学

キーワード：ITS センシング

## 1. 研究開始当初の背景

本邦は広範囲な寒冷地域を有しており、豪雪地帯対策特別措置法に基づく豪雪地帯は国土面積のおよそ51%を占めている。寒冷地域において、冬期間に発生する降雪は、交通を阻害し市民生活に多大な影響を与えるため、国や地方公共団体の道路管理者は行政活動として冬期間に道路の除雪作業を行っている。実際の除雪活動は道路管理者自ら行う他に地域の協力会社に出動要請を行うことで行われるが、積雪の発生の覚知の遅れや、不十分な除雪作業によって、道路が積雪により閉塞することにより車両の移動が停滞し、市民生活への影響が発生する。さらに、滞留した積雪は、除雪作業をもってしても道路の幅員減少を発生させ、円滑な交通流の妨げとなる。このような背景から、道路管理者に対しては降雪の早期覚知、積雪による道路の幅員減少地点の把握および除雪作業の技量の定量的評価に資する情報の提供を、市民に対しては現在の除雪や道路の状況を知る手段の提供により、冬期間の円滑な移動の確保に大きく寄与すると考えられる。

申請者は、車上センサとエッジコンピューティングによるリアルタイム道路状況判定システムの研究開発に従事しているが、当該研究に類似する研究はほとんど存在していない。加えて、当該システムにおいても路面状況が積雪ならびに凍結しているかの定性的判定を対象としているが、積雪高や道路幅員については定量的な評価の対象としていない。

これらのことから、現状において、道路行政や市民が道路の積雪および幅員を対象とした路面情報をリアルタイムで取得する手段は存在せず、この手段を実現する技術の開発を学術的に取り組む価値があると考えられた。

## 2. 研究の目的

本研究は、インテリジェント道路監視システムに搭載する積雪・道路幅員検出エンジンの開発と評価実験の実施を目的とする。

LiDARをはじめとした車載センサにより、路面状況の推定や三次元測距を行う手法や製品は存在するが、本提案手法の独自性は、センサ搭載車両が走行中に周辺の路面の積雪等の状況をリアルタイムで解析し、通信により解析結果を瞬時に道路管理者や道路利用者に対して提供可能な状態にする点を一例とすることができる。また、本手法は申請者らが開発中のリアルタイム道路状況判定システムや、機械学習によるセンサ出力判定エンジンと組み合わせることにより、より精度の高い路面状況をリアルタイムに判定することを目的とした機能は、本提案手法のアイディアの他にない。加えて、さらにセンサを追加することにさらに精度向上を主眼とした拡張性を有することも可能な設計としている。

## 3. 研究の方法

最初にプロトタイプを実装する。

本研究における手法では、道路管理者の道路パトロールカーに車上センサを搭載する利用概態を想定している。システムは、図1のように広範囲をスイープ走査可能な広角 Light Detection and Ranging (LiDAR) センサデバイスにより、路面および道路幅員(路側)を測距する。既存手法は、主にセンサ搭載車両の車輪が接している面の路面状況や、車外に設置されたセンサの極めて狭い走査面の出力をもって路面状況を評価しているが、広範囲のセンシングにより、積雪による路面の「わだち」や路側の雪の堆積の容易な検出が可能となる。システムは、センサ車両の走行に応じて、航法衛星の車両の高精細な測位座標とセンサ情報を紐付けることで、路面形状データベースを構築する。路面形状データベースのリファレンス

値は、非積雪時に構築され、後述の積雪量推定の差分演算で使用される。

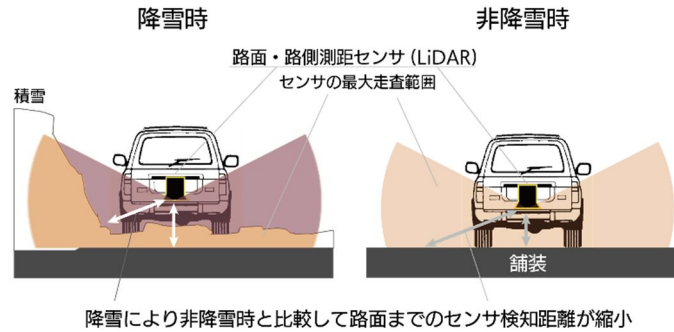


図1 積雪量推定の原理

車上で計算された積雪状況は、図2に示すように、一般車両もしくは路側に設置された中継無線ユニットを通じて他の車両またはクラウドコンピューティングリソース上に構築された総合道路情報サーバ上に配送される。車車間および車路間通信では、異なる特徴を有する複数の無線規格からなるコグニティブ無線システムを使用し、配送するデータの種類や無線通信状況に応じた無線リンクの切替処理を行う。本手法では、長距離通信が可能なLPWAを無線通信の初期情報の交換に使用する一方、第5世代移動体通信ならびに802.11ac/axに代表される高速無線LANリンクにより、既存車載無線システムでは配送困難な大容量3D路面形状データベースを車両から取得可能となる。

他車側に伝達された情報は、他車の運転者に対して積雪による路面状況悪化を警告として提示するのに利用される。一方、無線中継ユニットに伝達された情報は、直接車両間での通信が行われるのと同様に他車に配送され、運転者に警告を発するのに使用されるほか、広範囲な積雪情報の収集として、総合道路情報サーバ上で記録される。

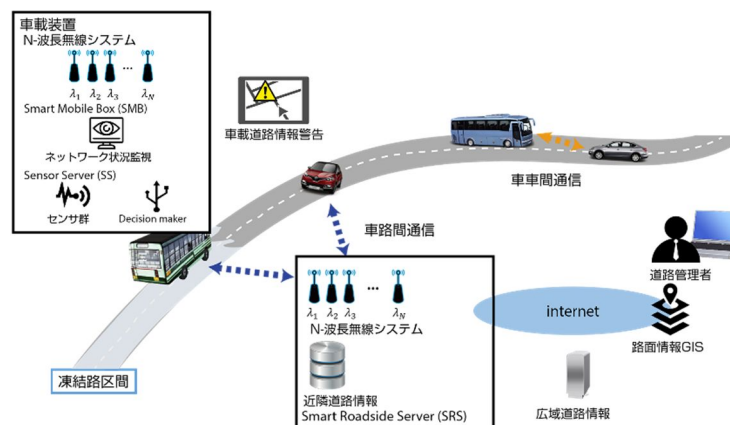


図2. 車載センサシステム，GISならびに車-路間通信および車-車間通信の連携

これらのプロトタイプを実装して、実道路上で自動車を走行させ、車上センシングシステムや車車間・車路間通信の性能評価を行う実証実験を行った。

#### 4. 研究成果

##### 4.1 センシングシステム

最初に、9軸力学センサを使用した冬季道路気象情報の評価を行った。道路の単位時間あたりの凹凸量に相当するラフネス値を算出し、温度、湿度のほか、近赤外線路面センサの出力結果との相関を評価した。評価結果からは、ラフネス値は道路の勾配や車両の操舵の影響が、演算により排除したにもかかわらず影響することが示唆されたほか、ラフネス値はシステムが取得したほかのいずれの要素とも無相関であることがわかった。

また、近赤外線センサによる路面センシングと可視化GISの実装実証では、秋田県北秋田郡

上小阿仁村で運用されている自動運転システムに車上センサシステムを搭載して実験を行った。システムに記録された路面状況情報の判定結果は、実際の道路気象と比較すると99.95%の正解率であった。近赤外線路面センサの出力する路面の摩擦係数値とのポリシリアル相関係数は-0.89と負の相関がある分析結果が得られた。

連係するセンシングシステムでは、国際会議プロシーディングス2報、国内学会・研究会で2報をそれぞれ報告した。

#### 4.2 V2X 通信システム

V2X 通信システムでは、LPWA を制御リンクに、IEEE 802.11ac (Wi-Fi 5)をデータ転送リンクに使用するコグニティブ無線システムを開発し、車車間(V2V)および車路間(V2R)の各シナリオで評価を行った。LPWA はおよそ 1.2 km の通信範囲があり、通信可能な範囲に車両が入ってから出るまでの間、スループットはほぼ一定を維持していた。制御リンクにおいて、V2R では 25-40 KiB、V2V では 11-21 KiB 程度のデータを送信することができる。

データリンクの評価を行い、データリンクは 300 m の通信範囲が実フィールドでも期待できることが判明した。V2R 通信では、道路外の路側通信ユニットの前を車両が通過するシナリオで通信を行った。データリンクは 30 km/h での通過は 16.1 MiB、50 km/h での通過時には 5.8 MiB のデータの配送が可能であった。V2V 通信では、対向車とすれ違いを行うシナリオで通信を行った。このとき、相対速度 60 km/h では平均 141 MiB、相対速度 100 km/h では平均 16.2 MiB のデータを配送できることを確認した。ただし、5 GHz 帯での通信は、植生の影響を大きく受けることがわかった。

また、ファイル単位での配送のほか、路面状況情報の地点データを単位とするプロトコル改良も検討し、各レコードを MQTT のメッセージとして送信するプロトコル改良を行った。結果は、通信途絶があってもデータ全体の欠損が発生しない一方、時間的なオーバーヘッド増大が観測され、屋内での実験でも配送時間が3倍以上に増加し、メッセージ設計に課題が残った。

V2X 通信システム関係では、国際会議プロシーディングス3報で成果発信を行った。

#### 4.3 積雪量センシングシステム

積雪量センシングも他の要素と同様、プロトタイプによる実証を行っている。

190°の広範囲を走査できる測距センサを搭載して、毎秒20回のサンプリングレートで、走査範囲の距離データを取得するセンサシステムプロトタイプを構築した。このプロトタイプでは、車上に搭載した2次元測域センサの測距データと、車両の緯度経度座標、車速、方位角、測位誤差を20Hzのサンプリングレートで記録することができる。車両位置の測位間隔(5Hz)に対して、測域センサの出力間隔(20Hz)の頻度が高いことから、直近の測位座標2点からその中間座標を算出することで測域センサが作動したすべての地点の座標を推定する補完測位を実装した。車上システムプロトタイプは、AMD64 アーキテクチャのシングルボードコンピュータをベースとした Linux システムによりデータ処理を行う。当初、RTK の Rover および Base ノードを構築する予定であったが、通信事業者が提供する商用サービスを使用した。図3はセンサシステムを自動車上に搭載した状況である。



図 2. 積雪センシングシステムプロトタイプの実装

2023年3月に岩手県滝沢市内でデータ取得実験を行い、延べ253kmの走行でおよそ47.3万レコード、7.6 GiBの車両データと、図3に一例を示す車両全周ビデオ映像26.9 GiBを取得した。次いで路面形状データベースの構築を行った。処理対象として抽出した約4km区間をターゲットとして、データベースを構築した。結果、システムが処理した生データは、6プロファイル341 MiBにおよぶ非積雪時の路面形状データを構築することとなった。



図 3. 実験時の道路状況を記録する全周映像の例

COVID-19による移動制限や部品の調達困難、さらに実験車両手配の遅れにより、本報告書の段階では、研究代表者は、このプロファイルを使用して算出した積雪量データの解析・検証作業を行っている。

積雪量センシングシステムは、コンセプトの報告で、国際会議プロシーディングス1報、国内研究会1報をそれぞれ報告した。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計12件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 10件）

1. 発表者名 Akira Sakuraba, Yoshitaka Shibata, Mamoru Ohara
2. 発表標題 Proposal of Vehicular Real-time Sensing Method for Amount of Snow Accumulation on the Road
3. 学会等名 The 16th International Conference on Broadband and Wireless Computing, Communication and Applications (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Akira Sakuraba, Yoshitaka Shibata, Mamoru Ohara
2. 発表標題 An Implementation of V2R Data Delivery Method based on MQTT for Road Safety Application
3. 学会等名 The 36th International Conference on Advanced Information Networking and Applications (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 櫻庭彬, 佐藤剛至, 内田法彦, 柴田義孝
2. 発表標題 非接触センサによる積雪量を対象とした走行間路面状況センシングシステムの検討
3. 学会等名 2020年度電気関係学会東北支部連合大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 櫻庭彬, 斎藤義仰, 羽倉淳, 新井義和, 柴田義孝
2. 発表標題 車載環境センサによる路面状況センシングデータの解析
3. 学会等名 IEICE2021年総合大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Akira Sakuraba, Yoshia Saito, Jun Hakura, Yoshikazu Arai, Yoshitaka Shibata
2. 発表標題 Analysis for Real-time Contactless Road Roughness Estimation System with Onboard Dynamics Sensor
3. 学会等名 The 9-th International Conference on Emerging Internet, Data and Web Technologies (EIDWT-2021) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yoshitaka Shibata, Akira Sakuraba
2. 発表標題 Decision Analysis of Winter Road Conditions by Crowd Sensing Platform
3. 学会等名 EIDWT-2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yoshitaka Shibata, Akira Sakuraba, Yoshikazu Arai, Noriki Uchida, Goshi Sato
2. 発表標題 Predicted Viewer System of Road State based on Crowd IoT Sensing toward Autonomous EV Driving
3. 学会等名 The 23-rd International Conference on Network-Based Information Systems (NBIS-2020) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Akira Sakuraba, Goshi Sato, Noriki Uchida, Yoshitaka Shibata
2. 発表標題 Field Experiment on Cognitive Wireless V2X Communication over High-speed WLAN
3. 学会等名 The 23-rd International Conference on Network-Based Information Systems (NBIS-2020) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Yoshitaka Shibata, Akira Sakuraba
2. 発表標題 Basic Consideration of Video Applications System for Tourists based on Autonomous Driving Road Information Platform in Snow Country
3. 学会等名 15-th International Conference on P2P, Parallel, Grid, Cloud and Internet Computing (3PGCIC-2020) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Akira Sakuraba, Goshi Sato, Noriki Uchida, Yoshitaka Shibata
2. 発表標題 Performance Evaluation of Improved V2X Wireless Communication Based on Gigabit WLAN
3. 学会等名 The 15-th International Conference on Broadband and Wireless Computing, Communication and Applications (BWCCA-2020) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Akira Sakuraba, Goshi Sato, Yoshia Saito, Jun Hakura, Yoshikazu Arai, Yoshitaka Shibata
2. 発表標題 Social Experiment of Road Sensing on Guided Autonomous driving Vehicle in Snowy Cold Region
3. 学会等名 The 35-th International Conference on Advanced Information Networking and Applications (AINA-2021) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yoshitaka Shibata, Akira Sakuraba, Goshi Sato, Yoshia Saito, Yoshikazu Arai, Jun Hakura
2. 発表標題 Mobile Sensing Data Analysis for Road State Decision in a Snow Country
3. 学会等名 The 35-th International Conference on Advanced Information Networking and Applications (AINA-2021) (国際学会)
4. 発表年 2021年



〔図書〕 計0件

〔出願〕 計1件

産業財産権の名称 道路状況情報提供システム	発明者 柴田義孝, 櫻庭彬	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、特願2021-080444	出願年 2021年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計0件

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------