

「多様な車載センサによる路面状態推定技術を利用した 車載型道路状況収集転送システムの実用化研究」

研究代表者 柴田義孝 (ソフトウェア情報学部、教授)、
研究参加者 滝口清昭 (東京大学生産技術研究所、特任准教授)、内田法彦 (埼玉工業大学社会情報学部、准教授)、平川 剛 (i-MOS 研究センター招聘研究員、ネットワーク応用研究所)、佐藤剛至 (本学大学院博士後期課程学生)、伊藤健太 (本学大学院博士後期課程学生)

本研究では、寒冷地域の路面凍結や積雪による交通問題に対応するため、多様な車載センシング技術と全方位映像転送システムを組み合わせ、Radio on Demand 機能により外部より起動 / 停止および通信制御を可能とし、通常時は準静電界センサや各種センサ (GIS、赤外線温度センサ等) および小型軽量の 360 度全方位映像カメラを複数の車両に搭載運行させることにより、多様な道路状況 (路面の凍結・積雪・風雨状況等) を車載センササーバに収集し、これらを 3G/LTE、Wi-MAX、無線 LAN から成るコグニティブ無線によりデータセンターに送信し、利用者がスマートフォンやタブレット端末から、Web-GIS 機能により道路状況をリアルタイムに監視しドライバーへの様々なレベルでの注意喚起を行うことにより交通事故を抑制する手法による車載型道路状況収集転送システムを開発する。また中山間地域や災害時の通信途絶環境を考慮し、センサデータや全方位映像による被災地状況を Delay Tolerant Network(DTN) 機能により、通信不能時は車載サーバに自動的に蓄積し、通信可能状態においては自動的にデータセンターに転送できるシステムの開発と実用化の研究を行う。

1 研究の概要

近年、道路環境のめざましい発展を遂げた東北地方では自動車の利用が増加している。また、冬期は路面凍結や積雪などによって、徒歩や自転車・バイクによる移動が困難となり、自動車交通への依存度が上昇する。一方で、凍結路面に対しても強いグリップ力を持つスパイクタイヤが禁止され、代替としてスタッドレスタイヤの普及が見られるものの、凍結・積雪路面は非常に滑りやすい状況となっている。このような社会的状況の変化に伴い増加している路面凍結による交通事故への対策が急務となっている。

路面凍結による事故は十数年以上も前から問題視されはじめ、様々な手法による改善が各所で試みられている。そのひとつであるロードヒーティングは直接的解決の手法でかつ有効な手段でもあるが、高額な初期導入費用及び維持コストが必要となるため、広域での普及には至っていない。また、自然熱源を利用する場合には、その資源の枯渇や環境問題を引き起こす副作用が問題視されており、対策として太陽熱や地熱・風力などを利用する試みもなされているが、そのような設備は建設コストが高く、実用には至っていない。最近では電熱線やヒートパイプにかわる技術として、柔軟性と耐摩耗性を兼ね備えた舗装用ゴム素材が開発され、路面凍結防止策として使われ始めているが、(電熱

線等に比べると費用が安いとは言え) コストが大きいこともあり、適用先は歩道に限られ、車両が走行する公道での普及は進んでいない。

以上のような背景に基づき、本研究開発では発想の転換をし、凍結や積雪に伴う事故や渋滞等の交通問題を、路面状態を周辺環境に依らず正確に把握し、多くの車から、各種センサ情報をリアルタイムに収集することにより、ドライバーへの様々なレベルでの注意喚起を行うことにより交通事故を抑制する手法による車載型道路状況収集転送システムを開発し、実用化することを目的としている。従来手法と比較して正確かつ大規模な路面情報収集が可能となるため、一般車両の交通事故防止はもちろん、官公庁の緊急車両 (救急車・消防車等) や地域住民の足であるバス・タクシーなどの業務利用への適用も可能とし、地域の安全に貢献することを目的とする。

2 研究の内容

本研究開発全体においては、次の 3 つのサブテーマについて実施した。

2.1 準電界センサと路面状態推定アルゴリズムの構築

タイヤと路面間の準静電界センシングを可能とするセンサの設計、および、センサ測定値か

ら得た波形の特徴抽出を行い、路面状況を推定するアルゴリズムの基礎を構築する。平成26年度は乾燥路、湿潤路、凍結路について既存技術をもとに実測データを蓄積する。各路面の変化を15dB以上の電圧比として得ることを目標とする。(既に達成している乾燥路と湿潤路の識別15dB以上を凍結路の識別にも適用する)。また、電圧比による識別のほかに、データ波形の特徴抽出を行い、最終的に各路面の識別率80%以上を目標とする。

2.2 センサデータ収集・車車間通信による情報共有

センサデータの収集・情報共有においては、図1に示すように、複数の多様なセンサデータを、plug and play機能により、統一したデータフォーマットで取得、および、収集するシステムを構築する。収集したデータは60m圏内の近隣の車同士で、車車間通信によって0.5Mbps以上の速度でリアルタイムに共有することが可能であることを確認する。

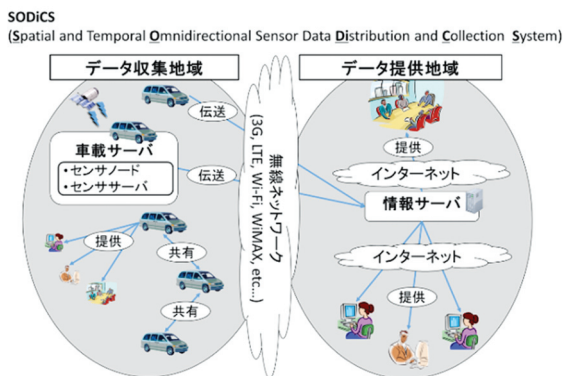


図1：システム構成の概要図

2.3 センサネットワークから情報を取得しドライバー通知するアプリケーションの開発

複数のセンサを搭載した車両に車載サーバを搭載し、各車両が自身の車載サーバに時空間的に走行路の路面凍結状態を蓄積する。それらの情報は、車載サーバ同士が車車間通信を行うことで、各車両のドライバーが必要とする「時間」ならびに「空間」において共有することができる。以上のシステムに基づいて、スマート端末を用いて共有した路面状況を用いてドライバーに直接、あるいは地図上に表示することにより間接的に注意喚起を行うアプリケーションを試作する。

3 これまで得られた研究の成果

本研究の成果をそれぞれの3つのサブテーマごとに説明する。

3.1 準静電界センサと路面状態推定アルゴリズムの構築

既存の準静電界センサを利用した路面状態センシング環境を構築し、乾燥路、湿潤路、積雪路および凍結路の各路面状態の実測を可能とした。この結果、凍結路に対する各路面状態の電圧の平均値の比について、乾燥路では52.6dB、湿潤路では65.6dB、積雪路では73.5dBの結果を基礎データから得ることができ、目標とする15dB以上の数値を達成した。また図2に示すように、乾燥路、湿潤路、積雪路のそれぞれの路面間で、統計的仮説検定のひとつであるt検定を実施し、各路面間の差異が99%以上有意であることが確認できた。これにより識別率80%以上としたもう一つの数値目標を達成した。以上の実験結果より、準静電界センシングによる路面状態推定技術を利用することで、積雪または凍結時の路面状態推定の可能性を示すことができた。

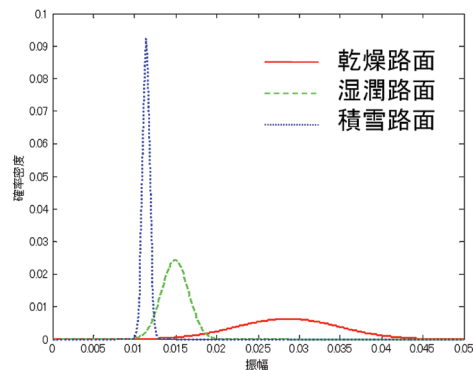


図2：各路面における確率密度

3.2 センサデータ収集・車車間通信による情報共有

本システムの概要は、図1に示すように、複数のセンササーバ、車載サーバおよび情報サーバから構成される。センササーバは路面状況を監視する準静電界センサを中心に、加速度センサ、速度センサ、GPSセンサ、画像カメラからの多様なセンサデータを、plug and play機能により、統一したデータフォーマットで取得、および、収集可能とする。また、車載サーバはこれらのセンサデータを時空間系列で蓄積する。蓄積されたセンサデータは、安定したInternet接続が可能ならば情報サーバへデータを送信し、そうでない場合はDelay Tolerant Network (DTN) プロトコルによりデータを蓄積し続け、ネットワーク接続が可能になった領域に到達した時に自動的に情報サーバへデータを送信する。情報サーバは、ウェブアプリケーションとしてInternetユーザに情報を提供する。また、近隣の車同士で道路状況をリアルタイムに共有するため車車間通信を可能と

する。車車間通信においては、すべてのセンサデータを交換するのではなく、特に重要な路面凍結状況、積雪情報に関するセンサーデータを共有する。車車間通信プロトコルとしては、Dedicated Short Range Communications (DSRC) や IEEE 802.11p などが物理層の標準化が進められているが、まだ最終段階に無く製品が出ていない。そこで、本研究では無線ネットワークの物理層および MAC 層プロトコルとしては、IEEE802.11g を使用し、その上に論理層として IEEE802.11p とほぼ同等のデータ転送フローを有するプロトコルを設計し、Socket ベースの車車間通信プロトコルを実装し、プロトタイプを作成して実験を行った。

3.2.1 車両間通信の処理フロー

現在の実装におけるデータ送信の際の車両間通信の処理フローを図3に示す。受信側サーバはサーバソケットを生成し、送信側サーバからのソケット接続を待ち受ける。送信側サーバは isReachable() メソッドを用い受信側サーバ IP アドレスに到達可能かどうかを判断する。到達可能と判断されたら、新たにデータ転送用のソケットを生成する。送信側サーバはデータが格納されているディレクトリからデータファイル名を取得し、配列に格納、昇順にソートする。この処理が終わったら、送信側サーバはソケットを生成し受信側サーバへ接続要求をする。受信側サーバは送信側サーバのソケット接続要求を受け付け、入出力ストリームを生成する。送信側サーバはソケット接続要求が受け付けられたら、入出力ストリームを生成し、データファイルをバイトデータに変換し、ソケット通信によるデータ送信を行う。データファイルを送信し終わったら、ストリームとソケットを閉じる。送信側サーバはソケット接続要求からストリームと転送用ソケットを閉じるまでの処理を対象のデータファイルが存在する間繰り返す。受信側サーバは送信されたデータを受信し、バイトデータをデータファイルに変換し、ストリームとソケットを閉じる。受信側サーバはソケット接続待受からストリームとソケットを閉

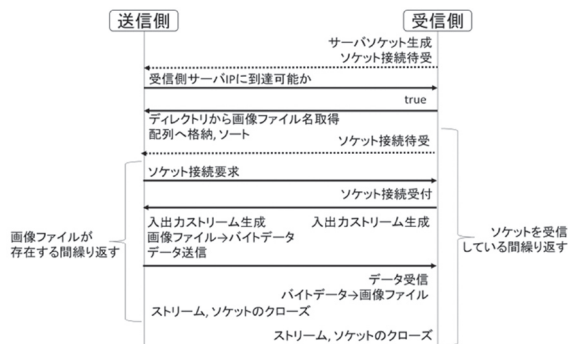


図3：車両間通信の処理フロー図

じるまでの処理を、ソケットを受信している間繰り返す。

3.2.2 プロトタイプシステム

本システムの目標に対してどの程度達成しているかを評価するため、図4のようにプロトタイプを構成し、性能評価を行った。プロトタイプシステムは、車載サーバ、情報サーバ共に OS を Ubuntu 環境で構成し、各種センサからのデータを、センサの種別により判別しデータベースに格納する部分にこれまで開発した CoMoSe プラットフォームを利用した。

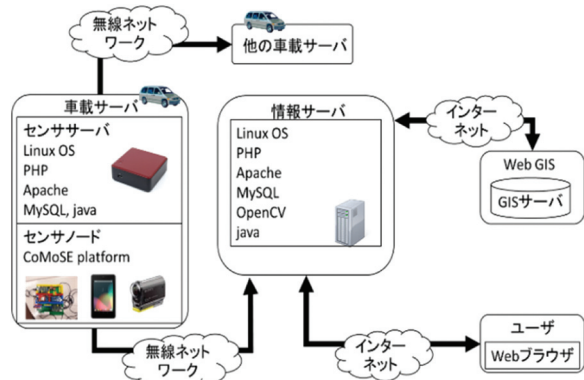


図4：プロトタイプシステム図

3.2.3 車両間通信実験

本システムの定量的な評価を行うため、シナリオに基づいた車車間通信時の通信品質を測定する。ある目的地に向かって、その道のりの道路状況を知りたい車両 A と、A の目的地の方からセンサデータを収集しながら A に接近する車両 B を想定する。A は目的地に向かう途中にコンビニ等の駐車場で休憩しており、B が同じ駐車場に停車するか駐車場の付近を横切る際に、A にセンサデータを送信する。

実験には上記のプロトタイプを使用する。送信側の通信部分には外付け WLAN 子機を使用し、受信側の内蔵 WLAN からなるアクセスポイントへ接続する。通信規格は IEEE802.11g を使用する。また、実験に使用するパラメータを表1に示す。

画像サイズ	640*360ピクセル
データファイルサイズ	30KB~40KB
画像取得間隔	1fps
測定距離	0m~70m
測定速度	0km/h~40km/h
送信バッファサイズ	64KB

表1：実験に使用するパラメータ

実験として、車車間距離を変化させ、送信側は移動し受信側が停止した状態でのデータファイル送信を行い、ping、iperfによる測定を行った。測定結果を図5に示す。横軸は車車間距離で、縦軸は実際転送出来たトータルのデータファイル量とスループット(帯域)を示している。この結果からわかるように、30m付近まではスループット(帯域)が10Mbps以上でトータル75KB程度のデータ送信することが出来ている。その後はパケットロスが発生しスループットは減少するが70mまで通信可能で、トータル30KBのデータサイズをスループット(帯域)1~4Mbpsで転送可能であることを確認できた。

以上の結果より、目標の通信可能距離60m圏内に達してからデータの送受信(0.5Mbps)以上を達成することが出来た。

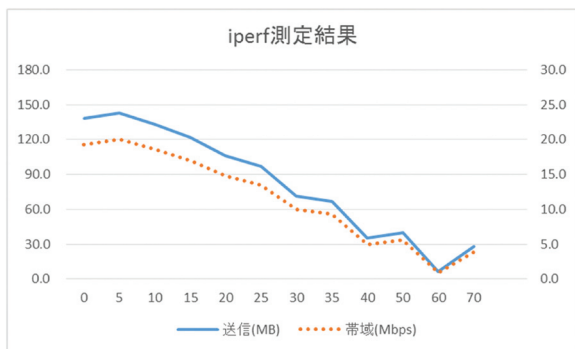


図5：iperfにおける帯域測定

3.3 センサネットワークから情報を取得しライバー通知するアプリケーションの開発

本システムは複数のセンサを搭載した車両に車載サーバを搭載し、車載サーバに時空間的にセンサデータを蓄積することで、各車両が走行路の路面凍結状態を蓄積し、車載サーバ同士が車車間通信を行うことで、各車両のドライバーが必要とする「時間」ならびに「空間」(以下、注目領域)における路面状況を共有する。また、スマート端末を用いて共有した路面状況を用いてドライバーに直接、あるいは地図上に表示して間接的に注意喚起を行う。

本システムは、図6に示す以下の機器で構成



図6：機器構成図

する。

3.3.1 ソフトウェア構成

本研究開発では、2.1節に挙げるようにCoMoSEプラットフォームのPnP機能を用いて、WiFi接続によるセンサ群と車載サーバ間のデータ収集ソフトウェアを構成する。また、2.2.3節に後述するスマート端末アプリケーションは、CoMoSEのデータ取得APIであるRESTならびにmemcacheを用いることで必要なセンサ情報を取得し、PhoneGapを用いることで直接及びGISによる注意喚起UIを実現した。

3.3.2 テキストベースでの車車間センサデータ授受

3.2.3.節にて車載サーバ間におけるデータ送受信(0.5Mbps)の目標値達成を確認したが、本サブテーマでは、車車間通信により必要とされる注目領域のデータの授受が行えるかを検証し、すれ違い通信に対応可能な時間内での通信完了を確認した。

3.3.3 注目領域情報の通達方式

検索側車載サーバ(以下、検索側)は、搭乗者のスマート端末上のアプリケーションから時空間的な「注目領域」を事前に取得する。検索側は、PnPを用いて他車の車載サーバ(以下、供給側)を発見次第、供給側に対してREST形式のクエリをリクエストすることで注目領域を伝達する。検索側は受信したクエリ結果をローカルに蓄積し、検索側自身が取得したセンサデータと同等に扱うことで路面状況をドライバーに通知することができる。

3.3.4 実験結果

車載サーバ機能を搭載したPC-Linux機二台を用いて、注目領域の1,000件のテキスト化されたセンサデータの授受にかかる時間を計測した。本実験ではサーバ間は1,000Mbpsの有線接続を用いたが、無線による車車間通信を想定してtcコマンドにより帯域幅を変更して計測を行った。図7に実験結果を示す。帯域幅

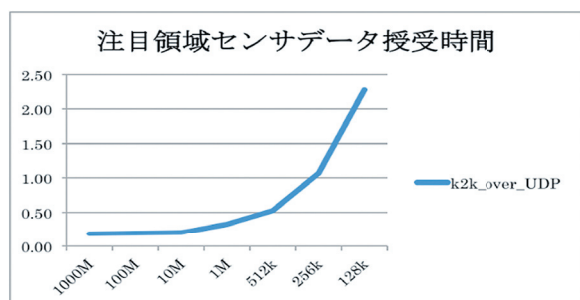


図7：実験結果

128kbpsをのぞいて2秒以内でデータ授受が完了しており、本研究が目標とする0.5Mbpsの帯域幅の場合1,000件のセンサデータ授受を0.53秒で完了可能であることを確認し、すれ違い通信にも対応可能との示唆を得た。

4 今後の具体的な展開

準静電界センシング技術において凍結路と他の路面状態との走行中における識別率80%以上を達成する。前年度データをもとに路面状態推定アルゴリズムを構築する。準静電界センサのネットワークシステムへの統合と路面状態推定アルゴリズムの実装を行い、実証実験によってアルゴリズムの検証、改良を加えて平成28年度内に数値目標を達成することを掲げ、実用化への検討を行う。

センサデータ収集・車車間通信による情報共有においては、最大通信距離を200m、平均実行スループットを10Mbps以上、およびセンサデータパケット紛失率として 10^{-3} を達成する。また、センサデータ収集機能の改良と安定性の向上を図り、12時間程度の安定動作を確認し、実用化に備える。平成27年度でコグニティブ無線用に指向性ソフトアンテナ導入することにより、最大通信距離および平均実行スループットを向上させることが出来る。さらに劣悪通信環境(中山間地や沿岸部のように通信が不安定領域)への対応を可能とするため、Delay Tolerant Network(DTN)プロトコルを導入し、通信が不能領域では自動的に車載サーバに蓄積し、通信が可能領域に入っている場合に、自動的に通信を可能とするプロトコルを開発することにより、センサデータパケット紛失率を大幅に改善していく。

センサネットワークから情報を取得しライバー通知するアプリケーションの開発においては、予め注目領域を車載サーバに登録する機能や注意喚起表示機能のプロトタイプ実装を行い、ドライバー通知アプリケーションのプロトタイプ完成を目標とする。また、H26年度は有線接続による模擬的な検証を行ったが、H27年度はサブテーマ2で開発した車々間通信を部分的に導入し、無線による車々間通信により、車載サーバからのデータ取得機能、注目領域を車載サーバに登録する機能、GIS情報表示機能、注意喚起表示機能を実現し、実車を用いて実証実験を実施する。

5 論文・学会発表等の実績

- 1) Noriki Uchida, "Evaluation of Vehicle-to-Vehicle Communication with Delay Tolerant Networks for Safety Surveillance System", The 29th IEEE Interna-

tional Conference on Advanced Information Networking and Applications Workshops (WAINA-2015), Gwangju, Korea, March 25 - 27, 2015. (査読有り)

- 2) Kenta Ito, Go Hirakawa, Yoshikazu Arai, Yoshitaka Shibata, "A Road Condition Monitoring System Using Various Sensor Data in Challenged Communication Network Environment," IEEE International Workshop on Disaster and Emergency Network Systems (IWDENS2015), Gwangju, Korea, March 25, 2015. (査読有り)
- 3) Yosuke Kikuchi, Go Hirakawa, Noriki Uchida, Yoshikazu Arai, Yoshitaka Shibata "Mobile Cloud Computing for Distributed Disaster Information System in Challenged Communication Environment," IEEE International Workshop on Disaster and Emergency Network Systems (IWDENS2015), Gwangju, Korea, March 25, 2015. (査読有り)
- 4) Motoo Ino, Koji Hashimoto, Yoshitaka Shibata, "An Adaptive Video Quality Control Method in Wireless Network Environment", The 29th IEEE International Conference on Advanced Information Networking and Applications (AINA2015), Gwangju, Korea, March 25, 2015. (査読有り)
- 5) Go Hirakawa, Noriki Uchida, Yoshikazu Arai, Yoshitaka Shibata, "Application of DTN to the Vehicle Sensor Platform CoMoSE," The 29th IEEE International Conference on Advanced Information Networking and Applications Workshops (WAINA-2015), Gwangju, Korea, March 25 - 27, 2015. (査読有り)
- 6) Kenta Ito, Go Hirakawa, Yoshikazu Arai, Yoshitaka Shibata, "A Road Condition Monitoring System Using Various Sensor Data in Vehicle-to-Vehicle Communication Environment", Int. J. Signal and Imaging Systems Engineering, (Accepted) 2015. (査読有り)
- 7) 伊藤健太、柴田義孝、"多様な通信環境における車車間通信を用いた道路状況共有システム"、情報処理学会第162回 DPS研究会(東京都小金井市)、2015年3月5日。(査読無し)
- 8) 伊藤健太、柴田義孝、平川剛、"劣悪な通信環境における多様なセンサデータを利

用した道路状況監視システム”、情報処理学会第77回全国大会(京都府京都市)、2015年3月17日。(査読無し)

- 9) 菊池瑤介、柴田義孝、“大規模災害を考慮したモバイルクラウド型災害情報共有システム”、情報処理学会 DPS 研究会第162回 DPS 研究会(東京都小金井市)、2015年3月5日。(査読無し)
- 10) 平川剛、伊藤健太、柴田義孝、“CoMoSeプラットフォームを用いた路車間通信の実現”、B-18-35, 2015年電子情報通信学会総合大会、滋賀県草津市、2015年3月11日。(査読無し)
- 11) 内田法彦、“ユーザポリシーを用いた耐遅延性ネットワークと災害への応用”、埼玉工業大学若手研究フォーラム2014、埼玉県深谷市、2014年7月12日。

6 受賞・特許

- 1) Kenta Ito, The Best Paper Award at the IEEE International Workshop on Disaster and Emergency Network Systems (IWDENS2015), “A Road Condition Monitoring System Using Various Sensor Data in Challenged Communication Network Environment,”、March 26, 2015.

7 参考文献

- [1] Ntareme, H. and Domancich, S. (2013) ‘Security and performance aspects of Bytewalla: A Delay Tolerant Network on smartphones’, First International Workshop on Wireless Communication and Networking Technologies for Rural Enrichment, pp. 449-454, 2013.
- [2] Wang, C. Zhao, B. Peng, W. Wu, C. and Gong, Z. “Routing Algorithm based on Ant Colony Optimization for DTN Congestion Control”, 15th International Conference on Network-Based Information Systems (NBiS), pp. 715-720, 2012.
- [3] Yin, X. Ma, X. Trivedi, K.S. and Vinel, A. “Performance and Reliability Evaluation of BSM Broadcasting in DSRC with Multi-Channel Schemes”, IEEE Transactions on Computers, Vol. 63, No. 12, pp. 3101-3113, 2014.
- [4] Serageldin, A. and Krings, A. “The Impact of Dissimilarity and Redundancy on the Reliability of DSRC Safety Applications”, 28th International Conference on Advanced Information Networking and Applications Workshops (WAINA), pp. 417-424, 2014.
- [5] Huang, C.M. and Lin, S.Y. “An Advanced Vehicle Collision Warning Algorithm over the DSRC Communication Environment: An Advanced Vehicle Collision Warning Algorithm”, 27th International Conference on Advanced Information Networking and Applications (AINA), pp. 696-702, 2013.
- [6] Hirakawa, G. Kywe, P.P. Ito, K. and Shibata, Y. “Application of Automotive Sensor Information Server Platform to Ubiquitous Sensing System”, 17th International Conference on Network-Based Information Systems (NBiS2014), pp. 461-464, 2014.
- [7] Hirakawa, G. Kywe, P.P. Ito, K. and Shibata, Y. “Road-to-Vehicle Communication Using CoMoSE for Road Surface Freezing Information System”, 9th International conference on Complex, Intelligent, and Software Intensive Systems (CISIS2015), 2015.
- [8] Takiguchi Laboratory, <http://www.takiguchilab.iis.u-tokyo.ac.jp/>
- [9] Ito, S. Sodeyama, H. and Takiguchi, K. “Failure Analysis of Semiconductor Device using Nano Electro-static Field Probe Sensor (NEPS)”, ISTFA 2011 International Symposium for Testing and Failure Analysis Venue, pp. 387-392, 2011.
- [10] Ito, S. Takiguchi, K. Sodeyama, H. and Matsumoto, T. “Failure Analysis Method of Using Laser Nano Electrostatic Field Probe Sensor (L-NEPS)”, Proceeding of 18th IPFA, pp. 172-176, 2014.
- [11] Sun, X.G. Sun, X.L. Yang, Q.G. and Ma, S.N. “Application of Wireless Sensor Networks in Post- Disaster Road Monitoring System”, 4th International Conference on Intelligent Networks and Intelligent Systems, pp 105-108, 2011.
- [12] Chen, K. Lu, M. Fan, X. Wei, M. and Wu, J. “Road Condition Monitoring Using On-board Three-axis Accelerometer and GPS Sensor”, 6th International ICST Conference on Communications and Networking in China (CHINACOM), pp. 1032-1037, 2011.
- [13] Avik Ghose, Provat Biswas, Chirabrata

- Bhaumik, Monika Sharma, Arpan Pal, and Abhinav Jha, "Road Condition Monitoring and Alert Application Using In-Vehicle Smartphone as Internet-Connected Sensor", PerCom Demos, Lugano, pp 489-491, 2012.
- [14] Akabane, A.T. Villas, L.A. and Madeira, E.R.M, "GTO: A Broadcast Protocol for Highway Environments over Diverse Traffic Conditions", 13th International Symposium on Network Computing and Applications, pp 37-40, 2014.
- [15] Qureshi, M.A. and Noor, R.M, "Towards Improving Vehicular Communication in Modern Vehicular Environment", 11th International Conference on Frontiers of Information Technology, pp 177-182, 2013.
- [16] Correa, C. Ueyama, J. Meneguette, R.I. and Villas, L.A. (2014) 'VANets: An Exploratory Evaluation in Vehicular Ad hoc Network For Urban Environment', 13th International Symposium on Network Computing and Applications, pp 45-49, 2014.
- [17] Rawat, D.B. Bista, B.B. Yan, G. and Olariu, S. "Vehicle-to-Vehicle Connectivity and Communication Framework for Vehicular Ad-Hoc Networks", 8th International Conference on Complex, Intelligent and Software Intensive Systems, pp 44-49, 2014.
- [18] Ishikawa, S. Honda, T. Ikeda, M. and Barolli, L. "Performance Analysis of Vehicular DTN Routing under Urban Environment", 8th International Conference on Complex, Intelligent and Software Intensive Systems, pp 50-53, 2014.