路面状態情報共有のための車載型・路肩型通信システム

伊藤 健太[1,a)]　平川 剛[2,b)]　柴田 義孝[2,c)]

概要：本稿では，路面状態情報共有のための車載型・路肩型通信システムについて提案する．運転手が路面状態を事前に把握することは，天候不良や路面状態不良による交通事故や交通障害を防ぐために必要であり，運転手に路面状態を注意喚起することが天候不良や路面状態不良が原因となる運転ミスを減らすために必要であると考える．また，車両向けのセンシング技術は発展してきているが，自身の情報のみでは路面状態の先読みをすることは難しい．よって，他者からの情報収集や他者への情報伝達が必要であると考える．近年の ITS や IoT に対する注目や技術発展により，車載センサによるセンシング技術や，車車間通信や車路間通信，路車間通信などを用いた研究可能性が広がっている．これらより，本研究では，路面状態情報共有のための車載型・路肩型通信システムを構築する．本稿では，主にシステムの概要について述べる．

1. はじめに

天候不良や路面状態不良に起因する交通事故や交通障害がしばしば問題となっている．天候や路面状態は季節や時間帯によって多様である．天候不良や路面状態不良が交通事故や交通障害に直結する場合もあれば，これらが原因となって運転ミスを誘発する場合もある．また，天候のみを用いて路面状態を想定することは難しい．例えば，天候が小雨であっても，ある場所では路面が滑りやすくなっており，それが事故につながったり，冬季に雪や氷の溶け残りが原因となって事故が起こったりするなど，様々な状況が考えられる．また，天候不良や路面状態不良はいつでも，誰にでも起こりうる．天候や路面状態は変えようがないことであるため，知ることをサポートするために，運転手が路面状態を事前に把握することがそれに起因する交通事故や交通障害を回避するために必要であると考える．また，運転ミスは変えようがあることであるため，気づくことをサポートするために，運転手に路面状態を注意喚起することが運転ミスに起因する交通事故や交通障害を減らすために必要であると考える．

近年，スマート端末のセンサ情報や CAN(Controller Area Network) に接続可能なデータロガー，環境センサ，ウェアラブルカメラなど，多彩なデバイスやセンサによる情報収集が可能となっている．これらを用いることにより，主に運転終了後に振り返りをすることが出来る．しかし，自身の情報だけでは目的地までの道程の天候や路面状態を先読みすることは難しい．目的地の方から向かってくる対向車が目的地までの道程の天候や路面状態を保持していると考えられる．よって，他者からの情報収集や他者への情報伝達が必要であると考える．また，多彩なデバイスやセンサによって取得できるデータ，例えば温度や湿度，加速度などは，スマート端末等を通してそのままの値を見られることが多い．それぞれの値に意味はあるが，天候や路面状態を表現したいと考えたときに，多彩なデバイスやセンサによって収集できるそのままのデータを寄せ集めただけでは，天候や路面状態を表現することは難しいと考える．よって，収集されたデータに対して様々なフィルタリングや解析，組み合わせを行うことによって天候や路面状態を表現することが必要であると考える．

カーナビゲーションシステムやスマート端末向けのナビゲーションアプリの普及により，走行中であっても様々な情報を得ることが可能となった．しかし，走行中にそれらを操作したり画面を注視したりすることは道路交通法違反にあたり，また，運転に注意が向かず交通事故を起こしてしまうという状況も存在する．交通事故や交通障害を回避するために必要な情報を得ることは重要である．よって，停車中，停止中，走行中など様々な状況において運転者への通知方法を考慮し，適切な注意喚起を行うことが必要であると考える．

本研究では，以下に基づいて，路面状態情報共有のため

[1] 岩手県立大学大学院
Graduate school of Iwate Prefectural University, 152-52 Sugo, Takizawa, Iwate 020-0693, Japan
[2] 岩手県立大学
Iwate Prefectural University, 152-52 Sugo, Takizawa, Iwate 020-0693, Japan
[a)] g236n001@s.iwate-pu.ac.jp
[b)] hirakawa@nalab.jp
[c)] shibata@iwate-pu.ac.jp

©2016 Information Processing Society of Japan

の車載型・路肩型通信システムを構築する．

- 天候や路面状態に起因する交通事故や交通障害を回避するため，運転手が路面状態を事前に把握すること
- 運転ミスに起因する交通事故や交通障害を減らすため，運転手に路面状態を注意喚起すること
- 天候や路面状態を先読みするため，他者からの情報収集や他者への情報伝達を可能とすること
- 多彩なデバイスやセンサによって収集されたデータに対して様々なフィルタリングや解析，組み合わせを行うことによって天候や路面状態を表現すること
- 停止中，走行中など様々な状況を考慮した運転者への適切な注意喚起を行うこと

2. 関連技術・研究

車両間での情報収集や情報伝達を可能とする，ITS(Intelligent Transport System: 高度道路交通システム)[1] や IoT(Internet of Things: モノのインターネット)[2] など，情報通信技術が広がっている．ITS は人と道路，自動車の間で情報の送受信を行い，道路交通が抱える事故や渋滞，環境対策など様々な課題を解決するためのシステムとして考えられている．IoT はコンピュータなどの情報・通信機器だけでなく，世の中に存在する様々な物体 (モノ) に通信機能を持たせ，インターネットに接続したり相互に通信したりすることにより，自動認識や自動制御，遠隔計測などを行う．現在，IoT だけではなく IoE(Internet of Everything) という言葉も注目されており，様々なモノがインターネットに接続可能であり，様々なモノの間でネットワークを構築可能になった．

ITS と IoT, IoE の考え方を取り込んだ技術として，コネクテッドカー [3] に対する注目が集まっている．コネクテッドカーは ICT 端末としての機能を有する車両のことであり，車両の状態や周囲の道路状況などの様々なデータをセンサにより取得し，ネットワークを介して収集，分析することで，新たな価値を生み出すことが期待されている．以下の要因がコネクテッドカーへの注目につながっている．

- 無線通信の高速・大容量化
- 車載情報通信端末の低廉化・スマートフォン等による代替化
- ビッグデータの流通の大幅な増加

車車間通信や車路間通信について，シミュレータ上での実験や実環境での実験において，様々な無線通信技術が用いられている．[4] では，車両ネットワーク，主に車車間通信におけるメッセージ転送の成功のために，接続設定時間，メッセージサイズ，転送範囲と相対速度の影響を Wi-Fi や ZigBee に対応するシミュレーション結果により分析している．シミュレータ上では，筆者らが提案するアルゴリズムを用いることによって，ZigBee では相対速度が速い場合でも，Wi-FI は時速 90 マイルで，Bluetooth は時速 10 マイルでそれぞれ情報交換に使用できる．[5] では，IEEE802.15.4 を用いた車車間通信のための応用的なソリューションを提供している．Receiver Input Power, Packet Error Rate, 通信範囲について実験データに基づいて評価を行っている．実際の道路で静的，動的実験を行い，通信範囲について，静的実験では 350m, 時速 70km での動的実験では 300m となっている．[6] では，車両の位置や状態についての情報を収集，変換，送信する車両監視のためのシステムが提案されている．路肩ユニットと車載ユニットには IEEE802.11p と 3G を搭載したデバイスを使用している．VANET のリンク品質が低いか，VANET 接続がない場合に 3G を使う．実環境での実験より，IEEE802.11p のみを用いた場合，200m までパケットロス率が低かった．[7] では，独自開発による 920MHz 帯高出力無線システムを用いて，920MHz 帯無線の伝搬性能特性 (距離特性，受信電波強度，受信電波強度分散，パケットエラー率等) のフィールド試験を実施している．250mW 高出力時には平野部で 20km 程度，都市部で 1-2km 程度の通信距離での安定通信を確認している．

道路状況監視システムの関連研究として，[8] では 3 軸加速度計と GPS センサによる路面状態監視システムが，[9] では車載スマートフォンをセンサとした道路状況監視警告アプリケーションがそれぞれ研究されている．

3. 要素研究

準静電界技術 (QEF: Quasi Electrostatic Field)[10] は，電磁界を構成する磁界成分を含まない特殊な電界で，電波のように伝搬する性質がなく人や車両，物質の周りに静電気帯電のように分布する物理現象である．この技術を用いることにより，電波に比べて非常に小さなエネルギーで非接触通信が実現可能であり，車両の準静電界の変化を捉えることで，非常に鋭敏かつ配線のいらない非接触センサを開発可能である．本研究では，準静電界の変化をセンシングすることにより，路面状態の特徴を把握することが出来，その結果を解析することによって路面状態のセンサとして利用可能であると考えている．

CoMoSE(Co-Operative Mobile Sensor Environment)[11] は様々なセンサを搭載した車両を用い，歩行者や他の車両，周辺環境，ITS などが持っている様々な情報を収集し，車載サーバへ蓄積する．収集した情報を用いて歩行者や他の車両，周辺環境，ITS などに情報を提供する．このプラットフォームのセンサの 1 つとして準静電界センサを用いる．

4. 必要とされる機能

本システムを構築する上で必要とされる機能を以下に示す．

- センサデータ収集機能

©2016 Information Processing Society of Japan

- センサデータ蓄積機能
- センサデータ解析機能
  - センサデータから路面状態情報を生成するためにフィルタリングや解析を行う
- 路面状態情報生成機能
- 路面状態情報蓄積機能
- アクセスポイント化機能
  - 端末間で送受信を直接行うために端末に無線 LAN アクセスポイントを起動する
- 通信確立機能
- センサデータ送受信機能
- 路面状態情報送受信機能
- 注意喚起機能
  - 状況に応じて音声や地図上に注意箇所を表示するようなアプリケーション等を用い，適切な注意喚起を行う
- センサデータアップロード機能
  - センサデータをインターネットを介してクラウドストレージやデータセンタに蓄積
- Web 閲覧機能
  - Web アプリケーションを介して路面状態情報を閲覧

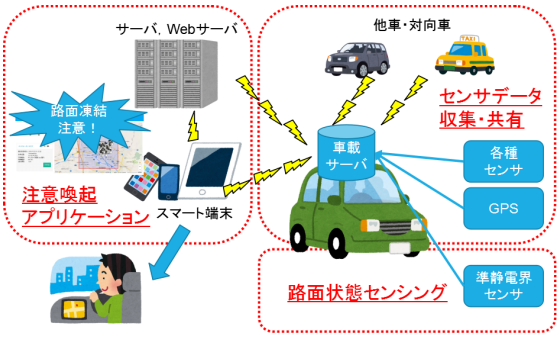


図 1　必要とされる機能のブロック分け

また，図 1 のようにこれらの機能を路面状態センシング，センサデータ収集・共有，注意喚起アプリケーションの 3 つのブロックに分け，それぞれに対して開発やテストを行い，最終的に一つのシステムとして運用する．

5. システム概要

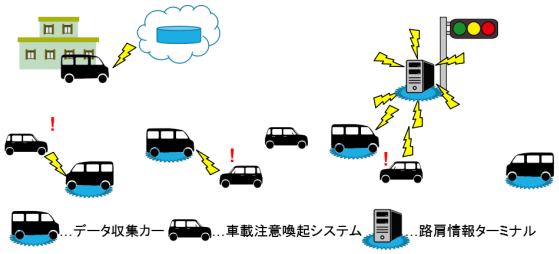


図 2　システム概要図

本システムの概要を図 2 に示す．本システムはデータ収集カーと車載注意喚起システム，路肩情報ターミナルから構成される．

- データ収集カー
  - データロガーと車載サーバを搭載
  - 走行中に車両周辺のセンサデータを収集
  - 収集したセンサデータを解析し路面状態情報に変換して車載注意喚起システムと共有
  - 収集したセンサデータは走行中に通信可能な路肩情報ターミナルに蓄積またはデータ収集終了時にクラウドストレージや Web サーバにアップロード
- 車載注意喚起システム
  - 車載サーバとスマート端末から構築
  - データ収集カーや路肩情報ターミナルから送信された路面状態情報を受信
  - スマート端末に路面状態情報を通知
  - 停止中，走行中など様々な状況を考慮し，音声や地図を含むアプリケーションを用いた運転者への適切な注意喚起
- 路肩情報ターミナル
  - データロガーと情報サーバから構築
  - 特定の場所に設置 (例：信号がある場所)
  - 定点でのデータ収集
  - 自身が収集したセンサデータやデータ収集カーから送信されたセンサデータを解析して路面状態情報に変換
  - 設置されている場所に紐付いた路面状態情報を車載注意喚起システムと共有

6. システムアーキテクチャ

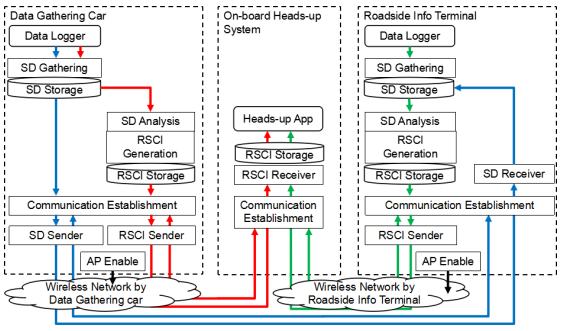


図 3　システムアーキテクチャ

本システムのアーキテクチャを，4 章をもとに図 3 に示す．図中の表記において，Sensor Data を SD に，Road Surface Condition Information を RSCI に，それぞれ省略する．赤線はデータ収集カーと車載注意喚起システム間，緑線は路肩情報ターミナルと車載注意喚起システム間，青

©2016 Information Processing Society of Japan

線はデータ収集カーと路肩情報ターミナル間の流れとつながりを示す．各モジュールの機能は，4 章に挙げられている機能と対応している．

7. 各機能の概要

以下に本システムで実現する機能について述べる．

7.1 センサデータ収集，蓄積機能

センサデータは，準静電界や路面温度，外気温や湿度など各センサをデータロガーに接続し，統一したデータフォーマットでファイルに格納する．現在，準静電界センサデータロガーと路面温度センサデータロガー，加速度などの環境センサデータロガーが存在し，各々のデータロガーを同期してセンサデータを収集する．センサデータを格納したファイルは，データロガーから車載サーバへ収集され，データベースに蓄積される．データベースは以下に基づいて構成され，各データロガーはこの構成に基づき統一したフォーマットでデータを収集する．

- SENSORS(センサ種別，*は primary key)
  - sensor_name*
  - sensor_type*
  - value_type
  - unit_type
  - manufacturer
  - model
  - last_update
- SENSOR_DATA(センサの値，*は primary key)
  - seq*
  - server_name
  - sensor_name
  - sensingtime
  - latitude
  - longitude
  - value
  - last_update

7.2 センサデータ解析，路面状態情報生成，蓄積機能

これらの機能に関しては，フィルタリングや解析方法，複数のセンサデータを組み合わせた路面状態情報の表現方法について検討を進めている．

7.3 通信確立機能

データ収集カーが路肩情報ターミナルや車載注意喚起システムのアクセスポイントに接続するために，wpa_supplicant[12] を用い，データ収集カーに路肩情報ターミナルや車載注意喚起システムのアクセスポイントの情報を設定する．また，アクセスポイントに接続できたか確認するために，isReachable(timeout)[13] を用いる．これは，アクセスポイントの IP アドレスに到達可能かテストを行う．タイムアウト値はミリ秒で設定され，テストの最大所要時間を示す．

7.4 アクセスポイント化機能

路肩情報ターミナルや車載注意喚起システムの無線 LAN デバイスをアクセスポイント化するために，hostapd[14] を用いる．これを用いることにより，ネットワークの範囲やアクセスポイントの SSID や Key，IP アドレスやサブネットマスクなどをそれぞれ設定出来る．

7.5 センサデータ送受信機能

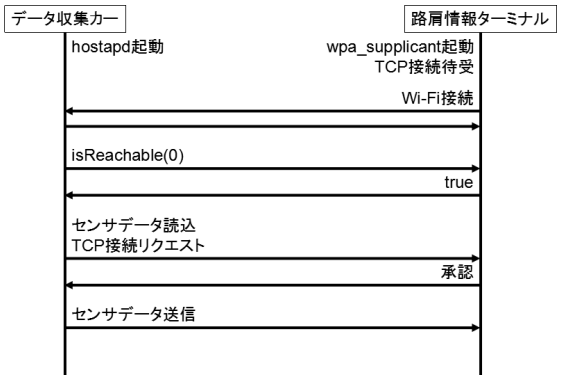


図 4 センサデータ送受信

データ収集カーと路肩情報ターミナル間の通信は，路肩情報ターミナルへのセンサデータの蓄積を目的としている．送信すべきセンサデータは出来るだけ確実に送信する必要がある．よってデータ収集カーと路肩情報ターミナル間の通信は図 4 のように行う．

7.6 路面状態情報送受信機能

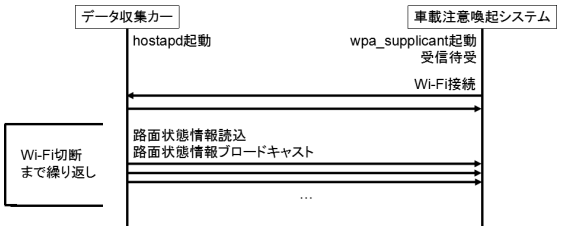


図 5 路面状態情報送受信

データ収集カーと車載注意喚起システム間の通信は，車載注意喚起システムへ道路注意情報を送信することを目的としている．車車間通信において通信距離やすれ違う時間は制限されるので，ある程度の情報のロスは許容し，受信できる情報をなるべく受信していく必要がある．よってデータ収集カーと車載注意喚起システム間の通信は図 5 のように行う．

©2016 Information Processing Society of Japan

7.7 注意喚起機能

路面状態情報の注意喚起はアプリケーションがインストールされたスマート端末で行う．1 章で述べたように，交通事故や交通障害を回避するために路面状態を事前に把握することは必要であるが，走行中に注意喚起するためのスマート端末を注視してしまうと法令違反や不注意運転による事故につながってしまう．よって，本システムではアプリケーションに車の状態に応じた注意喚起機能を持たせる．走行中にはスマート端末の画面を注視することは出来ないので音声による読み上げを，目的地に向かう前や駐車場で休憩しているときなど，停止中には注意箇所が表示されたマップをそれぞれ用いる．

8. プロトタイプシステム



図 6 車載サーバと情報サーバのプロトタイプ

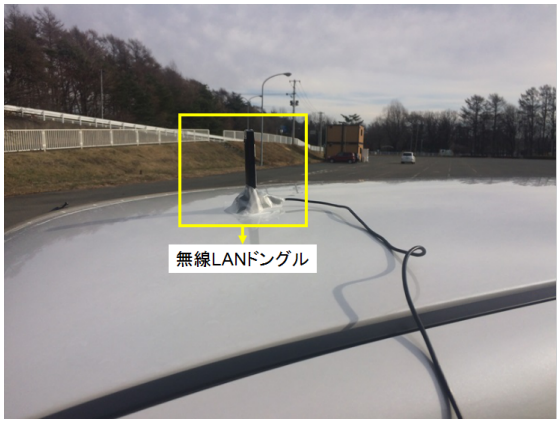


図 7 無線 LAN ドングルの取り付け

車載サーバと情報サーバのプロトタイプとして，それぞれ Intel NUC5i5RYH(Ubuntu14.04LTS, Intel Core i5 5250U, 8GB メモリ，1TB HDD) を，外付けの無線 LANUSB ドングルには Buffalo WLI-UC-AG300N を，ドングルを車外や路肩情報ターミナルに見立てたポールの上に取り付けるために，2m の USB 延長ケーブル (Buffalo BSUC20EDBK) を使用する．実際の機器を図 6 に，無線 LAN ドングルの車への取り付けを図 7 にそれぞれ示す．

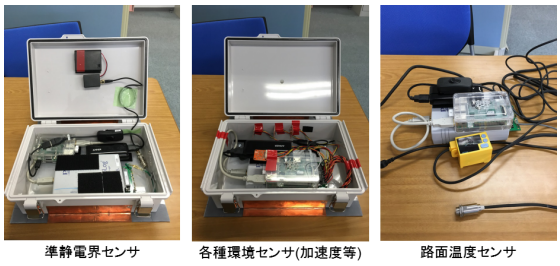


図 8 データロガーのプロトタイプ

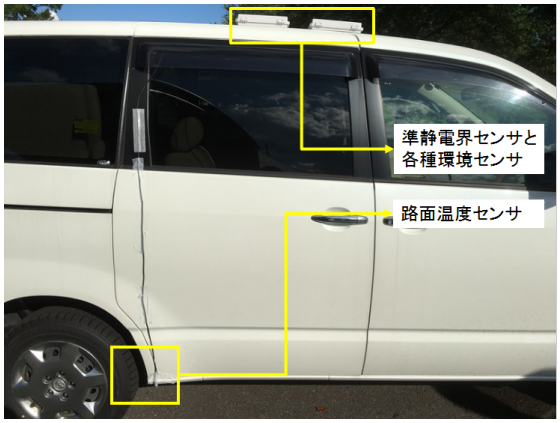


図 9 データロガーの取り付け

データロガーのプロトタイプとして，準静電界センサ，温度や湿度など各種環境センサ，路面温度センサの 3 つがあり，データ収集はデータロガーごとに行うが，それらを同期してデータ収集を行えるようになっている．データ収集カーはこれらのデータロガーからセンサデータを車載サーバにダウンロードする．実際の機器を図 8 に，データロガーの車への取り付けを図 9 にそれぞれ示す．

9. 各ブロックについて

9.1 路面状態センシング

[15] より，準静電界センサを用いた実験として，乾燥路面から湿潤路面への侵入走行実験 (図 10) や，20km/h で乾燥路面，湿潤路面，積雪路面を走行した際の各路面のデータについて高速フーリエ変換 (FFT : Fast Fourier Transform) を行い周波数解析し比較した実験 (図 11) がある．これらより，準静電界センサを用い取得されたセンサデータを解析することによって，乾燥，湿潤，凍結など路面状態の識別可能性が示された．今後はより詳細な解析や，加速度や路面温度など，他のセンサデータとの組み合わせで路面状

©2016 Information Processing Society of Japan

態を表現していく．

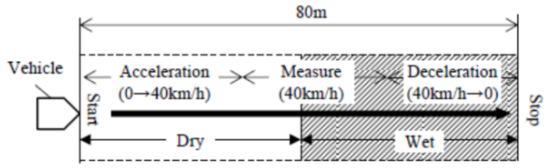


Fig.3 Test road

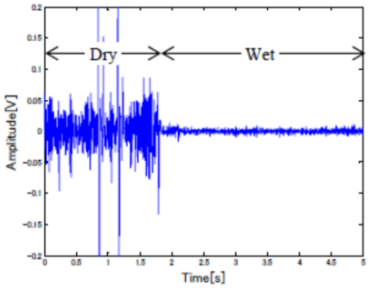


Fig.4 Transition from Dry to Wet (40km/h)

図 10　乾燥路面から湿潤路面への侵入走行実験 [15]

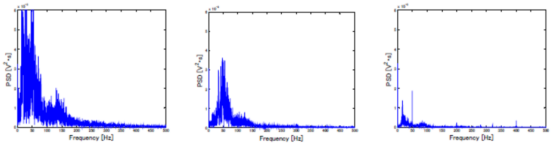


Fig.6 Comparison of FFT (0-500Hz)

図 11　各路面に対する FFT による周波数解析 [15]

9.2　センサデータ収集・共有

8 章に挙げたデータロガーを用いて収集したセンサデータや路面状態情報を車車間通信あるいは車路間通信での共有可能性について通信実験を行っている．



図 12　通信実験環境

現在は，図 12 に示す，外乱や障害物が少ない環境で，停止させたサーバ同士，または一方を車載し移動させながら，どのくらいの距離で Wi-Fi のリンクアップ/ダウンが起こるか確認している．停止状態，一方走行状態ともに約 550m で Wi-Fi のリンクアップ/ダウンが起こった．今後はシステムの有効性を示せるような環境で車車間通信実験を行っていく必要がある．

9.3　注意喚起アプリケーション

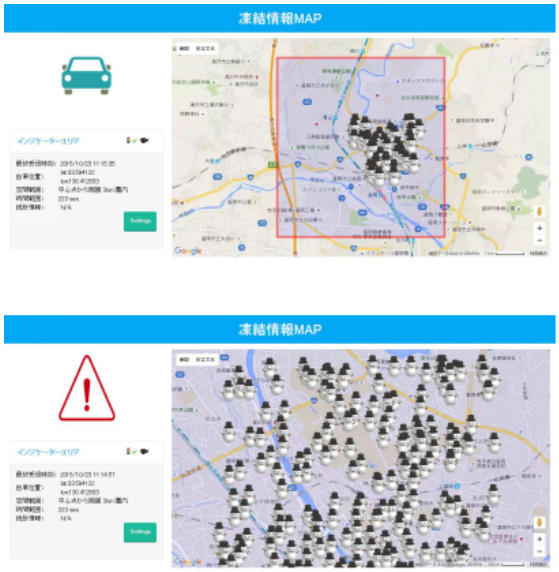


図 13　注意喚起アプリケーションプロトタイプ

注意喚起アプリケーションのプロトタイプを図 13 に示す．運転手があらかじめ設定する注目領域 (図中の四角い範囲) に対して，路面状態情報が取得されていれば情報アイコンが表示される．車両が注目領域内のアイコンが表示されている部分にさしかかると，アプリケーションが注意喚起を行う．現在は視覚的な注意喚起のみ行っているので，音声などを用いて聴覚的な注意喚起も行っていく．

10.　まとめと今後の課題

本論文では，道路状態情報共有のための車載型・路肩型通信システムについて提案した．

今後は，各ブロックごとに実装，実験を進め，早い段階で一つのシステムとしてまとめ，評価を行う予定である．

謝辞

本研究は，準静電界センシングによる路面状態推定技術を利用した交通問題対策の研究開発 (142302010) として，総務省戦略的情報通信研究開発推進事業 (SCOPE) 地域 ICT 振興型研究開発の助成により実施されている．

参考文献

[1] ITS とは | ITS Japan(http://www.its-jp.org/about/)(2016/05/19)
[2] IoT とは | モノのインターネット | インターネットオブシングス | IoE - 意味/定義 : IT 用語辞典 (http://e-words.jp/w/IoT.html)(2016/05/19)
[3] 総務省 | 平成 27 年版 情報通信白書 | コネクテッドカー (http://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/whitepaper/ja/h27/html/nc241210.html)(2016/04/30)

©2016 Information Processing Society of Japan

[4] Danda B. Rawat, Bhed B. Bista, Gongjun Yan, Stephan Olariu, 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 (2016/04/30)
[5] Sishan Wang, Airong Huang, Tao Zhang, Performance Evaluation of IEEE 802.15.4 for V2V Communication in VANET, International Conference on Computational and Information Sciences, pp 1603-1606, 2013 (2016/04/30)
[6] Vladimir P. Barcelos, Thiago C. Amarante, Carlos Daniel Drury, Luiz H. A. Correia, Vehicle monitoring system using IEEE 802.11p device and Android application, IEEE Symposium on Computers and Communications (ISCC), pp 1-7, 2014 (2016/05/23)
[7] 芹澤靖隆, 松本久功, 苗村万紀子, 正直和也, 宮崎祐行, 920MHz 帯無線通信システムの伝搬性能評価, 電子情報通信学会技術研究報告. RCS, 無線通信システム 113(8), 13-18, 2013-04-11 (2016/06/23)
[8] Kongyang Chen, Mingming Lu, Xiaopeng Fan, Migmig Wei, and Jinwu Wu, 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 (2016/06/23)
[9] 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 2012, Lugano, pp 489-491 (2016/06/23)
[10] 滝口研究室 (`http://www.takiguchilab.iis.u-tokyo.ac.jp/`) (2016/04/30)
[11] Go Hirakawa, Phyu Phyu Kywe, Kenta Ito, Yoshitaka Shibata, Road-to-Vehicle Communication Using CoMoSE for Road Surface Freezing Information System, 9th International Conference on Complex, Intelligent and Software Intensive Systems, pp 238-241, 2015 (2016/04/30)
[12] Linux WPA/WPA2/IEEE 802.1X Supplicant (`https://w1.fi/wpa\_supplicant/`) (2016/04/30)
[13] InetAddress (Java Platform SE 6) (`https://docs.oracle.com/javase/jp/6/api/java/net/InetAddress.html`) (2016/04/30)
[14] hostapd: IEEE 802.11 AP, IEEE 802.1X/WPA/WPA2/EAP/RADIUS Authenticator (`https://w1.fi/hostapd/`) (2016/04/30)
[15] 河野賢司, 北川義智, 滝口清昭, 須田義大, 準静電界技術による凍結路面測定に関する研究, 第 24 回交通・物流部門大会 (TRANSLOG2015), 1402, 2015 (2016/04/30)

©2016 Information Processing Society of Japan