

## 道路注意情報共有システムのための実環境を用いた V2X 通信実験 Experimentation of V2X Communication in Real Environment for Road Alert Information Sharing System

伊藤 健太<sup>†</sup> 平川 剛<sup>‡</sup> 柴田 義孝<sup>‡</sup>  
Kenta Ito<sup>†</sup> Go Hirakawa<sup>‡</sup> Yoshitaka Shibata<sup>‡</sup>

### 1. はじめに

交通事故や交通障害は深刻な社会問題となっている。例えば、雪による交通渋滞や交通障害、凍結路面による交通事故、降雨による交通事故など、危険予測トレーニング<sup>[1]</sup>が交通事故や交通障害を防ぐために行われている。運転者はこのトレーニングを行うことにより、人や車両の動きを予測する。しかしこのトレーニングは天候や道路状況を考慮していない。実際に、路面凍結や積雪、降雨など様々な道路状況が存在する。我々は、道路状況を事前に把握することは交通事故や交通障害を防ぐために必要であり重要であると考えられる。

運転者への道路情報提供方法として、スマートデバイス向けのカーナビゲーションアプリケーションやリアルタイムな交通渋滞情報を提供する車載カーナビゲーション<sup>[2]</sup>などが存在する。これらの方法をとるためにはインターネット接続による通信が必要である。しかし、特に中山間地域や自然災害発生地域では、通信の不安定さや通信インフラストラクチャの不備のためにインターネット接続を用いて情報を得ることが難しい地域も存在する。我々はインターネット接続なしに情報を取得することは必要だと考える。近年、路車間通信(R2V: Roadside-to-Vehicle)やV2X: Vehicle-to-X (車車間通信 (V2V: Vehicle-to-Vehicle)や車路間通信 (V2R: Vehicle-to-Roadside)など)などの ITS 分野に注目が向けられている。

我々は V2X 通信を用いた道路注意情報共有システムを構築する。システム全体の達成すべき目標の一つとして、我々はインターネット接続なしで道路注意情報を共有することを実現する。本論文では、この目標を実現するために、我々は様々な環境で V2X 通信実験を行い、実験結果を分析、考察する。

### 2. 関連技術・関連研究

#### 2.1 無線通信

近年、車両通信の分野において、様々な無線通信技術が開発、発展している。

DSRC (Dedicated Short Range Communication)<sup>[3]</sup>は 5.8GHz 帯の帯域を用い、狭いエリアでの双方向コミュニケーションを目指した通信方式である。DSRC は車両に特化した無線通信である。アンテナの指向性と高精度キャリアセンスによって、通信エリアは意図的に制御され、大容量の情報は高速で送受信される。

IEEE802.11p は DSRC のアメリカ版に OFDM を使用するために技術的な仕様として確立された標準に基づく。アメリカでは 5.85GHz から 5.95GHz までの帯域幅を IEEE802.11p

に割り当てている。IEEE802.11p はこの帯域幅を利用して、IEEE802.11a のハーフレートにより通信を行っている。IEEE802.11p は車両に情報を提供し車両間で通信を行うためのフレームワークである WAVE (Wireless Access in Vehicular Environment) システムの一部として開発されている。

920MHz 帯<sup>[4]</sup>は見通し通信距離や回り込みなどの電波伝搬特性に優れ、ライセンス無しで利用することが出来る。集散的にサブ GHz 帯と呼ばれる。920MHz 帯は電波伝搬特性に優れているので、無線 LAN や Bluetooth などの 2.4GHz 帯と比較して長距離通信が可能である。

我々の研究では、我々のシステムと他の無線通信は通信範囲や通信速度、伝送されるデータ量について比較される。

#### 2.2 V2X 通信

V2X 通信の関連研究として、それらの多くは様々な通信プロトコルや様々な技術を用いてシミュレータ上で行われている<sup>[5][6][7]</sup>。また、実環境を用いて通信実験が行われている研究もある<sup>[8]</sup>。

#### 2.3 センサデータ収集

準静電界 (QEF: Quasi Electrostatic Field)<sup>[9][10][11]</sup>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のことである。準静電界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出来る。これを利用することにより、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ぬ非接触センサを開発することが出来る。

CoMoSE (Co-Operative Mobile Sensor Environment)<sup>[12]</sup>プラットフォームは、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。CoMoSE は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。

### 3. システム概要

図 1 に道路注意情報共有システムの概要を示す。V2R 通信や V2V 通信、Roadside-to-Cloud 通信、Vehicle-to-Cloud 通信、Roadside-to-People 通信、People-to-Cloud 通信など、様々な通信環境が考慮される。Cloud はクラウドサーバやクラウドストレージ、データセンターを意味する。Cloud を用いるためにはインターネット接続が必要となる。本論文では、我々は V2R 通信と V2V 通信について実装する。この実装を踏まえて、我々は実験や分析、評価を行う。我々のシステムは複数の車載システムと路肩システムから構成される。車載システムはセンサノード、車載サーバ、車載デバイスを含む。路肩システムは路肩サーバを含む。

<sup>†</sup> 岩手県立大学大学院 Graduate School of Iwate Prefectural University

<sup>‡</sup> 岩手県立大学 Iwate Prefectural University

本システムで取り扱う道路注意情報について、現在は、路面が凍っている / 凍っていないという情報に焦点を当てる。この情報を、準静電界センサデータをはじめ他のセンサデータを組み合わせて表現する。

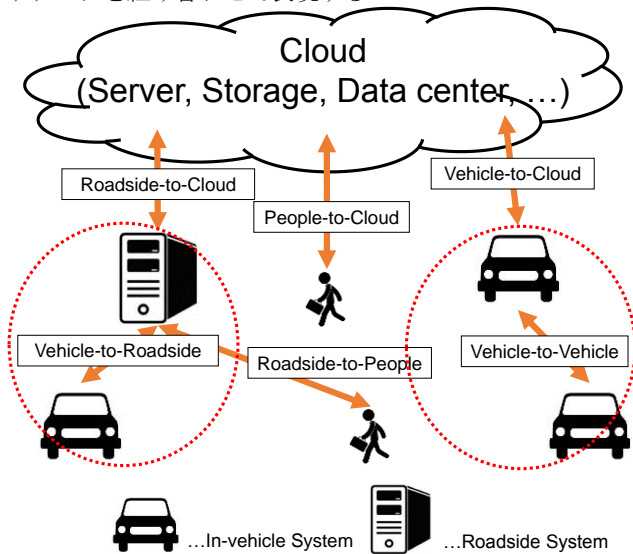


図1 道路注意情報共有システム概要図

#### 4. システムアーキテクチャと機能

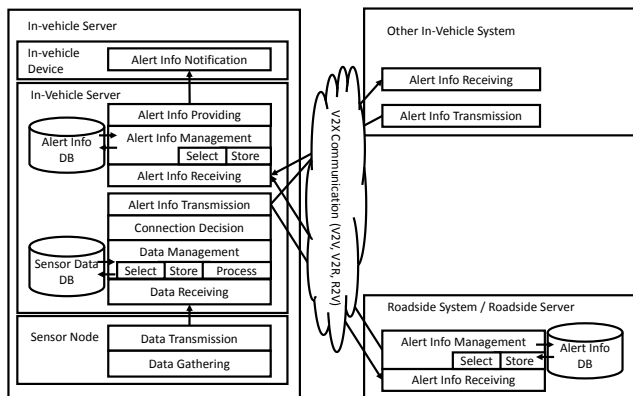


図2 システムアーキテクチャ

図2に本システムのアーキテクチャを示す。各モジュールの機能は以下の通りである。Data Gathering モジュールは周期的にセンサデータを収集する。Data transmission モジュールはセンサデータを車載サーバへ送信する。Data Receiving モジュールはセンサノードから送信されたセンサデータを受信する。Data Management モジュールはセンサデータをデータベースに蓄積し、そのデータを基に道路注意情報を生成する。Connection Decision モジュールはV2V通信やV2R通信の際の通信接続を決定する。Alert Info Transmission モジュールはV2V通信やV2R通信によって道路注意情報を送信する。Alert Info Receiving モジュールはV2V通信やV2R通信によって道路注意情報を受信する。Alert Info Management モジュールは道路注意情報をデータベースに蓄積し、そのデータを基に運転者に通知を行う。Alert Info Providing モジュールは車載デバイスに道路注意情報を提供する。Alert Info Notification モジュールは道路注意情報を用いて運転者に音やポップアップ画像を用いて注意喚起を行う。

#### 5. プロトタイプシステム

##### 5.1 実験のためのプロトタイプシステム

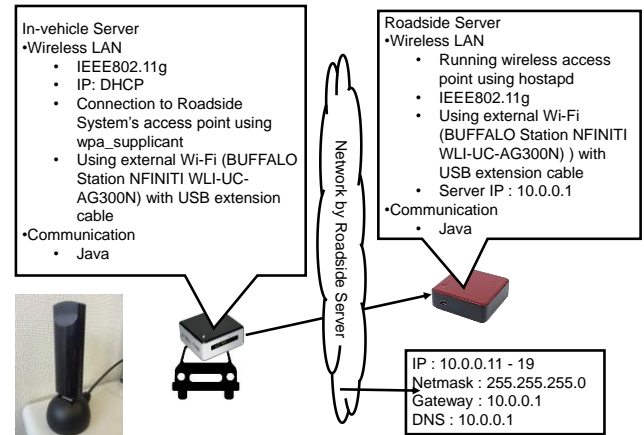


図3 通信実験のためのプロトタイプシステム構成

図3はV2R通信実験のためのプロトタイプシステム構成を示す。路肩サーバはhostapd<sup>[13]</sup>を用いてアクセスポイントとなる。車載サーバはwpa\_supplicant<sup>[14]</sup>を用いて路肩サーバへ接続を行う。車載サーバ、路肩サーバともに外付けUSBドングルとUSB延長ケーブルを使用する。

##### 5.2 データ送信プロセス

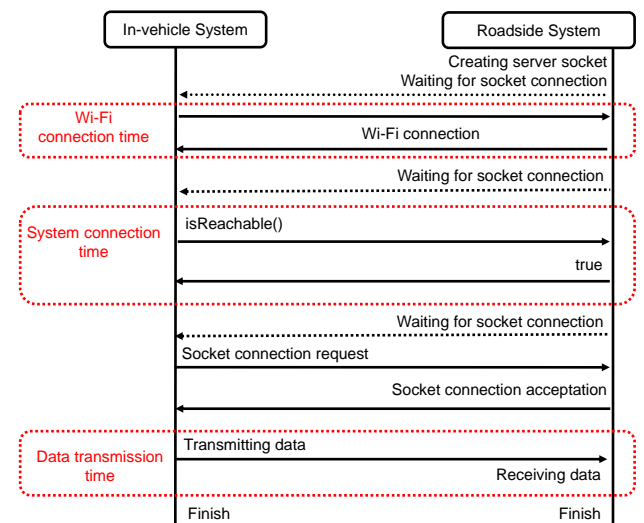


図4 データ送信プロセス

図4はV2R通信実験のためのデータ送信プロセスを示す。路肩サーバはサーバソケットを生成し、車載システムからのソケットを待ち受ける。Wi-Fi接続が確立したあと、車載システムはisReachable()<sup>[15]</sup>を用い、路肩システムへの接続を確認する、これは、Javaの関数の一種であり、路肩システムのサーバIPアドレスに到達可能か確認する。接続が可能な場合、車載システムはソケットを生成し、路肩システムへの接続を要求する。路肩システムはソケット接続リクエストを承認する。ソケット接続リクエストが承認された場合、車載システムはソケットを用いて路肩サーバへデータを送信する。路肩システムは送信されたデータを受信する。

このプロセスにおいて、Wi-Fi 接続時間、システム接続時間、データ送信時間に注目し、これらの時間を削減することが必要であると考える。

### 5.3 通信範囲推定プロセス

本プロトタイプにおいて、我々は以下のプロセスを用いて通信範囲を推定する。加えて、測定後に距離計算を行うために、我々は Android アプリケーション<sup>[16]</sup>を用い、路肩システムと車載システムの位置情報を計測する。

#### 5.3.1 ping による測定

我々は一定時間 ping による測定がされなかった部分が通信範囲外であると推測する。加えて、我々は路肩システムと車載システムで実行している ping コマンドが切断された / 接続された地点の間の距離を計算することによって通信範囲を推定する。距離の計算には Web アプリケーション<sup>[17]</sup>を利用する。

#### 5.3.2 tcpdump と wireshark を用いた分析

図 5 に示すように、我々は wireshark<sup>[18]</sup>を用いて tcpdump<sup>[19]</sup>コマンドによって得られたパケットキャプチャの詳細を可視化する。我々は図 5 の下線部のような、車載システムが路肩システムのアクセスポイントへ接続する際のプロセスが存在するというを確認した 5.3.1 と同じ方法で、我々は路肩サーバと車載サーバから Probe Request が実行された地点の間の距離を計算することによって、通信範囲を推定する。加えて、我々は Probe Request から Key の交換が終わるまでの時間差をとることによって、Wi-Fi 接続時間を推定する。

Source	Destination	Protocol	Length	Info
BuffaloI_59:c6:da	Broadcast	802.11	91	Probe Request, SN=3403,
BuffaloI_59:c7:67	BuffaloI_59:c6:da	802.11	110	Probe Response, SN=0, FN
BuffaloI_59:c7:67	BuffaloI_59:c6:da	802.11	109	Probe Response, SN=3614, FN
BuffaloI_59:c6:da	BuffaloI_59:c7:67	802.11	48	Authentication, SN=3409,
BuffaloI_59:c7:67	BuffaloI_59:c6:da	802.11	44	Authentication, SN=0, FN
BuffaloI_59:c7:67	BuffaloI_59:c6:da	802.11	43	Authentication, SN=3615,
BuffaloI_59:c6:da	BuffaloI_59:c7:67	802.11	110	Association Request, SN=
BuffaloI_59:c7:67	BuffaloI_59:c6:da	802.11	60	Association Response, SN
BuffaloI_59:c7:67	BuffaloI_59:c6:da	802.11	59	Association Response, SN
BuffaloI_59:c7:67	BuffaloI_59:c6:da	EAPOL	145	Key (Message 1 of 4)
BuffaloI_59:c7:67	BuffaloI_59:c6:da	EAPOL	144	Key (Message 1 of 4)
BuffaloI_59:c7:67	BuffaloI_59:c6:da	EAPOL	201	Key (Message 3 of 4)
BuffaloI_59:c7:67	BuffaloI_59:c6:da	EAPOL	200	Key (Message 3 of 4)

図 5 パケットキャプチャ例

#### 5.3.3 /var/log/syslog の分析

5.3.2 の方法で確認しきれない Wi-Fi の切断 / 接続を確認するために、我々は車載システムと路肩システム、それぞれに保存されている /var/log/syslog ファイルを分析する。この方法に関しては、まだ実験時に使用していない。今後の実験の際に他の方法と組み合わせて使用していく。

## 6. 通信実験

我々の実験の目的は、V2X 通信における通信範囲を推定することである。我々は本学の近辺で実験を行った。その場所は外乱やノイズはほとんどなく、理想的な通信環境となっている。また、我々は静的実験と動的実験を考慮する。静的実験は車載システムが停止した状態、動的実験は車載システムが一定速度で移動した状態でそれぞれ実験を行う。

本実験での測定項目は、(1), (2)式を用いたスループットと、ping を用いたパケットロス率、5.3.2 を用いた Wi-Fi 接続時間である。

今回の実験では、ping のパケットサイズは 1408 バイトとした。これは、ping を用いた際にパケットを分割せずに送

ることができる最大サイズに近くなるように設定する。実験環境を図 6 に示す。静的実験では、各測定地点で ping を 30 回実行した。動的実験では、ping を実行したまま車載システムを移動させた。図 7 は車載システムを停止した状態での(1)を用いたスループットとパケットロス率の測定結果を示す。図 8 と図 9 は、車載システムを時速 40 キロで走行させ、路肩システムを起点とし、路肩システムのアクセスポイントの範囲外だと予想される地点との間を往復しながら ping を 5 分間実行した際のスループットの分布である。5 分間に、路肩システムと路肩システムのアクセスポイントの範囲外だと予想される地点との間を 1 往復半したので、図 8 は 2 本分、図 9 は 1 本分のデータとなっている。各地点のスループットは、(2)式により求められる。

$$Throughput(Mbps) = \frac{Packetsizeofping(Byte)*8}{AverageofRTT(sec)*\frac{1}{2}} \dots (1)$$

$$Throughput(Mbps) = \frac{Packetsizeofping(Byte)*8}{RTTofeachpoint(sec)*\frac{1}{2}} \dots (2)$$



図 6 実験環境

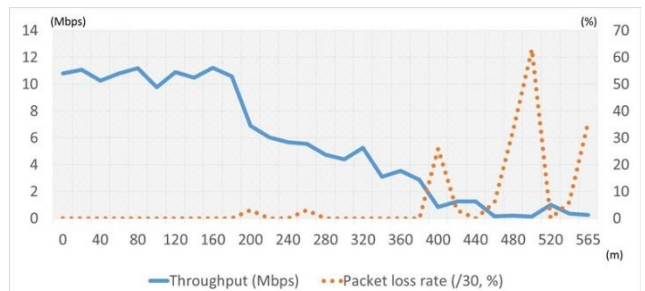


図 7 スループットとパケットロス率の測定結果

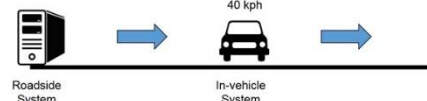
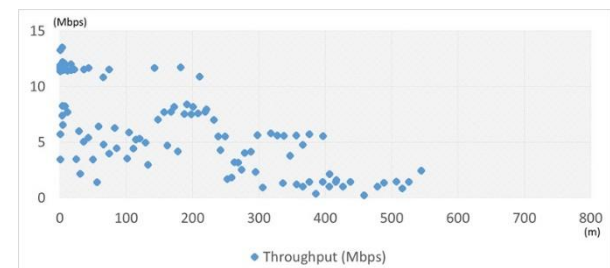


図 8 路肩システムから離れた場合のスループットの分布



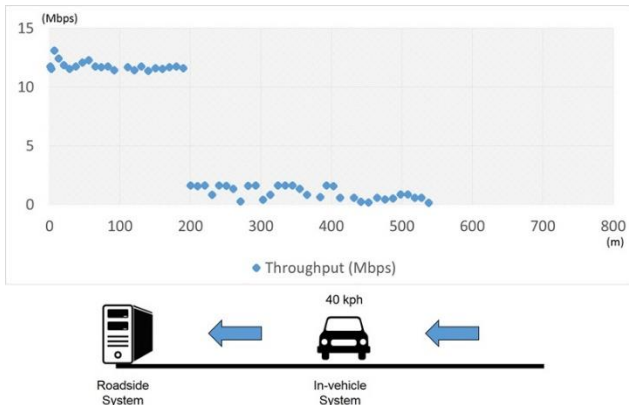


図9 路肩システムに近づいた場合のスループットの分布

実験結果より、静的実験では、路肩システムから565mまで測定可能であった。動的实验では、路肩システムから約550mでpingの切断/接続や5.3.2のWi-Fi接続プロセスが行われていた。また、静的実験では、路肩システムから400mを超えると、スループットは減少、パケットロス率は増加していた。

我々は、これまでの実験と図4のデータ送信プロセスを基にし、V2Rデータ送信距離について推定した。図10に示すように、車載システムが路肩システムに時速40キロで近づくと、実験結果に基づく距離と速度からV2Rデータ送信を推定した。

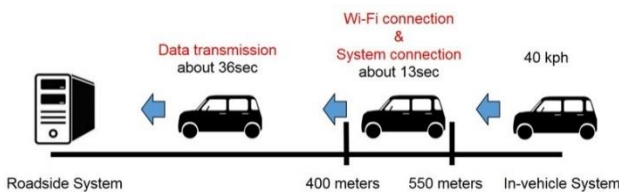


図10 V2R データ送信推定

Wi-Fiの接続が確立される距離を550m、データを送信するために必要なスループットを確保できる距離を400mと仮定すると、Wi-Fi接続とシステム接続に利用できる時間が約13秒、データ送信に利用できる時間が約36秒とそれぞれ推定される。

今後の実験では、同じ項目を長距離で平らな道で測定すること、Wi-Fi接続が切断される地点を把握するために/var/log/syslogを分析すること、図11に示すように、車載システムが時速40キロで路肩システムを通り過ぎるなど、様々なパターンで通信範囲を推定することを行っていく。

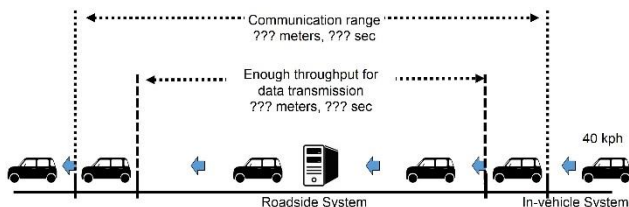


図11 今後の実験案

## 7. まとめと今後の課題

本論文では、V2X通信を用いた道路注意情報共有システムについて提案し、特に通信について述べた。現在の目標

を実現するために、我々は様々な環境でV2X通信実験を行い、実験結果を分析、考察した。

今後は、現在行っているV2R通信実験に加え、疑似データを用いたV2Rデータ共有実験、V2V通信実験、疑似データを用いたV2Vデータ共有実験、データ送信プロセスの再検討を行う。

## 参考文献

- [1] <http://www.honda.co.jp/safetyinfo/kyt/training/>
- [2] <http://pioneer.jp/carrozzeria/cybernavi/08cybernavi/function/smartloop/>
- [3] <https://www.go-etc.jp/etc2/etc2/>
- [4] <http://www2.satori.co.jp/wireless/products/solutions/920mhz.html>
- [5] Akabane, A.T. Villas, L.A. and Madeira, E.R.M. (2014) 'GTO: A Broadcast Protocol for Highway Environments over Diverse Traffic Conditions', 13th International Symposium on Network Computing and Applications, pp 37-40
- [6] Rawat, D.B. Bista, B.B. Yan, G. and Olariu, S. (2014) '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
- [7] Ishikawa, S. Honda, T. Ikeda, M. and Barolli, L. (2014) 'Performance Analysis of Vehicular DTN Routing under
- [8] Urban Environment', 8th International Conference on Complex, Intelligent and Software Intensive Systems, pp 50-53
- [9] Sun, X.G. Sun, X.L. Yang, Q.G. and Ma, S.N. (2011) 'Application of Wireless Sensor Networks in Post-Disaster Road Monitoring System', 4th International Conference on Intelligent Networks and Intelligent Systems, pp 105-108
- [10] <http://www.takiguchilab.iis.u-tokyo.ac.jp/>
- [11] Ito, S. Sodeyama, H. and Takiguchi, K. (2011) 'Failure Analysis of Semiconductor Device using Nano Electrostatic Field Probe Sensor (NEPS)', ISTFA 2011 International Symposium for Testing and Failure Analysis Venue, pp. 387-392
- [12] 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
- [13] <https://w1.fi/hostapd/>
- [14] [https://w1.fi/wpa\\_supplicant/](https://w1.fi/wpa_supplicant/)
- [15] [https://docs.oracle.com/javase/jp/6/api/java/net/InetAddress.html#sReachable\(int\)](https://docs.oracle.com/javase/jp/6/api/java/net/InetAddress.html#sReachable(int))
- [16] <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.peterhohsy.gpslogger&hl=ja>
- [17] <http://vldb.gsi.go.jp/sokuchi/surveycalc/surveycalc/bl2stf.html>
- [18] <http://itpro.nikkeibp.co.jp/article/COLUMN/20140512/556024/?rt=ncnt>
- [19] <https://www.wireshark.org/>