

通信不利環境における道路情報共有のための 車載型・路肩型通信システムの検討

伊藤 健太¹ 橋本 浩二² 柴田 義孝²

概要：路面の状態は季節や天候、時間帯によって変化し、路面の状態が直接的、または間接的に交通事故や交通障害の発生に影響する場合がある。路面の状態が影響する交通事故や交通障害を防ぐために、運転手がこれから運転する道路の状況を事前に把握することが必要だと考える。我々は路面状態を推定するために有効であると考えられる準静電界技術 [1] や加速度、湿度、路面温度などのセンサ情報を収集し、それらを用いて路面の状態を推定、それを車車間や車路間など様々なものの間で共有、運転手に向けた注意喚起を行うシステムの開発を行ってきた。これによって路面の状態を先読みし交通事故や交通障害を回避、防止することを目的としてきた。近年はインターネット接続が可能な場所が増え、それを用いて情報共有することが容易となった。しかし、インターネット接続をするための通信インフラが整備されていない地域がまだ存在する。そこで、本研究では車両同士、または車両と路肩の間で直接情報を共有できる車車間通信、車路間通信が有効であると考え、それらを用いた通信システムを検討する。また、前述のシステムでは、準静電界や加速度、湿度、路面温度などの道路情報を表現するために必要な限られた情報のみの共有を想定していたが、本研究では、路面の画像や音声、テキストによる路面情報など、道路情報の表現を広げるために多様な形式やデータサイズを想定する。さらに、本研究では実際の道路を用いて通信実験を行い、通信の可否や情報共有の可否だけではなく、車車間、車路間通信時にどのような通信パラメータの変化が起こっているかを監視、記録し、その情報を用いて共有する情報ごと、または通信状態ごとに情報共有を最適化する手法を構築していく。

1. はじめに

我々は平成 28 年度まで 3 年間、総務省戦略的情報通信研究開発推進事業 (SCOPE) 地域 ICT 振興型研究開発のプロジェクトとして、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) に携わってきた。このプロジェクトの概要を図 1 に示す。

路面の状態は多種多様であり、また路面の状態は季節や天候、時間帯によって変化する。例えば、冬の路面状態として、ドライ、新雪状態、圧雪路、シャーベット、アイスバーン、ミラーアイスバーン、ブラックアイスバーン、轍などが挙げられる。近年ではゲリラ豪雨やゲリラ豪雪など、突発的な天候の変化も多発している。ゲリラ豪雨については、気象庁において 1 時間に 50mm 以上 80mm 未満の雨を「非常に激しい雨」、80mm 以上の雨を「猛烈な雨」と表現されている。ゲリラ豪雪については、毎時 5cm 以上 2 時間程度の集中降雪 [2] や、1 時間ごとの降雪量のピークが他の時間帯の降雪量の 2 から 3 倍になる [3] と定義され

ている。また、路面の状態が天候に左右されやすい地域も存在する。降雪による交通渋滞や凍結によるスリップ事故など、路面の状態が直接的に交通事故や交通障害の発生に影響する場合がある。また、路面の状態が間接的に交通事故や交通障害の発生に影響する場合もある。[4] では、道路の線形や路面状態など、道路状況を見誤ったことにより起こる事故を「見誤り事故」と呼び分析を行っており、道路環境の悪条件は事故の発生を高めると述べている。上記より、路面の状態が影響する交通事故や交通障害を防ぐために、運転手がこれから運転する道路の状況を事前に把握することが必要だと考える。

周辺環境をセンシングする手段として、スマートフォンやボード型コンピュータの普及により、スマートフォンに内蔵されているセンサやボード型コンピュータに接続可能なセンサなどを用いて周辺環境の情報を得ることが出来るようになった。しかし、自身が保持している情報だけでは、これから先運転していく道路の状況を事前に把握することは難しい。よって、これから運転する道路の状況を事前に把握するためには他者からの情報収集や他者への情報伝達が必要だと考える。

¹ 岩手県立大学大学院

² 岩手県立大学

スマートフォン向けのナビゲーションアプリケーションの拡充や車載型カーナビゲーションの発展により、運転手が走行中であっても様々な情報を得られるようになった。運転中に自身が必要だと思う情報を得ることは重要である。しかし、端末の操作や画面に表示されている情報に注意が向きすぎてしまうと、それが交通事故や交通障害の原因になってしまうことも考えられる。よって、運転手の状況に合わせた適切な注意喚起が必要だと考える。

前述のプロジェクトでは、上記を考慮し、路面状態を推定するために有効であると考えられる準静電界技術や加速度、湿度、路面温度などのセンサ情報を収集し、それらを用いて路面の状態を推定、それを車車間や車路間など様々なものの間で共有、運転手に向けた注意喚起を行うシステムの研究開発を行ってきた。このシステムによって路面の状態を先読みし交通事故や交通障害を回避、防止することを目的としてきた。

前述のプロジェクトの役割として、我々は主に情報共有の部分について検討を重ねてきた。近年は携帯電話網の発達や Wi-Fi フリースポットの整備などにより、インターネット接続が可能な場所が増え、それらを用いて情報共有することが容易となった。しかし、未だインターネット接続が 3G 通信ですらまならない場所が存在する。岩手県を例にとると、沿岸部と内陸部をつなぐ道路は中山間地域に位置し、携帯電話網が圏外になりやすい、またはインターネット接続をするための通信インフラが整備されていない地域が存在する。このような中山間地域でこそ降雨時や積雪時など天候によって路面の状態が変化しやすく、それが交通事故や交通障害につながる可能性がある。かつ、一般的な道路に比べて速度を出すことが難しい。圧雪路や凍結路など冬期の走行路は乾燥路に比べ、制動距離が 3 倍から 8 倍になると言われており、車両がそれほど速度を出してなくても止まれなかったりスリップしたりして、それが事故につながっていく。そのような場所でこそ路面の状態を事前に把握しておくことが重要であるが、前述したようにインターネット接続を用いた情報の共有が難しいと考えられる。

そこで、本研究ではインターネット接続が本研究ではインターネット接続がままならない場所、通信不利環境をターゲットとし、車両同士、または車両と路肩の間で直接情報を共有できる車車間通信、車路間通信が有効であると考え、それらを用いた通信システムを検討ままならない場所、通信不利環境をターゲットとし、車両同士、または車両と路肩の間で直接情報を共有できる車車間通信、車路間通信が有効であると考え、それらを用いた通信システムを検討する。また、前述の研究では、準静電界や加速度、湿度、路面温度などの道路情報を表現するために必要な限られた情報のみの共有を想定していたが、本研究では、路面の画像や音声、テキストによる路面情報など、道路情報の

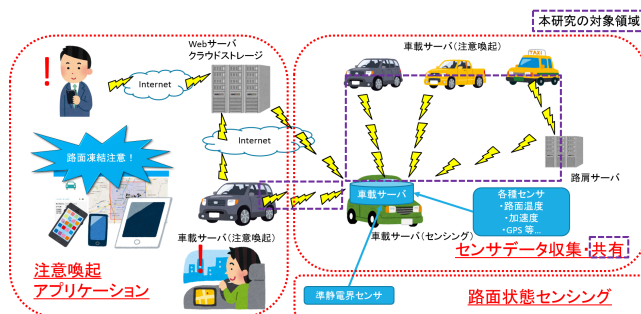


図 1: 道路情報提供システム概要

表現を広げるために多様な形式やデータサイズを想定する。さらに、本研究では実際の道路を用いて通信実験を行い、通信の可否や情報共有の可否だけではなく、車車間、車路間通信時にどのような通信パラメータの変化が起こっているかを監視、記録し、その情報を用いて共有する情報ごと、または通信状態ごとに情報共有を最適化する手法を構築していく。

本論文の構成は以下の通りである。2 章では、道路情報提供システムと車車間通信、車路間通信に関する関連研究を述べる。3 章では、システムの概要について述べる。4 章ではプロトタイプシステムについて述べ、5 章ではそれを用いた通信実験について述べる。

2. 関連研究

道路情報提供システムの関連研究として、路面情報を連続的に移動しながら収集し、管理事務所などにその状況を電話回線等で提供するシステム [5] や情報交換の基盤としてインターネットを用い、個々の車両からセンサ情報を抽出収集し、それら进行处理して利用者に提供するシステム [6]、タクシーにプローブカー的な役割を割り当てて情報収集し、ブラウザ機能を搭載したカーナビゲーションへの情報提供をする路面凍結情報システム [7]、スリップ検知を行う複数の実験車両の検知結果をもとに路面凍結地点をホームページより情報提示するシステム [8]、路面温度の低下に加えて、路面の「濡れ」を判定し、温度と湿度により「結露」を判定することで、路面凍結の危険を正確に検知できる路面状態判定システム [9] などがある。これらは、車両が移動しながら情報を収集、または路肩に設置したユニットが定点で情報を収集し、インターネット接続を用いて情報を提供するシステムである。これらは情報を提供する手段としてインターネット接続が必須であり、前述した中山間地域などのインターネット接続がままならない場所に適応することは難しい。よって情報提供する側とされる側が直接通信することが出来る車車間通信や車路間通信が有効であると考えられる。

車車間通信、車路間通信の関連研究として、同方向に走行する 4 台の車両間において、位置情報と先頭車両からの画像を共有するために通信を行い、高速道路上の複数の条

件下でデータ受信失敗確率を測定した研究 [10] や信号の無い交差点における車両の出会い頭衝突を防止するため、対向での車車間通信を利用した車両出会い頭衝突防止警報装置の開発 [11]，市街地走行時の車間距離と通信速度の関連の考察と Web カメラを用いた評価実験 [12]，市販されている無線 LAN を用いて一般道で考えられる対向車との通信特性と，測定車両の間に存在する通信の妨げになりうる遮蔽車両の大きさを変化させた場合についての通信特性の報告 [13] などがある．これらの研究では，本研究の先行研究 [14] でも行っていた，通信距離や通信速度，通信状態の善し悪しなどを評価していることが多い．一方，実際にやりとりされるデータを考慮した実験や評価はあまり行われておらず，これらを考慮した実験や評価を行っていく必要があると考える．また，車両に対する無線機器のアンテナ取り付け位置を考慮した通信実験を行っている研究 [15] やトンネル内での通信品質の変化を計測している研究 [16] があり，通信実験を行う際の条件として検討すべきだと考える．

3. システム概要

3.1 システムに必要とされる機能

以下にシステムに必要とされる機能を示す．

- 車車間，車路間でサーバ同士が直接通信をするために一方が無線 LAN アクセスポイントとなる機能
- 円滑な無線接続のために一方が無線 LAN アクセスポイントの情報を設定する機能
- 無線 LAN アクセスポイントへの接続ステータスや通信パラメータを監視する機能
- データ送信が可能かどうか判断する機能
- 限られた通信時間を有効に使うために，収集したデータに優先度を付加する機能
- 限られた通信時間を有効に使うために，監視したステータスやパラメータに基づいてデータ送信の可否やどのくらいのデータ量を送信するか決定する機能
- 付加した優先度や決定したデータ量に基づいてデータを送受信する機能

これらの機能については 4.1 節で詳細を述べる．

3.2 通信システム概要

本研究で構築する通信システムの概要を図 2 に示す．本通信システムは第 1 章で述べたように，中山間地域などインターネット接続がままならない場所で利用されることを想定する．本システムはセンシングを行う車載サーバと路肩サーバ，注意喚起を行う車載サーバから構成される．1 台の車載サーバがセンシングと注意喚起の機能を持つことも想定している．センシングを行う車載サーバは路面の状態を推定するための様々なセンサ情報を収集し，通信範囲に入った路肩サーバや注意喚起を行う車載サーバと共有す

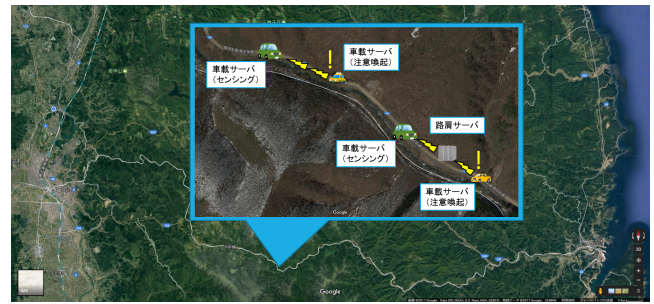


図 2: 通信システム概要

る．路肩サーバはセンシングを行う車載サーバから共有されたセンサ情報や自身が定点で観測したセンサ情報を，自身の設置位置に基づいて注意喚起を行う車載サーバと共有する．注意喚起を行う車載サーバはセンシングを行う車載サーバや路肩サーバから共有されたセンサ情報を基に運転手に注意喚起を行う．

4. プロトタイプシステム

4.1 モジュール構成と機能概要

本研究で構築するプロトタイプシステムのモジュール構成を図 3 に示す．この節では，各モジュールと 3.1 節で述べた機能概要とを対応づけて説明する．

4.1.1 AP Enable モジュール

このモジュールでは，車車間，車路間でサーバ同士が直接通信をするために一方が無線 LAN アクセスポイントとなる機能を実現する．この機能を実現するために本研究では hostapd と呼ばれるソフトウェアを利用する．これは，無線 LAN アクセスポイントとしたいサーバの特定のネットワークインターフェースに対して，SSID やキー，使用するチャネルや通信規格等を設定する．注意喚起を行う車載サーバや路肩サーバなど，情報を受信するサーバにアクセスポイントとしての機能を付加することにより，車車間，車路間通信で直接通信を行えるようにする．

4.1.2 AP Info Setting モジュール

このモジュールでは，円滑な無線接続のために一方が無線 LAN アクセスポイントの情報を設定する機能を実現する．この機能を実現するために本研究では wpa_supplicant と呼ばれるツールを利用する．これは，無線 LAN アクセスポイントに接続したいサーバの特定のネットワークインターフェースに対して，接続先の SSID とキーを設定する．これにより，周辺に複数の無線 LAN アクセスポイントがあったとしても，通信すべき相手に接続することが出来る．

4.1.3 Status Monitoring モジュール

このモジュールでは，無線 LAN アクセスポイントへの接続ステータスや通信パラメータを監視する機能を実現する．車車間・車路間通信においては，車両の移動や周辺環境の変化に伴って通信品質が変化する．よって，いつ接続先の無線 LAN アクセスポイントに接続されたか，いつ

データを送信することが可能になるか、などを把握する必要がある。本プロトタイプでは、以下の項目を監視する。

- 電界強度がはじめに測定された時間
 - － これは、サーバが無線 LAN アクセスポイントに接続された時間とほぼ同じであるため、そのように解釈する。
- 無線 LAN アクセスポイントとなっているサーバの IP アドレスにはじめて到達した時間
 - － これは、Java の関数である `isReachable(timeout)` を用いて計測される。この関数は指定した IP アドレスを用いて接続先ホストと TCP 接続を確立しようとする。通信状況によっては、電界強度は取得出来るが接続先の IP アドレスに到達できない場合があり、その状態でデータ送信を試みても無駄に終わってしまう。そのような無駄を取り除くためにも本プロトタイプではこの関数を利用する。

4.1.4 Priority Addition モジュール

このモジュールでは、限られた通信時間を有効に使うために、収集したデータに優先度を付加する機能を実現する。優先度には、情報の種類による優先度や情報の新旧による優先度など様々な種類があると考え、本システムのターゲットとしている道路情報は、主に路面の状態を表現している。路面の状態は時間によって変化しやすく、情報が古いと道路情報にズレが生じてしまう。よって本プロトタイプでは、第一に時間の経過を優先度として捉え、新しい情報から優先度を高く設定する。第二に、動画や画像、音声、データファイルやテキストなど、共有する情報のデータ形式やデータサイズによって優先度を設定する。

4.1.5 Transmission Judgement モジュール

このモジュールでは、データ送信が可能かどうか判断する機能を実現する。判断する材料は通信実験を通して決定する。詳細は 5 章述べるが、通信実験で 4.1.3 節で挙げたいくつかの通信に関するパラメータに加えて一定サイズの packets を用いてデータの送信の可否を監視し、それらの測定結果を分析、検討して判断材料に落とし込んでいく。

4.1.6 Data Size Decision モジュール

このモジュールでは、限られた通信時間を有効に使うために、監視したステータスやパラメータに基づいてデータ送信の可否やどのくらいのデータ量を送信するか決定する機能を実現する。4.1.5 節で分析、検討された測定結果を基に、データ送信が可能なのかどうか、どれくらいの時間通信することが出来て、その場合どれくらいのデータ量を共有できるか推定し、データ送信の可否やどのくらいのデータ量を送信するか決定する。

4.1.7 Data Transmission モジュール, Data Reception モジュール

このモジュールでは、付加した優先度や決定したデータ量に基づいてデータを送受信する機能を実現する。4.1.5 節

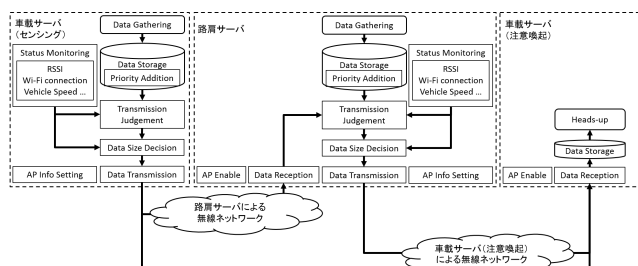


図 3: モジュール構成図

と 4.1.6 節で決定された要領に基づいてデータを送受信する。

4.2 機材構成

本プロトタイプシステムの構築に用いる機材を図 4a に示す。また、車両または路肩への設置を図 4b に示す。はセンシングを行う車載サーバと路肩サーバ、注意喚起を行う車載サーバは同じ機材構成となっている。サーバの構成は以下の通りである。

- OS: Ubuntu 14.04 LTS
- メモリ: 8GB
- ストレージ: 1TB HDD
- 開発言語: Java, C

USB 延長ケーブルはサーバを車内に、無線 LAN ドングルを車両の屋根など車外に設置するために利用する。理由は、サーバに無線 LAN ドングルを挿し車内に設置すると車両が遮蔽物となり通信品質が落ちてしまうこと、それを避けるためにサーバを車外に設置することは現実的ではないこと、である。電源に関しては、車両のシガーソケットからインバータを介して、または可搬型の大容量バッテリーを用いて給電する。

5. 通信実験

本章では、我々がこれまでに行ってきた通信実験について説明する。

5.1 車路間通信時の電界強度の変化を把握する通信実験

この実験では、車載サーバが路肩サーバのアクセスポイントに接続されていない地点から一定速度で走行し、アクセスポイントに接続され切断されるまでの通信状態がどう変化するかを把握するために行った。この実験では車載サーバで電界強度を 100 ミリ秒毎に取得するプログラムを動かし、その値を用いて接続と切断のタイミングや走行中の電界強度の変化について把握する。このとき車両は時速 40 キロから 50 キロで走行した。実験環境を図 5a に、実験結果の一部を図 5b にそれぞれ示す。実験環境について、始点と終点から路肩サーバまでの距離は最長で 250m 程度あり、路肩には街路樹や街灯などがある。

実験結果より、接続時間が長い場合では 30 秒以上、短



(a) 使用する機材（左から，Intel NUC5i5RYH，Buffalo WLI-U2-300D，Buffalo BSUC20EDBK）



(b) 車両の屋根への無線 LAN ドングルの設置（左）と三脚を用いたサーバの路肩への設置（右）

図 4: 機材構成

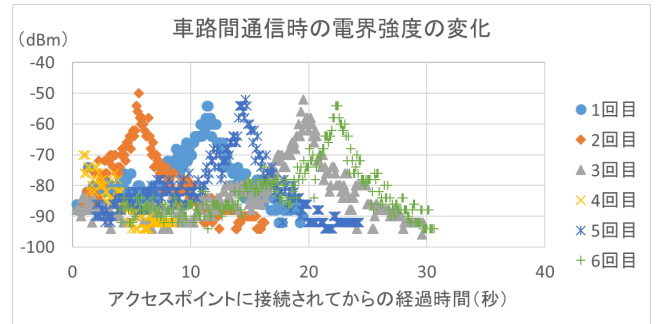
い場合では 10 秒未満と差が出るということが分かった。また同じ測定日でも，アクセスポイントに接続されるタイミングにばらつきがあることも分かった。アクセスポイントに接続する端末が SSID をスキャンする間隔や Wi-Fi 接続を試行する時間のばらつきによってこのような結果が見られたと推測される。

5.2 車路間通信時の電界強度とデータ通信の関係を把握する通信実験

この実験では，5.1 節の実験に加えて，車載サーバが一定サイズのデータを路肩サーバに送信し，路肩サーバはそれをそのまま車載サーバに送り返すプログラムを用い，走行時の電界強度とデータ通信の関係を把握するために行った。この実験では，電界強度は 5.1 節の実験と同じ方法を用いて測定し，データ通信は図 6 の方法を用いてデータを送信してから送り返されるまでの時間を測定する。この実験では，isReachable 関数の戻り値が true になったことをデータ送信を始めるためのトリガとして用いる。実験環境は 5.1 節の実験環境に加えて図 7a の環境を用いる。このとき車両は時速 40 キロから 50 キロで走行し，西側の始点から出発し東側の終点を目指し，そこに到達したら東側の始点から西側の終点を目指す，という動作を繰り返し，その間に測定を行っている。実験結果の一部を図 7b から 7d に示す。



(a) 実験環境



(b) ある測定日の実験結果

図 5: 5.1 節の実験について

実験結果より，電界強度に関しては 5.1 節の実験結果と同じような傾向が見られた。また，図 7a の環境で路肩サーバを移動させたことや反対車線を走行したことによって，車載サーバから路肩サーバへの見通しが変化し，それによっても電界強度の測定結果に差が出るということが分かった。データ通信に関しては，車載サーバが路肩サーバに接近する前にデータが少量やりとりされる場合もあるが，多くのデータは路肩サーバに接近しすれ違う際に送受信されている。また，図 7d のように，車載サーバと路肩サーバがすれ違うタイミングで Wi-Fi 接続が行われると，データはほとんど，もしくは全くやりとりすることができないことも分かった。電界強度とデータ通信の関係については，今回の実験結果では電界強度が -76dBm 付近になるとデータ通信が開始されていると推測できる。

6. まとめと今後の課題

本研究ではインターネット接続がままならない場所，通信不利環境をターゲットとし，車両同士，または車両と路肩の間で直接情報を共有できる車車間通信，車路間通信が有効であると考え，それらを用いた通信システムを検討している。本論文では今まで行ってきた実験とその結果について述べた。今後はこれらの結果に加えてさらに実験を行い，実験結果の分析とデータ送信方法の最適化を行う。また，実際にインターネット接続がままならないかつ路面の状態が変化しやすい地域をモデルとして，システムを構築していく。

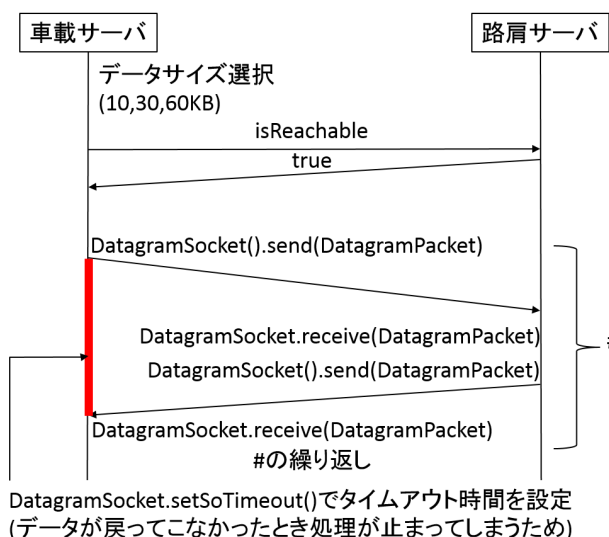
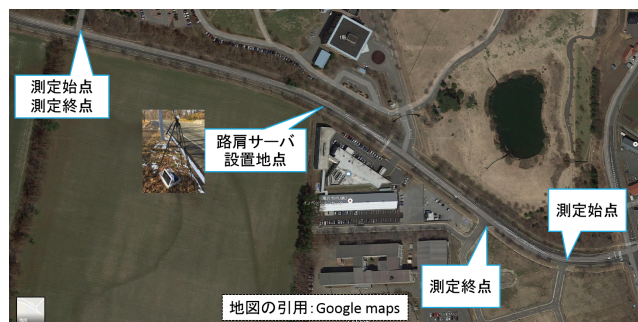


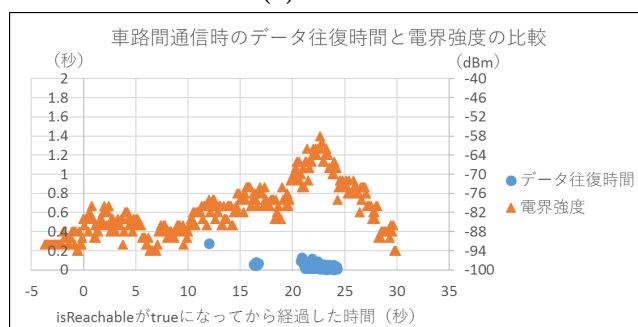
図 6: データ通信実験方法

参考文献

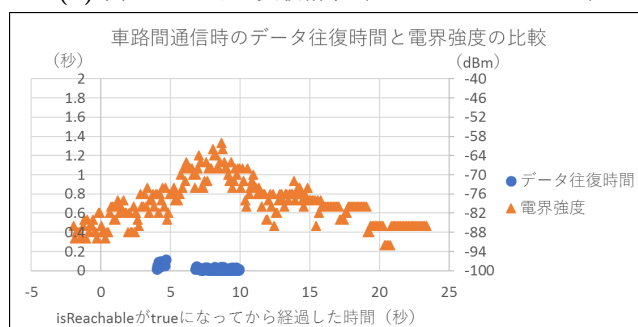
- [1] 河野賢司ほか：準静電界技術による凍結路面測定に関する研究，日本機械学会交通・物流部門大会講演論文集，Vol. 24 (2015)．
- [2] 吉田寿幸，水嶋清光：H24.1.7 秋田道シアライン（収束線）中のゲリラ豪雪について，ゆきみらい 2013in 秋田実行委員会（オンライン），入手先（<http://www.thr.mlit.go.jp/yukimirai.akita/event2.html>）（参照 2017-01-28）．
- [3] 西館俊之，水嶋清光，鈴木 聡：H24.3.12 八戸道浄法寺以北のゲリラ豪雪とその対応について，ゆきみらい 2013in 秋田実行委員会（オンライン），入手先（<http://www.thr.mlit.go.jp/yukimirai.akita/event2.html>）（参照 2017-01-28）．
- [4] 交通事故総合分析センター：イタルダ・インフォメーション No.67，交通事故総合分析センター（オンライン），入手先（<http://www.itarda.or.jp/itardainfomation/info67.pdf>）（参照 2017-01-28）．
- [5] 大島淳一：冬期路面情報移動収集システムの概要，日本雪工学会誌，Vol. 16, No. 2, pp. 109–110 (2000)．
- [6] 砂原秀樹ほか：IPCAR：インターネットを利用した自動車プローブ情報システムの構築，電子情報通信学会論文誌 B，Vol. J85-B, No. 4, pp. 431–437 (2002)．
- [7] 村田康之ほか：路面凍結情報システムの機能拡張と 2006 年度実証実験，情報処理学会全国大会論文集，Vol. 65, No. 3, pp. 197–198 (2007)．
- [8] 佐々木正大，鈴木 理，浜岡秀勝：プローブデータを用いた車両スリップの検知に基づくスリップ路面情報提供システムの構築，土木計画学研究・論文集，Vol. 25, No. 4, pp. 909–917 (2008)．
- [9] 山崎三知朗：画像処理による路面状態判定システムの開発，日本雪工学会誌，Vol. 29, No. 2, pp. 136–140 (2013)．
- [10] 邱 恒，村田英一，吉田 進：2.4GHz 帯無線ルータによる ITS 車車間通信実験，技術報告 284 (2000)．
- [11] 盛田耕作，室田修男，依田康宏：車両出会い頭衝突防止警報装置の開発，自動車技術会学術講演会前刷集，Vol. 68-03, pp. 15–18 (2003)．
- [12] 永井俊明，水井 潔：IEEE802.11b,802.11g,Bluetooth を用いた市街地道路における車車間通信実験，技術報告 51 (2004)．
- [13] 小山田典人，永長知孝，水井 潔：無線 LAN による車車間通信実験の一検討，技術報告 82 (2006)．
- [14] 伊藤健太，平川 剛，柴田義孝：道路注意情報共有システ



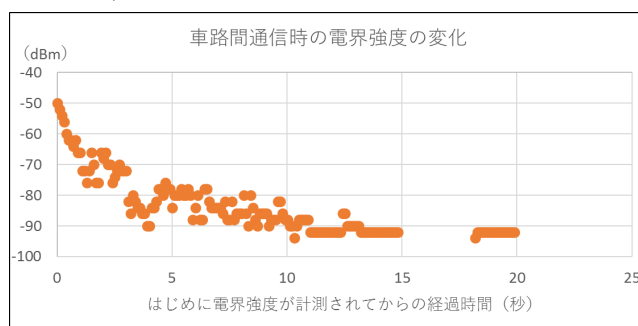
(a) 実験環境



(b) 図 5a における実験結果（データサイズ：10KB）



(c) 図 7a を西から東に移動した際の実験結果（データサイズ：10KB）



(d) 図 7a を東から西に移動した際の実験結果（データサイズ：30KB）

図 7: 5.2 節の実験について

ムのための実環境を用いた V2X 通信実験，Vol. 15, No. 4, pp. 459–462 (2016)．

- [15] 竹内 毅ほか：IEEE802.11g による車車間通信におけるアンテナ取り付け位置に関する一検討，技術報告 104 (2006)．
- [16] 小山田典人，水井 潔：無線 LAN によるトンネル内車車間通信実験の一検討，技術報告 161 (2007)．