

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

伊藤健太^{†1} 平川剛^{†2} 新井義和^{†2} 柴田義孝^{†2}

日本では地震や土砂災害などの自然災害、降雪や路面凍結による交通障害や交通事故が多発している。災害発生時には広範囲で迅速な状況把握や監視が必要である。また、平常時の通勤通学や災害発生時における災害対応や被災地支援において、目的地の状況把握や目的地までの道路状況把握は重要である。加えて、センサデータ収集技術や無線通信技術、DTN、ITS など様々な技術が発展し注目を集めている。本研究では、これらの技術を組み合わせ、多様な通信環境を考慮し車車間通信を用いた複数車両による道路状況共有システムを構築する。このシステムにより、複数センサデータを収集、選択、利用した道路状況監視、車両間での情報共有、ウェブアプリケーションによる情報提供を実現する。

A Research on Road Condition Monitoring System Using Various Sensor Data in Challenged Communication Environment

KENTA ITO^{†1} GO HIRAKAWA^{†2} YOSHIKAZU ARAI^{†2} YOSHITAKA SHIBATA^{†2}

Japan is prone to natural disasters. In addition, the areas which have a lot of snow are prone to traffic hazards and traffic accidents occurring due to deep snow, road surface freezing, melted snow and snowstorms. A wide range and quick status understanding and monitoring are needed after a disaster has occurred. In addition, in commuting, disaster response and disaster relief, it is important to understand the status of the destination and the road status to the destination. But, especially after a disaster has occurred, the areas where mass media can provide disaster status information are limited. Therefore, a wide range understanding of disaster status is difficult. Recently, various higher technologies have been developed and noticed. In our study, we develop a road condition monitoring system using multiple sensor data considering various communication environment. Using this system, we can realize road condition understanding, monitoring and recording using multiple sensor data, information sharing between each vehicles and information is provided as web application. As a quantitative evaluation, we measure vehicle-to-vehicle communication quality.

1. はじめに

1.1 研究背景

日本は地震や土砂災害、水害、風害などの自然災害多発国である。近年では、2011年3月東日本大震災や2014年8月の豪雨による広島市の土砂災害、2014年11月の長野県北部地震など大規模な災害が多く発生している。また、冬期には降雪や凍結による交通障害や災害も多発している。積雪が少ない地域では突然の降雪による交通障害や交通事故が発生し、積雪の多い地域では積雪や路面凍結、融雪、吹雪、雪崩、ホワイトアウトなどによる交通障害や交通事故が多発し、依然として深刻な社会問題となっている。

災害発生時には迅速で広範囲な被害状況監視が必要とされている。また、平常時の通勤通学や災害発生時における災害対応や被災地支援において、目的地の状況把握や目的地までの道路状況把握は重要とされている。しかし、特に災害発生時においては、通信インフラの障害やネットワークの輻輳のため、情報が伝わる時間的および空間的範囲が限定されてしまい、震災直後に状況が多く報道されてい

る地域と避難所がある地域に大きく情報量の差が見られた[1][2]。このため、これまでの情報収集や情報伝達の方法では広範囲の状況把握は困難であると考えられる。

一方、センサデータ収集技術や無線通信技術、Delay Tolerant Networking(DTN)[3][4]、Intelligent Transport System(ITS)[5]、ビッグデータ[6]など様々な技術が発展し、注目を集めており、道路状況監視システムの可能性が広がっている。

1.2 研究目的

本研究では、これらの技術と複数車両を組み合わせ、多様な通信環境を考慮し、多様なセンサデータを利用した道路状況監視システム、SODiCS(Spatial and Temporal Omnidirectional Sensor Data Distribution and Collection System)の設計、構築、評価を行う。SODiCSにより、複数センサデータを収集、選択、組み合わせた道路状況把握、監視、記録、車両間での情報共有、ウェブアプリケーションによる情報提供を実現する。特に、車両間での情報共有に焦点を当て、冬期の車両の走行速度に近いと考えられる40km/h 同士(相対速度 80km/h)でのすれ違い通信を目標とする。また、車車間通信のプロトタイプを構築して実証実験を行い、車車間通信時の機能などの性能評価を行うことにより、本システムの有用性を検証する。

^{†1} 岩手県立大学大学院
Graduate School of Iwate Prefectural University

^{†2} 岩手県立大学
Iwate Prefectural University

2. 関連技術・関連研究

2.1 Delay Tolerant Networking (DTN)

DTN は連続的なエンドツーエンドの接続を想定することができない環境に相互運用可能な通信を提供するアプローチである。現在の TCP プロトコルは、ネットワーク通信を確立するためにエンドツーエンドの接続を必要とするが、DTN は異種ネットワークや惑星間、軍事、災害ネットワークのようなエンドツーエンドの通信が利用できない環境でも、エンドツーエンドの通信を使用できるように設計されている。

劣悪なネットワーク環境下で相互運用可能な通信を実現するために、DTN は一般にストアアンドフォワード型のルーティングを行う。各ノードは、利用可能なノードが近くに存在しない場合、送信データが格納され、利用可能なノードが近づくと、そのノードにデータをコピーする。

DTN のルーティング方式として、Epidemic Routing, Spray and Wait, Max Prop^[7]などが一般的に知られている。また、人々がデータラバとして地域間を移動し DTN 機能をもたらす研究^[8]や Ant Colony Optimization を用いた手法の提案^[9]などが研究されている。

2.2 Dedicated Short Range Communications (DSRC)

DSRC^{[10][11][12]}とは、車両との無線通信に特化し設計され、狭い範囲での双方向通信を目的とした 5.8GHz 帯の電波ビーコンによる通信方式のことである。専用狭域通信や狭域通信、スポット通信と呼ばれる。アンテナの指向性と高精度なキャリアセンスにより、通信エリアを意図的にコントロールし、高速で大容量の情報を送受信可能となっている。

2.3 CoMoSE platform



図 1 CoMoSE platform データフロー

CoMoSE platform^{[13][14]}は図 1 に示すように、人や車、周辺環境、ITS の持つ様々な情報を車載サーバに収集し、収集したデータを用いて人や車、必要に応じて周辺環境や ITS に対してサービスを提供するプラットフォームである。

CoMoSE platform のスキームを図 2 に示す。これを用いることにより、各種情報を用いたサービスを提供することが出来る。本研究では本プラットフォームの車載センサの情報をデータベースに蓄積する部分を利用する。

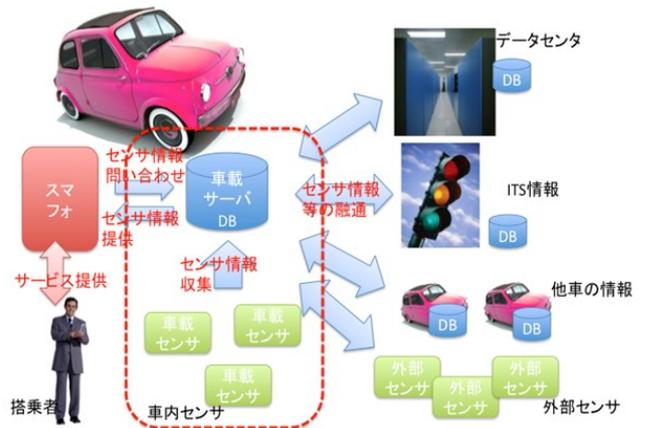


図 2 CoMoSE platform スキーム

2.4 準静電界技術

準静電界(Quasi Electrostatic Field(QEF))^{[15][16]}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。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、人体や車両等の周りだけで実現する省電力型のモビリティ近傍通信や、人体や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可能である。

2.5 道路状況監視システム

道路状況監視システムの関連研究として、地震動センサ、音センサ、画像センサを用いた災害後の道路監視システム^[17]や 3 軸加速度計と GPS センサによる路面状態監視^[18]、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^[19]などがある。これらの研究では、それぞれが扱うセンサデータの数が少なく、一つのシステムで多様なセンサデータを取得し、目的に応じて適当なセンサデータを組み合わせることで提供する情報の精度や質が向上するのではないかと考える。

3. システム概要

3.1 システム概要

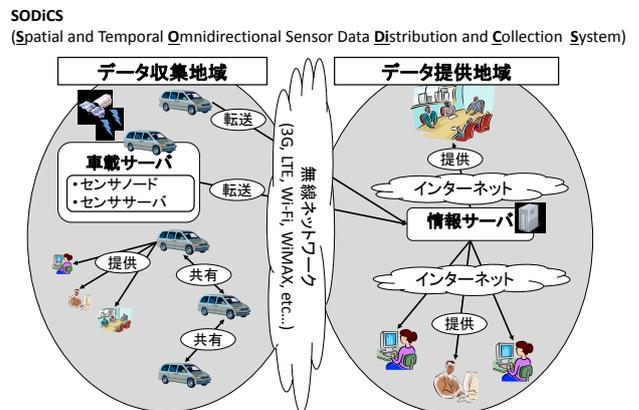


図 3 システム概要図

本システムの概要を図 3 に示す。本システムは複数の車載サーバと情報サーバから構成される。車載サーバはセン

サーバとセンサノードから構成され、センサデータを集
 集、蓄積し、安定したネットワーク接続が可能ならば情報
 サーバへデータを転送し、そうでない場合はデータを蓄積
 し続け、ネットワーク接続が可能になったときにデータを
 転送、車載サーバから直接データをユーザに提供、車両間
 での情報共有を行う。情報サーバはウェブアプリケーション
 としてユーザに情報を提供する。本システムの運用環境
 として、通常時の通勤通学や行楽地へ向かう際に、道路凍
 結や渋滞の情報を得ることと、緊急時における遠隔地から
 の災害対応や被災地支援を想定する。

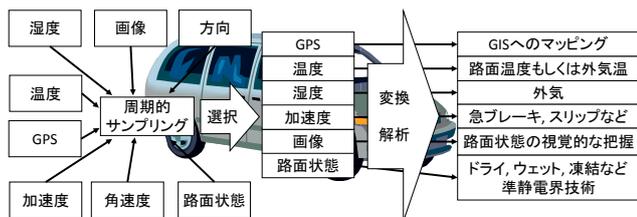


図 4 センサデータ利用例

また、本システムで利用するセンサデータの例を図 4 に
 示す。本システムのセンサノードでは、現在、GPS、温度、
 湿度、加速度、角速度、方向、路面状態、画像を取得す
 ることが可能である。これらのセンサデータを全て利用して
 情報を提供するのではなく、運用環境に合わせて適切なセ
 ンサデータを選択し、生データをそのまま提供するわけでは
 なく、変換や解析を行ったデータをユーザに提供する。
 例として、道路状況監視の場合、GPS データは GIS へのマ
 ッピング、温度データは路面温度もしくは外気温、湿度デ
 ータは外気の湿度、加速度データは急ブレーキやスリップ
 など、画像データは路面状態の視覚的な把握、路面状態デ
 ータはドライ、ウェット、凍結など、センサデータを変換、
 解析した情報として提供する。

3.2 提供機能

車載サーバの機能として、センサノードによるセンサデ
 ータの収集、収集したセンサデータをセンササーバのデー
 タベースに蓄積、無線ネットワークを介してセンサデータ
 を情報サーバに転送、ネットワークに接続出来ない際に車
 載サーバから直接センサデータを配信、車両間通信(Vehicle
 to Vehicle(V2V))による車載サーバ間の情報共有を提供する。

情報サーバの機能として、車載サーバから転送されたセ
 ンサデータを受信しデータベースに蓄積、インターネット
 を介してセンサデータをウェブアプリケーションとして配
 信、を提供する。また、情報サーバは、データ配信機能と
 してライブモード、アーカイブモード、フォーキャストビ
 ューモードを提供する。ライブモードはライブ中継や監視
 カメラの役割を持つ。車載サーバで取得したセンサデー
 タをリアルタイムに情報サーバへ転送する。積雪時の道路状
 況や観光地等の交通状況、被災地の道路状況や復興状況の
 監視などに用いる。アーカイブモードは過去のセンサデー
 タの閲覧のために利用する。フォーキャストモードは取得

したセンサデータを解析することによる道路状況の状況予
 測の可視化に利用する。

4. システムアーキテクチャ

4.1 システムモジュール

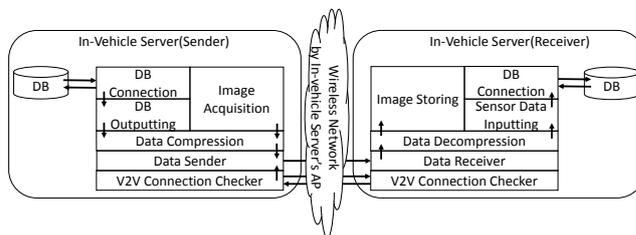


図 5 システムアーキテクチャ

本システムの車車間通信部分のシステムアーキテク
 ャを図 5 に示す。各モジュールの構成は以下の通りである。

- DB Connection
データベースへの接続
- DB Outputting
センサデータが格納されているテーブルの内容を
テキストファイルに出力
- Image Acquisition
任意のディレクトリに格納されている画像の取得
- Data Compression
センサデータが出力されたテキストファイルと画
像ファイルを zip 形式で圧縮
- V2V Connection Checker
送信側センササーバが受信側センササーバに立ち
上げたアクセスポイントに接続されているかどう
かを判別
- Data Sender
scp コマンドによる zip ファイル転送
- Data Receiver
受信側センササーバからの zip ファイル受信
- Data Decompression
取得した zip ファイルの解凍
- Image Storing
解凍した画像ファイルを任意のディレクトリに格
納
- Sensor Data Inputting
解凍したテキストファイルからセンサデータを取
得しテーブルへ入力

4.2 ファイル転送処理フロー

現在の実装におけるファイル転送フローを図 6 に示す。
 送信側センササーバでは、転送されるファイルの作成を行
 う。まず、センサデータとして取得されている画像ファイ
 ルの名前を取得し、配列へ格納、昇順にソートを行う。こ
 れと並行して、センサデータが格納されているデータベー
 スへの接続を行い、センサデータが格納されているテー
 ブルの内容をテキストファイルへ出力し、データベースとの

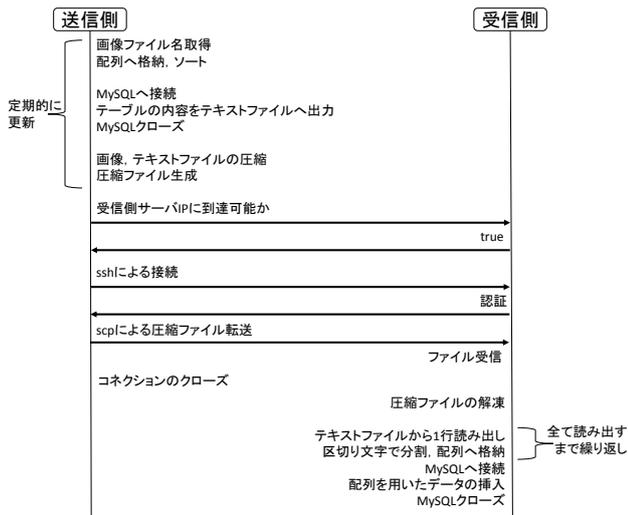


図 6 ファイル転送フロー

接続を終了する。そして、画像ファイルとセンサデータが出力されたテキストファイルを基に圧縮ファイルを作成する。ここまでの処理は一定間隔で定期的に行われる。また、送信側センササーバは `isReachable()` メソッドを用い、受信側センササーバの IP アドレスに到達可能かどうかで、受信側センササーバに立ち上げたアクセスポイントに接続されているかどうかを判断する。受信側センササーバに立ち上げたアクセスポイントに接続されていると判断された場合、送信側センササーバは受信側センササーバへ `ssh` による接続を試みる。接続が認証された場合、`scp` コマンドによる圧縮ファイルの転送を行う。ファイルの転送が終了したら、`ssh` による接続を終了する。受信側センササーバは転送された圧縮ファイルを解凍する。画像ファイルは任意のディレクトリに格納される。テキストファイルは出力されたセンサデータを 1 行ずつ読み出し、区切り文字で分割、配列へ格納する。この処理はテキストファイルの内容を全て読み出すまで繰り返される。そして受信側センササーバのデータベースへ接続し、生成された配列を基にしてデータベースへセンサデータを挿入する。この処理が終了したら、データベースへの接続を終了する。

5. プロトタイプシステム

本システムのプロトタイプを図 7 に示す。車載サーバはセンササーバとセンサノードから構成される。センササーバに使用する端末には特に制限を持たせない。車載サーバとして利用する端末を表 1 に示す。また、車載サーバから直接ウェブアプリケーションを提供するために、`PHP`、`Apache`、`MySQL` を使用し、車間通信のために `Java` を使用する。センサノードには `CoMoSE platform` を利用する。

情報サーバとして使用する端末を表 2 に示す。情報サーバも車載サーバと同様に、ウェブアプリケーションを提供するために、`PHP`、`Apache`、`MySQL` を使用する。また、画像解析と画像処理のために `Open CV` を使用する予定である。

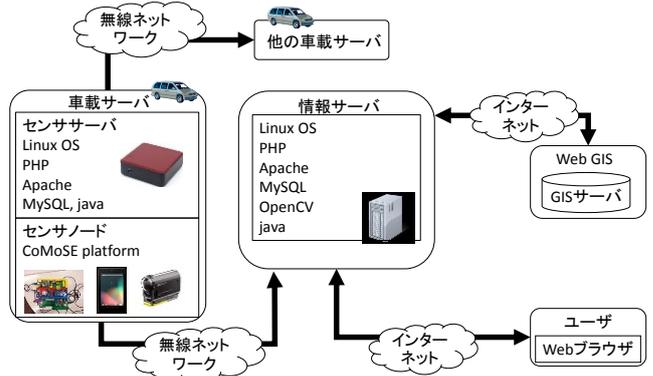


図 7 プロトタイプシステム

表 1 車載サーバ構成

	送信側車載サーバ	受信側車載サーバ
OS	Ubuntu 12.04 LTS	Ubuntu 12.04 LTS
CPU	Intel Core i3 3217U	Intel Core i7 3667U
メモリ	8GB	8GB
ストレージ	128GB SSD	512GB SSD
無線 LAN	内蔵 1 外付 2	内蔵 1

表 2 情報サーバ構成

	情報サーバ
OS	Ubuntu 12.04 LTS
CPU	Intel Xeon X5482
メモリ	8GB
ストレージ	2TB HDD



図 8 ウェブアプリケーションイメージ

ウェブアプリケーションのイメージを図 8 に示す。このイメージは車両 A の運転手が見るものと想定する。A がコンビニなどの駐車場で休憩しているとき、A の画面には A 自身が通ってきた経路の道路状況が表示されている。そこに、車両 B が A の目的地の方向からセンサデータを収集しながら A に接近する。そして、車両 B が A の付近を通り過ぎた後、A の画面には、A が通ってきた経路に加えて、B が通ってきた経路の道路状況も表示される。また、セン

サデータとして取得された画像を、バラバラ漫画の用につなぎ合わせて動画のように提供することも検討している。

6. 評価実験

6.1 実験概要



図 9 実験概要図

本システムの有用性を確認するために車両間通信において実証実験を行い、評価を行った。本実験の簡単な概要を図9に示す。本実験のシナリオとして、ある目的地に向かっておりその道の状況を把握したい車両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通り過ぎる際に、Aにセンサデータを送信する。本実験ではファイルサイズを固定し比較を行うため、センサデータの収集を行わず車両間の通信のみを行う。

6.2 実験環境



図 10 実験環境

本実験の実験環境を図10に示す。本実験は本学の駐車場で行われた。降雨や降雪がない日と駐車場に車がほとんどない機会を選んで実験を行った。

6.3 実験内容

本実験では、センササーバは車両上に搭載される。車両は送信側、受信側共に停止状態で、送信側の車両を移動し徐々に距離を離していった。転送に使用する圧縮ファイルのサイズは約8MBである。測定した内容は主に以下の内容である。

- 圧縮ファイルの転送にかかった時間
- pingによるパケットロス率(1試行20回)
- iperfによるスループット(1試行20秒)

また、本実験の車間通信プロトタイプを図11に示す。受信側センササーバの内蔵WLANをアクセスポイント化し、送信側センササーバの外付けWLANの1つを接続する。

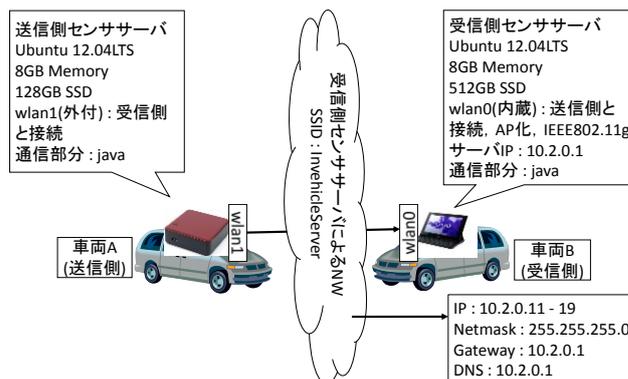


図 11 通信実験プロトタイプ

6.4 実験結果

まず、ある一日の測定結果を図12に示す。

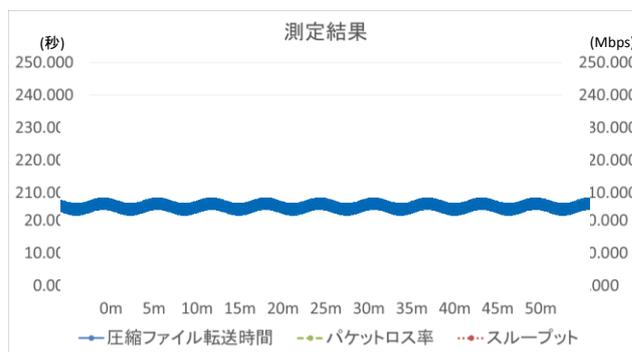


図 12 測定結果

また、異なる日のスループットの比較を図13に示す。

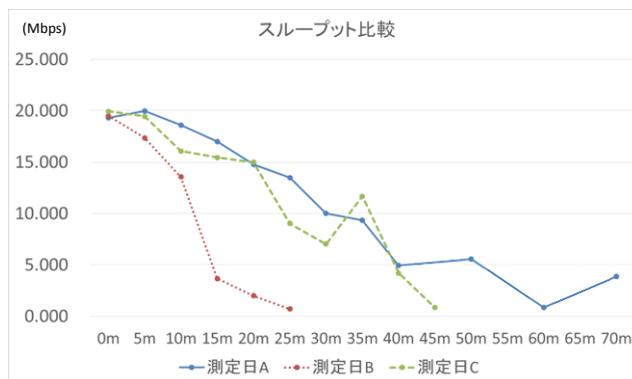


図 13 スループット比較

6.5 考察

図12の結果より、圧縮ファイルの転送時間とスループットにある程度の相関関係が見られた。また40m地点まではある程度の速度を保ちながら圧縮ファイルを転送することが出来ていたが、45m地点でスループットが落ち、それに伴い転送時間も急激に増加した。50m地点では、アクセスポイントには接続されるものの、ファイル転送とiperfによる計測がどちらも出来なかった。通信可能範囲が半径45mであると仮定し、40km/h同士ですれ違いを行うとすると、通信可能時間は約4秒であると仮定できる。この仮定を基にすると、現システムでは非常に小さいサイズのファイルの共有しか出来ないと考えられる。

また、図13の結果より、日付や天気などの環境の変化

によって測定結果が変化すると考えられるので、測定環境の条件を変化させて測定を重ねる必要がある。

7. まとめと今後の課題

本稿では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を提案し、実験を行った。様々なセンサデータを取得し、目的に応じて選択、利用する。また、道路状況や被災状況の把握や監視、記録に用いる。車両間通信の部分において、評価実験を行った。

今後の課題として、目標である 40km/h 同士でのすれ違い通信を実現するため、さらに実験を行い、測定結果を解析し、それに基づいた車両間通信システムの改良を行う。また、現在は 1 対 1 の通信のみを考慮しているので、より実環境に適応したシステムの実装を行っていく。また、関連技術であげた DTN を取り入れた実装や DSRC との比較、検討も行っていく

参考文献

- [1]. 東日本大震災マスメディアカバレッジマップ - Google ドキュメント
https://docs.google.com/document/d/1JvpLeq_hYKNENQ-hjAGqx1dmbyXdFnLK1fbL8lq-WxM/edit
- [2]. 東日本大震災マスメディアカバレッジマップ
<http://media.mapping.jp/>
- [3]. Home - Delay Tolerant Networking Research Group
<http://www.dtnrg.org/wiki/Home>
- [4]. dtnrg
<https://sites.google.com/site/dtnresgroup/home>
- [5]. ITS とは | ITS Japan
<http://www.its-jp.org/about/>
- [6]. 総務省 | 平成 24 年版 情報通信白書
<http://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/whitepaper/ja/h24/html/nc121410.html>
- [7]. 鶴正人, 内田真人, 滝根哲哉, 永田晃, 松田崇弘, 巳波弘佳, 山村新也,
”DTN 技術の現状と展望”, 通信ソサイエティマガジン No.16 [春号] 2011
- [8]. Hervé Ntareme, Sebastian Domancich “Security and performance aspects of Bytewalla: A Delay Tolerant Network on smartphones”, First International Workshop on Wireless Communication and Networking Technologies for Rural Enrichment
- [9]. Chengjun Wang, Baokang Zhao, Wei Peng, Chunqing Wu and Zhenghu Gong: Routing Algorithm based on Ant Colony Optimization for DTN Congestion Control, 2012 15th International Conference on Network-Based Information Systems (NBIS)
- [10]. DSRC – Wikipedia
<http://ja.wikipedia.org/wiki/DSRC>
- [11]. ITS スポット(DSRC)対応車載器ポータルサイト | 早わかり ITS スポット
<http://www.dsrc-portal.jp/summary/index.html>
- [12]. 総務省 | 東海総合通信局 | DSRC(狭域通信)システム
<http://www.soumu.go.jp/soutsu/tokai/musen/its/dsrc.html>
- [13]. 平川剛, Phyu Phyu Kywe, 伊藤健太, 柴田義孝, ” 車載向けセンサ情報サーバプラットフォームの開発と応用”, 情報処理学会第 76 回全国大会, 3-53 – 3-54, 2014 年 3 月
- [14]. Go Hirakawa, Phyu Phyu Kywe, Kenta Ito, Yoshitaka Shibata, Application of Automotive Sensor Information Server Platform to Ubiquitous Sensing System, The 17th International Conference on Network-Based Information Systems (NBIS2014), pp. 461 - 464, September, 2014
- [15]. 滝口清昭, 準静電界技術の ITS への応用と可能性, 社会人のための ITS 専門講座
- [16]. 滝口研究室
<http://www.takiguchilab.iis.u-tokyo.ac.jp/>
- [17]. Xu-guang Sun, Xiao-ling Sun, Qiu-ge Yang, Shu-nan Ma: Application of Wireless Sensor Networks in Post-Disaster Road Monitoring System, 4th International Conference on Intelligent Networks and Intelligent Systems, pp 105 - 108, 2011
- [18]. Kongyang Chen, Mingming Lu, Xiaopeng Fan, Migmig Wei, 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
- [19]. Avik Ghose, Provat Biswas, Chirabrata Bhaumik, Monika Sharma, Arpan Pal, Abhinav Jha: Road Condition Monitoring and Alert Application Using In-Vehicle Smartphone as Internet-Connected Sensor, PerCom Demos 2012, Lugano, pp 489 - 491