

# 災害時異種無線併用型DTNにおける送信スケジューリングのための転送データ量予測方式の設計

加藤 新良太<sup>1,a)</sup> 高井 峰生<sup>2,3,b)</sup> 石原 進<sup>4,c)</sup>

概要：本稿では、VDTN (Vehicular Delay Tolerant Network) における車車間通信において、送信点からアプリケーション層視点での転送可能データ量を送信点と受信点の位置・速度と転送可能データ量の関係をまとめたデータセットから予測する手法を提案する。筆者らは、災害時、車載器を搭載した緊急車両による Wi-Fi を用いた車車間通信と物理運搬を併用して、電波不感地帯の住民と防災対応機関の間で救援要請や損壊家屋の撮影画像等を共有するための災害時情報共有システムの実現を目指している。この車車間通信では、限られた通信可能期間内で救援要請や画像等を効率良く転送するためにその期間内で転送可能なデータ量に応じて送信データを決定することが望まれる。しかし、既存手法では、固定設置された端末間の転送レートを予測できる一方で、送信点と受信点双方が移動する場合は転送可能データ量の予測が困難である。そこで、本稿では、送信点と受信点の位置・速度と転送可能データ量の関係をまとめたデータセットを用いた転送データ量予測方法を提案する。また、実測と無線 LAN エミュレータを併用するデータ収集と緊急車両の運用方法に基づくパラメータ削減により、データセット作成を容易にする方法を述べる。

## 1. はじめに

災害時、防災対応機関と住民間での情報共有の有無は、避難行動、医療救援・復旧活動等の防災活動の迅速化に影響する。しかし、災害による電力・通信網の損壊等により発生する通信孤立集落数は、全国の約3割(17,212集落)[1]に及び、通信孤立集落解消は防災上重要な一課題である。

既存の災害時通信手段には、同報・移動系の防災行政無線、NerveNet[2]、Die-hard Network[3]、スマホ de リレー[4]等がある。防災行政無線は、トランシーバやスピーカを介して音声を伝達できるが、誤伝を招きやすく、スピーカを用いる同報系では住民から防災対応機関へ音声を伝達できない。NerveNetは、避難所に設置した固定局間で無線メッシュネットワークを構築する方法であるが、固定局がない地域との意思疎通が難しい。スマホ de リレーは、スマー

トフォンを用いた端末間通信と物理運搬を行う方法であるが、住民の行動が端末間通信の可否を左右し、時間制約を伴う避難指示等の伝達が難しい。

筆者らは、Wi-Fi等の広帯域無線と、LoRa等の狭帯域無線を併用するDTNを用いた災害時情報共有システムを提案している。本災害時情報共有システムでは、電波不感地帯の住民からの救援要請や、狭帯域無線では転送が難しい画像等の大容量データを、広帯域無線を介した緊急車両による車車間通信と物理運搬を併用して防災対応機関へ伝達する。車車間通信では通信可能期間が短く転送データ量は限られる。このため、車両が転送データ量を予測し、それに収まるように送信データを決定できれば、効率的にデータを送信できる。しかし、送信・受信点双方の移動を考慮した転送データ量の予測方法は検討が不十分である。

そこで、本稿では、車車間通信における転送可能データ量を送信点と受信点の位置・速度と転送可能データ量の関係をまとめたデータセットから予測する方法を提案する。以後、第2章では、異種無線併用型DTNを用いた災害時情報共有システムについて述べる。第3章では、既存の転送データ量予測手法と送信点と受信点双方が移動する際の課題を述べる。第4章で、提案手法の概要と利用方法を述べ、実測とエミュレーションの併用と災害時の緊急車両の運用方法に基づきデータセット作成を容易にする方法について述べる。第5章にて本稿をまとめる。

<sup>1</sup> 静岡大学創造科学技術大学院  
Graduate School of Science and Technology, Shizuoka University

<sup>2</sup> 大阪大学大学院情報科学研究科  
Graduate School of Information and Science, Osaka University

<sup>3</sup> カリフォルニア大学ロサンゼルス校  
Samueli School, University of California, Los Angeles

<sup>4</sup> 静岡大学大学院工学領域  
College of Engineering, Shizuoka University

a) kato.arata.17@shizuoka.ac.jp

b) mineo@ieee.org

c) ishihara.susumu@shizuoka.ac.jp

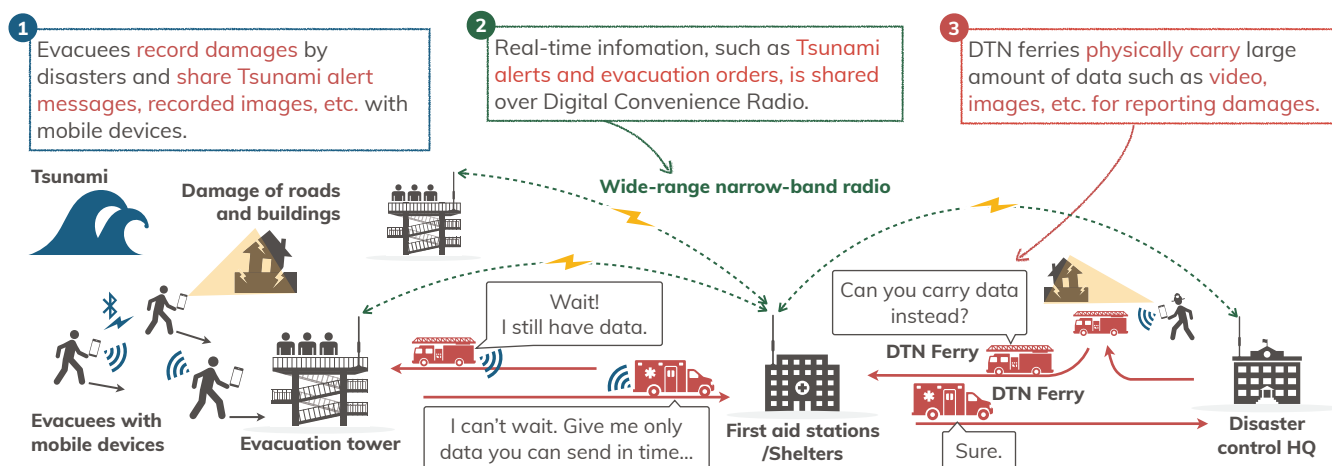


図 1 異種無線併用型 DTN を用いた災害時情報共有システムの概要

## 2. 異種無線併用型 DTN を用いた災害時情報共有システム

本章では、筆者らが提案する異種無線併用型 DTN を用いた災害時情報共有システムについて説明する。

### 2.1 概要

異種無線併用型 DTN を用いた災害時情報共有システムは、住民等が持つスマートフォン等の携帯端末、緊急車両に搭載された車載器、防災拠点に設置された固定局の 3 者の中で、Wi-Fi 等の広帯域無線と LoRa 等の狭帯域無線から成る異種無線通信手段と物理運搬を活用し、救援要請や損壊家屋の撮影画像等を共有することを目的とする。図 1 に概要を示し、表 1 に本システムで扱う情報の内訳を示す。狭帯域無線では、避難指示等の配信や救援要請の伝達などテキストベースかつ緊急性の高い情報を扱う。一方で、広帯域無線では、物理運搬を併用しつつ、損壊家屋の撮影画像等の狭帯域無線では転送が困難な大容量データを扱う。

### 2.2 発災後の経過時間に応じた具体例

本災害時情報共有システムは、下記に示す発災後の経過時間に応じて運用方法が変わる。

- 災害対応体制の確立期：大規模災害発生後から防災対応機関の救助活動が本格的に開始されるまでの数日間
- 災害対応期：動ける住民の避難が完了し、救助・支援活動が開始されてからの数日間
- 復旧期：電力・通信網等の復旧活動開始以後の期間

なお、上記に示した災害対応体制の確立期、災害対応期、復旧期の区分は文献 [5] による。

#### 2.2.1 災害対応体制の確立期

この期間では、救助活動開始に前駆して緊急車両等は被災地域に展開していないため、狭帯域無線を用いた拠点間通信

と住民の携帯端末を用いた端末間通信及び物理運搬が主な通信手段となる。この時、防災対応機関や避難拠点等にある固定局は、拠点間通信を介して津波警報等を配信する。また、住民は、避難完了後に避難拠点にある固定局を中継して救援要請等を防災対応機関へ伝達する。

#### 2.2.2 災害対応期及び復旧期

対応期の主な通信手段は、狭帯域無線での拠点間通信と、通信機器を搭載した緊急車両と固定局間の端末間通信及び緊急車両による物理運搬となる。緊急車両は、救助活動のため被災地域各所と防災対応拠点間を往来する際に固定局に蓄積された画像等の大容量データを収集する。また、緊急車両は、被災地域と防災対応期間を往来する合間に緊急車両同士で各々が収集したデータを車車間通信を介して同期する。復旧期では、携帯網等の復旧が遅れている電波不感地帯にいる住民との通信手段として活用する。

### 2.3 本災害時情報共有システム実現への要件

本システムは避難・救援活動に使われるため、救援要請等の緊急性が高い情報や傷病者のカルテ等の機微な情報を扱う。このため、本システム実現への要件は、a) セキュリティの確保、b) 類似データの集約、c) 送信スケジューリングのための転送データ量予測の 3 つである。以後、各々の課題について説明し、紙面の都合上、転送可能データ量予測に着目して議論を進める。

#### 2.3.1 セキュリティの確保

セキュリティの確保は、個人情報やカルテ等の機微な情報を第三者による盗聴や改竄等から防止するために必要となる。これは、救助要請等には傷病者の個人情報やカルテ等の機微な情報が含まれるためである。

#### 2.3.2 類似データの集約

類似データの集約は、同一地点に関する複数の救援要請や、重複する救援要請を集約し、防災対応機関の処理負担を軽減するために必要となる。対応期以後は、多数の救援

表 1 送信スケジューリングが必要となるデータの種別

データ種別	含まれるデータ形式	1件あたりのデータサイズ	緊急度	通信手段
避難指示・警報	テキスト, GPS 位置情報, POI 情報 (例: PX ファイル)	数 KB 以下	高	狭帯域
救援要請	テキスト, GPS 位置情報, (傷病者のカルテ, 支援物資リスト等)	数十 KB 以下	高	狭帯域
被害報告 (圧縮)	テキスト, GPS 位置情報, 圧縮画像	数 MB 以下	中	狭帯域
被害報告 (非圧縮)	テキスト, GPS 位置情報, 画像, 動画	数 MB 以上	低	広帯域

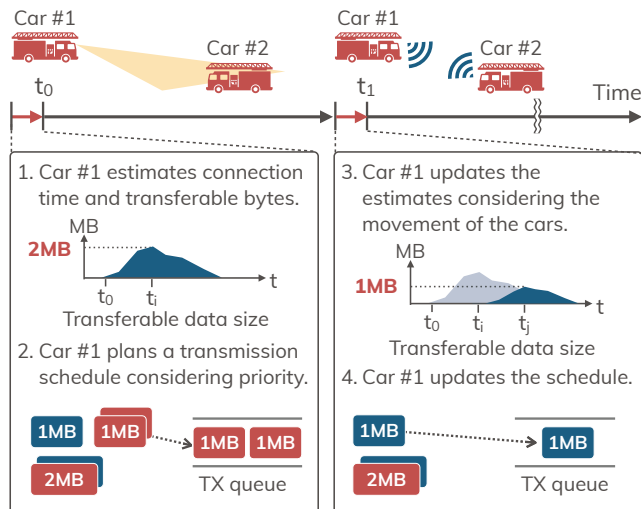


図 2 送信スケジューリングと転送データ量予測の具体例

要請や被災状況報告が防災対応機関へ送信される。特に、災害対策本部には、各市町村から救援要請等が一極集中し、指揮系統が混乱や機能不全に陥る可能性がある。これを防ぐために類似データの集約が必要となる。

### 2.3.3 送信スケジューリングのための転送データ量予測

緊急車両は、固定局から収集した画像等を他の緊急車両と車車間通信で共有するが、通信可能期間が限られるため、緊急度やデータサイズに応じて送信データを定める必要がある。そのためには、その期間内で送り切れるデータ量の事前把握が必須となる。

この送信スケジューリングの具体例を図2で説明する。図中 Car #1 が Car #2 と通信機会を得た際、Car #1 は、何らかの手段で、通信可能期間とアプリケーション層視点で見たその期間内で転送可能なデータ量を予測する。その後、予測した転送可能データ量分に合わせて緊急性の高いものから送信キューに加える。ただし、緊急性が高いデータのサイズが送信キューの残容量を超える場合は緊急性の低いデータを送信キューに加える。この後、車両間の接続が切断されるまでの間、上記データ量予測と送信データ決定の処理を、一定時間毎あるいは送信キューの全データの送信完了後に繰り返す。

## 3. 既存手法と課題

本章では、転送データ量予測に関連する既存の無線リンク品質推定方法と、送信点と受信点双方が移動する状況での転送可能データ量予測時の課題を述べる。

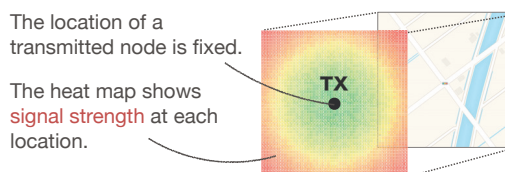


図 3 既存手法で見られる信号強度マップのイメージ

### 3.1 既存の無線リンク品質推定方法

既存の手法は、送信点か受信点を固定し、その固定点からの距離に応じた信号強度または転送レートを把握できる。このため、固定点から最も質の高いリンクを持つ受信点の位置を把握できる。既存手法は、実測データを収集する方法 [8], [9] とシミュレーションや数理モデルから計算する方法 [10], [11] の2つに大別できる。いずれも無線センサネットワークや LPWANs (Low Power Wide Area Networks) における置局のため送信点と受信点間のリンク品質の良し悪しを場所毎に把握する用途などに用いられる。シミュレーションを用いる場合にも、計算結果と実測値の比較による精度評価のために実測データの収集は必要である。

これらの既存手法における入力と出力の関係は以下のよう一般化して考えることができる。

$$E = M(P_1, P_2, G, C) \tag{1}$$

$P_1, P_2$  は、送信点と受信点の位置である。 $G$  は、送信点と受信点が存在する場所の地理情報を表し、地形、道路構造、建造物等の障害物などの情報を含む。 $C$  は、物理層とアプリケーション層間の各通信方式を表し、通信周波数、変調方式、送信電力、アンテナの利得及び高さ、CSMA/CA等の多元接続プロトコルの種別、送信バッファサイズ等が含まれる。 $f$  は、 $P_1, P_2, C, G$  に基づいて信号強度や転送レート等の評価値  $E$  を返す関数である。 $f$  は、実測やシミュレーション等で決まり、図3のように可視化できる。

### 3.2 既存手法の課題

既存手法では送信点と受信点双方の移動を考慮できない。これは、車車間通信における転送可能データ量予測において大きな課題となる。

図4は、図5(a)中の赤線で示された道路を相対速度80km/hですれ違う2台の乗用車間で、2.4GHz帯IEEE 802.11nで通信させた際に実測したRSSI (Received Signal Strength Indication) である。図5(b)のように車両に2枚の無線LANカード (AR9300) を備えた通信機器を搭載

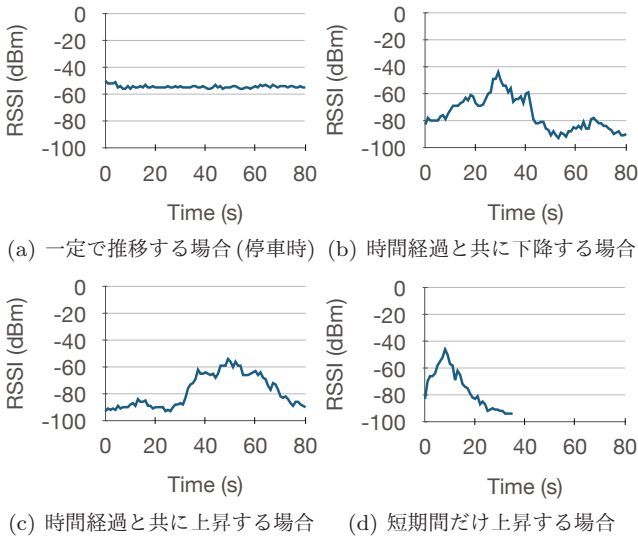


図 4 車車間通信における RSSI の推移例

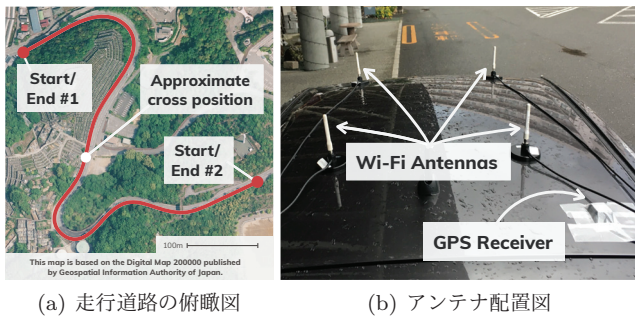


図 5 RSSI 測定実験の説明図

し、車高 1.5m の屋根の上にオムニアンテナを各車両毎に 4 本（インターフェース毎に 2 本ずつ）設置した。車載器の無線 LAN カードはそれぞれアクセスポイントモードとインフラストラクチャモードで動作し、EAP-PEAP による接続認証を経て接続確立するよう設定した。

図 4(a) のように車両が移動せず RSSI が一定の場合は、RSSI が変化しないため既存手法でも将来的な予測ができる。一方で、車両が移動する場合は車両間の接続性が変化し、図 4(b) のように  $t = 0$  から RSSI が時間経過と共に上昇する場合や、図 4(c) のように、 $t = 0$  以後しばらく RSSI が低い場合がある。この例から、 $t = 0$  付近の RSSI の変化に基づく転送データ量の予測は容易ではないことがわかる。

図 4(d) の場合では、 $t = 0$  から RSSI は上昇するものの、 $t = 10$  から下降に転じている。 $t = 0$  からの RSSI の上昇傾向は、図 4(b) の例と似ているが、図 4(b) と図 4(d) は減少に転じた際の挙動が異なる。図 4(d) のように、RSSI が短時間で大きく変化するような接続が不安定な状態で EAP-PEAP 等の初期接続認証を行うと、フレーム損失等により接続認証に必要なフレーム交換 (EAP Exchange) が正しく行われず初期接続処理が完了しないため、アプリケーションはデータを送信できない。

このため、送信点と受信点双方が移動する車車間通信に

おいて、RSSI の変化に基づいた通信可能期間や転送データ量の予測は困難である。通信端末の移動による接続性変化を考慮可能な転送可能データ量予測手法が求められる。

#### 4. 提案手法

本章では、災害時異種無線併用型 DTN における送信スケジューリングのための転送データ量を送信点と受信点の位置と速度別の転送可能なデータ量をまとめたデータセット (Multidimension transferable bytes prediction data set) を用いて予測する手法を提案する。

##### 4.1 概要

Multidimension transferable bytes prediction data set は、送信点と受信点間の接続確立時のそれぞれの位置・速度を入力として、接続確立から接続切断までの間にアプリケーションから見た受信点へ転送可能なデータ量をその位置別にまとめたデータセットである。従来手法との違いは、送信点と受信点双方の移動を考慮しつつ、転送可能データ量を出力とする点である。図 6 にその概要を示す。入力と出力の関係は、送信点が受信点を認識した時刻を  $t_0$ 、 $t_0$  から  $i\Delta t$  ( $i = 0, 1, 2, \dots$ ) 経過した時刻を  $t_i$  としたとき、 $t_i$  から接続処理及びデータ転送を開始した場合の送信点と受信点間の転送可能データ量を  $B_i$  を次のように表す。

$$B_i = f_{\text{MTBP}}(P_1^i, P_2^i, V_1^i, V_2^i; G, C) \quad (2)$$

$V_1^i, V_2^i$  は、 $t_i$  における送信点と受信点の絶対速度である。 $f_{\text{MTBP}}$  は、実測データ等に基づいて作成した送信点と受信点間の転送可能データ量  $B_i$  を返す関数である。 $B_i$  の算出には送信点が受信点の位置を把握する必要がある。これらの情報は、車両識別用の ID、位置情報、時速及び方向角の値で構成される数十 Bytes 程度で表現できるため、本稿では各通信端末は狭帯域無線を介して位置情報をブロードキャストして他車両に通知することを前提とする。

$f_{\text{MTBP}}$  の各パラメータの他に、気温・湿度等の気候条件や、車種や車載アンテナの形状等の違いによって電波伝搬の振る舞いが変わり、転送データ量も変わると考えられる。車種は本システム運用条件から消防車や救急車等の数種に限定される。車載アンテナの形状や利得等は実測前に全ての DTN フェリーで同一とする。気候条件については、夏と冬における気温・湿度差によって 2.4GHz 帯での信号強度の平均値が数 dBm 異なることが指摘されている [14] が、車両間の通信可能期間内での気温・湿度の急激な変化は考えにくく、車両の移動に伴う信号強度の変化の方が大きい。気候の変化が転送データ量に及ぼす影響は無視できる程度に小さいと仮定して以後の議論を進める。

##### 4.2 データセット作成のための実測データ収集戦略

$f_{\text{MTBP}}$  作成における理想的な方法は、

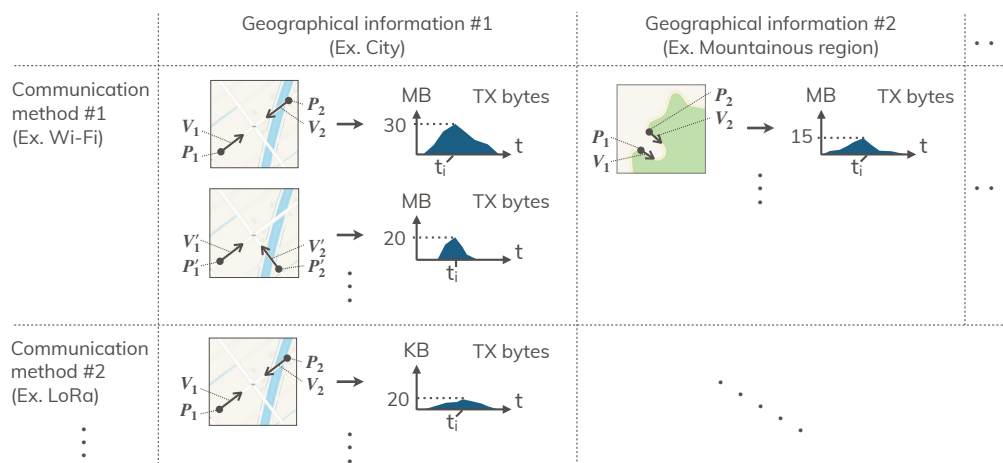


図 6 Multidimension transferable bytes prediction data set のイメージ

$P_1^i, P_2^i, V_1^i, V_2^i; G, C$  の全組み合わせを考慮した実測データの収集である。特に、山間部等の RSSI 変化が予測困難な場所における実測は重要であるが、その様な場所ではパラメータ全ての組み合わせ数は膨大となり、実測は現実的ではない。そこで、(1) エミュレーションとシミュレーションの併用、(2) 避難訓練等を活用したデータ収集の自動化、(3) 狭帯域・広帯域無線の利用用途に基づいた通信要件の限定、(4) 端末の位置固定による簡略化、(5) 道路構造に起因する接続性変化に応じたデータ収集によってパラメータ数を削減し、 $f_{MTBP}$  の作成を容易にする方法を述べる。以後、 $f_{MTBP}$  作成に必要なデータの種別と具体的なパラメータ削減方法について説明する。

#### 4.2.1 収集データの決定

$f_{MTBP}$  作成に必要なデータは少なくとも、a) アプリケーションの視点から見た転送データ量 (転送データ量)、b) 受信信号強度 (RSSI)、c) フレーム損失率、d) 初期接続に要した時間 (初期接続時間)、e) 送信点と受信点の位置と速度である。車車間通信では、EAP Exchange のオーバーヘッドが転送可能データ量を低下させる [3] 他、TCP 再送制御がパケット損失率の変化に過剰反応し、スループットが不安定になることが指摘されている [13]。転送可能データ量だけでは、これら認証処理のオーバーヘッドや再送処理によるスループットの不安定化を予測することが困難なため、RSSI、フレーム損失率、初期接続時間も測定する。

#### 4.2.2 エミュレーションとシミュレーションの併用

倒壊家屋等の障害物による電波伝搬の振る舞いなど実測が困難な場合でのデータ収集は、筆者らが開発した無線 LAN エミュレータ [15] を利用する。この無線 LAN エミュレータは、図 7 に示すように、Linux システムにおいて、筆者らが開発した仮想無線 LAN ドライバを用いて Linux システムをシミュレータと直結することで、車両のモビリティや電波伝搬等をシミュレータで模擬しつつ、RSSI 等のシミュレーション結果をシミュレータから Linux システム

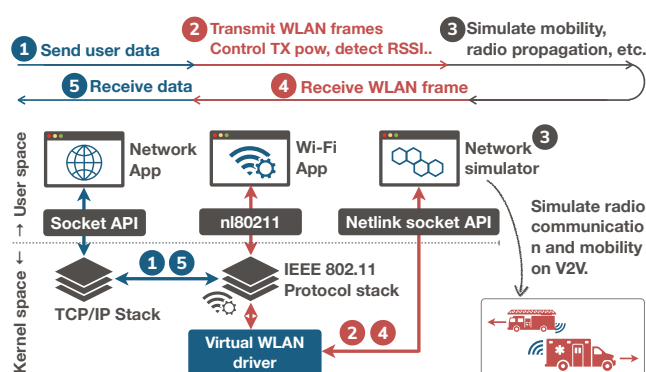


図 7 筆者らが開発したエミュレータの概要

へリアルタイムに伝達できる。このため、シミュレーションシナリオと連動して Linux の各種プロトコルスタックの振る舞いを再現できる。このエミュレータを用いて、災害時の車両の動きや障害物の有無に応じた RSSI の変化をシミュレータで再現しつつ、再現した信号強度の強弱やフレーム損失に応じて再現した RSSI の振る舞いに合わせて車載器で実働する OS 及びアプリケーションの挙動を変化させ、初期接続時間や転送データ量のデータを収集する。

実測に関しては、平時の巡回業務や訓練等の機会を活用して、直線やカーブ等の道路構造や車両間の位置・速度等の発災による影響を受けないパラメータと上記収集データの実測値を積み上げる。しかしながら、発災後は、倒壊家屋等の障害物により電波伝搬の振る舞いに変化する可能性がある。倒壊家屋は実環境上で再現困難なため、倒壊家屋の有無に応じた電波伝搬はシミュレーションで模擬する。

#### 4.2.3 システムの仕様に基づく通信方式 C の限定

本災害時情報共有システムの車車間通信ではセキュリティ確保及びスマートフォン等一般端末との汎用性確保の観点から、物理層・MAC 層プロトコルに WPA2-Enterprise 認証を伴う 2.4GHz 帯 IEEE 802.11n を用いる。また、信頼性確保のためトランスポート層プロトコルには TCP を用いる。DTN フェリーとなる緊急車両は、運用時に固有

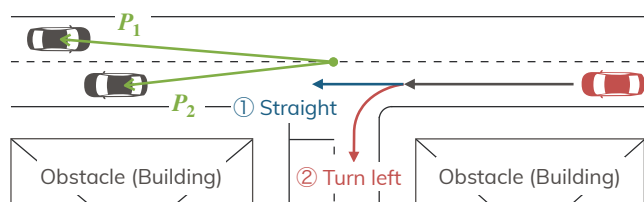


図 8 道路構造に応じた場合わけの例

の番号が災対本部から割り当てられるため、その際に IP アドレスを固定で割り当てる。ただし、TCP の再送制御や IEEE 802.11 でのレートアダプテーションが転送データ量に影響するため、アルゴリズム別に測定する。狭帯域無線では、物理層・MAC 層プロトコルに LoRa を用いる。LoRa の環境では、TCP/IP 等のネットワーク層以上のプロトコルはオーバーヘッドが大きいため利用しない。

#### 4.2.4 端末の位置固定による簡略化

狭帯域無線の主な用途は、救援要請等を防災対応機関と防災拠点間でやり取りすることであるため、固定局間の転送可能データ量を予測できればよい。このため、狭帯域無線に限り、 $f_{MTBP}$  のパラメータのうち、 $P_1^i, P_2^i, V_1^i, V_2^i$  は無視できる。この場合、既存手法と推定時の条件が同じであるため、既存手法等を活用して  $f_{MTBP}$  を作成する。

#### 4.2.5 道路構造に起因する接続性変化に応じたデータ収集

交差点での右左折等の車両の方向転換の有無で場合わけし、実測時に検討が必要な車両の位置の組み合わせ数を削減する。例えば、図 8 のように、図中赤い車が交差点に差し掛かる直前までの信号強度や通信時間等を測定しつつ、赤い車の交差点を左折の有無で場合分けする。直進する場合、2 台の車両が直線道路を走行すると見なして車両間の距離別に測定する。左折時は見通し外に入った後接続確立する可能性は低いため、交差点進入前に車両間の接続がある場合に限り、赤い車が交差点に進入した時点での黒い車両の初期位置を交差点からの距離を変えて測定する。

災害対応期では緊急車両及び支援車両以外の車両は道路上を走行するとは考えにくいいため、車車間通信の通信可能期間では車両密度は変化しないと見なせる。一方で、道路によっては避難時に放棄した車両が電波の見通しを阻害する可能性がある。ただし、形状が異なる点を除けば、放棄車両も倒壊家屋と同様の障害物と見なせるため、4.2.2 節と同様にエミュレーションを用いてデータを収集でき、実測時に考慮が必要な車両の位置の組み合わせを削減できる。

## 5. まとめ

本稿では、VDTN における車車間通信での送信スケジューリングのため、送信点と受信点の位置・速度と転送可能データ量の関係をまとめたデータセットから転送データ量を予測する方法を提案し、実測とエミュレーションを併用したデータ収集と緊急車両の運用方法に基づいたパラ

メータ数削減により、データセット作成を容易にする方法を検討した。今後、本稿で示した作成方法に則り実証実験を通じてデータセット作成を進める予定である。

## 謝辞

本研究の一部は、科学研究費補助金 19H04092 の助成によるものである。

## 参考文献

- [1] 内閣府防災担当: “中山間地等の集落散在地域における孤立集落発生の可能性に関する状況フォローアップ調査” (入手先 <<http://www.bousai.go.jp/jishin/chihou/pdf/20141022-koritsuhoukokusyuo.pdf>>), 2014.
- [2] 井上真杉, 他: NerveNet – マルチホップ無線と分散情報処理の融合ネットワーク, 信学技報, Vol. 110, No. 434, pp. 67–74, 2011.
- [3] 大和田泰伯, 他: “分散サーバ間の移動体による非同期通信を用いた災害時情報共有システム,” 信学技報, Vol. 120, No. 73, SEMI2020-2, pp.7–12, 2020.
- [4] H. Nishiyama, et al.: “Relay-by-Smartphone: Realizing Multihop Device-to-Device Communications,” IEEE Communications Mag., Vol. 52, No. 4, pp. 56–65, IEEE, 2014.
- [5] 総務省消防庁: “大規模災害発生時における消防本部の効果的な初動活動のあり方”, 2015.
- [6] GPX Developers: “GPX: the GPS Exchange Format”, 入手先 <<https://www.topografix.com/gpx.asp>>.
- [7] Association of Radio Industries and Businesses: “ARIB STD-T98 ver. 1.4: Digital Convenience Radio Equipment for Simplified Service,” 2014.
- [8] J. Petäjäjärvi, et al.: “On the coverage of LPWANs: range evaluation and channel attenuation model for LoRa technology,” In Proc. of 2015 14th International Conference on ITS Telecommunications (ITST), Copenhagen, pp. 55–59. 2015.
- [9] H. Linka, et al.: “Path Loss Models for Low-Power Wide-Area Networks: Experimental Results using LoRa,” In Proc. of Mobilkommunikation - Technologien und Anwendungen. Vorträge der 23. ITG-Fachtagung, pp. 10–14, 2018.
- [10] 高松悠, 他: “すれ違い通信を活用した複数携帯電話端末による省電力協調動画ダウンロード手法” 情報処理学会論文誌, Vol. 53, No. 2, pp. 783–793, 2012.
- [11] E. G. Papkelis, et al.: “A radio-coverage prediction model in wireless communication systems based on physical optics and the physical theory of diffraction [Wireless Corner],” in IEEE Antennas and Propagation Mag., Vol. 49, No. 2, pp. 156–165, 2007.
- [12] J. C. Liando, et al.: “Known and Unknown Facts of LoRa: Experiences from a Large-scale Measurement Study.” ACM Trans. Sen. Netw. 15, 2, Article 16, 2019.
- [13] B. Marc, et al.: An Optimized TCP for Internet Access of Vehicular Ad Hoc Networks,” In Proc. of International Conference on Research in Networking, pp.869–880, 2005
- [14] J. Luomala, et al.: “Effects of Temperature and Humidity on Radio Signal Strength in Outdoor Wireless Sensor Networks,” In Proc. of 2015 Federated Conference on Computer Science and Information Systems, pp. 1247–1255, 2015.
- [15] A. Kato, et al.: “Demo: Wireless LAN Emulator Using Wireless Network Tap Device for Testing a Vehicular Network System.” In Proc of. MobiCom ’19, Article 65, pp.1–3, 2019.