

令和 5 年 6 月 11 日現在

機関番号：13801

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2019～2022

課題番号：19H04092

研究課題名（和文）広域低速度無線通信とDTNを用いたセキュアな緊急情報配信技術の実証的研究

研究課題名（英文）Demonstrative research on LPWA and DTN-based secure emergency data dissemination

研究代表者

石原 進（Ishihara, Susumu）

静岡大学・工学部・教授

研究者番号：10313925

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 10,500,000円

研究成果の概要（和文）：災害発生直後の緊急避難時に避難支援情報等を配信し、確実な避難を実現するために、LPWA等の広域低速度通信手段、無線LAN等の短距離高速無線通信を併用したDTNによる避難支援情報配信戦略を開発した。セルオートマトンベースの高抽象度のシミュレーションモデル、ならびにマルチエージェントベースの詳細シミュレーションモデルを開発し、浜名湖近辺での津波発生時を想定したシミュレーション等により、提案戦略の有用性を検証した。また、Linux OS上の実動ソフトウェアの挙動を無線LANシミュレーションと組み合わせるためのエミュレーションシステムを開発した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

Delay/Disruption Tolerant Network (DTN)によって避難支援情報を配信する場合、避難者の動きの変化がDTNでの情報配信性能に影響を与え、情報配信の結果が避難者の行動に影響を与える。こうした相互作用を考慮して、避難支援情報配信戦略について検討した例は、本取り組みの他に例がない。また、本研究で開発した無線LANエミュレーションシステムは、無線信号強度の変化やそれに応じたシステムソフトウェアの挙動を反映可能なものであり、無線LANにおける接続性のみを反映可能な従来型のエミュレーションシステムと一線を画したものである。

研究成果の概要（英文）：We have developed an evacuation support information distribution strategy using DTN in combination with wide-area low-speed communication methods such as LPWA and short-range high-speed wireless communication methods such as wireless LAN, in order to realize reliable evacuation by distributing evacuation support information during emergency evacuation immediately after a disaster. We developed a high-abstraction simulation model based on cellular automata and a detailed simulation model based on multi-agents, and verified the usefulness of the proposed strategy by simulating a tsunami in the vicinity of Lake Hamana. We also developed an emulation system to verify the behavior of real software on Linux OS in combination with wireless LAN simulations.

研究分野：情報ネットワーク

キーワード：LPWA 無線LAN 異種無線混合ネットワーク DTN 避難支援 避難シミュレーション 無線LANエミュレーション すれ違い通信

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

1. 研究開始当初の背景

台風や地震等の大規模自然災害の結果、広域にわたる建物損壊や津波に伴う緊急避難が余技なることが考えられるが、災害時には携帯電話や有線広域網などの通信インフラが使用可能になる可能性がある。迅速な避難を可能とするための避難支援情報の配信、災害後の復旧活動の実施に当たって、災害時にも頑健な通信手段を整備することは、研究開始当初から現在に至るまで喫緊の課題である。特に大規模地震による津波発生時には、限られた避難路が被災したり、渋滞によって利用不能になることが考えられる。このような状況において、既存の通信インフラが利用不能な場合であっても、避難者に適切な情報を伝え、迅速に避難を完了できるように、多様な通信手段を自動的に柔軟に使いこなす仕組みが求められる。

DTN (Delay/Disruption Tolerant Network) 技術は、広域通信インフラが使用できなくなった場合でも、近接無線通信端末間の直接通信と、端末自体の移動との組み合わせによって、個々の端末の通信範囲を超えた広い地域に情報伝達を可能とする。近年では、WiFi Direct、サーバ機能付き WiFi アクセスポイント、Bluetooth Low Energy などの短距離無線通信技術を用いた DTN 実装の試みが数多く行われ、災害時の通信手段確保技術として活発に研究が進められている。特定の通信技術を対象としたプロトコル実装を中心とした実現技術に加え、DTN による情報配信の確実性向上、情報転送遅延の削減をめざしたモデルベースの検討も多くなされている。

たとえば、歩行者や電車等の定時移動車両の平時の移動パターンに関する知識に基づいて効率的な配信経路を求める研究が多く行われている。しかしながら、災害時には行動パターンは一変し、場合によっては平常時の学習データがまったく役に立たないケースが予想される。また、事故等によりインフラベースの通信手段の利用可能性の変化、土砂くずれや橋の陥落等による道路遮断によって車両等の移動可能地域が制限されることもある。

災害発生時の利用可能な通信手段や交通手段の変化は直ちにわかるものではなく、通信によって明らかになっていくので、状況の変化を効率的に把握し、情報配信経路を動的に設定していく方法が必要となる。さらに、災害時には避難誘導や状況把握のための通信が第一に求められるので、こうした通信を他の通信と差別化した上、複数あり得る通信手段を選択的に利用したり、必要に応じて併用したりすること、さらには伝達する情報の詳細度を調整することで、必要な情報を確実に送る手段が求められている。

2. 研究の目的

本研究では、以下の核心的問いに答えるべく研究を進めた。

- 多様な無線通信手段があるなかで、通信設備の利用可否の時間的変化、移動端末の行動制限の変化に対して、災害時に必要な情報配信を確実にを行うためにはどのようなネットワークアーキテクチャが必要なのか？
- 通信設備障害に関する部分情報から、通信障害の範囲を推定し、より確実な通信経路を得るにはどのようにすればよいのか？
- 通信の結果もたらされた情報に基づく端末の移動と通信品質の変化はどのように関連し合うのか？それを避難の成功に生かす方法はなにか？
- 上記を実現する無線通信設備プロトコルの実装で求められる技術は何か？

以上の問いに答えるべく、本研究では、災害時緊急避難時に多様な無線通信手段を同時並行で扱う統一かつ頑健なネットワークアーキテクチャの設計を目的とし、必要な要素技術の開発、

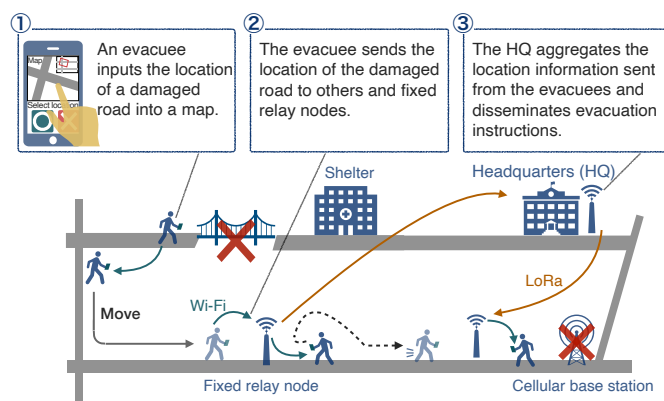


図 1. 異種無線混合型 DTN による避難支援情報配信システム

ならびに実動ソフトウェアの検証を行うための無線ネットワークエミュレーション技術の開発を行った。具体的には、図1のように、LPWA(Low Power Wide Area)通信のような広域低速度通信手段、セルラ網のような高速度無線通信手段、IEEE802.11(p)等の車々間通信や携帯端末間の直接通信などの短距離無線通信を選択的/並列的に使用することで、大規模災害発生時や事故等の緊急事態に確実性の高い通信を可能とするアーキテクチャとその実装プロトコルの開発を目指した。

災害時に最も緊急性が高いのは津波や火災からの避難である。DTNでは自動車や人など通信端末を持ち運ぶ主体の移動により情報が伝達が行われることに加え、移動に基づく情報交換の結果として得られる情報の内訳が変化するため、通信手段の変化と避難の成否は密接に関わると考えられる。本研究では、津波避難のシナリオを対象として移動行動と通信の関係に着目して通信手段の利用戦略を設計・評価することとした。

3. 研究の方法

まず、災害時避難を主目的として既存のDTNベースの情報配信手法ならびにICNベースの情報配信手法について文献調査を行った。つぎに、多様な通信手段、通信状況の変化、端末行動可能範囲の変化をモデル化した抽象度の高いDTNシミュレータを構築し、通信設備の機能停止、移動端末の避難行動を想定したシミュレーションにより、単一の無線通信手段を使った基本性能を確認した。その後、複数の無線通信手段を用いた具体的な情報配信戦略の構築とプロトコルモデルを実装し、これに基づいたシミュレーション・性能評価を通じて、情報配信戦略についての検討を進めた。

代表者らのグループで開発したLinux上の仮想ネットワークデバイスに基づいて無線ネットワークのエミュレーション環境を構築し、Linux上の実動ソフトウェアを仮想の無線ネットワーク上で評価可能とした。

自動車等の高速に移動する移動体間で構築するDTNでは、移動体間のすれ違い時のデータ転送性能が、車両の速度、位置関係、無線LANリンクの物理層、データリンク層の設定・挙動、トランスポート層のプロトコルの設定・挙動に大きく依存する。車両を用いたDTNでのデータ転送性能を推定可能とするために、車両すれ違い時の性能測定のための環境を構築し、実環境での実験を通してデータを収集した。

4. 研究成果

(1) 抽象度の高いDTN、避難シミュレーションモデルの開発と異種無線LANを併用した避難支援情報戦略の設計

避難者の移動に伴ってDTNでの通信経路が変化する点、通行不可能箇所に関する情報伝達によって避難者の行動が変化することに着目したセルラオートマトンベースの抽象度の高い避難・通信シミュレーションモデルを設計・実装した。これにより、DTNを用いた情報配信による避難行動への影響、ならびに避難行動による避難者間の位置関係の変化によるDTNにおける情報配信の相互の影響を反映した評価が可能となった。まず、無線LANのみによるDTNで情報配信を行った場合には、DTNによる情報配信によって避難行動が加速される一方で、避難が遅れた避難者への情報伝達手段が失われるケースが発生するという知見を得た。さらに、LoRA等のLPWAによる通信を併用した場合に関するシミュレーションを行い、LPWAの併用による避難

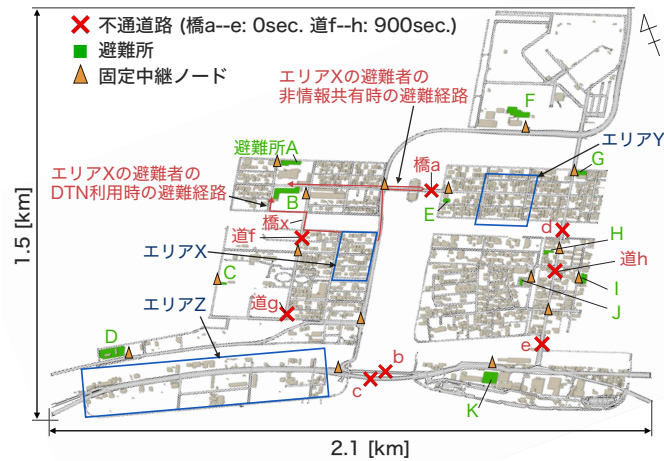


図 2. 浜名湖付近を想定したシミュレーションシナリオ

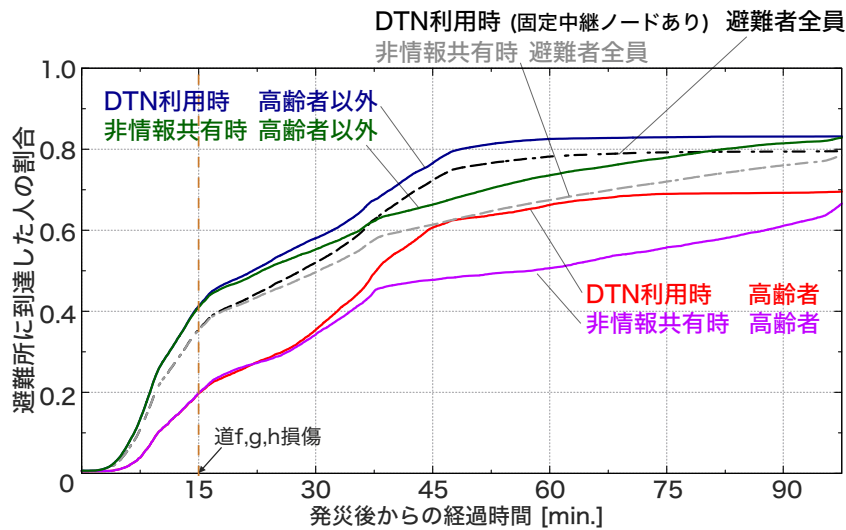


図 3. シミュレーション結果の一例

完了短時間化への効果、LPWA 基地局の適切な配置戦略を明らかとした。無線 LAN のみの DTN による避難情報配信を行った場合、DTN による情報配信経路の途絶によって一部の避難者が避難支援情報を受け取り損ね、適切な避難経路を通れない状況が発生するが、少数の LPWA 基地局を適切に配置することで、このような情報配信漏れを抑制し、避難者全員の早期避難完了が達成できることを確かめた。

(2) 異種無線併用型の DTN と避難行動の詳細シミュレーションモデルの開発とシミュレーション評価

津波等の災害発生時に避難路の分断が生じた場合において、IEEE802.11 無線 LAN と LoRA を想定した数 km の低速無線リンクを組み合わせた異種無線混合 DTN による避難支援情報の配信とそれに伴う避難者の動きをシミュレートするマルチエージェントモデルを、無線ネットワークシミュレータ Scenargie 上に構築し、浜名湖近辺での津波発生時を想定した詳細なシミュレーション (図 2) を実施した。この結果、DTN による避難路の不通や避難所の占有状況の共有により早期の避難完了が可能となること、避難者のもつ短距離・高速の無線 LAN 端末に加え、低速無線リンクをもつ固定中継点を適切に配置すると、逃げ遅れた被災者がいる場合でも早期の避難完了が可能になることを確かめた。図 3 にシミュレーション結果の一例を示す。

(3) 無線 LAN エミュレーションシステムの開発

車々間通信や無線 LAN を用いた DTN のシステム開発を容易にするための無線 LAN エミュレーションシステムを設計・実装した。研究代表者らが本プロジェクト前年度までに設計したプラットフォーム上に、実ネットワークシミュレータと組み合わせたエミュレ

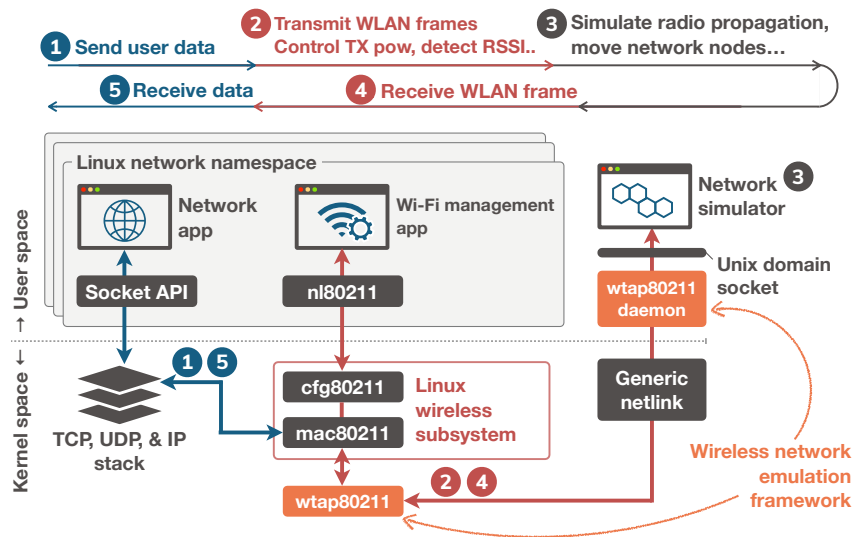


図 4. 無線 LAN エミュレーションフレームワーク

ーションシステム (図 4) を構築し、小規模な無線 LAN システムを対象にした実験により、同システムがエミュレーションシステムとして有効に動作することを明らかにした。

(4) 車両による DTN 性能予測のための実環境データ測定

異種無線併用型の DTN の性能予測に必要な無線 LAN、並びに LoRA 端末移動時の詳細なネットワーク機器、プロトコルの挙動、並びに通信条件の関係を調べた。この調査を可能とするために、RTK-GNSS、無線 LAN、LoRA 端末等を組み合わせた測定装置、並びに詳細なログ情報の収集、分析のためのソフトウェア環境を構築した。これらを用いて、車両すれ違い時のバルクデータ転送時の詳細なプロトコル挙動データを収集し、分析した。これにより、すれ違い時の RSSI の測定値をもとに、データ転送総量を推定できる見通しを得た。

(5) 災害時のための自営無線リンクの検討

IEEE802.11 無線 LAN よりも長い通信距離をカバーする自営無線通信網のための通信リンクとして、VHF-High 帯 (207.5-222 MHz) の利用を検討した。2 値 FSK を用いた簡易的な通信システムを実装し、フィールド実験を実施した。この結果、デジタル簡易無線 (DCR) と同等の送信出力、アンテナ利得を利用することで、DCR と同等の通信エリアで数倍から数十倍の通信速度が得られる見通しを得た。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 3件／うち国際共著 0件／うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Yahara Yudai, Kato Arata, Takai Mineo, Ishihara Susumu	4. 巻 30
2. 論文標題 On Interactions between Evacuation Behavior and Information Dissemination via Heterogeneous DTN	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Information Processing	6. 最初と最後の頁 120 ~ 129
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.2197/ipsjip.30.120	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Kato Arata, Takai Mineo, Ishihara Susumu	4. 巻 123
2. 論文標題 WiNE-Tap: Wireless LAN emulator with wireless network TAP devices	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Ad Hoc Networks	6. 最初と最後の頁 102690 ~ 102690
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.adhoc.2021.102690	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Yudai Yahara, Arata Kato, Mineo Takai, Susumu Ishihara	4. 巻 -
2. 論文標題 An Effect of Sharing Damaged Road Information via Heterogeneous DTN on Evacuation	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Adjunct Proceedings of the 2021 International Conference on Distributed Computing and Networking	6. 最初と最後の頁 110-115
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1145/3427477.3428192	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計15件（うち招待講演 0件／うち国際学会 1件）

1. 発表者名 矢原裕大, 加藤新良太, 高井峰生, 石原進
2. 発表標題 避難行動シミュレーションを用いた異種無線混合DTNによる災害情報共有が避難に与える影響の評価
3. 学会等名 情報処理学会 第190回マルチメディア通信と分散処理(DPS)・第96回コンピュータセキュリティ合同研究発表会 (CSEC)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 大和田泰伯, 高井峰生, 梶田宗吾, 井家上哲史, 石原進, 加藤新良太, 山本寛
2. 発表標題 災害対応IoT (Disaster Response IoT:DR-IoT) 無線システムの検討
3. 学会等名 電子情報通信学会 センサネットワークとモバイルインテリジェンス研究会 (SeMI)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 矢原裕大, 加藤新良太, 高井峰生, 石原進
2. 発表標題 DTNによる不通道路情報共有と避難行動間の相互影響に関する実地図に基づいたシミュレーション評価
3. 学会等名 情報処理学会 第29回 マルチメディア通信と分散処理ワークショップ (DPSWS2021)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 加藤新良太, 高井峰生, 石原進
2. 発表標題 個別認証を伴う無線LAN車車間すれ違い通信における転送可能データ量予測に関する実証的考察
3. 学会等名 電子情報通信学会 センサネットワークとモバイルインテリジェンス研究会 (SeMI)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 矢原裕大, 加藤新良太, 高井峰生, 石原進
2. 発表標題 災害時異種無線混合DTNを用いた道路寸断情報共有が避難行動に与える影響の一考察
3. 学会等名 情報処理学会第28回 マルチメディア通信と分散処理ワークショップ
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 加藤新良太, 高井峰生, 石原進
2. 発表標題 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
3. 学会等名 情報処理学会第28回 マルチメディア通信と分散処理ワークショップ
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 矢原裕大, 加藤新良太, 高井峰生, 石原進
2. 発表標題 異種無線混合DTNを用いた道路寸断情報共有による避難時間短縮の検討
3. 学会等名 情報処理学会マルチメディア, 分散, 協調とモバイルシンポジウム (DICOM02020)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 加藤新良太, 高井峰生, 石原進
2. 発表標題 異種無線通信方式併用型遅延耐性ネットワークにおける予測型無線通信方式選択手法の一検討
3. 学会等名 情報処理学会マルチメディア, 分散, 協調とモバイルシンポジウム (DICOM02020)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 矢原裕大, 加藤新良太, 高井峰生, 石原進
2. 発表標題 多種無線DTNによる避難支援情報共有に関する基礎的検討
3. 学会等名 高度交通システム(ITS)研究フォーラム2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 矢原裕大, 加藤新良太, 高井峰生, 石原進
2. 発表標題 災害時の交通状況の変化に応じた多種無線DTNによる避難支援情報共有に関する基礎的検討
3. 学会等名 情報処理学会高度交通システムとスマートコミュニティ研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 矢原裕大, 加藤新良太, 高井峰生
2. 発表標題 DTNを用いた災害時避難経路情報提供による避難時間短縮化の基礎的検討
3. 学会等名 第82回情報処理学会全国大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 加藤新良太, 高井峰生, 石原進
2. 発表標題 車々間通信システムの性能評価のための仮想無線LANデバイスを利用した無線LANエミュレータ
3. 学会等名 高度交通システム(ITS)研究フォーラム2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Arata Kato, Mineo Takai, and Susumu Ishihara
2. 発表標題 Demo: Wireless LAN Emulator Using Wireless Network Tap Device for Testing a Vehicular Network System
3. 学会等名 The 25th Annual International Conference on Mobile Computing and Networking (MobiCom'19) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 加藤新良太, 高井峰生, 石原進
2. 発表標題 大規模な実働無線LANシステム評価のための仮想デバイス利用型無線LANエミュレータ
3. 学会等名 情報処理学会マルチメディア, 分散, 協調とモバイル(DICOMO2019)シンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 加藤新良太, 高井峰生, 石原進
2. 発表標題 仮想無線LANデバイスを活用した実働無線LANシステムの挙動監視手法
3. 学会等名 電子情報通信学会センサネットワークとモバイルインテリジェンス研究会
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

<p>静岡大学大学院工学領域 石原研究室 https://wpp.shizuoka.ac.jp/ishi/lab</p>

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	高井 峰生 (Takai Mineo) (90277773)	大阪大学・情報科学研究科・招へい准教授 (14401)	

6. 研究組織（つづき）

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	劉 志 (Liu Zhi) (90750240)	電気通信大学・大学院情報理工学研究科・准教授 (12612)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関