

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

矢原 裕大¹ 加藤 新良太¹ 高井 峰生^{2,3} 石原 進¹

概要: 地震等の災害発生時の避難において、土砂崩れや橋の陥落、渋滞の発生の避難経路の状況や被災者の位置等の情報共有は、迅速な避難をする上で有用である。災害時には、通信インフラも被害を受けることがある。そこで、平時に使う携帯電話等に加え、Wi-FiやBluetoothによる端末間直接通信やLPWAなどの多様な無線通信手段の併用が災害時に有用と考えられる。避難時には、限られた避難可能時間以内に被害状況と要避難者の位置把握と避難指示を行うことが必要である。そのため、多様な通信手段の中から、通信設備の使用可否や状況変化、伝達情報の重要性に応じた通信選択が求められる。本論文では、多種の無線通信手段を用いたDTNによる情報共有において、送信データの内容と配送目的地、データサイズに応じた通信手段の選択手法について考察する。

1. はじめに

地震や台風等の大規模災害による、携帯網等の通信インフラの障害が多く発生している [1]。通信インフラの障害は、避難地や経路の指示、被災者の状況通知などの情報交換に多大な影響を与える。津波や洪水からの避難時には、道路陥没や土砂崩れによって避難経路の途絶が生じたり、鉄道や自動車が使えなくなるなど、移動手段の制限が生ずる。避難経路の選択を誤ると、避難の遅れに繋がる。そのため、避難経路の被害状況を考慮しつつ、津波や洪水等の到来までの限られた時間内で避難を完了するためには、被害情報や被災者の位置情報を避難者と自治体や消防署（以降、本部）の間で共有し、これらの情報に基づいて、適切な避難指示を決め、避難者を誘導する必要がある。

平時のスマートフォン等のモバイル端末を用いた情報共有には携帯電話基地局やWi-Fiアクセスポイントが使用されているが、災害時にはこれらの通信インフラの被災が想定される。その被害規模は地域によって異なり、避難時には被害規模の異なる地域間を移動することとなる。さらに、避難中に通信インフラが故障することも考えられる。文献 [2] は、堅牢でネットワーク上の特定位置で生じる障害の回避のために、避難地域に設置した複数のアクセスポ

イントによりメッシュネットワークを構成し、既存の通信インフラが使用できない地域内での情報共有手法を提供している。複数の地域間を移動する避難時において、既存の通信端末を用いて、より広範囲に避難経路の被害状況や適切な避難行動等の避難支援情報の共有を可能とするためには、どの通信インフラの故障にも対応できるように、セルラ通信やWi-Fi、LPWA (Low Power Wide Area) 通信等の複数の無線通信手段の特性に応じて、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、近接通信ノード間の直接通信によるデータ伝送と、ノード自体の移動によるデータ運搬の組み合わせによって、個々の端末の通信範囲を超える広範囲への情報伝達を可能とする技術である。災害時の通信手段としてDTN技術を利用する研究も多く行われている [3][4]。文献 [3] は、DTNを使用した災害ネットワークにおいて、データ優先度に基づく情報送信制御手法（データトリージ）を提案している。文献 [4] では、災害時の複数データをマージするDTNベースのデータ集約方法を提案している。

本研究の最終的な目標は、情報を受け取った避難者を津波到達時間等の期限までに安全に避難させることである。そのために本論文では、複数の無線通信手段を用いたDTNによる避難支援情報の共有において、情報提供範囲と通信手段の使用状況に応じた通信手段の選択方法と、情報の配送地や重要度に応じた送信優先度の決定方法について検討する。

以下では、第2章で災害時における多種無線DTN利用

¹ 静岡大学
Shizuoka University

² 大阪大学
Osaka University

³ カリフォルニア大学ロサンゼルス校
University of California, Los Angeles

表 1 各通信手段の伝送速度と伝搬距離

| 通信手段 | 伝送速度 [bps] | 伝搬距離 [m] |
|---------------|------------|----------|
| LPWA | 数 k-70k | 1k-50k |
| Wi-Fi | 数 M-1G | 10-100 |
| セルラ (LTE, 5G) | 数百 M-10M | 100-2k |
| Bluetooth | 数十 M-2M | 10-50 |

時の想定環境と課題について、第3章では、多種無線 DTN 利用時の送信データ優先度と通信手段選択の決定手法について述べる。第4章では、本論文のまとめと今後の展望について述べる。

2. 災害避難のための多種無線 DTN

2.1 災害時における多種無線 DTN の利用想定環境

図1に災害時の複数種類の無線通信とDTNを利用した情報共有例を示す。情報共有には表1に示す通信手段が使用できると考えられる。避難者はセルラ通信あるいはWi-Fiを用いた端末間通信通信が利用可能である通信端末を保持していると想定する。避難経路には、Wi-FiとLPWA通信の両方に対応した固定ノードが任意の位置に設置されているものとする。避難者及び本部は、データ送信に使用可能な通信インフラと移動通信端末間の直接通信を用いる。その全てが使用不可能である時には、DTN技術の一つである蓄積運搬形転送(Store-Carry-Forward)に基づいてデータ配送を行う。すなわち、通信不可能な時に端末自身の動きでデータを移動させ、他端末と通信可能になると他端末へデータを送信する。

本部は適切な避難誘導を行うために、管轄領域内の道路陥没や土砂崩れ等の被害状況を本部職員並びに避難者から知らせてもらう必要がある。そこで得た情報を基に避難者へ避難経路の混雑状況や道路遮断を知らせ、適切な避難誘導を行う。一方で、避難者は、本部からの情報に加え、避難者同士で入手した避難経路の情報を共有し、その情報に基づき避難をする。これらに加え、避難者が救助が必要な場合は、本部に対し、要救助情報を送信する。道路の遮断などによる避難経路の変化に関する情報は、その場所へ向かう可能性がある人々に対して優先的に送る必要がある。救助要求は、要救助者から災害対策本部へ迅速にかつ確実に送信される必要がある。救助要求を受信すると、本部は要救助者に対し、その場で待機などの取るべき情報を即座

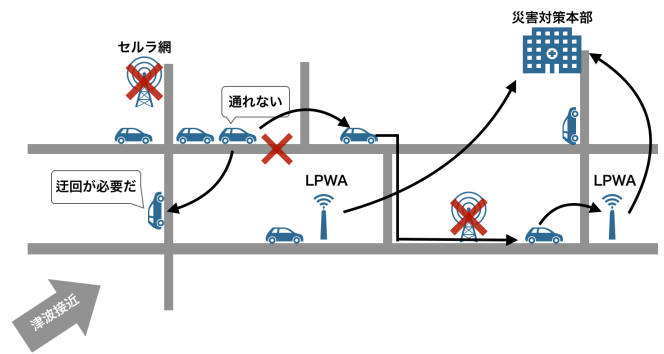


図 1 災害時の多種無線を利用した情報共有例

に送信し、救助に向かう。

これらの情報を表1の通信手段内の使用可能である通信手段に切り換えて、周辺の避難者や災害対策本部へ共有するために、複数種類の無線通信手段とDTN技術を用いる。

2.2 災害時における多種無線 DTN 利用時の課題

表1に示すように、各通信手段は特性が異なる。LPWAは遠い位置にデータを届けることが可能であるが、帯域幅が狭いため、大きいデータの送信には適していない。Wi-Fiは、帯域幅は帯域幅は大きいですが、通信可能範囲が狭い。しかし、Wi-Fiを用いた通信が可能な端末がDTNを利用し、マルチホップで送信することで、通信可能範囲を広げられる。一方で、端末密度が低い場合は、離れた場所に配送ができる確実性は低くなる。同様に、送信データも含まれる情報によって、データサイズや配信目的地、及び、重要度、緊急性が異なる。そのため、各送信データごとに適した通信インフラが異なる。本手法では、送信データの内容と配信目的地、データサイズと通信手段の特性に応じた通信手段の選択をする。

3. 多種無線 DTN 利用時の送信データ優先度と配送目的地に応じた通信手段選択手法

3.1 基本戦略

情報共有システムが本部ノード、Wi-FiとLPWA通信の両者に対応した固定中継ノード(以降、固定中継ノード)、Wi-Fiのみに対応した避難者ノード(以降、避難者ノード)から構成されていると考える。本部ノードはWi-FiとLPWA通信の両者に対応しているものとする。また、各

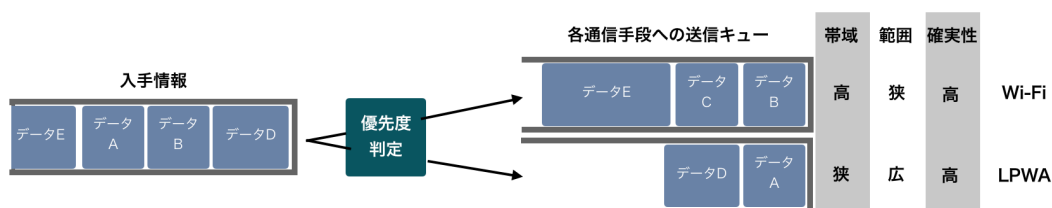


図 2 通信手段選択の概要

ノードは出力インターフェースに応じた送信キューを持つ。他端末からメッセージを受け取ると、各端末はデータの種類、宛先等に基づいて、メッセージの集約、優先度、転送先の判断を行い、そのメッセージ、あるいは集約済のメッセージを適切な出力インターフェースのキューに加える。図2に提案手法の概要を示す。

3.2 交換情報の種別と優先度の割当て

本稿では、複数の無線通信手段とDTN技術を用いた避難情報交換で扱う情報の種類を、通信の方向（上り・下り）と内容から以下の3つに分類する。

避難者・固定中継ノードから本部ノードへ送る情報（上り）

- 避難者の現在位置情報（時刻と座標）

個々の避難者の現在位置情報は、避難者が避難地までの経路距離が遠いほど優先度を高くする。すなわち、避難が困難な避難者に確実に情報が伝わるようにする。避難経路が状況によって変化することを考慮すると、道のり距離を避難者ノード、固定値中継ノードで判定するのは容易ではない。したがって、道のり距離に相当するより導出が簡単な指標で代替することが必要になると考えられる。

- 道路・橋・トンネル等の通行可能情報（個々の避難者によってテキスト等の短いデータまたは、写真データによって報告される）

これらの情報は、一度送信されたデータと同じ橋の崩落の写真、あるいは崩落の事実のみを伝える符号が複数の避難者ノードから送信されることが考えられる。これは通信路の混雑状況を悪化させる。したがって、類似した情報の配信は抑制されるべきである。一方で、データ取得時の状態から悪化したという情報については、重要かつ迅速に送る必要があるため、テキスト・符号によるサイズの小さいデータのみを高い優先度で複数回送信する。その他の情報に関しては、集約によりデータサイズを小さくし、低い優先度で送信する。

本部から避難者・固定中継ノードへ送る情報（下り）

- 避難指示情報（避難者の現在位置に応じた避難場所、避難経路）

避難者が避難が必要な位置にいる時、より避難場所から遠い位置の避難者への情報は、高い優先度で送信する。また、道路の遮断等により避難経路が変わった場合は、経路変更の影響を受ける地域に対して、高い優先度で送信する。

3.3 DTNにおける通信品質の把握

各ノードが生成したデータ、及び他ノードから受信後に中継するデータに対し、各ノードがその中継先を決める際は、次ホップのノードとの間のリンク品質のみならず、次

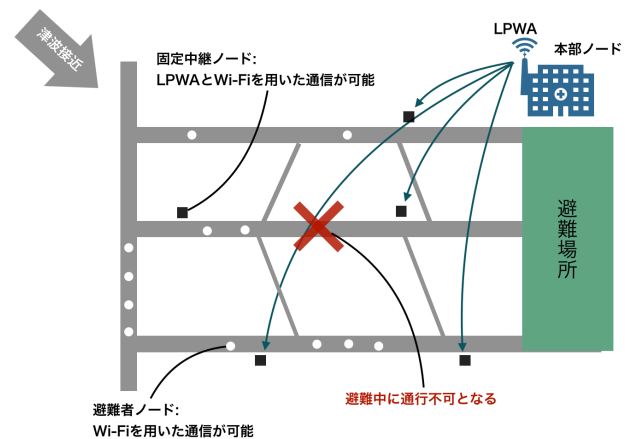


図3 評価モデル

ホップ転送後の宛先ノードに到達するまでに経由する経路の品質がわかることが望ましい。端末の位置が固定であり、各リンクの品質がリンクの双方向で同じであることが仮定できる場合、上り通信の品質は、下り方向へ転送されるデータの端末間での遅延やホップ数から推定可能である。しかしながら、本稿で想定する災害避難時のDTNにおいては、主な中継ノードとなる避難者ノードが避難地に向かって常に移動し、その方向はほとんど同じであり、逆方向の移動は極めて少ないと予想される。したがって、上りと下りの通信リンクの品質は同じである可能性は低い。そこで、上りの送信データの端末間の遅延、ホップ数、使用経路の情報を集約し得た上り通信の各経路の品質情報をLPWA通信を使った下り通信で固定中継ノードへ通知する。固定中継ノードは、下り通信パケットの端末間の遅延、ホップ数、使用経路の情報を集約し、下り通信の品質情報をLPWA通信を用いて本部に通知する。固定中継ノードは、Wi-Fiを用いたフラッディングにより、周辺避難者に上下方向の経路品質を通知する。

3.4 シミュレーションモデルの構築

提案手法を評価するための簡易的なモデルを図3に示す。避難途中で橋の陥落などを想定し、一部の道路を通行不可にする。Wi-FiとLPWAの通信が利用可能な固定ノードをいくつか配置する。通行不可を認知した避難者は、周辺の避難者や災害対策本部に対し、通行不可である情報を送信する。避難者と固定中継ノードの初期配置、通行不可能地点の発生箇所の異なる条件でシミュレーションを用い、避難者全員の避難時間を指標として評価する。

4. まとめと今後の展望

本論文では、災害避難時の情報共有のために、複数の無線通信手段とDTNを組み合わせたデータ配信における通信手段選択と優先度決定手法を提案した。本手法では、送信データのサイズと配送目的地、データの内容、及び通信

手段の特性や使用状況に応じて、情報共有に使用する通信手段選択を行う。今後は、各データの送信に適した通信手段の具体的な決定方法の検討と実装を行い、簡易的なモデルを用いて基礎評価を行う。

謝辞 本研究は、科学研究費補助金課題番号 19H04092 の助成による。

参考文献

- [1] Y. Shibata, N. Uchida, N. Shiratori: “Analysis of and proposal for a disaster information network from experience of the Great East Japan Earthquake,” IEEE Communications Magazine, Volume: 52, Issue: 3, pp.44-50 (2014).
- [2] M. Inoue, Y. Owada, K. Hamaguti, R. Miura: “Nerve net: A regional-area network for resilient local information sharing and communications,” 2nd International Symposium on Computing and Networking (CANDAR '14), pp.3-6 (2014).
- [3] N. Uchida, N. Kawamura, K. Takahata, Y. Shibata, N. Shiratori: “Proposal of data triage methods for Disaster Information Network System based on Delay Tolerant Networking,” 8th International Conference on Broadband and Wireless Computing, Communication and Applications (BWCCA '13), pp.15-21 (2013).
- [4] J. Fajardo, K. Yasumoto, N. Shibata, W. Sun, M. Ito: “DTN-based data aggregation for timely information collection in disaster areas,” IEEE 8th International Conference on Wireless and Mobile Computing, Networking and Communications (WiMob '12), pp.333-340 (2012).
- [5] U. Raza, P. Kulkarni, M. Sooriyabandara: “Low Power Wide Area Networks: An Overview,” IEEE Communications Surveys & Tutorials, Volume 19, Issue: 2, Secondquarter-2017, pp.855-873 (2017).