

メッセージ伝達の信頼性向上とトラフィック増加の抑制の双方を実現する被災情報収集システムに関する検討

足立 梨恵^{1,a)} 河本 美穂² 重安 哲也^{1,b)}

概要：地震などの自然災害発生時に、災害による影響をできるだけ小さく押さえるためには、適切な災害救援活動が必要となる。そのため、被災地における被災情報をリアルタイムに把握する事が必要となる。しかしながら、自然災害が発生するとその影響により常設の公共通信インフラが使用できなくなる場合がある。そこで、これまで我々は災害発生時にも被災情報を収集・共有するために、無線 LAN によって避難所間を接続する被災情報収集システムについて検討を行ってきた。しかし、同システムは避難所への避難が完了した被災者からの情報をその他の避難所や災害対策本部等で共有する事はできるが、被災地に留まる要救助者の発信する情報を収集する事ができなかった。そこで、本稿では、これを解決するために、災害発生時のように電力供給が望めず、かつ、貴重な通信帯域の浪費ができない状況を想定して、無駄な送受信を削減しながら、被災者の情報を DTN によって避難所まで伝達する手法について検討を行った結果について報告する。

1. はじめに

地震等の大規模災害の発生時は、被害を最小限に抑えるために迅速かつ確かな災害支援を要する。そのためには、被災情報のリアルタイムな収集・把握が不可欠である。

しかしながら、災害の影響による建物の倒壊や地形の変化によって、常設の通信回線では通信機器の故障の発生によって、災害発生時に利用できない可能性がある。また、中でも公衆通信網では、遠隔地から発信された安否確認のためのアクセスが集中することによる輻輳の発生も強く予想されるため、災害用伝言ダイヤル等の常設かつ公衆の通信回線を用いた通信システムは被災状況によっては十分な通信インフラとしての役目を果たさない危険性が高い。

そのため、このような状況下においても、適切な災害時対応の判断・実施を行うための情報を迅速に収集するために、これまでに我々は、避難所間を無線 LAN(Local Area Network) 装置によって接続し、被災情報を収集・共有する避難所間無線ネットワークシステムについて検討を行ってきた [1]。同システムでは、災害発生後に避難所間が無線 LAN 回線によって接続されるために、公共の通信イン

フラが使用不能な状況下においても、同システムに接続する避難所のどれか一つの避難所に被災情報がもたらされれば、全てのネットワーク内の避難所で情報を共有する事が可能となる。

しかしながら、同システムは、避難所間のみのネットワークを構築するのみに留まっているため、収集・共有できる情報は、避難所に避難が完了した被災者がもたらす情報のみに限定されてしまっていた。そのため、今現在、救助や救援を必要とする状態にあるものの、被災地に留まっている被災者が保有する情報については把握する事ができない問題点を抱えている。そのため、この問題点を解決し、避難が完了していない被災者も含めた被災地全体の被災情報をできるだけ早く収集するためには、新たな手法が必要となる。

ところで、被災時の情報伝達手段として注目を集めている技術にアドホックネットワーク [2] がある。このネットワーク技術は、既存の常設通信インフラを用いることなく通信を行うことができるため、災害時に前述の通信インフラが利用できない状況においても、被災者のもつスマートフォンを中継ノードとする事で、被災地に留まる被災者へのネットワークアクセスを提供するための一つの有効な通信手段となる可能性がある。しかし、実際の被災地においては、ノードの密度や移動の偏り等によってネットワーク中のノード間の接続性に時間的な粗密のばらつきが頻繁に発生することが十分に予想されるにも関わらず、アドホッ

¹ 県立広島大学経営情報学科
Dept. of Management and Information Systems, Prefectural University of Hiroshima.

² 富士通システムズウエスト
Fujitsu Systems West Limited

a) q204002cx@pu-hiroshima.ac.jp

b) sigeyasu@pu-hiroshima.ac.jp

クネットワークを適用する場合は、End-to-Endのノード間の回線に、その接続の維持が要求されるため、災害時にノード間の接続性が切断等によって保証されない状況ではその利用は困難になる。

一方で、新たな情報伝達手段として、DTN(Delay Tolerant Network)が提案されている[3]。これは、ノード間の回線接続状況が劣悪な環境にあったとしても情報の伝達を可能とする方式であるため、災害時の通信手段として近年注目されている。これまでに災害時におけるDTNの活用については広く検討されており、それには災害時の情報伝達の信頼性向上や宛先へのメッセージの到達率の向上を目的とするシステム等がある[4],[5],[6],[7],[8],[9],[10],[11]。しかし、これら既存のシステムは、災害時の通信の性能を向上させる代わりに、端末の電力の供給停止や帯域浪費、そして道路の寸断等の災害発生時に想定される被害を十分に考慮できていないのが現状である。

そこで、本論文では、情報伝達の確実性を維持しつつ、端末の電力消費や帯域浪費といった災害時の被害状況を考慮した情報伝達システムを検討する。具体的には、被災地にとどまる被災者(要救護者)の情報をスマートフォンを保持する避難中のユーザ間でDTNにもとづいて中継転送することで、迅速かつ的確に避難所や災害対策本部に伝達する手法を検討する。

また、本論文では、この検討の結果、前述した課題を解決する新たな手法を提案し、これを避難所間無線ネットワークに実装することにより、1)伝達の成否とは無関係なメッセージの送受信を削減しつつ、2)ユーザの端末のメッセージバッファが大きく制限される状況であってもメッセージの到達率を向上できることの2点を計算機シミュレーションによって明らかにする。

2. 災害時におけるDTNを活用した情報伝達手法とその課題

DTNは、大きな伝送遅延などが発生する劣悪な環境にも適用可能な伝達技術であり、経路が途中で切断されたとしても情報の伝達を行うことができる画期的な手法である。

DTNでは、蓄積運搬形転送(SCF:Store Carry Forward)を採用している。これは、受け取ったデータを一時的に中継端末に蓄積し、新たな端末との交信が可能になるとそのデータを転送する方式である。これにより、中継ノード間の通信リンクの確立が断続的であったとしても情報伝達を行うことが可能なため、大規模災害の発生によって経路が切断された状況でも利用可能となる。

このように、劣悪な環境でもデータ転送を行うことが可能なDTNを災害時の情報伝達に活用する検討は広く行われている。以下では、それらについての概要を述べるとともに、課題を明らかにする。

ノードの移動特性を考慮した手法[4],[5],[6]

文献[4]で提案される手法は被災者や救助隊が所持する携帯端末から構成するDTNを用いたアドホックネットワークと防災無線等による専用回線の2つをメッセージ伝送に組み合わせて使用する手法である。

しかし、同手法で検討されているシステムは、ノードの移動時の履歴をもとに経路を決定するため、ノード数が増えたとすると全てのノードの履歴を参照することは困難になると考えられる。したがって、この手法の実運用には不安が残る。

一方、移動中継ノードを導入する手法[5]も検討されている。この手法は、移動中継ノードといった特殊なノードを使用することにより、メッセージの到達時間を短縮し、より早く被災情報を宛先に届けることを目的としている。

しかし、同手法による性能評価の結果からは、メッセージの到達時間を短くすればするほど、無駄なメッセージ数が増加することが確認されており、端末の残存電力を不必要に減少させることは明らかである。したがって、この手法もまた、実運用には不向きであるといわざるをえない。

また、メッセージフェリーを用いた経路決定手法[6]も検討されている。同手法では、フェリーとよばれる定期的に指定された地点を巡回するノードをメッセージ中継ノードに用いることによって、互いに通信可能範囲外に存在するノード同士でも通信を可能とする手法であり、フェリーの移動経路をノードの位置情報を用いて動的に決定することにより、ノードとフェリー間の遅延時間とノードの移動時間を短縮することを期待している。

しかし、同手法は、定期的に巡回するフェリーノードを必ずネットワークに導入する必要がある。フェリーノードとして用いることができるのはバス等の公共交通機関が一般的であるが、実際の被災時にはそれらが正常に機能している保証はない。よって、同手法もまた、実運用には不向きであると考えられる。

屋内環境における災害時のDTN利用手法[7],[8]

移動端末間の相対的な距離と進行方向の情報から中継先を限定する手法[7]や建物内にいる被災者の情報を屋外へ伝達するための手法[8]がある。これらの手法を用いることによって、屋内で身動きのできない被災者の情報を屋外のレスキュー隊等へ伝達させることが可能になる。しかし、これら2つの手法は屋内環境という小規模なエリアを想定しているため、今回我々が対象とする屋外の環境でこれらを用いることは難しい。

メッセージのエリア内保持率の制御手法[9]

災害等によって重要な被災情報が失われてしまうことを防ぐため、メッセージの保持率の向上に関する検討が行われている。その中に、メッセージ交換制御手法[9]がある。

この手法は、メッセージを中継転送する際に制限を加えることで、特定のエリア内で効率よくメッセージを保持することが可能になる。

しかし、同手法は遠隔地へのメッセージ配信ではなく、指定されたメッセージの指定されたエリア内のみの滞留を目的とした方式であるため、本研究のように遠隔に位置する避難所にメッセージを伝達させることを目的としたシステムとは、その用途が大きく異なる。

既存研究の課題

以上で取り上げた DTN を利用した災害時に活用するシステムの既存研究が抱える課題点を以下にまとめる。

- メッセージの中継端末の消費電力の低減が考慮されていない
- 公共機関や既存のインフラを用いる必要がある
- 屋内または特定のエリアなど、情報の伝達範囲が狭範囲である

これらの課題点から、既存研究では、電力の供給が停止したり、既存の通信インフラが使用不可能になるなど、災害時に想定される被害を十分に考慮できていないことがわかる。よって、本研究で検討する災害時の情報伝達システムでは、これらの課題点を考慮した検討が必要である。

3. 低電力消費とメッセージ到達率の向上を目的としたメッセージの冗長送信数の削減手法

3.1 避難所間無線ネットワークに対する DTN を用いた情報伝達

これまで、我々は、避難所間を IEEE802.11 系無線 LAN 機器によって接続する事で、災害発生時の常設の公共通信インフラの停止時にも、避難所間のみであれば、被災情報の相互伝達を可能とするネットワークシステムについて検討を行ってきた [1]。

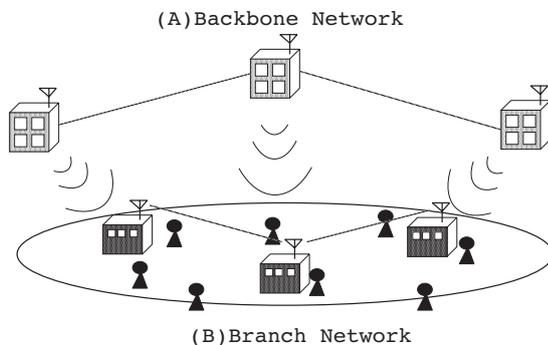


図 1 避難所間無線ネットワーク

図 1 に示すように、我々の開発したネットワークシステムでは、学校、市役所等の耐震強度があり、かつ、ある程度の高度のある建築物に災害発生前から、指向性アンテナ

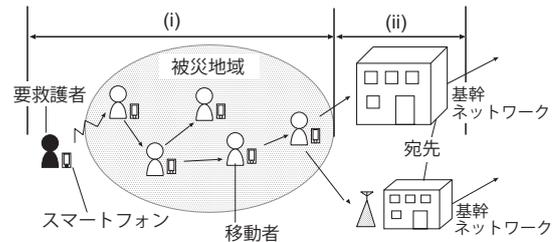


図 2 避難所間無線ネットワークと組み合わせた被災者間情報収集モデル

を設置する事で、強固な無線 LAN バックボーンを構成する (図 1 (A))。また、これらをのぞく、通常の避難所に対しては、無指向性のアンテナを実装した無線 LAN 機器を避難所内に保管しておき、災害発生時の避難所立ち上げ時に、前述のバックボーンネットワークに接続する (図 1 (B))。2 段階のネットワークによって構成された避難所間ネットワークでは、それぞれの避難所に到着した被災者からもたらされた情報を相互に無線 LAN 回線を経由して共有する。このようにすることで、常設の公共通信インフラに依存する事なく、被災情報を迅速に収集する事が可能となる。

しかしながら、このようにして構成したネットワークシステムで共有することができる情報は、当然の事ながら、避難所への避難が完了した被災者からの情報に限られる事となる。従って、今現在、被災地において救助を待っている要救助者の発信する情報を共有する事はできない。そこで、この問題を解決し、避難未完了者が発信する情報についても、迅速に我々の開発する避難所間無線ネットワークシステムで共有する事を目的として、図 2 に示すように被災地を移動中の避難者の保有するスマートフォンによる DTN を構成し、これによって、被災情報をすれ違い通信の形態で収集する手法について文献 [12] において検討を行った。

3.2 メッセージ中継エリアによる冗長メッセージ中継の削減手法

文献 [12] において我々は、DTN におけるメッセージ伝達の軌跡から、宛先まで伝達が成功するメッセージの多くが、送信元と宛先を直線で結んだ経路付近を通過していること、逆に、伝達が失敗するメッセージは、その箇線経路とは無関係に中継されていることから、メッセージを受信した中間ノードはそのメッセージの送信元と宛先の直線からあらかじめ設定された閾値以内で受信していればその先のノードへ転送するが、そうでなければ、メッセージの冗長複製と冗長送信を削減するためにメッセージを破棄するメッセージ中継エリアを導入することを提案した。

このメッセージ中継エリアの概念を示したものを図 3 に示す。同図において、Ideal Route は送信元と宛先を結ぶ

直線を中心として d_{th} 以内でグレーで塗りつぶした領域はメッセージ中継エリアをそれぞれ示している。

表 1 シミュレーション諸元 (3.0km × 3.0km)

Parameter	Value
Simulation Period	5,000sec
Mobility Speed	0.9~1.0m/s
Transmission Speed	2Mbps
Transmission Range	100m
Message Size	250Byte
Message Interval	110~30sec
Density of Relay Nodes	222node/m ²
Number of Shelters (Destinations)	1
Number of Sufferers	4
Routing Protocol	Epidemic Routing

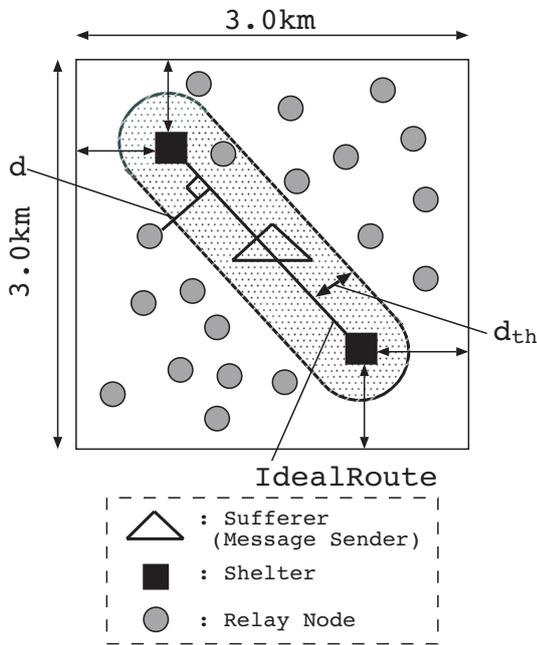


図 3 メッセージ中継エリアの設定例

3.3 メッセージ中継エリアの問題点

前節で述べたメッセージ中継エリアを用いる手法では、冗長なメッセージ送信数を削除することはできるが、ノードとなる端末の中継用バッファサイズの状態によっては逆に性能低下を引き起こす。このことをシミュレーション評価を用いて以下に述べる。

被災地モデル

本評価では送信元が複数存在することを想定し、4つの送信元を同一フィールド内に配置する。評価に用いたモデルを図4に示す。

また、今回の評価では端末が保持できるメッセージ容量を制限するため、表2に示すようなメッセージ数とその保持に必要なノードのバッファサイズの関係を設定する。そ

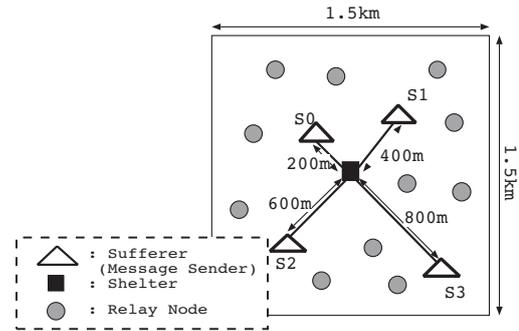


図 4 送信元が複数存在する場合の被災地における情報伝達モデル

他のシミュレーション諸元については、表1に示す。なお、ルーティングプロトコルには、DTNの代表的なルーティングである Epidemic Routing を用いることとした。

表 2 メッセージ数とその保持に必要なバッファサイズ係

# of Msg Capacity	Buffer Size (MB)
200	50.00
175	43.75
150	37.50
125	31.25
100	25.00
75	18.75
50	12.50

平均到達率

評価結果から得られた両手法の平均到達率を図5に示す。以降のグラフにおいて、Conventionalは既存手法、Proposedはメッセージ中継エリアを用いた結果をそれぞれ示す。ここで、ConventionalはEpidemic Routingのみでメッセージを配送した場合の結果とする。

同図より、メッセージの保持制限が厳しくなるに伴い、Conventionalの到達率は大きく低下していることがわかる。一方、Proposedの到達率はConventionalのものとは比べると低下の度合いが緩やかであることがわかる。

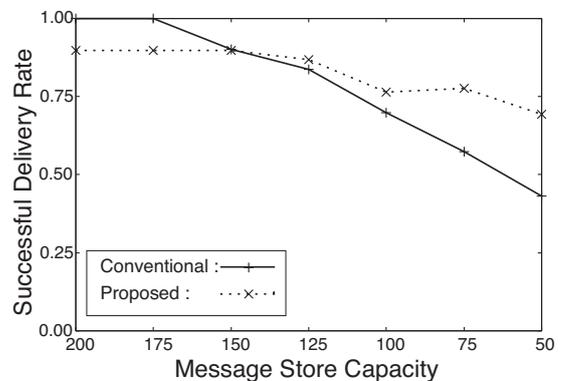


図 5 メッセージ保持可能数の変化と平均到達率の関係

また、ノードが保持可能なメッセージ数を M_{limit} とした時、 $M_{limit} \geq 150$ の範囲では、到達率はProposedよりも

Conventional の方が高い値を示しているが、 $M_{limit} < 150$ の範囲では、Proposed の方が到達率が高くなっていることがわかる。さらに、 $M_{limit} = 50$ の時は Proposed は Conventional の約 1.6 倍の到達率となっていることが確認できる。したがって、ノードのバッファサイズが厳しく制限される状況下において、Proposed は高い到達率を達成できることがわかる。

このような特性を示した理由は、次のように考えることができる。まず、Conventional では、全てのメッセージは到達の可能性に関わらず無選別にバッファ内に格納される。よって、メッセージの保持可能数が少ない場合においては、到達の可能性の低いメッセージがバッファを占有することによって平均到達率は大きく低下する。一方、Proposed では、メッセージ中継エリアの導入によって、到達の可能性の高いメッセージのみを d_{th} という閾値によって仮想的に選別してバッファに格納する。結果として、メッセージの保持可能数が少ない場合でも、効果的に平均到達率が向上したと考えられる。

一方で、中継エリア外で伝達されるメッセージの中には、当然ながら宛先に到達する可能性がゼロでないものも存在する。しかしながら、Proposed では、メッセージの保持可能数に余裕がある場合であっても、メッセージ中継エリア外であればそのメッセージを強制的に破棄してしまうため、 $M_{limit} \geq 150$ の時は Conventional の方が到達率は高くなったと考えられる。

4. メッセージ受信時に付与する優先度を用いた冗長送信数の削減手法

本節では、前節で明らかとなったメッセージ中継エリアを導入した際の課題を改善する手法として、新たな冗長送信数削減手法を提案する。本節で提案する手法では、各メッセージの受信時に受信地点と理想経路 (IdealRoute) との距離に応じて優先度を付与する。また、新たな受信によってバッファがいっぱいになった際は、付与された優先度をもとに、バッファから破棄する不要なメッセージを決定する。4.1 図 6 にメッセージに付与する優先度を記載したものを例示する。

同図では、例として理想経路からの距離が近い順に、4 段階 (rank1~rank4) の優先度を設定している。各端末は理想経路からの自身の距離 d によって、受信したメッセージにどの優先度を付与するかを判断する。同図の場合、ノード A, B, C はそれぞれ、1, 2, 3 の優先度を自身が受信したメッセージに付加する。さて、これらの優先度は、その値が小さいほど優先順位が高いことを表しているため、メッセージを破棄する際に選ばれる順番は $C \rightarrow B \rightarrow A$ の順となる。

また、今回の評価における優先度の設定間隔 d_{rk} の値は、ノードの通信可能距離である、 $d_{rk} = 100\text{m}$ に設定する。

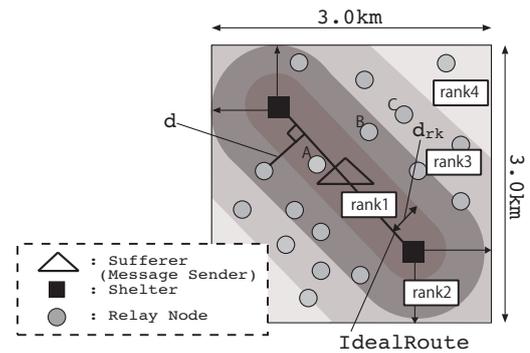


図 6 メッセージに優先度を付加する場合の被災地モデル

4.1 メッセージ優先度付け手法の性能評価と考察

4.1.1 3 手法の性能比較

本節では、Conventional、ならびに前節で提案したメッセージ中継エリアを用いる手法と、本節で提案するメッセージ優先度付け手法の性能評価を行う。

評価環境

本評価で用いる被災地モデルは、実際の被災状況を考慮するため、前節で用いた送信元が複数存在するモデル (図 4) を用いることとする。ここで、付与する優先度は表 3 に従うこととする。また、その他のシミュレーション条件については、表 1 と同様とする。

表 3 優先度設定 ($d_{rk} = 100$)

Distance to IdealRoute	Rank
~100m	1
100~200m	2
200~300m	3
300~400m	4
400~500m	5
500m~	6

さらに、今回の評価で比較する手法は、既存の DTN のみを用いた Conventional、前章で提案したメッセージ中継エリアを用いる手法、そして本章で新たに提案するメッセージに優先度を付与する手法の 3 つとする。

平均到達率

評価の結果、得られた各手法のメッセージの平均到達率を図 7 に示す。また、以降のグラフにおいて、Conventional は既存手法、Proposed1 はメッセージ中継エリアを用いる手法、Proposed2 はメッセージ優先度付け手法をそれぞれ示す。

同図より、Conventional の到達率はメッセージの保持可能数の減少によって大きく低下していることがわかる。また、ノードが保持可能なメッセージ数を M_{limit} とし、メッセージ中継エリアを用いる手法とメッセージ優先度付け手法を比較すると、 $M_{limit} \geq 150$ において、メッセージ中継エリアを用いる手法は Conventional よりも到達率が低下しているのに対し、メッセージ優先度付け手法の到達率

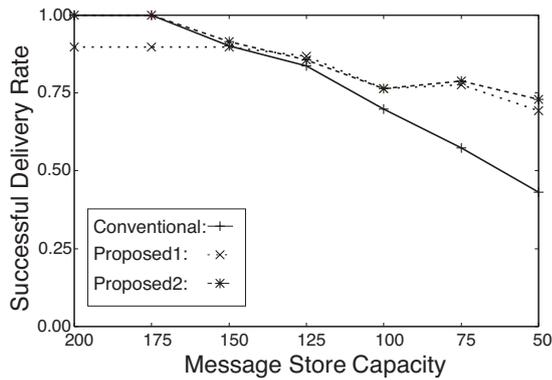


図 7 3 手法の平均到達率の変化

は Conventional とほぼ同等の値を維持していることがわかる．このことから，メッセージ優先度付け手法は，前節で述べたメッセージ中継エリアを用いる手法の抱える課題を改善できることがわかる．

さて，このような特性が得られた理由は，次のように考えることができる．前節でも述べたように，メッセージ中継エリアを用いる手法では，メッセージの保持制限が緩い環境であっても，到達の可能性がゼロでないにも関わらず，中継エリア外で受信したメッセージを強制的に破棄する．そのため，同手法はバッファに余裕があれば全てのメッセージを保持する Conventional よりも到達率が低下してしまったと考えられる．

一方，本節で提案したメッセージ優先度付け手法では，中継エリア外のメッセージを強制的に破棄することを行わないため，バッファに余裕がある場合は，メッセージの破棄は行われない．つまり，バッファがいっぱいになった時に初めてメッセージの破棄が行われるため，メッセージの保持制限が緩い環境 ($M_{limit} \geq 150$ の時) では Conventional とほぼ同等の到達率を達成できる．結果として，メッセージ優先度付け手法は，バッファサイズに余裕がある時でも到達率を低下させず，高い値を維持できたと考えられる．

冗長率

次に，評価によって得られた冗長率を図 8 に示す．冗長率は式 1 によって導出した．

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n H_{reached_i} + \sum_{j=1}^m H_{unreached_j}}{\sum_{i=1}^n H_{reached_i}} \quad (1)$$

n は宛先に到達成功したメッセージの数， m は宛先への到達が失敗したメッセージの数を示す．そして， $reached_i (i \leq n)$ ならびに $unreached_j (j \leq m)$ は到達，未到達メッセージをそれぞれ表し， H_x はメッセージ x の中継回数を示す．

同図より，Conventional の冗長率が最も高いことがわかる．これは，Conventional は他の 2 手法とは異なり，バッファに余裕がある限り，全てのメッセージを保持し，中継

することが理由だと考えられる．

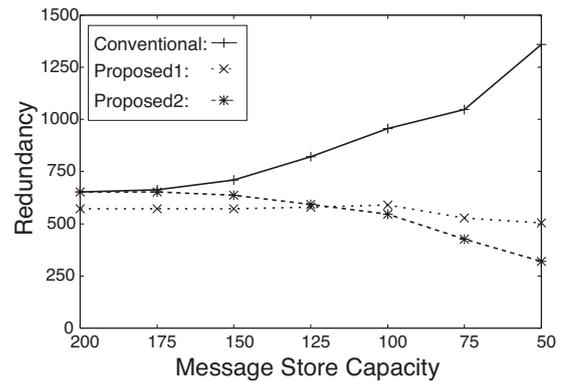


図 8 3 手法の冗長率の変化

また，同図から，メッセージの保持制限が厳しい場合 ($M_{limit} < 125$) において，メッセージ優先度付け手法はメッセージ中継エリアを用いる手法よりも冗長率の値が小さくなっていることがわかる．

この結果の理由を，冗長率の算出式 (1) の分母と分子の値にそれぞれ相当する，到達メッセージのホップ数 (図 9) と全てのメッセージのホップ数 (図 10) を用いて説明する．

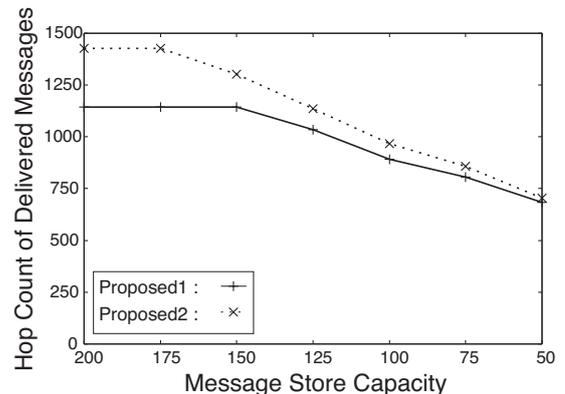


図 9 Proposed1 と Proposed2 の到達メッセージのホップ数

図 9 に示す到達メッセージのホップ数を見ると，メッセージの保持制限が厳しくなるにつれ，両手法の差が小さくなることがわかる．しかし，図 10 の全メッセージのホップ数を見ると，メッセージの保持制限が厳しくなるにつれ，メッセージ中継エリアを用いる手法よりもメッセージ優先度付け手法の方が大きくホップ数が減少していることがわかる．また， $M_{limit} < 100$ では，メッセージ優先度付け手法のホップ数がメッセージ中継エリアを用いる手法のホップ数を下回っていることもわかる．

ここで，算出した分子にあたる全てのメッセージのホップ数は，到達メッセージのホップ数と到達失敗メッセージのホップ数の合計値となっている．つまり，両手法とも到達メッセージのホップ数にほとんど差がないにも関わら

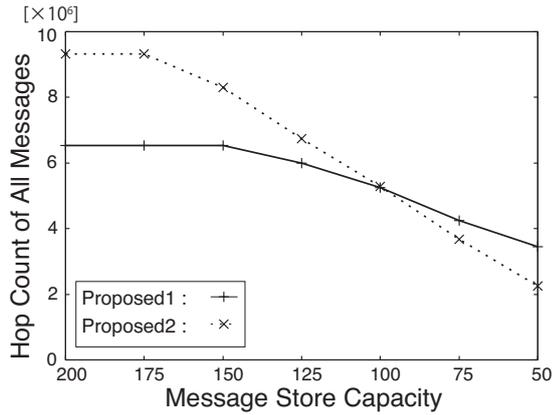


図 10 Proposed1 と Proposed2 の総ホップ数

ず、この分子の値である全てのメッセージのホップ数に大きな差が生まれたということは、メッセージ優先度付け手法の方が到達失敗メッセージのホップ数が少ないことになる。したがって、メッセージ優先度付け手法は、メッセージ中継エリアを用いる手法よりも無駄なホップ数を削減できていると結論づけることができる。

これらのことから、メッセージの保持制限が厳しい場合には、メッセージ優先度付け手法の冗長率がメッセージ中継エリアを用いる手法よりも低くなったと考えられる。

5. 実環境を想定した性能評価

5.1 地図空間での Proposed の有効性 評価環境

本章では、前章までの自由空間とは異なり、実際の地図をもとに作成したモデルを評価環境に用いる。モデルの作成に用いた地図を図 11 に示す。本評価では、シミュレーションモデルを 1.5km × 1.5km の空間とするため、同地図の四角で囲んだ部分（同図 (b)）を用いる。同地図は Google map[13] より参照した。



図 11 1.5km × 1.5km の評価で用いる広島市南区の地図 [13]

3.3 節の性能評価で用いた自由空間における複数送信元の被災地モデル (図 4) との性能比較を行うため、送信元、

宛先の配置は、そのモデルとほぼ同じ位置関係になるように配置した (図 12 参照)。送信元は被災者を想定しているため、参考にした地図も住宅地をそれぞれ選択している (送信元 (1) ~ (4))。また、宛先となる避難所は、広島市の指定避難所 [14] である県立広島大学を選択した。本評価においても、前評価と同様に、避難所には提案する情報伝達システムと避難所間無線ネットワークが設置されていると仮定する。メッセージ中継エリアを用いる手法の d_{th} 、メッセージ優先度付け手法の $d_{r,k}$ の値は、 $d_{th} = 200m$ 、 $d_{r,k} = 100m$ とする。また、優先度の設定間隔は表 3 に示す通りとする。その他のシミュレーション諸元とノードのバッファサイズは、表 1、表 2 と同様にする。



図 12 送信元/宛先の配置 (1.5km × 1.5km)

平均到達率

評価の結果、得られた 3 手法の平均到達率を図 13 に示す。同図より、メッセージの保持制限が厳しくなるにつれ、Conventional の到達率は大きく低下していることがわかる。また、メッセージ中継エリアを用いる手法やメッセージ優先度付け手法については、到達率は Conventional に比べ、減少の度合いが緩やかであることもわかる。さらに、ノードが保持可能なメッセージ数を M_{limit} とした時、 $M_{limit} > 150$ では、メッセージ優先度付け手法はメッセージ中継エリアを用いる手法を大きく上回る到達率を示している。

したがって、自由空間における評価と同様に地図空間においても、メッセージ優先度付け手法は 4 章で述べたメッセージ中継エリアを用いる手法の短所である、メッセージの保持制限が緩い場合の到達率の低下を改善できていることがわかる。

さて、図 13 に示す評価結果を自由空間で行った評価結果を示した図 7 と比較すると、両者には大きな差異はない

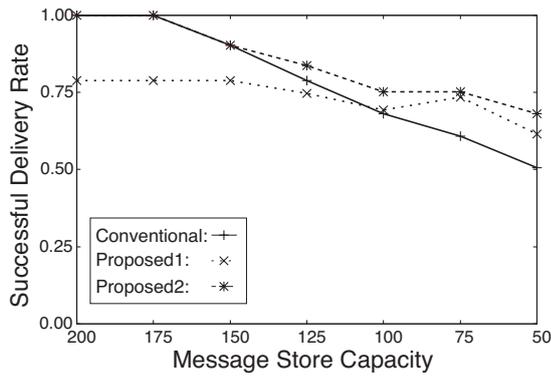


図 13 地図空間における 3 手法の平均到達率の変化 (1.5km × 1.5km)

ことがわかる。したがって、Proposed は環境に依存せず性能を発揮することが明らかになった。

冗長率

次に、3 手法の冗長率を図 14 に示す。同図より、メッセージの保持制限が厳しくなるにつれ、Conventional の冗長率の値は大きくなっていることがわかる。また、メッセージ中継エリアを用いる手法はほぼ一定の冗長率の値を示すものの、メッセージ優先度付け手法では冗長率は低下していることがわかる。これらのことから、メッセージ優先度付け手法が最も無駄なメッセージ転送を削減できる手法であることが確認できる。さて、メッセージの保持制限が緩い環境では、メッセージ中継エリアを用いる手法の方が冗長率の値は小さいが、これは、メッセージ中継エリアを用いる手法はバッファに余裕がある場合でもエリア外であれば強制的にメッセージを破棄するため、中継メッセージがメッセージ優先度付け手法よりも少ないことがこのような結果が得られた理由であると考えられる。

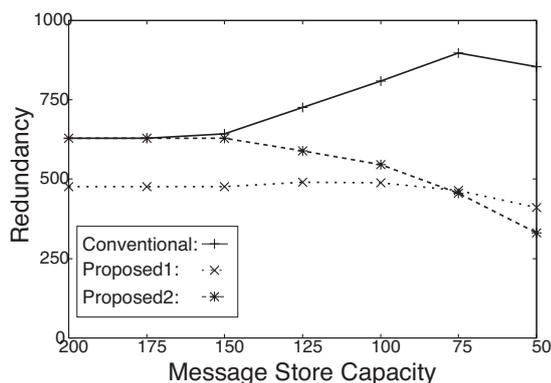


図 14 地図空間における 3 手法の冗長率の変化 (1.5km × 1.5km)

さて、図 14 をこれと同様の評価を自由空間で行った場合の結果を示した図 8 と比較すると、わずかではあるが、メッセージ中継エリアを用いる手法の冗長率の値が、全体的に小さくなっていることが確認できる。この理由は、地図空間は自由空間よりも、道路や地形等によって様々な制

約が加えられていることがその原因として考えられる。

しかし、多少の差異はあるものの、我々の提案したメッセージ中継エリアを用いる手法、ならびにメッセージ優先度付け手法は、複数送信元の場合では、地図空間と自由空間でほぼ同等の性能を発揮していることがわかる。

5.2 優先度の設定間隔による性能比較

地図空間で優先度の設定間隔 d_{rk} を変更させ、性能の変化を検証する。本評価は、優先度の設定間隔は $d_{rk} = 50m, 100m, 200m$ の 3 つを用いる。ここで、 $d_{rk} = 50m$ と $d_{rk} = 200m$ の場合の優先度設定は、表 4、表 5 に従うこととする。その他のシミュレーション諸元については、表 1 と同様とする。

表 4 ランク設定 ($d_{rk} = 50$)

Distance to IdealRoute	Rank
~ 50m	1
50 ~ 100m	2
100 ~ 150m	3
150 ~ 200m	4
200 ~ 250m	5
250m ~	6

表 5 ランク設定 ($d_{rk} = 200$)

Distance to IdealRoute	Rank
~ 200m	1
200 ~ 400m	2
400 ~ 600m	3
600 ~ 800m	4
800 ~ 1000m	5
1000m ~	6

平均到達率

評価の結果、得られた各設定間隔の平均到達率を図 15 に示す。同図より、全ての d_{rk} において、平均到達率はほぼ同等の特性を示していることがわかる。つまり優先度の設定間隔の大きさはメッセージ到達率にあまり大きな影響を及ぼさないことがわかる。

冗長率

次に、各設定間隔の冗長率を図 16 に示す。同図より、全ての d_{rk} において、冗長率はほぼ同等の特性を示していることから、冗長率に対しても設定間隔による影響はほとんどないことがわかる。つまり、平均到達率と同様に冗長率においても優先度設定間隔の大きさは大きな影響を及ぼさないことがわかる。

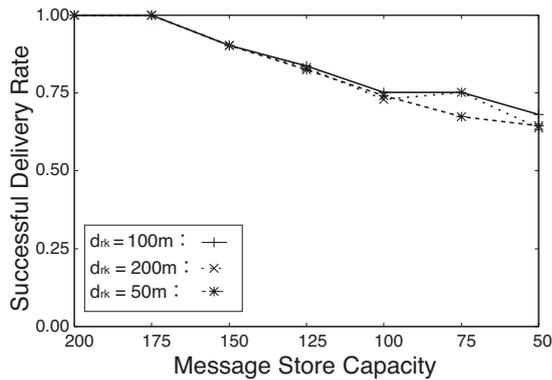


図 15 優先度の設定間隔 d_{rk} と平均到達率の関係 (地図空間)

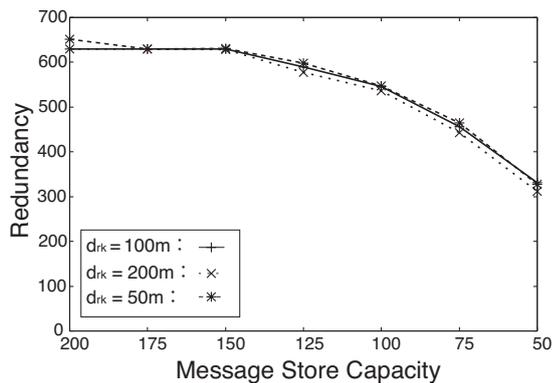


図 16 優先度の設定間隔 d_{rk} と冗長率の関係 (地図空間)

6. 実用性を想定したさらなる検討

本研究では、メッセージの到達率向上を目標とし、メッセージ中継エリアを用いる手法とメッセージ優先度付け手法を提案したが、その有効性は情報発信者の周辺に数個の避難所のみが存在するトポロジでのみ評価を行っている。しかしながら、実際の被災地を考えた場合には被災規模にも左右されるものの、2 桁以上の避難所が開設されることが十分に予想される。そのような場合であっても、必要以上のメッセージ中継を削減する仕組みが必要となる。例えば送信先候補が複数存在する場合でも、メッセージ送信元の位置から最も近い避難場所に宛先を絞って中継を実施した方が結果的に通信帯域の浪費も防げるため、効率的な情報伝達が実現しやすいと考えられる。そこで以下、送信元位置と比較的近い位置に存在する避難場所を特定する方法として、ポロノイ図とドロネー三角形を用いる手法を述べる。

6.1 ポロノイ領域を用いた避難所選別

平面上に存在するいくつかの点の各領域を示すため用いられる手法としてポロノイ図がある。図 17 にポロノイ図を示す。避難所の位置に対応させた各点を直線で結び、その直線の垂直二等分線で囲まれた領域をポロノイ領域と呼ぶ。送信者がどの避難所のポロノイ領域に位置するか判別

し、その送信者が位置していないポロノイ領域でメッセージを受信した場合は、そのメッセージを破棄する。しかし、この方法ではメッセージ送信先避難所は 1 つしか選別できず、万が一選別した避難所が機能しなくなった場合などに対応できない危険性がある。

6.2 ドロネー三角形を用いた避難所選別

自身の位置から近い避難所を 1 つ以上選別するためにドロネー三角形を用いることを考える。ドロネー三角形を図 17 を用いて説明する。ポロノイ領域の隣接領域の点同士を直線でつなぎ、そこでできた三角形の領域をドロネー三角形と呼ぶ。送信者は自身がどのドロネー三角形内に位置するか判別し、その送信元の位置を領域に含むドロネー三角形の頂点である 3 つの避難所をメッセージの送信先とする。この手法であると、3 つの避難所のうち、1 つがもし機能しなくなった場合にもその他の避難所にメッセージが届けられる。

これらの手法は提案段階でまだ実装はしていないが、その性能評価を今後の研究としたい。

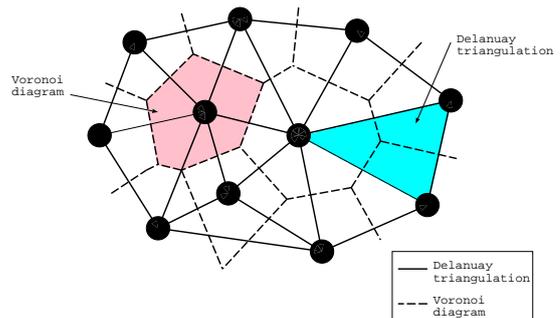


図 17 ドロネー三角形とポロノイ図

7. 終わりに

本稿では、災害発生時の適切な災害救援活動を支援するために検討を行ってきた避難所間無線ネットワークシステムの情報収集能力を向上するために、被災地に留まる要救助者の発信する被災情報をスマートフォンをベースにして構築した DTN によって、避難所に伝達する手法について検討を行った。具体的には、災害時には電力供給の停止や、貴重な通信帯域の浪費を避けなければならないことを考慮して、DTN におけるメッセージ送信回数の削減を実現するメッセージ中継エリアの導入並びに、中継メッセージの優先度付け手法について提案を行い、計算機シミュレーションによってその性能を評価した。

その結果、本稿で提案したメッセージ優先度付け手法であれば冗長なメッセージ送信数を大幅に削減しながら、高いメッセージ伝達率を達成できることを明らかとした。また、性能評価は実際の地図データを元に作成した、より現実的な評価トポロジでも実施したが、自由空間モデルにおける

同様の評価と同等の特性が得られることが確認できた。これらより我々が検討を行っている避難所間無線ネットワークは実運用においても一定の効果が見込めるものと考えられる。

今後は6節で述べた宛先避難所の選定アルゴリズムの実装とその評価について実施する予定である。

参考文献

- [1] 大瀧龍, 重安哲也, 浦上美佐子, 松野浩嗣: 自律的無線ネットワークを用いた被災情報提供システム - 被災地域の地形を考慮した無線ノード置局アルゴリズムの提案, 情報処理学会論文誌 Vol. 52, No. 1, pp.308-318, (2011).
- [2] 間瀬憲一, 中野敬介, 仙石正和, 篠田庄司: アドホックネットワーク, シミュレーション 第20巻第1号, pp.34-39, (2001).
- [3] 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: 解説論文: DTN 技術の現状と展望, 通信ソサイエティマガジン No. 16, pp. 57-68, (2011).
- [4] 陶山優一, 横田祐介, 大久保英嗣: 移動端末を用いた災害情報システムにおける DTN ルーティング手法, 電子情報通信学会技術研究報告 Vol. 108, No. 399, pp. 117-121, (2009).
- [5] 多氣真之輔, 小坂隆浩, 長屋和真: 移動中継ノードを導入した DTN における巡回方式の提案, 電子情報通信学会技術研究報告 Vol. 114, No. 17, pp. 77-81, (2014).
- [6] 畑中健作, 松浦知史, 猪俣敦夫, 藤川和利: 災害救助活動を想定したメッセージフェリーの動的経路決定手法, 電子情報通信学会技術研究報告 Vol. 113, No. 398, pp. 7-12, (2014).
- [7] 工藤健由, 森野博章: 屋内の DTN における相対移動方向情報と距離情報を利用した限定中継方式, 電子情報通信学会技術研究報告 Vol. 113, No. 495, pp. 113-118, (2014).
- [8] 後藤亮文, 森野博章: 屋内環境における移動ユーザを優先中継ノードとする DTN の情報転送方式の提案, 電子情報通信学会技術研究報告 Vol. 112, No. 404, pp.69-74, (2013).
- [9] 小倉一峰, 山崎康広, 藤田範人: 特定エリア内における情報共有の配信制御方式, 電子情報通信学会技術研究報告 Vol. 113, No. 293, pp. 13-17, (2013).
- [10] 小山由, 水本旭洋, 今津真也, 安本慶一: 災害データベース・Twitter と連携する DTN ベース災害安否確認システムの提案, 情報処理学会研究報告 Vol. 113, No. 495, pp. 113-118, (2014).
- [11] 孫為華, 石丸泰大, 安本慶一, 伊藤実: データサイズと送信期限を考慮した DTN 経路制御手法, 情報処理学会論文誌 Vol. 50, No. 2, pp. 1234-1239, (2009).
- [12] 河本美穂, 重安哲也: 被災情報の収集を目的とした DTN におけるメッセージ到達率の向上と冗長送信数の削減を実現する自律的中継手法の提案, 情報処理学会第22回マルチメディア通信と分散処理ワークショップ論文集, pp. 269-278, (2014).
- [13] Google: Google map, Google (online), available from <https://maps.google.co.jp/> (accessed 2014-10-18).
- [14] 広島市: 広島市ホームページ, 広島市(オンライン), 入手先 <http://www.city.hiroshima.lg.jp/www/toppage/000000000000/APM03000.html> (参照 2014-11-20).