

災害発生時におけるDTN手法を導入した 効果的な被災情報収集システムの開発

河本 美穂¹ 重安 哲也^{1,a)}

受付日 2015年4月25日, 採録日 2015年11月5日

概要: 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実な情報収集が不可欠であるが、災害発生前から設置する常設の通信インフラは災害発生時に利用できないことがある。我々はこれまで、無線LANを用いて災害発生後に避難所間に無線ネットワークを構築し、これにより被災情報を収集するネットワークシステムの開発を行ってきた。しかしながら、同システムのみでは、避難所に到達した被災者の情報しか収集できない。そこで、本論文では、いまだ避難が完了せずに被災地にとどまる被災者の発信する情報を収集するためにスマートフォンを用いたDTN (Delay Tolerant Network) を構築し、メッセージを効果的に集約する手法を提案する。具体的には、指定避難所の地理的配置は災害発生前から既知であること、ならびに、スマートフォンに搭載されているGPS (Global Positioning System) 機能を用いれば、災害時であってもユーザの所在地をリアルタイムに把握できることをふまえ、これらの位置情報を用いてメッセージの中継の実施の有無を自律的に判断する手法を導入することで、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させることができること、ならびに、3) 特定の環境やルーティングプロトコルに依存せずに性能を向上させることができることの3点を計算機シミュレーションによって明らかにする。

キーワード: DTN, 被災情報収集システム, スマートフォン

A Study on Effective Disaster Information System Based on Delay Tolerant Network

MIHO KAWAMOTO¹ TETSUYA SHIGEYASU^{1,a)}

Received: April 25, 2015, Accepted: November 5, 2015

Abstract: Although collecting accurate disaster information in real-time helps lost and effective relief activity at the distressed area, public communication line does not work well due to line breakage and/or other disaster damages. Up to now, for collecting disaster information, we have developed wireless disaster network information system using wireless LAN technology, constructed after disaster strikes. This system, however, collects the disaster information only from evacuees which arrived at a shelter. For collecting the disaster information from sufferers staying at the distressed area, we will propose a new method for collecting the disaster information effectively through DTN (Delay Tolerant Network) consisting the sufferers' smart-phones. In this paper, we will propose a new method for collecting the disaster information effectively through DTN (Delay Tolerant Network) consisting the sufferers' smart-phones. By utilizing the pre-determined shelters location and smart-phones employing GPS (Global Positioning System) function, our proposal achieves following three features : 1) mitigating the number of needless message transmissions, 2) improving message delivery ratios without regarding the buffer size of the smart-phones, 3) improving the communication performance regardless the network environment and/or routing protocol.

Keywords: DTN, disaster information system, smart-phone

¹ 県立広島大学
Prefectural University of Hiroshima, Hiroshima 734-8558,
Japan

^{a)} sigeyasu@pu-hiroshima.ac.jp

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が発生し、災害発生時に利用できない可能性がある。

また、なか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、このような状況下では、安否を知らせる手段を完全に喪失してしまう被災者も現れてしまう。

そこで、我々はこれまで、地震等の災害発生時にも被災地の情報を適切に把握し、また、必要に応じて適切な組織に提供することを目的に、避難所間に無線 LAN 装置を用いて災害発生後に独自の無線ネットワークを構築し、これをアクセス回線にして被災情報を収集するネットワークシステム（以降、避難所間無線ネットワーク）の開発を行ってきた [1]。同避難所間無線ネットワークでは、収集した被災情報を要救助エリアの特定や、避難所への救援物資の準備のために利用することを想定している。そのため、その利用時期は災害復旧活動において最も迅速で適切な対応が必要となる応急復旧期となる [2], [3]。しかしながら、現在の同ネットワークでは、避難所に到達した被災者の情報しか収集できず、被災地内の被災者の発信する情報を収集することはできず、応急復旧期の情報収集としては不十分であるといわざるをえない。

そこで、本論文では、我々が開発を行っている避難所間無線ネットワークにおいて、被災地にとどまり救助等の支援を待つ被災者の発信する情報もネットワークを通じた収集を実現する手法について新たに検討を行う。

具体的には、すでに述べたように災害発生時には既存の通信インフラの利用可否が不確定であるために、a) 我々の提案する避難所間無線ネットワーク以外の新たな通信基盤を設置することなく被災情報を収集するために、被災者の保有するスマートフォンのみで DTN (Delay Tolerant Network) [4] を構築し情報を収集できること、b) 電力供給が不安定な状況であっても影響を受けにくくするためにできるだけ送受信数を低減できること、ならびに、c) 災害規模によらず、被災情報を的確に収集することを実現するために、被災地にとどまる多数の被災者から多くのメッセージが発信された場合にも対応可能であることを満たす新たな手法を提案する。

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) 多数の情報発信者によって発信されたメッセージを中継のために多く保有する等によって、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させることができること、また、提案方式の副次的な効果として、3) 特定の環境やルーティングプロトコルに依存せずに性能を向上させることができることの3点を計算機シミュレーションによって明らかにする。

2. 日本の災害と情報伝達システム

2.1 災害時の情報提供

平成 23 年 3 月 11 日の 14 時 46 分、牡鹿半島の東南東 130 km 付近の三陸沖を震源とする、深さ 24 km、マグニチュード 9.0 の東北地方太平洋沖地震が発生した。この地震の規模は、観測史上最大規模で、世界的にも 1900 年以降に発生した地震では 4 番目の規模となっている [5], [6]。

同地震の発生により、被災者による音声通話の発信が増したことによる通信インフラの輻輳が発生し、固定電話では最大 80~90%、携帯電話では最大 70~95%の規制が実施された。さらに、地震および津波の影響によって、広範囲にわたって通信ビルの倒壊や地下ケーブルの損壊、携帯電話基地局の倒壊等が発生し、これにより、合計約 190 万回線が被災する状況になった [7], [8], [9]。このように、災害の発生は、電気、公共機関等のライフラインの停止だけではなく、通信インフラにも大きな損害をもたらす。被災情報の確実な提供の妨げとなる。そのためにも、被災に関する情報をいち早く被災者に伝達すること、また、それと同時に、被災者の救助にあたる救助隊や災害対策本部等にも同様に早い情報伝達を目的とした情報システムの実現が重要となる。

2.2 災害時情報提供システム

災害発生時における情報提供システムは、すでに多数検討されている。その 1 つとして、災害時に既存の通信インフラとは別に独自のネットワークを構築することによって、災害時の情報提供を行うシステムの検討があげられる。

ここで、公衆回線とは別に、独自の無線通信用のアンテナを事前に設置する手法として、山古志ねっと [10] やスカイメッシュ [11] がある。これらは公衆回線が機能しない場合であっても災害時用臨時通信システムとして運用することが可能である。しかし、外部の広域ネットワークとの接続方法や、事前のアクセスポイントの設置を誰が行うのかといった具体的な設置方法、また、それらの設備が配備されるまでの空白の時間の対応等に関する検討が行われていないといった問題点をかかえている。

一方、我々もこれまでに災害時の情報提供に関する検討を行い、避難所間無線ネットワーク [1] を開発している。同

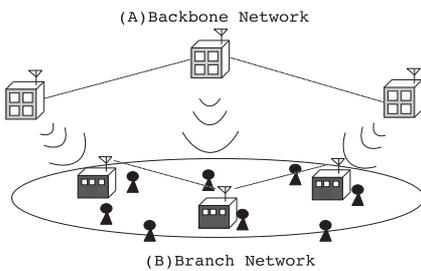


図 1 避難所間無線ネットワーク
Fig. 1 Disaster wireless system.

ネットワークの構成を図 1 に図示する。

同ネットワークは幹線ネットワーク (Backbone Network, 図 1(A)) と支線ネットワーク (Branch Network, 図 1(B)) の 2 階層から構成されている。同ネットワークを用いることで、避難の完了した被災者から避難所にもたらされた情報をリアルタイムに災害対策本部等で確認することを可能とする。

しかし、このネットワークシステムのみでは、当然のことながら、避難所への避難が無事に完了した被災者の情報しか共有することができず、被災地でいまだ救助を待っている要救護者の情報を収集・把握したうえで、救援活動を実施することは不可能である。一般的に被災地における要救護者の生存確率は 72 時間を超えると大きく低下する傾向にあるといわれている [12]。よって、一刻も早く救助の開始と完了を行う必要がある。そのためには、被災地にとどまる要救護者に関する情報も正確かつ迅速に避難所や災害対策本部へ集約することが必要不可欠である。

2.3 災害時に DTN を用いた情報伝達手法

前述のように、我々が開発した避難所間無線ネットワークでは、被災地にとどまる被災者の情報を各避難所まで伝達することはできない。そこで、本論文では、我々がこれまでに検討を行ってきた避難所間無線ネットワークの各避難所へより多くの被災情報を収集する手法について検討する。

本論文での検討箇所を図 2 を用いて説明する。同図に示す (ii) は我々がすでに開発した避難所間無線ネットワークを示している。また、同図 (i) が本論文で検討を行う部分となる。ここで、避難所の位置は災害発生前から既知であることとする。

本検討によって新たに導入する手法が満たすべき要件を以下に示す。

- a) 我々の提案する避難所間無線ネットワーク以外の新たな通信基盤を設置することなく被災情報を収集できること、
- b) 電力供給が不安定な状況であっても影響を受けにくくするためにできるだけ送受信数を低減できること、
- c) 災害規模によらず、被災情報を的確に収集することを

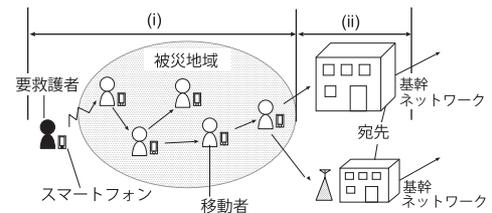


図 2 避難所間無線ネットワークと DTN を組み合わせた被災者間情報収集モデル

Fig. 2 Disaster information collecting model by Disaster wireless system and DTN.

実現すること、

上記の a) を実現するために、本論文では、ユーザの持つスマートフォンを中継端末として導入することで、被災地にとどまる被災者が発信するメッセージを災害対策本部、またはそれにつながる複数の避難所のいずれかに伝達することを検討する。ここでは、災害時における効果的な情報伝達手法として近年注目される DTN とよばれる手法を用いる。関連する既存の DTN 手法の概要については次章で述べる。

また、b) を実現するために、中継端末間での unnecessary メッセージの送受信を削減することを検討する。さらに、c) を実現するために、被災地内の多数の被災者によって多くのメッセージを受信しこれを保有するために多くのメッセージバッファが消費されている場合にもメッセージの伝達性能が低下しない手法について検討する。

3. 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、大きな伝送遅延等が発生する劣悪な環境にも適用可能な情報伝達技術であり、経路が途中で切断されたとしても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 [13], [14], [15]

文献 [13] 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、ノード数が多数になるとすべ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 [14] 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。

同手法による性能評価の結果から、ウェイポイントやルーティングの選定により、メッセージの到達時間や、フラディング数の制御が可能であることが報告されている。しかしながら、文献 [14] では、ウェイポイントの選定については、各避難所等に設定することが望ましいといった、大まかな指針しか与えられていないこと、ならびに、ウェイポイント間の具体的な移動中継ノードのルーティング設定指針も示されていないため、現段階では、実運用でできる段階までに至っていない。

また、メッセージフェリーを用いた経路決定手法 [15] 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どうし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 [16], [17]

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 [16] 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 [17] 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こと、さらには、屋外へ避難するための非常口への最短経路を避難者が既知であることを前提としており、ほとんどの避難者が同様の避難経路を選択することを想定している手法であるため、今回我々が対象とする屋外の環境であり、かつ、様々な避難経路を経由して避難所に避難する状況を想定した場合に、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 [18]

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 [18] 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良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。

位置情報を用いて送信制御を行う手法 [19], [20]

DTN において端末の位置情報をもとに送信制御を行う手法も提案されている。たとえば、文献 [19] では、端末の移動性を利用することで粗なネットワークにおけるメッセージ到達性能を向上させる GeoDTN+Nav を提案している。しかしながら、同手法では、転送先候補となる端末の予想移動経路情報とその信頼性を算出し、実際のメッセージの中継先を選択している。したがって、災害時のように、道路の切断や建物の倒壊等によって頻繁に避難経路変更が発生する状況下での使用を想定していないこと、また、そもそも、転送先端末の移動情報の収集が必要となることが問題である。

また、災害時において位置情報を用いた送信制御を行う手法も文献 [20] において提案されているが、同文献における提案手法においても、転送先候補の移動予測の把握が必要であること、ならびに、隣接端末との距離を事前に調査する必要があることが問題点となる。

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かか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。
- 避難者以外にメッセージフェリー等の特別な役割を持つノードの導入が必要である。
- 屋内または特定のエリア等情報の伝達範囲が狭範囲である、もしくは、避難者が目的地までの既知の最短経路を通行する前提であること。
- 転送先の選定のために、候補となる端末の移動予測の算出が必要となる。

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、避難者以外に DTN ノードとして導入する特別な役割を持つノードを被災時に確実に導入できなければ、被災情報収集能力の大幅な低下が予想される等、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分かる。ま

た、転送先の移動予測の算出は、送受信手続きのさらなる複雑化をまねく。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、これらをふまえた新たな手法の検討が必要となる。

4. 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

4.1 避難所間無線ネットワークの検証

DTN 技術を用いた避難所間無線ネットワークを構築し、その性能を評価する。まず本節では、DTN の基本的な伝達特性を明らかにするため、図 3 に示す被災地モデルにおけるメッセージの伝達状況を調査する。

同図に示すとおり、本評価において DTN は Sufferer, Shelter, Relay Node の 3 種類のノードから構成する。ここで、Sufferer は被災地にとどまり救助を待っている被災者を想定しているため、本評価においても、シミュレーションフィールド上を移動せずに、自らが救助を求めている状況を通知するためのメッセージを一定間隔で生成する。生成されたそれぞれのメッセージには互いに区別できるようにユニークな ID を付与する。

また、生成されたメッセージのすべての宛先は Shelter となっており、シミュレーションフィールド上に複数の Shelter が存在する場合は、任意の ID を持つメッセージがいずれか 1 つの Shelter に到達した時点で、そのメッセージの伝達が成功したと見なす。ここで、Shelter は 2.2 節で述べた避難所間無線ネットワークにおける避難所を想定しているため、移動せずにメッセージの受信のみを行う。

さて、Relay Node は移動中継ノードであり、シミュレーションフィールド上で指定されたスピードで Random Waypoint に従って移動する。ここで、任意の Relay Node の RN_i がいずれかの Sufferer の Suf_j あるいは他の Relay Node である RN_k の通信範囲内に入った場合、 RN_i は Suf_j もしくは RN_k が保有するメッセージを確認し自身が保有していないものがあれば、そのメッセージを受け取る。逆に、 RN_k が保有していないメッセージを RN_i が保有していれば、そのメッセージを受け渡す。

また、任意の Relay Node はいずれかの Shelter の通信範囲に入った場合は、自身の保有するメッセージをすべて Shelter に受け渡すことで、そのメッセージの伝達を完了する。その他のシミュレーション諸元は表 1 に示す。ここで、ノード密度については、

- 直近の国勢調査（平成 22 年度実施）[21] によると広島市の人口密度が約 1,300 人/Km² であること、
 - 平成 26 年度版 情報通信白書（総務省）[22] によると日本のスマートフォン普及率が約 50% であること、
- から算出したスマートフォン所有者の約 $\frac{1}{3}$ が DTN の中継ノードとなるように、222 node/Km² としている。また、計

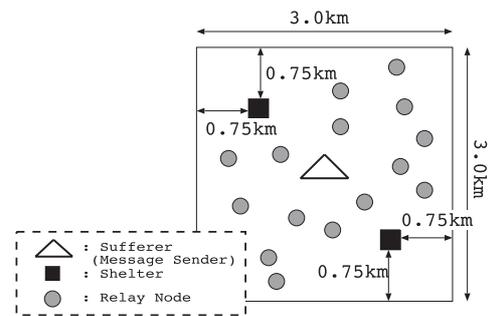


図 3 被災地の情報伝達モデル

Fig. 3 Message propagation model on disaster affected area.

表 1 シミュレーション諸元 (3.0 km × 3.0 km)

Table 1 Simulation parameters.

Parameter	Value
Simulation Period	20,000 sec
Mobility Speed	0.9~1.0 m/s
Transmission Speed	2 Mbps
Transmission Range	100 m
Message Size	250 Byte
Message Interval	110~130 sec
Density of Relay Nodes	222 node/Km ²
Number of Shelters (Destinations)	2
Routing Protocol	Epidemic Routing

算機シミュレータには、The ONE (Opportunistic Network Environment) [23] を用いる。同シミュレータにおいて、シミュレーションを開始すると Sufferer はメッセージの生成を、Relay Node は Random Waypoint に従った移動をそれぞれすぐに開始する。また、シミュレーション時間が経過した場合は、その時間までに Shelter に到達したメッセージを伝達成功メッセージとしてカウントするが、そうでないすべてのメッセージについてはその伝達が失敗したものとして取扱いを行った。

以上のような条件で性能評価を行った結果から、伝達の成否にかかわらずすべてのメッセージの伝達経路と、そのうち宛先までの伝達に成功したメッセージの伝達経路を抜き出したものを図 4 (a), (b) にそれぞれ示す。すべてのメッセージの伝達経路を示す同図 (a) では、フィールド全域で偏りなくメッセージの伝達が行われていることが分かるが、伝達に成功したメッセージの経路のみを示した同図 (b) では、メッセージの生成地点と宛先を結ぶ直線を中心とした限られたエリア内のみで中継が行われていることが分かる。

このことから、同図 (b) に示す (1), (2) のエリアは、最終的に宛先まで到達することができなかった、つまり、到達に失敗したメッセージが主に伝達されるエリアであると考えられる。したがって、これらのエリア内でのメッセージの中継を禁止すれば、冗長送信数の削減、さらには端末の消費電力の低減が期待できることになる。

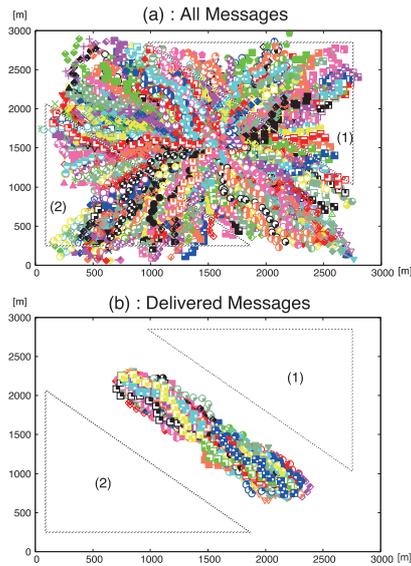


図 4 メッセージ中継経路
Fig. 4 Message relay routes.

4.2 冗長送信数の削減を目的としたメッセージ中継エリアを用いる手法

ここでは、前節で述べたように、図 4(b)における(1)、(2)のエリア内での中継を禁止し、送信回数の削減を試みる手法を提案する。

具体的には、すべての Relay Node はメッセージ受信時に以下の処理を実施する。

- (1) メッセージの生成地点とその宛先を結ぶ直線（理想経路 (IdealRoute)）を計算する*1。
- (2) 上記の手順(1)で算出した理想経路に対する自身からの距離 d を算出する。
- (3) 算出した距離 d とあらかじめ与えられた閾値 d_{th} を比較し、以下の処理を実行する。
 - $d > d_{th}$ であれば、受信したメッセージは中継せずに破棄する。
 - $d \leq d_{th}$ であれば、自身のメッセージバッファに保有する。

例として、図 3 に示すネットワークモデルにメッセージの中継許可エリアを設定したものを図 5 に示す。

さて、以降の評価に用いる閾値 d_{th} は、図 4(b) に示した伝達経路より、理想経路を中心として、通信範囲の約 2 倍 (200 m) に中継が集中していることから、本論文では $d_{th} = 200$ m とする。

4.3 提案手法の性能評価・考察

4.3.1 提案手法の有効性

メッセージの中継エリアを導入した提案手法の有効性をシミュレーションにより評価する。本評価に用いる被災地

*1 ここで、送信元の座標は送信時にユーザの GPS で取得され、メッセージのヘッダに記載されていることとし、宛先は災害発生前に取得済みの避難所の座標とする。

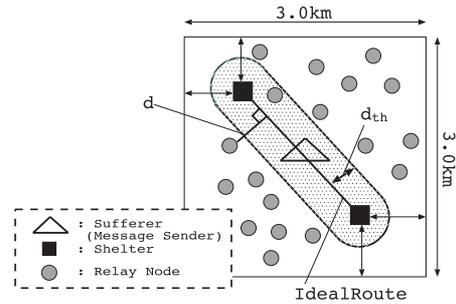


図 5 メッセージ中継エリアの設定例
Fig. 5 An example of message relay area.

モデルは図 5 とし、パラメータは表 1 と同様とした。本評価では、Epidemic Routing [4] を用いた既存手法と提案手法の平均到達率、メッセージ到達時間、そして冗長率をそれぞれ比較する。

ここで、到達率は提案手法のメッセージ伝達性能そのものを評価することを目的とする。また、冗長率は 2.3 節で述べた本提案手法が満たすべき要件の b) に対する性能を評価することを目的とする。また、メッセージ到達時間は無駄な送受信数削減の影響をメッセージ伝達までの時間が受けるかどうかを判断するために評価項目に加える。

ここで、冗長率 *Redundancy* は、宛先に到着したすべてのシーケンス番号を持つメッセージが、一度の失敗もなく最短経路で重複なく、ただだか 1 回ずつ伝達されたと想定したときの伝達回数の総和を基準とし、実際にはその基準の何倍伝達が行われたかを示す値とする。具体的には、以下の式によって値を算出する。

冗長率

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

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。

メッセージ伝達経路

評価によって得られたすべてのメッセージの伝達経路を図 6 に示す。同図と図 4(a) に示す既存手法の結果から確認できるように、提案手法では、メッセージ中継エリア外でのメッセージの転送が正しく抑制できていることが確認できる。

続いて、両手法の平均到達率、メッセージ到達時間、冗長率を表 2 に示す。同表に示す値から、平均到達率 (Successful Delivery Rate)、メッセージ到達時間 (Message Propagation Delay) の提案手法と既存手法の値はほぼ同等であることが確認できるが、冗長率 (Redundancy) については、

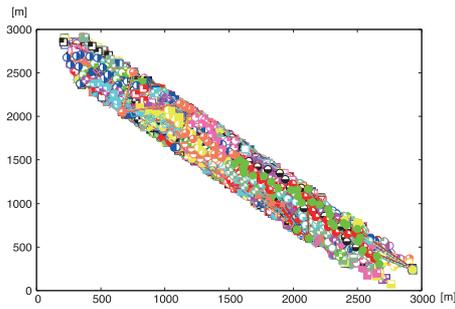


図 6 全メッセージの中継経路 (中継エリア設定時)

Fig. 6 Message relay routes by application of message relay area.

表 2 評価結果

Table 2 Evaluation results.

	Conventional	Proposed
Successful Delivery Rate	100%	100%
Message Propagation Delay	27.3 sec	27.7 sec
Redundancy	1591.65	1291.53

提案手法は約 2 割近く改善されていることが分かる。

これらの評価結果から、本研究で提案するメッセージ中継エリアの設定は、メッセージ到達率を低下させることなく、無駄なメッセージの送受信数を低減させたことを確認できる。

4.3.2 メッセージ数に上限が存在する場合の通信特性

前項の評価結果より、メッセージ中継エリアを設定することによって、到達率、メッセージ到達時間を低下させずに冗長率を削減できることが分かった。しかし、実際の被災時を想定すると、メッセージの送信元 (被災者) は単一ではなく、複数存在し、また、1つの端末が保持可能なメッセージの容量も制限があると考えることが自然である。したがって、本項では、送信元が複数存在する場合の評価を行う。

ここで、実際の被災時にはその災害の規模によって被災情報を発信する送信元の数が大きく変化する。送信元の数が増えれば、当然、中継端末がそのバッファに格納して移動するメッセージ数も多くなるために、新たに受信したメッセージを格納するためのバッファも制限されることになる。そこで、本論文では、端末のメッセージ容量に制限を加えた調査を行うことで、仮想的に送信元の数が増減した場合に提案方式が、2.3 節で示した c) の要件を満たしているかを評価する。

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 7 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 3 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。その他のシミュレーション諸元については、表 1 と異なる値

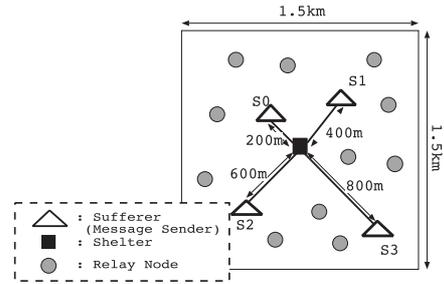


図 7 送信元が複数存在する場合は被災地における情報伝達モデル

Fig. 7 Message propagation model on disaster affected area having multiple message senders.

表 3 メッセージ数とその保持に必要なバッファサイズ係

Table 3 Relations between # of Msg capacity and its Buffer size.

# 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

表 4 シミュレーション諸元 (1.5 km x 1.5 km)

Table 4 Simulation parameters (1.5 km x 1.5 km).

Parameter	Value
Simulation Period	5,000 sec
Message Interval	30 sec
Number of Shelters (Destinations)	1
Number of Sufferers	4

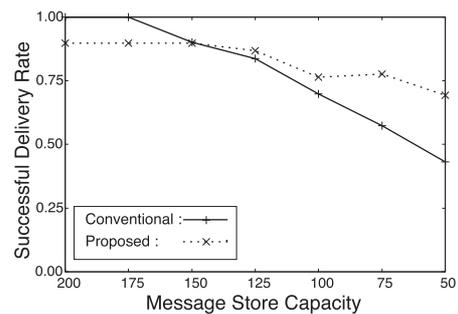


図 8 メッセージ保持可能数に制限を加えた場合の平均到達率の変化

Fig. 8 Characteristics of successful delivery rate under Msg capacity limitation.

のみを表 4 に示す。

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 8 に示す。以降のグラフにおいて、Conventional は既存手法、Proposed は提案手法をそれぞれ示す。

同図より、メッセージの保持制限が厳しくなるにともない、既存手法の到達率は大きく低下していることが分かる。

一方、提案手法の到達率は既存手法のものとは比べる度合いが緩やかであることが分かる。

また、ノードが保持可能なメッセージ数を M_{limit} としたとき、 $M_{limit} \geq 150$ の範囲では、到達率は提案手法よりも既存手法の方が高い値を示しているが、 $M_{limit} < 150$ の範囲では、提案手法の方が到達率が高くなっていることが分かる。さらに、 $M_{limit} = 50$ のときでは提案手法は既存手法の約 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、提案手法は高い到達率を達成できることが分かる。

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、既存手法では、すべてのメッセージは到達の可能性にかかわらず無選別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、提案手法では、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、提案手法では、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、 $M_{limit} \geq 150$ のときは既存手法の方が到達率は高くなったと考えられる。

冗長率

次に、両手法の冗長率を図 9 に示す。同図より、既存手法はメッセージの保持可能数が少なくなるにつれ、冗長率の値が大きく増加していることが分かる。しかし、提案手法の場合は保持制限とは無関係にほぼ一定の値となること、また、その値はつねに既存手法よりも小さいことが分かる。

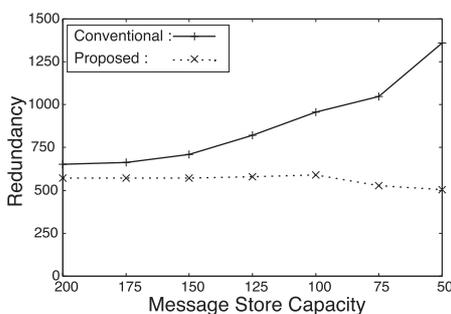


図 9 メッセージ保持可能数に制限を加えた場合の冗長率の変化

Fig. 9 Characteristics of redundancy under Msg capacity limitation.

このような結果になった理由は、次のように考えられる。前述したように、既存手法はメッセージを無条件にバッファ内に格納することによって、宛先まで到達する可能性の低いメッセージをバッファ内に多く保持する傾向がある。メッセージの保持可能数が少ない場合では、到達の可能性の低いメッセージが貴重なバッファを消費してしまい、その後受信する到達の可能性の高いメッセージの保持を不可能にする。このような状態では、式 (1) に示した分母の $\sum_{i=1}^n H_{reached_i}$ が大きく減少するため、冗長率が大きくなる。

一方、提案手法は、メッセージ中継エリアの範囲内に位置するメッセージしか保持しないため、メッセージの保持可能数が減少したとしても、 $\sum_{i=1}^n H_{reached_i}$ は既存手法と比較して大きく減少することはない。そのため、提案手法の冗長率は既存手法よりも小さくなり、かつ、ほぼ一定の値を保つことができる。

正規化到達率

次に、各送信元の正規化到達率を図 10 に示す。同図において、正規化到達率 N_{dr_i} は以下の式より算出している。

$$N_{dr_i} = \frac{Prop_{dr_i}}{Conv_{dr_i}} \quad (2)$$

ここで、 $Conv_{dr_i}$ と $Prop_{dr_i}$ はノード i を送信元とするメッセージの既存手法ならびに提案手法の到達率を、 N_{dr_i} はそれらをもとに算出した正規化到達率をそれぞれ示す。

同図より、各送信元の正規化到達率はそれぞれ、ほぼ同様の変化を示していることが分かる。よって、提案手法は送信元のノードの存在位置に依存することなく効果を発揮しているといえる。また、メッセージの保持可能数が 100 以下では、各送信元の正規化到達率はすべて値が 1 以上であることから、提案手法によって性能が向上していることが確認できる。

逆に、メッセージの保持可能数が 200~125 の範囲では、正規化到達率の値は 1 以下となることが分かる。これは、図 8 の平均到達率に対する考察でも述べたように、提案手法は中継エリア外に存在する到達の可能性がゼロでない

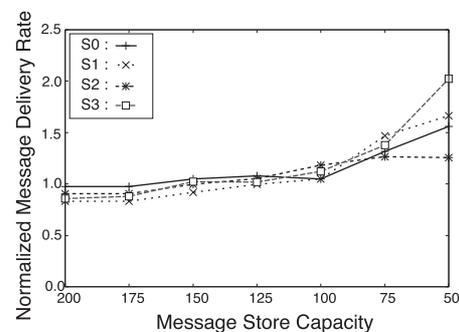


図 10 メッセージ保持可能数に制限を加えた場合の正規化到達率の変化

Fig. 10 Characteristics of normalized message delivery rate under Msg capacity limitation.

メッセージも破棄してしまうことが原因であると考えられる。

4.3.3 Spray and Wait とメッセージ中継エリアの設定の組合せによる特性評価

これまでの性能評価では、DTN のルーティングプロトコルとして Epidemic Routing を使用し、その有効性を確認した。しかし、DTN の経路制御手法として、Epidemic Routing を改良した代表的な手法に Spray and Wait [4], [24] がある。同手法はメッセージの複製回数に上限を設けることによって、Epidemic Routing に比べ、無駄なメッセージの複製を減少させることが報告されている。

ここでは、提案手法が特定のルーティングプロトコルに依存することなく優位性を持つかどうかを明らかにするために、提案手法と Spray and Wait を組み合わせた評価を行う。Spray and Wait はあらかじめメッセージに複製の上限であるカウンタを設定する必要がある。さて、前評価において、宛先までの距離が最も遠い S3 から宛先までのメッセージ到達までの最大ホップ数を計算したところ、8 ホップであることが分かった。

つまり、Binary モードの Spray and Wait において、8 ホップで宛先まで到達するためのカウンタ値は $2^8 (= 256)$ 以上である必要がある。したがって、本評価ではカウンタの初期値をその値よりも少し大きい 300 に設定した。なお、その他のシミュレーション条件については前評価と同様とし、Spray and Wait のみでメッセージを伝達する手法を既存手法として、これと Spray and Wait と提案方式を組み合わせた手法の比較を行った。

平均到達率

評価によって得られた両手法の平均到達率を図 11 に示す。同図より、提案手法の到達率は既存手法に比べ全体的に向上していることが確認できる。また、両手法ともメッセージの保持可能数にかかわらず、その値はほぼ一定の値となっていることが分かる。これは、Binary モードの Spray and Wait では、Epidemic Routing よりもネットワーク中で伝達されるメッセージ数が大きく減少したこと

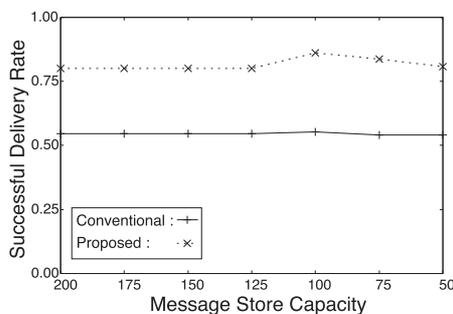


図 11 Spray and Wait におけるメッセージ保持可能数と平均到達率の関係

Fig. 11 Characteristics of successful delivery rate of Spray and Wait under Msg capacity limitation.

が原因として考えられる。

提案手法の到達率が既存手法のそれよりも高い値となった理由については、次のように考えることができる。既存手法は、メッセージ到達の可能性の程度にかかわらず送受信を行うため、到達の可能性の高いメッセージの送受信の際にカウンタ値の無駄な減少が発生する。これに対して、提案手法は中継エリアの設定により、到達の可能性の高いメッセージのみの送受信を行うため、カウンタ値は既存手法に比べると減少の度合いが緩やかになる。結果として、提案手法は既存手法よりも遠距離にメッセージを伝達させることができるため、提案手法の到達率は既存手法よりも向上したと考えられる。

冗長率

次に、両手法の冗長率を図 12 に示す。同図から、メッセージの保持制限が厳しくなるにつれ、両手法とも冗長率の値が小さくなっていることが分かる。この理由は、次のように考えられる。メッセージの保持制限の影響が小さい場合、宛先に到達するメッセージの数は当然ながら増加する。それにともない、同じ宛先に重複して到達するメッセージの数も増加すると考えられる。しかしながら、冗長率の算出式 (式 (1)) の分母に値する到達メッセージのホップ数は、1つの宛先に重複して到達するメッセージのホップ数は含まない。そのため、そういったメッセージは冗長メッセージとして、分子のすべてのメッセージのホップ数の中にカウントされる。よって、メッセージの保持制限が緩い環境では、式 (1) の分子の値が大きく増加することによって、冗長率の値は大きくなる。

一方、メッセージの保持制限の影響が大きい場合では、宛先に到達するメッセージの数は制限の影響が小さい場合と比較すると減少する。また、それにとなくなって、1つの宛先に重複して到達するメッセージの数も減少することから、式 (1) の分子の値が減少し、冗長率の値は小さくなる。これらのことから、メッセージの保持制限が厳しくなると、冗長率の値はそれにとなくなって小さくなると考えられる。

また、提案手法の冗長率が既存手法に比べ、全体的に向

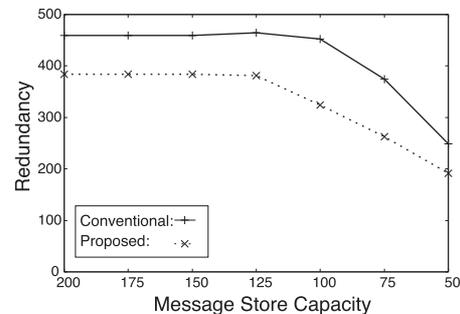


図 12 Spray and Wait におけるメッセージ保持可能数と冗長率の関係

Fig. 12 Characteristics of redundancy of Spray and Wait under Msg capacity limitation.

上していることも確認できる。この理由については、次のように考えることができる。既存手法の場合、到達の可能性の程度にかかわらず、無選別メッセージをバッファ内に格納し、伝達する。そのため、必然的に到達の可能性の低いメッセージの転送が増加し、冗長率の算出式 (式 (1)) の分子の値であるすべてのメッセージのホップ数が大きくなる。したがって、既存手法の場合は全体的に冗長率の値は大きくなってしまふ。

一方で、提案手法の場合は、到達の可能性の高いメッセージのみを選別してバッファ内に格納し、伝達する。したがって、到達の可能性の低いメッセージの転送機会が大きく減少することにもない、式 (1) の分子の値も減少する。よって、提案手法の冗長率は既存手法よりも全体的に低下すると考えられる。

正規化到達率

図 13 に示す正規化到達率の結果より、宛先からの距離が近い S0, S1 の正規化到達率の値はどちらもほぼ 1 に近い値を示し、宛先からの距離が遠い S2, S3 では 1 以上の値を示していることが分かる。したがって、提案手法を用いることで S2, S3 でのメッセージ到達率が大きく向上していることが確認できる。

このような結果になった理由は、次のように考えることができる。Spray and Wait のみでの伝達を行う既存手法の場合、メッセージの無駄な中継が発生することによってカウンタ値の無駄な減少が発生する。そのため、宛先までの距離が近い S0 や S1 ではカウンタ値の影響は強く受けず、到達率は高い値を維持するが、宛先までの距離が遠い S2 や S3 は距離が離れているためにカウンタ値の影響を強く受けてしまう。したがって、到達率は S0, S1 よりも低下すると考えられる。

一方、提案手法では、中継エリアを設定していることによって中継範囲が限定される。それにより、メッセージの中継も最小限に抑えることができるため、既存手法と比べると、カウンタ値の無駄な減少が発生しにくくなる。したがって、提案手法では、S0~S3 のどの送信元からのメッ

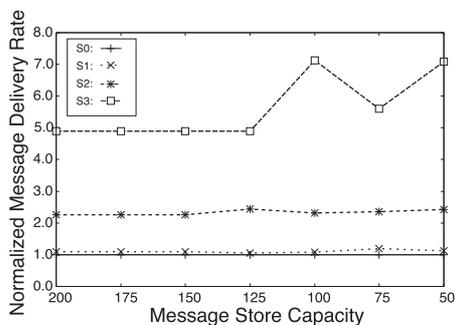


図 13 Spray and Wait におけるメッセージ保持可能数と正規化到達率の関係

Fig. 13 Characteristics of normalized message delivery rate under Msg capacity limitation.

セージも途中で中継終了することなく宛先まで伝達させることが可能になることから、既存手法よりも S2, S3 での到達率が向上したと考えられる。

5. メッセージ受信時に付与するランクを用いた冗長送信数の削減手法

前章では、メッセージ中継エリアを導入することで、既存手法に比べてメッセージの平均到達率ならびに冗長率がおおむね改善できることを明らかとした。しかしながら、Epidemic Routing を用いた場合は、端末のメッセージ保持制限が $M_{limit} > 150$ である状況下において、既存手法にくらべて平均到達率が低下することも明らかとなった。そこで、本章では、この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。本章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との距離に応じてランクを付与する。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、付与されたランクをもとに、バッファから破棄する不要なメッセージを決定する。例として、4.1 節の性能評価で用いた被災地モデル (図 3) に、メッセージに付与するランクを明示したものを図 14 に示す。

同図では、例として理想経路 (IdealRoute) からの距離が近い順に、4 段階 (rank1~rank4) のランクを設定している。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ランクを付与するかを判断する。

具体的には、すべての Relay Node はメッセージ受信時に以下の処理を実施する。

- (1) メッセージの生成地点とその宛先を結ぶ直線 (理想経路 (IdealRoute)) を計算する。
- (2) 上記の手順 (1) で算出した理想経路に対する自身からの距離 d を算出する。
- (3) ランク設定間隔 d_{rk} に従って作成したランク設定表と上記の (2) で算出した距離 d から受信したメッセージのランクを決定し、保有するメッセージとともに記録する。

図 14 の場合、ノード A, B, C はそれぞれ、1, 2, 3 の

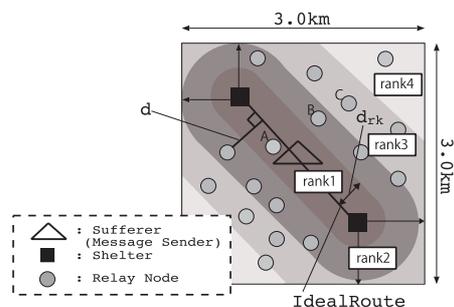


図 14 メッセージにランクを付加する場合の被災地モデル

Fig. 14 Message propagation model with message rank on disaster affected area.

表 5 ランク設定 ($d_{rk} = 100$)
Table 5 Rank setting ($d_{rk} = 100$).

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

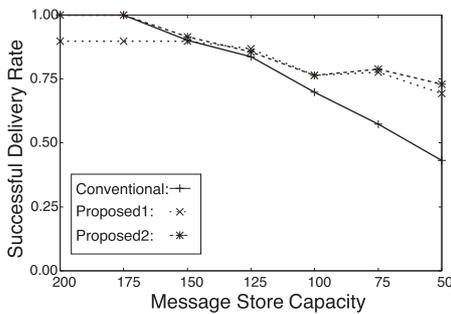


図 15 3 手法の平均到達率の変化

Fig. 15 Characteristics of successful delivery rate of 3 methods.

ランクを自身が受信したメッセージに付加する。さて、これらのランクは、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、以降の評価におけるランクの設定間隔 d_{rk} の値は、ノードの通信可能距離である $d_{rk} = 100$ m に設定する。 $d_{rk} = 100$ m に設定した場合のランク設定表を表 5 に示す。

5.1 メッセージランク付け手法の性能評価と考察

5.1.1 3 手法の性能比較

本項では、既存手法、ならびに前章で提案したメッセージ中継エリアを用いる手法と、本章で提案するメッセージランク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、前章で用いた送信元が複数存在するモデル (図 7) を用いることとする。また、その他のシミュレーション条件については、表 4 と同様とする。

さらに、今回の評価で比較する手法は、既存の DTN のみを用いた既存手法、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ランクを付与する手法の 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 15 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 はメッセージランク付け手法をそれぞれ

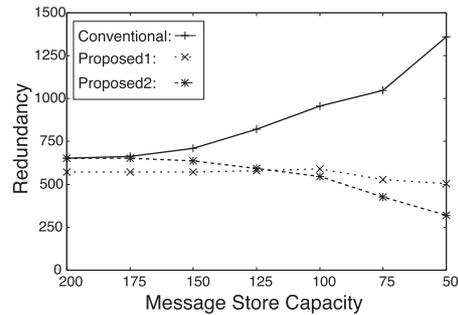


図 16 3 手法の冗長率の変化

Fig. 16 Characteristics of redundancy of 3 methods.

示す。

同図より、既存手法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分かる。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ランク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既存手法よりも到達率が低下しているのに対し、メッセージランク付け手法の到達率は既存手法とほぼ同等の値を維持していることが分かる。このことから、メッセージランク付け手法は、前章で述べたメッセージ中継エリアを用いる手法のかかえる課題を改善できることが分かる。

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。前章でも述べたように、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かかわらず、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すべてのメッセージを保持する既存手法よりも到達率が低下してしまつたと考えられる。

一方、本章で提案したメッセージランク付け手法では、中継エリア外のメッセージを強制的に破棄することは行わないため、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とき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 ($M_{limit} \geq 150$ のとき) では既存手法とほぼ同等の到達率を達成できる。結果として、メッセージランク付け手法は、バッファサイズに余裕があるとき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 16 に示す。同図より、既存手法の冗長率が最も高いことが分かる。これは、既存手法は他の 2 手法とは異なり、バッファに余裕がある限り、すべ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。

また、同図から、メッセージの保持制限が厳しい場合

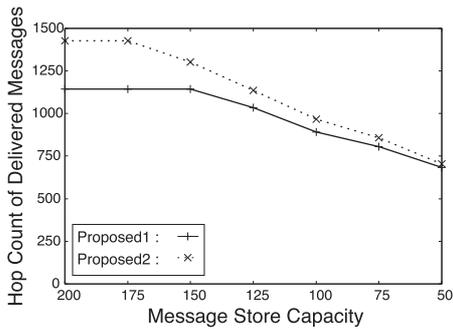


図 17 Proposed1 と Proposed2 の到達メッセージのホップ数

Fig. 17 # of hops of delivered messages (Proposed1, Proposed2).

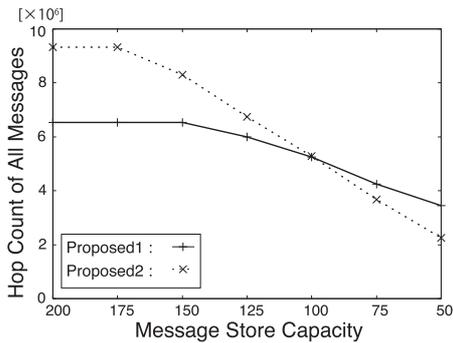


図 18 Proposed1 と Proposed2 の総ホップ数

Fig. 18 # of hops of all messages (Proposed1, Proposed2).

($M_{limit} < 125$) において、メッセージランク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分かる。

この結果の理由を、冗長率の算出式 (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 17) とすべてのメッセージのホップ数 (図 18) を用いて説明する。

図 17 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分かる。しかし、図 18 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ランク付け手法の方が大きくホップ数が減少させていることが分かる。また、 $M_{limit} < 100$ では、メッセージランク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分かる。

ここで、算出した分子にあたるすべ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かかわらず、この分子の値であるすべ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、メッセージランク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、メッセージランク付け手法は、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

表 6 ランク設定 ($d_{rk} = 50, 200$)

Table 6 Rank setting ($d_{rk} = 50, 200$).

Distance to IdealRoute		Rank
$d_{rk} = 50$	$d_{rk} = 200$	
~50 m	~200 m	1
50~100 m	200~400 m	2
100~150 m	400~600 m	3
150~200 m	600~800 m	4
200~250 m	800~1,000 m	5
250 m~	1,000 m~	6

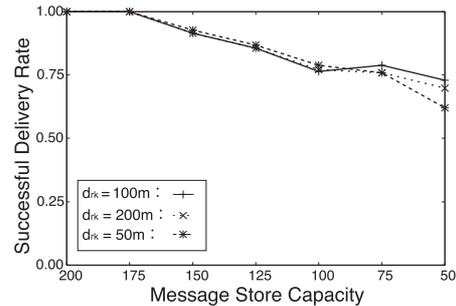


図 19 d_{rk} が異なる場合のランク付け手法の平均到達率の変化

Fig. 19 Characteristics of successful delivery rate of proposed 2 under varying d_{rk} values.

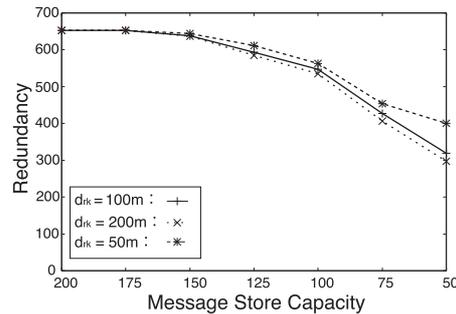


図 20 d_{rk} が異なる場合のランク付け手法の冗長率の変化

Fig. 20 Characteristics of Redundancy of proposed 2 under varying d_{rk} values.

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では、メッセージランク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。

5.1.2 ランク設定間隔と性能の関係

前項における評価では、ランク付け手法におけるランク設定間隔 d_{rk} を 100 m として評価を行った。本項では、 d_{rk} の値がランク付け手法の性能にどのように影響を及ぼすかを調査するために、 d_{rk} の値を 50 m, 200 m と変化させた場合の評価を行った。それぞれの d_{rk} に対するランク設定は表 6 に示す。同評価の結果に得られた平均到達率ならびに冗長率の変化を図 19, 図 20 にそれぞれ示す。

両図からも確認できるとおり、 d_{rk} の値が変化しても、ランク付け手法の性能にはあまり大きな影響を及ぼさないことが分かる。

6. おわりに

本論文は、災害発生時の被災情報を迅速に収集することを目的として、DTNを用いた情報伝達手法について議論した。具体的には、自治体の指定する避難所は災害発生前から基地であること、ならびに、近年普及の著しいスマートフォンに実装されるGPSによって災害時であっても用意に個人の所在地が把握できることを利用した2つのメッセージ中継手法を提案し、評価によってその有効性を明らかにした。

なお、本論文で最初に提案を行ったメッセージ中継エリアを用いる手法では、中継エリア外で受信したメッセージはすべて破棄するため、必要以上に狭くエリアを設定するとメッセージの到達率は大きく低下する。そのため、実際には端末密度ならびに端末の移動速度を考慮し、中継エリア内に十分な中継端末数が存在するようにサイズを選択する必要がある。しかしながら、次に提案を行ったメッセージランク付け手法においては、ランク間隔の値が提案方式の性能に与える影響はさほど大きくないため、実運用においても導入しやすい手法であると考えられる。

ところで、自治体によって指定されている避難所であっても、発生した災害の規模や状況によっては必ずしもすべての避難所が開設されないことがある。そのような状況下で、いたずらに消費電力の低減のためにメッセージ送受信数の制限を適用すると、メッセージ伝達性能の大幅な低下により人命救助に大きな支障を及ぼす危険がある。そのため、実運用では、周辺に存在する避難所の開設状況をふまえてメッセージ送受信制限の実施の有無を適応的に判断する仕組みが必要となる。

さて、本論文における性能評価では、シミュレーションフィールド内を自由に移動できるモデルを用いたが、実際の地図ベースのモデルを用いた評価も実施しており、同モデルにおいても、提案手法の適用によって、自由移動モデルと同様の有効性が得られることを確認済みであるが、これについては稿をあらためて報告するつもりである。

謝辞 本研究の一部は平成26年度古川技術振興財団研究助成を受けたものである。

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配置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] 仲谷義雄: 大規模災害に対する減災情報システム (前編), 情報処理, Vol.45, No.11, pp.1164-1174 (2004).

[3] 仲谷義雄: 大規模災害に対する減災情報システム (後編), 情報処理, Vol.45, No.11, pp.1255-1265 (2004).

[4] 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).

[5] 内閣府: 平成26年度防災白書 附属資料, 内閣府 (オンライン), 入手先 (http://www.bousai.go.jp/kaigirep/hakusho/pdf/H26_fuzokushiryou.pdf) (参照 2014-12-29).

[6] 福島大学国際災害復興学研究会: 東日本大震災からの復旧・復興と国際比較, (株)八朔社 (2014).

[7] 総務省: 大規模災害等緊急事態における通信確保の在り方—最終とりまとめの公表—, 総務省 (オンライン), 入手先 (http://www.soumu.go.jp/main_content/000141084.pdf) (参照 2014-12-29).

[8] 総務省: 大規模災害等緊急事態における通信確保の在り方—最終とりまとめの公表—参考資料, 総務省 (オンライン), 入手先 (http://www.soumu.go.jp/main_content/000141086.pdf) (参照 2014-12-29).

[9] 山路栄作: 東日本大震災における通信インフラの災害復旧とその課題, 電子情報学会通信学会誌, Vol.95, pp.195-200 (2012).

[10] 大和田泰伯, 鈴木裕和, 岡田 啓, 間瀬憲一: 中山間地におけるメッシュネットワーク: 山古志ねつとの構築, 信学総大, pp.S27-28 (2007).

[11] 間瀬憲一: 大規模災害時の通信確保を支援するアドホックネットワーク, 電子情報通信学会技術研究報告, Vol.89, No.9, pp.796-800 (2009).

[12] 飯開輝久雄, 岩田建一, 上田敏雄: 大震災発生後の生死を分ける「黄金の72時間」とコミュニティ—ご近所づきあいが街 (いのち) を救う—, 熊本大学政策研究, No.3, pp.81-92 (2012).

[13] 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).

[14] 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).

[15] 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).

[16] 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).

[17] 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).

[18] 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).

[19] Cheng, P.-C., Lee, K.C., Gerla, M. and Jérôme, H.: GeoDTN+Nav: Geographic DTN Routing with Navigator Prediction for Urban Vehicular Environments, *Mob. Netw., Appl.*15, 1 (2010).

[20] Zhi, B., Hao, X. and Weidong, X.: Energy-aware georouting for delay tolerant networks in disaster areas, *2013 3rd International Conference on Computer Science and Network Technology (ICCSNT)*, pp.694-698 (2013).

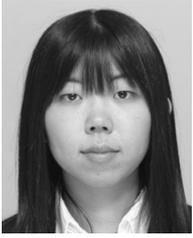
[21] 広島県: 国勢調査—広島県, 広島県 (オンライン), 入手先 (<https://www.pref.hiroshima.lg.jp/site/toukei/kokuseityosa.html>) (参照 2015-8-28).

[22] 総務省: 平成26年度情報通信白書, 総務省 (オンライン), 入手先 (<http://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/whitepaper/ja/h26/pdf/index.html>) (参照 2015-8-28).

[23] The ONE (online), available from (<http://www.netlab.tkk.fi/tutkimus/dtn/theone/>) (accessed 2014-04-18).

[24] Spyropoulos, T., Psounis, K. and Raghavendra, C.:

Spray and Wait: An Efficient Routing Scheme for Intermittently Connected Mobile Networks, *Proc. SIGCOMM'05 Workshops*, pp.252-259 (2005).



河本 美穂 (正会員)

平成 27 年 3 月県立広島大学経営情報学科卒業。在学中は無線ネットワークを用いた被災情報収集システムに関する研究に従事。現在、株式会社富士通システムズ・ウエスト勤務。



重安 哲也 (正会員)

平成 10 年徳山高等工業専門学校情報電子工学科卒業。山口大学理学部編入後、同大学大学院博士前期課程を修了し、大阪大学大学院工学研究科博士後期課程修了。博士 (工学)。広島国際大学社会環境科学部助手、同大学工学部助教を経て、平成 23 年 4 月より県立広島大学経営情報学部講師、平成 27 年 4 月同准教授。主に、無線通信プロトコルに関する研究に従事。DPS ワークショップ 2007 最優秀論文賞、平成 20 年度情報処理学会山下記念研究賞、国際会議 ITC-CSCC2008 Outstanding Oral Paper Award 国際会議 CISIS2011 Best Paper Award 各受賞。IEEE, 電子情報通信学会各会員。