

災害によるネットワーク不接続時の Delay/Disruption Tolerant Network 接続を用いた安否情報送信法

山下諒馬[†] 高見一正[†]

広域災害では, 設備障害, 電力不足のため携帯電話等の公共性の高い通信は, いつものようには利用できなくなり, 被災地域内の安否確認に支障をきたすことが予想される. 本稿では, 被災者が携帯端末を保持していることを想定し, それらの端末と救助者の携帯端末及び避難所サーバが DTN(Delay/Disruption Tolerant Network)を構築し, 安否情報を集約するための被災者と情報運搬者の各端末間及び情報運搬者と避難所の端末とサーバ間の各プロトコルを明確化した. また, ネットワークシミュレータに提案プロトコルを実装して, 1.2km²の被災地域に被災者をランダムに分布させたモデルを構築した. 被災者数, 情報運搬者数, 等を変化させ, 安否情報の避難所までの到達率とデータ集約過程を評価し, 被災者数の 1/5 程度の情報運搬者を配備すれば, 安否情報を 95%以上集約できることを確認した.

Safety Information Gathering via Information Carriers through a DTN in a Disaster- stricken Area

RYOMA YAMASHITA[†] KAZUMASA TAKAMI[†]

1. はじめに

近年, 世界各国で地震や異常気象などの天災が多発しており, 大都市直下型地震の懸念もされている. その様な災害時では, 電気・水道・ガスの他にも, 交通インフラなどが正常に機能しなくなる. 通信インフラもそのひとつであり, 東日本大震災では, 被災地の基地局が震災の影響を受け, 機能しなくなった[1][2][3]. また, 安否を確認しようと東北の知り合いに電話をする人が日本中で現れたため, 電話網の輻輳などもあり, 被災地との連絡を取ることがとても困難であった. 東日本大震災の場合, 各携帯会社の基地局は完全復旧までに約 1 ヶ月を要した. しかし, 障害物で隔離され動けない被災者を救助するためには 72 時間以内が必須とされている.

一方, 通信の中断や切断が多発したり, 大きな伝送遅延が生じたりする劣悪な通信環境でも, データ転送を実現する通信方式として, DTN(Delay/Disruption Tolerant Network)が研究されている[4]-[11]. DTN は, ノード間のマルチホップ無線通信によるメッセージの転送とノード自体の移動性によるメッセージの運搬を併用することで, ネットワークが分裂した場合でも中継するノードがメッセージを保持し, 再接続したところでメッセージを送信することができ, 災害時の通信基盤としての研究もすでに開始されている[12]-[18]. 文献[12]では, DTN を用いた情報の収集・共有方式を提案しているが, これは救護者が被害情報を収集するための研究であり, 被災者が送信したメッセージを収集する方法としては言及されていない. また, 文献[13]では, MONAC と DTN を用いた Twitter への投稿方法を提案して

いるが, 被災地内での携帯電話通信が可能である地域を前提としており, ネットワーク基盤が復旧するまでは適用できない. 一方, DTN はメッセージが宛先に到達する保証を与えておらず, また, 到達しても遅延時間が大きくなるため, 緊急性, 重要性の高い安否情報を扱うためには新たな利用技術が望まれている. 文献[14]では, メッセージフェリーという情報を運ぶ方式を提案しているが, これはフェリー同士の通信は行っておらず, また, 決められたルートのみをフェリーは進む方式であり, 通信範囲が限られてしまい, 被災地域のエリアカバレッジを高めるためには工夫が必要である.

本稿では, 災害で携帯電話会社の基地局が倒壊してから完全復旧するまでの期間を前提とし, 情報運搬者を新たに定義して, 被災者と情報運搬者の端末及び避難所のサーバが DTN を構成して, 安否情報を避難所に集約する方式を提案する. 第 2 章では, 本稿で想定する災害時での安否情報集約方式について概説し, 安否情報を収集するための被災者と情報運搬者の各端末間及び情報運搬者端末と避難所サーバ間の各プロトコルを示す. また, 第 3 章では, ネットワークシミュレータを利用した評価方法と条件を示す. また, 安否情報の避難所までの到達率とデータ集約過程に関する評価結果を示す. 第 4 章でまとめと今後の課題を述べる.

2. 情報運搬者による安否情報集約方式

2.1 DTN 構成法

本稿では, 災害の影響で携帯電話が使用不可であることを想定している. また, 全ての被災者が携帯端末を所有しており, 避難所には無線アクセスポイントを具備したサーバが設置済みあることを前提とする.

[†] 創価大学工学研究科情報システム工学専攻
Graduate School of Engineering, Soka University

避難所に退避していない、または退避できない被災者の安否情報を集約するため、図1のように救助隊などを情報運搬者として定義する。被災者の安否情報の集約は被災者と情報運搬者の携帯端末、被災地域内に複数設置されている避難所のサーバをノードとしたDTNを構成して行う。DTNの代表的なルーティング方法であるEpidemic Routingは、到達率をあげるために、すれ違った全ての端末にメッセージを複製する方式であり、フラディングメッセージがネットワーク内に激増し、端末のリソースと電力の消耗が大きいと想定される。しかし、災害時では携帯端末の処理負荷と電池消耗を抑止して、安否情報という重要なメッセージを避難所に確実に届けるための工夫が必要となる。

これらを解決するために、被災者端末は自身の安否情報のみを情報運搬者端末に送信することとし、被災者端末にまで拡散する無駄なメッセージの処理を減らし、電池の消費を少しでも節約できる方式とした。また、大規模災害では被災者が多く、運搬する安否情報が膨大になり、情報運搬者端末の容量を超えてしまう可能性があるため、情報運搬者は避難所に到着し、サーバに転送すると保持していた安否情報は破棄することとする。安否情報には、携帯端末で取得したGPS情報を付加して、被災者の位置を特定できるようにした。さらに、避難所サーバから災害情報を被災者宛に送信することを考えている。しかし、本稿では、図1の被災者と情報運搬者の端末間プロトコルとその情報運搬者端末と避難所サーバ間のプロトコルについて検討する。

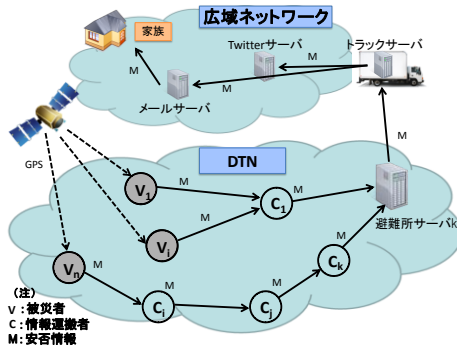


図1 安否情報集約のためのDTN構成例

Figure 1 Example configuration of a DTN used to gather safety information.

2.2 安否情報集約プロトコル

安否情報を確実に集約するために、ハンドシェイク方式とし、情報運搬者端末がT秒周期に送信する探索メッセージ(S_M)、その探索メッセージに被災者端末が返信する安否情報を含めた応答メッセージ(R_M)、及びその応答メッセージに返信する確認メッセージ(C_M)を定義した。さらに、情報運搬者端末が集約した全ての安否情報を避難所サーバに転送するための安否情報メッセージ(V_M)を定義した。また、各メッセージには送信者が情報運搬者端末とそれ以外かを識別するために、メッセージ内に送信端末種別

として、carrierIdを設定した。carrierId=1は情報運搬者端末、carrierId=0は被災者端末又は避難所サーバを示す。また、各メッセージには各端末が保持しているユニークなnodeIdを設定する。carrierId=0のメッセージの被災者端末又は避難所サーバの識別はnodeIdにより区別する。避難所サーバのnodeIdは情報運搬者が活動を開始する時に端末に設定する。nodeIdは各端末に付与されているMACアドレスを使用すること想定している。また、被災者がどの情報運搬者へメッセージを送ったかを判断するためにも使用する。各メッセージ構成を以下に示す。

探索メッセージ：

$S_M \{nodeId, carrierId(1), sendtime\}$

応答メッセージ：

$R_M \{nodeId, carrierId(0), sendtime, sourceAddress, destinationAddress, gps, Address\}$

確認メッセージ：

$C_M \{nodeId, carrierId(0/1), sendtime\}$

安否情報メッセージ：

$V_M \{nodeId, carrierId(1), sendtime, info\}$

sendtimeには、メッセージを送った時間が設定される。sourceAddressは被災者端末のIPアドレスが入り、destinationAddressには被災者が送りたい最終的な宛先のIPアドレスが入る。また、gpsには緯度経度情報が入る。Addressは避難所サーバからの応答メッセージのみ設定され、緯度経度情報から住所情報に変換した情報を設定する。また、安否情報メッセージのinfoには集約した被災者の安否情報が格納される。

各メッセージ間の関係をシーケンス図として、図2に示す。メッセージシーケンスは情報運搬者と被災者の各端末間の転送ブロックCVと情報運搬者端末と避難所サーバ間の転送ブロックCSから構成される。2つの転送ブロックCVとCSは独立しており、必ずしも連続して動作する必要はなく、情報運搬者からの探索メッセージに対する応答メッセージを分析して逐次実行される。

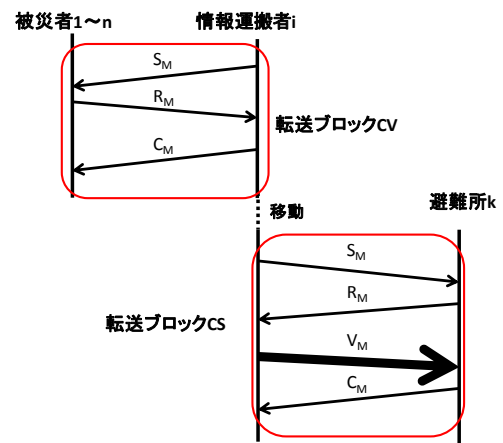


図2 転送ブロックとメッセージ送受信シーケンス

Figure 2 Message exchange sequence and transfer blocks.

2.3 被災者と情報運搬者の端末間プロトコル処理

情報運搬者と被災者の各端末間のプロトコル処理ロジックを示す。探索メッセージに対する被災者端末の応答メッセージの返信方法として単送信方式と複送信方式の2方式を提案する。単送信方式は無駄なメッセージの送信を抑えるため、1人の情報運搬者に制限して応答メッセージを送る方式である。複送信方式は単送信方式よりはメッセージを送る量は増えるが遭遇した複数の情報運搬者に送るため、メッセージ紛失時の到達率とエリアカバー率の向上が期待できる。以下に各方式の処理ロジックを示す。

(1)単送信方式

- Step.1 情報運搬者端末は探索メッセージを T 秒周期で送信。
Step.2 被災者端末はそれを受け、情報運搬者端末へ応答メッセージを返信。
Step.3 被災者端末からの応答メッセージを受信した情報運搬者端末は確認メッセージを返信。
Step.4
4-1 確認メッセージを受信した被災者端末は、Step5 へ。
4-2 確認メッセージの受信が確認できない場合は、Step1 へ。
Step.5 引き続き情報運搬者から受信した探索メッセージには応答メッセージを送信しない。

(2)複送信方式

- Step.1 情報運搬者端末は探索メッセージを T 秒周期で送信。
Step.2 被災者端末は受信した探索メッセージの nodeId を受信済み nodeId リストと照合。
2-1 リストにその nodeId がない場合、受信済み nodeId リストに追加して Step3 へ。
2-2 リストにその nodeId がある場合、Step1 へ。
Step.3 被災者端末は、情報運搬者端末へ応答メッセージを返信。
Step.4 被災者端末からの応答メッセージを受信した情報運搬者端末は確認メッセージを返信。

2.4 情報運搬者端末と避難所サーバ間プロトコル処理

情報運搬者端末が集約した安否情報をサーバに転送するプロトコル処理を以下に示す。情報運搬者端末の容量制限により、安否情報が受信できなくならないように、避難所サーバに情報運搬者が近接するとその端末は安否情報を直ちにサーバに転送して、確認メッセージ受信後に安否情報を廃棄する処理を組み込んでいる。

- Step.1 情報運搬者は探索メッセージを T 秒周期で送信。
Step.2 避難所サーバはそれを受信すると、応答メッセージを返信。
Step.3 情報運搬者端末は応答メッセージの nodeId から避難所と判断し、集約した安否情報を安否情報メッセージに複製して送信。
Step.4 避難所サーバは carrierId を確認して、情報運搬者端

末と被災者端末を判断して、確認メッセージを送信。
Step.5 確認メッセージを受け取った情報運搬者端末は安否情報を破棄して、Step1 へ。

3. 評価

3.1 シミュレータの試作とシミュレーション条件

2章で提案したプロトコルをネットワークシミュレーションソフト Scenargie[19]にカスタマイズコーディングして実装し、評価を行った。プログラミング言語は C++ である。尚、本評価ではメッセージの紛失はないものとした。

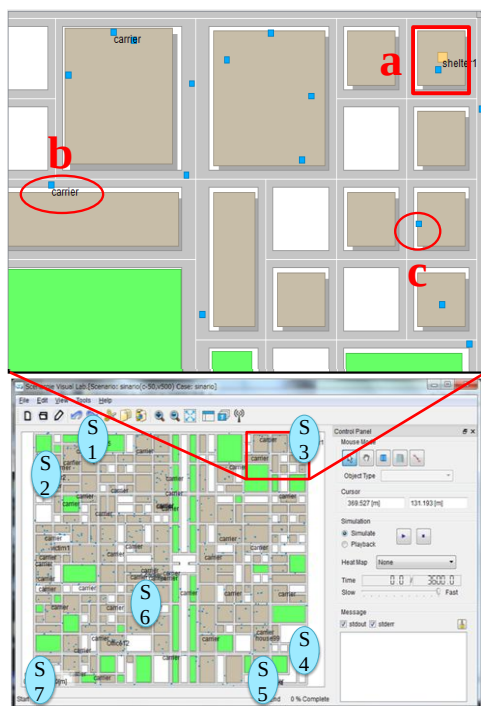
シミュレーション条件として、被災者の数は大都市の人口密度[20]を考慮すると、3000 人/km²を超えるため、動ける被災者は自らの力で避難所に避難するとし、避難所のサーバと直接通信すると想定しているため、本シミュレーションでは考慮していない。身動きが取れず建物の中で待機している人を対象として行う。その動けない被災者を 300 人の場合と 500 人の場合を設定した。また、情報運搬者の割合を、その被災者の数に対して 1/100, 1/50, 1/20, 1/10, 1/5, 1/2 で行った。端末間の電波到達範囲は 100m で行った。情報運搬者は 1 時間のシミュレーション時間の間に図 3 に示す 1.2km²の地域の 7ヶ所の避難所から出発して、7ヶ所の避難所を目的地とし、ランダムに歩くようにした。また、7ヶ所の避難所から出発する情報運搬者もランダムに割り当てた。表 1 にシミュレーション条件をまとめる。

表 1 シミュレーション条件

Table 1 Simulation conditions.

項目	条件	評価条件 1	評価条件 2
範囲		1.2平方km	
シミュレーション時間		1時間	
無線通信方式		IEEE802.11	
電波範囲		100m	
被災者数[v]		300	500
被災者歩行速度		0m/s(停止)	
被災者の位置		Random Building	
情報運搬者数[c]		被災者の 1/100, 1/50, 1/20, 1/10, 1/5, 1/2	
情報運搬者の出発点		避難所を Random に選択	
情報運搬者の行動		避難所間を Random	
情報運搬者歩行速度		3m/s	
情報運搬者の送信周期[T]		1s	
避難所数		7箇所	

また、図 3 にモデル化した被災地域の詳細とシミュレーション画面を示す。図 3 上部の拡大図にある a が避難所である。b のように carrier と名前がついている端末が情報運搬者であり、c のように名前がない端末が被災者である。図 3 下部の S1 から S7 は 7ヶ所の避難所の場所を示す。電波伝搬範囲を点線のサークルで表示した情報運搬者の S1 から S4 への移動軌跡の例を図 4 に示す。情報運搬者を中心に電波伝搬範囲のエリアを移動に沿ってカバーしている。情報運搬者の数が多くなるほど、また、単送信方式よりも複送信方式の方がランダムに動き回る情報運搬者によってエリアカバー率が向上する。



(注) [上部拡大図]a:避難所 b:情報運搬者 c:被災者

[下図] S1～S7:避難所

図 3 被災地域のモデル化とシミュレーション画面

Figure 3 Model of a disaster-stricken area and an image displayed by the simulator.

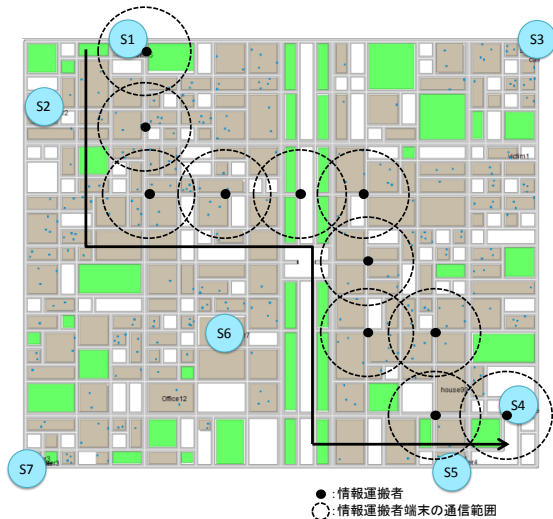


図 4 電波伝搬範囲を考慮した情報運搬者の S1 から S4 への移動軌跡

Figure 4 Trace of the movement of an information carrier from S1 to S4 and the area covered by the radio wave of his/her terminal.

3.2 メッセージ到達率

被災者から送信された安否情報の避難所サーバへの到達率を被災者数に対する情報運搬者数の割合を変化させてシミュレーションした結果を図 5 に示す。また、それぞれの被災者数条件で単送信方式と複送信方式でもシミュレー

ションした。以下に、情報運搬者の割合、単送信方式と複送信方式の比較、被災地域規模に適した情報運搬者数の観点から評価結果を示す。

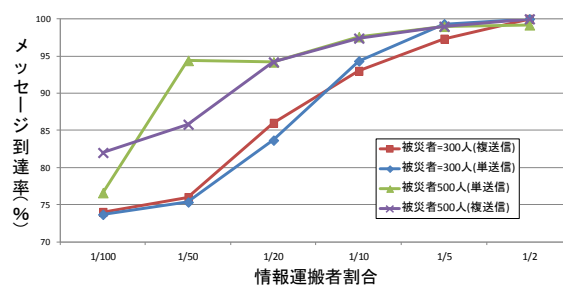


図 5 メッセージ到達率

Figure 5 Message reaching probability.

(1)情報運搬者の割合

メッセージ到達率は情報運搬者の割合が増加するに従い向上した。また、被災者数が 300 人よりも 500 人のモデルの方が、メッセージ到達率の向上は顕著である。情報運搬者の割合が 1/100 では 70%～80%であるが、1/2 の割合で情報運搬者を配置すると被災者が 500 人の場合でも 300 人の場合でも共に 100%の情報を運ぶことができた。また、1/5 でも 95%以上のメッセージ到達率を達成できた。

(2)単送信方式と複送信方式の比較

単送信方式と複送信方式では、メッセージ到達率の違いは殆ど見られなかった。これは、メッセージ紛失を考慮していないためである。また、複送信方式は、一人の情報運搬者が複数の被災者からのメッセージを重複して受信できるため、エリアカバー率が単送信方式に比べ情報運搬者の割合が少ない時点でも向上する。従って、複送信方式では単送信方式に比べ、メッセージ到達率も高くなると予想したが、顕著な差はなかった。

(3) 被災地域規模に適した情報運搬者数

情報運搬者の割合と実際に安否情報を受け取った情報運搬者数の関係を図 6 に示す。被災者数は 300 人と 500 人で単送信方式でのデータである。情報運搬者の割合が 1/20 までは全ての情報運搬者が受信しているが、1/10 以上では全く安否情報を受信していない情報運搬者が出てきている。被災者 300 人で 1/2 の割合の情報運搬者 150 人のところと、被災者 500 人で 1/5 の割合の情報運搬者 100 人のところを見ると、前者は約 60 人の余り、後者は約 20 人の余りが出ていることから約 80～90 人で行えば効率のいい収集ができるのではないかと考えられる。また、図 5 のグラフと照らしあわせても、被災者 300 人の 1/2 の割合の情報運搬者 150 人では、100%、被災者 500 人の 1/5 の割合の情報運搬者 100 人でも 100%に近い結果が得られているため、本シミュレーション条件である 1.2km²の被災地域規模では、80 から 90 人ほどの情報運搬者でエリアがカバーできることがわかる。

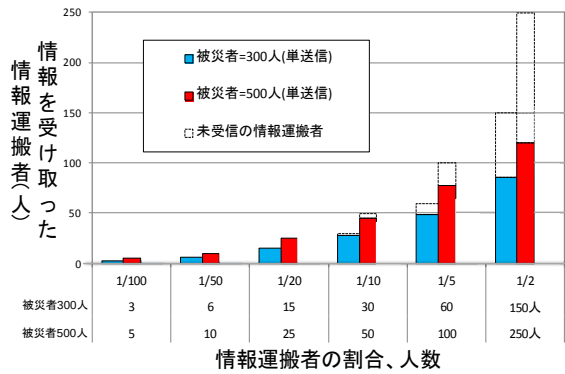


図 6 安否情報を受信した情報運搬者数

Figure 6 Number of information carriers who have received safety information.

3.3 情報運搬者端末の受信量

被災者 300 人が図 7 のような割合で被災地に分布しているモデルにおいて、一人の情報運搬者が S7 から S6 に移動してその端末で受信できた安否情報量の時系列変化を図 8 に示す。尚、1 メッセージは 100bytes とした。図 8 の最初の区間は情報運搬者が避難所 S7 の近傍を移動しており、被災者端末から受信したメッセージを直ちに避難所サーバに転送しているため、メッセージの蓄積はほとんど見られない。しかし、104 秒から 226 秒の間ではメッセージを蓄積し、最大で 3000bytes までとなった。その後、避難所 S6 に近づき、蓄積したメッセージを全てサーバに転送したため、蓄積は 0byte となった。S6 近傍を移動中の受信量の変化は S7 と同様である。これは、2.4 節で提案したプロトコルが有効に動作したことを示している。

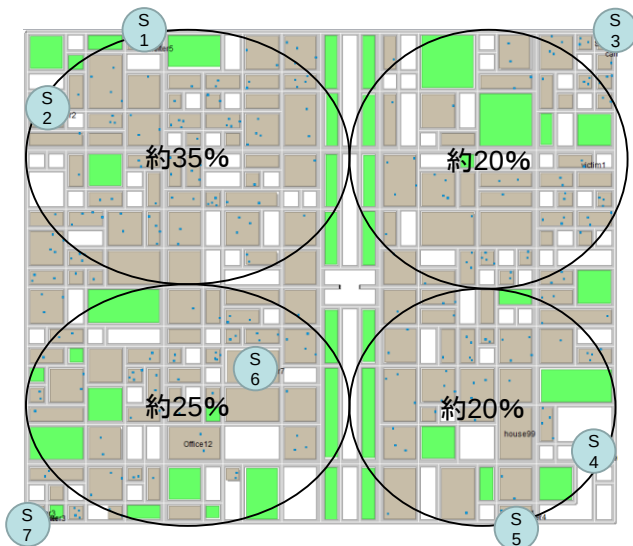


図 7 被災者 300 人の分布概要

Figure 7 Distribution of 300 victims.

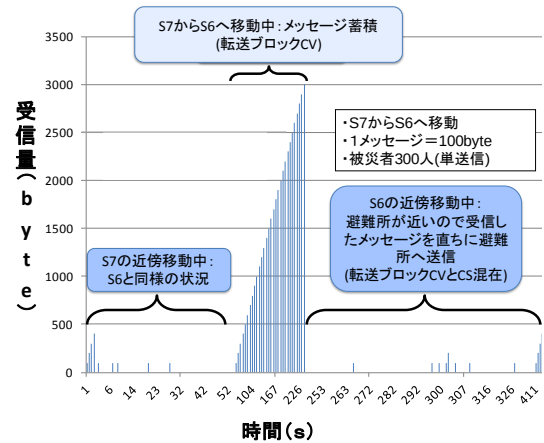


図 8 特定の 1 台の情報運搬者端末の受信量の時系列変化の例

Figure 8 Change, over time, in the amount of data received by an information carrier's terminal.

また、情報運搬者 3 人が S3, S5, S7 からそれぞれ出発し、複数の避難所を経由して移動し、各避難所間で蓄積した受信量の最大値の時系列変化を図 9 に示す。図 9 より、本シミュレーション条件では、情報運搬者端末の受信容量を約 3000bytes と設定すれば、受信オーバーフローによるメッセージ紛失は発生しないことがわかった。

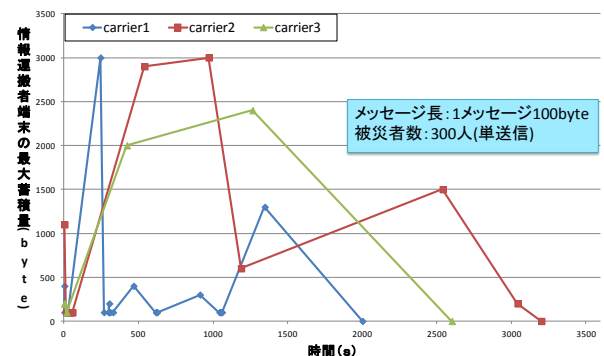


図 9 情報運搬者端末の避難所間最大蓄積量の遷移例

Figure 9 Change, over time, in the maximum amount of data accumulated in an information carrier's terminal as it moved from a shelter to another.

4. まとめ

本稿では、情報運搬者という安否情報を運ぶ専門家を置き、その情報運搬者端末、被災者端末及び避難所サーバを DTN で構成して、避難所まで届ける方式を提案した。特に、被災者端末が無駄なメッセージを送受信しないための情報運搬者端末間とのプロトコルを明確化した。また、情報運搬者端末と避難所サーバ間のプロトコルでは、安否情報のサーバへの転送時に情報運搬者端末から情報を破棄する手順を規定し、情報運搬者端末の受信容量オーバーフローを抑

制した。ネットワークシミュレータに提案方式を実装し、大都市を想定した被災地域モデルにおいてシミュレーションを行った。情報運搬者数が被災者数の 1/5 以上では安否情報の到達率 95%以上という十分な品質を確保できることを示した。

今後は、メッセージ破棄の考慮、電波範囲の縮小、Epidemic Routing との比較、マルチホップで情報運搬者同士の通信を行い、探索範囲をより広域に広げて評価する必要がある。

謝辞 Scenargie でのカスタマイズを行うにあたってアドバイスいただいた Spece-time Engineering 社の前野氏、研究室の山下翔平君に感謝致します。

参考文献

- 1) 東日本大震災における情報通信の状況 平成 23 年版情報通信白書 p2-11.
- 2) 能島 暢呂: 東日本大震災におけるライフライン復旧概況(時系列編) 岐阜大学工学部社会基盤工学科 2011 年 4 月 3 日.
- 3) 総務省 東日本大震災関連情報.
<http://www.soumu.go.jp/shinsai/> (2013/5/15)
- 4) 高橋 正生, 森山 敦文: 劣通信環境を克服する DTN NICT.
http://www.jgn.nict.go.jp/jgn2_archive/japanese/08-library/meeting_doc/data/ws-10/Takahashi&Moriyama.pdf (2013/5/15)
- 5) 鶴 正人: 有線無線融合 NW プラットホーム技術 NICT.
http://www.jgn.nict.go.jp/jgn2plus_archive/japanese/data/pdf/SPARC/T6-201012_TBWG-07-07.pdf (2013/5/15)
- 6) 永田 晃, 山村 新也, 鶴 正人: 有線無線融合ネットワークのための DTN 技術 NICT. 新世代ネットワークワークショップ 2010, NwGN 研究会, 鹿児島県霧島市, 2010 年 8 月 16-17 日.
http://www.jgn.nict.go.jp/jgn2plus_archive/japanese/data/pdf/SPARC/T6-201008-DTN-NwGN.pdf (2013/5/15)
- 7) The ONE Simulator for DTN Protocol Evaluation. TKK. 22 Jan 2009.
- 8) Delay-Tolerant Networking Architecture IETF RFC 4838 2007-04.
- 9) Bundle Protocol Specification IETF RFC 5050 2007-11.
- 10) Bundle Security Protocol Specification IETF RFC 6257 2011-05.
- 11) 鶴 正人, 内田 真人, 滝根 哲哉, 永田 晃, 松田 崇弘, 已波 弘佳, 山村 新也: DTN 技術と現状の展望 解説論文 通信ソサイエティマガジン No.16 [春号] 2011 p.57-68.
- 12) 孫 為華, 木谷 友哉, 柴田 直樹, 安本 慶一: 被災地における DTN に基づいた情報収集・共有方式の提案:情報処理学会研究報告, マルチメディア通信と分散処理研究会報告, 02-26, 一般社団法人情報処理学会 (2009)
- 13) 小山 由, 水本 旭洋, 今津 真也, 安本 慶一: 大規模災害時の安否確認システムと広域無線網利用可能エリアへの DTN に基づいたメッセージ中継法, IPSJ SIG Technical Report Vol.2012-MBL-62, No.29, pp,1-7 (2012) .
- 14) 阿部 涼介, 中村 嘉隆, 白石 陽, 高橋 修: メッセージフェリールによる効率的な DTN ルーティング方式の提案と評価, マルチメディア, 分散, 協調とモバイル(DICOMO)シンポジウム, 7 月 (2012)
- 15) 守谷 博之, 横山 輝明: 蓄積転送型通信を用いた広域災害時通信システムの設計と実装実験 サイバー大学.
http://www.cyber-u.ac.jp/bulletin/0004/pdf/0004_05.pdf , (2013/5/15)
- 16) 中島 申詞: Delay Tolerant Network 環境におけるフラッディングメッセージ抑制のためのルーティング手法
- 17) 下忠 健一: Potential-based DTN Routing System の評価と改善 東京大学大学院 情報理工学系研究科電子情報学専攻 修士論文, <http://repository.dl.itc.u-tokyo.ac.jp/dspace/bitstream/2261/35887/1/48086412.pdf> , (2013/05/16)
- 18) Ioannis Psaras, Lloyd Wood, Rahim Tafazolli: Delay-Disruption-Tolerant Networking State of the Art and Future Challenges, Preprint submitted to Elsevier November 5 (2009)
- 19) Scenargie Space-time engineering.
<http://www.spacetime-eng.com/jp/index.html> , (2013/5/15)
- 20) 人口密度-Wikipedia.
<http://ja.wikipedia.org/wiki/%E4%BA%BA%E5%8F%A3%E5%AF%86%E5%BA%A6> , (2013/4/30)