

# DTNを基盤としたコンテンツ配信における トラフィック大幅削減を目的とした配送制御手法

高島 翔生子<sup>1</sup> 重安 哲也<sup>1,a)</sup>

概要：近年、災害時における通信被害を抑制するために、断続的なネットワーク環境下でも通信を可能とするDTN技術が注目を集めている。しかし、迅速な情報通信が求められる災害時において、DTNの中継転送で発生する通信遅延は極力低減させる必要があるため、CCNの考え方を新たに導入する。その際、コンテンツ返送元が複数となることによりトラフィックが過剰に増加する問題を解決するため、本稿では、ネットワーク内の不要なパケットを破棄することでトラフィックの削減を図る、配送制御アルゴリズムについて検討する。

## 1. はじめに

平成23年に発生した東日本大震災では、通信インフラ施設やそれに電力を供給する施設の破損や、携帯事業者の大規模な通信規制により、被災者が満足に災害情報を得ることができない事態が発生した。また、平成30年7月の西日本豪雨でも携帯電話の通信障害が発生し、被災者間の安否確認等が困難となったり、被害の少ない地域でも停電や通信回線の輻輳により、携帯端末が使用しにくくなったことも記憶に新しい[1]。そこで近年、そのような通信被害を緩和させるため、DTN (Delay Tolerant Networking) [2] を利用した災害情報収集システムについての研究が多く進められている。DTNでは蓄積運搬形転送により、一部に通信不能区間を含むネットワークにおいても通信が可能となる。そのため、災害時のような不安定な通信環境下における情報伝達手法として注目を集めている。しかし、本来DTNでは、通信遅延がある程度許容される情報の伝達を想定しているため、迅速な情報収集が要求される災害時で用いるには通信遅延の大きさが未だ問題となっている。

一方、通信遅延を大幅に削減できる手法としてCCN (Content-Centric Network) [3] が注目を集めている。CCNでは、一度返送されたデータをコンテンツルータにキャッシュし、これを以降の同様の要求に対する返送データとして活用することで、迅速なデータ返送が可能となる。

そこで、これまで我々は、DTNネットワーク内にCCN

の考え方を導入し、通信遅延の大幅な削減を目的とした静動混在ネットワークを提案した。しかし、同ネットワークの性能を評価した結果より、コンテンツルータの導入により過剰なトラフィック増加の危険性があることも明らかになった[4]。そこで本稿では、コンテンツルータの導入によって起きるトラフィック増加の問題を抑制する手法について検討する。具体的には、ネットワーク内の不要なパケットがバッファを圧迫していることに着目し、それを適応的に廃棄することで、トラフィックの増加を抑制する。また、その有効性を性能評価を用いて確認し、アルゴリズムを適用することにより到達率が向上し、さらにRTTも大幅な削減が可能であることを明らかにする。

## 2. 関連研究

### 2.1 災害情報収集システム

被災時に既存の通信インフラ施設に頼らず災害情報を収集するシステムはこれまでにいくつか提案されている。その一つに、文献[5]で提案されている避難所間無線ネットワークがあげられる。概要図を図1に示す。同システムでは、災害直後に幹線ネットワーク(図1(A))と支線ネットワーク(図1(B))という二つのネットワークを構成し、被災情報の効率的な収集を図る。幹線ネットワークは耐震強度の高い建物間で構成され、支線ネットワークは中・小規模の避難所から構成される。これらのネットワークを確立することにより、各避難所の被災者は地域全体の被災状況が把握できるようになる。

### 2.2 DTN

災害時のような断続的で不安定なネットワーク環境下で

<sup>1</sup> 県立広島大学大学院 情報マネジメント専攻  
Graduate School of Prefectural University of Hiroshima, Hiroshima 734-8558, Japan

<sup>a)</sup> sigeyasu@pu-hiroshima.ac.jp

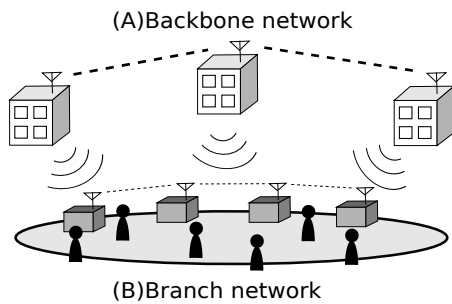


図1 避難所間無線ネットワーク

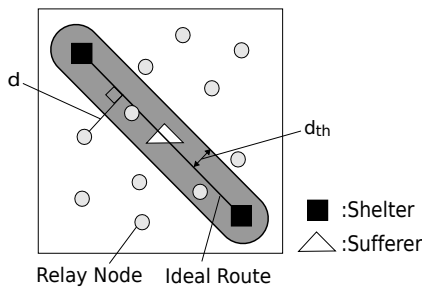


図2 メッセージ中継エリアを利用した冗長転送の削減

もマルチホップ通信を可能にする技術として、DTN が提案されている。DTN では、送信元ノードから宛先ノードまでの中継転送において、通信リンクが途切れている間は、データを自身のバッファに保持したまま移動する。その間に再び他ノードの通信範囲内に入り、通信リンクを確立できた際にはデータの転送を行う。この蓄積移動と転送を繰り返す蓄積運搬系転送により、DTN ではネットワークポロジが絶えず変動する場合でも通信が可能となる。

また、DTN で主に用いられている転送方式である Epidemic Routing では、中継端末が遭遇した全てのノードにデータを複製・転送するため、複製パケットと冗長な転送が増加する一方、宛先ノードへのデータ到達率が高くなるという利点がある。

### 2.3 DTN を用いた被災情報収集システム

DTN を用いて被災情報収集を実現した例に、文献 [6] で提案される手法がある。同手法の概要図を図2に示す。同手法ではまず、送信元と宛先を直線で結んだ理想経路を元に、メッセージ中継エリアを設定する。中継ノード間の転送が発生した際、そのノードがこのメッセージ中継エリア内にいればメッセージを中継し、そうでなければ中継を行わず破棄する手法である。これにより、DTN の欠点である過剰な複製パケットの冗長転送を削減し、より効率的な情報収集を実現している。

### 2.4 CCN

現在の IP ネットワークは IP アドレスを指定して転送を行うロケーション志向な通信モデルである。しかし、ネットワーク内を流れるコンテンツ数の増加に伴い、近年、デー

タの宛先や送信元のアドレスは気にせず、目的のコンテンツが手に入りさえすれば良いというコンテンツ志向な通信モデルが注目を集めている。それを実現したネットワーク技術の一つに、CCN がある。CCN ではコンテンツを保持するサーバのアドレスではなく、取得したいコンテンツ名を指定することにより通信を開始する。

CCN が従来のネットワークと大きく違う点は、コンテンツがサーバから返送される際、途中のルータにキャッシュを残す点である。後に同名コンテンツの取得要求が発生した際、このキャッシュを利用することにより、コンテンツ取得時間が大幅に軽減される。

## 3. 提案方式

### 3.1 DTN への CCN 導入による問題点

DTN では、中継ノードがデータを自身のバッファに保持したまま移動し、他ノードに遭遇した時にそれを転送する。このような環境では、情報要求者が要求伝達パケット (Interest) を転送してからそれに対応するコンテンツを取得するまでに、一定の遅延が発生する。この問題を解決するために、我々はシステムの基盤となる DTN に CCN の考え方を導入し、コンテンツ取得遅延の軽減を図るシステムを提案してきた [4]。しかし、同手法では本部とコンテンツルータの二箇所から返送が行われることで、コンテンツ要求の多い状況下ではトラフィック増による帯域不足が発生し、輻輳が発生する。

### 3.2 トラフィック増加抑制制御

本稿では、多数のコンテンツ要求が発生するような状況下でもトラフィックの必要以上の増加を抑え、RTT を向上させるために、ネットワーク内を流れる不要なパケットの検出とそれ以上の拡散を抑制する手法について検討する。ここで、文献 [4] で提案したシステムでは、ネットワーク内を流れるパケットとして、要求者が送信する Interest と、それに応じて本部あるいはコンテンツルータから配信されるコンテンツの二種類がある。DTN 基盤を用いると、任意の Interest はいずれかの端末が中継したものが、災害対策本部あるいはコンテンツルータに到達した後もその他の中継端末内のバッファに残り続け、不必要な転送を引き起こすためにネットワーク帯域を圧迫し続けてしまう。そこで、この不要な Interest を破棄するため、以下のアルゴリズムを提案する。

- (1) 中継ノードが自身の保持する Interest が要求するコンテンツと同名のコンテンツを他ノードから受信した場合、自身の Interest を破棄する (図3 (a))。
- (2) 中継ノードが自身の保持するコンテンツと同名のコンテンツを要求する Interest を他ノードから受信した場合、そのパケットを破棄する (図3 (b))。

このように、既にコンテンツの返送が開始され、それ以

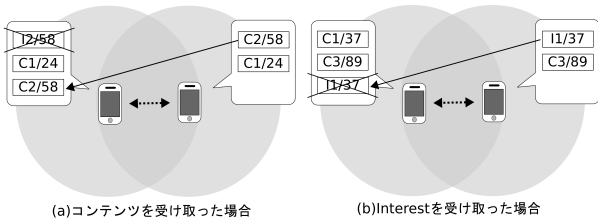


図 3 トラフィック削減のためのアルゴリズム

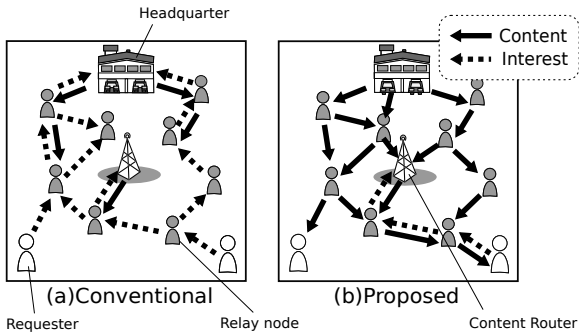


図 4 既存手法と提案手法のパケットの流れ

上の拡散が不要となった Interest を破棄することで、本部とコンテンツルータの二箇所からの返送によって情報配信の確実性を向上しながら、トラフィックの削減を可能とする。図 4 は、上記の手法を適用しない既存手法と、適用する提案手法での、ネットワーク全体のパケットの流れを示している。図 4 (a) のように、既存手法では一度本部かコンテンツルータに到達した Interest が中継ノードのバッファ内に残り続けるため、不要な Interest が拡散され、その分必要なコンテンツの転送も妨げてしまう。一方、提案手法では、図 4 (b) のように、一度要求を伝達し終えた Interest は適応的に破棄されるため、Interest の冗長な拡散が抑制され、その分生まれたバッファの空きがより必要なコンテンツの転送に使用される。

#### 4. 性能評価

本章では、提案手法の有効性をシミュレーションにより評価する。シミュレータは The ONE (The Opportunistic Network Environment simulator) [7] を用いた。シミュレーショントポロジを図 5 に、シミュレーション諸元を表 1 に示す。

##### 4.1 シミュレーション結果

図 6, 図 7, 図 8 はそれぞれメッセージ保持可能数に制限を加えた時の平均到達率, 平均 RTT, 平均 Hop 数を示している。図中の Conventional は上記のアルゴリズムを適用しない場合の手法, Proposed は上記のアルゴリズムを適用する場合の手法を表す。

図 6 より, DTN と既存手法では全体的に到達率が低い

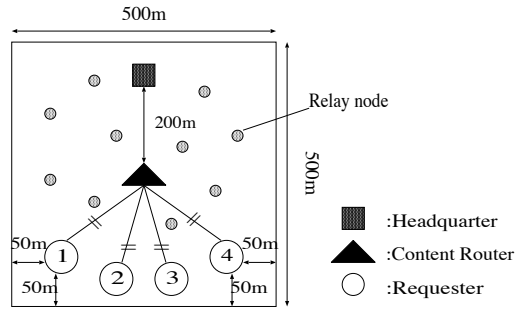


図 5 シミュレーショントポロジ

Parameter	Value
Simulation Period	3000 [sec]
Simulation Range	500 × 500 [m]
Relay Node Speed	0.9~1.0 [m/s]
Transmission Range	100 [m]
Transmission Speed	2 [Mbps]
Message Size	250K [Byte]
Message Interval	110~130 [sec]
Density of Relay Nodes	220 [node/ $Km^2$ ]
Routing Protocol	Epidemic Routing

のに対し、提案手法では保持可能数に制限がある場合でも到達率が 80%以上となっていることが分かる。これは、中継保持されているパケットのうち、不要な Interest を破棄することでバッファに空きが生まれ、この空きを利用して、これまで破棄されていたパケットの転送が新たに可能になったからであると考えられる。

図 7 からは、提案手法では RTT も減少していることが分かる。これは不要な Interest を破棄することでコンテンツの配送が増加し、要求者に早く到達するコンテンツの数が増加したからであると考えられる。また、メッセージ保持可能数が少ない場合は提案手法の性能向上率が非常に大きくなっていることもわかる。これは、メッセージ保持可能数が少ない場合、DTN あるいは既存手法では、中継ノードが不要となった冗長な Interest もコンテンツと共に配送するので、宛先に到達する可能性のある多くのコンテンツがバッファから破棄され、要求者に到達するまでに時間がかかったことが原因だと考えられる。逆に、提案手法ではバッファに余裕が生まれることで必要なコンテンツをより多くのノードが中継できるようになるため、到達時間が短くなったと考えられる。

また、図 8 に示すように、提案手法の平均 Hop 数が減少していないのは、既存手法と同様の条件で届いたパケットでは Hop 数が減少したが、増加分のパケットの Hop 数はあまり減少しなかったことが原因と考えられる。

加えて、返送元が本部であるコンテンツの数を図 9 に、返送元がコンテンツルータであるコンテンツの数を図 10 に示す。メッセージ保持可能数が多くなるとコンテンツルー

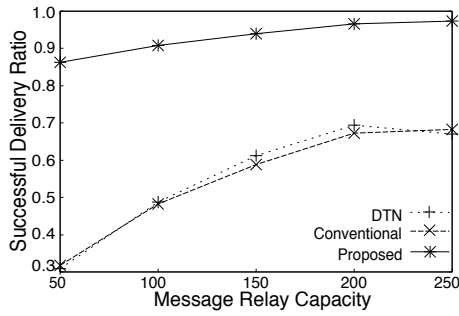


図 6 メッセージ保持可能数に制限を加えた場合の到達率の変化

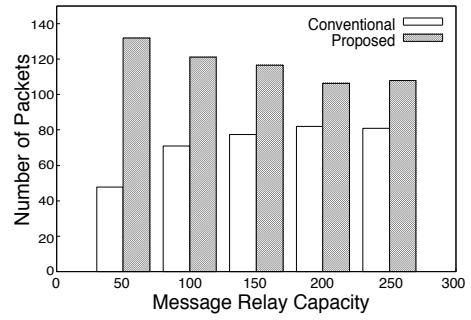


図 9 本部からのコンテンツ返送数

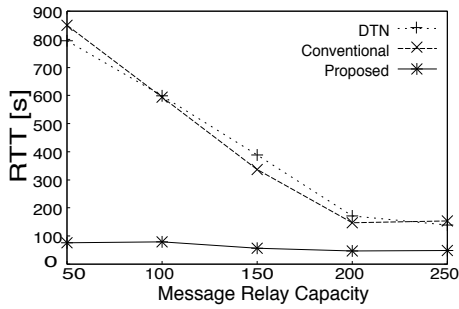


図 7 メッセージ保持可能数に制限を加えた場合の RTT の変化

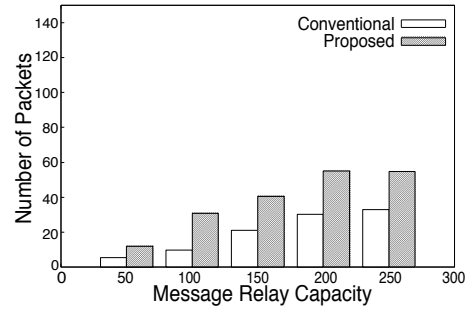


図 10 コンテンツルータからのコンテンツ返送数

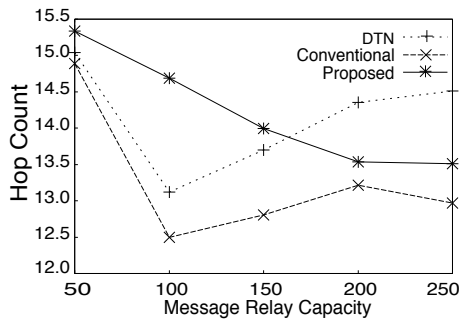


図 8 メッセージ保持可能数に制限を加えた場合の Hop 数の変化

タからのコンテンツ返送数が増加するのは、本部から返送されるコンテンツの中継が増えることでコンテンツルータに蓄積されるキャッシュ数が増加したからであると考えられる。さて、これらの図からも分かるように、提案手法では本部とコンテンツルータの双方の返送コンテンツが既存手法と比べて増加していることから、不要な Interest を破棄し、バッファに空きができたことでコンテンツの転送数が増え、到達率や RTT において提案手法の性能が向上したのだと考えられる。

## 5. おわりに

本稿では、DTN に CCN の考え方を導入することによって発生するトラフィック増加を抑制する手法について検討した。具体的には、ネットワーク内で発生する不要な Interest パケットを適応的に廃棄することで、トラフィックの大幅な削減を図った。性能評価の結果より、提案手法では不要な Interest 破棄によりバッファの空きが生まれ、それをより必要なパケットの転送に使用可能となることで、

コンテンツ到達率と RTT においては大きく性能が向上することがわかった。今後はコンテンツルータからの配送効果をさらに高める手法について検討するつもりである。

## 参考文献

- [1] 朝日新聞 DIGITAL : (西日本豪雨支援通信) 携帯電話の通信障害 (online), <https://www.asahi.com/articles/ASL7D5H1BL7DPTFC00T.html> (2018.8.10).
- [2] 鶴 正人, 内田 真人, 滝根 哲哉, 永田 晃, 松田 崇弘, 己波 弘佳, 山村 新也: DTN 技術の現状と展望, 電子情報通信学会 通信ソサイエティマガジン, vol.16, pp. 57-68, (2011).
- [3] 山本 幹: コンテンツオリエンテッドネットワーク, 電子情報通信学会誌, vol.95, No.4, pp. 341-346, (2012).
- [4] S.Takabatake, T. Shigeyasu, "A New Contents Delivery Network Mixing on Static/Dynamic Heterogeneous DTN Environment," Innovative Mobile and Internet Services in Ubiquitous Computing. IMIS 2018. Advances in Intelligent Systems and Computing, vol 773. Springer, Cham, pp. 147-158, 2018.
- [5] M. Urakami, S. Innami, M. Kamegawa, T. Shigeyasu, H. Matsumoto, "Wireless Distributed Network System for Relief Activities after Disasters - A Field Experiment for Channel Setting and a System for Information Exchange among Shelters," International Conference on Broadband, Wireless Computing, Communication and Applications, Fukuoka, pp. 260-267, 2010.
- [6] M. Kawamoto, T. Shigeyasu, "Message Relay Decision Algorithm to Improve Message Delivery Ratio in DTN-Based Wireless Disaster Information Systems," IEEE 29th International Conference on Advanced Information Networking and Applications, Gwangju, pp. 822-828, 2015.
- [7] The ONE : The Opportunistic Network Environment simulator(online), <https://akeranen.github.io/the-one/> (2018.8.6).