

CCN over DTN を基盤とした 被災情報配信システムにおけるトラフィック抑制手法

高島 翔生子¹ 重安 哲也^{1,a)}

受付日 2019年5月7日, 採録日 2019年11月7日

概要: 災害発生に起因する通信障害の影響を回避するために DTN 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 では蓄積運搬型転送により、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を可能とする。しかし、本来、DTN は通信遅延がある程度許容される種別の情報伝達に適用される技術であり、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問題となる。そこで、本論文は、ネットワークキャッシュにより通信遅延を削減できる ICN 技術を導入することで、CCN over DTN を基盤とした新しい被災情報配信システムを提案する。また、提案システムにおける、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、中継端末が蓄積・運搬するコンテンツの重複を検出し、それらを適応的に廃棄することで、ネットワークトラフィックの不必要な増加を抑制する。また、提案手法の有効性を評価した結果から、本提案手法を適用することによりメッセージの到達率を低下させずに RTT を大幅に減少できることを明らかにする。

キーワード: DTN, CCN, 被災情報配信, トラフィック削減

A Study for Reducing Network Traffic of Disaster Information Delivery System Based on CCN over DTN

SHOKO TAKABATAKE¹ TETSUYA SHIGEYASU^{1,a)}

Received: May 7, 2019, Accepted: November 7, 2019

Abstract: Recently, there are a number of researches regarding to the disaster information delivery system based on DTN. DTN achieves network reach abilities by store-carry-forward mechanism even if the network consists of partially disconnected area. The DTN, however, is a technology originally used for the situations that the network allows large communication delays for data delivery. Therefore, large communication delays must be solved to use DTN for disaster information systems required rapid information exchange. This paper discusses the method how to deliver the disaster information useful for evacuation activities by technology of CCN over DTN. This paper deals with the problems of a large communication delay induced by DTN, and propose methods reducing duplicate contents on relay nodes. The results of computer simulations confirm that our proposal achieves to reduce RTT largely while avoiding degradation of message delivery ratio.

Keywords: DTN, CCN, disaster information delivery, traffic reduction

1. はじめに

平成 23 年に発生した東日本大震災では、通信インフラ施設の破損や携帯事業者の大規模な通信規制により、携帯端末を用いた情報取得が困難となった [1]。また、平成 30

年 7 月の西日本豪雨でも、停電や伝送路の故障により、広範囲で通信障害が発生したことは記憶に新しい [2]。

そこで、近年、災害時の通信被害を緩和させるため、不安定なネットワーク環境下でも通信経路を確立できる DTN (Delay Tolerant Networking) [3], [4] が注目を集めている。DTN は蓄積運搬型転送により、一部に通信不能区間を含むネットワークにおいても情報伝達を可能とする。そのため、DTN を災害時の情報収集基盤として利用するネッ

¹ 県立広島大学経営情報学部
Prefectural University of Hiroshima, Hiroshima 734–8558,
Japan

a) sigeyasu@pu-hiroshima.ac.jp

トワークシステムの開発がこれまでに多く進められている [5], [6], [7], [8], [9], [10], [11], [12], [13]. これらのシステムは避難所に避難が完了した被災者からの情報収集を前提とするシステムがその多くを占める. 一方で, 避難所への避難がまだ完了していない被災者には, 避難経路等の緊急性を要する情報の提供が必要となるが, 避難中の被災者への情報配信手法はこれまでにあまり検討されていない.

ところで, 近年, IP (Internet Protocol) アドレスを宛先に指定して通信するロケーション指向型ネットワークと対照的に, コンテンツ名を指定して通信するコンテンツ指向型ネットワークが注目を集めている. そのなかでも代表的な CCN (Content Centric Network) [14] は, 一度返送されたデータをコンテンツルータ (CR) にキャッシュし, 以降の同様の情報提供要求に対する返送データに利用するため, 迅速なコンテンツの配信に有効である.

そこで, 我々は, DTN に CCN の考え方を導入した被災情報配信システムを検討する. しかし, 単純に DTN に CCN を組み合わせるだけでは, コンテンツルータとオリジナルサーバの 2 カ所からのコンテンツ返送によってトラフィックが不必要に増加する危険性がある. そこで, 本論文では, 1) オリジナルサーバの返送抑制手法, 2) 不要パケット破棄手法の 2 手法をあわせて提案する. 具体的に, 1) は, コンテンツ返送元の増加による過剰な複製コンテンツの発生を抑制するため, キャッシュが十分コンテンツルータに蓄積されたと判断した場合はコンテンツ要求を受信してもオリジナルサーバからのコンテンツ返送を抑制し, 2) は, コンテンツ要求の伝達を完了しても同種の Interest が中継ノードのバッファ内に残留し続けることに着目し, それらの中継ノードが適応的に廃棄する.

両手法の有効性は計算機シミュレータによって評価し, 1) の実装により, オリジナルサーバの返送抑制によりコンテンツ到達率を低下させることなくサーバ負荷の軽減が可能なこと, 2) の実装により, システム内の不要パケットを破棄することで, コンテンツ到達率や RTT (Round Trip Time) が大幅に向上することをそれぞれ明らかにする.

2. 関連研究

以下では, 本論文の関連研究について述べる.

2.1 Directed Diffusion [15]

データセントリックに無線マルチホップ通信を実現する手法に Directed Diffusion [15] がある. 同手法はデータ転送要求である Interest の flooding 時に構築された複数経路のなかからデータ転送経路を選択する, 通信経路の再利用性に基づく. そのため, 本論文が想定するような, 任意の転送に使用した通信経路の再利用性が保証されない環境下に Directed Diffusion を適用することは難しい.

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. その後, 他ノードの通信範囲内に移動し, 再び, 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型転送により, DTN ではネットワークト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 で主に用いられる転送方式である Epidemic Routing [16] では, 中継端末が遭遇したすべ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.

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する例に, 文献 [13] で提案される手法がある. 同手法の概要を図 1 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. 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する.

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指向の通信モデルである. しかし, ネットワーク内を流れるコンテンツ数の増加にともない, 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よいというコンテンツ指向の通信モデルが注目を集めている. これを実現するネットワーク技術の 1 つが CCN である. 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して通信を開始する.

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

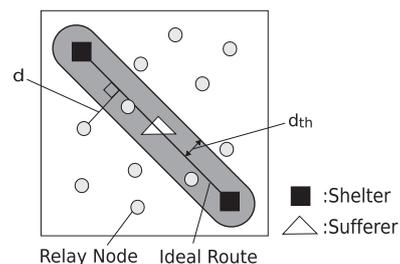


図 1 メッセージ中継エリアを利用した冗長転送の削減
Fig. 1 Redundant forwarding reduction by message relay area.

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。

2.5 DTNにCCNを導入した災害時情報基盤 [17]

文献 [17] は、DTN 環境下に CCN を導入した災害時情報基盤について検討している。これは、以降の章で述べる本論文の提案する災害情報システムも同様である。

しかしながら、文献 [17] では、避難所とその避難所に避難した複数の被災者端末を 1 つのネットワークとしたうえで、複数のネットワークが互いに孤立した状況を DTN で接続することを検討している。また、孤立ネットワーク間を移動中継する Data Mule にはコンテンツルータの機能を実装し、ネットワーク間通信は Data Mule を必ず経由するという限定的な環境のみ検討している。そのため、コンテンツルータに中継経路が限定されない状況を想定する本論文とは位置付けが異なる。

3. DTN を基盤とする被災情報配信システム

災害時に DTN を使用する場合の通信遅延を削減するため、CCN のネットワークキャッシングを導入した DTN による被災情報配信システムを検討する。以下、同システムを DTN/CCN とよぶ。同システムは、被災情報を要求する要求者、コンテンツを提供する本部、要求やコンテンツを拡散する中継ノード、コンテンツルータの 4 つの要素で構成される。なお、コンテンツの到達率を向上するため、中継ノードのルーティング方式には Epidemic Routing を採用する。また、同システムでは、特定の範囲内のみを移動する防災用無線通信装置を備えたノードや既存のインフラ施設等の固定ノードをコンテンツルータに用いる。また、災害対策本部とコンテンツルータは GNSS (Global Navigation Satellite System) によって取得した互いの位置情報を防災用無線を通じて共有する。

同システムでは、コンテンツルータの導入により、要求者から近いノードからコンテンツの返送が可能となるため、コンテンツ取得時間の短縮が期待できる。DTN/CCN の動作概要を述べる。なお、本論文では、コンテンツ要求を伝達するための Interest を送信した後、対応するコンテンツを取得するまでに要した時間を、コンテンツ取得時の RTT (以降、単に RTT) とよぶ^{*1}。まず、要求者 1 が/hq/0 のコンテンツに対する Interest を送信すると、この要求は DTN ネットワークを介して災害対策本部まで転送される (図 2 ①)。災害対策本部は対応するコンテンツを要求者 1 へ返却する。その際、コンテンツを保持した中継ノードが

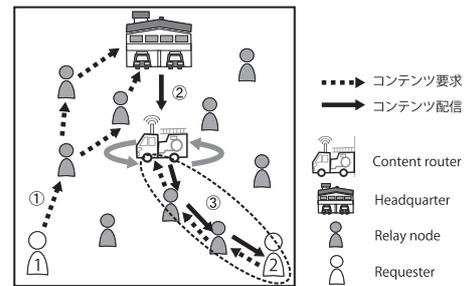


図 2 DTN/CCN におけるコンテンツキャッシュ

Fig. 2 Content caching on DTN/CCN.

コンテンツルータを通過すると、そのコンテンツはルータにキャッシュされる (図 2 ②)。

次に、要求者 2 が要求者 1 と同様のコンテンツを要求した場合を想定する。このコンテンツ要求がコンテンツルータを通過した場合、先ほどの動作によりコンテンツルータに該当コンテンツがキャッシュされているため、このキャッシュの内容を受け取ることができる (図 2 ③)。また、コンテンツ要求が災害対策本部を通過した場合は、ここからもコンテンツを返送する。この 2 カ所からのコンテンツ返送により、高い到達率を実現しながら RTT の削減が期待できる。

さて、以上に述べた DTN/CCN の基礎的な通信特性を評価した文献 [18] では、DTN/CCN を含む DTN をベースとするネットワークの RTT は、(a) 中継ノードの移動時間と (b) メッセージを受け渡す転送時間の 2 つが主であることを述べている。また、通信インタフェースの Transmission speed を変化させた評価結果から、(b) が RTT に占める割合が高い場合は、DTN/CCN の性能が DTN よりも悪くなることを示している。さらに、(b) の割合を増加させないために、DTN/CCN における不必要な Interest/コンテンツの複製の削減が必要であるとしている。

そのため、災害発生時の迅速な情報配信によって被災者の安全な避難を支援するシステムの開発を目的とする本論文は、Interest/コンテンツの不必要な複製を削減することでトラフィックの増加を抑制し、効果的に RTT を低減する手法について検討する。

4. DTN/CCN におけるトラフィック増加を抑制する手法

DTN/CCN の課題を解決するために提案する 2 つの手法について述べる。

4.1 オリジナルサーバの返送抑制手法 (LRM)

状況に応じてコンテンツルータに優先的にコンテンツ返送を担当させ、トラフィックを削減するとともにオリジナルサーバの負荷を軽減する返送抑制手法として LRM (Limited Replay Method) を提案する。

*1 一般的には、特定の 2 ノード間のパケットの往復時間を RTT として用いることが多いが、本論文では、任意の Interest の送信開始から、その送信ノードにコンテンツのオリジナルを保有するノード、あるいはコンテンツルータから最も早いコンテンツが到着するまでの所用時間を RTT とする。

4.1.1 DTN/CCN の課題

DTN/CCN では、災害対策本部とコンテンツルータの双方からコンテンツを返送することで、多くの複製コンテンツがネットワーク内を流れるため、要求者の元には同一のコンテンツをペイロードに持つパケットが複数返送される。しかし、最終的に要求者が利用するコンテンツは到達が最も早いパケットに含まれるコンテンツ1つのみであるため、ネットワーク中で転送されたにもかかわらず最終的に利用されない無駄なコンテンツがネットワーク内に多く発生することになる。これらの無駄なトラフィックを削減するには、ネットワークの状況に応じてオリジナルサーバ、もしくはコンテンツルータのどちらか一方からの返送を抑制することが必要であると考えられる。

具体的には、災害対策本部のオリジナルサーバからの返送より、要求者に近いコンテンツルータからの返送を活用することが、コンテンツ到達率や RTT 向上の面で有効であると考えられる。そのため、以下では、災害対策本部の返送を抑制し、コンテンツルータにコンテンツの返送を主に担当させることで、高い到達率を維持しながら、ネットワーク内トラフィックの削減とサーバ負荷の軽減を可能とする手法について検討する。

4.1.2 LRM の動作

LRM では、オリジナルサーバが送信したコンテンツがコンテンツルータに蓄積されたと判断した後はオリジナルサーバからはそのコンテンツを返送しないものとする(図 3)。

同手法は、任意のコンテンツを初めてオリジナルサーバが返送した時刻からの経過時間が閾値 T を超えた場合に、そのコンテンツがコンテンツルータに蓄積されたと判断する。Epidemic Routing では、任意のコンテンツは送信開始からの時間経過にともない、中継ノードがその他のノードとの接触で作成される複製数も増加する。複製数が増加すれば、それらのいずれかがコンテンツルータに到達する可能性も高くなる。

同様に、オリジナルサーバからの送信回数の増加によっても複製数は増加するため、これらを返送抑制の指標に用いることは抑制手法の精度向上に有益であるといえる。しかし、一般的には、災害対策本部が送信したコンテンツが

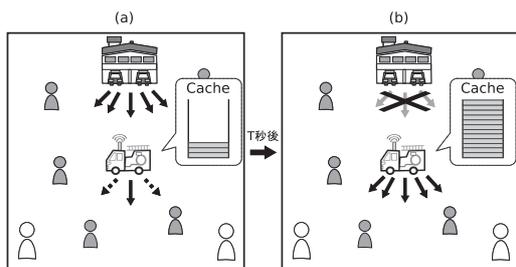


図 3 返送抑制の考え方

Fig. 3 Limitation of message reply.

コンテンツルータに到達するためには、複数中継ノードによる複数回の移動/中継が必要になると考えられる。そのため、オリジナルサーバの送信回数を返送抑制の指標に用いる場合には、単純な送信回数のみではなく、それぞれの送信開始からの経過時間等の情報も記録する必要がある。そのため、本論文は、より簡易な手法で返送抑制を実現するために、任意のコンテンツの初回の送信時刻からの経過時間のみで返送抑制を実施することとした。

さて、LRM では、災害対策本部は以下のアルゴリズムに従う。

- (1) 災害対策本部が任意のコンテンツ C_1 に対する Interest Int_{C_1} を初めて時刻 t_{C_1} に受信すると、この時刻を記録し、 C_1 を返送する。
- (2) 2 度目以降に Int_{C_1} を受信した時刻を t としたとき、以下の処理を行う。
 - (a) $t - t_{C_1} < T$ であれば、コンテンツルータにはまだキャッシュが十分に蓄積されていないと判断し、災害対策本部はコンテンツを返送する(図 4(a))。
 - (b) $t - t_{C_1} \geq T$ であれば、キャッシュが十分コンテンツルータに蓄積されていると判断し、災害対策本部からコンテンツは返送しない(図 4(b))。
- (3) (2) の処理を繰り返す。

さて、上記のアルゴリズムでは、コンテンツルータより災害対策本部に近い場所の要求者に対しても $t - t_{C_1} \geq T$ のときは災害対策本部はコンテンツを返送しないため、LRM を用いることでコンテンツ取得時間が増加する可能性もある。そこで、LRM では、要求者の場所がコンテンツルータよりも災害対策本部に近い場合は、 $t - t_{C_1} \geq T$ であってもコンテンツを災害対策本部から返送することとする。そのため、要求者は GNSS によって取得した現在地を Interest に記載して送信する。

図 4 の例を考える。ここでは、 $T = 5,000$ とする。同図において、災害対策本部が 1 度目のコンテンツ要求を受信した時刻は $t_{C_1} = 1,200$ であるため、災害対策本部のサーバはこれを記録する。次に、災害対策本部が先ほどと同様のコ

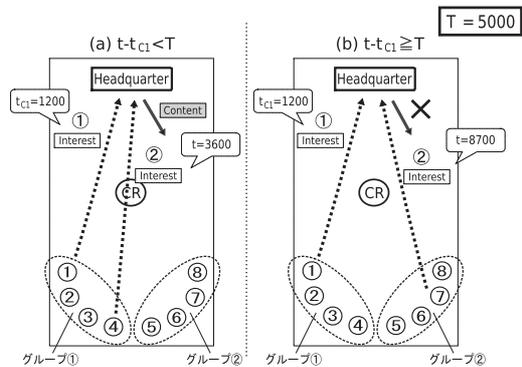


図 4 LRM のアルゴリズム

Fig. 4 LRM algorithm.

と、アルゴリズムを適用するトラフィック抑制制御手法のネットワーク全体のパケットの流れをそれぞれ示している。

同図に示すように、コンテンツ要求過程においては、DTN/CCN, RPEM ともにパケットの流れは同様である。しかし、コンテンツ返送過程において、DTN/CCN では不要となった Interest が中継ノードのバッファ内に残留するため、必要なコンテンツの転送に悪影響を及ぼす。一方、不要パケットを破棄する提案手法では、要求伝達の必要性がなくなった Interest は中継ノードにおいて適応的に破棄されるため、Interest の冗長な拡散と中継ノードのバッファ内残留が抑制され、バッファ残量の増加が必要なコンテンツの転送に活用される。

5. 性能評価

前節で提案した LRM と RPEM による不要な Interest/コンテンツ削減による既存手法に対する優位性を計算機シミュレータにより評価する。さて、Epidemic Routing を提案した文献 [16] では、中継ノードのバッファサイズが通信遅延やメッセージ到達率の性能を大きく左右することを明らかにしている。そこで、Epidemic Routing をベースとする本論文の提案手法においても、中継ノードのバッファサイズによって既存手法に対する優位性がどのように変化するかも評価した。

本評価では、図 8 に示すように、コンテンツ要求者 1, 2, 3, 4 が属するグループ G1 と、コンテンツ要求者 5, 6, 7, 8 が所属するグループ G2 が異なるタイミングでそれぞれコンテンツを要求開始する状況を想定する。また、先行する G1 のコンテンツ要求が一通り終了した後、G2 がコンテンツ要求を開始するまでは十分な時間が空くものとする。ここでは、G1, G2 の要求者がコンテンツ要求に要する時間を 3,000 [s] とし、G1 が要求を終了した後に G2 が要求を開始するまでの時間を 5,000 [s] とする。G1 の要求したコンテンツがコンテンツルータにキャッシュされていた場合、G2 はそのキャッシュを活用できる。

本評価に用いたシミュレーショントポロジを図 9 に、シミュレーション諸元を表 1 にそれぞれ示す。以降の評価結果ではオリジナルサーバからの返送抑制手法、あるいは、

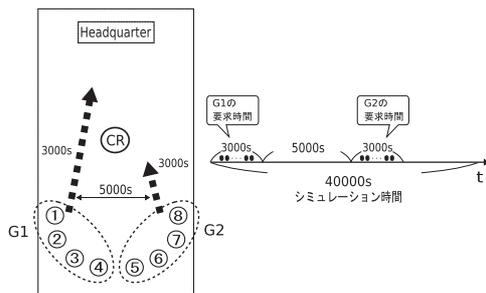


図 8 コンテンツ要求間隔
Fig. 8 Content request intervals.

不要パケット破棄手法のいずれかのみを実装した場合の結果を LRM, RPEM とそれぞれ記載する。また、両者を同時に実装した場合の結果を LRM/RPEM と表記する。なお、図 9 に示すように、要求者と本部あるいはコンテンツルータの間*2には移動する中継ノードが存在するが、中継ノードが保持できるパケット (Interest, コンテンツ) の上限個数を以降の評価ではバッファサイズと記述する。

また、以降の評価ではコンテンツの内容は時間の経過によって変化しないこととした。ここで、実際の被災時には同じ被災箇所であっても、時間の経過とともに状況が変化する場合が想定できるが、本論文では、そのような場合は別の名前を持つ別コンテンツとして取り扱うこととした。

5.1 シミュレーション結果

5.1.1 コンテンツ到達率

図 10 に DTN, DTN/CCN, LRM, RPEM, LRM/RPEM においてバッファサイズを変化させた場合のコンテンツ到達率を示す。図 10 より、DTN や DTN/CCN では、コンテンツ到達率が非常に低くなるのが分かる。これは、DTN や DTN/CCN ではトラフィックの増加により、バッファオーバーフローが頻繁に発生するためである。

加えて、LRM のコンテンツ到達率も、DTN, DTN/CCN とほぼ同様の値を示すことが分かる。これは、オリジナル

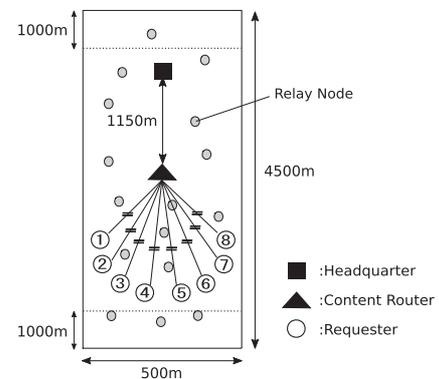


図 9 シミュレーショントポロジ
Fig. 9 Simulation topology.

表 1 シミュレーション諸元
Table 1 Simulation parameters.

Parameter	Value
Simulation Period	40,000 [sec]
Simulation Range	500 × 4,500 [m]
Relay Node Speed	0.9~1.0 [m/s]
Transmission Range	100 [m]
Transmission Speed	2 [Mbps]
Message Size	250K [Byte]
Density of Relay Nodes	92 [nodes/Km ²]
Routing Protocol	Epidemic Routing

*2 DTN の場合にはコンテンツルータを配置せずに評価を行った。

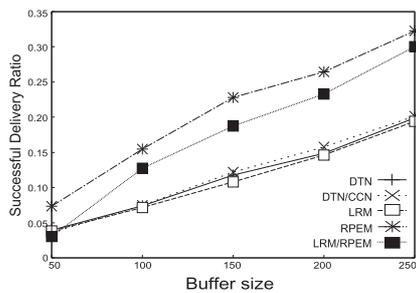


図 10 コンテンツ到達率

Fig. 10 Successful delivery ratio of content.

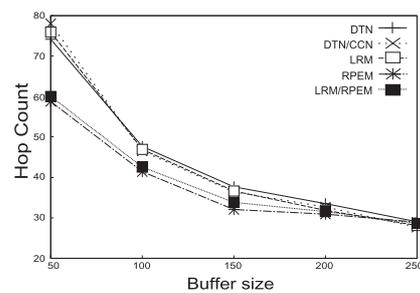


図 12 Hop 数

Fig. 12 Number of hop count.

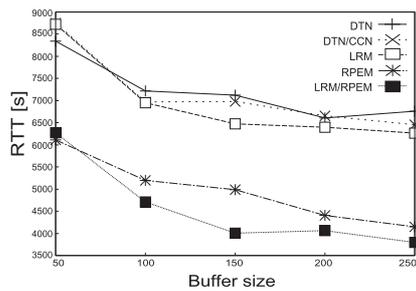


図 11 RTT

Fig. 11 RTT.

サーバからの返送を抑制しても、トラフィックの増加抑制が十分ではなかったためであると考えられる。

また、RPEMでは、他の手法に比べ、到達率が向上することが分かる。これは、RPEMでは、中継ノードに保持されるパケットのうち、不要な Interest の破棄によりバッファに空きが生まれ、この空きによって、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ためであると考えられる。

さらに、LRM/RPEMでは、従来のDTN, DTN/CCNよりも高い到達率を示すが、RPEMのみの場合よりは低い到達率を示すことが分かる。これは、同手法ではトラフィック抑制の効果で転送可能なパケットが増加したが、一方で、オリジナルサーバからの返送抑制により、本来は要求者に到達するはずのコンテンツまで返送が抑制されたためであると考えられる。

5.1.2 RTT

図 11 はDTN, DTN/CCN, LRM, RPEM, LRM/RPEMにおいてバッファサイズを変化させた場合の平均RTTを示す。図 11 より、DTN/CCNでは、コンテンツルータを実装したにもかかわらず、従来のDTNに比べてRTTが向上しないことが分かる。これは、DTN/CCNでは災害対策本部とコンテンツルータの2カ所からコンテンツの返送を行うため、複数の要求者による頻繁なコンテンツ要求によりネットワークが輻輳してしまったためであると考えられる。

また、LRMでは、RTTはあまり減少しないことが分かる。これは、オリジナルサーバの返送抑制のみではトラ

フィックの大幅な削減にはつながらなかったためであると考えられる。

一方、RPEMでは、他の手法に比べ、RTTが大幅に減少することが分かる。これは、不要な Interest を破棄することでトラフィックが大幅に削減され、輻輳が緩和されたためであると考えられる。さらに、LRM/RPEMでは、主に不要パケット破棄によるトラフィック削減の効果で、RPEMと同様にRTTが向上していることが分かる。

5.1.3 Hop 数

図 12 はDTN, DTN/CCN, LRM, RPEM, LRM/RPEMにおいてバッファサイズを変化させた場合の平均Hop数を示す。図 12 より、RPEMのHop数はバッファサイズが250の場合にはそれほど差がないが、それ以外のバッファサイズが小さな場合はHop数が低減することが分かる。これは、バッファサイズが小さい場合、DTNやDTN/CCNでは、バッファオーバーフローが頻繁に発生し、Hop数は増大する。一方、RPEMでは、バッファ内の不要な Interest を破棄するため、バッファオーバーフローは少なく、Hop数を低減できたと考えられる。そのため、バッファサイズが小さい場合に、DTNやDTN/CCNとRPEMのHop数により大きな差が表れたと考えられる。

また、LRMのHop数は、DTNやDTN/CCNと近い値を示している。これは、先にも述べたように、オリジナルサーバの返送抑制のみではトラフィックの十分な削減効果が得られなかったためであると考えられる。さらに、LRM/RPEMでは、不要パケット破棄によるトラフィック削減の効果で、RPEMと同様にHop数を低減できていることが分かる。

5.1.4 災害対策本部からのコンテンツ返送数

図 13 は、要求者に到達したすべてのコンテンツのうち、返送元が災害対策本部であるものの数を示す。図 13 より、LRMでは他の手法と比べ、災害対策本部からのコンテンツ到達数が少ないことが分かる。これより、LRMはオリジナルサーバからの返送コンテンツを抑制し、サーバの負荷を軽減できたと推測できる。

一方、RPEMでは、ネットワーク内トラフィックが大幅に削減されるため、全体のコンテンツ到達数が多くなり、

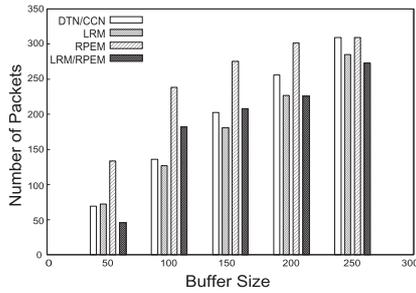


図 13 災害対策本部からのコンテンツ返送数

Fig. 13 Number of returned contents from Headquarter.

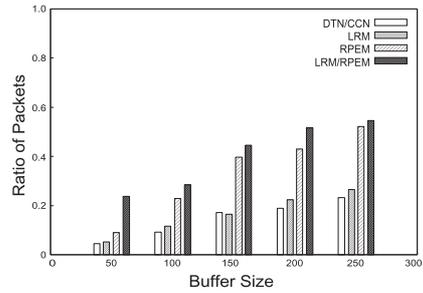


図 15 コンテンツルータからのコンテンツ返送割合

Fig. 15 Occupancy of contents returned from content router.

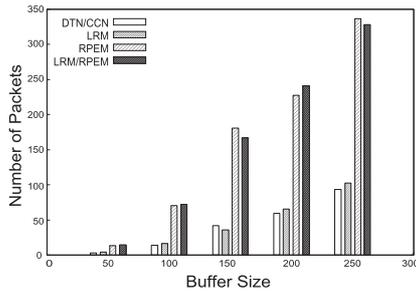


図 14 コンテンツルータからのコンテンツ返送数

Fig. 14 Number of returned contents from content router.

災害対策本部から返送されたコンテンツ数も多くなったと考えられる。

さらに、LRM/RPEM では、RPEM のみの場合と比較すると、災害対策本部からの返送コンテンツ数が大幅に減少していることが分かる。これより、LRM/RPEM でも、LRM の場合と同様に、災害対策本部からのコンテンツ返送が抑制でき、サーバの負荷を軽減できると考えられる。

5.1.5 コンテンツルータからのコンテンツ返送数

図 14 は、要求者に到達したすべてのコンテンツのうち、返送元がコンテンツルータであるものの数を示す。図 14 より、RPEM と LRM/RPEM では、他手法に比べてコンテンツルータからのコンテンツ返送数が急激に増加することが分かる。この理由には次の 2 つが考えられる。1 つは、ネットワーク内トラフィックが大幅に削減され、要求者に到達するコンテンツの全体数が急激に増加したことである。もう 1 つは、不要な Interest を破棄することにより、中継ノードが多くのパケットを運搬できるようになると、コンテンツルータに蓄積されるキャッシュ数が増加するためである。

さて、図 15 は、要求者に到達したコンテンツのうち、コンテンツルータから返送されたコンテンツの割合を示している。この図より、LRM では、サーバからの返送を抑制したことで、一部を除いてコンテンツルータからのコンテンツ返送割合が増加することが分かる。このことから、LRM ではコンテンツ返送を主にコンテンツルータに担当させることができているといえる。

以上のことから、LRM だけでは十分なネットワーク内ト

ラフィックの削減はできないが、オリジナルサーバからの返送コンテンツ数を抑制することで、サーバ負荷の軽減に効果が得られることが分かる。一方、RPEM はネットワーク内トラフィックを大幅に削減でき、RTT やコンテンツ到達率の向上に有効であるといえる。さらに、LRM/RPEM では、コンテンツ到達率を既存手法より下げることなく、オリジナルサーバの負荷を軽減でき、さらにネットワーク内トラフィックを抑制することで RTT も大幅に削減できることが分かる。

6. おわりに

本論文では、断続的なネットワーク環境下に耐性のある DTN に、迅速な情報配信を可能とする CCN を導入することで、災害時の避難者への情報配信を目的とした被災情報配信システムについて検討した。具体的には、同システムにおけるネットワーク内トラフィックの過剰増加を解決するための手法として、オリジナルサーバからの返送抑制手法と不要パケット破棄手法を提案した。

提案システムの有効性を確認するために計算機シミュレータを用いて性能評価を行った結果、LRM では、コンテンツ到達率を低下させることなく、サーバ負荷の軽減が可能であることを明らかにした。また、RPEM では、コンテンツ到達率や RTT が大幅に向上することを明らかにした。これらから、LRM のみではネットワーク内トラフィックの大幅な削減はできないが、サーバ負荷の軽減に貢献すること、ならびに、RPEM ではネットワーク内トラフィックの大幅な削減も実現できることを述べた。

さて、LRM では最初の返信から時刻 T 経過したコンテンツは本部から返信されない。そのため、 T までにコンテンツルータにキャッシュされないコンテンツは以降取得できない可能性がある。また、 T を過度に短く設定するとコンテンツ取得率は悪化する。そこで、本部とコンテンツルータの距離や中継ノード数に応じた適切な T の設定が必要である。また、 T を適切に設定しても、一時的な輻輳等の影響でコンテンツルータにキャッシュされないコンテンツが生じる可能性もある。そこで、LRM はキャッシュできなかったコンテンツの検出とそのコンテンツに対する返

送抑制を解除する必要がある。

今後はシステムの実現に向けて上記の T の適切な設定手法や返送抑制の解除手法を取り入れつつ、不要パケットのさらなる削減を可能とする手法について検討を続けるつもりである。

謝辞 本研究は JSPS 科研費 JP17K00132 の助成を受けたものです。

参考文献

- [1] 総務省：東日本大震災における情報通信の状況（オンライン），入手先 (<http://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/whitepaper/ja/h23/pdf/n0010000.pdf>)（参照 2018-12-19）.
- [2] ITmedia Mobile：3 キャリア，西日本各地で通信障害 大雨の影響（オンライン），入手先 (<http://www.itmedia.co.jp/mobile/articles/1807/09/news060.html>)（参照 2018-12-19）.
- [3] 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）.
- [4] 山村新也，永田 晃：DTN：遅延と仲良くするネットワーク，電子情報通信学会通信ソサイエティマガジン，Vol.16，pp.52–56（2011）.
- [5] 陶山優一，横田裕介，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，USN，Vol.108，No.399，pp.117–121（2009）.
- [6] 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，情報処理学会研究報告，モバイルコンピューティングとユビキタス通信（MBL），Vol.2014-MBL-70，No.28，pp.1–6（2014）.
- [7] 金田知展，中村嘉隆，高橋 修：DTN を用いた災害時通信システム構築法の提案，マルチメディア，分散，協調とモバイルシンポジウム 2013 論文集，pp.964–969（2013）.
- [8] 多氣真之輔，小坂隆浩：安全な携帯電話網で CCN を用いた緊急通信の実現性に関する一考察，情報処理学会関西支部大会講演論文集，pp.1–4（2014）.
- [9] 高田千暁，本橋史帆，大和田泰伯，高井峰生，小口正人：災害時における画像を扱った安否確認システムの評価，マルチメディア，分散，協調とモバイルシンポジウム 2016 論文集，pp.652–656（2016）.
- [10] 佐藤沙央，小口正人，高井峰生，大和田泰伯：災害時における被災者への物資提供支援アプリケーションの一検討，第 80 回情報処理学会講演論文集，Vol.2018，No.1，pp.385–386（2018）.
- [11] Yamashita, R. and Takami, K.: Safety Information Gathering via Information Carriers through a DTN in a Disaster-stricken Area, *International Conference on ICT Convergence (ICTC)*, pp.429–434（2013）.
- [12] 北田真也，佐藤剛至，橋本浩二，柴田義孝：災害時における DTN をベースとしたマルチホップネットワークの実現，第 79 回情報処理学会講演論文集，Vol.2017，No.1，pp.417–418（2017）.
- [13] 河本美穂，重安哲也：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，情報処理学会論文誌，Vol.57，No.2，pp.643–656（2016）.
- [14] 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）.
- [15] Intanagonwivat, C., Govindan, R. and Estin, D.: Directed diffusion: A scalable and robust communication paradigm for sensor networks, *Proc. MibiCom 2000*, pp.56–67（2000）.
- [16] Vahdat, A. and Becker, D.: Epidemic routing for partially-connected ad hoc networks, Duke University, Technical Report, CS-2000-06（2000）.
- [17] 速水祐作，柳生智彦，山本 幹：DTN 環境でのコンテンツ指向ネットワークにおけるコンテンツ要求再送抑制方式の提案，信学技報，Vol.114，No.297，NS2014-145，pp.99–104（2014）.
- [18] Takabatake, S. and Shigeyasu, T.: A New Contents Delivery Network Mixing on Static/Dynamic Heterogeneous DTN Environment, *Proc. IMIS 2018*, pp.147–158（2018）.
- [19] The ONE: The Opportunistic Network Environment simulator (online), available from (<https://akeranen.github.io/the-one/>)（accessed 2018-12-03）.



高島 翔生子

2018 年県立広島大学経営情報学部経営情報学科卒業，2019 年同大大学院情報マネジメント専攻修士課程修了。在学中は，被災情報配信システムに関する研究に従事。



重安 哲也（正会員）

大阪大学大学院工学研究科博士後期課程修了。博士（工学）。現在，県立広島大学経営情報学部教授。同大大学院情報マネジメント専攻長。主に，無線通信プロトコルに関する研究に従事。情報処理学会論文誌元主査。IEEE，電子情報通信学会各会員。本会シニア会員。