

DTNを基盤とするコンテンツ配信手法の実現を目的とした 静動混在ネットワークの提案

高島 翔生子¹ 重安 哲也^{1,a)}

概要: 災害発生時には、迅速な情報収集と配信が被害拡大の抑制には不可欠である。しかしながら、災害発生時は通信基盤の喪失により通常時と同様の情報配信を行うことは難しい。そこで、本稿では、災害時であってもDTNを基盤とした情報通信ネットワークを構築し、同ネットワーク上にコンテンツ指向型のデータ配信システムを構築することを提案する。

キーワード: DTN, CCN, 被災情報収集システム, 静動混在ネットワーク

A new contents delivery network mixing of static/dynamic terminal based on DTN environment

SHOKO TAKABATAKE¹ TETSUYA SHIGEYASU^{1,a)}

Abstract: For reducing the damage of disaster, it is needed to correct/deliver disaster information rapidly. However, under the disaster occasion, it is not easy to engage the usual communication due to the lack of perfect operation of communication infrastructure. Hence, in this paper, we propose to construct new contents centric data delivery system over the network consisting of DTN nodes. The performance evaluations confirm that our proposal effectively reducing the cache acquisition delay.

Keywords: DTN, CCN, Disaster information system, Network mixing of static/dynamic terminal

1. はじめに

現代社会において、様々な情報通信メディアが広く普及する中、特にスマートフォンを含む携帯端末全体の個人に対する保有率は83.6%（2016年）と、大きな割合を占めている[1]。これらの携帯端末は我々の普段の生活スタイルを大きく変化させてきたことはもちろんのこと、非常時における利活用も検討されており、実際に自然災害発生時の活用事例も多く報告されている。

例えば、2011年3月の東日本大震災発生時にはFacebookなどのSNSを介して海外で支援の輪が広がり、また、Googleが安否情報を確認するためのサービスを開設する

などの動きがあった[2]。震災当初には救助を求めるツイッターの投稿により、避難所に取り残されていた数百人の命が救われた事例も報告されている[3]。

このように携帯端末を避難や救助活動に有効活用できた事例もあったが、一方で、震災による通信インフラ施設の破損、さらに通信事業者の行った大規模な通信規制により、被災者が携帯端末を利用し情報を得ることが不可能となった事例も多くあった[4]。甚大な被害を受けた地域では通信の途絶や庁舎の被災により、被害状況の把握や報告・発信が行えない状況となり、被災地に取り残された被災者は救助の要請すら困難となった[5]。

そこで近年、上記のような通信被害を緩和させるため、DTN (Delay Tolerant Networking) 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[6][7][8]。DTNでは、データを中継するノードは他ノードに遭遇す

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

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

るまでデータを蓄積したまま移動し、他ノードの通信範囲内に入るとデータの複製を受け渡す。この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ため、回線断が多く発生する状況下における情報伝達手法として注目を集めている [9][10]。

しかし、本来 DTN では遅延がある程度許可される情報を伝達する状況を想定しているため、迅速な情報収集が求められる災害時では、回線断を含む通信経路の確立には有効であるものの、実用化のためには通信遅延の大きさが未だ解決しなければならない大きな障壁となっている。

そこで、本稿では回線断が多く発生する災害時にも通信を可能とし、なおかつそれに伴う遅延を極力抑えるために、DTN ネットワーク内にコンテンツ配信基盤技術である CCN (Content-Centric Network) [13] の考え方を導入した新たなネットワークシステムについて検討する。CCN では、一度返送されたデータを中継ノードにキャッシュし、これを以降の同様のデータ要求への返送データとして活用するインターネットキャッシュ技術の導入により、迅速なデータ返送の実現が可能となる。

本稿では CCN の DTN への導入により、通信遅延時間を DTN のみから構成される従来のシステムと比べて大幅に短縮することを検討する。具体的には、被災時に避難者の携帯端末で形成される DTN ネットワーク内に、大容量バッファの保持が可能である通信インフラ施設等をコンテンツルータとして機能させる。提案システムの有効性を評価した計算機シミュレーションにより、DTN に CCN の概念を導入することにより、1) コンテンツ要求から取得までの時間を大幅に削減可能であることを示すと同時に、2) オリジナルサーバならびにコンテンツルータの複数ノードからのコンテンツ返信によって、ネットワークトラフィックを不本意に増加させてしまう危険性があることの2点を明らかにし、今後の本システムが解決すべき課題について述べる。

2. 地震による通信被害と情報収集システム

2.1 地震による通信被害

2011年3月11日14時46分、三陸沖を中心とした大規模な地震が発生し、国民にとって重要なライフラインである情報通信インフラに甚大な被害が生じた。通信ビル内の設備の倒壊・水没・流失、地下ケーブルや管路等の断裂・損壊、電柱の倒壊、携帯電話基地局の倒壊・流失といった事態が発生し、固定通信網では約190,000回線が被災、携帯電話及びPHS基地局では約29,000局が停波したことを総務省が報告している [4]。

さらに、通信の集中による輻輳を避けるため、通信事業者が大規模な通信規制を行い、被災者は災害情報を入手することが困難となった。その結果、甚大な被害を受けた地域では発災当初、被災者は救助の要請すらできず、また、

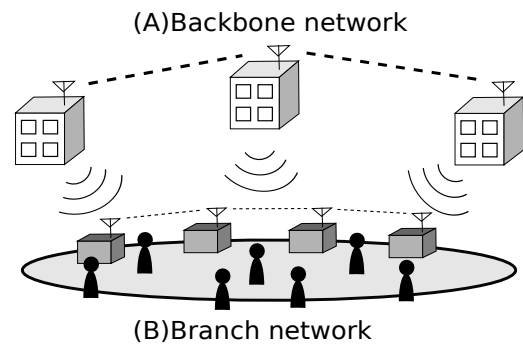


図1 避難所間無線ネットワーク

救助側も情報が無い中の活動となるため、消防機関や警察、自衛隊などの各実働機関間の連携が一部困難となる致命的な事態が発生した [5]。

2.2 災害時情報収集システム

災害時でも通信手段を確保するための取り組みとして、災害用伝言サービス・特設公衆電話の設置・避難所への無料インターネット接続サービスの整備等が行われている [4]。また、新潟大学災害復興科学センターで研究・開発が進められてきた山古志ねっとやスカイメッシュでは、中継局を配置するだけで自律分散的に無線ネットワークを形成するため、有線通信網の整備が困難な山間地域にも対応できる通信システムとして知られている [11]。

しかし、これらは全て既存の通信インフラに依存しているため、多くの通信インフラ施設が破損する可能性のある大規模災害時には、これらの通信手段を利用できない場合がある。

2.3 避難所間無線ネットワーク

我々はこれまでに、既存の通信インフラ施設に頼らない情報収集システムについて検討し、避難所間無線ネットワークを開発した [12]。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で独自の無線ネットワークを構築する。

幹線ネットワークは耐震強度の高い建物群で構成され、被災地区全域をカバーする。支線ネットワークは幹線ネットワークを構成する幹線基地局周辺の、中・小規模の避難所から構成される。支線ネットワークを構成する支線基地局では、各避難所における被災情報を収集し、その情報を最も近い幹線基地局と共有する。また、隣接した幹線基地局同士でも情報のやり取りをすることで、各避難所の被災者は地域全体の被災状況が把握できる。しかし、このネットワークシステムのみでは避難所への非難が無事完了した被災者の情報しか共有することができず、被災地で未だ救助を待っている被災者の情報を収集し、救護活動を行うことは不可能である。

2.4 Delay Tolerant Networking (DTN)

災害時のように End-to-End の通信経路が非連続であるネットワーク環境下において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 [9][10]。DTN では、送信元ノードから宛先ノードまでのデータの中継転送において、中継ノードが次ノードへの経路を確保できない場合は、データを一旦自身のバッファに保持して転送の機会を待つ蓄積型転送を採用する。この転送方式により、DTN ではネットワークポロジが動的に変化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 Epidemic Routing という転送方式では、データを保持する端末が移動する途中、遭遇する全ての端末に複製データを転送するので、宛先端末へのメッセージ到達率が高くなるという利点がある。

2.5 DTN を用いた既存研究

DTN を用いた研究はこれまでにいくつか行われている。まず、GPS の使えない屋内環境において、被災者の所持する端末同士でアドホックネットワークを形成し、屋外にいる救助隊にメッセージを伝達するという手法が提案されている [6]。これは、端末に搭載されたセンサを用いてユーザ（避難者）の進行方向や端末間の距離からメッセージを伝搬させるかどうかの判断を行い、中継先を限定する手法である。しかし、同手法では屋内環境という狭い範囲を対象としているため、屋外の広い範囲を避難する被災者については考慮されておらず、実際に想定される環境下では運用が難しい面もある。

さらに、移動中継ノードという計画的な移動を行うノードを導入し、メッセージ到達時間の短縮を図るといった手法が提案されている [7]。計画的な移動を行うノードには、例えば物資を運搬するために避難所と被災地を往復する車両や、公共交通機関等があげられるが、災害時にそれらが正しく機能している保証はない。また、同論文では移動中継ノードを導入することによって宛先ノードまでのメッセージ到達時間は改善されるが、宛先まで到達しない複製メッセージは逆に増加してしまうことも報告している。この複製メッセージによりバッファが圧迫されると、多くの情報収集が求められる災害時において、重要性の高い他のメッセージの転送を妨げてしまう危険性がある。

このように DTN を用いた災害時情報収集システムはいくつか提案されているが、実環境への適用が困難であったり、メッセージの到達性は向上するものの、先に述べたように複製過多となったメッセージが被災者の貴重なネットワーク帯域を圧迫してしまうといった課題がある。

2.6 メッセージランク付け手法

また、我々もこれまでに DTN を用いた災害情報収集手法として、メッセージ中継エリアにランクをつけて冗長な

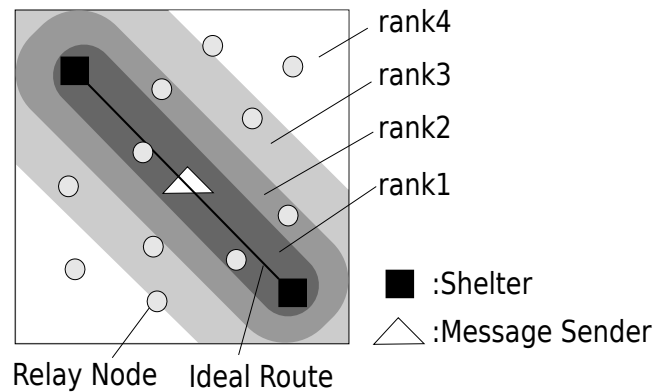


図2 メッセージランク付け手法

転送を抑制するメッセージランク付け手法を提案した [8]。図2に概要図を示す。

同手法では、避難所への避難が完了していない被災者を対象とし、DTN を用いてそれらのユーザが情報を効率よく収集することを目的とした。具体的には、到達成功メッセージがメッセージ生成地点と宛先を結ぶ経路（理想経路）の周辺で多く送信されていることに着目し、その理想経路を元にエリアにランク付けをすることで、宛先に到達する可能性の高いメッセージが優先的に転送されるようにした。その結果、冗長なメッセージの転送回数が削減され、メッセージの平均到達率が向上することを示している。

しかし、この研究では被災者からの情報を収集することに主眼を置いているため、避難所や災害対策本部から被災者へ情報を配信する場合については検討されていない。そこで、本論文では新たに被災者への災害情報配信手法として、DTN にコンテンツ配信基盤技術である CCN の考え方を導入した新たなネットワークシステムについて検討し、通信遅延時間の大幅な短縮を図る。以下にその概要を述べる。

3. 提案方式

3.1 Content-Centric Network (CCN)

現代の IP ネットワークは「どこのサーバからコンテンツを取得するか」に重きを置くロケーションオリエンテッドな通信モデルであるが、コンテンツ取得を短時間でを行うために、「コンテンツそのものが得られればどこのサーバからでも良い」という、コンテンツ指向ネットワーク技術が注目されている [13]。

代表的なコンテンツ指向ネットワークのアーキテクチャとして、CCN があげられる。CCN ではコンテンツ名の指定によりコンテンツ取得を開始する。この際、コンテンツ要求が通過する中継ノードに所望コンテンツの複製がキャッシュされていれば、オリジナルサーバ以外のノードからもコンテンツの返送が可能となるため、短時間でコンテンツ取得が可能となる。

CCN の具体的な動作を図3を用いて説明する。まず、

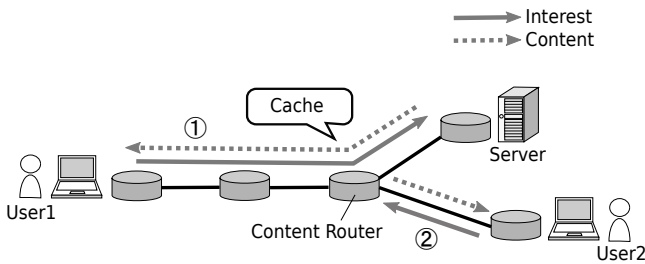


図 3 CCN の動作

ユーザ 1 がコンテンツ要求となる Interest を送信する (図 3①). Interest を受け取ったサーバは対応するコンテンツを返送する. その際, 途中のコンテンツルータにキャッシュが残されていなければキャッシュを残し, 引き続き転送する. 次に, ユーザ 2 においてユーザ 1 と同じコンテンツの要求が発生した場合, 途中のコンテンツルータにキャッシュが残されていれば, ユーザ 2 の Interest はサーバまで転送される前に, このコンテンツルータからコンテンツの返信を受け取ることができる (図 3②).

3.2 提案方式の概要

図 4 に提案方式の概要図を示す. 災害発生時, 避難所への避難が未だ完了していない被災者は, 被災地に留まったまま動けず, 被災地域の情報を要求している状況を想定する. 被災地域を避難する被災者や物資を運搬する救助車両など, 移動可能なノードを中継ノードとし, それらは被災者から発生したコンテンツ要求を本部に送り届けたり, 要求に対して配信される本部からのコンテンツを送信元の被災者に送り届ける役割を担うものとする.

DTN のみで情報の取得と配信を行う方式 (図 4 (a)) では, 被災者にコンテンツの要求が発生すると, 該当コンテンツを有する本部まで中継ノードを介してコンテンツ要求が転送される. これに対して, 本部はその要求に対応するコンテンツを被災者へ返送する. これらの要求メッセージやコンテンツを中継する際, 移動ノードは遭遇するノード全てに複製データを送信するため, 1 つのコンテンツの要求に対していくつもの複製コンテンツが生成・拡散され, 非効率的となる.

そこで本稿における提案方式では, 本部と被災者の間に存在する既存の通信インフラ施設, もしくは一定範囲内に留まり続ける滞留ノードにコンテンツルータを配置する (図 4 (b)). 本部から返送されるコンテンツがコンテンツルータを通過すると, 同コンテンツの複製がコンテンツルータにキャッシュされる. これにより, 本部だけでなくコンテンツルータからもコンテンツを取得することが可能となるため, 複製コンテンツの広がりが従来手法よりもある程度抑制され, 被災者のデータ取得時間の大幅な軽減も期待できる.

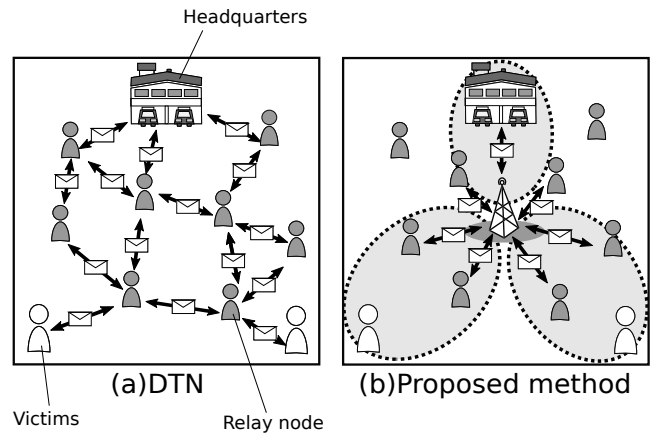


図 4 提案方式の概要

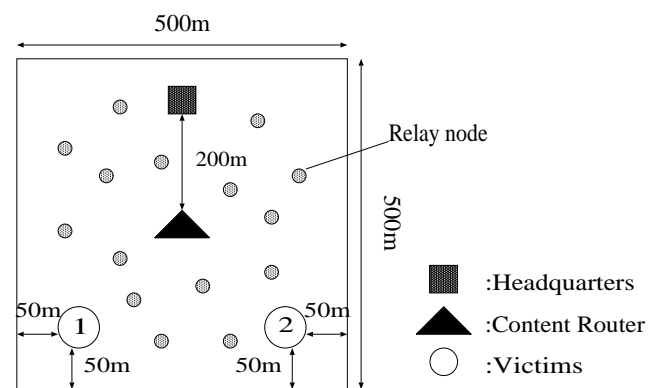


図 5 シミュレーショントポロジ

4. シミュレーション評価

本章では, 前章で提案したシステム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) [14] 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.

コンテンツルータは本部との距離が 200m となるように設置した. コンテンツの識別子となるコンテンツ ID は 0~99 までとし, 二人の被災者がそれぞれ 0~99 までのコンテンツ要求を順番に本部へ送信していくものとする. コンテンツルータにコンテンツがキャッシュされている場合に他方の同コンテンツに対する要求が到達した際は, コンテンツルータからもコンテンツを取得することができる. 本部から返送されたコンテンツとコンテンツルータから返送されたコンテンツの両方が被災者ノードに到達した場合, 受信時刻が早い方を取得するものとする. 評価指標にはコンテンツ要求間隔 (被災者 1 と被災者 2 のメッセージ送信時間間隔) を 30, 50, 100, 200, 300[s] とそれぞれ変化させた時の RTT (Round Trip Time) と Hop 数を用いた.

表 1 シミュレーション諸元

Parameter	Value
Simulation Period	20000[sec]
Simulation Range	500 × 500[m]
Relay Node Speed	9.5~10.5[m/s]
Transmission Range	50[m]
Transmission Speed	2[Mbps]
Message Size	500K~1M[Byte]
Number of Relay Nodes	100
Content ID	0~99
Routing Protocol	Epidemic Routing

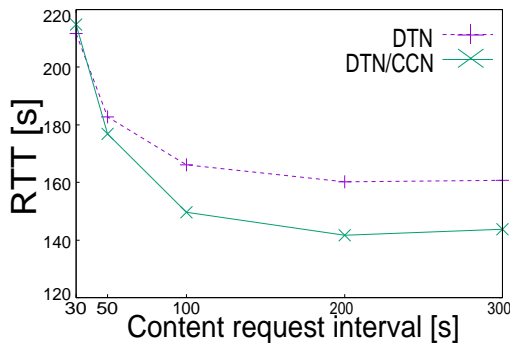


図 6 コンテンツ要求間隔を変化させた場合の RTT

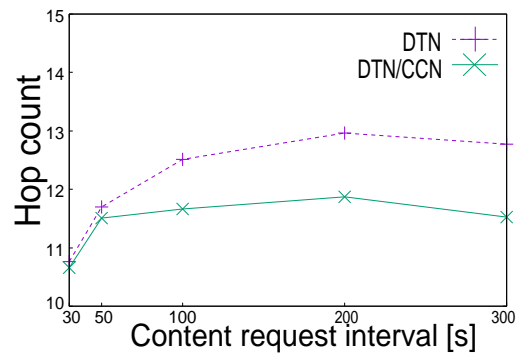


図 7 コンテンツ要求間隔を変化させた場合の Hop 数

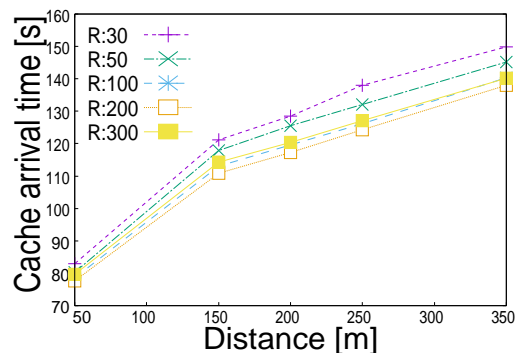


図 8 CR の位置とキャッシュ到達率

4.1 シミュレーション結果

4.1.1 RTT と Hop 数

図 6, 図 7 はそれぞれコンテンツ要求間隔を変化させた場合の RTT と Hop 数を示している。DTN を従来手法, DTN/CCN と表記しているものを提案手法とする。結果から, 図 6 のコンテンツ要求間隔が 30 秒である場合の RTT を除き, 提案手法の方が性能が向上していることが分かる。図 6 の一部で RTT が向上していない原因については, 別途後述する。また, これらの結果から, RTT, Hop 数ともにコンテンツ要求間隔が約 100 秒以下の領域では提案手法による性能向上幅は増加するが, それ以上の領域では向上幅はほぼ一定となることが分かる。

これは, コンテンツ要求間隔が短い場合は, 被災者 1 が要求したコンテンツがまだキャッシュされていない状態で, 被災者 2 の同コンテンツの要求が先にコンテンツルータに到達してしまい, キャッシュが利用できないことが多かったためである。それ以降向上幅が一定となった理由は, コンテンツ要求間隔がある一定値を超えると, コンテンツがコンテンツルータにすでにキャッシュされている状態となるために, それ以上コンテンツ要求間隔が長くなってもキャッシュ利用数がほとんど変わらなかったと考えられる。

4.1.2 CR の位置とキャッシュ到達率

図 8 はコンテンツルータと本部の距離を 50, 150, 200, 250, 350[m] と変化させた場合のそれぞれのコンテンツ要求間隔についてのキャッシュ到達時間を示したグラフである。グラフ中の R はコンテンツ要求間隔を表す。キャッ

シュ到達時間とは, 被災者 1 がコンテンツ要求を送信してから, それに対応するコンテンツがコンテンツルータにキャッシュされるまでの時間とする。

先ほどのシミュレーションでは, 本部とコンテンツルータの距離を 200m に設定していたが, このグラフに示す結果から, そのような場合は約 120 秒でキャッシュがコンテンツルータに到達していることが分かる。これを踏まえて図 6, 図 7 のグラフを再度確認すると, 約 120 秒を境に, 提案手法の向上幅が一定になっていることが確認できる。つまり, 前節で考察したように, コンテンツルータにキャッシュがほとんど到達していない 120 秒以前はキャッシュ利用数が少ないため, 提案手法による向上幅が小さく, 120 秒以降は多くのキャッシュがコンテンツルータに到達し, キャッシュが利用できる状態が続いたため, 提案手法による向上幅が限度まで広がった状態が続いたと考えられる。以上より, コンテンツ要求間隔を R, キャッシュ到達時間を T とすると, $T < R$ となる場合にキャッシュ利用数が増加することが分かる。

また, 同グラフより, 当然ではあるがコンテンツルータと本部の距離が離れるほどキャッシュが到達するまでの時間が長くなることが分かる。つまり, コンテンツルータをどこに配置するかという問題は, キャッシュが蓄積するまでの時間に大きな影響を及ぼすということが分かる。

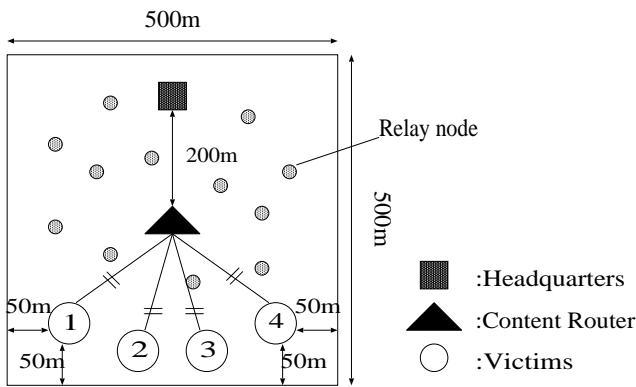


図 9 被災者が多数存在する場合のシミュレーショントポロジ

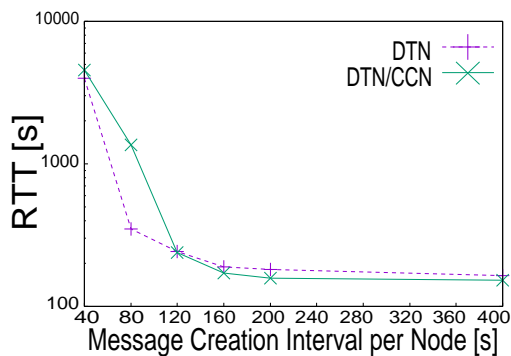


図 10 被災者が多数存在する場合の RTT

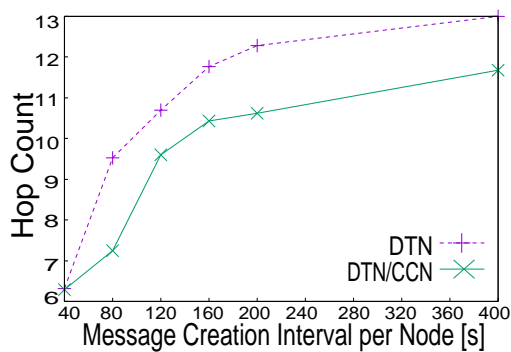


図 11 被災者が多数存在する場合の Hop 数

4.2 被災者が多数存在する場合の性能評価

本節では被災者数を増加させた場合の評価を行う。評価に用いたシミュレーショントポロジを図 9 に示す。

本評価では、被災者数を 4.1 節の評価時の 2 倍に増やした。また、それぞれの被災者はコンテンツルータまでの距離が等しくなるよう配置した。システム内で被災者は、被災者 1 から順番に、ランダムにコンテンツを要求する。シミュレーション諸元は表 1 と同様とし、各被災者のコンテンツ要求間隔を 40 秒ごとに变化させた。結果を図 10, 図 11 にそれぞれ示す。

図 11 より、Hop 数では被災者が 2 人の場合と同様に、すべてのコンテンツ要求間隔において提案手法の性能が DTN のみの場合と比べて向上していることが分かる。しかし図 10 からは、提案手法の RTT がコンテンツ要求間隔

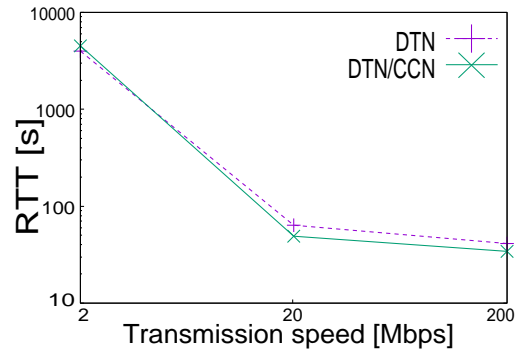


図 12 転送速度を变化させた場合の RTT

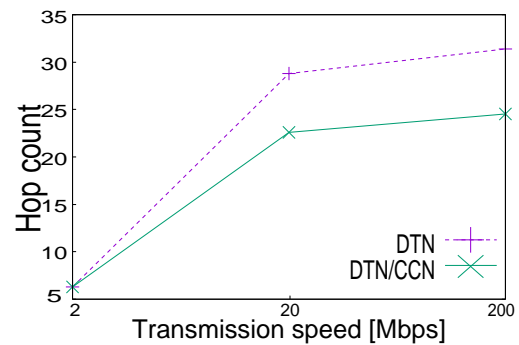


図 13 転送速度を变化させた場合の Hop 数

120 秒以下で大幅に増加していることが確認できる。この原因を明らかにするため、メッセージの転送速度を变化させた場合の評価を行った。

メッセージ転送速度以外の値は表 1 に示す値を用いた。また、被災者一人当たりのコンテンツ要求間隔は 40[s] に固定した上で、メッセージ転送速度を 2, 20, 200[Mbps] と变化させた時のそれぞれにおける RTT, Hop 数を調べた。結果を図 12, 図 13 にそれぞれ示す。

これらの図から、メッセージ転送速度が増加するにつれ、RTT, Hop 数両方とも提案システムによる向上幅も増加していることが分かる。RTT 増加の原因には主に (a) 中継ノードの移動時間によるものと、(b) 転送時間によるものが考えられるが、コンテンツルータの配置は (a) の中継ノードの移動時間には影響を与えない。また、図 12, 図 13 のように転送速度を上げることで、仮想的に転送に要する時間 (b) が無視できる状態では、提案システムの RTT は DTN のみの場合のそれと比べて向上することから、提案方式で一部 RTT が増加した原因は、コンテンツルータを配置することによってコンテンツの返送がオリジナルサーバとコンテンツルータの 2 箇所が増加したために、ネットワークのトラフィック増加を招き、輻輳が発生したためであると考えられる。

5. おわりに

本稿では、災害時などに発生し得る断続的なネットワークでも通信を可能とする DTN に CCN の考え方を導入し、

被災者におけるコンテンツ取得時間の大幅な軽減を図ることを検討した。提案手法を評価した結果より、Hop 数はコンテンツ要求間隔に関係なく低減させることができるが、コンテンツ要求間隔が短い場合、RTT は増加してしまうことがわかった。これは、オリジナルサーバ、ならびにコンテンツルータの双方からコンテンツが返送される等によるトラフィック増加が原因であると考えられる。そこで、今後はコンテンツルータあるいはオリジナルサーバのいずれか一方のみからコンテンツを返送させることのできる制限をシステム内に実装することで、上記のトラフィック増加に対処することを検討するつもりである。

参考文献

- [1] 総務省: ICT サービスの利用動向 (online), 入手先 (<http://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/whitepaper/ja/h29/html/nc262110.html>) (2017.12.04).
- [2] BIGLOBE: しむ暮らし (online), 入手先 (http://join.biglobe.ne.jp/mobile/sim/gurashi/disaster_control_170323/) (2017.12.13).
- [3] 東洋経済 ONLINE: 震災で人命を救うスマホと SNS の巨大潜在力 (online), 入手先 (<http://toyokeizai.net/articles/-/114752?page=3>) (2017.12.14).
- [4] 総務省: 東日本大震災における情報通信の状況 (online), 入手先 (<http://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/whitepaper/ja/h23/pdf/n0010000.pdf>) (2017.11.13).
- [5] 内閣府 (防災担当): 東日本大震災における災害応急対策の主な課題 (online), 入手先 (<http://www.bousai.go.jp/jishin/syuto/taisaku-wg/5/pdf/3.pdf>) (2017.12.04).
- [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, 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) 2014-MBL-70(28), 1-6, 2014-03-07 一般社団法人情報処理学会, (2014).
- [7] 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 支部大会 講演論文集, (2014).
- [8] 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 57(2), pp. 643-656, (2016).
- [9] 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).
- [10] 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).
- [11] NHK 放送文化研究所: 山古志ねっと共同実験プロジェクトが始動 (online), 入手先 (<http://www.janu.jp/news/topics/topics-63.html>) (2017.11.13).
- [12] 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 52(1), pp. 308-318, (2011).
- [13] 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).
- [14] The ONE: The Opportunistic Network Environment simulator (online), 入手先 (<https://akeranen.github.io/the-one/>) (2017.12.13).