

DTNを用いた被災情報配信システムにおける 配信情報鮮度を考慮した優先データ中継手法に関する研究

歌原 省吾¹ 重安 哲也¹

概要：大規模災害の発生時にも遠隔への通信を可能とする手法として、DTN (Delay Tolerant Networking) が注目されている。本稿では時間経過に伴う配送情報の重要度変化に基づいたバッファ管理手法について提案する。具体的には、配送情報の生成時刻と現在時刻の差を情報の鮮度として扱い、より生成時刻が新しい情報を優先的に配送する。また、それにより、1) 提案手法は FIFO に比較して配送情報の鮮度を大きく向上させること、及び、2) 鮮度の高い情報の配送範囲を拡大することの2点をシミュレーション結果より明らかにする。また、これらに加えて両手法間の配送情報の鮮度差を中継ノードのバッファ容量別に比較することにより、バッファ容量が小さい場合に提案手法を適用することで配送情報の鮮度を大きく向上できることを明らかにする。

1. はじめに

日本は自然災害が多い国として知られており、世界全体に占める日本の災害発生割合は国土面積の割合に比較して非常に高い割合を占めている [1][2]。大規模災害発生時には日常では起こりえない様々な状況に直面するため、災害規模や被害状況、被災者の所在などの情報を迅速かつ正確に把握することが、その被害を最小限に留めるために重要となる。現在の日本では、災害発生時に必要な情報を迅速かつ正確に行うために、災害用伝言サービス [3] などの様々なサービスが提供されている。これらのサービスが安否確認や救助活動に活用された事例は多くあるが、既存の通信インフラ設備が使用できることを前提とする。そのため、その前提を失うとサービスが運用できない可能性がある。

そこで、災害発生前から設置と運用を行う通信インフラに依存せずに通信を可能とする DTN (Delay Tolerant Networking) を用いた被災情報配信システム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って遠隔へデータを伝送する。この手法では、データを受信した中継端末が、次の転送先候補の端末と接触するまでデータを蓄積した状態で移動することで、直接通信のできない遠隔の端末へのデータ配送が可能となる。しかし、蓄積運搬による情報配信は、ある程度の遅延が許容される場合の利用に限られてしまう。そのため、従来の DTN における情

報は生成から長い時間が経過した後に配送されたり、先に生成された情報の配送のために、その後に生成された比較的新しい重要な情報の配送が遅延する可能性があるなど、迅速な情報配信が重要視される被災環境下では十分でないと考えられる。

本稿では、DTN を用いた被災情報配信システムにおいて配送情報の鮮度を考慮した優先データ中継手法を提案する。提案手法では、配送情報の生成時刻と現在時刻の差を情報の鮮度として扱い、その値に基づいたバッファ管理を行うことで、より生成時刻が新しい情報を優先的に配送する。また、提案手法ではそれらの制御を情報の種類別に行うことで、単純な鮮度比較では最適な制御が難しいような、複数の種類が混在する情報の配送制御が可能となる。

本稿では、提案手法と FIFO を比較し、1) 提案手法は FIFO に比較して配送情報の鮮度を大きく向上させること、及び、2) 鮮度の高い情報の配送範囲を拡大することの2点をシミュレーション結果より明らかにする。また、これらに加えて両手法間の配送情報の鮮度差を中継ノードのバッファ容量別に比較することにより、バッファ容量が小さい場合に提案手法を適用することで配送情報の鮮度を大きく向上できることを明らかにする。

2. 関連研究

2.1 DTN を用いた情報収集 [4][5]

DTN では、蓄積運搬型転送を用いることによって遠隔へのデータ伝送を行うことが可能である。この蓄積運搬型転送とは、中継ノードがデータの蓄積を行うことによって時

¹ 県立広島大学経営情報学科
Department of Information Management Systems, Prefectural University of Hiroshima, Hiroshima 734-8558, Japan

間的、及び空間的に連続でないネットワーク環境であっても通信が可能な手法である。この手法では、配送するデータを受信した端末が、次ホップ先候補の端末が見つかるまで受信メッセージを蓄積運搬し、メッセージの配送を行うことによって直接通信のできない遠隔の端末へのデータ伝送を可能とする(図1)。そのため、大規模災害発生下のようにネットワークが間欠的であるような通信環境においても、遠隔へのデータ伝送が可能となる。

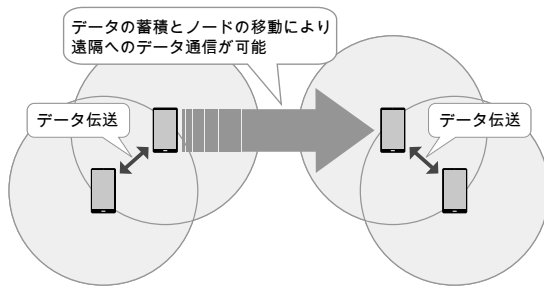


図1 蓄積運搬型転送の動作

このように、DTNは不安定な環境における通信手法として様々な手法の検討がされている。以下では、それら手法の概要を述べるとともに、課題を明らかにする。

2.2 DTN に関する既存手法

2.2.1 抑制的 Epidemic Routing[6]

文献[6]では、DTNにおける抑制的な Epidemic Routingを提案している。この手法は、Epidemic Routingによってメッセージの拡散を行うDTN環境において、メッセージの複製数を抑制することでネットワークの負荷を軽減し、Epidemic Routingの欠点であるネットワーク資源の消費を改善する。

Epidemic Routingの抑制には、ネットワーク内のノード数、ノード同士の接触頻度、複製メッセージの中継確率から宛先への配送の完了の1ホップ前までにかかる時間 T を用いる。経過時刻が T になるまで通常のEpidemic Routingによりメッセージを配送し、その時刻以降は抑制的Epidemic Routingを用いてメッセージを配送する。ここで、抑制時には、複製メッセージではなく受信したメッセージそのものを転送することによって、ネットワーク内に存在する総メッセージ数の増加によるネットワーク負荷の増大を防ぐ。

2.2.2 移動速度変動を想定したDTNルーティング[7]

文献[7]では、移動速度変動を考慮したDTNルーティングを提案している。同手法は、移動端末間でお互いの移動計画を交換する。メッセージを転送する端末は、それらの情報に基づいて転送先を決定することで、本来トレードオフの関係にあるメッセージ到達確率の向上とオーバーヘッドの削減を両立する。

配送を行う移動計画には、ノードID、移動開始時刻、移

動終了時刻、時刻 t における位置の4つの情報が含まれる。これらの移動計画を拡散することにより、移動計画に含まれる情報に加えて移動開始時、及び終了時の位置や移動経路をノード間で共有することが可能となる。同手法では、拡散した移動計画から他ノードとの接触位置、及び接触時間を算出する。それにより、メッセージを保持するノードが宛先ノードに最も近づくための最適な次ホップ先を決定でき、宛先到達率の向上を達成する。また、同手法はメッセージの複製を拡散転送するEpidemic Routingとは異なり、移動計画を拡散することによってオーバーヘッド量の削減も同時に達成することができる。

2.2.3 メッセージの重要度と配送期限を考慮した経路制御手法[8]

文献[8]は、メッセージの重要度と配送期限に基づく経路制御手法を提案している。同手法は、メッセージ配送前にメッセージに重要度を付与する。重要度が高く、かつ、宛先への配送完了が見込めるメッセージは優先的に転送することで、輻輳発生時にも重要度の高いメッセージの宛先到達率を向上できる。

同手法では、対象エリア内に複数のスポット(避難所)とそれらをつなぐ経路の存在を前提とする。移動中継ノードは、任意のスポットを目的地とする経路上を移動し、移動中継ノード間のメッセージ転送は行わない。各スポットには情報BOXとよぶスポット内で移動中継ノードと近距離無線通信できるPCが設置されており、コンテンツの配送制御を担う。同手法は、このような環境において情報BOXによるコンテンツ配送のスケジュール管理や配送メッセージの選択を行うことで、ネットワーク全体での重要度の高いメッセージの宛先到達率を向上させる。

2.3 既存研究における課題

前節で紹介した関連研究は、ネットワーク資源の使用量削減やネットワーク全体での重要度の向上など様々な視点から提案が行われている。しかし、どの研究も時間的連続性を持つ情報の配送には対応しておらず、災害環境下のように任意の事柄に関する情報であっても、時間経過によって重要度やその内容が大きく変化するような環境を考慮したものではない。

DTNは、時間的、及び空間的に不連続性を持つ通信環境であっても、通信が可能である。これは、蓄積運搬方式を用いた情報配信を行うためであるが、他のノードとの接触までの蓄積運搬時間が長くなれば、データ生成から宛先への配送完了までにかかる時間が他の通信手法に比べて大きくなる傾向にある。また、DTNにはネットワーク内資源の使用量や宛先到達率、配送遅延などの面で様々な課題が存在する。ネットワーク資源の使用量削減や宛先到達率はこれまでも多く検討され、様々な手法が提案されている。しかしながら、配送遅延問題は本質的な改善が非常

に難しいことから、あまり多くの検討はなされていない。

さて、災害環境下の情報配信では、被害を最小限に抑えるために迅速さが重要となる。災害発生時に求められる情報は、対象が同じであっても情報の生成から時間の経過によって重要度が低下するものが多い。また、被災者の分布や災害の規模、各地の被害状況など、様々な種類の情報が混在することが予想されるが、従来の DTN では多様な種類が混在する情報の制御にも対応できない。よって、本稿では、DTN の課題である配送遅延問題の低減と、災害発生下で想定される多種の情報の制御に対応する手法について検討する。

3. 情報鮮度を考慮したバッファ優先割当手法

本研究では、大規模災害発生時に DTN を用いて情報配信を行う環境を想定する。移動中継を行うノードはフィールド内のランダムな位置に存在するとともに、特定の移動アルゴリズムに従ってフィールド内を移動する。また、今回はシミュレーションフィールド内に固定基地局が存在する場合を想定する。この固定基地局は外部ネットワークと常時通信可能であるとし、固定基地局同士は遠距離無線通信を行う。移動ノードのルーティングアルゴリズムは、メッセージの宛先到達率を向上させるために Epidemic Routing とする。

3.1 概要

本研究では、種類が同じメッセージ間では、より生成時刻の新しいメッセージは、そうでない生成時刻の古いメッセージの内容を包含するものとする。そのため、提案手法では、任意のメッセージは時間経過によって重要度が低下することを前提としたメッセージの配送を行う。そのため、制御を行う指標としてメッセージの生成時刻から現在時刻までの経過時間を情報の鮮度として定義する。

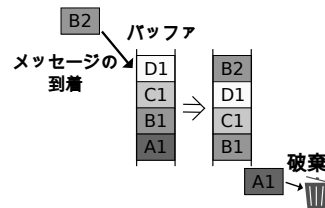
DTN における代表的なバッファ管理手法である FIFO との違いに着目しつつ、提案手法の動作概要について述べる。提案手法の動作概要を図 2 に示す。ここで、メッセージの英文字は情報の種類を示し、数字は生成順に振られた値を示す^{*1}。ここで、メッセージの到着時にバッファオーバーフローが発生した際の動作として、以下の 2 つのケースを想定する。

ケース 1：到着したメッセージと同じ種類のメッセージを自身のバッファ内に蓄積している場合

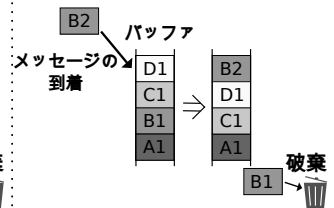
この場合、FIFO では受信した時刻を参照してバッファ管理を行うことから、バッファ内で最も受信時刻の古いメッセージ A1 が破棄されることにより新たに到着したメッセージを受信する。

一方、提案手法では、まず破棄を行うメッセージを決定

1. 到着メッセージと同じ種類のメッセージを所持 < FIFO >



< 提案手法 >



2. 到着メッセージと同じ種類のメッセージを非所持 < FIFO >

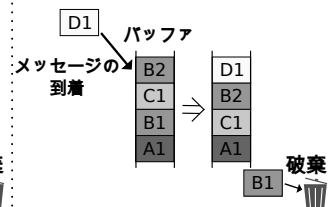
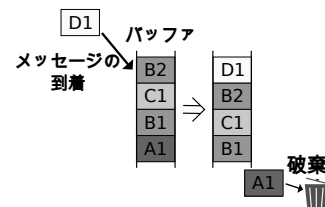


図 2 提案手法の動作概要

するために、鮮度を比較する。比較対象は到着メッセージとバッファ内に蓄積されるメッセージで、図 2 の例では種類が同じメッセージ B1 と B2 を比較し、鮮度がより低い B1 を破棄し、新たに到着した B2 をバッファに格納する。
ケース 2：到着したメッセージと同じ種類のメッセージが自身のバッファ内に無い場合

この場合も、FIFO では受信した時刻を参照してバッファ管理を行うことから、1 の場合と同様にメッセージ A1 が破棄されることにより新たに到着したメッセージを受信する。

一方、提案手法では、到着したメッセージと同じ種類のものはバッファ内に無いため、バッファ内のみで比較対象を決定する。そのため、図 2 の例ではメッセージ B1 と B2 の鮮度を比較し、鮮度のより低い B1 を破棄することによって新たに到着したメッセージを受信する。

ケース 1 において FIFO では、メッセージの受信によって種類数が 4 から 3 となっているが、提案手法ではメッセージの種類数に変化はない。災害環境下では、メッセージの重要度の設定基準は種類ごとに異なると考えられるため、異なる種類間の単純な比較は難しい。そのため、FIFO のように種類数が減少する可能性があるバッファ管理では不十分であるといえる。

また、ケース 2 の場合、FIFO のメッセージ種類数は変化していないが、提案手法ではバッファ内のメッセージ種類数が 3 から 4 に増加していることがわかる。これらにより、メッセージの種類ごとに鮮度に基づくバッファ管理を行うため、提案手法は災害発生下における多様な情報の配信に対応できると考えられる。

^{*1} ここで、メッセージの鮮度は B1<B2 とする。

3.2 評価手法

3.2.1 評価環境

本節では、前章で提案した手法を評価する。シミュレータは The ONE (The Opportunistic Network Environment simulator) を用いた。本評価に用いたトポロジを図 3 に、シミュレーション諸元を表 1 にそれぞれ示す。

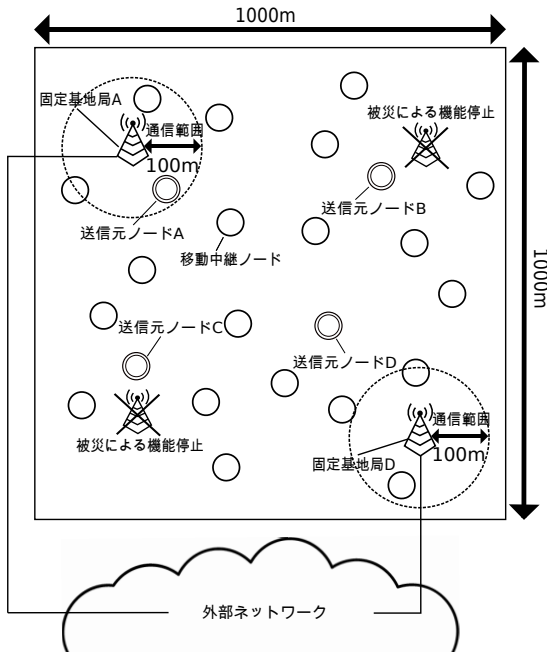


図 3 シミュレーショントポロジ

表 1 シミュレーション諸元

項目	値
フィールドサイズ	1,000[m]×1,000[m]
シミュレーション時間	21,600[s]
メッセージサイズ	1[MB]
通信速度	基地局ノード: 150[Mbps] その他ノード: 20[Mbps]
ノード	中継ノード: 300[個] 基地局ノード: 2[個] 送信元ノード: 4[個]
バッファ容量	中継ノード: 1 ~ 30[MB] 送信元ノード: 1[MB] 基地局ノード: 1000[MB]
通信範囲	中継ノード: 10[m] 基地局ノード: 100[m] 送信元ノード: 10[m]
移動速度	中継ノード: 1.3~1.5[m/s]

メッセージは、送信元ノード A, B, C, D のみで生成される。メッセージの生成間隔は 600 秒であり、各送信元ノードは生成時刻になるとそれぞれのノード ID を Prefix にもつメッセージに最新情報を書き込み配送を開始する。新たなメッセージを生成した際は、送信元ノードは古いメッセージを自身のバッファから削除する。

中継ノードは指定数だけフィールド内に配置される。配置座標は一様乱数によってランダムに決定する。中継ノードは移動、もしくは待機のいずれかの状態をとる。各状態の中継ノードの動作概要を以下に示す。

● 移動状態

移動状態では、設定された移動先座標（以下、目的地）と現在地をつなぐ直線上を目的地に向かって指定速度で移動する。移動状態のノードが目的地に到達した場合、そのノードは待機状態へ移行する。

● 待機状態

待機状態では、新たな目的地を設定する。目的地の決定方法は指定された移動アルゴリズムに基づく。待機状態のノードに新たな目的地が設定された場合、そのノードは移動状態へ移行する。

今回の評価では、移動アルゴリズムとして Random Walk を用いる。その概要を以下に述べる。

● Random Walk

Random Walk は、自身の現在地に基づいて次の目的地を決定する。このアルゴリズムでは、自身の現在地の座標、移動方向（角度）、移動距離の 3 つの要素を用いて新たな目的地を決定する。角度と移動距離は、それぞれ一様分布に従う乱数によって、ランダムに決定する。本稿の評価では、移動距離が 0 ~ 50[m] となるように目的地を決定した。

3.2.2 鮮度の計測手法

移動中継ノードのバッファ容量を 1 ~ 30[MB] の範囲で 1[MB] ずつ変化させた場合の提案手法の評価を行った。

固定基地局は、常時外部ネットワークとの通信が可能で、かつ、外部ネットワークには十分なストレージとメッセージを配送できる帯域が存在することを想定する。そこで、本稿の評価でも、これを再現するのに十分な値を設定した。

なお、本稿の評価では、鮮度を計測するために専用の計測ノードをフィールド内に配置した。配置した計測ノードのパラメータを表 2 に示す。

表 2 計測ノード諸元

項目	値
個数	1,681[個]
バッファ容量	1,000[MB]
通信速度	20[Mbps]
位置（座標）	x 座標, y 座標ともに 25[m] 間隔で配置 ($0 < x, y < 1,000$)
通信範囲	12.5[m]

計測ノードはシミュレーションが 60 秒経過するごとに鮮度の計測、及び記録を行う。計測時に自身のバッファ内にあるすべてのメッセージに対して鮮度の算出を行い、メッセージの種類ごとに最も高い鮮度を記録する。なお、計測

ノードは鮮度計測のみに使い、メッセージの送信は一切行わないこととした。

3.3 評価結果

今回の評価には、各計測地点において計測した情報の鮮度からシミュレーション 1 回あたりの平均値を算出し、その値を平均鮮度として用いる。なお、図に示す結果は中継ノードのバッファ容量が 2[MB] の際のものである。

3.3.1 性能評価

従来手法の配信情報の鮮度

図 4 にシミュレーション結果の一部として、FIFO による被災情報配信時の平均鮮度を示す。4 つのグラフ (A), (B), (C), (D) はそれぞれメッセージ A, B, C, D の平均鮮度を示す。同図の縦軸と横軸は、それぞれ x, y 座標をそれぞれ示す。同図の平均鮮度はヒートマップで示す。なお、ヒートマップの色が黄色から青色に近いほど平均鮮度が高いことを示す。また、平均鮮度は計測時刻と対象メッセージの生成時刻の差であるため、単位を秒で表す。

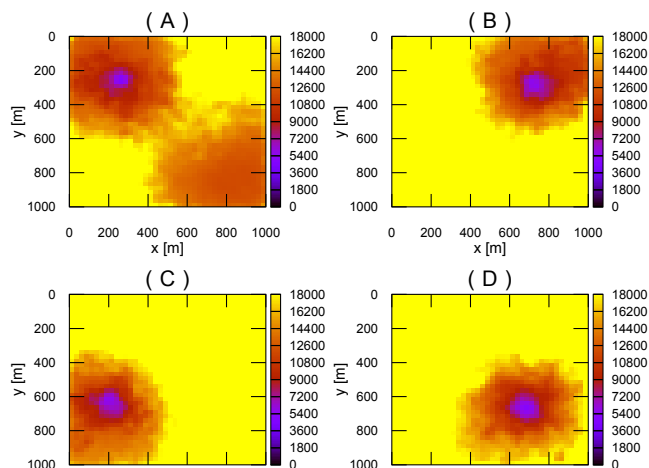


図 4 FIFO の配信情報の平均鮮度

同図より、いずれのメッセージの結果においても、送信

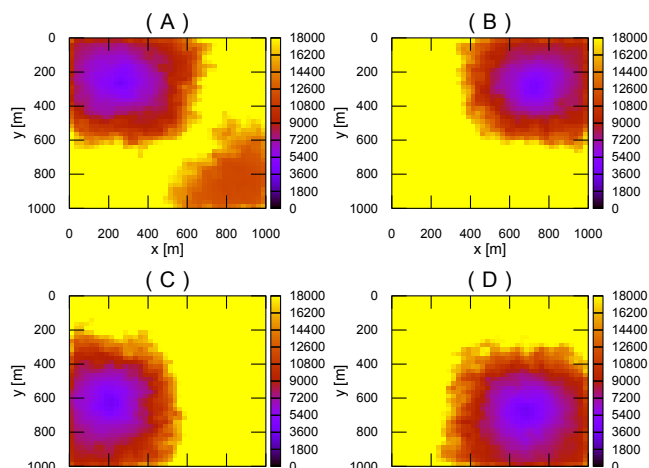


図 5 提案手法の配信情報の平均鮮度

元ノード付近に特に鮮度の高い情報が配送されていることがわかる。また、(A) を見ると、他のメッセージと比較して配送範囲が広く、平均鮮度も高いことがわかる。これは、メッセージ A は生成後、すぐに基地局 A を経由することで、基地局 D 付近へ配送されるためであると考えられる。

提案手法実装による鮮度変化

提案手法である鮮度優先バッファ割当を用いた場合の被災情報配信時の平均鮮度を図 5 に示す。同図を先の図 4 と比較することにより、ヒートマップの青～赤で示される比較的鮮度の高い領域が提案手法によって拡大していることが確認できる。これは、情報鮮度を考慮してバッファ管理する提案手法によって、鮮度の高い情報が低いものより優先的に伝送されるため、これらの情報が中継ノードのバッファ内に残りやすくなり、新しい情報を持つノードが増加したためであると考えられる。

中継ノードのバッファ容量別の提案手法と FIFO の鮮度比較

図 6 に、提案手法と FIFO の中継ノードのバッファ容量別の比較結果を示す。同図の縦軸は、FIFO による情報配信鮮度に対して、どの程度提案手法の鮮度が向上したかを示す。その値は以下の式で算出した。

$$Improvement = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \left(1 - \frac{F_{Proposed}}{F_{FIFO}} \right) \quad (1)$$

ここで、式 (1) の n はデータ数であり、計測ノード数 1,687 に種類数 4 を乗じた 6,724 となる。また、式 (1) によって求められる値が 0% であれば両手法に差がないこと、0% より大きい場合は提案手法の方が、逆に、0% より小さい場合には FIFO の方が鮮度の高い情報を配送できていることをそれぞれ示す。また、各グラフは提案手法における中継ノードのバッファ容量が 2, 4, 6, 8, 10[MB] の時の結果をそれぞれ示す。

さて、図 6 において鮮度向上率が 0% 以上であれば、提案手法によって性能が向上していることを示す。また、横軸は提案手法に比較してどれだけ FIFO の中継ノードに多くバッファを与えたかを示している。つまり、横軸の値がより高い条件でも 0% 以上の鮮度向上率となるのであれば、より不利な状況においても提案手法が有効に機能することを示したことになる。さて、この 0% 以上の鮮度向上率となる横軸の値は、提案手法の中継ノードバッファがより小さな場合ほど高いことがわかる。つまり、提案手法では、元々の中継ノードのリソースが低いほど、その導入効果が高くなる優れた方式であるといえる。

4. おわりに

本稿は、DTN を用いた情報配信システムにおいて、配送メッセージの鮮度を考慮したデータ優先中継方式について検討した。具体的には、配送メッセージの生成時刻と現

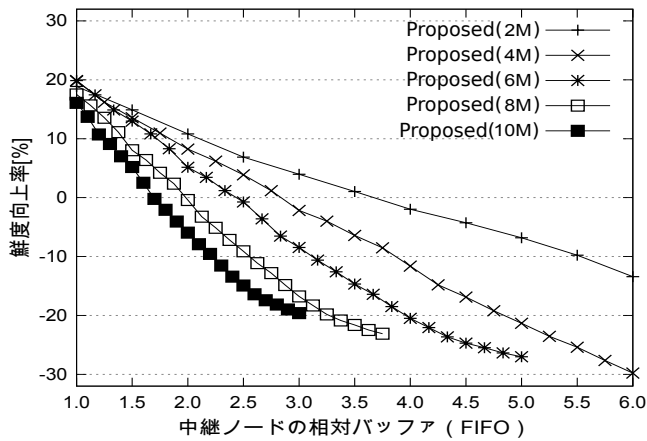


図 6 FIFO に対する提案手法の鮮度向上率の推移

在時刻の差を鮮度として算出し、その値をバッファ管理に用いることによって、より生成時刻の新しい情報を優先して配送する手法を提案した。また、提案手法の有効性を示すために、従来のバッファ管理手法である FIFO と比較評価を行った。

評価結果より、1) 提案手法は FIFO に比較して配送情報の鮮度を大きく向上させること、及び、2) 鮮度の高い情報の配送範囲を拡大させることの 2 点を明らかにした。また、これらに加えて両手法間の配送情報の鮮度差を中継ノードのバッファ容量別に比較することにより、バッファ容量が小さい場合に提案手法を適用することで配送情報の鮮度を大きく向上できることを明らかにした。

参考文献

- [1] 内閣府：平成 18 年版 通信白書 災害を受けやすい日本の国土 (オンライン), 入手先 <http://www.bousai.go.jp/kaigirep/hakusho/h18/bousai2006/html/honmon/hm01010101.htm> (参照 2020.1.22 参照)。
- [2] 中小企業庁：我が国における自然災害の発生状況 (オンライン), 入手先 https://www.chusho.meti.go.jp/pamflet/hakusyo/2019/2019/html/b3_2.1.2.html (参照 2019.12.22 参照)。
- [3] 総務省：災害用伝言サービス (オンライン), 入手先 http://www.soumu.go.jp/menu_seisaku/ictseisaku/net_anzen/hijyo/dengon.html (参照 2019.12.26)。
- [4] 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.
- [5] 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.
- [6] 佐藤 裕真, 川端 奈津子, 山崎 康広, 大崎 博之：DTN における抑制的エビデミックルーティングの提案, 電子情報通信学会 研究報告インターネットと運用技術 (IOT) 22 号, pp. 1-6, 2017.
- [7] 千明 陽, 松垣 博章：移動速度変動を想定した DTN ルーティング手法, IPSJ SIG Technical Report Vol.2010-DPS-145 No.34, 2010.
- [8] 孫 為華, 石丸 泰大, 安本 慶一, 伊藤 実：メッセージの重要度と配送期限を考慮した DTN 経路制御手法の提案と評価, IPSJ SIG Technical Report Vol.2010-DPS-143, 2010.