

ノードの接触時間分布を利用したエピデミックブロードキャスト方式

松田 浩輔[†] 渡部 康平[†] 大崎 博之[†]

[†] 大阪大学 大学院情報科学研究科

〒 565-0871 大阪府吹田市山田丘 1-5

E-mail: †{k-matsuda,k-watabe,oosaki}@ist.osaka-u.ac.jp

あらまし 遅延耐性ネットワークにおいて一対多通信を実現する通信方式として、メッセージを保有するノードが、接触した他のノードに対してメッセージの複製を中継するというエピデミックブロードキャストがある。エピデミックブロードキャストでは、メッセージ配送の迅速性を維持しながら、メッセージの中継回数をいかに抑制するかが鍵となる。メッセージを保有するノードが、メッセージを保有していないノードを検出した場合に、検出直後にメッセージの中継を行わず、メッセージを保有していない他のノードが無線通信可能範囲内に入るのを待つことにより、一度のメッセージ中継で複数のノードにまとめてメッセージを中継できると考えられる。本稿では、各ノードが、自分以外の他のノードとの接触時間分布を計測し、計測した接触時間分布を用いて意図的にメッセージ中継を遅延させることにより、メッセージ配送の迅速性を維持しながらメッセージの中継回数を大幅に減少させることができる HCD-BCAST (History-based Contact-Duration aware BroadCAST) を提案する。シミュレーションにより、HCD-BCAST は、従来手法である HSA-BCAST よりも 30 % 程度少ないメッセージ中継回数で、HSA-BCAST と同程度に迅速なエピデミックブロードキャストを実現できることを示す。

キーワード 遅延耐性ネットワーク、エピデミックブロードキャスト、モバイルアドホックネットワーク、接触時間分布

An Epidemic Broadcast Mechanism in DTN utilizing Contact Duration Distribution

Kosuke MATSUDA[†], Kohei WATABE[†], and Hiroyuki OHSAKI[†]

[†] Graduate School of Information Science and Technology, Osaka University

1-5 Yamadaoka, Suita, Osaka 565-0871, Japan

E-mail: †{k-matsuda,k-watabe,oosaki}@ist.osaka-u.ac.jp

Abstract An epidemic broadcast, in which an infected node repeatedly forwards a copy of the message to encounter nodes, realizes one-to-many communication in DTNs (Delay/Disruption-Tolerant Networks). In an epidemic broadcast, the key is to control the number of message forwardings among nodes while maintaining a short message delivery time in the network. In this paper, we present a novel idea for improving the performance of an epidemic broadcast — when an infected node encounters a (possibly) susceptible node, the infected node intentionally delays its message forwarding since delaying the message forwarding may increase the chance of simultaneous transmission to multiple susceptible nodes. Based on the idea, we propose HCD-BCAST (History-based Contact-Duration aware BroadCAST), which significantly reduces the number of message forwardings. In HCD-BCAST, every node autonomously determines the delay time of message forwarding based on the measurement of contact-duration distribution. Through simulation, we show that HCD-BCAST achieves approximately 30% reduction in the number of message forwardings compared with HSA-BCAST (History based Self-Adaptive BroadCAST).

Key words DTN (Delay Tolerant Network), Epidemic Broadcast, MANET (Mobile Ad Hoc Network), Contact Duration Distribution

1 はじめに

近年、エンドーエンド間の継続的なネットワーク接続が担保されない環境における通信を実現する、遅延耐性ネットワークが注目されている。例えば、遅延耐性ネットワークの一種であるモバイルアドホックネットワークでは、ノードの移動によってノード間の接続が頻繁に変化する。そのため、エンドーエンド間のネットワーク接続を前提とした従来の通信方式を、遅延耐性ネットワークにそのまま用いることはできない。遅延耐性ネットワークの多くでは、ノードのモビリティを活用した、ストア・キャリア・アンド・フォワード方式でメッセージが中継される。遅延耐性ネットワークの応用例として、惑星間通信ネットワークや、災害地における臨時の通信ネットワーク、野生動物の観察などに用いられるセンサネットワークなどが考えられる。

遅延耐性ネットワークにおいて一対多通信を実現する方法として、メッセージを保有するノードが、他のノードに対してメッセージの複製を中継するというエビデミックブロードキャストがある。単純なエビデミックブロードキャストでは、メッセージの中継回数が時間経過に伴い指数関数的に増大してしまう。このため、エビデミックブロードキャストでは、メッセージ配送の迅速性を維持しながら、メッセージの中継回数をいかに抑制するかが鍵となる。

従来、エビデミックブロードキャストにおけるメッセージの中継回数を抑制するためのアプローチとして、既にメッセージを保有するノードへの無駄なメッセージ中継を回避するという方法が取られてきた。例えば、SA-BCAST (Self-Adaptive BroadCAST) [1] では、ノードが受信した重複メッセージの数に応じてメッセージ中継確率を指数関数的に減少させることにより、無駄なメッセージ中継を抑制している。また、HP-BCAST (History-based P-BCAST) [2] では、各ノードがメッセージの送信履歴を管理し、すでにメッセージを保有していると予想されるノードにはメッセージの中継を行わないことにより、無駄なメッセージ中継を抑制している。SA-BCAST におけるメッセージ中継確率の適応制御と、HP-BCAST におけるメッセージの送信履歴の管理の両方を用いた、HSA-BCAST (History-based SA-BCAST) [1] も存在する。HSA-BCAST は、少ないメッセージ中継回数で、効率的にネットワーク全体にメッセージをブロードキャストすることが可能である [2]。

無線通信を用いるエビデミックブロードキャストでは、あるノードから他のノードへのメッセージ中継は、無線通信可能範囲内のノードに対するブロードキャストによって行われる。無線通信の特性を利用すれば、一度のメッセージ中継で、複数ノードにまとめてメッセージを配送することが可能である。無線通信の特性を利用し、DTN におけるブロードキャストの効率性を向上させる手法も提案されている [3]。

無線通信によるブロードキャストの特性を利用し、複数ノードにまとめてメッセージを配送することができれば、エビデミックブロードキャストのメッセージ中継回数も抑制できると期待できる。特に、メッセージを保有するノードが、メッセー

ジを保有していないノードを検出した場合に、検出直後にメッセージの中継を行わず、メッセージを保有していない他のノードが無線通信可能範囲内に入るのを待つことにより、一度のメッセージ中継で複数のノードにまとめてメッセージを中継できると考えられる。

ここで、メッセージを保有するノードが、メッセージを保有していないノードを検出した場合に、どの程度メッセージの中継を遅らせばよいかが問題になる。メッセージ中継までの遅延時間が短かすぎる場合、メッセージを保有していない他のノードが無線通信可能範囲内に入る可能性が低くなり、無線通信によるブロードキャストの特性を十分に活かすことができない。一方、メッセージ中継までの遅延時間が長すぎる場合、当初は通信可能であった、メッセージを保有していないノードが通信可能範囲内から離脱してしまい、メッセージの中継が不可能になってしまう可能性がある。その結果、エビデミックブロードキャストによるメッセージ配送の迅速性が低下してしまう。このため、エビデミックブロードキャストによるメッセージ配送の迅速性を維持しつつ、無線通信によるブロードキャストの特性を活かすことができるような遅延時間を適切に選択する必要がある。

本稿では、各ノードが、自分以外の他のノードとの接触時間分布を計測し、計測した接触時間分布を用いて意図的にメッセージ中継を遅延させることにより、メッセージ配送の迅速性を維持しながらメッセージの中継回数を大幅に減少させることができる HCD-BCAST (History-based Contact-Duration aware Broadcast) を提案する。シミュレーションにより、HCD-BCAST は、従来手法である HSA-BCAST よりも 30 % 程度少ないメッセージ中継回数で、HSA-BCAST と同程度に迅速なエビデミックブロードキャストを実現できることを示す。

本稿の構成は以下の通りである。?? 章において、提案方式である HCD-BCAST のアイデアと、HCD-BCAST における各ノードの動作を説明する。?? 章では、シミュレーションによって HCD-BCAST の基本的な特性を調査するとともに、HCD-BCAST の有効性を評価する。最後に、?? において本稿のまとめと今後の課題を述べる。

2 HCD-BCAST (History-based Contact-Duration aware Broadcast)

2.1 アイデア

メッセージを保有するノードが、メッセージを保有していないノードを検出した場合に、検出直後にメッセージの中継を行わず、メッセージを保有していない他のノードが無線通信可能範囲内に入るのを待つことにより、一度のメッセージ中継で複数のノードにまとめてメッセージを中継できると考えられる。

図 2 に例を示す。 $t = 2$ において、メッセージを保有するノードが、メッセージを保有していないノードを検出している。それぞれのノードが移動し、 $t = 3$ において、メッセージを保有していない他のノードが、メッセージを保有するノードの無線通信可能範囲内に入っている。メッセージを保有するノードが、 $t = 2$ においてメッセージを中継するのではなく、 $t = 3$ におい

てメッセージを中継すれば、メッセージを保有していない2台のノードにまとめてメッセージを配送することができる。

ただし、メッセージ中継までの遅延時間が短かすぎる場合、メッセージを保有していない他のノードが無線通信可能範囲内に入る可能性が低くなり、無線通信によるブロードキャストの特性を十分に活かすことができない。一方、メッセージ中継までの遅延時間が長すぎる場合、当初は通信可能であった、メッセージを保有していないノードが通信可能範囲内から離脱してしまい、メッセージの中継が不可能になってしまう可能性がある。このため、エビデミックブロードキャストによるメッセージ配送の迅速性を維持しつつ、無線通信によるブロードキャストの特性を活かすことができるような遅延時間を適切に選択する必要がある。

メッセージ中継までの遅延時間は、(a) メッセージを保有するノードと、メッセージを保有していないノードの接触時間分布と、(b) メッセージを保有していないノードの周囲に存在する、メッセージを保有するノードの台数という二つの要因によって決定すればよいと考えられる。

(a) により、メッセージ中継を遅延させた場合に、メッセージを保有していないノードが、どの程度の確率で通信可能範囲内から離脱してしまうかを判断することが可能となる。ノード同士の接触時間分布は、接触時間分布が定常であることを仮定すれば、各ノードが、それぞれ過去に接触したノードの接触時間を記録することにより推定可能である。

(b) により、メッセージを保有していないノードへの中継確率を保ちながらも、状況に応じて、メッセージ中継までの遅延時間を長く設定することが可能である。メッセージ中継までの遅延時間が長い場合、メッセージを保有していないノードが通信可能範囲内から離脱してしまい、メッセージの中継が不可能になってしまう可能性がある。しかし、メッセージを保有する他のノードが存在する場合は、それらのメッセージ保有ノードからのメッセージ中継が期待できる。従って、メッセージを保有する他のノードが台数に応じて、メッセージ中継までの遅延時間を制御すれば良いと考えられる。

2.2 動作

提案する HCD-BCAST (History-based Contact-Duration aware BroadCAST) では、各ノードが、自分以外の他のノードとの接触時間分布を計測し、計測した接触時間分布を用いて意図的にメッセージ中継を遅延させることにより、メッセージ配送の迅速性をできるだけ維持しながら、メッセージの中継回数を抑制する。

HCD-BCAST では、計測したノードの接触時間分布を利用して、クラスタ内でのメッセージの中継確率が一定の値となるように、メッセージ中継の遅延時間を制御する。HCD-BCAST は、HP-BCAST と同様の方法でメッセージ送信履歴を管理する。メッセージを保有するノードが、メッセージを保有していないノードを検出した場合、計測したノードの接触時間分布と、当該ノードの周囲に存在するメッセージ保有ノード数から、メッセージ中継の遅延時間を決定する。

以下では、HCD-BCAST が、どのようにメッセージ中継の遅

延時間を決定するかを説明する。

ここで、メッセージを保有していないノード S の周囲に、 N 台のメッセージ保有ノード $I_1 \dots I_N$ が存在し、これらのノードが等しい確率 p でメッセージを中継したとする。この時、ノード S が少なくとも一回以上メッセージを受信できる確率 p_{success} は次式で与えられる。

$$p_{\text{success}} = 1 - (1 - p)^N \quad (1)$$

従って、ノード S が少なくとも一回以上メッセージを受信できる確率を p_{success} とするためには、メッセージ保有ノード $I_1 \dots I_N$ は、メッセージの中継確率が

$$p = 1 - (1 - p_{\text{success}})^{1/(N+1)} \quad (2)$$

であればよい。

そこで、計測したノードの接触分布を用いて、メッセージの中継確率が式 (2) となるように、メッセージ中継の遅延時間を調整する。計測した接触時間分布の累積分布関数を $P(x)$ とすれば、すべてのノード $I_1 \dots I_N$ が、 $1 - P(T_{\text{max}}) = p$ となるような T_{max} だけメッセージ中継を遅延させる。つまり、メッセージを保有するノードは、メッセージを保有していないノード S を検出した後、 T_{max} だけメッセージ中継を遅延させる。 T_{max} 後に、ノード S が無線通信可能範囲内に存在し続けている場合に限りメッセージ中継を行う。

ただし、式 (2) の計算には、ノード S の周囲に存在する、メッセージ保有ノードの数 N が必要となる。HCD-BCAST では、 N の推定値として、各メッセージ保有ノード $I_1 \dots I_N$ が、ノード S を検出した時に、無線通信可能範囲内に存在したメッセージ保有ノードの数 \hat{N} を用いる。

このような動作により、ノード $I_1 \dots I_N$ からノード S へのメッセージ中継の成功率を p_{success} に保ちながら、メッセージ中継を意図的に遅延させることにより、メッセージの中継回数を大幅に抑制することが期待できる。

p_{success} は、メッセージ配送の迅速性を調整する制御パラメータである。パラメータ p_{success} の値が大きいくほど、メッセージ中継の遅延は短くなり、より積極的にメッセージの中継が行われる。なお、 $p_{\text{success}} = 1$ の場合、HCD-BCAST の動作は、HP-BCAST と等しくなる。

3 シミュレーション

3.1 HCD-BCAST の基本特性

簡単なシミュレーションにより、以下のような HCD-BCAST の基本的な特性を調査する。

- (1) メッセージを保有していないノード S の周囲に存在する、メッセージ保有ノード数 N の推定精度
- (2) メッセージを保有するノード $I_1 \dots I_N$ から、メッセージを保有していないノード S へのメッセージ中継の成功率
- (3) メッセージ中継の意図的な遅延によるメッセージ中継回数の削減効果

まず、メッセージを保有していないノード S の周囲に存在する、メッセージ保有ノード数 N の推定精度を調査する。HCD-

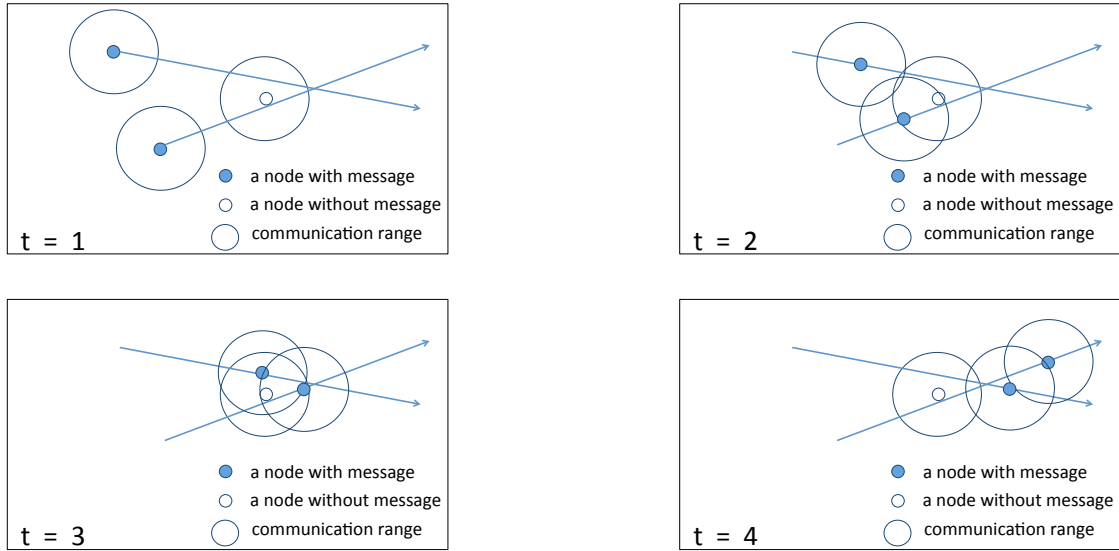


図1 メッセージ中継を遅延させることにより無線通信によるブロードキャストの特性を活かすことができる例

BCAST では、メッセージ保有ノードが、ノード S を検出した時に、無線通信可能範囲内に存在したメッセージ保有ノードの数 \hat{N} を N の推定値として用いている。以下のシミュレーションでは、メッセージを保有していないノード S が、メッセージを保有するノードに検出されてから、平均ノード接触時間 T の間に接触した、メッセージ保有ノード数を N とした。

1000 [m] × 1000 [m] のフィールド上で、100 台のノードを Random Waypoint モビリティモデル [4] によって動作させた。ある一台のノードから、他のすべてのノードに対して、HCD-BCAST を用いてエピデミックブロードキャストを行った。各ノードの移動速度を [1, 2] [m/s] の一様分布で与えた。各ノードの無線通信範囲は 25, 50, 75 [m] と変化させて実験を行った。なお、平均ノード接触時間 T は、無線通信可能範囲が 25, 50, 75 [m] の時、それぞれ 20, 38, 56 [s] であった。

シミュレーションにおける N および \hat{N} をそれぞれ計測し、 N に対する \hat{N} の絶対誤差を計算した。無線通信可能範囲が 25, 50, 75 [m] の時、メッセージ保有ノード数 N の絶対誤差は、それぞれ 0.27, 0.92, 1.60 であった。この結果から、無線通信可能範囲の大きさにもよるが、ある程度のメッセージ保有ノード数 N の推定精度が得られていると考えられる。

次に、メッセージを保有するノード $I_1 \dots I_N$ から、メッセージを保有していないノード S へのメッセージ中継の成功率を調査する。HCD-BCAST が、完全に期待通り動作していれば、メッセージ中継の成功率は、制御パラメータ p_{success} の値と一致する。

メッセージ中継の成功率を計測するために、図 4 に示すようなシミュレーションを実施した。クラスタに含まれる、メッセージを保有するノードの数が 1~4 と変化させ、制御パラメータである p_{success} をさまざまな値に変化させた。同じ条件でシミュレーションを 30 回繰り返し、メッセージ中継の成功率として、メッセージを保有していないノードが、メッセージを保有するノードのクラスタと交差した後に、メッセージを受信で

きている割合を計測した。なお、メッセージを保有するノードの初期位置は直径 50 [m] の円内に一様に分布させた。無線通信可能範囲は 50 [m] とした。

図 2 に、メッセージを保有するノードの数を 1~4 と変化させた時の、メッセージ中継の成功率を示す。この結果から、メッセージ中継の成功率が、HCD-BCAST の制御パラメータである p_{success} におおよそ一致していることがわかる。特に、メッセージを保有するノードの数が小さい時、もしくは p_{success} の値がそれほど大きくない時に、メッセージ中継の成功率が p_{success} と一致していることがわかる。

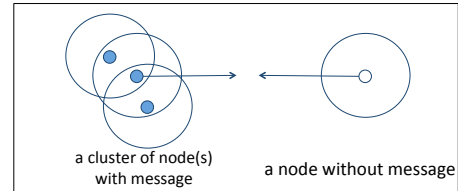


図2 メッセージを保有するノード $I_1 \dots I_N$ から、メッセージを保有していないノード S へのメッセージ中継の成功率を調査するためのシミュレーションモデル

最後に、メッセージ中継を意図的に遅延させることにより、メッセージ中継回数をどの程度削減できるかを調査する。最初のシミュレーションと同一の条件下で実験を行い、シミュレーション開始から、90 % のノードにメッセージが配送されるまでの間に、1 回のメッセージ中継によって、同時に何台のノードにメッセージを配送できたかを計測した。シミュレーションを 30 回繰り返し、1 回のメッセージ中継によって、同時に配送できたノードの台数の割合を計算した。

図 4 に、制御パラメータである p_{success} を 0.1~1.0 と変化させた時の、1 回のメッセージ中継によって同時に配送できたノード数の割合を示す。この結果から、 p_{success} の値が小さい時ほど、1 回のメッセージ中継によって、より多くのノードに同時

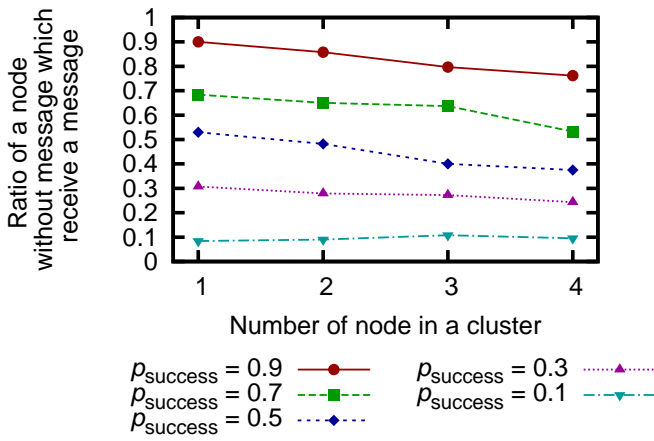


図 3: メッセージを保有するノードの数とメッセージ中継の成功率の関係

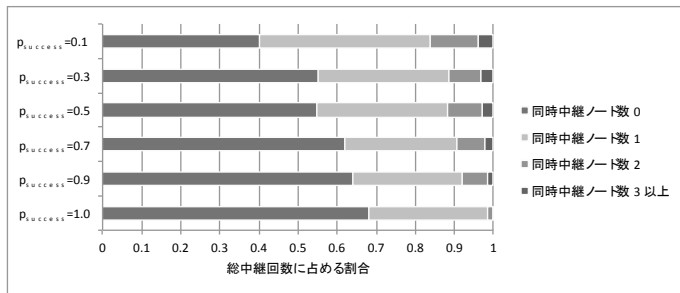


図 4 制御パラメータ p_{success} を 0.1~1.0 と変化させた時の、1 回のメッセージ中継によって同時に配送できたノード数の割合

に配送できていることがわかる。つまり、 p_{success} を小さな値に設定した場合 (メッセージ中継を意図的な大きく遅延させた場合)、無線通信によるブロードキャストの特性がより活かされていることがわかる。

3.2 HSA-BCAST と HCD-BCAST の性能比較

既存手法である HSA-BCAST と、提案手法である HCD-BCAST の性能を比較することにより、さまざまな条件下における HCD-BCAST の有効性を検証する。

?? 節と同様のシミュレーションを行い、90 % のノードにメッセージが配送されるまでの時間 (90 % 配送時間) と、ネットワーク全体での総メッセージ中継回数を計測した。HSA-BCAST および HCD-BCAST の基本的な性質に注目するため、無線通信の遅延をゼロとし、各ノードのメッセージ送信履歴のサイズは十分大きな値に設定した。

HSA-BCAST の制御パラメータである N_{th} と c をさまざまに変化させてシミュレーションを行った。 N_{th} は、新たなメッセージ中継を行うかどうかを決定するための、無線通信可能範囲内のノードの変化率のしきい値である。 c は、ノードが受信した重複メッセージの数に応じて、メッセージ中継確率を指数関数的に減少させるために用いるパラメータである。

フィールドの大きさを 1000 [m] × 1000 [m]、無線通信可能範囲を 50 [m] とした時の、90 % 配送時間および総メッセージ中継回数を図 5 に示す。エビデミックブロードキャストでは、メッ

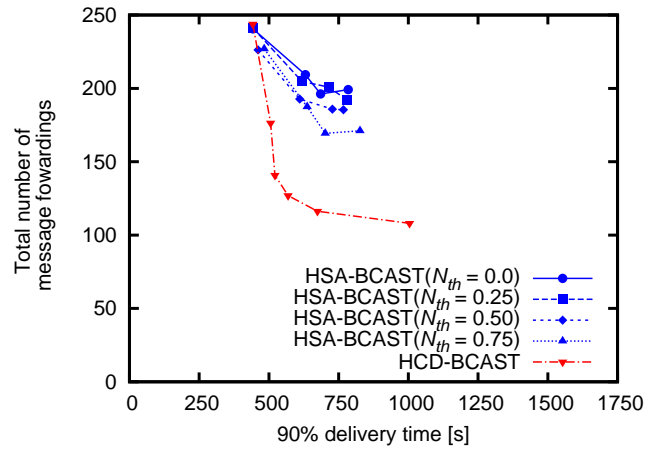


図 5: フィールドの大きさを 1000 [m] × 1000 [m]、無線通信可能範囲を 50 [m] とした時の、90 % 配送時間および総メッセージ中継回数の関係

ッセージ配送の迅速性とメッセージ中継の効率性の間にはトレードオフの関係がある。従って、図 5 において、制御パラメータを変化させた時の曲線が、左下に位置すればするほど特性が優れていることを意味する。

図 5 より、提案方式である HCD-BCAST は、従来方式である HSA-BCAST と同等の迅速性を、非常に少ないメッセージ中継回数で実現できていることがわかる。90 % 配送時間の値にもよるが、HSA-BCAST と比較して、おおよそ 20~40 % 少ないメッセージ中継回数に抑えられている。なお、HCD-BCAST の結果の各点は、左から p_{success} が 1, 0.9, 0.7, 0.5, 0.3, 0.1 の場合に対応している。同様に、HSA-BCAST の結果の各点は、左から c が 1, 2, 4, 8 の場合に対応している。なお、グラフの左端において、HCD-BCAST と HSA-BCAST の結果が重なっているが、それぞれ $p_{\text{success}} = 1$ および $c = 1$ の場合であり、これはメッセージ中継確率の制御を行わない場合に相当する。

さまざまな条件下における HCD-BCAST の有効性を検証するため、無線通信可能範囲およびフィールド上のノード密度をそれぞれ変化させたシミュレーションを行った。

図 6 に、フィールドの広さを 1000 [m] × 1000 [m] とし、無線通信可能範囲を 25, 50, 75 [m] と変化させた時の、90 % 配送時間と総メッセージ中継回数の関係を示す。HSA-BCAST では、制御パラメータ N_{th} の値を 0.75 と設定している。これは、 N_{th} の値を 0, 0.25, 0.5, 0.75 と変化させたシミュレーションを行ったところ、 $N_{th} = 0.75$ の時に最も良好な特性を示したためである。この結果から、無線通信可能範囲の大きさによらず、HCD-BCAST が HSA-BCAST よりも優れた特性を示していることがわかる。

最後に、ノード数を 100 と固定し、フィールドの大きさを変化させた場合のシミュレーションを行い、フィールド上のノード密度の影響を調査した。図 7 に、無線通信可能範囲を 50 [m] とし、フィールドの大きさを、500 [m] × 500 [m]、1,000 [m] × 1,000 [m]、1,500 [m] × 1,500 [m] と変化させた時の、90 %

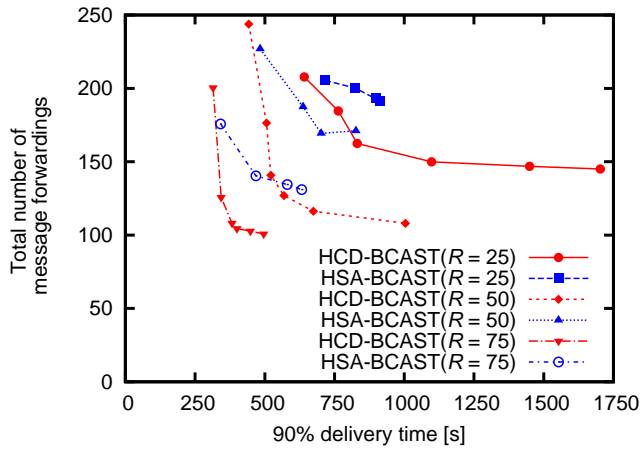


図 6: フィールドの広さを 1000 [m] × 1000 [m] とし、無線通信可能範囲を 25, 50, 75 [m] と変化させた時の、90 % 配送時間と総メッセージ中継回数の関係

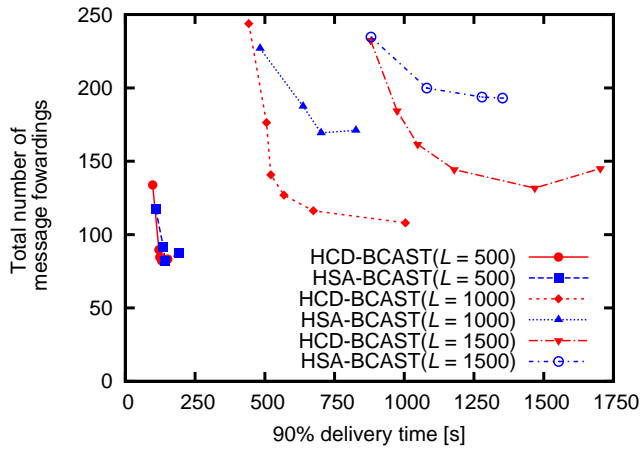


図 7: 無線通信可能範囲を 50[m] とし、フィールドの大きさを、500 [m] × 500 [m]、1,000 [m] × 1,000 [m]、1,500 [m] × 1,500 [m] と変化させた時の、90 % 配送時間とメッセージ中継回数の関係

配送時間とメッセージ中継回数の関係を示す。さきほどと同様に、HSA-BCAST では、制御パラメータ N_{th} の値を 0.75 と設定している。この結果から、フィールドの大きさが非常に小さい場合を除き、HCD-BCAST が HSA-BCAST よりも優れた特性を示していることがわかる。フィールドの大きさが 500 [m] × 500 [m] の場合に差が見られないのは、ノードの密度が非常に高い (無線通信可能範囲 50 [m] のノードが 100 台存在する) ために、メッセージ中継確率の制御の効果がほとんど得られないことが原因と考えられる。

4 まとめと今後の課題

本稿では、各ノードが他のノードとの接触時間分布を計測し、計測した接触時間分布を用いて意図的にメッセージ中継を遅延させることにより、メッセージ配送の迅速性を維持しながらメッセージの総中継回数を大幅に減少させることができ

る HCD-BCAST を提案した。シミュレーションにより、HCD-BCAST は、従来手法である HSA-BCAST よりも 10 ~ 40 % 程度少ないメッセージ中継回数で、HSA-BCAST と同程度に迅速なエpidemickブロードキャストを実現できることを示した。

今後の課題としては、より現実的なノードのモビリティモデル、無線通信モデル、トラフィックパターン等を用いた、HCD-BCAST の性能評価が挙げられる。また、数学的解析による HCD-BCAST の迅速性・効率性の評価も重要である。その他にも、メッセージの普及率に応じて、HCD-BCAST の制御パラメータ $p_{success}$ を適応的に制御する手法の考案も有用であろう。HCD-BCAST では、メッセージ中継の成功率を、パラメータ $p_{success}$ によって制御する。メッセージの普及率に応じて、制御パラメータ $p_{success}$ の値を適応的に調整することにより、さらなる性能向上が可能であると考えられる。

文 献

- [1] F. Giudici, E. Pagani, and G. P. Rossi, "Self-adaptive and stateless broadcast in delay and disruption tolerant networks," in *Proceedings of Italian Networking Workshop*, Jan. 2008.
- [2] F. Giudici, E. Pagani, and G. P. Rossi, "Impact of mobility on epidemic broadcast in DTNs," *Wireless and Mobile Networking*, vol. 284, pp. 421–434, Sept. 2008.
- [3] A. Goundan, E. Coe, and C. Raghavendra, "Efficient broadcasting in delay tolerant networks," in *Proceedings of Global Telecommunications Conference (IEEE GLOBECOM '08)*, pp. 523–527, Nov. 2008.
- [4] T. Camp, J. Boleng, and V. Davies, "A survey of mobility models for ad hoc network research," *Wireless Communications and Mobile Computing*, vol. 2, pp. 483–502, July 2002.