

## 移動中継ノードを利用した DTN 環境の構築

## A Delay Tolerant Networking using Mobile Relay Nodes

多氣真之輔† 小坂隆浩‡

ShinnosukeTaki Takahiro Koita

## 1 背景

現代では通信環境が発達し、多くの場所でネットワークに接続することができる。しかし、現在使用されている通信環境は整備にコストがかかり、また災害などで破壊されることも少なくない。例えば大規模災害で電話回線や携帯電話の電波塔、無線 LAN の基地局が破壊されてしまうと災害地域では外部からの通信が行えなくなってしまう。このような地域では救助隊員なども情報を共有することが難しくなる。基地局などのアクセスポイントを使用しない通信として、アドホックネットワークが存在するがどちらも常に接続を確立しておく必要があり、端末の移動などによる通信の断絶に弱く、限られた範囲内でしかネットワークを構築できない。そこで、継続的な通信を確立できない環境でも通信を行う技術として DTN(Delay Tolerant Networking)が広く利用されている。元々は、惑星間通信で使用されていたが、現在では地球上でも通信遅延、断絶に強いネットワークとして利用されている。DTN では、ノードという移動端末がメッセージを保持している。メッセージを持ったノードが別のノードと出会った際に、持っていたメッセージをコピーする。メッセージを受け取ったノードは、また別のノードと出会った際にメッセージをコピーする。ノードが移動しながら、他のノードにコピーを作成していくことで通信インフラの存在しない環境においても遠距離までメッセージを転送することが可能となる。ノードには様々なものが使われており人間をノードとしたものや動物の群れの中の個体を一つのノードとしたものもある。図.1に DTN の概要を示す。

しかし、DTN ではノード自身が別のノードに出会う頻度や回数は未知であり、最終的にメッセージを送信したいノードにメッセージが到達している保証はないため、データのコピーを作成していくという方式をとっている。しかし、多くのメッセージのコピーを作成していくと送信先のノードに届かなかった無駄なメッセージ(フラットティングメッセージ)が問題となる。フラットティングメッセージはノードのストレージを圧迫し続けるため、フラットティングメッセージが増えすぎると通信が不可能になる。DTN においてフラットティングメッセージの削減が重要である。

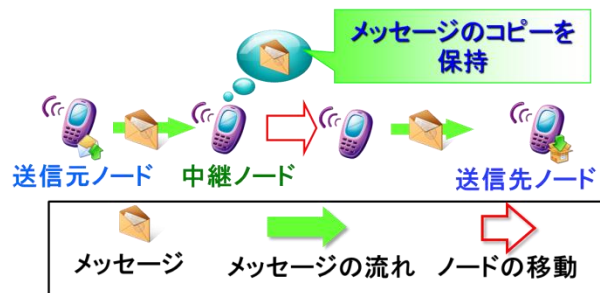


図.1 DTN の概要

## 2 関連研究

DTN におけるフラットティングメッセージの削減には、ノード間のメッセージ転送の規則であるルーティングが重要となる。DTN のほとんどのルーティングで、送信元ノードが送信先ノードにメッセージを送る際に、いくつかのノードを中継しながらメッセージを送信する方式がとられている。ノードは基本的にすべて移動しているため、通信先のノードを決定するルーティングは非常に重要なものとなる。DTN のルーティング[1]としては以下のようなものが挙げられる。

- Direct Routing
- Two-Hop Routing
- Tree-Based Routing
- Epidemic Routing

**Direct Routing** は送信元ノードと送信先ノードの間に中継ノードを挟まず、送信元ノードと送信先ノードが直接通信できるようになるまで通信を行わない方式である。中継ノードが存在しないためメッセージの送信にはノード同士が直接出会うしかない。そのため、ノードの通信範囲・移動範囲が狭く、ノード間の距離が大きい場合、メッセージの送信には非常に時間がかかる。**Two-Hop Routing** は送信元ノードが最初に  $n$  個のコピーを作成し、出会った  $n$  個の中継ノードに送信する。メッセージを受け取った  $n$  個の中継ノードはメッセージをバンドル層に保持しつつ移動し、送信先ノードと出会った場合にメッセージを送信する。中継ノードは他の中継ノードに出会ってもメッセージを送信せず送信先ノードにのみ送信する。**Tree-Based Routing** は基本的には **Two-Hop Routing** と同じだが、中継ノードから別の中継ノードへ

† 同志社大学大学院 理工学研究科 情報工学専攻

‡ 同志社大学 理工学部 情報システムデザイン学科

の通信を許可している。通信可能な回数はツリーの深さを  $x$  として予め決めておき、 $x$  の数だけ中継ノードにコピーの作成を行うことができる。Two-Hop Routing は深さ 1 の Tree-Based Routing とみなすこともできる。Two-Hop Routing および Tree-Based Routing は中継ノードを導入したことで One-Hop Routing に比べ送信先、送信元ノードの距離が大きくても、メッセージが到達しやすくなる。中継ノードにメッセージを送信する数を増やせば増やすほど送信先ノードにメッセージは到達しやすくなる。Epidemic Routing は図2に示すように、ノードが出会ったノード全てにメッセージを転送するルーティング手法である。

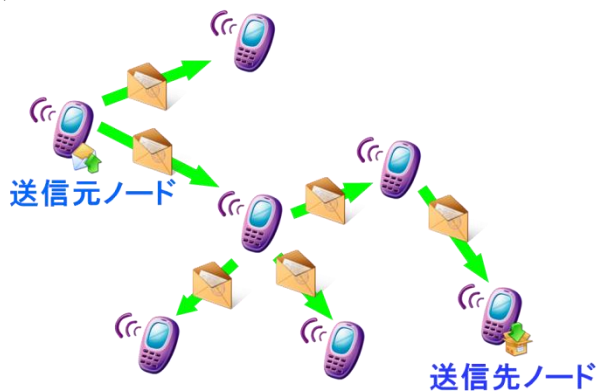


図2 Epidemic Routing

他のルーティング手法と比べ、送信元のノードから送信先のノードにメッセージが到達するまでの時間は短いですが、多くのノードにコピーを作成するためにフラッティングメッセージが増大しやすいう欠点を持つ。フラッティングメッセージ問題の解決には移動履歴に基づく中継転送方式 [2] や Potential-based DTN Routing System [3], セクション移動パターンを利用したフラッティングメッセージの削減 [4] などが提案されている。これらの手法はノードのルーティングを改良したものである。

しかし、ノードのルーティングを改良してもノード間の距離の問題を解決することは出来ない。なぜならノード間の距離が離れていると、そもそもノード自体が出会わないため通信を行うこと自体が出来ないためである。

### 3 研究目的

既存のルーティングを改良した DTN ではノード間の距離の問題を解決できず、メッセージ到達までの時間が大きくなるのが問題となっている。そこノード間の距離が大きい場合でもメッセージ到達時間の低下しない DTN の構築を目的とする。DTN の構築に当たっては到達時間の短縮とフラッティングメッセージの削減を実現する必要がある。

## 4 アプローチ

距離の問題の解決のためには空いた距離を何らかの方法で補う必要がある。そこで、問題解決のために、通常の移動とは異なった移動を行う移動中継ノードという特殊なノードの導入を提案する。移動中継ノードは、ウェイポイントと呼ばれる特定の地点を周回するノードであり、他のノードに比べ広い移動範囲を持つノードである。このノードは、現実ではバスや電車、災害時ならば人員・物資を輸送する車両といったものに当てはめられる。移動中継ノードの導入によってノード間の距離が離れていた場合においても、到達時間の短縮を図ることが可能である。また、移動中継ノードのルーティングを一般のノードと同じ Epidemic Routing ではなく、他の方式に変更することも可能である。例えば、移動中継ノードのルーティングを送信先ノード以外には送信しない Tow-Hop Routing にすればフラッティングメッセージを削減することが可能である。

## 5 シミュレーションと評価

既存の DTN に移動中継ノードを導入し、フラッティングメッセージおよびメッセージ到達時間を評価する。シミュレーションモデルは Epidemic Routing を基本としセクション移動パターンと転送不許可ノードリストを利用したルーティング [4] による改良とライフタイム [5] による改良を加えたルーティングを使用する。このモデルに提案手法に必要な移動中継ノードを加えた形でシミュレーションを行う。シミュレーションは  $1\text{km}^2$  に救助隊員などが 50 人派遣され情報の伝達が必要な場合を想定した。シミュレーションモデルの基本情報は以下表 1 の通りである。また、シミュレーションの概要を図 3 に示す。

表 1 シミュレーションモデル

エリアの大きさ[m]	1000×1000
ノードの総数	50
ノードの移動速度[m/s]	2.6
通信範囲[m]	100

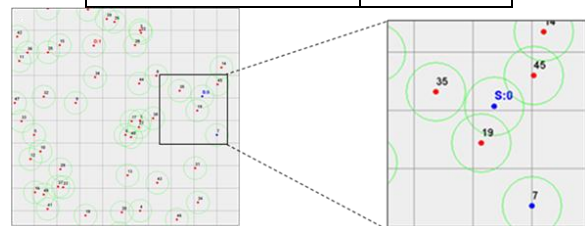


図3 シミュレーション概要

図3中の点がノードである。ノードの周囲の円はノードの通信範囲であり、他のノードの通信範囲と接触すると通信が行われる。メッセージを持っていないノードは赤点、メッセージをもっているノードは青点になっており、判別することが可能である。50個のノードにはそれぞれ0から49までのユニークなIDが振られておりそれぞれ識別が可能となっている。

移動中継ノードは以下の3種類を用意した。

- ・移動パターン1: 6つのノードが直線状に配置された2点のウェイポイントを往復する。ウェイポイントはノードごとに異なる。
- ・移動パターン2: 6つのノードが9点のウェイポイントを巡回するウェイポイントパターン2。ウェイポイントは全てのノードで共通のものを使用する。

なお、中継ノード以外のノードはHomesick Levy Walk[6]に従って移動する。

移動中継ノード実装の評価は以下の2つの実験を行う。

実験1: 移動中継ノードを実装した場合としない場合の比較

実験2: 移動中継ノードのルーティングを変更した場合における比較

実験1では以下のルーティングを比較する。

- ・移動中継ノードを実装しない既存手法と既存方式
- ・移動パターン1を導入した通信方式1
- ・移動パターン2を導入した通信方式2

各通信方式の移動中継ノードの数と移動範囲を表2に示す。

表2 各通信方式の移動中継ノード

	既存手法	通信方式1	通信方式2
移動中継ノード数	なし	6個	6個
移動中継ノードの移動範囲	なし	狭い	広い

実験2では通信方式2において移動中継ノードのルーティングをTow-Hop Routingに改良した通信方式3を作成した。実験2では実験1の3種の方式に通信方式3を加えた4種のルーティングを比較する。

## 6 結果

実験1の結果を図4、図5に示す。

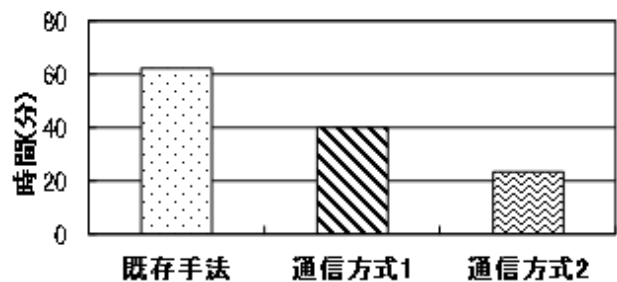


図4 実験1 メッセージ到達時間

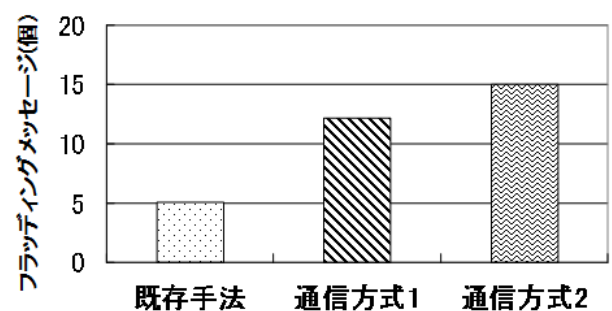


図5 実験2 フラッディングメッセージ

図4が示すように、移動中継ノードの導入によってメッセージ到達時間は通信方式1で35%、通信方式2で62%短縮された。フラッディングメッセージは通信方式1で140%、通信方式2で195%増加する結果となった。また通信方式2の方が1よりもメッセージ到達時間が短縮されている。逆に図5のようにフラッディングメッセージは増加した。こちらは通信方式2のほうがよりフラッディングメッセージが増加している。

既存手法では通信の制限が行われており、今回使用したHomesick Levy Walkが長距離の移動を行いにくい方式である。そのため、送信元ノードと送信先ノードの距離が離れているとメッセージが到達しにくい問題があった。しかし、提案手法によって移動中継ノードがメッセージを所持したまま広い範囲をカバーするようになり、メッセージ到達時間が短くなった。通信方式1と通信方式2では通信方式2のほうが1つのノードでカバーするエリアが広いいため、より短い時間でメッセージが到達したものである。

一方でフラッディングメッセージ数は既存手法と比較して大きく増加している。通信方式2では移動中継ノードによってより広い範囲をカバーするようになったものの、その分余計なノードにまでメッセージを送信してしまっているためである。移動中継ノードが広い範囲をカバーするということは、一般の中継ノードよりもより多

くのノードに出会うと言うことである。そのため、メッセージを送信するノードが増加するのは必然である。通信方式1と通信方式2では前述の通り通信方式2のほうが1ノードのカバー範囲が広いためより多くのノードと通信を行ってしまい、結果的にフラッディングメッセージの増加につながったものであると考えられる。実験2の結果を図6、図7に示す。

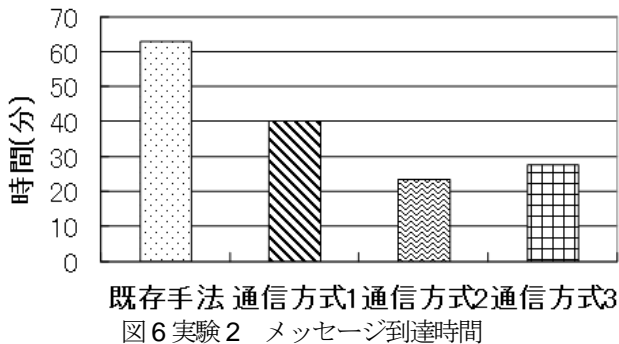


図6 実験2 メッセージ到達時間

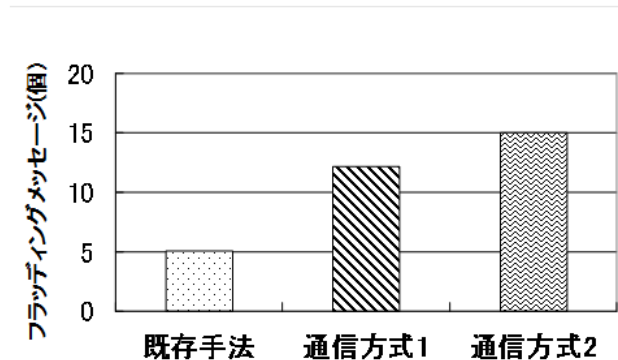


図7 実験2 フラッディングメッセージ

実験1では移動中継ノードが広範囲を移動する反面余計な中継ノードにメッセージを送信するという点があった。通信方式3ではフラッディングメッセージの削減には成功したものの到達時間はやや伸びてしまうという結果となった。到達時間が増加した理由としては通信方式2では送信先ノード以外にも送信していたが、中継移動ノードからメッセージを送信された一般の中継ノードが送信先ノードと接触したことがあったためである。通信方式3では移動中継ノードから一般の中継ノードにメッセージを送信することは無いため、送信しない分のフラッディングメッセージは削減できたが中継ノードに送信していれば、うまくメッセージが到達できた、ということもなくなっている。しかしながら、通信方式1と比較した際にフラッディングメッセージ、到達時間の両面において性能が向上していること、および通信方式2と比較した際におけるフラッディングメッセージが削減されていることは特筆すべき事象である。これは移動中継ノードのルーティングを改良することで、到達時間ある程度削減しつつ、フラッディングメッセージの増加を抑制できている。

## 7 まとめ

通信インフラが普及しても通信インフラがなくなり通信が出来なくなったときのためにDTNが考案されている。DTNの距離の問題を解決するために移動中継ノードを導入し、フラッディングメッセージの削減とメッセージ到達時間の短縮を図った。シミュレーション実験の結果、フラッディングメッセージの増加を抑えつつ、到達時間の削減に成功した。また、移動中継ノードを導入するに当たってはウェイポイントやルーティングの選定によってフラッディングメッセージや到達時間をある程度制御することが可能であることを示した。多少のフラッディングは許容するが到達時間を短縮したい場合や、その逆の場合など状況に応じて移動中継ノードを調整することで汎用性の高いDTNが構築可能である。

## 参考文献

- [1]Evan P.C. Jones, Paul A.S. Ward, : Routing Strategies for Delay-Tolerant Networks , 2006.
- [2] 小野司郎, 藤原明広, 巳波弘佳 : 劣通信環境におけるノードの移動特性を考慮した中継転送方式, 電子情報通信学会技術研究報告 IN, 情報ネットワーク 110(449), pp.145-150, 2011.
- [3] 下忠健一 : Potential-based DTN Routing System の評価と改善, 東京大学大学院情報理工学系研究科電子情報学専攻修士論文, 2010.
- [4] 新庄泰太 : DTNにおけるフラッディングメッセージ抑制のためのルーティング手法, 同志社大学理工学部情報システムデザイン学科卒業論文, 2011.
- [5] S.Farrell, V.Cahill, D.Geraghty, I.Humphreys, and P.McDonald : When TCP breaks: Delay and disruption tolerant networking, IEEE Internet Comput., vol.10, no.4, pp.72-78 , 2006.
- [6] 藤原明広, 巳波弘佳 : Bluetooth&Wi-Fi モバイル無線通信実験とすれ違い頻度分布の乗乗則 : 一期一会の影響, 電子情報通信学会技術研究報告 IN, 情報ネットワーク 110(449), pp.145-150, 2011.