

社会ネットワーク特徴量を用いた効率的なメッセージ転送を行うDTNルーティングアルゴリズム

五十嵐友輔[†] 宮崎敏明[†]

[†]会津大学大学院コンピュータ理工学部研究科

1 はじめに

Delay Tolerant Network (DTN)は、固定通信インフラを用いずにモバイル端末同士の相互通信によりメッセージ転送を実現するネットワーク通信手法である。DTNでよく使用されている確率的メッセージ転送手法では、転送するメッセージの選択や冗長な複製メッセージが引き起こすモバイル端末のバッファオーバーフローなどが、十分考慮されていない。これにより、メッセージが送信元から宛先へ到達する可能性が著しく低下する。本稿では、人がモバイル端末を携帯する状況を想定し、DTN全体を社会ネットワークと捉える。その上で、人が相互に接触する機会をcontactと定義し、そのcontactから算出される2つの特徴量、コミュニティ(Community)と中心性(Centrality)を用いたルーティングアルゴリズムを提案する。また、既存ルーティングアルゴリズムと性能比較することで、提案手法の優位性を示す。

2 提案手法

ここでは、既存DTNルーティングアルゴリズムが抱える問題、すなわち、冗長な複製メッセージの生成による問題とバッファサイズが制限されることによるメッセージが宛先まで届く可能性が低くなる問題の2つに焦点を当て、これらの問題を解決するDTNルーティングアルゴリズムを提案する。本提案手法では、社会ネットワークの特徴量であるコミュニティと中心性を使用する。これらの特徴量を使用することで、転送するメッセージの適切な選択を可能とし、冗長な複製メッセージを低減できる。

2.1 システム概要

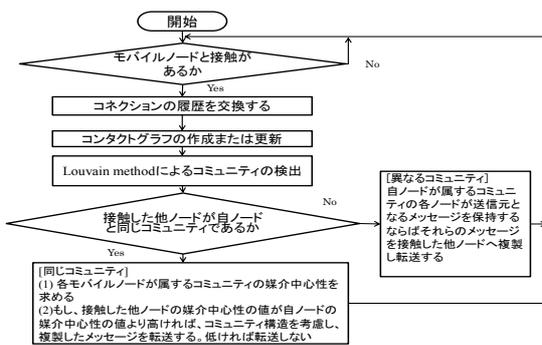


図 1. 提案手法のフローチャート

図 1 に提案 DTN ルーティングアルゴリズムのフローチャートを示す。本アルゴリズムはモバイルノードが接触(contact)した際、各モバイルノード上で実行される。始めにモバイルノードは接続履歴(connection history)を交換する。接続履歴は、(node id, time)のリスト構造で管理されている。node id は接触したモバイルノードの識別名である。time は当該モバイルノードと過去に接触した回数である。本接続履歴を交換することで、接触したモバイルノードは互いの接続履歴を知ることが可能に

DTN Routing Algorithm Performing Effective Message Transfer Using Social Network Parameters

[†]Yusuke Igarashi, [†]Toshiaki Miyazaki

[†]Graduate School of Computer Science and Engineering, The University of Aizu

なる。次に、取得した接続履歴を用いて各モバイルノードはコンタクトグラフを作成する。コンタクトグラフは、モバイルノード相互の接触頻度を表現したものである。詳細は 2.2 で述べる。三番目の工程として、Louvain method[4]を使用し、コンタクトグラフからコミュニティを検出する。詳細は、2.3 で述べる。続いて、検出したコミュニティを用いて、接触したノードと自身のノードが同じコミュニティであるか否かを判断し、属するコミュニティに従って通信するメッセージの選択やメッセージ転送の可否を判断する。もし、同じコミュニティの場合は、2.4 で詳しく述べる中心性の特徴量を用い、メッセージ転送の可否を判断した後、転送するメッセージを選択する。一方、異なるコミュニティの場合は、コミュニティに属するモバイルノードが送信元となるメッセージを接触したモバイルノードに転送する。以上の工程をモバイルノードが接触する度に実行する。

2.2 コンタクトグラフ

コンタクトグラフ $G = (V, E)$ は、接続履歴(connection history)を用いて作成する。図 2 にコンタクトグラフの例を示す。コンタクトグラフは無向グラフであり、頂点 $v \in V$ はモバイルノードを表す。また、辺 $e \in E$ は、モバイルノードが持つ接続履歴で重み付けする。もしあるモバイルノード・ペアが頻繁に接触すると、それらを結ぶ辺の重みは大きくなる。図 2 の例では、a と b の接続履歴は 8 回であるが、b と c の接続は、過去に 1 回のみであることを示している。本コンタクトグラフを用いて、後述するコミュニティと中心性の特徴量を計算する。

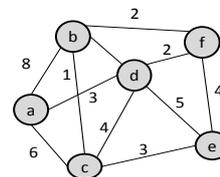


図 2. コンタクトグラフの例

2.3 コミュニティ(Community)

コミュニティは、モバイルノードが互いに接触した関係性を集合として定義したものである。本手法ではモジュラリティ(Modularity)と呼ばれるコミュニティの定義を採用する。モジュラリティを求めるアルゴリズムとして Louvain method[4]を採用した。具体的には、下記の手順でコミュニティを検出する。

- (1) コンタクトグラフ $G = (V, E)$ から各頂点をそれぞれ一つのコミュニティとして分割する。一つのコミュニティ $C \subseteq G$ に属する頂点 $i \in C$ について隣接する頂点 $j \in C'$ を対象に、式 (1) により ΔQ を算出する。 ΔQ が最大となったコミュニティ C と頂点 j が属するコミュニティ C' のペアを統合し、新たなコミュニティ C とする。
- (2) 統合した後、新たなコミュニティ C に、上記処理 (1) を実行する。統合前の ΔQ と比較し、これ以上 ΔQ の値が大きくなると判断した場合、コミュニティ C は一つのコミュニティとして検出される。
- (3) コンタクトグラフ内の他のコミュニティにも、同様に上記処理 (1) (2) を実行する。

以上の過程をコンタクトグラフ内に存在するすべてのコミュニティに実行することで、コンタクトグラフからコミュニティを分割することができる。

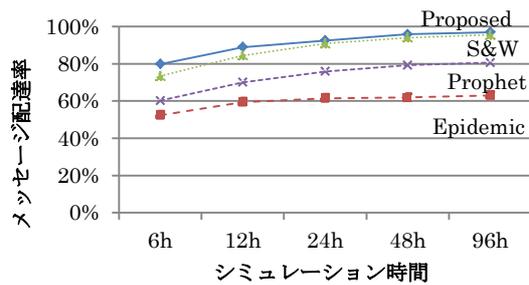


図 3. シミュレーション時間変更時のメッセージ配達率の変化

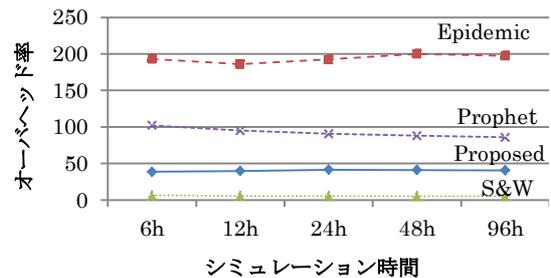


図 4. シミュレーション時間変更時のオーバーヘッド率の変化

$$\Delta Q = \left[\frac{\sum_{in} + \sum_{j, in}}{2m} - \left(\frac{\sum_{tot} + k_j}{2m} \right)^2 \right] - \left[\frac{\sum_{in}}{2m} - \left(\frac{\sum_{tot}}{2m} \right)^2 - \left(\frac{k_j}{2m} \right)^2 \right] \quad (1)$$

ここで、 \sum_{in} はコミュニティ内の辺の数、 \sum_{tot} はコミュニティ内に存在する各頂点へコミュニティ外から入射する辺の数、 $\sum_{j, in}$ は頂点 j へ入射する辺の数の和、 k_j は頂点 j からコミュニティへ入射する辺の数、 m はコンタクトグラフ内のすべての辺の数を表す。

2.4 中心性(Centrality)

中心性はコンタクトグラフ内のどのノードが中心であるか知りたいときに用いられ、それを数値化して表したものである。中心性の定義は、複数存在するが、ここでは、媒介中心性(betweenness centrality)を考える。媒介中心性は、通信ネットワークのフロー制御に良く用いられる。媒介中心性は式(2)で定義される。

$$C_B(v) = \sum_{s, t \in V} \frac{\sigma(s, t|v)}{\sigma(s, t)} \quad (2)$$

ここで、 $\sigma(s, t)$ は、ある頂点 $s \in V$ からある頂点 $t \in V$ までの最短経路の数、 $\sigma(s, t|v)$ は s から t までの最短経路の中で特に頂点 $v \in V$ を通過する経路の数を表す。

3 評価

表 1. シミュレーションパラメータ

The number of mobile nodes	80
Buffer size [Byte]	10M
Message size [Byte]	100K
Transmission speed [Bps]	250K
Transmission range [m]	10
Mobility speed of a node [km/h]	1.8~5.4
TTL (Time To Live)	300
Simulation time [h]	6, 12, 24, 48, 96

提案手法を、シミュレータ ONE(Opportunistic Network Environment)[5]を用いて評価した。ONEでは幾何学地図を用いて、モバイルノードの動きを制限することができる。そのため、従来研究の評価で良く用いられてきたモバイルノードのランダム移動ではなく、現実の道路に沿った移動を仮定した、より現実的な評価を行うことができる。使用したパラメータの詳細値は表 1 に示した通りである。ここでは、モバイルノードのパックサイズとシミュレーション時間に着目した評価を行った。比較のため、同条件で、3つの既存 DTN ルーティングアルゴリズム Epidemic[1], Spray and Wait (S&W)[2], Prophet[3]も評価した。評価には、下記の 2 つ値を用いた。

- **メッセージ配達率**：生成されたメッセージが宛先まで届いた割合を表す。本値が高いほど性能が良い。
- **オーバーヘッド率**：定義は下式の通り。ネットワーク内にどの程度冗長メッセージが存在するかを表す。本値が低いほどオーバーヘッドが小さいことを表す。

$$\text{Overhead ratio} = \frac{\text{Relayed messages} - \text{Delivered messages}}{\text{Delivered messages}}$$

ここで、*Relayed messages* はシミュレーションが終了するまでにモバイルノード間で複製されたメッセージの転送が行なわれた総数である。*Delivered messages* は

Relayed messages の中で宛先まで届いたメッセージの総数である。

3.1 シミュレーション時間の影響

本評価では、シミュレーション時間を 6 時間から 96 時間まで変化させたとき、メッセージ配達率とオーバーヘッド率の変化を見た。図 3 は、シミュレーション時間を変更時のメッセージ配達率の変化を表す。本提案手法はどのシミュレーション時間においても既存の手法より高い値を示している。シミュレーション時間が 96 時間の際、生成した全てのメッセージの 97% は宛先まで到達していることがわかる。一方、Epidemic は 63% であり、本提案手法の方が約 34% 高い値を示している。図 4 は、シミュレーション時間変更時のオーバーヘッド率の変化をプロットしたものである。本提案手法では、シミュレーション時間に関係なく、40 前後の値を示しており、Spray and Wait(S&W)の次にオーバーヘッドが低いことが分かる。シミュレーション時間が 96 時間の際、Epidemic より 79.5%、Prophet より 52.5% 冗長なメッセージを低減している。また、Spray and Wait は、図 3 に示したようにメッセージ配達率の点では、本提案手法より評価が低い。本手法は、メッセージ配達率・オーバーヘッド率の両方に対してバランス良く寄与する手法であると言える。

4 終わりに

本稿では、社会ネットワークの特徴量を応用し、効率的なメッセージ転送制御を実現する Delay Tolerant Network(DTN)ルーティングアルゴリズムを提案した。本提案手法は、既存 DTN ルーティングアルゴリズムと比較して、冗長メッセージの複製を低く抑えつつ、高いメッセージ配達率を実現可能であることをシミュレーション評価により示した。

謝辞 本研究の一部は、総合科学技術・イノベーション会議の SIP (戦略的イノベーション創造プログラム) 「レジリエントな防災・減災機能の強化」(管理法人：JST) によって実施されました。

参考文献

- [1] A. Vahdat and D. Becker, "Epidemic routing for partially-connected ad hoc networks," Duke Tech. Rep. CS-2006-06, July 2006.
- [2] T. Spyropoulos, K. Psounis and C. S. Raghavendra, "Spray and Wait: an efficient routing scheme for intermittently connected mobile networks," In Proceedings of the 2005 ACM SIGCOMM workshop on Delay-Tolerant networking(WDTN'05), pp. 252-259, USA, 2005.
- [3] L. Pelusi, A. Passarella and M. Conti, "Opportunistic networking: data forwarding in disconnected mobile ad hoc networks," IEEE Communications Magazine, vol. 44, no. 11, pp. 131-141, November 2006.
- [4] V. D. Blondel, J. Guillaume, R. Lambiotte and E. Lefebvre, "Fast unfolding of communities in large networks," Journal of Statistical Mechanics: Theory and Experiment, Issue 10, pp. 10008-10012, October 2008.
- [5] A. Kermen, J. Ott and T. Krkkinen, "The ONE Simulator for DTN Protocol Evaluation," The 2nd International Conference On Simulation Tools and Techniques (SIMTools'09), 2009.