

# 無線アドホックネットワークにおける位置情報共有型情報転送方式

小林 桂<sup>\*1</sup>, 戸谷 洋介<sup>\*2</sup>, 宇津 圭祐<sup>\*3</sup>, 石井 啓之<sup>\*4</sup>

## Location Data Sharing Information Transfer Method over Mobile Ad-hoc Network

by

Kei KOBAYASHI<sup>\*1</sup>, Yosuke TOTANI<sup>\*2</sup>, Keisuke UTSU<sup>\*3</sup> and Hiroshi ISHII<sup>\*4</sup>

(received on Sep.17, 2014 & accepted on Nov.26, 2014)

### Abstract

A Location aided routing in Ad-hoc Network is one of the effective routing methods for information transfer in the disaster situation that IP address are not available. This method requires the GPS (Global Positioning System) to obtain location information. However, nodes cannot necessarily obtain their own location information in the disaster situations because the GPS function of mobile devices are usually fully supported by infrastructure (network provider) and may not work in such situation. In addition, there may be many nodes that do not have GPS devices. Hence, the number of nodes are limited that can participate in above mentioned MANET (Mobile Ad-hoc Network) based on location aided routing. In this paper, we propose a method enabling GPS unavailable nodes to join the network by supplying them with location data from GPS available nodes and sharing those data among more nodes. We make evaluation of the method by use of network simulation and show its effectiveness.

**Keywords:** Ad-hoc network, Greedy forwarding, Global positioning system

**キーワード:** アドホックネットワーク、貪欲前進法、全地球測位網

## 1. はじめに

災害時、インフラが使用不能となった被災地において、ノートPCやスマートホン等の携帯可能な端末（ノード）を用いて、インフラに依存しない自律分散的なネットワークを構築することを想定した技術としてMANET (Mobile Ad-hoc NETwork) が研究されている。MANETの中には、各ノードが具備するGPSを用いて得た位置情報を利用することで目的地までの経路をアドレスに頼らずに発見し、効率的な通信を行う手法 (LAR: Location Aided Routing) を用いるものが存在する<sup>1)</sup>。これをここでは位置情報利用型MANETと呼ぶことにする。位置情報型MANETは、すべてのノードがGPS等を用いて自らの位置情報を取得できることが前提となっている。ところが、一般的な端末上で動作するGPSは、測位衛星によるサポートによって機能するものと、移動通信インフラのサポートにより機能するものがあり、後者は災害時に移動通信インフラが損壊した場合に位置情報の取得が不可能となる可能性がある。更にGPSなどの位置情報測位システムを具備しないノードも多く存在する。つまり、実際には全てのノードが位置情報を取得できるとは限らず、位置情報が取得可能な限られたノードのみでネットワークを構成することとなり、できるだけ多くの人々で情報を共有すべき災害時には十分に機能しないものになってしまう。

本稿においては、こういった状況において、位置情報を取得可能なノードが、位置情報を取得できな

いノードに対して自らの位置情報を提供し、その提供された情報をもとに、位置情報を取得できないノードが自らの位置情報を推測し、その位置情報を使って位置情報利用型MANETに参加させる手法を提案し、その評価を行う。本論文は以下のように構成される。2章は本論文に関係する関連研究について述べ、3章では提案手法の詳細を述べ、4章では提案手法を評価してその有効性を述べ、5章で本論文をまとめる。

## 2. 関連研究

この章では、関連研究として、MANETの関連手法である Simple flooding 及び位置情報利用型 MANET の手法のひとつである Greedy forwarding の二つの手法についての概要を述べる。

### 2.1 Simple flooding<sup>2)</sup>

MANET で用いられる情報伝達手法の中で、最もシンプルな手法の一つである。データ送信を行うノードは、データパケットをブロードキャストし、そのパケットを受け取った近傍ノードは、同じパケットを再ブロードキャストする。ネットワークエリア内に情報を拡散するという用途を想定しているため、転送を行うノードを選ばず、全てのノードがパケットを再送信する。そのため、ネットワーク上の負荷が増大し、結果としてパケットの衝突・損失を招く、特定方向への通信ができない等といったデメリットがある。

### 2.2 Greedy forwarding

位置情報利用型 MANET の代表的な手法のひとつで

\*1 情報通信学研究科 情報通信学専攻 修士課程  
\*2 情報通信学部 通信ネットワーク工学科  
\*3 情報通信学部 通信ネットワーク工学科 助教  
\*4 情報通信学部 通信ネットワーク工学科 教授

ある。各ノード間で、HELLO パケットによる位置情報とノード ID の交換を行うことで、互いの位置情報を把握し、効率的な通信を実現する手法である<sup>3)</sup>。データパケット転送のための経路を決定する時には、送信ノードは近隣ノードから受信した位置情報に基づき、より目的ノードに近いノードのノード ID を次ホップノードとして指定する。これを繰り返すことで、できるだけ短い経路で目的地に到達することを目的としている。ただし、既述した様に、ネットワークに参加できるノードは、自らの位置情報を取得できるという前提の元に成り立つ手法である。

### 3. 提案手法

位置情報利用型 MANET には位置情報を自ら取得できないノードは参加できないという欠点がある。筆者等は、このようなノードに対して、位置情報を取得可能なノードが位置情報の共有を行うことで、位置情報利用型 MANET に参加させる手法を、位置情報共有型情報伝達手法として提案した<sup>4)</sup>。以下で、その概要を説明する。なお、以下ではノードを次の様に呼び分ける。

#### 【位置情報取得可否によるノードの呼び分け】

- ・ **LS-node (Location\_Server\_node)**  
GPS 等を具備しており、位置情報を自ら計測し、取得できるノード
- ・ **NL-node (Non\_location\_node)**  
GPS 等を具備しておらず、位置情報を自ら取得できないノード

提案手法は以下の 2 つのフェーズから構成されている。

- (1) 準備フェーズ  
各ノードの、ネットワークへの参加判断及びデータパケットの送信準備を行うフェーズ
- (2) 発信フェーズ  
実際に、目的ノードに対してデータパケットの送信を行うフェーズ

以下の 3.1 節および 3.2 節において、上記 2 つのフェーズそれぞれについての詳細を説明する。

#### 3.1 準備フェーズ

このフェーズにおいて、各ノードは、ネットワークに参加するための可否を判断する自己評価と、HELLO パケットを用いた情報交換（ノード ID、位置情報、自己評価値）を行う。ここで行われる自己評価は、ネットワーク参加の判断と、次ホップノード選択時の判断に用いられ、評価項目はノードの位置情報の正確さ及び移動速度の 2 項目とした。以下に手順を述べる。

#### i. 位置情報の取得

各ノードは位置情報の取得を行う。LS ノードの場合は自らの具備する GPS を用いて取得する。NL ノードの場合は、周囲の近傍ノードから HELLO パケットを受信し、自らの位置情報の推測を試みる。

NL ノードの位置情報の推測は、HELLO パケットによって得た複数の近傍ノードのそれぞれ座標を中心とした、転送エリアを模した円の交点と、その重複面積の大きさ ( $S^i$ ) によって推定・評価される。この推定及び評価のイメージを Fig.1 に示す。

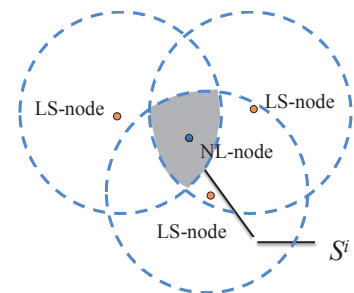


Fig.1 Image of estimation of the position

Fig.1 の場合、中央の NL ノード  $i$  は、近傍の 3 つの LS ノードからの HELLO パケットにより位置情報を受信し、それぞれの座標の中心からの伝送範囲を想定した円（ただし半径  $r=250\text{m}$ ）を描き、それらの円の交点を結ぶ三角形の重心を自らの座標として扱う。

しかし、上記の様な手法で円の重複から位置情報を推測しているため、そのノードの真の座標との推定誤差が生じる。そこで、重複面積の大きさ  $S^i$  を、NL ノードが推測した座標の正確さを評価する指標として用いることにする。Fig.1 の 3 つの LS ノードからの HELLO パケットを受信できるということは、この NL ノード  $i$  は重複面積の外には存在し得ず、重複面積が小さいほど座標の正確さが増すと考えられる。したがって  $S^i$  の値が小さいほど、推定された座標は正確であると評価できる。なお LS ノードは、自らで正確な位置情報を取得できるため、位置情報の評価は最良値を取る。

#### ii. ノード移動速度 $m^i$ の算出

各ノードは、自身の位置情報を複数回取得し（LS ノードは自らの測定により、NL ノードは周辺 LS ノードからの位置情報を元にした推定により）、その時間的差分と位置的差分から自らの移動速度を秒速で算出する。従来手法である Greedy forwarding においてはノード移動についての考慮はなされていないが、提案手法ではこれを考慮している点が新しい。

iii. ノード評価値  $E_t^i$  の算出

各ノードは、上記の  $S^i$  と  $m^i$  に基づいて、ノード評価値  $E_t^i$  を算出する。評価値  $E_t^i$  を Table 1 に示す。評価値  $E_t^i$  は  $S^i$  と  $m^i$  が小さいほど高い値を持つようにしている。LS ノードの場合、直接位置情報を知ることができるため、Table 1 では重複面積が最小で 0 を超える場合の値を用いることにする。

Table 1 The values of  $E_t^i$

$S^i \setminus m^i$	$0 < m^i \leq 1$	$1 < m^i \leq 5$	$5 < m^i \leq 10$
$S^i = 0$	0	0	0
$0 < S^i \leq \pi r^2/4$	9	7	5
$\pi r^2/4 < S^i \leq \pi r^2/2$	8	6	4
$\pi r^2/2 < S^i \leq \pi r^2$	7	5	3
$\pi r^2 \leq S^i$	0	0	0

$r$ : the radius of the radio coverage of each node

iv. HELLO パケットによる情報発信

上記で得た位置情報とノードの評価値  $E_t^i$  を、HELLO パケットを用いて近傍ノードに告知する。

v. LS ノードとして扱うことの判定

提案手法では、上記のノード評価において、ノード評価値が高いノードを LS ノードとして扱う（自らの位置情報を使って、他の NL ノードが位置推定をすることを許可する）ことを想定している。この処理 v は、NL ノードのみが行う処理で、自らが LS ノードとしてふるまうことができるかどうかの評価を行う。すなわち、NL ノードが LS ノードとしてふるまえる条件は、GPS の誤差と同等となる、 $S^i$  が  $\pi r^2/25$  (ただし  $r = 250$ ) より小さい場合とした。

準備フェーズにおいて各ノードは、上記の i~v の処理を数秒間隔(本稿においては、この間隔は 2 秒)で繰り返し、自身がネットワークに参加可能か、あるいは LS ノードとして扱えるかなどの判断を行う。

3.2 発信フェーズ

ノードがデータパケットを発信するとき(自身がデータパケットを送信する際や他ノードからの転送パケットを中継する際に)、ノードは発信フェーズへと移行する。データパケットは、準備フェーズで算出したノード評価値と目的ノードとの距離 ( $d^i$ ) に基づいて算出される転送ノード評価値  $E^i$  によって、最適なノードを選択する。以下にその詳細を記す。

i. 転送ノード評価値  $E^i$  の算出

転送を行うノードは、近傍ノードとの HELLO パケット交換によって得ている各近傍ノードのノード評価値と座標を元に、転送評価値  $E^i$  を算出する。

評価値は以下に示す通りに算出する。目的ノードとの距離  $d^i$  は Fig.2 に示す通り、目的ノードを中心として自ノードの転送範囲を分割し、評価対象のノードがどのエリアに属するかで 10 段階で評価する。

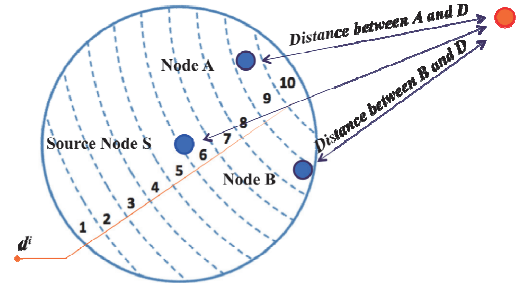


Fig.2 Evaluation value of  $d^i$

転送評価値  $E^i$  の算出は、ノード評価値  $E_t^i$  と上記の目的ノードとの距離による評価  $d^i$  の加算により算出する。以下に転送評価  $E^i$  の評価式を記す。

【転送評価式】

$$E^i = E_t^i + d^i$$

上記の手法に基づくノード評価を、HELLO パケットを受信しているすべてのノードに対して算出する。

ii.  $E^i$  による次ホップノードの選択

i. で算出した各ノードの評価値のうち、最も良い評価値を持つノードを次ホップノードとして選択する。

iii. データパケットの送信

選択したノードのノード ID を載せたパケットを近傍ノードに対してブロードキャストする。

以上の処理を目的ノードに到達するまで繰り返す。

4. 評価

以上で説明した手法の評価を、ネットワークシミュレータを用いて行った。比較対象は従来手法である Greedy forwarding とした。評価項目を以下に示す。

i. ノードのネットワークへの参加率

本手法の適用により、ネットワークに参加するノード数がどれだけ増加したかを評価する。評価は、ネットワーク内の初期ノード数が 15, 30, 45, 60 の時とした。

ii. LS ノードとして扱えた NL ノード比率

ネットワークに参加可能となった NL ノードのうち、LS ノードと見なせるノード数を示す。

## iii. パケット到達率

ネットワークエリア内の所定の位置に定められた、始点ノード(座標 0,0)と目的ノード(座標 1000,1000)間で通信を行い、パケットが到達に成功する確率を、従来手法と比較して評価する。

## iv. 到達時平均ホップ数

iiiで、到達した際に要したホップ数の平均を示し、従来手法と比較して評価する。

提案手法を評価する際に用いたシミュレータのシミュレーション条件を以下の Table. 2 に示す。

Table 2 Simulation conditions

Configuration	
Simulated area	1000×1000m
Setup of nodes	
Coverage	250m
Number of LS-nodes	1~100
Moving velocity	1 to 10 [m/s] (Random way point)
The participating conditions to a network	
Qualification to participate	$E_i^i \neq 0$
Threshold to be LS-node	$0 < s^i \leq \pi r^2/25$

シミュレーションの中で、始点ノードは、ノードマップに変更が発生する毎に、目的ノードに向けたデータパケットの送信を試みる。ノードマップの変更は 0.2 秒間隔で行われる。

## 4.1 評価結果

## i. ノードのネットワークへの参加率

Fig. 3 は、本手法の適用によってネットワークへの参加が可能となったノードの数を示している。縦軸が、全てのノードのうち、ネットワークに参加可能と判断されたノード数の比率を表し、横軸はシミュレーション時間を示している。

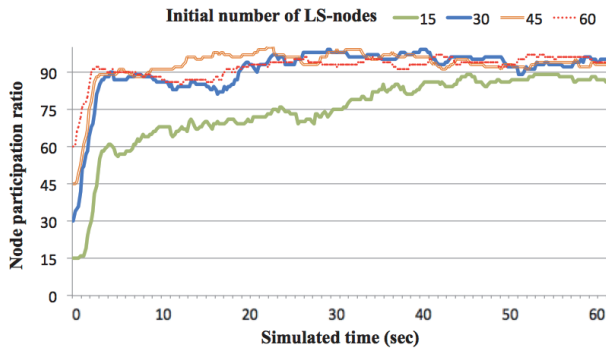


Fig.3 Node participation ratio

Fig. 3 では、時間が経過するに従い、参加可能となるノード数が増えていき、最終的に 80%~90%以上のノードが参加可能となる状態を維持できることがわかる。この結果から、本手法

は、ネットワークに参加可能となるノード数を増加させ、その状態を維持する効果があることがわかる。

## ii. LS ノードとして扱えた NL ノード比率

Fig. 4 は、初期ノード比率 15, 30, 45 それぞれの条件において、ネットワークへ参加可能となったノードのうち LS ノードとしても扱える評価値を持つノード数を示している。縦軸が、総ノード数 100 中の、LS ノードとして扱うことが出来た NL ノード数、横軸はシミュレーション時間である。

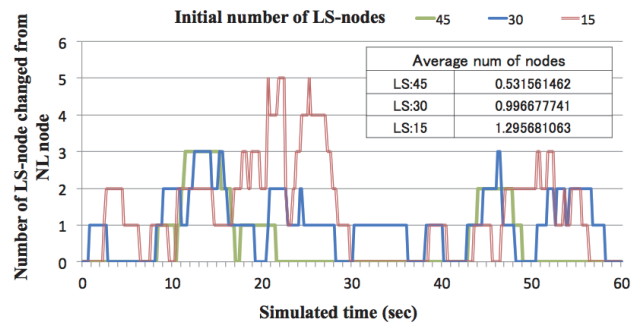


Fig.4 Number of nodes that became to be LS-node

結果から、少数ではあるものの、LS として扱えるノードが確認できる。また、平均値から初期 LS ノード数が少ないほど、LS ノードとして扱える NL ノード数が増加することがわかる。

## iii. パケット到達率

Fig. 5 は、本手法を適用した際の到達率を、従来手法と比べて評価したものである。縦軸が、到達率を示し、横軸はネットワークエリア内の総ノード数 100 中の LS ノードの初期値を示している。比較は、提案手法で、準備フェーズの処理 v (NL ノードの LS 化) を適用した場合と適用しない場合、そして従来手法の Greedy forwarding の 3 つを比較している。

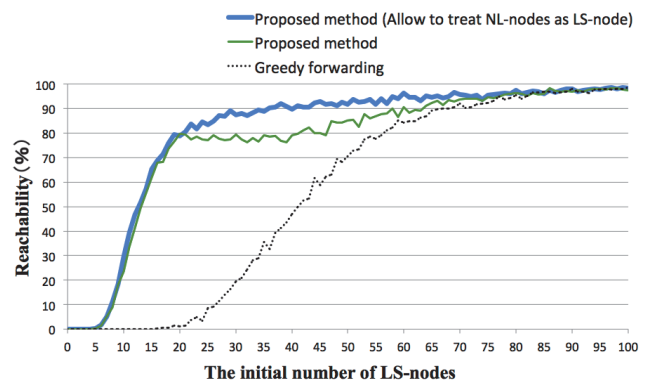


Fig.5 Packet reachability

## 5. まとめ

結果から、提案手法の適用によって、従来手法と比較して到達率が大きく上昇することがわかる。最も有効性が高いのは、初期LSノード比率が20%のときで、非適用時の0.1%に対して、適用時は80%近い到達率を実現している。また、NLノードのLSの化を許容することでさらに到達率が向上させることを示している。

### iv. 到達時平均ホップ数

Fig.6は、データパッケージが到達に成功した際にかかるホップ数を評価したものである。縦軸がホップ数を、横軸が総ノード数100中のLSノード数初期値を示している。

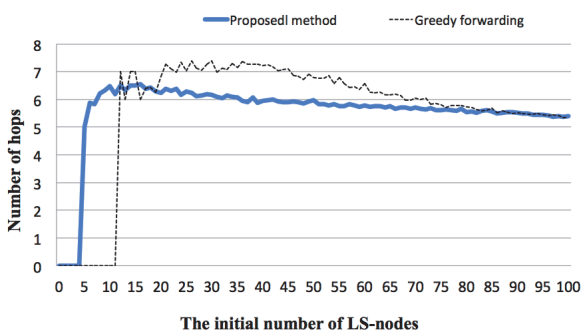


Fig.6 Average number of hops

結果から、提案手法の適用により平均で最大1ホップ程度のホップ数削減を実現していることがわかる。

また、ネットワークの時間的推移を、ホップ数の変化から読み取るため、横軸を時間軸とした平均ホップ数の推移をグラフ化したものが以下に示すFig.7である。

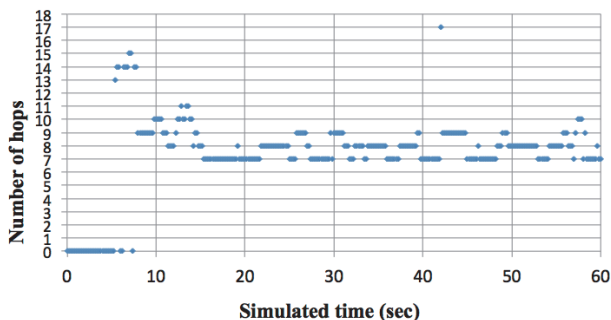


Fig.7 Number of hops during simulation

Fig.7から、時間の経過とともに、Fig.3で示したようにネットワークエリア内のノードが増加することで、平均ホップ数が安定して行くことが確認できる。

本稿では、位置情報利用型MANETにおいて、位置情報を自ら取得できないノードに対して、HELLOパケットを用いて位置情報を配信し、それを元に、これらのノードが、自らの位置情報を推測することで、位置情報利用型MANETに参加可能とする手法を提案し、従来の位置情報利用型MANETの手法の一つであるGreedy forwardingとの比較により、その評価を行った。

評価の結果、提案手法の適用により、初期LSノード数に関わらず、ネットワークエリア内の総ノードの内の80%以上が位置情報利用型MANETに参加可能となることが確認された。提案手法の適用によってネットワークに参加可能なノードが増加したことで、従来手法のGreedy Forwardingに比べて到達率の大幅な向上と平均ホップ数の削減が実現できた。あわせて、平均ホップ数の推移から、ネットワークの状態遷移の評価を行うことで、参加ノード数が高水準で安定しており、到達性の高いネットワークを維持できていることを確認した。

これまでの評価では、ネットワークに参加できるノード間の到達率のみを対象としていたが、今後は、エリア内に存在するすべてのノード間の到達率という観点での評価を行いたい。

## 参考文献

- 1) Young-Bae Ko and Nitin H.Vaidya, "Location-Aided Routing (LAR) in mobile ad hoc networks", 2000
- 2) 間瀬憲一, 阪田史郎, アドホック・メッシュネットワーク ユビキタスネットワーク社会の実現に向けて", コロナ社, Vol.1 2006
- 3) B.Karp and H.Kung: "GPSR: "Greedy Perimeter Stateless Routing for Wireless Networks", 2000
- 4) Kei Kobayashi, Yosuke Totani, Hiroshi Sano, Keisuke Utsu, Hiroshi Ishii, "Location Data Supplementing Information Transfer Method over MANET", World comp-PDPTA, 2014

## 謝辞

本研究の一部は、日本学術振興会科研費26420372, 日本私立学校振興・共済財団学術振興資金(若手研究者奨励金), 電気通信普及財団研究調査助成の支援を受けたものである。