

宛先ノードへの到達可能性を考慮した Greedy Forwarding

山本 潮^{1,a)} 小野里 好邦^{1,b)}

受付日 2012年5月14日, 採録日 2012年11月2日

概要: Greedy Forwarding はアドホックネットワークにおける経路制御法の 1 つであり, パケットの転送先ノードの選択基準は宛先ノードとの距離である. しかし, 特にノード密度が低い状況では, 宛先ノードに最も近いノードが宛先ノードまで到達できるかどうか分からず, パケットロスやパケット遅延の増加を招く可能性がある. 本稿では, Greedy Forwarding における転送先ノードの選択指標として, これまでの宛先ノードとの距離に加えて宛先への到達可能性を導入する. 到達可能性は各ノードごとではなく, 領域をセルに分割して各セルごとに算出する. また, 到達可能性はそのセルへのパスの生存時間として表現される. この指標を導入することにより, 宛先ノードまでパケットが到達できる可能性が高いノードを転送先ノードとして選択することが可能となり, 宛先へのパケット到達率の向上と転送における遅延の軽減が期待できる.

キーワード: アドホックネットワーク, Greedy Forwarding, 宛先への到達可能性

Greedy Forwarding with Destination Reachability

USHIO YAMAMOTO^{1,a)} YOSHIKUNI ONOZATO^{1,b)}

Received: May 14, 2012, Accepted: November 2, 2012

Abstract: Greedy forwarding is one of the most effective routing methods for ad-hoc wireless networks, and its routing criterion is based on the distance to the destination node. However, this may cause packet loss and packet transmission delay because of inappropriate selection of the forwarding node. In this paper, we propose a greedy forwarding method with destination reachability for ad-hoc wireless networks. In our approach, the communication area is divided into cells, and each node calculates the cell reachability as the duration time of the path to the cell. By using this cell reachability as the destination reachability, each node can select more appropriate node to forward packets to the destination, and our approach can improve the communication performance, especially at low density of mobile nodes.

Keywords: ad-hoc networks, Greedy Forwarding, destination reachability

1. はじめに

アドホックネットワークは, 無線ノード間の通信において基地局やアクセスポイントなどのインフラを必要とせず, 端末のみで自律分散的にネットワークを構築し相互に通信を行うことができる. そのため, 災害時の通信など様々なネットワークに適応することができ, 将来的な利用が期待されている. しかし, ネットワークを構築するノードは移

動することができるためネットワークトポロジが頻繁に変化し, また無線リソースは限られているためアドホックネットワークに適した経路制御方式を開発することが重要な研究項目となっている. 本稿では, ネットワークを構築するノードが頻繁に移動するような環境を想定する.

アドホックネットワークの経路制御方式としては, 宛先までの経路を探索し発見してからパケット送信を開始する方式や, 経路は発見されていないがある指標に基づいて次の転送先ノードを選択し転送を繰り返す方式が提案されている. 特にノードの移動が激しい場合においては発見した経路がすぐに利用できなくなる可能性があるために後者の

¹ 群馬大学大学院工学研究科
Graduate School of Engineering, Gunma University, Kiryu,
Gunma 376-8515, Japan

a) kansuke@cs.gunma-u.ac.jp

b) onozato@cs.gunma-u.ac.jp

方式が効果的であるといわれている。

後者の方式において転送先ノードを選択する指標としてよく用いられているのがノードの位置情報であり、位置情報を利用した経路制御法は Position-based Routing と呼ばれている。各ノードは GPS などにより位置情報を取得できると想定し、取得した位置情報を定期的に隣接ノードに送信することで各隣接ノードの位置を把握することができる。Greedy Forwarding と呼ばれる方式ではパケット転送時にその位置情報を使用して宛先に最も近いノードが次の転送先ノードとして選択される [1]。

しかし、経路が発見されていない状況で位置情報のみを利用して次の転送先ノードを選択した場合、そのノードから宛先ノードまで到達できる保証はなく、到達できない場合には遠ざかる方向へ転送するかそのパケットを廃棄することになる。これは結果としてパケット到達率の低下や転送遅延を引き起こす。

本稿では、上記に述べたような問題の影響を軽減するために、従来の宛先ノードとの距離に加えて宛先ノードへの到達可能性を次の転送先のノードを選択する指標として導入し、到達可能性を考慮した Greedy Forwarding 方式を提案する。到達可能性を考慮することにより、次の転送先として複数のノードが候補として存在する際に宛先ノードまでの到達可能性が高いノードを優先的に選択することで宛先までのパケット到達率を向上させるとともに後戻りする回数を抑えることでパケットの転送遅延を軽減することができると思われる。

本稿の構成は以下のとおりである。2章で Greedy Forwarding とその問題点について述べる。3章では本稿での提案方式である宛先までの到達可能性を考慮した Greedy Forwarding について述べる。4章では計算機シミュレーションを用いて提案方式の性能を評価し考察を行う。最後に、5章でまとめと今後の課題を述べる。

2. Greedy Forwarding

位置情報はアドホックネットワークにおける経路制御において有用であり、宛先ノードまでの経路を発見してから送信を行う方法でも利用されている。LAR [2] では位置情報を経路発見における制御パケットのフラッディング範囲を制限するために利用している。また、GOLI [3] では経路発見要求の送信において転送する隣接ノードの選択に位置情報を利用している。

宛先ノードまでの経路を発見せずに順次パケット転送を行う方式では、隣接ノードの位置情報は非常に重要な役割を担う。その方法の1つとして、Greedy Forwarding は転送するパケットに宛先の位置情報を含め、次の転送先ノードの選択に自ノードよりも宛先ノードに近く、かつ宛先ノードに最も近いノードを選択する。また、より適切な転送先ノードの選択を行えるように隣接ノードの現在位置を

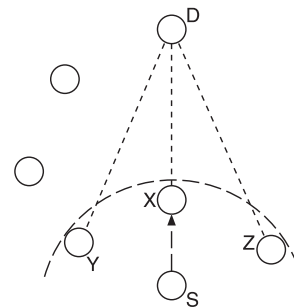


図 1 ノード X の空白地域 (void)

Fig. 1 Void of node X.

予測する手法が提案されている [4], [5]。位置の予測は、2つの時刻で取得した隣接ノードの位置情報から速度ベクトルを計算し、これを用いて転送先ノード選択時の位置を計算する。ほかにも、Greedy Forwarding に距離以外の別の指標としてパケット送信成功までの送信回数の期待値である ETX (Expected Transmission Count) を導入する手法も提案されている [6]。

しかし、自ノードよりも宛先に近いノードが存在しない状況が発生する可能性がある。図 1 はノード S が現在ノード D を宛先とするパケットを保持しており、次の転送先を選択する状況を示している。この場合、ノード S から転送可能でありかつ最もノード D に近いノード X を選択して転送するが、受信したノード X は自分より宛先ノードに近い隣接ノードが存在せず、この基準を用いて転送先ノードを選択することができない。

このような状況を回避するためには、別の基準を用いて次に転送するノードを選択する必要がある。GPSR [7] では Right-Hand Rule という法則に従って (反) 時計回りにノードを選択する方式を採用して適切な転送先ノードがない空白地域 (void) を回避するようにしている。また、GPCR [8] では、都市部のような環境における通信を想定し、ノードが交差点にいるかどうかを判断し、次の転送先ノードの決定や適切な転送先ノードが選択できないときにパケットを戻して交差点の別の方向に転送する。また、GpsrJ+ [9] では都市のマップ情報を保持していると仮定し、それを利用した転送を行うようにしている。

このように、Greedy Forwarding はノードの位置情報に基づいて宛先ノードに最も近いノードを転送先ノードとして選択するヒューリスティックアプローチをとることで、宛先ノードに効率良くパケットを転送しようとする手法である。しかし、選択したノードに転送しても、そのノードの先に宛先まで到達可能なノードが存在しているとは限らない。上記のような回避策を用いて別のノードに転送することを行ったとしても、それが適切なノードを選択できる保証はない。たとえば図 1 の状況において、ノード X は自分より宛先に近い隣接ノードが存在しないときにノード Y を選択して転送することができれば宛先であるノード D

までパケットを転送できる可能性がある。しかし、ノード D までの経路がないノード Z を選択してしまうと、後戻りすることを繰り返してパケット転送の遅延が増大したり、最悪の場合パケットを廃棄したりする可能性がある。特に通信エリアに対してノード密度が低い場合には、このような状況が発生する可能性が高くなると考えられる。

ProgressFace [10] は、GPSR などの Greedy Forwarding に適用可能な方式であり、事前あるいは必要に応じて空白地域の周囲を調べておくことで次に転送すべき適切なノードが存在しない場合に、効率良く宛先ノードへ転送可能なノードを選択できるようにする。しかし、調べるのは空白地域の周囲のみであるため、従来方式と同様に選択したノードに転送したとしても宛先まで到達できるノードが存在しているとは限らない。

3. 到達可能性を考慮した Greedy Forwarding

本稿では、2章で述べた Greedy Forwarding における問題を改善するために、従来の宛先ノードまでの距離に加えて、宛先ノードまでの到達可能性を次の転送先ノードを選択する際の指標に導入した方式を提案する。以下に本稿で定義する到達可能性とそれを導入した Greedy Forwarding について述べる。

3.1 到達可能性の定義

宛先までの到達可能性を考える際、ノードごとに到達可能性を扱うと情報量が非常に大きくなり、ノード間の情報交換におけるオーバーヘッドが通信に与える影響が大きくなる可能性がある。そこで、本提案方式では通信を行うエリアを複数のセル (グリッド) に分割し、セルごとに到達可能性を計算する。なお、本稿でのセルの分割方法は図 2 に示すように単純に正方形で分割することにする。通信エリアをセルに分割することを行っているアドホックネットワークの経路制御法はこれまでにいくつか提案されている。たとえば GVGrid [11] は分割されたグリッドに基づいて、経路発見を行う際に経路発見要求を隣接グリッドに存在するノードに転送し経路発見要求の転送範囲を制限しながら、道路に沿った効率良い経路発見を行う。HarpiaGrid [12] では、道路マップと分割されたグリッドを重ね合わせることで、効率良く通信するうえで通過すべきグリッドを導出して転送先を決定する。また、GPGR [13] も同様に道路マップに基づいてグリッドに分割し、ノードの位置情報ではなくノードが存在するグリッドに基づいて次の転送先ノードを決定する方法である。本提案方式はこれらの方式とは異なり、より遠くの地域へ到達できるかどうかを示すために分割したセルを利用する。

ただし、各ノードが通信エリアを分割したセルのすべてを扱うと情報量が大きくなりスケーラビリティの面で問題

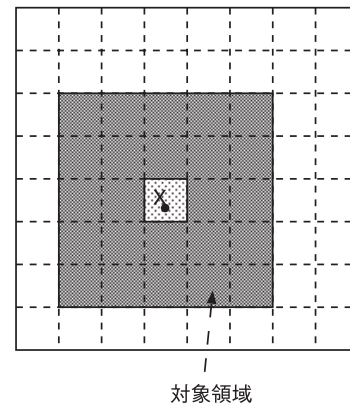


図 2 セル分割と対象領域

Fig. 2 Division into cells and X's related area.

が生じる。そのため、本方式では各ノードが存在するセルから一定範囲をそのノードが扱う到達可能性の対象領域とする。本稿では、この一定範囲を上下左右に n セル分とし、 n を対象半径と呼ぶことにする。たとえば、図 2 のノード X に関して、対象半径を 2 までとしたときの対象領域はグレーで塗られた範囲となる。

また、提案方式での到達可能性は“そのセルまでのパスの生存時間”として表現する。これは、特にノードの移動が大きい状況においてはトポロジの変化が激しいため、ホップ数のような値ではその情報を得た時点では到達できたかもしれないが、パケット転送時には到達できるかどうか判断できないためである。

各ノードが隣接ノードに送信する到達可能性情報は以下のように算出される。提案方式では、各ノードは自分の現在位置からどのセルに属しているかを認識できると仮定し、自分が属しているセルへのパス生存時間は設定値の範囲の最大値を設定する。本稿では、この最大値は到達可能性情報を保持すべき対象のセルまでにかかる最大ホップ数と、その最大ホップ数で情報が伝わるまでに必要となる時間を考慮して、以下のように設定する。

$$\left(\frac{\text{セルの1辺}}{\text{電波範囲}} \times (\text{対象半径} + 1) \right) \times \text{平均ビーコン送信間隔}$$

次に対象領域のセルへのパス生存時間の計算について述べる。あるノード i が隣接ノード j から受信したセル C_k へのパス生存時間を R_{jk} とし、その受信時刻を T_j とする。また現在時刻を T_{now} とする。

まず、ノード i と隣接ノード j の間のリンク切断予想時間 D_j を求める。 D_j は、ノード i とノード j の現在の (予想) 位置と (予想) 速度により求めることができる。ここで、位置予測は文献 [4] にあるような方式を用いるとする。このリンク切断予想時間と、隣接ノードから得られた各セルへのパス生存時間を比較して最小値を選択する。これは、隣接ノードから得られたパス生存時間が大きいとしても、その隣接ノードに渡すことができなければ意味がないからである。ノード i からノード j を通してのセル C_k へ

のパス生存時間 R'_{jk} は次のように計算される.

$$R'_{jk} = \min(R_{jk} - (T_{now} - T_j + \alpha), D_j)$$

ここで α は他の処理に必要な時間とし, 本稿のシミュレーションではこれからこの到達可能性情報を送信すること, データパケットを転送することを考慮してパケットキュー内での滞在時間の2倍に設定している.

次に, 各隣接ノードに関して求めた各セルへのパス生存時間を比較して最大値を選択する. ノード i におけるセル C_k のパス生存時間 R_{ik} は最終的に次のように計算される.

$$R_{ik} = \max_j \{R'_{jk}\}$$

ここで定義された到達可能性情報は, 位置情報を含むビーコンに追加する形で隣接ノードに定期的に送信する. ただし, 従来方式では位置情報をビーコンだけでなくデータパケットにも含めて送信することを行っており, ビーコン送信間隔よりもかなり短い間隔で位置情報が送信されることがある. そこで提案方式では到達可能性情報送信のオーバーヘッドを抑えるために, 位置情報を送信する際につねに到達可能性情報を付加して送信するのではなく, 一定間隔以上空いた場合にのみ到達可能性情報を付加して送信するようにする. 本稿のシミュレーションではこの一定間隔はビーコン送信間隔の半分としている.

3.2 到達可能性を考慮した転送

次に, 上記で定義した到達可能性を用いたパケット転送方式について述べる. 提案方式では, 到達可能性を用いて Greedy Forwarding における次の転送先ノードを選択するが, 選択基準は基本的に従来方式と同じく宛先ノードとの距離である. 到達可能性は選択されたノードが他のノードよりも宛先ノードへ到達させるために妥当であるかどうかの判断を行うために使用される.

ただし, 自ノードよりも宛先に近いノードが存在しない場合は別の基準により次に転送するノードを選択する必要がある. 提案方式では以下のように行う. ノード i が転送を行う際, ノード i よりも宛先に近いノードが存在しない場合には, まず宛先ノードが存在するセル C_k までの到達可能性がある, つまり $R_{jk} > 0$ である隣接ノード j が存在するか確認する. もしそのようなノードがある場合には, より確実にパケットを宛先に届けるためにその中から最も高いパス生存時間を持つノードを選択し転送を行うことにする. この転送モードは, 最初にこの転送モードを開始したノードの位置よりも近いノードに渡されるまで続けられる. この転送モードで転送されるパケットを傍受した隣接ノードは, 自身が持つ転送元ノード i からの到達可能性情報のうち宛先の存在するセル C_k へのパス生存時間 R_{ik} を確認し, その値よりも大きい C_k へのパス生存時間を持つ隣接ノードがほかにあれば, R_{ik} の値を一定期間 0 にする.

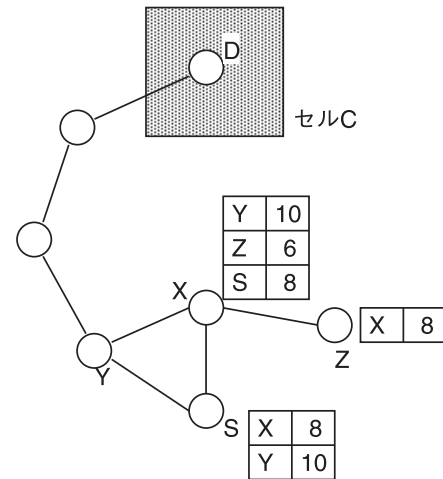


図 3 パケット転送の例

Fig. 3 Example of packet forwarding.

この処理により, 同じセル C_k にいるノードが宛先であるパケットを転送する際にノード i が選択されることを一時的に防ぐ. たとえば, 図 3 のようにノード S が現在ノード D を宛先とするパケットを保持しており, 各ノードは宛先 D の存在するセル C への到達可能性情報 (パス生存時間) を持っているとする. このとき, ノード S は宛先ノードとの距離が最も近く, かつ到達可能性のあるノード X をまず選択しパケットを転送する. ノード X は自ノードより宛先ノード D に近い隣接ノードが存在しないため, 到達可能性情報を確認し, 最も到達可能性が高いノードであるノード Y を次の転送先として選択し, 転送を行う. このパケットを傍受したノード Z とノード S はノード X がセル C へ近づく隣接ノードがないことを認識する. このとき, ノード Z はセル C に関してノード X より大きいパス生存時間を持つ隣接ノードがあるか確認し, 他にないことが分かるとノード X はノード Z にとってセル C へパケットを届けるのに有効なノードであると判断し, 値の変更を行わない. それに対し, ノード S は他にノード Y がセル C へのより大きいパス生存時間を持っているため, ノード X を選択する必要はないと判断してノード X のセル C へのパス生存時間を一時的に 0 にする. もしノード S がノード D を宛先とするパケットをさらに送信しようとする際には, ノード X への送信は避けてノード Y へ送信することになる.

あるノード i が転送すべきパケットを取得した場合に次の転送先ノードを選択する手順は以下のとおりである.

- (1) まずパケットに含まれている宛先ノードの位置から,
 - (a) 自ノードよりも宛先ノードに近く, かつ (b) 宛先ノードが存在するセルまでのパス生存時間が 0 ではない隣接ノードがあるか確認する. もし条件を満たすノードが複数あれば, その中で最も宛先ノードに近い隣接ノードを次の転送先ノードとして選択し転送する.
- (2) 上記の (b) の条件を満たさないが (a) の条件を満たす隣接ノードがある場合には, その中の最も宛先ノード

に近い隣接ノードを次の転送先ノードとして選択し転送する。

- (3) 上記の (a) の条件を満たさないが (b) の条件を満たす隣接ノードがある場合には、宛先ノードが存在するセルへのパス生存時間が最も大きい隣接ノードを選択し、そのノードを次の転送先ノードとして選択し転送する。パス生存時間が最も大きいノードが複数ある場合には、宛先ノードとの距離が最も近いノードを選択する。
- (4) 上記の (a) または (b) の条件を満たす隣接ノードがない場合には、従来方式を用いて次の転送先ノードを選択する。

4. 性能評価と考察

本提案方式の性能を確認するために、計算機を用いたネットワークシミュレーションによる評価を行う。計算機シミュレーションにはネットワークシミュレータ ns-2 [14] を使い、Web [15] で公開されている ns-2 用の GPSR のソースコードをベースに作成した。シミュレーションは、図 4 に示すような 2,000 m × 2,000 m のエリアに 100 m 間隔で格子上に道路があり、その道路上を移動体が移動する。通信は IEEE802.11b 無線 LAN 規格を使用した任意の 2 地点間の UDP による通信が行われる状況を想定する。宛先の位置を取得する方式としては HLS (Hierarchical Location Service) [16] を使用することとし、これも Web [15] で公開されているソースコードを利用した。

到達可能性情報の導入による効果を確認するために、提案方式の比較対象は GPSR を基本とするが、提案方式では文献 [4] の位置予測を行っているため、GPSR に文献 [4] の位置予測を加えた方式を採用する。また、位置予測を加えた方式では予測の精度が結果に影響を与えるため、位置予測が理想的に行える方式、つまりどのノードの位置も必要ときに正確に取得できる方式も比較対象とした。比較項目はパケット到達率と伝送遅延時間とした。シミュレーションはノードの移動パターンを 100 種類用意し、それらについて得られた結果の平均値を算出した。シミュレーションにおいて使用するパラメータは表 1 のとおりである。また、到達可能性情報の情報量を少なくするために、1 セルあたりのパス生存時間を 6 bit で表現することとし、パス生存時間の値の範囲を 6 bit の範囲である 0~63 にマッピングするようにしてシミュレーションを行った。

4.1 セルの対象領域における影響

まず、提案方式において到達可能性情報の交換対象となるセルの対象領域が性能に及ぼす影響を調べるために到達可能性の対象領域の対象半径を 2, 3, 4 と変化させてシミュレーションを行った。

図 5 と図 6 はノード数を 100 としたときのパケット到

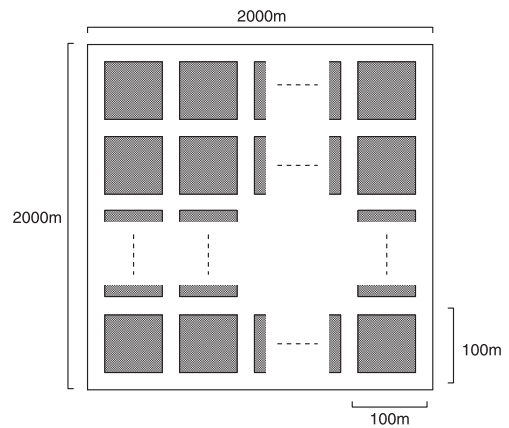


図 4 通信エリア

Fig. 4 Communication area.

表 1 シミュレーションパラメータ

Table 1 Simulation parameters.

エリアサイズ	2,000 m × 2,000 m
セルサイズ	250 m × 250 m
ノード数	100, 200
ノード移動速度	0~20 m/s
フレーム受信可能範囲	半径 250 m
MAC プロトコル	IEEE802.11b 11 Mbps
電波伝播モデル	TwoRayGround
トランスポートプロトコル	UDP
アプリケーションプロトコル	CBR
パケットサイズ	128 bytes
パケット送信間隔	0.05 秒
パケット送信数	2,000
データ送信開始時間	50 秒
通信フロー数	10, 20, 30, 40, 50

着率とパケット遅延のグラフである。グラフの横軸はフロー数を表す。図 5 から、対象半径が大きいほどパケット到着率が高くなるのが分かる。これは、対象領域が広ければそれだけ宛先ノードから遠い地点において到達可能性のあるノードを転送先として選択できる可能性が高くなるからであると考えられる。ただし、フロー数が多くなるとその差が小さくなっている。この原因としては、対象領域が広ければ隣接ノードに送信する情報量も多くなり、結果としてネットワークに対する負荷を増加させていることが考えられる。また、フロー数が多ければそれだけ送信するデータパケットも多くなるが、データパケットにも位置情報だけでなく到達可能性情報を含めて送信することがあるため、ネットワークに対して負荷を高めていると考えられる。また、ネットワークの負荷が高くなることで各ノードの送信パケットキューにパケットが入っている時間が長くなり、情報のずれが生じることも影響している可能性がある。図 6 からは、セルの対象半径が大きいほどパケット遅延が小さくなるのが分かる。この理由も到着率と同様であると考えられる。ただし、フロー数が 50 では値が逆転

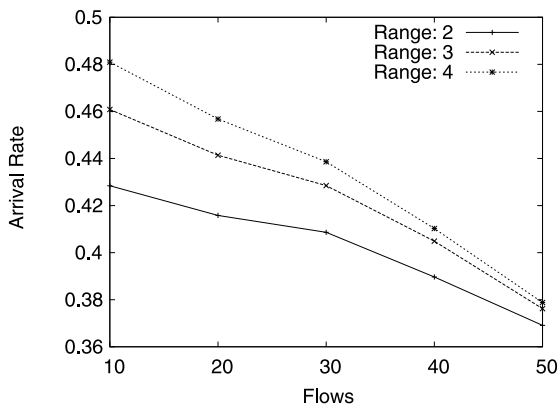


図 5 対象領域を変化させたときのパケット到着率 (ノード数: 100)
Fig. 5 Packet arrival rate (100 nodes, cell range: 2 to 4).

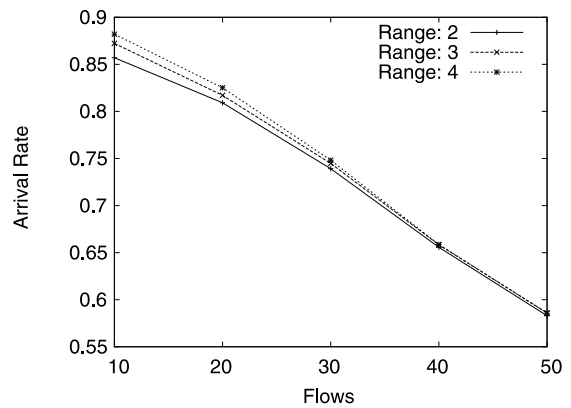


図 7 対象半径を変化させたときのパケット到着率 (ノード数: 200)
Fig. 7 Packet arrival rate (200 nodes, cell range: 2 to 4).

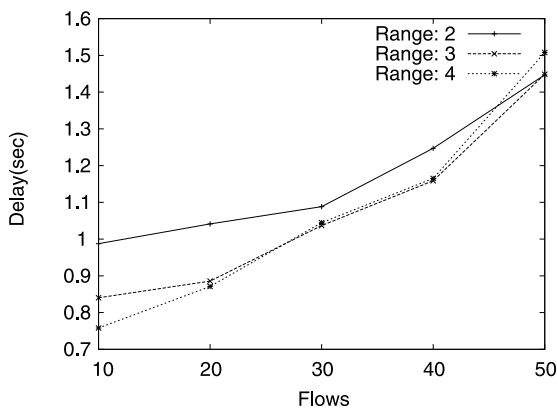


図 6 対象領域を変化させたときのパケット遅延 (ノード数: 100)
Fig. 6 Packet delay (100 nodes, cell range: 2 to 4).

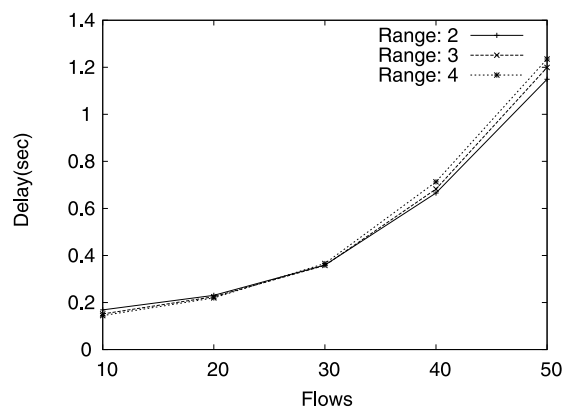


図 8 対象半径を変化させたときのパケット遅延 (ノード数: 200)
Fig. 8 Packet delay (200 nodes, cell range: 2 to 4).

している。これは上記に述べたように到達可能性情報の送信量が多くなることでネットワークの負荷を高めてしまったことが原因であると考えられる。

次にノード数を 200 としたときのパケット到着率とパケット遅延のグラフを図 7 と図 8 に示す。ノード数が 100 のときと同様に、セルの対象半径が大きいほどパケット到着率が高くなるのが分かるが、その効果はノード数が 100 のときよりも低いように見える。これは、ノード密度が高くなれば宛先ノードに近づくノードとしてどれを選んでも宛先ノードまで到達できる可能性が高くなるためであると考えられる。つまり、本提案方式は特にノード密度が低い状態においてより効果を発揮することが分かる。パケット遅延に関しては、特にノード数が 200 ではフロー数が 30 のを超えてから値が逆転している。これらから、ノード数やフロー数が少ないときには対象半径を大きくし、逆にノード数やフロー数が多いときには送信する情報量をより抑えるような仕組みを導入することが必要であると考えられる。

4.2 従来方式との比較

提案方式と従来方式の性能比較のために、それぞれの方式においてシミュレーションを行った。ここでは、提案方

式についてはセルの対象半径を 3 としている。

図 9 と図 10 はノード数を 100 としたときのパケット到着率とパケット遅延のグラフである。グラフの横軸はフロー数を表す。また、グラフ中の“GPSR-Predict”は文献にあるノード位置の予測を加えた GPSR, “GPSR-Ideal”はノード位置の予測が正確に行える場合の GPSR, “Proposal”は提案方式を表す。図 9 から、提案方式は他の方式に比べて高いパケット到着率が得られていることが分かる。特に、位置予測が正確に行えた場合の方式よりも良い結果が得られている。これは、提案方式では他の方式と異なり、位置情報だけでなく宛先ノードまでの到達可能性情報を利用して転送先ノードを決定しているため、宛先までパケットが届く可能性が高くなったことが理由であると考えられる。

図 10 のパケット遅延のグラフにおいても、提案方式は他の方式に比べてパケット遅延が小さくなっている。これも転送先ノードを選択する際に宛先ノードまでの到達可能性を考慮することにより、宛先まで到達できないノードの選択を避けて無駄の転送をできるだけ行わずにすんだことが理由として考えられる。しかし、フロー数の増加にともない提案方式のパケット遅延が他の方式よりも増加分が大きくなっている。これは先に述べたように到達可能性情報

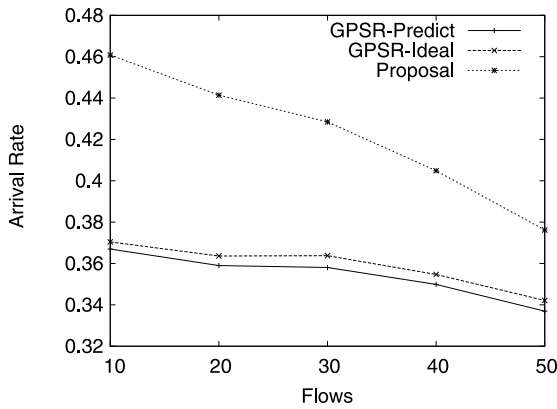


図 9 パケット到着率の比較 (ノード数: 100)

Fig. 9 Comparison of packet arrival rate (100 nodes).

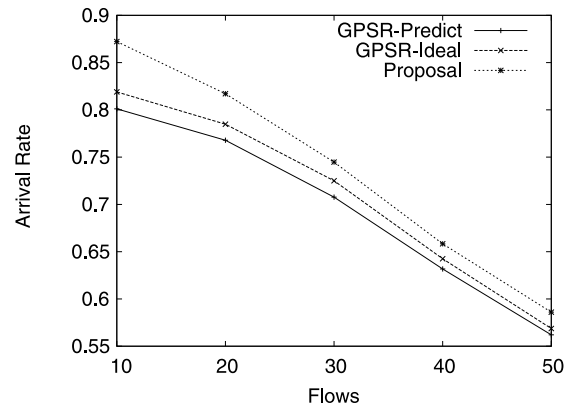


図 11 パケット到着率の比較 (ノード数: 200)

Fig. 11 Comparison of packet arrival rate (200 nodes).

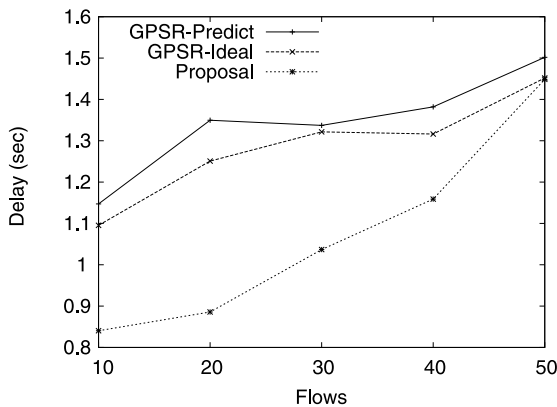


図 10 パケット遅延の比較 (ノード数: 100)

Fig. 10 Comparison of packet delay (100 nodes).

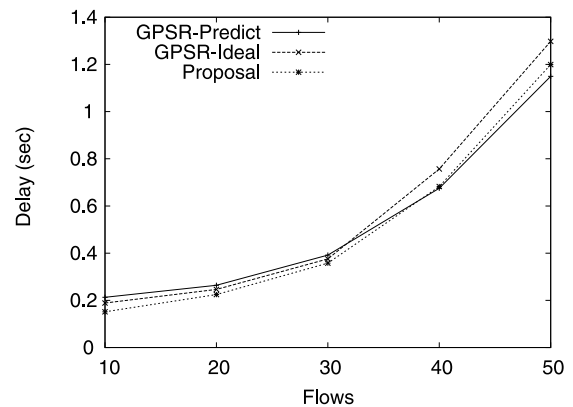


図 12 パケット遅延の比較 (ノード数: 200)

Fig. 12 Comparison of packet delay (200 nodes).

の送信量がネットワークに対する負荷を高めてしまったことが原因であると考えられる。

次にノード数を 200 としたときのパケット到着率とパケット遅延のグラフを図 11 と図 12 に示す。

ノード数が 100 のときと同様に、提案方式のパケット到着率が最も高くなり、またパケット遅延も小さいことが分かる。しかし、その効果はノード数が 100 のときよりも低くなっている。これは、先に述べたようにノード密度が高くなれば宛先ノードに近づくノードとしてどれを選んででも宛先ノードまで到達できる可能性が高くなるためであると考えられ、本提案方式は特にノード密度が低い状態においてより効果を発揮することが分かる。逆に、ノード密度が高くなるにつれて到達可能性の情報送信におけるオーバーヘッドが大きくなり、性能を低下させてしまう可能性がある。これは今回のシミュレーション結果では特にパケット遅延の部分に表されており、フロー数が 40 でパケット遅延が他の方式よりも大きくなってしまっている。このことから、ノード密度が高いときには到達可能性の対象領域を小さくしたり、到達可能性情報の送信間隔を大きくしたりするなど、ノード密度に応じた動的な対処法が必要であると考えられる。これについては今後の課題である。

4.3 到達可能性情報送信のオーバーヘッド

最後に、提案方式における到達可能性情報送信のオーバーヘッドについて比較を行う。提案方式は従来の制御パケットに情報を付加する形になるため、パケット数での比較ではなく経路制御情報の総送信量 (バイト数) で比較を行った。また、参考としてリアクティブ型のルーティング方式である DSR [17] との比較も行った。ノード数が 100 と 200 の場合の結果を図 13 と図 14 に示す。

図より、経路発見要求のフラッディングを行う DSR のオーバーヘッドが大きくなっていることが分かる。提案方式は到達可能性情報を付加して送信するために移動予測を加えた方式よりも大きくなっているが、フロー数が増加しても差がそれほど大きくはならない。これは、位置情報はビーコンまたはデータパケットを送信する際に送信されるが、到達可能性情報は一定間隔以上空けて送信されるため送信量が抑えられていると考えられる。

5. おわりに

本稿では、移動ノード間の通信において位置情報を利用した Greedy Forwarding を行う際に、宛先までの距離だけでなく宛先までの到達可能性を考慮して次の転送先ノード

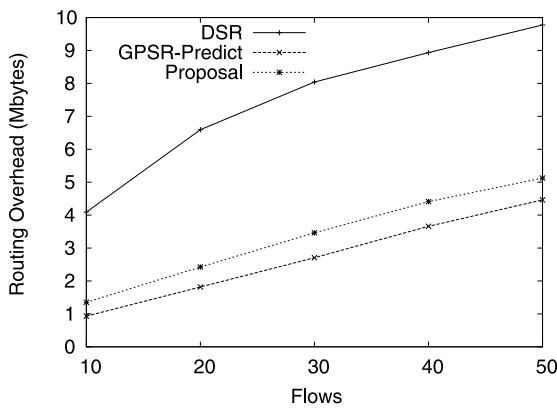


図 13 オーバヘッドの比較 (ノード数: 100)

Fig. 13 Comparison of routing overhead (100 nodes).

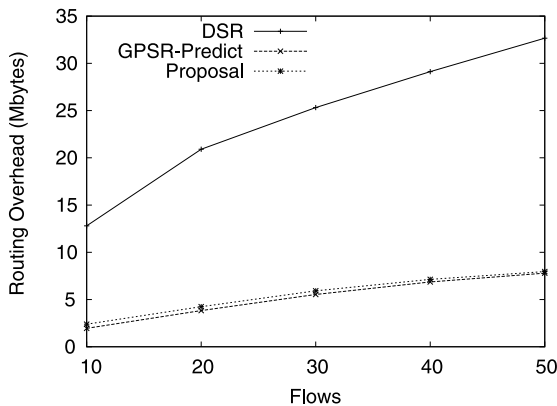


図 14 オーバヘッドの比較 (ノード数: 200)

Fig. 14 Comparison of routing overhead (200 nodes).

を決定する方式について提案した。提案方式では到達可能性をノードごとではなくセルごとに設定し、各セルまでのパスの生存時間を到達可能性として算出し、宛先により近い中で到達可能であると判断されるノードを転送先ノードとして選択することでパケットの到着率を向上させ、無駄な選択を避けることで転送遅延の減少が期待できる。また、自ノードより宛先に近いノードがない場合には到達可能性が高いノードを選択し転送することで空白地帯を適切に回避して宛先までパケットを転送することができる。ns-2を用いた計算機シミュレーションによる性能評価で、ノード密度が低いときに提案方式がより効果的に通信できることを確認した。

今後の課題としては以下があげられる。セルの到達可能性情報は対象領域が広い方が効果的であるが、その分交換情報が多くなりオーバーヘッドが大きくなる。そのため、より効率の良い到達可能性情報の交換方法を検討する必要がある。これには、到達可能性の表現形式、セルの分割方法、対象領域など様々な項目を考慮する必要があると考えられる。また、シミュレーション結果にもあるように、ノード数やフロー数が多くなるにつれて提案方式の効果が小さくなる。そのため、ノード数に依存して方式を切り替えるよ

うな方法についても検討する必要がある。

参考文献

- [1] Takagi, H. and Kleinrock, L.: Optimal transmission ranges for randomly distributed packet radio terminals, *IEEE Trans. Communications*, Vol.32, No.3, pp.246-257 (1984).
- [2] Ko, Y.-B. and Vaidya, N.H.: Location-aided routing (LAR) in mobile ad hoc networks, *Proc. 4th Annual ACM/IEEE International Conference on Mobile Computing and Networking*, pp.66-75 (1998).
- [3] 中川裕士, 石田賢治: MANETにおける位置情報を利用したオンデマンド型ルーティング方式, 電子情報通信学会技術研究報告, Vol.104, No.275, IN2004-78, pp.95-100 (2004).
- [4] Saqour, R., Shanudin, M. and Ismail, M.: A Prediction Scheme to Enhance The Routing Process in Geographical GPSR Ad Hoc Protocol, *Proc. MoMM2006*, pp.91-100 (2006).
- [5] Creixell, W. and Sezaki, K.: Routing Protocol for Ad Hoc Mobile Networks using Mobility Prediction, *International Journal of Ad Hoc and Ubiquitous Computing*, Vol.2, No.3, pp.149-156 (2007).
- [6] Huang, P., Wang, C. and Xiao, L.: Improving End-to-End Routing Performance of Greedy Forwarding in Sensor Networks, *IEEE Trans. Parallel and Distributed Systems*, Vol.23, No.3, pp.556-563 (2012).
- [7] Karp, B. and Kung, H.T.: GPSR: Greedy perimeter stateless routing for wireless networks, *Proc. 6th Annual International Conference on Mobile Computing and Networking*, pp.243-254 (2000).
- [8] Lochert, C., Mauve, M., Füßler, H. and Hartenstein, H.: Geographic Routing in City Scenarios, *ACM SIGMOBILE Mobile Computing and Communications Review*, Vol.9, No.1, pp.69-72 (2005).
- [9] Lee, K.C., Häerri, J., Lee, U. and Gerla, M.: Enhanced Perimeter Routing for Geographic Forwarding Protocols in Urban Vehicular Scenarios, *2007 IEEE Globecom Workshops*, pp.1-10 (2007).
- [10] Lin, C.-H., Yuan, S.-A., Chiu, S.-W. and Tsai, M.-J.: ProgressFace: An Algorithm to Improve Routing Efficiency of GPSR-Like Routing Protocols in Wireless Ad Hoc Networks, *IEEE Trans. Comput.*, Vol.59, No.6, pp.822-834 (2010).
- [11] Sun, W., Yamaguchi, H. and Yukimasa, K.: GVG-grid: A QoS Routing Protocol for Vehicular Ad Hoc Networks, *Proc. Fourteenth IEEE International Workshop on Quality of Service (IWQoS 2006)*, pp.130-139 (2006).
- [12] Chen, K.-H., Dow, C.-R., Chen, S.-C., Lee, Y.-S. and Hwang, S.-F.: HarpiaGrid: A Geography-Aware Grid-based Routing Protocol for Vehicular Ad Hoc Networks, *Journal of Information Science and Engineering*, Vol.26, No.3, pp.817-832 (2010).
- [13] Cha, S.-H. and Lee, K.-W.: Location Prediction for Grid-Based Geographical Routing in Vehicular Ad-Hoc Networks, *Proc. Grid and Distributed Computing - International Conference (GDC 2011)*, pp.35-41 (2011).
- [14] UCB/LBNL/VINT: The Network Simulator — ns-2, Information Sciences Institute (online), available from <http://www.isi.edu/nsnam/ns/> (accessed 2012-11-05).
- [15] Kieß, W. and Ogilvie, T.: HLS patch for ns-2.29 and for ns-2.33, University of Dusseldorf (online), available from <http://www.cn.uni-duesseldorf.de/alumni/>

kiess/software/hls-ns2-patch) (accessed 2012-11-05).

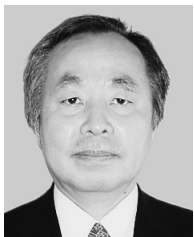
- [16] Kieß, W., Füßler, H., Widmer, J. and Mauve, M.: Hierarchical Location Service for Mobile Ad-Hoc Networks, *ACM SIGMOBILE Mobile Computing and Communications Review*, Vol.8, No.4, pp.47–58 (2004).
- [17] Johnson, D.B. and Maltz, D.A.: Dynamic Source Routing in Ad Hoc Wireless Networks, *Mobile Computing*, pp.153–181, Kluwer Academic Publishers (1996).



山本 潮 (正会員)

昭和 44 年生。平成 4 年東北大学工学部情報工学科卒業。平成 9 年同大学院情報科学研究科博士後期課程修了。情報科学博士。同年より群馬大学工学部情報工学科助手。現在、群馬大学大学院工学研究科准教授。アドホックネット

トワーク、無線メッシュネットワーク、オーバーレイネットワーク等に関する研究に従事。人工知能学会会員。



小野里 好邦 (正会員)

昭和 27 年生。昭和 49 年東北大学工学部通信工学科卒業。昭和 56 年同大学院工学研究科博士後期課程修了。工学博士。同年電気通信大学電気通信学部助手。現在、群馬大学大学院工学研究科教授。この間、コンピュータネット

ワーク、衛星通信システム等の研究に従事。電子情報通信学会、日本 OR 学会、IEEE 各会員。