

higher connectivity than existing protocols in interference region.

隣接端末数に基づく経路構築手法の提案

稲葉 健吾^{†1} 油田 健太郎^{†1}
岡崎 直宣^{†2} 朴 美娘^{†3}

MANET (Mobile Ad hoc NETwork) では、端末の移動や電波干渉によるリンクの信頼性の低下、バッテリーなどの資源の制約といった課題がある。これを解決するために、従来手法として、端末間の通信成功率や通信に必要な電力に基づき、障害領域を回避する手法が提案されている。経路切断時に有効な手段である経路の修復をするにあたって、端末の隣接端末数が少ない場所では、経路の修復に利用できる端末が少ないため経路の切断に対応できない場合がある。そこで、本論文では隣接端末数に基づく経路の容易な修復を目的とした NBR (Neighbors Based Routing) プロトコルを提案する。提案手法では、送信端末から宛先端末間の各端末が修復用の経路を記録し、経路切断時に修復用の経路に切り替えることで容易に経路の修復ができる。シミュレーションでは、提案手法と障害領域を回避する従来手法との比較を行い、障害の影響がある場合や、端末が移動する場合において、経路維持率が高いことと、より広範囲の障害に対応できることを明らかにする。

Proposal of Neighbors Based Routing for ad hoc networks

KENGO IANBA,^{†1} KENTARO ABURADA,^{†1}
NAONOBU OKAZAKI^{†2} and MIRANG PARK^{†3}

In ad hoc networks, due to mobility of nodes, radio wave interference, and limited resources such as battery, communication links are unstable and restricted. We need the efficient routing protocol to solve these problems. As a existing protocols, based on packet reception ratio and energy consumption, several protocols to avoid interference region are proposed. However, they require a special device to measure interference power level, and calculation of packet reception ratio. Moreover, these protocols had not considered the number of nodes around route. Therefore, existing protocols cannot adapt to the route repair, when route disconnected. In this paper, we propose a Neighbors Based Routing protocol, called NBR, by constructing paths on the area where large number of nodes exist. Our simulations confirm that this protocol has a

1. 序 論

近年、無線通信技術の発展および普及にともない、無線端末のみで構成された MANET (Mobile Ad hoc NETwork) が注目されている¹⁾。その特徴として、基地局などの既存の通信基盤を介さずに無線端末間の直接通信によるネットワーク構築や、複数の端末が中継機 の役割を果たすことでマルチホップ通信が可能である。このような特徴から、災害などの緊急時の通信手段やセンサを利用した情報収集などの利用が期待されている²⁾。MANET を実現するための課題として、端末の移動や電波障害の影響による通信成功率の低下の改善、バッテリーなどの資源の制約の回避がある。

MANET において、宛先端末への経路を構築するために様々なルーティングプロトコルの研究が盛んに行われている³⁾⁻⁶⁾。効率的なルーティングの実現には、経路切断によって発生する通信待機時間や、消費電力の増加などのリスクを軽減することが重要となる。そのため、周辺端末を利用して切断箇所の修復をする手法³⁾や、電波干渉により通信に悪影響が及ぶ領域(障害領域)を回避する手法⁴⁾⁵⁾が提案されている。

文献 3) では、パケットのフラッディングにより最短経路を構築する AODV (Ad hoc On-demand Distance Vector⁶⁾) を経路切断時の修復が行えるように改善したプロトコルとして AODV-BR (AODV with Backup Routes) が提案されている。AODV-BR では、構築された最短経路の周辺の端末が、最短経路上の端末への代替パスを持ち、経路切断時の修復に利用する。AODV-BR は経路の切断を確認すると、通信範囲の端末に対してデータパケットをブロードキャストし、パケットを受信した端末は代替パスを用いることで、データ通信の再開が可能となる。また、文献 4)5) では、パケットのフラッディングは行わず、GPS (Global Positioning System) によって取得した端末の位置情報をルーティングに利用する。文献 4) では、障害領域の回避のために位置情報を用いてパケットの受信率 (PRR: Packet Reception

^{†1} 大分工業高等専門学校
Oita National College of Technology

^{†2} 宮崎大学
University of Miyazaki

^{†3} 神奈川工科大学
Kanagawa Institute of Technology

Ratio) および宛先端末までの距離に基づいて経路を構築する PRR × Distance が、文献 5) では、通信の電力効率を経路選択の指標とする IEG (Interference-aware Energy-efficient Geographical routing) がそれぞれ提案されている。PRR × Distance では隣接端末とのパケット交換により PRR を測定する。しかし、端末の移動により位置情報が頻繁に変化すると PRR の精度は下がり、PRR の測定をやり直す必要があるため、ネットワークの変化に即座に対応できないという問題がある。そこで、各端末が電波強度の測定が可能であるという前提が必要となるが、IEG では必要最小限の電力で通信を行うことにより電力効率の良い経路を構築する。これにより、経路上のリンク間の距離が PRR × Distance と比べて短くなり、端末の移動などにより経路が切断されにくい。

経路の修復を行う AODV-BR では、隣接端末を考慮していないため、経路周辺の端末数が少ない場合においては構築される代替パスの数が少なくなる可能性がある。また、端末の位置情報を利用して障害領域を回避する IEG では、正確な位置情報が利用可能という前提が必要である。GPS の特性上、地下や屋内などの電波が届かない場所においては使用ができず、位置情報の取得が困難となる場合が考えられる。

そこで、本論文では、隣接端末数に基づく経路の容易な修復を目的とした NBR (Neighbors Based Routing) プロトコルを提案する。NBR では、端末の位置情報を必要とせず、隣接端末数を考慮するため代替パスを利用しやすい経路を構築する。修復時には端末が保持している代替パスの中から利用可能な経路へ即座に切り替える。これにより、新たなパケットを送信せずに経路修復が可能である。

以下、第 2 章では従来手法の AODV-BR と IEG について述べ、問題点を検討する。第 3 章では提案する NBR について述べる。第 4 章では、提案手法の評価と考察を述べ、第 5 章で本論文のまとめを記す。

2. 従来手法

本章では、従来手法である AODV-BR と IEG の詳細およびこれらの問題点について述べる。

2.1 AODV-BR

AODV-BR はパケットのフラッディングにより最短経路を構築し、経路周辺の端末が持つ代替パスを経路切断時の修復に利用する手法である。経路および代替パスの構築手順は、最初に送信端末 S が経路要求パケットを隣接端末へブロードキャストする。これを受信した端末は、パケットの経路情報に自身を加え、再び同パケットをブロードキャストする。宛先

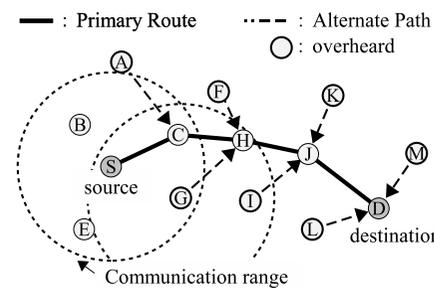


図 1 AODV-BR による経路と代替パス
Fig. 1 An example of AODV-BR.

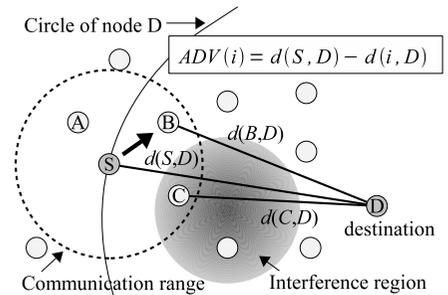


図 2 IEG の経路選択の動き
Fig. 2 An example of IEG.

端末 D にパケットが到達すると、受信したパケットの経路情報に従って、経路応答パケットをブロードキャストにより返信する。この時、経路に選ばれていない端末は、このパケット通信をオーバーヒアすることで、パケットを送信した端末への代替パスを記録する。最終的に送信端末 S が宛先端末 D への経路を取得し、同経路の周辺端末は代替パスを記録している。図 1 にて経路上の端末 C が送信端末 S の通信範囲外に移動した場合、S はデータパケットのブロードキャストを行う。パケットを受信した G は代替パスを記録しているため経路の修復を行い、データ通信の再開が可能となる。

2.2 IEG

IEG は各端末が電波強度の測定が可能であるという前提のもと、端末の位置情報を利用して、通信における電力効率が最良となる経路を構築する。各端末は定期的に自身の場所における信号の減衰量を取得し、障害に耐えられる最低受信電力閾値を求める。さらに、端末間の距離に基づく損失電力と合わせて、各端末への通信に必要な最小送信電力を求める。そして、最小送信電力と送信するデータのサイズから必要な消費電力 E を計算する。経路の選択では、各隣接端末に対して送信端末と宛先端末の距離から隣接端末と宛先端末の距離を引いた値 ADV を求めて、 E/ADV が最小となる隣接端末にデータを送信する。図 2 において、端末 S は通信範囲内の各端末に対して E/ADV の計算を行い、送信端末を決定する。 ADV は端末 S から宛先端末へどれだけ近づいたかを表す値であるため、効率よく宛先端末に近づく端末を決定することが可能となる。障害内にある端末 C と通信を行うためには、送信電力を大きくする必要がある。図 2 の場合では、より電力効率の良い端末 B にパケットを送信する。

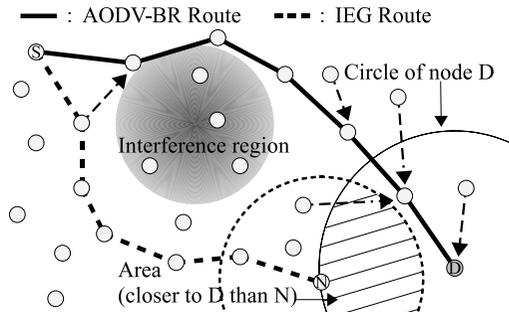


図3 従来手法の問題点
Fig.3 Problems of existing protocols.

2.3 従来手法の問題点

AODV-BR では、隣接端末数を考慮せず最短経路を構築するため、代替パスが少なく経路修復が困難となる場合が考えられる。また、図1のGにて代替パスG-Hが切断すると、通信範囲に経路上のJへの代替パスを持つIが存在するにもかかわらず修復を断念する。このように代替パスの切断時の対応が考慮されていないため、柔軟な経路修復が行えていない。また、パケットが届かない障害領域では経路が構築されないが、その近傍に経路が構築される場合がある(図3)。この場合、経路周辺の端末は障害領域内にあるため、修復時に利用できる可能性は低いと考えられる。

IEG では、電波干渉による信号の減衰量を測定可能であるという前提が必要であり、加えて端末の位置情報を利用する手法は図3のようなトポロジにおいて、データ転送が停止する問題がある。これは端末が通信範囲内で宛先に近づく領域(図3の斜線領域)にある隣接端末を次ホップとして選択するためである。このようなトポロジは障害領域が拡大するほど頻繁に発生する。IEGはデータ転送が停止するとAODVに動作を切り替えて転送を再開する。しかし、AODVによるパケットはIEGが既に経路探索を行った端末に対しても送信されるため、パケットの損失や消費電力の面で問題がある。

3. 提案手法

本論文では、端末の位置情報を用いずに、隣接端末に基づいた経路と複数の代替パスを構築することで、経路切断時に容易な修復を可能とするNBRプロトコルを提案する。

NBRでは、通信要求が発生すると送信端末がRREQ(Route Request)パケットをフ

ラッディングすることで各端末は隣接端末とのリンク状況を把握する。その後、宛先端末はRREP(Route Reply)パケットを発行して、宛先端末への経路と複数の代替パスを構築する。NBRにおいて、送信端末は複数の経路情報を受信可能であるが、送信端末はそのうちの隣接端末数が多い経路を用いて通信を行う。また、各端末が持つ経路情報は、経路が切断したときの代替パスとして利用する。これにより、経路の容易な修復を実現する。また、代替パスの増加および経路構築範囲の拡大のために経路拡張変数の概念を導入する。

3.1 経路の評価式

NBRはAODV-BRと同様に、経路周辺の各端末が経路構築時に代替パスを経路テーブルに記録する。さらに、NBRでは経路上の各端末も代替パスを記録する。この代替パスは、端末が受信した経路情報の再利用である。従って、多くの経路情報を記録した端末ほど容易な修復が可能となる。NBRでは隣接端末数が多い端末ほど多くの経路情報を受信することから、各端末の隣接端末数を経路評価の指標として用いると、経路の評価値は(1)式により求められる。ここで、経路の合計隣接端末数は中継した端末の隣接端末数の合計、経路の中継端末数は経路の始点および終点間に存在する端末数を表す。送信端末は(1)式を用いて最も高い評価値の経路を用いて通信を行う。また、経路構築の過程で評価値の高い経路のみを送信端末へ返信することで、通信トラフィックを減少させることができる。

$$\text{経路の評価値} = \frac{\text{経路の合計隣接端末数}}{\text{経路の中継端末数}} \quad (1)$$

3.2 経路拡張変数

NBRでの経路構築は事前のRREQのフラッディングによって得た情報を用いて、送信端末に近づく端末に対してのみRREPを返信して経路構築を行っていく。そのため、送信端末に近づかない端末に対して経路構築が行われない。結果として、代替パスが少ない経路しか構築されず、経路切断に対して十分に対応できない場合がある。そこで、送信端末に近づかない端末に対してもRREPの転送を行うために経路拡張変数を利用する。本論文では経路拡張変数の値を k と説明する。 k は、経路応答パケットの転送条件の1つであるホップ数による制限を無視できる回数を表し、あらかじめ設定されているものとする。なお、RREPの転送条件は3.3.2で述べる。

図4(a),(b)に $k=0,1$ とした場合の経路構築例を示す。各端末の添字は送信端末Sからのホップ数を表す。端末間の太線は確立された経路を示し、破線は矢印の方向に代替パスを持つことを示す。(a)では、 $k=0$ により送信端末に近づく端末に対してのみRREPが送信されるため最短経路が構築される。これに対して、(b)では、 $k=1$ としているか

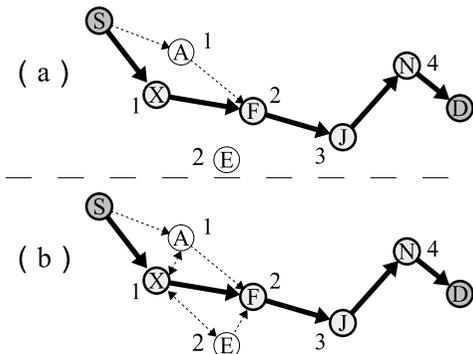


図4 経路拡張変数の使用例

Fig. 4 An example of extension variable.

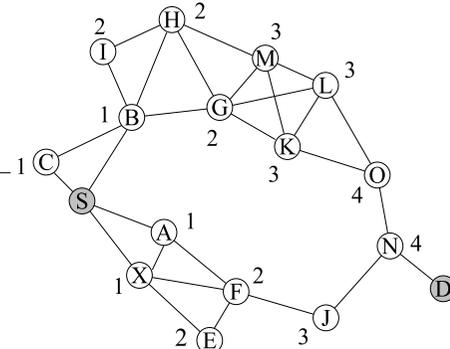


図5 NBRのRREQパケット発行時のリンク

Fig. 5 An example of links after forwarding RREQs.

ら、FからのRREPを受信したXおよびAは互いにホップ数による制限を1度無視してRREPを送信できる。これにより、双方向の代替パスを構築する。同様に、FおよびXはEにRREPを送信できる。ここで、Eが受信したRREPは既にホップ数による制限を1度無視しているため、Eは送信端末に近づく端末に対してのみRREPを送信できる。加えて、既に経路情報に含まれている端末には送信しないという転送条件より、EはFからのRREPのみをXに送信する。これにより、F-E間には片方向、X-E間には双方向の代替パスが構築される。

このように、経路拡張変数を利用することで代替パスの増加や経路構築範囲の拡大が可能となる。

3.3 経路構築手順

経路構築では、RREQのブロードキャストにより、各端末が送信端末からのホップ数および隣接している端末のホップ数を把握する。この情報を用いて、各端末は自身のホップ数よりも小さな値を持つ、すなわち送信端末に近づく隣接端末にRREPを転送する。これにより、経路拡張変数を使用しないで構築される経路は送信端末から宛先端末への最小ホップ数と同じ長さとなる。以下に、経路要求および経路応答の詳しい動作を示す。

3.3.1 経路要求

(1) 通信要求が発生すると、送信端末SはRREQをブロードキャストする。RREQの内容を表1に示す。ここで、RREQ送信端末ID(Previous Node Address)は受信し

表1 RREQパケットの内容
Table 1 Content of a RREQ packet.

Name	Value
Source Address	S
Destination Address	D
Previous Node Address	S (initial value)
Hop Count	0 (initial value)

表2 RREPパケットの内容
Table 2 Content of a RREP packet.

Name	Value
Source Address	S
Destination Address	D
Previous Node Address	D (initial value)
Hop Count	0 (initial value)
Route	D, ..., S
Sum of Neighbor Nodes	0 (initial value)
Extension Variable	k

たRREQの中継元の端末ID、ホップ数はSから見て何台目の端末かを表す。

(2) RREQを受信した端末は、RREQに含まれる送信端末IDごとにホップ数とRREQ送信端末IDの組を隣接テーブルに記録する。初めてRREQを受信した端末は、RREQのホップ数に1加算した値を自身のホップ数として設定する。その後、RREQ送信端末IDを自身のIDに変更し、ホップ数に自身のホップ数を設定したRREQをブロードキャストする。既にRREQを受信していた端末は、自身のホップの設定およびRREQの再転送を行わない。

図5に、ネットワーク全体にRREQを転送したときの各端末間のリンク状況を示す。実線で結ばれている端末間はリンクが確立していることを表す。各端末のホップ数は最初に届いたRREQの内容を基に設定されるため、障害などの影響がなければSまでの最小ホップ数が設定される。

3.3.2 経路応答

(1) RREQを宛先端末Dが受信すると、DはRREPをRREQを送信してきた端末にユニキャストする。RREPの内容を表2に示す。ここで、RREP送信端末ID(Previous Node Address)は受信したRREPの中継元の端末ID、合計隣接端末数は中継した端末の隣接端末数の合計が格納される。

(2) 初めてRREPを受信した端末は、RREPの経路情報に自身のID、合計隣接端末数に自身の隣接端末数をそれぞれ加えた後、RREP送信端末IDを自身のIDに変更し、中継端末数に1加算したパケットを経路応答手順(4)に従って転送する。既にRREPを受信していた端末は、経路応答手順(3)の動作を行う。各動作の後、RREPに含まれる経路情報を経路テーブルに記録する。

(3) RREPに含まれる経路情報と経路テーブルの経路情報を3.1の(1)式による評価値

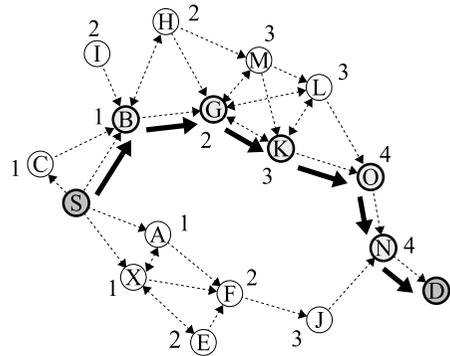


図 6 経路拡張変数を 2 とした場合の経路構築例
Fig. 6 An example of NBR ($k = 2$).

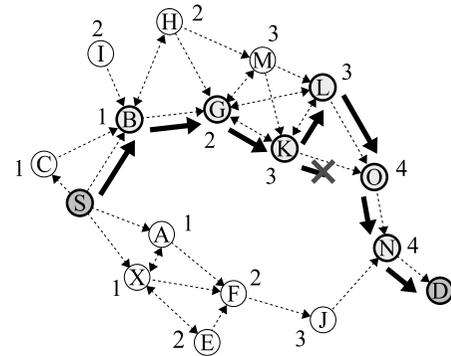


図 7 経路切断が発生した場合の経路修復例
Fig. 7 An example of route repair.

で比較し、RREP に含まれる経路情報が経路テーブルの経路情報よりも高評価値であれば RREP を経路応答手順 (4) に従って転送する。評価値が低ければ RREP の転送は行わない。

- (4) 隣接テーブルの中でホップ数が自身と同じか大きい端末に対しては経路拡張変数の値が 1 以上であれば、1 減算した後に RREP を転送する。そうでなければ、転送を行わない。ホップ数が自信よりも小さい端末に対しては経路拡張変数は変更せずに RREP を転送する。また、転送先の端末が既に RREP の経路情報に含まれている場合は RREP を転送しない。
- (5) S が RREP を受信すると、3.1 の (1) 式を用いて評価を行い、評価値が最も高い経路を用いて通信を開始する。評価値が同じ経路が複数あれば中継端末数が少ないものを選ぶ。

図 6 に、RREP の経路拡張変数を 2 とした場合に構築される経路を示す。図 6 の経路は合計隣接端末数が 20、中継端末数が 5 であるから、3.1 の (1) 式より評価値は 4 となる。経路拡張変数が 0 のときは、ホップ数が減る方向の端末に対してのみ RREP が返信されるため、構築される経路は N から下側の端末によってのみ構成される。

効率的な通信の実現には、障害の影響が強いリンクを経路に使用しないことが望ましい。AODV-BR や NBR において、障害領域内の端末は通信の失敗によりリンクが確立されず、そのリンクを用いた経路が構築されないと考えられる。NBR では実際よりも少ない隣接端末数と認識されるため、隣接端末数に基づく経路として選ばれる可能性が低くなる。結果的

に NBR は障害領域を回避し、さらに代替パスが多い経路を構築するため、修復しやすい経路を構築できると考えられる。図 6 の端末 G, K が障害領域内にあり通信できない場合を想定すると、S-B-H-M-L-O-N-D という経路が構築され、中継端末数は 6、合計隣接端末数は 15 であるから評価値は 2.5 となる。この経路に対して、N から下側の S-X-F-J-N-D という経路は中継端末数が 4、合計隣接端末数が 13 であるから評価値は 3.25 となる。従って、より評価の高い N から下側の経路を用いて通信を行う。

データ通信において、隣接端末数に基づいた経路のように、宛先に近づかない経路を利用する場合に経路ループが発生する可能性がある。NBR ではデータパケットに辿ってきた経路情報を格納することで、既にパケットが辿った端末に対してデータパケットの送信は行わず、経路ループの発生を防いでいる。

3.4 経路修復手順

構築された経路を用いて通信を行っている際に、経路の切断が発生した場合は以下の動作により経路の修復を行う。ここで、切断が発生した経路の i 番目の端末を u_i 、 u_i の次ホップである端末を u_{i+1} と表す。

- (1) 端末 u_i が端末 u_{i+1} とのリンク切断を確認した場合、 u_i は自身の記録している経路情報から、次ホップが u_{i+1} である代替パスを削除し、次ホップが u_{i+1} ではない代替パスを用いて通信を再開する。

図 7 に経路切断が発生した場合の経路修復例を示す。図 7 は図 6 において、K と O の間でリンク切断が発生した場合である。ここで、K は手順 (1) における u_i 、O は u_{i+1} を表す。K は O とのリンク切断を確認すると、自身の記録している経路情報から次に O 以外の端末へ送信する代替パスを探す。K は L への代替パスを記録しているため、L へデータパケットを送信する。L はさらに O への代替パスを記録しているため O へデータパケットを送信する。NBR ではこのように容易に経路の修復を行うことができる。

4. 特性評価

シミュレーションにより提案手法である NBR と従来手法である AODV-BR および IEG を比較する。シミュレーション環境を表 3 に示す。シミュレーションでは NBR の経路拡張変数に対する経路修復率の変化、NBR と AODV-BR および IEG の障害領域の有無による経路維持率の変化、経路構築後の経路長、経路構築および経路修復時に発行されたパケット量について評価した。ここで、経路修復率とは経路切断時に代替パスを用いて切断箇所の修復ができた割合を表し、経路維持率とは、サイクルごとに送信端末と宛先端末で通信が成功

表 3 シミュレーション環境
Table 3 Simulation parameters.

Name	Value
Network Size	300[m] × 300[m]
Communication Range	70[m]
Number of Nodes	100
Extension Variable	3
Interference range	50 ~ 120[m]
Mobility of Node	1[m/cycle]

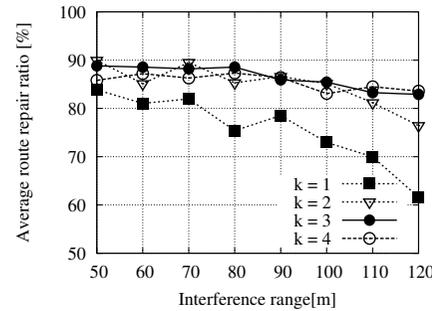


図 8 経路拡張変数ごとの経路修復率
Fig. 8 Average route repair ratio for each k .

した割合を表す。なお、経路維持率では経路の修復を行った場合も成功と定義している。また、本論文では、経路切断時の修復について評価するため、経路の再構築は行っていない。送信端末と宛先端末はフィールドの対角線上に固定し、その他の端末はランダムに配置した。移動度を v とすると、端末は経路構築後に 0 から v の範囲で 1 サイクルごとにランダムな方向へ 10 サイクル移動させた。また、円形の障害領域は送信端末と宛先端末に重ならないようにランダムに発生させた。通信障害の影響が強くなると、送信電力が弱まり通信成功率が低下する。よって、シミュレーションでは、障害の影響を受ける端末は、40%の確率でパケットの受信に失敗するものとした。また、これらのパラメータは文献 5) を参考にした。

4.1 経路拡張変数の値

NBR において、最適な経路拡張変数を決定するために、障害半径を変化させたときの経路修復率を評価した。図 8 に経路拡張変数ごとの経路修復率を示す。経路拡張変数の値を k とすると、 $k = 1$ では障害半径が大きくなると修復率が大きく低下した。これは、 $k = 1$ の経路の構築範囲が $k = 0$ 、すなわち最短経路を構築する範囲との差が小さいため、障害領域に対して十分な距離をとることができず、障害領域側に有効な代替パスが構築されなかったと考えられる。また、 $k = 4$ では $k = 3$ と比べてあまり修復率が変化しなかった。これは経路構築範囲を広げることによって、より広範囲の端末が経路として選ばれる可能性がある。しかし、実際には経路の評価を行うため長すぎる経路が構築されにくくなり、経路の修復に関係する代替パス数などが変化しなくなったためだと考えられる。従って、以降の評価では修復率が平均的に最も良い $k = 3$ を使用する。なお、経路拡張変数の最適な値は、端

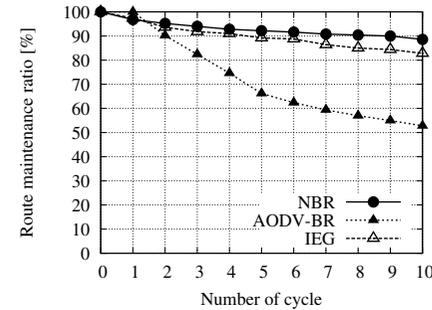


図 9 時間経過による経路維持率の変化 (障害無し)
Fig. 9 Route maintenance ratio with no-interference.

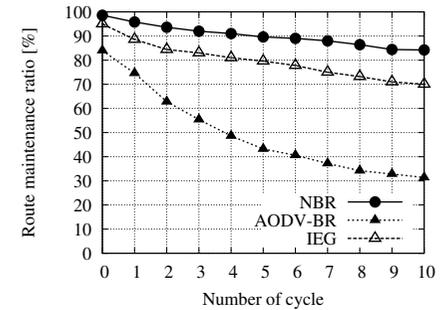


図 10 時間経過による経路維持率の変化 (障害有り)
Fig. 10 Route maintenance ratio with interference.

末数や移動度などの環境の違いにより増減すると予想される。

4.2 経路維持率

図 9 に障害がない環境での各手法の経路維持率の変化を示す。IEG は通信範囲に対して端末間の距離が短い経路を構築するため、端末の移動によって経路が切れにくく、高い経路維持率となった。AODV-BR は経路構築時点では高い経路維持率であるが、最短経路を構築するため、端末の移動によって経路が切れやすい。また、経路の修復も行うが、隣接端末数を考慮していないため代替パスが少なく、低い経路維持率となった。NBR は、AODV-BR と同様に端末間の距離が長い場合、端末の移動によって経路が切断されるが、隣接端末数を考慮しているため代替パスが多く構築されており、最も高い経路維持率となった。

次に、半径が 50m の障害領域を発生させた環境で図 9 と同じシミュレーションを行った。図 10 より、障害がない環境 (図 9) よりも全ての手法において経路維持率が低下した。IEG は障害領域を回避する経路を構築するため経路長が長くなり、切断が発生する場所が増加した。AODV-BR は障害領域の近傍に経路を構築する場合があり、その結果代替パスの利用が難しくなり、経路維持率が低下した。NBR は隣接端末数および代替パスが多い経路を構築するため、従来手法よりも下がり幅が少なく、最も高い経路維持率となった。

4.3 経路長

図 11 に障害半径を変化させたときの経路構築後の経路長を示す。図 11 より IEG が全ての障害半径において最も長い経路を構築し、最短経路を構築する AODV-BR が最も短い経路を構築した。AODV-BR は宛先までの最短経路を構築するため、経路が長くなりにくい

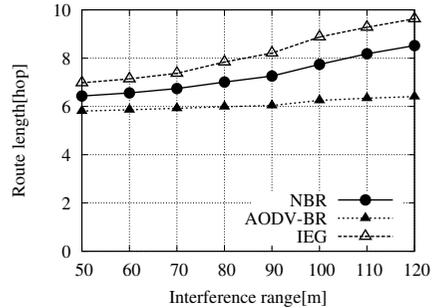


図 11 障害半径に対する経路長

Fig. 11 Route length for interference range.

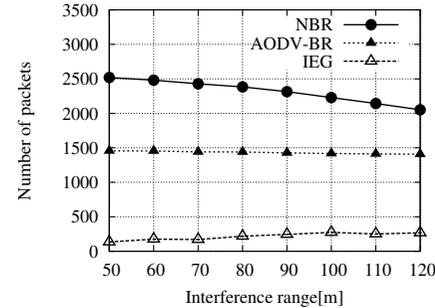


図 12 障害半径に対するパケット量

Fig. 12 Number of packets for interference range.

と考えられる。IEG は、電力効率に基づいて障害領域を回避するため、AODV-BR よりも障害領域に対して距離をとった長い経路が構築されたと考えられる。NBR は、経路拡張変数を利用して隣接端末数で経路を評価するため、隣接端末数が多く、経路が長い経路が構築される場合がある。しかし、ホップ数が少なくなる端末を中継して経路を構築するため、IEG よりも短い経路が構築されたと考えられる。

4.4 パケット量

経路構築および経路修復時に発行されたパケットの量について評価する。図 12 に障害半径を変化させたときの経路構築および経路修復のパケット量の合計を示す。図 12 より NBR は従来手法に比べてパケット量が多いことがわかる。これは、経路応答時に経路拡張変数を利用することで、複数の端末間で多くのパケット交換が発生するためである。また、位置情報を利用する IEG と比べて、NBR と AODV-BR はパケットのフラディングによって経路を構築するためパケット量が増えた。一方、障害領域が大きくなるほど、障害の影響を受ける端末が増加し、経路構築時にパケットを受信できる端末が減少するため、パケット量は減少した。IEG では端末の位置情報を利用するため経路構築に必要なパケット量が少なくなったが、障害領域が大きくなるほど、AODV に切り替える頻度が高くなりパケット量が増加した。

5. 結 論

本論文では、位置情報を用いずに、隣接端末数および代替パスの多い経路を構築することで、容易な経路修復を目的とする NBR プロトコルを提案した。

NBR の評価として、NBR と同様に代替パスを用いた経路修復を行う AODV-BR と位置情報および特別なデバイスを用いて障害領域を電力効率に基づいて回避する IEG との比較を行った。その結果、NBR は障害領域が拡大した場合においても、従来手法よりも高い経路維持率を実現した。これより、NBR は広範囲の障害に対して有効であることを明らかにした。

今後は、最適な経路拡張変数の値や端末の移動速度が速い場合における経路維持率について検討する予定である。

参 考 文 献

- 1) C-K.Toh (著), 構造計画研究所 (訳): アドホックモバイルワイヤレスネットワークプロトコルとシステム, 構造計画研究所 (2003) .
- 2) 萩原亮, 篠原昌子, 原隆浩, 西尾章治郎: アドホックネットワークにおける Top-k 検索のためのメッセージ処理手法, IPSJ Journal, Vol.51, No.1 pp.152-162 (2010).
- 3) S-J, Lee. and M, Gerla.: AODV-BR: Backup Routing in Ad hoc networks, Proc. of IEEE Wireless Communications and Networking Conference, Vol.3 pp.1311-1511 (2000).
- 4) K, Seada., M, Zuniga., A, Helmy. and B, Krishnamacharim.: Energy-efficient forwarding strategies for geographic routing in lossy wireless sensor networks, Proc. ACM SenSys, pp.108-121, (2004).
- 5) J, Kim. and Y, Kwon.: Interference-Aware Energy-Efficient Geographical Routing for IEEE 802.15.4a Networks, IEICE TRANSACTIONS on Communications, Vol.E93-B, No.4 pp.1024-1028 (2010).
- 6) C, Perkins., E, Belding-Royer. and S, Das.: "Ad hoc on-demand distance vector (AODV) routing", <http://www.ietf.org/rfc/rfc3561.txt>, (2003).