

片方向リンクを考慮したルーティングプロトコル LEX-R の評価について

福井 裕介[†] 萬代 雅希^{*} 渡辺 尚^{**}

[†]静岡大学大学院情報学研究科 ^{*}静岡大学情報学部 ^{**}静岡大学創造科学技術大学院

あらまし 近年アドホックネットワークが注目されており、様々なプロトコルが提案されている。アドホックネットワークはその場に存在する端末のみで構成され、固定インフラに依存することなく自律分散的にネットワークを構築する。本稿では、各端末の無線信号到達範囲が不均一な環境下でおこる片方向リンクによる問題を解決するためのオンデマンド型ルーティングプロトコル LEX-R (Least EXposed Routing to avoid unidirectional links) の性能評価を行う。LEX-R は早期に双方向リンクのみのルートを構築し、片方向リンクによる隠れ端末からの干渉を避けるルート構築を行う。これにより片方向リンクが存在するネットワークにおいて高パケット到達率、高ルート構築率を実現する。計算機シミュレーションによってランダムトポロジにおけるパケット到達率、ルート構築率等評価し、典型的なルーティングプロトコルである AODV-BL と比較し片方向リンクの影響を受けにくいデータ通信が可能であることを示す。

On Evaluations of Routing Protocol LEX-R Considering Unidirectional Links in Ad Hoc Networks

Yusuke FUKUI[†] Masaki BANDAI^{*} and Takashi WATANABE^{**}

[†]Graduate school of informatics, Shizuoka University

^{*}Faculty of informatics, Shizuoka University ^{**}Graduate School of Science and Technology, Shizuoka University

Abstract In recent years, ad hoc networks have attracted a significant amount of attention. Various protocols are proposed since the nodes can construct ad hoc networks without depending on infrastructures. In this paper, especially we focus on the problems of unidirectional links due to heterogeneity of transmission power of nodes, and we evaluate an on-demand protocol called LEX-R (Least EXposed Routing to avoid unidirectional links). LEX-R avoids the interference from unidirectional links to establish routes with bidirectional links. It solves the hidden terminal problems incurred by unidirectional links and improves the packet delivery ratio and route establishment ratio in the power heterogeneous networks. We show via simulations that, especially, LEX-R outperforms AODV-BL with regard to packet delivery ratio, route establishment ratio and any evaluation in random topology.

1. はじめに

現在固定インフラに依存することなく、端末が自律分散的にネットワークを構築するアドホックネットワークが各所で研究されている。これまで提案されてきたプロトコルは、全端末同様の送信電力で送信を行うことが前提となっているものが多い。しかしながら実際の環境では携帯電話、PDA 等各端末が持つ送信電力の相違が存在し、送信範囲が不均一である環境が想定される。送信範囲が不均一な環境では、片方向リンクが生じ、全端末の性能が同一という前提のもと考案されたプロトコルの性能は悪化する。

2. 片方向リンク

図 1 で示す通り、片方向リンクとは送信電力の大きい端末 (以下 High Power Node) から信号は到達可能であるが、一方で送信電力が小さい端末 (以下 Low

Power Node) からの信号は到達不可能であるリンクを言う。この片方向リンクがネットワーク上に発生することで、ネットワーク層、MAC 層において問題が生じる。

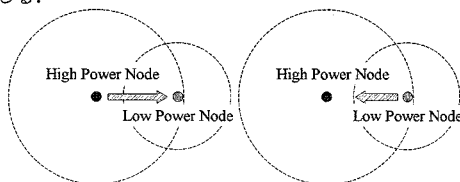


図 1: 片方向リンクが生じる例

2.1. ネットワーク層での問題

オンデマンドルーティングプロトコルでは、宛先端末までのルート構築をオンデマンドで行うため、データが発生すると、Route REQuest (RREQ) をネットワ

ーク全体にフラッディングする。RREQを受信した宛先は、送信元に対して Route REPLY(RREP)を返送する。しかし、片方向リンクがルート上に発生することで RREP が返送されず、送信元は RREQ 再送する必要がある。このことで、ルート構築遅延が発生する。これを解決する方法として、片方向リンクを利用する方法と双方向リンクのみを利用する方法がある[2,3,7-10]。

片方向リンクを利用する方法は、ルート構築率は高いが MAC 層において制御メッセージ交換によるハンドシェイクを行うことができず、信頼性の低いルート構築することとなる。一方で、双方向リンクのみを利用する方法は、MAC 層において確実にハンドシェイクを行うことが可能であり、信頼性の高いルート構築を行うことが可能である。片方向リンクが存在するネットワークにおいて、MAC 層でのハンドシェイクは、信頼性を確保する上で重要である。提案方式では、MAC 層をも考慮に入れたルーティングプロトコルであり、信頼性の高い通信を目指す。そのため、後者の双方向リンクのみを利用する方法に着目する。

■ Ad Hoc On-Demand Distance Vector Routing with Black List(AODV-BL)[2]

双方向リンクを利用する方法で、Ad Hoc On-Demand Distance Vector Routing(AODV)[1]の拡張プロトコルとして、AODV-BL が存在する。AODV-BL はオンデマンドでルート構築要求を行い、エンドツーエンドの宛先端末は送信元に向けて RREP を返送する。しかし RREP を返送する端末は、リンクバイリンクの宛先端末から一定期間内に RREP-Acknowledgment(RREP-ACK)が返送されない場合、自身とリンクバイリンクの宛先端末は片方向リンクであると判断し、この宛先端末を Black-List(BL)としてテーブル (BL テーブル) に記録する。以後 BL 端末からの RREQ を破棄し、双方向リンクのみのルート構築を行うことで、ルート探索にかかるオーバーヘッドの低減を図っている。しかし、AODV-BL は RREP-ACK によって初めて片方向リンクを検出するため、早期に片方向リンクに対処してルート構築を行うことが不可能であり、ルート構築にかかる遅延が大きいたことが問題となる。

2.2. MAC 層での問題に対処する MAC プロトコル

まず初めに、従来の片方向リンクを考慮に入れない MAC プロトコルにおける、片方向リンクによる問題を説明する。チャネルの競合を防ぐ目的のため Request To Send(RTS)/Clear To Send(CTS)制御メッセージを利用する従来プロトコルは、リンクバイリンクでのユニキャスト通信開始前に RTS/CTS 交換を行うことで近隣に存在する隠れ端末からの通信干渉を抑制する。しかし片方向リンクによる隠れ端末からの通信干渉を抑制することは不可能である。

図 2 は、片方向リンクによる隠れ端末が起こる例を示す。H を High Power Node, L1, L2 を Low Power Node とする。L1 と L2 は通信開始前に RTS/CTS 交換を行う。L1, L2 の送信範囲内の端末は L1-L2 間の通信終了後まで自身の送信を控えることで通信干渉を抑制する。一方で H は、L1 と片方向リンクであり、L1-L2 間の RTS/CTS 交換を受信不可能な位置に存在する。そのため、L1-L2 の通信中に自身の送信を開始可能である。

また H は High Power Node であるため送信開始することで L1-L2 の通信を干渉する。

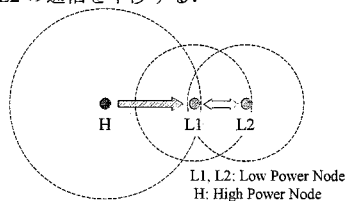


図 2:片方向リンクによる隠れ端末問題

■ Handling Asymmetry in Power Heterogeneous Ad-Hoc Networks: A cross Layer Approach [4] (以下 Shah らの方式)

Shah らの方式では、High Power Node からの通信干渉を抑制するため、近隣数ホップ以内で干渉する可能性のある端末に制御メッセージをマルチキャストする方式をとる。この方式はネットワーク層、MAC 層のクロスレイヤ方式であるため、MAC 層のみでなくネットワーク層の大幅な変更が必要となる。ネットワーク層は定期的に Hello パケット交換を行い、自身の近隣 N ホップ内端末のアドレスと各端末とのリンク状態 (片方向リンク or 双方向リンク) をテーブルに保持する。テーブル情報からマルチキャストツリーを作成し、制御メッセージのマルチキャストを行う。制御メッセージのマルチキャストはフラッディングと比較し、パケット数低減を行うが、近隣の干渉端末数が多い場合には制御メッセージ数が増加し、トラフィックの増加につながる。また制御メッセージ伝播範囲を広げることにより、さらさら端末が増加し、スループットが低下する。関連研究である、UAMAC[6]はより小規模なネットワークを考慮した方式で Shah らと同様の方式を考察している。

また、ネットワーク層の問題を解決するプロトコルであげた AODV-BL では、MAC 層での問題を考慮していないため、片方向リンクによる隠れ端末から影響を受けやすいルートを構築する場合が存在する。このため、ネットワークスループットの低下が問題となる。

2.3. 他プロトコルとの比較

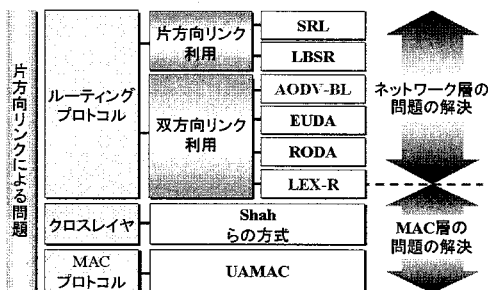


図 3: 片方向リンクに特化したプロトコルの分類

上記した二つのプロトコル以外にも多くのプロトコルが存在する[3,7-10]。図 3 は片方向リンクに特化したプロトコルの分類を示す。図からも分かる通り LEX-R は、双方向リンクを利用したルーティング方式で、ネットワーク層、MAC 層両層の問題を解決するプロト

コルであることがわかる。

3. LEX-R

(Least Exposed Routing to avoid unidirectional links) [6]

これらの問題点を受け、これまでオンデマンドルーティングプロトコル LEX-R を提案してきた。LEX-R では早期に片方向リンクを検出し、RREQ が双方向リンクのみのルートを進めることで、AODV-BL と比較しルート構築遅延を低減する。また MAC 層の既存プロトコルを大幅に変更することなく、片方向リンクによる隠れ端末からの干渉を低減図る、干渉を避けるルート構築を行う。LEX-R は以下のフェーズからなる。

I. 片方向リンク検出フェーズ

II. ルート発見フェーズ

これら 2つのフェーズを詳細に説明する。

3.1. 片方向リンク検出フェーズ

LEX-R では各端末は定期的に Hello パケット交換を行い、近隣端末とのリンク状態（片方向リンク：Unidirectional Link, 双方向リンク：Bidirectional Link）を認識する。各端末は、一定期間内に受信した端末の ID を自身の Hello パケット内に記載し、送信を行う。Hello パケットを受信した端末は、自身の ID が Hello パケットに記載されている場合は、双方向リンクであると判断する。反対に、自身の ID が記載されていない場合は、片方向リンクであると判断する。このリンク状態を近隣端末テーブルに登録し、ルート構築に利用する。

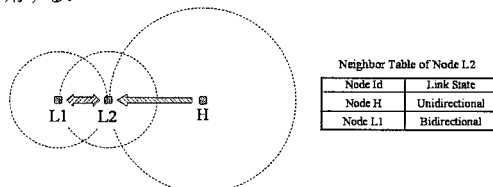


図 4：Hello パケット交換後の L2 の近隣端末テーブル

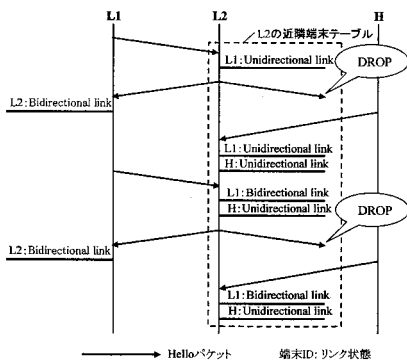


図 5：片方向リンク検出フェーズ

図 4 は Hello パケット交換後の端末 L2 の近隣端末テーブルを示す。図 4 の端末の位置関係、送信範囲に基づいた片方向リンク検出フェーズを図 5 に示す。まず初めに図 5 において端末 L1 が Hello パケットを送信し、端末 L2 は Hello パケットを受信する。端末 L1 の Hello パケットには近隣端末情報が存在しないため、

端末 L2 はテーブルに端末 L1 とは片方向リンクであると登録する。次に端末 L2 は近隣端末テーブルを参照し、Hello パケット内に端末 L1 の情報を記載し送信する。端末 L1 は端末 L2 からの Hello パケットを受信すると、パケット内に自身の ID が存在するため端末 L2 とは双方向リンクであると認識する。一方で端末 H は端末 L2 からの Hello パケットを受信することが不可能であるため、端末 H のテーブルは更新されない。同様に端末 H が Hello パケットを送信し、端末 L2 はこれを受信する。しかし自身の ID がパケット内に存在しないため、端末 L2 は端末 H とは片方向リンクであると認識し、自身のテーブルを更新する。次に端末 L1 が自身のテーブルを参照し、端末 L2 の情報を Hello パケット内に記載し送信する。これを受信した端末 L2 は Hello パケット内に自身の ID が存在するため端末 L1 とは双方向リンクであると認識し、テーブルを更新する。このように Hello パケット交換によってリンク検出を行った結果が図 4 のテーブルであり、各端末は近隣端末とのリンク状態を把握することが可能となる。この近隣端末テーブルを利用し、ルート発見フェーズを行う。

3.2. ルート発見フェーズ

LEX-R では“双方向リンクのみのルート構築”と、“片方向リンクによる隠れ端末問題を防ぐルート構築”を行う、二つの RREQ 転送アルゴリズムを同時に用いる。

3.2.1. 双方向リンクのみのルート構築

RREQ を受信した端末は自身が宛先でない場合、次の(1)~(3)の 3つの条件を全て満たすと、本稿 3.2.2 節「片方向リンクによる隠れ端末からの干渉を避けるルート構築」の条件に従い RREQ 転送を行う。(1)~(3)の条件の一つでも満たさない端末は RREQ を破棄する。
(1) 届いた RREQ のホップ数が TTL 以下である。
(2) 同シーケンス番号を持つ RREQ を未転送である。
(3) 1 ホップ上流端末と双方向リンクを確立できる。

(1)の条件はホップ数が過度に多くなるルート構築を防ぐためである。(2)の条件は RREQ 転送によるブロードキャストストームを防ぐためである。(3)は双方向リンクのみのルート構築を行う条件である。各端末は、片方向リンク検出フェーズにおいて近隣端末とのリンク状態を把握している。そこで、(3)の条件に従い片方向リンクを持つ端末からの RREQ を事前に破棄することで、すべて双方向リンクのみのルートに沿った RREQ が宛先に到着することになる。構築されるルートは早期、つまり最初の RREQ の段階で、双方向リンクのみのルート構築を行い、AODV-BL と比較しルート探索にかかるオーバヘッドを低減する。

3.2.2. 片方向リンクによる隠れ端末問題を防ぐルート構築

片方向リンクによる隠れ端末問題を防ぐルート構築では、隠れ端末による干渉が少なく信頼性の高い通信を行うルート構築を目指す。まず初めに、RREQ を破棄する基準（判断メトリック）を考える必要がある。各端末は片方向リンクを持つ端末から受信する制御メッセージ数を常にカウントし、近隣端末テーブルを更新する。制御メッセージは MAC 層における RTS と CTS を意味する。この一定期間内に各端末が片方向リ

リンクを持つ端末から受信する制御メッセージ数を干渉量とし、“Historical Exposed Index”, $HEI(r,i)$ と定義する。

$HEI(r,i)$ はRREQ受信端末 r が近隣に存在する片方向リンクを持つ端末 i から受ける制御メッセージ数を意味する。また、近隣に存在する片方向リンク数で割った平均 $\overline{HEI(r,i)}$ を次式と定義する。

$$\overline{HEI(r,i)} = \frac{\sum HEI(r,i)}{U} \quad (1)$$

U は近隣の片方向リンクを持つ端末数を表す。上記の双方向リンクのみのルート構築条件を全て満たしたRREQ受信端末は $\overline{HEI(r,i)}$ を参照し、以下のRREQ転送関数に従ってRREQ転送が破棄かを決定する。

3.2.2.1. RREQ 転送関数

RREQ 転送関数では、 $\overline{HEI(r,i)}$ と比較する閾値を設定し、閾値より低い場合はRREQを転送する。一方、閾値より高い場合は、RREQの再送回数によって変動する転送確率に従い、転送するか否かを判断を行う(図6)。転送確率は送信元からのRREQ再送回数が最大再送回数となった場合、RREQ転送確率が1となる様に変動する(図6では、RREQ最大再送回数は3)。式2にRREQ再送が発生した場合の転送確率を示す。

$$P = \frac{\text{現在のRREQ再送回数}}{\text{RREQ最大再送回数}} \quad (2)$$

このことで、ルートが全く構築されない場合を避けることが可能である。

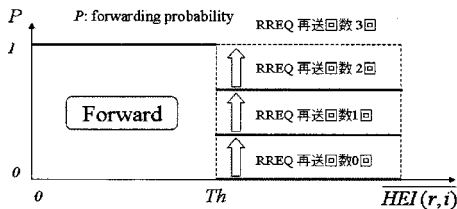


図 6: RREQ 転送関数

3.2.3. ルート構築例

先述したルート発見フェーズで構築されるルートの例を示す(図7)。送信元(Source)でデータが発生すると宛先(Destination)に向けてRREQをフラッディングする。この送信元からのRREQを双方向リンクである端末L1, L2が受信する。ここで、図中の破線の楕円は片方向リンクが及ぼす影響を示している。端末H1とL1間の破線の円は片方向リンクによるMAC層での隠れ端末問題を示す。端末L1はH1から干渉を受けやすい端末であり、干渉量が多い場合はRREQを破棄する。このため、Source-L1のルートは構築されない。

一方で、端末L1がH1から干渉をあまり大きく受けない場合、端末L1は端末H2に向けてRREQを転送することが可能である。また、端末H2は干渉を受けない端末であるため、RREQを転送することが可能である。しかし、端末H2、Destination間は片方向リンクであるため、Destinationは端末H2から来るRREQをすべて破棄する。このことでSource-L1-H2-Destinationというルートは構築されない。つまり片方向リンクの影響

を受けないSource-L2-L3-Destinationというルートが構築される。

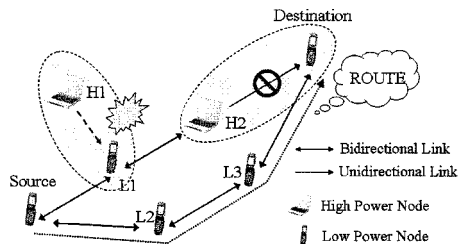


図 7: ルート構築例

3.3. AODV-BL との定性的比較

LEX-Rは双方向リンクのみを利用するオンデマンドルーティングプロトコルであるため、最も関係の深いAODV-BLと比較する。今回はネットワーク層のみの評価であるため、比較対象プロトコルはAODV-BLのみとし、Shahらの方式との比較は今後検討する。

両プロトコルの相違点を表1に示す。LEX-Rは片方向リンク検出にHelloパケット交換を利用する。一方AODV-BLでは片方向リンク検出にHelloパケットを利用しない。このためLEX-RはHelloパケットによるオーバーヘッドが大きくなることが考えられる。またLEX-Rは不要なRREQを破棄するため、ルーティング制御メッセージ(RREQ, RREP, RERR)はAODV-BLより少なくなると考えられる。LEX-Rは干渉から避けて通るルートを構築するため、最短ホップのルートを構築するAODV-BLと比較しホップ数が多いルートを構築することとなる。最後に、LEX-RはMAC層での片方向リンクによる干渉を考慮したルートを構築するのに対し、AODV-BLでは考慮していない。

表 1: AODV-BL との定性的比較

	LEX-R	AODV-BL
Helloパケット交換の有無	必要	不必要
片方向リンクの検出	Helloパケット交換	RREP-ACK
片方向リンク検出までの時間	Helloパケット交換に依存	RREPが返送されるまで
片方向リンクからのRREQ	破棄	破棄
双方向リンクからのRREQ	RREQ転送関数に従う	転送
ネットワーク全体のRREQ数	少	多
ルート要求から構築までの時間	小	大
ルート構築方法	オンデマンドルーティングプロトコル	オンデマンドルーティングプロトコル
ホップ数	大	小
MAC層の考慮	有り	無し

4. 性能評価

本稿では、Qualnet Network Simulator 3.9[11]を用いてLEX-Rの性能を評価する。比較対象プロトコルは最も関係の深いAODV-BLとし、評価対象は、パケット到達率、ルート構築率、ルート構築遅延、ルーティング制御メッセージ数(RREQ数)とする。我々はこれまで、High Power Nodeが分散もしくは集中して存在する基本グリッドトポロジにおいてLEX-Rの評価を行い、比較対象プロトコルAODV-BLと比較し高い性能であることを示してきた[6]。本稿では、ランダムトポロジにおいてもLEX-RがAODV-BLと比較し高い性能であることを示す。

1500m四方の二次元空間に50端末をランダムに配

置して評価を行う。端末の送信範囲に関しては、Low Power Node は 200m、一方 High Power Node は 400m とする。各評価対象は、High Power Node の全体に占める割合（存在割合）を変化（0～50%）させ、評価を行う。また、通信フローは全部で 5 フロー存在し、組み合わせは固定とする。各フローは CBR フロー 100Kbps とする。そして、一つの High Power Node の存在割合に対して、ランダムに 10 回 High Power Node を選択し評価を行う。シミュレーションは各存在割合につき 100 回施行しその平均を計算した。その他のパラメータは以下の表 2 に示す。

表 2：シミュレーションパラメータ

シミュレーション時間	600s
領域	1500×1500m ²
端末数	50
送信範囲(Low Power Node)	200m
送信範囲(High Power Node)	400m
高送信電力端末の割合	0～50%
物理層	IEEE 802.11b (11Mbps)
MAC層	IEEE 802.11DCF
モビリティ	なし
フロー	CBRフロー 5本
比較対象プロトコル	AODV-BL
RREQ再送回数	2回
LEX-R閾値	1, 10, 50, 100

4.1. シミュレーション結果

はじめに、パケット到達率（Packet Delivery Ratio）の評価について述べる。図 8 は LEX-R と AODV-BL における End-to-End のパケット到達率を示す。LEX-R は各存在割合において、AODV-BL より高いパケット到達率を得ることを示している。特に存在割合が 20% のときでは、最大で 30% の改善を示している。High Power Node の存在割合が 0% のときはすべての端末が Low Power Node であることから片方向リンクによる影響を受けないため高いパケット到達率を示す。また、High Power Node の存在割合が 50% のときは High Power Node を利用してホップ数の短いルート構築を行うことが可能であることから、高いパケット到達率となる。

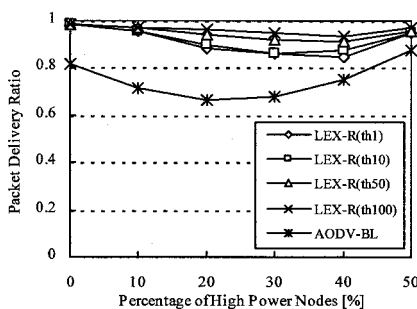


図 8：パケット到達率

次にルート構築率（Route Establishment Ratio）の評価について述べる。ルート構築率は、各フローの送信元がフラッディングした RREQ 数における、返送された RREP 数の割合と定義する。図 9 は LEX-R と AODV-BL におけるルート構築率を示す。ルート構築率についても LEX-R の各閾値によるルート構築率は、AODV-BL と比較し高い値を維持していることがわか

る。しかし、LEX-R(th1)の場合、High Power Node の割合が 30% 以上で AODV-BL と比較し低い値となっていることがわかる。これは、ほかの閾値と比較し、RREQ を破棄する率が高いためであると考えられる。また High Power Node の存在割合が 20～40% の場合にはどの閾値であっても構築率が低下していることがわかる。これは片方向リンクが多く存在するため、双方向リンクのみのルートが構築されにくい状況となっているためであると考えられる。

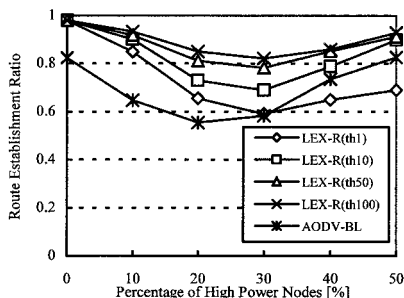


図 9：ルート構築率

次にルート構築遅延（Route Establishment Delay）の評価について述べる。図 10 はルート構築遅延を示し、ルート構築遅延は、各フローの送信元が RREQ を送信してから、RREP が送信元に返送されるまでの時間と定義する。結果から、High Power Node の各存在割合において LEX-R (th10, th50, th100) は AODV-BL と比較し、ルート構築にかかる遅延を低減することができた。一方で LEX-R (th1) は AODV-BL より遅延が大きくなっていることがわかる。これは LEX-R (th1) は、RREQ を破棄する可能性が高く、初めの RREQ でルートが構築される可能性が低いことが原因と考えられる。

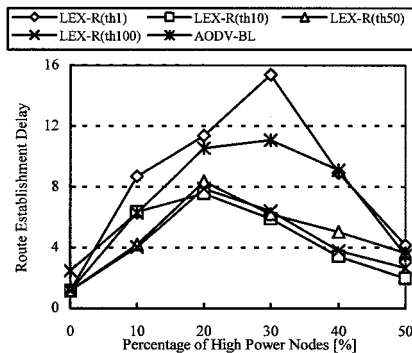


図 10：ルート構築遅延

最後にネットワーク全体に転送される RREQ 数の評価について述べる。図 11 は LEX-R と AODV-BL におけるネットワーク全体に転送される RREQ 数を示す。LEX-R では無駄な RREQ 転送を避けるため、不要な RREQ を早期に破棄する。このことから、LEX-R の各閾値での値は、AODV-BL と比較し低減されていることがわかる。つまり、LEX-R は AODV-BL と比較し、ルーティング制御メッセージのオーバーヘッド低減が可能である。

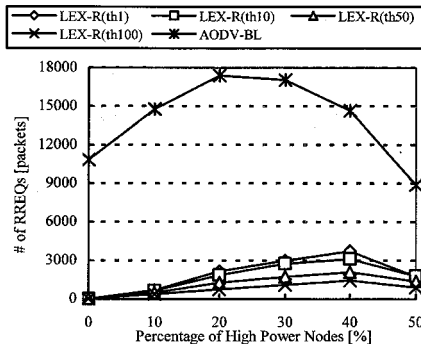


図 11: RREQ 数

5. 議論

本章ではLEX-Rの送信電力レベルが n 個の場合への拡張についての検討を行う。またデータパケットサイズが異なる場合の $\overline{HEI}(r,i)$ の定義の検討を行う。最後に評価結果を受けてより複雑な方式の検討を行う。

5.1. 送信電力レベルが n 個の場合への拡張

本稿では性能評価を含め問題の簡略化のため High Power Node, Low Power Node の2端末が存在する環境を前提とした。しかし、実際の環境複数の異なる送信電力端末が存在することが考えられる。LEX-RはHelloパケットが届くか否かでリンク状態を検出する。そのため異なる複数の電力レベル存在する環境においても、Helloパケットが届くか否かでリンク状態を判断可能である。したがってLEX-Rは、一般的に n 個の送信電力レベルが存在する環境においても動作する。

5.2. パケットサイズが異なる場合の干渉量の定義

本稿では全フローのデータパケットサイズは同一と仮定しており、実際のデータ通信にかかる時間は同一である。そのため $\overline{HEI}(r,i)$ は制御メッセージ数のみで定義している。しかしデータパケットサイズが異なる場合は、データ通信にかかる時間は異なる。このことからデータ通信にかかる時間を干渉量として考慮する必要がある。また、 $\overline{HEI}(r,i)$ は過去の制御メッセージから得られた情報であるため、今後はキューに入ったパケット等から判断する干渉量を検討する必要がある。

5.3. 複雑な方式の検討

評価結果より、LEX-RはAODV-BLと比較高いルート構築率であることを示した。しかし、High Power Nodeの存在割合が20~40%の場合は、どの閾値であっても構築率が低下することを示した。このHigh Power Nodeの存在割合では、片方向リンクが多く存在し、双方向リンクのみのルートを構築することが困難なためである。LEX-RではMAC層におけるハンドシェイクを確実にし、信頼性の高いルート構築を行うため双方向リンクのみのルート構築を行う。しかし、ルート構築率が低い場合には、片方向リンクを利用するルート構築とのハイブリッドな方式を検討する必要がある。特に、今後は片方向リンクを利用するルーティングを用いた場合のMAC層でのハンドシェイクについて詳細に検討する必要がある。

6. まとめ

本稿では送信範囲が異なる環境下で起こる片方向リンクによる問題を解決するためのルーティングプロトコルLEX-Rを、コンピュータシミュレーションを用いてランダムトポロジでの性能評価を行った。

LEX-Rは片方向リンク端末から来たRREQを破棄することで早期に双方向リンクのみのルート構築を行うことを示した。また片方向リンクによる隠れ端末からの干渉量 $\overline{HEI}(r,i)$ を基にRREQ転送関数によりRREQ転送か否かを判断し、片方向リンクによる隠れ端末問題からの干渉が少ないルート構築を行う。

本稿ではランダムトポロジにおいて、全体に占めるHigh Power Nodeの割合を0~50%に変化させたときの、パケット到達率、ルート構築率、ルート構築遅延、ネットワーク全体に転送されるRREQ数を評価対象とし評価を行った。結果から、比較対象プロトコルであるAODV-BLと比較し、高い性能を示した。また、全体に占めるHigh Power Nodeの存在割合が10~40%である場合では両プロトコルとも全体の性能が落ちることを示した。特にAODV-BLが片方向リンクによって受ける影響は大きいことがわかった。これはHigh Power Nodeの存在割合から、片方向リンクが多く存在し、片方向リンクによる隠れ端末問題等が悪影響を及ぼしていることが原因であると考えられる。一方でHigh Power Nodeの存在割合が0%の場合は片方向リンクが存在しないため、両プロトコルの性能の差は小さい。そして存在割合が50%の場合は、High Power Nodeが構築されるルートに含まれる確率が高いため、小さいホップで通信可能なフローが多く存在することとなり、LEX-R、AODV-BLとも他の存在割合の場合に比べ高い性能を示した。

参考文献

- [1] Perkins, C., and Royer, E.: Ad-hoc on-demand distance vector routing, Proc. of IEEE WMCSA, New Orleans, LA, pp. 90-100 (Feb. 1999)
- [2] Perkins, C., and Royer, E., and Das, S.: Ad hoc on-demand distance vector (AODV) routing, IETF, RFC 3561 (Jul. 2003)
- [3] Nesargi, S., and Prakash, R.: A tunneling Approach to Routing with Unidirectional Links in Mobile Ad Hoc Networks, Proc of the IC3N2000, pp.522-527 (Oct. 2000)
- [4] Shah, V., and Krishnamurthy, S.: Handling Asymmetry in Power Heterogeneous Ad-Hoc Networks: Across Layer Approach, Proc of the IEEE ICC2005 (Jun. 2005)
- [5] Lee S.-H., Choi J.-M. and Ko, Y.-B.: UAMAC: Unidirectional-link Aware MAC Protocol for Heterogeneous Ad Hoc Networks, Proc of the ADHOC-NOW2004 (Jul. 2004)
- [6] 福井裕介, 萬代雅希, 渡辺尚, “片方向リンクを考慮したアドホックネットワークルーティングプロトコルの提案と検討”, 情報処理学会研究報告, 2007-MBL-40, pp.113-120, 2007
- [7] Asano, T., Unoki, H. and Higaki, H.: LBSR: routing protocol for MANETs with unidirectional links, Proc of the IEEE AINA2004, pp.219-224 (Mar. 2004)
- [8] Kim, D., Toh C.-K. and Choi, Y.: RODA: a new dynamic routing protocol using dual paths to support asymmetric links in mobile ad hoc networks, Proc of the IEEE ICCCN2000, pp. 4-8, (Oct. 2000)
- [9] Ko, Y.-B., Lee, S.-J. and Lee, J.-B.: Ad hoc Routing with Early Unidirectionality Detection and Avoidance, Proc of the PWC2004, pp.132-146, (Sep. 2004)
- [10] Ramasubramanina, V., Chandra, R. and Daniel, M.: Providing a Bidirectional Abstraction for Unidirectional Ad Hoc Networks, Proc of the IEEE INFOCOM2002, pp.1258-1267, (Jun. 2002)
- [11] QualNet Network Simulator 3.9 <http://www.qualnet.com>