

BloomFilter を用いたゾーンルーティングプロトコルの提案と評価

大井川 由莉亜[†] 佐藤 文明[†]

東邦大学[†]

1. はじめに

近年、インフラストラクチャを必要とせず、無線端末同士が直接通信を行うことでネットワークを構築する MANET(Mobile Ad-hoc Networks)が注目されている。MANET は制御パケットをノード間で送受信することで、通信経路を構築し、通信を行うことができる。しかし、経路構築のための制御パケット数が多いと、ネットワーク帯域の無駄遣いや、端末の電力消費に影響を及ぼす。したがって、経路構築のための制御パケットの送受信数を減らすことは、MANET の性能を高めることに繋がる。本稿では、ゾーン型ルーティングプロトコル ZRP において、ネットワーク内のノードで木構造を構築し BloomFilter を用いてノード位置を検索することで、無駄な制御パケットを削減する方式を提案する。

2. 関連研究

2.1 ZRP(Zone Routing Protocol)[1]

ZRP は通信遅延と制御パケットの増加を抑制するため、2 種類のプロトコルを組み合わせたハイブリッド型ルーティングプロトコルである。ZRP では、各ノードはゾーンと呼ばれる周辺領域を管理する。ZRP における各ノードはゾーン半径という値を用いて、ゾーン半径内では IARP、ゾーン半径外で IERP を用いて通信を行う。

(a)IARP(IntraZone Routing Protocol)

IARP では、各ノードが定期的に制御パケットを送受信し、経路情報を交換することでルーティングテーブルの作成・更新を随時行う。

(b)IERP(IntErzone Routing Protocol)

IERP は全方向のゾーン境界ノードに対して制御パケットを送信することで、通信経路の探索を行う。クエリパケットを受け取ったノードは、自身のゾーン内に先が存在するかどうかを確認し、存在すれば送信元へリプライパケットを返答し、存在しなければ、さらにゾーン境界ノードに対してクエリパケットを転送していく。

IERP は、ZRP の全領域に制御パケットが拡散するためコストが大きい。このコストを削減することが本論文の目的である。

2.2 EZRP(Enhanced Zone Routing Protocol)

ZRP の改良プロトコルとして、ゾーン外のルーティングにおいて経路探索を行う際に経路信頼値を算出し、その値によって探索方法を変える EZRP の研究が行われている[2]。経路信頼値とは、ある宛先に対して行った通信履歴が 10 件以上のとき、その通信結果を元に算出される値である。EZRP では、ゾーン外のルーティングにおいて経路信頼値が低い場合にはクエリパケットの送数を減らす事で、トラフィック量を削減しネットワーク性能を向上させている。

2.3 BloomFilter を用いたルーティング方式

リアクティブ型のルーティングプロトコルに検索アルゴリズムである BloomFilter を適用する研究が行われている[3]。BloomFilter を用いて宛先ノードの存在する可能性のある方向を検索することで、経路探索用の制御パケットのフラッディング範囲を限定する。その結果、BloomFilter を適用しない場合よりも、制御パケット総数を削減することができる。

この方式では、BloomFilter を各ノードが管理するため、その手間が大きいという課題がある。

3. 提案方式

本研究では、ZRP のリアクティブ型プロトコル IERP における制御パケットを削減する方式を提案する。

3.1 BloomFilter を用いた検索

BloomFilter は、0 と 1 からなるシンプルなビット配列を用いた検索アルゴリズムである。図 1 に BloomFilter の例を示す。BloomFilter は、検索キーを複数のハッシュ関数にかけて得られたハッシュ値をビット位置として 1 を立てたビット配列である。複数の検索キーが含まれるデータに対する BloomFilter は、各検索キーから作った BloomFilter を OR 演算して統合することで作成できる。データの中に、探したいキーが存在するか調べる際には、そのキーをハッシュ関数にかけ、ビット配列を作成し、データの BloomFilter と AND 演算をすることで検索を行う。AND 演算の結果とキーのビット配列が同一の場合にヒットとし、データの中に目的のキーが存在することが判る。

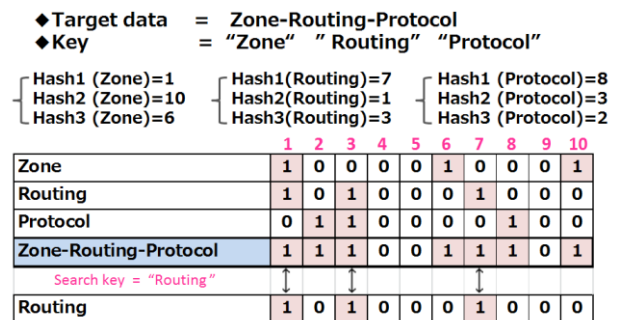


図 1. BloomFilter の例

提案方式では、木構造に含まれる一部のノードに BloomFilter を管理させ、それを用いて目的ノードの方向を検索し、制御パケットの送信方向を絞ることで無駄な制御パケットを削減する。

3.2 ノード木構造

提案方式では、ネットワーク上に存在するノードによって自律的に木構造を構成する。木構造の例を図 2 に示す。木構造のメンバとなるノードは、ゾーン半径の境界に位置するノードのみである。木構造を構成することで、木構造

Zone Routing Protocol using Bloom Filter for Mobile Ad Hoc Networks

[†]Yuria Oigawa [†]Fumiaki Sato, [†]Faculty of Science, Toho University

のメンバノードは、自身の親ノードと子ノードを保有する。この際に、親ノードは各ノードで必ず 1 つとする。木構造の作成には、IERP の制御メッセージを拡張した手順を用いる。

3.3 制御手順

提案方式の手順を(1)～(3)に示す。(1)(2)は通信要求前、(3)は通信要求が発生した際の手順である。

(1)木構造を構成する各ノードは、自身のゾーン半径内のノードのノード ID から、3 つのハッシュ関数を用いて BloomFilter を作成する。

(2)各ノードは親ノードの方向にあるノード情報と、子ノードの方向にあるノード情報を、それぞれ BloomFilter によって管理する(図2)。BloomFilter の伝搬は、木構造を作成するときの制御メッセージに含める。

(3)通信要求が発生した際には、送信元ノードやクエリパケットを受け取ったノードは、自身が持つ BloomFilter で目的ノードの方向を検索する。BloomFilter にヒットした方向には、クエリパケットを転送する。ヒットする方向が見つからない場合は、その後の処理は行わない。

BloomFilter には擬陽性がある。たとえば、複数のノードから生成したビット列を統合した BloomFilter の場合、検索の際に違うノードによって算出されたハッシュ値にヒットしてしまうことがある。この場合、目的ノードが存在しない方向にも制御パケットを送信することになる。しかし、BloomFilter は目的ノードが存在する方向には必ずヒットするため、擬陽性があっても、通信自体に問題は生じない。

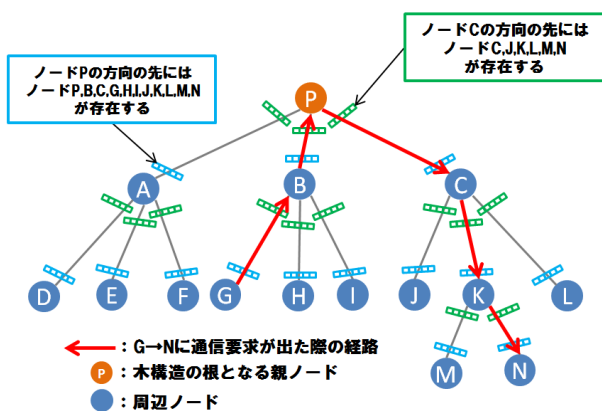


図 2. BloomFilter の適用

4. 評価

4.1 実験シナリオ

研究では、ネットワークシミュレータ QualNet6.1 を用いて実験し、性能評価を行う。

表 1. シミュレーションパラメータ

ノード配置	格子状
ノード間隔	200m
ノード数	81
無線電波距離	210m
ノードの移動	なし
MAC プロトコル	IEEE802.11b
BloomFilter 長	64, 128bit
ハッシュ関数	3 種類

評価に用いた木構造は、中央のノードを根とした IERP のゾーン境界ノードによって構成した木を採用した。

通信要求は、(1)送信元を中央に位置するノードとし、宛先を隅に位置するノードとする場合と、(2)送信元を隅に位置するノードとし、宛先を送信元から対角線上の隅に位置するノードとする場合とを評価した。

なお、今回の性能評価には木構造を構築するための制御パケットは含まない。

4.2 実験結果

従来方式と、BloomFilter が 64bit と 128bit の提案方式を実験した結果を図 3 に示す。BloomFilter が 128bit の提案方式では、従来方式よりも(1)(2)ともに 50%程度クエリパケット数を削減することができた。また、BloomFilter のビット数が多いと、偽陽性の可能性が減るため、無駄なクエリパケットの送信を削減でき、性能が向上した。

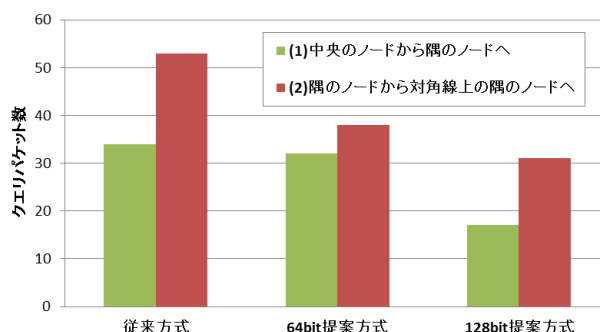


図 3. 実験結果

5. まとめ

本研究では、ゾーン型ルーティングプロトコル ZRP において、ネットワーク内のノードで木構造を構築し BloomFilter を用いてノード位置を検索することで、無駄な制御パケットを削減する方式を提案した。シミュレーション実験をした結果、従来の ZRP よりクエリパケット数を削減でき、ネットワーク性能の向上を示すことができた。

今後は、より詳細な評価をするために、複数の通信パターンを想定し実験を行う。

参考文献

[1] Z. J. Haas, M. R. Pearlman and P. Samar, "The Zone Routing Protocol (ZRP) for Ad Hoc Networks", IETF MANET INTERNET DRAFT, draft-ietf-manetzone-zrp-04.txt, 2002.

[2]Haruki OSANAI, Akio KOYAMA, "An Implementation and Performance Evaluation of Zone-based Routing Protocol for MANET", 電子情報通信学会技術研究報告. NS, ネットワークシステム 112(85), pp.1-6, 2012.

[3]Tomoyuki Osano, Yoshitaka Uchida, Norihiro Ishikawa, "Routing Protocol using Bloom Filters for Mobile Ad Hoc Networks", The 4th International Conference on Mobile Ad-hoc and Sensor Networks(MSN 2008), pp. 89 - 94, 2008.