

M-061

## アドホックネットワークのブロードキャストにおける 高信頼プロトコルに関する検討

### Fault-tolerant Broadcasting Protocol for Ad-Hoc Networks

宮尾 健士<sup>†</sup>  
Kenji MIYAO

中山 英久<sup>‡</sup>  
Hidehisa NAKAYAMA

加藤 寧<sup>†</sup>  
Nei KATO

#### 1. まえがき

近年、ユビキタス社会への実現に向けて、その基盤技術としてのアドホックネットワークに注目が集まっている。アドホックネットワークは、基地局などのインフラを必要としないネットワークであり、小型の通信端末同士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におけるブロードキャストの消費電力を抑えるため、各端末は送信電力を調節し、出力を抑制することでネットワーク全体での電力消費量を最小化する。アドホックネットワークでは、ネットワーク全体の端末の情報を把握することは困難であるため、局所的な情報のみから通信半径を決定する必要があり、そのための手法としてLMST (Local Minimum Spanning Tree) [1] などの手法が提案されている。

LMSTは各ノードがネットワークの連結性を保つ最小限の隣接ノードを計算することにより、通信半径を決定するが、論理的な隣接ノード以外にも通信範囲の中に含まれるノードが存在する(図1)。LMSTのトポロジを利用し、オーバヒアリングを用いることにより、更に効率的なブロードキャストを実現する手法として、LBOP (LMST Broadcast Oriented Protocol) [2] が提案されている。

無線通信において、送信半径を小さくすることはネットワーク上のノード間のリンクを削減することを意味し、通信の信頼性が低下してしまう。そこで、信頼性を考慮し、 $k$  次の連結度を保証するトポロジとしてLTRT (Local Tree-based Reliable Topology) [3] などが提案されている。しかし、高信頼トポロジに基づくブロードキャストプロトコルにおいて、LBOPのようにオーバヒアリングを用いることにより更に電力効率を高める手法は提案されていなかった。信頼性を考慮したトポロジにおいてLBOPのようなプロトコルをそのまま用いると、トポロジ上では複数のパスを考慮したにも関わらず、実際の通信では1つのパスしか保証されない。

本稿では、LBOPをトポロジの連結度を考慮したアルゴリズムに改良し、信頼性を考慮したプロトコルを提案する。また、ネットワークの連結度が大きくなるにつれてLBOPの効率は低下してしまうため、高信頼トポロジの特徴を用いることにより更なる電力消費量の削減を実現する。

#### 2. 信頼性を考慮したブロードキャストプロトコル

LMSTのトポロジに基づき、オーバヒアリングを利用して効率的なブロードキャストを実現する手法が

<sup>†</sup>東北大学 大学院 情報科学研究科, Graduate School of Information Sciences, Tohoku University

<sup>‡</sup>東北工業大学 工学部 知能エレクトロニクス学科, Department of Electronics and Intelligent Systems, Faculty of Engineering, Tohoku Institute of Technology

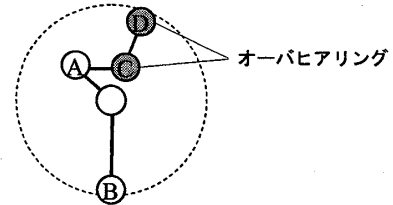


図1: 隣接ノード以外にもノードが通信範囲内に存在

LBOPである[2]。各ノードは、隣接ノードの位置情報を持つため、隣接ノードが通信範囲に含まれているかを知ることが可能である。LBOPでは、ノードがまだ受け取っていない通信をオーバヒアリングした場合に、隣接ノードをリストしたテーブルを作成し、隣接ノードへの通信が確認されたかを記録する。定められた待ち時間の後に、テーブルを確認し、受信が行われていないノードのみに送信を行う。また、文献[2]では、オーバヒアリング時のみでなく、隣接ノードからのメッセージ受信時においても、タイムアウトを用いる手法をLBOP-T (LBOP with full Timeout) として提案し、最も高い性能を示されている。

これを信頼性を考慮したトポロジに適用した場合、2次以上の連結度においては複数経路が保証されているにも関わらず、各ノード1回のみ受信しか保証されない。そこで、上記LBOP-Tを基にして、連結度 $k$ に応じて複数経路からの受信を保証することで信頼性を保つプロトコルを提案する。 $k$  次の連結度を持つトポロジに対するプロトコルは以下のようになる。

1. ソースノードはLMST上の隣接ノードにブロードキャストメッセージを送信する。
2. 新規ブロードキャストメッセージ受信時:
  - (a) 受信ノードはトポロジ上の隣接ノードをリストしたテーブルを作成し、送信者のテーブルの値を $k$ にし、タイムアウトを設定する。
3. 受信済みのメッセージ受信時:
  - (a) すでに送信済みならば破棄する。
  - (b) テーブルの値のうち送信者の値を $k$ にし、このメッセージを受信する隣接ノードの値に1を加算する。
4. タイムアウト時: 隣接ノードの中でテーブルの値が $k$ 以上のノードはメッセージを受信したと見なし、 $k$ 未満のノードのみにメッセージを送信する。

以上のアルゴリズムに基づき、最低でも  $k$  回の通信を保証しながら、電力消費量が削減される。

しかしながら、連結度  $k$  の値が増加するに従って通信回数が増加し、電力消費量の削減効果が小さくなってしまふ。次節では、提案プロトコルを効率化する手法を提案する。

### 3. 提案手法の改善

提案手法において、各ノードが通信を削減するためには、複数回の通信をオーバヒアリングする必要がある。本提案では、2つの方法によりオーバヒアリングの効率を高め、電力消費量を削減する。

#### 3.1 連結度、隣接ノード数に応じたタイムアウト

文献 [2] ではタイムアウト値を明確には定めておらず、特に評価実験においては固定値を用いていた。しかし、タイムアウトにより通信遅延および電力の削減量に違いが生じる。

トポロジの連結度が大きい環境においては、タイムアウト値が小さいと複数回のオーバヒアリングが確認される前に通信が開始される可能性が高くなると考えられる。また、隣接ノード数が多いノードほど一回の通信でより多くのノードが受信することができるため、通信効率が高くなる。これによるタイムアウトの改善効果を得るため、オーバヒアリング時のみでなく隣接ノードからの受信時にも用いることで更に高い効果が期待できる。

これらのことから、提案するプロトコルにおけるタイムアウトは、次のようになる。

1. タイムアウト  $t$  は連結度  $k$  の増加に伴い増加
2. 隣接ノードの増加に伴い減少

以上の2つの性質を持つことで効率的な通信が可能であると考えられる。

#### 3.2 テーブル情報の送信

隣接ノードが共通であっても、他ノードがオーバヒアリングにより得られた情報を受信できていない可能性が存在する。そのため、送信するメッセージと同時にテーブルの情報を送信してそれらの情報を共有することにより、送信が不必要なノードを広く把握することができる。

各ノード  $u$  はメッセージ送信時に自身の持つテーブルを送信し、受信ノード  $v$  は  $u$  から受信したメッセージに含まれるテーブルを参照する。そのとき、自身の持つテーブルに含まれる値と比較し、受信したテーブルの値の方が大きい場合、情報を更新する。

### 4. 性能評価

本節では第3節で示した改善効果について、シミュレーションによる性能評価を行う。1000 × 1000 [m] の正方領域に最大通信半径 250 [m] を持つノードをランダムに配置し、連結度 3 ~ 5 の LTRT を用いてトポロジを構築する。構築されたトポロジ上で、第3節の改善手法を用いたプロトコルと用いないプロトコルのそれぞれにおいて通信を行い比較を行った。

実験はノード密度を 10 ~ 30 に変化させ、各密度で 100 回ずつ行った。ただしノード密度はノードの平均隣

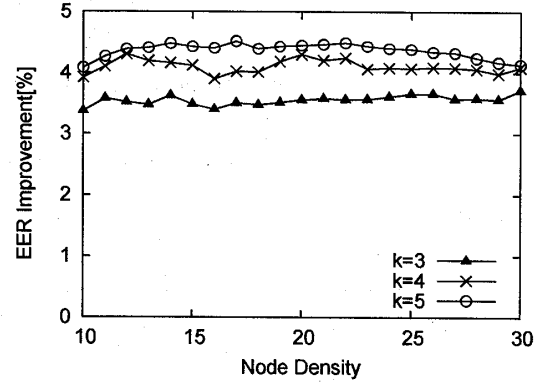


図 2: EER 改善率

接ノード数である。本実験では 3.1 の性質を満たすタイムアウト  $t$  として以下の式を用いる。

$$t = t_{max} - \frac{|N|}{k}, \quad t_{max} = 1 + \log_2 k \quad (1)$$

ただし、1つメッセージの送信時間を 1 としている。

評価指標には、電力消費量の削減効果を示すため、最大消費電力に対する実際に消費した電力の比である EER (Energy Expended Ratio) を用いる。この値が小さいほど電力消費量が削減されたことになる。トポロジ上の各ノードがそれぞれ 1 回のブロードキャストを行い、それぞれの手法における EER を比較した。

実験結果が図 2 である。各連結度において、テーブル情報の送信および動的なタイムアウトを用いる改善手法による EER の改善率を示している。各ノード密度の値において改善が確認できた。また、トポロジの連結度が増加するに連れて、電力消費量の改善率が増加していることがわかる。

### 5. むすび

アドホックネットワークにおいてブロードキャストの電力消費量を削減するプロトコルが提案されてきたが、高信頼トポロジに対応するプロトコルは存在していなかった。本稿では、LBOP を改良し連結度を考慮することで、各ノードへの複数回の送信を保証したプロトコルを提案し、更にその改善手法を示した。また、改善手法についてシミュレーションにより連結度の上昇に伴う改善効果を確認し、アドホックネットワークでのブロードキャストにおいて、その有効性を示した。

### 参考文献

- [1] N. Li, J. Hou, C. Sha, and L. Sha, "Design and analysis of an MST-based topology control algorithm," IEEE Trans. on Wireless Communications, vol.4, no.3, pp.1195-1206, May 2005.
- [2] J. Cartigny, F. Ingelrest, D. Simplot-Ryl, and I. Stojmenovic, "Localized LMST and RNG based minimum-energy broadcast protocols in ad hoc networks," Ad Hoc Networks, vol.3, no.1, pp.1-16, 2005.
- [3] K. Miyao, H. Nakayama, N. Ansari, Y. Nemoto, and N. Kato, "A reliable topology for efficient key distribution in ad-hoc networks," pp.1-5, June 2008.