

平成 30 年 5 月 28 日現在

機関番号：34315

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K00141

研究課題名(和文) アンテナ指向性と端末位置を考慮したアドホックネットワーク多地点情報配信システム

研究課題名(英文) Multipoint information delivery system considering antenna directivity and node location in ad hoc networks

研究代表者

野口 拓 (Noguchi, Taku)

立命館大学・情報理工学部・准教授

研究者番号：00388133

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000円

研究成果の概要(和文)：アドホックネットワークにおいて同一情報を広域に散在する多数の受信者へ送信する大規模多地点情報配信を実現するため、ネットワーク内に存在する端末の位置情報とアンテナ指向性を考慮して情報配信経路を最適化する新たなマルチキャスト通信方式の開発を行った。具体的には、まず効率的な多地点情報配信を実現するため、端末位置情報を利用したエリアベースマルチキャスト通信方式を開発した。続いて、端末位置情報だけでなくアンテナ指向性を考慮することでマルチキャスト通信の効率化および高信頼化を実現した。さらに、提案方式の応用システムの実装実験を行い、実用面での有効性を明らかにした。

研究成果の概要(英文)：The purpose of this study is to realize efficient, reliable and scalable point-to-multipoint communications in ad hoc networks. We developed a new scalable multicast scheme that achieves both a better efficiency and a higher reliability by considering both antenna directivity of node and node location information. Our main contributions are as follows: first, we developed a new area-based multicast protocol using node location information for ad hoc networks. Second, we developed reliable efficient multicast protocol considering not only node location information but also antenna directivity of nodes. Third, we conducted experimental evaluations of practical application systems which use our proposed protocol. Our experimental results show the practicality and efficiency of our proposed protocols.

研究分野：情報通信ネットワーク

キーワード：アドホックネットワーク マルチキャスト ネットワークコーディング 位置情報 ネットワーク符号化 アンテナ指向性

1. 研究開始当初の背景

無線アクセスポイントや基地局等の固定インフラを必要とせず、ユーザの持つスマートフォンやタブレットなどの小型無線端末が相互に無線接続されることでネットワークを形成するアドホックネットワークは、場所や設備の制約を受けずに柔軟にネットワークを構築できるため、その特徴を活かした様々なアプリケーションが考えられている。例えば、大規模広域災害発生時に、インフラレスで容易に敷設可能なアドホックネットワークを通信手段として、避難情報や被災状況の通知等を行うことなどが検討されている。他にも、スマートフォンなどの小型無線端末だけでなく無線通信機能を有する自動車も加えて車車間・人車間アドホックネットワークを形成し、自動車やスマートフォンに搭載された各種センサ情報を周囲の自動車・歩行者にリアルタイム配信することで、自動車の安全運転支援や歩行者の安全確保を行うことなども検討されている。このようなアプリケーションでは、アドホックネットワーク上で同一情報を特定の多地点へ確実に同時配信する必要があるため、マルチキャスト通信の利用が適している。アドホックネットワークでは、無線の不安定性のために本質的に信頼性が保証されず、また、無線の同報性のため、不必要な端末にまで受信処理・中継処理が引き起こされてしまい通信効率が低下する。このため、アドホックネットワークに適した効率の良い高信頼大規模多地点情報配信技術の確立が急がれる。

アドホックネットワークにおける多地点配信技術に関する既存研究は、1)マルチキャスト方式、2)ブロードキャスト方式、の2つに分類される。マルチキャスト方式は、送信者と受信者群とを繋ぐ配信経路を動的に設定してデータ配信を行う方式であり、通信トラヒックの点では最も効率的な方式である。しかし、無線端末の参加離脱・移動が激しい流動的なネットワークではデータ配信経路の最適化が困難であり、データ配送率の低下を招く。ブロードキャスト方式は、すべての端末が受信者となるため事前に経路を計算する必要がなく処理が単純であり、また、冗長なパケット転送によって高いデータ配送率が得られる。しかし、冗長なパケット転送は膨大な通信トラヒックを発生させる副作用があり、ネットワークの至る所でパケット衝突や端末電力の浪費を引き起こすため、ブロードキャスト方式は広範囲かつ大規模な情報配信での利用には適さない。

マルチキャスト方式およびブロードキャスト方式を組み合わせることで、双方の利点を併せ持つ大規模多地点情報配信方式が実現できると考えられる。マルチキャスト方式の課題である経路最適化については、個々の端末間ではなく幾つかの端末をまとめたエリア間の経路計算で代替することで経路最適化問題が単純化される。ブロードキャスト

方式の課題である冗長パケット転送については、端末位置情報とアンテナ指向性を用いることので、パケット伝搬範囲を限定することが可能であると考えられる。

2. 研究の目的

本研究の目的は、スマートフォンやタブレットなどの小型無線端末で構成するアドホックネットワークにおいて大規模多地点情報配信を実現する基盤技術として、端末位置情報とアンテナ指向性を利用したマルチキャスト経路制御技術を開発することである。本研究では、指向性アンテナおよびGPSやwifi測位に基づく端末位置情報を用いたエリアベースマルチキャスト通信方式を開発する。さらに、アクティブアンテナビーム制御技術を利用して中継エリアの動的最適化を行い、提案マルチキャスト方式の高信頼化・高効率化を実現する。また、提案方式の実用上の有意性を明らかにするため、スマートフォン/タブレットを無線端末として利用し、これらの無線端末で構成したアドホックネットワーク上に提案方式を実装・評価を行う。具体的には、以下の3つの研究課題に対して研究を遂行した。

- (1) 指向性アンテナと位置情報を用いたエリアベースマルチキャスト経路制御プロトコルの開発
- (2) (1)の高度化を実現する、アンテナシステム指向性制御を用いた中継エリア動的制御法の開発
- (3) (1)(2)を組み合わせたマルチキャスト方式の応用システムの開発・実装

3. 研究の方法

(1) アドホックネットワークにおける多地点配信にマルチキャストを用いる場合、無線端末の移動に伴う参加・離脱によってマルチキャスト配信経路の動的最適化が困難である。そこで、従来のマルチキャスト方式で行われている端末同士の接続情報(トポロジ情報)に基づく端末間の経路計算ではなく、端末の位置情報を用いたエリア間の経路計算を行うことで、複雑な経路最適化を行うことなく多地点情報配信を実現できる新たなエリアベースマルチキャスト経路制御プロトコルを提案した。提案方式は、エリア内ではブロードキャスト方式を用い、複数のエリアを相互に接続することで送信者と多地点間のマルチキャスト通信を実現する方式であり、従来のブロードキャスト方式とマルチキャスト方式を組み合わせた方式と位置付けることができる。また、提案方式では指向性アンテナを用いることで、制御パケットの削減と配信経路長の短縮を実現する。提案したエリアベースマルチキャスト経路制御プロトコルの有効性を明らかにするため、計算機シミュレーションを用いて、アドホックネットワークにおける既存の多地点同時配信方

式との性能比較を行った。

(2) 上記(1)で提案した「指向性アンテナと位置情報を用いたエリアベースマルチキャスト経路制御プロトコル」では、マルチキャストパケットの中継が許可される中継エリアは、ネットワーク状況に関係なく一定である。端末数の多い過密エリアにおいて、中継エリアサイズが大きいと冗長なパケット中継が行われ、パケット衝突や端末電力の浪費が生じる。このため、ネットワーク状況に応じて動的に中継エリアサイズを変更することで、より効率的なエリアベースマルチキャストが可能となる。そこで、アクティブアンテナシステム制御技術を用いて各端末の隣接端末数に応じて中継エリアサイズを動的に変更する中継エリア動的制御法を提案した。提案方式の有効性を検証するため、計算機シミュレーションを用いて性能評価を行った。

(3) (1), (2)の研究成果を組み合わせることにより、アンテナ指向性および端末位置情報を考慮した高効率・高信頼大規模マルチキャスト通信方式の開発が完了した。引き続き、本方式の応用システムとして、Androidタブレットを用いた情報共有システム、車車間アドホックネットワークにおける車両情報マルチキャスト通信システム、および、車車間アドホックネットワークにおける高速道路環境での車両情報配信システムを設計・開発し、プロトタイプシステムによる実装実験を行った。

4. 研究成果

(1)本研究課題で提案する指向性アンテナと位置情報を用いたエリアベースマルチキャスト経路制御プロトコルでは、不必要なパケットの中継を防ぐため、各中継端末が、自身の送信アンテナの指向性を目的配信エリア方向に一致させ中継を行う。提案方式では、指向性アンテナを用いない方式と比べて中継パケット数の削減と配信経路長の短縮を実現する。この点を検証するため、計算機シミュレーションを行い、提案方式と既存方式との比較評価を行った。

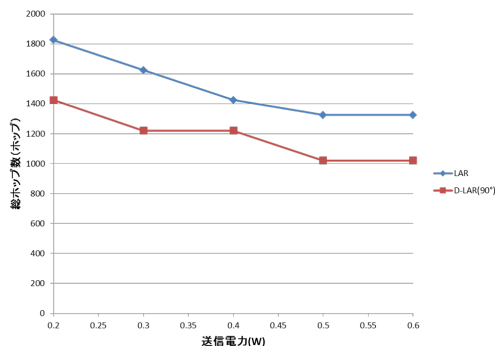


図 1：総ホップ数特性

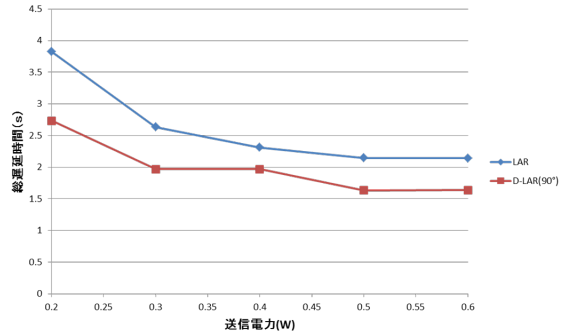


図 2：総遅延時間特性

提案方式 (D-LAR) と既存方式 (LAR) の総ホップ数特性および総遅延時間特性を図 1, 2 に示す。図 1 の縦軸は、シミュレーション時間内にネットワーク内で送信されたすべてのパケットのホップ数の総和であり、ネットワーク内に流れるパケット量を表している。図 2 の縦軸は、送信者がマルチキャストパケットを送信してから、すべての受信者がパケットを受信するまでの時間を表している。図 1, 2 の横軸は、各端末のアンテナ送信電力を示しており、値が大きいほど通信範囲が増加する。図 1, 2 より、提案方式は、従来方式と比較して、総ホップ数および総遅延時間の両者が減少しており、指向性アンテナおよび端末位置情報を用いることで、冗長なパケット中継を防ぎ、さらに指向性アンテナの長い通信距離の恩恵により、遅延時間が減少することを明らかにした。

(2) 上記(1)で提案したエリアベースマルチキャスト経路制御プロトコルと組み合わせる動的な中継エリア制御法を提案した。提案方式では、各端末が自身の隣接端末数に応じて、指向性アンテナの放射角を動的に変更する。隣接端末数の多い過密環境では、放射角を小さな値に設定し送信ビームを絞ることで、不必要な端末がマルチキャストパケットを受信することを防ぎ、冗長なパケット中継を抑制する。既存方式および動的な中継エリア制御法を用いないエリアベースマルチキャスト方式と比較して提案方式の通信効率が増加することを検証するため、計算機シミュレーションを行い、経路制御オーバーヘッドおよび総遅延の観点から提案方式と既存方式の性能比較を行った。提案方式と既存方式の経路制御オーバーヘッド特性および総遅延時間特性を図 3, 4 に示す。図 3 においてグラフの縦軸は、シミュレーション時間内に各端末において受信されたマルチキャストパケットの総和であり、マルチキャスト通信の効率が高いほど小さな値となる。図 4 の縦軸は、送信者がマルチキャストパケットを送信してから、すべての受信者がパケットを受信するまでの時間を表している。図 3, 4 の横軸は、各端末のアンテナ送信電力を表している。

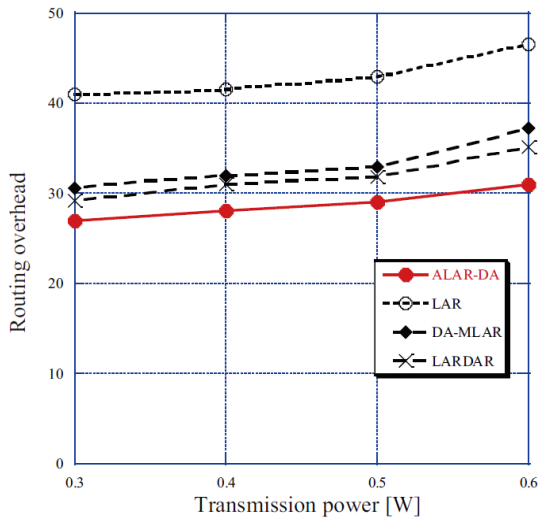


図 3：経路制御オーバーヘッド特性

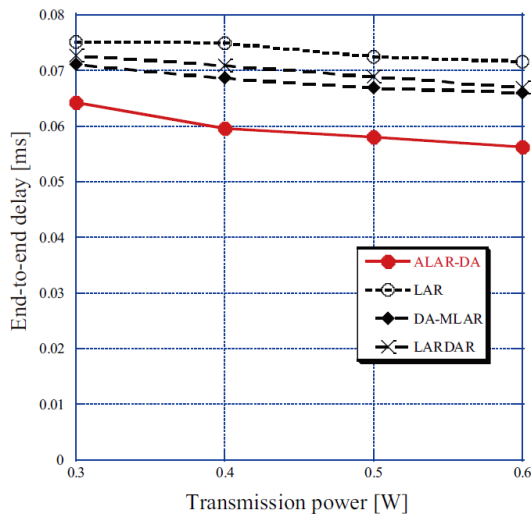


図 4：総遅延時間特性

図 3, 4 より, 提案方式は, 既存方式 (LAR) および動的中継エリア制御法を用いない方式 (DA-MLAR, LARDAR) と比較して, 経路制御オーバーヘッドおよび総遅延時間の両者が減少しており, 動的中継エリア制御法によって冗長なパケット中継が抑制され, さらに, パケット衝突回数の低減によって遅延時間も改善することを明らかにした。

(3) 本研究課題で開発したアンテナ指向性および端末位置情報を考慮した高効率・高信頼大規模マルチキャスト通信方式の応用システムを設計・開発し, 計算機シミュレーションおよび実装実験を行った。具体的には, 以下の結果を得た。

Android タブレットを用いた情報共有システムの開発・評価: アドホックネットワークを用いて, 特定の地理的エリア内に存在する端末を対象とした情報共有システムを開発した。Android タブレットを用いたプロトタイプシステムの試作・実験によって, 半径

50m のエリアに散在する 10 台のタブレットに 100msec 以下で同一情報を一斉配信可能であることを確認した。

車車間アドホックネットワークにおける車両情報マルチキャスト通信システムの開発・評価: 車両可視化情報を車車間アドホックネットワークを用いて送信車両の一定範囲内にマルチキャスト配信するシステムを開発した。また, iOS デバイスを用いたプロトタイプシステムの試作・実験によって応答性能の評価を行い, 車両可視化システムが十分実用可能であることを示した。

車車間アドホックネットワークにおける高速道路環境での車両情報配信システムの開発・評価: 車車間アドホックネットワークを用いて, 高速道路を高速で移動する車両に対して情報一斉配信を行うシステムを開発した。また, 道路環境シミュレータを用いた模擬実験によって 20km 遠方の宛先車両群に対しても 70% 以上の情報伝達率を達成することを確認した。また, 遅延時間の評価も行い, 20km 遠方の車両に対して, 30 秒以内に情報を配信可能であることを明らかにした。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 3 件)

野口拓, 小林崇彦, “アドホックネットワークにおける指向性アンテナを用いた適応型位置情報ルーチング”, 電気学会論文誌 C, 査読有, Vol. 137, No.10, 2017, pp.1310-1319.

DOI:10.1541/ieejeiss.137.1310

加藤拓哉, 野口拓, “車車間遅延耐性ネットワークにおける効率的なメッセージ配送ルーチングのためのバッファ管理方式”, 電子情報通信学会論文誌 B, 査読有, Vol. J100-B, No.8, 2017, pp.572-574.

DOI:10.14923/transcomj.2017JBL4007

野口拓, 林直秀, “アドホックネットワークにおける適応型ネットワークコーディングを用いたマルチキャスト通信”, 情報処理学会論文誌, 査読有, Vol. 58, No.1, 2017, pp.24-32.
<http://id.nii.ac.jp/1001/00176869/>

[学会発表](計 5 件)

Taku Noguchi, and Kanta Hayashi, “Enhancement of AODV Routing Protocol by using Large Vehicles in VANETs on Highway”, IEEE Conference on Local Computer Networks (LCN2017), 2017.

Taku Noguchi, and Naoto Tanaka, “Efficient Vehicle Visualization

System for Safe Driving in VANETs ” ,
IEEE International Conference on
Ubiquitous Intelligence and
Computing/Advanced and Trusted
Computing (UIC/ATC2017), 2017.

Taku Noguchi, and Takahiko Kobayashi,
“ Adaptive Location-Aware Routing
with Directional Antennas in Mobile
AdHoc Networks ” , IEEE International
Conference on Computing, Networking
and Communications (ICNC), 2017.

吉田政望, 野口拓, “ アドホックネット
ワークにおけるネットワークコーディ
ングを用いた動的転送制御 ” , 電子情
報通信学会ネットワークシステム研究
会 , 2016 年 .

Naoto Tanaka, and Taku Noguchi,
“ Vehicle Visualization System on the
iOS Devices Using VANETs ” , IEEE
International Conference on
Ubiquitous and Future Networks
(ICUFN2016), 2016.

6 . 研究組織

(1)研究代表者

野口 拓 (NOGUCHI TAKU)

立命館大学・情報理工学部・准教授

研究者番号 : 00388133