

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 1 日現在

機関番号：34315

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2012～2014

課題番号：24700079

研究課題名(和文) ネットワーク符号の冗長性・秘匿性を利用した無線マルチホップマルチキャストの高度化

研究課題名(英文) Advanced Wireless Multihop Multicast Exploiting Redundancy and Confidentiality of Network Coding

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) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：無線マルチホップネットワークにおいて同一情報を多数の受信者に確実に配信する高信頼・高安全マルチキャスト通信を実現するため、ネットワーク内で情報を符号化することで、情報の秘匿性向上と通信容量の拡大を同時に可能と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ブロードキャスト・マルチキャスト配信方式を開発し、続いて、環状構造ネットワークを利用することで、信頼性および通信効率を向上させる多対多マルチキャストシステムを開発した。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 secure and reliable multicast communication in wireless multihop networks. We developed a new secure and reliable multicast scheme that achieves both higher security and larger transmission capacity by using network coding. Our main contributions are as follows: first, we developed a new broadcast/multicast protocol using network coding for adhoc networks. Second, we developed reliable efficient many-to-many multicast protocol exploiting round-shaped adhoc networks. Third, we conducted experimental evaluations of practical application systems which use our proposed protocols. 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：マルチキャスト ネットワークコーディング ワイヤレスネットワーク アドホックネットワーク ネットワーク符号化

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、各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無線マルチホップネットワークは、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無線マルチホップ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。このようなアプリケーションでは、無線マルチホップ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。無線マルチホップネットワークでは、無線の不安定性および同報性のため、本質的に信頼性、安全性が保証されない。このため、無線マルチホップネットワークに適した効率の良い高信頼・高安全多地点同時配信技術の確立が急がれる。

無線マルチホップネットワークにおける多地点同時配信技術に関する既往研究は、1) マルチキャスト方式、2) ブロードキャスト方式、3) ネットワークコーディング方式、の3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、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反面、膨大な通信トラヒックが発生しパケット衝突や消費電力の増大を招く。また、不必要な第三者端末にまでデータが伝送されてしまうため、安全性が低下する問題もある。ネットワークコーディング方式は、2000年に提案されたネットワーク符号化理論を応用した新しい方式で、ブロードキャストで発生する膨大な通信トラヒックをネットワーク内で符号化・圧縮することで削減する。このようにネットワークコーディング方式は、ブロードキャスト方式の高いデータ配送率とマルチキャスト方式の効率性の両者の利点を併せ持つ方式であるが、既存方式はネットワークコーディングの持つ利点のうち、トラヒック削減効果のみを利用するに留まっている。このため、ネットワークコーディングの持つ別の利点である誤り訂正効果および情報秘匿効果を用いれば、さらにネットワークコーディング方式の性能改善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、ネットワークコーディング方式の利点である高いデータ配送率・通信効率を維持しつつ、さらに、パケットの符号

化によってネットワークコーディングが潜在的に有する誤り訂正効果、情報秘匿効果を利用して無線マルチホップマルチキャスト通信の高信頼化・高安全化を実現する。また、提案方式の実用上の有意性を明らかにするため、スマートフォンを無線端末として利用し、スマートフォンで構成した無線マルチホップ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) ネットワークコーディングに適したマルチキャスト経路制御プロトコルの開発
- (2) (1)の経路制御プロトコルと組み合わせる分散符号化アルゴリズムの開発
- (3) (1)(2)の応用システムの開発・実装

3. 研究の方法

(1) 無線マルチホップネットワークにおけるマルチキャスト通信では、無線の不安定性および同報性のため、本質的に信頼性、安全性が保証されない。本研究では、ネットワークコーディングが持つ時空間冗長性および秘匿性を利用することで、無線マルチホップマルチキャスト通信の高信頼化・高安全化を目指す。まず、ネットワークコーディングに適したマルチキャスト経路制御プロトコルとして、複数ユニキャスト経路を並列利用するマルチキャスト経路制御プロトコルの提案した。提案方式では、マルチキャスト通信におけるネットワークコーディングの符号化効率を高めるため、従来はユニキャスト通信に用いられてきた経路制御法を用い送信者・受信者間経路として互いに素となる複数配信経路を設定する。提案した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、無線マルチホップ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「複数ユニキャスト経路を並列利用するマルチキャスト経路制御プロトコル」では、従来のブロードキャスト通信向けネットワークコーディングアルゴリズムでは、十分な符号化効率を得られない。そこで、この符号化効率を高めるため、各端末間リンクにおける複数ユニキャスト経路の重複度を計算し、この重複度をもとに符号化端末を決定する分散コーディングアルゴリズムを提案した。また、提案方式の有効性を検証するため、実機環境下での性能評価を行った。

(3) (1)、(2)の研究成果を組み合わせることにより、ネットワークコーディングを用いた高信頼・高安全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、インターネット相互接続のた

めの経路選択方式、災害情報ネットワークを想定したブロードキャスト通信システム、車車間アドホックネットワークにおける車両情報ブロードキャスト通信システム、および、ホームオートメーションシステムにおけるマルチキャストを用いた制御システムを設計・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ネットワークコーディングに適したマルチキャスト経路制御プロトコルでは、ネットワークコーディング機会を増加させるため、ユニキャスト経路アルゴリズムを利用し送信者 - 受信者間経路として互いに素となる複数配信経路を設定する。提案方式では、単一の最短経路を用いた配信と比べて増加する経路長の悪影響を、複数経路によるトラヒック分散効果により回避し、トラヒック量およびパケット到達率の点で従来方式と同水準の性能を実現する。この点を検証するため、計算機シミュレーションを行い、提案方式が既存方式（ユニキャストプロトコル AODV, マルチキャストプロトコル OLSR）と比較評価を行った。

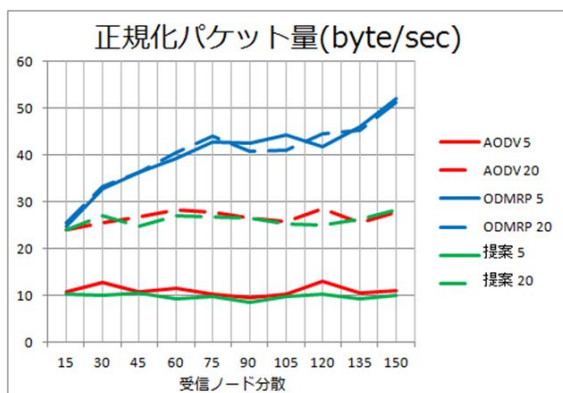


図 1: トラヒック量特性

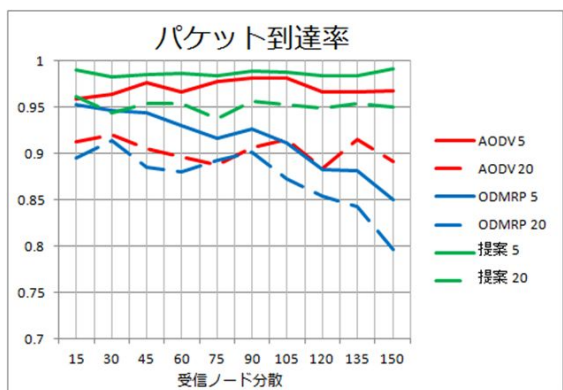


図 2: パケット到達率特性

提案方式と既存方式のトラヒック量特性およびパケット到達率特性を図 1, 2 に示す。図 1 の縦軸は、1 秒間あたりにネットワーク内に流れるパケット量（正規化パケット量）を表している。図 1, 2 の横軸は、受信ノードの地理的な分散度合いを表しており、値が大きいほど、ノードがネットワーク内で広範

に分布している。図 1, 2 より、提案方式は、ネットワークコーディング機会を増加させる複数配信経路を用いながらも、トラヒック分散効果により損失パケットの再送トラヒックが減少し、従来方式と同水準のトラヒック量を実現できることを明らかにした。また、パケット到達率に関しては、トラヒック分散効果により従来方式より向上することを確認した。

(2) 上記(1)で提案したマルチキャスト経路制御プロトコルと組み合わせる分散コーディングアルゴリズムを提案した。提案方式では、各端末間リンクにおける複数ユニキャスト経路の重複度を計算し、この重複度をもとに符号化端末を決定する。従来のブロードキャストベースのランダム符号化と比較して符号化効率が向上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、総受信データ量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総受信データ量特性を図 3 に示す。図 3 においてグラフの縦軸はマルチキャスト通信時に生じた総受信データ量を表しており、ネットワークコーディングの符号化効率が高いほど小さな値となる。また、横軸は送信ノードが送信するデータ量を表している。

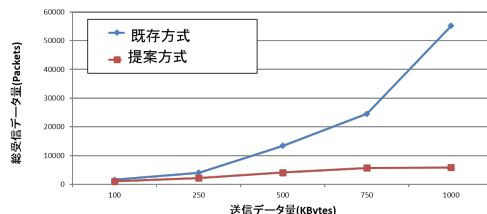


図 3: 総受信データ量特性

図 3 より、提案方式は既存方式と比較して、総受信データ量を削減することができ、特に送信データ量が 1000KB の場合には、総受信データ量を 1/10 まで削減できることを明らかにした。

(3) 本研究課題で開発したネットワークコーディングを用いた高信頼・高安全マルチキャスト通信方式の応用システムを設計・開発し、実装実験を行った。具体的には、以下の結果を得た。

インターネット相互接続のための無線マルチホップネットワークの拡張：
無線マルチホップネットワークとインターネット相互接続時に 2 つのネットワークを繋ぐゲートウェイ端末の探索・選択制御プロトコルにおいて、端末の探索・選択にマルチキャスト通信を利用しているため、本研究課題の提案方式を適用可能である。そこで、提案方式をゲートウェイ端末プロトコルに適用した場合の有効性について明らかにするため、既存方式（回線有線、最少ホップ数）との性能比較実験を行った。図 4 は、無線マル

チホップネットワーク内の端末からインターネット内の web サーバへアクセスする際の応答特性を示している。図 4 より、提案方式はすべての実験において、既存方式より応答性能が向上しており、実用面でも十分な性能が得られることを確認した。

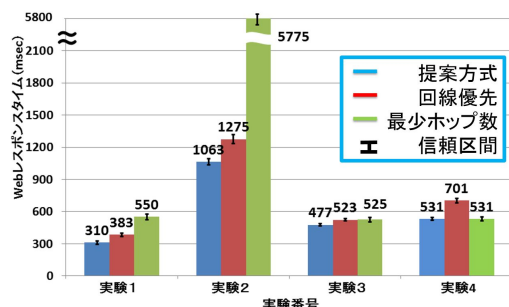


図 4 : web アクセス応答特性

災害情報ネットワークのためのネットワーク内符号化を用いた環状構造アドホックネットワークシステムの開発・評価：高信頼・高安全マルチキャスト通信方式を多対多ブロードキャスト通信へと拡張し、環状構造を持つネットワークを利用することでネットワークコーディングの符号化効率を向上させるアドホックブロードキャストシステムを提案した。また、実機環境 (iOS デバイス) での性能評価を行い、既存多対多ブロードキャスト方式と比較して通信の信頼性・安全性を損なうことなく約 40% の冗長トラフィックを削減し、約 10% 遅延を改善できることを明らかにした。

車車間アドホックネットワークにおける車両情報ブロード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ブロード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。

「ホームオートメーションシステムにおけるマルチキャストを用いた制御システム」の開発・評価：スマートホームにおける家電制御メッセージをマルチキャスト通信によって交換するシステムを開発した。また、プロトタイプシステムの試作・実験を行い、提案システムによる家電制御の有効性を明らかにした。

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)

[学会発表](計 7 件)

渡邊一貴, 野口拓, 川合誠, “スマートホームにおけるサービス連動型ホーム

オートメーションシステムの設計”, 2015 年電子情報通信学会総合大会, 2015 年 3 月 12 日, 立命館大学(滋賀県). 田中直登, 川合誠, 野口拓, “VANET を利用した iOS デバイスによる車両可視化システム”, 2015 年電子情報通信学会総合大会, 2015 年 3 月 10 日, 立命館大学(滋賀県).

尾崎史洸, 野口拓, 川合誠, “アドホックネットワークにおける ACK 棄却攻撃に対する防御方式”, 2015 年電子情報通信学会総合大会, 2015 年 3 月 10 日, 立命館大学(滋賀県).

Tomohiro Ueno, Taku Noguchi, Makoto Kawai “Performance of Round-Shaped Ad-Hoc Network Using Network Coding on iOS Platform”, the 6th Asian Joint Workshop on Information Technologies, Japan, Oct 10th 2014, 立命館大学(滋賀県).

鈴木哲也, 野口拓, 川合誠, “アドホックネットワークにおけるインターネット接続のための経路選択方式の提案”, 2014 年電子情報通信学会総合大会, 2014 年 3 月 18 日, 新潟大学(新潟県). 林直秀, 野口拓, 川合誠, “Android プラットフォーム上でのネットワークコーディングを用いたアドホックブロードキャスト”, 情報処理学会研究報告, 2013 年 5 月 24 日, 石垣市民会館(沖縄県).

野口拓, “アドホックネットワーク構成技術とその展開”, 第 1 回「21 世紀の国家像と産業・社会」シンポジウム, 2013 年 3 月 28 日, 立命館大学(滋賀県).

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