

令和 5 年 5 月 30 日現在

機関番号：34315

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2019～2022

課題番号：19K11955

研究課題名(和文) 動的無線マルチホップネットワークの接続構造変化に適応するネットワーク符号化方式

研究課題名(英文) An adaptive network coding scheme for dynamic topology change in wireless multi-hop networks

研究代表者

野口 拓 (Noguchi, Taku)

立命館大学・情報理工学部・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は、同一情報の一斉配信に用いるフラッディングの負荷削減が重要である。このため、トラフィック削減効果を持つネットワーク符号化技術を用いてネットワーク負荷を低減させる方法が検討されている。本研究は、端末の移動や参加離脱によってネットワークの接続構造が動的に変化する動的無線マルチホップネットワークにおいて、ネットワークの接続構造変化に適応するネットワーク符号化手法の開発を行った。計算機シミュレーションを用いて提案手法の性能評価を行い、提案手法は、既存手法と比較して、パケット到達率を悪化させることなく、ネットワーク負荷の面で性能が向上することを確認した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究の成果が持つ学術的意義は、動的無線マルチホップネットワーク接続構造推定を活用した応用技術の創出、および動的無線マルチホップネットワークにおけるネットワーク符号化技術の発展への寄与である。また、本研究の成果の一部は無線マルチホップネットワーク上に構成されている既存IoTシステムにも適用可能であり、既存IoTシステム利用者のユーザ体験向上に資すると考えられる。

研究成果の概要(英文)：In wireless multi-hop networks, reducing the redundant flooding traffic is crucial. Some network coding methods to reduce the burden of flooding have been proposed. However, the dynamic nature of the network topology, which is subject to changes due to node mobility and joining/leaving, necessitates the development of adaptive network coding methods. This study proposes a new adaptive network coding method that adapts to network topology changes. We conducted computer simulations to evaluate the efficacy of the proposed method. We found that it outperforms existing methods in terms of network load performance without compromising the packet delivery rate.

研究分野：情報通信ネットワーク

キーワード：ネットワーク符号化 無線マルチホップネットワーク アドホックネットワーク VANET フラッディング プロロードキャスト

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

1. 研究開始当初の背景

モバイルアドホックネットワークやワイヤレスセンサネットワークに代表される無線マルチホップネットワークでは、ネットワーク形成の根幹を支える無線端末と無線通信に関して、電力資源、計算資源、および周波数資源が限られているという重要な制約条件が存在する。これは、有線固定ネットワークでは存在しない制約条件であり、これらの資源をいかに効率よく活用するかが最重要課題となっている。

無線マルチホップネットワークで最も基本的な通信形態は、ネットワーク全体に同一パケットを配送するフラッディングである。動的無線マルチホップネットワークでは、端末の位置と接続関係が時間経過とともに変化するため、一対一通信、一対多通信いずれの場合においても通信相手の発見および通信経路形成のために少なくとも一度はフラッディングが使用される。フラッディングは、電力資源および周波数資源を大量に使用するため、効率化が最重要課題となる。

フラッディングの効率化を実現する手段として、ネットワーク符号化を利用する方法が検討されている。ネットワーク符号化は、ネットワーク内の中継端末が、受信した複数のパケットを単一パケットへ符号化(合成)し転送することでネットワークを伝播するパケット数を削減する技術である。ネットワーク符号化を用いたフラッディングで重要となるのは、1)ネットワーク符号化を行う中継端末をどのようにして選択するか、および、2)符号化元となる複数のパケットをどのようにして選択するか、の2点である。しかし、時間とともに変化する動的無線マルチホップネットワークでは、1)、2)について状況に応じた最適な選択を行うことは困難である。このため、既存研究の多くは固定的な選択方法を採用している。例えば、1)に関しては、すべての中継端末が符号化を行う方法が一般的である。また、2)に関しては、受信パケットのうち最新の n 個を符号化する方法が一般的である。

研究代表者の知る限り、前述した1)、2)の両課題を解決する適応的なネットワーク符号化方式は存在せず、ネットワーク資源のさらなる有効利用のためには、これら課題を解決する新たなネットワーク符号化方式が強く望まれている。

2. 研究の目的

本研究は、端末の移動や参加離脱によってネットワークの接続構造が動的に変化する動的無線マルチホップネットワークにおいて効率的なフラッディングを実現することを目指している。本研究の目的は、ネットワークの接続構造変化に適応して符号化端末、符号化数および符号化元パケット選択の最適化を行うネットワーク符号化方式を開発することである。ネットワーク符号化を用いたフラッディングに関する先行研究の大部分は、固定的ネットワーク符号化方式を採用しており、適応的制御は行っていない。一部の先行研究では、符号化端末の選択、あるいは符号化数・符号化元パケットの選択のどちらか一方について適応的制御を行うものもあるが、動的変化への適応性は不十分であり、変化の激しいネットワークでは性能が著しく低下する問題がある。また、符号化端末の選択、および符号化数・符号化元パケットの選択の両者について適応的制御を行う方式は存在しない。

3. 研究の方法

(1) ネットワークの接続構造変化に適応して符号化端末、符号化数および符号化元パケット選択を行う適応的ネットワーク符号化のためのネットワーク接続構造推定法を提案した。無線マルチホップネットワークの接続構造推定は、各端末の無線通信範囲内に存在する近隣端末数、および、その近隣端末が通信範囲内に存在する時間の長さを推定することである。提案手法では、各端末が、自身の近隣端末から送信されたパケットを受信することで近隣端末数を推定する。また、各端末の近隣端末が通信範囲内に存在する時間の長さを正確に推定することは難しいため、これについては、近隣端末の移動性を推定することで間接的に推定する。近隣端末の移動性推定については、レイヤ2情報を用いる手法、およびレイヤ3情報を用いる手法の2つを提案した。レイヤ2情報を用いる手法では、各端末は、近隣端末からのパケット受信した際の受信信号強度情報に基づいて、近隣端末の移動性を推定する。レイヤ3情報を用いる手法では、各端末は、近隣端末からパケットを受信する毎にパケット転送元端末情報とパケット受信時刻を記録し、記録した履歴から近隣端末の移動性を推定する。

(2)(1)で提案した接続構造推定法を利用し、時間とともに変化する近隣端末数との近隣端末移動性に連動した符号化端末選択アルゴリズムおよび符号化元パケット・符号化数選択アルゴリズムを提案した。提案手法では、最初に、各端末が近隣端末から受信したパケットからフラッディングパケットのフローを推定し、近隣端末を上流端末群と下流端末群に分類する。その後、ネットワーク接続構造推定を行い、符号化数1のパケット送信(通常送信)を行うか符号化数 n のネットワーク符号化を行うかを適応的に切り替える。

(3)(1)および(2)で提案した手法を組み合わせた場合の総合的評価を行った。さらに、

モバイルアドホックネットワーク, 車両アドホックネットワーク, および無線センサネットワークにおける提案手法の有効性について, ネットワーク負荷, パケット到達率, およびパケット配送効率の観点から計算機シミュレーションを用いて検証した。

4. 研究成果

(1) ネットワーク接続構造推定

提案手法の有効性を検証するため, 静止端末と移動端末が混在する 2 つのネットワークシナリオ (Mobility1 および Mobility2) を作成し, 計算機シミュレーションを用いて評価を行った。各シナリオにおいて, すべての端末における近隣端末数, 移動性 (動的, もしくは静的) をリスト化し, 提案手法による推定結果と比較することで, 移動性推定の正確性を検証した。図 1 に提案手法のシステムパラメータを変化させた場合のシナリオ毎の正判定率を示す。提案手法は, 適切なパラメータを設定できれば, 約 70% の正判定率で正しくネットワーク接続構造を推定することができた。

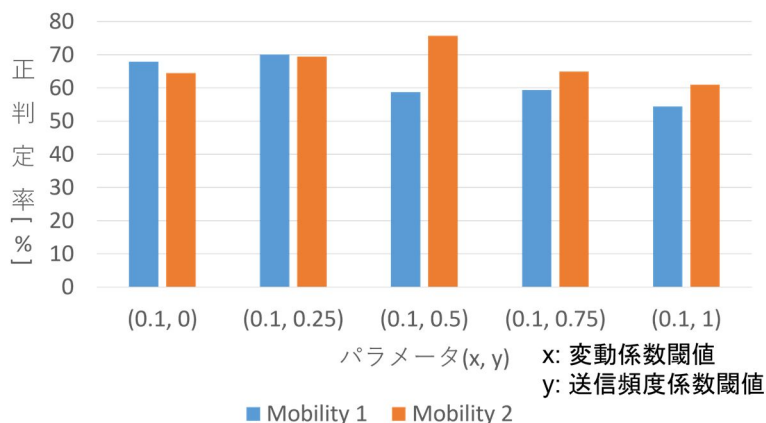


図 1 : 移動性推定の正判

(2) 適応的ネットワーク符号化

ネットワーク接続構造推定に基づいて符号化端末選択および符号化元パケット・符号化数選択を適応的に行う提案手法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。性能評価のため, 静止端末と移動速度および移動パターンの異なる移動端末が混在するネットワークシナリオを作成し, ネットワーク状況に応じて, 符号化端末, 符号化元パケット, および符号化数が適切に選択されているかを検証した。

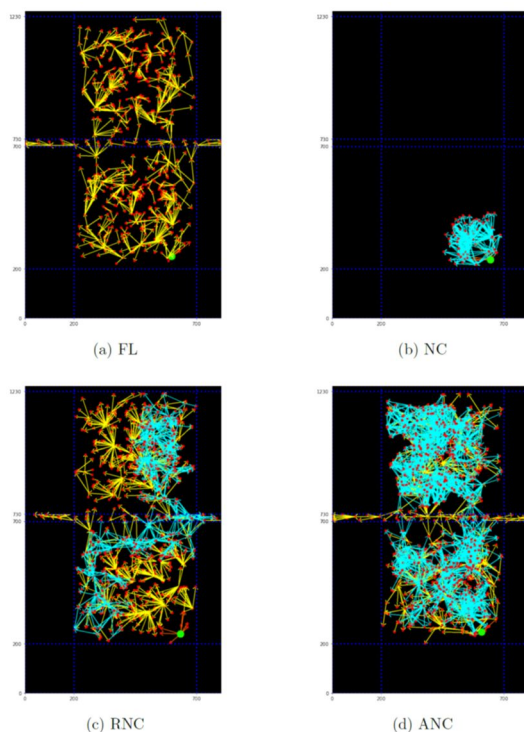


図 2: 各方式のパケットフロー可視化

図 2 は, 送信端末がフラディングを用いて送信した 1 パケットに注目し, (a) 既存フラッデ

イング (FL), (b) 既存ネットワーク符号化手法 (NC), (c) 既存適応的ネットワーク符号化手法 (RNC), および (d) 提案手法 (ANC), それぞれにおける送信パケットフローを可視化したものである。緑色の点は送信端末であり, 赤色の点はその他端末である。橙色の矢印は送信端末からのパケット, 黄色の矢印は符号化数 1 で送信されたパケット, 水色の矢印は符号化数 n で送信されたパケットを表す。図 2 より, 提案手法 (ANC) では, ネットワーク全体にわたって橙色矢印と黄色矢印が分布しており, 各端末状況に応じて適切にネットワーク符号化を実行する端末を選択していることがわかる。

(3) 総合評価

多様な動的無線マルチホップネットワーク環境における提案手法の有効性を検証するため, モバイルアドホックネットワーク, 車両アドホックネットワーク, および無線センサネットワークの 3 つのネットワークシナリオを用いて提案手法の評価を行った。評価尺度として, フラッディング実行時にネットワーク全体に転送されるパケット数, フラッディングパケットの配送率, およびパケット配送効率を用いた。パケット配送効率は理想的なパケット配送を 1 とした場合の実際のパケット配送の効率性を表し, 0~1 の範囲をとる。

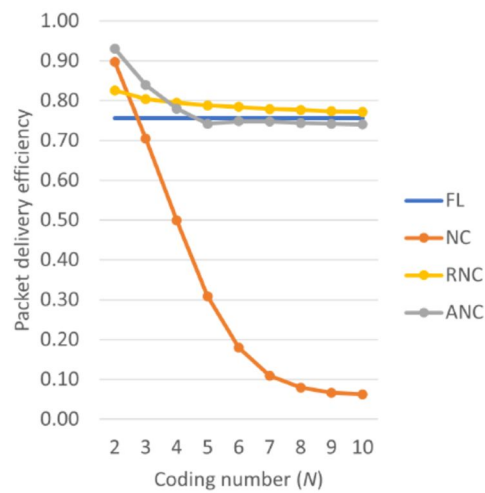


図 3 : 各方式のパケット配送効率

図 3 はモバイルアドホックネットワークシナリオにおける既存手法 (FL, NC, RNC) および提案手法 (ANC) のパケット配送効率を示している。図 3 より, 提案手法は符号化数 n が 2 あるいは 3 の場合に, 最も良い性能を示している。これは, 提案手法がネットワーク接続構造の変化に応じて, 適切な符号化端末, 符号化元パケット, および符号化数を選択し, パケット配送率を低下させることなくネットワーク内の冗長パケット転送を削減しているからである。さらに, 車両アドホックネットワーク, および無線センサネットワークシナリオでも評価実験を行い, 提案手法が, 既存手法と比較して, パケット到達率を悪化させることなく, ネットワーク負荷の面で性能が向上し, その結果, 高いパケット配送効率を実現することを確認した。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 3件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Takahashi Shuto, Yoshida Masami, Noguchi Taku, Ramonet Alberto Gallegos	4. 巻 11
2. 論文標題 Shadowing-fading-based intersection geographic opportunistic routing protocol for urban VANETs	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 IEICE Communications Express	6. 最初と最後の頁 154 ~ 159
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1587/comex.2021XBL0204	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Yoshida Masami, Ramonet Alberto Gallegos, Noguchi Taku	4. 巻 12
2. 論文標題 Adaptive Network Coding based on Node Mobility for Broadcasting in Mobile Ad-hoc Networks	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 International Journal of Networking and Computing	6. 最初と最後の頁 406 ~ 424
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.15803/ijnc.12.2_406	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 吉田 政望、ガジェゴス アルベルト、野口 拓	4. 巻 J106-B
2. 論文標題 アドホックネットワークにおけるノード移動性推定に基づく適応型ネットワークコーディングを用いたブロードキャスト	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 電子情報通信学会論文誌B 通信	6. 最初と最後の頁 13 ~ 26
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.14923/transcomj.2022JBP3016	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計12件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 4件）

1. 発表者名 Yoshida Masami, Ramonet Alberto Gallegos, Noguchi Taku
2. 発表標題 Adaptive Network Coding Broadcasting based on Node Mobility in Mobile Ad-hoc Networks
3. 学会等名 2021 Ninth International Symposium on Computing and Networking Workshops (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Takahashi Shuto、Yoshida Masami、Ramonet Alberto Gallegos、Noguchi Taku
2. 発表標題 Shadowing-Fading-based Intersection Geographic Opportunistic Routing Protocol for Urban VANETs
3. 学会等名 2022 24th International Conference on Advanced Communication Technology (ICACT) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Taku Noguchi, Yu-Cheng Ting, Masami Yoshida, Alberto Gallegos Ramonet
2. 発表標題 Real-time Cooperative Vehicle Tracking in VANETs
3. 学会等名 IEEE International Conference on Computer Communication and Networks (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 北川湧己, 吉田政望, ガジェゴス ラモネト アルベルト, 野口拓
2. 発表標題 緊急車両接近通知のための車車間、路車間通信を併用した環境適応型中継法
3. 学会等名 電子情報通信学会技術研究報告
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 高橋柊人, 吉田政望, ガジェゴス ラモネト アルベルト, 野口拓
2. 発表標題 交差点における建物遮蔽とリンク状態を考慮した地理的opportunistic routing
3. 学会等名 電子情報通信学会技術研究報告
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 茲出拓夢, 吉田政望, ガジェゴス ラモネト アルベルト, 野口拓
2. 発表標題 峠道環境VANETにおけるRSUを利用した情報伝達方式
3. 学会等名 電子情報通信学会技術研究報告
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 吉田政望, ガジェゴス ラモネト アルベルト, 野口 拓
2. 発表標題 アドホックネットワークにおける隣接ノード移動推定に基づくネットワークコーディング適用法
3. 学会等名 電子情報通信学会技術研究報告
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Taku Noguchi, and Yosuke Komiya
2. 発表標題 Persistent Cooperative Monitoring System of Disaster Areas Using UAV Networks
3. 学会等名 IEEE International Conference on Scalable Computing and Communications (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 吉田政望, Alberto Gallegos Ramonet, 野口拓
2. 発表標題 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のための隣接ノード移動性推定法
3. 学会等名 電子情報通信学会ソサエティ大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 吉田政望, Alberto Gallegos Ramonet, 野口拓
2. 発表標題 VANETにおけるブロードキャストのための適応的ネットワークコーディング
3. 学会等名 電子情報通信学会技術研究報告
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 武石和哉, Alberto Gallegos Ramonet, 野口拓
2. 発表標題 地上通信を中継するフライングアドホックネットワーク構成法
3. 学会等名 電子情報通信学会技術研究報告
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 荒牧荘祐, 吉田政望, 野口拓
2. 発表標題 ワイヤレスセンサネットワークにおけるネットワークコーディングを考慮したクラスタ構成法
3. 学会等名 2023年電子情報通信学会総合大会
4. 発表年 2023年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------