

令和 5 年 6 月 16 日現在

機関番号：32619

研究種目：若手研究

研究期間：2020～2022

課題番号：20K19789

研究課題名（和文）実環境での影響を考慮したOpportunistic Routingの研究

研究課題名（英文）A Study of Opportunistic Routing Considering Various Factors in Real Environments

研究代表者

山崎 託 (Yamazaki, Taku)

芝浦工業大学・システム理工学部・准教授

研究者番号：40775243

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,200,000円

研究成果の概要（和文）：本研究課題では、無線通信機能をもつ端末同士で互いに通信を中継す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において、柔軟に中継経路を選択することができる Opportunistic Routingを実環境に適用した際に考えられる端末と環境の非均質性の解決に向け検討を行った。本研究の成果として、端末の非均質性に起因して発生する端末の通信性能や計算性能が非均質となる状況を仮定し、それらを解決する手法の提案を行った。また、環境の非均質性に起因して発生する端末数や発生する負荷の変動が著しい環境や、利用状況に応じて制御パラメータが異なる環境を仮定して、それらの環境に適応する手法の提案を行った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究課題では、端末や環境に依らずに無線マルチホップネットワークを構築できる可能性を示した。無線マルチホップネットワークは、都市環境から農場など多岐に渡る応用が考えられているものの、それらの環境を統一的に扱うことができる方式の提案は不十分であり、実応用の難しさを表している。したがって、本研究課題で得られた成果により、様々な環境で利用が期待されている無線マルチホップネットワークの実応用を加速させるものであり、様々な環境でのデータ収集が容易に可能となることで、多量のデータにより実現されるAI駆動の社会を実現するものである。

研究成果の概要（英文）：For opportunistic routing, which realizes flexible forwarder selection in wireless multi-hop networks, this research project realized solutions for dealing with the two types of heterogeneity of characteristics of nodes and environments in real fields. From the viewpoint of heterogeneity of node characteristics, we focused on problems due to the communication and computational performances of nodes and proposed their solutions. From the viewpoint of heterogeneity of environment characteristics, we focused on problems due to variations of communication requests and node density and deployed environments and proposed adaptation mechanisms for such environments.

研究分野：情報ネットワーク

キーワード：無線マルチホップネットワーク 無線センサネットワーク アドホックネットワーク Opportunistic Routing 非均質性

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。

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

様々な機器がネットワークに接続する IoT (Internet of Things) の時代が到来し、通信技術も、無線 LAN、5G 通信、LPWA (Low Power Wide Area) などが広く検討されている。このような環境下において、機器間での柔軟な連携や通信負荷の低減などの様々な面から、無線通信機能をもつ端末同士が直接通信し、互いに通信を中継することで自律分散型のネットワークを構築する技術である無線マルチホップネットワークが広く研究されている。しかし、無線マルチホップネットワークでは、端末移動や電波干渉などにより、端末同士の接続関係が時々刻々と変化するため、効率的な中継を行うためには、環境に適応した柔軟な中継端末選択が重要となる。

そこで、その時々々の環境変化に適応して柔軟な中継端末選択を行うことができる OR (Opportunistic Routing) が検討されている。既存の OR では、理想的には特定の経路に依存しない柔軟な中継端末選択が実現できる一方、実環境への適用においてはいくつかの課題が存在する。本研究では、OR を実環境に適用した際に発生する課題を (1) 様々な種類の端末が参加することで発生する端末の非均質性に基づく課題と様々な環境で利用することで発生する環境の非均質性に基づく課題の 2 つに課題を分類する。端末の非均質性は、MANET や WSN に用いられる各端末の機能や性能、及び端末間での機能差や性能差によって生じる。つまり、各端末が保持している様々な資源が非均質であることによって発生すると考えられる。環境の非均質性は、MANET や WSN を実環境に適用した際に、環境ごとの電波伝搬環境、及び各端末間の遮蔽や動体の有無、及びその変化などによって生じる。つまり、各環境の通信特性や伝搬環境が、適用する環境、場所、利用状況などに応じて非均質であることによって発生すると考えられる。

2. 研究の目的

本研究の目的は、上述した非均質性に起因する問題に対し、実環境に OR を適用した際に発生する課題を適切に抽出し、その解決を行うことである。従来の OR では、様々な非均質性を考慮しておらず、非効率な中継端末選択が発生する。これは、OR では受信者が主体となり中継端末を自律的に選択することから、互いの状態を正しく認識することが重要となるためである。しかし、非均質である場合、各端末が互いの状態を誤認し、重複した中継送信、不要な迂回中継、誤った確認応答処理などが発生する。また、端末の種類が特定の端末に限定されず、個々人が保持している端末や様々なセンサが協調することでネットワークを構成する。つまり、端末が非均質であることに加え、適用する環境も非均質となる。つまり、このような様々な非均質性に対する検討が十分でないため、これらに適応した OR を検討することが必要となる。

3. 研究の方法

上述した研究目的を達成するため、それぞれの非均質性に起因する課題を抽出し、それらを解決するためのアルゴリズム提案を行った。また、それらの課題や提案手法の評価を行うため、シミュレーションによる理論的な評価に加え、実環境での評価を実施し、手法の検証を行った。

4. 研究成果

研究目的を達成するために得られた本研究の成果について、本研究課題の主となる (1) 端末の非均質性、特に通信処理と計算処理のそれぞれに対応する通信制御技術と (2) 環境の非均質性、特に端末数やそれらが生み出す通信負荷と、実際の利用環境による影響に対応する通信制御技術についての観点から述べる。

(1) 端末の非均質性に対応する通信制御技術

まず、様々な通信性能の端末が混在する環境下で OR を運用することを考え、非対称リンクが生じる環境下で動作する通信技術について検討を行った。本検討では、非対称リンクが生じる環境下で OR の性能が大きく低下することを確認し、その発生条件を明確にし、OR における非対称リンク問題として定義した。また、この定義した問題に対し、本研究では、リンクの対称性を確認し、宛先端末までの到達性を保証するアルゴリズムを提案した。このアルゴリズムに基づき、非対称リンクが存在する環境下においても、適切に宛先に到達できる中継経路を OR により動的に選択できることを示した。

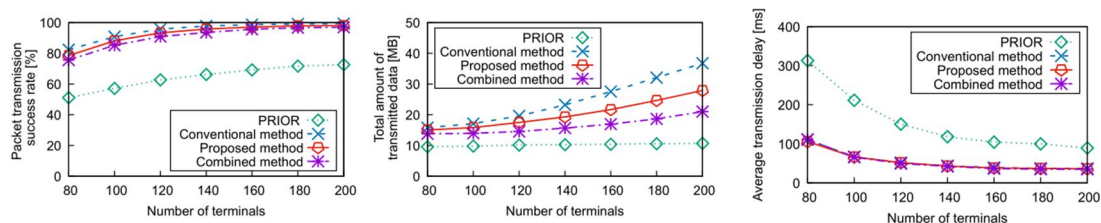


図1 端末の通信性能の非均質性に起因する非対称リンク問題が発生する環境での評価結果。緑線は従来の OR であり、大きく性能が低下している。提案手法により、高いパケット伝送成功率を維持することができる。

次に、無線センサネットワークなどにおいて、様々な計算性能の端末が連携してセンシングした情報を処理し、ローカルでタスクを実行する環境下における課題について検討を行った。本検討では、計算処理性能や各端末が実行したい計算タスクの負荷に偏りが生じた場合、各端末の負荷の偏りに直結することを確認した。この問題に対し、本研究では、計算負荷を考慮した中継端末選択と処理の割当を行うことで、非均質な環境下でも負荷を分散しながら動的に処理を割り当てられることを示した。

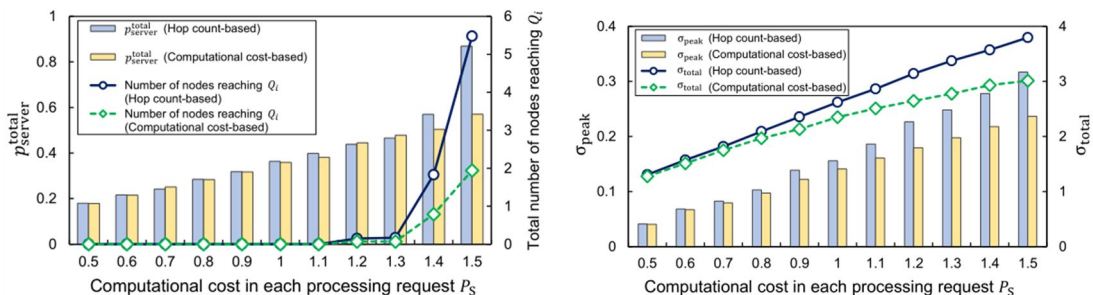


図2 端末が生成する計算タスクの負荷の非均質性に起因する各端末の処理負荷の偏りが生じる環境での評価結果。ホップ数のみを考えた場合（従来）では、負荷に偏りが生じ、多くの端末が処理性能の限界に達してしまう。提案方式では、処理負荷も考慮しながら計算タスクを割り当てることで、負荷の分散を実現している。

(2) 環境の非均質性に対応する通信制御技術

まず、多数の端末が存在する環境下で OR を運用することを考え、過度な通信負荷が生じる環境下で動作する通信技術について検討を行った。本検討では、都市環境等において、移動体通信網の負荷を軽減する目的で無線マルチホップネットワークを用いることを想定した。このような環境下では、OR によるデータ伝送を行う前に経路の探索に著しい負荷が生じることが分かっている。そこで、移動体通信網と OR の特性を活用し、単純な初期経路を移動体通信網経由で端末に与えるだけで、各端末はデータ伝送をするとともに適切な経路に収束するように動作する方式を提案し、その効果を示した。

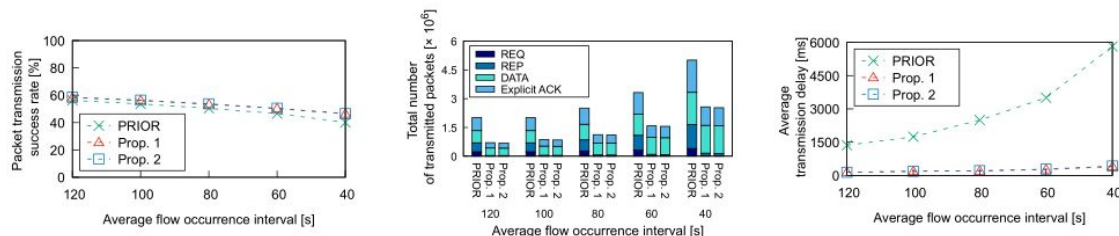


図3 多数の端末が存在する環境に起因し、通信負荷の変動が著しい環境での評価結果。従来の方式では、端末の増加や、発生する通信負荷が変動した際、性能が大きく変化することが分かった。一方提案手法では、それらの変化に依らず安定的に性能を発揮できている。

次に、通信環境や利用環境が異なる様々な状況に OR を適用することを想定し、与えるべきパラメータ設定が大きく異なる環境下に対応する通信技術について検討を行った。OR を様々な環境に適用する際に、OR に与える制御パラメータが大きく異なることが分かっている。そこで、端末間で受動的に観測する情報に基づき、OR の制御パラメータを動的に制御する手法を提案し、実装によりその効果を示した。また、実運用においては、シミュレーションに基づく実験では未考慮となっていた観点が得られ、それらを組み込んだアルゴリズムの実現に向けた検討を行った。

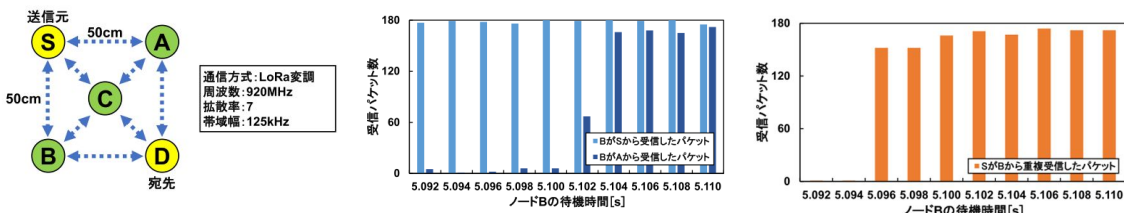


図4 利用環境に起因する非均質性に対し、制御パラメータが与える影響を実装実験により確認した結果。端末のもつ実際の通信機器の特性に応じて、OR による制御時に重要となる待機時間設計が大きく変わることを示している。そのため、動的に制御パラメータを制御するためには、これらの実験結果から得られた特性を組み込むことで実環境でも制御が可能となることを示している。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Eri Hosonuma, Taku Yamazaki, Takumi Miyoshi, Ryo Yamamoto, and Thomas Silverston	4. 巻 X10-B
2. 論文標題 On Treating Asymmetric Links in Backoff-based Opportunistic Routing: Problem and Solution	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 IEICE Communications Express	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1587/comex.2021ETL0040	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 Ryo Yamamoto, Taku Yamazaki, Satoshi Ohzahata	4. 巻 23
2. 論文標題 VORTEX: Network-Driven Opportunistic Routing for Ad Hoc Networks	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Sensors	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3390/s23062893	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 -

〔学会発表〕 計22件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 7件）

1. 発表者名 山崎 拓真, 細沼 恵里, 小野 翔多, 山崎 託, 三好 匠
2. 発表標題 サーバによる宛先探索を用いた転送待機時間に基づくOpportunistic Routing
3. 学会等名 電子情報通信学会情報通信マネジメント研究会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 細沼 恵里, 山崎 託, 三好 匠, 田谷 昭仁, 西山 勇毅, 瀬崎 薫
2. 発表標題 広域屋内空間における人の滞在が受信信号強度に与える影響の解析
3. 学会等名 電子情報通信学会情報通信マネジメント研究会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 細沼 恵里, 三好 匠, 山崎 託, 田谷 昭仁, 西山 勇毅, 瀬崎 薫
2. 発表標題 LPWAによる屋内空間の混雑領域推定に向けた検討
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

1. 発表者名 田中 伸幸, 山崎 拓真, 細沼 恵里, 山崎 託, 三好 匠
2. 発表標題 Opportunistic Routingを用いた機械学習の処理分割割当手法
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

1. 発表者名 Shota Ono, Taku Yamazaki, Takumi Miyoshi, Yuuki Nishiyama, and Kaoru Sezaki
2. 発表標題 Cooperative Local Distributed Machine Learning Considering Communication Latency and Power Consumption
3. 学会等名 2023 IEEE 20th Annual Consumer Communications & Networking Conference (IEEE CCNC 2023) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Eri Hosonuma, Yuuki Nishiyama, Kaoru Sezaki, Takumi Miyoshi, and Taku Yamazaki
2. 発表標題 Enabling Block Transmission on Backoff-based Opportunistic Routing
3. 学会等名 2023 IEEE 20th Annual Consumer Communications & Networking Conference (IEEE CCNC 2023) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Takuma Yamazaki, Eri Hosonuma, Taku Yamazaki, and Takumi Miyoshi
2. 発表標題 Fast Confirmation of Link Symmetry in Backoff-Based Opportunistic Routing
3. 学会等名 The 23rd Asia-Pacific Network Operations and Management Symposium (APNOMS 2022) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 山崎 拓真, 細沼 恵里, 山崎 託, 三好 匠, シルバーストン トーマス
2. 発表標題 転送待機時間に基づくOpportunistic Routingにおけるリンク対称性確認手法の性能解析
3. 学会等名 電子情報通信学会ネットワークシステム研究会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 小林 侑太, 細沼 恵里, 山崎 託, 三好 匠, 新津 善弘, シルバーストン トーマス
2. 発表標題 Opportunistic Routingを用いたLPWAメッシュネットワークにおける転送待機時間の解析
3. 学会等名 電子情報通信学会ネットワークシステム研究会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Hiroshi Katada, Taku Yamazaki, Takumi Miyoshi, Shigeru Shimamoto, and Yoshiaki Tanaka
2. 発表標題 Adaptive Wireless Multi-hop Routing Less Affected by Processing Delay
3. 学会等名 2021 22nd Asia-Pacific Network Operations and Management Symposium (APNOMS 2021) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 小林 侑太, 細沼 恵里, 山崎 託, 三好 匠, 新津 善弘, シルバーストン トーマス
2. 発表標題 実環境におけるLPWAメッシュネットワークの特性評価に向けた検討
3. 学会等名 電子情報通信学会ネットワークシステム研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 細沼 恵里, 山崎 託, 三好 匠, シルバーストン トーマス
2. 発表標題 アドホックネットワークにおける動的な中継端末選択を用いたブロック伝送方式の特性解析
3. 学会等名 電子情報通信学会コミュニケーションクオリティ研究会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 松尾 優大, 山本 嶺, 大坐島 智, 山崎 託, 三好 匠
2. 発表標題 Opportunistic Routingにおける蟻コロニー最適化に基づく負荷分散手法
3. 学会等名 電子情報通信学会コミュニケーションクオリティ研究会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 小林 侑太, 三好 匠, 細沼 恵里, 新津 善弘, 山崎 託, シルバーストン トーマス
2. 発表標題 Opportunistic Routingを用いたLPWAメッシュネットワークにおける転送待機時間の解析実験
3. 学会等名 2022年電子情報通信学会総合大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 山崎 拓真, 細沼 恵里, 山崎 託, 三好 匠, シルバーストン トーマス
2. 発表標題 転送待機時間に基づくOpportunistic Routingにおけるリンク対称性の連続的な確認
3. 学会等名 2022年電子情報通信学会総合大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 細沼 恵里, 山崎 託, 三好 匠, シルバーストン トーマス
2. 発表標題 アドホックネットワークにおける動的な中継端末選択を用いたブロック伝送方式
3. 学会等名 2022年電子情報通信学会総合大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Yoshihiro Taniguchi, Takumi Miyoshi, Taku Yamazaki, Thomas Silverston, and Takuya Asaka
2. 発表標題 Performance Evaluation of WPT-motivated MANET Based on Realistic User Cooperation Models
3. 学会等名 2021 IEICE General Conference
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 内田大貴, 細沼恵里, 山崎 託, 三好 匠, シルバーストン トーマス
2. 発表標題 推定中継端末数を用いたマルチレートOpportunistic Routing
3. 学会等名 第26回電子情報通信学会東京支部学生会研究発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 ミノワ サンチェス ディエゴ シゲトシ, 細沼恵里, 山崎 託, 三好 匠, 新津善弘, シルバーストン トーマス
2. 発表標題 LPWAメッシュネットワークにおけるパラメータ動的制御に向けた実装実験
3. 学会等名 第26回電子情報通信学会東京支部学生会研究発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yoshihiro Taniguchi, Taku Yamazaki, Takumi Miyoshi, and Takuya Asaka
2. 発表標題 How Users Behave on WPT-motivated MANET: Qualitative Analysis of Users Cooperation
3. 学会等名 IEEE Consumer Communications and Networking Conference (CCNC 2021) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Eri Hosonuma, Taku Yamazaki, Takumi Miyoshi, Ryo Yamamoto, and Thomas Silverston
2. 発表標題 Handling Asymmetric Links in Backoff-based Opportunistic Routing
3. 学会等名 International Conference on Emerging Technologies for Communications (ICETC 2020) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Yoshihiro Taniguchi, Taku Yamazaki, Takumi Miyoshi, and Takuya Asaka
2. 発表標題 User Behavior Analysis of WPT Motivated Ad Hoc Networks
3. 学会等名 IEEE International Conference on Consumer Electronics - Taiwan (ICCE-TW 2020) (国際学会)
4. 発表年 2020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
---------	---------