

令和 3 年 6 月 22 日現在

機関番号：32714

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2018～2020

課題番号：18K11281

研究課題名(和文)無線マルチホップネットワークの高信頼化および省電力化を図るルーティングプロトコル

研究課題名(英文) Routing Protocols for high reliability and energy saving in wireless multihop networks

研究代表者

塩川 茂樹 (Shiokawa, Shigeki)

神奈川工科大学・情報学部・教授

研究者番号：30303689

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 1,500,000円

研究成果の概要(和文)：特殊なネットワークインフラを用いることなく、広範囲に存在する多数の移動体無線端末のみで構成される無線マルチホップネットワークは、通信インフラが崩壊した環境あるいは通信インフラ構築自体が困難な環境での情報収集を可能にするネットワーク技術である。本研究では、実用に耐えうる無線マルチホップネットワークの実現に向けて、データ到達の信頼性向上および無線端末の通信に関わる消費電力の削減を目的としたルーティングプロトコルの開発を行い、その有効性を実証した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は、無線マルチホップネットワークの信頼性向上およびデータ送信処理の省電力化の達成を図るために、研究代表者がこれまでに開発してきたモバイルエージェント技術をさらに洗練させるだけでなく、送信電力制御、通信機能停止制御など省電力化に関する主要技術として従来単独で開発研究が行われてきたものを、モバイルエージェントと有機的に組み合わせる画期的な手法について検討した点で、学術的意義がある。また実用に耐えうる無線マルチホップネットワークを実現させることは、災害時をはじめネットワークインフラを必要としない環境での情報収集を容易にさせることであり、本研究が持つ社会的意義も大きい。

研究成果の概要(英文)：Wireless multihop network, which doesn't use any specific network infrastructure and is constructed by only mobile terminals, is a network enabling information gathering under the environment where network infrastructure is collapsed or constructing network infrastructure is difficult.

In this study, with a goal of realization of practical multihop networks, we develop routing protocols in order to make data reachability be reliable and save energy for data communication in mobile terminals.

研究分野：無線ネットワーク

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 情報指向型ネットワーク 遅延耐性ネットワーク

## 1. 研究開始当初の背景

スマートフォンを始めとする携帯通信端末の爆発的な普及により、移動中の利用者(移動体)によるネットワーク接続が生活に不可欠となっている。これに伴い、これまで有線ネットワークの利用が主であった大容量かつ高速なデータ通信の、移動体ネットワーク利用への要求が非常に高まっている。一方、天災を含む非常時においても移動体ネットワークの果たす役割は大きく、より高速で高信頼のネットワークが期待されている。また、IoT(Internet of Things)やIoE(Internet of Everything)が昨今の注目を集めるなか、物と物を移動体ネットワークで結ぶ技術への注目度も極めて高まっている。

現在の移動体ネットワークでは、各移動体端末がアクセスポイント(基地局)と無線接続を行い、端末の移動に伴って接続基地局を切り替える、セルラネットワークが主流である。セルラネットワークでは各基地局が有線ケーブルを通じてインターネット網に接続しているため、移動体端末は移動に伴う制限を受けることなく自由にネットワーク接続を行える。これに対して、基地局や有線ケーブルなどのネットワークインフラを一切用いずに、移動体端末のみでネットワークを構成し、データ送信は端末間の無線通信を複数回繰り返す(マルチホップ)ことで実現させる、無線マルチホップネットワークが注目を集めている。特に災害によりネットワークインフラが崩壊した場合の即席通信手段として期待され、例えば2016年に発生した熊本地震においては、基地局搭載自動車など最低限のネットワークインフラのみによる準無線マルチホップネットワーク構築により、被災者への早急な情報発信を可能とするなど、社会に大きな貢献を果たしている。さらに、本来インフラ設置の困難な場所(深海中、宇宙空間など)でも利用可能なネットワーク、あるいは上記のIoT/IoEを実現させる無線センサネットワークとしても注目を集め、様々な研究が盛んに行われている。

ネットワークインフラを全く用いない無線マルチホップネットワークでは、移動体端末自身がデータ中継を担うため、ネットワーク構成が動的に変化するという特徴を持っている。そのため、これまでに存在したデータ転送経路が突然失われることが頻繁に生じ、これによる送信データの欠落や送信遅延の増加が著しい。また移動体端末は定常的な電源供給の困難な場合が多いため、継続的な利用を可能とするためには送信処理の省電力化が必須である。したがって、現在のインターネットと同程度の利用を可能とする無線マルチホップネットワークの実現のためには、これらの課題の早急な解決が望まれる。

## 2. 研究の目的

無線マルチホップネットワークにおいて、データ転送を担うルーティング(経路制御)プロトコルの役割は非常に大きく、その効率化は最優先の技術課題となっている。特に近年では、いかに少ない電力で多くの情報を伝えられるかという、データ送信処理の省電力化に対する関心が高い。そこで、これまでルーティング性能の主要な評価指標であった、データ到達率やデータ到達遅延に加えて、単位エネルギーあたりに送信できるデータ量が注目され始め、この値をいかに向上させるかも大きな研究課題となっている。本研究の目的は、無線マルチホップネットワークで現在のインターネットと同程度の利用を可能とするために、データ送信の信頼性をさらに向上させるだけでなく、通信端末のデータ送信処理に対しても省電力化を図ることである。

## 3. 研究の方法

研究実施計画に記載した3つの研究課題、モバイルエージェントの効果的な運用手法の開発、ネットワークの状況を考慮した送信電力制御および通信機能停止制御、送信電力制御および通信機能停止制御を考慮した経路構築手法に対して、以下の通り具体的な手法を提案し、計算機シミュレーションにより提案手法の有効性を明らかにする。

### (1) モバイルエージェントの効果的な運用手法の開発

情報指向型無線マルチホップネットワークに着目し、情報コンテンツの管理にモバイルエージェントを活用することで情報コンテンツの探索制御データ量を減らす方式を提案する。

### (2) ネットワークの状況を考慮した送信電力制御および通信機能停止制御

無線センサネットワークにおいて、ネットワーク結合率を理論的に解析した結果をパラメータとし、通信機能停止(スリープ)を制御する方式を提案する。続いて耐遅延・耐障害無線マルチホップネットワークにおいて、送信端末と送信対象端末の位置関係に応じてデータ送信およびスリープの可否を制御する方式を提案する。また送受信を行う2台の端末の位置情報および移動状況から、適切な送信タイミングや送信時の送信電力を動的に制御する手法も提案する。さらに、給電機による無線給電が可能な無線センサネットワークにおいて給電効率を向上させる方式を提案する。

### (3) 送信電力制御および通信機能停止制御を考慮した経路構築手法

情報指向型無線マルチホップネットワークに焦点をあて、シンクと呼ばれる情報集約機器までの情報転送経路を、階層クラスタリングおよび送信電力制御を用いて構築する手法を提案する。次に同一の情報を提供する端末を2台選択し、マルチパス送信させる手法を提案する。

#### 4. 研究成果

##### (1) モバイルエージェントの効果的な運用手法の開発

情報指向型無線マルチホップネットワークではコンテンツ要求パケットの送信にフラッディングを用いることから、要求したコンテンツを複数のノードがキャッシュしていた場合、コンテンツ要求パケットを受信した複数のノードがコンテンツを送信するため、重複したコンテンツ送信が発生するという問題がある。これはネットワークの負荷を増加させる。そこでこの問題を解決するため、モバイルエージェントを用いた位置情報利用型ルーティングを情報指向型無線マルチホップネットワークに応用することで制御パケットの削減と重複コンテンツ送信を抑制する手法を提案した。本手法ではモバイルエージェントがノードの持つコンテンツを網羅的に把握し、コンテンツ要求ノードは、モバイルエージェントにのみコンテンツ要求パケットを送る。そのため要求パケットのフラッディングを必要としない。性能評価の結果、コンテンツ要求パケット量削減に伴う省電力化だけでなく、情報コンテンツデータとコンテンツ要求パケットの衝突を少なくすることでデータ到達率(図1)も大幅に向上できることを示した(文献[1])。

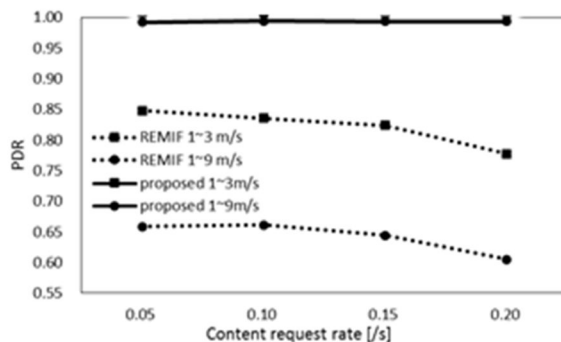


図1 データ到達率

(提案方式は実線)

##### (2) ネットワークの状況を考慮した送信電力制御および通信機能停止制御

まず初めに無線センサネットワークに焦点を当て、省電力化技術の一つである通信機能停止(スリープ)を効果的に行う手法について検討した。そして移動端末の存在密度や移動速度を基にネットワーク結合率を理論的に解析し、結合率の高い状況では周囲に十分なノードが存在すると判断してスリープさせるノード増やし、逆に結合率の低い状況ではスリープさせるノード減らす方式を提案した。性能評価の結果、ネットワーク維持に不必要な端末の消費電力を抑えながら、従来ネットワークと同等のデータ到達率を達成できることを示した(文献[2])。

次に継続的なネットワーク構成を維持する必要の無い耐遅延・耐障害無線マルチホップネットワークに焦点を当てた。このネットワークでは、端末の密度が非常に小さいため、限られた送信機会を効率よく使う必要がある。そこで送信端末と送信対象端末の移動情報をもとにこれらの端末が最接近するタイミングを理論的に推定し、推定したタイミングをデータ送信タイミングとし、その時の送信対象までの距離に応じてデータ送信電力を抑え、さらに送信後の移動方向に応じてスリープの可否を制御する方式を提案した。性能評価の結果、ネットワークの消費電力(図2)を削減できることを示した(文献[3])。

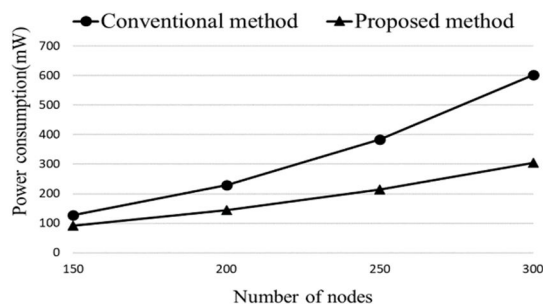


図2 消費電力

(提案方式は実線)

続いて、給電機による無線給電が可能な無線センサネットワークに焦点をあてた。このネットワークでは、給電スケジュールの効率が悪いと、ノードへの給電が消費に追い付かずノードの電力が枯渇するという課題がある。そこで、給電効率を向上させるために、給電予定の端末にデータを集中させることで給電の予定が無い端末の電力消費を抑える方式、および給電スケジュールを考慮し、給電が行われるノードを経路に積極的に用いるルーティング方式を提案した。性能評価の結果、ネットワーク全体の消費電力を削減することができた(文献[4])。

##### (3) 送信電力制御および通信機能停止制御を考慮した経路構築手法

ここでは情報指向型無線マルチホップネットワークに焦点をあて、シンクと呼ばれる情報集約機器が存在するネットワークおよびシンクが存在しないネットワークのそれぞれに対して課題解決の検討を行った。シンクが存在するネットワークでは、全てのデータがシンクに送られるため、シンク周辺ノードのデータ転送にかかる消費電力が大きいという問題がある。そこで階層クラスタリングを用いることでシンクへのデータ転送を一部のノードのみに任せ、さらに送信電力制御を用いることで省電力化を図る経路構築手法を提案した。性能評価の結果、データ到達率やデータ到達遅延性能を維持しながら消費電力を削減できることを示した(文献[5])。

次にシンクが存在しないネットワークにおいては、送信元と宛先のノードが常に動いている状況が考えられるため、構築された経路が維持される時間が短いという問題がある。そこでデータ要求パケットに対する応答から同一の情報を提供する端末を2台選択し、マルチパス送信させることで、送信時間を短縮し、上記の問題を解決する手法を提案した。加えて、近隣端末による送信信号のオーバーヒアリングを利用して情報蓄積効率を向上させる手法を提案した。さらにデータの複製回数と同一データの所持端末数に応じてキャッシュを制御する手法を提案した。性能評価の結果、これらの手法により、データ到達遅延や消費電力(図3)を削減できることを示した(文献 [10])。

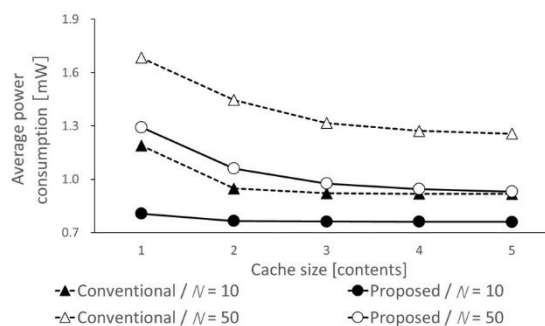


図3 消費電力  
(提案方式は ○)

#### (4) 研究成果のまとめと今後の課題

以上の研究成果より無線マルチホップネットワークで現在のインターネットと同程度の利用を可能とするために、データ送信の信頼性をさらに向上させるだけでなく、通信端末のデータ送信処理に対しても省電力化を図るといった目的は達成できたと考えられる。ただし、これまでの研究成果は全て計算機シミュレーションによる性能評価を基としており、実際のネットワーク環境に適用した場合の実証実験は行われていない。これらについては今後の課題となる。

#### <引用文献>

- Joji Fujikawa, Shigeki Shiokawa, Information-Centric Architecture Using Mobile Agent for MANET, Journal of Signal Processing, Vol.22, 2018, 179 - 183
- 藤川丈自, 塩川茂樹, コンテンツ指向型 MANET におけるモバイルエージェントを利用したコンテンツ取得手法の改善, 電子情報通信学会技術研究報告, ASN2018-69, 2018, 81 - 86
- Joji Fujikawa, Shigeki Shiokawa, Improvement of Information-Centric Architecture Using Mobile Agent, Japan-Korea Joint Workshop on Complex Communication Sciences (JKCCS), 2019, 4pages
- Shigeki Shiokawa, Dynamic Sleep Control Using Network Connectivity in Wireless Sensor Networks, Smart City based on Ambient Intelligence (SCAI), 2018, 5pages
- Shigeki Shiokawa, Complex Communication Sciences in Wireless Multihop Networks, International Workshop on Smart Wireless Communications (SmartCom), 2018, 1page
- Masumi Tadokoro, Shigeki Shiokawa, Transmission power control considering internode distance in DTN, International Symposium on Nonlinear Theory and Its Applications (NOLTA), 2020, 4pages
- Yamato Takahashi, Shigeki Shiokawa, Routing Control Considering Hot Spots in Wireless Chargeable Sensor Network, International Workshop on Nonlinear Circuits, Communications and Signal Processing (NCSP), 2019, 4pages
- Masumi Tadokoro, Shigeki Shiokawa, Effective Charging Method Considering Hotspot in Wireless Rechargeable Sensor Networks, International Workshop on Nonlinear Circuits, Communications and Signal Processing (NCSP), 2019, 4pages
- 高橋大和, 塩川茂樹, 無線給電センサネットワークにおける給電効率を考慮した経路制御方式, 電子情報通信学会技術研究報告, SeMI2019-7, 2019, 99 - 103
- 田所真澄, 塩川茂樹, 無線給電センサネットワークにおけるホットスポットを考慮した給電方式, SeMI2019-7, 2019, 105 - 108
- Hiroto Michitsuji, Shigeki Shiokawa, Transmission Control Method Using Hierarchical Clustering in Information-Centric Sensor Networks, Journal of Signal Processing, Vol.24, 2020, 153 - 157
- Hiroto Michitsuji, Shigeki Shiokawa, Transmission Control Method Using Hierarchical Clustering in Information-Centric Sensor Networks, International Workshop on Nonlinear Circuits, Communications and Signal Processing (NCSP), 2020, 4pages
- 高橋大和, 塩川茂樹, 情報指向型ネットワークにおける階層クラスタを用いたコンテンツキャッシュ方式, 電子情報通信学会技術研究報告, CCS2019-21, 2019, 19 - 22
- 塩川茂樹, 藤川丈自, 情報指向型ネットワークにおけるマルチパスを利用したコンテンツ取得手法, 電子情報通信学会技術研究報告, CCS2020-19, 2020, 11 - 15
- Kaede Shinohara, Shigeki Shiokawa, Multipath Content Acquisition Method Using Overhearing in ICN, Journal of Signal Processing, Vol.24, 2020, 159 - 162
- Kaede Shinohara, Shigeki Shiokawa, Multi-pass Content Acquisition Method Using Overhear in ICN, Communications and Signal Processing (NCSP), 2020, 4pages

篠原楓, 塩川茂樹, ICN におけるオーバヒアを利用したマルチパスコンテンツ取得方法, 電子情報通信学会技術研究報告, CCS2020-19, 2020, 11 - 15  
篠原楓, 塩川茂樹, ICN におけるオーバヒアを利用したマルチパスコンテンツ取得方法のキャッシュ制御の改良, CCS2020-25, 2021, 25 - 30

## 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 3件）

1. 著者名 Hiroto Michitsuji, Shigeki Shiokawa	4. 巻 24
2. 論文標題 Transmission Control Method Using Hierarchical Clustering in Information-Centric Sensor Networks	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Signal Processing	6. 最初と最後の頁 153 ~ 157
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2299/jsp.24.153	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 Kaede Shinohara, Shigeki Shiokawa	4. 巻 24
2. 論文標題 Multipath Content Acquisition Method Using Overhearing in ICN	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Signal Processing	6. 最初と最後の頁 159 ~ 162
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2299/jsp.24.159	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 Joji Fujikawa, Shigeki Shiokawa	4. 巻 22
2. 論文標題 Information-Centric Architecture Using Mobile Agent for MANET	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Signal Processing	6. 最初と最後の頁 179 ~ 183
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2299/jsp.22.179	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15件（うち招待講演 0件/うち国際学会 8件）

1. 発表者名 Masumi Tadokoro, Shigeki Shioakwa
2. 発表標題 Transmission Power Control Considering Internode Distance in DTN
3. 学会等名 2020 International Symposium on Nonlinear Theory and Its Applications (NOLTA) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 篠原楓, 塩川茂樹
2. 発表標題 ICNにおけるオーバヒアを利用したマルチパスコンテンツ取得方法
3. 学会等名 電子情報通信学会複雑コミュニケーションサイエンス研究会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 篠原楓, 塩川茂樹
2. 発表標題 ICNにおけるオーバヒアを利用したマルチパスコンテンツ取得方法のキャッシュ制御の改良
3. 学会等名 電子情報通信学会複雑コミュニケーションサイエンス研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 高橋大和, 塩川茂樹
2. 発表標題 情報指向型ネットワークにおける階層クラスタを用いたコンテンツキャッシュ方式
3. 学会等名 電子情報通信学会複雑コミュニケーションサイエンス研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 塩川茂樹, 藤川丈自
2. 発表標題 情報指向型ネットワークにおけるマルチパス を利用したコンテンツ取得手法
3. 学会等名 電子情報通信学会複雑コミュニケーションサイエンス研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Hiroto Michitsuji, Shigeki Shiokawa
2. 発表標題 Transmission Control Method Using Hierarchical Clustering in Information-Centric Sensor Networks
3. 学会等名 International Workshop on Nonlinear Circuits, Communications and Signal Processing (NCSP) 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Kaede Shinohara, Shigeki Shiokawa
2. 発表標題 Multi-pass content acquisition method using overhear in ICN
3. 学会等名 International Workshop on Nonlinear Circuits, Communications and Signal Processing (NCSP) 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Shigeki Shiokawa
2. 発表標題 Dynamic Sleep Control Using Network Connectivity in Wireless Sensor Networks
3. 学会等名 Smart City based on Ambient Intelligence (SCAI) 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 藤川丈自, 塩川茂樹
2. 発表標題 コンテンツ指向型MANETにおけるモバイルエージェントを利用したコンテンツ取得手法の改善 ASN2018-69 [Preview]
3. 学会等名 電子情報通信学会知的環境とセンサネットワーク研究会
4. 発表年 2018年



1. 発表者名 Shigeki Shiokawa
2. 発表標題 Complex Communication Sciences in Wireless Multihop Networks
3. 学会等名 International Workshop on Smart Wireless Communications (SmartCom) 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yamato Takahashi, Shigeki Shiokawa
2. 発表標題 Routing Control Considering Hot Spots in Wireless Chargeable Sensor Network
3. 学会等名 International Workshop on Nonlinear Circuits, Communications and Signal Processing (NCSP) 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Masumi Tadokoro, Shigeki Shiokawa
2. 発表標題 Effective Charging Method Considering Hotspot in Wireless Rechargeable Sensor Networks
3. 学会等名 International Workshop on Nonlinear Circuits, Communications and Signal Processing (NCSP) 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Joji Fujikawa, Shigeki Shiokawa
2. 発表標題 Improvement of Information-Centric Architecture Using Mobile Agent
3. 学会等名 Japan-Korea Joint Workshop on Complex Communication Sciences (JKCCS) 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 高橋大和, 塩川茂樹
2. 発表標題 無線給電センサネットワークにおける給電効率を考慮した経路制御方式
3. 学会等名 電子情報通信学会センサネットワークとモバイルインテリジェンス研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 田所真澄, 塩川茂樹
2. 発表標題 無線給電センサネットワークにおけるホットスポットを考慮した給電方式
3. 学会等名 電子情報通信学会センサネットワークとモバイルインテリジェンス研究会
4. 発表年 2019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
---------	---------