

令和 4 年 5 月 18 日現在

機関番号：14101

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2019～2021

課題番号：19K11921

研究課題名（和文）IoT/M2Mネットワークにおける通信トラフィック偏在に適應する無線アクセス制御

研究課題名（英文）Radio access control for traffic non-uniformity in IoT/M2M wireless networks

研究代表者

森 香津夫（MORI, KAZUO）

三重大学・工学研究科・教授

研究者番号：90324540

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）：本研究課題では、IoT/M2M無線ネットワークにおいて発生する膨大な接続端末に起因した無線チャンネルアクセス競合の緩和策である制限アクセスウインド（RAW）によるグループ基準アクセス制御（GMAC）における端末グループ化方式を研究対象として、端末生成トラフィック等の時間・地理的偏在に着目し、トラフィック偏在環境における高性能無線チャンネルアクセス技術の確立を目的に研究を進めた。

その結果、研究成果として、端末配置偏在および通信トラフィック偏在に加え、端末伝送速度のマルチレート環境下で良好なシステム性能が得られる端末グループ化方式を考案して、計算機シミュレーションによる性能評価からその有効性を確認した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究課題が目指したIoT/M2M無線ネットワーク向けの高効率無線チャンネルアクセス制御技術は、実システムでのサービス提供に必要な不可欠な技術である。超多数端末収容と各種偏在環境への同時対応は、先行研究で殆ど取り扱われていない内容であり、学術的および産業的に先行性を有しており、その意義は高い。

したがって、本研究で輩出された成果は、超多数端末収容のIoT/M2M無線ネットワークの実用化に寄与できるものであり、当該技術分野および社会への波及効果などの社会的意義は大きいと確信している。

研究成果の概要（英文）：This research investigates the radio channel access technique for the group-based medium access control (GMAC) with restrict access window (RAW) in IoT/M2M wireless networks with massive user stations (STAs). Focusing on traffic non-uniformity, this research proposes the STA grouping strategy for RAW based GMAC access in IoT/M2M wireless networks, which handles various traffic non-uniformities such as non-uniform STA deployment, STA traffic, and STA data rate.

This research demonstrates the proposed STA grouping strategy improves the system performance, such as system throughput and fairness in communication between STAs.

研究分野：無線通信工学

キーワード：無線チャンネルアクセス制御 グループ化チャンネルアクセス トラフィック偏在 IoTネットワーク M2Mネットワーク

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

IoT/M2M 向けネットワーク(NW)の主課題である超多数端末収容に起因する高チャネルアクセス競合抑制のために、IEEE802.11ah は制限アクセスウインド(RAW)によるグループ基準チャネルアクセス制御(GMAC)を導入している。RAW 方式は端末をグループに分割し、グループ内端末が同一 RAW スロット内でアクセス競合するが、依然として発生するグループ内端末での競合抑制のためには、適切な端末グループ化が重要課題となっており、これまでにいくつかのグループ化方式が提案されている。

一方、IoT/M2M 無線アクセス NW の通信トラヒックには、いくつかの偏在特性が出現する。IoT 端末は通信トラヒックを常に持つことは少なく、アプリケーションに依存して、通信トラヒックは時間軸、空間(地理)軸、あるいはその両方で大きく偏在する特性を有する可能性が大きい。ゆえに、高性能な無線チャネルアクセスを実現するためには、これらの通信トラヒック偏在に適応するチャネルアクセス技術が必要である。

ところが、これまでの IoT/M2M 無線アクセス NW における GMAC の研究では、端末のグループ化に際して通信トラヒックの偏在特性が考慮されていない。そのため、同一グループ内で発生するチャネルアクセス競合が適切に対処できておらず、ネットワーク性能が劣化する恐れがある。

2. 研究の目的

本研究課題では、IoT/M2M無線アクセスNWの無線チャネルアクセス制御技術に関して研究を進め、以下の項目を明らかにすることを目的とした。

- ・通信トラヒックの偏在が当該NWのシステム性能に与える影響の定量的評価
- ・通信トラヒック偏在環境に適応するグループ基準媒体アクセス制御手法(特に、端末グループ化手法)の確立

両項目における通信トラヒックの偏在特性として時間軸と空間(地理)軸の偏在を考慮し、これらの偏在特性がCSMA/CA方式による競合型のグループ基準媒体アクセス方式のシステム性能に与える影響を明らかにしていく。次に、これらのトラヒック偏在が端末グループの性質(例えば、同一グループ内端末数、端末間距離など)に与える影響を明らかにして、システム性能劣化への因果関係を解明する。さらに、これらの知見に基づいた端末グループ化方式を開発し、通信トラヒック偏在に適応するグループ基準アクセス手法を確立することを目的とした。

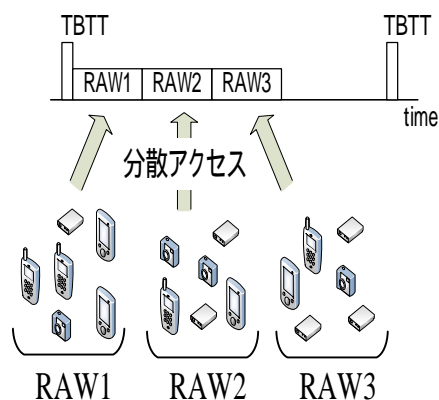


図1. 制限アクセスウインドウ(RAW)によるグループ基準媒体アクセス制御

3. 研究の方法

本研究課題における具体的な研究項目は、通信方式(PHYやMAC方式)がIEEE802.11ah準拠のRAW方式を適用したIoT/M2M無線アクセスNW(図1)を対象とした以下の2項目とした。

- 通信トラヒックの時間的/空間的偏在がシステム性能に与える影響の定量的調査とシステム性能劣化要因の特定(トラヒック偏在影響調査)、
- 時間的/空間的通信トラヒック偏在環境適応型のグループ基準媒体アクセス制御GMACにおける端末グループ化方式の確立(トラヒック偏在適応GMAC方式確立)。

研究は段階的に実施し、第1フェーズでは項目を、第2フェーズでは項目をそれぞれ進めた。H31(R1,2019)年度に項目、R2(2020)、R3(2021)年度に項目を進めた。

研究手法として、第1フェーズでの定量的調査および性能劣化要因特定は計算機シミュレーションを用いて、また、第2フェーズでの方式考案は机上検討で行い、性能評価は計算機シミュレーションを用いて実施した。

4. 研究成果

H31(R1,2019)年度は、通信トラフィックの偏在が当該ネットワークのシステム性能に与える影響の定量的調査(評価)・劣化要因特定と、偏在トラフィック環境下での端末グループ化手法についての研究を進めた。具体的には、空間的(地理的)な端末配置の偏在を対象に、当該偏在環境下でのネットワークのシステム性能定量的評価、および、空間的(地理的)な端末位置偏在を考慮した端末数基準端末グループ化方式(提案法1)(図2)の考案・性能評価を実施した。

その結果、空間的(地理的)な端末配置偏在は、当該ネットワークのシステム性能に大きな影響を与え、従来型の端末グループ化方式は空間的(地理的)な端末位置偏在環境で性能劣化を引き起こすことを明らかにした。また、本研究で新たに考案した端末グループ化手法は、従来手法に比較して、システム性能を向上させることが可能であることを明らかにした(図3, 4)。

本研究成果は、国内学会(電子情報通信学会ソサイエティ大会)にて公表され、また、国際学会(IEEE VTC2020-spring)での採録が決定した。さらに、関連研究成果を国内学会(電子情報通信学会ソサイエティ大会)および国際学会(IEEE ICST2019)にて公表した。

R2(2020)年度は、通信トラフィックの偏在環境下での端末グループ化手法についての研究を進めた。具体的には、トラフィック偏在環境に適した端末グループ化方式に関して、前年度の研究で得られた知見を踏まえ、時間的トラフィック偏在の1形態と考えられる端末での生起トラフィックが端末間で異なる多元トラフィック環境に適した端末グループ化方式の研究を進めた。空間的(地理的)なトラフィック偏在と多元トラフィックを考慮したトラフィック量基準端末グループ化方式(提案法2)(図5)の考案とその性能評価を実施した。

その結果、本研究で新たに考案した端末グループ化手法は、従来手法に比較して、システム性能を向上させることが可能であることを明らかにした(図6, 7)。

本研究成果は、国内学会(電子情報通信学会総合大会, 電子情報通信学会 SeMI 研究会)にて公表され、また、関連研究成果を国内学会(電子情報通信学会 SeMI 研究会)にて公表し、国際学会(IEEE VTC2021-spring)での採録が決定した。

R3(2021)年度は、端末偏在配置および通信トラフィック偏在に加え、端末伝送速度のマルチレート環境下での端末グループ化手法について研究を進めた。具体的には、この3つの偏在環境に適した端末グループ化方式として、前年度までの研究で得られた知見を踏まえ、端末伝送速度のマルチレート化に対応すべくエアタイムを端末グループ化の基準とする新たなエアタイム基準端末グループ化方式(提案法3)(図5)の考案とその性能評価を実施した。

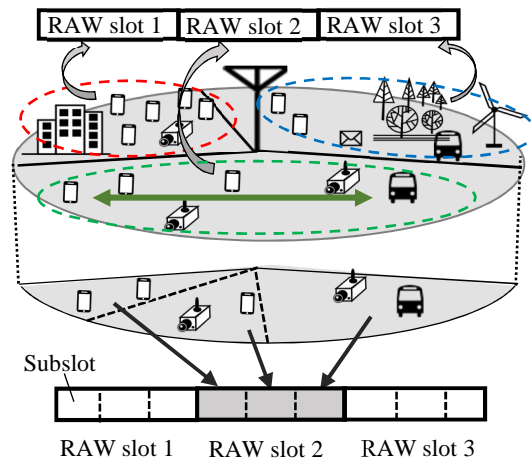


図2. 端末数基準端末グループ化

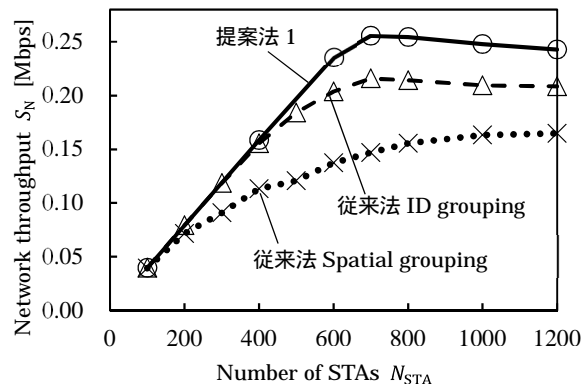


図3. ネットワークスループット特性

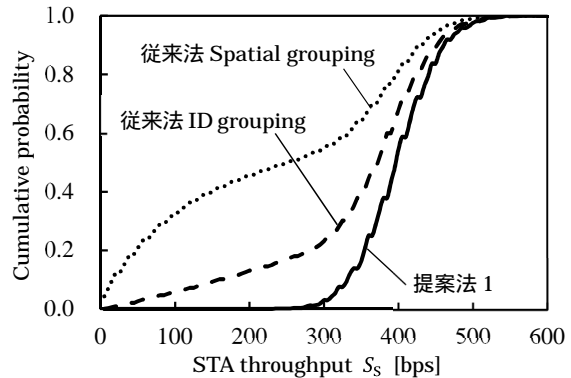


図4. 端末スループット累積確率分布

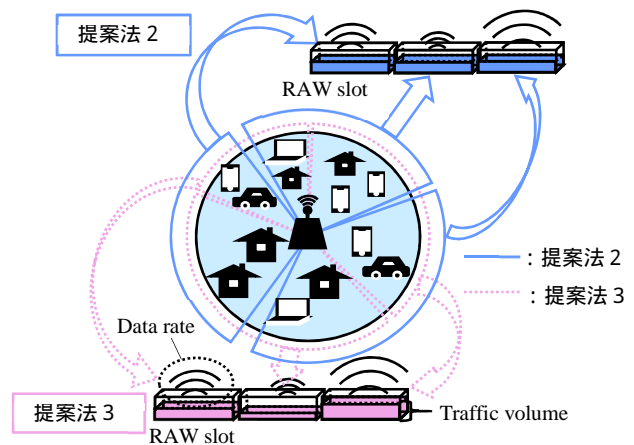


図5. トラフィック量基準, エアタイム基準
端末グループ化

その結果，本研究で新たに考案した端末グループ化手法は，前年度までに開発した方式と比較して，同程度のシステム性能が得られることを明らかにした（図6，7）．

本研究成果は，国内学会（電子情報通信学会総合大会）にて公表され，また，国際学会（IEEE VTC2022-spring）での採録が決定した．さらに，関連研究成果が学会論文誌（IEICE Trans. Commun.）に採録され掲載が決定した．

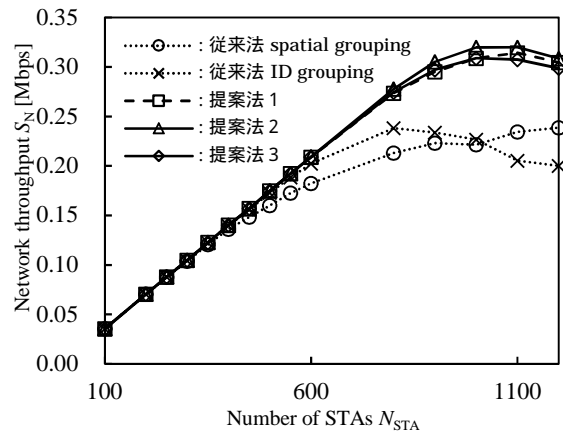


図6. ネットワークスループット特性

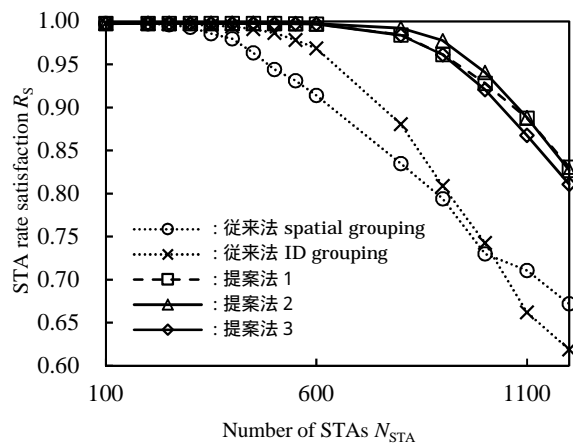


図7. 端末レート満足率特性

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計5件（うち査読付論文 5件／うち国際共著 0件／うちオープンアクセス 0件）

| | |
|---|-----------------------|
| 1. 著者名 Koya FUJINO, Kosuke SANADA, Hiroyuki HATANO, Kazuo MORI | 4. 巻 1 |
| 2. 論文標題 Advanced Adaptive Cluster Control for Heterogeneous WSNs under Geographical Non-uniform Energy Harvesting Conditions | 5. 発行年 2019年 |
| 3. 雑誌名 Proc. of the 2019 13th International Conference on Sensing Technology (ICST2019) | 6. 最初と最後の頁 151-156 |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/ICST46873.2019.9047747 | 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 Maki Shimokawa, Kosuke Sanada, Hiroyuki Hatano, Kazuo Mori | 4. 巻 1 |
| 2. 論文標題 Station Grouping Method for Non-uniform Station Distribution in IEEE 802.11ah based IoT Networks | 5. 発行年 2020年 |
| 3. 雑誌名 Proc. of the 2020 IEEE 91st Vehicular Technology Conference (VTC2020-Spring) | 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） 10.1109/VTC2020-Spring48590.2020.9128725 | 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 Kazuhiisa Haraguchi, Kosuke Sanada, Hiroyuki Hatano, Kazuo Mori | 4. 巻 1 |
| 2. 論文標題 Novel Network Configuration and its Clustering Scheme for Wireless Powered Sensor Networks | 5. 発行年 2021年 |
| 3. 雑誌名 Proc. of the 2021 IEEE 93rd Vehicular Technology Conference (VTC2021-Spring) | 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） 10.1109/VTC2021-Spring51267.2021.9448989 | 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 Ren NISHIDA, Maki SHIMOKAWA, Kosuke SANADA, Hiroyuki HATANO, Kazuo MORI | 4. 巻 1 |
| 2. 論文標題 A Station Grouping Method Considering Heterogeneous Traffic and Multiple Data Rate for IEEE802.11ah Networks with Non-uniform Station Deployment | 5. 発行年 2022年 |
| 3. 雑誌名 Proc. of the 2022 IEEE 95th Vehicular Technology Conference (VTC2021-Spring) | 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） なし | 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 Kazuhisa Haraguchi, Kosuke Sanada, Hiroyuki Hatano, Kazuo Mori | 4. 巻 Vol. E105-B, No.12 |
| 2. 論文標題 Novel Network Structure and its Clustering Scheme Based on Residual Power for Wireless Powered Wireless Sensor Networks | 5. 発行年 2022年 |
| 3. 雑誌名 IEICE Trans. on Communications | 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) なし | 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 下川 真季, 眞田 耕輔, 羽多野 裕之, 森 香津夫 |
| 2. 発表標題 IEEE802.11ah RAW 方式における端末不均一配置に対応した端末グルーピング方式 |
| 3. 学会等名 2019年電子情報通信学会ソサイエティ大会 |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 藤野 公也, 眞田 耕輔, 羽多野 裕之, 森 香津夫 |
| 2. 発表標題 不均一発電環境のヘテロジニアスWSN における適応クラスタ制御 |
| 3. 学会等名 2019年電子情報通信学会ソサイエティ大会 |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 Koya FUJINO, Kosuke SANADA, Hiroyuki HATANO, Kazuo MORI |
| 2. 発表標題 Advanced Adaptive Cluster Control for Heterogeneous WSNs under Geographical Non-uniform Energy Harvesting Conditions |
| 3. 学会等名 The 2019 13th International Conference on Sensing Technology (ICST2019) (国際学会) |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 下川 真季, 眞田 耕輔, 羽多野 裕之, 森 香津夫 |
| 2. 発表標題 端末不均一配置のIEEE802.11ahネットワークにおける多種トラフィックを考慮した端末グルーピング方式 |
| 3. 学会等名 2020年電子情報通信学会総合大会 |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 Maki Shimokawa, Kosuke Sanada, Hiroyuki Hatano, Kazuo Mori |
| 2. 発表標題 Station Grouping Method for Non-uniform Station Distribution in IEEE 802.11ah based IoT Networks |
| 3. 学会等名 The 2020 IEEE 91st Vehicular Technology Conference (VTC2020-Spring) (国際学会) |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 原口 和久, 眞田 耕輔, 羽多野 裕之, 森 香津夫 |
| 2. 発表標題 無線センサネットワークにおける無線電力伝送を考慮したクラスタリング方式 |
| 3. 学会等名 2020年電子情報通信学会ソサイエティ大会 |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 下川 真季, 眞田 耕輔, 羽多野 裕之, 森 香津夫 |
| 2. 発表標題 IEEE802.11ahネットワークにおける端末不均一配置を考慮したトラフィック負荷分散型端末グルーピング方式 |
| 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 (SeMI) |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 原口 和久, 眞田 耕輔, 羽多野 裕之, 森 香津夫 |
| 2. 発表標題 無線電力伝送を用いた無線センサネットワークのためのネットワーク構造とクラスタリング方式 |
| 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 (SeMI) |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 原口 和久, 眞田 耕輔, 羽多野 裕之, 森 香津夫 |
| 2. 発表標題 無線電力伝送適用センサネットワークにおけるクラスタリング方式の改良 |
| 3. 学会等名 2021年電子情報通信学会総合大会 |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 Kazuhisa Haraguchi, Kosuke Sanada, Hiroyuki Hatano, Kazuo Mori |
| 2. 発表標題 Novel Network Configuration and its Clustering Scheme for Wireless Powered Sensor Networks |
| 3. 学会等名 The 2021 IEEE 93rd Vehicular Technology Conference (VTC2021-Spring) (国際学会) |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 西田 錬, 眞田 耕輔, 羽多野 裕之, 森 香津夫 |
| 2. 発表標題 IEEE802.11ah端末配置不均一環境における異種トラフィックおよび複数伝送レートを考慮した端末グルーピング方式 |
| 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 Ren Nishida, Maki Shimokawa, Kosuke Sanada, Hiroyuki Hatano, Kazuo Mori |
| 2. 発表標題 A Station Grouping Method Considering Heterogeneous Traffic and Multiple Data Rate for IEEE802.11ah Networks with Non-uniform Station Deployment |
| 3. 学会等名 The 2022 IEEE 95nd Vehicular Technology Conference (VTC2022-Spring) (国際学会) |
| 4. 発表年 2022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 |
|---------|---------|
|---------|---------|