

令和元年5月28日現在

機関番号：25403
研究種目：基盤研究(C) (一般)
研究期間：2016～2018
課題番号：16K00136
研究課題名(和文) 無線ネットワークのための自律分散クラスタリングを用いた弾力的な通信経路選択技術

研究課題名(英文) Autonomous Clustering-based Resilient Route Selection Scheme for Wireless Networks

研究代表者
大田 知行 (Tomoyuki, Ohta)
広島市立大学・情報科学研究科・准教授

研究者番号：90347617
交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：近年，スマートフォンのような無線インフラストラクチャ通信(4G/LTE)と近接無線通信(Wi-Fi等)を搭載したモバイル通信機器が普及している．本研究では，無線ネットワーク環境における情報配信において，モバイルアドホックネットワークを活用した無線インフラストラクチャ通信の負荷軽減を考慮した情報配信手法を提案した．自律分散クラスタリングに基づいて二階層ネットワークを構築し，クラスタを管理するクラスタヘッドにのみ無線インフラストラクチャ通信を用いて情報を配信することにより，効率よく情報配信を行う．提案手法をネットワークシミュレータ上に実装し，シミュレーション実験により提案手法の性能評価を行った．

研究成果の学術的意義や社会的意義

近年，スマートフォンのような無線インフラストラクチャ通信(4G/LTE)と近接無線通信(WiFi/Bluetooth)を搭載したモバイル端末が普及している．そのため，このようなモバイル端末を用いて，無線マルチホップ通信により構成されるネットワークシステムを比較的容易に構築することができる．無線マルチホップ通信と無線インフラストラクチャ通信で構成される無線ネットワーク環境を利用することにより，災害避難支援のためのネットワークシステムやアプリケーションを実現することができる．

研究成果の概要(英文)：Most of mobile nodes and wireless devices are equipped with 4G/LTE cellular connections and WiFi short range connections. In this study, we proposed an information dissemination scheme in wireless networks. This scheme uses a mobile ad hoc network (MANET) to mitigate the load of the mobile core network and configures the autonomous clustering-based two layered wireless network. In the two layered wireless network, information messages are forwarded to cluster heads which manages the cluster through the mobile core network. As a result, we can confirm that the proposed scheme provides the efficient and reliable information dissemination through simulation experiments.

研究分野：ネットワークソフトウェア

キーワード：モバイルアドホックネットワーク クラスタリング 情報配信技術

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

近年、Android OSなどを搭載したスマートフォンの普及に伴い、携帯電話網(3G/LTE ネットワーク)への通信機能に加え、無線 LAN や Bluetooth などの近接無線通信機能を持つモバイル端末が数多く存在している。これらのモバイル端末が近接無線通信機能によりモバイルアドホックネットワーク(MANET)を自律的に構成することもできる。このようなモバイル端末で構成される無線ネットワーク環境において、現在までに国内外で情報検索技術や災害時の省電力ルーティング技術の研究がされている。今後、3G/LTE ネットワークと MANET で構成される無線ネットワーク環境により実現される情報配信技術は非常に重要な役割を担うことが期待されている。

代表的な無線ネットワーク環境として、モバイル端末を搭載した自動車などで構成される車車間ネットワークや路車間ネットワークがある。これらのネットワークでは、渋滞情報や駐車場情報などの情報配信や、緊急車両の円滑な走行や交差点での衝突防止のための情報交換に情報配信技術が使用される。これらのアプリケーションに応じて、近接無線通信機能を用いて、車同士の無線マルチホップ通信による情報転送、3G/LTE ネットワークのみでの情報転送、3G/LTE ネットワークと MANET を併用した情報転送など、配信時間や配信範囲などを考慮した情報配信を行う必要がある。

さらに、情報配信技術は平常時だけでなく、災害時においても非常に重要な役割を果たすことが期待されている。例えば、緊急エリアメールのように、避難指示などの情報を 3G/LTE ネットワークの基地局から利用者に対して一斉送信することにより、高信頼かつ高速な情報配信は実現されている。しかしながら、災害時に基地局が部分的に故障した場合など、一部の利用者に対して情報を配信できない可能性がある。このような状況において、3G/LTE ネットワークと MANET で構成される無線ネットワークを構築し、モバイル端末の接続状況に応じて、3G/LTE ネットワーク上での転送に加え、無線マルチホップ転送や蓄積運搬転送を併用することにより、災害時においても高信頼な情報配信を実現することができる。

情報配信時間とネットワーク負荷はトレードオフの関係にあるため、アプリケーションの種類やネットワークの状況に応じて、様々な情報転送方式を併用しながら、弾力的に配信する情報の通信経路を選択するための技術が必要となる。

本研究では、3G/LTE ネットワークと MANET から構成される無線ネットワーク環境を構築し、これらのネットワークを併用することにより、アプリケーションやネットワークの状況に適した情報配信を実現する。そのために、ネットワークの状況に応じて、情報が転送される通信経路や転送方法を選択し、高信頼な情報配信を実現する技術を開発する。具体的には、図 1 に示すように、MANET において、研究代表者がこれまでに開発してきた自律分散クラスタリングにより選択されたクラスタヘッドと呼ばれるモバイル端末のみが、3G/LTE ネットワーク上に構成する P2P ネットワークに参加する。送信元が情報配信を行う場合、配信情報の配信範囲や配信制限時間に基づき P2P ネットワークと MANET 上の通信経路を選択する。災害時などに部分的に故障している基地局なども想定し、基地局に接続できないモバイル端末には蓄積運搬転送により、情報を配信する。

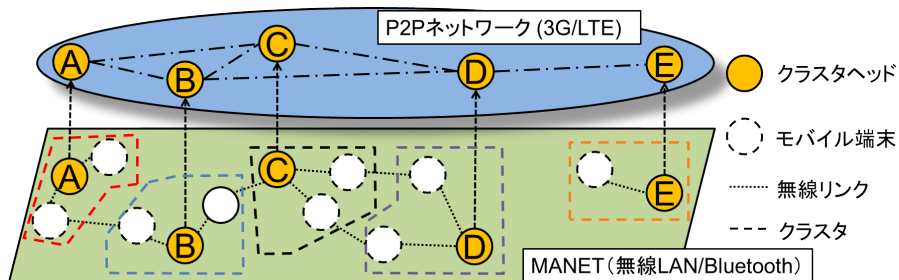


図 1. 3G/LTE ネットワークと MANET で構成される無線ネットワーク環境

2. 研究の目的

無線ネットワーク環境における情報配信は非常に重要な役割を担っている。災害時には避難情報などが基地局より一斉送信により配信されている。しかしながら、災害時には一部の基地局が故障する場合もある。本研究では、まず、モバイル端末の持つ携帯電話網と近接無線通信機能で構成されるモバイルアドホックネットワークから成る無線ネットワーク環境を構築する。そして、情報配信のために携帯電話網とモバイルアドホックネットワークを併用した通信経路を、ネットワークトポロジに応じて弾力的に設定することにより、高信頼かつ低ネットワーク負荷な情報配信を実現する。この通信経路選択技術により、災害時には、孤立しているモバイル端末に対しても情報の配信が可能となり、平常時には車車間ネットワークなどにおいて適用可能である。

3. 研究の方法

(1) 3G/LTE ネットワークと MANET で構成される無線ネットワーク環境のネットワークシミュレータへの実装

本研究で開発する通信経路選択技術を評価するために、ネットワークシミュレータに 3G/LTE ネットワークと MANET への両方のアクセスを行うことのできるモバイル端末（以降、ノードと記す）を実装する。3G/LTE ネットワーク向けや MANET 向けのプロトコルやアプリケーションを評価するノードモジュールは独立に存在しているため、これらの両方のネットワークへのアクセスを併用するためのノードモジュールの実装を行う。

(2) P2P ネットワークと MANET 間の通信経路選択技術の検討

無線ネットワーク環境に存在するノードが、3G/LTE ネットワーク上に構成される P2P ネットワークへの参加・離脱する。MANET 上のノードが自律分散クラスタリングにより、クラスタと呼ばれるグループに分割され、クラスタの代表ノードであるクラスタヘッドのみが P2P ネットワークに参加する。送信元は情報配信をする時のみ P2P ネットワークに参加する。送信元から配信された情報は、近隣のノードに対して MANET 上で情報が配信されるのと同時に、P2P ネットワーク上を經由して、指定したクラスタヘッドのみに転送される。その後、そのクラスタヘッドから MANET 上に情報を配信することにより、ネットワーク内のノードに情報を配信する。なお、送信元が P2P ネットワークに参加できない場合は、MANET 経由で最初に情報が配信されたクラスタヘッドを經由して、P2P ネットワーク上で情報を配信する。

MANET 経由で集められたネットワークトポロジ情報に基づいて、高配信かつ低負荷な情報配信を実現するために、送信元からの距離に応じて、P2P ネットワークにおいて情報を配信するノードを、配信するノードの個数やノードの位置を考慮した上で、通信経路の設定を検討する。

(3) P2P ネットワークと MANET を併用した通信経路選択技術の検討

P2P ネットワークから配信情報を受信したノードは、MANET 上において無線マルチホップ通信による情報転送により情報配信を行う。また、ノード密度が低い領域にいるノードに対して、蓄積運搬転送に切り替えて情報配信を行う。このように MANET 上において、ネットワークトポロジの状況に応じて転送方式を切り替えることにより、通信経路の設定を行う。しかしながら、短時間での情報配信が要求されるアプリケーションでは、P2P ネットワークからの直接転送が短時間での配信となるが、情報配信時間とネットワーク負荷はトレードオフの関係にある。このような場合において、アプリケーションから要求される配信時間や配信率の制限の下、ネットワークトポロジの状況に応じて、P2P ネットワークと MANET を併用することにより、高配信かつ低負荷な情報配信を実現するための通信経路の設定を検討する。

(4) シミュレーションによる評価

ネットワークシミュレータ上に実装した無線ネットワーク環境を用い、開発する通信経路選択技術を用いた情報配信の評価を実施する。最初は、情報配信の送信元ノードを固定とした上で、ネットワークトポロジの状況に応じて、(2) で検討した通信経路選択技術を評価する。P2P ネットワーク上で情報を配信するノードの個数やノードの距離を様々なケースで実施することにより、配信時間と配信率の観点から、情報配信の有効な範囲を示す。

(5) 実証実験による評価

Android 端末に対して、本研究で開発する通信経路選択技術を実装し、近接無線通信機能（Bluetooth）による MANET と 3G/LTE ネットワークを用いた P2P ネットワークの基本的な性能評価を実施する。Android 端末を用いて無線ネットワーク環境を構築し、実証実験により情報配信システムの有効性を評価する。実証実験を行うために、P2P ネットワークを構築するためのサーバシステムを構築する。Android 端末の Bluetooth による MANET と、3G/LTE ネットワークの P2P ネットワークを用いることにより、通信経路選択技術に基づいた情報配信の性能を実証実験により評価する。

4. 研究成果

無線ネットワーク環境における通信経路選択技術（以下、提案法と記す）をネットワークシミュレータ ns-3[1]に実装し、シミュレーション実験によって性能評価を行った。本実験の前提条件として、すべての端末（以下、ノードと記す）は無線インフラストラクチャ通信と近接無線通信（IEEE802.11g）の両方の通信機能を使用可能である。シミュレーションフィールドとして、地図情報を用いる。フィールドでの住民の移動を実現するために、地図情報として OpenStreetMap（以下、OSM と記す）[2]、トラフィックシミュレータとして SUMO[3]を使用する。OSM から当該地区を抽出し、道路情報を SUMO にインポートする。図 2 に OSM の地図情報及び SUMO で用いた道路情報を示す。本実験では 0 秒から 1800 秒までの間、0.9 秒間隔でフィールド内の 704 箇所のいずれかの地点からノードを計 2000 個生成し、目的地である避難所まで各ノードが移動するモデルを SUMO より生成する。SUMO により生成された移動シナリオを、ネットワークシミュレータを用いてシミュレーション実験を行う。

本実験では、データの送信元を三入地区に設置している五つの土砂災害監視システム[4]とし、各送信元からすべてのノードへの情報配信の状況を確認する。図 2 に送信元の位置を示す。各送信元は 20 秒間隔で新しいデータを生成し、情報配信を行う。データを受信したノードは、40 秒間保持した後に、そのデータを破棄する。同一の送信元から新しいデータを受信した場合は、データを更新し、古いデータは破棄する。ノードが目的地に到達した場合、そのノードはデータの送受信を停止する。また、一つのデータのサイズは、実際に土砂災害監視システムにより取得し、各ユーザに提供されているカメラ画像と同じ

20KByte とする．本実験では，電波到達範囲を 50m, 100m, 150m と設定し，情報配信を行う．提案法において，選択スーパーピアは動的選択に基づいて決定される．

実験結果として，図 3 に提案法における選択スーパーピアの数を示す．横軸がシミュレーション時間，縦軸が選択スーパーピアの数をそれぞれ示しており，本実験ではシミュレーション開始から終了までの間にフィールド内のノード数が変化するため，選択スーパーピアの数を時間推移とともに示している．また，凡例はそれぞれ電波到達範囲が 50m, 100m, 150m の場合を示している．電波到達範囲が大きくなるほど，選択スーパーピアの数は減少

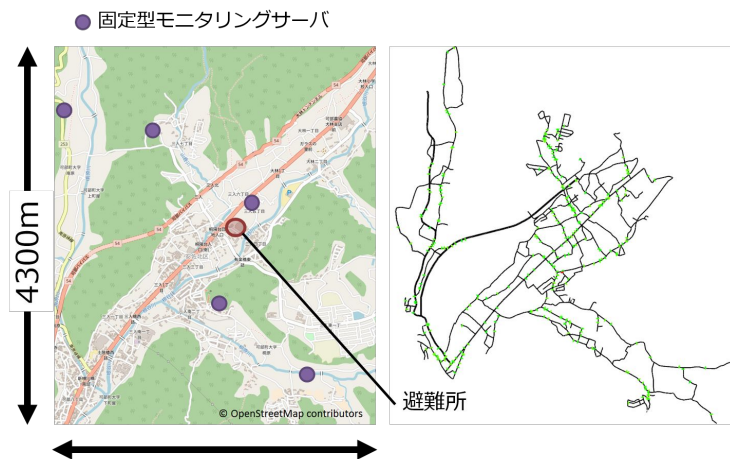


図 2 . フィールドマップ

する傾向にある．これは，電波到達範囲が大きくなるほど隣接ノードが増加し，MANET 上でのデータ転送によって情報配信を行えるノードが増加するためである．また，電波到達範囲が 50m, 100m, 150m のそれぞれにおいて，選択スーパーピアの数は最大で 48, 25, 18 であった．本実験において，シミュレーション中にフィールド内に存在するノードは最大で 900 程度である．従って，提案法では最大でおよそ 2% から 5% のノードに対してのみ無線インフラストラクチャ通信を用いて情報配信を行っており，モバイルコアネットワークの負荷を軽減しつつ，多くのノードに対して情報配信を行えていることが確認できた．

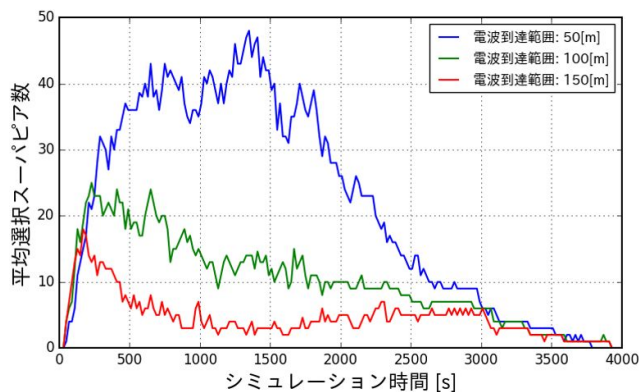


図 3 . シミュレーション実験結果

参考文献

- [1] ns-3, available at <https://www.nsnam.org/>, 参照 May 23, 2019.
- [2] OpenStreetMap, available at <https://www.openstreetmap.org/>, 参照 May 23, 2019.
- [3] DLR - Institute of Transportation Systems - SUMO - Simulation of Urban MObility, available at http://www.dlr.de/ts/en/desktopdefault.aspx/tabid-9883/16931_read-41000/, 参照 May 23, 2018.
- [4] "自然災害前兆モニタリングマップ," 広島市立大学モニタリングネットワーク研究室, http://www.wave.info.hiroshima-cu.ac.jp/obs/map_with_webpage_links/all_map_test.html, 参照 May 23, 2019.

5 . 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 8 件)

Tomoyuki Ohta, Masahiro Nishi, Toshikazu Terami, and Yoshiaki Kakuda, "[INVITED PAPER] Information dissemination using MANET for disaster evacuation support," IEICE

Transactions on Communications (Special Section on Sensing, Wireless Networking, Data Collection, Analysis and Processing Technologies for Ambient Intelligence with Internet of Things), vol.E102-B, no.4, pp.670-678, April 2019. doi:10.1587/transcom.2018SE10001

Tomoyuki Ohta, and Jürgen Dunkel, "Simulation of evacuation route guidance in MANET-based building evacuation system," Proc. of the 12th EAI International Conference on Performance Evaluation Methodologies and Tools (VALUETOOLS 2019), pp.195-196, March 2019. doi:10.1145/3306309.3306345

Tatsuki Horai, Tomoyuki Ohta, and Yoshiaki Kakuda, "Experimental evaluation of information dissemination scheme considering mobile network base station load in wireless networks," Proc. 2018 Sixth International Symposium on Computing and Networking Workshops (CANDARW), at the 11th International Workshop on Autonomous Self-Organizing Networks (ASON), pp.59-62, November 2018. doi:10.1109/CANDARW.2018.00019.

Toshikazu Terami, Tomoyuki Ohta, and Yoshiaki Kakuda, "Evaluation of information dissemination scheme using autonomous clustering and epidemic routing considering mobile core network load in wireless networks," Proc. Fifth International Symposium on Computing and Networking (CANDAR'17), at the 10th International Workshop on Autonomous Self-Organizing Networks (ASON), pp.267-270, November 2017. doi:10.1109/CANDAR.2017.36.

Tomoyuki Ohta, Ryota Ito, and Yoshiaki Kakuda, "Design of a node status visualizing software utilizing the AR technology for multihop wireless networks," Proc. 2017 IEEE 41st Annual Computer Software and Applications Conference, Fast abstract, pp.270-271, July 2017. doi:10.1109/COMPSAC.2017.101.

Toshikazu Terami, Tomoyuki Ohta, and Yoshiaki Kakuda, "A method of mobile core network load reduction using autonomous clustering-based two-layered structure for information dissemination in wireless networks," Proc. 2017 IEEE 41st Annual Computer Software and Applications Conference, at the 41st IEEE International COMPSAC Workshop on Architecture, Design, Deployment and Management of Networks and Applications (ADMNET), pp.19-24, July 2017. doi:10.1109/COMPSAC.2017.22.

Takeshi Hashimoto, Ryota Ito, Tomoyuki Ohta and Yoshiaki Kakuda, "Information dissemination scheme using mobile agents in autonomous clustering-based heterogeneous wireless networks," Proc. Fourth International Symposium on Computing and Networking (CANDAR'16), at the International Workshop on Autonomous Self-Organizing Networks (ASON), pp.279-285, November 2016. doi:10.1109/CANDAR.2016.56.

Takeshi Hashimoto, Junichi Aoki, Tomoyuki Ohta, and Yoshiaki Kakuda, "Mobile agent-based information dissemination scheme using location information in vehicular ad hoc networks," IEICE Transactions on Communications (Special Section on Integration Technologies of Ambient Intelligence and Sensor Networks), vol.E99-B, no.9, pp.1958-1966, September 2016. doi:10.1587/transcom.2016SNP0012.

[学会発表](計 19 件)

村上 慎之介, 大田 知行, 角田良明, "[ポスター講演] MANET システムのためのシミュレータ連携による通信プロトコル評価手法の検討," 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, 信学技報, vol. 118, no. 428, ASN2018-97, pp. 101-103, 2019 年 1 月 28 日-29 日.

向井 亮一, 大田 知行, 角田良明, "[ポスター講演] 無線マルチホップネットワークのためのネットワーク可視化システムの開発," 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, 信学技報, vol. 118, no. 428, ASN2018-98, pp. 105-108, 2019 年 1 月 28 日-29 日.

清水雄大, 大田知行, 角田良明, "MANET を用いた避難経路負荷分散のための避難経路選択手法の実験的評価," 第 20 回 IEEE 広島支部学生シンポジウム論文集, 鳥取大学 (鳥取県鳥取市), pp.243-244, Nov. 2018. (2018 年 11 月 17 日-18 日).

中室太己, 宝来樹, 大田知行, 角田良明, "無線二階層ネットワーク環境における自律分散クラスタリングと蓄積運搬転送に基づく情報配信手法の実験的評価," 第 20 回 IEEE 広島支部学生シンポジウム論文集, pp.239-242, 2018 年 11 月 17 日-18 日.

松尾美紀, 野上拓雅, 大田知行, 角田良明, "避難支援のための避難経路情報可視化システムの設計と開発," 第 20 回 IEEE 広島支部学生シンポジウム論文集, pp.237-238, 2018 年 11 月 17 日-18 日.

向井亮一, 大田知行, 角田良明, "無線マルチホップネットワークにおけるネットワーク可視化システムの設計," 第 20 回 IEEE 広島支部学生シンポジウム論文集, pp.62-64, 2018 年 11 月 17 日-18 日.

村上慎之介, 野上拓雅, 大田知行, 角田良明, "無線マルチホップネットワークのための Raspberry Pi を用いたデータ転送方式の開発," 第 20 回 IEEE 広島支部学生シンポジウム論文集, pp.59-61, 2018 年 11 月 17 日-18 日.

宝来樹, 大田知行, 角田良明, "[ポスター講演]無線ネットワーク環境におけるモバイルコアネットワークの負荷を考慮した自律分散クラスタリングと蓄積運搬転送に基づく情報配信手法の実験的評価," 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, 信学技報, vol. 117, no. 426, ASN2017-106, pp. 131-135, 2018 年 1 月 30 日-31 日.

泉晶貴, 大田知行, 角田良明, "[ポスター講演]無線ネットワーク環境における自律分散クラスタリングに基づくデータ転送のための経路構築維持手法の実験的評価," 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, 信学技報, vol. 117, no. 426, ASN2017-105, pp. 127-130, 2018 年 1 月 30 日-31 日.

大田知行, 寺見俊一, 宝来樹, 西正博, 角田良明, "無線ネットワーク環境における災害避難支援のための情報配信手法のシミュレーション評価," 電子情報通信学会 安全・安心な生活と ICT 研究会, 信学技報, vol. 117, no. 401, ICTSSL2017-59, pp. 111-116, 2018 年 1 月 25 日-26 日.

宝来樹, 大田知行, 角田良明, "車両ネットワーク環境におけるモバイルコアネットワークの負荷を考慮した自律分散クラスタリングと蓄積運搬転送に基づく情報配信手法の実験的評価," 第 19 回 IEEE 広島支部学生シンポジウム論文集, pp.99 - 101, 2017 年 12 月 2 日-3 日.

村上慎之介, 大田知行, 角田良明, "Raspberry Pi を用いた無線マルチホップネットワーク向け無線端末の開発," 第 19 回 IEEE 広島支部学生シンポジウム論文集, pp.219 - 220, 2017 年 12 月 2 日-3 日.

泉晶貴, 大田知行, 角田良明, "車両ネットワーク環境における自律分散クラスタリングに基づくデータ転送のための経路構築維持手法の実験的評価," 第 19 回 IEEE 広島支部学生シンポジウム論文集, pp.221 - 223, 2017 年 12 月 2 日-3 日.

向井亮一, 大田知行, 角田良明, "無線マルチホップネットワークにおけるノード可視化システムの設計," 第 19 回 IEEE 広島支部学生シンポジウム論文集, pp.224 - 225, 2017 年 12 月 2 日-3 日.

泉晶貴, 大田知行, 角田良明, "車両ネットワーク環境における自律分散クラスタリングに基づくデータ転送のための経路構築維持手法," 電子情報通信学会ソサイエティ大会, B-18-30, 2017 年 9 月 14 日.

宝来樹, 大田知行, 角田良明, "車両ネットワーク環境におけるモバイルコアネットワークの負荷を考慮した自律分散クラスタリングと蓄積運搬転送に基づく情報配信手法," 電子情報通信学会ソサイエティ大会, B-18-31, 2017 年 9 月 14 日.

寺見俊一, 大田知行, 角田良明, "[ポスター講演]自律分散クラスタリングに基づく無線二階層ネットワークを用いた情報配信のためのモバイルコアネットワークの負荷軽減手法とその実験的評価," 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, 信学技報, vol.117, no.134, ASN2017-28, pp.87-91, 2017 年 7 月 19-21 日.

伊藤良太, 橋本健志, 大田知行, 角田良明, "自律分散クラスタリングに基づく無線二階層ネットワークにおけるモバイルエージェントを用いた情報配信手法," 2016 年電子情報通信学会 ソサイエティ大会, BS-3-5, 2016 年 9 月 22 日.

寺見俊一, 大田知行, 角田良明, "車両ネットワーク環境における自律分散クラスタリングと蓄積運搬転送に基づく情報配信手法とその実験的考察," 電子情報通信学会 第 10 回ネットワークソフトウェア研究会, pp.10-13, 2016 年 6 月 3 日.

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況 (計 0 件)

取得状況 (計 0 件)

〔その他〕

ホームページ等: <http://www.nsw.info.hiroshima-cu.ac.jp/>

6. 研究組織

(1)研究分担者 なし

(2)研究協力者

研究協力者氏名: Jürgen Dunkel (University of Applied Sciences and Arts, Hannover, Germany)

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、研究者個人に帰属されます。