

令和元年6月3日現在

機関番号：11301

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2015～2018

課題番号：15K12016

研究課題名（和文）移動体によるリアルタイムIoTの実現を可能にする自律再生ネットワーク

研究課題名（英文）Autonomous-Decentralized Networking Technologies for Mobile Terminals Realizing Real-Time IoT

研究代表者

西山 大樹（NISHIYAMA, Hiroki）

東北大学・工学研究科・教授

研究者番号：90532169

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,700,000円

研究成果の概要（和文）：情報伝達を目的とした端末間通信においてはグループ形成の時間短縮化と各端末に役割機能を導入するグループ制御が必要である。そこで、本研究では役割が異なるモードの導入とそのモードを用いたグループへの参加と離脱によるグループ制御手法を提案した。これにより、利用者のニーズに応えることができ、かつグループ形成時間を短縮するためのグループ構築回数を減らすことが可能となった。また、提案するグループ制御手法に伴う到達速度のモデル化を行い、数値解析およびシミュレーションにおける評価を通じて伝達性能への影響の明確化し、既存手法と比較して提案手法が有効であることを示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

大地震や台風などの自然災害やそれに伴う津波や火災などの災害では、通信基地局などのモバイル通信インフラが損壊し、通信が困難になることが想定される。一方、被災者の安否情報の交換や避難所および公共交通手段に関する情報提供、近隣住民等による小さなコミュニティ内での情報交換など通信に対する需要が急速に増加する。このような状況に対応するために、既存の通信インフラを使用せずに通信を行うことができる技術の需要が高まっている。人、車、ロボット等の移動体によってリアルタイムIoTを実現する本研究の成果は、この期待に応えるものである。

研究成果の概要（英文）：In D2D communications, grouping technology affects the communication performance. In this research, we have proposed the grouping technique based on two different communication modes. This technique is designed to shorten the group formation process and to avoid unnecessary group bonding. Through computer simulations, we have successfully demonstrated the advanced performance of the proposed technique compared with the traditional existing technology.

研究分野：情報通信

キーワード：リアルタイムIoT

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、スマートフォンや車、ドローンなどの無線通信機能を搭載した移動端末が急速に普及しており、モバイル通信への需要が高まっている。一方で、大地震や台風などの自然災害やそれに伴う津波や火災などの災害により、通信基地局などのモバイル通信インフラが損壊した際には、移動端末による通信が困難になることが想定される。実際、2011年3月11日の東日本大震災では、東北および関東の複数の県で通信インフラに壊滅的な損壊が生じ、数日間モバイル通信が利用できないという事態となった。さらに、そのような緊急的な状況においては、被災者の安否情報の交換や避難所および公共交通手段に関する情報提供、近隣住民等による小さなコミュニティ内での情報交換など通信に対する需要が急速に増加する。このような状況に対応するために、既存の通信インフラを使用せずに通信を行うことができる技術の需要が高まっている。

そこで、通信インフラなしに周辺の端末間で情報のやり取りを行う端末間通信技術に注目が集まっている。端末間通信技術は、移動端末間が直接通信することにより情報交換を実現しており、通信インフラが機能しない環境においても周辺の端末への情報の拡散や共有などが容易に行うことが可能である。現在、最も普及している移動端末であるスマートフォンにおいて搭載されている端末間通信技術は、主に Wi-Fi Direct と Bluetooth の 2 つが挙げられる。しかし、これらの技術は主に隣接する端末間での通信を想定しており、広範囲での情報拡散や収集を行う事が困難である。以上の問題を解決するため、Wi-Fi Direct と既存のマルチホップ通信制御技術である遅延許容ネットワーク (DTN: Delay- and Disruption-Tolerant Networks) を組み合わせることで、スマートフォン間でマルチホップ端末間通信を実現するスマホ de リレー (RbSD: Relay-by-SmartDevice) が提案されている。この技術は、Wi-Fi Direct による隣接端末間での通信グループの構築によりグループ内で情報交換を行う機能と DTN による情報を端末内で蓄積しパケットリレー方式で情報を伝達する機能を併せ持っており、グループの解散と構築を繰り返すことで広範囲に情報伝達を行う技術となっている。しかし、現在の RbSD においては、グループ形成に時間がかかるためグループの構築と解散を繰り返し行う情報伝達の方法では効率的な情報伝達が困難であるといった問題が存在する。また、実際のフィールドには、災害対応者や被災者などのニーズの異なる端末が存在するため、それに伴うグルーピングの効率化が必要であると考えられる。

大規模災害時は通信インフラが機能しない環境下であるため、集中制御局のない通信が求められる。しかし、RbSD を用いて効率的な情報伝達を行う上では、グループ形成時間を短縮するためにグループ構築回数を減らすことが必要になる。さらに、災害対応者や被災者などのニーズの異なる端末が存在するため役割機能を導入し、それを用いた効率的なグループ構築が必要になる。以上より、効率的な情報伝達を目的とした端末間通信を実現する上では、グループ形成の時間短縮化と各端末に役割機能を導入する新たなグルーピング制御が必要である。

2. 研究の目的

情報伝達を目的とした端末間通信においてはグループ形成の時間短縮化と各端末に役割機能を導入するグルーピング制御が必要である。既存のマルチホップ端末間通信技術において、普及が見込まれている RbSD は、グループ形成に時間がかかることと、災害対応者や被災者のような移動に関するニーズの異なる端末の判別がなく、同様のアルゴリズムで動いているため利用者のニーズに応えることができないといった短所が存在する。

そこで、本研究では役割が異なるモードの導入とそのモードを用いたグループへの参加と離脱によるグルーピング制御手法を提案する。これにより、利用者のニーズに応えることができ、かつグループ形成時間を短縮するためのグループ構築回数を減らすことが可能となる。また、提案するグルーピング制御手法に伴う到達速度のモデル化を行い、数値解析およびシミュレーションにおける評価を通じて伝達性能への影響の明確化し、既存手法と比較して提案手法が有効であることを示す。

3. 研究の方法

本研究では災害時の情報拡散を目的としており、集中制御局のない自律分散制御型のマルチホップ端末間通信が行われる。データの送信する宛先としては周辺の全端末としたブロードキャスト通信を想定し、可能な限り多くの端末にデータを伝達させることを目的とする。通信環境としては、各端末の通信半径は一律であると定義し、外部機器の電波干渉、電波遮蔽物などの外乱がないと仮定する。また、通信で使用する周波数チャネルは、複数のチャネルを使用できると考え、通信グループ間の電波干渉もないと仮定する。さらに、端末間通信の使用場所は、避難所や大通りなど人がある程度存在する環境と仮定し、ある端末に対して周辺に通信可能な端末が存在する環境を想定する。通信グループ内の通信速度は、直接無線通信規格である Wi-Fi Direct に基づいて決定し、一定であると仮定する。

それから、本研究では災害対応者や被災者のような利用者の移動に関する異なるニーズに応えるための利用者モードという概念を定義する。図 1 に利用者モードを用いたグルーピング制御の概要を示す。本研究では利用者モードとして、active モードと passive モードという 2 種類のモードを導入する。この 2 種類のモードは、使用するユーザが自身の状況を判断して手動によりモード選択を行うと想定する。

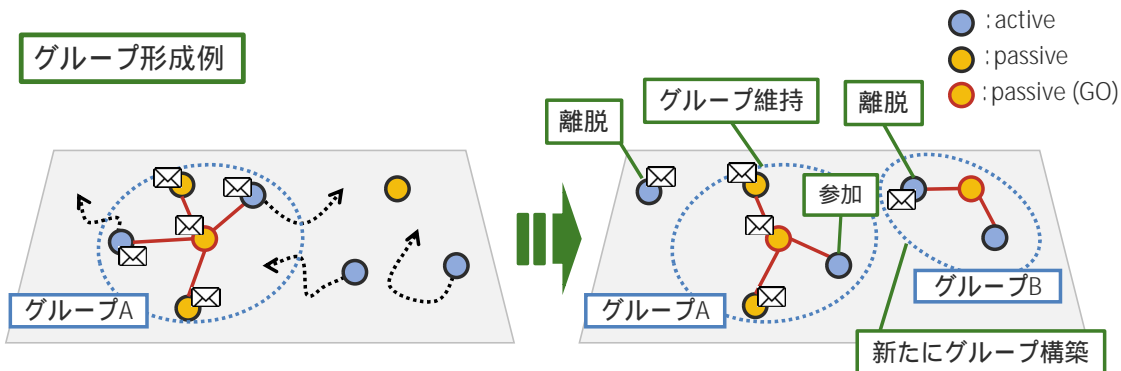


図 1 . 利用者モードを用いたグルーピング制御の概要

まず、active モードは、ユーザが活発に動き回り、主に情報収集することを目的とした利用者のためのモードである。このモードは、ユーザの移動が頻繁に行われることが考えられるため、端末のモビリティが高くなることが想定できる。そのため、通信グループの形成では、グループの中心である Group Owner (GO) 端末となるのではなく、通信の安定性を確保するために基本的に子端末になるように定義する。active モードが通信グループ内では子端末となることで活発に動いてグループへの参加と離脱を繰り返し行う。これにより、グループからグループへと頻繁に所属するグループを変えることが可能となり、新たな情報の収集または所有している情報の提供が行いやすくなると考えられる。

次に、passive モードは、ユーザがある一定の場所に留まって、主に情報共有または拡散することを目的とした利用者のためのモードである。このモードは、active モードとは対照的にユーザの移動はあまり起こらないため、端末のモビリティが低いことが想定できる。そのため、通信グループの形成では、グループの中心である GO 端末となるように定義し、グループ内における通信の安定性の確保を図る。また、グループ構築時に GO となった passive モード端末は可能な限り GO を維持し続けるように定義する。つまり、一度グループを構築したら、既存手法である RbSD のようにグループの解散を行わず、そのグループはできる限り継続させる。これにより、active モード端末のグループ参加を促進させ、新たな情報の収集およびグループ内への情報共有や拡散が行いやすくなると考えられる。

4 . 研究成果

(1) 利用者モードを用いたグルーピング制御

本制御は、利用者のニーズに応え、かつグループ形成時間を短縮するためのグループ構築回数を減らすことが可能な、本研究における提案手法である。この制御を行うために、本研究では優先度と活性度という 2 つの指標を定義する。

まず、優先度は、通信グループを構成する際に隣接端末間で、どの端末がそのグループの GO 端末となるかを決定するための指標である。優先度には、利用者モードを用いることでグループ内における通信の安定性の確保を図る。具体的には、端末のモビリティが低い passive モード端末が GO となるように優先度を高めに設定し、反対に端末のモビリティが高い active モード端末は優先度を低めに設定する。これにより、active モードは基本的に子端末、passive モードは基本的に GO 端末となり、各モードの役割が実現することが可能となる。さらに、災害時の通信であることを考慮すると、優先度は利用者モード以外にも、端末のバッテリー残量や自身が保有している拡散したいデータの総量なども候補として考えられる。しかし、モデル構築や数値解析などが複雑になることが考えられるため、本研究では利用者モードのみを優先度を使用する。また、自身が選択したモードと同じモード同士で通信グループを形成する場合、そのグループの GO は乱数により決定する。

次に、活性度は、通信グループを離脱する際にどのようなタイミングで離脱するのかを決める指標である。活性度には事前に決めた時間を使用する。つまり、通信グループの形成から一定時間経過後にグループから離脱するように設定する。さらに、活性度は各モードごとに異なる時間を設定し、「active モードの活性度 < passive モードの活性度」という関係性にする。これにより、active モードは所属するグループを頻繁に変えることができ、passive モードは GO としてグループを維持し続けやすくなる。また、所属していた通信グループから離脱すると、そのグループに所属していた端末とはすぐにグループを形成することはなく、一定時間経過した後に通信グループを再び形成することが可能となる。passive モードの GO 端末は、可能な限り GO として通信グループを維持し続けるように定義したが、維持し続けている通信グループに、ある一定期間内に新たな端末が参加して来ない場合は、この場でグループを維持し続けることは適切ではないと判断し、その端末は GO をやめる。つまり、従来通りの通信グループの解散を行う。

そして、以上の 2 つの指標を用いたグループ形成および離脱に関する各端末のグルーピング

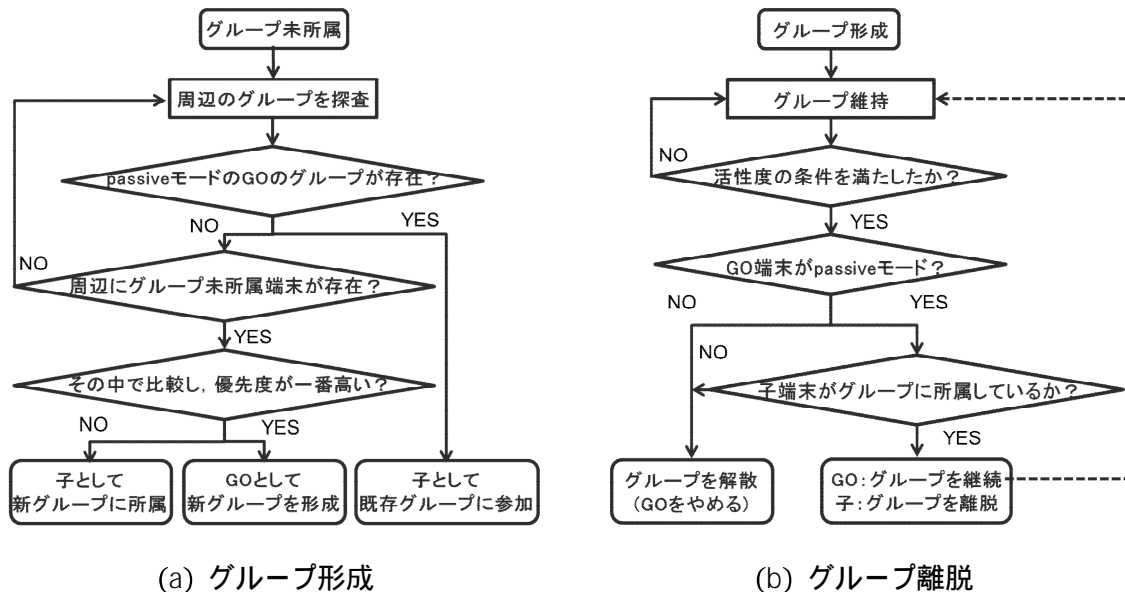


図2. グルーピングに関するフローチャート

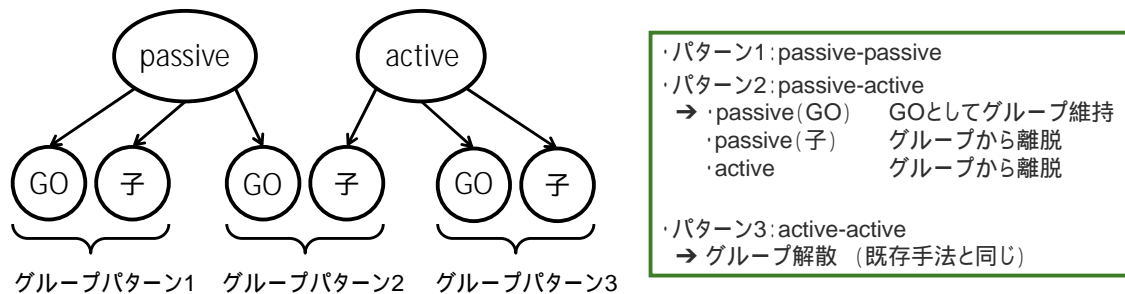


図3. 利用者モードにおける通信グループのパターン

動作について説明する。図2にグルーピングに関するフローチャートを示す。

グループの形成に関しては、はじめにグループ未所属の端末が周辺の既存グループを探索する。そこで、passiveモードがGOとなっているグループが存在すれば、そのグループに参加してグループ形成が終了となる。一方で、passiveモードがGOとなっているグループが存在しなければ、新しくグループを構築するために周辺にいる他のグループ未所属端末の探索に入る。周辺に自身と同様な未所属端末が存在すれば、その端末間で優先度を比較し、GO端末または子端末となることで新たなグループを構築する。周辺に他の未所属端末が存在しない場合は、既存のグループ探索の状態に戻る。ここで利用者モードにおける通信グループのパターンを図3に示す。パターン1はpassiveモード同士の通信、パターン2はpassiveモードとactiveモードの通信、パターン3はactiveモード同士の通信をそれぞれ示している。周辺端末の利用者モードによって、通信グループの構成はこの3つのパターンが考えられる。

グループの離脱に関しては、活性度の条件を満たすまで通信グループに所属し続ける。活性度が条件を満たしたとき、そのグループのGOがactiveモード、つまり図3のパターン3の状態なら、従来通りのグループ解散を行う。これは、activeモード同士で情報交換を行うために一時的にグループ構築を行ったからであり、本来、activeモードは動き回ることによって所属するグループを頻繁に変えることを想定しているためである。他方で、活性度の条件を満たし、図3のパターン1とパターン2のような状態の場合は、子端末はグループを離脱し、GO端末はそのままグループを継続する。しかし、通信グループ内がGO端末のみの場合は従来通りの通信グループの解散を行い、その端末はGOをやめる。以上のように、各端末が図2に示すように動くことでグループの形成および離脱、解散を行う。

(2) 提案手法によるマルチホップ通信

図4に利用者モードを用いたグルーピングによるグループへの参加と離脱を繰り返し行うことで実現するマルチホップ端末間通信の流れを示す。

passiveモード同士の通信では、グループ形成した後に通信グループ内でデータの送受信を行う。次に、活性度が条件を満たしたとき、グループにGO端末だけ残り、グループに所属している子端末は全てグループからの離脱を行う。その後で新たにグループに参加してくる端末が存在すれば、その端末とグループを形成する。これに対し周辺に新たに参加可能な未所属端末が存在しない場合は、次の活性度の条件を満たしたときにGOをやめる。また、グループから離

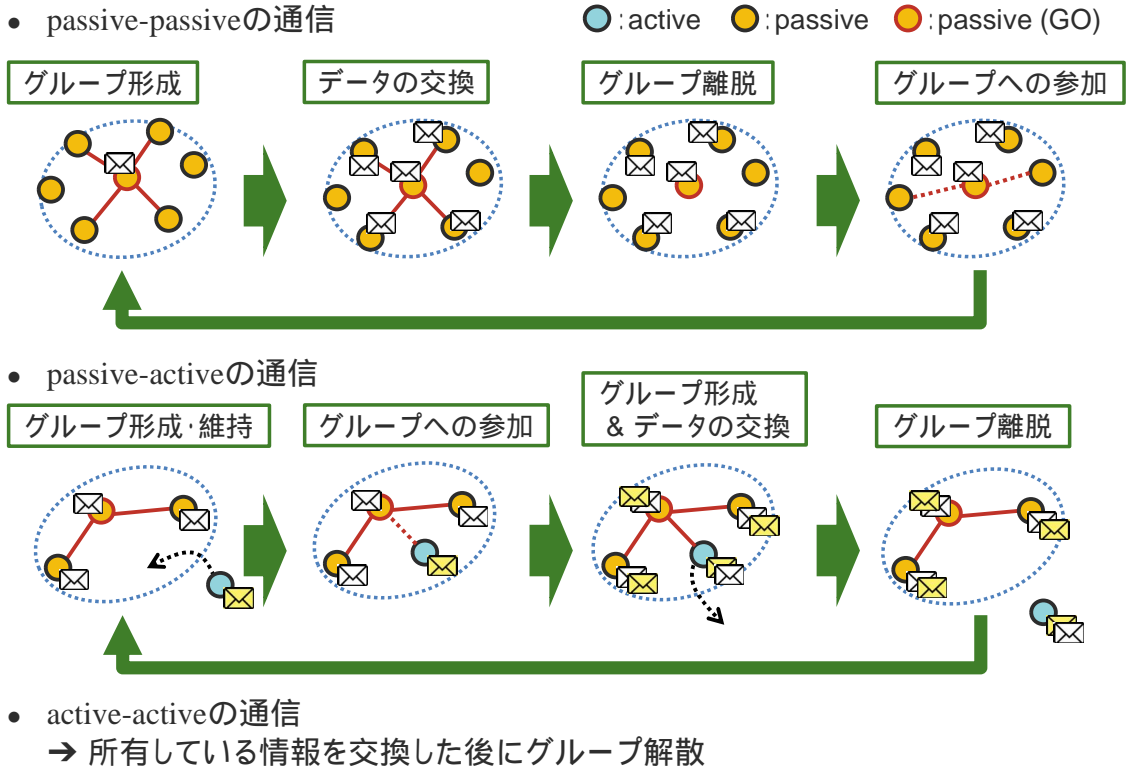


図4．提案手法によるマルチホップ端末間通信の流れ

脱した子端末は、他の周辺端末と繰り返しグループを形成することで得た情報を伝達して行く。passiveモードとactiveモードの通信では、新たにグループを構築、またはactiveモード端末が既存のグループに参加することでグループの形成を行う。その後、通信グループ内でデータの送受信を行い、活性度が条件を満たしたときにactiveモード端末がグループから離脱を行う。さらに、離脱したactiveモード端末は、周辺に存在する別のグループまたは未所属端末とグループ形成を行うことで情報を伝達して行く。

activeモード同士の通信では、各自が所有している情報の交換のみを行う。そのため、通信グループを構築し、グループ内でデータの送受信を行った後でグループの解散を行う。また、本研究はactiveモード同士で構築したグループ、つまりactiveモード端末がGOとなっているグループには、他の端末は参加することができないこととする。ここで行う通信は、activeモード同士が情報交換を行うために一時的にグループ構築を行ったに過ぎない。そのため、参加と離脱を繰り返すことで所属するグループを頻繁に変えるというactiveモードの役割を遂行するために他の端末がグループに参加しないように定義する。

以上のように、前回所属していたグループで子となっていた端末がグループへの参加と離脱を繰り返し行うことでマルチホップ端末間通信を実現している。これにより、グループ再形成時の時間短縮ができ、効率的な情報の伝達が可能となると考えられる。

(3) 数値解析およびシミュレーションによる提案手法の性能評価

図5に1次元モデル（端末が一列に並んでいるモデル）における数値解析とシミュレーションによる評価結果の比較を示す。図5より、提案手法の方が既存手法よりも、より速く情報を目的の場所へ伝達できることが分かる。また、提案手法において、 p (activeモードの割合)が約0.3で到達速度の期待値が最も高い値を示している。つまり、エリア内に存在する利用者モードの割合がactive:passive=1:2のときに、伝達性能が最も良いことが分かる。これは、本評価のために設定した活性度におけるactiveモードのグループ所属時間(1秒)とpassiveモードのグループ所属時間(3秒)が主に影響を与えていると考えられる。そのため、実際のフィールドに存在するであろう利用者モードの割合を統計学やフィードバック情報などから推測し、その割合からactiveモードとpassiveモードのグループ所

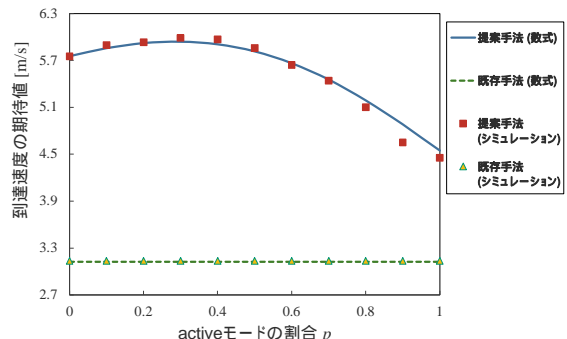


図5．1次元モデルにおける数値解析とシミュレーション結果の比較

属時間を設定することで、総合的に伝達性能が良い状態を常に維持できると考えられる。以上から、1次元モデルにおける提案手法の有効性を確認することができた。また、図5から数値解析の結果とシミュレーション結果がほぼ一致していることが分かる。これは、数値解析による理論値とシミュレーションによる実験値がほぼ同等の結果であることを示しているため、シミュレーションによる性能評価が有効であることが確認できる。

次に、2次元空間における伝達性能の評価結果を図6に示す。図6より、 p が0.3、 p が0.1、 p が0.8、既存手法の順で到達時間が増加することがわかる。つまり、提案手法における p が0.3の 때가最も速くデータを伝達することができ、既存手法が最も時間がかかることがわかる。この結果から、シミュレーションによる2次元空間における性能評価の結果において、図5の1次元モデルに対する解析結果と同様の傾向を確認することができた。以上より、2次元空間においても提案手法の有効性を確認することができた。

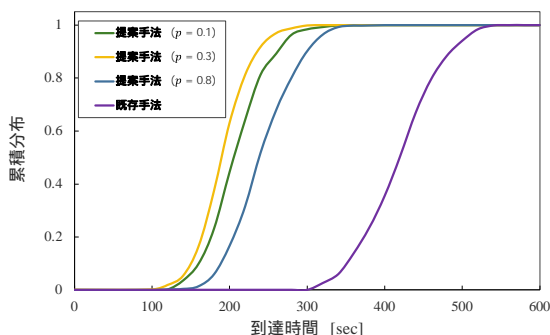


図6 . 2次元空間におけるシミュレーション結果

5 . 主な発表論文等

〔学会発表〕(計 10 件)

古谷透音, " 端末間通信による情報拡散のための仮想セル構築方法に関する検討 " 電子情報通信学会技術研究報告, 2017 年.

高木啓彰, " Q 学習を利用した要求量に対する動的な通信資源割当に関する研究 " 電子情報通信学会 2017 年総合大会, 愛知県名古屋市, 2017 年.

Yunseong Lee, " A Study on the Power Saving Technology in Cloud Radio Access Network with Power over Fiber " 電子情報通信学会 2017 年総合大会, 愛知県名古屋市, 2017 年.

宮鍋慶介, " C-RAN におけるユーザー要求を考慮したシステム構築に関する初期検討 " 電子情報通信学会 2017 年総合大会, 愛知県名古屋市, 2017 年.

西山大樹, " ドローン de リレーの実現に向けた研究開発から見てきた IoT 時代の通信 " 電子情報通信学会 2016 年ソサイエティ大会 (招待講演), 北海道札幌市, 2016 年.

Yunseong Lee, " A Study on the Power Saving Technology of Networks in Smart Factory " 電子情報通信学会 2016 年ソサイエティ大会, 北海道札幌市, 2016 年.

宮鍋慶介, " 高知県高知市におけるスマホ de リレー実験報告 " 電子情報通信学会 2016 年ソサイエティ大会, 北海道札幌市, 2016 年.

高木啓彰, " リアルタイム性を考慮した IoT システムの実現, " 2016 年電子情報通信学会総合大会, 福岡県福岡市, 2016 年.

志野嘉紀, " 低軌道衛星ネットワークにおけるリンク状態を考慮したデータ転送に関する検討, " 電子情報通信学会技術研究報告, vol. 115, no. 448, SAT2015-64, pp. 7-10, 2016 年.

川本雄一, " IoT から見たネットワークの課題 " 2015 年 電子情報通信学会 ソサイエティ大会, 宮城県仙台市, 2015 年.

〔その他〕

ホームページ等

<http://web.tohoku.ac.jp/cslab/>

6 . 研究組織

(1)研究分担者

なし

(2)研究協力者

なし

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。