

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 12 日現在

機関番号：32689

研究種目：基盤研究(A)（一般）

研究期間：2014～2016

課題番号：26240012

研究課題名（和文）超多数の接続率満足度を最大化する災害環境適応型省エネ指向ネバーダイネットワーク

研究課題名（英文）Disaster environment adaptive and energy saving never-die network to maximize connection rate satisfaction of a large number of users

研究代表者

白鳥 則郎（Shiratori, Norio）

早稲田大学・理工学術院（国際情報通信研究科・センター）・客員上級研究員（研究院客員教授）

研究者番号：60111316

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 33,000,000円

研究成果の概要（和文）：「大災害」と「温暖化」の2つの課題の解決へ向けて、災害時に不通となった超多数（100万人以上）の利用者の「接続率満足度」を最大にする「災害環境適応型省エネ指向ネバーダイ・ネットワーク」を提案し、その基盤技術を確立した。具体的には、消費電力を最小限にしつつ、災害時には災害状況を自律的に把握し、多数の人が安否確認できるICT技術を研究開発し、プロトタイプによる実験からその有効性を示した。

研究成果の概要（英文）：In order to solve the two problems of "huge disaster" and "global warming", as a technology to maximize "connection rate satisfaction" of a large number of people (more than 1 million) who became unable to communicate at the time of a disaster, we proposed and established a fundamental technology of "Disaster Environment Adaptive and Energy Saving Never-die Network". Specifically, we studied and developed ICT technology that allows to grasp the disaster situation autonomously in the event of a disaster and allows multiple people to confirm their safety, while minimizing power consumption. The effectiveness was also shown from some prototype experiments.

研究分野：情報学

キーワード：ネットワークアーキテクチャ

1. 研究開始当初の背景

東日本大震災など大災害において、短時間であっても、超多数数が同時に生死の安否確認を行うことができる高い接続性を有する通信の実現が強く望まれていた。またインターネットは今後、膨大なエネルギーを消費すると予想されており、その省電力化が喫緊の課題であり、省エネ(グリーン化)の研究が国内外で広く推進されている。

本研究の位置づけは、これらの研究動向を踏まえ、途絶えない通信と省エネ化の2つの課題解決へ向けて、正常時にはスマートタップを用いない省エネ化を指向し、災害時に超多数数の利用者の「接続率満足度」を最大にする「災害環境適応型省エネ指向ネバーダイ・ネットワーク」の基盤技術を世界に先駆けて確立することであった。

2. 研究の目的

申請者らの東日本大震災の経験から、数秒でも通信可能であれば、声を聞き安否の確認ができる。研究目的は、「大災害」と「温暖化」の2つの課題の解決へ向けて、災害時に不通となった超多数数(100万人以上)の利用者の「接続率満足度」を最大にする「災害環境適応型省エネ指向ネバーダイ・ネットワーク」(図1)を提案し、その基盤技術を確立することである。

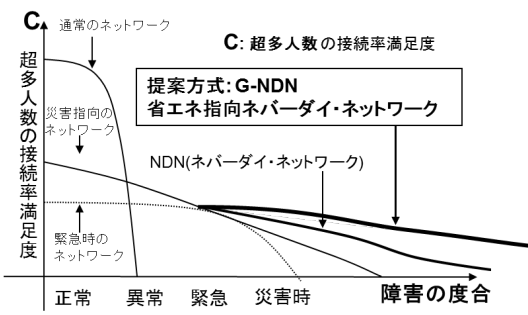


図1: 障害の度合いに対応したネットワークの性能: 超多数数の接続率満足度

具体的には、消費電力を最小限にしつつ、災害時には災害状況を自律的に把握し、千~50万(人/時間)以上が安否確認できるように、(1)災害状況に応じた回線のフレキシブルな割り当てで接続率満足度を最大にする災害環境適応型時空間分割通信プロトコル、(2)災害状況に応じて下位通信レイヤを柔軟に再構成する災害環境適応型SDN重層通信網、(3)スマートタップなどの計測機器を用いずに省エネ化を実現するパッシブ型グリーンICT技術を研究開発する。以上を融合し、図2のプロトタイプを構築し、その有効性を示す。さらにIETFにおいて本技術の国際標準化を目指す。

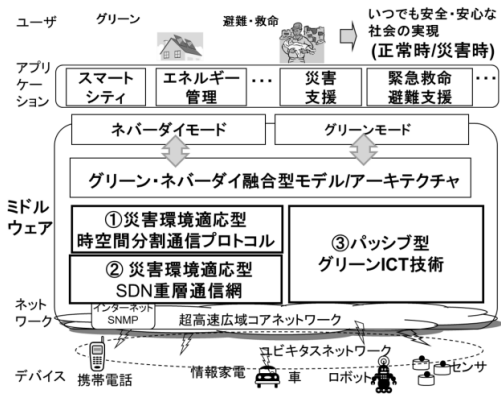


図2: 災害環境適応型省エネ指向ネバーダイネットワークのアーキテクチャ

3. 研究の方法

ネットワークの性能を示す図1において、利用者の「接続率満足度」Cを回線の被害状況に応じて、従来の災害指向ネットワークと比較し、10~100倍高めるNDN(Never-Die Network)、また、通常時には消費電力を20~30%削減へ向けたグリーンモードで動作し、さらに災害時には接続率満足度を100~500倍高めるG-NDN(Green-oriented NDN)を実現するために以下の(1)~(4)の技術を確立する。

(1) ネバーダイ通信技術の研究開発

ネバーダイ通信技術(A) - 災害環境適応型時空間分割通信プロトコル

利用者の利便性の観点に立った評価基準として、超多数数の「接続率満足度」Cを新たに導入・定義する。次に、回線などの通信資源の被害状況を、自律的に把握し、知識処理機構と提案プロトコルが、利用者の短時間の利用制限・交代に基づく動的制御により、「接続率満足度」Cを最大化する災害環境適応型時空間分割通信モデルとプロトコルを研究開発する。

ネバーダイ通信技術(B) - 災害環境適応型SDN重層通信網

知識処理機構と提案プロトコルが、通信資源の被害状況と利用者要求の変化(メール、電話、Web、SNS、動画等)を自律的に検出し、OpenFlowに基づいて、無線、有線、衛星の重層型通信網を構成し、経路の動的な再構成により「途絶えない通信」を実現する災害環境適応型SDN(Software Defined Network)重層通信網を研究開発する。

(2) パッシブ型グリーンICT技術の研究開発 環境適応型ネットワーク制御技術

ネットワークに接続されている機器の稼働状態、設置場所、利用目的など多角的な情報を抽出し、機器の消費電力を推定する。さらに消費電力の無駄を検出してネットワークを再組織化し、最適なシステム構成を導出する高度な自律的制御法、および機器に関する情報をリアルタイムに収集・可視化する技術を研究開発する。

G-MIBの国際標準化

インターネット標準規格化団体である IETF の EMAN-WG において(2)の中核となる G-MIB(Green-oriented Management Information Base)の6分類モデルを提案し、国際標準規格として認定されることを目指す。

(3) グリーン/ネバーダイ融合型ネットワークモデルとアーキテクチャ

グリーン/ネバーダイ融合型ネットワークモデルの研究開発

ネットワーク全体の「耐障害性強化」と「省電力化」を同時に実現する新しい融合型ネットワークモデルを研究開発する。正常時には省エネを促す「グリーンモード」で動作し、災害時には、ネットワーク接続を持続させる「ネバーダイモード」で動作、さらに消費電力を最小限に抑えつつ接続を持続させる「グリーン・ネバーダイモード」にシームレスにかつ自律的に移行し、動作する融合型ネットワークモデルとアーキテクチャを研究開発し、「プロトタイプ」を構築して、その有効性を示す。

融合型モデルのプロトタイプ緊急避難支援システム

RFID 技術により被害状況を自律的に把握し、自律走行型車椅子用の緊急避難ナビゲーション機能と、信頼性の高い緊急避難支援システムを研究開発する。

(4) 基盤技術の確立とまとめ

上記の(1), (2), (3)の技術を統合してプロトタイプを構築し、実証実験を行い、研究分担者が相互に連携・協力しながら基盤技術を確立する。緊急避難支援システムなどへの応用と実証実験を繰り返し、提案モデルの有効性や守備範囲を示す。同時に G-MIB の国際標準化を目指す。

4. 研究成果

(1) ネバーダイ通信技術の研究開発

ネバーダイ通信技術(A) - 災害環境適応型時空間分割通信プロトコル

災害時に超多数の利用者に同時に安否確認や避難経路などを伝達するために、回線利用の短時間交代に基づき、通信時間と帯域を動的に割り当て、通信資源を自律的に活用する災害環境適応機構を研究開発した。

まず、災害時の利用者要求を含めた基本要件の抽出・分析・定義を行った。次に、知識処理技術を用いて、絶えず変化するネットワーク環境における災害状態を動的に把握する災害環境認識機構を研究開発した。さらに、災害状況や利用者要求に応じて、動的に通信時間と帯域の割り当てを行う災害環境適応型通信プロトコルを研究開発した。

研究期間前半で研究開発した災害環境適応機構の基盤アーキテクチャに基づいて、OpenFlow を用いて災害環境適応型通信プロトコルのプロトタイプの実装を行った。そし

て、小規模実験 LAN 環境において、小型携帯などの端末を用いてプロトタイプを構成し、定義した新たな評価基準を指標として実験を行い、提案する災害環境適応型時空間分割通信プロトコルの有効性を確認した。さらに、その結果を基に端末数を増やしシミュレーション実験環境を構築した。そして定義した評価基準により実証実験を行い、提案の通信プロトコルの有効性を評価した。その結果に基づいて、超多数の利用者に対して災害状況や利用者要求に応じて時間的・空間的に情報通信資源を利活用する災害環境適応型通信プロトコルのモデルと基盤技術を確立し、本モデルの有効性を確認した。

ネバーダイ通信技術(B) - 災害環境適応型 SDN 重層通信網

OpenFlow フレームワークに基づく無線、有線、衛星通信を融合した環境適応・SDN 重層型通信網を考案し、「途絶えない通信」を実現するネバーダイ・ネットワークのモデルを研究開発した。

まず、災害時におけるノード、回線障害、輻輳および利用者要求などの「変化」を、自律的に把握し途絶えない通信を実現するネバーダイ・ネットワークのモデルを考案した。次に、通信の環境と品質に応じて最適な経路を自律的に選択し、ネットワークを動的に再構成する仕組みを研究開発した。さらに、実際に衛星通信と複数無線上において、通信環境(接続率、電波強度、パケットロス率、遅延時間)を監視し、動的にネットワークを制御・再構成できるアルゴリズムを開発した。

研究期間前半に研究開発した有線、無線、衛星通信等の複数異種通信を OpenFlow フレームワークに基づき統合・融合した重層型通信網を基盤として考案したネバーダイ・ネットワークのモデルとアーキテクチャにおける自律的に動作する原理を研究開発した。また、コンピュータシミュレーション実験を行い、有効性を示すと共にプロトタイプシステムでの評価を通して基盤技術を確立した。具体的には、利用者要求や通信環境、通信品質の変化に応じて最適な経路を自律的に選択し、ネットワークを動的に再構成する通信プロトコルと、その実現アルゴリズムを研究開発した。これらのモデル、アーキテクチャ、プロトコルとアルゴリズムについてシミュレーション実験を行い検証した。同時に、これらの結果を基にシステムのモデル、アーキテクチャなどのバージョンアップを繰り返し、「途絶えない通信」を実現するための仕組みと技術を研究開発した。以上により、最終的にネバーダイ・ネットワークのモデルとアーキテクチャを構築し、その基盤技術を確立した。

以上の研究成果により多数の国際ジャーナルに採録されるなど、対外的に高く評価されている。

(2) パッシブ型グリーン ICT 技術の研究開発 環境適応型ネットワーク制御技術

まず、ネットワークに接続されている機器の稼働状態や設置場所、利用目的、ネットワーク利用率など多角的な情報をリアルタイムに収集する環境負荷監視技術とこれらの収集した情報から機械学習を用いて機器の消費電力を近似的に導出する消費電力推定技術の研究開発を行った。次に、ネットワーク環境全体の消費電力を考慮した高度な自律的制御技術の研究開発を行った。

研究期間前半に開発した環境負荷監視技術と消費電力推定技術で取得する情報に基づき、研究室の実ネットワーク上で実験を行い、実際にスマートタップなどで実測した消費電力値を用いた場合と比較し、その有効性を評価した。また、端末やプリンタから送信されるトラフィック情報や端末で稼働しているプログラムなどの情報を取得し、機械学習を用いた分析や過去の利用履歴に基づいた電力利用計画の自律化技術を研究開発した。さらに、これらの技術の基本機能を既存のネットワーク管理システムを基盤として、研究開発することにより、スマートタップなどの計測機器を用いることなくネットワークシステムを容易にかつ安価に省電力化する、図 2 における のパッシブ型グリーン ICT 技術の基盤を確立した。

G-MIB の国際標準化

G-MIB の国際標準化を目指して、IETF EMAN WG における標準化活動を実施した。具体的には、標準規格の草案 G-MIB(第 1 版)を開発して、IETF meeting に出席し、提案を行った。さらに、年 3 回開催される meeting に出席し、提案した最新版に関するコメントについて検討し議論を深め、提案の更新を行い、改定案として IETF に提出し、議論した。

その後も同 WG において、標準化活動を積極的に推進し、草案について議論を主導した。また、他研究項目の研究者らと協力して、標準規格のリファレンスシステムの設計・実装を行い、実証実験を通じて標準規格の精緻化を進めた。途中、EMAN-WG が解散となり、研究期間内に G-MIB の国際標準化を達成できなかったが、引き続き達成を目指して活動を継続する。

(3) グリーン/ネバーダイ融合型ネットワークモデルとアーキテクチャ

グリーン/ネバーダイ融合型ネットワークモデルの研究開発

まず本モデルの概念と基本構造を研究開発した。具体的には、正常時には、システム全体を省電力化する「グリーンモード」で動作し、災害時にはネットワーク接続を継続する「ネバーダイモード」で動作し、さらに、これらを融合した「グリーン・ネバーダイモード」で動作するネバーダイと省エネ指向の融合型ネットワークモデルを開発した。また、システムの機能モジュール群の構成を同一プラットフォーム上において動的に変更し、シームレスに移行する省エネ指向ネバーダイモデルとアーキテクチャについて理論的

考察と評価を中心に研究開発した。

研究期間の後半では、前半において構成した本モデルの概念と基本構造に基づき、図 2 に示す具体的なグリーン/ネバーダイ融合型ネットワークモデルとアーキテクチャを構築した。また、他の研究項目の研究成果を取り込み融合型モデルの精緻化と更新をはかり、グリーン/ネバーダイ融合型ネットワークモデルとアーキテクチャを構築し、その基盤技術を確立した。

融合型モデルのプロトタイプ緊急避難支援システム

ネバーダイ技術に基づきパッシブ RFID 技術を用いた人間の位置・移動方向特定アルゴリズムの開発を中心に実施した。具体的には、廊下・通路の壁などに一定の高さ・間隔でパッシブ RFID を設置し、RFID には、その位置情報、近隣の RFID との連携情報、ならびに、出口や緊急脱出路の情報を予め埋め込んでおく。このパッシブ RFID を用いたシステム単体での基礎実験を行い、その実現性ならびに問題点などを解明し、アルゴリズムの理論的な比較や補正・改善を行った。

研究期間の後半では、電動車椅子に設置するタブレット型端末の表示システムの設計・開発を行った。次に他の研究項目で開発するネバーダイ・ネットワーク技術との融合を試みた。具体的には災害の状況、避難可能エリアの検索、適正な避難経路、他の健常者の存在などの情報を収集し、当該システムに組み込むためのソフトウェア開発を行った。

以上の研究成果により、平成 28 年度「情報化促進貢献個人等表彰」文部科学大臣賞や電子情報通信学会安全・安心な生活と ICT 研究会・研究奨励賞を受賞し、対外的に高く評価されている。

(4) 基盤技術の確立とまとめ

上記の(1)、(2)、(3)の研究項目について、進捗状況や分担者間の連携、今後の課題などについて議論し、プロトタイプシステムの構築の準備と基盤技術の確立へ向けた調査・研究を進めた。

研究期間の後半では、それぞれの成果を各班で相互に共有し連携を進めると共に、NTT 東日本と連携しながらプロトタイプシステムとその評価を進め、実証実験を行い、省エネ指向ネバーダイ・ネットワークの基盤技術を確立した。まとめとして、これらの成果を内外の学術誌、国際会議に積極的に情報発信した。

5 . 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 14 件)

- [1] Lisheng Ma, Wei Su, Bin Wu, Tarik Taleb, Xiaohong Jiang, and Norio Shiratori, -Time Early Warning Data Backup in Disaster-Aware Optical Inter-Connected Data Center Networks,

- IEEE/OSA Journal of Optical Communications and Networking, Vol.9, Issue 6, pp.536-545, 2017, 査読有.
- [2] Yang Xu, Jia Liu, Yulong Shen, Xiaohong Jiang, Norio Shiratori, Physical Layer Security-Aware Routing and Performance Tradeoffs in Ad Hoc Networks, Computer Networks, Vol.123, pp.77-87, 2017, 査読有. DOI: 10.1016/j.comnet.2017.05.012
- [3] Satoru Izumi, Misumi Hata, Hiroyuki Takahira, Mustafa Soylu, Asato Edo, Toru Abe and Takuo Suganuma, A Proposal of SDN Based Disaster-Aware Smart Routing for Highly-available Information Storage Systems and Its Evaluation, International Journal of Software Science and Computational Intelligence, Vol.9, No.1, pp.68-82, 2017, 査読有.
- [4] Lisheng Ma, Xiaohong Jiang, Bin Wu, Achille Pattavina and Norio Shiratori, Probabilistic Region Failure-Aware Data Center Network and Content Placement, Computer Networks, vol.103, pp.56-66, 2016, 査読有.
- [5] Yuanyu Zhang, Yulong Shen, Hua Wang, and Xiaohong Jiang, On Secure Wireless Communications for IoT under Eavesdropper Collusion, IEEE Transactions on Automation Science and Engineering, Vol.13, No.3, pp.1281-1293, 2016, 査読有.
- [6] Shinji Kitagami, Vu Truong Thanh, Dang Hoai Bac, Yoshiyori Urano, Yohtarō Miyaniishi, Norio Shiratori, Proposal of a Distributed Cooperative IoT System for Flood Disaster Prevention and Its Field Trial Evaluation, International Journal of Internet of Things, Vol.5, No.1, pp.9-16, 2016, 査読有. DOI:10.5923/j.ijit.20160501.02
- [7] Quang Tran Munh, Yoshitaka Shibata, Cristian Borcea, Shigeki Yamada, On-site Configuration of disaster recovery access networks made easy, AdHoc Networks, Vol.40, pp.46-60, 2016, 査読有.
- [8] Tomotaka Wada, Hiroko Higuchi, Ken Komaki, Haruka Iwahashi, and Kazuhiro Ohtsuki, Disaster Detection Using SVDD Group Learning for Emergency Rescue Evacuation Support System, Journal of Advanced Simulation in Science and Engineering, Vol.3, No.1, pp.79-96, 2016, 査読有.
- [9] Sotheara Say, Mohamad Erick Ernawan, and Shigeru Shimamoto, Cooperative Path Selection Framework for Effective Data Gathering in UAV-aided Wireless Sensor Networks, IEICE Transactions on Communications, Vol. E99-B, No.10, pp.2156-2167, 2016, 査読有.
- [10] Sotheara Say, Hikari Inata, Jiang Liu, and Shigeru Shimamoto, Priority-based Data Gathering Framework in UAV-assisted Wireless Sensor Networks, IEEE Sensors Journal, Vol.16, No.14, pp.5785-5794, 2016, 査読有.
- [11] Goshi Sato, Noriki Uchida, Yoshitaka Shibata, Resilient Disaster Network based on Software Defined Cognitive Wireless Network Technology, Mobile Information Systems, Vol.2015, Article ID 308194, pp.1-11, 2015, 査読有. DOI:10.1155/2015/308194
- [12] Kazuhiro Takahagi, Tomoyuki Ishida, Akira Sakuraba, Kaoru Sugita, Noriki Uchida, Yoshitaka Shibata, Construction of a Mega Disaster Crisis Management System, Journal of Internet Services and Information Security, Vol.5, No.4, pp.20-40, 2015, 査読有.
- [13] Tomotaka Wada, Yusuke Shikiji, Keita Watari, and Hiromi Okada, Novel Vehicle Information Acquisition Method using 2D Reflector Code for Automotive Infrared Laser Radar, IEICE Transaction on Fundamentals, Vol.E98-A, No.1, pp.294-303, 2015, 査読有.
- [14] Jinxiao Zhu, Yin Chen, Yulong Shen, Xiaohong Jiang, Osamu Takahashi, and Norio Shiratori, Secrecy Transmission Capacity in Noisy Wireless Ad Hoc Networks, Ad Hoc Networks Journal, Vol.21, pp.123-133, 2014, 査読有.
- [学会発表](計13件)
- [1] Yang Xu, Jia Liu, Osamu Takahashi, Xiaohong Jiang and Norio Shiratori, SOQR: Secure Optimal QoS Routing in Wireless Ad Hoc Networks, IEEE WCNC 2017, March 19-22, 2017, San Francisco (USA).
- [2] Lisheng Ma, Xiaohong Jiang, Bin Wu, Tarik Taleb, Achille Pattavina and Norio Shiratori, Cost-Efficient Data Backup for Data Center Networks Against -Time Early Warning Disaster, IEEE HPSR 2016, June 14-17, 2017, Yokohama(Japan).
- [3] Masaki Otomo, Yoshitaka Shibata, and Goshi Sato, In-Vehicle Cloudlet Computing System for Disaster Information based on Delay Tolerant

- Network Protocol, AINA2017, March 27, 2017, Taipei (Taiwan).
- [4] Sotheara Say, Hikari Inata, Mohamad Erick Ernawan, Zhenni Pan, Jiang Liu, and Shigeru Shimamoto, Partnership and Data Forwarding Model for Data Acquisition in UAV-aided Sensor Networks, IEEE CCNC2017, January 8-11, 2017, Las Vegas (USA).
- [5] Satoru Izumi, Asato Edo, Toru Abe and Takuo Suganuma, Disaster-Aware Smart Routing Scheme based on Symbiotic Computing for Highly-available Information Storage Systems, ICCI*CC 2016, August 22-23, 2016, Stanford (USA).
- [6] Yoshitaka Shibata, Perspective of Resilient Network Technology for Large Scale Disaster, (AIT/WIC 2016), April 23, 2016, Taichung (Taiwan) [Invited Speech].
- [7] Lisheng Ma, Xiaohong Jiang, Achille Pattavina, and Norio Shiratori, Probabilistic Region Failure-Aware Data Center Network Placement, IEEE HPSR 2015, July 1-4, 2015, Budapest (Hungary).
- [8] Norio Shiratori, Never Die Network and Green Computing Towards Disaster-Resistant Information Communication Systems, ICITEE2015, October 29-30, 2015, Chiang Mai (Thailand) [Invited Speech].
- [9] Goshi Sato, Noriki Uchida, Norio Shiratori, Yoshitaka Shibata, Performance Analysis of Never Die Network based on Software Defined Disaster Resilient System, NBIS2015, September 2-4, 2015, Taipei (Taiwan)
- [10] Ken Komaki, Hiroko Higuchi, Haruka Iwahashi, Tomohiro Kitamura, Toshiki, Yamasaki, Tomotaka Wada, and Kazuhiro Ohtsuki, Disaster Detection by Group Learning Using SVDD for Emergency Rescue Evacuation Support System, ITNAC 2015, November 19, 2015, Sydney (Australia).
- [11] Norio Shiratori, Satoru Izumi, Takuo Suganuma, Shinji Kitagami, Yotaro Miyanishi and Yoshitaka Shibata, Damage-resilient Network Services - Trusted Cloud Computing -, IWIN 2014, September 11, 2014, Prague (Czech Republic).
- [12] Shinji Kitagami, Yohtaro Miyanishi, Yoshiyori Urano, Norio Shiratori, Proposal of Distributed Cooperative M2M Flood Disaster Prevention System, ScalCom-2014, December 10, 2014, Bali (Indonesia).
- [13] Norio Shiratori, Why Never Die Network: Concept and History, Taiwan & Japan Joint Workshop on Disaster Information Network and Its Management, Dec.26, 2014, Taiwan (China).
- 〔図書〕(計2件)
- [1] Norio Shiratori and Yoshitaka Shibata, CRC Press (Taylor & Francis Group), Opportunistic Networking: Vehicular, D2D and Cognitive Radio Networks, 1st edition, Chapter10: Never Die Networks, Nazmul Siddique, Syed Faraz Hasan, Salahuddin Muhammad Salim Zabir (Eds.), 2017, pp.293-312.
- [2] Shinya Kitada, Goshi Sato, Yoshitaka Shibata, Intelligent Data-Centric Systems: Sensor Collected Intelligence, Elsevier, A DTN Based Multi-hop Network for Disaster Information Transmission by Smart Devices, 2017, pp.53-65.
6. 研究組織
- (1)研究代表者
白鳥 則郎 (SHIRATORI, Norio)
早稲田大学・理工学術院・客員上級研究員
研究者番号：60111316
- (2)研究分担者
嶋本 薫 (SHIMAMOTO, Shigeru)
早稲田大学・理工学術院・教授
研究者番号：80235639
- (3)研究分担者
菅沼 拓夫 (SUGANUMA, Takuo)
東北大学・サイバーサイエンスセンター・教授
研究者番号：70292290
- (4)研究分担者
柴田 義孝 (SHIBATA, Yoshitaka)
岩手県立大学・研究地域連携本部・特任教授
研究者番号：80129791
- (5)研究分担者
和田 友孝 (WADA, Tomotaka)
関西大学・システム理工学部・准教授
研究者番号：20314560
- (6)研究分担者
JIANG Xiaohong
公立はこだて未来大学・システム情報科学部・教授
研究者番号：00345654