

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 5 月 20 日現在

機関番号：11301

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2012～2014

課題番号：24300021

研究課題名(和文)大規模災害時の円滑な通信を実現する不揮発性ネットワーク技術の研究開発

研究課題名(英文) Research and development of a non-volatile networking technology for smooth communication under the large scale disaster situation

研究代表者

北形 元 (Kitagata, Gen)

東北大学・電気通信研究所・准教授

研究者番号：20344731

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 14,000,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、大規模災害時における通信需要の極端な増加や電力供給の停止など極めて厳しい条件下において円滑な通信を実現する、不揮発性ネットワークの確立を目的とする。これまでDTNを災害時の情報通信に活用する研究が行われてきたが、DTNではデータを送信する際の宛先をURIにより指定するため、利用者端末からサーバへの情報伝達は可能であるが、利用者端末への情報伝達に利用することは難しい。そこで本研究では、利用者端末からのリクエストとサーバからのレスポンスを紐付けながらネットワーク上に保持することで、リクエストを送信してからサーバからのレスポンスを受信の間に、利用者端末をネットワークから切断可能とする。

研究成果の概要(英文)：In this research, we establish a non-volatile networking technology which enables smooth communication even when network is seriously damaged due to quite heavy load of network traffic or power failure under the large-scale disaster situation. To cope with the large-scale disaster situation, DTN (Delay Tolerant Networking) technology was proposed. DTN makes it possible to transfer data bundle by storing and forwarding at relay node. By utilizing DTN, some disaster-resilient communication schemes are proposed, but due to its one-way data transfer nature, it is difficult to utilize DTN to bi-directional communication such as safety confirmation or information retrieval. To solve the above problem, we develop the non-volatile networking technology. The non-volatile networking enables a user to disconnect a mobile terminal from network while waiting the response from a server by keeping both a request and a response on network.

研究分野：計算機システム・ネットワーク

キーワード：不揮発性ネットワーク トラnsポート技術 耐災害技術 セッション技術 DTN

1. 研究開始当初の背景

現在のインターネットにおける輻輳は、主にネットワーク層(以下 L3 と表記)にあたるルータのキューが溢れることで発生する。これに対し従来は、Random Early Defection に代表されるような、キューが溢れる前にパケットを破棄する方式が提案されてきた。L3 におけるパケットの破棄は、TCP など上位層にあたるトランスポート層(以下 L4 と表記)における輻輳制御機構に働きかけ、End-to-End の通信速度が抑制されることにより、ルータにおける輻輳が緩和される。しかしながら 2011 年 4 月に発生した東北地方太平洋沖地震のような大規模災害時においては、極端な通信需要の増加状態が継続したことにより輻輳が緩和されず、大規模な通信障害が長時間に渡り続いた。このような通信障害に対し国内外において、L4 における輻輳制御機構に依らず、中継ノードにおいてデータを一時蓄積しつつ転送することにより、L3 における輻輳や通信断に耐える通信方式として、DTN(Delay Tolerant Networking)が提案されている。しかしながら、従来の DTN を利用した方式に共通する特徴として、データを送信する際の宛先を URI により指定するため、利用者端末からサーバへの情報伝達は可能であるが、逆にサーバから利用者端末への情報伝達に利用することは難しいという問題点がある。そのため、これらの既存研究では災害時の通信要求を満たす円滑な通信を実現することは困難である。

2. 研究の目的

本研究課題では、大規模災害時における通信需要の極端な増加、電力供給の停止、通信路の切断など、極めて厳しい条件下において円滑な通信を実現する不揮発性ネットワーク技術の確立を目的とする。具体的には、下記 ~ からなる不揮発性ネットワーク機構を開発する。

平常時のネットワークと高い親和性を保ちつつ、有事の際にシームレスに緊急用の経路へ変更を行うセッション分離技術。

利用者端末からのリクエストとサーバからのレスポンスをネットワーク上に蓄積し、通信路の断絶への耐性と電力の限られた利用者端末からの間欠的なアクセスを実現するセッション永続化・復元技術。

同一利用者からの多重アクセスを抑制し、限られた通信資源を利用者毎に順番に割り当て有効に活用する順序アクセス制御技術。

これら 3 つの技術から成る不揮発性ネットワーク機構の試作・評価を通じて、利用者端末からの送信だけでなく、安否情報や避難情報など、サーバから利用者端末への円滑な情報伝達を可能とし、災害時の通信要求を満たす円滑な通信を実現する、不揮発性ネットワーク技術を確認する。

3. 研究の方法

不揮発性ネットワーク技術を確認するため、不揮発性ネットワークアーキテクチャの設計、セッション分離技術、セッション永続化・復元技術、順序アクセス制御技術の設計と試作、および不揮発性ネットワーク技術の評価のため、以下の(A)~(F)の研究課題について研究を推進する。

(A) 関連研究の調査・分析：最新の DTN 技術に関する調査・分析、SDN 技術等ネットワーク仮想化技術に関する調査・分析、セッション管理技術に関する調査・分析、解決すべき技術課題と機能要求の明確化を行う。

(B) 不揮発性ネットワークアーキテクチャの確立：不揮発性ネットワークアーキテクチャの概要設計、構成コンポーネントの基本設計とコンポーネント間の連携プロトコルの検討、アーキテクチャの詳細設計、およびアーキテクチャの問題点の抽出と改良を行う。

(C) セッション分離技術の開発：(B)のアーキテクチャの概要設計に基づき、セッション分離技術の機能要件の抽出・整理、主要なアプリケーション層プロトコルに対するフローの識別方式を検討し、セッション分離技術の基本設計を行う。

(D) セッション永続化・復元技術の開発：(A)の既存関連技術の調査・分析結果と、(B)のアーキテクチャの概要設計に基づき、セッション永続化・復元技術の機能要件の抽出・整理、アプリケーションのフローからのリクエストの抽出方式を検討し、セッション永続化・復元技術の詳細設計を行う。

(E) 順序アクセス制御技術の開発：順序アクセス制御技術の機能要件の抽出・整理、上流ネットワークの利用可能帯域を考慮した、順序アクセス制御方式の検討、送信者のアクセス識別と公平なキューイング方式を検討し、順序アクセス制御技術の評価用プロトタイプシステムの設計・実装を行う。

(F) 不揮発性ネットワーク機構の試作と評価実験：上記(C)、(D)、(E)の成果に基づく、不揮発性ネットワーク機構の詳細設計、不揮発性ネットワーク技術の評価用環境の構築を行い、不揮発性ネットワーク技術の有効性を評価する。

4. 研究成果

(1) 不揮発性ネットワークの概要を図 1 に示す。不揮発性ネットワークは、以下の 3 つの機能からなる。

(F1) セッション分離機能

(F2) セッション永続化・復元機能

(F3) 順序アクセス制御機能

利用者端末からリクエストが発行され、Web サーバの情報を閲覧できる状態になるまでの過程を「セッション」と呼ぶ。利用者端末をネットワークから切断することを可能にするには、セッションが永続化されている必要がある。そのために、ネットワーク中に流れるトラフィックから、永

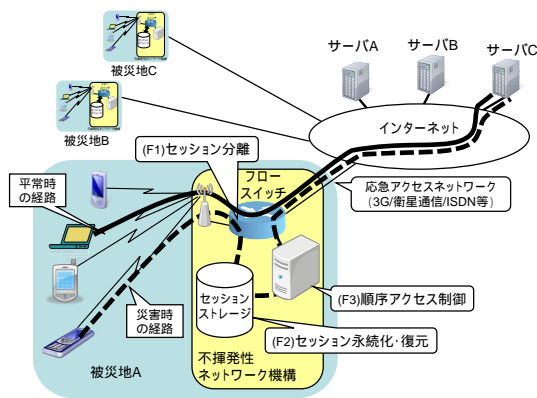


図1 不揮発性ネットワークの概要

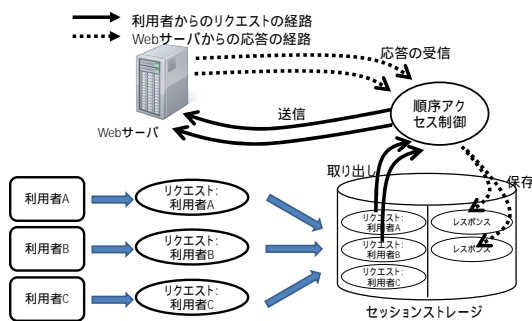


図2 セッション永続化

続化させるセッションのトラフィックのみを抽出・分離する必要がある。これを実現するのが(F1)セッション分離機能となる。またこの機能は、平常時と緊急時でトラフィックの流れを変更し、緊急時のみ不揮発性ネットワークを利用することを可能にする。

(F2)セッション永続化・復元機能では、セッションを永続化させるために、図2のように利用者端末から発行されたリクエストをセッションストレージに保存する。保存されたリクエストは定期的にWebサーバへ要求され、Webサーバから応答が得られるまで継続される。Webサーバから得られた応答は、利用者から発行されたリクエストと紐づけて保存する。この時点で永続化が完了し、利用者端末のネットワークからの切断が可能にする。また、一度ネットワークから切断された利用者端末は、再度ネットワークに接続し同じリクエストを発行した際に、セッションストレージに保存されたWebページの応答を得ることができる。利用者はWebサーバからの応答を待つ間、通信を維持する必要がなくなり、端末をネットワークから切断することが可能となる。したがって、通信を維持することにより消費される電力を節約できるため、災害時において電力の残量が限られたモバイル機器のバッテリーを効率よく使用することができる。

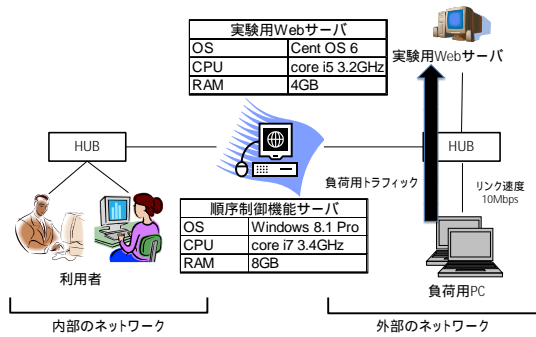


図3 実験環境

(2) 評価実験

開発した不揮発性ネットワーク機構の有効性を示すため、試作システムを用いた性能評価を行った。図3に実験環境を示す。順序制御機能サーバは実験用Webサーバと利用者が操作するクライアントの間に設置した。実験環境はすべてLANケーブルによる有線接続とした。本実験では、10BASE-TのHUBを使用し、実験用Webサーバへのリンク速度を10Mbpsに制限している。順序制御機能サーバで動作させる実験用サーバプログラムならびに利用者PCで動作させるクライアントプログラム、負荷用PCで動作させる負荷用プログラムの作成には、Java1.7を使用した。実験用Webサーバの構築には、CentOS6とApacheを使用した。

本実験では、クライアントとして一台のPCを用い、プログラム側で複数のスレッドを作成し、1スレッドを一人の利用者としてカウントする。たとえば利用者を50人としたとき、実際には50のスレッドとメインスレッドが一台のクライアントPCで動作していることになる。このとき、スレッドごとにユニークIDを割り当て、これを再リクエストかどうか判定するためのキーのひとつとしている。本研究では、実験ごとに利用者数やリクエスト発行の間隔、および再リクエストまでの待ち時間を変動させている。

順序制御機能サーバは、クライアントから発行されたリクエストを、Webサーバへの送信待ち行列に追加する。ここで、待ち行列に追加する際、追加しようとしているリクエストが再リクエストかどうか判定する。再リクエストである場合、リクエストは待ち行列に追加されずに破棄される。判定条件は、リクエストに含まれている利用者のユニークIDと、宛先URLの両方が一致するリクエストが、すでに待ち行列内に存在するかどうかとした。以降、リクエスト全体のうち、再リクエストではない元々のリクエストを「元リクエスト」と呼ぶ。また、本実験では、Webページのキャッシュ機能を働かないようにしている。

順序制御機能サーバは、同時に複数のリクエストをWebサーバへの送信待ち行列

表1 実験1のパラメータ

利用者数	10,20,30,...100(人)
リクエスト発行間隔	5000(msec)
再リクエスト待ち時間	2500(msec)
順序制御機能サーバのリクエスト同時処理数	2, 10, 50(個)

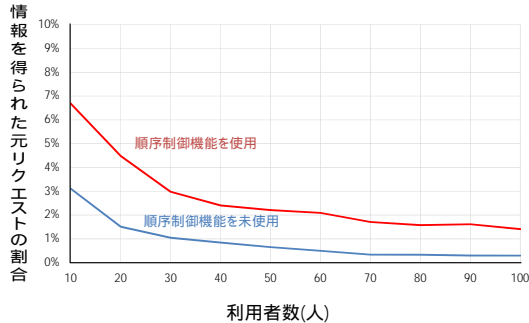


図4 実験1: 情報を得られた元リクエストの比較

から取り出す。取り出されたリクエストに対して、Webサーバへの送信、Webサーバからの応答の受信、Webサーバからの応答結果をクライアントへ送信、という操作を行う。実験ではWebサーバへの送信待ち行列から取り出されるリクエストの数を変動させることで、利用者がWebサーバからの情報を得られるまでの待ち時間の評価を行う。

(2-1) 実験1: 情報取得の成功割合

順序制御機能を使用する場合と使用しない場合で一定時間システムを稼働させ、その結果を比較することで機能の評価を行った。本研究ではより多くの利用者に情報伝達することを目的としているため、評価基準を「一定時間内に発行されたリクエスト中、Webサーバから情報を得ることができた元リクエスト数の割合」とした。

表1に、実験1のクライアントと順序制御機能サーバの設定値を示す。実験では一回の試行時間を10分とし、利用者数を10人から100人まで10人ずつ変化させたときのWebサーバから情報を得ることができた利用者数を計測した。利用者の再リクエストは、5000ミリ秒経過しても情報が得られない場合に一度だけ発行するものとした。また、実験1では順序制御機能サーバはリクエストを同時に複数処理しないものとした。

図4に実験結果を示す。縦軸は、時間内に発行された元リクエストのうち、応答を得られたものの割合である。同図から、利用者数にかかわらずWebサーバから情報を得ることができた元リクエスト数の割合が、順序制御機能を使用する場合の方が上回っている事が分かる。

(2-2) 実験2: 情報取得時間

表2 実験2のパラメータ

利用者数	50(人)
リクエスト発行間隔	5000(msec)
再リクエスト待ち時間	2500(msec)
順序制御機能サーバのリクエスト同時処理数	2, 10, 50(個)

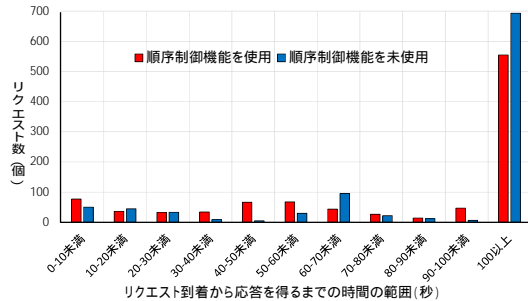


図5 実験2: クエリの同時処理数10個の処理時間の分布

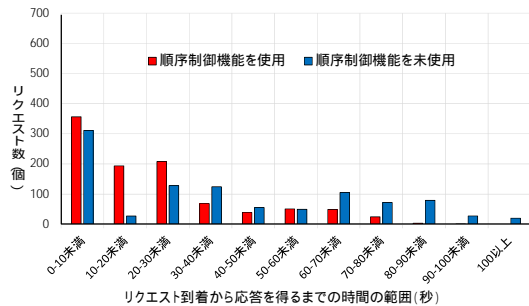


図6 実験2:クエリの同時処理数50個の処理時間の分布

実験2では、発行されたリクエストが順序制御機能サーバに到着してから、Webサーバの応答を得られるまでの時間の分布を比較した。表2に、実験2のクライアントと順序制御機能サーバの設定値を示す。この実験では利用者数を50人とし、一人当たり元リクエストを20個発行するものとする。したがって、発行される元リクエストの数は1000個となる。実験2では、順序制御機能サーバのリクエスト同時処理数を変動させる。また、再リクエストの発行までの間隔を2500ミリ秒とした。その他、再リクエストの回数や元リクエストの発行間隔などは実験1と同一である。

図5にリクエストの同時処理数が10個の場合の実験結果を示す。横軸は、元リクエストが順序制御サーバに到着してから、Webサーバから応答を得るまでの時間である。同図から、短時間で応答を得られた元リクエストは少ないことが分かる。また、提案手法の使用・未使用による違いは見られない。これは、順序制御機能サーバのリクエストの同時処理数が少ないため、順序制御機能の有無に関わらず、実験結果に差が生じなかったためであると考えられる。図6にリクエストの同時処理数が50個の場合の実験結果を示す。同図では提案手法

表 3 実験 3 のパラメータ

利用者数	50 (人)
リクエスト発行間隔	10,20,...,30 (sec)
再リクエスト待ち時間	2500(msec)
順序制御機能サーバのリクエスト同時処理数	10(個)

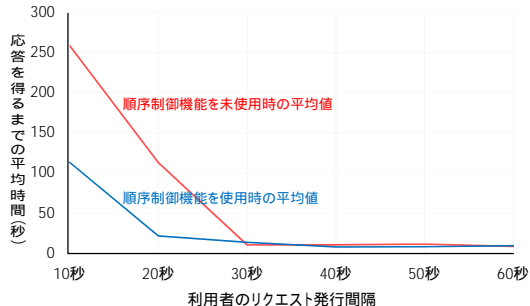


図 7 実験 3: リクエスト発行間隔に対する情報取得時間の比較

を使用した場合は、提案手法を使用しない場合と比較して、短い時間で処理が終了している元リクエストが多いことがわかる。これは、提案手法が有効に働き、再リクエストが棄却され、順序制御機能サーバが Web サーバに送信するリクエストの総数が減少したためであると考えられる。

(2 - 3) 実験 3 : リクエスト発行間隔に対する情報取得時間の変動

利用者が発行する元リクエストの発行間隔を変動させたときの、リクエストが到着してから応答を得るまでの平均時間を比較した。表 3 に、実験 3 のクライアントと順序制御機能サーバの設定値を示す。この実験 3 では、利用者が発行する元リクエストの発行間隔を変動させることで、元リクエストが応答を得るまでの待ち時間を評価する。図 7 に提案手法を使用した場合と提案手法を使用しない場合の比較結果を示す。横軸は、利用者が発行する元リクエストの発行間隔である。縦軸は、元リクエストが到着してから、応答を得るまでの平均時間である。また、平均値の他に元リクエストが到着してから、応答を得るまでの時間の最大値、最小値を示す。

図 7 から、提案手法を使用した場合、利用者がリクエストを頻繁に発行するような状況でも、リクエストが応答を得られるまでの平均時間が短いため、リクエストの処理性能が高いことがわかる。これも、提案手法によって再リクエストを棄却したことで、順序制御機能サーバが Web サーバに送信するリクエストの総数が減少したためであると考えられる。一方で、リクエスト発行間隔が長くリクエスト数の少ないネットワークに余裕のある状況では、提案手法の使用・未使用による差は見られない。

(3) 考察とまとめ

実験 1 の結果から、順序制御機能が再リクエストを棄却した分だけ、他のリクエストを処理することができたため、Web サーバから情報を得ることができた元リクエストの数を増加させることができたと考えられる。また、実験 2 と実験 3 の結果から、利用者の頻繁なリクエストに対して、提案手法を使用する場合に、提案手法を使用しない場合よりも多くのリクエストを処理することができると考えられる。これらの実験結果は、順序制御機能の目的である災害輻輳時により多くの利用者に Web ページの情報を伝達することを満たすものである。したがって、提案する不揮発性ネットワーク機構は、災害時など通信状況が極めて厳しい条件下において円滑な通信を実現するのに有効であると言える。

5 . 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 2 件)

[1] K. Kalegele, K. Sasai, H. Takahashi, G. Kitagata and T. Kinoshita, "Four Decades of Data Mining in Network and Systems Management," IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering, 査読有, no.99, 2015, 印刷中.
DOI: 10.1109/TKDE.2015.2426713

[2] K. Kalegele, H. Takahashi, K. Sasai, G. Kitagata and T. Kinoshita, "Sequence Validation Based Extraction of Named High Cardinality Entities," International Journal of Intelligence Science, 査読有, Vol. 2 , No. 4A, 2012, pp. 190-202.
DOI: 10.4236/ijis.2012.224025.

[学会発表] (計 12 件)

[1] Kazuto Sasai, Hideyuki Takahashi, Gen Kitagata, Tetsuo Kinoshita, "AIR-space: Cognitive Cooperation Space for Active Information Resources based Network Management System," The 13th IEEE International Conference on Cognitive Informatics and Cognitive Computing (ICCI*CC2014), 2014/8/18, London South Bank University(UK)

[2] Yuto Inaji, Yukio Iwaya, Akinori Takahashi, Ryuji Igarashi, Gen Kitagata, Tetsuo Kinoshita, "Behavior of Phase Transition Model in Information Network Traffic Attacked by Denial of Service," International Conference on Smart Technologies for Energy, Information and Communication 2014 (IC-STEIC2014), 2014/8/5, Chiba Institute of Technology (Japan)

[3] Gen Kitagata, Yukihiro Karakama,

- Taishi Ito, Hideyuki Takahashi, Kazuto Sasai, Tetsuo Kinoshita, "An Automatic VLAN Discovery Method based on IP Subnet Estimation," International Conference on Smart Technologies for Energy, Information and Communication 2014 (IC-STEIC2014), 2014/8/5, Chiba Institute of Technology (Japan)
- [4] Shintaro Imai, Syota Konno, Gen Kitagata, Yoshikazu Arai, Toshimitsu Inomata, "Prototype Development of Access Queuing Function for Non-volatile Networking," International Conference on Smart Technologies for Energy, Information and Communication 2014 (IC-STEIC2014), 2014/8/5, Chiba Institute of Technology (Japan)
- [5] 今野翔太, 今井信太郎, 北形元, 新井義和, 猪股俊光, "不揮発性ネットワークのための順序制御機能の実装と評価", 情報処理学会 マルチメディア通信と分散処理研究会 (DPS), 平成 26 年 7 月 24 日, 岩手県
- [6] 北形元, 唐鎌行大, 伊藤大視, 高橋秀幸, 笹井一人, 木下哲男, "IP サブネットの推定に基づく L2 ネットワークの自動接続手法", 電子情報通信学会 モバイルネットワークとアプリケーション研究会 (MoNA), 平成 26 年 5 月 16 日, 沖縄県
- [7] 唐鎌行大, 北形元, 笹井一人, 木下哲男, "論理ネットワークの推定に基づくネットワーク機器設定の復元手法", 2014 年電子情報通信学会総合大会, 平成 26 年 3 月 19 日, 新潟大学 (新潟県) (ネットワークソフトウェア優秀ポスター賞)
- [8] 今野翔太, 今井信太郎, 北形元, 新井義和, 猪股俊光, "不揮発性ネットワークのための順序制御機能の検討", 平成 25 年度電気関係学会東北支部連合大会, 平成 25 年 8 月 22 日, 会津大学 (福島県)
- [9] 北形元, 笹井一人, 高橋秀幸, 木下哲男, "大規模災害時のための不揮発性ネットワークの提案", 電子情報通信学会モバイルネットワークとアプリケーション研究会 (MoNA), 平成 25 年 8 月 2 日, 北海道大学 (北海道)
- [10] 北形元, 笹井一人, 高橋秀幸, 木下哲男, "知識処理を用いたリソースユニット遠隔監視制御支援技術", 情報処理学会 第 75 回全国大会, 平成 25 年 3 月 7 日, 東北大学 (宮城県) (招待講演)
- [11] 笹井一人, 板橋佑介, 高橋秀幸, 北形元, 木下哲男, "マルチエージェント協調に基づくネットワーク管理情報 AIR の連携", 情報処理学会研究報告 マルチメディア通信と分散処理研究会, 平成 24 年 11 月 15 日, 彦根市 (滋賀県)
- [12] 笹井一人, 北形元, 木下哲男, "知識型マルチエージェントによる知的ネットワーク管理システム", 合同エージェントワークシ

ップ & シンポジウム JAWS (Joint Agent Workshop and Symposium) 2012, 平成 24 年 10 月 24 日, 掛川市 (静岡県)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

北形 元 (KITAGATA, GEN)
東北大学・電気通信研究所・准教授
研究者番号: 20344731

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

長田 俊明 (OSADA, TOSHIAKI)
東北大学・大学院医学系研究科・講師
研究者番号: 90598385

高橋 秀幸 (TAKAHASHI, HIDEYUKI)
東北大学・電気通信研究所・助教
研究者番号: 40509072

今井 信太郎 (IMAI, SHINATORO)
岩手県立大学・ソフトウェア情報学研究科・講師
研究者番号: 50510260

笹井 一人 (SASAI, KAZUTO)
東北大学・電気通信研究所・助教
研究者番号: 00532219

スベホルム ヨハン (SVEHOLM, JOHAN)
東北大学・電気通信研究所・教育研究支援者
研究者番号: 20626246

武田 敦志 (TAKEDA, ATUSHI)
東北学院大学・教養学部・准教授
研究者番号: 90424001

中村 直毅 (NAKAMURA, NAOKI)
東北大学・大学院医学系研究科・講師
研究者番号: 50447132