

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 25 年 6 月 10 日現在

機関番号：12601
 研究種目：基盤研究（B）
 研究期間：2009～2011
 課題番号：21300020
 研究課題名（和文） **大規模分散環境を用いたP2Pネットワーク流通ファイル制御システムの研究**
 研究課題名（英文） A Study on File Distribution control in P2P Network using a Large Scale Distributed System
 研究代表者
 中尾 彰宏（NAKAO AKIHIRO）
 東京大学・大学院情報学環・准教授
 研究者番号：60401238

研究成果の概要（和文）：

本研究では、P2Pファイル共有ネットワークを対象とし、偽のファイルやメタ情報をP2Pネットワークに流すことで制御を行うポイズニングと呼ばれる流通するファイルおよびトラフィックを制御する手法の開発とその有効性の実ネットワークにおける検証を行うことを目的とする。具体的には、（1）分散環境を用いたポイズニングによる流出ファイルの制御、（2）P2Pトラフィックのローカライゼーション（トラフィックの地域内封じ込め）および、（3）大規模P2Pシステムの制御効果の可視化技術の研究開発を行う。

研究成果の概要（英文）：

The objective of this research is to develop the control methods for P2P file distribution and P2P traffic through poisoning where fake files and meta-information of the files are injected into the targeted P2P network and to examine the effectiveness of our proposed methods in the real internet network environment. For example, we conduct research on (1) the control method for distributed poisoning to restrict the dissemination of targeted files, (2) the localization of the P2P traffic and (3) the visualization of the effectiveness of our control against large-scale P2P file distribution networks.

交付決定額

(金額単位：円)

| | 直接経費 | 間接経費 | 合計 |
|--------|------------|-----------|------------|
| 2009年度 | 5,700,000 | 1,710,000 | 7,410,000 |
| 2010年度 | 4,100,000 | 1,230,000 | 5,330,000 |
| 2011年度 | 4,100,000 | 1,230,000 | 5,330,000 |
| 年度 | | | |
| 年度 | | | |
| 総計 | 13,900,000 | 4,170,000 | 18,070,000 |

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学・計算機システム・ネットワーク

キーワード：ネットワーク計測，コンテンツ流通制御，トラフィック制御，ピアツーピア

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

1. 研究開始当初の背景

高いスケーラビリティを備えるピア P2P ネットワークを用いたシステムは、データ通信方法として有望な技術である。その一方で、P2P ネットワークは自律分散制御が行われるために、一旦システムが動き出すと外部から制御不能になる問題がある。たとえば、ピア P2P を用いたファイル共有システムでは、一旦ネットワークに流出したファイルは回収不能になり、情報流出問題の原因となる。また、生成されたトラヒックは、ネットワークの帯域の多く割合を占める。本研究課題では上述の問題に対して、以下の 3 つの技術課題を挙げる。

技術課題 1: ファイル流出の問題を軽減するには、P2P ネットワーク上に偽のファイルやメタ情報を流出させ、流出ファイルの流通を制御するポイズニングが有効といわれている。しかし、現在の手法では、制御できるファイル数には限りがあり、P2P ネットワーク内の多くのファイルを迅速に制御するため、大規模分散システムに拡張する必要がある。

技術課題 2: P2P ファイル共有アプリケーションは大きなトラヒックを発生し、かつ、“遠い”ピア同士で効率の悪い通信が行われるといわれている。つまり、P2P トラヒックをインターネットサービスプロバイダ内、地域内に封じ込めるにはどのようなネットワークを設計すればよいかを検討する必要がある。

技術課題 3: 大規模分散システムによる P2P ネットワーク測定により詳細な情報を得ることが可能になるが、情報が膨大となり、状況の把握が難しくなる。そこで、対話的な操作で測定データを可視化することで、ネットワークの状況を明らかにする必要がある。

2. 研究の目的

前述の 3 つの技術課題を解決するために、以下に示す 3 つの研究課題に取り組む。

(1) 分散環境を用いたポイズニングによる流出ファイルの制御

本調査研究では、日本で多くのユーザが利用するピア P2P ファイル共有アプリケーションである Winny, Share 等を対象として有効なポイズニング方式を開発し、その効果を評価する。ネットワークへの影響を最小限に抑えるため、偽者のファイルを流通させるのではなく、偽のメタ情報（ファイルの位置）を流すことにより、実質ファイルが存在しなくなるインデックスポイズニング手法を開発する。さらに分散ポイズニング方式、分散測定評価システムを開発することでスケーラブル効率がよく、かつ、即効性のあるシステムを実現する。分散ポイズニング・測定環境を Planet Lab・CoreLab 上に構築し、実

ネットワークに対して制御を行うことで、提案方式の有効性を示す。

(2) P2P トラヒックのローカライゼーション

P2P ネットワークにおけるファイルの転送は、IP ネットワーク上の近いピア同士でおきるとは限らない。つまり、遠いピア間でファイルの交換により非効率な通信が行われる可能性がある。地域・ISP (AS) 間を移動するファイルを特定し解析することにより P2P トラヒックを局所化（ローカライズ）するためのアルゴリズムを設計する。

(3) 大規模 P2P システムの可視化

P2P ネットワークは自律分散システム（管理者が存在しない）でかつ規模も大きく、参加するコンピュータが動的に変化する。つまり、何が起きているのか把握・予測しにくいという問題がある。そこで、可視化することにより、ある現象、結果に対して、何を起因とするのか直観的に把握し予測を容易にすることが有効である。しかし、ノード数の増加により、情報の相殺が生じ、重要なノードを見落とす恐れがある。ここでは、大規模ネットワークを分析するための可視化手法、特に段階的な詳細度での大規模ネットワークデータの可視化手法を開発する。

3. 研究の方法

(1) 分散環境を用いたポイズニングによる流出ファイルの制御

Winny ネットワークでの測定実験により、インデックスポイズニングによるファイルの流通制御が可能である。この手法では、偽キー（ファイルのメタ情報）で正規のキーを上書きすることで、ファイルが存在しないようにすることができる。しかし、現在、5 台の PC を用いてポイズニングを行っているが、効果が完全に出るまで、約 90 分の時間がかかるため、迅速な対応が必要になるファイル流出への対応が難しい。そこで、ポイズニングの速度を上げるために数十ある Planet Lab のノードを用いた分散ポイズニング手法を開発する。さらに可視化、評価のために必要な分散測定環境も構築する。

(2) P2P トラヒックのローカライゼーション

P2P ファイル共有アプリケーションが生成するトラヒックは、帯域の大きな部分を占めている。特に ISP (AS) 間を移動するトラヒック量はピアリングのコスト増大に繋がるため、トラヒックの局所化（ローカライゼーション）の制御が必須となる。そこで、大規模測定を行うことで、提案する制御方法を実ネットワークに適用した場合の効果を検証する。

(3) 大規模 P2P システムの可視化

分散測定によって得られた大規模な情報を Planet Lab 上のノードからログとして取得し、可視化する。測定したログは、各測定ノードで可視化のために中間処理をし、ファイルに記録する。このファイルを入力データとしてネットワークグラフの可視化を実施する。可視化の意義は、対話的操作によって分析に必要な有用情報を引き出すことにある。そのため、以下に示す方針で大規模なログを対話的操作可能なデータサイズに調整する。

- 大局的観察では、数十万、数百万ノードのネットワークの可視化を実現し、ネットワークの構成に大きな影響を与えている要因を特定できるよう全体像を提示する。
- 選択的観察では、ネットワークの構成に大きな影響を与えている要因に注目し（影響の少ない要因を排除し）、複数項目（ノードがもつ情報）の因果関係等、詳細な情報を把握する。
- 局所的観察では、探索によって得られたノードは、ノード間情報、時間変化の様子などをより詳細に観察する。

4. 研究成果

(1) 分散環境を用いたポイズニングによる流出ファイルの制御

Share ネットワークに対する提案ポイズニング方式の動作について述べる。

- 正規のブロックを保持するピアは、ファイル保持ピアが拡散するキーと同じ内容が記載されたキーを、隣接ピアに向けて拡散する。
- 偽装ブロックを複数の Share ピアに拡散アップロードすることで、Share ネットワーク上に偽装ブロック保持ピアを用意する。偽装ブロック保持ピアも、ファイル保持ピアが拡散するキーと同じ内容が記載されたキーを隣接ピアに向けて拡散する。そのため、ファイル検索ピアは正規のブロック保持ピアと偽装ブロック保持ピアを区別できない。
- ファイル検索ピアが偽装ブロックをダウンロードした場合、ダウンロード中のファイルは正規のブロックと偽装ブロックが混在した不完全なファイルとなる。さらに、ファイル検索ピアに対して偽装ハッシュマップが作成される。偽装したハッシュマップのもとでは正規のブロックが破損ブロックとして扱われるため、Share のブロック破損検出機能が正常に動作しなくなる。また、偽装ブロックのブロックパラメータに記載された合計ブロック数は本来の値よりも大きな値に設定しているため、ファイル検索ピアは架空のブロックを検索し続けるようになり、偽装ブロックの破棄と再ダウンロードが行われなくなる。結果として提案方

式では、従来方式で問題となった冗長な P2P トラフィックが発生しなくなる。

図 1 に評価期間中のダウンロード完了ピアの累積台数を示す。評価開始から 6 時間経過するまでは、ファイル保持ピアが保持する 3 つのファイルは他の Share ピアによって自由にダウンロードされるため、ダウンロード完了ピアの累積台数が増加する。一方、制御を開始するとダウンロード完了ピアの累積台数が、制御なしの場合と比べ増加が抑えられている。

このときの制御対象ファイル保持ピアのアップロードトラフィック量は、提案方式を用いた場合、6,653 MByte であった。提案方式では、 $6,653 / 167,717 \approx 4\%$ に抑えられた。

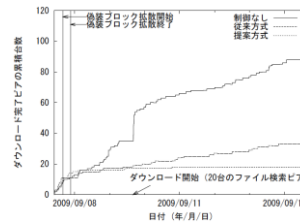


図 1 ダウンロード完了ピアの累積台数

さらに、ポイズニングシステムを分散環境に拡張し、Winny を対象として、効率のよいポイズニング方式を明らかにした。P2P ネットワークにおいて、ファイル共有する際に作成されるインデックス情報は、隣接のピアとのインデックス情報の交換により更新されるため、直接ポイズニングしたピアから、間接的にポイズニングされる。従って、ネットワーク全体ではなく、一部のピアをポイズニングすることにより、制御の効率を高める。

提案手法では、分散クローラにより、Winny の検索ネットワークのトポロジを測定し、ピアのネットワーク的な位置から、以下のように分類する (Level-1 クラスタリング)。

- ORIGIN: クエリを中継しないピア (27%)
- RELAY: クエリをこれ以上転送しないピア (25%)
- RELAY: ORIGIN でも、RELAY でもないピア (48%)

さらに、RELAY を以下のように分類する (Level-2 クラスタリング)。

- TOP: EDGE に隣接
- BOTTOM: ORIGIN に隣接
- MIDDLE: TOP でも BOTTOM でもない RELAY

ポイズニングの対象を以下のようにし、性能を比較した。

- MIDDLE poisoning: 13%のピアが直接対象 (MIDDLE を直接対象)
- MIDDLE+BOTTOM poisoning: 27%のピアが直接対象 (MIDDLE 13%, BOTTOM 14%)

- Random selection poisoning: 13%のピアを MIDDLE からランダムに選択し、直接制御
- All peer poisoning (Conventional poisoning): すべてのピアを直接対象とする方式

図 2 にポイズニングの制御範囲の結果を示す。MIDDLE+BOTTOM は、制御して 40 分後に、すべてのピアを直接制御対象とした場合と同じ 96%のピアに対して有効に制御が働いた。このときの制御に必要なトラフィックは、すべてのピアを制御対象とした場合の 27%に抑えることが可能となる。

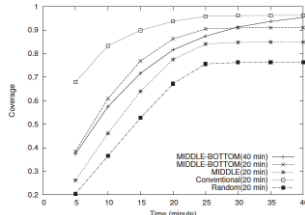


図 2 ポイズニングの制御範囲

(2) P2P トラフィックのローカライゼーション

P2P ファイル共有ネットワークにおけるトラフィックの局所化の制御を行う「BPEX 方式」と提案方式を開発した。対象の P2P ネットワークは「BitTorrent」ネットワークを選択した。P2P ネットワークはオーバーレイネットワークと呼ばれる論理的にネットワーク構造が構築される。しかし、現在の P2P プロトコルは、IP ネットワークにおける通信コスト（通信距離、AS ホップ数）が考慮されておらず、大量の「長距離 AS 間通信」が発生する。その結果、ピアは長距離 AS 間通信に伴うネットワーク遅延により、ファイルダウンロード速度の低下を強いられている。さらに、ISP では、P2P ファイル共有ネットワークによる長距離 AS 間通信が大きな損失を生み出すため、P2P 通信を規制する動きもある。そこでこの問題を解決するために、BitTorrent によって発生する P2P 通信の通信距離を短縮する BPEX 方式を開発した。BPEX 方式では、測定用端末が最適な隣接ピア情報を BitTorrent における「PEX」プロトコルを利用して各ピアに送信し、P2P 通信の通信距離を短縮する。

評価実験の結果、BPEX 方式はダウンロード完了速度を、従来方式と比較して約 25%向上することを示し、P2P 通信の通信距離 (AS ホップ数) を、従来方式と比較して約 15%短縮することを示した (図 3)。

(3) 大規模 P2P システムの可視化

ネットワークデータの可視化では、いくつかの方針のもと開発を進めた。

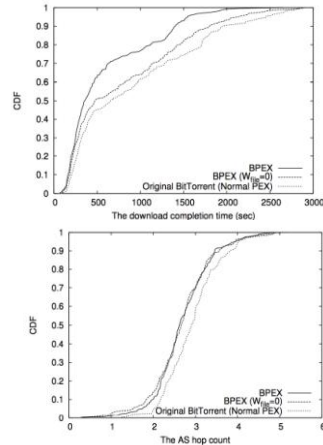


図 3 トラフィックローカライゼーション

- 対話的操作による全体把握可視化
まずネットワーク全体を把握するため点と線による従来の可視化を実施した。ピアは、次数、接続速度、Betweenness 等複数の情報をもつ。これらからネットワークの構造に影響を持つものを対話的に探索するために、可視化の軸を対話的に指定できるシステムを構築した。図 4 は、横軸に出現順位、縦軸にそれぞれ次数、接続速度、Betweenness を割り当てた。次数を縦軸にとった結果から突出したノードの存在を確認できたが、Betweenness に関しては突出したノードがないこと等が確認できた。

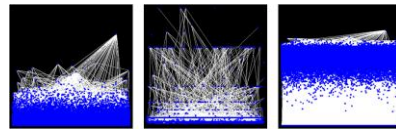


図 4 対話的軸選択による可視化

- 接続状態の大局的可視化
ノードの接続関係を大局的に把握するために、接続関係を線ではなく色で表現するマトリクス形式での可視化を実装した。図 5 の上部は従来のネットワークグラフであり、下部はマトリクス形式での表示である。色はノード間の接続距離を反映しており、この合計で横軸をソートしている。この結果画像を観察すると、接続経路数でいくつかの集合 (クラスタ) が形成されていることを認識できる。

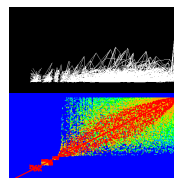


図 5 マトリクス表示

- クラスタ化による段階的表示
大局的から局所的情報を段階的観察するための可視化手法を開発した。ネットワークを接続距離でソートするとクラスタ化する傾向が確認されたため、大局的表示ではクラスタ間の接続、局所的表示ではクラスタ

内の接続を示すこととした。図 6 左は各クラスタを円環配置で描画し、クラスタに属するノード間にリンクが存在する場合にリンクを描画する。クラスタレベルでの描画の際には、クラスタ内のリンクは描画しないことで、クラスタ間の接続情報を見やすくする。また、あるクラスタに注目し、局所的に観察する場合にはクラスタ内のリンクだけを表示することで、局所的な情報に焦点を当てた可視化を実現した。

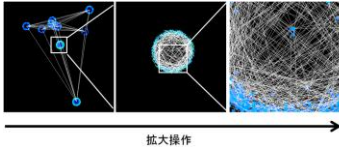


図 6 対話的軸選択による可視化

- 局所表示の詳細提示
大局的から局所的表示に切り替えた際にも、ノードやリンクの規模によっては、ネットワーク構造が把握しにくい場合があった。そこで、円環グラフと次数による階層化を用いてノードを整理し、さらにバネモデルを適用することでノード間接続を把握しやすく可視化する手法を提案した (図 7)。

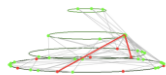


図 7 局所詳細表示

これら複数のネットワークグラフの可視化手法を開発し、ネットワークデータに適用することでその効果を確認した。特に今まで分析できないような大規模ネットワークデータの可視化に取り組んだ。

今後は、ログデータをリアルタイムに取得し、可視化を試みる。

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 3 件)

- [1] 吉田 雅裕, 大坐島 智, 川島 幸之助, 中尾 彰宏, Share ネットワークに対するコンテンツポイズニングを用いたファイル流通制御方式, 電子情報通信学会 和文論文誌 B, Vol. 94-B, No. 5, pp. 686-697, 2011.
- [2] Masahiro Yoshida, Akihiro Nakao, Deep Inspection of Unreachable Bittorrent Swarms, *IEICE TRANSACTIONS on Information and Systems*, Vol. E96-D No.2 pp.249-258, 2013.
- [3] 宮村 (中村) 浩子, 大坐島 智, 中尾 彰宏, 川島 幸之助, 手島 直哉, 鈴木 喜雄, 武宮 博, 大規模ネットワークデータの可視化, 全 NEC C&C システムユーザ会ユ

ーザ事例論文, 15 ページ, 2010.

[学会発表] (計 28 件)

- [1] 宮村 (中村) 浩子, Hsiang-Yun Wu, 吉田 雅裕, 大坐島 智, 中尾 彰宏, 高橋 成雄, AS 間接続関係を用いたオーバーレイネットワークの可視化, 信学技報, NS 研究会, (20130308), 2013 年 3 月, pp.577-582, 読谷.
- [2] Masahiro Yoshida, Akihiro Nakao, BPEX: Localizing BitTorrent Traffic via Biased Peer Exchange, *Proc. of Seventh International Conference on P2P, Parallel, Grid, Cloud and Internet Computing (3PGCIC)*, pp. 41-48, 2012, Victoria, BC.
- [3] 佐々木 海, Hsiang-Yun Wu, 吉田 雅裕, 宮村 (中村) 浩子, 大坐島 智, 中尾 彰宏, 高橋 成雄, P2P ネットワーク解析のためのスケールフリーネットワークの可視化, 信学技報, NS 研究会, (20120309), 2012 年 3 月, 宮崎.
- [4] 宮村 (中村) 浩子, 吉田 雅裕, 大坐島 智, 高橋 成雄, 中尾 彰宏, 川島 幸之助, 大規模ネットワークデータ解析のためのマルチレベルグラフィックアウト, 信学技報, NS 研究会, (20120309), 2012 年 3 月, 宮崎.
- [5] 吉田 雅裕, 中尾 彰宏, BPEX : Improving The BitTorrent Locality via Biased Peer Exchange, 信学技報, NS OCS PN 研究会, pp. 61-66, 2012 年 6 月, 米沢.
- [6] Putra Pratama and Nakao Akihiro, An Effective Index Poisoning Algorithm for Controlling Peer-to-peer Network Applications, *Proc. of Cnet '11*, pp. 17-22, September 2011, Shanghai.
- [7] Miyamura Nakamura Hiroko, Ohzahata Satoshi, Shinano Yuji, and Miyashiro Ryuhei, Adaptive View-Dependent Tree Graph Visualization, *Proc. IEEE the 8th International Joint Conference on Computer Science and Software Engineering*, (20110512), May 2011, Nakhon pathom.
- [8] Takashi Koizumi, Masahiro Yoshida, Satoshi Ohzahata, and Konosuke Kawashima, An Analysis of the P2P Traffic Characteristics on File Transfers Between Prefectures and Between Autonomous Systems in the Winny Network, *Proc. of APCC 2010*, pp. 147-152, October 2010, Auckland.
- [9] Masahiro Yoshida, Satoshi Ohzahata, Akihiro Nakao, and Konosuke

- Kawashima, Controlling File Distribution in Share Network Through Content Poisoning, *Proc. of AINA 2010*, (20100422), April 2010, Perth, WA.
- [10] Putra Putra and Akihiro Nakao, Measuring P2P Network Topology through Geo-Location-Aware Distributed Crawlers, *Proc. of JAPSITT 2010*, (20100617), Serawak, Malaysia.
- [11] 宮村 (中村) 浩子, 品野勇治, 大坐島智, 大規模グラフの適応的表示, 第 38 回可視化情報シンポジウム, (20100721), 東京.
- [12] 宮村 (中村) 浩子, 大坐島 智, 中尾 彰宏, 川島 幸之助, 適応的可視化による大規模ネットワークデータ解析, 電子情報通信学会 NS 研究会, (20100903), 仙台.
- [13] Putra Putra and Akihiro Nakao, Topology-aware Traffic Control System for P2P Networks, *IEICE Tech. Rep.*, (20101022), 大阪.
- [14] 吉田 雅裕, 中尾 彰宏, 複数 BitTorrent ネットワークにおける資源効率的な Swarm 情報計測手法, 電子情報通信学会, CQ 研究会, (20101118), 京都.
- [15] 小泉 貴嗣, 大坐島 智, 川島 幸之助, Winny ネットワークにおけるダウンロード時のキー変化の測定によるピアの挙動の解析, 電子情報通信学会, IN 研究会, (20110120), 大阪.
- [16] Putra Putra and Akihiro Nakao, An Effective Index Poisoning Algorithm for Controlling Peer-to-Peer Network Applications, *IEICE Tech. Rep.*, (20110300), 沖縄.
- [17] プトゥラ プラタマ, 吉田雅裕, 大坐島 智, 中尾彰宏, 川島幸之助, ファイル検索クエリを用いた Winny ネットワークのトポロジ測定方式, 電子情報通信学会, NS 研究会, (20090416), 東京.
- [18] 宮村 (中村) 浩子, 大坐島 智, 中尾 彰宏, 川島 幸之助, 鈴木 喜雄, 重要ノード発見のための大規模ネットワークの可視化, 電子情報通信学会, NS 研究会, (20090911), 仙台.
- [19] 吉田 雅裕, 大坐島 智, 中尾 彰宏, 川島幸之助, Share ネットワークにおけるコンテンツポイズニングの適用と評価, 電子情報通信学会, NS 研究会, (20090911), 仙台.
- [20] プトゥラ プラタマ, 中尾 彰宏, 地理情報を利用した分散クローラによる P2P ネットワークトポロジ測定方式, 電子情報通信学会, NS 研究会, (20091016), 熊本.
- [21] 佐々木 健吾, 中尾 彰宏, BF を用いたフロー同定による P2P パケットキャッシュ効率の改善手法, 電子情報通信学会, NS 研究会, (20090911), 仙台.
- [22] 小泉 貴嗣, 吉田 雅裕, 大坐島 智, 川島 幸之助, Winny ネットワークにおけるファイル移動トラフィック特性の測定と分析, 電子情報通信学会, 第 7 回 QoS ワークショップ, (20091120), 小金井.
- [23] 小泉 貴嗣, 吉田 雅裕, 大坐島 智, 川島 幸之助, Winny ネットワークにおける都道府県間及び AS 間のファイルトラフィック交流特性, 電子情報通信学会, IN 研究会, (20100115), 広島.
- [24] 吉田 雅裕, 大坐島 智, 中尾 彰宏, 川島 幸之助, P2P ファイル共有ネットワークにおけるインデックスポイズニングの動的な適用方式, 電子情報通信学会, NS 研究会, (20100305), 宮崎.
- [25] 佐々木 健吾, 中尾 彰宏, 複数のフロー特定手法による P2P パケットキャッシュ効率の比較, 電子情報通信学会, NS 研究会, (20100305), 宮崎.
- [26] 佐々木 健吾, 中尾 彰宏, フロー特定による選択的パケットキャッシュを用いた P2P トラフィック抑制手法, 情報処理学会創立 50 周年記念第 72 回全国大会, (20100311), 東京.
- [27] 宮村 (中村) 浩子, 大坐島 智, 中尾 彰宏, 川島 幸之助, 鈴木 喜雄, 重要ノードに着目した大規模ネットワークの可視化システム, 電子情報通信学会, NS 研究会, (20100305), 宮崎.
- [28] 宮村 (中村) 浩子, 大坐島 智, 中尾 彰宏, 川島 幸之助, 鈴木 喜雄, 対話的操作を用いた重要ノード発見のためのネットワークの可視化, 電気学会産業計測制御研究会, (20100308), 小金井

6. 研究組織

(1) 研究代表者

中尾 彰宏 (NAKAO AKIHIRO)
 東京大学・大学院情報学環・准教授
 研究者番号: 60401238

(2) 研究分担者

- 川島 幸之助 (KAWASHIMA KONOSUKE)
 東京農工大学・大学院工学研究院・教授
 研究者番号: 90345330
- 大坐島 智 (OHZAHATA SATOSHI)
 電気通信大学・大学院情報システム学研究科・准教授
 研究者番号: 30361744
- 宮村 浩子 (MIYAMURA HIROKO)
 日本原子力研究開発機構・システム計算科学センター・研究員
 研究者番号: 20376859