

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 19 日現在

機関番号：62615

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2011～2014

課題番号：23300077

研究課題名(和文) 身体感覚運動を伴う対話シミュレーションに基づく社会知能創成

研究課題名(英文) Development of Social Intelligence based on Interaction Simulation with Embodied Sensorimotor Patterns

研究代表者

稲邑 哲也 (INAMURA, Tetsunari)

国立情報学研究所・情報学プリンシプル研究系・准教授

研究者番号：20361545

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 15,400,000円

研究成果の概要(和文)：ロボットのための社会的な知能を開発し評価するには、社会的なインタラクション経験に基づく分析・学習・実装が必要となるため、実際のロボットを用いた実験だけでなく、仮想環境での効率的な実験が重要である。社会的・身体的な知能を議論するために必要となる基本的なシミュレータの機能は、力学計算に基づく身体性の考慮、視聴触力覚シミュレーション、対話シミュレーションの3点を融合する事であるが、単に身体性を持つ社会エージェントを構築するだけでなく、ユーザが仮想空間内のアバターを操作する事のできるインタフェースを用いて、協調作業における人間機械協調系の評価を行う事のできるシステムを構築した。

研究成果の概要(英文)：Research on high level human-robot interaction systems that aim skill acquisition, concept learning, modification of dialogue strategy and so on requires large-scaled experience database based on social and embodied interaction experiments. However, if we use real robot systems, costs for development of robots and performing various experiments will be too huge. If we choose virtual robot simulator, limitation arises on embodied interaction between virtual robots and real users. In this research, we developed an enhanced robot simulator that enables multiuser to connect to central simulation world, and enables users to join the virtual world through immersive user interface. As an example task, we proposed an application to RoboCup@Home tasks to confirm the feasibility of the system.

研究分野：知能情報学

キーワード：Virtual Reality Human-Robot Interaction クラウドロボティクス 機械学習

1. 研究開始当初の背景

少子高齢化社会における国民の幸福の追求、すなわち教育・介護・生産活動に関わるマンパワーの補完のためには、ヒトに近い適応的な知覚・運動・コミュニケーション能力を有するロボットの開発が課題である。特に、近年注目されている人間型ロボットにおける日常生活の支援行動の実現に関する研究は発展を続けているが、物体の操作や自律移動のレベルにとどまっております、ユーザとの自然なインタラクションを通じたタスクの遂行という研究については問題点が山積しており、根本的な研究パラダイムのシフトが求められていた。

ヒトに近い知覚・運動・コミュニケーション能力を持った知能を実現するには、ユーザとのインタフェースはテキストによる情報伝達ではなく、全身の運動、身振り手振りを交えたジェスチャーや共同注意のための視線制御等、リアルで自然な対話を実世界の社会の中で実現する事が重要で、かつ、大規模で長時間にわたる実験を通じてその有効性が評価されねばならない。しかしながら単に情報学やロボット工学の知見による物理的タスクの遂行ではなく、身体的・心理的負荷を最小限にするような社会的・心理学的な評価を行い、対話を通じて段階的に社会的知能を発達させていくには、実際のロボットを開発し、実験・評価する人的・時間的コストが問題となるため、効率的かつ質的に深い研究を行うための仮想環境シミュレータの利用を狙った。

2. 研究の目的

上記のような背景から、ヒトに近い知能に基づくサービスを実現するために、認知科学、発達心理、脳科学、複雑系、機械学習、計算進化学などの、多様な分野を融合させ、ユーザが自然にロボットに歩み寄るような効果を生み出す要因を埋め込み、対話を通じて段階的に社会的知能を発達させていく枠組みが重要となる。しかしこのように多分野領域をまたがる研究を大規模に行う場合、実際のロボットを開発し、実験・評価する人的・時間的コストが問題となるため、効率的に研究を行うための仮想環境シミュレータ構築の方法論を明らかにする。具体的には、身体感覚運動と対話をシミュレート可能なシステムを開発する事で、ヒトに近い高次レベルの社会的知能の開発研究を推進する事を狙う。さらに、このシミュレータ上で大規模な実ユーザと仮想ロボットシステムの間インタラクション実験を行い、その履歴から有用な情報を抽出し、知能の発達に寄与させる情報処理技術の開発を狙う。ロボットが日常生活空間で人間を支援するというタスクドメインに着目し、知覚・運動・コミュニケーションの3点を同時に考慮する必要のある、自然

な対話に基づく協調作業の知能の発達問題に取り組む。対話実験フェーズと、解析・学習フェーズとを分断することなく、オンラインで学習・発達が可能なアルゴリズムをシミュレータ内の知能システムに搭載し、長時間にわたる多数の実ユーザとの身体的感覚運動情報の共有経験を通じて、状況判断の枠組みや、ユーザとの適切な対話戦略を学習し、質問や確認を行いながら段階的に作業タスクを学習・獲得・遂行する機能の実現を目指す。さらに、言語的対話では感覚運動パターンを言語表現で記述する必要があり、この表現を対話から後天的に学習するために、感覚運動情報と言語表現との相互変換モデルを搭載し、画像情報の色や形、物体の動きのような単純な情報だけでなく、ユーザが感じる感覚などの言語表現の獲得に挑戦し、自然で理解しやすく、ユーザに付加の少ない対話で、日常生活空間情報の獲得や、ユーザの好みにあった支援活動の獲得の実現を目指す。

3. 研究の方法

本研究は、実験を推進するためのシステム技術基盤の構築と、その基盤に基づいて遂行される二種類の学術研究要素の実施から構成される。システム技術基盤の構築では、身体的感覚運動情報による対話経験共有のための実世界・仮想世界融合シミュレータの展開を行う。

学術要素1としては、ユーザの心理的・身体的負荷を最小とするためのオンライン対話学習法の研究を行い、キッチンのような日常生活空間で人間を支援するという状況における、効果的な対話戦略の学習を行う。

4. 研究成果

ロボットのための社会的な知能を開発し評価するには、社会的なインタラクション経験に基づく分析・学習・実装が必要となるため、実際のロボットを用いた実験だけでなく、仮想環境での効率的な実験が重要である。社会的・身体的な知能を議論するために必要となる基本的なシミュレータの機能は、力学計算に基づく身体性の考慮、視聴触力覚シミュレーション、対話シミュレーションの3点を融合する事であるが、単に身体性を持つ社会エージェントを構築するだけでなく、ユーザが仮想空間内のアバターを操作する事のできるインタフェースを用いて、協調作業における人間機械協調系の評価を行う事のできるシステムを構築した。具体的には、身体的な動作に伴うインタラクションを実現可能とするため、Kinect と呼ばれるゲーム用簡易動作計測デバイスとのインタフェースシステムを構築し、身体運動情報のリアルタイム計測・制御を実現した。さらに、ヘッドマウンドディスプレイによる Augmented Reality 環境を構築し、仮想空間の中であたかもロボット

と面しているかのような体験ができる環境を整備した。

さらに、音声認識・音声合成による音声対話機能を構築し、ロボットと距離感を感じながら三次元空間を共有しつつ、Face-to-faceの音声付き対話、ジェスチャー、身体動作による教示、物体操作教示などを実現可能とした。

開発したシステムにおける実験環境の例を以下の図に示す。



具体的な社会的知能の枠組みの検証を行うための状況として、主に以下の5つのタスクを対象とした、対話実験を行い、本システムの有効性を確認した。

(1) 道具の使い方を学習するロボット

ロボットと教師である人間がインタラクションをする場面ターゲットとした課題を設定した。社会的経験からの学習の対象は、道具の動きと道具によって動かされる物体の動きの関係性であり、これを統計的情報処理によって学習する基本的な枠組みを確立した。これにより、未知の道具を用いる場合でも、既知の道具に用いられていた類似した形状部分の知識を手がかりにして、適切に道具の動かし方を推定することが確認できた。具体的にはBayesian Network(BN)によって、道具の持つ幾何学的特徴・道具を動かす軌跡・対象物の動き、の3点の関係性を記述し、道具の使用すなわち道具を動かす軌跡・使用するべき道具の双方を推論する事が可能であることを確認した。また、推論の信頼度が低い場合に、BNが出力する確率を用いて効果的な質問を決定する枠組みを確立した。

(2) キッチンにおける料理・テーブルセッティング・片付けタスク

より実践的な社会的知能の検証実験を行うフィールドとして、日常生活環境の典型例であるキッチン環境に着目し、車輪型移動ロボットおよび二足歩行型のヒューマノイドロボットが人間と対話を行いながら協調作業を行う実験の状況を仮想環境内に構築した。この仮想フィールドを用いて、先に述べた道

具の使い方の学習のみならず、手順に従って料理を協調して作るというタスク、人間とロボットが協調してテーブルセッティングや食事の後片付けなどを行うタスクにおいて、人間との対話の円滑性を評価する枠組みを構築した。

(3) 物体の多様な見え方の変化を学習するためのシミュレータ環境の応用

ロボットが日常生活空間で用いられる日用品を画像情報に基づいて認識する際、照明条件の変動によって認識が失敗するという問題点に対して、シミュレーション環境を用いた見え方の変動モデルの学習を提案した。具体的には、色温度や光源の方向などの照明条件の異なる朝・昼・夜における対象物体の様々な見え方の映像データベースをシミュレータを用いて収集し、照明条件の変動を修正するモデルを構築しその有効性をシミュレーションを利用して確認した。

(4) RoboCup@Home Simulation の実施と対話行動認識研究への展開

RoboCup@Home は、サッカー競技で有名なRoboCupが対象としているタスクの一つであり、知能ロボットがリビングやキッチンにおいて人間と対話を行い、飲み物を運ぶなどのタスクを遂行する競技である。この競技を本研究課題で開発したシミュレータを用いて計算機上で実行可能なシステムを構築した。このシステムを用いて実際のRoboCup競技を実施し、参加者から提出されたロボットの行動プログラムを用いて行動認識・行動学習の研究を推進させる研究プラットフォームの体制を整えた。

(5) ロボット同士のコミュニケーションによる知識共有

知識を持たないロボットが、十分に知識を持っているロボットの行動を見まねすることで、行動獲得するタスクを対象とし、双方のロボットのソフトウェアモジュールがクラウド型のシミュレーション空間にログインすることで行動獲得を行う実験を行い、その有用性を確認した。また、獲得された行動が実機のロボットにおいて再現可能であることを確認し、システムが仮想環境に閉じておらず、実空間・仮想空間をまたいで活用可能であることを示した。

(6) ユーザ同士のコミュニケーションによる知識共有とロボットの行動獲得

複数人数のユーザがクラウド上でロボットと対話可能であるシステムを活用し、様々なロボットと人間がリビングルームやキッチ

ン等の日常生活空間で対話型行動学習を行うタスクを対象とし、それをシミュレーション上で実現した。

具体的には人間同士の挨拶行動をクラウドシステム上で収集・蓄積し、その運動決定のモデルをロボットに実装可能なレベルで解析・モデル化する事を実現した。

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 26 件)

- [1] Jekaterina Novikova, Leon Watts and Tetsunari Inamura: "Modeling Human-Robot Collaboration in a Simulated Environment", Proc. of ACM/IEEE Int'l Conf. on Human-Robot Interaction, pp.181-182, 2015, 査読有, DOI: 10.1145/2701973.2702035
- [2] Yoshinobu Hagiwara, Yoshiaki Mizuchi, Yongwoon Choi and Tetsunari Inamura: "Cloud VR System with Immersive Interfaces to Collect Humans Gaze and Body Motion Behaviors", Proc. of ACM/IEEE Int'l Conf. on Human-Robot Interaction, pp.175-176, 2015, 査読有り, DOI: 10.1145/2701973.2702013
- [3] Yoshinobu Hagiwara, Tetsunari Inamura, Yoshiaki Mizuchi and Yongwoon Choi: "Cloud VR System with Immersive Interfaces for the Collection of Human Gaze-Controls and Interpersonal-Behaviors", Proc. of IEEE/SICE Int'l Symp. on System Integration, pp.169-174, 2014, 査読有, DOI:10.1109/SII.2014.7028032
- [4] Raghvendra Jain and Tetsunari Inamura: "Learning of usage of tools based on interaction between humans and robots", proc. of the 4th Annual IEEE Int'l Conf. on CYBER Technology in Automation, Control, and Intelligent Systems, pp.597-602, 2014, 査読有, DOI:10.1109/CYBER.2014.6917531
- [5] Jeffrey Too Chuan Tan, Keisuke Okuno and Tetsunari Inamura: "Integration of Work Operation and Embodied Multimodal Interaction in Task Modeling for Collaborative Robot Development", proc. of the 4th Annual IEEE Int'l Conf. on CYBER Technology in Automation, Control, and Intelligent Systems, pp.615-618, 2014, 査読有, DOI: 10.1109/CYBER.2014.6917534
- [6] Karinne Ramirez-Amaro, Tetsunari Inamura, Emmanuel Dean Leon, Michael Beetz, Gordon Cheng: "Bootstrapping Humanoid Robot Skills by Extracting Semantic Representations of Human-like Activities from Virtual Reality", Proc. of the IEEE-RAS Int'l Conf. on Humanoid Robots, pp.438-443, 2014, 査読有, DOI: 10.1109/HUMANOIDS.2014.7041398
- [7] 谷口 彰, 吉崎 陽紀, 稲邑 哲也, 谷口 忠大: "自己位置と場所概念の同時推定に関する研究", システム制御情報学会論文誌, Vol.27, No.4, pp.166-177, 2014, 査読有, DOI: 10.5687/iscie.27.166
- [8] 稲邑 哲也, タン ジェフリー, 萩原 良信, 杉浦 孔明, 長井 隆行, 岡田 浩之: "大規模長時間のインタラクションを可能にするロボカップ@ホームシミュレーションの構想とその基盤技術" 知能と情報, Vol.26, No.3, pp.698-709, 2014, 査読有, DOI: 10.3156/jsoft.26.698
- [9] Tetsunari Inamura, Jeffrey Too Chuan Tan, Komei Sugiura, Takayuki Nagai, Hiroyuki Okada: "Development of RoboCup@Home Simulation towards Long-term Large Scale HRI", Lecture Notes in Computer Science: RoboCup 2013: Robot World Cup XVII, Vol.8371, pp.672-680, 2014, 査読有, DOI: 10.1007/978-3-662-44468-9_64
- [10] 稲邑 哲也: "社会的知能研究のためのシミュレーションプラットフォーム:SIGVerse" 日本ロボット学会誌 Vol.31. pp.240-243, 2013, 査読無, DOI: 10.7210/jrsj.31.240
- [11] 稲邑 哲也: "cyber-physical ネットワークロボティクス - 社会的・身体的知能シミュレータ SIGVerse の展開 - " 情報処理, Vol.54. pp.698-701, 2013, 査読無, <http://ci.nii.ac.jp/naid/1100095798>
- [12] Jeffrey Too Chuan Tan and Tetsunari Inamura: "Human-Robot Interaction between Virtual and Real Worlds: Motivation from RoboCup @Home", Lecture Notes in Computer Science: Social Robotics, Vol.8239, pp.239-248, 2013, 査読有, DOI:10.1007/978-3-319-02675-6_24
- [13] Yoshinobu Hagiwara and Tetsunari Inamura: "Object Recognition Using Lighting Condition Database Based on Long-time Observation in Virtual Environment" Proc. Of IEEE/SICE Int'l Symp. on System Integration, pp.766-771, 2013, 査読有, DOI:10.1109/SII.2013.6776707
- [14] Yoshinobu Hagiwara and Tetsunari Inamura: "Effectiveness evaluation of view-based navigation for obstacle avoidance" Int'l Conf. on Control,

- Automation and Systems, pp.1029-1033, 2013, 査読有, DOI: 10.1109/ICCAS.2013.6704068
- [15] Raghvendra Jain and Tetsunari Inamura: "Bayesian Learning of Tool Affordances Based on Generalization of Functional Feature to Estimate Effects of Unseen Tools", Artificial Life and Robotics, Vol.18. pp.95-103, 2013, 査読有, DOI: 10.1007/s10015-013-0105-1
- [16] Jeffrey Too Chuan Tan, Tetsunari Inamura: "Integration of Work Sequence and Embodied Interaction for Collaborative Work Based Human-Robot Interaction" ACM/IEEE Int'l Conf. on Human-Robot Interaction, pp.239-240, 2013, 査読有, DOI: 10.1109/HRI.2013.6483590
- [17] Tetsunari Inamura Jeffrey Too Chuan Tan: "Development of RoboCup @Home Simulator: Simulation platform that enables long-term large scale HRI" ACM/IEEE Int'l Conf. on Human-Robot Interaction, pp.145-146, 2013, 査読有, DOI: 10.1109/HRI.2013.6483543
- [18] Jeffrey Too Chuan TAN, Tetsunari Inamura: "Multimodal Human-Robot Interaction with Chatterbot System: Extending AIML towards Supporting Embodied Interactions", Proc. Of IEEE Int'l Conf. on Robotics and Biomimetics, pp.1727-1732, 2012, 査読有, DOI: 10.1109/ROBIO.2012.6491217
- [19] Tetsunari Inamura, Jeffrey Too Chuan TAN: "Long-term Large Scale Human-Robot Interaction Platform through Immersive VR System -Development of RoboCup @Home Simulator-" Proc. of IEEE/SICE Int'l Symp. on System Integration, pp.242-247, 2012, 査読有, DOI: 10.1109/SII.2012.6426942
- [20] Keisuke Okuno and Tetsunari Inamura: "Analysis and Modeling of Emphatic Motion Use and Symbolic Expression Use by Observing Humans' Motion Coaching Task", Proc. of the 2012 IEEE Int'l Symp. on Robot and Human Interactive Communication, pp.640-645, 2012, 査読有, DOI:10.1109/ROMAN.2012.6343823
- [21] 稲邑 哲也: "社会的知能発生学シミュレータ SIGVerse を用いた記号創発ロボティクスの展開" 人工知能学会誌, Vol.27, pp.619-624, 2012, 査読無, <http://ci.nii.ac.jp/naid/110009554581>
- [22] Tetsunari Inamura: "Human-Robot Cooperation system using Shared Cyber Space that connects to Real World" Proc.of 1st Int'l Conf. on Simulation and Modeling Methodologies, Technologies and Applications, pp.429-434, 2011, 査読有, DOI: 10.5220/0003620904290434
- [23] Jeffrey Too Chuan Tan, Tetsunari Inamura: "What Are Required to Simulate Interaction with Robot? SIGVerse-A Simulation Platform for Human-Robot Interaction" Proc.of the 2011 IEEE Int'l Conf. on Robotics and Biomimetics. pp.2878-2883, 2011, 査読有, DOI: 10.1109/ROBIO.2011.6181742
- [24] Raghvendra Jain, Tetsunari Inamura: "Learning of Tool Affordances for Autonomous Tool Manipulation" Proceedings of the 2011 IEEE/SICE Int'l Symp. on System Integration, pp.814-819, 2011, 査読有, DOI: 10.1109/SII.2011.6147553
- [25] Keisuke Okuno and Tetsunari Inamura: "Motion Coaching with Emphatic Motions and Adverbial Expressions for Human beings by Robotic System -Method for Controlling Motions and Expressions with Sole Parameter-", IEEE/RSJ Int'l Conf. on Intelligent Robots and Systems, pp.3381-3386, 2011, 査読有, DOI: 10.1109/IROS.2011.6094683
- [26] Saifuddin Md. Tareeq and Tetsunari Inamura: "Management of Experience Data for Rapid Adaptation to New Preferences based on Bayesian Significance Evaluation", Advanced Robotics, Vol.25, No.18, pp.2273-2291, 2011, 査読有, DOI: 10.1163/016918611X603828
- 〔学会発表〕(計 16 件)
- [1] 萩原 良信, 水地 良明, 崔 龍雲, 稲邑 哲也: "三次元空間における人間の注意・判断行動の収集を可能とする没入型インタフェースを伴うクラウド型 VR システム", 第 20 回ロボティクスシンポジウム, 2015/3/15, 軽井沢プリンスホテル (長野県北佐久郡)
- [2] 稲邑 哲也: "クラウド型仮想現実を用いた対話型ロボット研究" (招待講演), 第 135 回産学交流サロン「ひびきのサロン」, 2015/3/5, 北九州学術研究都市 (福岡県北九州市)
- [3] Tetsunari Inamura, Yutaka Oouchida, Hajime Asama, Jun Ota, Shin-ichi Izumi: "Development of virtual reality interface for phantom limb pain based on modeling of change of body scheme", ICME International

- Conference on Complex Medical Engineering, 2014/6/27, Taipei(Taiwan)
- [4] Tetsunari Inamura: "The SIGVerse project: Simulator Platform for Cognitive Social Robotics" (Invited Speaker), IEEE International Conference on CYBER Technology in Automation, Control, and Intelligent Systems, 2014/6/6, Hong Kong(China)
- [5] Tetsunari Inamura: "Robotic Coaching System: Behavior Recognition and Demonstration for Human-Robot Cooperation", RSS Workshop: From Experience to Concepts and Back, 2013/6/27, Berlin(Germany)
- [6] 萩原良信, 稲邑哲也: "仮想環境における物体の見え方変動データベースの構築と実環境での応用" 第 19 回ロボティクスシンポジウム, 2014/03/13-2014/03/14, 有馬グランドホテル(兵庫県神戸市)
- [7] Tetsunari Inamura: "A New Dimension for RoboCup@Home: Human-Robot Interaction between Virtual and Real Worlds" ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction, 2014/3/5, Bielefeld(Germany)
- [8] 稲邑哲也: "社会的知能発生学シミュレータ:SIGVerse を用いた RoboCup@Home Simulationの展開" 第 38 回 ISIT 技術セミナー(招待講演), 2013/8/6, 福岡 SRP センタービル(福岡県福岡市)
- [9] Tetsunari Inamura: "Simulator Platform for Cognitive Social Robots" Shonan Meeting: Cognitive Social Robotics: Intelligence based on Embodied Experience and Social Interaction, 2013/11/11-2013/11/14, 湘南国際村センター(神奈川県葉山町)
- [10] 稲邑哲也: "社会的知能発生学シミュレータ:SIGVerse とその展開" 社会的知能発生学研究会公開シンポジウム, 2013/3/18, ベルサール神保町(東京都千代田区)
- [11] Tetsunari Inamura: "Simulation Platform that Enables Long-Term Large Scale HAI -Development of Robo Cup @Home Simulator-" International Workshop on Human-Agent Interaction, 2012/10/11, Algarve(Portugal)
- [12] 稲邑哲也: "社会的知能発生学シミュレータ:SIGVerse" 第 18 回創発システムシンポジウム, 2012/9/3, 同志社リトリートセンター(滋賀県大津市)
- [13] Jeffrey Too Chuan TAN, Tetsunari Inamura: "SIGVerse - a Cloud Computing Architecture Simulation Platform for Social Human-Robot Interaction" IEEE Int'l Conf. on Robotics & Automation,

- 2012/5/14-2012/5/18, Minnesota(USA)
- [14] 稲邑哲也: "社会的知能発生学シミュレータ SIGVerse を用いた記号創発ロボティクスの展開" 2011 年度人工知能学会全国大会, 2011/6/2, いわて県民情報交流センター(岩手県盛岡市)
- [15] Tetsunari Inamura: "Behavior Recognition and Demonstration for Human-Robot Cooperation" Dagstuhl Seminar on Plan Recognition (No.11141), 2011/4/7, Dagstuhl (Germany) (招待講演)
- [16] 稲邑哲也: "身体性に基づく社会的知能研究のためのシミュレータ SIGVerse" 第 67 回日本ロボット学会ロボット工学セミナー, 2011/10/24, 東京電機大学(東京都千代田区)(招待講演)

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕
出願状況(計 0 件)

取得状況(計 1 件)

名称: SIGVerse
 発明者:
 権利者: 大学共同利用機関法人情報・システム研究機構
 種類: 商標(標準文字)
 番号: 登録第 5649553 号
 出願年月日: 平成 25 年 10 月 2 日
 取得年月日: 平成 26 年 2 月 14 日
 国内外の別: 日本, アメリカ合衆国, 欧州, 中国

〔その他〕
 ホームページ等
<http://www.sigverse.org/>

6. 研究組織
 (1) 研究代表者
 稲邑 哲也 (INAMURA, Tetsunari)
 国立情報学研究所・情報学プリンシプル研究系・准教授
 研究者番号: 20361545

(2) 研究分担者

(3) 連携研究者
 萩原 良信 (HAGIWARA, Yoshinobu)
 国立情報学研究所・情報学プリンシプル研究系・特任研究員(平成 25~26 年度)
 研究者番号: 20609416

タン ジェフリー (TAN, Jeffrey)
 国立情報学研究所・情報学プリンシプル研究系・特任研究員(平成 23~24 年度)
 研究者番号: 70599224