様　式　Ｃ－１９、Ｆ－１９－１、Ｚ－１９　（共通）

科学研究費助成事業　　研究成果報告書

令和　６ 年　６ 月 １６ 日現在

機関番号：１２６１２
研究種目：基盤研究(B)（一般）
研究期間：2020～2023
課題番号：２０Ｈ０４１７４

研究課題名（和文）AI-empowered Point Cloud Video Streaming

研究課題名（英文）AI-empowered Point Cloud Video Streaming

研究代表者
劉　志（Liu, Zhi）

電気通信大学・大学院情報理工学研究科・准教授

研究者番号：９０７５０２４０

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費）　13,200,000円

研究成果の概要（和文）：この研究の目的は、高品質なポイントクラウド映像のストリーミングを実現することです。具体的には、映像のエンコードとデコードの高度な複雑さに対処し、深層ニューラルネットワークなどのAI技術を活用して将来の視聴角度を予測し、ポイントクラウド映像の未視聴部分の伝送を最小限に抑えたいと考えています。深層強化学習などのAI技術を使用してネットワークリソースを効率的に管理し、ユーザーが受信するポイントクラウド映像の品質を最大化することを目指します。最終的には、性能を検証し、提案された手法を改良するためのプロトタイプの構築を計画しています。

研究成果の学術的意義や社会的意義
ポイントクラウド映像（点群映像）システムは、ユーザーに六自由度の没入型視聴体験を提供し、3Dシーンの任意の視点を自由に選択できるようにします。この技術は次世代の映像技術として期待されており、その卓越した視聴体験と異なる視点からの視聴が可能な特性から、学術界と産業界の両方で注目を集め、多くの応用分野で広く利用されています。
また、このプロジェクトで開発された技術は、この分野の研究課題を解決するだけでなく、他の関連する研究課題の解決にも役立つ可能性があります。

研究成果の概要（英文）：This project aims to provide a high quality point cloud video streaming. In particular, we would like to solve the high complexity issue of the video encoding/decoding to facilitate the point cloud video transmission. Then we would like to use AI technologies, such as deep neural networks, to predict future viewing angle to eventually avoid transmitting the unwatched part of the point cloud video. We also would like to use the AI technologies, such as deep reinforcement learning, to manage the network resources to maximize the quality of point cloud video received by users. To provide the computation capacity required for the encoding, transcoding and decoding, AI technologies will also be used to help maximize the usage of the nearby available communication and computation resources. Prototype will be built to verify the performance and help adjust the designed schemes accordingly.

研究分野：情報ネットワーク

キーワード：point cloud　MEC　Video streaming　AI　VR/AR/MR　reinforcement learning　prediction

※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、研究者個人に帰属します。

様　式　Ｃ－１９、Ｆ－１９－１、Ｚ－１９（共通）

１．研究開始当初の背景

ポイントクラウド映像（点群映像）は、3 次元空間内に表現される点から成り立ち、各点は座標や色など複数の属性を持っています。これはホログラムの最も一般的な表現形式であり、次世代の映像技術として期待されています。ポイントクラウド映像システムは、ユーザーに六自由度の没入型視聴体験を提供し、ユーザーは 3D シーンの任意の視点を自由に選択できます。このような卓越した視聴体験と異なる視点からの視聴が可能な特性から、ポイントクラウド映像は学術界と産業界の両方で注目を集め、多くの応用分野で広く利用されています。

現在のポイントクラウド映像のストリーミング手法は、主に既存の VR 映像伝送方法を引き継いでいます。具体的には、ポイントクラウド映像は 3D タイルに分割され、各 3D タイルの品質が順次選択される仕組みです。しかし、これらの既存の伝送手法はモデルベースであり（ネットワークやシステムリソースのモデリングが必要）、そのため異質で動的なネットワーク環境に適応できません。さらに、これらの伝送手法はポイントクラウド映像のコーデックの効率性と複雑さを完全に考慮していません。

一方で、人工知能（AI）は映像ストリーミングを含むほぼすべての研究分野の発展を促進しています。特に、深層強化学習は、ネットワークリソースのモデリングを必要とせず、過去の行動と結果から学習することができるため、ネットワーク環境の変動に非常に適応します。しかし、ポイントクラウド映像の特殊なデータ構造と伝送要件に関しては、これまでの手法とは異なる課題があり、人工知能をどのようにポイントクラウド映像の伝送システムに適用するかについては、まだ多くの研究が必要です。

２．研究の目的

この研究の目的は、高品質なポイントクラウド映像ストリーミングのために、先述の問題を解決することです。具体的には、映像のエンコード/デコードの高い複雑さに対処し、深層ニューラルネットワークなどの AI 技術を活用して将来の視聴角度を予測し、ポイントクラウド映像の未視聴部分の伝送を最小限に抑えたいと考えています。設計されたエンコーディング手法に基づき、深層強化学習などの AI 技術を使ってネットワークリソースを効率的に管理し、ユーザーが受信するポイントクラウド映像の品質を最大化することを目指します。最終的には、性能を検証し、設計された手法を調整するためのプロトタイプの構築を計画しています。

３．研究の方法

これの研究問題に対して、ポイントクラウド映像の特性を十分に考慮し、コンピュータネットワーク、信号処理、最適化、AI などの観点から、視角の予測、伝送の最適化、システムの実装など、多岐に渡るアプローチを総合的に検討しています。具体的な手法と実現された成果については、次の研究成果セクションで説明します。

４．研究成果

次に、この研究から得られた一部の結果を紹介します。

1. 視点予測

ユーザーが常に映像の一部分、すなわちビューポート(或いは視点）を見ているという特性があります。視聴中、ユーザーは自由に視点を変えることができます。ユーザーの視点を予測し、ユーザーが好む部分のみを伝送することで帯域幅の浪費を減らすことができます。したがって、視点予測の方法が本研究の重点です。この点において、私たちは主に、ユーザーの過去の視聴履歴と映像の重要性情報を融合して予測を行います。具体的には、特徴情報の失われることなくポイントクラウド映像のサイズを削減するポイントクラウド映像ダウンサンプリング手法を設計し、その後、新しい深層ネットワークを開発してより良い重要性学習を行います。これにより、低複雑度で高い効果を得ることができます。これらの情報は、過去の履歴から学習した情報をLSTM で統合することで予測結果を得ます。

実験結果では、提案された深層学習フレームワークがより良い重要性情報を獲得し、予測方法もより高い予測精度を提供することを示しています。また、Transformer を基盤としたネットワークも設計し、全体のプロセスを更新し、より良い効果を達成しました。

2. セマンティックタイリング

前述したように、ユーザーは基本的に特定の部分のみを視聴しますので、ユーザーが視聴する部分のみを伝送することがより良い選択肢です。この目的を達成するためには、映像をタイルに分割し、各切り出された部分をタイルと呼びます。これにより、映像全体ではなく関連するタイルのみを伝送することができ、帯域幅の損失を減少させることができます。現在の切り分けは均等に行われており、つまり各タイルのサイズが同じです。

ユーザーの視聴領域とよりよく一致するためには、多くの小さなタイルに分割する必要があります。しかし、タイルをより多く分割すると、同じ領域のエンコードとデコードに必要な時間が長くなり、本来複雑なエンコード・デコード部分がさらに多くの時間を要することで、伝送性能が低下します。より小さなタイルで良好なマッチング率（視聴領域と伝送領域の一致）を実現する方法が重要な問題となります。

私たちは新しいクタイリング方法（セマンティックタイリング）を提案しました。まず、映像を非常に多くの小さなタイルに分割し、その後、機械学習の手法を使用してこれらのタイルを集約します。これにより、意味的に一致する部分がタイルとなり、タイルの数を減らすことができます。実際の映像システムでの実験では、提案された方法が効果的であることが示されています。例えば、約 12 個のタイルを使用する場合、36 個のタイルよりも良いマッチング率を達成し、同時に複雑さが低いことを示しています。

3.　伝送最適化

　ユーザーの視点を取得した後、どのタイルをユーザーに伝送すべきかを確定することができます。無線ネットワークの帯域幅は時間とともに変動します。帯域幅が高い場合は高品質の映像タイルを伝送し、帯域幅が低い場合は低品質の映像タイルを伝送することで、ユーザーが受信する映像の品質を最適化することができます。帯域幅に基づいた伝送最適化方法が重要な問題です。私たちは、DASH（Dynamic Adaptive Streaming over HTTP）に基づく映像伝送アーキテクチャを設計し、数学的最適化を適用することで伝送の効率を高め、優れた結果を達成しました。

同時に、深層強化学習を用いた転送最適化の結果は、従来の方法と比較して、提案された手法の成果がはるかに優れています。

4.　システムの実装

システムの実装も行いました。これには、伝送部分と視点予測システムが含まれます。 伝送システムでは、市場で購入可能な WiFi ルーターと PC を使用し、スムーズな伝送を実現しました。 視点予測では、約 90%の正確度を達成し、リアルタイムでの実行と処理が可能です。

関連するデモは IEEE INFOCOM と ACM Mobisys に発表され、オンラインでも公開されています。

５．主な発表論文等

〔雑誌論文〕　計40件（うち査読付論文　31件／うち国際共著　22件／うちオープンアクセス　0件）

１．著者名 Li Jie、Wang Huiyu、Liu Zhi、Zhou Pengyuan、Chen Xianfu、Li Qiyue、Hong Richang	４．巻 33
２．論文標題 Toward Optimal Real-Time Volumetric Video Streaming: A Rolling Optimization and Deep Reinforcement Learning Based Approach	５．発行年 2023年
３．雑誌名 IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology	６．最初と最後の頁 7870～7883
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/TCSVT.2023.3277893	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

１．著者名 Tallat Raiha、Hawbani Ammar、Wang Xingfu、Al-Dubai Ahmed、Zhao Liang、Liu Zhi、Min Geyong、Zomaya Albert Y.、Alsamhi Saeed Hamood	４．巻 －
２．論文標題 Navigating Industry 5.0: A Survey of Key Enabling Technologies, Trends, Challenges, and Opportunities	５．発行年 2024年
３．雑誌名 IEEE Communications Surveys & Tutorials	６．最初と最後の頁 1～1
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/COMST.2023.3329472	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

１．著者名 Aoyagi Shunji、Horie Yuki、Thi Thu Hien Do、Duc Ngo Thanh、Le Duy-Dinh、Nguyen Kien、Sekiya Hiroo	４．巻 15
２．論文標題 An Accurate Platform for Investigating TCP Performance in Wi-Fi Networks	５．発行年 2023年
３．雑誌名 Future Internet	６．最初と最後の頁 246～246
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3390/fi15070246	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 －

１．著者名 Chen Jiayang、Masaki Hideya、Nguyen Kien、Sekiya Hiroo	４．巻 12
２．論文標題 QoE Provisioning System for VoIP and Video Streaming Using Software-Defined Networking and IOTA Micropayment	５．発行年 2023年
３．雑誌名 IEICE Communications Express	６．最初と最後の頁 587～590
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.23919/comex.2023COL0002	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 －

１．著者名 Li Jie、Han Ling、Zhang Chong、Li Qiyue、Liu Zhi	４．巻 19
２．論文標題 Spherical Convolution Empowered Viewport Prediction in 360 Video Multicast with Limited FoV Feedback	５．発行年 2023年
３．雑誌名 ACM Transactions on Multimedia Computing, Communications, and Applications	６．最初と最後の頁 1～23
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1145/3511603	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 －

１．著者名 Li Qiyue、Deng Yuxing、Liu Xin、Sun Wei、Li Weitao、Li Jie、Liu Zhi	４．巻 -
２．論文標題 Autonomous Smart Grid Fault Detection	５．発行年 2023年
３．雑誌名 IEEE Communications Standards Magazine	６．最初と最後の頁 1～9
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/MCOMSTD.0001.2200019	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 －

１．著者名 Li Qiyue、Luo Huan、Cheng Hong、Deng Yuxing、Sun Wei、Li Weitao、Liu Zhi	４．巻 72
２．論文標題 Incipient Fault Detection in Power Distribution System: A Time?Frequency Embedded Deep-Learning-Based Approach	５．発行年 2023年
３．雑誌名 IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement	６．最初と最後の頁 1～14
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/TIM.2023.3250220	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 －

１．著者名 Gu Yu、Zhang Xiang、Wang Yantong、Wang Meng、Yan Huan、Ji Yusheng、Liu Zhi、Li Jianhua、Dong Mianxiong	４．巻 52
２．論文標題 WiGRUNT: WiFi-Enabled Gesture Recognition Using Dual-Attention Network	５．発行年 2022年
３．雑誌名 IEEE Transactions on Human-Machine Systems	６．最初と最後の頁 736～746
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/THMS.2022.3163189	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 －

1．著者名 Shao Xun、Hasegawa Go、Dong Mianxiong、Liu Zhi、Masui Hiroshi、Ji Yusheng	4．巻 16
2．論文標題 An Online Orchestration Mechanism for General-Purpose Edge Computing	5．発行年 2023年
3．雑誌名 IEEE Transactions on Services Computing	6．最初と最後の頁 927～940
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/TSC.2022.3164149	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 －

1．著者名 Nguyen Anh Duy、Le Nguyen Phi、Vu Viet Hung、Pham Quoc Viet、Nguyen Viet Huy、Nguyen Minh Hieu、Nguyen Thanh Hung、Nguyen Kien	4．巻 12
2．論文標題 Accurate discharge and water level forecasting using ensemble learning with genetic algorithm and singular spectrum analysis-based denoising	5．発行年 2022年
3．雑誌名 Scientific Reports	6．最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1038/s41598-022-22057-8	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 －

1．著者名 Tsuru Taichi、Hasegawa Mikio、Shoji Yozo、Nguyen Kien、Sekiya Hiroo	4．巻 -
2．論文標題 An implementation and evaluation of MPTCP-based IoT router	5．発行年 2023年
3．雑誌名 Multimedia Tools and Applications	6．最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/s11042-023-14781-8	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 －

1．著者名 Masaki Hideya、Nguyen Kien、Sekiya Hiroo	4．巻 14
2．論文標題 Fine-grained QoS provisioning with micropayments in wireless networks	5．発行年 2023年
3．雑誌名 Nonlinear Theory and Its Applications, IEICE	6．最初と最後の頁 50～65
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1587/nolta.14.50	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 －

1．著者名 Pal Amitangshu、Wang Junbo、Wu Yilang、Kant Krishna、Liu Zhi、Sato Kento	4．巻 XX
2．論文標題 Social Media Driven Big Data Analysis for Disaster Situation Awareness: A Tutorial	5．発行年 2022年
3．雑誌名 IEEE Transactions on Big Data	6．最初と最後の頁 1～1
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/TBDATA.2022.3158431	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1．著者名 Li Jie、Han Ling、Zhang Chong、Li Qiyue、Liu Zhi	4．巻 XX
2．論文標題 Spherical Convolution empowered Viewport Prediction in 360 Video Multicast with Limited FoV Feedback	5．発行年 2022年
3．雑誌名 ACM Transactions on Multimedia Computing, Communications, and Applications	6．最初と最後の頁 XXXXX
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1145/3511603	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1．著者名 Chen Xianfu、Wu Celimuge、Chen Tao、Liu Zhi、Zhang Honggang、Bennis Mehdi、Liu Hang、Ji Yusheng	4．巻 40
2．論文標題 Information Freshness-Aware Task Offloading in Air-Ground Integrated Edge Computing Systems	5．発行年 2022年
3．雑誌名 IEEE Journal on Selected Areas in Communications	6．最初と最後の頁 243～258
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/JSAC.2021.3126075	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1．著者名 Liu Zhi、Li Qiyue、Chen Xianfu、Wu Celimuge、Ishihara Susumu、Li Jie、Ji Yusheng	4．巻 35
2．論文標題 Point Cloud Video Streaming: Challenges and Solutions	5．発行年 2021年
3．雑誌名 IEEE Network	6．最初と最後の頁 202～209
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/MNET.101.2000364	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

１．著者名 Zhao Lingzhi、Cui Ying、Liu Zhi、Zhang Yunfei、Yang Sheng	４．巻 30
２．論文標題 Adaptive Streaming of 360 Videos With Perfect, Imperfect, and Unknown FoV Viewing Probabilities in Wireless Networks	５．発行年 2021年
３．雑誌名 IEEE Transactions on Image Processing	６．最初と最後の頁 7744～7759
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/TIP.2021.3099741	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

１．著者名 Chen Xianfu、Wu Celimuge、Liu Zhi、Zhang Ning、Ji Yusheng	４．巻 28
２．論文標題 Computation Offloading in Beyond 5G Networks: A Distributed Learning Framework and Applications	５．発行年 2021年
３．雑誌名 IEEE Wireless Communications	６．最初と最後の頁 56～62
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/MWC.001.2000296	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

１．著者名 Guo Chengjun、Zhao Lingzhi、Cui Ying、Liu Zhi、Ng Derrick Wing Kwan	４．巻 20
２．論文標題 Power-Efficient Wireless Streaming of Multi-Quality Tiled 360 VR Video in MIMO-OFDMA Systems	５．発行年 2021年
３．雑誌名 IEEE Transactions on Wireless Communications	６．最初と最後の頁 5408～5422
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/TWC.2021.3067803	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

１．著者名 Chen Xuan、Nguyen Kien、Sekiya Hiroo	４．巻 NA
２．論文標題 On the Latency Performance in Private Blockchain Networks	５．発行年 2022年
３．雑誌名 IEEE Internet of Things Journal	６．最初と最後の頁 1～1
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/JIOT.2022.3165666	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 －

1．著者名	4．巻
Nakada Ryota、Nguyen Kien、Sekiya Hiroo	25
2．論文標題 Implementation of Micropayment System Using IoT Devices	5．発行年 2021年
3．雑誌名 Journal of Signal Processing	6．最初と最後の頁 137～140
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.2299/jsp.25.137	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 －

1．著者名	4．巻
Chen Xuan、Tian Shujuan、Nguyen Kien、Sekiya Hiroo	13
2．論文標題 Decentralizing Private Blockchain-IoT Network with OLSR	5．発行年 2021年
3．雑誌名 Future Internet	6．最初と最後の頁 168～168
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3390/fi13070168	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 －

1．著者名	4．巻
Huang Shaobo、Zeng Zhiwen、Ota Kaoru、Dong Mianxiong、Wang Tian、Xiong Neal N.	8
2．論文標題 An Intelligent Collaboration Trust Interconnections System for Mobile Information Control in Ubiquitous 5G Networks	5．発行年 2021年
3．雑誌名 IEEE Transactions on Network Science and Engineering	6．最初と最後の頁 347～365
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/TNSE.2020.3038454	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1．著者名	4．巻
Li Chaoyang、Dong Mianxiong、Li Jian、Xu Gang、Chen Xiubo、Ota Kaoru	8
2．論文標題 Healthchain: Secure EMRs Management and Trading in Distributed Healthcare Service System	5．発行年 2021年
3．雑誌名 IEEE Internet of Things Journal	6．最初と最後の頁 7192～7202
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/JIOT.2020.3038721	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1．著者名 Tao Xiaoyi、Ota Kaoru、Dong Mianxiong、Qi Heng、Li Keqiu	4．巻 8
2．論文標題 Congestion-Aware Scheduling for Software-Defined SAG Networks	5．発行年 2021年
3．雑誌名 IEEE Transactions on Network Science and Engineering	6．最初と最後の頁 2861～2871
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/TNSE.2021.3055372	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1．著者名 Zhang Chaofeng、Dong Mianxiong、Ota Kaoru	4．巻 18
2．論文標題 Deploying SDN Control in Internet of UAVs: Q-Learning-Based Edge Scheduling	5．発行年 2021年
3．雑誌名 IEEE Transactions on Network and Service Management	6．最初と最後の頁 526～537
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/TNSM.2021.3059159	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 －

1．著者名 Tao Xiaoyi、Ota Kaoru、Dong Mianxiong、Qi Heng、Li Keqiu	4．巻 3
2．論文標題 Cost as Performance: VNF Placement at the Edge	5．発行年 2021年
3．雑誌名 IEEE Networking Letters	6．最初と最後の頁 70～74
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/LNET.2021.3065651	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1．著者名 Wu Celimuge、Liu Zhi、Liu Fuqiang、Yoshinaga Tsutomu、Ji Yusheng、Li Jie	4．巻 6
2．論文標題 Collaborative Learning of Communication Routes in Edge-Enabled Multi-Access Vehicular Environment	5．発行年 2020年
3．雑誌名 IEEE Transactions on Cognitive Communications and Networking	6．最初と最後の頁 1155～1165
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/TCCN.2020.3002253	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1．著者名 Li Jie、Feng Ransheng、Sun Wei、Liu Zhi、Li Qiyue	4．巻 24
2．論文標題 QoE-Driven Coupled Uplink and Downlink Rate Adaptation for 360-Degree Video Live Streaming	5．発行年 2020年
3．雑誌名 IEEE Communications Letters	6．最初と最後の頁 863～867
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/LCOMM.2020.2966193	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1．著者名 Zhang Chaofeng、Dong Mianxiong、Ota Kaoru	4．巻 18
2．論文標題 Deploying SDN Control in Internet of UAVs: Q-Learning-Based Edge Scheduling	5．発行年 2021年
3．雑誌名 IEEE Transactions on Network and Service Management	6．最初と最後の頁 526～537
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/TNSM.2021.3059159	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 －

1．著者名 Xu Jianwen、Ota Kaoru、Dong Mianxiong	4．巻 7
2．論文標題 Big Data on the Fly: UAV-Mounted Mobile Edge Computing for Disaster Management	5．発行年 2020年
3．雑誌名 IEEE Transactions on Network Science and Engineering	6．最初と最後の頁 2620～2630
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/TNSE.2020.3016569	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 －

1．著者名 Huang Shaobo、Zeng Zhiwen、Ota Kaoru、Dong Mianxiong、Wang Tian、Xiong Neal N.	4．巻 8
2．論文標題 An Intelligent Collaboration Trust Interconnections System for Mobile Information Control in Ubiquitous 5G Networks	5．発行年 2021年
3．雑誌名 IEEE Transactions on Network Science and Engineering	6．最初と最後の頁 347～365
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/TNSE.2020.3038454	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1．著者名	4．巻
Zhang Chaofeng、Dong Mianxiong、Ota Kaoru	18
2．論文標題	**5．発行年**
Deploying SDN Control in Internet of UAVs: Q-Learning-Based Edge Scheduling	2021年
3．雑誌名	**6．最初と最後の頁**
IEEE Transactions on Network and Service Management	526～537
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子）	**査読の有無**
10.1109/TNSM.2021.3059159	有
オープンアクセス	**国際共著**
オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	－

1．著者名	4．巻
Kanematsu Takeshi、Wan Yin、Sanada Kosuke、Li Zhetao、Pei Tingrui、Choi Young-June、Nguyen Kien、Sekiya Hiroo	1
2．論文標題	**5．発行年**
Throughput and Delay Analysis of IEEE 802.11-Based Tree-Topology Networks	2020年
3．雑誌名	**6．最初と最後の頁**
IEEE Open Journal of the Communications Society	1295～1305
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子）	**査読の有無**
10.1109/OJCOMS.2020.3021129	有
オープンアクセス	**国際共著**
オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	該当する

〔学会発表〕　計19件（うち招待講演　1件／うち国際学会　19件）

1．発表者名
Yangfei Lin, Celimuge Wu, Yusheng Ji, Jie Li, Zhi Liu,
2．発表標題
Blockchain Based Se- cure Outsourcing Data Integrity Auditing for Internet of Things in Cloud-edge Environment
3．学会等名
The 18th International Conference on Mobility, Sensing and Net- working (IEEE MSN 2022)（招待講演）（国際学会）
4．発表年
2022年

1．発表者名
Cunhui Zhang, Yangjie Cao, Zhi Liu, Rui Yin, Yongdong Zhu, Xianfu Chen
2．発表標題
Trans-RL: A Prediction-Control Approach for QoE-Aware Point Cloud Video Stream
3．学会等名
2022 IEEE Global Communications Conference (Globecom)（国際学会）
4．発表年
2022年

１．発表者名
Jinmeng Fan, Hao Zhou, Xiaoyan Wang, Zhi Liu, Xiang-yang L

２．発表標題
WiVi: WiFi- Video Cross-Modal Fusion based Multi-Path Gait Recognition System

３．学会等名
IEEE/ACM International Symposium on Quality of Service (IWQoS 2022),（国際学会）

４．発表年
2022年

１．発表者名
Peng Xia, Hao Zhou, Shenyao Jiang, Fan Deng, Zhi Liu, Xiangyang Li

２．発表標題
Time- Frequency Analysis-Based Transient Feature Extraction for Load Monitoring

３．学会等名
IEEE International Conference on Parallel and Distributed Systems 2022 (IEEE ICPADS 2022（国際学会）

４．発表年
2022年

１．発表者名
Minh Hai Vu, Giang T. T. Nguyen, Thanh Trung Nguyen, Hai Dang Tran, Phan Thuan Do, Phi Le Nguyen, Kien Nguyen

２．発表標題
An Empirical Study of MPQUIC Schedulers in Mobile Wireless Network:

３．学会等名
ACM SoICT（国際学会）

４．発表年
2022年

１．発表者名
Thanh Trung Nguyen, Minh Hai Vu, Phi Le Nguyen, Phan Thuan Do, Kien Nguyen,

２．発表標題
A Q-learning-based Multipath Scheduler for Data Transmission Optimization in Heterogeneous Wireless Networks

３．学会等名
IEEE CCNC 2023（国際学会）

４．発表年
2023年

１．発表者名
Yue Su, Kien Nguyen, Hiroo Sekiya

２．発表標題
Latency Evaluation in Ad-hoc IoT-Blockchain Network

３．学会等名
IEEE WCSE（国際学会）

４．発表年
2022年

１．発表者名
Hai Lin, Bo Zhang, Yangjie Cao, Zhi Liu, Xianfu Chen

２．発表標題
A Deep Reinforcement Learning Approach for Point Cloud Video Transmissions

３．学会等名
2021 IEEE 94th Vehicular Technology Conference (VTC2021-Fall)（国際学会）

４．発表年
2021年

１．発表者名
Chengjun Guo, Ying Cui, Zhi Liu, Derrick Wing Kwan Ng

２．発表標題
Optimal transmission of multi-quality tiled 360 VR video in MIMO-OFDMA systems

３．学会等名
ICC 2021-IEEE International Conference on Communications（国際学会）

４．発表年
2021年

１．発表者名
Yue Su, Kien Nguyen, Hiroo Sekiya

２．発表標題
Recovery Time Evaluation of Ad-hoc Routing Protocols in IoT-Blockchain

３．学会等名
IEEE 4th Global Conference on Life Sciences and Technologies (LifeTech),（国際学会）

４．発表年
2022年

1．発表者名 Kien Nguyen, Phi Le Nguyen, Hiroo Sekiya
2．発表標題 A Host-based Investigation of IPv6 in Academia: The Cases of Japan and Vietnam
3．学会等名 , IEEE Consumer Communications & Networking Conference (CCNC)（国際学会）
4．発表年 2022年

1．発表者名 Hideya Masaki, Kien Nguyen, Hiroo Sekiya
2．発表標題 A QoS-guaranteed System with Software Defined Networking and Micropayment:
3．学会等名 The 26th IEEE Asia-Pacific Conference on Communications (APCC)（国際学会）
4．発表年 2021年

1．発表者名 Xuan Chen, Ryota Nakada, Kien Nguyen, Hiroo Sekiya
2．発表標題 A Comparison of Distributed Ledger Technologies in IoT: IOTA Versus Ethereum
3．学会等名 The 20th IEEE International Symposium on Communications and Information Technologies (ISCIT 2021),（国際学会）
4．発表年 2021年

1．発表者名 Ryota Nakada, Zhetao Li, Tingrui Pei, Kien Nguyen, Hiroo Sekiya
2．発表標題 An IOTA-Based Micropayment System for Air Quality Monitoring Application
3．学会等名 IEEE 94th Vehicular Technology Conference (VTC2021-Fall)（国際学会）
4．発表年 2021年

1．発表者名 Nang Hung Nguyen, Phi Le Nguyen, Hieu Dinh, Thanh Hung Nguyen, Kien Nguyen
2．発表標題 Multi-Agent Multi-Armed Bandit Learning for Offloading Delay Minimization in V2X Networks
3．学会等名 IEEE international conference on embedded and ubiquitous computing (EUC 2021)（国際学会）
4．発表年 2021年

1．発表者名 Xianfu Chen, Celimuge Wu, Tao Chen, Zhi Liu, Mehdi Bennis, and Yusheng Ji
2．発表標題 Age of Information-Aware Resource Awareness in UAV-Assisted Mobile-Edge Computing Systems
3．学会等名 2020 IEEE Global Communications Conference (Globecom)（国際学会）
4．発表年 2020年

1．発表者名 Lingzhi Zhao, Chengjun Guo, Ying Cui, Zhi Liu
2．発表標題 Optimal Transmission of 360 VR Videos with Perfect, Imperfect and unknown FoV Viewing Probabilities
3．学会等名 2020 IEEE Global Communications Conference (Globecom)（国際学会）
4．発表年 2020年

1．発表者名 Jie Li, Cong Zhang, Zhi Liu, Wei Sun, Qiyue Li
2．発表標題 Joint Communication and Computational Resource Allocation for QoE-driven Point Cloud Video Streaming
3．学会等名 54th IEEE International Conference on Communications (ICC),（国際学会）
4．発表年 2020年

１．発表者名 Hiroaki Motohashi, Kien Nguyen, Hiroo Sekiy
２．発表標題 Enabling P4-based Multipath Communication in Wireless Networks
３．学会等名 IEEE GLOBECOM Workshop（国際学会）
４．発表年 2020年

〔図書〕　計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

－

６．研究組織

	氏名 （ローマ字氏名） （研究者番号）	所属研究機関・部局・職 （機関番号）	備考
研究分担者	太田　香 (Ota Kaoru) (50713971)	室蘭工業大学・大学院工学研究科・文部科学省卓越研究員（教授） (10103)	
研究分担者	李　鶴 (Li He) (40759891)	室蘭工業大学・大学院工学研究科・文部科学省卓越研究員（准教授） (10103)	
研究分担者	Ｋｉｅｎ　Ｎｇｕｙｅｎ (Nguyen Kien) (80647222)	千葉大学・大学院工学研究院・准教授 (12501)	

７．科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕　計0件

８．本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関			
中国	Hefei University of Technology			
フィンランド	VTT Technical Research Centre of Finland			