

令和 6 年 6 月 27 日現在

機関番号：62615

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2019～2021

課題番号：19H04089

研究課題名(和文) 適応的広域リアルタイム機械学習処理基盤の研究

研究課題名(英文) A Study on Adaptive Distributed Real-time Machine Learning Infrastructure

研究代表者

竹房 あつ子 (Takefusa, Atsuko)

国立情報学研究所・アーキテクチャ科学研究系・教授

研究者番号：70345411

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,400,000円

研究成果の概要(和文)：多様なセンサデータをリアルタイムに学習、推論し、各種サービスや制御システムで活用させるサイバーフィジカルシステム(CPS)の重要性が増している。特に、動画からは多くの情報が得られるため、その解析需要が高まっているが、計算量とデータ量が膨大でエッジとクラウドの計算資源を組み合わせた処理が必要となる。

本研究では、動画解析を伴うCPSのための高効率な適応的広域リアルタイム機械学習処理基盤の構築を目的とし、エッジ・クラウド動画分散機械学習基盤の構築、ターゲットアプリケーションとなる室内動画解析手法の開発、ROS準拠ロボットを用いたセンサ・エッジ・クラウド環境の構築を行った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

センサ、エッジ、クラウドに分散した機械学習および推論処理を可能にする計算基盤は、Society 5.0で必要とされるサイバーフィジカルシステム(CPS)の構築技術として必須のものである。本研究で構築したエッジ・クラウド動画分散機械学習基盤により得られた知見は、効率のよいCPSの構築に貢献することが期待できる。また、合成データを用いた動画解析技術は、動画を扱う多くのアプリケーションや動画を対象とした生成AIへ適用可能である。

研究成果の概要(英文)：Cyber-physical systems (CPS) that can learn and infer from various sensor data in real-time and utilize them in various services and control systems are becoming increasingly important. In particular, there is a growing demand for analyzing video images, as a lot of information can be obtained from them, but the amount of calculations and data required for them is enormous. Therefore, it is necessary to effectively process them by combining edge and cloud computing resources.

In this research, we aimed to build a highly efficient, adaptive, wide-area, real-time machine learning processing platform for CPS that involves video analysis. We constructed an edge-cloud video distributed machine learning platform, developed an indoor video analysis method, and constructed a sensor-edge-cloud environment using a ROS-compliant robot application.

研究分野：計算機システム

キーワード：クラウドコンピューティング エッジコンピューティング リアルタイム処理 機械学習処理基盤 IoT

様式 C-19、F-19-1 (共通)

1. 研究開始当初の背景

多様なセンサデータをリアルタイムに学習、推論し、各種サービスや制御システムへ反映させるサイバーフィジカルシステム(CPS)の重要性が増している。特に、動画データからは多くの情報が得られるため、その解析需要が高まっているが、計算量とデータ量が膨大なため、商用インターネットを介してセンサ側に配備する「エッジ」とクラウドの計算資源を組み合わせる必要がある。しかし、認識精度を維持して必要とされる応答時間でリアルタイムに処理するのは非常に困難である。また、CPSは恒常的に稼働するため、消費電力、データの安心・安全な転送、クラウド利用料等を考慮した高効率な処理が求められる。

2. 研究の目的

本研究では、動画解析を伴うサイバーフィジカルシステム(CPS)のための高効率な適応的広域リアルタイム機械学習処理基盤の構築を目的とした基盤技術の研究開発を行った。具体的には、以下の課題の解決に取り組んだ。まず、エッジとクラウドの計算資源を用いて効率よく動画の分散機械学習を行う手法の開発とクラウドでのリアルタイム解析手法の検討を行った。次に、ターゲットアプリケーションとなる室内動画解析手法の研究を進めた。さらに、ROS 準拠ロボットを用いたセンサ・エッジ・クラウド環境の構築を行った。

3. 研究の方法

動画解析を伴う広域リアルタイム機械学習処理基盤の構築を目指し、以下の研究に取り組んだ。

(1) エッジ・クラウド動画分散機械学習手法の提案とクラウドでのリアルタイム解析手法の開発

(2) 合成動画を用いた室内動画解析手法の開発

(3) ROS 準拠ロボットを用いたアプリケーションの開発とセンサ・エッジ・クラウド環境での評価

これらにより、適応的広域リアルタイム機械学習処理基盤の実現可能性と性能面での課題を明らかにした。

4. 研究成果

主な研究成果は以下の通りである。

(1) エッジ・クラウド動画分散機械学習手法の提案とクラウドでのリアルタイム解析手法の開発 [1][2]

エッジ・クラウド分散機械学習手法として、動画解析における OpenPose を用いた特徴量抽出をエッジデバイスで、特徴量データから動作推定を行う機械学習処理をクラウドで行う手法を提案し、ニューラルネットワークおよび LSTM モデルを用いて特徴量データのみで動作推定ができることを示した。また、リアルタイム解析手法の開発では、学術情報ネットワーク SINET5 の L2 VPN (Virtual Private Network) 環境をモバイル網に延伸した広域データ収集基盤 (モバイル SINET) 環境を用いて、モバイル網に接続されたエッジデバイスから取得された画像データを連続的にクラウドに収集し、機械学習処理を行う広域リアルタイム機械学習処理環境を構築した。エッジ端末で動画の特徴量抽出を行うことを前提とし、Apache Kafka メッセージブローカで特徴量データを収集し、Apache Flink 分散ストリーム処理基盤で並列推論処理を行うシステムを構築し、そのスケーラビリティを確認した。

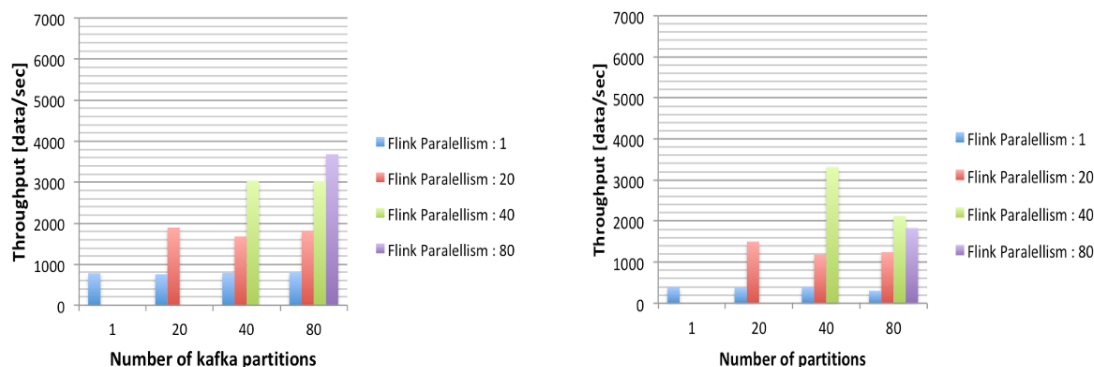


図 1. リアルタイム動画解析スループット. 左はニューラルネットワーク, 右は LSTM の結果.

(2) 合成動画像を用いた室内動画像解析手法の開発[3]

室内動作認識手法の開発では、学習用データ不足を解決するために実際の室内動画像データセットとその環境を模した写実的な合成動画像データセットを Unity を用いて作成し、合成データを室内動作認識のための学習データとして用いる手法を開発した。予備実験から、合成動画像データを用いた学習モデルでは実際の室内動画像における認識精度が低くなることが明らかになった。よって、合成動画像データに対してドメイン適応やドメイン適応を拡張した手法を適用し、認識精度の向上を図った。これにより、合成動画像データで効果的な学習ができることを確認した。

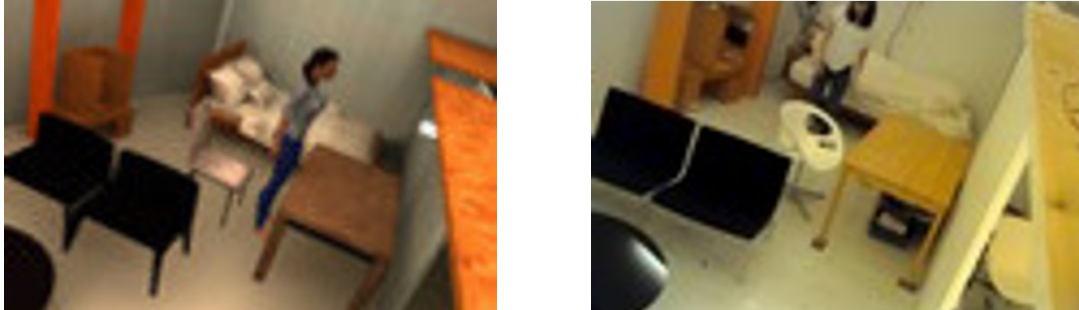


図 2. 室内動作認識のための動画像データセットの例. 左は合成動画像, 右は実際の動画像のスナップショット.

(3) ROS 準拠ロボットを用いたアプリケーションの開発とセンサ・エッジ・クラウド環境での評価[4]

ROS 準拠ロボットを用いた実験では、車輪型移動ロボットを用いて移動させながら室内の複数箇所での環境情報を収集し、エッジサーバを介してクラウド上での解析処理を可能にするオンライン IoT システムを構築し、実現可能性を示した。また、通信環境を変化させた場合のセンサ・エッジ・クラウド間の ROS および IoT 通信の性能特性を明らかにした。

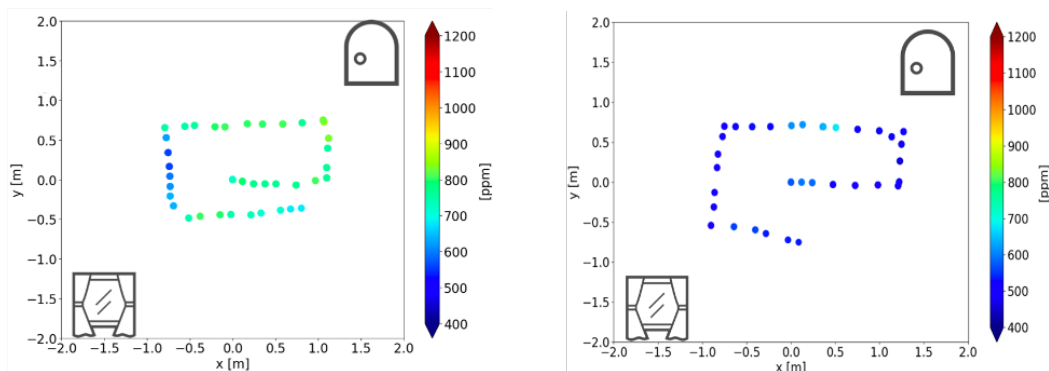


図 3. ROS 準拠ロボットを用いた室内環境可視化アプリケーションの実装例. 観測位置ごとの二酸化炭素濃度の可視化結果. 左は換気前, 右は換気後.

- [1] C. Takasaki, A. Takefusa, H. Nakada and M. Oguchi, A Study of Action Recognition Using Pose Data Toward Distributed Processing Over Edge and Cloud, *2019 IEEE International Conference on Cloud Computing Technology and Science (CloudCom)*, pp. 111-118, 2019, <https://doi.org/10.1109/CloudCom.2019.00027>.
- [2] C. TAKASAKI, A. TAKEFUSA, H. NAKADA, M. OGUCHI, Action Recognition Using Pose Data in a Distributed Environment over the Edge and Cloud, *IEICE Transactions on Information and Systems*, 2021, Volume E104.D, Issue 5, pp.539-550, 2021, <https://doi.org/10.1587/transinf.2020DAP0009>.
- [3] H. Isoi, A. Takefusa, H. Nakada, and M. Oguchi, Performance of Domain Adaptation Schemes in Video Action Recognition using Synthetic Data. In *Proceedings of the 2022 4th International Conference on Image, Video and Signal Processing (IVSP '22)*. pp. 70-79, 2022. <https://doi.org/10.1145/3531232.3531242>
- [4] R. Sasaki, A. Takefusa, H. Nakada and M. Oguchi, Development and Evaluation of IoT System Consisting of ROS-based Robot, Edge and Cloud, *2023 IEEE 47th Annual Computers, Software, and Applications Conference (COMPSAC), SIS-SS Workshop*, pp. 1737-1744, 2023, <https://doi.org/10.1109/COMPSAC57700.2023.00268>.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計5件（うち査読付論文 5件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Sasaki Reina, Takefusa Atsuko, Nakada Hidemoto, Oguchi Masato	4. 巻 -
2. 論文標題 Development and Evaluation of IoT System Consisting of ROS-based Robot, Edge and Cloud	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 In Proceedings of the 2023 IEEE 47th Annual Computers, Software, and Applications Conference (COMPSAC), Workshop	6. 最初と最後の頁 1737-1744
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/compsac57700.2023.00268	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 Isoi Hana, Takefusa Atsuko, Nakada Hidemoto, Oguchi Masato	4. 巻 -
2. 論文標題 Performance of Domain Adaptation Schemes in Video Action Recognition using Synthetic Data	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 In Proceedings of the 2022 4th International Conference on Image, Video and Signal Processing (IVSP '22)	6. 最初と最後の頁 70-79
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1145/3531232.3531242	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 TAKASAKI Chikako, TAKEFUSA Atsuko, NAKADA Hidemoto, OGUCHI Masato	4. 巻 E104.D
2. 論文標題 Action Recognition Using Pose Data in a Distributed Environment over the Edge and Cloud	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 IEICE Transactions on Information and Systems	6. 最初と最後の頁 539 ~ 550
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1587/transinf.2020DAP0009	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 Takasaki Chikako, Takefusa Atsuko, Nakada Hidemoto, Oguchi Masato	4. 巻 -
2. 論文標題 A Study of Action Recognition Using Pose Data Toward Distributed Processing Over Edge and Cloud	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 2019 IEEE International Conference on Cloud Computing Technology and Science (CloudCom)	6. 最初と最後の頁 111-118
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/CloudCom.2019.00027	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 竹房 あつ子, 孫 静涛, 藤原 一毅, 長久 勝, 吉田 浩, 政谷 好伸, 合田 憲人	4. 巻 1
2. 論文標題 SINET広域データ収集基盤を用いたオンラインビデオ処理実証実験	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 情報処理学会論文誌デジタルプラクティス (TDP)	6. 最初と最後の頁 45-57
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

〔学会発表〕 計35件 (うち招待講演 1件 / うち国際学会 0件)

1. 発表者名 伊藤 千紗, 竹房 あつ子, 中田 秀基, 小口 正人
2. 発表標題 5G SA 環境における IoT システムのモバイル通信性能評価
3. 学会等名 xSIG 2023 (cross-disciplinary workshop on computing Systems, Infrastructures, and programinG)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 高崎 智香子, 竹房 あつ子, 中田 秀基, 小口 正人
2. 発表標題 オンライン動画動作識別のための分散ストリーム処理基盤の検討
3. 学会等名 The 5th cross-disciplinary Workshop on Computing Systems, Infrastructures, and Programming (xSIG2021)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 伊藤千紗, 竹房あつ子, 中田秀基, 小口正人
2. 発表標題 モバイル環境におけるIoTシステムのための圧縮処理を用いた通信性能評価
3. 学会等名 情報処理学会第86回全国大会, 7Y-04
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 佐々木 怜名,竹房 あつ子,中田 秀基,小口 正人
2. 発表標題 Zenoh/DDS bridgeを用いたROS 2の通信性能評価
3. 学会等名 情報処理学会第86回全国大会, 1X-08
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 佐々木 怜名,竹房 あつ子,中田 秀基,小口 正人
2. 発表標題 ROS 2準拠ロボット及びクラウドを用いたIoTアプリケーションのためのZenohの通信性能評価
3. 学会等名 第16回データ工学と情報マネジメントに関するフォーラム (DEIM 2024), T2-A-5-04
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 伊藤千紗,竹房あつ子,中田秀基,小口正人
2. 発表標題 モバイル環境における圧縮処理を用いたIoTシステムの通信性能向上のための検討
3. 学会等名 第16回データ工学と情報マネジメントに関するフォーラム (DEIM 2024), T2-A-5-03
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 佐々木 怜名,竹房 あつ子,中田 秀基,小口 正人
2. 発表標題 ROS準拠ロボット及びエッジを活用したストリーム処理を行うIoTシステムの構築と評価
3. 学会等名 マルチメディア、分散、協調とモバイルシンポジウム (DICOM02023), 8E-4
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 伊藤千紗, 竹房あつ子, 中田秀基, 小口正人
2. 発表標題 5G環境での IoT システムのためのモバイル通信性能の評価
3. 学会等名 マルチメディア、分散、協調とモバイルシンポジウム (DICOM02023), 3B-2
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 伊藤千紗, 竹房あつ子, 中田秀基, 小口正人
2. 発表標題 5G SA環境におけるIoTシステムの通信性能調査
3. 学会等名 第15回データ工学と情報マネジメントに関するフォーラム (DEIM 2023), 2a-8-4
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 佐々木 怜名, 竹房 あつ子, 中田 秀基, 小口 正人
2. 発表標題 ROS準拠ロボット及びエッジを用いた環境情報収集・ストリーム処理を行うIoTシステムの構築と評価
3. 学会等名 第15回データ工学と情報マネジメントに関するフォーラム (DEIM 2023), 5c-9-1
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 伊藤千紗, 竹房あつ子, 中田秀基, 小口正人
2. 発表標題 5G SA環境でのIoTシステムのための通信性能の調査
3. 学会等名 情報処理学会第85回全国大会, 1ZA-08
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 佐々木 怜名,竹房 あつ子,中田 秀基,小口 正人
2. 発表標題 ROS準拠ロボット及びエッジを用いた環境情報収集・ストリーム処理を行うIoTシステムの構築
3. 学会等名 情報処理学会第85回全国大会, 1Y-04
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 佐々木 怜名,竹房 あつ子,中田 秀基,小口 正人
2. 発表標題 ROS準拠ロボット及びエッジサーバを活用した環境情報収集・処理を行うIoTシステムの検討
3. 学会等名 マルチメディア,分散,協調とモバイル(DICOM02022)シンポジウム
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 佐々木 怜名,竹房 あつ子,中田 秀基,小口 正人
2. 発表標題 ROS準拠ロボットからの環境情報収集を可能にするIoTシステムの検討
3. 学会等名 情報処理学会 第84回全国大会 2ZB-01
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 磯井 葉那,竹房 あつ子,中田 秀基,小口 正人
2. 発表標題 合成データを用いた教師なしドメイン適応による室内動作認識手法の比較
3. 学会等名 情報処理学会 第84回全国大会 6U-02
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 磯井 葉那,竹房 あつ子,中田 秀基,小口 正人
2. 発表標題 合成データを用いた教師なしドメイン適応による室内動作認識手法の検討
3. 学会等名 第14回データ工学と情報マネジメントに関するフォーラム (DEIM 2022)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 磯井 葉那,竹房 あつ子,中田 秀基,小口 正人
2. 発表標題 合成動画データを用いた学習でのドメイン適応による動作認識精度の比較
3. 学会等名 MIRU 2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 磯井 葉那,竹房 あつ子,中田 秀基,小口 正人
2. 発表標題 動作認識のための合成データ活用に向けたドメイン適応手法の比較
3. 学会等名 マルチメディア,分散,協調とモバイル(DICOM02021)シンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 磯井 葉那,竹房 あつ子,中田 秀基,小口 正人
2. 発表標題 動作認識のための合成データ活用に向けたドメイン適応手法の検討
3. 学会等名 パターン認識・メディア理解研究会 (PRMU)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 高崎 智香子, 竹房 あつ子, 中田 秀基, 小口 正人
2. 発表標題 エッジ, クラウド間分散処理に向けたNNを用いた動作識別手法の検討
3. 学会等名 The 4th cross-disciplinary Workshop on Computing Systems, Infrastructures, and Programming
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 磯井 葉那, 竹房 あつ子, 中田 秀基, 小口 正人
2. 発表標題 室内における動作識別のための合成動画データセット構築の検討
3. 学会等名 マルチメディア, 分散, 協調とモバイル(DICOM02020)シンポジウム
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 高崎 智香子, 竹房 あつ子, 中田 秀基, 小口 正人
2. 発表標題 分散ストリーム処理フレームワークを用いた動作識別手法の検討
3. 学会等名 マルチメディア, 分散, 協調とモバイル(DICOM02020)シンポジウム
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 竹房 あつ子
2. 発表標題 エッジ・クラウドを活用したIoTアプリケーション構築技術
3. 学会等名 ネットワーク仮想化研究会招待講演 (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 高崎 智香子, 竹房 あつ子, 中田 秀基, 小口 正人
2. 発表標題 リアルタイム動画動作識別の実現に向けた分散ストリーム処理基盤の検討
3. 学会等名 第13回データ工学と情報マネジメントに関するフォーラム (DEIM2021)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 磯井 葉那, 竹房 あつ子, 中田 秀基, 小口 正人
2. 発表標題 室内動作認識のためのドメイン適応による合成データ活用の検討
3. 学会等名 第13回データ工学と情報マネジメントに関するフォーラム (DEIM2021)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 磯井 葉那, 竹房 あつ子, 中田 秀基, 小口 正人
2. 発表標題 ドメイン適応を用いた動作認識のための合成動画画像の活用の検討
3. 学会等名 情報処理学会 第83回全国大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 高崎 智香子, 竹房 あつ子, 中田 秀基, 小口 正人
2. 発表標題 分散ストリーム処理フレームワークを用いた動作識別処理性能の調査
3. 学会等名 情報処理学会 第83回全国大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 高崎 智香子, 竹房 あつ子, 中田 秀基, 小口 正人
2. 発表標題 姿勢推定を用いた機械学習による動作識別に関する調査
3. 学会等名 The 3rd cross-disciplinary Workshop on Computing Systems, Infrastructures, and Programming (xSIG 2019)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 高崎 智香子, 竹房 あつ子, 中田 秀基, 小口 正人
2. 発表標題 姿勢推定と RNN を用いた動画動作識別手法の調査
3. 学会等名 マルチメディア, 分散, 協調とモバイル DICOM02019シンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 竹房 あつ子, 孫 静涛, 長久 勝, 吉田 浩, 政谷 好伸, 合田 憲人
2. 発表標題 SINET広域データ収集基盤を用いたリアルタイムビデオ処理機構の検討
3. 学会等名 マルチメディア, 分散, 協調とモバイル DICOM02019シンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 高崎 智香子, 竹房 あつ子, 中田 秀基, 小口 正人
2. 発表標題 エッジ、クラウド間の分散処理に向けたポーズデータを用いた動作識別手法の調査
3. 学会等名 第230回 システム・アーキテクチャ研究発表会 (デザインガイア2019)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 高崎 智香子, 竹房 あつ子, 中田 秀基, 小口 正人
2. 発表標題 エッジ、クラウド間分散処理に向けた動作識別手法の検討
3. 学会等名 第12回データ工学と情報マネジメントに関するフォーラム (DEIM2020)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 磯井 葉那, 竹房 あつ子, 中田 秀基, 小口 正人
2. 発表標題 室内における日常動作解析のための合成動画データセット構築に向けて
3. 学会等名 第12回データ工学と情報マネジメントに関するフォーラム (DEIM2020)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 磯井 葉那, 竹房 あつ子, 中田 秀基, 小口 正人
2. 発表標題 機械学習向け生活空間動画データセット構築の検討
3. 学会等名 情報処理学会 第82回全国大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 高崎 智香子, 竹房 あつ子, 中田 秀基, 小口 正人
2. 発表標題 ポーズデータとNNを用いた動作識別手法の調査
3. 学会等名 情報処理学会 第82回全国大会
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	小口 正人 (Oguchi Masato) (60328036)	お茶の水女子大学・基幹研究院・教授 (12611)	
研究 分担者	中田 秀基 (Nakada Hidemoto) (80357631)	国立研究開発法人産業技術総合研究所・情報・人間工学領域・主任研究員 (82626)	

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
---------	---------