

令和 6 年 6 月 7 日現在

機関番号：14401

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2020～2023

課題番号：20K11829

研究課題名（和文）次世代防犯カメラシステムにおけるプライバシー指向映像管理方式

研究課題名（英文）Privacy-Oriented Video Management Solutions in Next-Generation Surveillance Camera Systems

研究代表者

松本 哲（Matsumoto, Satoru）

大阪大学・情報推進本部・助教

研究者番号：60388238

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,400,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、次世代防犯カメラシステムにおけるプライバシー指向映像管理方式（プライバシーの保護を考慮した映像管理方式）の確立を目的とする。防犯カメラを一般の人々が利用可能にするため、「エッジカメラサーバ連携」「ルール型映像利用方針記述」「共用映像加工認識」などの革新的技術を活用し、次世代防犯カメラシステムにおけるプライバシー指向の映像管理方式を確立する研究を行った。これにより、一般の人々が利用可能なプライバシー保護機構を備えたシステム「NGPCS（Next Generation Public Camera System）」を提案し、高速な人間検出、柔軟なポリシー記述、高速な画像処理を実現できた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、次世代防犯カメラシステムにおけるプライバシー指向映像管理方式（プライバシーの保護を考慮した映像管理方式）の確立を目的とする。防犯カメラを一般の人々が利用可能にするため、「エッジカメラサーバ連携」「ルール型映像利用方針記述」「共用映像加工認識」と呼ぶ革新的な技術を備えた映像管理方式により、一般の人々が視聴できるよう、次世代の防犯カメラシステムにおけるプライバシー指向映像管理方式（プライバシーの保護を考慮した映像管理方式）の確立を目的とする。その創造性は、次世代防犯カメラシステムという新しい防犯カメラシステムを誕生させる点にある。

研究成果の概要（英文）：This research aims to establish a privacy-oriented video management scheme in next-generation security camera systems. By leveraging innovative technologies such as edge camera-server collaboration, rule-based video usage policy description, and shared video processing recognition, the study proposes the Next Generation Public Camera System (NGPCS). NGPCS incorporates privacy protection mechanisms and achieves fast human detection, flexible policy description, and rapid image processing, making it accessible for public use.

研究分野：公共における映像配信のプライバシー管理方式

キーワード：プライバシー指向 ビデオ配信 並列処理 エッジカメラサーバ連携 ルール型映像利用方針記述 共通映像加工認識 ストリーミング配信 プライバシー指向映像管理方式

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。

1. 研究開始当初の背景

本研究では、次世代防犯カメラシステムにおけるプライバシー指向映像管理方式(プライバシーの保護を考慮した映像管理方式)の確立を目的とした。国内外で様々な防犯カメラシステムが研究開発されていたが、被撮影物体の映像利用方針の高速把握が難しいために、防犯カメラシステムにおいてプライバシー保護機構を適切に設計することは難しいと考えられていた。ましてや、研究者のみならず、一般の人々自身も一般の人が防犯カメラを利用することは不可能と考えられていた。本研究では、「エッジカメラサーバ連携」「ルール型映像利用方針記述」「共用映像加工認識」と呼ぶ革新的な技術を備えた映像管理方式により、この不可能を可能にすることを目指した。本研究の創造性は、次世代防犯カメラシステムという新しい防犯カメラシステムを誕生させる点にあった。国際的に見ても先駆的な研究内容であり、大きなインパクトのある研究成果が期待された。

2. 研究の目的

本研究では、一般の人々が視聴できるように、次世代の防犯カメラシステムにおけるプライバシー指向映像管理方式(プライバシーの保護を考慮した映像管理方式)の確立を目的とした。本研究の創造性は、次世代防犯カメラシステムという新しい防犯カメラシステムを誕生させる点にあった。「エッジカメラサーバ連携」「ルール型映像利用方針記述」「共用映像加工認識」と呼ぶ革新的な技術を備えた映像管理方式により、プライバシーの保護を可能にするため、より高速な人間の検出、柔軟なポリシー記述、およびより高速な画像処理を行える「NGPCS (Next Generation Public Camera System)」というプライバシー指向のビデオ配信プラットフォームを提案した。

3. 研究の方法

本研究では、次世代防犯カメラシステムにおける映像管理方式を、提案技術を備えたシステムを構築して評価を行うことで、プライバシー保護機構を適切に設計し実現できるまでを明らかにした。本研究における適切とは、被撮影物体の所有者の映像利用方針に従うことを指した。提案するプライバシー指向映像管理方式では、適切にプライバシー保護機構を設計し実現するために、被撮影物体ごとに映像利用方針を設定した。視聴者の職業や年齢、性別といった属性に応じて映像を加工してプライバシーを確保した。インターネット上に視聴端末、防犯カメラが接続された次世代防犯カメラサーバを配置した。カメラサーバで被撮影物体を識別し、識別した被撮影物体に関する記述がある映像利用方針ファイルに基づいて映像を加工した。令和2年度から以下3つの研究項目により、次世代防犯カメラシステムにおけるプライバシーを確保する計画であった。

(1)研究項目1として、短時間で被撮影物体を識別する：被撮影物体の識別や映像加工の処理を次世代防犯カメラサーバで行うと、次世代防犯カメラサーバに処理負荷が集中し、処理時間が長くなって映像視聴までの遅延が長くなる問題が起きた。そこで本研究では、近年注目されているネットワークの末端で処理を行うエッジコンピューティングの概念を活用し、「エッジカメラサーバ連携」と呼ぶ技術を提案した。短時間でエッジサーバ間の連携を行うために、被撮影物体の識別に有益な映像データのみ送受信する点が学術的に難しく、送受信方式や選定方式についての探求を行った。被撮影物体識別担当により研究を遂行。

(2)研究項目2として、柔軟に映像利用方針を記述する：映像利用方針ファイルには、視聴者の属性に応じて、被撮影物体を長方形で隠したりモザイクをかける、注釈を付加するといった映像加工方法を記述した。例えば、駅構内における被写体個人の立場別にプライバシー配慮を行い、被写体が一般の人々であれば全身を長方形で覆い隠し、職員であれば職員番号で顔を隠すといった加工を行った。映像利用方針に関する複雑な処理をプログラム等で記述すると、映像利用方針の記述が複雑で困難になる問題があった。そこで本研究では、「ルール型映像利用方針記述」を提案した。映像利用方針記述担当により研究を遂行。

(3)研究項目3として、短時間で視聴映像を生成する：視聴者毎に視聴映像を生成すると映像生成に伴うエッジカメラサーバの処理負荷が大きくなって映像生成に時間がかかる問題が発生した。そこで本研究では「共通映像加工認識」技術を提案した。共通映像加工認識では、あらかじめ映像利用方針ファイルに対して、AI画像解析技術を用いて解析し、視聴者の属性が異なっても共通する映像加工を認識した。多数の映像利用方針ファイルから、短時間で共通の映像加工を認識する点が学術的に難しく、解決する手法を探求した。視聴映像生成担当により研究を遂行。

4. 研究成果

本研究は、一般の人々が視聴できるようにするため、次世代の防犯カメラシステムにおけるプライバシー指向映像管理方式の確立を目的とした。このシステムは、「エッジカメラサーバ連携」「ルール型映像利用方針記述」「共用映像加工認識」といった革新的な技術を導入し、プライバシー保護を可能にした。これらの技術により、より高速な人間の検出や柔軟なポリシー記述、高速な画像処理を実現する「NGPCS (Next Generation Public Camera System)」というプライバシー指向のビデオ配信プラットフォームを提案した。プラットフォームの概要を図1に示す。

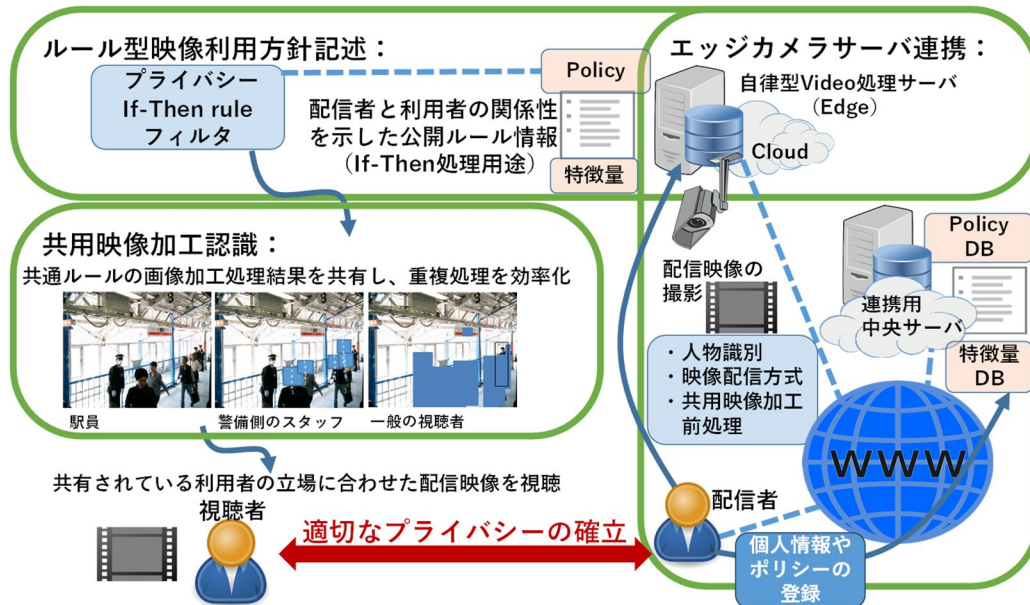


図1. NGPCS プラットフォーム

(1)「エッジカメラサーバ連携」「ルール型映像利用方針記述」「共用映像加工認識」といった革新的な3項目の技術を導入し、GPU搭載PCや商用クラウドサービスを用いてNGPCSのシステム設計、構築、シミュレートを行い、従来手法と比較して、性能等を評価し、国際会議や国内の研究會にて成果を発表した。それぞれの成果実績を次に示す。

項目1「ルール型映像利用方針記述」

ルール型映像利用方針記述方式のシステムの設計を行った。それに沿った人物の顔画像処理のシミュレートを行い、商用クラウドサービス上のバーチャルPC、エッジサーバ、ローカルPCでの識別処理時間についての比較評価を行った。商用クラウドサービスを利用した場合にも、ルール型映像利用方針記述方式に従って、高速な画像処理が行える成果を2020年9月のIWIN国際ワークショップにて発表し、高評価を得た。より高度な映像加工時にハイスペックな商用クラウドサービスを利用可能となり、大規模なシステムを構築する場合にも、ルール型映像利用方針記述が利用可能であることを明らかにした。

項目2「エッジカメラサーバ連携」

被撮影物体の識別や映像加工の処理を次世代防犯カメラサーバで行うと処理負荷が集中し、映像視聴までの遅延が長くなる問題が生じるため、短時間でエッジサーバ間の連携を行う映像の送受信方式や選定方式の探求を行った。

近年、ビデオオンデマンド(VoD)サービスの利用者が増加し、スマートフォンやノートPCなど多くのクライアントが映像配信サーバに映像データを要求するようになった。このような大規模なVoDシステムでは、映像配信サーバの通信負荷や処理負荷を分散するため、エッジコンピューティング技術が活用されている。エッジコンピューティングを利用したVoDシステムの多くは、エッジサーバが映像配信サーバから映像データの断片を受信し、他の配信のためにキャッシュする。しかし、エッジサーバは、クライアントからの要求を受信する前にそれらを受信することができる(事前キャッシュ)。さらに、エッジサーバは事前キャッシュされた映像データの断片を他のエッジサーバに送信することができる。ここでの研究課題は、エッジサーバがどの断片を事前にキャッシュすべきか、またエッジサーバ間で断片をどのように再分配し、負荷を効果的に分散させるかである。本研究では、エッジコンピューティング環境におけるスケーラブルなVoDシステムを提案し、その評価結果について報告する。提案したシステムでは、シミュレーションにより他の通信と重なる確率を減少させ、システムが動作可能なクライアントの最短到着間隔を従来システムに比べ26%増加させることができた。システムの概要を図2に示す。

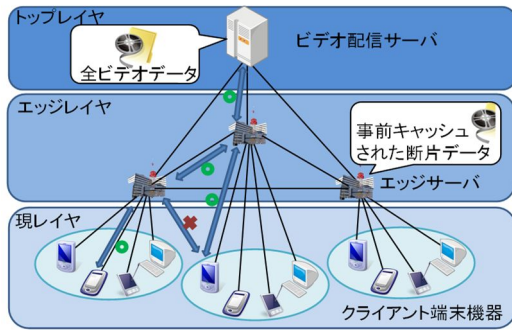


図 2. スケーラブルな VoD システム

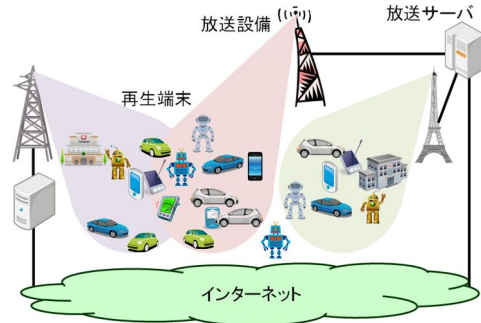


図 3. 無線放送 (VHF 帯) による放送型

2021 年 3 月にはこれまでの NGPDS 実験環境を Hyper-visor 型からコンテナ型仮想マシン上のエッジコンピューティングリソースに移行した。エッジサーバとカメラで構成されたサーバの連携による処理速度をシミュレートし、評価した。被撮影物体の識別や映像加工の処理速度が向上した。研究成果を Infsoc 国際ジャーナルに寄稿し、採録された。

研究分担者の義久はデータ分割スケジューリング手法を提案し、無線放送 (VHF 帯) を利用して放送型配信を実現する B-VoD システムにおいて、その性能を測定した。実験結果では、映像データを 6 分割して並列に放送することで、途切れることなく再生される条件下で再生開始までの待ち時間を最大 85%短縮できることが確認された。この研究に関連するエッジカメラへの映像加工分散処理手法についての研究成果は、DICON の論文誌、DICOM02021、電子情報通信学会 IA 研究会、国際会議 IWIN2021 で発表され、高評価を得た。

2023 年度には、研究代表者の松本と研究分担者の義久が、大規模な環境におけるエッジカメラサーバへの人物の特徴量データ送信時にネットワーク輻輳を回避する 2 つの方法を提案し、この研究成果は 2024 年の Infsoc 国際ジャーナルに採録された。無線放送 (VHF 帯) による放送型配信の概要は図 3 に示す。

項目 3 「共用映像加工認識」

2020 年 10 月には、IEEE 国際カンファレンスで映像配信安定化技術についての成果を発表。

2021 年 1 月には、電子情報通信学会 IA 研究会にて、クラウドコンピューティング上のリソースに Kubernetes 技術を利用した検討結果を発表した。また、「共通映像加工認識」の新たなアプローチとして、広域に存在する複数カメラを用いた人物やオブジェクトの追跡手法についての研究成果を発表した。ルール型映像利用方針における、共通ルールに対する画像加工処理を共有し、重複する画像加工処理の効率化を図り、処理時間が短縮できる可能性を示した。

従来的人物再特定手法を用い、街中や施設内に配置された監視カメラによる人物追跡を行う場合を考える。この場合、カメラで撮影した映像をコンピュータネットワーク経由でサーバに転送し、サーバ上で人物再識別処理を行う方法では、映像の転送に大きな通信トラフィックが必要となる。また、映像から得られた情報をサーバに転送し、サーバ上で人物再識別処理を行う方法では、カメラや人物の数が増えるほどサーバの負荷が増大する。

本研究では、カメラ間で特徴量を転送する人物追跡方式を 2 つ提案した。それぞれプロアクティブ方式とリアクティブ方式と呼ぶ。提案方式では、複数の相互通信可能なカメラ装置を用いてカメラネットワークを構築し、カメラ間で特徴量データの送受信を繰り返して人物の再同定を行い、対象エリア内の人物の移動経路を追跡する。再識別に失敗すると、人物を追跡できないため、特定のサーバで全カメラを管理するシステムに比べて追跡性能が低下する可能性がある。しかし、本提案システムでは、従来システムでサーバに発生していた通信負荷や処理負荷を分散させることができた。それぞれの方式の人物追跡の概要を図 4 に示す。

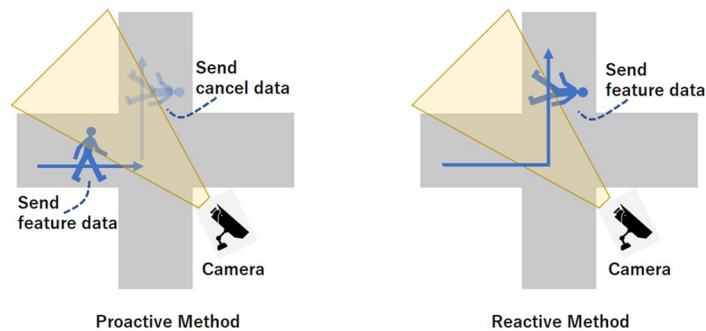


図 4 提案システムにおける人物追従方法の概要

(2) コロナ禍の影響や国際情勢を鑑み、国内外での成果発表を一時見合わせ、科研費の延長を申請した。

延長を申請した2024年度には、「ルール型映像利用方針記述」に基づき、国内外の研究会や国際会議での意見交換をもとに、公共の場で撮影された映像データからの個人識別システムにおけるプライバシー保護手法を検証した。

利用者が提供する詳細な顔画像や特徴量にノイズを加え、そのノイズの強度を暗号鍵として使用する個人識別手法を開発した。悪用を避けるため、詳細な顔画像や特徴量を公のネットワーク上に露出させないノイズ強度と不明瞭化された特徴量のみを送受信する提案を行った。この技術が確立すれば、公の場での人物認識において、詳細な特徴量が漏洩した場合の不正使用を避けられ、社会に貢献する。この研究成果を情報処理学会とIEEEの国際会議で発表した。

公共の場に設置されたカメラを使ってリアルタイムで人物を認識するシステムが近年注目を集めている。このようなシステムでは、利用者が事前に顔の特徴データをシステムに送信する。例として、入退室システムや出席確認システムがある。人物認識の精度が高ければ高いほど、不審者の侵入を防いだり、その人物がその場にいたという確かな証拠を提供したりするのに有利となる。精度を向上させるために、利用者がデータサイズの大きな特徴量データを送信し、システムがその詳細な特徴量を利用することが考えられる。しかし、システムが詳細な特徴量を理解してしまうと、鮮明な顔画像を復元できてしまう可能性があり、また、特徴量が漏れてしまうと、不正利用により利用者のプライバシーが侵害されてしまう可能性がある。

本研究の実験環境として、公共の場に設置可能で、ハンズフリーでリアルタイムにブログをアップロードする機能を持つ次世代型ビデオブログシステム(NGVlogシステム)の一部を実装・構築した。本システムでは、観光地などに設置されたカメラがVlog作成者を含む通行人すべてを撮影し、登録されたVlog作成者には、自分以外の通行人がぼかし等で見えないようにした映像を提供する。これにより、Vlog作成者は、自ら撮影することなく、第三者のプライバシーを侵害せずにVlog映像を取得できる。システム全体の概要を図5に示す。この成果物は精査を行った後、今後の社会実装実験等に展開して、活用する予定である。

提案手法の評価では、サービス利用者が提供した顔画像の特徴量に一定強度以下のノイズを付加し、そのノイズ強度を準暗号化鍵として公共カメラに渡すことで、高確率で個人を分類できた。ノイズ強度と不明瞭化された特徴量のみを送受信することで、詳細な特徴量を公のネットワークで送受信しないで済む可能性を示した。

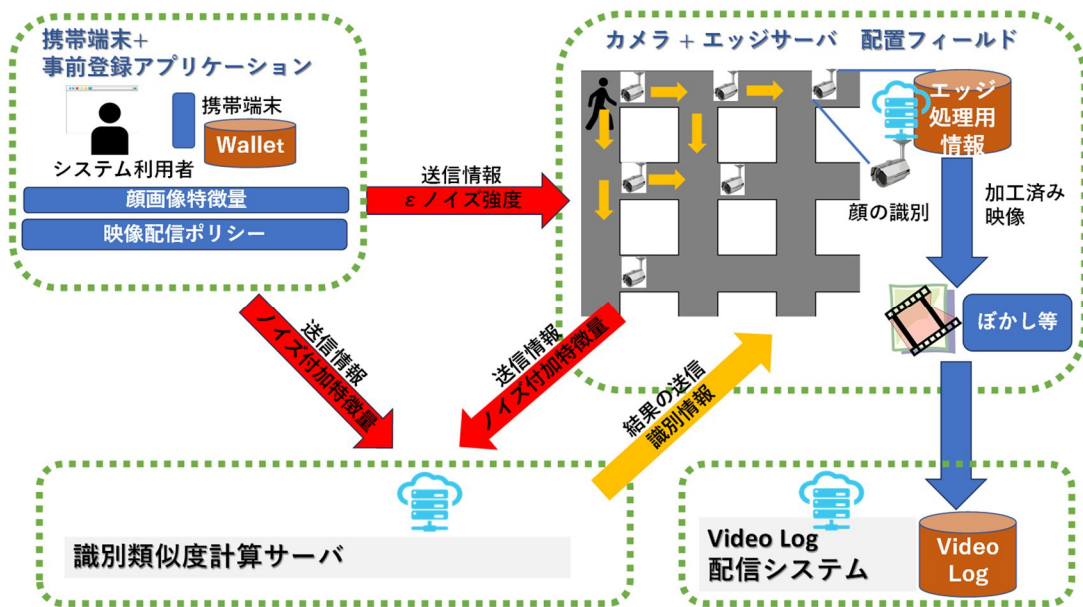


図5. 次世代型ビデオブログシステムの概要

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 3件／うち国際共著 0件／うちオープンアクセス 0件）

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------|---------------------|
| 1. 著者名 松本 哲, 義久 智樹 | 4. 巻 14 (1) |
| 2. 論文標題 A Scalable Video-on-Demand System on Edge Computing Environments | 5. 発行年 2022年 |
| 3. 雑誌名 International Journal of Informatics Society (IJIS) | 6. 最初と最後の頁 13-21 |
| 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 松本 哲, 義久 智樹, 下條 真司 | 4. 巻 10 (1) |
| 2. 論文標題 再生中断時間短縮のための無線放送型ビデオオンデマンドシステム | 5. 発行年 2021年 |
| 3. 雑誌名 情報処理学会論文誌デジタルコンテンツ (DCON) | 6. 最初と最後の頁 28-38 |
| 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 松本 哲, 義久 智樹, 川上 朋也, 寺西 裕一 | 4. 巻 15 (3) |
| 2. 論文標題 Feature Data Distribution Methods for Person Re-identification using Multiple Cameras | 5. 発行年 2024年 |
| 3. 雑誌名 International Journal of Informatics Society (IJIS) | 6. 最初と最後の頁 123-131 |
| 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 オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難 | 国際共著 - |

〔学会発表〕 計8件（うち招待講演 0件／うち国際学会 5件）

| |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. 発表者名 松本 哲, 義久 智樹 |
| 2. 発表標題 A Feature Data Distribution Scheme for Person Tracking Systems with Multiple Cameras |
| 3. 学会等名 International Workshop on Informatics (IWIN 2022) (国際学会) |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|-----------------------------------------|
| 1. 発表者名 松本 哲, 義久 智樹 |
| 2. 発表標題 複数カメラシステムにおける人物追跡のための特徴量伝搬方式 |
| 3. 学会等名 電子情報通信学会 IA研究会 |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|--------------------------------------------|
| 1. 発表者名 松本 哲, 義久 智樹, 川上 朋也, 寺西 裕一 |
| 2. 発表標題 プライバシー指向映像管理のためのライブ映像加工時間短縮方式検討 |
| 3. 学会等名 電子情報通信学会 IA研究会 |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. 発表者名 Satoru Matsumoto, Tomoki Yoshihisa |
| 2. 発表標題 An Efficient Large-Scale Video-on-Demand System on Edge Computing Environments |
| 3. 学会等名 International Workshop on Informatics (IWIN 2021) (国際学会) |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|----------------------------------------------|
| 1. 発表者名 松本 哲, 義久 智樹, 川上 朋也, 寺西 裕一 |
| 2. 発表標題 ライブカメラ映像を対象とした プライバシー指向映像管理方式 の提案 |
| 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 |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. 発表者名 Satoru Matsumoto, Tomoki Yoshihisa, Shinji Shimojo |
| 2. 発表標題 A Data Scheduling Method for Video-on-Demand Systems on Radio Broadcasting Environments |
| 3. 学会等名 2021 IEEE 45th Annual Computers, Software, and Applications Conference (COMPSAC) (国際学会) |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|---------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. 発表者名 Satoru Matsumoto, Tomoki Yoshihisa, Tomoya Kawakami, and Yuuichi Teranishi |
| 2. 発表標題 A Privacy-Oriented Video Distribution Platform for Public Camera Systems |
| 3. 学会等名 in Proc. of the International Workshop on Informatics (IWIN 2020) (国際学会) |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. 発表者名 Satoru Matsumoto, Tomoki Yoshihisa, Tomoya Kawakami, and Yuuichi Teranishi |
| 2. 発表標題 A Frame Rates Stabilization Scheme for Cloud Distributed Live Video Processing Systems |
| 3. 学会等名 in Proc. of the 9th IEEE Global Conference on Consumer Electronics (GCCE 2020) (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 | 義久 智樹 (Yoshihisa Tomoki) (00402743) | 滋賀大学・データサイエンス学系・教授 (14201) | |

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 |
|---------|---------|
|---------|---------|