

令和 3 年 6 月 17 日現在

機関番号：18001

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2017～2020

課題番号：17K01301

研究課題名（和文）協調型機械学習による犯罪発生を頑健に自動検知する次世代型高精度知的防犯カメラ

研究課題名（英文）Advanced Smart Security Camera for Automated Detection of Snatching Incidents by Using Machine Learning

研究代表者

長山 格（Nagayama, Itaru）

琉球大学・工学部・准教授

研究者番号：80274885

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,500,000円

研究成果の概要（和文）：本研究はISCASの高精度化と多様な状況に対する頑健性を向上させることが目標であった。そのため、防犯カメラの映像情報から状況を反映する特徴を抽出するとともに、膨大な学習データを必要とする深層学習・機械学習の効率的な実現方法を探った。その結果、代替学習(Alternative Learning)を考案し、その有効性を実験により示した。また、ノイズに対して頑健な新しい機械学習アルゴリズム(B-kNN法)を開発し、従来法との比較によりノイズに対して優れた頑健性を持つことを示した。さらに、犯行状況の多様性を吸収する識別器を構築し、ISCASにおけるひたたくり検知精度向上の基盤を構築することに成功した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

「ひたたくり」は、高齢者・女性・子供など社会的弱者が被害者となりやすい犯罪である。その大きな問題点は、これらの犯罪は人気の無い路地裏や夕方・夜間において発生することが多いため目撃者が少なく、即時通報や被害者救助が容易ではない点にある。従って、本研究は社会安全の向上と治安の維持に貢献するため、ひたたくりや事件の発生を正確に自動検知するとともに自動通報と証拠記録を実行可能な次世代型知的防犯カメラシステムと、その要素技術を開発することを目的として行われた。その結果、AIと機械学習アルゴリズムを適切に応用することにより対象とするひたたくり犯罪を高精度に自動検知出来るシステムおよび基盤技術を開発した。

研究成果の概要（英文）：This study aims to develop an intelligent security camera system(ISCAS) for detection of various situations of snatching incident with high accuracy and the robustness. Therefore, we have investigated on effective procedure of feature extraction from the video stream captured by security cameras. Also, we have searched for an efficient method for realizing deep learning and machine learning for a huge amount of learning data. As a result, we have proposed the alternative learning method for effective experiments. We also developed a new machine learning algorithm (B-kNN method) for robust learning against noise. We have shown that it has excellent robustness against noise by comparison with the conventional methods. Furthermore, we have succeeded to develop some fundamental techniques in improving the accuracy of snatching detection of the ISCAS by constructing a classifier for snatching situations.

研究分野：情報工学

キーワード：防犯カメラ 画像処理 機械学習 人工知能 拳動認識 画像解析 社会安全システム ひたたくり

1. 研究開始当初の背景

経済成長低迷の長期化に伴って、ひったくり・拉致誘拐・ひき逃げ等の犯罪が多発し、社会の安全を脅かす事件が頻発している。警察庁全国犯罪情勢報告によれば、平成 26 年度全国統計における重大事件(殺人、略取誘拐・人身売買)の検挙率はそれぞれ 95.8% および 89.9%と高率であるが、ひったくりの検挙率は 59.4%と低い。ひったくりの検挙率が低い理由は、被害者に高齢者や女性が多いこと、ゆえに即時対応が十分にとれず初動捜査が遅れるためである。一般に、これらの犯罪は目撃されにくい場所・時間帯で発生することが多く、即時通報・即時対応が重要である。そのため、犯罪行為の自動認識・自動検知および自動通報を行う次世代型高精度知的防犯カメラシステムを開発し、これを犯罪が起きやすい場所・街路等に設置することにより、効果的な防犯と検挙の実現が期待される。

本研究代表者らは、すでに映像情報と人工知能技術を用いたインテリジェント防犯カメラ (ISCAS: Intelligent Security Camera System) の構築や、群衆行動の解析システムについて研究と試作を行っている。これは制御用コンピュータとリモート接続されたカメラシステムであり、動き特徴ベクトルと人物挙動を解析し、AI 学習システムによって約 94%の精度でひったくり発生を自動検知できることを示した (図 1)。

しかし、現在研究中の ISCAS システムでは撮影方向・撮影角度・位置・犯行手段・挙動・遮蔽の有無・発生時間などの事件発生状況のバリエーションが限られており、状況の変化や多様性・ノイズに対する頑健性が十分とはいえない。従って、ISCAS のこれまでの研究を基盤としてさらに改良を行い、夜間や暗所、撮影位置の変化やノイズ混入など犯行状況の多様性に対する高度な頑健性を持ち、犯罪行為の発生を正確に自動検知する能力を持つ次世代型高精度知的防犯カメラシステムを開発すれば、社会安全の維持向上に貢献できる。



図 1 ひったくり自動検知

一方、深層学習 (Deep Learning) や機械学習 および関連分野において学習の効率化に関する研究が盛んに行われている。特に、画像認識や音声認識、自然言語処理などにおいて、深層学習は従来よりも高い識別性能・処理性能を発揮することが明らかとなってきたことから、多面的な取り組みが行われている。しかし、深層学習ネットワークでは多段接続された階層型ニューラルネットワークの学習を実行するために大量の学習データが必要という問題があり、例えば、Hinton らは深層学習ネットワークに関する彼らの研究において、100 万枚以上もの画像を学習データとして用いて実行した。ところが、再現や観測が困難な場合や、稀に発生する現象である場合など、大量の学習データを収集・準備することが困難なケースがしばしばある。例えば、本研究におけるひったくり犯行に用いられる犯行手段 (オブジェクト) に関して、防犯カメラの視点変化に伴う 3 次元的外見変化パターンをすべて学習データとして準備することは容易ではない。本研究ではこのような根本的な問題に対しても取り組む必要がある。

2. 研究の目的

本研究代表者は、すでに競合学習性能に優れた機械学習ネットワークおよび多数決協調学習システムを提案しており、診断や製造検査への応用、犯罪行動のシーン解析等について発表した。また、機械学習や進化アルゴリズムの応用に関する解説を執筆した。さらに、屋外における「ひったくり」の自動検知に加え、「自動車による拉致誘拐」の発生を自動検知するシステムを試作している。すなわち、歩行者が自動車付近で犯人によって車内へ無理矢理押し込まれる、または引きずり込まれる場面と、何も起こらず自動車の脇を通り過ぎる場面を様々な位置・角度から撮影した膨大な映像データを使用した実験により、撮影エリア内において生じる「拉致誘拐」の有無を自動検知できることを示した。これらの成果をふまえ、さらに高精度化と性能向上・頑健性向上を図るため、映像と画像の高精度解析による特徴分析と人体のモデル、およびノイズ混入など状況の多様性に対応可能な新しい機械学習アプローチの開発により、従来より頑健かつ高性能な次世代型知的防犯カメラシステムの基盤を構築する。

3. 研究の方法

まず「自動車による拉致誘拐」と「ひったくり」の検知のためのデータ収集を行い、学習データ基盤の構築を進めるとともに、従来と同様の方法で犯行検知用の犯行特徴空間と犯罪類型特徴ルールを構築する。

- (1) まず、「拉致誘拐」「ひったくり」に関する犯行特徴空間を構築するため映像データ・音響データを収集する。このとき、過去に実施した「自動車による拉致誘拐検知」「ひったくり検知」の研究の実験データに加え、さらに様々な角度、位置、方向、距離、車種等を考慮した多様な状況バリエーションにおける実験データを収集する。
- (2) 一方、撮影角度・撮影位置・撮影方向などによる影響として、特に人体が車両や構造物・樹木などによって遮蔽されることによる影響を回避するため、
 - ・人体の一部の遮蔽がある場合
 - ・人体の半分程度の遮蔽がある場合の2つのケースを想定し、各々の場合について実験データを収集する。
- (3) ノイズや測定誤差の混入に対する頑健な新しい学習アルゴリズムを開発し、犯行発生時の映像に対する光源、ノイズ、変動の影響に対してロバスト性を確保することを試みる。すなわち、なんらかの工夫によって、雑音混入に対する頑健性を向上させた新しい機械学習アルゴリズムの構築を試みる。
- (4) 収集した実験データから、前年と同様に人体の輪郭線と骨格特徴を求めて経時変化を追跡・分析することにより、拉致誘拐における主要な動作分析および機械学習を行うことができる。このとき、状況の多様性に対応するために膨大な学習データ群を必要とすることから、十分な量の学習データ基盤を整備することの困難性が考えられるので、その対策についても検討する。

4. 研究成果

まず、本研究成果の概要を記す。本研究は ISCAS の高精度化と多様な状況に対する頑健性を向上させることが目標であった。そのため、防犯カメラの映像と音響情報から状況を反映する特徴を固有空間への投影と最適化アルゴリズムを利用して抽出するとともに、膨大な学習データを必要とする深層学習・機械学習の効率的な実現方法を探った。

その結果、代替学習(Alternative Learning)を考案し、その有効性を実験により検証した。また、ノイズに対して頑健な新しい機械学習アルゴリズム(B-kNN 法)を開発し、従来法との比較によりノイズに対して優れた頑健性を持つことを示した。さらに、犯行状況の多様性を吸収する識別器を構築し、ISCAS における犯罪検知およびひったくり検知の精度を向上させることに成功した。

【代替学習】

代替学習(Alternative Learning)とは 3 次元 CG モデルによって生成した疑似データを用いて学習を行うとともに、実データに対する適用性能を獲得させるアプローチである。本研究で提案した代替学習の概要を図(2)に示す。従来、深層学習ネットワークや機械学習アルゴリズムを用いて画像認識タスク等の学習を実行するには、様々な画像データベースやアーカイブを活用したり自ら撮影するなどの方法によって大量の実写画像データを収集・準備する必要があった。これに対して、3 次元 CG ソフトウェアを用いて 3 次元グラフィックスを生成し、CG として得られる画像群を疑似的な学習データとして用いる事ができれば非常に有益である。すなわち、実写画像に代えて人工的に生成した CG 画像を学習に用いるので、これを代替学習(Alternative Learning)と呼ぶ。

ここで、代替学習によって構成された深層学習ネットワーク等の学習システムが、現実のオブジェクトを撮影した画像データに対して有効に機能するかどうかを検証する必要がある。もし、代替学習による学習結果が、十分な精度で現実のオブジェクト認識や分類を実現することができれば、知的防犯カ

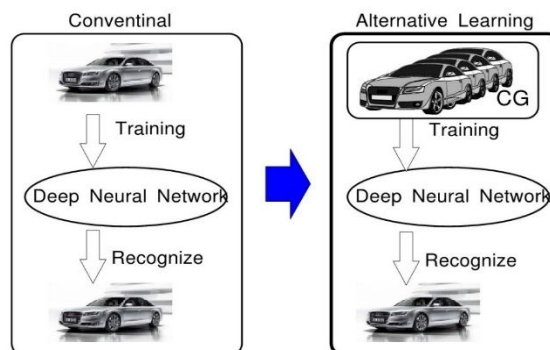


図2 代替学習(Alternative Learning)

メラの実用化において幅広く活用できることが期待される。以下で代替学習の手順を詳述する。ここでは複数種類のオブジェクトを識別する場合を例に説明する。すなわち、バイク、人物、自動車、自転車の 4 種類のオブジェクトを対象として識別するため、これらの 3 次元 CG を生成する。そして、それらのオブジェクトを多数の異なるカメラ視点から撮影した際に得られる画像を取得する。すなわち、半球中心に 3DCG オブジェクトを配置する。次いで、カメラ視点位置を半球面上で円周方向 θ と高さ方向(緯度方向) ϕ にそれぞれ 10 度ずつ移動させながらオブジェクトの外見画像を取得する。すなわち

に関して

$$\begin{matrix} 0 & 350 \\ 0 & 90 \end{matrix} \quad (1)$$

の範囲で 10° ずつカメラ視点位置を変えて 3DCG モデルの見かけ画像を取得する。3DCG モデルの作成とカメラ視点移動および外見画像取得は Blender ソフトウェアを用いて行った。以上により、1 種類のオブジェクトについて 360 枚の異なる外見画像を生成することが可能であり、4 種類のオブジェクトについて合計 1,440 枚の外見画像を得ることができる。

次いで、3DCG モデルから取得した画像をシルエット化し、シルエット画像を用いて深層学習ネットワークの転移学習を実行する。また、転移元の深層学習ネットワークとして AlexNet を利用する。シルエット画像を用いることにより、オブジェクトに関する

情報の冗長性を排除するとともに、オブジェクトの形状に関する特徴を十分に表せると考えた。また、識別精度評価には4分割交差検定による評価と、実写画像データに対する認識実験を行って検証し、認識率を測定することとした。

上記の様に行った代替学習の実行後に、実写画像 200 枚による識別精度の検証を行った。その結果、最高 99.5%の精度で実写画像を正しく認識できることを示した。これにより、防犯カメラの設置位置やカメラ撮影視点に依存しない頑健なひたたくり検知を実現できる可能性を示した。

【新しい機械学習アルゴリズム B-kNN 法】

Balanced-kNN 法は、クラス毎の評価を個別に実行することで新しい入力パターンの属すべきクラスを決定するアプローチであり、kNN 法と同様にパターン間の距離計算を行う。さらに 2クラス分類のみならず多クラス分類においても有効に機能すること、および比較的シンプルなアルゴリズムで実行可能という特徴がある。Balanced-kNN 法は、クラス毎に k 個のサンプルを取得して新規パターンの分類に用いる方法である。これを図 3、図 4 に示す。図 3 において、丸印で表されるパターン群をクラス A、三角印で表されるパターン群をクラス B とする。これら 2 クラスがある状態で新たに星印の新規パターン $x(i)$ が与えられたとき、 $k=3$ である場合は図 4 のステップで新規パターンを分類する。

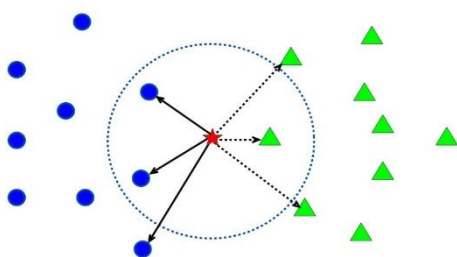


図 3 B-kNN 法のご概念図

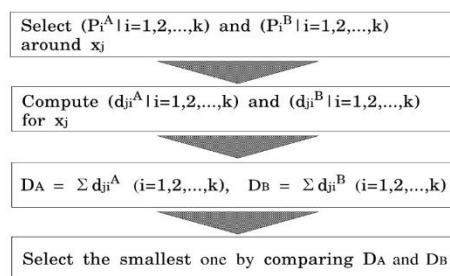


図 4 B-kNN 法の計算手順

以上の手順により、例えば $D_A < D_B$ であれば、新規パターン $x(i)$ はクラス A に分類されることになる。上述のように、Balanced-kNN 法は、各クラスから k 個の既存パターンを参照することにより、それらの近接性情報を用いて新規パターンの分類を実行する手法である。これにより、新規パターン周辺の局所情報を活用するとともに分類精度向上を期待できる。

ノイズ重畳された Fisher の iris データに対して、従来法 2 種、B-kNN 法の合計 3 種の方法による分類を実行した結果を図 5 に示す。これは最大値 1.5 の一様乱数を iris データに重畳した時の分類を実行した結果であり、縦軸は Accuracy を表し、横軸は k の値を示している。ここで、k の値として 3~15 までの奇数を用いている。また、Accuracy は異なる乱数パターンで生成したノイズデータを重畳した 100 回の実験の平均値である。これらのグラフにおいて、

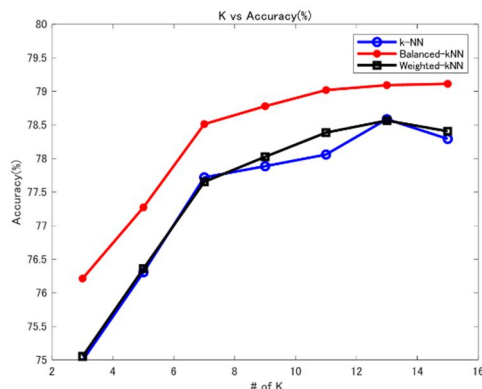


図 5 実験結果

赤線は考案した Balanced-kNN 法、黒線は weighted-kNN 法、青線は kNN 法を表す。図 5 に注目すると、3 つの手法の精度の違いは小さく、75% から 79% 程度の精度を示すが、提案する B-kNN 法 (Balanced-kNN) が他の 2 つの手法よりも高い精度を示していることがわかる。すなわち、従来法よりもノイズに対して頑健であることを示している。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計9件（うち査読付論文 9件 / うち国際共著 4件 / うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 Nagayama Itaru, Uehara Wakaki, Miyazato Takaya	4. 巻 139
2. 論文標題 A Study on Robust Object Recognition System for Intelligent Security Camera by using Alternative Deep Learning	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 IEEJ Transactions on Electronics, Information and Systems	6. 最初と最後の頁 964 ~ 971
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1541/ieejeiss.139.964	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 Miyazato Takaya, Uehara Wakaki, Nagayama Itaru	4. 巻 139
2. 論文標題 Development of a Free Viewpoint Pedestrian Recognition System Using Deep Learning for Multipurpose Flying Drone	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 IEEJ Transactions on Electronics, Information and Systems	6. 最初と最後の頁 972 ~ 979
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1541/ieejeiss.139.972	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 Nagayama Itaru, Miyahara Akira, Shimabukuro Koichi	4. 巻 139
2. 論文標題 A Study on Intelligent Security Camera System based on Sequential Motion Recognition by using Deep Learning	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 IEEJ Transactions on Electronics, Information and Systems	6. 最初と最後の頁 986 ~ 992
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1541/ieejeiss.139.986	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 SweSwe Aung, Nagayama Itaru, Tamaki Shiro	4. 巻 31
2. 論文標題 A High-Performance and Noise-Robust Classifier from K-Dimensional tree-based Dual kNN	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of the Society of Plant Engineers Japan	6. 最初と最後の頁 68 ~ 79
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 該当する

1. 著者名 Nagayama Itaru, Miyahara Akira, Shimabukuro Koichi	4. 巻 139
2. 論文標題 Balanced-kNN: A New Lazy Learning Algorithm and its Evaluation	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 IEEJ Transactions on Industry Applications	6. 最初と最後の頁 158 ~ 165
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1541/ieejias.139.158	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 Nagayama Itaru, Uehara Wakaki, Miyazato Takaya	4. 巻 139
2. 論文標題 Study on Human Detection System Using Deep Neural Network and Alternative Learning for Autonomous Flying Drones	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 IEEJ Transactions on Industry Applications	6. 最初と最後の頁 149 ~ 157
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1541/ieejias.139.149	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 Aung Swe Swe, Nagayama Itaru, Tamaki Shiro	4. 巻 7
2. 論文標題 A High-performance Classifier from K-dimensional Tree-based Dual-kNN	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 IEIE Transactions on Smart Processing & Computing	6. 最初と最後の頁 184 ~ 194
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5573/IEIESPC.2018.7.3.184	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 該当する

1. 著者名 Aung Swe Swe, Nagayama Itaru, Tamaki Shiro	4. 巻 7
2. 論文標題 Noise-tolerance Investigation into Dual-kNN Pattern Classification	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 IEIE Transactions on Smart Processing & Computing	6. 最初と最後の頁 221 ~ 231
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5573/IEIESPC.2018.7.3.221	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 該当する

1. 著者名 Aung Swe Swe, Nagayama Itaru, Tamaki Shiro	4. 巻 7
2. 論文標題 Investigation into Tolerance of Mislabeling when Classifying Patterns with Dual-kNN	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 IEIE Transactions on Smart Processing & Computing	6. 最初と最後の頁 413 ~ 423
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5573/IEIESPC.2018.7.6.413	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 該当する

[学会発表] 計16件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件)

1. 発表者名 與儀喜野, 上原和加貴, 長山 格
2. 発表標題 耐ノイズ性を持つ新しいK-Nearest Neighbor機械学習アルゴリズム
3. 学会等名 電気学会C部門大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 當間一史, 長嶺翔太, 與儀喜野, 長山 格
2. 発表標題 離散化外輪郭ベクトルに注目した身体モーションの短時間予測システム
3. 学会等名 電気学会C部門大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 上原和加貴, 與儀喜野, 長山 格
2. 発表標題 3DCGを用いた代替学習とDNNによる運動モーション識別に関する研究
3. 学会等名 電気学会C部門大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 上原和加貴, 土谷真一, 宮里太也, 長山 格
2. 発表標題 深層学習を用いた3次元CG歩行モデルにおける運動モーション識別の研究
3. 学会等名 電気学会次世代産業システム研究会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 宮里太也, 上原和加貴, 長山 格
2. 発表標題 多目的ドローンによる深層学習を用いた横臥姿勢人物自動検知システムの研究
3. 学会等名 電気学会次世代産業システム研究会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 上原和加貴, 土谷真一, 宮里太也, 長山 格
2. 発表標題 代替学習による3次元CG歩行モデルの頑健なモーションパターン判別
3. 学会等名 インテリジェントシステムシンポジウム (FAN2018)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 宮里太也, 上原和加貴, 長山 格
2. 発表標題 自律飛行ドローンのための明度変化に頑健な深層学習型人物認識モデル
3. 学会等名 インテリジェントシステムシンポジウム (FAN2018)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 宮里太也, 上原和加貴, 長山 格
2. 発表標題 多目的自律飛行ドローンシステムのためのLBCNNを用いた人物認識方式
3. 学会等名 情報科学技術フォーラム (FIT2018)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 志田遼太郎, 宮里太也, 與儀喜野, 當間一史, 長山 格
2. 発表標題 深層学習とモーションキャプチャを用いた短時間挙動予測システムの研究
3. 学会等名 電気学会次世代産業システム研究会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 志田遼太郎, 與儀喜野, 上原和加貴, 宮里太也, 長山 格
2. 発表標題 全身運動モーションに対する短時間挙動予測の高精度化に関する実験的検討
3. 学会等名 電気学会次世代産業システム研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 與儀喜野, 上原和加貴, 宮里太也, 長山 格
2. 発表標題 雑音に対して頑健なk-Nearest Neighborアルゴリズムと画像分類への応用に関する研究
3. 学会等名 電気学会次世代産業システム研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 徳山盛隼、林輝、宮里太也、長山格
2. 発表標題 次世代型知的防犯カメラのための機械学習の組込実装によるシーン検知システムに関する検討
3. 学会等名 電気学会次世代産業システム研究会資料
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 上原和加貴、岡本涼太、宮里太也、長山格
2. 発表標題 次世代型知的防犯カメラのための視点変化に頑健なオブジェクト検知に関する研究
3. 学会等名 電気学会次世代産業システム研究会資料
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 宮里太也、上原和加貴、長山格
2. 発表標題 多目的自律型ドローン開発のための俯瞰視点人物検知システムに関する研究
3. 学会等名 電気学会次世代産業システム研究会資料
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 林輝、徳山盛隼、長山格
2. 発表標題 次世代型知的防犯カメラのための組込型機械学習を用いた顔認証システムに関する研究
3. 学会等名 電気学会次世代産業システム研究会資料
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 上原和加貴、岡本涼太、宮里太也、長山格
2. 発表標題 代替学習による視点変化に頑健なオブジェクト検知システムに関する研究
3. 学会等名 電気学会次世代産業システム研究会資料
4. 発表年 2018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

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		
ミャンマー	University of Computer Studies		