

令和 6 年 6 月 21 日現在

機関番号：34304

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2020～2023

課題番号：20H04183

研究課題名（和文）乗客の不快感を考慮した安全運転支援システムの研究開発

研究課題名（英文）Research and development of a safe driving support system considering passenger discomfort

研究代表者

秋山 豊和（Akiyama, Toyokazu）

京都産業大学・情報理工学部・教授

研究者番号：80324862

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,500,000円

研究成果の概要（和文）：近年、バス運転手の高齢化や人員不足により、バス事故が社会問題となっている。バス会社としては、人手不足の中、運転技術が低い若手の運転手を育てながら、乗客にとって快適な運転を実現する必要がある。本研究開発では、バス会社での取り組みを支援するために、バス車両の車内状態を分析する実証実験を実施し、車内状態と危険・不快の相関性について明らかにするための基礎データを収集した。また、バス車両内で生成されるデータをリアルタイムに分析するためのエッジコンピューティング基盤に関する研究開発を実施した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

乗客の要求を満たす運行の実現には、安全な低速度で運行するだけでなく、目標時間に到達可能な適切な速度で運行しながら安全性や乗客の快適性を維持する必要がある。本研究の成果である基礎データは、路線バスにおける定常運行において、客観的に観測可能な不快動作とバスの運行状態の関係を明らかにし、更なる分析や事例の自動抽出へとつながる基礎データになると考えており、バス事業者の運行管理者による運転手指導時のコンテンツ自動生成や、自動運転における運行の快適性向上に寄与すると考えられる。

研究成果の概要（英文）：In recent years, bus accidents have become a social problem due to the aging and understaffed bus drivers. Bus companies need to realize comfortable driving for passengers while training young drivers with low driving skills in the midst of a manpower shortage. In order to support the efforts of bus companies, we conducted experiments to analyze the interior condition of bus vehicles and collected basic data to clarify the correlation between the interior condition and danger or discomfort. We also conducted research and development on an edge computing platform for real-time analysis of data generated in buses.

研究分野：小区分60060:情報ネットワーク関連 / 情報ネットワーク / 計算機システム・ネットワーク

キーワード：バス安全運転支援システム 不快運転検知 IoT Dataflow処理基盤

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

近年、バス運転手の高齢化や人員不足により、バス事故が社会問題となっている。ニュース等では深刻な衝突事故が取り上げられているが、自動車運送事業用自動車事故統計年報によると、乗務員に起因する重大事故のうち、乗合バスでは車内事故の件数が増加しており、その低減が求められている。車内事故を低減する様々な取り組みが行われてきたが、最も車内事故の低減につながると考えられる車内の乗客の状態をAIによって検知する安全運転手支援システムの販売が開始された。しかし、該当システムでは乗客の属性は考慮されておらず、高齢者や手荷物、携帯電話の操作など、属性によって変わる危険度を反映することができない。バスの遅延によっても不快感情が生じることを考慮すると、乗客の状況に応じて不快度を算出し、乗客の満足度を最大化するための安全運転支援システムを実現する必要がある。

### 2. 研究の目的

このような状況を踏まえ、本研究ではプライバシーの同意を得た上で、車内状態と危険・不快の関連について調査し、乗客の不快感情の低減可能性について分析可能な基礎データの収集を目指す。また、カメラ等でセンシングした車内状態から、危険・不快を生じない運転操作の許容範囲を自動抽出するシステムの構築を目指す。さらに、乗客の不快感情も考慮してリアルタイムに車内状態と車両状態から運転技術を判定し、フィードバックするシステムの構築を目指す。

当初上記のような目的で研究開発を開始したが、新型コロナウイルス感染症の拡大により当初実施を予定していた被験者を集めての実証実験の実施が困難となり、計画を変更して研究開発を実施した。以下変更した計画について述べる。

本研究では、バス車両の車内状態を考慮した安全運転支援システムの実現に向けて、(1) バス車両の常時観測により車内状態を分析する実証実験を実施し、客観的な指標によって車内状態と危険・不快の相関性について明らかにするための基礎データを収集する。(2) バス車内を常時観測するに当たって、乗客のプライバシー保護が重要となるため、匿名性を確保しながら、目的とする不快事例の観測や、車内状態の識別などが可能なセンシング技術の調査分析を進める。さらに、(3) 車内状態の分析が可能となった前提で、リアルタイムに出力されるデータフローの分析が可能な基盤の研究開発を行う。

### 3. 研究の方法

3つの研究目的に対する研究のアプローチを以下に示す。

#### (1) バスの車内状態の常時観測による車内状態と危険・不快の相関性を示す基礎データの収集

バスの車内状態を分析する方法として、ドライブレコーダーのカメラ映像ならびにデジタルタコグラフによる車両位置、車速、加速度等のセンサにより、車内状態の把握と運転操作による影響について分析する方法が考えられる。しかし、光学カメラによる映像の記録をすべて分析のために記録するのは膨大なストレージ容量を必要とし、また、乗客のプライバシーの面から配慮が必要となるといった課題がある。また記録したデータから手動で不快な運転を抽出して指導するのは手間がかかり、人員が少ない状況ではここまで時間をかけて対応するのは難しい。そこで本研究では匿名性が高い低解像度の遠赤外線カメラの映像データや車速、GPSデータや加速度センサなどの走行データから、不快運転の自動抽出を目指し、乗客の不快感情の低減可能性について分析可能な基礎データの収集を行う。ここで基礎データとは、教師あり機械学習の教師データとして活用するためのデータを指し、確実に不快運転が発生していると分類できる状況を観測したセンサデータの集合を指す。

#### (2) 匿名性が確保可能な不快事例の観測技術ならびに車内状態の識別技術の調査分析

乗客数の観測、LiDARによる車内状況の観測、低消費電力の観測方法などについて述べる。

(1)では不快運転の検知のための車内状態として、遠赤外線カメラやデジタルタコグラフによる情報を利用しているが、乗客や座席による死角なども含め、必ずしもカメラ映像だけでは把握しきれない車内状態があることも確認されている。そこで本研究開発では、乗車人数やLiDARなどの他のセンサを用いることで、遠赤外線カメラやデジタルタコグラフの機能を補うセンシング方式の検討を行う。

### (3) バス車両からリアルタイムに出力されるデータフローの分析が可能な基盤の研究開発

(1)では、まず現状で実証実験可能な方法として、匿名性とデータ容量を考慮したセンサの選定を行うが、今後自動での車両状態の抽出や、(2)で調査を行ったセンサを導入して分析することなどを考慮すると、車内では蓄積あるいは処理しきれないセンサデータを扱うことになる。本研究ではこのようなセンサデータをリアルタイムに分析して、必要なフィードバックを生成する基盤として、エッジコンピューティング基盤から適切な計算リソースを選択して処理を行う Dataflow platform について検討を行う。

## 4. 研究成果

3で述べた研究の方法について、それぞれ得られた研究成果を以下に示す。

### (1) バスの車内状態の常時観測による車内状態と危険・不快の相関性を示す基礎データの収集

2022年の9月～12月に渡ってみなと観光バス株式会社の協力のもと実証実験を実施し、路線バスの車内状態のデータ収集を行った。実験は倫理委員会の承認を得て利用者に告知した上で、オプトアウト形式にて実験を行った。本研究では、運転手の技術や担当する路線、バス車両などに対する経験不足や運行状況などによって生じる車体の揺れによって乗客が不快感を覚える運転を不快運転と定義した。また、客観的に見ても乗客の不快感が動作として推測できる事例を不快運転として抽出した。抽出には前述のようなセンサデータを利用した。図1, 2, 3に取得した位置情報、速度情報、9軸センサデータおよびデータから推定可能な運行状態の例を示す。図4に抽出された事例の一例を示す。抽出した事例はみなと観光バス株式会社の運行担当者に確認いただき、運転手が直感的に不快と認識できる事例であり、運転手教育への利用可能性について言及いただいた。一方で、該当事例の抽出には大量のデータ分析が必要となるため、その分析時間の短縮にも取り組んだ。9～10月の2ヶ月分のデータについては手動で分析した上で、正解データ集合を作成し、これらのデータを抽出するための条件として、データベース上で自動で絞り込める条件、および、今後画像処理等で自動で絞り込める可能性がある条件について調査し、手動で正解事例を確認した範囲では指定した条件で不快運転事例を抽出できることが確認できた。また、11～12月のデータについても、条件指定によって大幅に分析時間が短縮できることが確認できた。今後はさらに基礎データを拡張することで、事例の自動抽出や快適な運行基準の提示につなげられると考えている。

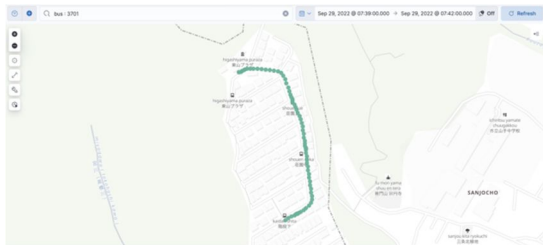


図1: 位置情報の例

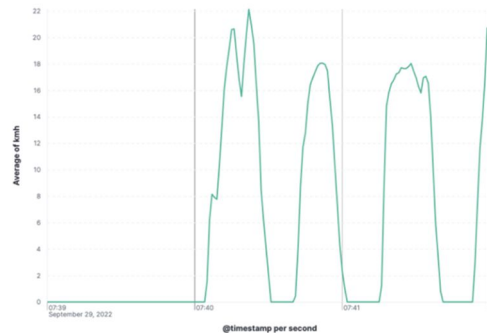


図2: 車速データの例

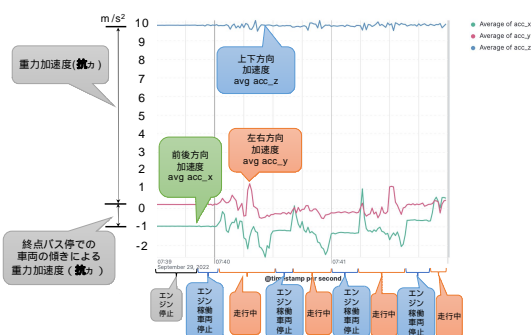


図3: 9軸センサデータの例

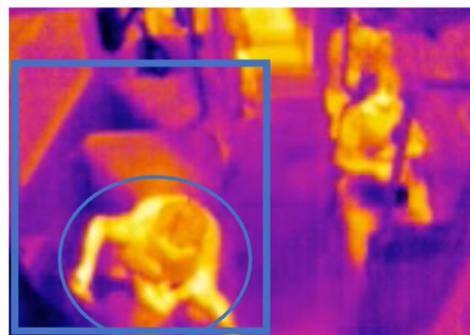


図4: 抽出した不快運転事例

## (2) 匿名性が確保可能な不快事例の観測技術ならびに車内状態の識別技術の調査分析

不快運転につながる車内状態として、揺れの影響が大きい座席の利用や立位の乗客の有無など、乗車人数の影響が大きいと考えられるため、乗降客数の推定に取り組んだ。時系列データの予測に最適な LSTM (Long-Short Term Memory) を多段階に構築して、特徴としても便名や曜日といった直接影響を与えそうな情報に加えて、降雨・天気といった気象情報を特徴量に追加することで数停留所先までの乗客数まで推定が可能となり従来手法よりも 1~3 割 RMSE を削減できた。他、車載器から取得可能な車速、エンジン回転数や GPS 測位結果、ルート情報(坂道やカーブといった運転に影響する特性の抽出に活用)から運転挙動を分類し、熟練者の運転挙動の特徴を見出す手法を提案した。

匿名性を考慮したセンシング手法として、遠赤外線カメラを用いた歩行者数計測を行い、その精度について評価を行った。乗降車数推定についても、機械学習モデルをさらに改良した方式を検討した。バスの早着、遅延によって運転手の運転挙動に変化が見られると考えられるため、バスの到着時刻予測にも取り組んだ。

匿名性を考慮しながら車内状態を観測するために、LiDAR を活用して乗客の位置を推定する手法の検討を行った。特に、観測範囲の三次元状態を表現する点群データから移動物体に対応する点群を抽出し、深層学習を活用して点群の種別を特定する手法を提案した。また、提案手法を実証実験によって評価した。

消費電力の大きいセンシング手法を利用した場合でも観測時の総合的な消費電力を削減できる制御手法を検討した。具体的には、低消費電力な電波ビーコンなどを用いた動体検知機能が常時稼働しており、動体を検知した場合のみ詳細な状態を観測するセンシング手法を起動する、複数手法が連携する手法を提案した。また、提案手法の有効性を評価するための実証実験を実施した。さらに、詳細なセンシング手法としては LiDAR に着目し、収集した点群データを解析して人の存在・状態を推定する機械学習モデルを自己学習する手法を提案した。

## (3) バス車両からリアルタイムに出力されるデータフローの分析が可能な基盤の研究開発

本研究開発では、(1)による車内状態分析の課題と並行して、リアルタイムにバス車両から継続的に出力されるデータを分析する基盤、Dataflow platform の開発にも取り組んだ。ここで Dataflow とは、センサから得られたデータに対してストリーミング処理を実現すること、また、蓄積することで順次バッチ処理を実現することが可能なデータ処理のパイプラインを指す。図 5 に Dataflow グラフの一例を示す。また、図 6 に本研究開発で提案する Dataflow が処理可能な Dataflow platform のアーキテクチャを示す。バス車内、エッジコンピューティング基盤、あるいはクラウド基盤上に配置された計算資源上にデータ処理を行う Dataflow component を配置し、それらが Pub/Sub Broker を経由して相互に接続されている。Dataflow component を用いて目的の処理を実装する上での課題として、(a) Dataflow component をどのように階層化された計算基盤上に配置するか、(b) 階層化された計算基盤上に冗長に配置された計算資源に対して、どのようにして適切な計算資源を選択するか、といった課題があげられる。本研究開発ではこれらの課題の解決に取り組んだ。

(a) については、各階層に配置されている計算資源と、Dataflow によって要求される計算処理、さらに計算処理間で受け渡しされるデータ量の要件について、指定された帯域上限や割り当てられたリソース上限に応じた処理配置を選択するアルゴリズムを提案し、図 7 に示すようなバス車両内でのユースケースに対して評価を行い、適切な処理配置が行えることを確認した。

(b) については図 8 で示したアーキテクチャにおける Pub/Sub Broker として、バックエンドに P2P Structured Overlay を採用した MQTT Broker である PIQT を用いることで、計算資源が配置される階層をトピックとして表現し、Dataflow 処理が開始されるタイミングで、各階層に展開されている Dataflow component から適切な component の選択を実現する。具体的には、P2P Overlay 上での Multicast を用いた資源情報の確認と予約による方式、もう 1 つは P2P Overlay 上のノードに蓄積された資源情報の集約値を用いた Anycast による資源選択方式で、それぞれの方式が有効となる条件を明らかにした。

提案した方式は、不快運転の自動検知アルゴリズムをはじめとするバス車両上のセンサデータのストリーム分析の実装において適用可能であると考えている。

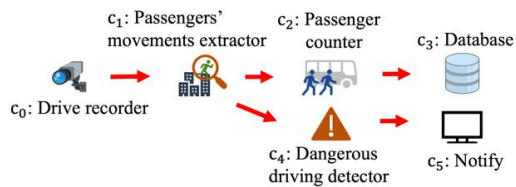


图 5: An example of a dataflow graph

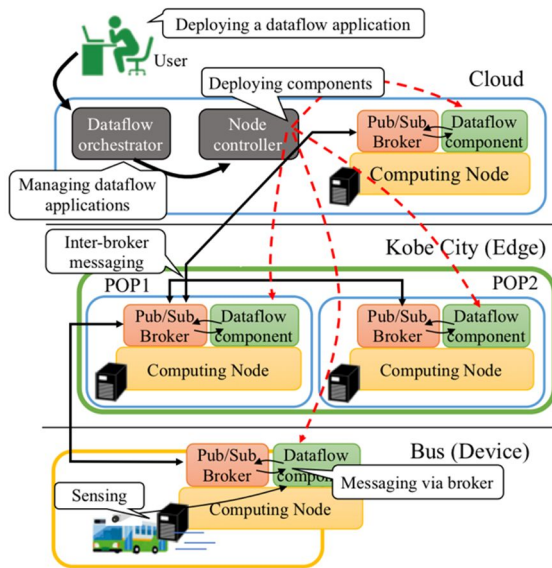


图 6: Dataflow platform architecture

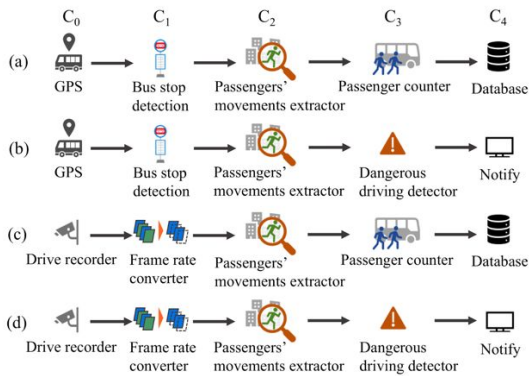


图 7: Example use cases for bus applications

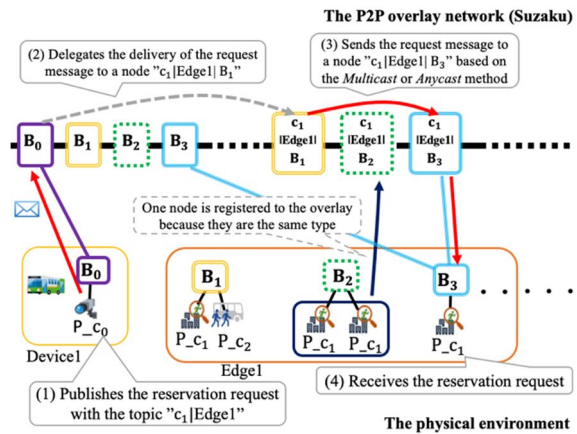


图 8: The relationship between the PIQT brokers and the overlay network

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計12件（うち査読付論文 10件 / うち国際共著 1件 / うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 Tatsuya Yamamura, Ismail Arai, Masatoshi Kakiuchi, Arata Endo, Kazutoshi Fujikawa	4. 巻 -
2. 論文標題 Bus Ridership Prediction with Time Section, Weather, and Ridership Trend Aware Multiple LSTM	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 2023 IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications Workshops (PerCom Workshops), pp.	6. 最初と最後の頁 484-489
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 -
1. 著者名 Fukuda Takumi, Arai Ismail, Endo Arata, Kakiuchi Masatoshi, Fujikawa Kazutoshi	4. 巻 -
2. 論文標題 Benchmark of Deep Learning Visual and Far-Infrared Videos Toward Weather-tolerant Pedestrian Traffic Monitoring	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 2023 IEEE International Conference on Smart Mobility (SM)	6. 最初と最後の頁 45-50
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/SM57895.2023.10112301	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 Niwa Takumi, Arai Ismail, Endo Arata, Kakiuchi Masatoshi, Fujikawa Kazutoshi	4. 巻 -
2. 論文標題 Improving Bus Arrival Time Prediction Accuracy with Daily Periodic Based Transportation Data Imputation	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 2023 IEEE International Conference on Smart Mobility (SM)	6. 最初と最後の頁 126-131
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/SM57895.2023.10112252	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 UCHIYAMA Keigo, YAMAMOTO Hiroshi	4. 巻 -
2. 論文標題 Power-saving Sensor Network System for Detection of Harmful Animals by Step-by-step Sensor Linkage	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 2023 IEEE International Conference on Consumer Electronics (ICCE)	6. 最初と最後の頁 01-06
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/ICCE56470.2023.10043464	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 Ishihara Shintaro, Yasuda Kazuma, Abe Kota, Teranishi Yuuichi, Akiyama Toyokazu	4. 巻 29
2. 論文標題 Comparative Evaluation of Dataflow Component Selection Methods in Distributed MQTT Broker Environment	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Information Processing	6. 最初と最後の頁 787-800
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2197/ipsjjip.29.787	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 -

1. 著者名 Arai Ismail, El-Tawab Samy, Salman Ahmad, Elnoshokaty Ahmed	4. 巻 -
2. 論文標題 The Effect of COVID-19 on the Transit System in Two Regions: Japan and USA	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Proceedings of 2021 IEEE Global Conference on Artificial Intelligence and Internet of Things (GCAIoT)	6. 最初と最後の頁 1-6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/GCAIoT53516.2021.9693002	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 Elnoshokaty Ahmed, Arai Ismail, El-Tawab Samy, Salman Ahmad	4. 巻 -
2. 論文標題 Transit System Prediction for Real-time Weather Conditions: Fleet Management and Weather-related Ridership	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Proceedings of 2022 International Conference on Smart Mobility (SM)	6. 最初と最後の頁 14-20
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/SM55505.2022.9758295	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 Omachi Kohei, Yamamoto Hiroshi, Kitatsuji Yoshinori	4. 巻 -
2. 論文標題 Contact Accident Prevention System around Snowplows utilizing LiDAR and Machine Learning Technologies	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Proceedings of 2022 IEEE International Conference on Consumer Electronics (ICCE)	6. 最初と最後の頁 1-6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/ICCE53296.2022.9730133	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 Akiyama Ryota, Yamamoto Hiroshi, Kitatsuji Yoshinori	4. 巻 -
2. 論文標題 Wide-Area Road Surface Condition Observation System utilizing Traveling Sensing by LiDAR	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Proceedings of 2022 IEEE International Conference on Consumer Electronics (ICCE)	6. 最初と最後の頁 1-6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/ICCE53296.2022.9730415	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 Sugimoto Kenya, Yamamoto Hiroshi, Kitatsuji Yoshinori	4. 巻 -
2. 論文標題 Abnormal Condition Detection System based on Sensing / Analysis of Snow Removal Operations	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Proceedings of 2022 IEEE International Conference on Consumer Electronics (ICCE)	6. 最初と最後の頁 1-6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/ICCE53296.2022.9730186	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 Ishihara Shintaro, Akiyama Toyokazu	4. 巻 28
2. 論文標題 Towards a Dataflow Platform in a Hierarchical Network: A Proposal for a Dataflow Component Management Method	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Information Processing	6. 最初と最後の頁 599-610
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2197/ipsjip.28.599	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 -

1. 著者名 Arai Ismail, Elnoshokaty Ahmed, El-Tawab Samy	4. 巻 -
2. 論文標題 Leveraging IoT and Weather Conditions to Estimate the Riders Waiting for the Bus Transit on Campus	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 2021 IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications Workshops (PerCom Workshops)	6. 最初と最後の頁 552-557
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/PerComWorkshops51409.2021.9431016	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



〔学会発表〕 計7件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 秋山 豊和, 新井 イスマイル, 山本 寛
2. 発表標題 路線バスにおける定常観測による不快運転の分析
3. 学会等名 電子情報通信学会総合大会 B-16-5
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 吉田 晴信, 斎藤 龍之介, 石原 真太郎, 秋山 豊和, 小林 和真, 三島 航
2. 発表標題 顧客のアプリケーション単位で制御可能なSR-TEフレームワークの提案とコントローラAPIの設計ならびに顧客の識別方法の検討
3. 学会等名 RIXX-PIOT Workshop 2023
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 吉田晴信, 斎藤龍之介, 石原真太郎, 秋山豊和, 小林和真, 三島 航
2. 発表標題 顧客ならびにアプリケーション単位で制御可能なSR-TEフレームワークの提案とPer-Flow Steeringの実装方式の検討
3. 学会等名 信学技報, vol. 122, no. 268, IA2022-41, pp. 25-32
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 斎藤龍之介, 吉田晴信, 石原真太郎, 秋山豊和, 小林和真
2. 発表標題 マイクロバーストの検知に向けた eBPF による In-band Network Telemetry の実装とその適用方法の検討
3. 学会等名 RIXX-PIOT Workshop 2023 (2023年2月)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 齋藤龍之介, 吉田晴信, 石原真太郎, 秋山豊和, 小林和真, 三島 航
2. 発表標題 顧客ならびにアプリケーション単位で制御可能なSR-TEフレームワークにおけるアプリケーション識別方式の検討と映像伝送品質への影響調査
3. 学会等名 信学技報, vol. 122, no. 268, IA2022-40, pp. 20-24 (2022年11月)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Toyokazu Akiyama, Ismail Arai, Hiroshi Yamamoto
2. 発表標題 Research and development of a safe bus driving support system considering passenger discomfort
3. 学会等名 IEICE Tech. Rep., vol. 120, no. 177, IA2020-12, pp. 32-32, Oct. 2020.
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Atsuto Ishinaga, Ismail Arai, Kazutoshi Fujikawa
2. 発表標題 Route-Bus Driver Evaluation System Using Digital Tachograph Data and Static Route Features
3. 学会等名 2020 IEEE Global Conference on Artificial Intelligence and Internet of Things (GCAIoT) (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	新井 イスマイル  (Arai Ismail)  (60512572)	奈良先端科学技術大学院大学・総合情報基盤センター・准教授    (14603)	

6. 研究組織（つづき）

	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	山本 寛  (Yamamoto Hiroshi)  (80451201)	立命館大学・情報理工学部・教授    (34315)	

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