

令和 3 年 5 月 24 日現在

機関番号：32407

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2017～2020

課題番号：17K00133

研究課題名（和文）センサーデータの時空間集約による異常トラフィック検知手法の研究

研究課題名（英文）Research on sensor data aggregation and traffic anomaly detection

研究代表者

吉野 秀明（Yoshino, Hideaki）

日本工業大学・基幹工学部・教授

研究者番号：00644816

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,600,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、主にセンサーデータの集約方式及び異常トラフィック検知手法に関する検討を進め次の成果を得た：IoTゲートウェイにおけるセンサデータ集約方式をモデル化し、平均遅延時間を最小化する最適集約パラメータ及びその推定式を理論解析により導出した。同結果に基づき集約個数を適応的に制御することで遅延時間を最適化する制御方式を提案し、シミュレーションにより遅延抑制効果が得られることを明らかにした。未知の異常トラフィックに対しても有効と考えられる教師なし学習と教師あり学習とを組み合わせたハイブリッド型検知手法を提案し、実トラフィックデータに対して提案手法の特性評価により、その有効性を検証した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

ファクトリーオートメーションなどの遅延時間要件の厳しいIoTアプリケーションを実現するためには、センサデータを集約するIoTゲートウェイにおいて、遅延時間を抑制することが必須である。上記の提案手法により、トラフィック変動を吸収し、遅延時間を最小にする制御が可能となり、実時間性の高いアプリケーションが実現できる。

また、異常トラフィック検知技術については、通信トラフィックに限定しない汎用的な時空間異常検知技術への今後の発展により、次に挙げる各種分野への応用展開が可能と考えられる：ネットワークセキュリティの確保、高信頼ネットワークの実現、センサデータ異常検知、マーケティングへの応用等。

研究成果の概要（英文）：This research aims to establish a data analysis method for detecting temporal and spatial traffic fluctuations as a basic technology for managing and controlling the future IoT systems. Firstly, we analyzed sensor data aggregation schemes in IoT gateways and clarified the existence of the optimal aggregation interval and number, which minimize the latency, and derived simple and accurate estimation formulae for these parameters. Secondary, by applying the estimation formulae, we proposed and evaluated an adaptive control of data aggregation that can be applied in IoT gateways. The simulation results for a time-variant input model including a periodic IoT traffic model indicate that the proposed scheme absorbs the traffic fluctuations, thereby realizing the minimum stable latency. Finally, we proposed a hybrid anomaly detection method that combines unsupervised and supervised learning and verified its effectiveness for actual internet backbone traffic data.

研究分野：情報学

キーワード：IoT データ集約 トラフィック制御 異常トラフィック検知

### 1. 研究開始当初の背景

今後、インターネット上の通信トラヒックの構造が次の3つの観点で変化すると考えられる：  
 (1)トラヒック量の増大 単に接続デバイス数の拡大によりトラヒック量が拡大するだけでなく、例えば、イベント会場におけるウェアブル端末からの動画情報のリアルタイム送信など、広帯域モバイル通信デバイスの進化に伴うトラヒック量の増大が想定される。

(2)トラヒック頻度の拡大 IoTの進展は、トラヒックの量的な拡大だけでなく質的な変化ももたらすと考えられる。すなわち、多数のネットワーク化されたセンサ等からの情報の送信や自動運転時に必要となる制御信号の送受信など、個々のボリュームは少ないが、その頻度が極めて高い通信からなる、従来の測定・分析技術では対応できない高頻度トラヒックが発生しうる。

(3)トラヒックの空間変動の増大 片方向映像配信サービスなどの固定的なトラヒック交流に加えて、センサデータ集約サーバやクラウドサーバ等の動的配置制御や移設に伴うトラヒック交流の空間的な変動が増大する。また、上述のモバイルデバイスの空間的集中による輻輳、自然災害や交通渋滞時の環境センサや自動運転制御などからの多地点・同時通信の大量発生などによるネットワーク過負荷が発生しうる。

以上3つの観点からのトラヒック構造の変化に対応するためには、トラヒック管理・制御技術の根幹をなす技術として、トラヒックの時空間変動に対する検知技術が重要となる。

従来から研究されてきたトラヒック検知技術は、主にDDoS攻撃などのサイバー攻撃を検出するための技術として発展してきた。これまでに様々な手法が提案されているが、上述のトラヒックの変化に対応できる万能な検知技術は確立されていない。

### 2. 研究の目的

今後のIoT時代を見据えたインターネットの管理・制御の基盤技術として、トラヒックの時空間変動を迅速かつ効率的に検知するためのデータ分析手法を確立することを目的とする。従来、主にサイバー攻撃を検出する技術として研究されてきた異常トラヒック検知技術とビッグデータ解析への応用が期待されるデータマイニング・機械学習手法の融合により、通信トラヒックの時間軸上の変化に加え、空間的な変化も検知可能な技術に発展させる。今後のIoT進展による空間的な拡がりを持つ極小・大量パケットの急拡大とネットワークの高速化に対応可能な、高効率・軽量のオンラインストリームデータ分析手法により、ネットワークセキュリティの確保、高信頼ネットワークの実現、センサデータ異常検出などの応用展開に資する。

### 3. 研究の方法

次の2種類の研究ツールを活用し、それぞれに対応する研究課題として、IoTセンサデータ集約方式及び異常トラヒック検知手法の2課題を中心に研究を遂行した：

(1)離散事象シミュレータによるIoTセンサデータ集約方式の特性評価

空間的な拡がりを持つIoTセンサデータを集約する方式をモデル化し理論解析する。

同解析結果に基づく適応的集約個数制御方式を提案し、シミュレータにより特性評価する。

(2)機械学習ツールによる異常トラヒック検知手法の特性評価

教師あり/教師なし機械学習手法を組合せたハイブリッド型機械学習手法による異常トラヒック検知手法を提案し、その特性を明らかにする。

### 4. 研究成果

(1)IoTセンサデータ集約方式の理論解析と適応的集約個数制御方式のシミュレーション評価

IoTセンサデータ集約方式のモデル化と遅延時間の理論解析

IoTセンサデータの集約を模擬するシミュレータ環境を構築し、スケーラビリティ評価を開始したところ、「IoTゲートウェイにおけるセンサデータ集約では平均遅延時間を最小にする最適集約個数が存在する」との新たな知見を得た。このため、シミュレーション評価に先立ち、IoTゲートウェイを対象としたセンサデータ集約方式の待ち行列モデル(図1)を構築し、遅延時間特性の理論解析を重点的に取り組んだ。

これまでに、IoTゲートウェイにおける統計的及び非統計的データ集約方式を対象に、遅延時間分布のLSTを導出し、平均遅延時間を最小化する最適集約個数(図2)及び最適集約間隔を理

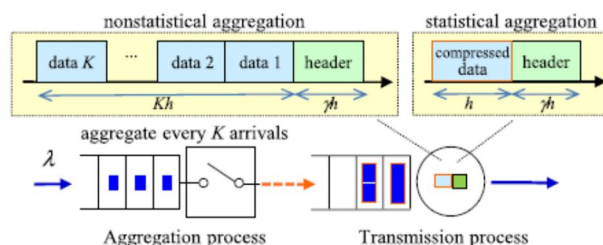


図1 IoTセンサデータ集約方式の待ち行列モデル

論的に明らかにした。加えて、理論解析結果を次に示す適応的集約制御方式に適用し、低コスト・低消費電力が求められるIoTゲートウェイに実装するため、遅延時間に関する厳密解に含まれる超越方程式の根の計算を不要とする平均遅延時間の近似式及び最適パラメータの推定式を導出した。

適応的集約個数制御方式の提案とシミュレータによる特性評価

IoTゲートウェイに到着するセンサデータを一定の間隔で測定し、区間ごとに得られた到着率に基づき、次区間での最適集約個数を上述の推定式により算出し、集約個数をトラヒック量に応じて制御する適応的集約個数制御方式を提案した。

離散事象シミュレータに提案方式を実装し、遅延時間の平均、最大値を含む遅延分布特性、及び、加わる負荷の急激な変化を含む時変動トラヒック入力時の過渡特性を明らかにした。入力トラヒックには、ポアソン到着だけでなく、変動の大きい超指数分布やセンサデータの到着モデルとして国際標準化でも評価に用いられたBeta型分布を用いて評価を進めた。

結果として、適応的な集約個数の制御により入力トラヒックの変動を吸収し、遅延の増大を抑えた安定した過渡特性(図3)

ならびに、理論的最適値に近い遅延特性が達成できることを明らかにした。提案方式を応用することで、遅延時間要件が例えば20msと厳しいIoTアプリケーションが実現可能となる。論文2件、国際会議3件等で成果発表し、内1件は、優秀論文賞を受賞、他1件はIEEE ComSocのフラグシップカンファレンスで採録発表した。

上述の成果は、今後重要性が増すと考えられるIoTシステムの輻輳制御の確立に向け活用できる。IoTシステムにおいては、ユーザ行動とは異なる要因、例えば、自然災害やカスケード故障などで生じる輻輳への対処が重要となろう。例えば、豪雨による河川水位センサや斜面崩壊検知センサからのアラームデータの広域かつ時間的な集中に対し、輻輳を抑制し遅滞なく異常検知と対処を可能とする仕組みなどが必要となると考えられる。提案したIoTゲートウェイにおける適応的集約個数制御が、このような課題の解決に向けて拡張できるものとする。

(2)機械学習ツールによる異常トラヒック検知手法の特性評価

上述のIoTゲートウェイでのデータ集約の検討結果を輻輳制御や異常検知に展開することを目指し、教師あり/教師なし機械学習手法を組合せたハイブリッド型機械学習手法による異常トラヒック検知手法の検討を進めその特性を明らかにした。具体的には、次の手順で検証を進めた。

最初にPythonの機械学習ライブラリscikit learnを用い、クラスタリング手法のk-means法とk-means++法の精度を一次評価した。検証データとして、異常トラヒック検知用のベンチマークデータとして実績のあるMAWIワーキンググループが公開しているDDoS攻撃を含むデータで精度検証した。この結果、k-means++法がk-means法よりも優れた特性を示すことを確認し、k-means++法を教師なし学習によるクラスタリング手法として適用することとした。

次に、One Class Support Vector Machine (OCSVM)とk-means++法を組合せた機械学習法を検証した。学習データ数をパラメータとして、混同行列から求まる正解率を評価尺度とした。ここで、OCSVMは、2クラス分類を行うSupport Vector Machine(SVM)において正常データを1クラスとして、正常データとそれ以外に識別する問題に変形した手法であり、なるべく多くの正常学習データを含むような球の半径と中心を求める点に特徴がある。本研究で対象とする異常トラヒック検知に向く機械学習手法と考え選定した。

結果として、学習データを増やすことで正解率が高くなり、精度の高い異常検知が可能であることを明らかにした(図4)。また、正常データと異常データの割合が学習に影響し、精度上昇に影響を及ぼすため、データの不均衡を考慮したデータの振り分け等を今後検討する必要があることが判った。

以上の成果を踏まえ、今後はIoTシステムの輻輳制御の検討を重点的に進める予定である。

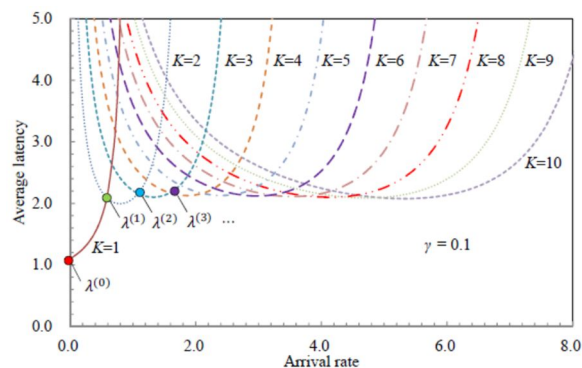


図2 平均遅延時間と最適集約個数の理論解析

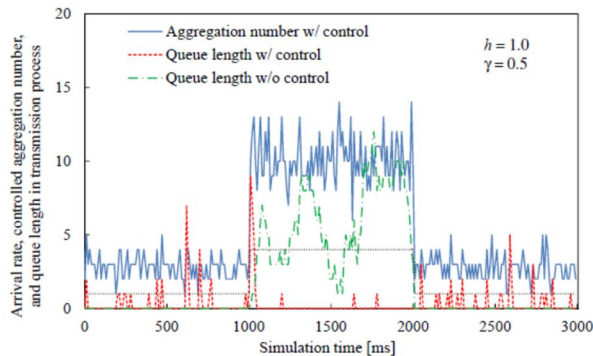


図3 変動を吸収する制御方式の過渡特性例

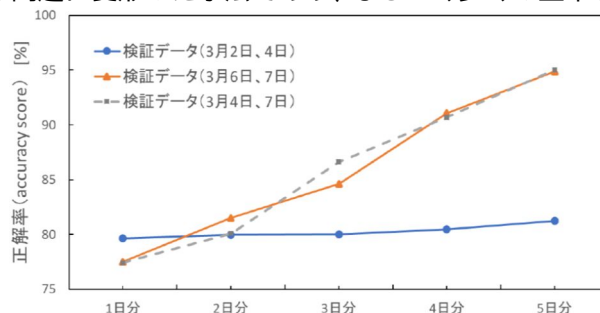


図4 異常トラフィック検知精度の検証例

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 4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 Hideaki YOSHINO, Kenko OTA, Takefumi HIRAGURI	4. 巻 E104-B
2. 論文標題 Traffic Reduction Technologies and Data Aggregation Control to Minimize Latency in IoT Systems	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 IEICE Transactions on Communications	6. 最初と最後の頁 印刷中
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1587/transcom.2020cqi0002	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 Takefumi HIRAGURI, Kentaro NISHIMORI, Isamu SHITARA, Tsutomu MITSUI, Takuya SHINDO, Tomotaka KIMURA, Takahiro MATSUDA, Hideaki YOSHINO	4. 巻 69
2. 論文標題 A Cooperative Transmission Scheme in Drone-Based Networks	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 IEEE Transactions on Vehicular Technology	6. 最初と最後の頁 2905-2914
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/TVT.2020.2965597	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 Hideaki YOSHINO, Kenko OTA, Takefumi HIRAGURI	4. 巻 E101.B
2. 論文標題 Queueing Delay Analysis and Optimization of Statistical Data Aggregation and Transmission Systems	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 IEICE Transactions on Communications	6. 最初と最後の頁 2186-2195
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1587/transcom.2018EBP3010	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 Masamichi YOSHIOKA, Takefumi HIRAGURI, Hideaki YOSHINO	4. 巻 6
2. 論文標題 Performance Evaluation of Sketch Schemes on Traffic Anomaly Detection Accuracy	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 IEICE Commun. Express	6. 最初と最後の頁 399-404
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1587/comex.2017XBL0032	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40件(うち招待講演 2件/うち国際学会 6件)

1. 発表者名 Hideaki Yoshino, Kenko Ota, Takefumi Hiraguri
2. 発表標題 Optimal Parameters of Nonstatistical Sensor Data Aggregation Minimizing Latency in IoT Gateway
3. 学会等名 2019 IEEE Global Telecommunications Conference (Globecom2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Hideaki Yoshino, Kenko Ota, Takefumi Hiraguri
2. 発表標題 Adaptive Control of Nonstatistical Sensor Data Aggregation to Minimize Latency in IoT Gateways
3. 学会等名 2019 IEEE International Telecommunication Networks and Applications Conference (ITNAC2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Jomae Satoru, Kenko Ota, Hideaki Yoshino
2. 発表標題 A Study on Separation Method Combined Gamma-Process Non-negative Matrix Factorization and Deep Learning
3. 学会等名 23rd International Congress on Acoustics (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 吉野秀明, 奥澤柚太, 杉原龍之介, 大田健紘, 平栗健史
2. 発表標題 Beta 分布入力に対する統計的データ集約個数制御方式の特性評価
3. 学会等名 2020年電子情報通信学会総合大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 杉原龍之介, 奥澤柚太, 平栗健史, 大田健紘, 吉野秀明
2. 発表標題 適応的集約個数制御方式における測定周期が遅延特性に与える影響に関する一考察
3. 学会等名 電子情報通信学会コミュニケーションクオリティ研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 奥澤柚太, 杉原龍之介, 平栗健史, 大田健紘, 吉野秀明
2. 発表標題 統計的データ集約に基づく適応的集約個数制御方式の特性評価
3. 学会等名 電子情報通信学会ソサイエティ大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 吉野秀明, 奥澤柚太, 杉原龍之介, 大田健紘, 平栗健史
2. 発表標題 一定個数データ集約方式に対する平均遅延時間近似と適応的制御
3. 学会等名 電子情報通信学会コミュニケーションクオリティ研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 杉原龍之介, 奥澤柚太, 平栗健史, 大田健紘, 吉野秀明
2. 発表標題 統計的データ集約に基づく適応的集約個数制御方式の改良
3. 学会等名 電子情報通信学会コミュニケーションクオリティ研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 谷口友哉, 谷津徳昭, 大田健紘, 平栗健史, 吉野秀明
2. 発表標題 非統計的データ集約方式の遅延時間特性の性能評価
3. 学会等名 電子情報通信学会総合大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 吉野 秀明
2. 発表標題 IoT応用に向けたデータ集約方式の性能評価
3. 学会等名 日本オペレーションズ・リサーチ学会待ち行列研究部会 (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Hideaki Yoshino, Kenko Ota, and Takefumi Hiraguri
2. 発表標題 Adaptive control of statistical data aggregation to minimize latency in IoT gateway
3. 学会等名 2018 Global Information Infrastructure and Networking Symposium (GIIS) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 吉野秀明, 大田健紘, 平栗健史
2. 発表標題 遅延を最小化する適応的センサデータ集約制御方式の特性評価
3. 学会等名 電子情報通信学会コミュニケーションクオリティ研究会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 吉野秀明, 大田健紘, 平栗健史
2. 発表標題 センサデータ集約方式の遅延時間特性と適応的最適制御
3. 学会等名 電子情報通信学会通信ソサイエティ革新的無線通信技術に関する横断型研究会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 吉野秀明, 大田健紘, 平栗健史
2. 発表標題 非統計的一定個数データ集約方式の遅延特性解析
3. 学会等名 電子情報通信学会ソサイエティ大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Kenko Ota, Takefumi Hiraguri, Hideaki Yoshino
2. 発表標題 A study on the relationship between QoE and perceived emotion
3. 学会等名 NOLTA2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 吉野秀明, 大田健紘, 平栗健史
2. 発表標題 非統計的データ集約方式の系内時間特性と最適集約個数
3. 学会等名 電子情報通信学会コミュニケーションクオリティ研究会
4. 発表年 2018年



1. 発表者名 吉野秀明, 大田健紘, 平栗健史
2. 発表標題 基本的データ集約方式の系内時間特性と最適集約パラメータ
3. 学会等名 電子情報通信学会コミュニケーションクオリティ研究会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 新井優希, 高橋勇太, 平栗健史, 吉野秀明
2. 発表標題 災害輻輳に対する予約型輻輳制御方式の過渡特性評価と安定化の検証
3. 学会等名 電子情報通信学会コミュニケーションクオリティ基礎講座ワークショップ
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 根岸瑛志郎, 高橋巖由愛, 大田健紘, 平栗健史, 吉野秀明
2. 発表標題 センサデータ集約サーバのモデル化と評価に関する一検討
3. 学会等名 電子情報通信学会第2回コミュニケーションクオリティ (CQ) 学生ワークショップ
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 吉野秀明
2. 発表標題 [ 特別招待講演 ] 通信トラヒック工学におけるモデル化と解析事例
3. 学会等名 電子情報通信学会 信学技報 CS2017-11 (招待講演)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 高橋巖由愛, 根岸瑛志郎, 大田健紘, 平栗健史, 吉野秀明
2. 発表標題 センサデータ集約方式のシミュレーション評価の一検討
3. 学会等名 電子情報通信学会 総合大会 B-11-18
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 高橋巖由愛, 根岸瑛志郎, 大田健紘, 平栗健史, 吉野秀明
2. 発表標題 センサデータ集約方法のモデル化と評価に関する一検討
3. 学会等名 電子情報通信学会 ソサイエティ大会 B-11-5
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Kenko OTA, Takefumi HIRAGURI, Hideaki YOSHINO
2. 発表標題 A Study on QoE Estimation from Heart Rate Variability Using Machine Learning
3. 学会等名 2018 IEEE International Conference on Consumer Electronics-Taiwan (ICCE-TW) (国際学会)
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
研究 分担 者	平栗 健史  (Hiraguri Takefumi)  (90582817)	日本工業大学・基幹工学部・教授    (32407)	

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	大田 健紘  (Ota Kenko)  (50511911)	日本工業大学・基幹工学部・助教     (32407)	

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