

令和 5 年 6 月 13 日現在

機関番号：25403

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2019～2022

課題番号：19K11881

研究課題名（和文）次世代車載ネットワークへの不正侵入を高速に検知する自己学習型システムの開発

研究課題名（英文）Development of a Self Machine Learning System for Fast Detection of Intrusions to Next Generation in-Vehicle Network

研究代表者

永山 忍（Nagayama, Shinobu）

広島市立大学・情報科学研究科・教授

研究者番号：10405491

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,200,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、シグネチャ検知型とアノマリ検知型の両方を補完的に用いたハイブリッド型の車載ネットワーク侵入検知システムとその設計支援ツールを開発した。本システムで採用したシグネチャ検知型とアノマリ検知型はどちらも木構造に基づくハードウェアで構成されており、処理の高速性と回路サイズのコンパクトさの両方を兼ね備えている。先行研究で、シグネチャ検知型はソフトウェア実装に比べ約11～25倍の処理性能が達成できることが分かっていたため、本研究ではアノマリ検知型について集中的に研究し、木構造を多値化することで、同様のアーキテクチャで処理時間を更に約40%短縮でき、サイズも更に約20%削減できることを確認した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、機械学習（いわゆるAI）によって、車載ネットワークへのハッキングなどの不正侵入を高速に検知するシステムを開発した。AIでの計算部分に多値決定グラフの技術を用いることで、処理の高速化だけでなく、車載などの組込み機器に必須となるサイズ削減も達成できた。新たな侵入手口にも柔軟に対応できる仕組みも備えているため、機器へのネットワークを介した不正侵入における安全性と利便性の両立が可能になった。当研究では、システム的设计・最適化手法も合わせて開発したため、車載機器に限らず、様々なIoT機器に応用することができ、当該技術の応用が進めば、より安全で快適なIoT社会が実現されるだろう。

研究成果の概要（英文）：In this study, we developed an in-vehicle network intrusion detection system (NIDS) and its computer aided design tools. The developed system is based on a hybrid type using signature-based detection and anomaly detection in a complementary manner. In the system, both signature-based detection and anomaly detection are realized with tree-based hardware, and thus, it achieves high-speed detection and compact size. Since we have already developed a fast circuit for signature-based detection that can achieve 11 to 23 times faster than software-based NIDSs in our previous study, we focused on development of a circuit for anomaly detection in this study. By making tree-based hardware multiple-valued, we confirmed that it is possible to shorten processing time in 40% and reduce size in 20%.

研究分野：情報学

キーワード：プログラマブルシステム ネットワークセキュリティ ネットワーク侵入検知システム 機械学習 決定グラフ 論理設計 多値論理

1. 研究開始当初の背景

インターネットは、これまでの人と人とのつながりからモノ同士のつながりを支えるインフラへと姿を変えつつあり、昨今ではあらゆるサービスがネットワークを介して提供・制御されている。自動車もその例外ではなく、2018年10月4日にトヨタ自動車とソフトバンクの提携が発表されたように、次世代自動車がインターネットを介して情報交換したり、運転制御されたりする方向に社会は向かっている。

その社会動向に伴い、サイバー犯罪の対象は、身近なモノへと移りつつあり、2016年から2017年にかけてIoT (Internet of Things) デバイスへの攻撃は600%増加した[1]。自動車がサイバー犯罪やテロの標的となるのは時間の問題であり、万全の対策が必要であるが、現状ではコスト等の理由から十分に対策されておらず、自動車へのハッキングの成功事例もある[2]。安全な社会の実現のために、車載ネットワークへの不正侵入を水際で検知・

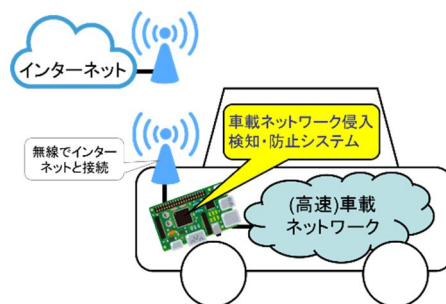


図1. 車載ネットワーク侵入検知・防止システムの略図

防止するシステムは不可欠であり、その開発が喫緊の課題になっている。

次世代自動車では車載ネットワークに高速ギガビット Ethernet が検討されているため、通信のボトルネックとならないように不正侵入か否かを高速に判定する必要がある(図2)。また、車載システムでは、機器のサイズやコストだけでなく、バッテリー駆動となるため、消費電力にも厳しい制約が課される。日々巧妙化する不正侵入の手口への迅速な対応も必要となり、これらの厳しい要求を満足するシステムの設計開発が学術的にも大きな課題である。

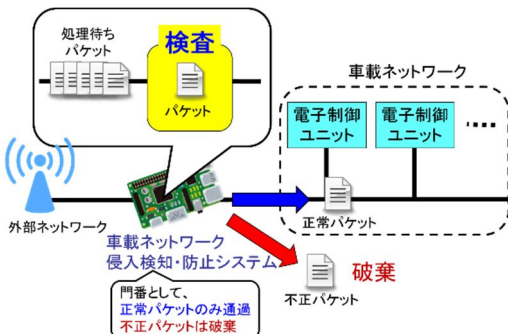


図2. 車載ネットワーク侵入検知・防止のイメージ図

参考文献：

[1]. Symantec, Internet Security Threat Report Vol.23, <http://www.symantec.com>, 2018年4月.  
 [2]. A. Greenberg, "Hackers remotely kill a Jeep on the highway - with me in it," <http://www.wired.com/2015/07/hackers-remotely-kill-jeep-highway/>, 2015年7月.

2. 研究の目的

不正侵入の検知手法は、大きく分けて二つに分類できる。一つは、過去の侵入手口の特徴(シグネチャ)を記憶しておき、シグネチャとの照合により検知するシグネチャ検知型であり、もう一つは、異常な振舞いや内容(アノマリ)を検知するアノマリ検知型である。シグネチャ検知型は、特徴さえ分かれば確実に検知できるが、新たな侵入手口に弱いという欠点がある。一方、アノマリ検知型は、新たな侵入手口でも異常を感知すれば検知可能であるが、異常と正常の線引きが難しく、誤検知が多いという欠点がある。互いの欠点を補いあう第三の手法として、両者を補完的に用いるハイブリッド手法[3]が提案された。

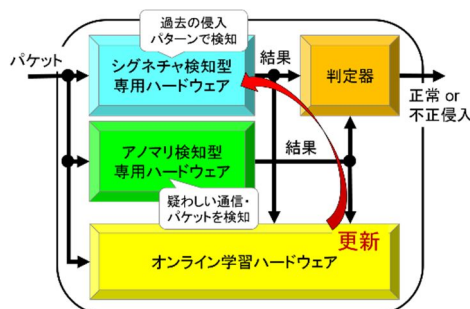


図3. 提案侵入検知システムの構成(概略)

この手法は、機械学習(ランダムフォレスト)に基づくシグネチャ検知とアノマリ検知から構成されており、一般のサーバー型ネットワーク侵入検知システム(ソフトウェア)として提案された。ランダムフォレストは学習が容易である一方で、検出精度が高い(誤検知が少ない)アルゴリズムとして注目を集めている。本研究では、ランダムフォレストに基づくハイブリッド手法のハードウェア化により、上記要求を満足するシステムを開発する。申請者の知る限り、当該ハイブリッド手法のハードウェア実装に関する研究は報告されていない。

先行研究[4]で、侵入手口の特徴を学習したランダムフォレストを Vectorized EVBDD と名付けた独自の決定グラフで表現することにより、シグネチャ検知型専用ハードウェアのコンパクトかつ高速な設計に成功し、本ハイブリッド型システム開発の見込みを得た。本研究では、その知見を活かし、アノマリ検知型専用ハードウェアおよび判定器を設計する。また、ランダムフォレストは学習が比較的容易であるため、学習部も合わせてハードウェア化し、ワンチップで完結

する自律システム（図3）を開発する。

各検知ハードウェアで得られた結果を基に、オンラインで学習し、学習した結果をシグネチャ型にフィードバックすることによりシステムは、新たな攻撃に瞬時に対応可能である。これにより、攻撃者は、高速に学習・対応する人工知能と不毛なイタチごっこをするという構図に持ち込むことができ、攻撃者のモチベーションを削ぐこともできる。

参考文献：

[3]. J. Zhang and M. Zulkernine, "Random-Forests-Based Network Intrusion Detection Systems," *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part C: Applications and Reviews*, Vol. 38, No. 5, pp.649-659, 2008.

[4]. B. Xue, S. Nagayama, M. Inagi, S. Wakabayashi, "A programmable architecture based on vectorized EVBDDs for network intrusion detection using random forests," *IEICE International Symposium on Nonlinear Theory and Its Applications*, pp.132-135, Dec. 2017.

### 3. 研究の方法

次世代車載ネットワークへの不正侵入を高速に検知する自己学習型システムを開発するために、主に以下の計画で研究を進めた。

- (1) **ランダムフォレストに基づくアノマリ検知型専用ハードウェアの設計**:ランダムフォレストにより正常な通信を学習し、そこから外れた通信を異常として検知する専用ハードウェアを設計する。車載ネットワーク内の電子制御ユニット毎に通信内容が異なるために、多様な車種毎に専用ハードウェアを用意するよりも統一的なプログラマブルハードウェアを用意の方がコストを抑えられる。問題は、プログラマブルハードウェアで性能やサイズ、消費電力を満足できるかであり、過去のシグネチャ型での設計[4]を参考に、決定グラフを用いた設計技術で解決する。適した決定グラフの模索だけでなく、それを用いたアーキテクチャの検討、性能やサイズの限界値の解析も行う。
- (2) **オンライン学習機構のハードウェア化**:先行研究で開発したシグネチャ型ハードウェアに加え、本研究で開発するアノマリ型ハードウェアもランダムフォレストに基づいているために、親和性が高く、両方の結果を用いたランダムフォレストのオンライン学習が可能である。ハードウェア化するためには、学習データをいかに圧縮できるかが成功のカギとなり、これにも決定グラフを用い問題解決を図る。
- (3) **更新機構および判定器の設計**:学習したランダムフォレストを新たなシグネチャとして更新する機構の設計では、その機構を悪用されないように注意を払う必要がある。また、判定器でも、検知器での結果の改ざんなどが検出できるようにセキュアなハードウェア設計を行う。
- (4) **システムのプロトタイプ開発と統合テスト・性能評価**:各サブシステムでの性能評価や結合テストは随時行うが、この段階で全体の統合テストと性能評価を行い、ボトルネックの把握と調整を行う。地元自動車会社に協力を仰ぎ、システムの実用性について評価する。また、更なる追加機能や応用分野の拡大を検討し、次の研究開発へと発展させる。

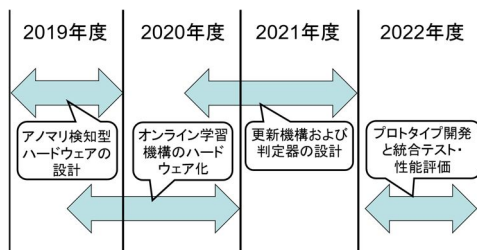


図4. 研究(システム開発)計画

### 4. 研究成果

4年間の研究期間を通じて行った研究の成果は以下の通り。

- (1) **アノマリ(異常)検知に適したデータ構造の検討**:異常検知に特化したランダムフォレストとして Isolation Forests という手法が知られており、本研究ではこれに着目し研究を開始した。Isolation Forests は二分決定木により学習と推論を行うが、基となるデータ構造を二分木から多分木に(多値化)することで、ハードウェア化した際の処理速度やメモリサイズの改善が期待できる。そこで、多値化による処理速度の変化、メモリサイズへの影響、推論精度への影響などを調査した。その結果、多値化しても推論精度への大きな影響は無く、処理時間は最大で約40%短縮、メモリサイズは分岐数が3のときに最小になる場合が多く、約20%削減できることがわかった。処理時間は分岐数が3のとき大きく減り、それ以上増やしてもあまり減らないことも分かったため、3分木に基づく Isolation Forests が最適であると結論付けた。
- (2) **アーキテクチャとオンライン学習の検討**:3分木に基づく Isolation Forests による不正侵入検知ハードウェアは、先行研究で開発したランダムフォレストに基づくシグネチャ検知型専用ハードウェアと同じ様に、学習済みの決定木を保存するメモリと決定木を辿るための回路、および辿った決定木の深さを計測する回路で実現できる。この構成は既存回路の拡張で実現できるため、同程度の性能が達成できることがわかった。オンライン学習についても予備実験を行い、異常と判定したデータの特徴(シグネチャ)について解析したところ、

- 多くの異常データに共通して含まれる属性を比較的容易に導出できることも分かった。
- (3) **学習データの圧縮法(最適化法)の検討**: 前年度の研究成果により, 異常と判定したデータを解析することで, 異常データに共通して含まれる特徴(シグネチャ)を比較的容易に導出(学習)できるようになったため, 次のステップとして学習により獲得したデータの圧縮に取り掛かった。得られた特徴から不要部分を削ぎ落とし, 必要な部分のみを抽出することでデータを圧縮でき, また情報も失わない可逆圧縮を達成できる。この圧縮法は, インデックス生成関数や分類関数という論理関数における関数分解法に帰着できることを突き止め, 分解法の応用および分解法の改善に成功した。分解法のハードウェア化の検討までには至らなかったが, 分解法の理論的な解明により, これまでよりも効率良く最適化(データ圧縮)が行えることを確認した。また, 分解により得られるメモリベースハードウェアは, 圧縮後のデータをそのまま不正侵入検知に利用可能であることも分かり, アーキテクチャの改善にも成功した。
  - (4) **セキュアなハードウェア設計に向けた検討**: セキュアなハードウェアを設計するには, 推測不可能なカギで暗号化することが求められ, 鍵を推測不可能にするには, 規則性がなくランダム性が高いことが求められる。そこで, データ圧縮と並行して, 規則性を持たない論理関数である最大非対称関数の生成に着手した。当該関数の理論的な分析を経て, 関数を自由に生成できるアルゴリズムの開発に成功した。開発したアルゴリズムを暗号化の鍵生成に応用することで, より強固な暗号化が可能になり, セキュアなハードウェアの設計に繋げることができる。
  - (5) **大規模更新データの圧縮法(最適化法)**: 新しい攻撃に対しても安全性を保ち続けるには, システムに蓄えている不正侵入の特徴データを更新し続ける必要があるが, 単純に新たな特徴データを追加していくとあっという間にシステムがパンクしてしまう。そこで, 既存の特徴データと新たな特徴データを合わせた大規模データをコンパクトに圧縮する手法が不可欠になる。前年度の研究成果により, この圧縮は, インデックス生成関数や分類関数という論理関数における関数分解法に帰着できることがわかっているため, これまでの成果を用いることで, 大規模データに対しても高速に高い圧縮率を達成できる手法を発見した。計算機実験により, これまでは圧縮が困難であった大規模データに対しても, 十分な圧縮率が達成できることを確認した。
  - (6) **システムの応用分野拡大**: 研究期間の最終年度となる 2022 年度に向け, システムの応用分野拡大に関する研究も行った。現在開発しているシステムは通信データの不正を検知するが, 同じ仕組みを使って画像内の不正・異常ができるのではないかとという仮説のもと, 計算機実験を行った。その結果, 画像内ピクセルのオンライン学習と評価を繰り返すことで, 画像内の不正改ざんや異常ピクセルも検知可能であることがわかった。パケットの異常だけでなく, 様々なセキュリティにも利用できる可能性があり, 今後の用途が期待できる。また, 最適化で得られた木探索の知見は, ナンバーリンクというパズル問題の自動生成にも応用できることもわかった。
  - (7) **当該システムの設計理論(モデル化と最適化法)の整理**: 研究の他分野への応用も含めた今後の更なる発展のために, 単に一品物のシステムを開発して終わりではなく, 一部機能をモデル化し, 設計理論の整理を行った。具体的には, セキュアな部分については, 最大非対称関数として, 不正侵入の特徴データについてはインデックス生成関数および分類関数としてモデル化し, 設計最適化に向け関数の性質・特徴分析を行った。分析により得られた性質・特徴に基づき関数を生成する手法も発見し, これにより, 実データがなくとも対象分野の性質・特徴に応じた模擬データを自動生成できるようになり, 他分野への応用研究が大幅に促進・加速できることを確認した。
  - (8) **研究成果の地域社会への還元に向けた取り組み**: これまでは論文発表にて研究成果の還元を行っていたが, 直接的な還元を目指し, 地元製造業(自動車関連企業)との共同研究に着手した。当該研究成果(自己学習型システムによるネットワーク不正侵入検知)の直接的な応用(外観検査・異常検出への応用)に留まらず, 研究を通じて得られた技術も地元企業が抱える課題に展開し解決を図った。特に, 当該研究ではシステムの性能を重視していたが, システム開発の過程で培ったアジャイル開発やユーザー中心設計の技術の方が地元製造業では有用であることがわかり, その技術を展開すべく様々な課題にチャレンジした。チャレンジした内容は, 次年度の科研費申請へとつながり, 無事採択へとつながった。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計8件（うち査読付論文 8件/うち国際共著 6件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Rie Kometani, Shinobu Nagayama, Masato Inagi, Shin'ichi Wakabayashi	4. 巻 31
2. 論文標題 A Proposal of Equivalence Classes for Index Generation Functions Based on Their Row-Shift Decompositions	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Proceedings of International Workshop on Post-Binary ULSI Systems	6. 最初と最後の頁 9-9
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 Nagayama Shinobu, Sasao Tsutomu, Butler Jon T.	4. 巻 52
2. 論文標題 On Decision Diagrams for Maximally Asymmetric Functions	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Proceedings of IEEE International Symposium on Multiple-Valued Logic	6. 最初と最後の頁 164-169
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/ISMVL52857.2022.00032	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 Shinobu Nagayama, Tsutomu Sasao, Jon T. Butler	4. 巻 38
2. 論文標題 A Fast Method for Exactly Optimum Linear Decomposition of Index Generation Functions	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Multiple-Valued Logic and Soft Computing	6. 最初と最後の頁 387-405
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 Shinobu, Sasao Tsutomu, Butler Jon T.	4. 巻 51
2. 論文標題 Improvement in the Quality of Solutions of a Heuristic Linear Decomposer for Index Generation Functions	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Proceedings of IEEE International Symposium on Multiple-Valued Logic	6. 最初と最後の頁 13-18
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/ISMVL51352.2021.00012	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 Shinobu Nagayama, Hiroshi Kanehagi, Masato Inagi, Shin'ichi Wakabayashi	4. 巻 29
2. 論文標題 On a Generation Method of Benchmark Maximally Asymmetric Functions	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Proceedings of International Workshop on Post-Binary ULSI Systems	6. 最初と最後の頁 36-41
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 Nagayama Shinobu, Sasao Tsutomu, Butler Jon T.	4. 巻 50
2. 論文標題 On Optimum Linear Decomposition of Symmetric Index Generation Functions	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Proceedings of IEEE International Symposium on Multiple-Valued Logic	6. 最初と最後の頁 130-136
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/ISMVL49045.2020.00-17	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 Butler Jon T., Sasao Tsutomu, Nagayama Shinobu	4. 巻 50
2. 論文標題 Properties of Multiple-Valued Partition Functions	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Proceedings of IEEE International Symposium on Multiple-Valued Logic	6. 最初と最後の頁 82-87
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/ISMVL49045.2020.00-25	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 Shinobu, Sasao Tsutomu, Butler Jon T.	4. 巻 49
2. 論文標題 A Dynamic Programming Based Method for Optimum Linear Decomposition of Index Generation Functions	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proceedings of IEEE International Symposium on Multiple-Valued Logic	6. 最初と最後の頁 144-149
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/ISMVL.2019.00033	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18件（うち招待講演 2件 / うち国際学会 5件）

1. 発表者名 Shinobu Nagayama
2. 発表標題 On Decision Diagrams for Maximally Asymmetric Functions
3. 学会等名 IEEE International Symposium on Multiple-Valued Logic (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 若寄頌平、永山忍、稲木雅人、若林真一
2. 発表標題 多値決定木に基づく Hyper Spectral 画像内の異常検出に関する一検討
3. 学会等名 第45回 多値論理フォーラム
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 米谷理絵、永山忍、稲木雅人、若林真一
2. 発表標題 対称インデックス生成関数における行シフト分解可能性について
3. 学会等名 第45回 多値論理フォーラム
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Shinobu Nagayama
2. 発表標題 Improvement in the Quality of Solutions of a Heuristic Linear Decomposer for Index Generation Functions
3. 学会等名 IEEE International Symposium on Multiple-Valued Logic (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 中島圭一、永山忍
2. 発表標題 ナンバーリンク問題例の効率的な自動生成手法について
3. 学会等名 第44回 多値論理フォーラム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Shinobu Nagayama
2. 発表標題 On a Generation Method of Benchmark Maximally Asymmetric Functions
3. 学会等名 International Workshop on Post-Binary ULSI Systems (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Shinobu Nagayama
2. 発表標題 On Optimum Linear Decomposition of Symmetric Index Generation Functions
3. 学会等名 IEEE International Symposium on Multiple-Valued Logic (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 永山忍
2. 発表標題 最大非対称多値関数の判定法と生成法の提案
3. 学会等名 第43回 多値論理フォーラム
4. 発表年 2020年



1. 発表者名 金羽木洋志、永山忍
2. 発表標題 最大非対称関数の特徴分析とその生成について
3. 学会等名 電子情報通信学会 VLSI 設計技術研究会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 池田翼、永山忍
2. 発表標題 Isolation Forestによる異常検知の効率化に関する検討
3. 学会等名 電子情報通信学会 VLSI 設計技術研究会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 福原浩人、永山忍
2. 発表標題 EVBDDに基づく初等関数回路の設計検証
3. 学会等名 電子情報通信学会 VLSI 設計技術研究会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 常定京一郎、永山忍
2. 発表標題 インデックス生成関数の行シフト分解における分解可能性判定法
3. 学会等名 電子情報通信学会 VLSI 設計技術研究会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 永山忍
2. 発表標題 行シフト分解に基づくインデックス生成関数の同値類について
3. 学会等名 第33回 多値論理とその応用研究会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 永山忍
2. 発表標題 次世代自動車の開発を陰で支える情報科学技術
3. 学会等名 明治大学 特別講義（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 常定京一郎、永山忍
2. 発表標題 インデックス生成関数の行シフト分解における分解可能性について
3. 学会等名 第42回 多値論理フォーラム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 池田翼、永山忍
2. 発表標題 Isolation Forest の多値化に関する検討
3. 学会等名 第42回 多値論理フォーラム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Shinobu Nagayama
2. 発表標題 A Dynamic Programming Based Method for Optimum Linear Decomposition of Index Generation Functions
3. 学会等名 IEEE International Symposium on Multiple-Valued Logic (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 永山忍
2. 発表標題 良く似たデータを素早く探せ！ - 類似・近似データ探索の高速化について -
3. 学会等名 明治大学 特別講義 (招待講演)
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

広島市立大学 情報科学研究科 情報工学専攻 永山忍 <a href="http://rsw.office.hiroshima-cu.ac.jp/Profiles/8/0000731/profile.html">http://rsw.office.hiroshima-cu.ac.jp/Profiles/8/0000731/profile.html</a>
--

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
研究協力者	笹尾 勤  (Sasao Tsutomu)		

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
研究協力者	バトラー ジョン  (Butler Jon)		
研究協力者	若林 真一  (Wakabayashi Shin'ichi)		
研究協力者	稲木 雅人  (Inagi Masato)		
研究協力者	井口 幸洋  (Iguchi Yukihiro)		
研究協力者	ソントン ミッチェル  (Thornton Mitchell)		

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		
米国	Naval Postgraduate School		